



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ
ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΛΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Δέρβος



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ
ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΛΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Δέρβος

Στον πατέρα μου, την μητέρα μου, την αδερφή μου και την Αγγελική.

Για τη στήριξη και την υπομονή τους.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ
ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΛΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Δέρβος

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20η Οκτωβρίου 2014

Κωνσταντίνος Δέρβος

Παναγιώτα Βασιλείου

Ηλίας Αβραμόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Πλώτας Δημήτρης

Copyright © Πλώτας Δημήτρης, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ
ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΛΩΤΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Επιβλέπων : **Κωνσταντίνος Δέρβος**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20η Οκτωβρίου 2014

Κωνσταντίνος Δέρβος

Παναγιώτα Βασιλείου

Ηλίας Αβραμόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας (άμεση-διάχυτη-συνολική) με χρήση διάταξης ηλιακού ιχνηλάτη καθώς και η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν ανάλογα με τη γωνία κλίσης του συλλέκτη. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν στο επίπεδο κάθετο του Ήλιου καθώς και σε σταθερά ύψη 30, 50 και 70 μοιρών και η σύγκριση έγινε με βάση την συνολική ακτινοβολία και ενέργεια που καταγράφηκε στο κάθε επίπεδο.

Στο Πρώτο Κεφάλαιο αναλύθηκε η ηλιακή ενέργεια και ακτινοβολία. Παρουσιάστηκε η πορεία της ακτινοβολίας από τον Ήλιο έως τη Γη καθώς και οι έννοιες της πυκνότητας ισχύος και της φασματικής κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας. Στη συνέχεια καταγράφηκε η διαδικασία εξασθένισης της ηλιακής ακτινοβολίας και μηχανισμοί απορρόφησης σκέδασης και ανάκλασης. Τέλος παρουσιάστηκαν βασικές έννοιες όπως η άμεση, η διάχυτη και η συνολική ακτινοβολία καθώς και η διαδικασία υπολογισμού της κατεύθυνσής της.

Στο Δεύτερο Κεφάλαιο εξετάζουμε τον Ήλιο, τη Γη και τη σχετική τους κίνηση, καθώς και το μοντέλο που χρησιμοποιήσαμε για τον υπολογισμό των ηλιακών συντεταγμένων. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται διαγράμματα που παριστάνουν τις ώρες ανατολής, δύσης και ηλιοφάνειας για τις 365 ημέρες του χρόνου για τις συντεταγμένες της Αθήνας.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο αναφέρουμε τους τρεις βασικούς τρόπους στήριξης των πλαισίων συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και τα συστήματα στήριξης που αντιστοιχούν στον καθένα.

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο αναλύονται τα σημαντικότερα όργανα για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή το πυρανόμετρο, το πυρηλιόμετρο, το ακτινόμετρο και το καταγραφικό Cambell-stokes.

Στο Πέμπτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη ηλιακού ιχνηλάτη για τη καταγραφή και μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση zaber συσκευών. Τέλος παρουσιάζεται το πρόγραμμα του εργαστηρίου για τη λειτουργία του ιχνηλάτη. Πρόκειται για το πρόγραμμα το οποίο αποτέλεσε τη βάση για το τελικό πρόγραμμα με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Στο Έκτο Κεφάλαιο παρουσιάζεται το ψηφιακό πολύμετρο που χρησιμοποιήθηκε, η σύνδεσή του και ο προγραμματισμός του. Στο τέλος πραγματοποιείται ενδεικτική μέτρηση.

Στο Έβδομο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αλλαγές στην εφαρμογή του εργαστηρίου προκειμένου εκτός από το κάθετο επίπεδο να διεξαχθούν μετρήσεις και στα επίπεδα των 30, 50 και 70 μοιρών. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η πραγματοποίηση των μετρήσεων.

Στο Όγδοο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι πίνακες πυκνότητας ισχύος που προέκυψαν, ο υπολογισμός της ηλιακής ενέργειας και αναλύεται η διαδικασία προσέγγισης των συναρτήσεων και των εμβαδών με χρήση matlab. Τέλος έγινε σύγκριση και σχολιασμός των τιμών που προέκυψαν για το κάθε επίπεδο.

ABSTRACT

The purpose of this work is the measurement of solar radiation (direct-diffuse-total) using solar tracker and the comparison of the results obtained according to the angle of inclination of the collector. The measurements were performed in a level vertical to the Sun and to fixed heights 30, 50 and 70 degrees and the comparison was based on the total radiation and energy that was recorded at each level.

The First Chapter analyzes solar energy and radiation. The route of the radiation from the Sun to the Earth and the concepts of power density and spectral distribution of solar radiation are being presented. The attenuation of solar radiation and the mechanisms of absorption scattering and reflection are also being recorded. Finally basic concepts such as direct, diffuse and total radiation and the procedure for calculating its direction are being presented as well.

The Second Chapter investigates the Sun, the Earth, their relative motion and the model used to calculate the solar coordinates. The Chapter includes diagrams that represent the time of sunrise, sunset and sunshine for 365 days using coordinates of Athens.

The Third Chapter discusses the three main ways of supporting the collectors of solar radiation and the support systems that correspond to each one.

The Fourth Chapter analyzes the most important instruments for measuring solar radiation.

The Fifth Chapter shows the solar tracker set-up for recording and measuring solar radiation using zaber devices. Finally the program of the laboratory is presented. This is the program that formed the basis for the final program that was used for the final measurements.

The Sixth Chapter presents the connection and the programming of the digital multimeter that was used. At the end it presents a simple measurement as a trial.

The Seventh Chapter presents changes in the implementation of the laboratory in order to include the levels of 30, 50 and 70 degrees. The execution of the measurements is included at the end.

The Eighth Chapter presents tables of the power density obtained, the calculation of solar energy and analyzes the process of approximation of functions and areas using matlab. Finally discussion of the values obtained for each level is included.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο Πρώτο: Ηλιακή ενέργεια και ακτινοβολία	10
1.1 Ηλιακή ενέργεια	10
1.2 Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας	11
1.3 Πυκνότητα ισχύος και φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας	13
1.4 Μηχανισμοί εξασθένησης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη γήινη ατμόσφαιρα	15
1.5 Ορισμοί και βασικές έννοιες της ηλιακής ακτινοβολίας	17
1.6 Υπολογισμός κατεύθυνσης ηλιακής ακτινοβολίας	21
Κεφάλαιο Δεύτερο: Ηλιακή γεωμετρία	24
2.1 Ήλιος και Γη	24
2.2 Σχετική κίνηση Ήλιου-Γης	29
2.3 Μοντέλο μελέτης κίνησης	30
2.3.1 Ηλιακή ώρα	33
2.3.1.1 Μεσημβρινός αναφοράς	33
2.3.1.2 Μήκος τόξου	34
2.3.1.3 Εξίσωση χρόνου	34
2.3.2 Ηλιακή απόκλιση δ	36
2.3.3 Γωνία ώρας ω	36
2.3.4 Συντεταγμένες του Ήλιου	37
Κεφάλαιο Τρίτο: Συλλογή του ηλιακού φωτός	40
3.1 Εισαγωγή	40
3.2 Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη	41

3.3 Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη	41
3.4 Συστήματα συνεχούς ημερήσιας παρακολούθησης-ιχνηλάτες (trackers)	42
3.4.1 Στροφή γύρω από έναν άξονα	43
3.4.1.1 Ο αζιμουθιακός ιχνηλάτης	43
3.4.1.2 Πολικός ιχνηλάτης (polar tracker).....	44
3.4.2 Στροφή γύρω από δύο άξονες	44
3.5 Κριτική και γενικά συμπεράσματα για τους ηλιακούς ιχνηλάτες (solar trackers)	45
Κεφάλαιο Τέταρτο: Όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας.....	47
4.1 Εισαγωγή	47
4.2 Το πυρανόμετρο	47
4.3 Το πυρηλιόμετρο	50
4.4 Το ακτινόμετρο	51
4.5 Ο ηλιογράφος – καταγραφικό Campbell-Stokes.....	53
4.6 Συμπεράσματα	55
Κεφάλαιο Πέμπτο: Πειραματική διάταξη ηλιακού ιχνηλάτη για καταγραφή και μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση zaber συσκευών.	56
5.1 Εισαγωγή	56
5.2 Στρεφόμενες συσκευές “zaber T-RS60A”	56
5.3 Προγραμματισμός του ιχνηλάτη με χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Labview.....	59
5.4 Υπό – εφαρμογές Labview που χρησιμοποιούνται.....	60
5.5 Το τελικό πρόγραμμα του εργαστηρίου	65
Κεφάλαιο Έκτο: Σύνδεση του ηλιακού ιχνηλάτη με ψηφιακό πολύμετρο και πραγματοποίηση ενδεικτικής μέτρησης.....	71
6.1 Εισαγωγή	71
6.2 34970A Data Acquisition της Agilent.....	71

6.3 Προγραμματισμός του 34970A Data Acquisition σε περιβάλλον Labview.....	73
6.4 Ενσωμάτωση των drivers του 34970A Data Acquisition στην εφαρμογή Labview του εργαστηρίου.....	74
6.5 Πραγματοποίηση ενδεικτικής μέτρησης με χρήση του του 34970A Data Acquisition συνδεδεμένου με τη διάταξη ηλιακού ιχνηλάτη.....	78
Κεφάλαιο Έβδομο: Τροποποίηση της εφαρμογής του εργαστηρίου σε περιβ'αλλον labview με σκοπό τη καταγραφή της συνολικής ακτινοβολίας σε σταθερή κατά το ύψος γωνία και πραγματοποίηση των αντιστοιχων μετρήσεων.....	85
7.1 Εισαγωγή.....	85
7.2 Τροποποιήσεις στην εφαρμογή του εργαστηρίου για την πλοήγηση του ιχνηλάτη.	85
7.3 Τελική εικόνα της πρόσοψης της εφαρμογής.....	88
7.4 Πραγματοποίηση μετρήσεων στην ταράτσα του κτηρίου Ηλεκτρολόγων του ΕΜΠ για την ταυτόχρονη καταγραφή της συνολικής ακτινοβολίας του ηλίου στην κατεύθυνση της ηλιακής ακτίνας και σε σταθερές γωνίες από το οριζόντιο επίπεδο.	89
Κεφάλαιο Όγδοο: Παρουσίαση των μετρήσεων της 1/7/2013 και 13/7/2013 με εκτίμηση γραφικής παράστασης με χρήση matlab και προσέγγιση της ηλιακής ενέργειας για κάθε γωνία με υπολογισμό του εμβαδού της ηλιακής ακτινοβολίας.	92
8.1 Εισαγωγή.....	92
8.2 Παρουσίαση του πίνακα τιμών της πυκνότητας ισχύος για την συνολική ακτινοβολία στις διάφορες γωνίες για τις μετρήσεις 1/7/2013 και 13/7/2013.....	92
8.3 Εκτίμηση της συνάρτησης που προσεγγίζει τη πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας με χρήση MATLAB.....	96
8.4 Υπολογισμός της ηλιακής ενέργειας με υπολογισμό του Εμβαδού της προσεγγιστικής συνάρτησης με χρήση MATLAB.....	99
8.5 Γραφικές παραστάσεις της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας για όλες τις γωνίες για τις μετρήσεις της 1/7/2013 και υπολογισμός της ανά περίπτωση ηλιακής ενέργειας.....	100
8.6 Γραφικές παραστάσεις της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας για όλες τις γωνίες για τις μετρήσεις της 13/7/2013 και υπολογισμός της ανά περίπτωση ηλιακής ενέργειας.....	103
8.7 Αξιολόγηση των μετρήσεων – συμπεράσματα.....	106

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κωνσταντίνο Δέρβο , Καθηγητή Ε.Μ.Π, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα και με καθοδήγησε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Επίσης, η καθοδήγηση και οι υποδείξεις που δέχτηκα από το διπλωματούχο Ηλεκτρολόγο Μηχανικό, Ιωάννη Μπούρδαλη, ήταν πολύτιμες.

Κεφάλαιο Πρώτο: Ηλιακή ενέργεια και ακτινοβολία

1.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη διατήρηση της ζωής στο ηλιακό μας σύστημα. Το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στη γη είναι μόλις το 1 προς 1 δισεκατομμύριο της συνολικής ενέργειας που παράγει ο ήλιος και ισούται κατά προσέγγιση με 420 τρισεκατομμύρια κιλοβατώρες. Είναι γεγονός ότι ο ήλιος είναι η πιο πλούσια και ανεξάντλητη -ανανεώσιμη- πηγή ενέργειας το πλειοψηφικό ποσοστό της οποίας παραμένει ανεκμετάλετο.

- Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στην επιφάνεια της γης σε μια μέρα είναι 10.000 με 15.000 φορές περισσότερο από την συνολική παγκόσμια ημερήσια κατανάλωση.
- Μέσα σε μια ώρα η γη λαμβάνει αρκετή ηλιακή ενέργεια ώστε να καλύψει συνολικά τις ενεργειακές της ανάγκες για ένα περίπου έτος.
- Η ηλιακή ενέργεια που πέφτει πάνω σε ένα τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο ισοδυναμεί ενεργειακά με ένα βαρέλι πετρέλαιο, που εν αντιθέσει με τον ήλιο αποτελεί ρυπογόνα και συμβατική πηγή ενέργεια με αποθέματα που διαρκώς και ταχύτατα μειώνονται.

Η ηλιακή ενέργεια έχει θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα, κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν απευθείας το φως του ηλίου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών. Όπως προκύπτει και από τα παραπάνω αριθμητικά δεδομένα, τα διαθέσιμα ενεργειακά αποθέματα του ηλίου είναι τόσο μεγάλα που δημιουργούν αξιόλογες δυνατότητες και προοπτικές αξιοποίησης για την παραγωγή “καθαρής” ηλεκτρικής ενέργειας με φθηνότερο κόστος συντήρησης και λειτουργίας και περιβαλλοντικά συμβατές διαδικασίες παραγωγής, που θα επιχειρήσουν να θέσουν

κάποια αναχώματα στην αλόγιστη καταστροφή του περιβάλλοντος και την κατασπατάληση των υπαρχόντων αποθεμάτων ενέργειας.

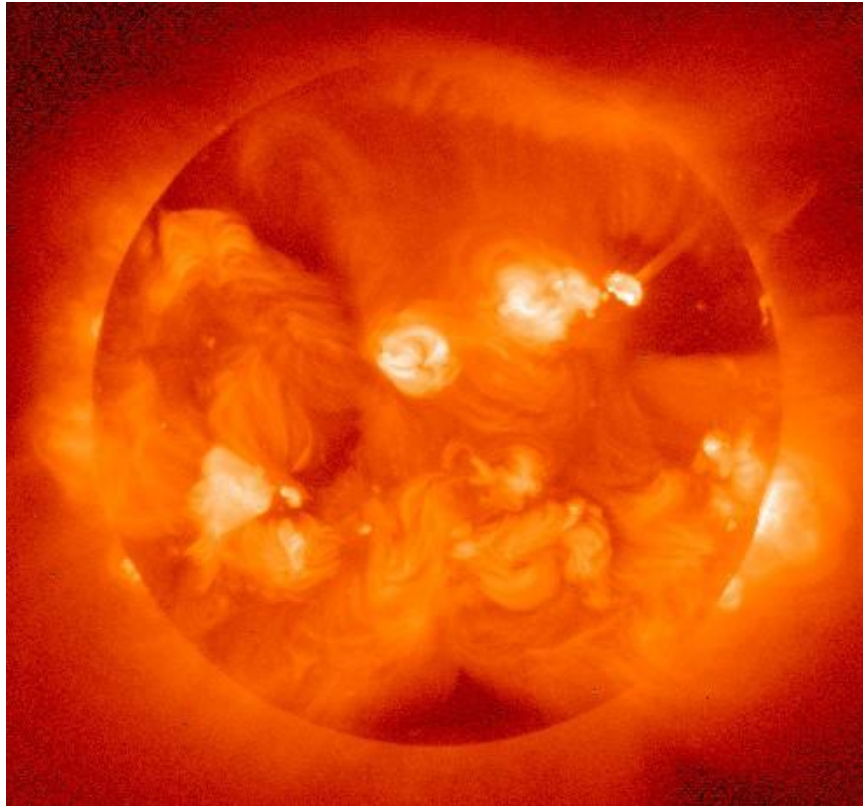
Ο ήλιος είναι ένα αστέρι με μάζα $2 \times 10^{30} \text{ kg}$, ακτίνα 700.000 km , ηλικία 5×10^9 χρόνια και προοπτική ζωής άλλων 5 περίπου δισεκατομμυρίων χρόνων. Η επιφανειακή του θερμοκρασία είναι περίπου 5.800 K και η εσωτερική περίπου $150.000.000 \text{ K}$. Ο ήλιος συνιστάται σε ένα μίγμα αερίων με κύριο συστατικό το Υδρογόνο ($1H$). Μέσα από μια πλειάδα αυτοσυντηρούμενων θερμοπυρηνικών αντιδράσεων μετατροπής του υδρογόνου σε ήλιο (He) στο εσωτερικό του ουράνιου αυτού σώματος, η μάζα μετατρέπεται σε ενέργεια και εκπέμπεται στο σύμπαν κυρίως μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αλλά και δευτερευόντως με σωματιδιακή μορφή. Το συγκεκριμένο ουράνιο σώμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας αντιδραστήρας σύντηξης του οποίου τα τοιχώματα αποτελούνται από θερμά αέρια που συγκρατούνται από βαρυτικές δυνάμεις. Υπολογίζεται ότι για κάθε γραμμάριο υδρογόνου που μετατρέπεται σε ήλιο εκλύεται ενέργεια ίση με $1.67 \times 10^5 \text{ kWh}$.

1.2 Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας

Στη Γη, τον τρίτο πλανήτη του ηλιακού μας συστήματος, καταναλώνονται καθημερινά τεράστια ποσά ενέργειας. Η ενέργεια αυτή προέρχεται στην πραγματικότητα σε μεγάλο ποσοστό από την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνειά της. Η μελέτη της πορείας αυτής της ενέργειας είναι πολύ σημαντική και άμεσα συνδεδεμένη με το αντικείμενο μελέτης της εργασίας αφού συνδέεται άρρηκτα τόσο με τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων, όσο και με την απόδοσή τους.

Η πηγή των τεράστιων ποσών ηλιακής ενέργειας, θερμότητας και φωτός, ο Ήλιος, αποτελείται από μία τεράστια μάζα θερμής αέριας ύλης. Η μάζα του Ήλιου, πολλές χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από αυτή της Γης, δεν είναι στάσιμη αλλά όπως είναι γνωστό στον πυρήνα του Ήλιου γίνονται συνεχώς χημικές αντιδράσεις, πιο σημαντική από τις οποίες είναι η διαρκής πυρηνική σύντηξη. Ο πυρήνας του καταλαμβάνει μια έκταση από το κέντρο του Ήλιου μέχρι περίπου το ένα τέταρτο της ακτίνας του αστεριού. Στο

επίκεντρο, η βαρύτητα τραβά όλη τη μάζα του Ήλιου προς τα μέσα και δημιουργεί πολύ έντονη πίεση. Αυτή η πίεση είναι αρκετά υψηλή ώστε να προκαλέσει τη σύντηξη των ατομικών μαζών. Οι θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται γι' αυτό το λόγο στον Ήλιο είναι τεράστιες.

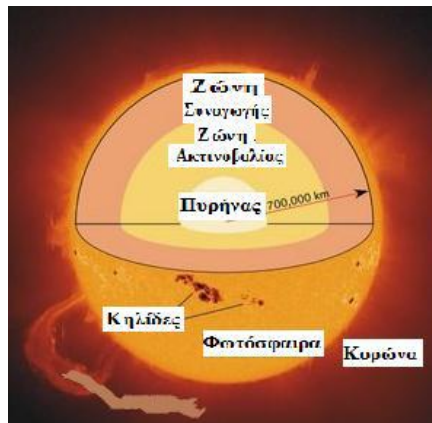


Σχ. 1.1 : Ο Ήλιος

Η ακριβής διαδικασία που συμβαίνει στο εσωτερικό του Ηλίου είναι μία αλυσωτή αντίδραση σύντηξης πρωτονίων που έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή ατόμων ηλίου He και ταυτόχρονα την έκλυση τεράστιων ποσών ενέργειας υπό τη μορφή ακτίνων X, ακτίνων γ και νετρίνων.

Οι ακτίνες αυτές μεταφέρονται στην επιφάνεια του Ηλίου είτε με τη μορφή ακτινοβολίας, είτε μέσω θερμού υλικού συναγωγικά. Στην πρώτη περίπτωση κάθε φωτόνιο που δημιουργείται ταξιδεύει περίπου ένα μικρόμετρο πριν απορροφηθεί από κάποιο παρακείμενο μόριο φυσικού αερίου. Αυτή η απορρόφηση στη συνέχεια προκαλεί τη θέρμανση των γειτονικών ατόμων και εκ νέου εκπέμπει ένα άλλο φωτόνιο που

ταξιδεύει και πάλι σε μικρή απόσταση πριν απορροφηθεί από κάποιο άλλο άτομο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται συνέχεια, πολλές φορές πριν το φωτόνιο να μπορέσει τελικά να εκπεμφθεί στην επιφάνεια του ήλιου. Παίρνει σε ένα φωτόνιο περίπου 100.000 χρόνια ή περίπου 1025 απορροφήσεις και εκ νέου εκπομπές για να κάνει το ταξίδι από τον πυρήνα του ήλιου στην επιφάνειά του. Το ταξίδι από την επιφάνεια του ήλιου στη Γη διαρκεί περίπου 8 λεπτά. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας το μήκος κύματός της ακτινοβολίας το οποίο είναι αρχικά πολύ μικρό, αυξάνεται, μειώνοντας έτσι την ενέργεια που μεταφέρεται μέσω αυτής. Στη δεύτερη περίπτωση λαμβάνει χώρα ο “κύκλος συναγωγής” ο οποίος περιλαμβάνει τη μεταφορά θερμού υλικού στην επιφάνεια του Ήλιου μέσω θερμών διαύλων. Το θερμό υλικό ψύχεται μεταφέροντας τη θερμότητα στην επιφάνεια και στη συνέχεια επιστρέφει πίσω στον πυρήνα ώστε να επαναθερμανθεί. Μέσα από όλη αυτή τη διαδικασία ο Ήλιος παράγει τα τεράστια ποσά ενέργειας, μέρος των οποίων φτάνουν στη Γη.



Σχ. 1.2 : Τα στρώματα του Ήλιου

1.3 Πυκνότητα ισχύος και φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας

Η μέση ετήσια πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας της γης έχει μέση τιμή 1367 W / m^2 και ορίζεται ως ηλιακή σταθερά:

$$1367 \text{ sc G} = \text{Wm}^2$$

Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης κατά την διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της ετήσιας μεταβολής της ηλιακής σταθεράς:

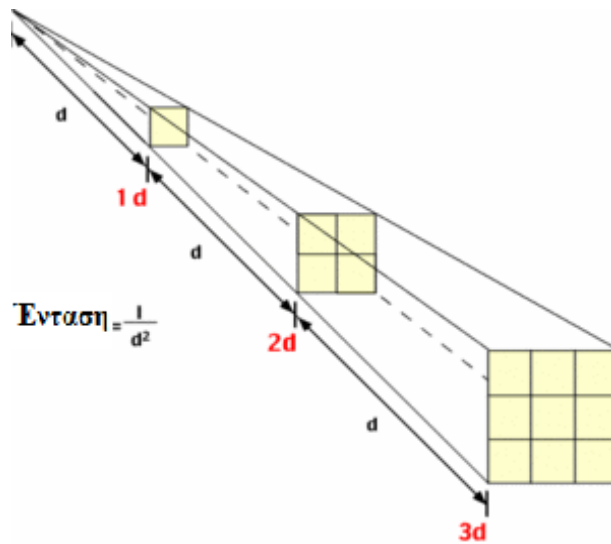
$$G_{on} = G_{sc} [1 + 0.033 \cos 360 \cdot DOY / 365]$$

Όπου: DOY οι ημέρες του έτους $DOY = 1, 2, 3, \dots, 365$

G_{on} : ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας και κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

Υπολογίζουμε την τιμή του G_{on} σε ένα φύλλο excel για κάθε ημέρα του έτους και δημιουργούμε το παρακάτω διάγραμμα το οποίο δείχνει την μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του έτους. Στη συνέχεια η ακτινοβολία αυτή εισέρχεται στην ατμόσφαιρα και βαθμιαία χάνει μέρος της ενέργειάς της.

Εξαιρετικό ενδιαφέρον έχει λοιπόν να γνωρίσουμε πως η ηλιακή ακτινοβολία χάνει μέρος της ενέργειάς της στη διάρκεια του ταξιδιού της μέχρι το γήινο έδαφος. Όπως είδαμε κατά την παραγωγή της η ακτινοβολία αυτή είναι πολύ μικρού μήκους κύματος και κατά τη διάρκεια της εκπομπής της στην επιφάνεια του Ήλιου το μήκος αυτό αυξάνεται χάνοντας ταυτόχρονα μέρος της ηλιακής ενέργειας. Παρ' όλα αυτά η ακτινοβολία εξακολουθεί να έχει μικρό μήκος κύματος καθώς εκπέμπεται στο κενό. Στη διάρκεια του ταξιδιού της ως την επιφάνεια της ατμόσφαιρας, η ακτινοβολία χάνει κι άλλη ενέργεια, ενώ το μήκος κύματός της αυξάνεται ακόμα περισσότερο μειώνοντας την πυκνότητα ισχύος της. Αυτό έχει να κάνει με την ισχύ ενός φυσικού νόμου γνωστού και ως Inverse Square Law. Με βάση αυτό το νόμο η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο μειώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, εφόσον η ένταση της ακτινοβολίας σε μία συγκεκριμένη απόσταση είναι μια μονάδα, σε διπλάσια απόσταση θα μειωθεί στο ένα τέταρτο. Αντίστοιχα σε τριπλάσια απόσταση θα μειωθεί στο ένα ένατο κ.ο.κ.



Σχ. 1.3 : Η μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας

1.4 Μηχανισμοί εξασθένησης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη γήινη ατμόσφαιρα

Από τη στιγμή που τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας θα εισέλθουν στην ατμόσφαιρα, θα επηρεαστούν από την ανομοιογενή κατανομή σωματιδίων οξυγόνου, διοξειδίου του άνθρακα, όζοντος, νερού, μονοξειδίου του άνθρακα, εξαθφοριούχου θείου και σκόνης και θα χάσουν κι άλλο μέρος της ενέργειάς τους, ενώ το μήκος κύματός τους θα εξακολουθήσει να αυξάνεται όσο αυτά διασχίζουν την ατμόσφαιρα και μέχρι να φτάσουν στο έδαφος. Τέλος, το ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει και τελικά ανακλάται από το έδαφος είναι μεγάλου μήκους κύματος.

Παρατηρούμε πως σταδιακά η ηλιακή ενέργεια εξασθενεί τόσο λόγω της απόστασης που διανύει η ακτινοβολία όσο και λόγω των εμποδίων που συναντά. Τελικά στο έδαφος, δηλαδή στο επίπεδο της θάλασσας, καταφέρνει να φτάσει κατά μέσο όρο σε πέντε ώρες καθημερινά 1kW/m^2 , ποσότητα που είναι γνωστή και ως ισχύς ενός ηλίου και αποτελεί πρότυπη ηλιακή ακτινοβολία για τις εφαρμογές των επίγειων ηλιακών μέσων. Αν μπορούμε στη διαδικασία να μετρήσουμε ετησίως την ισχύ αυτή κατά μέσο όρο φτάνουμε στα

102.000TW, ποσότητα τεράστια που είναι ικανή να μοιράζεται και να καλύπτει την πλειοψηφία των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη.

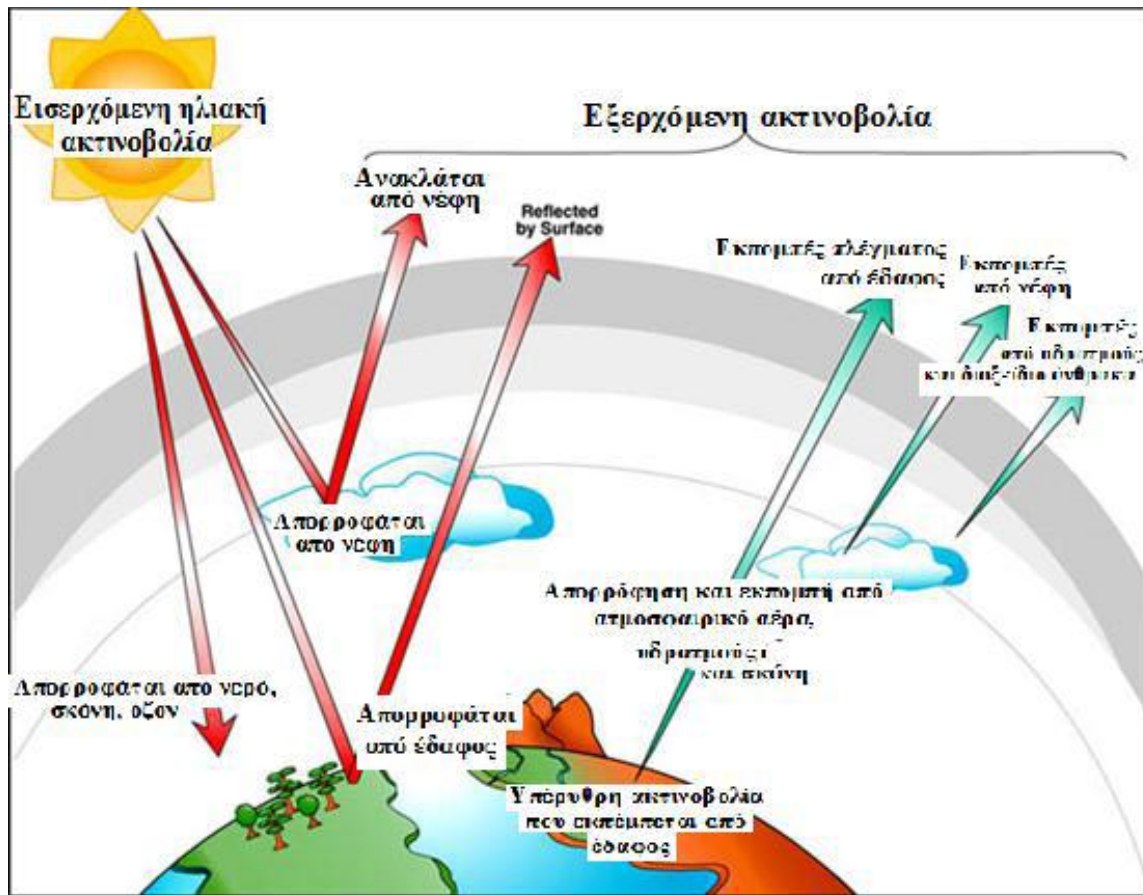
Η ποσότητα αυτή, όπως ειπώθηκε, είναι κατά πολύ μειωμένη λόγω διάφορων μηχανισμών που εκδηλώνονται στην ατμόσφαιρα και αξίζει να αναλυθούν:

Ο πρώτος μηχανισμός ονομάζεται απορρόφηση. Σε αυτή την περίπτωση η ακτινοβολία απορροφάται από τις διάφορες ενώσεις που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα, μετατρέπεται σε θερμότητα και ένα μικρό μέρος της επανεκπέμπεται στην ατμόσφαιρα σαν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Πιο συγκεκριμένα το όζον απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία, ενώ το διοξείδιο του άνθρακα, οι υδρατμοί και το εξαφθοριούχο θείο απορροφούν την υπέρυθη.

Ο δεύτερος μηχανισμός ονομάζεται σκέδαση. Σε αυτή την περίπτωση οι υδρατμοί, η σκόνη και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας εμποδίζουν την ακτινοβολία να διέλθει και την υποχρεώνουν να αλλάξει κατεύθυνση διάδοσης.

Ο τρίτος μηχανισμός ονομάζεται ανάκλαση. Σε αυτή την περίπτωση η ακτινοβολία ανακλάται σε διεπιφάνειες διαφορετικής οπτικής πυκνότητας.

Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 1.4 : Οι μηχανισμοί απορρόφησης σκέδασης και ανάκλασης

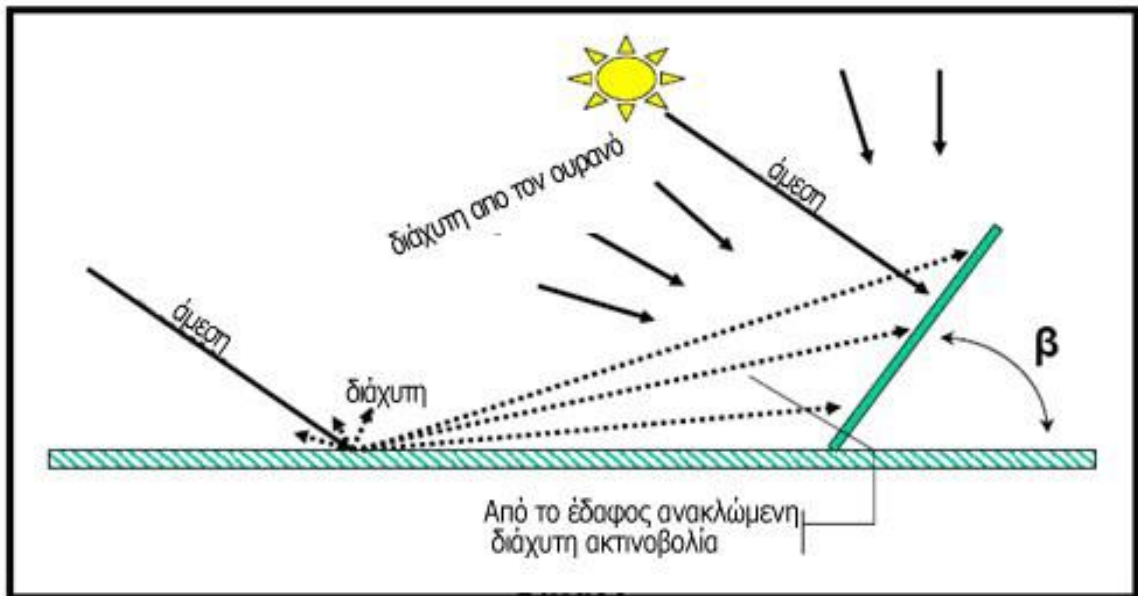
1.5 Ορισμοί και βασικές έννοιες της ηλιακής ακτινοβολίας

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζουμε ορισμούς και βασικές έννοιες που είναι χρήσιμες στην μελέτη της ηλιακής ακτινοβολίας:

Αέριος μάζα AM: Το ποσοστό που αναλογεί από το μήκος της μάζας της ατμόσφαιρας το οποίο διασχίζει η δέσμη της άμεσης ακτινοβολίας ως προς το μήκος της μάζας της ατμόσφαιρας που θα περνούσε εάν ο ήλιος ήταν στο ζενίθ του (δηλ., άμεσα από πάνω).

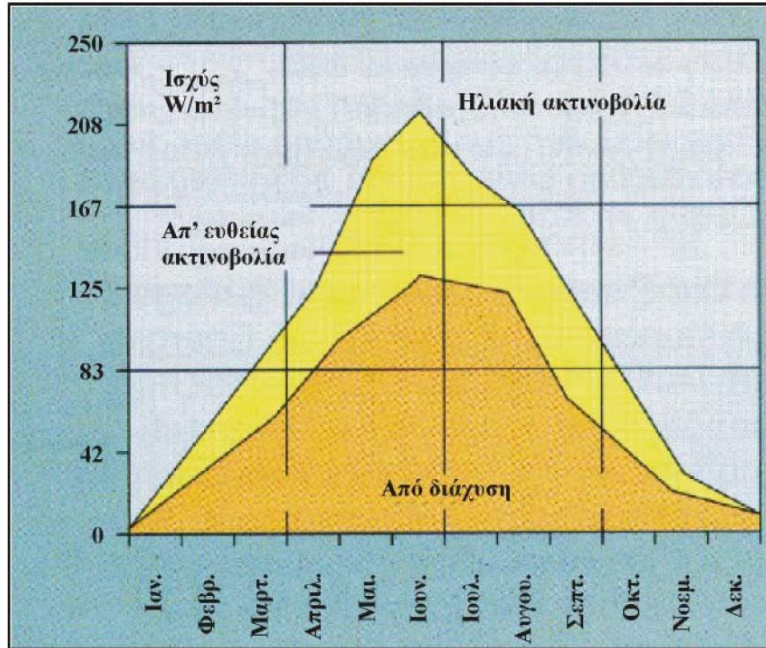
Κατά συνέπεια στη στάθμη της θάλασσας, $\mu = 1$ όταν είναι ο ήλιος στο ζενίθ και $\mu = 2$ για μια γωνία ζενίθ 60° . Για γωνίες ζενίθ από 0 έως 70° στη στάθμη της θάλασσας, κατά προσέγγιση $AM = 1/\cos\theta$

Άμεση ακτινοβολία: η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει απ' ευθείας από τον ήλιο χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα. (Η άμεση ακτινοβολία αναφέρεται συχνά ως direct ή beam ακτινοβολία) **Διάχυτη ακτινοβολία:** η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα (η σύμβαση που χρησιμοποιούμε σε αυτήν τη μελέτη θα διακρίνει τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία από την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα, αναφέρεται και ως diffuse ακτινοβολία.)

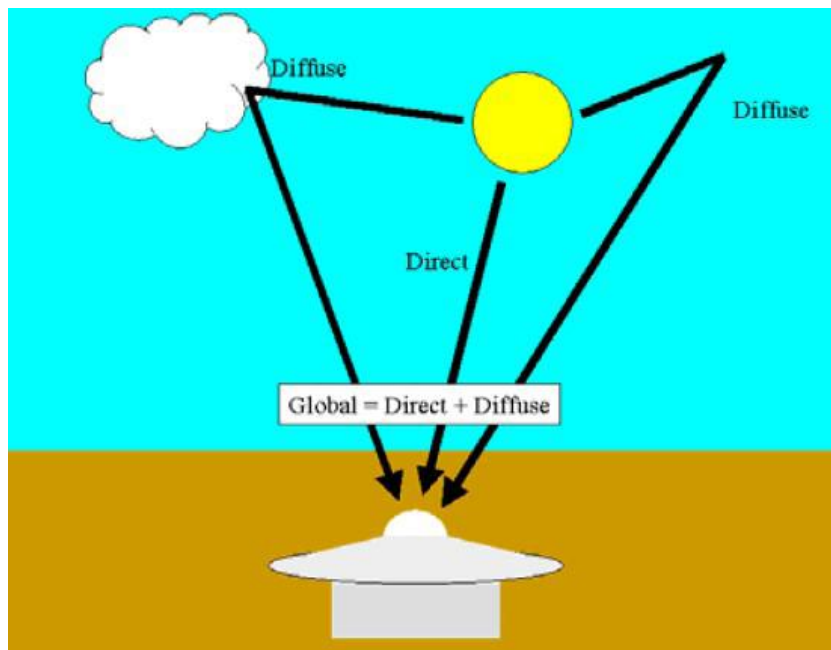


Σχ. 1.5 Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία.

Συνολική Ακτινοβολία: (total solar radiation) Το άθροισμα της άμεση και διάχυτη ηλιακής ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια (συνήθως οι μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας είναι μετρήσεις της συνολικής ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια, συχνά καλούμενη κοσμική ακτινοβολία.)



Σχ. 1.6 Αριστερά η κατανομή της μέσης ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο αναλυμένη σε άμεση και διάχυτη ακτινοβολία.



Σχ. 1.7 Δεξιά μέτρηση της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ακτινοβολία κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα υπόκειται απορρόφηση και σκέδαση (οι κυριότεροι απορροφητές είναι: τα νέφη, οι υδρατμοί, το όζον και το διοξείδιο του άνθρακα). Η ακτινοβολία που σκεδάζεται είναι η διάχυτη και ένα μέρος της επιστρέφει στο διάστημα. Η ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος χωρίς σκέδαση είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας G: Μονάδα W/m^2 ή mW/cm^2 , είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ακτινοβολία προσπίπτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας. Το σύμβολο G χρησιμοποιείται για να εκφράσει την πυκνότητα ισχύος της ηλιακή ακτινοβολία, με τους κατάλληλους δείκτες για την άμεση, τη διάχυτη ή τη συνολική ακτινοβολία.

Πυκνότητα ενέργειας ακτινοβολίας: μονάδα J/m^2 η προσπίπτουσα ενέργεια σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας. Υπολογίζεται από την ολοκλήρωση της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρόνου, συνήθως μια ώρα ή μια ημέρα.

Η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία είναι ένας όρος που ισχύει συγκεκριμένα για την ακτινοβολία ηλιακής ενέργειας. Το σύμβολο X χρησιμοποιείται για την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία για μια ημέρα. Το σύμβολο I χρησιμοποιείται για την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία για μια ώρα (ή άλλη περίοδο, εάν καθορίζεται). Τα σύμβολα X και I μπορούν να αντιπροσωπεύσουν την άμεση, τη διάχυτη ή τη συνολική ακτινοβολία και μπορούν να υπολογιστούν σε επιφάνειες οποιουδήποτε προσανατολισμού.

Χρησιμοποιούμε δείκτες στα I στο G και το X για να καθορίσουμε σε ποιο μέγεθος αναφέρονται. Συγκεκριμένα:

o: αναφέρεται στην ακτινοβολία έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα.

b: αναφέρεται στην άμεση.

d: αναφέρεται στη διάχυτη.

T: αναφέρεται στην ακτινοβολία σε μια κεκλιμένη επιφάνεια.

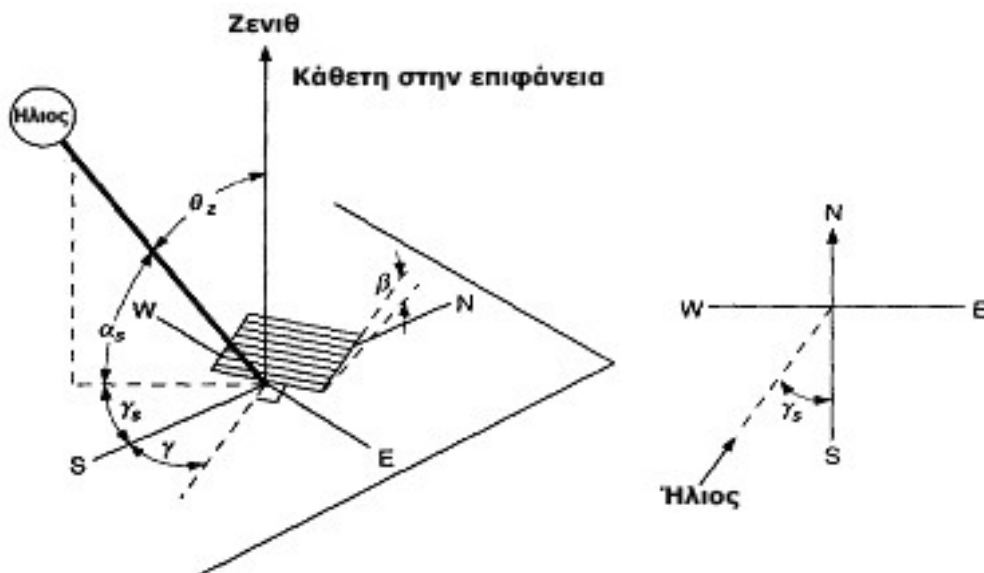
n : σε μια επιφάνεια κάθετη στην κατεύθυνση της διάδοσης.

Εάν ούτε το T ούτε το n εμφανίζονται, η ακτινοβολία αναφέρεται σε οριζόντιο επίπεδο.

Ηλιακή ώρα (solar time): η ηλιακή ώρα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό όλων των γωνιών που αναφέρονται στον ήλιο και διαφέρει από την τοπική ώρα λόγω της κλίσης του άξονα της γης και της εκλειπτικής τροχιάς της γύρω από τον ήλιο.

1.6 Υπολογισμός κατεύθυνσης ηλιακής ακτινοβολίας

Οι γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ μίας επιφάνειας οποιουδήποτε προσανατολισμού σχετικά με τη γη, οποιαδήποτε στιγμή (είτε η επιφάνεια είναι σταθερή είτε κινούμενη σε σχέση με τη γη) και η εισερχόμενη άμεση ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η θέση του ήλιου σχετικά με την επιφάνεια, μπορεί να περιγραφεί από διάφορες γωνίες [Benford και Bock (1939)].



Σχ. 1.8 Γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ μίας επιφάνειας και του ηλίου.

Ο υπολογισμός της κατεύθυνσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας είναι το πιο σημαντικό στοιχείο και απαιτείται όταν επιθυμούμε να υπολογίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία σε μία επιφάνεια στη γη. Αν γνωρίζουμε τη σχετική θέση του ηλίου και της επιφάνειας που μελετάμε τότε μπορούμε να υπολογίσουμε και την ακτινοβολία που

δέχεται η επιφάνεια μας σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο.

Στο υπόλοιπο αυτής της παραγράφου θα δούμε τις πιο σημαντικές, για αυτήν την εργασία, γωνίες που περιγράφουν τη θέση ηλίου- γης στη διάρκεια μίας ημέρας καθώς και το πώς αυτές υπολογίζονται:

Χρησιμοποιούμε πολικό σύστημα συντεταγμένων με τη θέση του ηλίου να προσδιορίζεται πλήρως από την απόσταση του από τη γη και τις γωνίες γ_S και θ_Z όπως αυτές ορίζονται παρακάτω. (Ως απόσταση του ηλίου θεωρούμε τη μέση απόσταση από τη γη σε ένα έτος και εκφράζεται στις εξισώσεις μέσω της ηλιακής σταθεράς $sc G$).

γ_S : η γωνιακή απόκλιση της άμεσης ακτινοβολίας από το νότο σε οριζόντιο επίπεδο, ανατολικά έχει αρνητικές τιμές ενώ δυτικά θετικές.

θ_Z : γωνία ζενίθ η γωνία που σχηματίζει η άμεση ηλιακή ακτινοβολία με την κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο.

Η θέση της επιφάνειας χαρακτηρίζεται από τις γωνίες:

ϕ : γεωγραφικό πλάτος, γωνιακή θέση νότια ή βόρεια του ισημερινού, βόρεια θετική

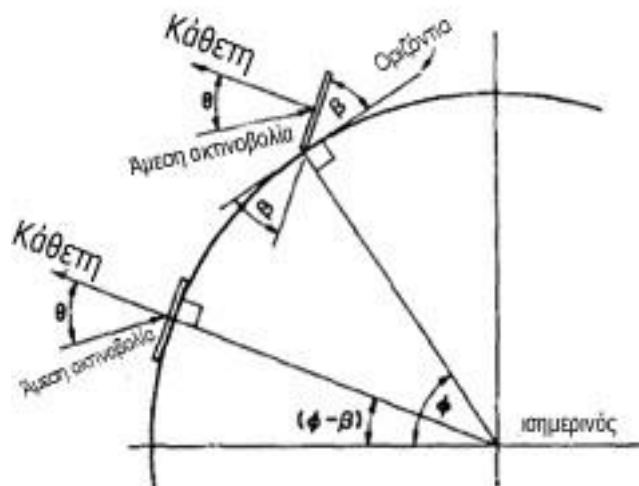
$Lloc$: γεωγραφικό μήκος, η γωνιακή θέση ανατολικά ή δυτικά του μεσημβρινού αναφοράς.

γ : η οριζόντια γωνία που σχηματίζει η προβολή της καθέτου της επιφάνειας, στο οριζόντιο επίπεδο, με τον τοπικό μεσημβρινό (δηλαδή τον νότο), ανατολικά έχει αρνητικές τιμές ενώ δυτικά θετικές. ($-180 < \gamma < 180$). (σχήμα 1.9).

β : η γωνία που σχηματίζει η επιφάνειά μας με το οριζόντιο επίπεδο.

Για τον υπολογισμό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια απαιτείται ο υπολογισμός των γωνιών:

θ : γωνία πτώσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια, σε σχέση με την κάθετο στην επιφάνεια (για οριζόντια επιφάνεια ισούται με θ_Z).



Σχ. 1.9 Η γωνία θ που σχηματίζει η άμεση ηλιακή ακτινοβολία με επιφάνεια κλίσης β σε γεωγραφικό πλάτος ϕ

δ : η γωνιακή απόκλιση του ηλίου το ηλιακό μεσημέρι (δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στον τοπικό μεσημβρινό) με αναφορά στον ισημερινό, βόρεια θετική.

Ω : η ωριαία γωνία του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης στον άξονά του.

Υπάρχει ένα σύνολο εξισώσεων που συνδέει όλες τις παραπάνω γωνίες. Η σχέση που συνδέει τη γωνία πτώσης της άμεση ακτινοβολίας, θ , σε μία επιφάνεια σε σχέση με τις υπόλοιπες γωνίες είναι:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega$$

$$\cos\theta = \cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta \cos(\gamma_s - \gamma)$$

Στην περίπτωση της οριζόντιας επιφάνειας η γωνία θ είναι ίση με τη γωνία ζενίθ του ηλίου και η τιμή της πρέπει να είναι μεταξύ 0 και 90 όταν ο ήλιος είναι πάνω από τον ορίζοντα. Στην περίπτωση αυτή ισχύει:

$$\beta=0, \theta=\theta_z$$

$$\cos\theta = \cos\delta \cos\varphi \cos\beta \cos\omega + \sin\delta \sin\varphi$$

$$\theta = \theta_z$$

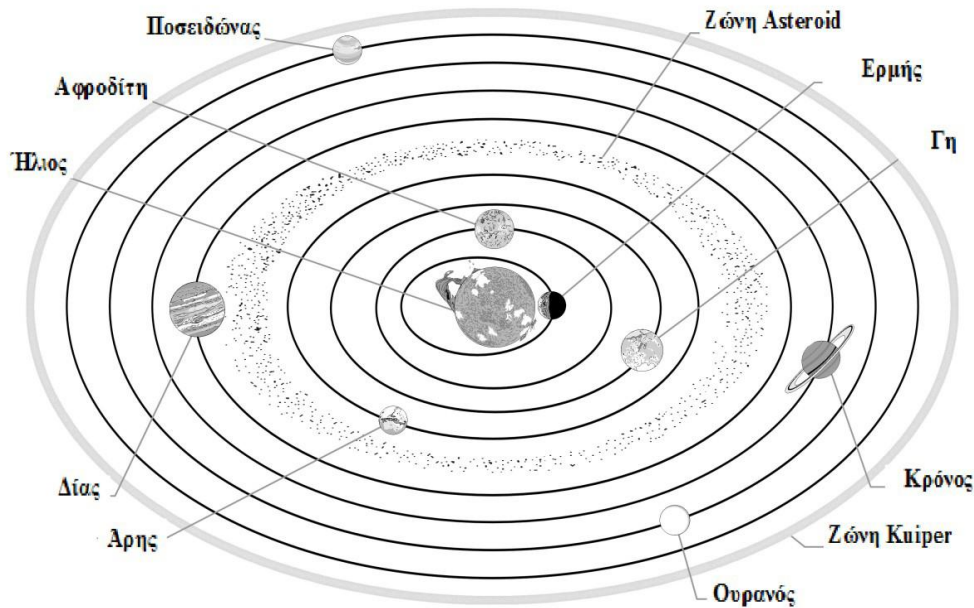
Όμως για $\beta=0$ (οριζόντια επιφάνεια) και $\theta_z=90^\circ$ (δηλαδή η ώρα του ηλιοβασιλέματος) η σχέση γίνεται:

$$\cos\omega = -\sin\varphi \sin\delta / \cos\varphi \cos\delta = -\tan\varphi \tan\delta$$

Κεφάλαιο Δεύτερο: Ηλιακή γεωμετρία

2.1 Ήλιος και Γη

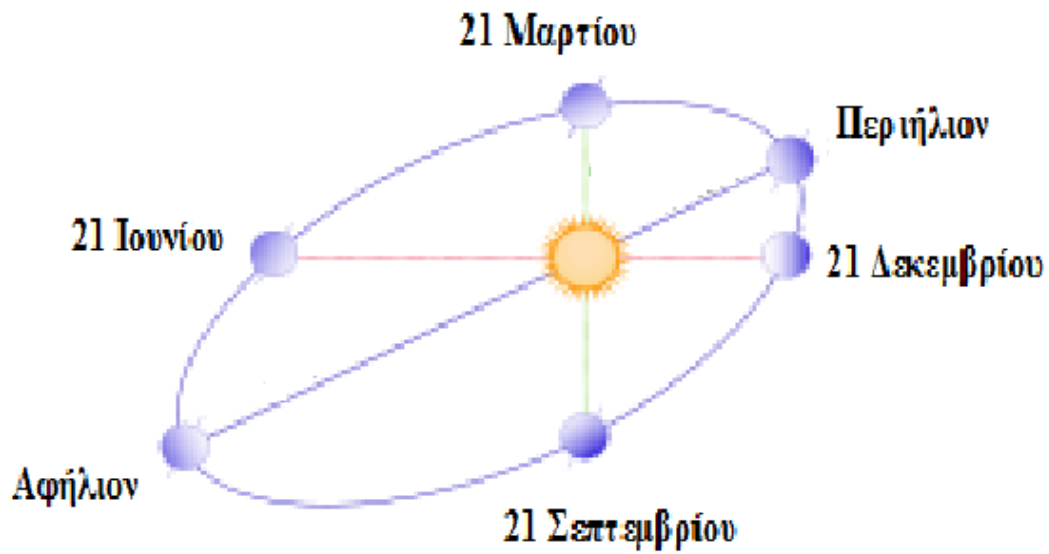
Ο Ήλιος είναι ένας αστέρας της κύριας ακολουθίας με φασματικό τύπο G2 V, έχει δηλαδή μεγαλύτερη μάζα και θερμοκρασία από ότι ένα μέσο αστέρι αλλά σημαντικά μικρότερη από έναν μπλε γίγαντα. Ακολουθεί μία τροχιά μέσα στον Γαλαξία σε μία απόσταση 25.000 με 28.000 έτη φωτός από το κέντρο του, ολοκληρώνοντας μία περιφορά σε περίπου 226 εκατομμύρια έτη. Γύρω από τον Ήλιο έχουν τις τροχιές του οι οκτώ πλανήτες, μεταξύ τους και η Γη.



Σχ. 2.1 : Το Ηλιακό σύστημα

Στην αντίληψη του μεγέθους τού Ήλιου συχνά γίνεται λόγος του όρου "φαινόμενη διάμετρος του Ηλίου". Φαινόμενη διάμετρος του Ηλίου η οποία είναι η γωνία $ΑΓΒ$ με την οποία παρατηρείται ο Ήλιος από τη Γη όταν A και B είναι αντιδιαμετρικά σημεία της περιφέρειας του δίσκου του Ηλίου και $Γ$ το σημείο της Γης (του παρατηρητή). Η διχοτόμος $ΑΓΒ$ εκφράζει την απόσταση Γης-Ηλίου. Η φαινόμενη διάμετρος του Ήλιου μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους: Στις 3 Ιανουαρίου λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή, ίση προς $32' 36''{,}2$ ενώ στις 4 Ιουλίου περιορίζεται στην ελάχιστη τιμή των $31' 32''$.

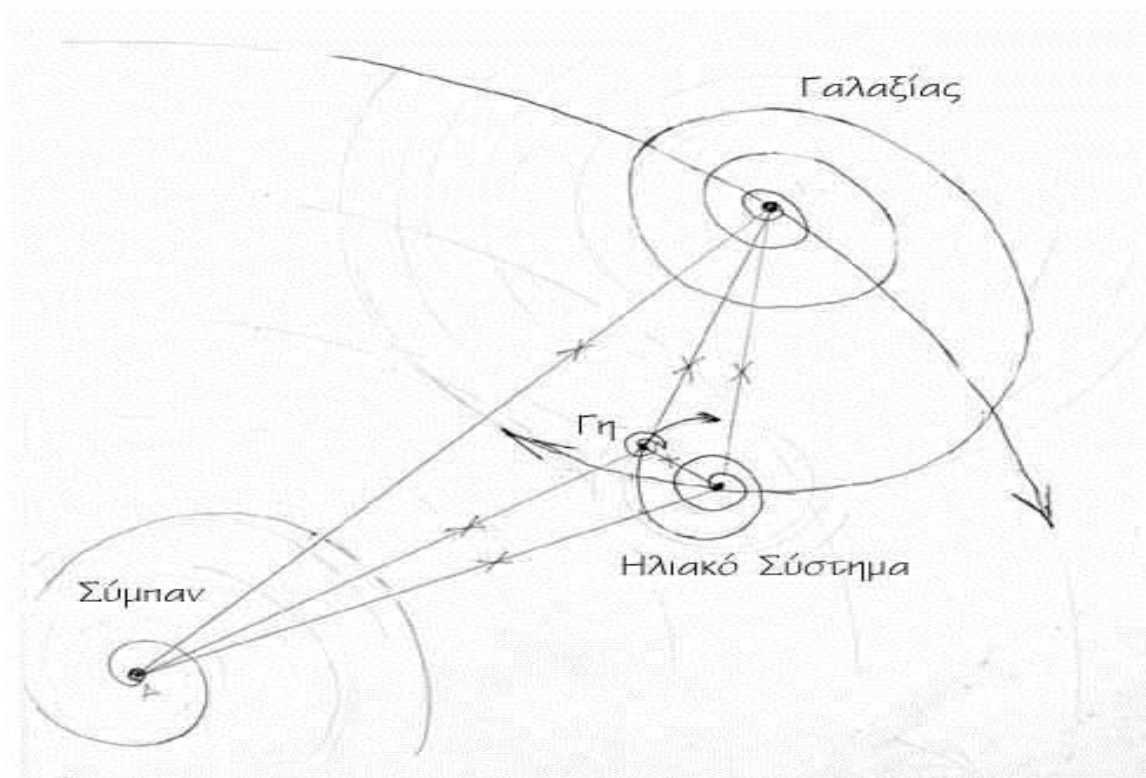
Αυτή η μεταβολή της φαινόμενης διαμέτρου αποδεικνύει ότι η Γη δεν περιφέρεται γύρω τον Ήλιο σε κυκλική τροχιά αλλά σε ελλειπτική σε τρόπο ώστε την 4η Ιανουαρίου η απόσταση Γης-Ηλίου να λαμβάνει την ελάχιστη τιμή των 147.098.074 km και στις 4 Ιουλίου τη μέγιστη τιμή των 152.100.000 km. Έτσι η μέση τιμή της απόστασης είναι



Σχ. 2.2 Περιφορά της Γης γύρω από τον Ήλιο

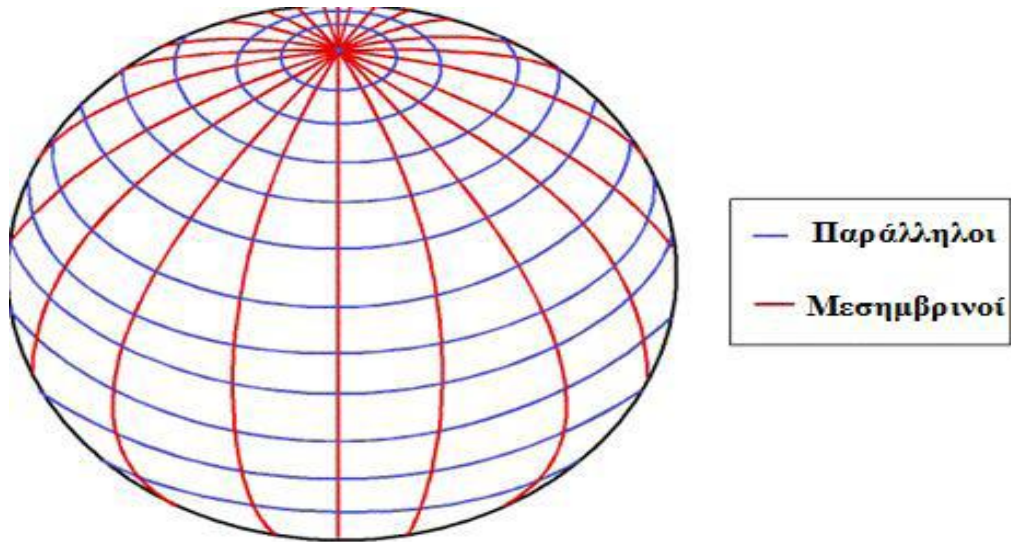
Η Γη όμως δεν περιφέρεται μόνο γύρω από τον Ήλιο. Στην πραγματικότητα πραγματοποιεί τέσσερις κινήσεις: την περιστροφή γύρω από τον άξονά της, την περιφορά γύρω από τον Ήλιο, την ηλιακή μεταβατική περιφορά που πραγματοποιεί ακολουθώντας την περιστροφή του Ηλιακού συστήματος και την Γαλαξιακή μεταβατική

περιφορά που πραγματοποιεί ακολουθώντας την περιστροφή του Γαλαξία



Σχ. 2.3 Κινήσεις της Γης

Οι πιο σημαντικές κινήσεις οι οποίες και θα μελετηθούν είναι οι δύο πρώτες. Για τη μελέτη αυτή είναι απαραίτητο να αναφερθούν κάποια στοιχεία όσον αφορά τον προσδιορισμό της θέσης ενός παρατηρητή στο γήινο έδαφος. Όπως είναι γνωστό, η οποιαδήποτε θέση πάνω στη Γη προσδιορίζεται με τη βοήθεια κάθετων ημικυκλίων που ονομάζονται μεσημβρινοί και οριζόντιων παράλληλων κύκλων που ονομάζονται παράλληλοι

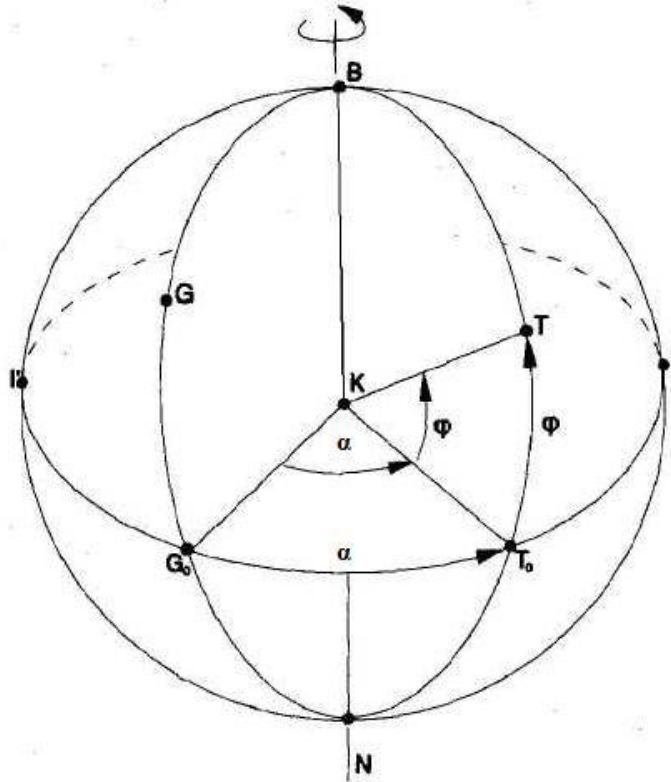


Σχ.

2.4 Μεσημβρινοί και Παράλληλοι κύκλοι

Αρχή σε αυτό το σύστημα αποτελούν ο μεσημβρινός του Γκρίνουιτς (Greenwich) και ο Ισημερινός και γι' αυτό το σημείο τομής τους αποτελεί το σημείο αναφοράς στην επιφάνεια της Γης.

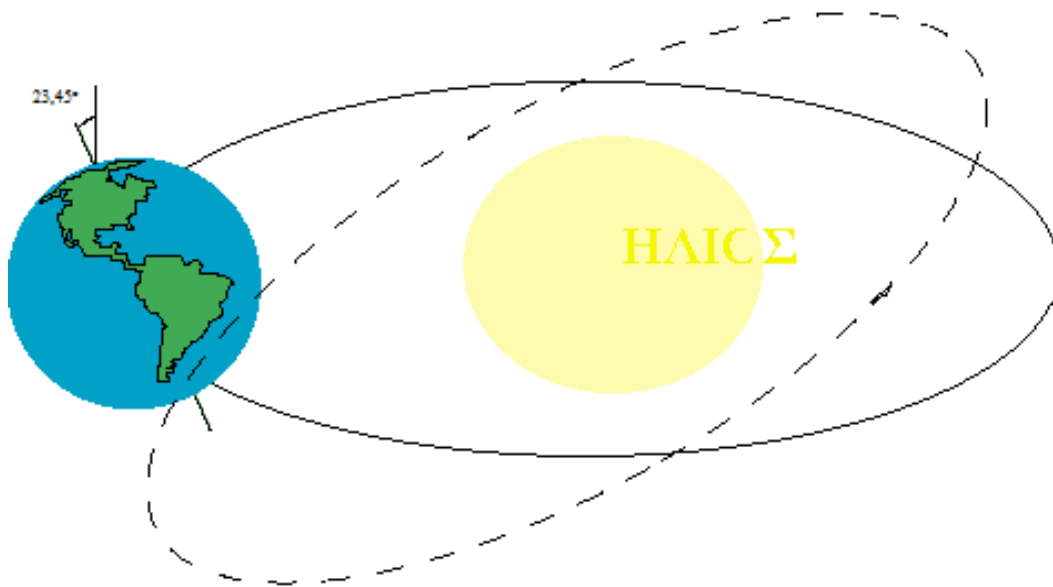
Η Γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του Ισημερινού και μία νοητή γραμμή που ενώνει το κέντρο της Γης με την τοποθεσία που πρόκειται να προσδιοριστεί ονομάζεται γεωγραφικό πλάτος φ (Geographic Latitude) και παίρνει θετικές τιμές στο Βόρειο ημισφαίριο. Αντίστοιχα, η γωνία από τον πρώτο μεσημβρινό ονομάζεται γεωγραφικό μήκος α ή αλλιώς Local (Geographic Longitude) και το πρόσημο της είναι διαφορετικό δυτικά και ανατολικά του μεσημβρινού του Greenwich. Το ζεύγος (α, φ) αποτελούν τις συντεταγμένες του τόπου. Για παράδειγμα σε όλη την εργασία οι συντεταγμένες για την Αθήνα έχουν ληφθεί ως $\varphi=37,960$ και $\alpha=\pm 23,720$ (αναλόγως το θεωρητικό μοντέλο που χρησιμοποιούμε).



Σχ. 2.5 Προσδιορισμός Γεωγραφικών Συντεταγμένων

2.2 Σχετική κίνηση Ήλιου-Γης

Όπως αναφέρθηκε η Γη βρίσκεται σε μία διαρκή κίνηση τόσο γύρω από τον εαυτό της όσο και γύρω από τον ήλιο. Η περιστροφή της γύρω από τον Ήλιο ολοκληρώνεται σε 365,25 ημέρες, ενώ η περιστροφή γύρω από τον πολικό της άξονα ολοκληρώνεται σε 23 ώρες και 56 λεπτά. Η τροχιά της σχηματίζει μία έλλειψη, η οποία ορίζει το εκλειπτικό επίπεδο. Όσον αφορά τον πολικό άξονα της Γης, όπως πλέον γνωρίζουμε, δεν είναι κατακόρυφος αλλά σχηματίζει γωνία $\delta = 23,45^\circ$ με την κάθετη στο εκλειπτικό επίπεδο. Η γωνία αυτή ονομάζεται γωνιακή απόκλιση.



Σχ. 2.6 Ελλειπτική τροχιά Γης- γωνιακή απόκλιση

2.3 Μοντέλο μελέτης κίνησης

Επειδή παρατηρούμε τον ήλιο από τη Γη, το να μελετήσουμε τη γεωμετρία του γίνεται πολύ δύσκολο, δεδομένου του ότι ο παρατηρητής κινείται. Τέτοιου είδους περίπλοκες θεωρήσεις και υπολογισμοί μπορούν να απλοποιηθούν θεωρώντας τη Γη σαν κέντρο ελλειπτικής τροχιάς στην οποία κινείται αυτή τη φορά, ο ήλιος. Στο απλοποιημένο αυτό μοντέλο ο άξονας της γης γίνεται κατακόρυφος ενώ το επίπεδο στο οποίο ορίζεται η ελλειπτική τροχιά του ήλιου σχηματίζει γωνία με το επίπεδο που ορίζεται από τον ισημερινό της Γης (ουράνιος ισημερινός) ίση με την ηλιακή απόκλιση.

Στην πραγματικότητα το μοντέλο αυτό αντιστοιχίζεται πλήρως στην πραγματική κίνηση των ουράνιων σωμάτων τοποθετώντας τον παρατηρητή πάνω στη Γη και όχι έξω από το σύστημα.



Σχ. 2.7 Μοντέλο σχετικής κίνησης Ήλιου-Γης

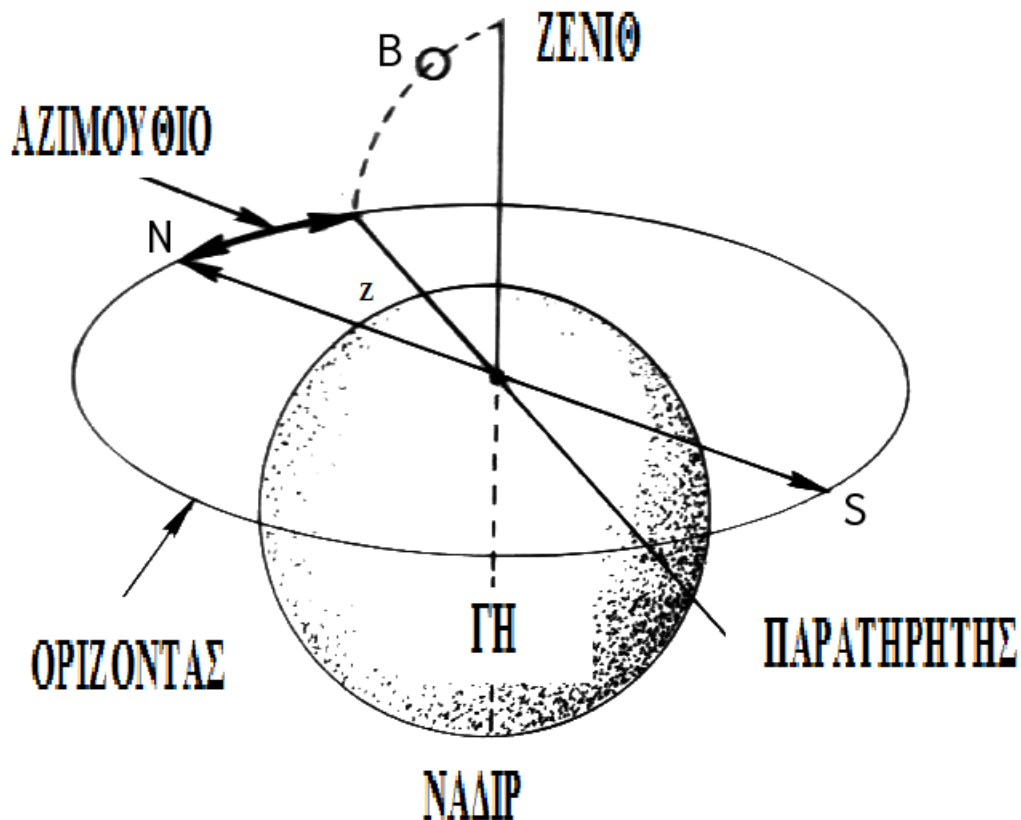
Το μοντέλο αυτό που περιγράφει πλέον την κίνηση «του Ήλιου ως προς τη Γη» επιτρέπει σε παρατηρητή ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο της Γης να εντοπίζει τον ήλιο σε γωνία δ από τον ουράνιο ισημερινό. Όμως ούτε αυτή η θέση ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, εφόσον δεν είναι πιθανή θέση για παρατηρητή! Γι' αυτό το λόγο πρέπει να συνυπολογιστεί η πραγματική θέση του παρατηρητή πάνω στη γήινη σφαίρα. Αυτό προϋποθέτει τη μεταφορά του συστήματος συντεταγμένων στο εκάστοτε ζητούμενο σημείο συνυπολογίζοντας τις συντεταγμένες του τόπου.

Μετά τη μεταφορά των συντεταγμένων όλοι οι υπολογισμοί γίνονται στο «φυσικό» σύστημα συντεταγμένων για κάθε παρατηρητή που βρίσκεται επάνω στην επιφάνεια της Γης. Το σύστημα αυτό αναφέρεται σε επίπεδο εφαπτόμενο σε συγκεκριμένη θέση και τέμνει την ουράνια σφαίρα στον ορίζοντα. Αυτή η θεώρηση είναι εξαιρετικά λειτουργική

αφού ο ήλιος θεωρούμε ότι κινείται πάνω στην ουράνια σφαίρα. Σημαντικό για το μοντέλο και συχνά αναφερόμενο είναι το σημείο ζενίθ που αποτελεί σημείο τομής της κάθετης στο οριζόντιο επίπεδο και της ουράνιας σφαίρας.

Για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του ήλιου στην ουράνια σφαίρα μας χρειάζονται δύο γωνίες που αποτελούν και τις συντεταγμένες του. Η γωνία β που σχηματίζεται μεταξύ του οριζόντιου επιπέδου και της νοητής γραμμής που ενώνει τον παρατηρητή και τον ήλιο ονομάζεται ύψος ηλίου και αποτελεί την πρώτη συντεταγμένη. Η γωνία Z σχηματίζεται μεταξύ μιας ορισμένης κατεύθυνσης που θα αναφέρεται στο νότο και της προβολής του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο ονομάζεται αζιμούθιο και αποτελεί τη δεύτερη συντεταγμένη. Η γωνία β μπορεί να πάρει τιμές από 0° έως 90° . Η τιμή 0° αναφέρεται στη δύση ή την ανατολή ενώ οι 90° αποτελούν το ανώτερο ύψος ηλίου που μπορεί να προσεγγιστεί μόνο για συγκεκριμένα γεωγραφικά πλάτη και για συγκεκριμένες ημέρες του χρόνου. Το αζιμούθιο Z μπορεί να πάρει τιμές από -180° έως 180° . Η τιμή 0° αντιστοιχεί στο νότο ενώ έχουμε θετικές τιμές όσο κινούμαστε προς τη δύση. Το ζεύγος (β, Z) αρκεί για τον πλήρη προσδιορισμό της θέσης του ηλίου στην ουράνια σφαίρα.

Βοηθητικά χρησιμοποιείται η γωνία ϕZ η οποία σχηματίζεται μεταξύ του ζενίθ και της νοητής ευθείας που ενώνει τον παρατηρητή με τον ήλιο και είναι συμπληρωματική της β .



Σχ. 2.8 Τροχιά και συντεταγμένες Ηλίου στον ουράνιο θόλο.

2.3.1 Ηλιακή ώρα

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας στη μελέτη της κίνησης του ήλιου είναι η ηλιακή ώρα δηλαδή η ώρα που αναφέρεται στον ήλιο. Η ηλιακή ώρα T_{solar} διαφέρει από την ώρα του εκάστοτε τόπου αφού η τοπική ώρα T_{local} εξαρτάται από το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του κάθε τόπου όπως επίσης και από την ημέρα του έτους στην οποία αναφέρεται ο υπολογισμός. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρειάζονται διορθώσεις στην τοπική ώρα ώστε να προσεγγίσουμε την T_{solar} .

2.3.1.1 Μεσημβρινός αναφοράς

Για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα της θέσης του ζητούμενου τόπου προσαρμόζουμε χρονικά το συγκεκριμένο γεωγραφικό του μήκος στην αντίστοιχη ζώνη ώρας. Ο

συλλογισμός αυτός βασίζεται στο ότι η Γη στρέφεται κατά 15ο ανά μία ώρα και είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη ζώνη ώρας του τόπου ΔT_{GMT} δηλαδή τη διαφορά ώρας με την ώρα GMT (Greenwich 31 mean time). Με αυτό τον τρόπο υπολογίζουμε τις μοίρες του μεσημβρινού αναφοράς L_{st} με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου

$$L_{st} = 150 / h \times \Delta T_{GMT}$$

Για παράδειγμα αν θέλαμε να υπολογίσουμε το μεσημβρινό αναφοράς της Ελλάδας από τον τύπο θα παίρναμε ότι $L_{st} = 150 / h \times (-2)$ $h = -300$ αφού η ζώνη ώρας για την Ελλάδα είναι -2 h.

2.3.1.2 Μήκος τόξου

Αφού βρήκαμε τον μεσημβρινό αναφοράς είναι απαραίτητο να διορθώσουμε την ώρα για το συγκεκριμένο γεωγραφικό μήκος του τόπου. Δεδομένου του ότι η Γη στρέφεται κατά 1ο ανά 4min η διόρθωση αντιστοιχεί στον παρακάτω τύπο

$$4 \text{min/o} * (L_{st} - L_{local})$$

2.3.1.3 Εξίσωση χρόνου

Το πρόβλημα που προκύπτει από χρονικές παρεκκλίσεις λόγω της συγκεκριμένης ημέρας του έτους που μελετάμε επιλύεται μέσα από τη χρήση μίας εμπειρικής εξίσωσης χρόνου E η οποία συνυπολογίζει την χρονική διάρκεια που χρειάζεται ο ήλιος για να ολοκληρώσει την τροχιά του στην ουράνια σφαίρα. Οι αποκλίσεις στη διάρκεια αυτή οφείλονται τόσο στην κάλυψη άνισων αποστάσεων κατά την περιστροφή της Γης γύρω από τον ήλιο, όσο και στην κλίση του άξονα της Γης ως προς το επίπεδο περιστροφής.

Δύο από τις πιο γνωστές μεθόδους υπολογισμού της εξίσωσης χρόνου E είναι οι εξής:

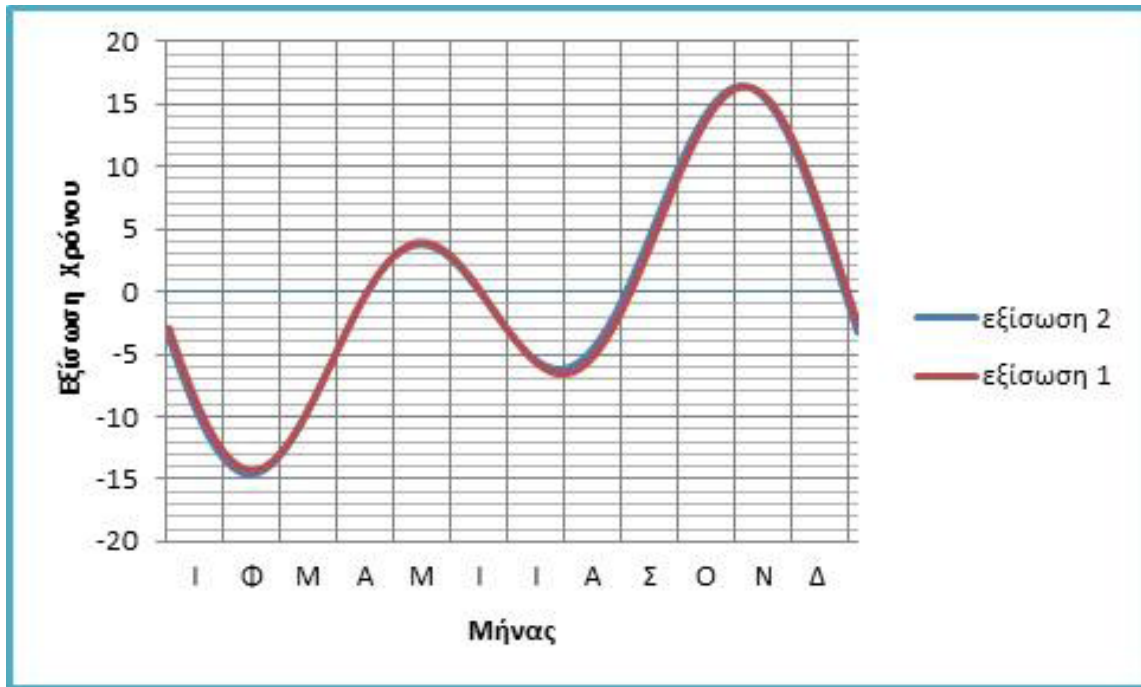
$$A) E = 229,2 * (0,000075 + 0,001868 * \cos B - 0,032077 * \sin B - 0,014615 * \cos(2 * B) - 0,04089 * \sin(2 * B))$$

Όπου $B = (D_o Y - 1) * 360 / 365$, η γωνία ημέρας που εξαρτάται από την ημέρα του έτους Day of Year και σχετίζεται με την πρώτη μέρα του έτους.

$$B) E = 9,87 * \sin(2*B) - 7,53 * \cos B - 1,5 * \sin B$$

Όπου $B = (DoY - 81) * 360 / 365$, η γωνία ημέρας που εξαρτάται από την ημέρα του έτους Day of Year και σχετίζεται με την εαρινή ισημερία στην 21^η Μαρτίου.

Όπως είναι φανερό η δεύτερη εξίσωση είναι πολύ πιο εύχρηστη από την πρώτη αφού είναι αρκετά πιο απλή. Για να τη χρησιμοποιήσουμε βέβαια θα πρέπει να αποδειχθεί ότι δίνει τα ίδια αποτελέσματα με την πρώτη. Γι' αυτό το λόγο κατασκευάστηκε το παρακάτω συγκριτικό διάγραμμα των εξισώσεων για όλες τις μέρες του χρόνου:



Σχ. 2.9 Γραφική Παράσταση Εξίσωσης Χρόνου

Παρατηρούμε ότι οι δύο γραφικές παραστάσεις συμπίπτουν, κάτι που μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε τη δεύτερη για τους υπολογισμούς μας.

Χρησιμοποιώντας όλες τις παραμέτρους που προαναφέρθηκαν καταλήγουμε στον παρακάτω συνοπτικό τύπο για τον υπολογισμό της T_{solar} για δεδομένη T_{local} .

$$T_{solar} = T_{local} + E + 4min/o * (Lst - Llocal)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι για την T_{local} λαμβάνεται υπόψη μόνο η χειμερινή ώρα και όχι η θερινή αφού θεωρείται σύμβαση.

2.3.2 Ηλιακή απόκλιση δ

Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της θέσης του ηλίου στην ουράνια σφαίρα είναι η ηλιακή απόκλιση δ δηλαδή η γωνία μεταξύ του επιπέδου του ουράνιου ισημερινού και της νοητής ευθείας μεταξύ Γης και ήλιου. Όπως ειπώθηκε και παραπάνω η γωνία δ θα είναι 23,45ο στο θερινό ηλιοστάσιο, -23,45ο στο χειμερινό ηλιοστάσιο ενώ θα μηδενίζεται στις δύο ισημερίες. Υπάρχουν δύο τύποι που συνυπολογίζουν την επίδραση της 33 ημέρας του έτους στη γωνία δ . Αυτοί είναι:

$$\delta(o)=23,45o * \sin[(360o / 365)*(DoY+284)]$$

&

$$\delta(o)=23,45o * \sin[(360o / 365)*(DoY-81)]$$

Και οι δύο τύποι βασίζονται στο γεγονός ότι κατά την εαρινή ισημερία ($DoY=81$) η γωνία δ μεγιστοποιείται και γι' αυτό το λόγο ο πρώτος χρησιμοποιεί τον όρο 284 δηλαδή όσες μέρες έχουν περάσει από την εαρινή ισημερία μέχρι την πρώτη Γενάρη ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιεί τον όρο 81 δηλαδή όσες μέρες έχουν περάσει από την πρώτη Γενάρη μέχρι την εαρινή ισημερία. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ των τύπων και στη συνέχεια θα χρησιμοποιείται ο πρώτος.

2.3.3 Γωνία ώρας ω

Η τελευταία σημαντική γωνία την οποία θα χρησιμοποιήσουμε ώστε να προσδιορίσουμε πλήρως την τροχιά του ηλίου στην ουράνια σφαίρα είναι η ηλιακή γωνία ώρας ω . Η ω ορίζεται ως η γωνία εκείνη ανάμεσα στη νοητή γραμμή που ενώνει την εκάστοτε θέση

του ηλίου στην ουράνια σφαίρα με τον παρατηρητή και τη νοητή γραμμή που ενώνει τον παρατηρητή με το ζενίθ του ηλίου για τον κάθε τόπο.

Η ηλιακή γωνία ώρας θεωρείται μηδενική στην περίπτωση που ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ της τροχιάς του (ηλιακό μεσημέρι). Οι γωνίες ω που δημιουργούνται ανατολικότερα του ηλιακού μεσημεριού θεωρούνται αρνητικές, ενώ εκείνες που δημιουργούνται δυτικά του ζενίθ μετά το ηλιακό μεσημέρι θεωρούνται θετικές.

Επειδή, όπως έχει αναφερθεί, η Γη κινείται με 15 ω /h, υπολογίζουμε την εκάστοτε γωνία ω μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται μέχρι το ηλιακό μεσημέρι ή που έχει περάσει από το ηλιακό μεσημέρι με τη βοήθεια της ηλιακής ώρας και καταλήγουμε στον παρακάτω απλό τύπο:

$$\omega = 15\omega/h*(T_{\text{solar}} - 12)$$

2.3.4 Συντεταγμένες του Ήλιου

Με βάση όλα όσα προαναφέρθηκαν μπορούμε πλέον να καταλήξουμε στις εξισώσεις που θα προσδιορίζουν τις συντεταγμένες (β, Z) της θέσης του Ήλιου:

Για το ύψος Ηλίου β και ταυτόχρονα τη συμπληρωματική φZ ισχύει ότι:

$$\sin\beta = \sin\delta*\sin\varphi + \cos\delta*\cos\varphi*\cos\omega = \cos\varphi Z$$

και για το αζιμούθιο Z ισχύει:

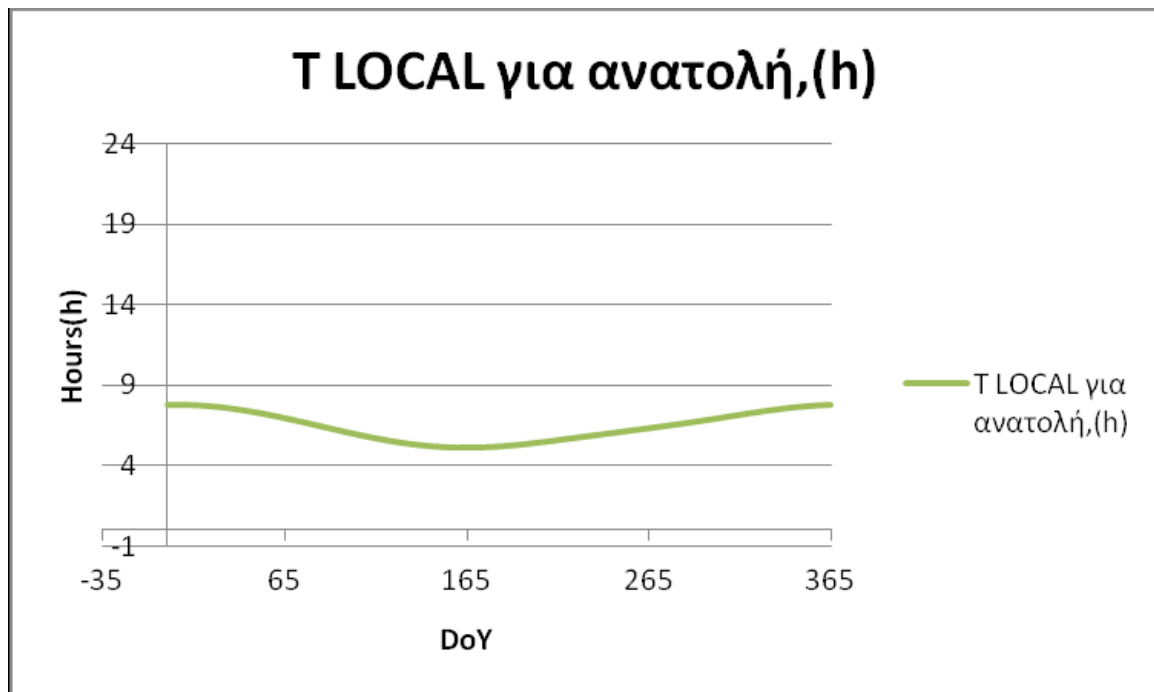
$$\cos Z = (\sin\beta*\sin\varphi - \sin\delta)/(\cos\beta*\cos\varphi)$$

Απαραίτητες για τον υπολογισμό των συντεταγμένων (β, Z) θεωρούνται και οι ώρες ανατολής, δύσης και ηλιοφάνειας για τον κάθε τόπο. Οι ώρες αυτές διαφέρουν τόσο ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες όσο και με την συγκεκριμένη ημέρα του χρόνου για την οποία έγινε η μελέτη. Η χρησιμότητά τους σε ένα διάγραμμα β - Z είναι

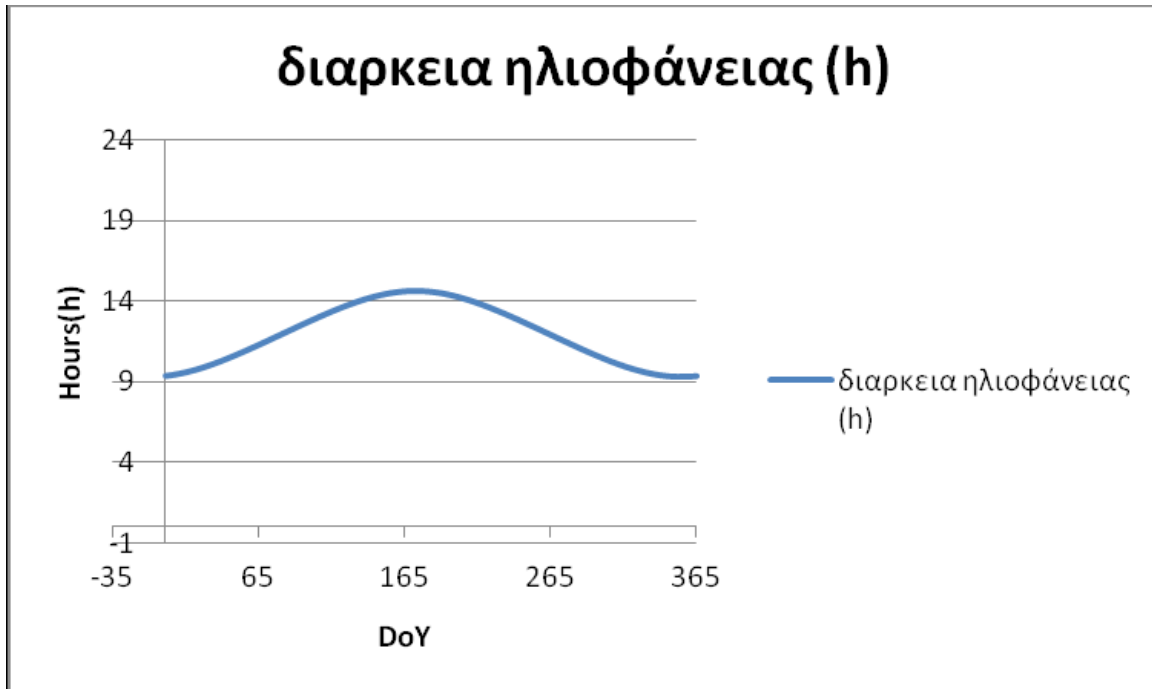
αυτονόητη αφού προσδιορίζουν την έναρξη και τη λήξη των υπολογισμών μας όπως επίσης και το πλήθος τους.

Για την εύρεσή τους έγινε η εξής θεώρηση: γνωρίζουμε ότι τη στιγμή της ανατολής και τη στιγμή της δύσης το ύψος Ηλίου β μηδενίζεται. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις προαναφερθείσες εξισώσεις βρίσκεται η τοπική ώρα T_{local} η οποία αναφέρεται στις μηδενικές τιμές του β και έτσι προκύπτουν οι ώρες ανατολής και δύσης. Τέλος, αφαιρώντας τις στιγμές έναρξης και λήξης της ηλιακής τροχιάς μπορούμε να βρούμε τη διάρκεια ηλιοφάνειας για κάθε ημέρα.

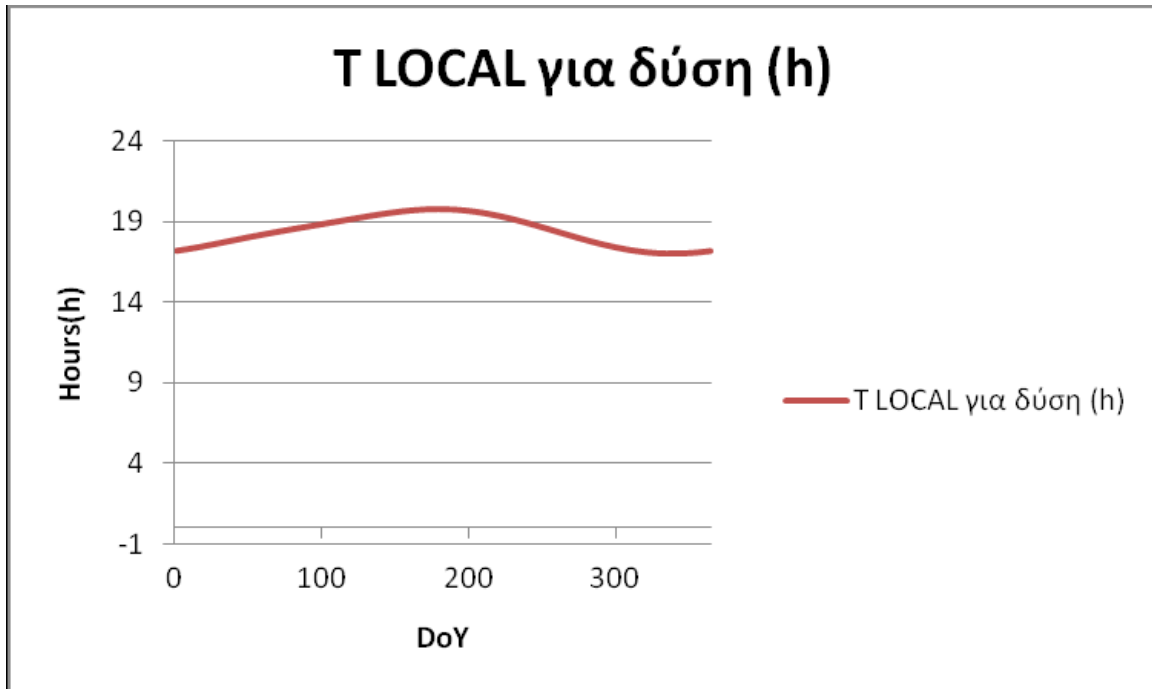
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα που παριστάνουν τις ώρες ανατολής, δύσης και ηλιοφάνειας για τις 365 ημέρες του χρόνου για τις συντεταγμένες της Αθήνας ($\varphi=37,960$, $\alpha=-23,720$).



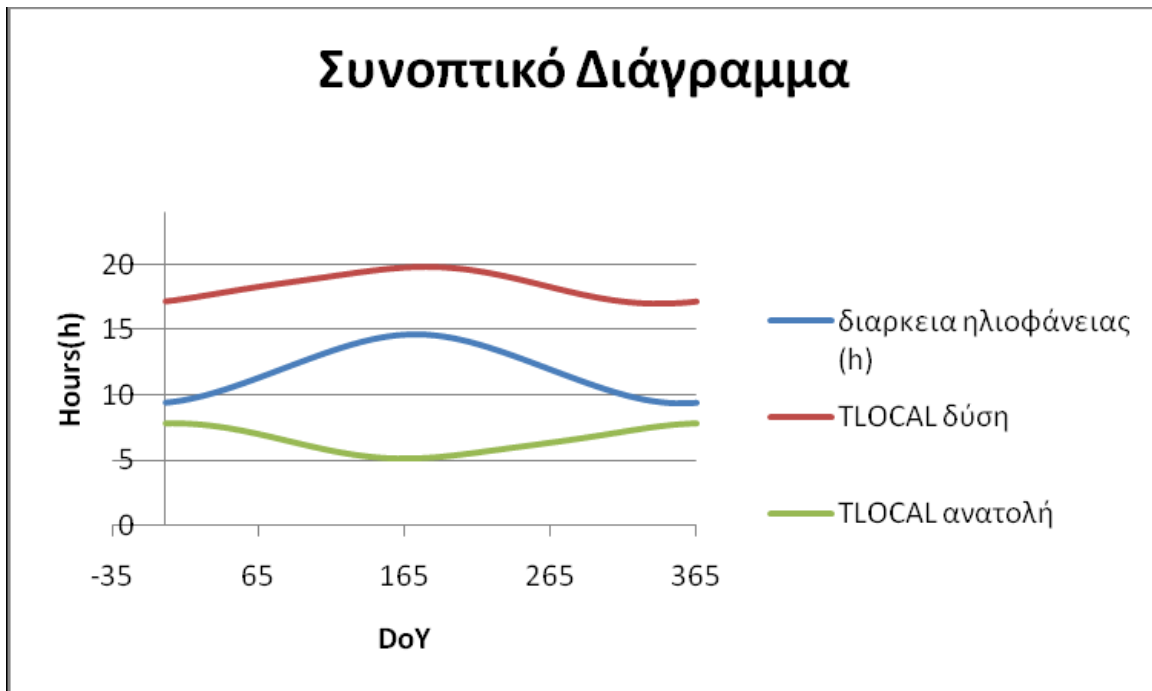
Σχ. 2.10 Γραφική Παράσταση Τοπικών Ωρών Ανατολής για την Αθήνα



Σχ. 2.11 Γραφική Παράσταση Ωρών Ηλιοφάνειας για την Αθήνα



Σχ. 2.12 Γραφική Παράσταση Τοπικών Ωρών Δύσης για την Αθήνα



Σχ. 2.13 Συνοπτικό διάγραμμα

Κεφάλαιο Τρίτο: Συλλογή του ηλιακού φωτός

3.1 Εισαγωγή

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος εκτός από την επιλογή του τρόπου διασύνδεσης (αυτόνομο ή διασυνδεδεμένο με το δίκτυο) αλλά και την επιλογή των επιμέρους υλικών είναι το πού θα στερεωθούν οι βασικές μονάδες, αν θα στερεωθούν σε σταθερές θέσεις ή οι προσανατολισμοί τους θα ακολουθούν (ιχνηλατούν) την κίνηση του ηλίου.

Τρεις είναι οι κυριότεροι τρόποι στήριξης των πλαισίων και διακρίνονται ανάλογα με την ενεργειακή απολαβή:

- Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη
- Εποχιακή ρυθμιζόμενη κλίση

- Συνεχούς ημερήσιας παρακολούθησης ηλιοτρόπιο – trackers

3.2 Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη

Είναι ο απλούστερος και οικονομικότερος τρόπος στήριξης που μπορεί να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός καθώς στο μόνο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των συλλεκτών. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν έχει κινητά μέρη και προτείνεται σε μέρη με ισχυρούς ανέμους, π.χ. βουνά. Επίσης χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε τους συλλέκτες σε κτήρια, π.χ. προσόψεις, στέγες.



Σχ. 3.1 Φωτοβολταϊκά σε σπίτια με σταθερή γωνία

Για την τοποθέτηση των συλλεκτών πρέπει να επιλεγεί η καταλληλότερη γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός. Η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι το γεωγραφικό πλάτος φ και ο καταλληλότερος προσανατολισμός είναι ο νότος αν βρισκόμαστε στο βόρειο ημισφαίριο και ο βορράς αν βρισκόμαστε στο νότιο.

3.3 Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη

Στην πρώτη περίπτωση, δεν υπήρχε δυνατότητα αλλαγής της γωνίας κλίσης του συλλέκτη με αποτέλεσμα η εγκατάσταση να αποδίδει πολύ λιγότερο από τις δυνατότητές της. Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Η μηχανολογική

κατασκευή είναι σχετικά φθηνή και απλή ώστε όλοι οι χρήστες να μπορούν να κάνουν την εποχιακή ρύθμιση.

Η ρύθμιση του συλλέκτη γίνεται δύο φορές το χρόνο, μία κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου έως 21 Μαρτίου) και μία κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου έως 22 Σεπτεμβρίου). Η αλλαγή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η κλίση μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να πλησιάζει όσο το δυνατόν τις 90.

Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνίας του συλλέκτη πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνεια, άνεμος, θερμοκρασία κλπ.).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι για τη χειμερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου αυξημένο κατά 10 έως 15 ενώ για τη θερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία είναι το γεωγραφικό πλάτος του τόπου μειωμένο κατά 10 έως 15.

Παρόλο που σε σχέση με τα συστήματα που έχουν σταθερή γωνία κλίσης τους συλλέκτη, με την εποχιακή ρύθμιση καταφέρνουμε μία βελτίωση στην απόδοση του συστήματος, ακόμα υπάρχει περιθώριο βελτιστοποίησης της απόδοσης. Μία πρόταση για περαιτέρω βελτίωση είναι η αλλαγή γωνίας κλίσης τρεις φορές το χρόνο αλλά με μικρότερες αλλαγές στη γωνία κλίσης.

3.4 Συστήματα συνεχούς ημερήσιας παρακολούθησης-ιχνηλάτες (trackers)

Σύμφωνα με τα προηγούμενα οι συλλέκτες τοποθετούνται είτε με σταθερή κλίση είτε με εποχιακή ρύθμιση της γωνίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μικρή απολαβή ενέργειας από τον ήλιο ιδιαίτερα στην πρώτη μέθοδο, με σταθερή γωνία κλίσης. Μια βελτιωμένη εκδοχή είναι η δεύτερη μέθοδος με αυξημένη απολαβή σε σχέση με την πρώτη.

Για υψηλότερη απολαβή ισχύος κατασκευάζονται συσκευές διαρκούς παρακολούθησης της πορείας του ήλιου. Οι συσκευές αυτές ακολουθούν τα «ίχνη» του ηλίου και γι' αυτό ονομάστηκαν ιχνηλάτες. Οι ιχνηλάτες (trackers) στρέφουν τους συλλέκτες έτσι ώστε οι

ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του συλλέκτη. Με τους ιχνηλάτες υπάρχει μία αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος 30% έως 50% σε σχέση με τους σταθερούς τρόπους στήριξης. Βρίσκουν χρήση τόσο σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές όσο και σε θερμικά συστήματα.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ιχνηλατών ανάλογα με το είδος της κίνησης που εκτελούν:

- Στροφή γύρω από έναν άξονα
- Στροφή γύρω από δύο άξονες

3.4.1 Στροφή γύρω από έναν άξονα

Η συστοιχία περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα με κατάλληλο μηχανισμό, ξεκινώντας από την ανατολή και παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου καθ' όλη την ημέρα καταλήγοντας στη δύση. Διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

- Ο αζιμουθιακός ιχνηλάτης
- Ο πολικός ιχνηλάτης

3.4.1.1 Ο αζιμουθιακός ιχνηλάτης

Το σύστημα περιστρέφεται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη. Δηλαδή παρακολουθεί την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου. Για την επιλογή της γωνίας κλίσης των συλλεκτών ακολουθείται η ίδια λογική με τις προηγούμενες μεθόδους. Δηλαδή τοποθετούνται με σταθερή γωνία η οποία επιλέγεται βάσει του γεωγραφικού πλάτους. Χρησιμοποιούνται σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς αυξάνουν την παραγωγή ενέργειας. Η αύξηση ισχύος είναι περίπου 25% έως 35%, εξαρτάται βέβαια από την τοποθεσία, την ποιότητα του συστήματος και τον τρόπο ελέγχου της κίνησης.



Σχ. 3.2 Αζιμουθιακός ιχνηλάτης

3.4.1.2 Πολικός ιχνηλάτης (polar tracker)

Το σύστημα περιστρέφεται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης. Έτσι ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη. Κατά τη διάρκεια του έτους η γωνία μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη κυμαίνεται από -23,45 έως +23,45.

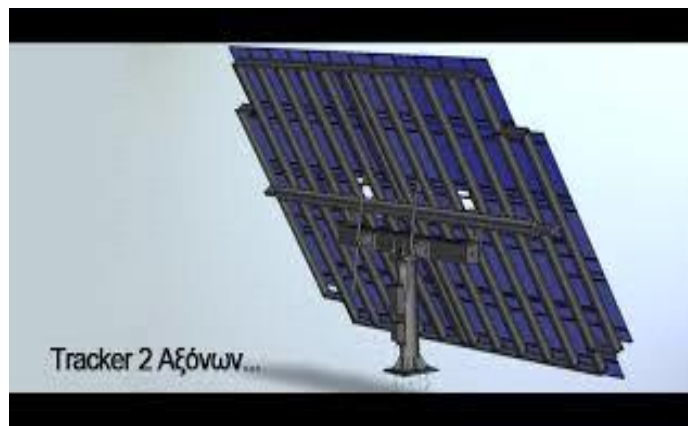
Η βασική χρήση των συστημάτων αυτών είναι σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να αποκλείεται και η χρήση τους σε θερμικούς σταθμούς. Η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας φτάνει και το 40% ανάλογα με την εποχή του έτους.

3.4.2 Στροφή γύρω από δύο άξονες

Οι ιχνηλάτες με στροφή γύρω από δύο άξονες παρακολουθούν και τις δύο κινήσεις του ηλίου και χρειάζονται και τις δύο συντεταγμένες του ηλίου (αζιμούθιο Z και ύψος ηλίου β). Η συστοιχία στρέφεται γύρω από δύο άξονες ξεκινώντας από την ανατολή το πρωί

και καταλήγοντας στη δύση το απόγευμα. Η κατασκευαστική διαφορά του ιχνηλάτη δύο αξόνων είναι ότι χρειάζονται δύο συστήματα κίνησης, ένα για κάθε κίνηση.

Λόγω της παρακολούθησης του ήλιου και στους δύο άξονες, οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν κάθετα στους συλλέκτες καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας αλλά και για όλο το χρόνο. Έτσι γίνεται σαφές ότι αυτό το σύστημα είναι πιο αποδοτικό από όλα τα προηγούμενα. Η αύξηση της παραγόμενης ισχύος φτάνει και το 50% σε σχέση με τη σταθερή στήριξη και η απόδοσή του φτάνει και το 99,9%. Βεβαίως το κόστος του είναι αρκετά ψηλότερο λόγω της χρήσης διπλών ηλεκτρονικών συστημάτων και της πιο περίπλοκης μηχανολογικής κατασκευής. Ο έλεγχος της κίνησης του ιχνηλάτη γίνεται με δύο τρόπους, με τη χρήση αισθητήρων ή με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Όσον αφορά τους αισθητήρες, η μέθοδος βασίζεται στη σκίαση των αισθητήρων σε δύο άξονες. Τοποθετούνται δύο ή περισσότεροι αισθητήρες για τον έλεγχο της αζιμουθιακής κίνησης του ιχνηλάτη και αντίστοιχα δύο ή περισσότεροι αισθητήρες για τον έλεγχο της γωνίας του ύψους. Όταν ο έλεγχος γίνεται με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή τότε χρησιμοποιούνται εξισώσεις που για κάθε χρονική στιγμή υπολογίζουν τις συντεταγμένες του ηλίου δηλαδή δίνουν τις τιμές που έχουν οι γωνίες αζιμούθιου και ύψους ηλίου.



Σχ. 3.3 Ιχνηλάτης 2 αξόνων

3.5 Κριτική και γενικά συμπεράσματα για τους ηλιακούς ιχνηλάτες (solar trackers)

Οι trackers πλεονεκτούν συνολικά στην απόδοση της επένδυσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και αποδίδουν μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη όταν ισχύουν και άλλες παράμετροι ως προς τη θέση του τόπου αλλά και ως προς τις μετεωρολογικές του συνθήκες. Υπάρχει ένα αυξημένο κόστος γενικότερα στην κατασκευή και την εγκατάσταση αλλά οι ηλιακοί ιχνηλάτες μπορούν να αυξήσουν αρκετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Φυσικά αυτό και μόνο το γεγονός αποτελεί βασικό κριτήριο για πολλούς επενδυτές που επιθυμούν το μέγιστο όφελος από την επένδυσή τους.

Η αύξηση αυτή μπορεί να ξεκινάει από 10% (για συστήματα μονού άξονα) και μπορεί να φτάσει ακόμα και το 40% αλλά για κάποιες μόνο εποχές του χρόνου. Ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας αύξησης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός συστήματος είναι το κρίσιμο μέγεθος που θα πρέπει να υπολογίσει κανείς για να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα.

Η χρήση των trackers πάντως συστήνεται κυρίως σε περιοχές που έχουν υψηλό ποσοστό άμεσης ακτινοβολίας (όπως στην Ελλάδα). Για αυτόν ακριβώς το λόγο μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι στην Ισπανία και τη Γερμανία (οι δύο περισσότερο ώριμες αγορές του κόσμου) όπου έχουν τοποθετηθεί πολλά φωτοβολταϊκά πάρκα χρησιμοποιούνται διαφορετικές πρακτικές όσον αφορά τα συστήματα στήριξης. Στη μεν συννεφιασμένη Γερμανία τα συντριπτικά περισσότερα εγκατεστημένα συστήματα είναι σταθερά, ενώ στην Ισπανία οι trackers έχουν κατακτήσει ένα πολύ σημαντικό μερίδιο της αγοράς.

Από την άλλη πλευρά θα ήταν χρήσιμο εκτός από το μεγαλύτερο κόστος της επένδυσης να συνυπολογιστεί και το σχετικά μεγαλύτερο κόστος συντήρησης που οφείλεται στην αυξημένη πολυπλοκότητα του συστήματος λόγω της ύπαρξης κινητών μερών. Ακόμα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ένα μικρό ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την περιστροφική κίνηση των συστημάτων αλλά και ότι υπάρχει ανάγκη για απομακρυσμένο έλεγχο του συστήματος (τηλεπικοινωνιακά) ώστε να αποφευχθεί πιθανή αστοχία στη λειτουργία των trackers αλλά και πιθανή καταστροφή

τους από ακραία καιρικά φαινόμενα. Συμπερασματικά υπάρχουν αρκετές παράμετροι που θα πρέπει κανείς να σταθμίσει για να προχωρήσει στην επιλογή ενός κινητού συστήματος στήριξης σε σχέση με ένα σταθερό.

Κεφάλαιο Τέταρτο: Όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας

4.1 Εισαγωγή

Η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί διαχρονικά ένα ζητούμενο για μελετητές και μετεωρολόγους και για το λόγο αυτό έχουν γίνει πολλές προσπάθειες για την εύρεση των κατάλληλων οργάνων, προκειμένου να καταλήγουμε σε σωστά συμπεράσματα με σχετικά απλούς και εύχρηστους μηχανισμούς.

Οι περισσότεροι από αυτούς τους μηχανισμούς χρησιμοποιούν όργανα και αισθητήρες που βασίζουν τη λειτουργία τους σε σύγκριση θερμοκρασίας αλλά και καταγραφή ροής θερμότητας. Αυτό κυρίως εφαρμόζεται με τα θερμοστοιχεία στους αισθητήρες ροής θερμότητας .

4.2 Το πυρανόμετρο

Στην αρχή λειτουργίας των αισθητήρων ροής θερμότητας βασίζει τη λειτουργία του και το πιο διαδεδομένο και αξιόπιστο όργανο μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρανόμετρο. Το πυρανόμετρο μετρά τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει σε οριζόντια επιφάνεια (Gglobal) .

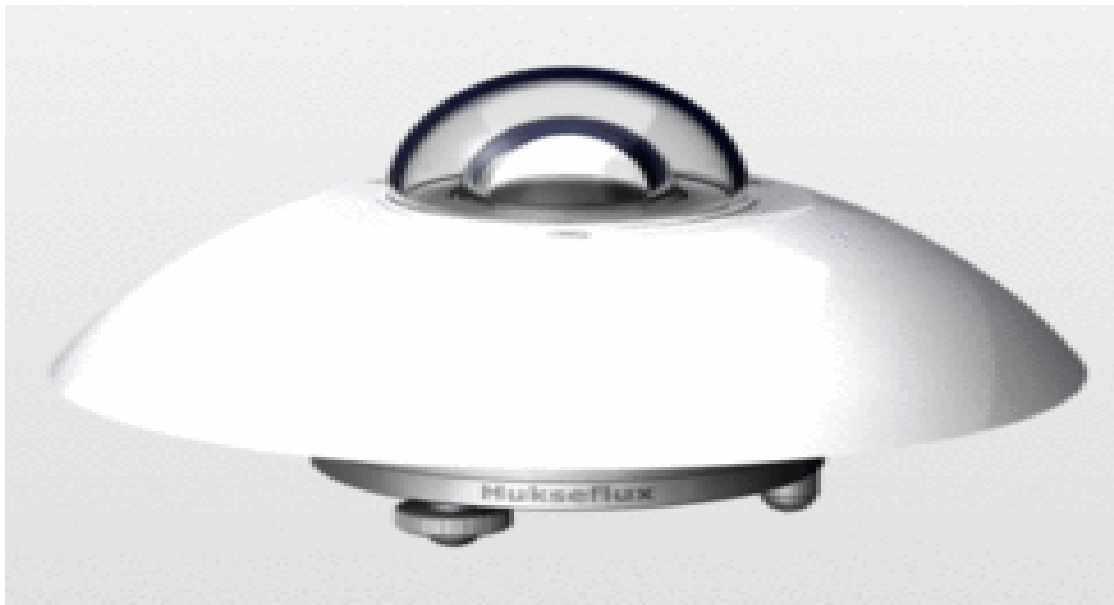
Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι τύποι πυρανομέτρων. Οι σημαντικότεροι εκπρόσωποί τους αναλύονται παρακάτω:

Το πυρανόμετρο του Σουηδού Φυσικού Angstrom (1814-1874), ο οποίος είναι γνωστός κυρίως για τις έρευνές του στη φασματομετρία , αποτελείται από τέσσερις ταινίες

μαγγανίου, από τις οποίες οι δυο είναι μαυρισμένες με πλατινούχο ουσία και οι άλλες δυο είναι επιστρωμένες με οξειδίο του μαγνησίου ή οξειδίο του ψευδαργύρου. Οι δυο τελευταίες ταινίες θερμαίνονται, ώσπου η διαφορά θερμοκρασίας να εξισωθεί με την θερμοκρασία των μαυρισμένων ταινιών. Η μέτρηση της διαφοράς θερμοκρασίας γίνεται με θερμοστοιχεία.

Τα σύγχρονα πυρανόμετρα αποτελούνται από έναν ή δύο ομόκεντρους γυάλινους θόλους που κατασκευάζονται από γυαλί ή ακριλικό πλαστικό και στο εσωτερικό τους, υπάρχει μία μαύρη επιφάνεια με κεραμικό υπόστρωμα κάτω από την οποία υπάρχουν εκατοντάδες θερμοστοιχεία. Η διαφορά της θερμότητας που παράγει η μαύρη επιφάνεια σε σχέση με μία άσπρη που ανακλά το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα του πυρανομέτρου είναι της τάξης mV και οδηγείται σε κατάλληλη συσκευή μέτρησης.

Ο γυάλινος θόλος που αναφέραμε παραπάνω είναι πολύ σημαντικός για την σωστή χρήση του πυρανόμετρου. Πρώτα φροντίζει να μονώνονται θερμικά οι αισθητήρες αποκλείοντας τις θερμικές διαδικασίες συναγωγής για τη μεταφορά (απώλεια) θερμότητας προς την άνω όψη της διάταξης. Επιπλέον αποκλείει ρεύματα αέρα να προσεγγίσουν τους αισθητήρες καθώς και άλλους σωματιδιακούς ρύπους πχ. σκόνη που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν τη λειτουργία τους. Ακόμα αποτελεί το χώρο εναπόθεσης του φίλτρου απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ώστε να προσδιορίζεται η φασματική απόκριση της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο εσωτερικό της διάταξης. Ο θόλος αυτοκαθαρίζεται με την απλή βροχή.



Σχ. 4.1 Πυρανόμετρο

Προκειμένου να γίνει μέτρηση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας τα πυρανόμετρα εφοδιάζονται και με ένα δαχτυλίδι το οποίο τοποθετείται στην διεύθυνση του ήλιου για όλο το γεωγραφικό πλάτος των 0ο-90ο Βορά και Νότου έτσι ώστε να σκιάζεται ο γυάλινος θόλος συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας . Σκοπός του δαχτυλιδιού είναι να συλλάβει την απ' ευθείας ακτινοβολία του ήλιου κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας χωρίς επαναρίθμηση. Κάθε λίγες ημέρες η θέση του δαχτυλιδιού πρέπει να επαναπροσαρμόζεται στην κλίση του ήλιου.

Όπως αναφέρεται και παραπάνω τα πυρανόμετρα χρησιμοποιούν αισθητήρες τύπου thermopile και προδιαγράφονται και βαθμονομούνται από συγκεκριμένα πρότυπα ISO που υιοθετούνται από τον παγκόσμιο οργανισμό μετεωρολογίας (WMO). Έτσι ανάλογα με την ποιότητά τους ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Την Secondary standard , που αντιστοιχεί στα καλύτερα όργανα και πρότυπα
- Την First class , που αντιστοιχεί σε μεσαίας κατηγορίας όργανα
- Την Second class , που αντιστοιχεί σε χαμηλού κόστους και ποιότητας όργανα

Τυπικό παράδειγμα πυρανόμετρου κατηγορίας second class είναι όργανα όπως τα ηλιακά στοιχεία που βασίζουν τη λειτουργία τους σε φωτοδιόδους (που λειτουργούν σε διαφορετική φασματική απόκριση) και όχι σε αισθητήρες ροής θερμότητας.

Τα ηλιακά στοιχεία είναι φτηνές διατάξεις που μετράνε τη συνολική ακτινοβολία Gglobal. Με τη χρήση ενός τέτοιου στοιχείου έγινε και η μέτρηση της ακτινοβολίας για την Αθήνα που έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Βασικό χαρακτηριστικό ενός ηλιακού στοιχείου είναι ο πραγματικά αμελητέος χρόνος απόκρισης που είναι της τάξης των μs σε αντίθεση με τα πυρανόμετρα που χρησιμοποιούν αισθητήρες ροής θερμότητας και χρειάζονται 20-30s για να αποκριθούν. Από αυτή τους την ιδιότητα γίνεται σαφές ότι τα ηλιακά στοιχεία είναι τα μόνα κατάλληλα για γρήγορες λήψεις δεδομένων (χρόνος δειγματοληψίας μικρότερος από 30s)

Από την άλλη πλευρά τα ηλιακά στοιχεία είναι κατάλληλα για πολύ συγκεκριμένες θερμοκρασίες κοντά στους 25oC και άρα μπορούν να καταγράφουν μικρού εύρους ηλιακό φάσμα (300nm-1100nm) σε αντίθεση με τα άλλα πυρανόμετρα που δεν έχουν μεγάλη θερμοκρασιακή εξάρτηση μέχρι τους 70 oC και μπορούν να καταγράφουν όλο το ηλιακό φάσμα (300nm-2800nm).

4.3 Το πυρηλιόμετρο

Όταν το πεδίο ενδιαφέροντος είναι η μέτρηση της άμεσης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας (Gbeam) , το όργανο μέτρησης που είναι καταλληλότερο και αποδοτικότερο είναι το πυρηλιόμετρο.

Το πρώτο πυρηλιόμετρο προέρχεται από το Γάλλο Φυσικό Claude Pouillet(1837), που παρατήρησε με αυτό την αύξηση της θερμοκρασίας μιας ορισμένης ποσότητας νερού υπό την επίδραση του ηλιακού φωτός σε ορισμένο χρόνο. Αυτή η μέθοδος χρειάστηκε πολύ χρόνο και υπομονή. Σημαντική βελτίωση αποτελεί το πυρηλιόμετρο αντιστάθμισης

του Angstrom. Το πυρηλιόμετρό του αποτελείται από δυο μαύρα φύλλα μαγγανίου. Στο ένα φύλλο επιδρά η ηλιακή ακτινοβολία, ενώ το άλλο παραμένει στη σκιά. Αυτό το δεύτερο φύλλο θερμαίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα, ώσπου να φθάσει τη θερμοκρασία του άλλου που ακτινοβολείται από τον ήλιο. Αρκεί και εδώ να μετρηθεί η ποσότητα του ρεύματος που χρειάζεται για να φθάσουν τα δυο φύλλα στην ίδια θερμοκρασία. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκεται αν διαιρεθεί η ποσότητα αυτή με την επιφάνεια ανά cm^2 .

Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός διοργανώνει διεθνείς συγκρίσεις πυρηλιομέτρων κατά μεγάλα χρονικά διαστήματα. Γι' αυτόν το σκοπό γίνονται μετρήσεις της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ταυτόχρονα στο πρότυπο πυρηλιόμετρο (πυρηλιόμετρο αντιστάθμισης φύλλων αργύρου) και γίνεται σύγκριση με τις τιμές των πυρηλιομέτρων που διαθέτουν οι άλλες χώρες. Καθοριστικά είναι τα όργανα αναφοράς στο αστεροσκοπείο του Davos (στην Ελβετία) και στο Μετεωρολογικό και Υδρολογικό Ινστιτούτο στο Norkoring.

4.4 Το ακτινόμετρο

Αντίστοιχα με το πυρηλιόμετρο, ένα άλλο όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της άμεσης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το ακτινόμετρο που χρησιμοποιείται κυρίως στη μετεωρολογία.

Και εδώ κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη συστήματος σκόπευσης του ήλιου προκειμένου να αποκλειστεί η περίπτωση να συμπεριληφθεί συνιστώσα ανακλώμενης ή διάχυτης ακτινοβολίας. Μπορεί να χρησιμοποιεί είτε φυσικές διατάξεις όπως φωτοδιόδους (thermopiles) ή ένα χημικό σύστημα όπως περιγράφεται παρακάτω.

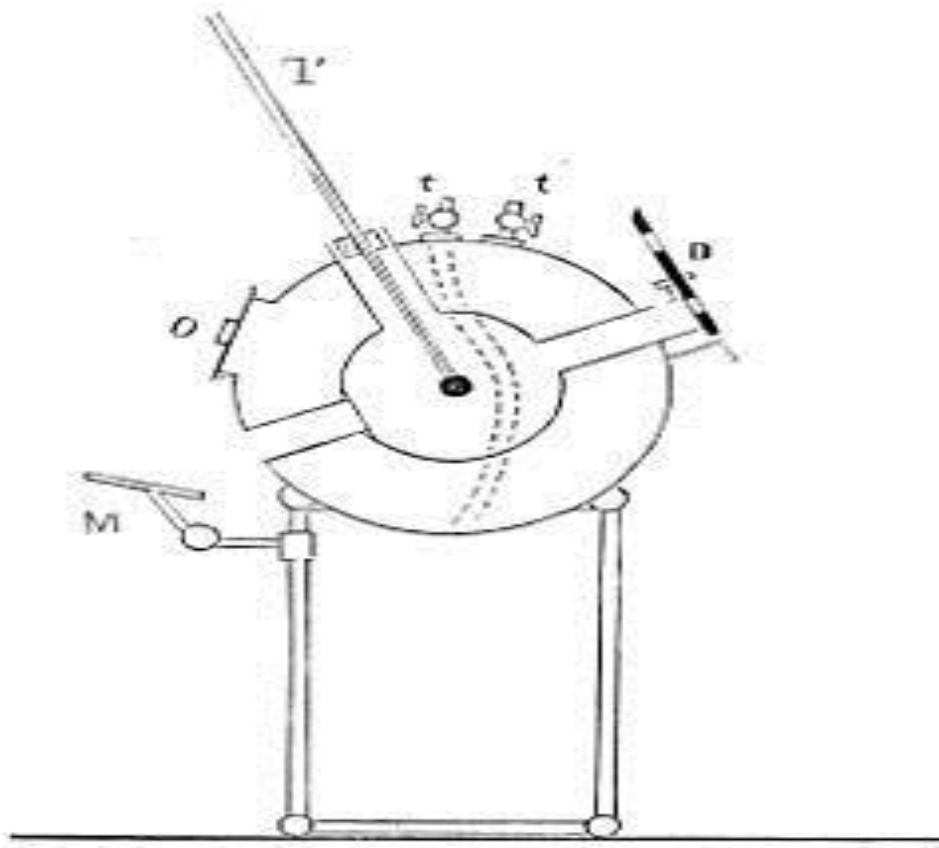
Ο τρόπος λειτουργίας του χημικού ακτινομέτρου βασίζεται στο σχηματισμό γέφυρας Wheatstone από δυο λεπτές ταινίες πλατίνας που έχουν μαυριστεί ηλεκτρολυτικά. Η μια ταινία προστατεύεται από την ηλιακή ακτινοβολία και η άλλη εκτίθεται σε αυτή. Η ακτινοβολία προκαλεί στη δεύτερη ταινία άνοδο της θερμοκρασίας της και αύξηση της

ηλεκτρικής της αντίστασης. Για να μετρηθεί η ενέργεια ακτινοβολίας που δέχεται το ακτινόμετρο, διοχετεύεται ρεύμα μέσα από την ταινία που δεν δέχεται ακτινοβολία και θεωρείται σαν ταινία αναφοράς, ώσπου εκείνη να δείξει την ίδια απόκλιση, όπως η ταινία που ακτινοβολείται. Η ένταση αυτού του βοηθητικού ρεύματος μετράται από ένα ευαίσθητο γαλβανόμετρο. Στα πιο σύγχρονα όργανα μέτρησης αυτού του είδους χρησιμοποιούνται, αντί των φύλλων πλατίνας, λεπτά στρώματα ημιαγωγών, μίγματα οξειδίων του νιοβίου, του μαγγανίου και του κοβαλτίου ή υπεραγωγοί, όπως το νιτρικό νιόβιο. Ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται, το ακτινόμετρο εφαρμόζεται αποδοτικότερα ή όχι, σε διαφορετικά μήκη κύματος ακτινοβολίας.

Ως προς το χημικό ακτινόμετρο υπάρχουν προβληματισμοί για την τοξικότητα των προϊόντων ορισμένων χημικών αντιδράσεων αλλά και για την δυνατότητα πραγματοποίησης χημικών αντιδράσεων ακόμη και σε συνθήκες σκότους.

Η καταγραφή του ακτινομέτρου αποτελεί το *ακτινόγραμμα* που δείχνει την ένταση της ακτινοβολίας σε συνάρτηση με την ώρα της ημέρας, δηλαδή δεδομένα μετρήσεων που αντιστοιχούν στις διάφορες θέσεις του ήλιου. Καταγράφεται πάντα η ίδια επιφάνεια της γης. Οι συντεταγμένες των καμπυλών που αντιστοιχούν σε κάθε μέτρηση, καθορίζουν το

ποσό της ηλιακής ενέργειας, που απορροφάται από τη γήινη ατμόσφαιρα.



Σχ 4.2 Ακτινόμετρο

4.5 Ο ηλιογράφος – καταγραφικό Campbell-Stokes

Ένα ακόμα όργανο που έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη μελέτη του ήλιου ήταν τα καταγραφικό Campbell – Stokes που έκανε εφικτή την εύρεση της ηλιοφάνειας με την αποτύπωση σε θερμικό χαρτόνι της άμεσης δέσμης Gbeam .

Το καταγραφικό Campbell – Stokes (μερικές φορές ονομάζεται σφαίρα Stokes) είναι ένα είδος ηλιογράφου . Εφευρέθηκε από τον John Francis Campbell το 1853 και τροποποιήθηκε μεταγενέστερα το 1879 από τον George Gabriel Stokes. Ο αρχικός σχεδιασμός του Campbell αποτελούνταν από ένα ποτήρι (σφαίρα) που με τον ήλιο να καίει άφηνε ένα ίχνος σε ένα ξύλινο μολ. Η παρέμβαση Stokes είχε σαν αποτέλεσμα τη στέγαση του από μέταλλο και την εισαγωγή θερμικού χαρτονιού σε ειδική προθήκη.

Αυτή η βασική μονάδα είναι ακόμα σε χρήση σήμερα με πολύ μικρή αλλαγή. Είναι ίσως ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος ηλιογράφος σήμερα. Η μονάδα έχει σχεδιαστεί για να καταγράφει τις ώρες της ηλιοφάνειας που φαίνονται από το πόσο θα καεί η κάρτα και πόσο μεγάλη τρύπα θα δημιουργήσει. Καθώς μεταφέρεται ο ήλιος στην ουράνια σφαίρα η άμεση συνιστώσα της ακτινοβολίας του καίει το θερμικό χαρτί και δημιουργεί μία γραμμή, το μήκος της οποίας αποτελεί τις ώρες ηλιοφάνειας. Η έμμεση δέσμη δεν επαρκεί προκειμένου να δημιουργηθεί οπή στο χαρτί. Έτσι γενικά μπορούμε να πούμε ότι η συγκεκριμένη διάταξη αναδεικνύει την άμεση και όχι τη συνολική ακτινοβολία.

Η γυάλινη σφαίρα - συνήθως 10 εκατοστά (4 ίντσες) σε διάμετρο - έχει σχεδιαστεί για να επικεντρωθεί η ηλιακή ακτινοβολία σε μια κάρτα τοποθετημένη στο πίσω μέρος που βρίσκεται πάνω σε ένα βάθρο. Η κάρτα συγκρατείται από ειδικά ρυθμιζόμενες εγκοπές που μπορούν να μετατοπιστούν σε πλευρικές θέσεις ανάλογα με την εποχή του έτους ώστε να συνεκτιμάται η μεταβολή στο ύψος του ήλιου. Για το βόρειο ημισφαίριο, η θέση «χειμώνα» χρησιμοποιείται από 15 Οκτωβρίου έως 29 Φεβρουαρίου, η θέση «ισημερίες» από 1ης Μαρτίου έως 11 Απριλίου και από τις 3 Σεπτεμβρίου-14 Οκτωβρίου. Η θέση «καλοκαίρι» χρησιμοποιείται από το 12 Απριλίου - 2 Σεπτεμβρίου. Κάθε κάρτα φέρει ωριαίες διαγραμμίσεις με δεκαδικές υποδιαιρέσεις στο εσωτερικό της κάθε ώρας, ενώ το ηλιακό μεσημέρι αντιστοιχεί στο κέντρο της θερμικής ταινίας. Η μονάδα τοποθετείται σε οριζόντιο επίπεδο αναφοράς με τον συγκεκριμένο δείκτη προσανατολισμού της στο νότο και ρύθμιση πλαισίου συγκράτησης του θερμικού χαρτιού ως προς το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Φυσικά είναι πολύ σημαντικό να εγκατασταθεί η μονάδα σε μια περιοχή όπου ο ήλιος δεν θα παρεμποδίζεται από δέντρα κτίρια, ή άλλα εμπόδια.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτού του τύπου εγγραφής είναι η απλότητά του και η ευκολία χρήσης. Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη και απαιτεί, συνεπώς, πολύ λίγη συντήρηση. Η μονάδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε στον κόσμο με μικρή ή καθόλου τροποποίηση και είναι σχετικά ανέξοδη αφού μπορεί να αγοραστεί για περίπου 1500 ευρώ.

Από την άλλη όταν ο ήλιος είναι χαμηλά στον ουρανό μπορεί να μην έχει αρκετή δύναμη για να κάψει σωστά την κάρτα. Ακόμα η βροχή μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα η κάρτα να σχιστεί κατά την αφαίρεσή της και να είναι δύσκολο να διαβαστεί. Σε περιοχές με εξαιρετικά δύσκολες καιρικές συνθήκες όπως υψηλό παγετό , η σφαίρα μπορεί να είναι δύσκολο να καθαριστεί αλλά είναι πιθανό και η κάρτα καταγραφής να μην είναι εφικτό να απομακρυνθεί πριν ο ήλιος λάμψει ξανά. Ωστόσο, το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η ανάγνωση των καρτών αφού ο κάθε αναγνώστης μπορεί να καταλήξει σε διαφορετικά συμπεράσματα.



Σχ. 4.3 καταγραφικό Campbell-Stokes

4.6 Συμπεράσματα

Χρησιμοποιώντας όλα τα παραπάνω όργανα είναι αρκετά απλό να συγκεντρώσουμε στοιχεία και μετρήσεις για την ηλιακή ακτινοβολία και κίνηση. Αυτές είναι απαραίτητες για πολλές δραστηριότητες που αφορούν από την καθημερινότητά μας (μετεωρολογία και καιρικές προγνώσεις), μέχρι και την γνώση για την «σοφότερη» επιλογή φωτοβολταϊκού συστήματος που θα αξιοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία. Η επιλογή του

κατάλληλου οργάνου, γίνεται ανάλογα με τη συνιστώσα της ακτινοβολίας που ζητάμε, την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που θέλουμε και την οικονομική δυνατότητα που έχουμε.

Κεφάλαιο Πέμπτο: Πειραματική διάταξη ηλιακού ιχνηλάτη για καταγραφή και μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση zaber συσκευών.

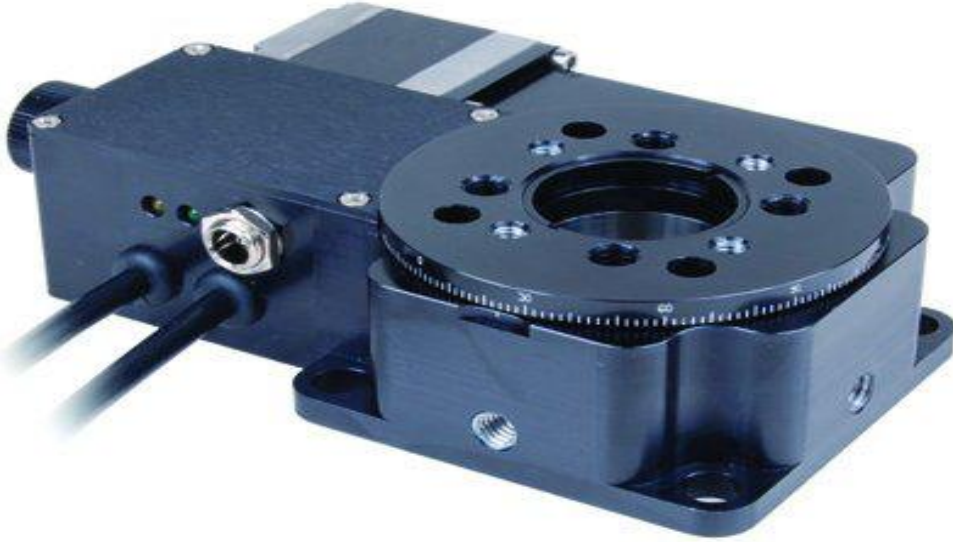
5.1 Εισαγωγή

Για τη μέτρηση και τη καταγραφή της άμεσης – διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διεύθυνση της ηλιακής ακτίνας και αλλά και σε σταθερή γωνία από το οριζόντιο επίπεδο χρησιμοποιήθηκαν στρεφόμενες συσκευές zaber ως ανιχνευτές του ηλιακού ύψους και αζιμούθιου. Οι συσκευές αυτές τοποθετήθηκαν σε κατάλληλη διάταξη ούτως ώστε να ακολουθείται κάθε στιγμή της μέρας η ηλιακή διαδρομή. Η συσκευή οδηγείται με ειδική εφαρμογή του εργαστηρίου σε μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Labview. Στη συνέχεια προσαρμόστηκαν αισθητήρες για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

5.2 Στρεφόμενες συσκευές “zaber T-RS60A”

Για την κατασκευή συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη είναι απαραίτητη η χρήση ανιχνευτών του ηλιακού αζιμούθιου και του ηλιακού ύψους. Οι ανιχνευτές θα πρέπει να είναι συσκευές που να προγραμματίζονται με χρήση κατάλληλου λογισμικού από H/Y.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ως ανιχνευτές δύο συσκευές “zaber T-RS60A”. Πρόκειται για μηχανοκίνητες στρεφόμενες συσκευές, περιστροφής 360 μοιρών, διαμέτρου 60 mm με ενσωματωμένο ελεγκτή. Οι συσκευές αυτές έχουν μικρή ταχύτητα περιστροφής αλλά παρέχουν μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις.



Σχ. 5.1 zaberT-RS60A

Τεχνικά χαρακτηριστικά zaberT-RS60A συσκευής.

Τα χαρακτηριστικά της συσκευής που μας ενδιαφέρουν είναι :

Ακρίβεια: ± 0.05 μοίρες

Προεπιλεγμένη ανάλυση: 1/64 του βήματος

Μέγεθος micro – step (προεπιλεγμένη ανάλυση): 0.000234375 μοίρες

Μέγιστη ταχύτητα: 13.2 μοίρες / s

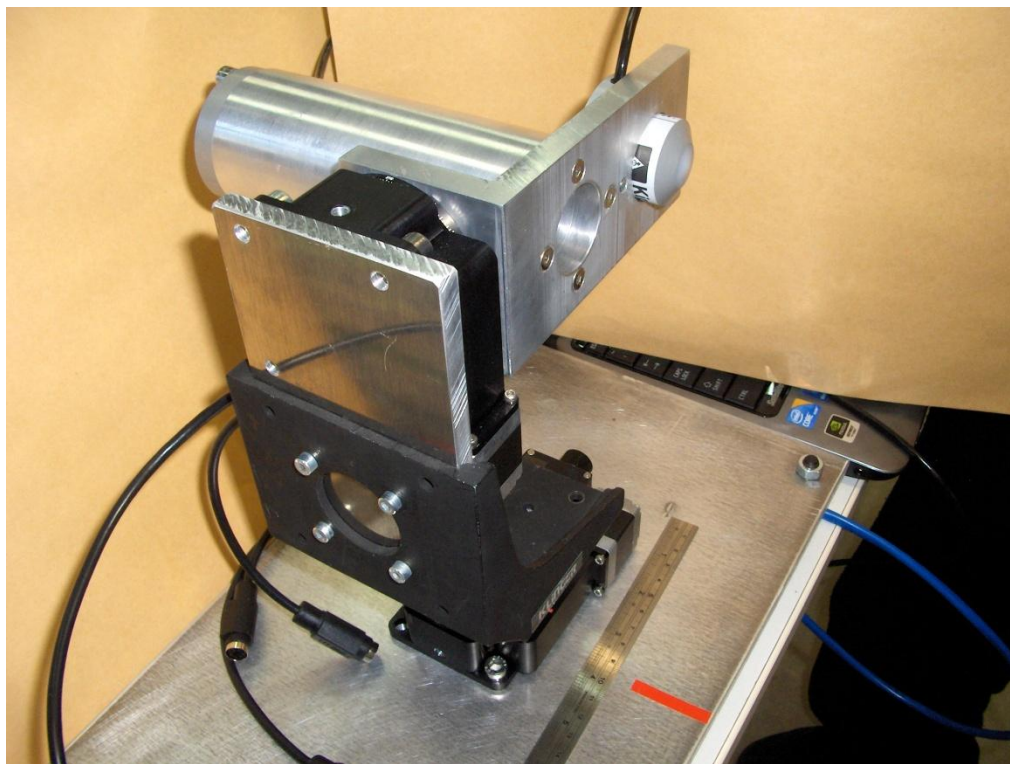
Ελάχιστη ταχύτητα: 0.0011 μοίρες / s

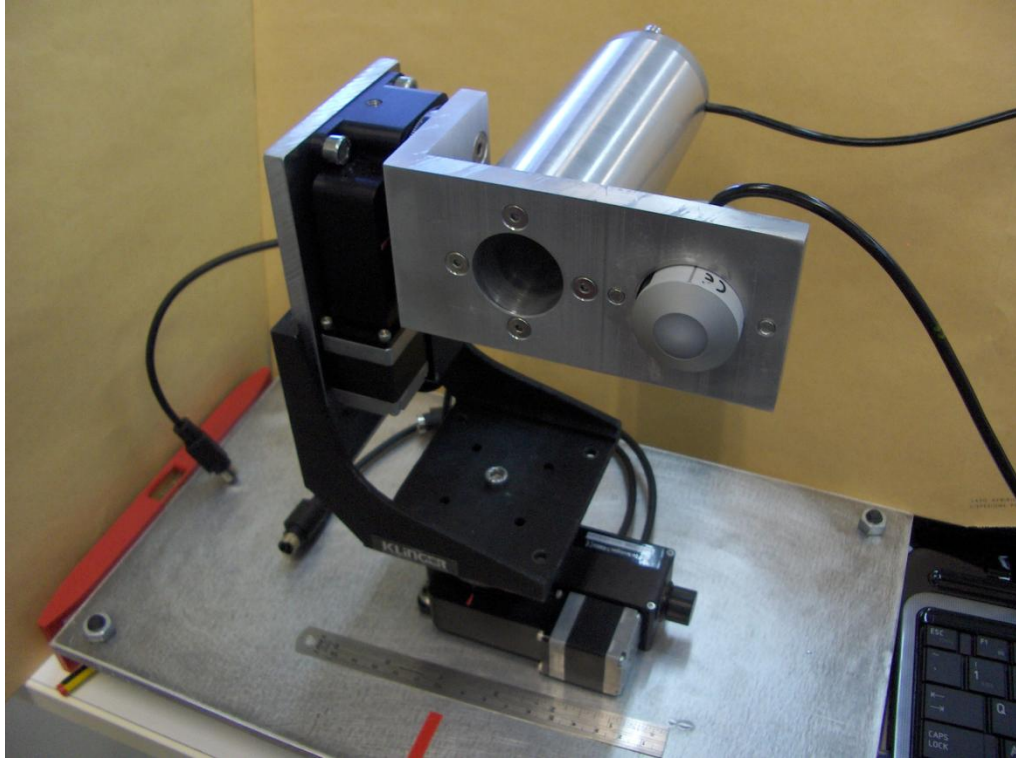
Μέγιστη συνεχής ροπή: 80 N – cm

Βάρος: 0.48 kg

Για την κατασκευή του συστήματος ηλιακού ιχνηλάτη η μια zaber συσκευή έχει τοποθετηθεί σε οριζόντιο επίπεδο για να αποτελέσει τον ανιχνευτή αζιμούθιου και κάθετα σε αυτή, σε κάποιο ύψος που να επιτρέπει την ανάγνωση της τιμής του αζιμούθιου και την περιστροφή της δεύτερης συσκευής μαζί με τους αισθητήρες, έχει τοποθετηθεί ο ανιχνευτής του ύψους.

Η τελική μορφή της πειραματικής διάταξης αποτυπώνεται στο παρακάτω σχήματα :





Σχ.

5.2 Ο Ηλιακός ιχνηλάτης του εργαστηρίου

5.3 Προγραμματισμός του ιχνηλάτη με χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Labview

Στην ιστοσελίδα <http://www.zaber.com/wiki/Software> υπάρχουν οι drivers των zaber συσκευών για ένα σύνολο από πλατφόρμες μεταξύ των οποίων και για Labview. Οι drivers αυτοί υπάρχουν για να αναγνωρίζεται η zaber συσκευή από το προγραμματιστικό περιβάλλον του Labview και να μπορεί να λαμβάνει εντολές. Για να μπορέσει να γίνει η επικοινωνία χρειάζεται η εγκατάσταση του NI visa, ενός προγράμματος που επιτρέπει την επικοινωνία του Labview με τις θύρες του υπολογιστή (σειριακές RS232, USB και άλλες). Το zaber έχει έξοδο για σύνδεση σε RS232 αλλά εμείς για λόγους ταχύτητας και επικοινωνίας με φορητό υπολογιστή τη μετατρέπουμε με αντάπτορα σε USB.

Στο εργαστήριο υπήρχε κατασκευασμένη εφαρμογή, με την οποία ο ιχνηλάτης εντοπίζει σε κάθε χρονική στιγμή της ημέρας τη θέση του ήλιου και ταυτόχρονα οι προσαρμοσμένοι στον ιχνηλάτη αισθητήρες καταγράφουν την ηλιακή ακτινοβολία.

5.4 Υπό – εφαρμογές Labview που χρησιμοποιούνται

Το προγραμματιστικό περιβάλλον Labview είναι ένα γραφικό περιβάλλον. Κάθε υπό - εφαρμογή που καλείται στο τελικό πρόγραμμα εμφανίζεται με τη μορφή εικονιδίων. Τα εικονίδια – υπό - εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στην τελική διάταξη είναι :

Οι drivers των zaber συσκευών :



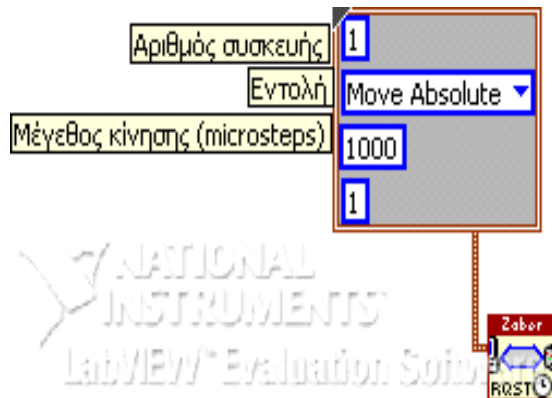
Συγκεκριμένα ο 1^{ος} driver λέγεται “zaber-initialize” . Ο driver δέχεται σαν είσοδο τη θύρα που βρίσκεται η zaber συσκευή. Από την στιγμή που καλείται αυτός ο driver το Labview επικοινωνεί με τη συσκευή.

Ο driver “zaber-close” τερματίζει την επικοινωνία του zaber με το Labview και εμφανίζει τυχόντα σφάλματα



Ο driver “request command” στέλνει εντολές κίνησης στο zaber από τον χρήστη. Οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία είναι

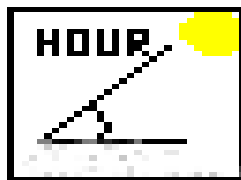
- “move absolute” – κινήσου κατά απόλυτο (πήγαινε στην ακριβή θέση).
- “move relative” - κινήσου σχετικά (μετακινήσου).
- “home” - μετακινήσου στην αρχική θέση.



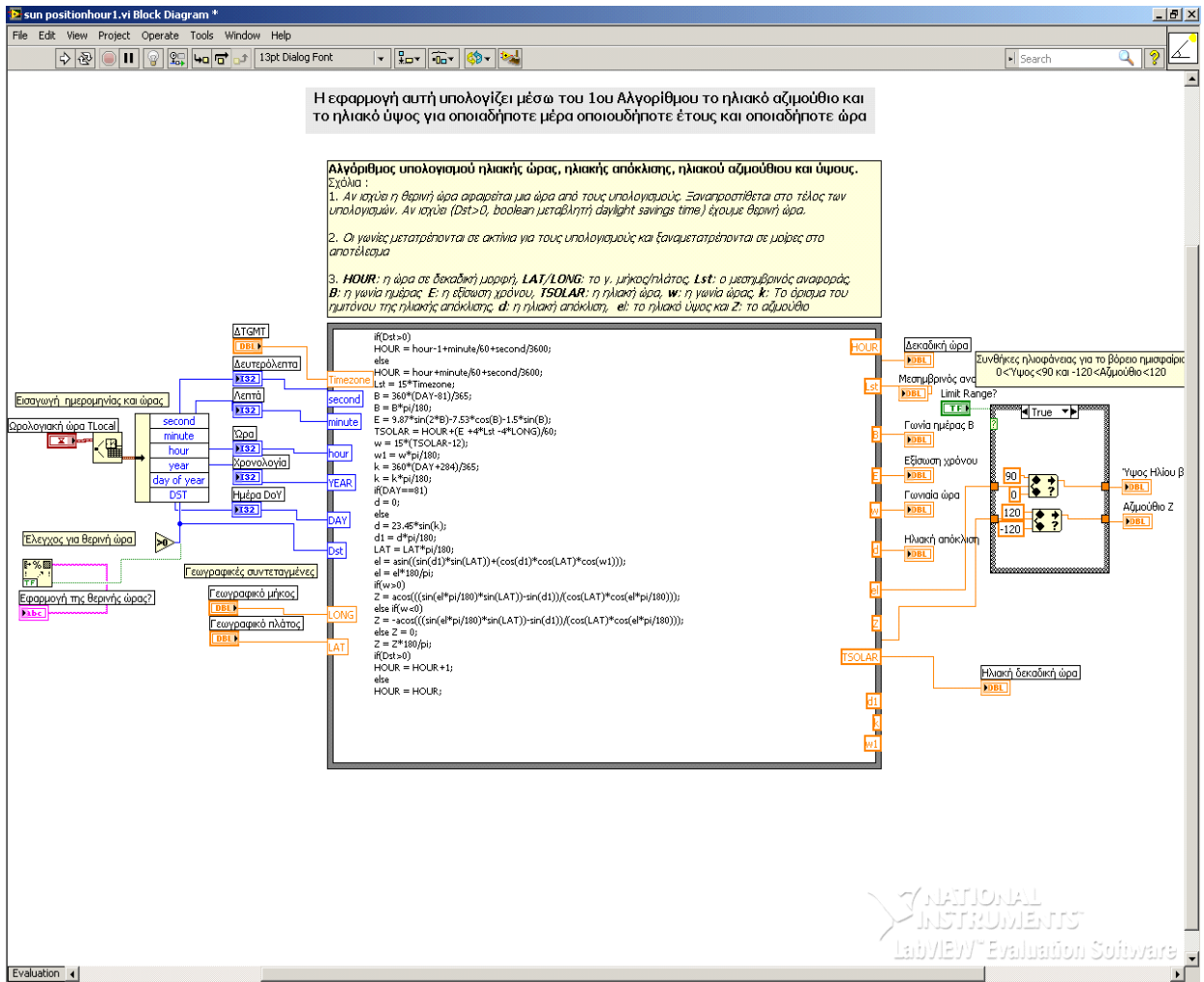
Οι τιμές που δέχονται αυτές οι εντολές είναι σε micro-step. Επειδή οι υπολογισμοί γίνονται σε μοίρες, χρησιμοποιείται η αναλογία που υπάρχει στην σελίδα http://www.zaber.com/products/product_group.php?group=T-RS&tab=Series%20Specs#tabs. Σύμφωνα με την οποία . Επομένως στο όρισμα “μέγεθος κίνησης (micro-steps)” θα βάζω τις μοίρες που έχω υπολογίσει διαιρεμένες κατά 0.000234375.

Με τη χρησιμοποίηση αυτών των drivers και την μετατροπή των μοιρών σε micro – steps έγινε δυνατή η μετακίνηση της στρεφόμενης zaber συσκευής σε οποιοσδήποτε μοίρες όριζε ο χρήστης.

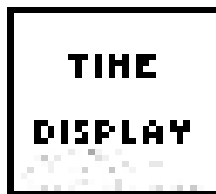
Εφαρμογή υπολογισμού της θέσης του ηλίου οποιαδήποτε στιγμή.

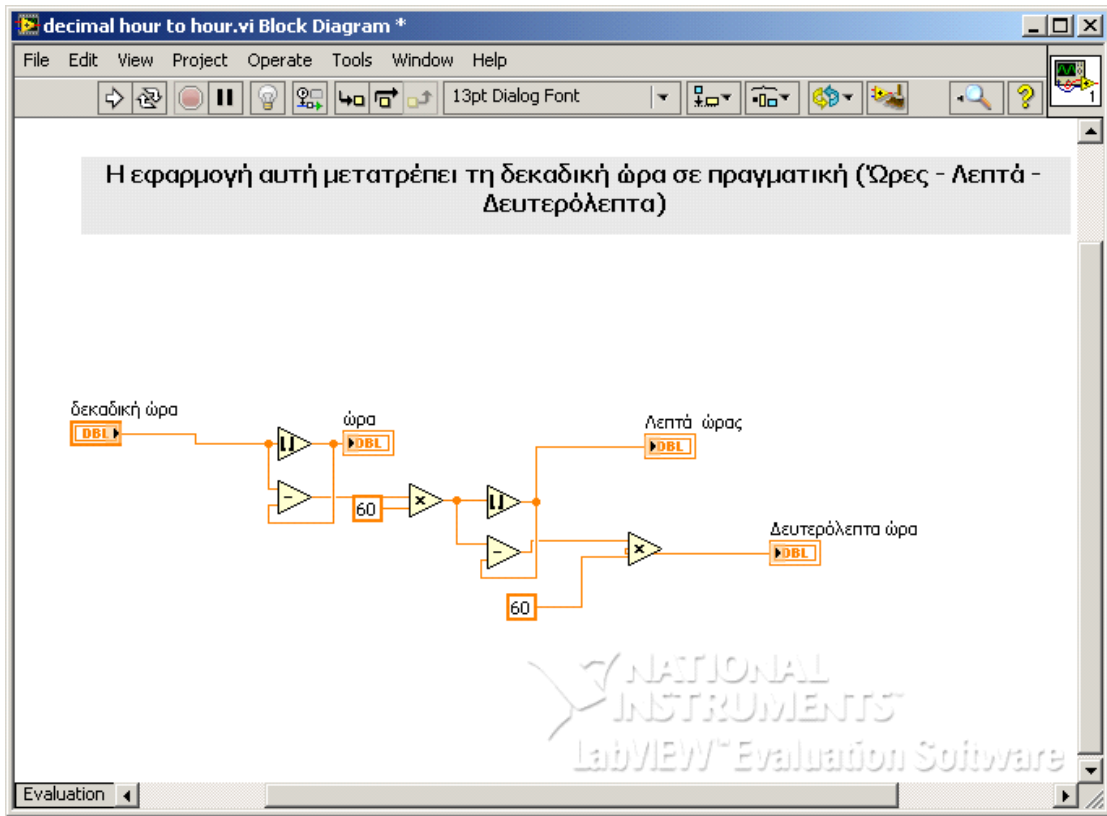


Η υπο-εφαρμογή αυτή υπολογίζει κάθε χρονική στιγμή τη γωνία του αζιμούθιου και του ύψους του ηλίου, όπως φαίνεται και στο επόμενο σχήμα :



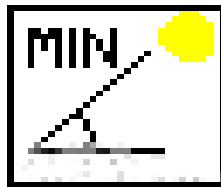
Υπο – εφαρμογή μετατροπής της δεκαδικής ηλιακής ώρας σε πραγματική



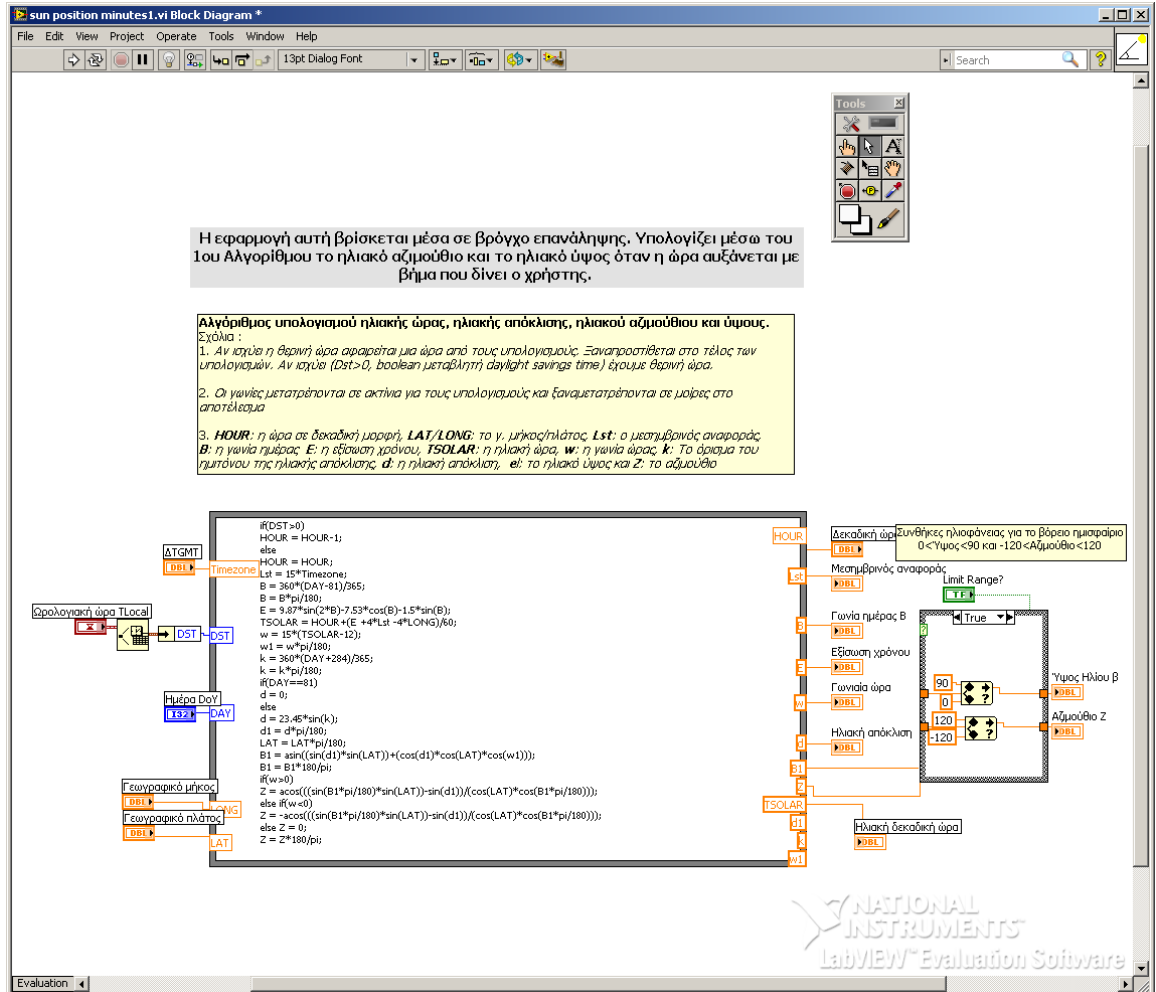


Ο αλγόριθμος της εφαρμογής αυτής είναι ο ακόλουθος :

Υπο - Εφαρμογή υπολογισμού του αζιμούθιου και του ύψους του ηλίου με ένα συγκεκριμένο βήμα.



Η οποία πραγματοποιεί τον ακόλουθο υπολογισμό :



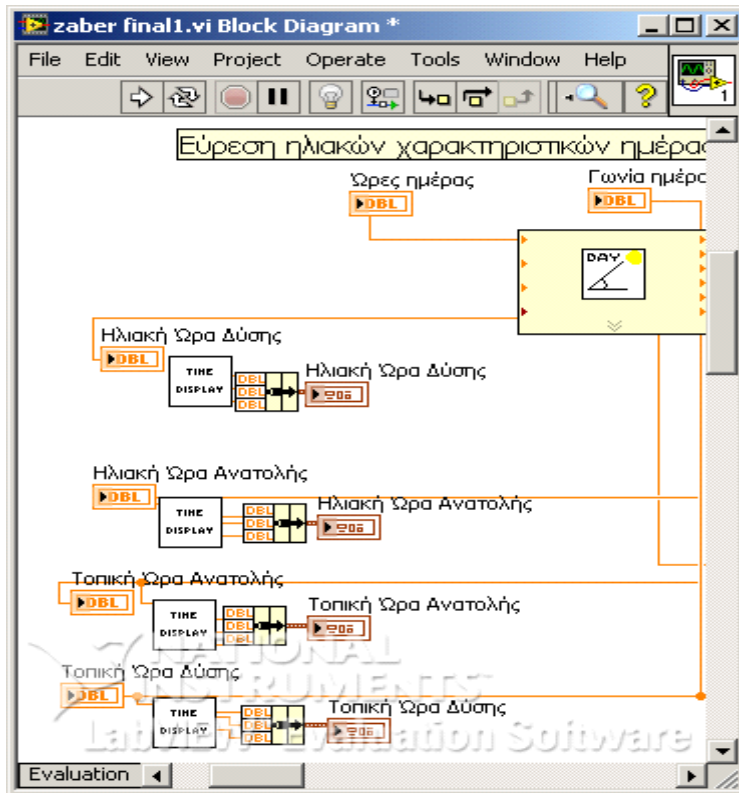
5.5 Το τελικό πρόγραμμα του εργαστηρίου

Οι υπό-εφαρμογές καλούνται σαν συναρτήσεις στο τελικό πρόγραμμα και απεικονίζονται με το εικονίδιό τους.

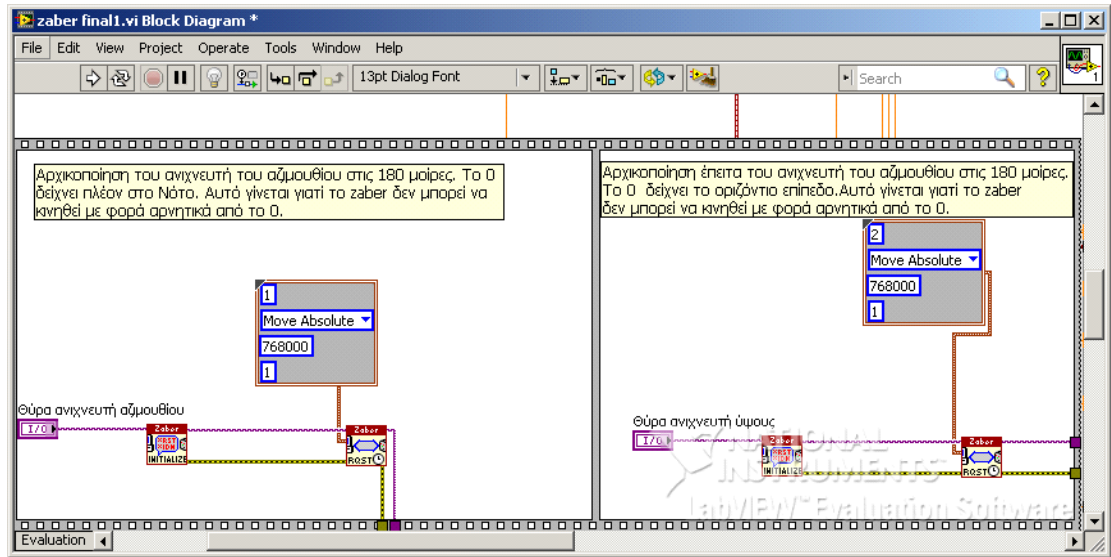
Η εφαρμογή αυτή οδηγεί ηλιακό ιχνηλάτη να παρακολουθεί την πορεία του ηλίου σύμφωνα με τον 1ο Αλγόριθμο για οποιαδήποτε μέρα, οποιοδήποτε έτος και για οποιοδήποτε ώρες. Ταυτόχρονα για τις ώρες αυτές κατασκευάζονται τα διαγράμματα αζιμουθίου - ύψους και χρόνου - ύψους

Τα δεδομένα (αυτά που εισάγει ο χρήστης) είναι η ημερομηνία, η ώρα, η ζώνη ώρας, οι γεωγραφικές συντεταγμένες, οι θύρες εισόδου των zaber συσκευών, το βήμα μέτρησης σε λεπτά, και ο χρόνος προσομοίωσης σε λεπτά. Αν θέλουμε να παρακολουθήσουμε σε κανονικό χρόνο την πορεία του ήλιου προφανώς .

Αρχικά υπολογίζονται τα ηλιακά χαρακτηριστικά που αφορούν τη μέρα κατά τη διάρκεια της οποίας θέλουμε να παρακολουθήσουμε την πορεία του ήλιου.

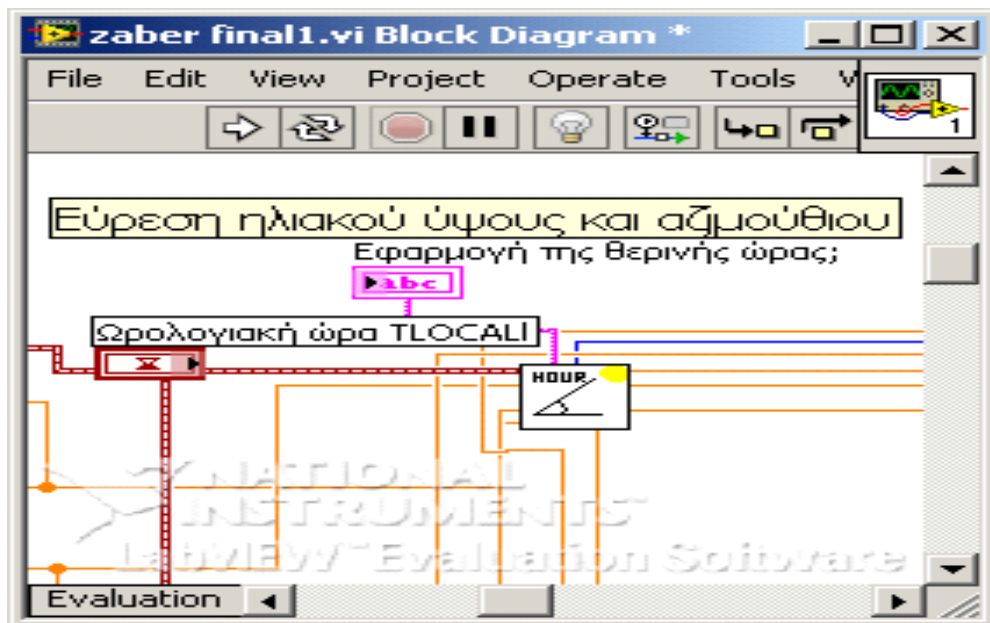


Ταυτόχρονα αρχικοποιούνται οι δύο zaber ανιχνευτές. Πρώτα αρχικοποιείται ο ανιχνευτής αζιμουθίου με τέτοιο τρόπο ώστε το 0 να είναι στο νότο -εντολή μετατόπισης στις ` (Σύμφωνα με το 5^ο Κεφάλαιο, επειδή η συσκευή δεν στρέφεται αριστερόστροφα στο 0, δημιουργούμε εμείς αναφορά στις 180^ο). Έπειτα αρχικοποιείται και ο ανιχνευτής του ύψους με τέτοιο τρόπο ώστε το κατασκευασμένο 0^ο να είναι το οριζόντιο επίπεδο.(Μετατόπιση)



Ο βρόγχος μέσα στον οποίον βρίσκονται οι zaber εντολές, καθορίζει την προτεραιότητα των εντολών. Πρώτα δίνονται εντολές στον ανιχνευτή του αζιμουθίου και μετά σε αυτόν του ύψους.

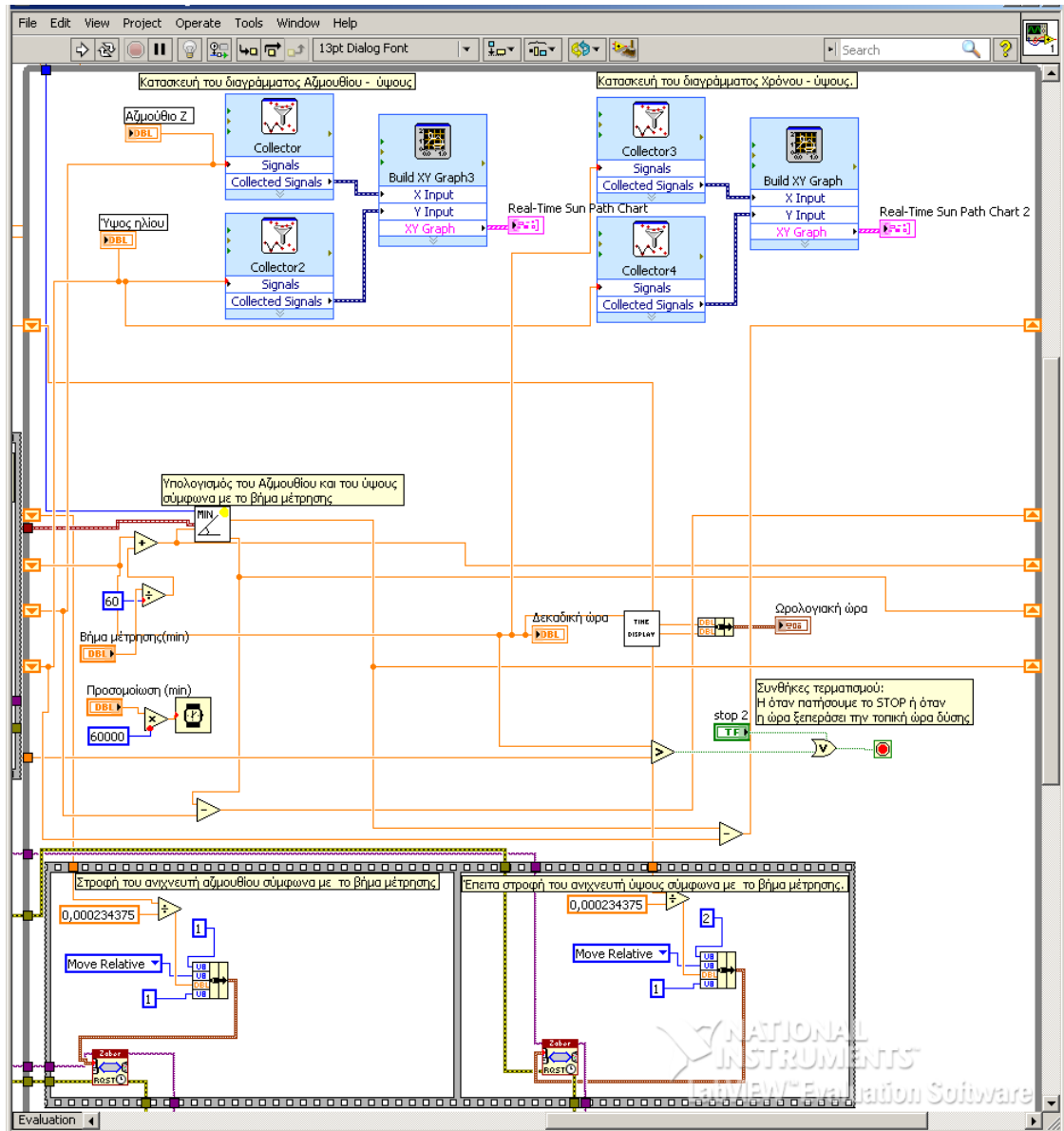
Μετά από τις αρχικές συνθήκες υπολογίζεται για την ώρα έναρξης των μετρήσεων (για την παρακολούθηση της πραγματικής πορείας του ήλιου ώρα έναρξης είναι η πραγματική ώρα έναρξης) το ηλιακό αζιμουθίο και το ύψος του ηλίου.



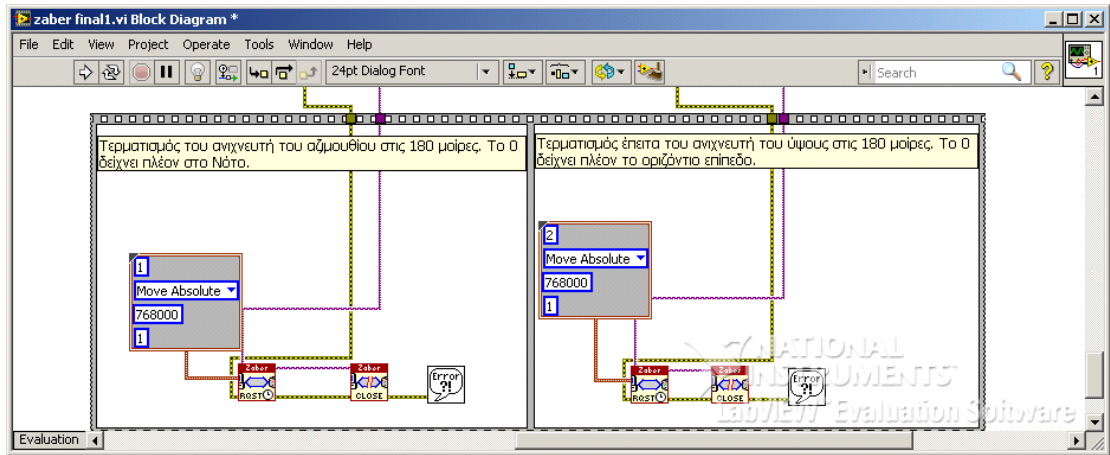
Αφού έχουν υπολογιστεί αυτά κατασκευάζεται ένας βρόγχος επανάληψης μέσα στον οποίο θα υπολογίζεται το αζιμούθιο και το ύψος με κάποιο βήμα που θα ορίζει ο χρήστης. Σύμφωνα με αυτούς τους υπολογισμούς ο ιχνηλάτης θα εντοπίζει τη θέση του ηλίου και ταυτόχρονα θα κατασκευάζονται τα διαγράμματα αζιμούθιο – ύψος και χρόνος – ύψος. Ο βρόγχος θα τερματίζεται ή από τον χρήστη ή τη στιγμή που νυχτώνει.

Βρόγχος επανάληψης:

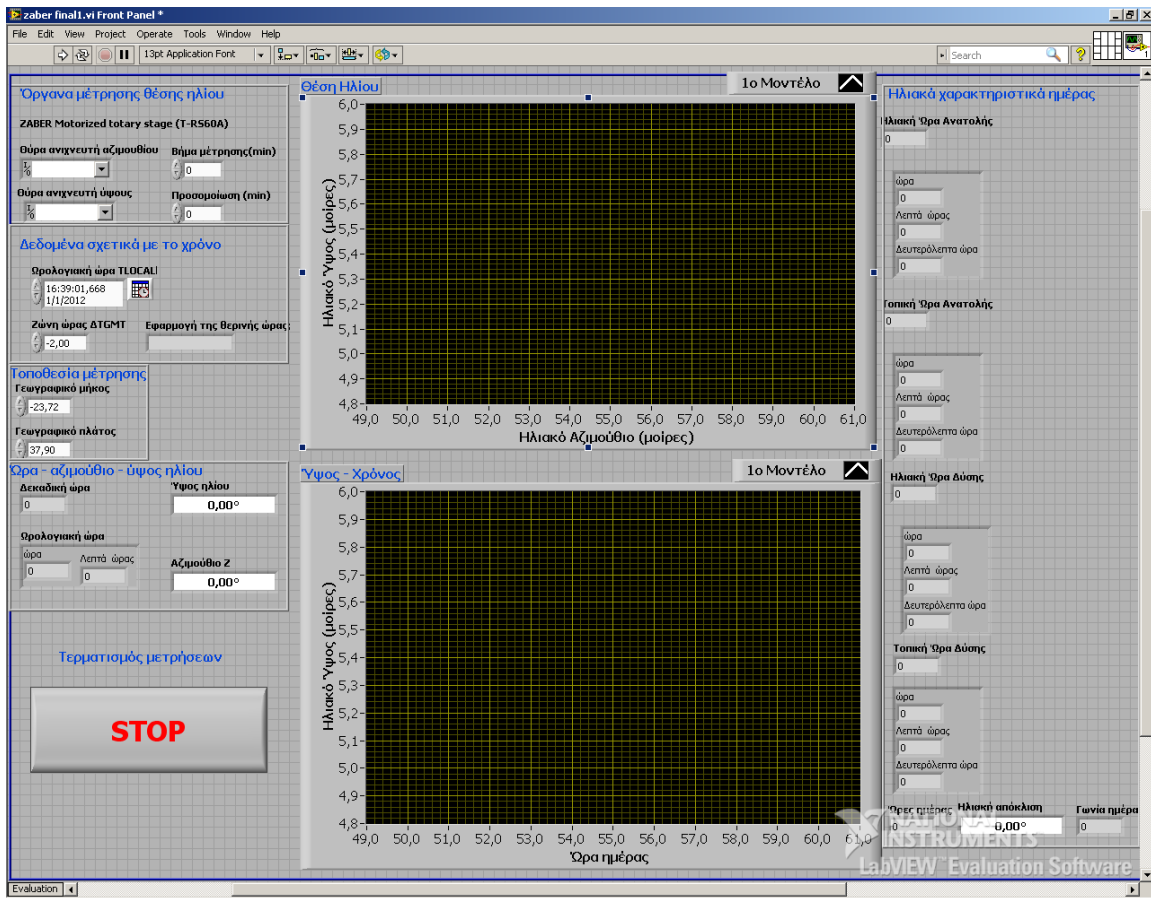
- 1. Αρχικές συνθήκες του βρόγχου είναι η δεκαδική ώρα, το ηλιακό αζιμούθιο και το ύψος της αρχικής στιγμής που ορίζει ο χρήστης.*
- 2. Ο βρόγχος μετά το πέρασμα κάποιου χρονικού διαστήματος που ορίζει ο χρήστης, υπολογίζει το αζιμούθιο και το ύψος με συχνότητα που την δίνει ο χρήστης.*
- 3. Ο ιχνηλάτης που είναι αρχικοποιημένος να είναι το 0 του ανιχνευτή αζιμουθίου στο Νότο και στο οριζόντιο επίπεδο ο ανιχνευτής του ύψους παρακολουθεί την πορεία του ήλιου με την συχνότητα που ορίζει ο χρήστης. Πρέπει προσομοίωση(min)=βήμα μέτρησης(min).*
- 4. Ταυτόχρονα κατασκευάζονται τα διαγράμματα αζιμούθιου - ύψους και χρόνου - ύψους,*
- 5. Ο βρόγχος τερματίζεται όποια στιγμή απιθυμεί ο χρήστης πατώντας το STOP ή την στιγμή που η ώρα ξεπεράσει την τοπική ώρα δύσης.*



Όταν τερματιστεί ο βρόγχος με μια από τις 2 συνθήκες τότε οι ανιχνευτές επιστρέφουν στην θέση αναφοράς και οι θύρες του υπολογιστή αποδεσμεύονται.



Η πρόσοψη της εφαρμογής στο Labview (front panel), δηλαδή αυτό που βλέπει ο χρήστης στην έναρξη της εφαρμογής και τοποθετεί τα δεδομένα του είναι:



Κεφάλαιο Έκτο: Σύνδεση του ηλιακού ιχνηλάτη με ψηφιακό πολύμετρο και πραγματοποίηση ενδεικτικής μέτρησης

6.1 Εισαγωγή

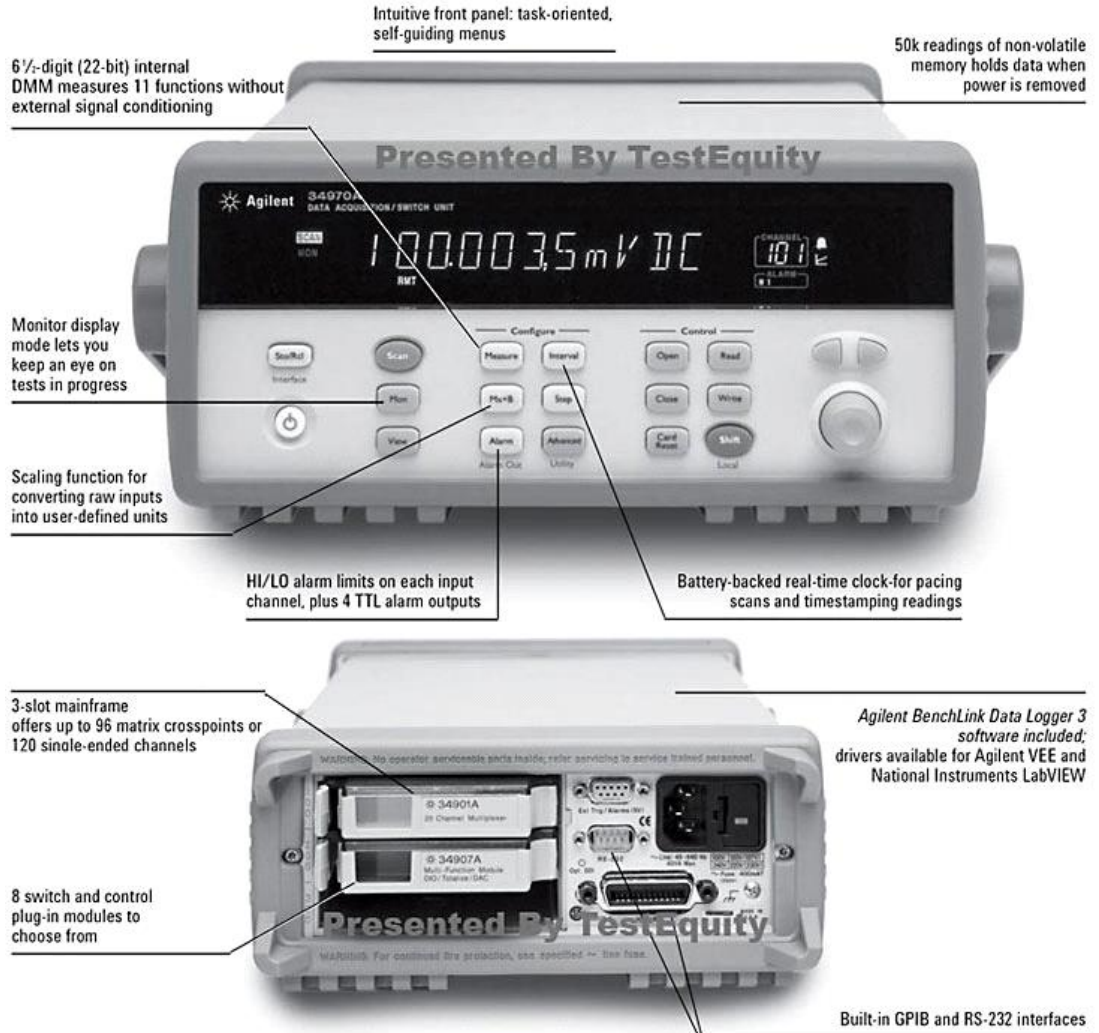
Για την καταγραφή και αποθήκευση των τάσεων που καταγράφουν οι αισθητήρες χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό πολύμετρο “34970A Data Acquisition” της Agilent. Το πολύμετρο ρυθμίστηκε στην εφαρμογή Labview του ηλιακού ιχνηλάτη, η οποία προσαρμόστηκε κατάλληλα. Τέλος έγινε δοκιμαστική μέτρηση, στην οποία ανά τρία λεπτά καταγράφονταν στο πολύμετρο η οριζόντια ακτινοβολία, η άμεση ακτινοβολία στην κατεύθυνση της ηλιακής ακτίνας και η συνολική ακτινοβολία στην κατεύθυνση της ηλιακής ακτίνας.

6.2 34970A Data Acquisition της Agilent

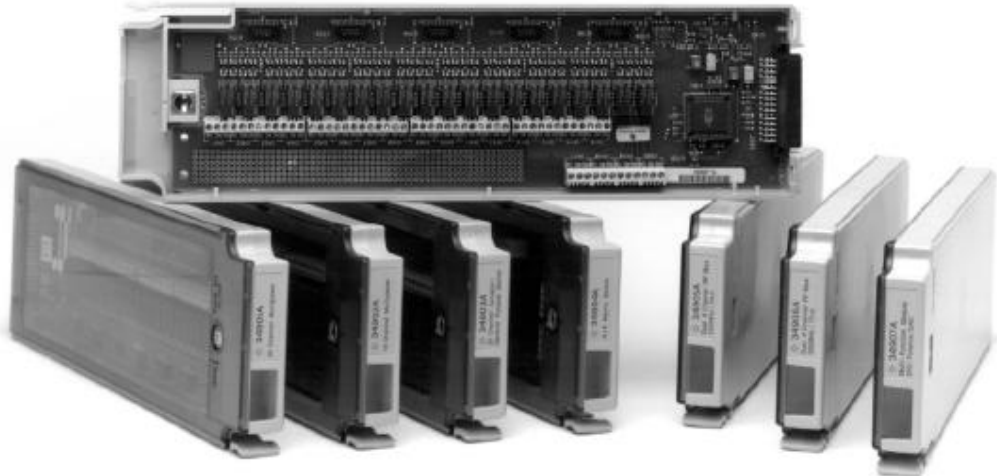
Το ψηφιακό αυτό πολύμετρο έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει πολλαπλές τιμές τάσεις από διαφορετικούς αισθητήρες μέσω ειδικής κάρτας εισαγωγής δεδομένων και παράλληλα δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης και επεξεργασίας των μετρήσεων με χρήση H/Y.

Στην κάρτα εισαγωγής συνδέονται οι αισθητήρες της διάταξης του ηλιακού ιχνηλάτη και στη συνέχεια το πολύμετρο συνδέεται σε H/Y.

Το πολύμετρο καθώς και η ειδική κάρτα εισαγωγής δίνεται στα παρακάτω σχήματα :



Σχ. 6.1 Πρόσωση και όπισθεν όψη του πολύμετρου



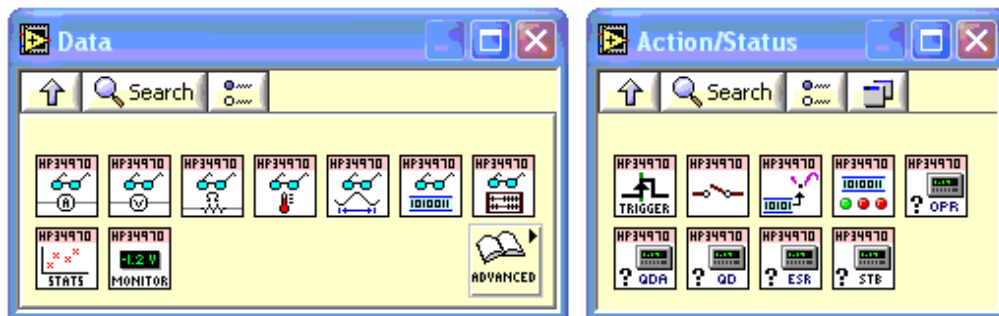
Σχ. 6.2 Κάρτες εισαγωγής δεδομένων

6.3 Προγραμματισμός του 34970A Data Acquisition σε περιβάλλον Labview

Στο επίσημο site της NI (<http://www.ni.com/white-paper/4644/en>) υπάρχουν εφαρμογές (drivers) για χρήση του πολυμέτρου και προγραμματισμό του σε περιβάλλον Labview.

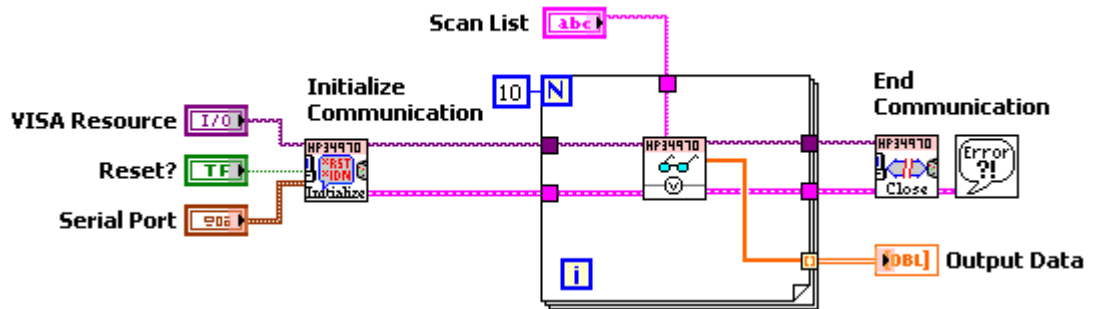
Με τους drivers αυτούς δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη της λήψης, αποθήκευσης και επεξεργασίας των μετρήσεων του πολυμέτρου καθώς και η δυνατότητα λειτουργίας του πολυμέτρου παράλληλα με άλλες συσκευές και κοινό προγραμματισμό τους στο Labview.

Το σύνολο των διαθέσιμων drivers από το site της NI φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



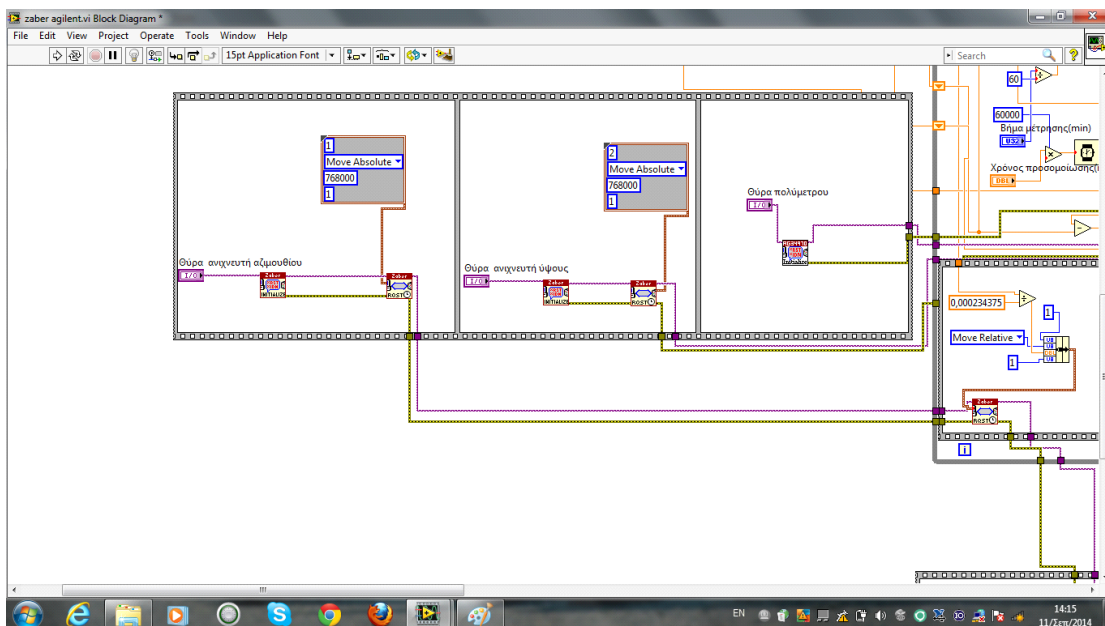
Για τον σκοπό που θα χρησιμοποιήσουμε στην παρούσα εργασία το πολύμετρο θα χρειαστεί ο driver που αναγνωρίζει το πολύμετρο, αυτός που αποθηκεύει τις τάσεις που λαμβάνει από τους αισθητήρες και αυτός που το τερματίζει. Οι drivers αυτοί

παρουσιάζονται στην ακόλουθη τυπική εφαρμογή στην οποία το πολύμετρο λαμβάνει 10 (αυθαίρετα) μετρήσεις τάσης και αποθηκεύει τα αποτελέσματα σε ένα πίνακα τιμών.

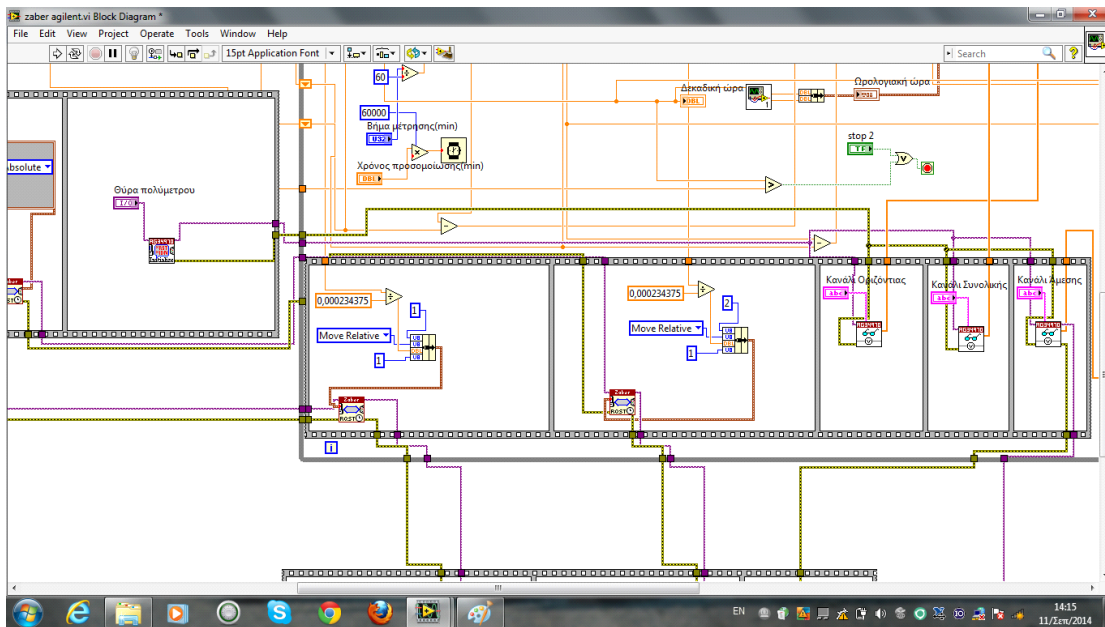


6.4 Ενσωμάτωση των drivers του 34970A Data Acquisition στην εφαρμογή Labview του εργαστηρίου.

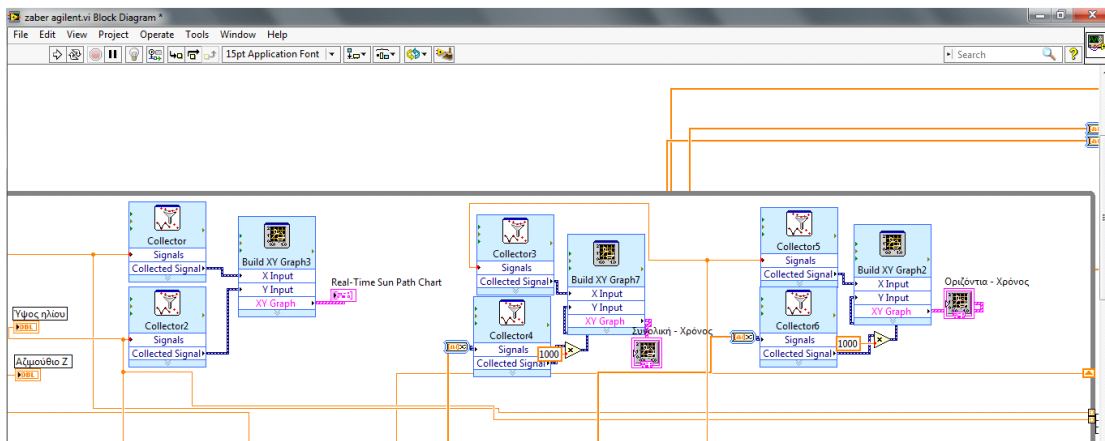
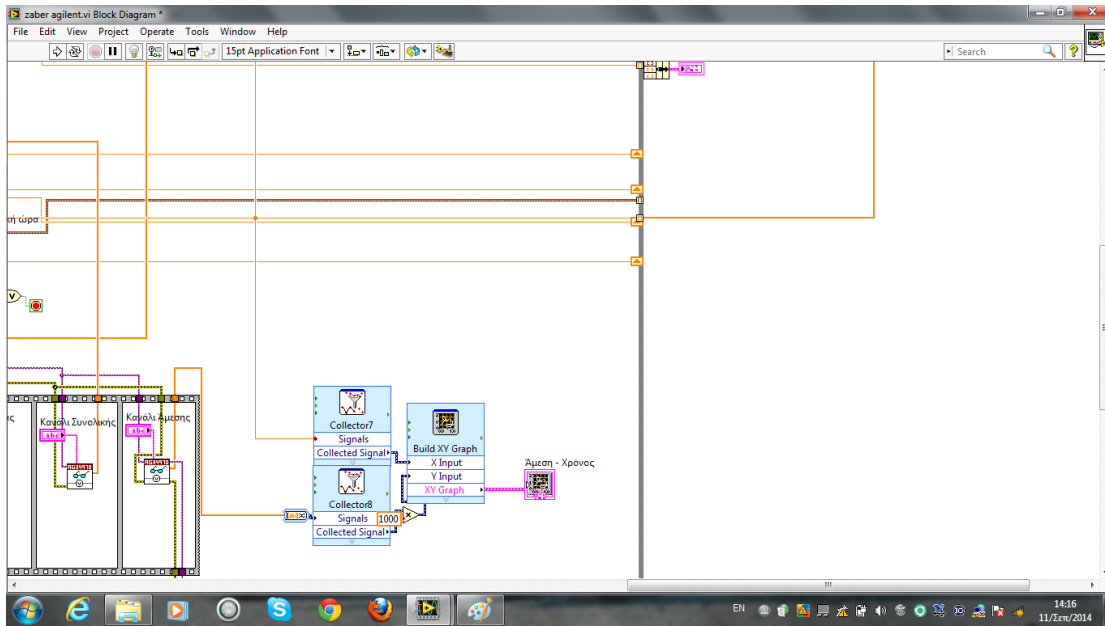
Η αναγνώριση για τη λειτουργία του 34970A Data Acquisition γίνεται μετά από ενσωμάτωση του αντίστοιχου driver στο βρόγχο επανάληψης. Το 34970A Data Acquisition αναγνωρίζεται αφού αναγνωρισθούν οι ανιχνευτές γωνιών.



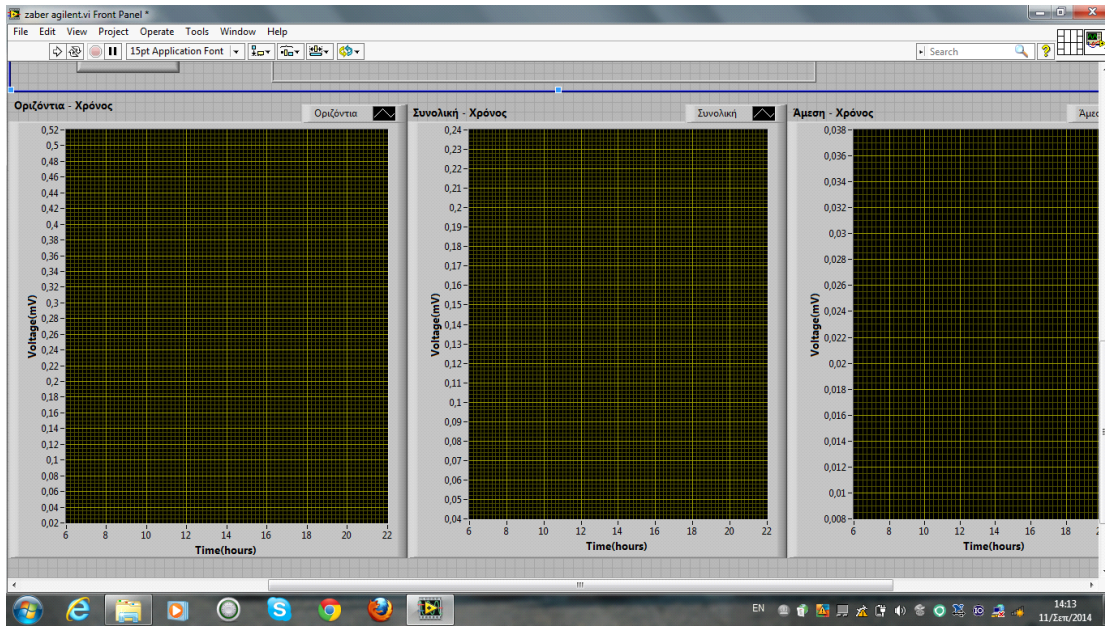
Στη συνέχεια μέσα στο βρόγχο επανάληψης οι 3 αισθητήρες καταγραφής της τάσης καταγράφουν την αντίστοιχη ακτινοβολία σε διαφορετικό κανάλι του 34970A Data Acquisition για κάθε τιμή της ηλιακής θέσης.



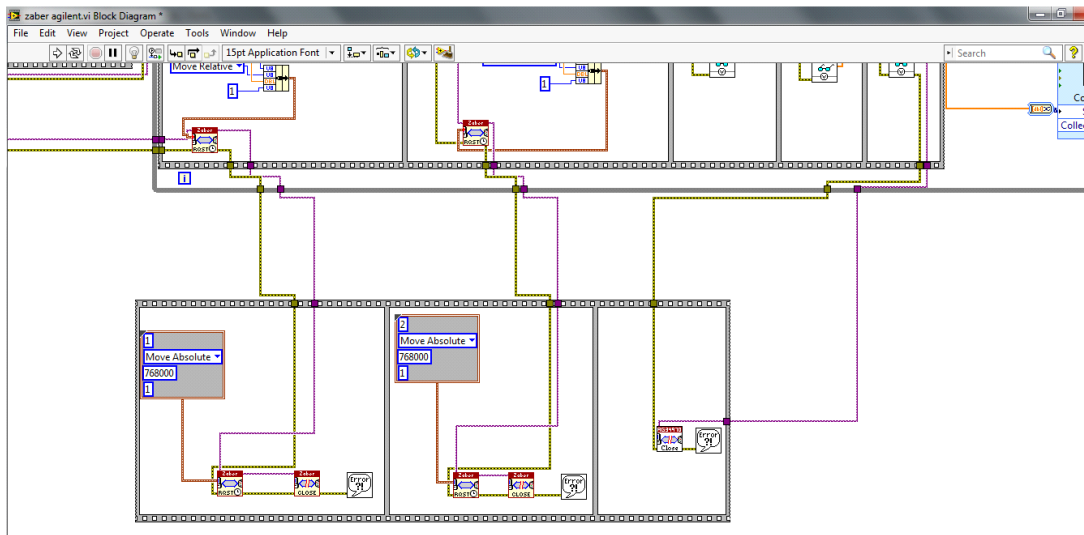
Οι τιμές αυτές καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο σε διαγράμματα στο Labview.



Τα διαγράμματα εμφανίζονται στο front panel :



Μετά το τέλος των μετρήσεων το πρόγραμμα εγκαταλείπει τον έλεγχο του 34970A Data Acquisition με χρήση του κατάλληλου driver.



6.5 Πραγματοποίηση ενδεικτικής μέτρησης με χρήση του του 34970A Data Acquisition συνδεδεμένου με τη διάταξη ηλιακού ιχνηλάτη.

Μετά την ενσωμάτωση των drivers του 34970A Data Acquisition στο πρόγραμμα πλοήγησης του ηλιακού ιχνηλάτη στο Labview πραγματοποιήθηκε ενδεικτική μέτρηση-έλεγχος στην ταράτσα του κτηρίου Ηλεκτρολόγων του ΕΜΠ την 20/6/2013.

Για τη μέτρηση αυτή η διάταξη του ιχνηλάτη καθώς και το 34970A Data Acquisition συνδέονται με φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή του εργαστηρίου και πραγματοποιείται καταγραφή και αποθήκευση της οριζόντιας ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και της συνολικής και άμεσης στην κατεύθυνση της ακτίνας του ηλίου ανά λεπτό.

Για την πραγματοποίηση της μέτρησης το σύστημα ιχνηλάτη τοποθετημένο στην οπτική βάση τοποθετήθηκε σε τραπέζι κατάλληλα ευθυγραμμισμένο με το οριζόντιο επίπεδο όπως διαπιστώθηκε με χρήση κατάλληλου οργάνου.

Στη συνέχεια με χρήση πυξίδας τοποθετήθηκε το κατασκευασμένο 0° του ανιχνευτή αζιμούθιου να είναι προσανατολισμένο προς το Νότο.

Οι 3 αισθητήρες συνδέθηκαν στο 34970A Data Acquisition και το τελευταίο στο φορητό H/Y.

Τέλος και ο ιχνηλάτης συνδέθηκε με φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή και ξεκίνησε η παρακολούθηση της τροχιάς του ηλίου για τη συγκεκριμένη μέρα.

Δεν παρουσιάστηκε κάποιο σφάλμα στις μετρήσεις καθώς η καταγραφή της ακτινοβολίας ήταν άμεση και ακριβής. Οι τιμές που αποθήκευσε το 34970A Data Acquisition μέσω του Labview είναι οι ακόλουθες :

Έναρξη 10:50:21 και λήξη 15:14:21

Ώρα	Voltage(mV) - Οριζόντια	Voltage(mV) - Συνολική	Voltage(mV) - Άμεση
10:50:21	56.6926	73.5919	72.6713
10:51:20	56.9255	73.725	72.7075
10:52:21	56.821	73.2877	72.2206
10:53:21	56.7667	73.2703	72.2156
10:54:20	57.0771	73.1339	71.8718
10:55:20	57.9721	74.2058	72.7125

10:56:21	57.8274	73.9796	72.4918
10:57:20	57.7409	73.6114	72.3499
10:58:21	57.6826	73.1652	71.838
10:59:21	57.948	73.7166	72.3976
11:00:20	57.8452	73.4899	72.4867
11:01:21	57.119	72.4454	71.266
11:02:21	58.073	73.548	72.1356
11:03:20	59.0387	74.2773	72.6729
11:04:20	59.3889	74.5233	72.2885
11:05:21	60.0291	75.0528	72.2841
11:06:20	60.2728	75.1565	71.9651
11:07:21	61.2492	76.0483	72.7615
11:08:21	60.9146	75.5813	71.8362
11:09:20	63.3898	78.1985	74.7091
11:10:20	62.1499	76.1813	72.2421
11:11:21	31.4371	37.2314	28.908
11:12:20	62.1135	75.9373	72.3357
11:13:21	61.7268	75.0704	71.781
11:14:21	62.4682	75.3352	71.521
11:15:20	63.391	76.1846	71.9265
11:16:21	63.4379	76.1831	71.8494
11:17:21	64.6119	77.7126	73.2026
11:18:20	62.4104	75.029	70.0083
11:19:20	65.5753	78.6067	73.6731
11:20:21	63.1114	75.2195	69.1529
11:21:20	65.637	77.6836	72.1293
11:22:21	32.4732	38.3867	32.6126
11:23:21	13.7999	15.4346	5.21582
11:24:20	14.9415	16.9186	6.57566
11:25:20	65.2189	77.317	71.7783
11:26:21	66.0126	78.4646	73.2738
11:27:20	42.5106	48.0148	39.8052
11:28:21	64.8196	77.3995	72.9512
11:29:21	63.4359	75.8717	71.6763
11:30:20	63.9996	76.416	72.8204
11:31:21	64.2124	76.3475	72.7513
11:32:21	65.0737	77.1682	73.2803
11:33:20	66.7669	78.5709	73.4386
11:34:20	47.5025	59.0128	54.6004
11:35:21	44.863	48.0901	33.7666
11:36:20	19.7304	22.1829	6.51012
11:37:21	47.5145	55.874	41.3207
11:38:21	27.5734	29.5974	8.2184
11:39:20	78.2166	89.6997	75.8049
11:40:20	19.3309	21.8533	5.37264
11:41:21	16.5494	18.1246	3.00643

11:42:20	15.7896	16.6584	2.87106
11:43:21	15.5357	16.2695	3.07731
11:44:21	16.1439	17.0232	3.10485
11:45:20	17.2554	18.1589	4.00148
11:46:21	19.1122	20.664	6.72576
11:47:21	14.1118	15.1413	4.81901
11:48:20	13.9201	14.8583	3.61172
11:49:20	19.8142	21.0051	5.12882
11:50:21	21.8178	22.3678	5.14803
11:51:20	28.3493	30.3624	14.1527
11:52:21	78.5062	87.2522	76.9376
11:53:21	75.3151	83.5726	74.2082
11:54:20	63.9177	73.9099	68.4548
11:55:20	72.0563	80.148	73.4485
11:56:21	73.0028	80.4489	72.6082
11:57:20	64.2391	68.3068	53.1714
11:58:21	75.4023	82.6332	71.9597
11:59:21	73.3167	80.0855	70.6076
12:00:20	72.2178	80.3774	73.2409
12:01:21	67.2072	74.1055	69.3309
12:02:21	67.0653	75.6274	73.5659
12:03:20	67.0891	75.5928	73.9851
12:04:20	67.8006	76.1487	74.2953
12:05:21	68.0577	76.1444	74.44
12:06:20	67.8409	75.8179	74.0709
12:07:21	68.3958	76.1905	74.0534
12:08:21	68.5715	76.282	73.2896
12:09:20	69.1234	76.8291	72.9248
12:10:20	70.0294	78.1143	74.1121
12:11:21	69.4397	77.7346	73.4904
12:12:20	69.7144	77.7169	73.6568
12:13:21	70.1455	77.5321	73.1904
12:14:21	70.6432	78.215	73.3935
12:15:20	70.6306	78.1447	73.3052
12:16:21	70.1358	77.2087	72.8073
12:17:21	69.8161	76.4232	72.2036
12:18:20	69.4039	75.8324	71.9697
12:19:20	69.5805	75.9392	72.2219
12:20:21	70.9703	77.2278	72.6486
12:21:20	24.6093	24.7061	14.5263
12:22:21	73.5502	79.1574	72.8422
12:23:21	74.3474	79.9548	72.6345
12:24:20	60.7897	66.721	59.0127
12:25:20	66.4735	74.929	70.9956
12:26:21	70.4215	76.2641	71.4111
12:27:20	17.0334	17.6726	10.0068

12:28:21	67.0389	73.0593	71.2515
12:29:21	66.7449	72.9331	71.785
12:30:20	66.695	72.7686	72.5677
12:31:21	66.8419	73.1337	73.12
12:32:21	66.4078	72.5688	72.3629
12:33:20	66.6938	72.8395	72.9189
12:34:20	66.6197	72.7074	72.8213
12:35:21	66.4527	72.5532	72.8892
12:36:20	66.7498	72.9867	73.321
12:37:21	66.948	72.9614	73.4549
12:38:21	66.6904	72.6001	73.0689
12:39:20	67.2649	73.0537	73.6066
12:40:20	67.4939	73.2838	73.8402
12:41:21	67.377	73.261	73.8162
12:42:20	67.6452	73.4433	74.246
12:43:21	67.7954	73.5597	74.4359
12:44:21	67.7989	73.5829	74.4864
12:45:20	67.7538	73.6473	74.4851
12:46:21	67.993	73.7079	74.6603
12:47:21	68.0862	73.64	74.6281
12:48:20	68.0575	73.6742	74.6302
12:49:20	67.9371	73.4646	74.4698
12:50:21	68.0126	73.5984	74.7028
12:51:20	68.092	73.6805	74.8723
12:52:21	68.4203	73.9068	74.9719
12:53:21	68.1823	73.5844	74.7212
12:54:20	68.1013	73.584	74.4318
12:55:20	68.0669	73.5331	74.4111
12:56:21	68.2286	73.6457	74.6982
12:57:20	68.3055	73.7706	74.8259
12:58:21	68.3285	73.7876	74.7901
12:59:21	68.4147	73.716	74.9686
13:00:20	68.7439	73.9832	75.0243
13:01:21	68.5025	73.7089	75.0649
13:02:21	68.6374	73.8263	74.9274
13:03:20	68.7293	74.0042	75.2221
13:04:20	68.84	74.188	75.3934
13:05:21	68.8083	74.0777	75.3649
13:06:20	69.0089	74.2488	75.3691
13:07:21	69.0949	74.2701	75.3262
13:08:21	68.9884	74.0395	75.3201
13:09:20	68.9917	74.1754	75.3408
13:10:20	68.8137	73.9357	75.2682
13:11:21	68.8959	74.0659	75.4527
13:12:20	68.72	74.0283	75.4106
13:13:21	68.5518	73.944	75.2775

13:14:21	68.737	73.9589	75.2078
13:15:20	68.9318	74.1719	75.3126
13:16:21	68.8087	73.9792	75.4505
13:17:21	68.8486	74.1373	75.6548
13:18:20	68.8702	74.0032	75.3543
13:19:20	69.0681	74.2056	75.6465
13:20:21	69.028	74.1653	75.7688
13:21:20	68.8326	73.9274	75.3624
13:22:21	68.9075	73.9947	75.3838
13:23:21	68.8574	74.1505	75.3848
13:24:20	68.7095	73.8675	75.3249
13:25:20	68.7206	73.9375	75.4625
13:26:21	68.5497	73.6439	75.1195
13:27:20	68.7339	74.0013	75.3054
13:28:21	68.8294	74.143	75.3179
13:29:21	68.6904	73.8889	75.2622
13:30:20	68.8974	74.0031	75.2379
13:31:21	68.5977	73.8282	75.0144
13:32:21	68.5688	73.8152	75.0285
13:33:20	68.3015	73.5582	74.6383
13:34:20	68.2443	73.4267	74.3832
13:35:21	68.1524	73.4082	74.0832
13:36:20	67.7181	73.1607	73.891
13:37:21	68.0798	73.3602	74.0147
13:38:21	68.0736	73.5848	74.2919
13:39:20	68.0393	73.4999	74.2871
13:40:20	67.8374	73.2692	74.0155
13:41:21	67.9786	73.2103	74.0268
13:42:20	68.0582	73.5094	74.1631
13:43:21	67.8111	73.3567	73.8171
13:44:21	67.7142	73.1966	73.7971
13:45:20	67.8643	73.3563	73.8229
13:46:21	67.8169	73.3983	73.8319
13:47:21	67.8313	73.7988	74.2498
13:48:20	67.878	73.4214	74.0417
13:49:20	67.5396	73.3327	74.1188
13:50:21	67.9717	73.7183	74.1081
13:51:20	67.9017	73.4655	74.1328
13:52:21	67.5352	73.2974	73.9807
13:53:21	67.5833	73.4565	74.0335
13:54:20	67.4361	73.2835	73.7972
13:55:20	67.5888	73.5667	74.2621
13:56:21	67.5974	73.5143	74.2501
13:57:20	67.3687	73.4111	74.119
13:58:21	67.5447	73.6203	74.173
13:59:21	67.6435	73.6719	74.3261

14:00:20	67.5273	73.6558	74.1597
14:01:21	67.4964	73.7275	74.3066
14:02:21	67.5363	73.7446	74.1514
14:03:20	67.3439	73.6595	74.1166
14:04:20	67.1637	73.4742	73.9845
14:05:21	66.9499	73.438	73.8417
14:06:20	67.0464	73.504	74.0483
14:07:21	67.0754	73.9298	74.2187
14:08:21	67.0952	73.6757	73.8329
14:09:20	66.8776	73.5078	73.5659
14:10:20	66.8599	73.7878	73.6864
14:11:21	66.5248	73.4463	73.2564
14:12:20	66.2661	73.1259	72.8781
14:13:21	66.5823	73.5857	73.2758
14:14:21	66.6399	73.6024	73.2479
14:15:20	66.6818	73.7158	73.3677
14:16:21	66.3083	73.4783	73.2022
14:17:21	66.4349	73.6239	73.3123
14:18:20	66.3834	73.8928	73.6995
14:19:20	66.476	73.8059	73.6607
14:20:21	66.4416	73.9229	73.4802
14:21:20	65.8276	73.2479	73.0501
14:22:21	65.7839	73.401	73.096
14:23:21	65.6916	73.3139	72.8256
14:24:20	65.8419	73.5261	73.2443
14:25:20	65.7031	73.556	73.2409
14:26:21	65.9653	73.8341	73.5308
14:27:20	65.5489	73.5056	72.9954
14:28:21	65.8176	73.8335	73.4778
14:29:21	65.986	74.4063	73.7567
14:30:20	66.2984	74.7019	73.753
14:31:21	66.9606	75.4683	73.7649
14:32:21	66.8481	75.4276	73.5385
14:33:20	66.2977	75.0364	73.4346
14:34:20	65.5861	74.4615	73.0251
14:35:21	65.204	74.3795	72.8919
14:36:20	64.9397	74.3451	72.8302
14:37:21	65.3542	74.8837	72.9636
14:38:21	65.4408	75.095	73.1231
14:39:20	65.4597	75.2967	72.9934
14:40:20	65.8895	76.0836	73.4718
14:41:21	66.3278	77.0539	73.4102
14:42:20	65.6465	76.1081	73.028
14:43:21	65.1058	75.0216	73.2053
14:44:21	64.4992	74.1962	73.11
14:45:20	64.2156	73.9357	73.1244

14:46:21	64.2301	73.8363	73.1622
14:47:21	64.2256	73.7588	73.1542
14:48:20	64.2247	73.9894	73.1531
14:49:20	64.1229	73.95	73.2552
14:50:21	63.7068	73.7004	72.7908
14:51:20	63.1939	73.299	72.4765
14:52:21	63.4273	73.7603	72.9753
14:53:21	63.6184	74.1082	73.0679
14:54:20	63.8495	74.4825	73.2677
14:55:20	64.109	74.4851	73.1214
14:56:21	63.2819	73.7866	72.7337
14:57:20	62.8898	73.6198	72.3203
14:58:21	62.7481	73.424	72.298
14:59:21	62.5026	73.2062	72.2176
15:00:20	62.19	73.2167	72.1872
15:01:21	62.1145	73.2618	72.3551
15:02:21	61.8413	73.1386	72.1185
15:03:20	62.0227	73.3429	72.1832
15:04:20	61.8882	73.5209	72.3669
15:05:21	61.7058	73.4194	72.2369
15:06:20	61.3877	73.1833	71.8672
15:07:21	61.2601	72.9012	71.5445
15:08:21	60.4663	72.0037	70.7277
15:09:20	61.1508	73.0408	71.7153
15:10:20	61.1364	73.2709	71.9176
15:11:21	61.1792	73.3103	72.1541
15:12:20	60.5641	72.8385	71.7827
15:13:21	60.7471	72.7771	72.047
15:14:21	61.1508	73.6819	72.4131

Κεφάλαιο Έβδομο: Τροποποίηση της εφαρμογής του εργαστηρίου σε περιβάλλον Labview με σκοπό τη καταγραφή της συνολικής ακτινοβολίας σε σταθερή κατά το ύψος γωνία και πραγματοποίηση των αντιστοιχών μετρήσεων

7.1 Εισαγωγή

Τροποποίηση της εφαρμογής του εργαστηρίου για την πλοήγηση του ηλιακού ιχνηλάτη σε περιβάλλον Labview, με σκοπό την καταγραφή της συνολικής ακτινοβολίας του ηλίου στην εκάστοτε αζιμουθιακή θέση αλλά σε ύψος σταθερών μοιρών. Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν η διάταξη του ηλιακού ιχνηλάτη καταγράφει σε βήμα πεντάλεπτου την ηλιακή ακτινοβολία στην κατεύθυνση της ηλιακής ακτίνας και σε ύψος 30, 50 και 70 μοιρών σταθερό κατά την αζιμουθιακή περιστροφή του ηλίου. Οι μοίρες μετριοούνται με αναφορά το κάθετο επίπεδο. Η αποθήκευση των τιμών τάσης από τους αισθητήρες έγινε μέσω του 34970A Data Acquisition της Agilent.

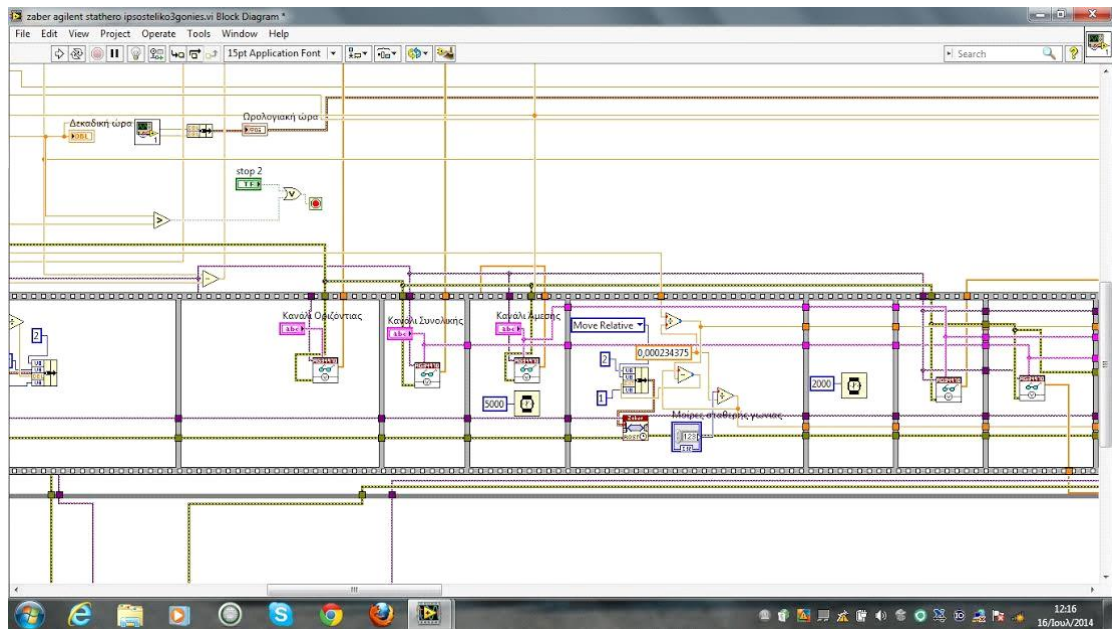
7.2 Τροποποιήσεις στην εφαρμογή του εργαστηρίου για την πλοήγηση του ιχνηλάτη.

Σκοπός της τροποποίησης είναι σε κάθε δοσμένο βήμα μέτρησης να δίνεται η δυνατότητα στο ψηφιακό πολύμετρο να καταγράφει την ηλιακή ακτινοβολία σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση της ακτίνας αλλά και ύψος σταθερών μοιρών από το οριζόντιο επίπεδο κατά την αζιμούθια περιστροφή του ηλίου. Επιλέγουμε να θέσουμε στο χρήστη της εφαρμογής τη δυνατότητα να επιλέξει τις μοίρες για 3 σταθερές γωνίες. Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν επιλέχθηκαν οι γωνίες 30, 50 και 70 μοιρών από το οριζόντιο επίπεδο.

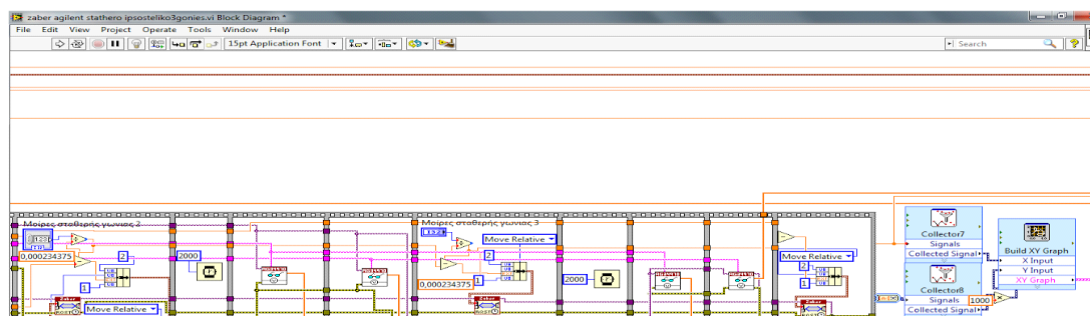
Για να πραγματοποιηθεί αυτό οδηγούμε τον ιχνηλάτη αρχικά στην κατεύθυνση της ακτίνας του ηλίου και καταγράφουμε την συνολική ακτινοβολία. Στη συνέχεια μηδενίζουμε τη μεταβλητή του ύψους του ηλίου και τον οδηγούμε κατά σειρά στις 30, 50 και 70 μοίρες. Ανάμεσα σε κάθε μεταβολή ρυθμίζουμε το πολύμετρο να καταγράφει

τη συνολική ακτινοβολία. Για το λόγο αυτό βάζουμε ένα χρονικό διάστημα 2s (2000 ms) αναμονής πριν την κάθε μεταβολή.

Οι αλλαγές φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα :



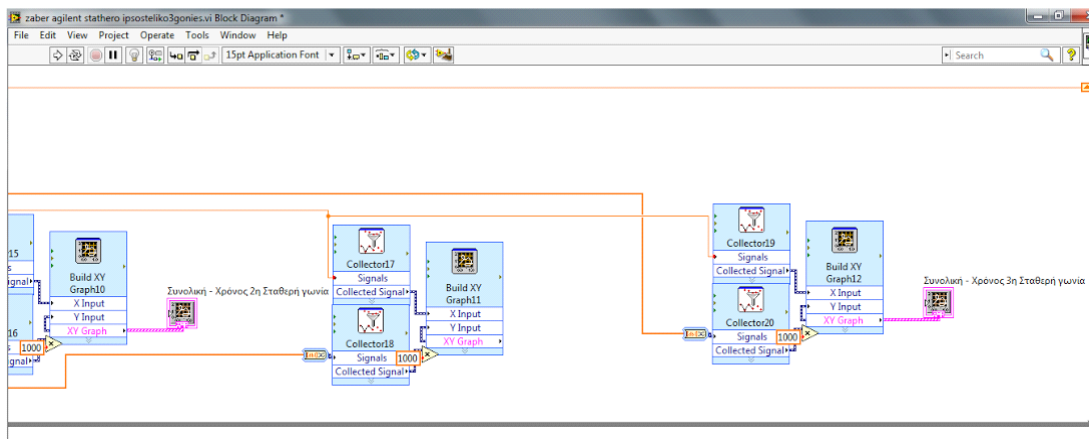
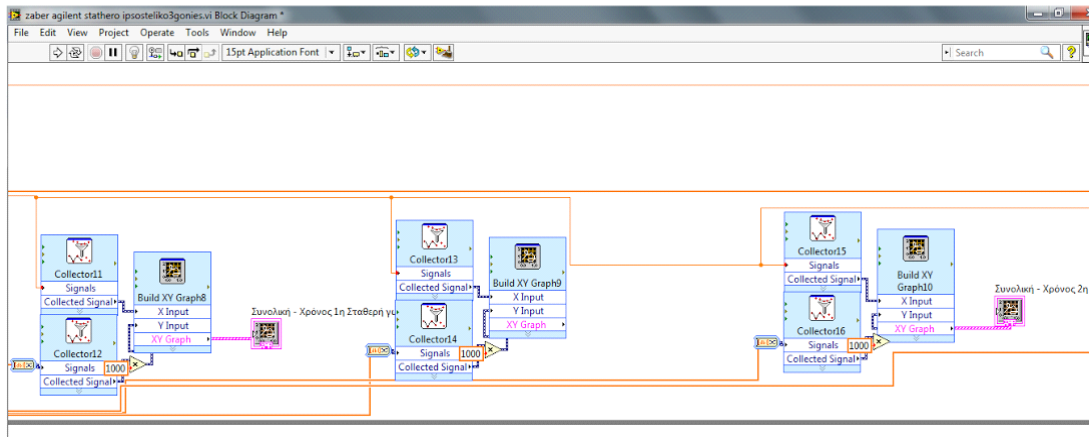
Αφού έχει καταγραφεί η συνολική ακτινοβολία στη διεύθυνση της ακτίνας ο ιχνηλάτης μεταβαίνει στην πρώτη σταθερή γωνία που ορίζουμε(30 μοίρες) και καταγράφεται ξανά η συνολική ακτινοβολία.



Στη συνέχεια μεταβαίνει και στις υπόλοιπες γωνίες όπου πραγματοποιεί την αντίστοιχη μέτρηση με καθυστέρηση 2s. Στο τέλος επιστρέφει στην θέση του πραγματικού ύψους του ηλίου και ολοκληρώνεται αυτό το σκέλος του βρόγχου επανάληψης.

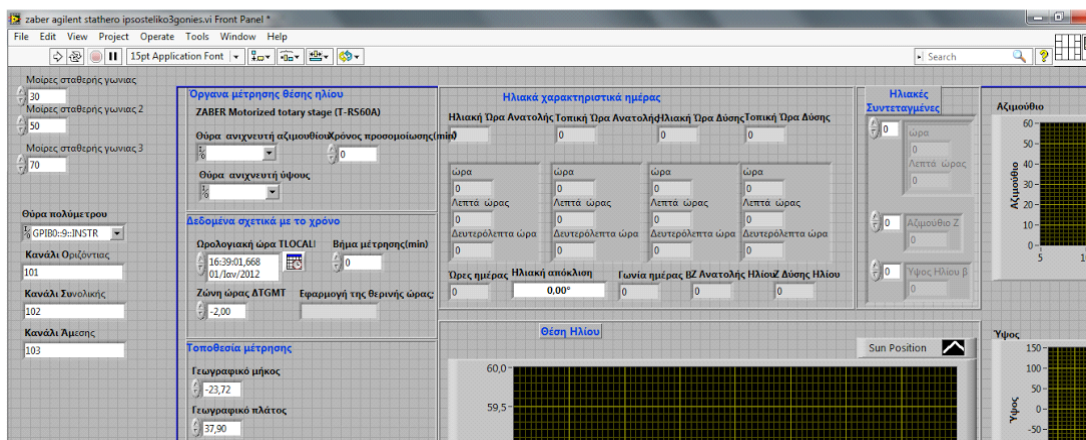
Οι τιμές της τάσης που καταγράφονται παριστάνονται σε πραγματικό χρόνο σε διαγράμματα στην πρόσοψη της εφαρμογής κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

Για να πραγματοποιηθεί αυτό δημιουργούνται υπο-εφαρμογές που απεικονίζουν γραφικά τις τιμές που καταγράφει το πολύμετρο από τους αισθητήρες συναρτήσει του χρόνου. Οι υπο-εφαρμογές παρουσιάζονται στα επόμενα σχήματα :

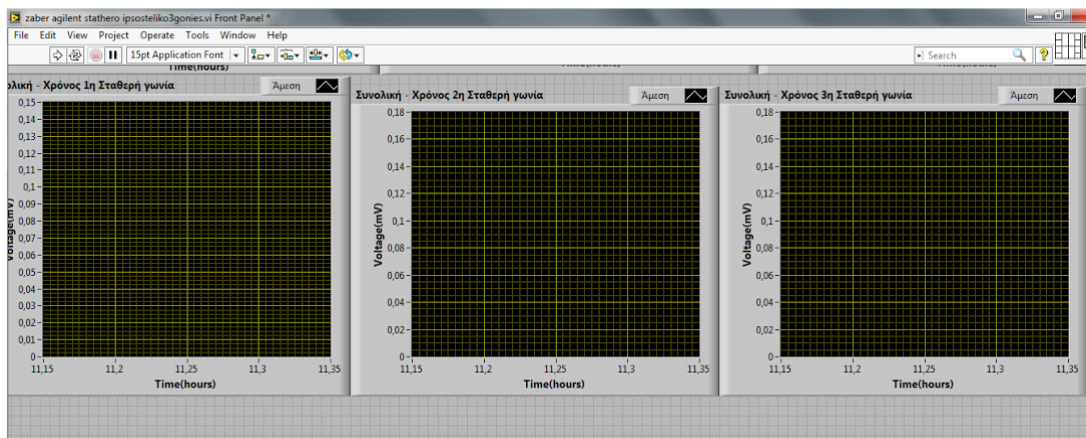


7.3 Τελική εικόνα της πρόσοψης της εφαρμογής

Η πρόσοψη της εφαρμογής (front panel) πλέον δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει τις μοίρες των σταθερών γωνιών :



Ταυτόχρονα απεικονίζονται και οι τιμές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε mV συναρτήσευ του χρόνου :



7.4 Πραγματοποίηση μετρήσεων στην ταράτσα του κτηρίου Ηλεκτρολόγων του ΕΜΠ για την ταυτόχρονη καταγραφή της συνολικής ακτινοβολίας του ηλίου στην κατεύθυνση της ηλιακής ακτίνας και σε σταθερές γωνίες από το οριζόντιο επίπεδο.

Πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις σε διαφορετικές μέρες με την τροποποιημένη εφαρμογή. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση της διάταξης του ηλιακού ιχνηλάτη, το ψηφιακό πολύμετρο 34970A Data Acquisition της Agilent και φορητό υπολογιστή του εργαστηρίου. Το βήμα μέτρησης που επιλέχθηκε και για τις 2 μετρήσεις ήταν τα 5 λεπτά.

Για την πραγματοποίηση της μέτρησης το σύστημα ιχνηλάτη τοποθετημένο στην οπτική βάση τοποθετήθηκε σε τραπέζι κατάλληλα ευθυγραμμισμένο με το οριζόντιο επίπεδο όπως διαπιστώθηκε με χρήση κατάλληλου οργάνου.

Στη συνέχεια με χρήση πυξίδας τοποθετήθηκε το κατασκευασμένο 0° του ανιχνευτή αζιμούθιου να είναι προσανατολισμένο προς το Νότο.

Οι 3 αισθητήρες συνδέθηκαν στο 34970A Data Acquisition και το τελευταίο στο φορητό Η/Υ.

Στη συνέχεια καταγράφηκαν και παρουσιάζονται οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε mV όπως καταγράφονται και αποθηκεύονται από τους αισθητήρες.

Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την 1/7/2014 (έναρξη 12:09:37 και λήξη 15:04:36)

Ώρα	Ηλιακό Αζιμούθιο (μοίρες)	Ηλιακό ύψος (μοίρες)	Οριζόντια ακτινοβολία	Συνολική ακτινοβολία	Άμεση ακτινοβολία (mV)	Συνολική ακτινοβολία	Συνολική ακτινοβολία	Συνολική ακτινοβολία
-----	---------------------------	----------------------	-----------------------	----------------------	------------------------	----------------------	----------------------	----------------------

			(mv)	(mv)		ύψους 30 μοιρών (mV)	ύψους 50 μοιρών (mV)	ύψους 70 μοιρών (mV)
12:09:37	-54.5	67.6	65.4344	73.1954	74.1008	62.7861	71.5746	73.4147
12:14:36	-52.2	68.3	65.3496	72.8962	73.447	61.7661	70.7648	72.7245
12:19:36	-49.9	69.1	66.1443	73.2383	74.0933	61.7356	70.8789	73.2186
12:24:37	-47.4	69.9	66.8176	73.73	73.5279	61.7087	71.2432	73.9869
12:29:36	-44.7	70.6	67.1385	73.7252	73.5017	61.2609	70.9587	73.7368
12:34:36	-41.9	71.2	67.6757	73.7463	73.383	60.6636	70.4371	73.6827
12:39:37	-38.8	71.9	67.5803	73.5282	73.2888	60.0382	69.9957	73.4368
12:44:36	-35.6	72.5	67.5895	73.4723	73.2014	60.016	70.4888	74.0468
12:49:36	-32.2	73	69.7331	75.5432	74.0383	61.4936	71.8175	75.824
12:54:37	-28.6	73.5	68.7395	74.3145	73.0388	60.0937	70.4964	74.3482
12:59:36	-24.8	74	67.9072	73.1045	72.0296	58.111	68.2978	72.407
13:04:36	-20.9	74.4	67.7311	72.7771	71.3818	58.0692	68.5615	72.8853
13:09:37	-16.7	74.7	70.0443	75.0736	72.9464	59.9459	70.5764	74.8494
13:14:36	-12.4	74.9	70.0175	75.2159	73.8004	59.857	70.5374	74.9507
13:19:36	-8	75.1	68.9572	74.0562	73.5697	58.5033	69.429	73.9809
13:24:37	-3.6	75.2	69.1248	73.9365	73.6806	58.0174	68.9796	73.5134
13:29:36	0.9	75.2	68.815	73.5374	73.2796	57.5052	68.6335	73.2207
13:34:36	5.4	75.2	69.6347	74.3692	73.0291	58.2158	69.4489	74.5544
13:39:37	9.9	75	69.6685	74.9465	73.5174	58.8864	70.1503	75.0794
13:44:36	14.2	74.8	69.9007	74.9242	74.0999	59.1811	70.2738	74.9168
13:49:36	18.4	74.5	69.8792	74.8529	74.4173	59.1518	70.1349	74.6743
13:54:37	22.5	74.2	69.4937	74.5912	74.0884	59.3265	69.9662	74.6079
13:59:36	26.4	73.8	69.0497	74.1251	73.6119	59.1327	69.9856	74.4121
14:04:36	30.1	73.3	70.7921	75.8789	73.1526	60.2749	71.682	76.5098
14:09:37	33.6	72.8	75.0038	80.3753	74.849	63.2204	75.0349	79.9982
14:14:36	37	72.2	71.4909	77.2119	72.2852	62.2964	73.05	77.1654
14:19:36	40.1	71.6	71.6814	78.1664	74.936	64.0785	74.5052	78.2124
14:24:37	43	71	68.7536	75.5521	73.0768	62.8993	72.6988	75.8478
14:29:36	45.8	70.3	69.4203	76.1243	74.5232	63.7507	73.327	76.4228
14:34:36	48.4	69.6	68.3346	75.8402	74.7446	64.0262	72.9365	75.7458
14:39:37	50.9	68.8	66.686	74.1932	73.7052	63.2531	72.0496	74.138
14:44:36	53.2	68	66.8997	75.2122	74.375	64.6928	73.3143	75.0529
14:49:36	55.3	67.2	66.2066	75.0078	74.1805	65.3926	73.2917	74.7496
14:54:37	57.4	66.4	65.8531	74.8608	73.2089	65.7383	73.7379	74.6207
14:59:36	59.3	65.6	67.8473	77.6133	74.5589	68.3721	76.2089	77.3085
15:04:36	61.1	64.7	67.2637	77.1688	74.1786	68.5552	76.3039	76.9

Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις 13/7/2014 (έναρξη 10:19:55 και λήξη 14:14:56)

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ώρα	Ηλιακό Αζιμούθιο (μοίρες)	Ηλιακό ύψος (μοίρες)	Οριζόντια ακτινοβολία (mV)	Συνολική ακτινοβολία (mV)	Άμεση ακτινοβολία(mV)	Συνολική ακτινοβολία ύψους 30 μοιρών (mV)	Συνολική ακτινοβολία ύψους 50 μοιρών (mV)	Συνολική ακτινοβολία ύψους 70 μοιρών (mV)
10:19:55	-83.4	47	46.0952	61.9032	51.2026	66.1005	72.2128	67.2558
10:24:56	-82.5	47.9	22.1911	28.904	15.8327	74.5345	57.6731	68.0293
10:29:56	-81.6	48.9	53.8725	74.1013	67.8585	71.3769	72.5222	66.2398
10:34:55	-80.7	49.9	55.5444	74.6157	67.0228	72.4767	75.2518	70.9381
10:39:56	-79.7	50.9	16.4525	19.3417	4.87773	17.4154	18.8198	18.8808
10:44:56	-78.7	51.8	18.1447	20.3874	4.53782	18.3444	20.203	21.0389
10:49:55	-77.7	52.8	31.9294	40.4584	28.62	73.2229	77.7028	76.3533
10:54:56	-76.6	53.8	60.9048	76.7874	65.6814	72.5467	77.6834	74.6876
10:59:56	-75.5	54.7	35.9666	47.7075	35.1945	36.5962	29.0987	61.4228
11:04:55	-74.4	55.7	65.7202	79.9814	66.8402	74.2678	80.1446	78.9705
11:09:56	-73.2	56.6	32.2299	38.7836	20.8604	44.4929	78.7392	80.2003
11:14:56	-72	57.6	66.1083	81.1795	67.6961	76.9819	77.8645	67.6522
11:19:55	-70.7	58.5	64.8666	79.2743	67.1774	73.117	78.5574	76.9229
11:24:56	-69.4	59.4	16.8962	21.1549	5.50385	19.8467	21.3959	21.1643
11:29:56	-68	60.3	18.4627	22.1993	6.35201	22.8662	46.3068	79.8995
11:34:55	-66.5	61.2	68.5899	81.4775	68.7978	72.4846	80.2156	79.9691
11:39:56	-65	62.1	65.2466	76.547	66.752	68.8056	74.8845	73.5766
11:44:56	-63.4	63	65.1439	77.0106	67.8602	24.5478	22.8216	20.2926
11:49:55	-61.7	63.9	12.1437	15.3685	3.53337	18.1167	71.4349	75.2926
11:54:56	-60	64.8	64.8958	74.6687	66.0458	64.6062	73.7029	74.6276
11:59:56	-58.1	65.6	71.4555	80.9985	68.5203	70.143	78.8862	80.4114
12:04:55	-56.1	66.4	15.4268	17.4208	4.7619	14.9823	16.3861	16.563
12:09:56	-54.1	67.3	67.103	75.2921	67.9784	63.6101	72.6391	75.3008
12:14:56	-51.8	68	16.56	18.3019	5.70978	14.2345	15.3852	15.7717
12:19:55	-49.5	68.8	15.4363	16.6337	3.03162	14.5004	16.0534	17.0359
12:24:56	-47	69.5	15.7961	16.9256	3.2225	13.922	16.0228	17.39
12:29:56	-44.3	70.2	22.7273	24.686	6.88077	19.8296	22.4293	23.7035
12:34:55	-41.5	70.9	71.5331	79.0076	67.4156	65.1962	72.7197	66.903
12:39:56	-38.5	71.6	19.5169	21.4643	4.97274	16.9568	19.2152	20.4399
12:44:56	-35.4	72.1	23.8568	26.4087	9.026	20.9115	23.736	25.1125
12:49:55	-32	72.7	77.2279	83.162	69.6221	43.7804	40.2348	29.4476
12:54:56	-28.5	73.2	23.024	25.3382	8.70606	38.7619	62.8449	60.2822
12:59:56	-24.7	73.6	68.2736	73.9098	65.3791	21.1471	20.3022	20.9288
13:04:55	-20.8	74	68.7291	74.3302	67.1302	59.4858	70.3324	74.8971
13:09:56	-16.8	74.3	61.2907	65.852	52.982	54.5304	75.3685	80.8744
13:14:56	-12.6	74.6	19.2462	21.6141	7.84145	19.6363	24.626	32.5583
13:19:55	-8.3	74.8	69.3072	74.6846	67.5847	59.7306	70.4883	75.0381
13:24:56	-3.9	74.9	67.6032	72.9063	66.8693	60.7271	71.9814	76.6939

13:29:56	0.5	74.9	67.8885	72.9124	68.5923	58.135	68.5183	72.8115
13:34:55	5	74.8	70.5354	75.2171	68.569	58.0755	69.4663	75.0436
13:39:56	9.3	74.7	12.6134	13.8863	2.65019	12.4628	13.5864	13.7895
13:44:56	13.6	74.5	68.7801	74.1518	68.9017	60.2062	70.6609	74.8341
13:49:55	17.8	74.3	68.0808	72.9517	67.8948	58.2478	69.1269	74.194
13:54:56	21.8	73.9	69.8924	74.7583	68.0387	59.3117	70.0781	74.8248
13:59:56	25.7	73.5	22.1358	23.8014	9.11472	20.256	22.0071	21.9621
14:04:55	29.4	73.1	62.7161	69.6532	62.4655	63.0562	72.2584	75.0042
14:09:56	32.9	72.6	22.9393	24.8716	10.1	20.7625	22.957	23.4072
14:14:56	36.2	72	68.2313	74.9954	68.5696	62.9581	73.1198	76.4413

Κεφάλαιο Όγδοο: Παρουσίαση των μετρήσεων της 1/7/2014 και 13/7/2014 με εκτίμηση γραφικής παράστασης με χρήση matlab και προσέγγιση της ηλιακής ενέργειας για κάθε γωνία με υπολογισμό του εμβαδού της ηλιακής ακτινοβολίας.

8.1 Εισαγωγή

Με χρήση του συντελεστή μετατροπής της τάσης σε πυκνότητα ακτινοβολίας του αισθητήρα της συνολικής ακτινοβολίας παρουσιάζεται σε πίνακα η διακύμανση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας για όλες τις γωνίες στις μετρήσεις την 1/7/2014 και 13/7/2014. Στη συνέχεια εκτιμάται η συνάρτηση και η γραφική παράσταση της πυκνότητας ακτινοβολίας συναρτήσει του χρόνου μέσω της MATLAB. Τέλος με υπολογισμό του Εμβαδού της γραφικής παράστασης της πυκνότητας ακτινοβολίας υπολογίζεται το ποσό της ηλιακής ενέργειας για τις διάφορες γωνίες.

8.2 Παρουσίαση του πίνακα τιμών της πυκνότητας ισχύος για την συνολική ακτινοβολία στις διάφορες γωνίες για τις μετρήσεις 1/7/2013 και 13/7/2013.

Ο αισθητήρας καταγραφής της συνολικής ακτινοβολίας έχει συντελεστή μετατροπής της τάσης σε πυκνότητα ακτινοβολίας , επομένως οι πίνακες τιμών της πυκνότητας ισχύος της συνολικής ακτινοβολίας για τις 2 μέρες είναι οι ακόλουθοι :

1/7/2014

Ωρα	Ηλιακό Αζιμούθιο (μοίρες)	Ηλιακό ύψος (μοίρες)	Συνολική ακτινοβολία θέσης ηλίου (kW/m ²)	Συνολική ακτινοβολία ύψους 30 μοιρών (kW/m ²)	Συνολική ακτινοβολία ύψους 50 μοιρών (kW/m ²)	Συνολική ακτινοβολία ύψους 70 μοιρών (kW/m ²)
12:09:37	-54.5	67.6	1.0309211268	0.8843112676	1.0080929577	1.0340098592
12:14:36	-52.2	68.3	1.0267070423	0.8699450704	0.9966873239	1.0242887324
12:19:36	-49.9	69.1	1.0315253521	0.869515493	0.9982943662	1.0312478873
12:24:37	-47.4	69.9	1.0384507042	0.8691366197	1.0034253521	1.0420690141
12:29:36	-44.7	70.6	1.0383830986	0.8628295775	0.9994183099	1.0385464789
12:34:36	-41.9	71.2	1.0386802817	0.8544169014	0.992071831	1.037784507
12:39:37	-38.8	71.9	1.0356084507	0.8456084507	0.9858549296	1.0343211268
12:44:36	-35.6	72.5	1.0348211268	0.8452957746	0.9928	1.0429126761
12:49:36	-32.2	73	1.0639887324	0.8661070423	1.0115140845	1.067943662
12:54:37	-28.6	73.5	1.0466830986	0.8463901408	0.9929070423	1.0471577465
12:59:36	-24.8	74	1.0296408451	0.8184647887	0.9619408451	1.0198169014
13:04:36	-20.9	74.4	1.0250295775	0.8178760563	0.9656549296	1.0265535211
13:09:37	-16.7	74.7	1.0573746479	0.8443084507	0.9940338028	1.0542169014
13:14:36	-12.4	74.9	1.0593788732	0.843056338	0.993484507	1.055643662
13:19:36	-8	75.1	1.0430450704	0.8239901408	0.9778732394	1.041984507
13:24:37	-3.6	75.2	1.0413591549	0.8171464789	0.971543662	1.0354
13:29:36	0.9	75.2	1.03573802	0.80993239	0.96666901	1.03127746

			82	44	41	48
13:34:36	5.4	75.2	1.04745352 11	0.81994084 51	0.97815352 11	1.05006197 18
13:39:37	9.9	75	1.05558450 7	0.82938591 55	0.98803239 44	1.05745633 8
13:44:36	14.2	74.8	1.05527042 25	0.83353661 97	0.98977183 1	1.05516619 72
13:49:36	18.4	74.5	1.05426619 72	0.83312394 37	0.98781549 3	1.05175070 42
13:54:37	22.5	74.2	1.05058028 17	0.83558450 7	0.98543943 66	1.05081549 3
13:59:36	26.4	73.8	1.04401549 3	0.83285492 96	0.98571267 61	1.04805774 65
14:04:36	30.1	73.3	1.06871690 14	0.84894225 35	1.00960563 38	1.07760281 69
14:09:37	33.6	72.8	1.13204647 89	0.89042816 9	1.05682957 75	1.12673521 13
14:14:36	37	72.2	1.08749154 93	0.87741408 45	1.02887323 94	1.08683661 97
14:19:36	40.1	71.6	1.10093521 13	0.90251408 45	1.04936901 41	1.10158309 86
14:24:37	43	71	1.06411408 45	0.88590563 38	1.02392676 06	1.06827887 32
14:29:36	45.8	70.3	1.07217323 94	0.89789718 31	1.03277464 79	1.07637746 48
14:34:36	48.4	69.6	1.06817183 1	0.90177746 48	1.02727464 79	1.06684225 35
14:39:37	50.9	68.8	1.04497464 79	0.89088873 24	1.01478309 86	1.04419718 31
14:44:36	53.2	68	1.05932676 06	0.91116619 72	1.03259577 46	1.05708309 86
14:49:36	55.3	67.2	1.05644788 73	0.92102253 52	1.03227746 48	1.05281126 76
14:54:37	57.4	66.4	1.05437746 48	0.92589154 93	1.03856197 18	1.05099577 46
14:59:36	59.3	65.6	1.09314507 04	0.96298732 39	1.07336478 87	1.08885211 27
15:04:36	61.1	64.7	1.08688450 7	0.96556619 72	1.07470281 69	1.08309859 15

13/7/2014

	(kW/m ²)	(kW/m ²)	(kW/m ²)	(kW/m ²)
Ώρα	Συνολική ακτινοβολία	Συνολική ακτινοβολία 30	Συνολική ακτινοβολία 50	Συνολική ακτινοβολία 70

	ηλιακής ακτίνας (kW/m ²)	μοιρών (kW/m ²)	μοιρών (kW/m ²)	μοιρών (kW/m ²)
10:19:55	0.8718760563	0.9309929577	1.0170816901	0.9472647887
10:24:56	0.4070985915	1.0497816901	0.8122971831	0.9581591549
10:29:56	1.0436802817	1.0053084507	1.0214394366	0.9329549296
10:34:55	1.0509253521	1.0207985915	1.059884507	0.999128169
10:39:56	0.2724183099	0.2452873239	0.2650676056	0.2659267606
10:44:56	0.2871464789	0.258371831	0.2845492958	0.2963225352
10:49:55	0.5698366197	1.0313084507	1.0944056338	1.0753985915
10:54:56	1.0815126761	1.021784507	1.0941323944	1.0519380282
10:59:56	0.6719366197	0.5154394366	0.4098408451	0.8651098592
11:04:55	1.1264985915	1.0460253521	1.1287971831	1.1122605634
11:09:56	0.5462478873	0.6266605634	1.1090028169	1.1295816901
11:14:56	1.1433732394	1.0842521127	1.0966830986	0.9528478873
11:19:55	1.1165394366	1.0298169014	1.1064422535	1.0834211268
11:24:56	0.297956338	0.2795309859	0.3013507042	0.2980887324
11:29:56	0.3126661972	0.3220591549	0.6522084507	1.1253450704
11:34:55	1.1475704225	1.0209098592	1.1297971831	1.1263253521
11:39:56	1.0781267606	0.9690929577	1.0547112676	1.0362901408
11:44:56	1.084656338	0.345743662	0.3214309859	0.2858112676
11:49:55	0.2164577465	0.2551647887	1.0061253521	1.0604591549
11:54:56	1.051671831	0.9099464789	1.0380690141	1.0510929577
11:59:56	1.1408239437	0.9879295775	1.1110732394	1.1325549296
12:04:55	0.2453633803	0.2110183099	0.2307901408	0.2332816901
12:09:56	1.0604521127	0.8959169014	1.0230859155	1.0605746479
12:14:56	0.2577732394	0.2004859155	0.2166929577	0.2221366197
12:19:55	0.2342774648	0.2042309859	0.2261042254	0.2399422535
12:24:56	0.2383887324	0.196084507	0.2256732394	0.2449295775
12:29:56	0.3476901408	0.2792901408	0.3159056338	0.3338521127
12:34:55	1.1127830986	0.918256338	1.0242211268	0.9422957746
12:39:56	0.3023140845	0.238828169	0.2706366197	0.2878859155
12:44:56	0.3719535211	0.294528169	0.3343098592	0.3536971831
12:49:55	1.1712957746	0.6166253521	0.5666873239	0.4147549296
12:54:56	0.3568760563	0.5459422535	0.8851394366	0.8490450704
12:59:56	1.0409830986	0.2978464789	0.2859464789	0.294771831
13:04:55	1.0469042254	0.837828169	0.9905971831	1.0548887324
13:09:56	0.9274929577	0.7680338028	1.061528169	1.1390760563
13:14:56	0.3044239437	0.2765676056	0.3468450704	0.4585676056
13:19:55	1.0518957746	0.8412760563	0.9927929577	1.0568746479
13:24:56	1.0268492958	0.8553112676	1.0138225352	1.0801957746
13:29:56	1.0269352113	0.8188028169	0.9650464789	1.0255140845
13:34:55	1.0593957746	0.8179647887	0.9783985915	1.0569521127
13:39:56	0.1955816901	0.1755323944	0.1913577465	0.1942183099
13:44:56	1.0443915493	0.8479746479	0.9952239437	1.0540014085
13:49:55	1.0274887324	0.8203915493	0.9736183099	1.0449859155
13:54:56	1.0529338028	0.8353760563	0.987015493	1.0538704225

13:59:56	0.3352309859	0.2852957746	0.3099591549	0.3093253521
14:04:55	0.9810309859	0.888115493	1.0177239437	1.0563971831
14:09:56	0.3503042254	0.2924295775	0.3233380282	0.3296788732
14:14:56	1.0562732394	0.8867338028	1.029856338	1.0766380282

8.3 Εκτίμηση της συνάρτησης που προσεγγίζει τη πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας με χρήση MATLAB

Η εκτίμηση της συνάρτησης της πυκνότητας ηλιακής ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται με χρήση του MATLAB και της εφαρμογής curve fitting toolbox.

Συγκεκριμένα εισάγονται τα δεδομένα από τις μετρήσεις σε πίνακες της MATLAB και η εφαρμογή προσεγγίζει την συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος με ακρίβεια πολυωνύμου 9ου βαθμού.

Για παράδειγμα για τον υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας για τη συνολική ακτινοβολία στη διεύθυνση της ακτίνας του ηλίου για τη μέτρηση της 1ης Ιουλίου 2013, αρχικά εκτιμάται μέσω της εφαρμογής curve fitting toolbox της MATLAB η συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος με πολυωνμική προσέγγιση 9ου βαθμού.

Fit Editor

New fit Copy fit

Fit name: η ισχύος συνολικής αι

Data set: KW(συνολική)/... Exclusion rule: (none)

Type of fit: Polynomial Center and scale X data

Polynomial

4th degree polynomial

5th degree polynomial

6th degree polynomial

7th degree polynomial

8th degree polynomial

9th degree polynomial

Fit options... Immediate apply Cancel Apply

Results

$Z(x) = p1 \cdot x^9 + p2 \cdot x^8 + p3 \cdot x^7 + p4 \cdot x^6 + p5 \cdot x^5 + p6 \cdot x^4 + p7 \cdot x^3 + p8 \cdot x^2 + p9 \cdot x + p10$

Coefficients (with 95% confidence bounds):

p1 = -0.05954 (-0.1212, 0.00214)

p2 = 7.264 (-0.2969, 14.82)

p3 = -399.6 (-805.1, 18)

p4 = 1.243e+004 (-691.3, 2.549e+004)

p5 = -2.522e+005 (-5.184e+005, 1.411e+004)

p6 = 3.408e+006 (-2.085e+005, 7.025e+006)

p7 = -3.069e+007 (-6.341e+007, 2.041e+006)

p8 = 1.775e+008 (-1.277e+007, 3.677e+008)

p9 = -5.984e+008 (-1.243e+009, 4.635e+007)

p10 = 8.96e+008 (-7.442e+007, 1.866e+009)

Table of Fits

Fit name	Data set	Equation name	SSE	R...
Καμπύλη ισχύος ...	KW(συνολική)/ho...	Poly9	0.00579097966786...	0.6...

Delete fit Save to workspace... Table options... Close Help

Όπως φαίνεται στο σχήμα η συνάρτηση που προσεγγίζει την πυκνότητα ηλιακής ισχύος είναι η

όπου

$$p1 = -0.05954$$

$$p2 = 7.264$$

$$p3 = -393.6$$

$$p4 = 1.243(e+004)$$

$$p5 = -2.522(e+005)$$

$$p6 = 3.408(e+006)$$

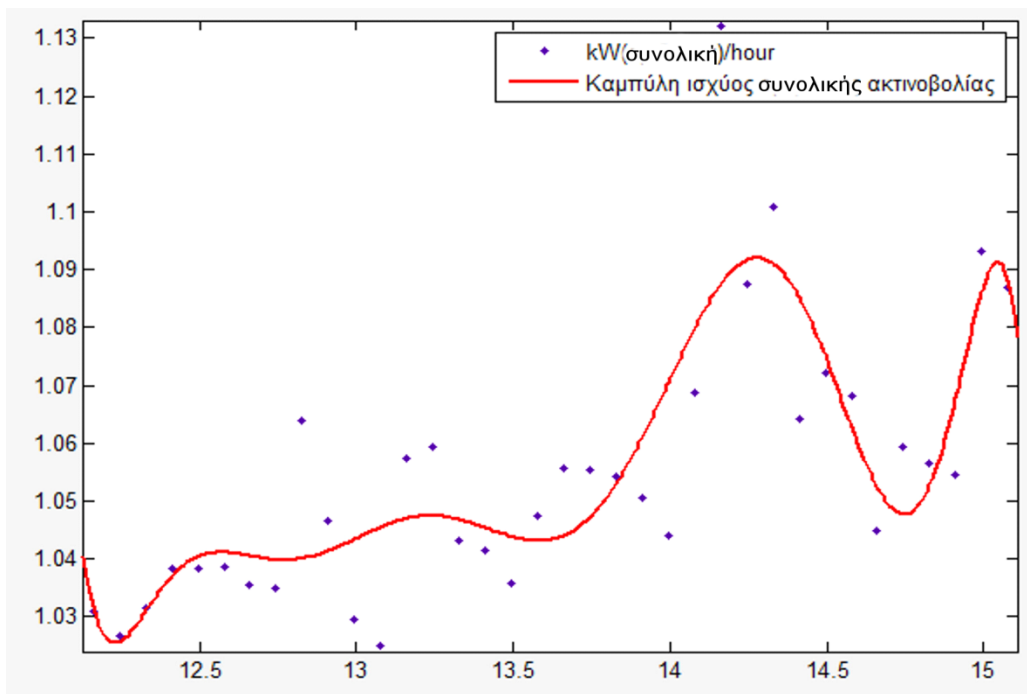
$$p7 = -3.069(e+007)$$

$$p8 = 1.775(e+008)$$

$$p9 = -5.984(e+008)$$

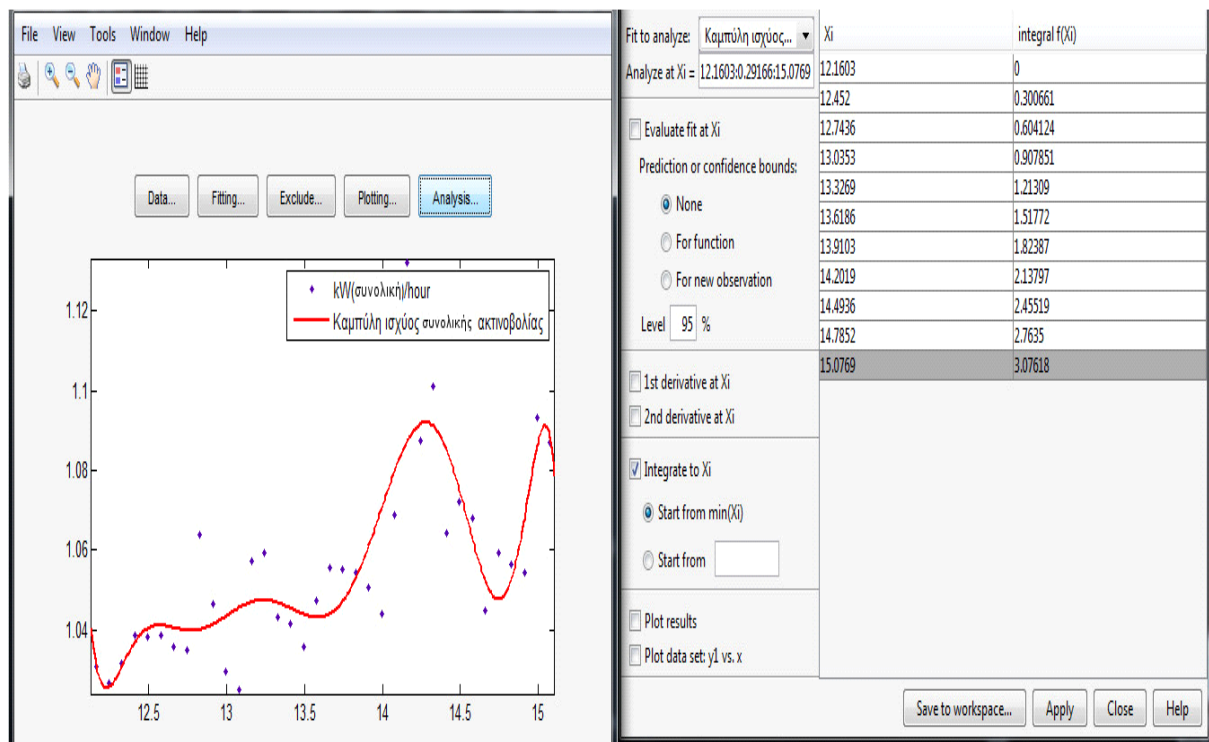
$$p10 = 8.96(e+008)$$

Στο ακόλουθο σχήμα παριστάνονται οι τιμές της πυκνότητας ισχύος που καταγράφηκαν και η γραφική παράσταση της προσεγγιστικής συνάρτησης :



8.4 Υπολογισμός της ηλιακής ενέργειας με υπολογισμό του Εμβαδού της προσεγγιστικής συνάρτησης με χρήση MATLAB

Η εφαρμογή `curve fitting toolbox` της MATLAB δίνει τη δυνατότητα άμεσου υπολογισμού του εμβαδού της προσεγγιστικής συνάρτησης όπως φαίνεται στο σχήμα :

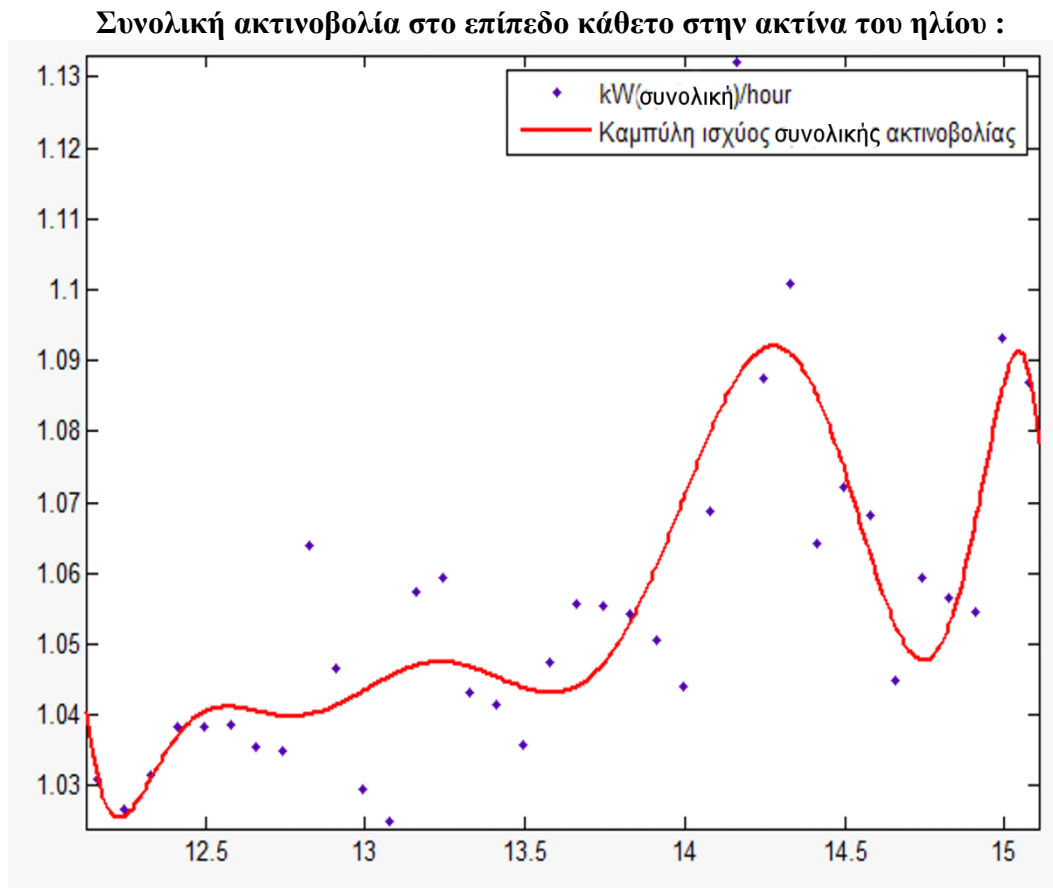


Άρα για την καμπύλη αυτή ισχύει :

$$E(KJ/m^2) = \int_{12.1603}^{15.069} f(x) = 3.07618 KJ/m^2$$

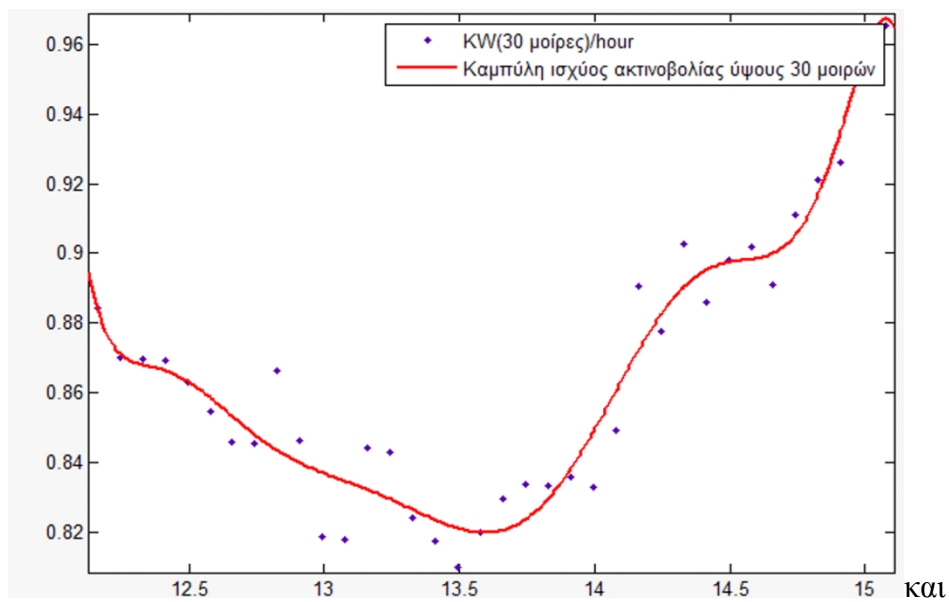
8.5 Γραφικές παραστάσεις της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας για όλες τις γωνίες για τις μετρήσεις της 1/7/2013 και υπολογισμός της ανά περίπτωση ηλιακής ενέργειας.

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται για όλες τις γωνίες οι καταγεγραμμένες μετρήσεις της πυκνότητας ισχύος για την κάθε γωνία και το προσεγγιστικό πολώνυμο 9^ο βαθμού για την κάθε μία όπως υπολογίστηκαν μέσω του curve fitting toolbox της MATLAB. Στη συνέχεια καταγράφεται το εμβαδόν της γραφικής παράστασης ως εκτίμηση της ηλιακής ενέργειας για την κάθε γωνία.

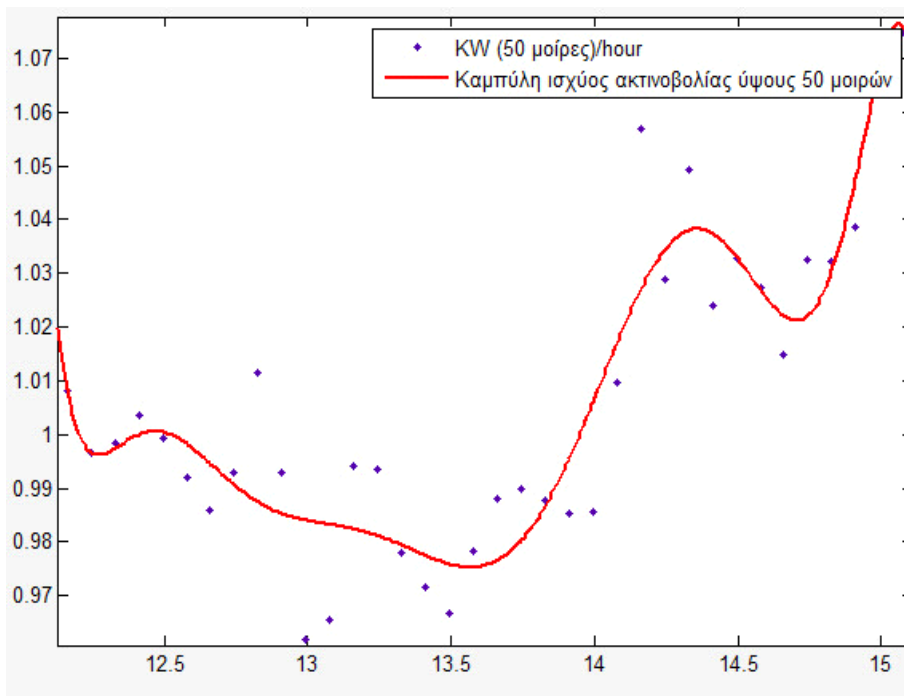


και

Συνολική ακτινοβολία σε σταθερό ύψος 30 μοιρών :

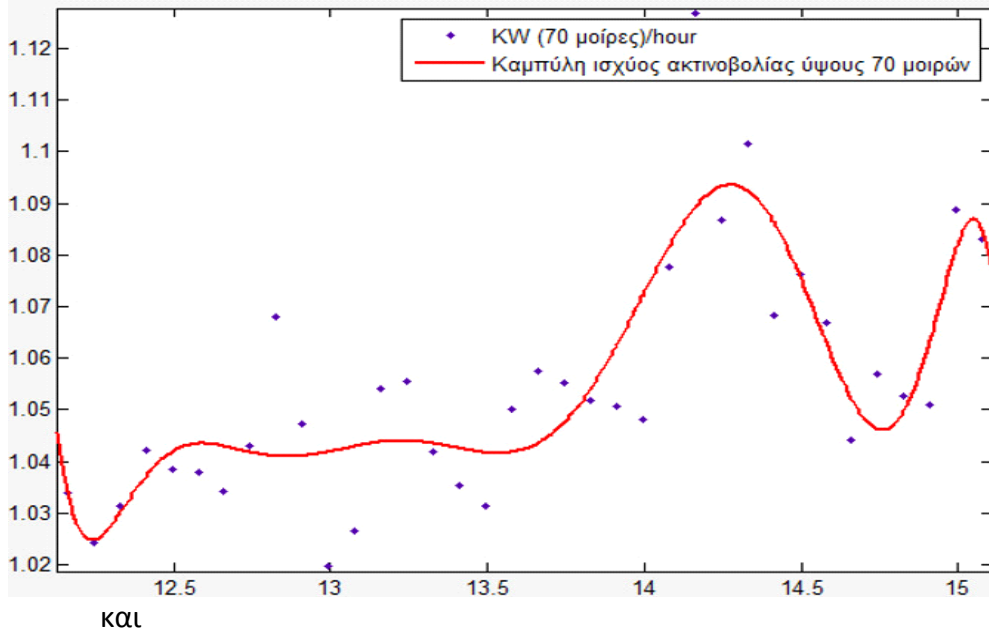


Συνολική ακτινοβολία σε σταθερό ύψος 50 μοιρών :

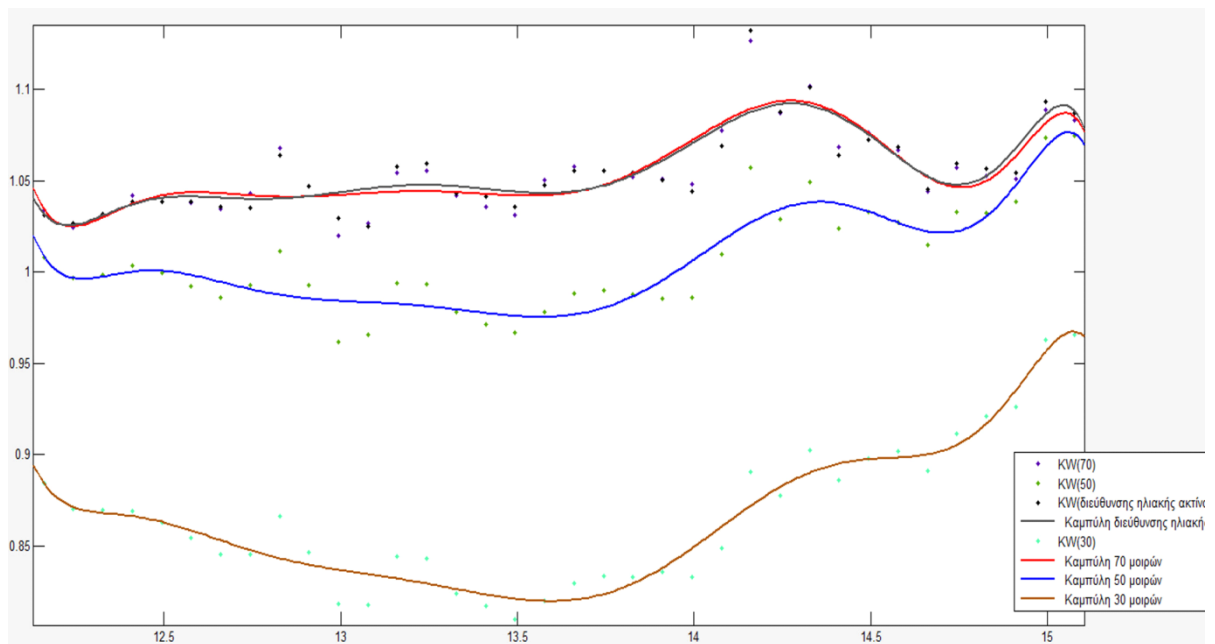


κΩι

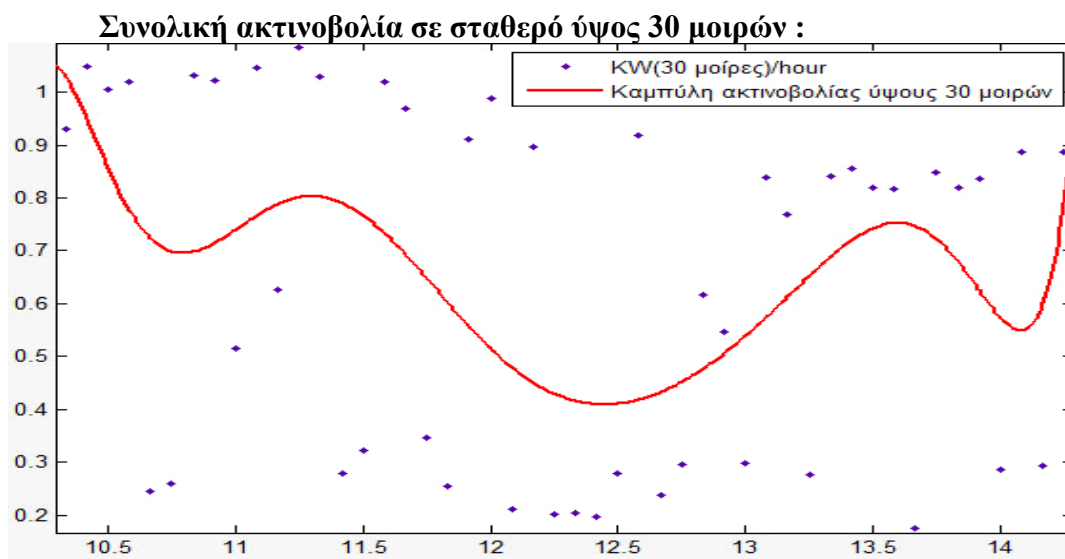
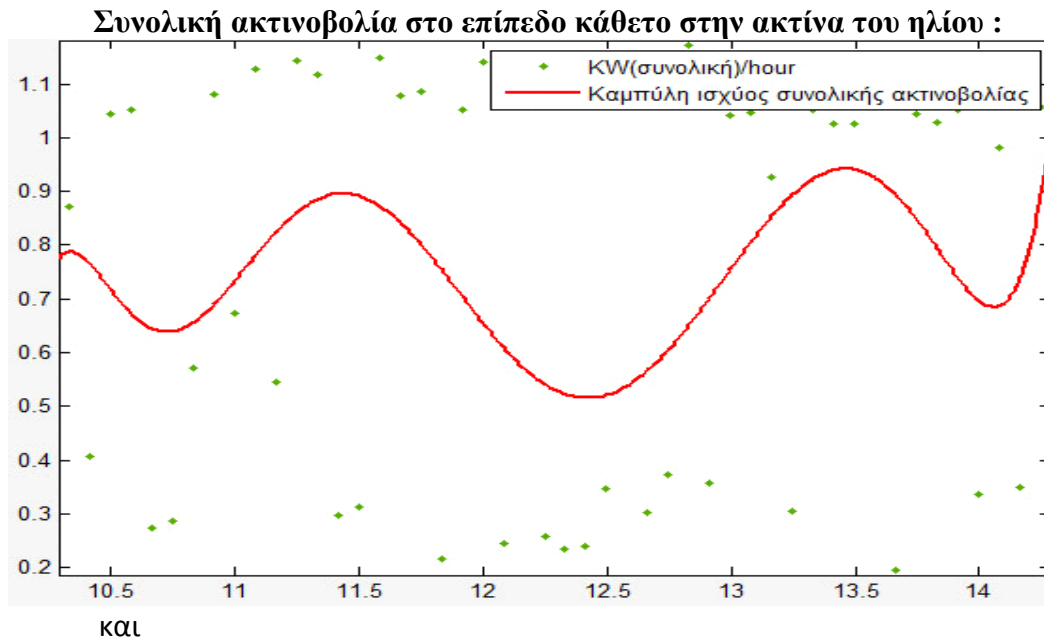
Συνολική ακτινοβολία σε σταθερό ύψος 70 μοιρών :



Συνολικά τα προσεγγιστικά διαγράμματα για όλες τις γωνίες είναι :

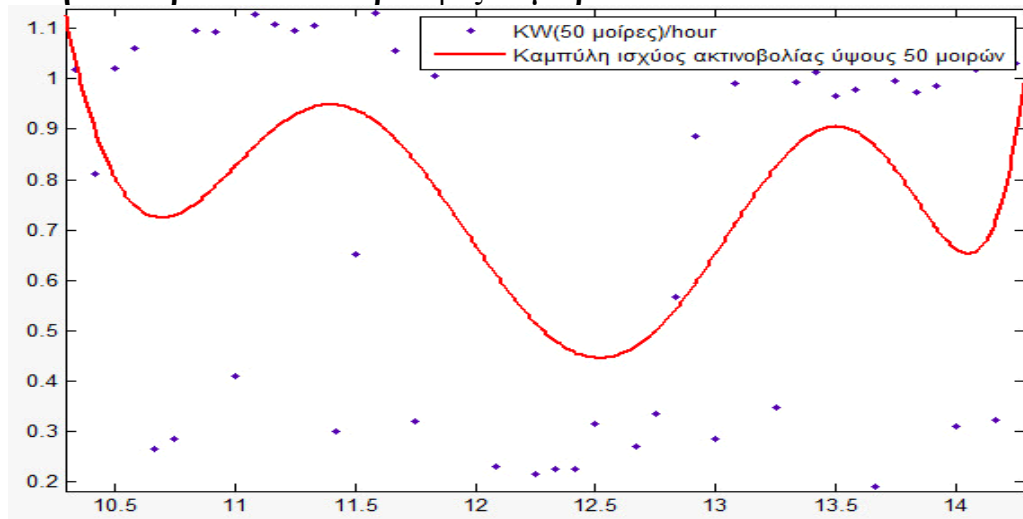


8.6 Γραφικές παραστάσεις της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας για όλες τις γωνίες για τις μετρήσεις της 13/7/2013 και υπολογισμός της ανά περίπτωση ηλιακής ενέργειας.



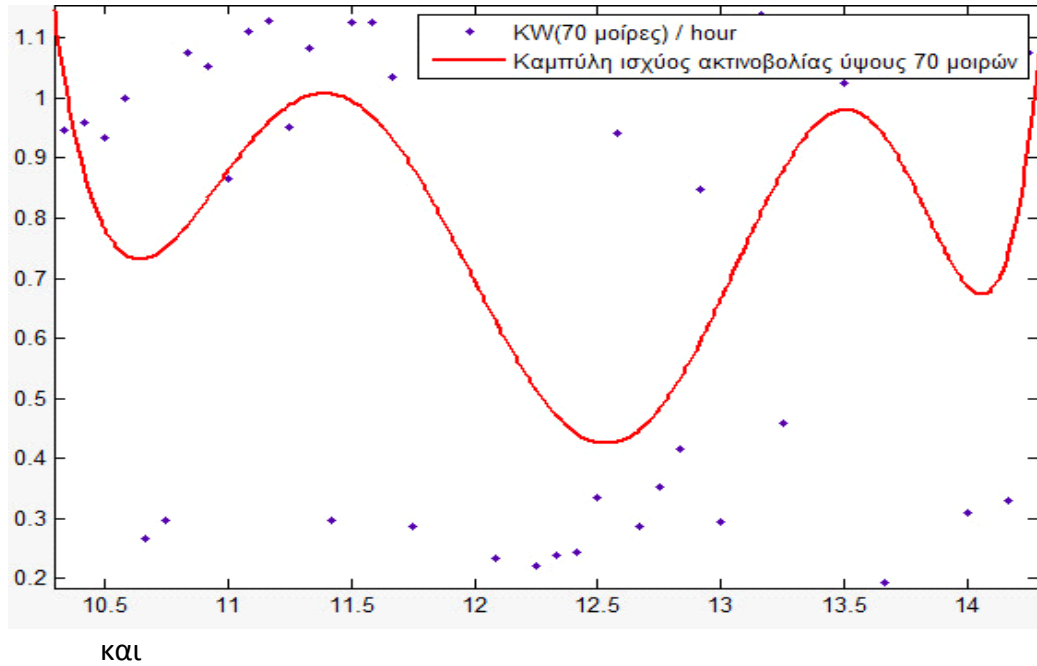
και

Συνολική ακτινοβολία σε σταθερό ύψος 50 μοιρών :

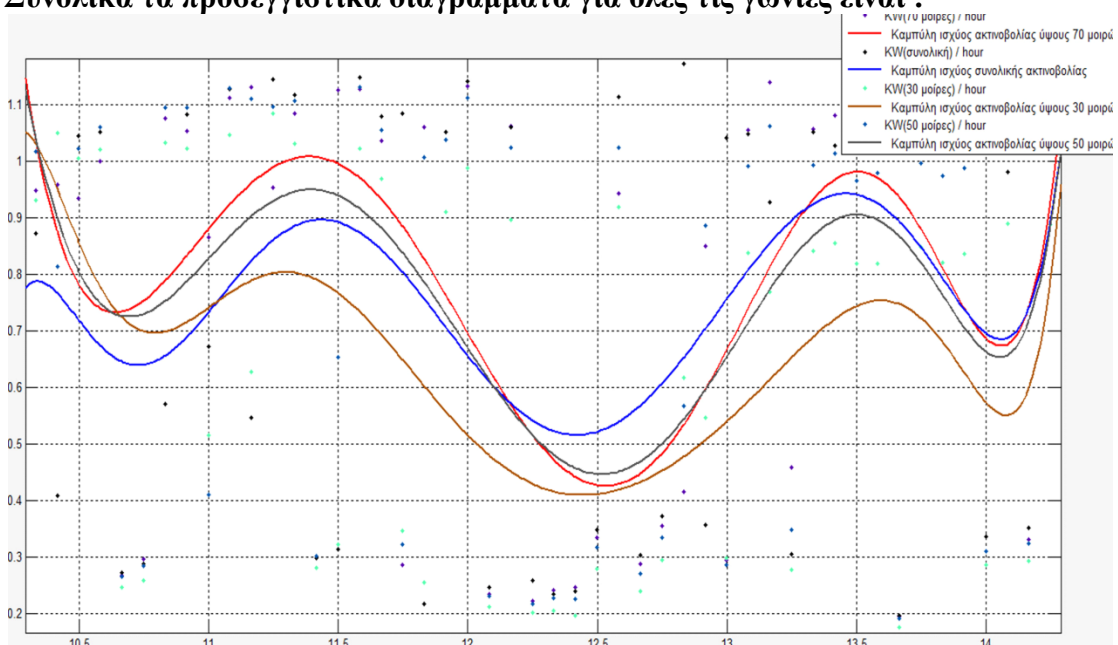


και

Συνολική ακτινοβολία σε σταθερό ύψος 70 μοιρών :



Συνολικά τα προσεγγιστικά διαγράμματα για όλες τις γωνίες είναι :



8.7 Αξιολόγηση των μετρήσεων – συμπεράσματα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η Ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας για την κάθε γωνία και τις 2 μετρήσεις καθώς και το ποσοστό μεταβολής της Ενέργειας που καταγράφεται σε κάθε γωνία συγκριτικά με την Ενέργεια που καταγράφεται στη διεύθυνση της ηλιακής ακτίνας.

	Ενέργεια συνολικής ακτινοβολίας ακτίνας ήλιου (kJ/m ²)	Ενέργεια συνολικής ακτινοβολίας 30 μοιρών (kJ/m ²)	Ποσοστό μεταβολής	Ενέργεια συνολικής ακτινοβολίας 50 μοιρών (kJ/m ²)	Ποσοστό μεταβολής	Ενέργεια συνολικής ακτινοβολίας 70 μοιρών (kJ/m ²)	Ποσοστό μεταβολής
1/7/14	3.07618	2.51901	18.11%	2.93153	4.70%	3.07502	0.04%
13/7/2014	2.90731	2.51359	13.54%	2.90833	-0.04%	3.01934	-3.85%

Με βάση την εποχή κατά την οποία πάρθηκαν οι μετρήσεις, την ώρα και κατ'επέκταση το ηλιακό ύψος βλέπουμε ότι στις γωνίες όπου η ηλιακή ακτίνα προσπίπτει στο συλλέκτη με γωνία κοντύτερα στις 90 μοίρες η απόδοση είναι καλύτερη. Με βάση τα παραπάνω βλέπουμε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα καταγράφονται στο επίπεδο των 70 μοιρών από το κάθετο στην επιφάνεια της γης επίπεδο και βαίνουν μειούμενα έως τις 30 μοίρες. Τέλος και πάλι με βάση τα παραπάνω θα είχε ενδιαφέρον οι ίδιες μετρήσεις να γίνουν με μεγαλύτερα χρονικά κενά και σε μεγαλύτερο αριθμό με σκοπό την εξάλειψη της εποχιακότητας και της τυχαιότητας από τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν.

Βιβλιογραφία

- [1] Κ.Θ.Δέρβος " Εισαγωγή στα Ημιαγώγιμα Υλικά και Φωτοβολταϊκές Διατάξεις", Αθήνα 2008
- [2] Erbs, D; Klein, S. and Duffie, J.: ‘Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation’
- [3] Holland, P. and Mayer, I.: ‘On calculating the position of the Sun’
- [4] Liu, B. and Jordan, R.: ‘The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation’
- [5] Perez, R.; Seals, R.; Zelenka, A. and Ineichen, P.: ‘ Climatic Evaluation of Models that predict Hourly Global Irradiance: Prospects for Performance Improvements’
- [6] <http://el.wikipedia.org>
- [7] <http://eml.ece.ntua.g>