



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΗΛΙΑΚΟΙ ΠΥΡΓΟΙ ΙΣΧΥΟΣ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ  
ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΚΑΙ  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ  
ΙΧΝΗΛΑΤΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΕΥΦΗΜΙΑΣ – ΕΥΓΕΝΙΑΣ Ν. ΣΙΩΡΗ

Επιβλέπων : Δέρβος Κωνσταντίνος  
Καθηγητής Σ.Η.Μ.Μ.Υ, Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2018





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΟΙ ΠΥΡΓΟΙ ΙΣΧΥΟΣ

# ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΔΕΣΜΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΙΧΝΗΛΑΤΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΕΥΦΗΜΙΑΣ – ΕΥΓΕΝΙΑΣ Ν. ΣΙΩΡΗ

**Επιβλέπων :** Δέρβος Κωνσταντίνος  
Καθηγητής Σ.Η.Μ.Μ.Υ, Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 2 Νοεμβρίου 2018.

.....

Κωνσταντίνος Δέρβος,  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Παναγιώτα Βασιλείου,  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....

Γιώργος Ματσόπουλος,  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2018

.....  
Ευφημία – Ευγενία Σιώρη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ευφημία – Ευγενία Σιώρη , 2018.

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.

*Στα αδέρφια μου,  
Γρηγόρη, Τζίνα, Βάλια*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η στροφή του ανθρώπου στην έρευνα και στη χρήση ενεργειακών συστημάτων φιλικών προς το περιβάλλον, οφείλεται στην ανάγκη για ανάπτυξη περιβαλλοντικών συστημάτων με μηδαμινό αποτύπωμα διοξειδίου του άνθρακα. Οι μεγάλες μεταβολές την τιμή του πετρελαίου αποτέλεσαν κι αυτές σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξή τους. Η προσπάθεια για μια τέτοια ανάπτυξη ηλιακών συστημάτων παρατηρήθηκε το 1970 κατά τη διάρκεια της πρώτης πετρελαϊκής κρίσης (Spellning, 2012), ενώ σήμερα είναι πλέον γνωστό ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει σαν κύριο στόχο την μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα κατά 20% έως το 2020 και την αντίστοιχη ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά 20%. Με βάση την ανάγκη για περαιτέρω ανάπτυξη ενεργειακών συστημάτων φιλικών προς το περιβάλλον, η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να βοηθήσει στην περαιτέρω ανάπτυξη και μελέτη συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση της απόδοση ενός συγκεντρωτικού ηλιακού πύργου μέσω της καλύτερης στόχευσης της ηλιακής ακτινοβολίας στον δέκτη. Για την επίτευξη του στόχου αυτού μελετήσαμε και αναπτύξαμε έναν αλγόριθμο που εφαρμόστηκε σε μία πειραματική διάταξη-ηλιοστάτη προκειμένου να προσδιορίσουμε έναν συντελεστή διόρθωσης της θέσης του.

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια τα οποία καλύπτουν λεπτομερώς όλα τα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψιν γύρω από τη μελέτη ενός ηλιακού συγκεντρωτικού συστήματος.

Στο πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μια εισαγωγή γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην ανάπτυξη των ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων και παρουσιάζονται οι τεχνολογίες των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή των βασικών στοιχείων μιας εγκατάστασης Ηλιακού Πύργου Ισχύος, των βασικών διατάξεων του και των επιμέρους μέρων που αποτελείται, όπως ο ηλιοστάτης, ο δέκτης κτλ. Στη συνέχεια δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήσαμε για την ανάπτυξη του αλγορίθμου.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση την πειραματικού μέρους, της μεθόδου που ακολουθήσαμε, του αλγορίθμου που χρησιμοποιήσαμε καθώς επίσης και του προγραμματιστικού προγράμματος LabView.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν και επεξεργασία τους για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων .

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα, και επιπλέον προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση του χρησιμοποιηθέν αλγορίθμου. Η διπλωματική εργασία τελειώνει με τη σχετική βιβλιογραφία που χρησιμοποιήσαμε.

Λέξεις-κλειδιά: Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα, Ηλιακοί Πύργοι Ισχύος, Ηλιοστάτης, Απόκλιση ηλιοστάτη, Αλγοριθμικό μοντέλο







# Abstract

Solar power energy has for decades been seen as a very promising clean, sustainable source of electrical energy. The interest in developing solar power technology has varied during the 20th century and has been linked with the oil prices violations. When reviewing the oil price during 1980-2010, and comparing it with the global investments in concentrating solar energy during the same period, we can see that the investments in concentrating solar power technology is almost the reciprocal of oil price (Spellning, 2012). The first initiatives to modern utility-scale thermal solar power were taken during the oil crisis of the 1970's and it was then the first time the concept of Solar Power Tower (a central tower surrounded by heliostats emerged) beside other solar power generation concepts developed. Nowadays, the interest for the solar power tower technology has increased considerably and considering that EU has as main target to decrease the carbon emissions by 20% and increase the renewable energy sources by 20% by 2020 the further development of solar power technologies is going to play a critical role. The objective of this thesis is the optimization of heliostat position of  $\alpha$  pilot solar concentrated system. To this end, we optimized further an algorithm given introducing a new coefficient having as a goal to improve the heliostat position targeting the receiver. This thesis has five chapters in total where we describe in detail all the critical aspects that a solar concentrated system has got in order to run effectively and efficiently.

In the first chapter, there is a historical background along with a small introduction on the solar concentrated system technology.

In the second chapter, we describe in detail the solar power fundamentals, the solar power function along with their mechanics. A short description on its main parts (heliostat, receiver etc) is also given.

In the third part, there is a breakdown of the experimental part as well as a presentation of the algorithm we used. There is also a presentation of the Labview program we used.

In the fourth part, we provide a full explanation of the results we got.

Last but not least, in the fifth chapter, there are the conclusions of this thesis and our recommendations for further solar concentrated research. At the end of the thesis, the references of this thesis are cited.

Keywords: Solar Concentrated System, Solar Power Tower, heliostat, heliostat offset, algorithm





## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω εκ βάθους καρδίας τον Επιβλέποντά μου, Καθηγητή Ε.Μ.Π, κ.Κωνσταντίνο Δέρβο, για την εμπιστοσύνη και τη καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής. Δε θα μπορούσα να παραλείψω τον κ.Θοδωρή Αργυρόπουλο όπου η στήριξη, η καθοδήγηση και οι υποδείξεις που μου προσέφερε ήταν πολύτιμες.

Τέλος, δεν έχω κατάλληλα λόγια να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τα αδέρφια μου, όπου στέκονται δίπλα μου,Λ με κάθε τρόπο, σε όλες τις πτυχές της ζωής μου.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>12</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>15</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	15
1.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	16
<b>2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b> .....	<b>19</b>
2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΠΥΡΓΩΝ .....	19
2.1.1 ΚΥΚΛΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	19
2.1.2 ΗΛΙΟΣΤΑΤΕΣ .....	22
2.1.3 ΠΕΔΙΟ ΗΛΙΟΣΤΑΤΩΝ.....	22
2.1.4 ΠΥΡΓΟΣ.....	24
2.1.5 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	24
2.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ.....	25
2.2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ .....	25
2.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΥ.....	29
2.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΗΛΙΟΣΤΑΤΗ.....	30
<b>3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b> .....	<b>35</b>
3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ LABVIEW .....	35
3.1.1 DATAFLOW.....	35
3.1.2 ΕΙΚΟΝΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ.....	35
3.1.3 FRONT PANEL.....	36
3.1.4 BLOCK DIAGRAM.....	36
3.1.5 ΧΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	36
3.1.6 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ.....	37
3.1.7 ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ.....	37
3.1.8 ΣΥΣΤΑΔΕΣ.....	38
3.1.9 ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΑ ΧΥ GRAPHS .....	38
3.1.10 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ WAIT.....	38
3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ .....	39
3.2.1 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΔΕΚΑΔΙΚΗΣ ΩΡΑΣ.....	39
3.2.2 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΗΛΙΑΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΗΜΕΡΑΣ.....	40
3.2.3 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΡΧΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΥ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΣΤΑΤΗ .....	41
3.2.5 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ZABER.....	43
3.2.6 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΛΥΜΕΤΡΟΥ AGILENT .....	45
3.2.7 ΚΥΡΙΩΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	45
3.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	48
3.3.1 ΔΙΑΤΑΞΗ .....	48
3.3.2 ΠΕΙΡΑΜΑ.....	52
<b>4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ</b> .....	<b>56</b>
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	56
4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ .....	83
<b>5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>88</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>89</b>



# 1

## 1.Εισαγωγή

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η ηλιακή ενέργεια θεωρείται εδώ και δεκαετίες ως μια πολλά υποσχόμενη καθαρή, βιώσιμη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη τεχνολογίας ηλιακής ενέργειας ποικίλλει κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα. Κατά την ανασκόπηση της τιμής του πετρελαίου κατά την περίοδο 1980-2010 και τη σύγκρισή του με την παγκόσμια επένδυση στην συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας κατά την ίδια περίοδο, παρατηρούμε ότι η αύξηση των επενδύσεων στην τεχνολογία συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων είναι σχεδόν αμοιβαία με την αύξηση στις τιμές πετρελαίου (Spellning, 2012). Οι πρώτες πρωτοβουλίες για τη κεντρική συγκέντρωση θερμικής ενέργειας με χρήση ηλιακής ενέργειας πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της πετρελαϊκής κρίσης της δεκαετίας του '70. Είναι η σύγχρονη έννοια του Solar Power Tower – Ηλιακός Πύργος Ισχύος - ενός κεντρικού πύργου που περιβάλλεται από ηλιοστάτες (Εικόνα 1). Ταυτόχρονα αναδύθηκαν κι άλλοι τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εκμεταλλευόμενοι την ηλιακή.



Εικόνα 1. Ηλιακός Πύργος παραγωγής ενέργειας από την εταιρεία στην έρημο Mojave στις ΗΠΑ.

Πηγή εικόνας: (Paul, 2011)

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας του Ηλιακού Πύργου Ισχύος συνεχίστηκε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 και ένα σημαντικό βήμα έγινε με το άνοιγμα του πρώτου ηλιακού πυλώνα, το πρωτότυπο Solar One στην έρημο Mojave στις ΗΠΑ το 1982. Μετά από μια περίοδο μικρότερης επένδυσης στην ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια την περίοδο 1990-2005, υπήρξε επιστροφή στη τεχνολογία της συγκεντρωτικής ηλιακής ενέργειας το 2005, από όπου το ενδιαφέρον για την τεχνολογία Ηλιακού Πύργου Ισχύος έχει αυξηθεί σημαντικά (Vant-Hull, 2012). Αυτό που καθιστά την τεχνολογία του Ηλιακού Πύργου Ισχύος πολύ ανταγωνιστική είναι το γεγονός ότι η επιφάνεια του δέκτη μπορεί να είναι μικρή με χαμηλές απώλειες και ταυτόχρονα να επιτρέπει τη σχετικά

εύκολη αποθήκευση της θερμικής ενέργειας. Αντιθέτως, ένα από τα βασικά μειονεκτήματα του είναι το υψηλό κόστος κατασκευής του και συντήρησής του, ενώ και ο ηλιοστάτης αποτελεί μια συσκευή με ένα υψηλό κόστος.

Δεδομένου επίσης ότι οι διαθέσιμες διατάξεις πεδίων είναι ακόμα πολύ ακριβές, για να γίνει ο Ηλιακός Πύργος Ισχύος ανταγωνιστικός με άλλες πηγές ενέργειας, καταβάλλονται προσπάθειες σε όλο τον κόσμο, σε διάφορους θεσμούς, για την ανάπτυξη ενός πιο αποδοτικού ηλιοστάτη. Με αυτή την έννοια, το έργο αυτό είναι μια προσπάθεια να βρεθούν καινοτόμες λύσεις οι οποίες, τελικά, θα μπορούσαν να καταστήσουν τον Ηλιακό Πύργο Ισχύος περισσότερο οικονομικά δελεαστικό.

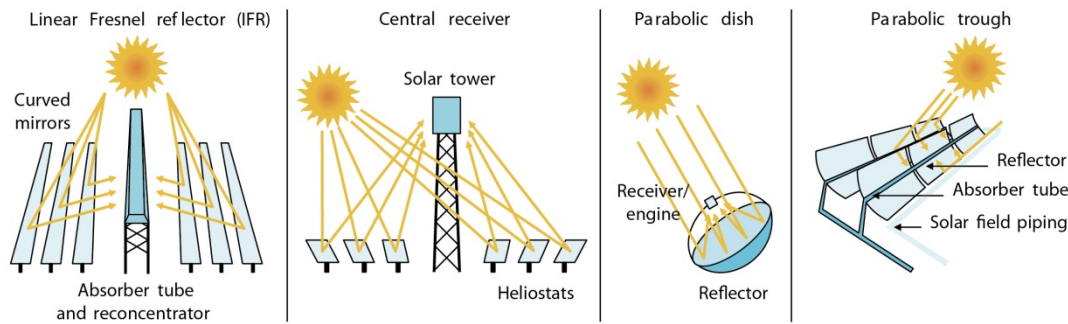
## 1.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική βασίζεται σε τέσσερις τεχνολογίες συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων (Concentrated Solar Power –CSP) , όπου με αυξανόμενη σειρά ανάπτυξης είναι οι ακόλουθες:

- Συστήματα Δίσκου - Μηχανής (PDC). Στα συστήματα δίσκου-μηχανής ένας δίσκος παρακολουθεί τον ήλιο και συγκεντρώνει την άμεση ηλιακή ενέργεια σε έναν δέκτη στο εστιακό του σημείο, όπου απορροφάται και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Μια θερμική μηχανή (συνήθως η μηχανή Stirling) μετατρέπει τη θερμική ενέργεια σε μηχανική. Η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική με τη βοήθεια μιας γεννήτριας που είναι ενσωματωμένη πάνω στο δέκτη. ( 3<sup>η</sup> διάταξη στην Εικόνα 2 )
- Γραμμικοί Συλλέκτες Fresnel (LFC). Οι συλλέκτες Fresnel αποτελούνται από πολλές παράλληλες σειρές ανακλαστήρων που συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα δέκτη τοποθετημένο κατά μήκος των σειρών αυτών και σε αρκετά μέτρα ύψος. ( 1<sup>η</sup> διάταξη στην Εικόνα 2 )
- Συστήματα Ηλιακών Πύργων (CRS). Η τεχνολογία Solar Power Tower, που ονομάζεται επίσης σύστημα κεντρικού δέκτη (CR), είναι μια ιδέα συλλογής ηλιακής ενέργειας, όπου οι ηλιακές ακτίνες εστιάζονται από έναν μεγάλο αριθμό κατόπτρων που ονομάζονται ηλιοστάτες σε έναν κεντρικό δέκτη. Ο δέκτης βρίσκεται στην κορυφή ενός κεντρικού πύργου και οι ακτίνες του ήλιου συλλέγονται σ' αυτόν. Η βασική ιδέα είναι η θέρμανση ενός ρευστού το οποίο οδηγεί σε στρόβιλους που παράγουν ηλεκτρισμό. ( 2<sup>η</sup> διάταξη στην Εικόνα 2 )
- Παραβολικά Κοίλα (PTC). Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από πολλές παράλληλες σειρές ηλιακών συλλεκτών που ευθυγραμμίζονται οριζόντια ώστε να παρακολουθούν τον ήλιο κατά μήκος ενός άξονα - συνήθως κατά τον άξονα βορά-νότου. Κάθε ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από μια ανακλαστική επιφάνεια παραβολικού σχήματος η οποία συγκεντρώνει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε έναν σωληνωτό δέκτη που είναι τοποθετημένος κατά μήκος της εστιακής γραμμής του κοίλου. ( 4<sup>η</sup> διάταξη στην Εικόνα 2 )



## Main CSP technologies



Εικόνα 2. Τεχνολογίες συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων. Σε σειρά: LFC , CRS , PDC , PTC.

Στους Γραμμικούς Συλλέκτες Fresnel (LFC) και στα Παραβολικά Κοίλα (PTC) η εστίαση της ηλιακής δέσμης που επιτυγχάνεται είναι γραμμική. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται σύστημα παρακολούθησης με ένα βαθμό ελευθερίας. Δηλαδή η διαρκής μετατόπιση του συστήματος για τον προσδιορισμό της θέσης του στο χώρο ώστε να επιτυγχάνεται σωστή στόχευση της ηλιακής δέσμης γίνεται μόνο σε έναν άξονα- single-axis tracking system – στον οριζόντιο άξονα. Αντίθετα τα Συστήματα Παραβολικού Δίσκου (PDC) και τα Συστήματα Ηλιακών Πύργων (CRS) είναι τεχνολογίες με εστίαση της δέσμης σε σημείο. Αυτό απαιτεί σύστημα μετατόπισης της θέσης τους με δύο βαθμούς ελευθερίας, δηλαδή συνεχή προσδιορισμό της θέσης τους σε δύο άξονες , κατακόρυφος και οριζόντιος άξονας- two-axis tracking system. Για το λόγο αυτό αναμένεται ότι τα συστήματα PDC και CRS θα επιτύχουν μακροπρόθεσμα μεγαλύτερους βαθμούς απόδοσης μετατροπής της ηλιακής ενέργειας. Σύμφωνα με την (Irena, 2012) οι ετήσιες αποδόσεις των συγκεντρωτικών συστημάτων είναι οι ακόλουθες:

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΕΣΤΙΑΣΗ	TRACKING	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΕΚΤΗ (οC)	ΑΠΟΔΟΣΗ
PDC	Σημειακή	Two-axis	100-1500	12% - 25%
LFC	Γραμμική	Single-axis	60-550	Έως 13%
CRS	Σημειακή	Two-axis	150-2000	7% - 20%
PTC	Γραμμική	Single-axis	60-550	11% - 16%

Οι ηλιακοί πύργοι παρουσιάζουν όχι μόνο μεγάλα ποσοστά ενεργειακής απόδοσης αλλά και μεγάλα περιθώρια βελτιστοποίησης. Αν και είναι λιγότερο ώριμη τεχνολογία σε σχέση με τα συστήματα παραβολικών κοίλων, είναι η πλέον υποσχόμενη ανάμεσα στα CSP για υψηλότερες αποδόσεις και κατ' επέκταση μείωση κόστους στο μέλλον. Θεωρητικά, οι ηλιακοί πύργοι ισχύος έχουν έναν πολύ πιο αποδοτικό σχεδιασμό από αυτόν που έχουν τα γραμμικά συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα συστήματα ηλιακών πύργων επιτυγχάνουν υψηλότερη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας και άρα υψηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες είναι απαραίτητες για μείωση των θερμικών απωλειών στο δέκτη και καλύτερη απόδοση στη παραγωγή ισχύος. Πρακτικά, η πραγματική απόδοση των δεκτών στα συστήματα ηλιακού πύργου ποικίλλει. Στα γραμμικά συστήματα οι δέκτες μπορούν να μονωθούν, πράγμα που δεν μπορεί να γίνει στους ηλιακούς πύργους. Από την άλλη, οι πύργοι είναι λιγότερο ευάλωτοι σε εποχιακές διακυμάνσεις, σε αντίθεση με τα γραμμικά συστήματα, τα οποία έχουν μεγαλύτερες

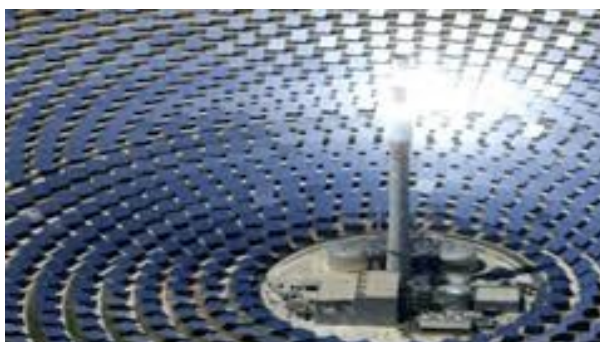
Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τεχνολογία των Ηλιακών Πύργων. Αρχικά γίνεται περιγραφή όλων των επιμέρους τμημάτων και του τρόπου λειτουργίας τους. Στη συνέχεια ακολουθεί το πειραματικό κομμάτι, σκοπός του οποίου είναι ο προσδιορισμός της απόκλισης (offset) της ηλιακής δέσμης από τον δέκτη.

# 2

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΠΥΡΓΩΝ

Στους ηλιακούς πύργους ισχύος οι ηλιοστάτες παρακολουθούν τη τροχιά του ήλιου ώστε να ανακλάται και να συγκεντρώνεται το άμεσο ηλιακό φως σε έναν κεντρικό δέκτη (εναλλάκτη θερμότητας) τοποθετημένο στην κορυφή ενός πύργου. Εκεί η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική, καθώς θερμαίνεται ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Το τελευταίο διοχετεύεται προαιρετικά στο σύστημα αποθήκευσης και εν τέλει στο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής που μετατρέπει τη θερμική ενέργεια σε ηλεκτρισμό και τροφοδοτεί το δίκτυο.



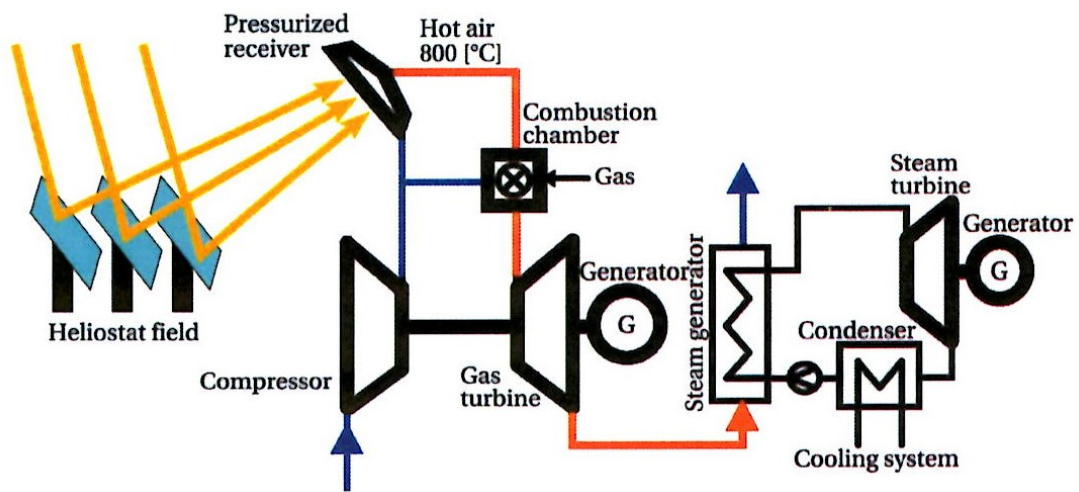
Εικόνα 3. Μορφή συστήματος Ηλιακού Πύργου Ισχύος.

#### 2.1.1 ΚΥΚΛΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Μετά τη συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας στον δέκτη από όλους τους ηλιοστάτες και την αύξηση της θερμότητας ξεκινάει η διαδικασία μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια. Θεωρητικά έχουν αναπτυχθεί τέσσερις κύκλοι λειτουργίας για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, από τους οποίους οι δύο έχουν υλοποιηθεί. Συγκεκριμένα είναι οι ακόλουθοι:

- Κύκλος πεπιεσμένου αέρα ( πειραματικό στάδιο )

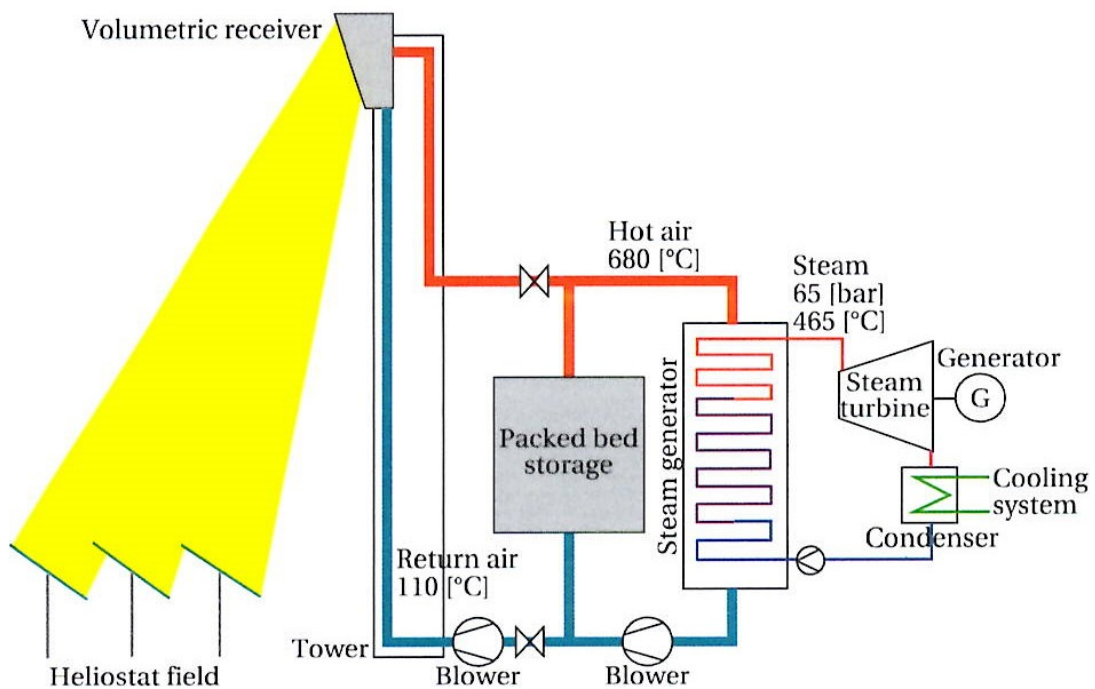
Στον κύκλο πεπιεσμένου αέρα, ως μέσο χρησιμοποιείται ο αέρας, ο οποίος λαμβάνει τη συγκεντρωμένη θερμότητα του δέκτη και αυξάνεται σε θερμοκρασία 800-900 °C. Στη συνέχεια ωθεί τον αεριοστρόβιλο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και υποβάλλεται πάλι υπό πίεση από τον συμπιεστή στροβίλου. (Εικόνα 4)



Εικόνα 4. Κύκλος λειτουργίας πεπιεσμένου αέρα.

- Κύκλος ατμοσφαιρικού αέρα ( πειραματικό στάδιο )

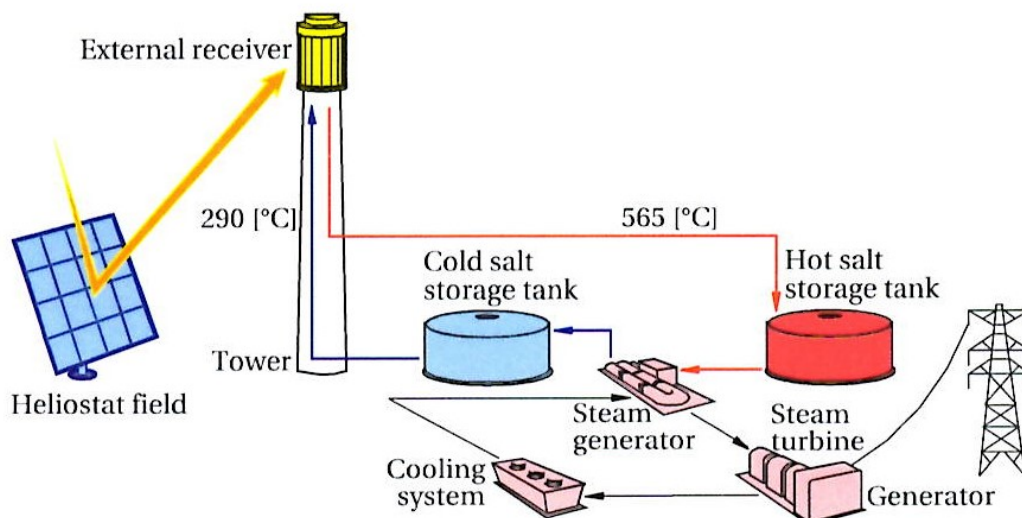
Ο κύκλος ατμοσφαιρικού αέρα βασίζεται σε έναν ανοιχτό βρόχο όπου ο ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται μέσα από ένα συρμάτινο πλέγμα ή μέσα από μία πορώδη κεραμική επιφάνεια και θερμαίνεται στους 680-950 °C. Στη συνέχεια οδηγείται στην γεννήτρια παραγωγής ατμού για να ακολουθήσει ένας συμβατικός κύκλος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υπέρθερμου ατμού. (Εικόνα 5)



Εικόνα 5. Κύκλος λειτουργίας ατμοσφαιρικού αέρα.

- Κύκλος τηγμένου άλατος ( εμπορικό στάδιο ). (Torresol, 2011);

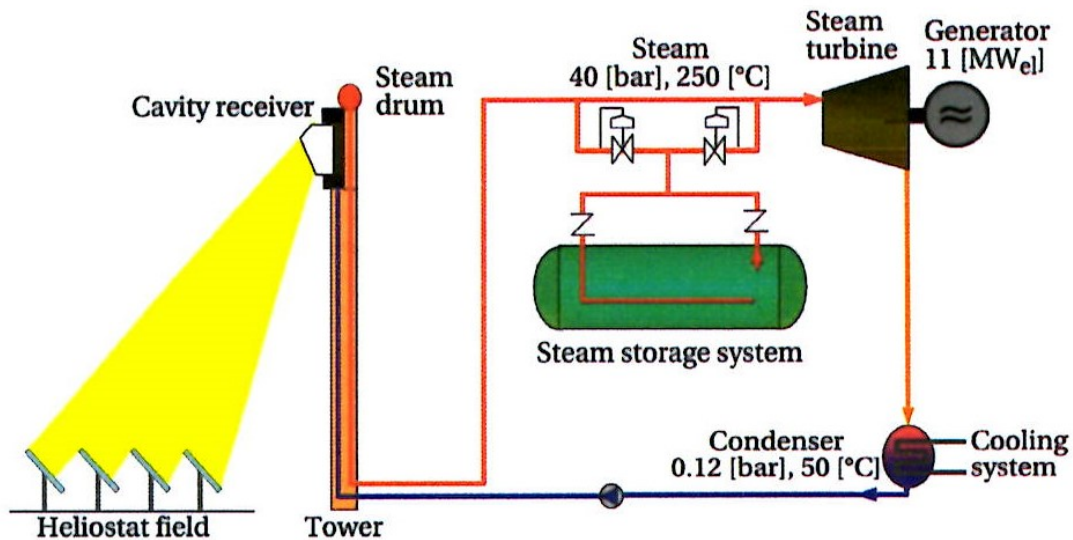
Ο κύκλος τηγμένου άλατος αποτελείται από έναν κύριο βρόχο όπου ψυχρό τηγμένο άλας στους 290 °C αντλείται από μία δεξαμενή ψυχρής αποθήκευσης και κατευθύνεται στον δέκτη του πύργου. Εκεί θερμαίνεται στους 565 °C και στη συνέχεια αποθηκεύεται σε μία δεύτερη δεξαμενή στο έδαφος. Το θερμό άλας εκτελεί συμβατικό κύκλο ατμού και επιστρέφει στην δεξαμενή ψυχρής αποθήκευσης. Λαμβάνοντας υπόψη τη δυνατότητα αποθήκευσης είναι εφικτή η επέκταση της λειτουργίας της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε 24 ώρες κατά την καλοκαιρινή περίοδο. (Εικόνα 6)



Εικόνα 6. Κύκλος λειτουργίας τηγμένου άλατος.

- Κύκλος άμεσου ατμού (εμπορικό στάδιο )

Στον κύκλο άμεσου ατμού δεν χρησιμοποιείται κάποιος ενδιάμεσος βρόχος ανάμεσα στον δέκτη και στον ατμοστρόβιλο. Το νερό που τροφοδοτείται στον δέκτη θερμαίνεται στους 250 °C και οδηγείται πίσω στο έδαφος σε μία δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης. Από εκεί οδηγείται στον στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στη συνέχεια πάλι κατευθύνεται προς τον δέκτη. (Εικόνα 7)



Εικόνα 7. Κύκλος λειτουργίας άμεσου ατμού.

### 2.1.2 ΗΛΙΟΣΤΑΤΕΣ

Ο ηλιοστάτης είναι ένας κάτοπτρο το οποίο ακολουθεί τη κίνηση του ηλίου , με σκοπό να αντικατοπτρίζει συνεχώς τις ακτίνες του ηλιακού φωτός σε έναν συγκεκριμένο σταθερό στόχο. Στην περίπτωση μιας εγκατάστασης ηλιακού πύργου, ένα πεδίο από ηλιοστάτες συγκεντρώνουν το ηλιακό φως σε έναν κεντρικό δέκτη στο επάνω μέρος του πύργου. Αυτή η εφαρμογή απαιτεί υψηλή ανακλαστικότητα από τον καθρέφτη, μεγάλη ακρίβεια στο σύστημα παρακολούθησης, αντίσταση στις ανεμοπιέσεις και χαμηλό κόστος. Οι σημερινοί ηλιοστάτες είναι είτε μια ενιαία επιφάνεια κατόπτρου ή ένα σύνολο από μικρότερα κάτοπτρα , τοποθετημένα σε ένα πλέγμα υποστηριζόμενο από έναν οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα. Τα κάτοπτρα που χρησιμοποιούνται έχουν ορθογωνική διάταξη με ελαφρώς κυρτή καμπυλότητα.

Ο ηλιοστάτης είναι “ an off-axis sun tracker” . Αυτό σημαίνει ότι έχοντας έναν σταθερό στόχο – το δέκτη - ο ηλιοστάτης πρέπει συνέχεια να υπολογίζει τη γωνία μεταξύ του διανύσμάτος του με τον ήλιο και του διανύσμάτος του με τον δέκτη. Ως συνέπεια , το ποσοστό στόχευσης της ηλιακής ακτινοβολίας στον δέκτη εξαρτάται έντονα από τη γωνία πρόσπτωσης στον ηλιοστάτη. Αυτό είναι και το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### 2.1.3 ΠΕΔΙΟ ΗΛΙΟΣΤΑΤΩΝ

Οι εγκαταστάσεις ηλιακών πύργων μπορούν να χωριστούν σύμφωνα με το μέγεθος της ανακλαστικής τους περιοχής σε τρεις κατηγορίες.

- Μικρής κλίμακας (< 10000 m<sup>2</sup> ). Εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας, όπως το πεδίο Samar στο Ισραήλ (2009) ή το πεδίο Solastor στην Αυστραλία (2011), έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια ή/και θερμότητα σε σχετικά μικρές κοινότητες.

- Μεσαίας κλίμακας (  $10000-100000 \text{ m}^2$  ). Εγκαταστάσεις μεσαίας κλίμακας, όπως είναι η Sierra Sun Tower στις ΗΠΑ (2009), εξυπηρετούν ανάγκες της τοπικής βιομηχανίας σε ατμό, θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια.
- Μεγάλης κλίμακας (  $> 100000 \text{ m}^2$  ). Εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, όπως οι PS20 και Gemasolar στην Ισπανία (2009 και 2011 ) και η Inavraη στην Καλιφόρνια (2013), με ανακλαστική επιφάνεια  $> 100000 \text{ m}^2$  εγείρουν το ερώτημα αν θα ήταν σκόπιμη η χρήση πολλαπλών πύργων αντί ενός.

Οι ηλιοστάτες είναι διατεταγμένοι στο πεδίο σε μία από τις δύο ακόλουθες μορφοποιήσεις.

- Βόρεια διάταξη (ή Νότια διάταξη για το Νότιο ημισφαίριο). Στη βόρεια διάταξη οι ηλιοστάτες είναι τοποθετημένοι στη βόρεια πλευρά του πύργου.
- Περιμετρική διάταξη  $360^\circ$ . Στη περίπτωση αυτή οι ηλιοστάτες περιβάλλουν κυκλικά τον ηλιακό πύργο σε γωνία  $360^\circ$ .

Η επιλογή μεταξύ των δύο μορφοποιήσεων του πεδίου εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος της εγκατάστασης καθώς και από τη κεντρική γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας στον δέκτη. Στις περισσότερες εγκαταστάσεις, που έχουν γίνει για ερευνητικούς σκοπούς καθώς και σε ορισμένες για εμπορικούς, έχει χρησιμοποιηθεί βόρεια διάταξη. Σε λίγες έχει χρησιμοποιηθεί η περιμετρική διάταξη όπως είναι το Solar Two και το Sierra SunTower στην Καλιφόρνια ή το Gemasolar στην Ισπανία.



Εικόνα 8. Εγκατάσταση Ηλιακού Πύργου Ισχύος Gemasolar στην Ισπανία.

Επιπλέον οι διατάξεις των ηλιοστατών διακρίνονται σε δύο ομάδες

- Σε μορφή πλέγματος που αποτελείται από γραμμές Δυτικό-Ανατολικού και Βόρειο-Νότιου προσανατολισμού.

- Κυκλικής μορφής, όπου οι ηλιοστάτες διατάσσονται κατά μήκος ομόκεντρων κύκλων με κέντρο τον ηλιακό πύργο.

Και στις δύο περιπτώσεις οι αποστάσεις μεταξύ των σειρών αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από τον πύργο για την αποφυγή διαταραχών λειτουργίας λόγω επιμέρους σκιάσεων. Δύο άλλοι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για το καθορισμό των θέσεων των ηλιοστατών είναι:

- η ελάχιστη απαιτούμενη μεταξύ τους απόσταση για την αποφυγή συγκρούσεων (διαρκής τοποθέτηση του κατόπτρου σε νέα θέση) που καθορίζει τον αζιμουθιακό συντελεστή απόστασης (azimuthal spacing).
- η ελάχιστη απαιτούμενη μεταξύ τους απόσταση για την αποφυγή παρεμπόδισης της ανακλώμενης ακτινοβολίας από άλλες σειρές που καθορίζει τον συντελεστή ακτινικής απόστασης (radial spacing).

#### 2.1.4 ΠΥΡΓΟΣ

Ο κύριος ρόλος του πύργου είναι η τοποθέτηση του δέκτη στη κορυφή του και μίας μικρής δεξαμενής αποθήκευσης του υγρού μέσου μεταφοράς θερμότητας (νερό, τηγμένο άλας κτλ). Εκτός από αυτά ο πύργος πρέπει να πληρεί και κάποιες άλλες προϋποθέσεις ώστε να επιτυγχάνεται η σωστή λειτουργία της εγκατάστασης. Πρώτον, πρέπει να μπορεί να καθοριστεί και πρόσθετος στόχος κάτω από τον δέκτη για τη ρύθμιση της στόχευσης των ηλιοστατών. Δεύτερον, το μέσο μεταφοράς θερμότητας είτε πρόκειται για νερό, είτε για τηγμένο άλας, είτε για ατμό μεταφέρεται καθ' ύψος σε όλο τον πύργο. Συνεπώς πρέπει να εξασφαλίζεται η επαρκής μόνωση των σωληνώσεων για την ελαχιστοποίηση των απωλειών κατά τη μεταφορά. Ο σχεδιασμός του πύργου πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψιν τις παραμέτρους αυτές καθώς και την έκθεσή του σε ανέμους, την επίδρασή του στην εστίαση των ηλιοστατών, καθώς και τη σκιά που δημιουργεί στο πεδίο.

Η κατασκευή του πύργου γίνεται είτε από μεταλλικό πλέγμα ή οπλισμένο σκυρόδεμα. Η μεταλλική κατασκευή προκαλεί λιγότερη σκίαση στο πεδίο αλλά η κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα προσφέρει καλύτερη μόνωση σωληνώσεων και αντοχή στον αέρα. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις είναι κατασκευασμένες από οπλισμένο σκυρόδεμα και με ύψος πύργου μικρότερο από 120m. Ενδεικτικά στον ακόλουθο πίνακα αναφέρονται τα ύψη πύργων σε διάφορες εγκαταστάσεις.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΣ ΠΥΡΓΟΥ
BrightSource	60m
Solar One/Two	90m
Coalinga	100m
Gemasolar	120m
PS20	120m

#### 2.1.5 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Τρεις βασικές έννοιες της ηλιακής ακτινοβολίας που παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι:



- Άμεση ακτινοβολία: Η ηλιακή ακτινοβολία που δεν έχει υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα αλλά προέρχεται απ'ευθείας από τον ήλιο και προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης.
- Διάχυτη ακτινοβολία: Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης αφού έχει υποστεί σκέδαση.
- Συνολική ακτινοβολία: Το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας.

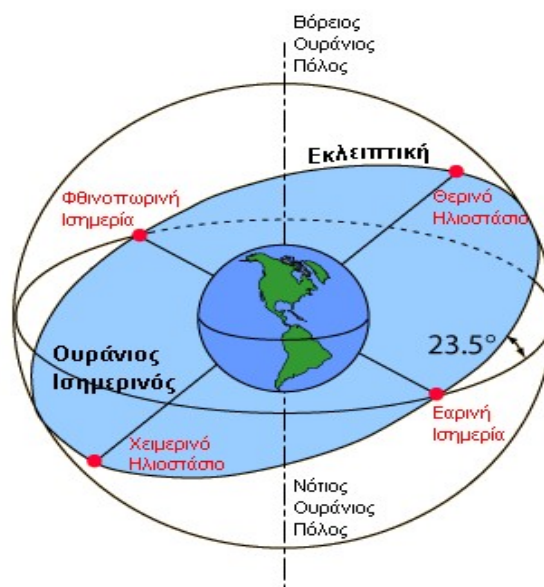
Είναι κατανοητό, αλλά ωστόσο πρέπει να το αναφέρουμε, ότι τα συστήματα των ηλιακών πύργων εκμεταλλεύονται την άμεση ακτινοβολία. Η μελέτη και ο προσανατολισμός των ηλιοστατών γίνεται με στόχο οι ηλιακές δέσμες που προέρχονται από τον ήλιο να προσπίπτουν στον δέκτη.

## 2.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΙΑΚΟΥ ΠΥΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ

### 2.2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

#### Μοντέλο σταθερής Γης και κίνησης Ηλίου στο εκλειπτικό επίπεδο

Τα μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν τη κίνηση της Γης σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τον σταθερό Ήλιο γίνονται ιδιαίτερα πολύπλοκα και δεν γίνονται εύχρηστα στον προσδιορισμό της ενέργειας που θα δεχόταν ένας ηλιακός συλλέκτης πάνω σε ένα σημείο της Γης, ή στη δική μας περίπτωση στον προσδιορισμό της θέσης του ηλιοστάτη. Για το λόγο αυτό υιοθετούμε το μοντέλο της σταθερής Γης σε ένα σημείο και της κίνησης του Ηλίου σε τροχιά γύρω της, πάνω στο εκλειπτικό επίπεδο (ecliptic plane). Εκλειπτικό επίπεδο είναι το επίπεδο που περιέχει την ελλειπτική τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο. Η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο εκλειπτικό επίπεδο και τον πολικό άξονα της Γης διατηρείται σταθερή καθ'όλη τη διάρκεια του έτους και ισούται με  $23^{\circ}27' = 23,45^{\circ}$ . Το επίπεδο που είναι κάθετο στον πολικό άξονα της Γης, είναι το επίπεδο του ουράνιου Ισημερινού και η γωνία που σχηματίζει με το εκλειπτικό επίπεδο είναι  $23^{\circ}27' = 23,45^{\circ}$  (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Μοντέλο σταθερής θέσης Γης και κίνηση του Ηλίου στο εκλειπτικό επίπεδο.

### Ηλιακή απόκλιση (γωνία $\delta$ )

Ως ηλιακή απόκλιση  $\delta$  ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του ουράνιου ισημερινού και της ευθείας που ενώνει το κέντρο της Γης με το κέντρο του Ηλίου. Η γωνία αυτή αλλάζει διαρκώς στη διάρκεια της ετήσιας περιστροφής, ωστόσο για τους περισσότερους υπολογισμούς μπορεί να θεωρηθεί ότι διατηρείται σταθερή στη διάρκεια της ημέρας, δεδομένου ότι μεταβάλλεται λιγότερο από  $0,5^\circ$  ανά ημέρα. Η ηλιακή απόκλιση λαμβάνει τις τιμές  $\delta=+23,45^\circ$  κατά το θερινό ηλιοστάσιο (21/6) ,  $\delta=-23,45^\circ$  κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο (21/12) και  $\delta=0^\circ$  κατά την εαρινή (21/3) και φθινοπωρινή (21/9) ισημερία (Εικόνα 10).

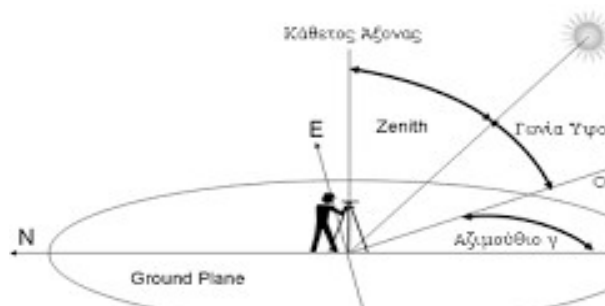


Εικόνα 10. Ηλιακή απόκλιση  $\delta$ .

### Οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων

Επειδή ο παρατηρητής-ηλιοστάτης μας είναι τοποθετημένος στην επιφάνεια της Γης και πρέπει να καθοριστεί η θέση του Ηλίου στη συγκεκριμένη περιοχή απαιτείται να χρησιμοποιηθεί το οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων. Στο σύστημα αυτό η Γη είναι σταθερή στο κέντρο του συστήματος και ο Ήλιος βρίσκεται στην ουράνια σφαίρα και προσδιορίζεται με χρήση γωνιών κι όχι αποστάσεων. Οι γωνίες αυτές είναι:

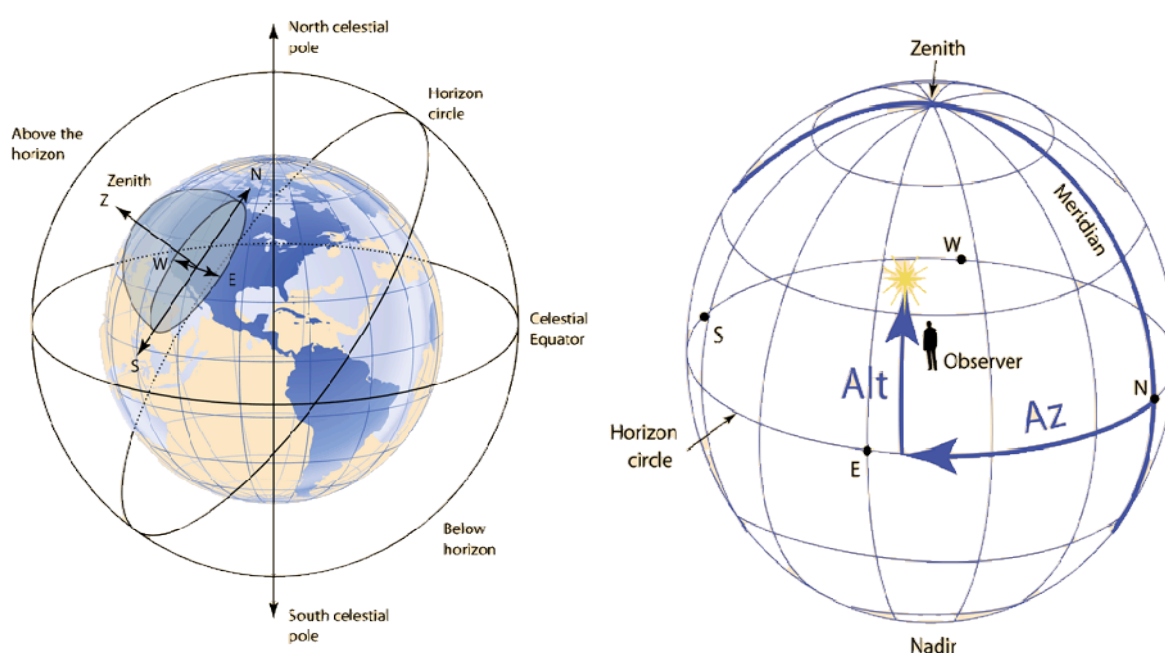
- το ύψος  $\beta$  , πάνω από τον ορίζοντα
- και το αζιμούθιο  $Z$ , ως προς το Νότο



Εικόνα 11. Γωνία ύψους και αζιμούθιου.

Να σημειωθεί ότι οι γωνίες αυτές μετριοούνται από τη θέση στην οποία βρίσκεται ο παρατηρητής ως προς το επίπεδο αναφοράς, που ορίζεται το οριζόντιο επίπεδο που εφάπτεται στην επιφάνεια της Γης, στη θέση που βρίσκεται ο παρατηρητής (Εικόνα 12α).

Το ύψος παίρνει τιμές από  $-90^{\circ}$  έως  $+90^{\circ}$  και είναι θετικό όταν βρίσκεται πάνω από τον ορίζοντα. Η γωνία του ως προς το ζενίθ είναι η συμπληρωματική του  $90^{\circ}-\beta$ . Για το αζιμούθιο ως κατεύθυνση αναφοράς επιλέγεται να είναι ο Νότος και θετικές θεωρούνται οι γωνίες που διαγράφονται προς τη Δύση (Εικόνα 12β).



Εικόνα 12. α) Ουράνια σφαίρα στη θέση παρατηρητή. β) Κατευθύνσεις αναφοράς γωνιών ύψους και αζιμούθιου.

### Γεωγραφικές Συντεταγμένες

Γεωγραφικές συντεταγμένες είναι ένα σύστημα δύο μεγεθών , γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος, για το προσδιορισμό της θέσης μιας τοποθεσίας πάνω στη Γη.

Γεωγραφικό μήκος: Το γεωγραφικό μήκος  $\alpha$  είναι η γωνία που μετράται ανάμεσα στην προβολή της τοποθεσίας στο επίπεδο του Ισημερινού και το σημείο αναφοράς στο μεσημβρινό «μηδέν» - πρώτος μεσημβρινός που διέρχεται από το Greenwich.

Γεωγραφικό πλάτος: Το γεωγραφικό πλάτος  $\phi$  υπολογίζεται από τη μέτρηση της γωνίας του ύψους του σημείου ως προς το επίπεδο του (ουράνιου) Ισημερινού.

Για την περιοχή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου προκύπτει  $\phi=37,9^{\circ}$  και  $\alpha=-23,72^{\circ}$ , γεωγραφικές συντεταγμένες που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα στον αλγόριθμό μας.

### Ηλιακή Ώρα $T_{SOLAR}$

Η ηλιακή ώρα έχει ως αναφορά τον Ήλιο και δεν ταυτίζεται με τη τοπική ώρα, αλλά είναι για δεδομένο τόπο, σε δεδομένη μέρα σε συγκεκριμένη ηλιακή θέση. Δίνεται από τον τύπο:

$$T_{SOLAR} = T_{LOCAL} + E + 4 \text{ min}/\circ * (L_{ST} - L_{LOCAL})$$

Όπου:

- $T_{LOCAL}$  : η αντίστοιχη τοπική ώρα (χρησιμοποιείται η χειμερινή ώρα καθ'όλη τη διάρκεια του έτους)
- $E$  : η εξίσωση χρόνου με την οποία εισάγεται διόρθωση για την ημέρα υπολογισμού
- $L_{ST}$  : ο κεντρικός μεσημβρινός για την ώρα τοπικής ζώνης,  $-30^{\circ}$  για την Ελλάδα
- $L_{LOCAL}$  : το γεωγραφικό μήκος της τοποθεσίας όπου προσδιορίζεται η ώρα
- $4 \text{ min}/\circ$  : ο όρος αυτός προέρχεται από το γεγονός ότι η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της κατά γωνία  $1^{\circ}$  εντός 4 λεπτών

### Εξίσωση Χρόνου $E$

Η εξίσωση χρόνου  $E$  εισάγει διόρθωση ανάλογα με την ημέρα του έτους, και λαμβάνει υπόψη της τη μεταβολή της χρονικής διάρκειας (min) που απαιτεί ο Ήλιος για να μεταφερθεί κατά μήκος της ηλιακής τροχιάς του στην ουράνια σφαίρα και να διανύσει τον ουρανό του παρατηρητή. Στους υπολογισμούς μας χρησιμοποιούμε τη σχέση:

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

Όπου:

- $B$  : Γωνία ημέρας, η οποία προσδιορίζεται από την ημέρα του έτους DoY (Day of Year) με αναφορά την ημέρα κατά την οποία ο Ήλιος θα εισέλθει στην εαρινή ισημερία και δίνεται από την σχέση:

$$B = \frac{360^{\circ}}{364} * (DoY - 81)$$

Η παράμετρος ημέρας DoY αναφέρεται στο ημερολογιακό έτος και λαμβάνει τιμές που μεταβάλλονται ημερησίως από το 1 έως το 365.

### Μεσημβρινός Αναφοράς

Ο μεσημβρινός αναφοράς  $L_{ST}$  χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τη διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στο γεωγραφικό μήκος του παρατηρητή (για το Ε.Μ.Π έχει τιμή  $-23,73^{\circ}$ ) και του μεσημβρινού αναφοράς  $L_{ST}$  για τον προσδιορισμό της τοπικής ώρας. Δίνεται από τον τύπο:

$$L_{ST} = \left(15^{\circ}/h\right) * \Delta T_{GMT}$$

Όπου:

- $\Delta T_{GMT}$  : η διαφορά μεταξύ της ώρας GMT ( Greenwich Mean Time ) και της τοπικής ώρας που συνιστά ακέραιο αριθμό ωρών (για την Ελλάδα=-2)

Για την Ελλάδα προκύπτει  $L_{ST} = -30^{\circ}$ .

### Ηλιακή Απόκλιση $\delta$

Όπως έχουμε αναφέρει, η γωνία  $\delta$  που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του ουράνιου Ισημερινού και της νοητής ευθείας η οποία ενώνει τα κέντρα της Γης και του Ηλίου, ονομάζεται ηλιακή απόκλιση και δίνεται από τη σχέση:

$$\delta(^{\circ}) = 23,45^{\circ} * \sin\left[\frac{360^{\circ}}{365} * (DoY - 81)\right]$$

Η σχέση αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι η πρώτη μέρα ενός ημερολογιακού έτους υπολείπεται κατά 81 ημέρες από την επερχόμενη εαρινή ισημερία. Η ηλιακή απόκλιση,  $\delta$ , είναι μηδέν και στις δύο ισημερίες, ενώ έχει τιμές  $+23^{\circ}27'$  ( $=23,45^{\circ}$ ) κατά το θερινό ηλιοστάσιο και  $-23^{\circ}27'$  κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο.

### Ωριαία Γωνία $\omega$

Η ωριαία γωνία  $\omega$ , είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των δύο ημιεπιπέδων που ορίζονται από:

- Τον πολικό άξονα της Γης και το ζενίθ της τοποθεσίας
- Τον πολικό άξονα της Γης και το σημείο που πρόκειται να περιγραφεί πάνω στην ουράνια σφαίρα

Όταν θέλουμε να περιγράψουμε τη θέση του Ηλίου αναφερόμαστε στην ηλιακή ωριαία γωνία και δίνεται από τον τύπο:

$$\omega = \frac{15^{\circ}}{h} * (T_{SOLAR} - 12h)$$

Όπου:

- $T_{SOLAR}$  : η ηλιακή ώρα, για το δεδομένο τόπο, τη δεδομένη ημέρα σε ώρες (από 0:00 – 24:00)
- 12h : η ώρα για την ηλιακή μεσημβρία (Ηλιος στο ζενίθ)
- $15^{\circ}/h$ : σταθερά αναλογίας ηλιακής ωριαίας γωνίας – ηλιακής ώρας

Κατά τη στιγμή της ηλιακής μεσημβρίας, όπου ο Ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ της περιοχής, προκύπτει  $\omega=0$ , ενώ τις πρωινές ώρες προκύπτουν αρνητικές τιμές και τις απογευματινές θετικές.

### 2.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΥ

Η θέση του Ηλίου προσδιορίζεται από δύο μεγέθη-γωνίες όπως έχουμε αναφέρει, το ύψος  $\beta$  και το αζιμούθιο  $\zeta$ , και δίνονται από τους τύπους:

Ηλιακό ύψος  $\beta$ :

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

Ηλιακή αζιμούθια γωνία  $\zeta$ :

$$\cos \zeta = \frac{\sin \beta * \sin \varphi - \sin \delta}{\cos \beta * \cos \varphi}$$

Όπου:

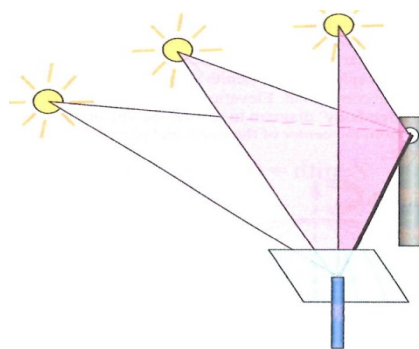
- $\beta$ : η γωνία του ύψους του Ηλίου στη συγκεκριμένη περιοχή και ώρα
- $\zeta$ : η γωνία για το ηλιακό αζιμούθιο ως προς το Νότο, στη συγκεκριμένη περιοχή και ώρα
- $\delta$ : η ηλιακή απόκλιση της συγκεκριμένης ημερολογιακής ημέρας (DoY)
- $\phi$ : το γεωγραφικό πλάτος της συγκεκριμένης περιοχής
- $\omega$ : η ηλιακή ωριαία γωνία που αναλογεί στην ώρα υπολογισμού της θέσης του Ηλίου
- $\varphi_Z$ : η γωνία της προσπίπτουσας δέσμης ως προς το τοπικό ζενίθ, (συμπληρωματική της  $\beta$ )

Η πρακτική σημασία αυτών των εξισώσεων έγκειται στο γεγονός ότι για οποιαδήποτε ημέρα του έτους και για δεδομένη τοποθεσία μπορούμε να προσδιορίσουμε σε κάθε στιγμή τη διεύθυνση πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Αυτό αποτελεί βασική παράμετρο στο υπολογιστικό μοντέλο ανάκλασης του ηλιοστάτη όπως αναπτύσσουμε παρακάτω.

### 2.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΗΛΙΟΣΤΑΤΗ

Έχουμε τη δυνατότητα ανάκλασης των ηλιακών ακτίνων σε ένα σταθερό σημείο - δέκτη, μέσω ενός υπολογιστικού μοντέλου όπου, με τη χρήση μαθηματικών σχέσεων, συσχετίζει τη μηχανική κίνηση του ηλιοστάτη σε συνδυασμό με τη θέση του Ηλίου και τη σταθερή θέση του δέκτη.

Καθώς η Γη περιστρέφεται, δημιουργώντας την φαινομενική κίνηση του Ηλίου στην ουράνια σφαίρα, τα κέντρα του Ηλίου, του δέκτη και του ηλιοστάτη, δημιουργούν το επίπεδο ανάκλασης. Η κορυφή, αυτού του περιστρεφόμενου τριγώνου που στην πραγματικότητα δημιουργείται, είναι το μεταβαλλόμενο κέντρο του Ηλίου, ενώ οι βάσεις του είναι οι σταθερές θέσεις του ηλιοστάτη και του δέκτη (Εικόνα 13). Για να επιτυγχάνουμε συνεχώς οι ανακλώμενες ακτινοβολίες του Ηλίου να προσπίπτουν στον δέκτη πρέπει το διάνυσμα επιφανείας του κατόπτρου (δηλαδή το διάνυσμα που είναι κάθετο στο επίπεδο που ορίζει το κάτοπτρο του ηλιοστάτη κι έχει σημείο εφαρμογής το κέντρο βάρους του κατόπτρου) να βρίσκεται στη διχοτόμο της γωνίας που ορίζουν το διάνυσμα θέσης Ηλίου και το διάνυσμα θέσης δέκτη.

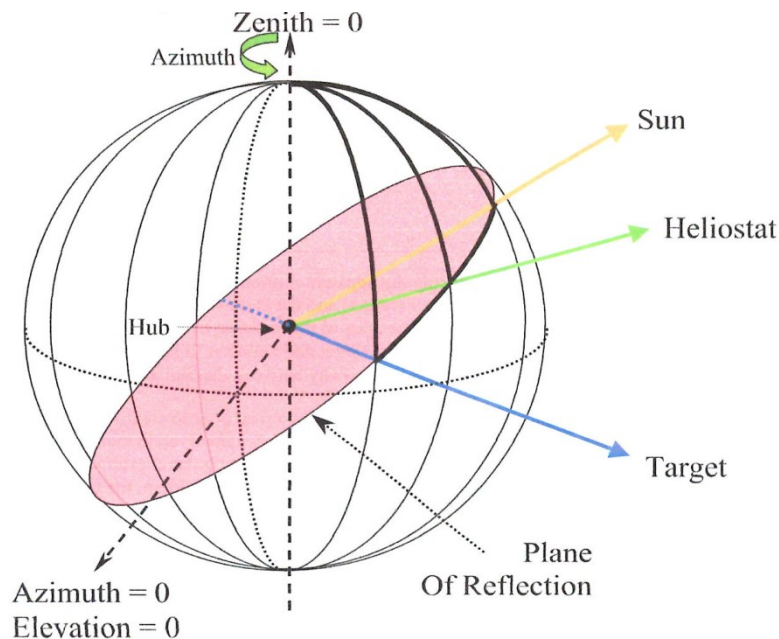


Εικόνα 13. Επίπεδο ανάκλασης Ηλίου – Ηλιοστάτη - Δέκτη.

Ως διάνυσμα θέσης Ηλίου ορίζουμε το διάνυσμα με αρχή το κάτοπτρο και πέρας τον Ηλιο και ως διάνυσμα θέσης δέκτη το διάνυσμα με αρχή το κάτοπτρο και πέρας το δέκτη. Όπως αναλύσαμε στον προσδιορισμό της θέσης του Ηλίου το διάνυσμα θέσης του Ηλίου προσδιορίζεται με το ηλιακό ύψος και αζιμούθιο. Για τον προσδιορισμό του διανύσματος θέσης δέκτη χρησιμοποιούμε το ύψος

δέκτη και το αζιμούθιο του δέκτη , τα οποία υπολογίζονται εύκολα εφόσον η θέση του δέκτη είναι σταθερή.

Για την απλούστευση των μαθηματικών σχέσεων που προκύπτουν προτιμούνται οι σφαιρικές συντεταγμένες κάνοντας τη θεώρηση ότι ο ηλιοστάτης βρίσκεται στο κέντρο της σφαίρας. Η αζιμούθια γωνία των διανυσμάτων έχει ως άξονα αναφοράς τον νότο πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, ενώ η γωνία του ύψους προσδιορίζεται από τον κάθετο άξονα πάνω στο οριζόντιο επίπεδο που προσδιορίζει το ζενίθ (Εικόνα 14).

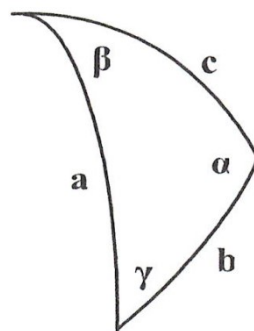


Εικόνα 14. Διανύσματα θέσης Ηλίου, Δέκτη και Κατόπτρου.

Για να προσδιορίσουμε το διάνυσμα επιφάνειας του κατόπτρου του ηλιοστάτη γίνεται χρήση του νόμου των ημιτόνων και των συνημιτόνων , οι οποίοι ορίζονται παρακάτω και στη συνέχεια αναφέρουμε πως χρησιμοποιούνται μέσα στο υπολογιστικό μας μοντέλο.

#### Νόμος Ημιτόνων/Συνημιτόνων

Για τον ορισμό τους θα κάνουμε χρήση ενός τριγώνου σφαιρικής επιφάνειας με επίκεντρες γωνίας  $a, b, c$  τις γωνίες που βλέπουν στις πλευρές  $a, b, c$  και αντίστοιχες μεταξύ τους απέναντι γωνίες  $\alpha, \beta, \gamma$ , όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (Εικόνα 15).



Εικόνα 15. Τρίγωνο σφαιρικής επιφάνειας για το ορισμό νομων ημιτόνων και συνημιτόνων.

Ο νόμος ημιτόνων δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{\sin a}{\sin a} = \frac{\sin \beta}{\sin b} = \frac{\sin \gamma}{\sin c}$$

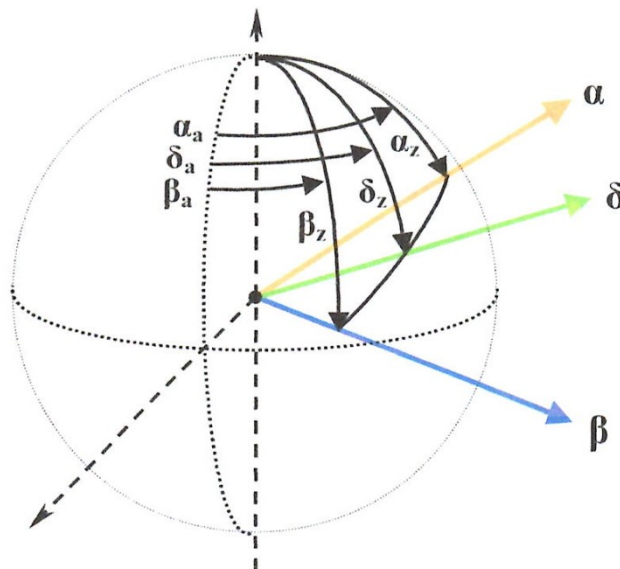
Ο νόμος συνημιτόνων δίνεται από τις σχέσεις:

$$\cos \alpha = -\cos \beta * \cos \gamma + \sin \beta * \sin \gamma * \cos a$$

$$\cos a = \cos b * \cos c + \sin b * \sin c * \cos \alpha$$

Σχέσεις υπολογισμού διανύσματος επιφανείας κατόπτρου

Μόνο για τη παράγραφο αυτή θα ορίσουμε ως  $\alpha$  το διάνυσμα θέσης Ηλίου, ως  $\beta$  το διάνυσμα θέσης δέκτη και  $\delta$  το διάνυσμα επιφανείας κατόπτρου του ηλιοστάτη και δε θα πρέπει να τα συσχετίσουμε με το ηλιακό ύψος και την ηλιακή απόκλιση.



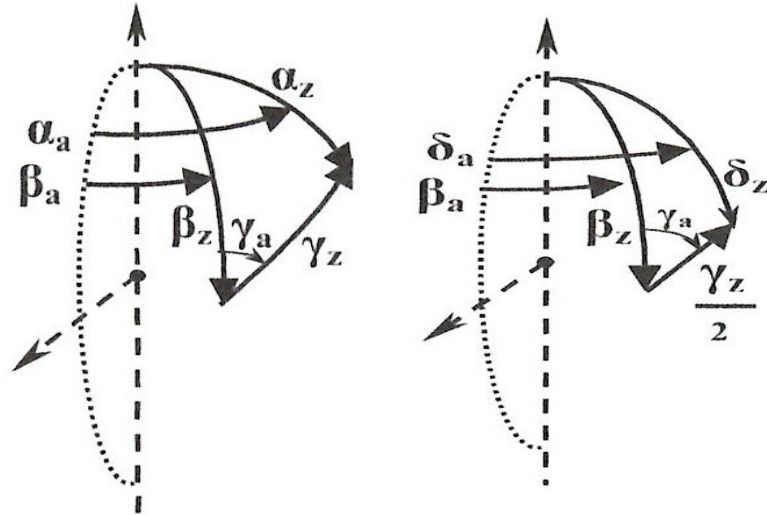
Εικόνα 16. Προσδιορισμός διανυσμάτων θέσης Ηλίου, Δέκτη και Κατόπτρου.

Με βάση την Εικόνα 16 προσδιορίζονται:

- Το διάνυσμα θέσης Ηλίου  $\alpha$  , με χρήση της γωνίας  $\alpha_z$  (συμπληρωματική της γωνίας του ύψους Ηλίου) και της γωνίας  $\alpha_a$  (αζιμούθιο Ηλίου)
- Το διάνυσμα θέσης δέκτη  $\beta$  , με χρήση της γωνίας  $\beta_z$  (συμπληρωματική της γωνίας του ύψους δέκτη) και της γωνίας  $\beta_a$  (αζιμούθιο δέκτη)
- Το διάνυσμα επιφανείας κατόπτρου  $\delta$  , με χρήση της γωνίας  $\delta_z$  (συμπληρωματική της γωνίας του ύψους ηλιοστάτη από το Νότο) και της γωνίας  $\delta_a$  (αζιμούθιο ηλιοστάτη)

Αρχικά θα προσδιορίσουμε τη γωνία  $\gamma_z$  , που είναι η γωνία που δημιουργείται ανάμεσα στο διάνυσμα δέκτη και Ηλίου, και τη γωνία  $\gamma_a$  που είναι η γωνία τριγώνου της σφαιρικής επιφάνειας που δημιουργεί το διάνυσμα  $\beta$  και το τόξο της γωνίας  $\gamma_z$  (Εικόνα 17).





Εικόνα 17.

Με χρήση των Νόμων Ημιτόνων και Συνημιτόνων προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\cos \gamma_z = \cos \alpha_z * \cos \beta_z + \sin \alpha_z * \sin \beta_z * \cos(\alpha_\alpha - \beta_\alpha)$$

$$\gamma_z = \cos^{-1}(\cos \gamma_z)$$

$$\frac{\sin(\alpha_\alpha - \beta_\alpha)}{\sin \gamma_z} = \frac{\sin \gamma_\alpha}{\sin \alpha_z}$$

$$\sin \gamma_\alpha = \sin \alpha_z \frac{\sin(\alpha_\alpha - \beta_\alpha)}{\sin \gamma_z}$$

$$\gamma_\alpha = \sin^{-1}(\sin \gamma_\alpha)$$

Όπως έχουμε εξηγήσει το διάνυσμα επιφάνειας του κατόπτρου  $\delta$  πρέπει να βρίσκεται στη διχοτόμο της γωνίας που δημιουργείται από τα διανύσματα  $\alpha$  και  $\beta$ , δηλαδή στο μέσο της γωνίας  $\gamma_z$ . Επομένως με χρήση των Νόμων Ημιτόνων και Συνημιτόνων προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\cos \delta_z = \cos \beta_z * \cos \frac{\gamma_z}{2} + \sin \beta_z * \sin \frac{\gamma_z}{2} * \cos \gamma_\alpha$$

$$\delta_z = \cos^{-1}(\cos \delta_z)$$

$$\frac{\sin(\delta_\alpha - \beta_\alpha)}{\sin \frac{\gamma_z}{2}} = \frac{\sin \gamma_\alpha}{\sin \delta_z}$$

$$\sin(\delta_\alpha - \beta_\alpha) = \sin \frac{\gamma_z}{2} * \frac{\sin \gamma_\alpha}{\sin \delta_z}$$

$$\delta_\alpha = [\sin^{-1}(\sin \frac{\gamma_z}{2} * \frac{\sin \gamma_\alpha}{\sin \delta_z})] + \beta_\alpha$$

Με αυτό το υπολογιστικό μοντέλο υπολογίζουμε το διάνυσμα επιφάνειας του κατόπτρου με τον προσδιορισμό δηλαδή των γωνιών  $\delta_z$  (συμπληρωματική γωνία του ύψους του ηλιοστάτη) και  $\delta_\alpha$

(αζιμούθιο ηλιοστάτη). Θα πρέπει εδώ να επισημάνουμε ότι η γωνία του ύψους που υπολογίζει ο αλγόριθμός μας και συμπίπτει φυσικά με τη γωνία που διαγράφει η συσκευή της διάταξής μας, έχει ως αναφορά το οριζόντιο επίπεδο με κατεύθυνση προς τα πάνω. Είναι δηλαδή η συμπληρωματική γωνία που παίρνουμε από το υπολογιστικό μας μοντέλο.

# 3

## 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Αρχικά θα κάνουμε μία σύντομη παρουσίαση του λογισμικού LabView και των πιο σημαντικών ιδιοτήτων και στοιχείων του που χρησιμοποιήσαμε.

### 3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ LABVIEW

Το λογισμικό LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) είναι μία πανίσχυρη γλώσσα προγραμματισμού μετρήσεων, ελέγχου και ανάλυσης για συστήματα συλλογής δεδομένων. Η μορφή του ξεφεύγει από την παραδοσιακή φύση των γλωσσών προγραμματισμού που κάνουν χρήση λεκτικών εντολών, εισάγοντας το χρήστη σε ένα γραφικό περιβάλλον περιλαμβάνοντας εργαλεία για συλλογή μετρήσεων, έλεγχο αυτόνομων οργάνων, ανάλυση και απεικόνιση των μετρήσεων μέσω καταγραφικών. Σε αυτή τη γραφική γλώσσα προγραμματισμού ο προγραμματισμός επιτυγχάνεται σε λειτουργικά διαγράμματα (block diagram). Η συλλογή δεδομένων και ελέγχου εφαρμογών γίνεται μέσω συσκευών που υποστηρίζει η National Instruments , όπως τα πρωτόκολλα RS-232/422/485, VISA κ.α.

#### 3.1.1 DATAFLOW

Η επεξεργασία των εντολών/λειτουργιών/συναρτήσεων στο LabView δεν ακολουθεί τη μορφή γραφής εντολών που ακολουθούν οι κοινές γλώσσες προγραμματισμού, αλλά τη μορφή ροής δεδομένων (Dataflow). Δηλαδή η ανάγνωση του κώδικα δεν πραγματοποιείται από επάνω προς τα κάτω ή από δεξιά προς τα αριστερά αλλά γίνεται ταυτόχρονη εισαγωγή των δεδομένων σε όλες τις εντολές και τα δεδομένα ρέουν μέσα στους αγωγούς που συνδέουν τις εικονικές εντολές.

#### 3.1.2 ΕΙΚΟΝΙΚΟ ΟΡΓΑΝΟ

Εικονικό όργανο (Virtual Instrument – VI ) καλούμε τον κώδικα που έχει γραφεί σε γλώσσα LabView και αποτελείται από:

- Το εποπτικό πάνελ (front panel): προσομοιώνει την εικόνα ενός φυσικού οργάνου και είναι αυτό που μας συνδέει με τον κώδικα VI
- Το λειτουργικό διάγραμμα (block diagram): το θεωρούμε ως το κώδικα οποιασδήποτε γλώσσας προγραμματισμού, με αριθμητικές ρουτίνες , κόμβους, εισαγωγές και εξαγωγές δεδομένων κ.α., στο οποίο συνδέουμε τα στοιχεία του front panel του block diagram μεταξύ τους προσδιορίζοντας έτσι τη ροή δεδομένων.

- Το παράθυρο του κοννέκτορα και της εικόνας (icon/connector): Για να ορίσουμε τις εισόδους και τις εξόδους των δεδομένων σε μία υπορουτίνα σε ένα εικονικό όργανο στο LabView χρησιμοποιούμε το εικονίδιο του κοννέκτορα.

Όταν ένα εικονικό όργανο (VI) καλείται από ένα άλλο VI, τότε λαμβάνει ρόλο υποπρογράμματος SubVI.

Στοιχεία ελέγχου και απεικόνισης

Καλούμε στοιχείο ελέγχου (control) κάθε τύπο στοιχείου προγραμματισμού που εισάγει δεδομένα στον κώδικα και στοιχείο απεικόνισης (indicator) κάθε τύπο στοιχείου που απεικονίζουν δεδομένα εξόδου που αποκτά ή παράγει το VI.

### 3.1.3 FRONT PANEL

Στο front panel τοποθετούνται κυρίως στοιχεία ελέγχου ( διακόπτες, κουμπιά) και στοιχεία απεικόνισης. Η εισαγωγή τους γίνεται από την παλέτα των στοιχείων ελέγχου, controls, που είναι διαθέσιμη μόνο όταν το front panel είναι ενεργό.

### 3.1.4 BLOCK DIAGRAM

Στο block diagram διακρίνουμε 3 είδη αντικειμένων:

- Τους κόμβους (nodes), οι οποίοι είναι βρόχοι που εκτελούν μία συγκεκριμένη εργασία.
- Τα τερματικά στοιχεία (terminals), τα οποία είναι τα αντικείμενα που συνδέουν το front panel με το block diagram.
- Τους αγωγούς (wires), οι οποίοι είναι οι οδοί από τις οποίες περνούν δεδομένα.

Οι συνδέσεις ανάμεσα στα επιμέρους στοιχεία διέπονται από κανόνες. Παραδείγματος χάρη η σύνδεση διαφορετικών τύπων δεδομένων μεταξύ τους, οδηγεί σε σφάλμα σύνδεσης (διακοπτόμενη γραμμή). Κάθε σύνδεση έχει διαφορετικό στυλ ή χρώμα ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων που ρέουν μέσω αυτής.

Η επιλογή των εντολών για τη δημιουργία του κώδικα γίνεται από τη παλέτα των λειτουργιών/συναρτήσεων, functions.

### 3.1.5 ΧΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Προγραμματιστικό χαρακτηριστικό σε κώδικα LabView αποτελεί ο χρωματικός κώδικας των στοιχείων και των γραμμών σύνδεσης στο block diagram. Προκύπτουν οι εξής χρωματικοί χαρακτηρισμοί:

- το πορτοκαλί χρώμα αναπαριστά αριθμητικούς τύπους δεδομένων δεκαδικών αριθμών (float)
- το πράσινο χρώμα αναπαριστά τύπους δεδομένων ψηφιακής λογικής (Boolean)

- το μωβ χρώμα αναπαριστά τύπους δεδομένων συμβολοσειράς (string)
- το μπλε χρώμα αναπαριστά τύπους δεδομένων ακέραιων αριθμών (integer)
- το καφέ χρώμα αναπαριστά τύπους δεδομένων συστάδας (clusters)
- το γραμμωτό μπλε αναπαριστά δυναμικά δεδομένα.

### 3.1.6 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ

Στη παράγραφο αυτή θα αναφέρουμε τις πιο σημαντικές προγραμματιστικές δομές που χρησιμοποιήσαμε για την υλοποίηση του κώδικα.

#### While loop

Η while loop αποτελεί εντολή επανάληψης του κώδικα που είναι τοποθετημένος μέσα στα όρια της μέχρις ότου ολοκληρωθεί μία συνθήκη που εμείς ορίζουμε. Αυτό το επιτυγχάνουμε με το τερματικό στοιχείο συνθήκης τερματισμού.

#### Case

Η δομή αυτή αναπαριστά τη σύνταξη: Εάν (λογική συνθήκη 1) τότε ( εντολή 1) αλλιώς (εντολή 2).

Κάθε φορά δηλαδή εκτελείται μόνο μία συνθήκη, αυτή που επαληθεύεται από το τερματικό στοιχείο ελέγχου της δομής.

#### Flat Sequence

Σκοπός της δομής Flat Sequence είναι να ορίσει τη σειρά εκτελέσιμων γεγονότων. Τη χρησιμοποιούμε δηλαδή όταν θέλουμε μία πράξη ή ένα σύνολο εργασιών να εκτελεστεί με την περάτωση μία άλλης πράξης. Αποτελείται από μία οριζόντια σειρά πλαισίων (frames) όπου το καθένα εκτελείται διαδοχικά με πορεία από τα αριστερά προς τα δεξιά.

#### Formula Node

Η δομή αυτή μας επιτρέπει να εκτελούμε μαθηματικές εξισώσεις χρησιμοποιώντας κάποια άλλη γλώσσα προγραμματισμού. Εμείς χρησιμοποιήσαμε τη γλώσσα C.

#### Expression Node

Η δομή αυτή μας επιτρέπει να εισάγουμε αλγεβρική παράσταση μέσα στο κώδικά μας.

### 3.1.7 ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Οι καταχωρητές ολίσθησης είναι καταχωρητές μνήμης που μεταφέρουν δεδομένα μεταξύ των επαναλήψεων. Συγκεκριμένα στο πλαίσιο της while loop τοποθετήσαμε αριστερά και δεξιά από έναν καταχωρητή. Ο δεξιός καταχωρητής αποθηκεύει το δεδομένο στο τέλος της τρέχουσας επανάληψης, οπότε το δεδομένο μεταφέρεται στον αριστερό καταχωρητή και είναι διαθέσιμο για την επόμενη επανάληψη.

### 3.1.8 ΣΥΣΤΑΔΕΣ

Το LabView δίνει τη δυνατότητα της διαδικασίας της πολυπλεξίας και της αποπολυπλεξίας διαφορετικών τύπων δεδομένων (λογικούς χαρακτήρες, συμβολοσειρές, αριθμητικά δεδομένα, πίνακες, κ.α.) για τη μεταφορά τους με έναν αγωγό σύνδεσης μέσω ειδικών λειτουργιών που καλούνται συστάδες (cluster). Μία συστάδα δηλαδή έχει τη δυνατότητα να ομαδοποιεί δεδομένα διαφορετικών τύπων σε ένα μόνο αντικείμενο.

### 3.1.9 ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΑ XY GRAPHS

Το LabView για την απεικόνιση ενός πίνακα δεδομένων διαθέτει τις μορφές καταγραφικών Waveform Graphs και XY Graphs. Εμείς για όλες μας τις γραφικές απεικονίσεις χρησιμοποιήσαμε XY Graphs τα οποία προορίζονται να σχεδιάζουν καρτεσιανά γραφήματα και είναι κατάλληλα για δείγματα σε ακαθόριστα διαστήματα ή για σημεία που προέρχονται από διαφορετικές μεταβλητές εξαρτημένες μεταξύ τους. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται μέσω συστάδας.

### 3.1.10 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ WAIT

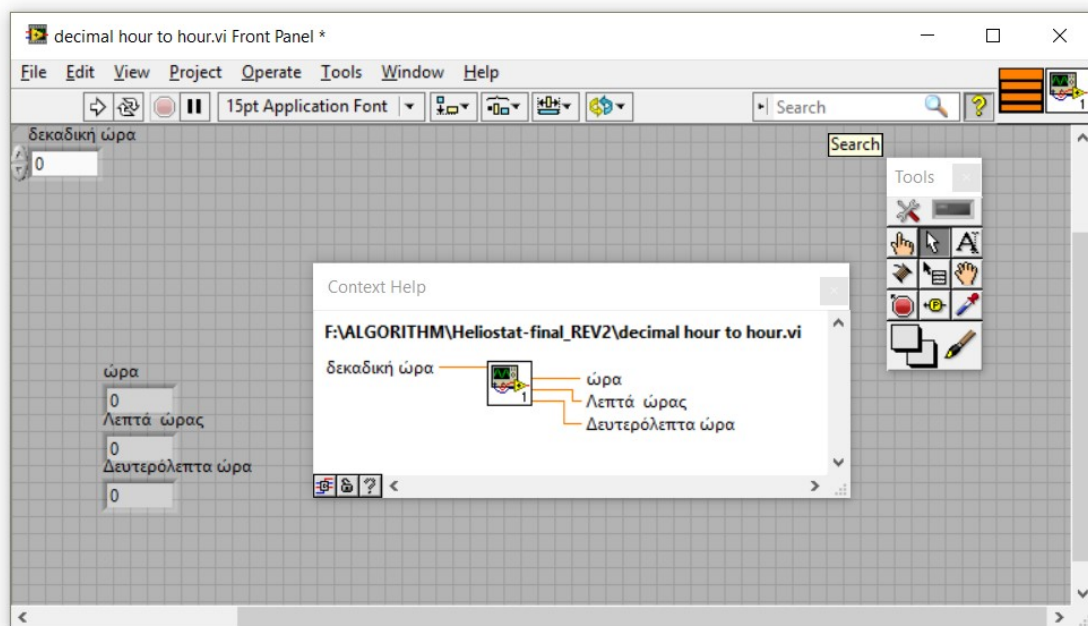
Η λειτουργία Wait είναι περίπτωση λογισμικού χρονισμού αφού χρησιμοποιεί το ρολόι του λειτουργικού συστήματος. Με τη χρήση της υποχρεώνει ένα VI σε παύση της λειτουργίας του για χρονικό διάστημα που προσδιορίζεται στην είσοδο του (millisecond to wait).

## 3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Όπως έχουμε αναφέρει το προγραμματιστικό περιβάλλον το οποίο χρησιμοποιήσαμε είναι το LabView. Για την διεξαγωγή του πειράματος αναπτύχθηκε ένα κυρίως πρόγραμμα VI που εκτελεί τη κύρια διαδικασία (έναρξη διαδικασίας, επαναληπτική μέθοδος, τερματισμός διαδικασίας) και κατευθύνει, επεξεργάζεται, χρησιμοποιεί τα δεδομένα-αποτελέσματα από τα επιμέρους υποπρογράμματα SubVIs όταν τα καλεί. Στη παράγραφο αυτή θα αναλύσουμε τον αλγόριθμο, και τη χρήση του καθενός υποπρογράμματος καθώς και την αλγοριθμική διαδικασία του κυρίως προγράμματος.

### 3.2.1 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΔΕΚΑΔΙΚΗΣ ΩΡΑΣ

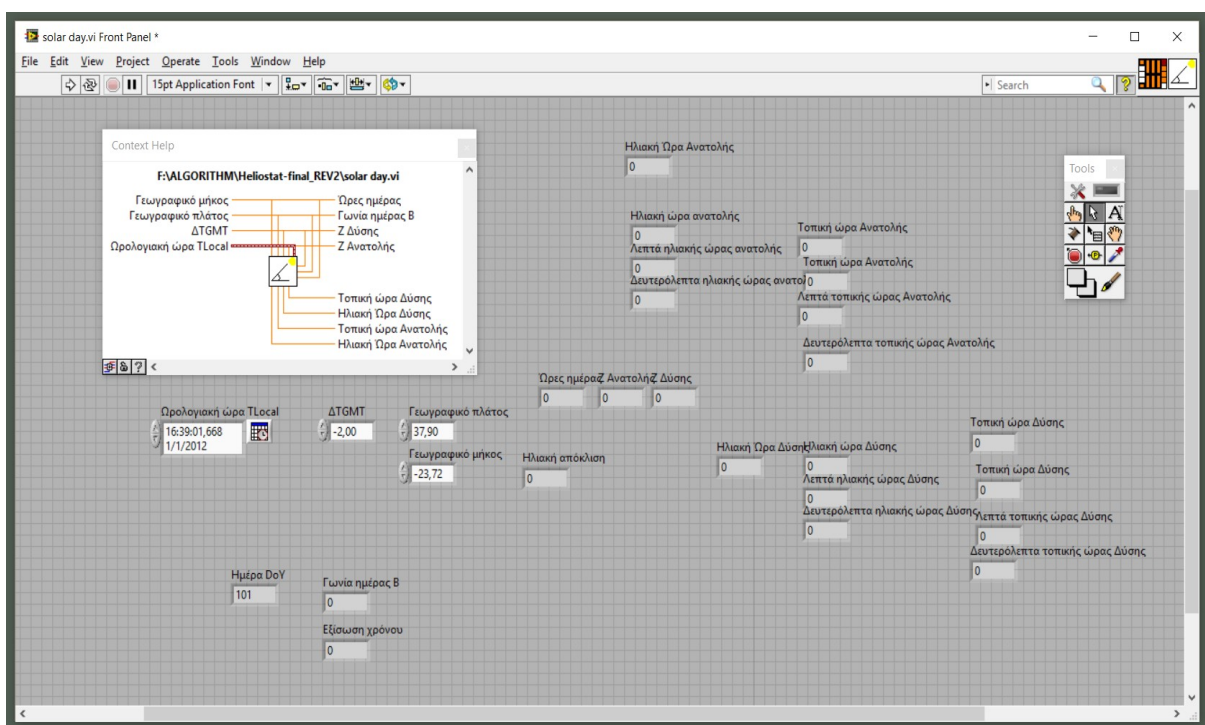
Ο χρόνος στο πρόγραμμά μας δίνεται μέσω της διαθέσιμης συνάρτησης TimeStamp του LabView που μας δίνει τη δυνατότητα να συγχρονίζουμε την ημερομηνία και την ώρα με το ρολόι του υπολογιστή. Η ώρα είναι σε δεκαδική μορφή σε όλες τις αλγοριθμικές διαδικασίες. Για τη καλύτερη κατανόησή μας όμως προτιμάμε η εμφάνιση των αποτελεσμάτων στο Front Panel να γίνεται σε μορφή Ώρα/Λεπτά/Δευτερόλεπτα. Αυτό το επιτυγχάνουμε με το υποπρόγραμμα μετατροπής της δεκαδικής ώρας. Συγκεκριμένα το χρησιμοποιήσαμε για την εμφάνιση της Τοπικής και Ηλιακής Ώρας Ανατολής, Τοπικής και Ηλιακής Ώρας Δύσης αλλά και την εμφάνιση της χρονικής στιγμής που τρέχει η κάθε αλγοριθμική διαδικασία (Εικόνα 18).



Εικόνα 18. Front Panel υποπρογράμματος μετατροπής δεκαδικής ώρας. Εμφανίζονται και οι είσοδοι και οι έξοδοι του υποπρογράμματος.

### 3.2.2 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΗΛΙΑΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΗΜΕΡΑΣ

Το υποπρόγραμμα αυτό δέχεται σαν εισόδους το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, την ημερομηνία, και τη ζώνη ώρας  $\Delta T_{GMT}$ , τα οποία εισάγουμε εμείς ως δεδομένα στο Front Panel του κυρίως προγράμματος. Κάνοντας αρχικά έλεγχο για το αν είναι σε εφαρμογή η θερινή ώρα – πάντα γίνεται χρήση της χειμερινής ώρας- υπολογίζει τα ηλιακά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης ημέρας όπως τη γωνία ημέρας, την τοπική και ηλιακή ώρα Ανατολής και Δύσης. Τα μεγέθη αυτά τα παίρνουμε ως αποτελέσματα στο Front Panel και τα εισάγουμε όπου απαιτείται ως δεδομένα σε άλλα υποπρογράμματα ή στο κυρίως πρόγραμμα. Σαφώς για τον υπολογισμό τους προηγείται ο προσδιορισμός όλων των απαραίτητων παραμέτρων όπως αναπτύχθηκαν στη παράγραφο της ηλιακής γεωμετρίας όπως του μεσημβρινού αναφοράς και της εξίσωσης χρόνου (Εικόνα 19).

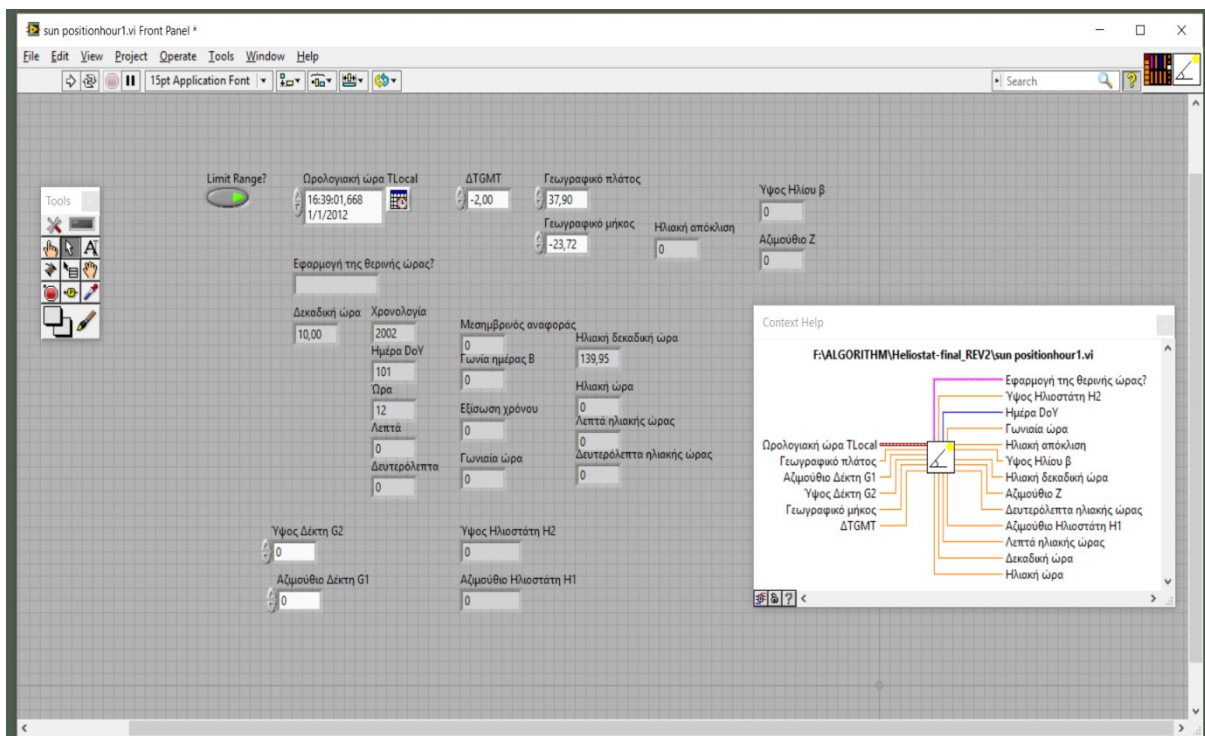


Εικόνα 19. Front Panel υποπρογράμματος υπολογισμού ηλιακών χαρακτηριστικών ημέρας. Εμφανίζονται και οι εισόδοι και οι έξοδοι του υποπρογράμματος.



### 3.2.3 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΡΧΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΥ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΣΤΑΤΗ

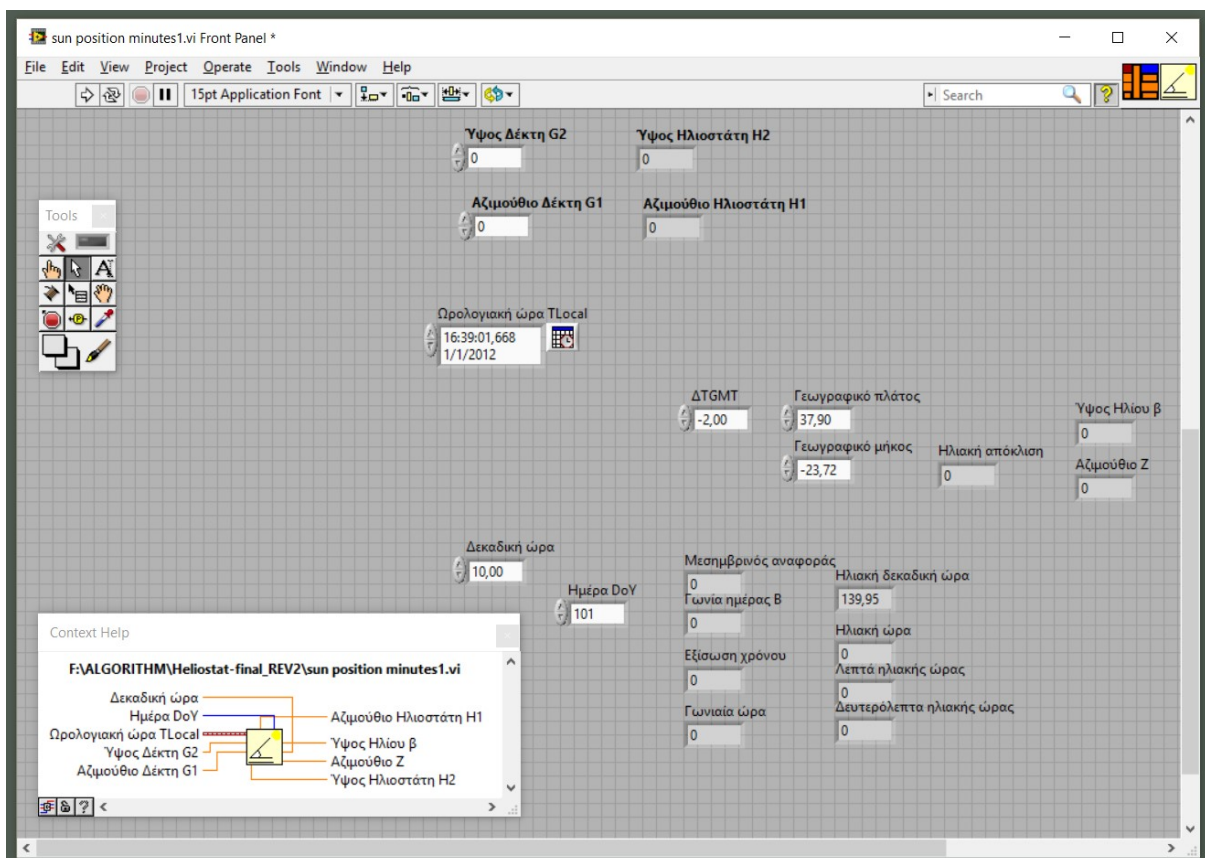
Το υποπρόγραμμα αυτό λαμβάνει ως εισόδους τα δεδομένα της ημερομηνίας, ώρας, γεωγραφικές συντεταγμένες της τοποθεσίας μας και το ύψος και το αζιμούθιο του δέκτη (διάνυσμα θέσης δέκτη) που επίσης ορίζουμε εμείς ως δεδομένα στο κυρίως πρόγραμμά μας. Κάνοντας χρήση των εξισώσεων υπολογισμού θέσης του Ηλίου καθώς και το υπολογιστικό μοντέλο ανάκλασης ηλιοστάτη προσδιορίζει το διάνυσμα θέσης Ηλίου και το διάνυσμα θέσης κατόπτρου του ηλιοστάτη για τη χρονική στιγμή της πρώτης επανάληψης. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων αυτών γίνεται στις επόμενες επαναλήψεις από άλλο υποπρόγραμμα. Πέρα όμως από το ύψος και το αζιμούθιο του Ηλίου και το ύψος και το αζιμούθιο του ηλιοστάτη από το υποπρόγραμμα αυτό παίρνουμε ως έξοδο και την παράμετρο ημέρας DoY, την ηλιακή απόκλιση και τη δεκαδική ώρα της πρώτης επανάληψης (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Front Panel υποπρογράμματος υπολογισμού αρχικής θέσης ηλίου και ηλιοστάτη. Εμφανίζονται και οι εισόδοι και οι έξοδοι του υποπρογράμματος.

### 3.2.4 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΥ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΣΤΑΤΗ

Στο υποπρόγραμμα αυτό με χρήση πάλι των εξισώσεων υπολογισμού θέσης του Ηλίου και του υπολογιστικού μοντέλου ανάκλασης ηλιοστάτη γίνεται ο συνεχής προσδιορισμός της θέσης τους σε κάθε επαναληπτική διαδικασία πέραν της πρώτης. Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούνται σαν είσοδοι για την κίνηση των συσκευών zaber (Εικόνα 21).



Εικόνα 21. Front Panel υποπρογράμματος υπολογισμού θέσης ηλίου και ηλιοστάτη. Εμφανίζονται και οι είσοδοι και οι έξοδοι του υποπρογράμματος.

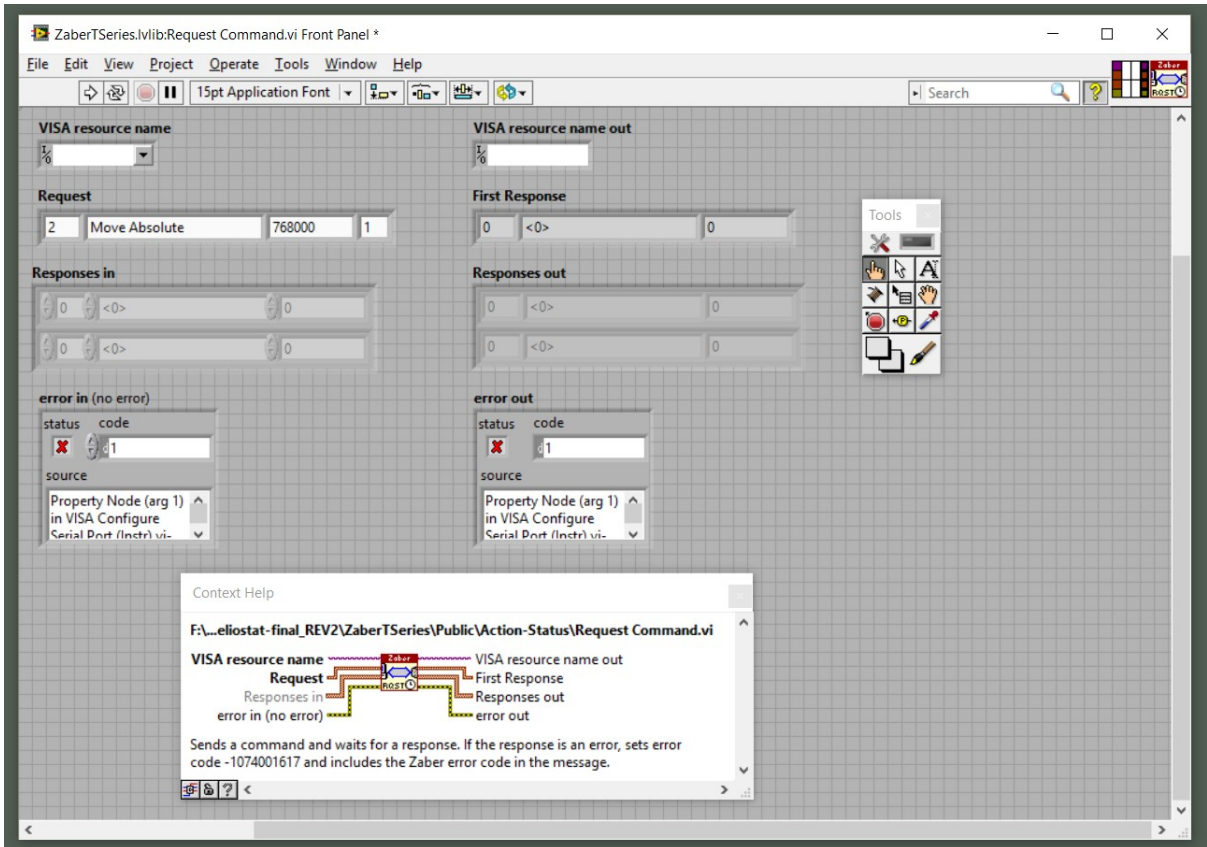
### 3.2.5 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ZABER

Για τη λειτουργία των μηχανοκίνητων συσκευών zaber μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντος LabView απαιτείται η χρήση drivers. Οι drivers είναι υποπρογράμματα, που μας παρέχονται στην ιστοσελίδα [https://www.zaber.com/wiki/Software/Binary\\_Labview\\_Driver](https://www.zaber.com/wiki/Software/Binary_Labview_Driver), σε μορφή subVIs (VI drivers) όπου μας επιτρέπουν την επικοινωνία και τον έλεγχο των συσκευών μέσω Binary protocol , που είναι και το προκαθορισμένο πρωτόκολλο των συσκευών Zaber T-Series. Αναλυτικά εμείς χρησιμοποιήσαμε:

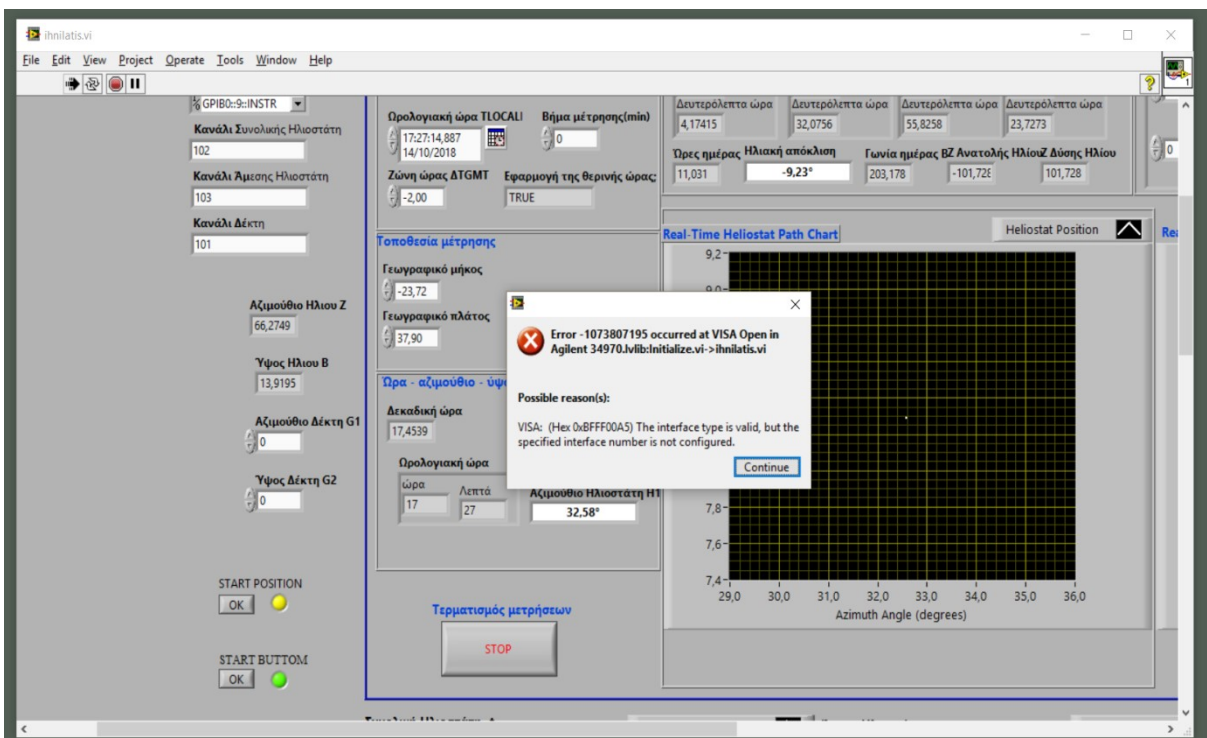
- Initialize driver : στην αρχή της εφαρμογής γίνεται χρήση του initialize driver καθώς ρυθμίζει τη σειριακή θύρα για τη σωστή επικοινωνία με τη συσκευή zaber.
- Request command : με τη χρήση αυτού του VI driver έχουμε τη δυνατότητα αποστολής εντολής στη συσκευή zaber (Εικόνα 22). Στην εφαρμογή μας χρησιμοποιήσαμε τις ακόλουθες εντολές:
  - Move absolute: με την εντολή αυτή έχουμε τη δυνατότητα να μετακινήσουμε τη συσκευή μας σε ακριβή θέση που της υποδεικνύουμε. Τη χρησιμοποιούμε για τη μετακίνηση των συσκευών μας στις αρχικές τους θέσεις.
  - Move relative: με την εντολή αυτή δείχνουμε στη συσκευή μας πόσο θέλουμε να κινηθεί σχετικά με την προηγούμενή της θέση. Χρησιμοποιείται σε όλη την επαναληπτική διαδικασία για τον προσδιορισμό της θέσης των συσκευών και την αρχική στόχευση του σημείου του δέκτη.

Να επισημάνουμε εδώ ότι οι εντολές αυτές δέχονται τιμές σε microstep, όπως αναφέρεται και στις τεχνικές περιγραφές που έχουμε παραθέσει στη συνέχεια. Η σχέση που ισχύει είναι  $1 \text{ microstep} = 0.000234375^\circ$ . Την αναλογία αυτή χρησιμοποιούμε για τη μετατροπή των γωνιών μας από μοίρες σε microstep, αφού τα αποτελέσματά μας από όλες τις υπολογιστικές διαδικασίες είναι σε μοίρες.

- Close driver: ο driver αυτός χρησιμοποιείται στο τέλος της εφαρμογής για τη διακοπή της επικοινωνίας του λογισμικού LabView με τη συσκευή. Όταν σταλεί η εντολή το σύστημά μας περιμένει απόκριση από τη συσκευή για τη σωστή εκτέλεσή της ή για την ύπαρξη σφάλματος. Στη περίπτωση σφάλματος καλείται ο Simple Error Handler driver και μας εμφανίζεται σχετικό μήνυμα με το κωδικό σφάλματος (Εικόνα 23).



Εικόνα 22. Front Panel υποπρογράμματος της εντολής request command.



Εικόνα 23. Ένδειξη σφάλματος στο front panel του κυρίου προγράμματος.

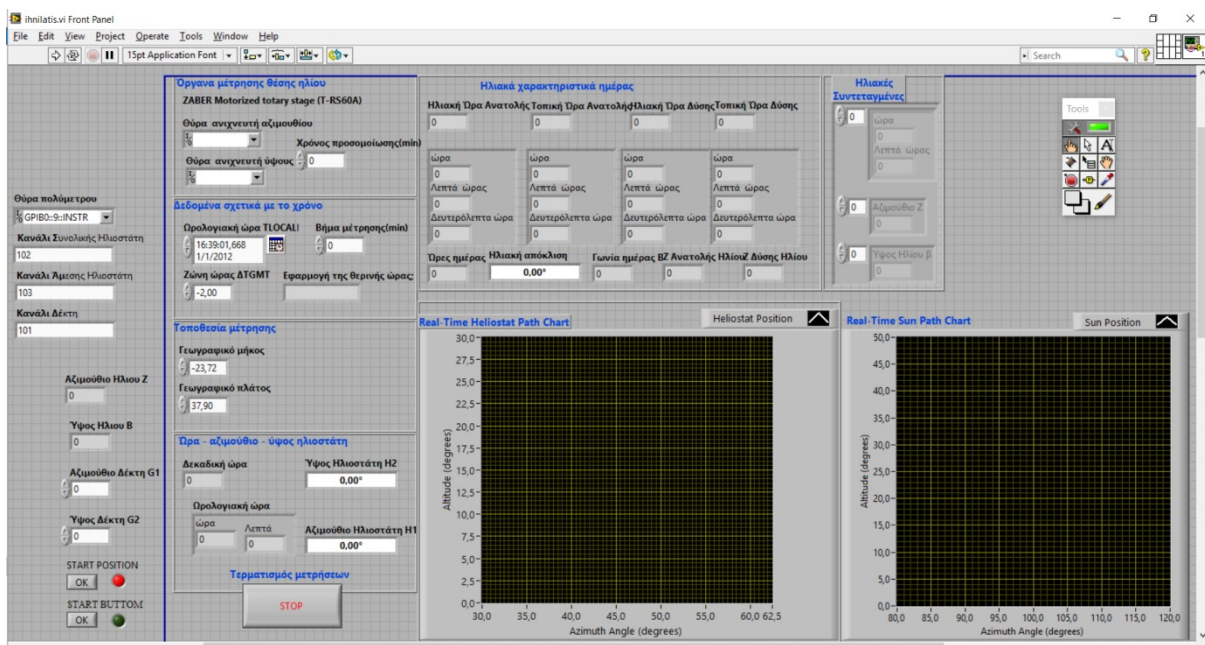
### 3.2.6 ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΛΥΜΕΤΡΟΥ AGILENT

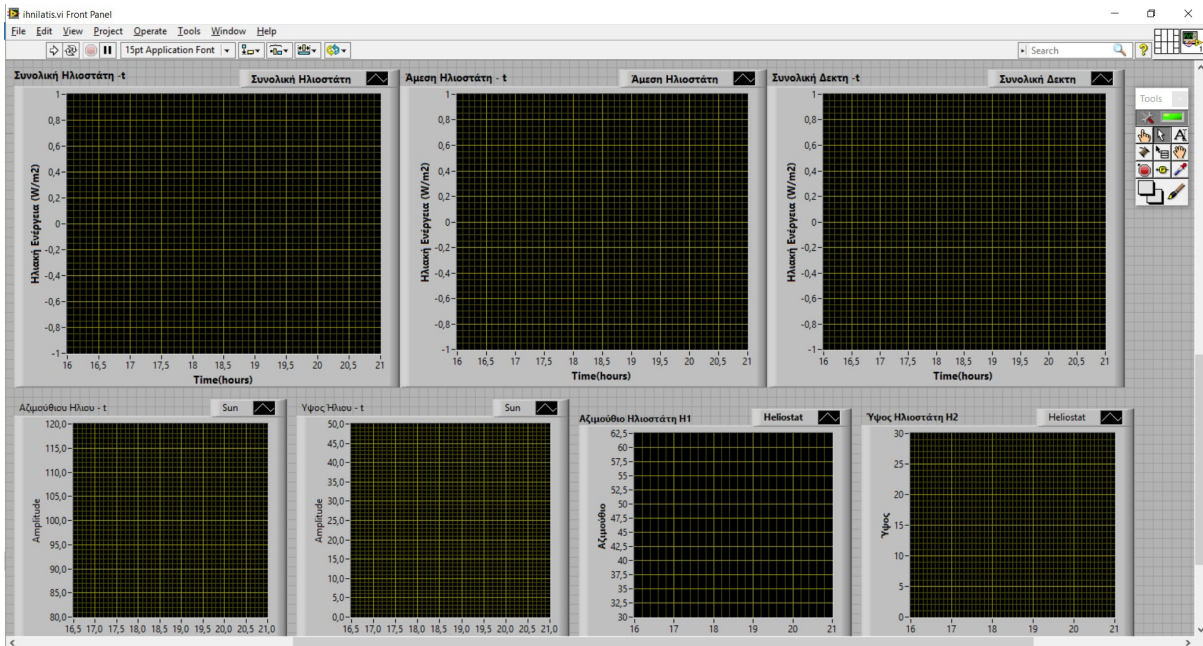
Όπως ισχύει και για τις συσκευές zaber αντίστοιχα για την επικοινωνία του πολυμέτρου agilent 34401a με το περιβάλλον LabView απαιτείται η εισαγωγή drivers. Αναλυτικά εμείς χρησιμοποιήσαμε:

- Initialize driver: ο driver αυτός ρυθμίζει τη σειριακή θύρα όπου συνδέεται το πολύμετρο με τον Η/Υ και φροντίζει για τη σωστή επικοινωνία με τη συσκευή.
- Voltage driver: ο driver αυτός μας επιτρέπει να παίρνουμε δεδομένα των μετρήσεων τάσης από τη συσκευή για τη δημιουργία των διαγραμμάτων.
- Close driver: με τον driver αυτό τερματίζουμε τη διεπαφή με την συσκευή.

### 3.2.7 ΚΥΡΙΩΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το κυρίως πρόγραμμα (VI) είναι ο άξονας για την εκτέλεση των απαραίτητων διαδικασιών με την απαιτούμενη σειρά και είναι υπεύθυνο για την κλήση των υποπρογραμμάτων (SubVIs), την λήψη των αποτελεσμάτων που του επιστρέφουν και την σωστή όδυσή τους, μέσω των συνδέσεων που επισυνάπτει, για την περαιτέρω επεξεργασία τους ή εμφάνισή τους στο front panel ως τελικά αποτελέσματα (Εικόνα 24).





Εικόνα 24. Front panel του κυρίου προγράμματος.

Τα στοιχεία που πρέπει να ορίσουμε πριν την έναρξη της αλγοριθμικής διαδικασίας (όπως είναι η ημερομηνία, το ύψος και το αζιμούθιο του δέκτη) βρίσκονται στο front panel του κυρίου προγράμματος. Τη μεταφορά τους στα διάφορα υποπρογράμματα την εξασφαλίζουν οι συνδέσεις στο block diagram που πρέπει να εξασφαλίζουν τη σωστή ροή δεδομένων. Το ίδιο ισχύει και για τα αποτελέσματα (αριθμητικά και γραφικές παραστάσεις) που εμφανίζονται τελικά στο front panel του κυρίου προγράμματος.

Λόγω του dataflow που χαρακτηρίζει το LabView θα προτιμήσουμε να περιγράψουμε την αλγοριθμική διαδικασία μέσα από τα ερεθίσματα που λαμβάνει ο χρήστης με την έναρξη της.

- Αρχικά γίνεται μετακίνηση της συσκευής zaber που προσδιορίζει το αζιμούθιο του ηλιοστάτη σε θέση  $180^{\circ}$ . Αυτό σημαίνει ότι έχει προηγηθεί η ανίχνευση της θύρας όπου συνδέεται η συσκευή, η δημιουργία γέφυρας επικοινωνίας και η χρήση εντολής Move Absolute κατά 768000 microsteps.
- Ακολουθεί η ίδια διαδικασία για τη συσκευή zaber που προσδιορίζει το ύψος του ηλιοστάτη.
- Ανάβει φωτεινή ένδειξη ότι η διάταξη έχει λάβει την αρχική της θέση και το πρόγραμμά μας περιμένει να πατήσουμε OK button για να συνεχίσει.
- Μετακίνηση της συσκευής zaber που προσδιορίζει το αζιμούθιο στη θέση που βρίσκεται ο δέκτης.
- Μετακίνηση της συσκευής zaber που προσδιορίζει το ύψος στη θέση που βρίσκεται ο δέκτης. Τα δύο τελευταία βήματα γίνονται για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε την ακριβή θέση του δέκτη μας.
- Ανάβει φωτεινή ένδειξη ότι η διάταξη στοχεύει στη θέση που βρίσκεται ο δέκτης και το πρόγραμμά μας περιμένει να πατήσουμε OK button για να συνεχίσει.
- Διαδοχική μετακίνηση των συσκευών zaber που προσδιορίζουν το αζιμούθιο και το ύψος αντίστοιχα στην πάλι στην αρχική θέση που πρέπει να έχει η διάταξη ( $180^{\circ}$ )

- Γίνεται ανίχνευση της θύρας όπου συνδέεται το πολύμετρο και δημιουργία γέφυρας επικοινωνίας. ( ο χρήστης δε λαμβάνει κάποιο ερέθισμα από το σύστημα)

Η εκτέλεση των παραπάνω διαδικασιών με αυτή τη σειρά επιτυγχάνεται με τη χρήση δομής flat sequence.

Παράλληλα με τις διαδικασίες αυτές έχει γίνει:

- Κλήση του υποπρογράμματος υπολογισμού των ηλιακών χαρακτηριστικών της ημέρας, επεξεργασία των αποτελεσμάτων του και ο χρήστης τα λαμβάνει ως αποτελέσματα στο front panel του κυρίου προγράμματος.
- Κλήση του υποπρογράμματος υπολογισμού της αρχική θέσης ηλίου και ηλιοστάτη.

Όλα τα απαραίτητα αποτελέσματα από τις παραπάνω διαδικασίες εισάγονται στον κύριο επαναληπτικό βρόχο του προγράμματός μας, ένα while loop με καταχωρητές ολίσθησης όπου περιλαμβάνει τις εξής διαδικασίες:

- Κλήση του υποπρογράμματος υπολογισμού θέσης ηλίου και ηλιοστάτη.
- Μετακίνηση της συσκευής zaber που προσδιορίζει το αζιμούθιο του ηλιοστάτη στη θέση που έχει προσδιοριστεί από την υπολογιστική διαδικασία.
- Μετακίνηση της συσκευής zaber που προσδιορίζει το ύψος του ηλιοστάτη στη θέση που έχει προσδιοριστεί από την υπολογιστική διαδικασία.
- Λήψη σήματος από τον αισθητήρα που καταγράφει τη συνολική ακτινοβολία του δέκτη και εμφάνιση του αποτελέσματος στην αντίστοιχη γραφική παράσταση.
- Λήψη σήματος από τον αισθητήρα που καταγράφει τη συνολική ακτινοβολία του ηλιοστάτη και εμφάνιση του αποτελέσματος στην αντίστοιχη γραφική παράσταση.
- Λήψη σήματος από τον αισθητήρα που καταγράφει την άμεση ακτινοβολία του ηλιοστάτη και εμφάνιση του αποτελέσματος στην αντίστοιχη γραφική παράσταση.
- Εμφάνιση των μεγεθών που έχουν υπολογιστεί στις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις. Οι γραφικές αυτές παραστάσεις είναι:
  - Γραφική παράσταση θέσης Ηλίου σε συνάρτηση με το χρόνο
  - Γραφική παράσταση Ύψους Ηλίου σε συνάρτηση με το χρόνο
  - Γραφική παράσταση Αζιμούθιου Ηλίου σε συνάρτηση με το χρόνο
  - Γραφική παράσταση θέσης Ηλιοστάτη σε συνάρτηση με το χρόνο
- Εισαγωγή του βήματος μέτρησης (δηλαδή για ποια χρονική στιγμή να επαναληφθεί η υπολογιστική διαδικασία) και του χρόνου προσομοίωσης (δηλαδή μετά από πόσο χρόνο να επαναληφθεί η υπολογιστική διαδικασία). Τη παύση της αλγοριθμικής διαδικασίας την επιτυγχάνουμε με τη λειτουργία wait. Για τη διεξαγωγή του πειράματος σε πραγματικό χρόνο πρέπει να ορίσουμε το βήμα μέτρησης ίσο με το χρόνο προσομοίωσης.
- Συνθήκη τερματισμού του βρόχου while με επαλήθευση της λογικής συνθήκης ή με εντολή του χρήστη. Η λογική συνθήκη που πρέπει να επαληθευτεί είναι όταν η ώρα γίνει μεγαλύτερη από την ώρα δύσης του Ηλίου που έχουμε υπολογίσει, ενώ ο χρήστης μπορεί να τερματίσει τη διαδικασία με πάτημα του κουμπιού τερματισμού μετρήσεων – STOP.

Μετά το τέλος της επαναληπτικής διαδικασίας η συσκευή zaber για το αζιμούθιο έρχεται στην προκαθορισμένη της αρχική θέση  $0^{\circ}$  και γίνεται διακοπή της επικοινωνίας και έλεγχος για τυχόν σφάλματα. Ακολουθεί η συσκευή zaber για το ύψος και το ψηφιακό πολύμετρο. Παράλληλα έχουν

εμφανιστεί στο front panel ολοκληρωμένες οι γραφικές παραστάσεις ύψος και αζιμούθιο Ηλιοστάτη σε συνάρτηση με το χρόνο καθώς τις έχουμε τοποθετήσει εκτός του επαναληπτικού βρόχου.

### 3.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη αλγορίθμου για τον προσδιορισμό της θέσης του ηλιοστάτη σε σχέση με τον ήλιο και τη θέση του δέκτη, προσδιορισμός των αποκλίσεων της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τον δέκτη, και υπολογισμός συντελεστή απόκλισης .

Για τη διεξαγωγή του πειραματικού μέρους, ως ηλιοστάτη χρησιμοποιήσαμε τη κατασκευή του εργαστηρίου που είχε χρησιμοποιηθεί ως ηλιακός ιχνηλάτης σε άλλη διπλωματική εργασία, με τη προσθήκη καθρέφτη (Εικόνα 25).



Εικόνα 25. Διάταξη πειράματος.

#### 3.3.1 ΔΙΑΤΑΞΗ

Η διάταξη αποτελείται από μία ειδική βάση αλουμινίου πάνω στην οποία είναι στερεωμένο το σύστημα παρακολούθησης του ηλιοστάτη, με τους αισθητήρες μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας και το καθρέφτη. Βασική προϋπόθεση πριν την διεξαγωγή του πειραματικής διαδικασίας είναι ο προσανατολισμός της διάταξης προς το Νότο. Αυτό το πετύχαμε με τον προσανατολισμό της



κόκκινης ένδειξης που υπάρχει στη βάση προς το Νότο με τη χρήση πυξίδας (Εικόνα 26). Ο ευθυγραμμισμός του οριζόντιου επιπέδου έγινε με τη χρήση κατάλληλου οργάνου.



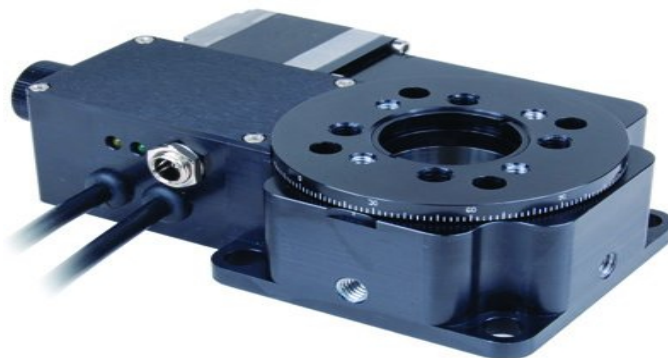
Εικόνα 26. Βάση διάταξης με κόκκινη ένδειξη για χρήση στο προσανατολισμό της προς το Νότο.

#### Σύστημα συνεχούς ανίχνευσης θέσης Ηλιοστάτη

Το σύστημα συνεχούς ανίχνευσης του Ηλιοστάτη επιτυγχάνεται με τον προσδιορισμό δύο ανεξάρτητων μεταβλητών, του ηλιακού ύψους και του αζιμούθιου. Αυτό συμβαίνει γιατί απαιτείται μετατόπιση του ηλιοστάτη σε δύο άξονες, κατακόρυφος και οριζόντιος, two-axis tracking system, προκειμένου να λάβει τη σωστή θέση του στο χώρο. Με τον προσδιορισμό του ηλιακού ύψους προσδιορίζουμε την κατακόρυφη μετατόπιση, ενώ με τον προσδιορισμό του αζιμούθιου την οριζόντια. Στη διάταξή μας τη δυνατότητα μετατόπισης του ηλιοστάτη στους δύο άξονες μας τη δίνουν δύο στρεφόμενες συσκευές zaber T-RS60A. Η συσκευή zaber που προσδιορίζει το αζιμούθιο τοποθετείται οριζόντια πάνω στην βάση της διάταξης και κάθετα σε αυτή η συσκευή zaber που προσδιορίζει το ηλιακό ύψος.

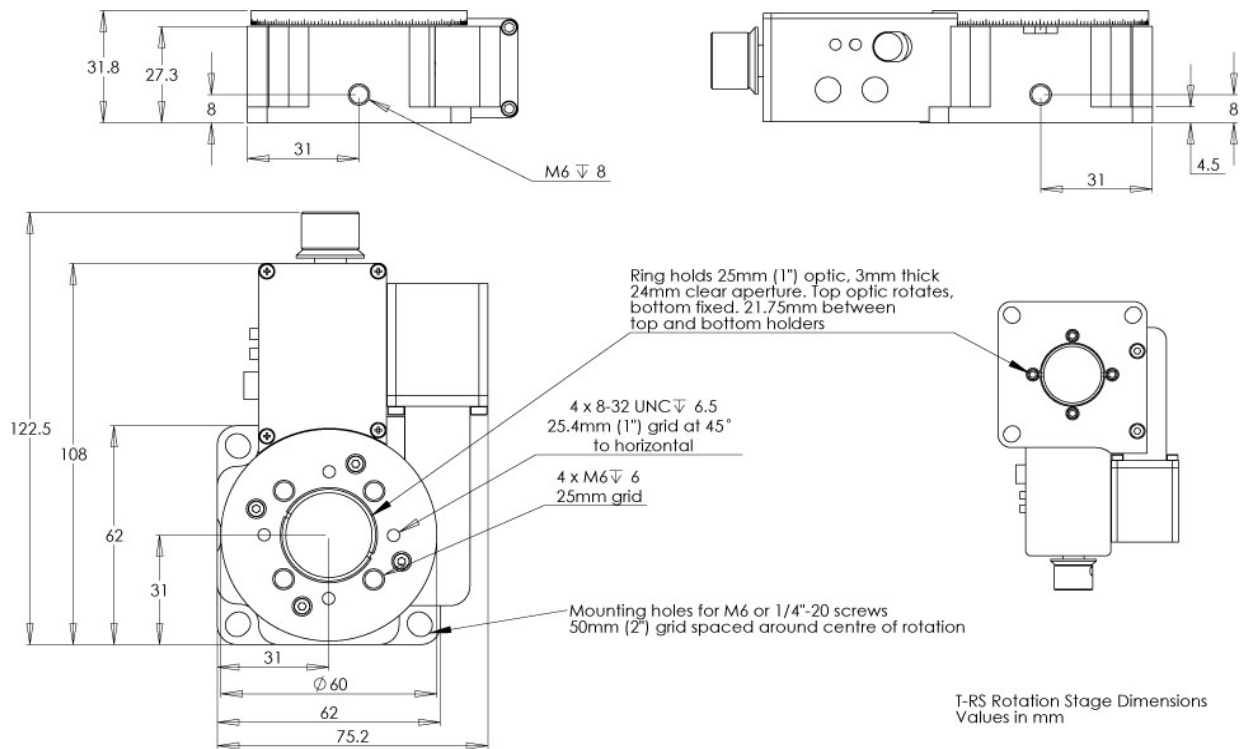
#### Στρεφόμενες συσκευές zaber T-RS60A

Πρόκειται για μηχανοκίνητες συσκευές της εταιρείας Zaber Simplifying Motion Control, με ενσωματωμένο ελεγκτή, δυνατότητα περιστροφής 360° και δυνατότητα μετατόπισης μεγάλης ακρίβειας (Εικόνα 27).



Εικόνα 27. Συσκευή zaber.

Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται το μηχανολογικό σχέδιο της συσκευής.



Εικόνα 28. Μηχανολογικό σχέδιο συσκευής zaber.

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται τα τεχνικά της χαρακτηριστικά.

Specification	Value	Alternate Unit
<u>Built-in Controller</u>	Yes	
<u>Microstep Size (Default Resolution)</u>	0.000234375 °	4.091 μrad
<u>Range</u>	360 °	
<u>Accuracy (unidirectional)</u>	0.1 °	1.745000 mrad
<u>Repeatability</u>	< .02 °	< 0.349 mrad
<u>Backlash</u>	< 0.06 °	< 1.047 mrad
<u>Maximum Speed</u>	13.2 °/s	2.2 rpm
<u>Minimum Speed</u>	0.0011 °/s	19.198 μrad/s
<u>Encoder Type</u>	None	
<u>Communication Interface</u>	RS-232	
<u>Communication Protocol</u>	Zaber Binary	
<u>Maximum Continuous Torque</u>	80 N-cm	113.3 oz-in
<u>Maximum Centered Load</u>	200 N	44.9 lb

Specification	Value	Alternate Unit
<u>Maximum Cantilever Load</u>	410 N·cm	580.6 oz·in
<u>Guide Type</u>	Pre-loaded ball bearing	
<u>Stage Top Dimension</u>	60 mm	2.362 "
<u>Maximum Current Draw</u>	450 mA	
<u>Power Supply</u>	12-16 VDC	
<u>Power Plug</u>	2.1mm Center Positive	
<u>Motor Type</u>	Stepper (2 phase)	
<u>Inductance</u>	4 mH/phase	
<u>Default Resolution</u>	1/64 of a step	
<u>Data Cable Connection</u>	Minidin 6	
<u>Mechanical Drive System</u>	Precision Worm Gear	
<u>Limit or Home Sensing</u>	Magnetic home sensor	
<u>Manual Control</u>	Yes, Potentiometer	
<u>Vacuum Compatible</u>	No	
<u>Operating Temperature Range</u>	0-50 °C	
<u>RoHS Compliant</u>	Yes	
<u>CE Compliant</u>	Yes	
<u>Weight</u>	0.76 kg	1.676 lb

Οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν στη διάταξη, πέρα από την σύνδεση του τροφοδοτικού τους για τη παροχή ρεύματος, συνδέθηκαν με τον Η/Υ για τη λήψη δεδομένων. Για να επιτευχθεί αυτό η έξοδος τους, Minidin 6, συνδέθηκε με διεπαφή επικοινωνίας RS232, η οποία μέσω μετατροπέα RS232 – USB συνδέθηκε με τις θύρες USB του Η/Υ.

Το Zaber Console είναι ελεύθερο λογισμικό που έχει σχεδιαστεί για την επικοινωνία των συσκευών με τον Η/Υ, τον εντοπισμό τους, την αποστολή εντολών και την ρύθμιση των μονάδων μέτρησης που επιθυμεί ο χρήστης. Ωστόσο στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας για την ανάπτυξη του αλγορίθμου και ως λογισμικό επικοινωνίας έχει επιλεγεί το λογισμικό LabView, το οποίο αναλύεται στην αντίστοιχη παράγραφο.

Η συσκευή έχει τη δυνατότητα να εκτελεί μόνο δεξιόστροφη κίνηση, μέχρι γωνία  $360^{\circ}$ , από το αρχικό του σημείο 0. Ο ανιχνευτής όμως που προσδιορίζει τη γωνία του αζιμούθιου πρέπει να έχει περιθώριο ελιγμού από  $-90^{\circ}$  έως  $+90^{\circ}$ . Αυτό λήφθηκε υπόψη στην ανάπτυξη του αλγορίθμου, θέτοντας ως σημείο εκκίνησης, για την τοποθέτηση του ηλιοστάτη, το αντιδιαμετρικό του σημείο, δηλαδή τις  $180^{\circ}$ . Αυτό σημαίνει ότι πρώτα γίνεται η αρχικοποίηση της συσκευής zaber που προσδιορίζει το αζιμούθιο στις  $180^{\circ}$  και στη συνέχεια ξεκινάει η υπολογιστική διαδικασία ανίχνευσης της θέσης του ηλιοστάτη.

### Αισθητήρες μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας

Για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας η διάταξη περιλαμβάνει 3 διαφορετικούς αισθητήρες. Ο ένας αισθητήρας χρησιμοποιείται ως πυρηλιόμετρο για τη μέτρηση της άμεσης ακτινοβολίας και οι άλλοι δύο ως πυρανόμετρα για την μέτρηση της συνολικής ακτινοβολίας ( άμεση και διάχυτη ).

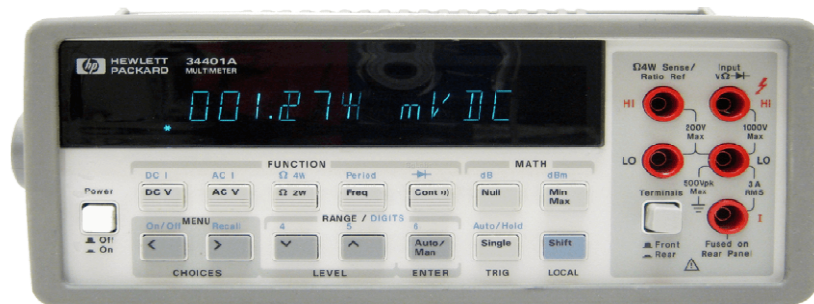
Στο πυρηλιόμετρο ο αισθητήρας βρίσκεται μέσα σε μεταλλικό σωλήνα και σε κατάλληλη θέση, κάθετα προς τον άξονα του σωλήνα ώστε να δέχεται μόνο την επίδραση δέσμης παράλληλων ακτίνων του ηλίου που διέρχονται από τον σωλήνα. Ο μεν σωλήνας φέρεται επί μεταλλικής βάσης έτσι ώστε να είναι στρεπτός κατακόρυφα, πάνω ή κάτω, η δε μεταλλική βάση στη διάταξή μας, είναι στερεωμένη στη συσκευή ανίχνευσης του ηλιακού ύψους ώστε και αυτή να είναι ομόκεντρα στρεπτή.

Το πυρανόμετρο του ηλιοστάτη είναι τοποθετημένο στην ίδια μεταλλική βάση με το πυρηλιόμετρο.

Οι συντελεστές μετατροπής της τάσης που καταγράφουν οι αισθητήρες μας είναι,  $72 \frac{\mu V}{W/m^2}$  ,  $71 \frac{\mu V}{W/m^2}$  και  $69 \frac{\mu V}{W/m^2}$  για την άμεση, συνολική ακτινοβολία του ηλιοστάτη και τη συνολική ακτινοβολία του δέκτη αντίστοιχα.

### Ψηφιακό πολύμετρο

Τα σήματα από τους αισθητήρες καταλήγουν σε ψηφιακό πολύμετρο το οποίο μέσω σύνδεσης σε θύρα RS232 του Η/Υ παίρνουμε τα αποτελέσματα μέσα στο προγραμματιστικό περιβάλλον LabView. Στην εφαρμογή μας χρησιμοποιήθηκε πολύμετρο agilent 34401a της Hewlett Packard (Εικόνα 29).



Εικόνα 29. Ψηφιακό πολύμετρο.

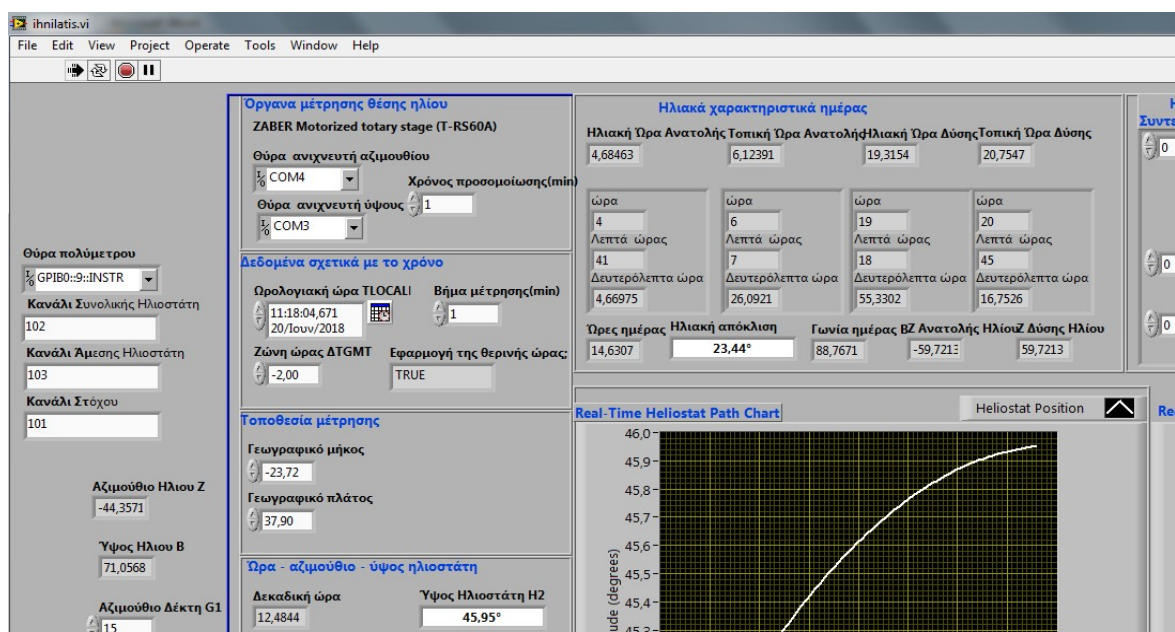
### 3.3.2 ΠΕΙΡΑΜΑ

Η προσομοίωση του ηλιοστάτη έγινε στη ταράτσα των παλιών κτιρίων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Ε.Μ.Π. την 20<sup>η</sup> Ιουνίου 2018. Αρχικά προσδιορίστηκε ο Νότιος προσανατολισμός και έγινε σωστή τοποθέτηση της διάταξης στον εξωτερικό χώρο , με ευθυγραμμισμό της βάσης της διάταξης ως προς το έδαφος και προσανατολισμό της κόκκινης ένδειξης ως προς το Νότο (Εικόνα 30).



Εικόνα 30. Διάταξη κατά τη διεξαγωγή του πειράματος.

Αφού έγινε η τροφοδότηση όλων των συσκευών , οργάνων και του Η/Υ με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, προσδιορίστηκε το σημείο του δέκτη. Με βάση τις διαθέσιμες χωροταξικές επιλογές ο δέκτης προσδιορίστηκε σε γωνία ύψους  $15^\circ$  και σε γωνία αζιμούθιου  $15^\circ$  και με χρήση της διάταξης προσδιορίστηκε η ακριβής του θέση. Στη συνέχεια τα στοιχεία προσδιορισμού θέσης του δέκτη (γωνία ύψους= $15^\circ$ , γωνία αζιμούθιου  $15^\circ$ ) εισήχθησαν σαν δεδομένα στον αλγόριθμο για τον υπολογισμό της θέσης του Ηλιοστάτη και στη συνέχεια ξεκινήσαμε να τρέχουμε τον αλγόριθμο. Φυσικά, εφόσον το πειραματικό μέρος θέλαμε να γίνει για ρεαλιστικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, είχαν προηγηθεί οι απαραίτητες ενέργειες πριν την έναρξη της υπολογιστικής διαδικασίας. Δηλαδή, ο προσδιορισμός της ημερομηνίας, της ακριβούς ωρολογιακής ώρας μέσω του ρολογιού του υπολογιστή, των γεωγραφικών συντεταγμένων της θέσης που βρισκόμασταν, και η επανάληψη της υπολογιστικής διαδικασίας σε ίσο χρόνο με τον χρόνο για τον οποίο υπολογίζει ο αλγόριθμος τη θέση του ηλιοστάτη. Εμείς επιλέξαμε ως χρόνο επανάληψης το 1 λεπτό. Όλα αυτά ήταν απαραίτητα δεδομένα για την έναρξη του αλγορίθμου μας.

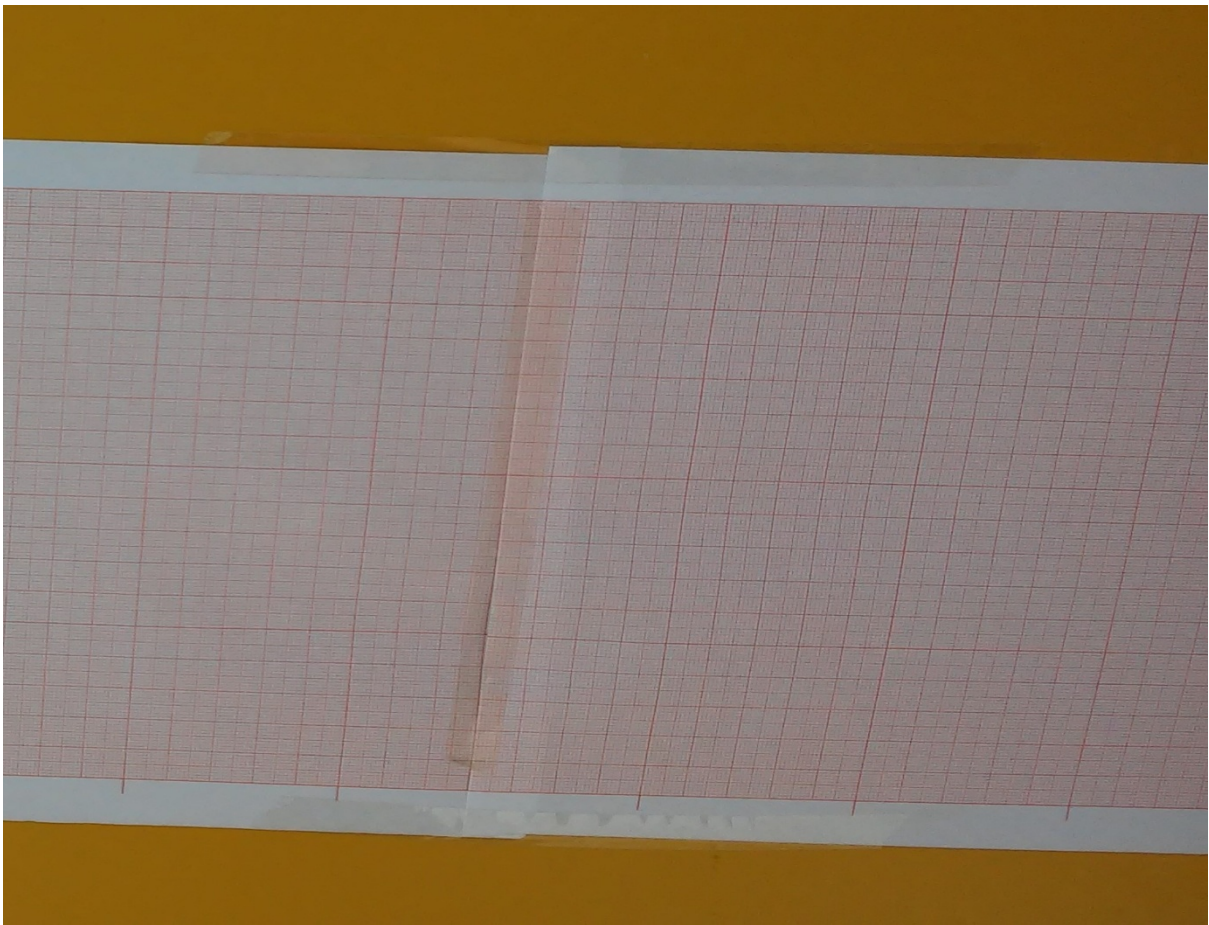
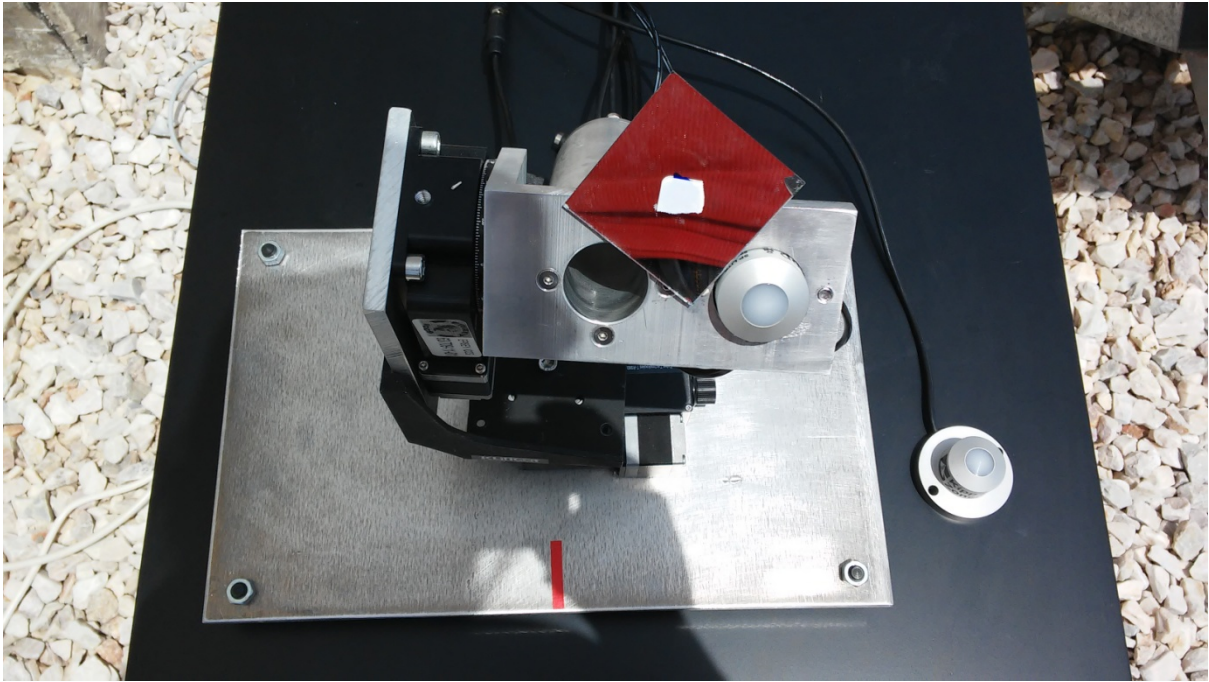


Εικόνα 31. Front panel του κυρίου προγράμματος κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Στη πρώτη επανάληψη, η στόχευση της ηλιακής ακτινοβολίας απέκλινε κάποια εκατοστά από το σημείο που είχε προσδιοριστεί ως δέκτης. Αυτό ήταν αναμενόμενο λόγω των επιμέρους σφαλμάτων σε όλη τη διαδικασία, όπως παραδοχές που έγιναν για την απλοποίηση του αλγορίθμου, αριθμητικά σφάλματα (στρογγυλοποιήσεις κλπ), σφάλμα θέσης (γεωγραφικές συντεταγμένες Αθήνας), απόκλιση λόγω κατόπτρου. Τα σφάλματα αυτά ο αλγόριθμος δε τα λαμβάνει υπόψιν όταν γίνεται αρχικά ο προσδιορισμός του δέκτη. Για το λόγο αυτό, ως σημείο δέκτη για τη διεξαγωγή και επεξεργασία των αποτελεσμάτων, θεωρείται το σημείο της στόχευσης της πρώτης επανάληψης.

Η έναρξη της αλγορίθμου ξεκίνησε 12:13 η ώρα και με χρόνο επανάληψης 1 λεπτού πήραμε μετρήσεις για 35 λεπτά. Σε κάθε επανάληψη γινόταν σήμανση σημείου της προσπίπτουσας δέσμης πάνω σε μιλιμετρέ χαρτί. Για διευκόλυνσή μας, λόγω ότι η φωτεινή επιφάνεια που προέκυπτε από την προσπίπτουσα δέσμη ήταν μεγάλη, έγινε επικάλυψη του κέντρου του καθρέφτη με χαρτί διαστάσεων 1cm x 1cm για τη δημιουργία κηλίδας σκίασης. Με βάση τη κηλίδα σκίασης

προσδιορίζεται σημείο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε κάθε επανάληψη, πάνω στη μιλιμετρέ επιφάνεια (Εικόνα 32).



Εικόνα 32. α) Καθρέφτης με επικάλυψη χαρτιού για δημιουργία κηλίδας σκίασης. β) Επιφάνεια στόχευσης για τη λήψη μετρήσεων.

# 4

## 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

### 4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Κατά τη διάρκεια του πειράματος με το υπολογιστικό μοντέλο και τον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε πήραμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Υπολογισμός Ύψους Ηλίου σε συνάρτηση με το χρόνο
- Υπολογισμός Αζιμούθιου Ηλίου σε συνάρτηση με το χρόνο
- Υπολογισμός θέσης Ηλίου σε συνάρτηση με το χρόνο
- Υπολογισμός Ύψους Ηλιοστάτη σε συνάρτηση με το χρόνο
- Υπολογισμός Αζιμούθιου Ηλιοστάτη σε συνάρτηση με το χρόνο
- Υπολογισμός θέσης Ηλιοστάτη σε συνάρτηση με το χρόνο
- Μέτρηση άμεσης ακτινοβολίας στο σημείο του Ηλιοστάτη
- Μέτρηση συνολικής ακτινοβολίας στο σημείο του Ηλιοστάτη
- Μέτρηση συνολικής ακτινοβολίας στη βάση της διάταξης

Από την μιλιμετρέ επιφάνεια του δέκτη πήραμε:

- Προσδιορισμό της θέσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στον δέκτη

Παρακάτω δίνονται συγκεντρωτικά όλοι οι υπολογισμοί σχετικά με τον Ήλιο και τον Ηλιοστάτη, σε μορφή πίνακα για όλη τη διάρκεια της ημέρας (από την Ανατολή του Ηλίου, ώρα 6:10, έως τη Δύση του Ηλίου, ώρα 20:49).

ΧΡΟΝΟΣ (σε δεκαδική μορφή)	ΧΡΟΝΟΣ (ΩΩ:ΛΛ)	ΥΨΟΣ ΗΛΙΟΥ (degrees)	ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ ΗΛΙΟΥ (degrees)	ΥΨΟΣ ΗΛΙΟΣΤΑΤΗ (degrees)	ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ ΗΛΙΟΣΤΑΤΗ (degrees)
6,1	6:10	0	-120	19	-55,1
6,1	6:11	0,1	-120	19,2	-55
6,2	6:12	0,3	-120	19,3	-54,9
6,2	6:13	0,4	-119,9	19,5	-54,8
6,2	6:14	0,6	-119,7	19,6	-54,7
6,2	6:15	0,8	-119,6	19,7	-54,6
6,2	6:16	1	-119,4	19,9	-54,6
6,2	6:17	1,1	-119,3	20	-54,5
6,3	6:18	1,3	-119,1	20,2	-54,4
6,3	6:19	1,5	-119	20,3	-54,3
6,3	6:20	1,7	-118,8	20,4	-54,2
6,3	6:21	1,8	-118,7	20,6	-54,1
6,3	6:22	2	-118,5	20,7	-54
6,3	6:23	2,2	-118,4	20,9	-53,9



6,4	6:24	2,3	-118,2	21	-53,8
6,4	6:25	2,5	-118,1	21,1	-53,8
6,4	6:26	2,7	-117,9	21,3	-53,7
6,4	6:27	2,9	-117,8	21,4	-53,6
6,4	6:28	3	-117,6	21,5	-53,5
6,4	6:29	3,2	-117,5	21,7	-53,4
6,5	6:30	3,4	-117,3	21,8	-53,3
6,5	6:31	3,6	-117,2	21,9	-53,2
6,5	6:32	3,7	-117	22,1	-53,1
6,5	6:33	3,9	-116,9	22,2	-53
6,5	6:34	4,1	-116,7	22,3	-52,9
6,5	6:35	4,3	-116,6	22,5	-52,8
6,6	6:36	4,4	-116,4	22,6	-52,7
6,6	6:37	4,6	-116,3	22,7	-52,6
6,6	6:38	4,8	-116,1	22,9	-52,5
6,6	6:39	5	-116	23	-52,4
6,6	6:40	5,2	-115,8	23,1	-52,3
6,6	6:41	5,3	-115,7	23,3	-52,2
6,7	6:42	5,5	-115,6	23,4	-52,1
6,7	6:43	5,7	-115,4	23,5	-52
6,7	6:44	5,9	-115,3	23,6	-52
6,7	6:45	6	-115,1	23,8	-51,9
6,7	6:46	6,2	-115	23,9	-51,8
6,7	6:47	6,4	-114,8	24	-51,7
6,8	6:48	6,6	-114,7	24,1	-51,6
6,8	6:49	6,8	-114,5	24,3	-51,5
6,8	6:50	6,9	-114,4	24,4	-51,4
6,8	6:51	7,1	-114,3	24,5	-51,3
6,8	6:52	7,3	-114,1	24,6	-51,2
6,8	6:53	7,5	-114	24,8	-51,1
6,9	6:54	7,7	-113,8	24,9	-51
6,9	6:55	7,8	-113,7	25	-50,8
6,9	6:56	8	-113,5	25,1	-50,7
6,9	6:57	8,2	-113,4	25,2	-50,6
6,9	6:58	8,4	-113,3	25,4	-50,5
6,9	6:59	8,6	-113,1	25,5	-50,4
7	7:00	8,8	-113	25,6	-50,3
7	7:01	8,9	-112,8	25,7	-50,2
7	7:02	9,1	-112,7	25,8	-50,1
7	7:03	9,3	-112,6	26	-50
7	7:04	9,5	-112,4	26,1	-49,9
7	7:05	9,7	-112,3	26,2	-49,8
7,1	7:06	9,8	-112,1	26,3	-49,7
7,1	7:07	10	-112	26,4	-49,6
7,1	7:08	10,2	-111,8	26,6	-49,5
7,1	7:09	10,4	-111,7	26,7	-49,4

7,1	7:10	10,6	-111,6	26,8	-49,3
7,1	7:11	10,8	-111,4	26,9	-49,2
7,2	7:12	10,9	-111,3	27	-49,1
7,2	7:13	11,1	-111,1	27,1	-49
7,2	7:14	11,3	-111	27,2	-48,8
7,2	7:15	11,5	-110,9	27,4	-48,7
7,2	7:16	11,7	-110,7	27,5	-48,6
7,2	7:17	11,9	-110,6	27,6	-48,5
7,3	7:18	12	-110,5	27,7	-48,4
7,3	7:19	12,2	-110,3	27,8	-48,3
7,3	7:20	12,4	-110,2	27,9	-48,2
7,3	7:21	12,6	-110	28	-48,1
7,3	7:22	12,8	-109,9	28,1	-48
7,3	7:23	13	-109,8	28,2	-47,9
7,4	7:24	13,2	-109,6	28,4	-47,7
7,4	7:25	13,3	-109,5	28,5	-47,6
7,4	7:26	13,5	-109,3	28,6	-47,5
7,4	7:27	13,7	-109,2	28,7	-47,4
7,4	7:28	13,9	-109,1	28,8	-47,3
7,4	7:29	14,1	-108,9	28,9	-47,2
7,5	7:30	14,3	-108,8	29	-47,1
7,5	7:31	14,5	-108,7	29,1	-47
7,5	7:32	14,7	-108,5	29,2	-46,8
7,5	7:33	14,8	-108,4	29,3	-46,7
7,5	7:34	15	-108,2	29,4	-46,6
7,5	7:35	15,2	-108,1	29,5	-46,5
7,6	7:36	15,4	-108	29,6	-46,4
7,6	7:37	15,6	-107,8	29,8	-46,3
7,6	7:38	15,8	-107,7	29,9	-46,2
7,6	7:39	16	-107,6	30	-46
7,6	7:40	16,2	-107,4	30,1	-45,9
7,6	7:41	16,3	-107,3	30,2	-45,8
7,7	7:42	16,5	-107,2	30,3	-45,7
7,7	7:43	16,7	-107	30,4	-45,6
7,7	7:44	16,9	-106,9	30,5	-45,4
7,7	7:45	17,1	-106,7	30,6	-45,3
7,7	7:46	17,3	-106,6	30,7	-45,2
7,7	7:47	17,5	-106,5	30,8	-45,1
7,8	7:48	17,7	-106,3	30,9	-45
7,8	7:49	17,9	-106,2	31	-44,9
7,8	7:50	18	-106,1	31,1	-44,7
7,8	7:51	18,2	-105,9	31,2	-44,6
7,8	7:52	18,4	-105,8	31,3	-44,5
7,8	7:53	18,6	-105,7	31,4	-44,4
7,9	7:54	18,8	-105,5	31,5	-44,2
7,9	7:55	19	-105,4	31,6	-44,1

7,9	7:56	19,2	-105,2	31,7	-44
7,9	7:57	19,4	-105,1	31,8	-43,9
7,9	7:58	19,6	-105	31,9	-43,8
7,9	7:59	19,8	-104,8	32	-43,6
8	8:00	19,9	-104,7	32,1	-43,5
8	8:01	20,1	-104,6	32,2	-43,4
8	8:02	20,3	-104,4	32,3	-43,3
8	8:03	20,5	-104,3	32,4	-43,1
8	8:04	20,7	-104,2	32,5	-43
8	8:05	20,9	-104	32,6	-42,9
8,1	8:06	21,1	-103,9	32,6	-42,8
8,1	8:07	21,3	-103,8	32,7	-42,6
8,1	8:08	21,5	-103,6	32,8	-42,5
8,1	8:09	21,7	-103,5	32,9	-42,4
8,1	8:10	21,9	-103,4	33	-42,3
8,1	8:11	22,1	-103,2	33,1	-42,1
8,2	8:12	22,2	-103,1	33,2	-42
8,2	8:13	22,4	-102,9	33,3	-41,9
8,2	8:14	22,6	-102,8	33,4	-41,7
8,2	8:15	22,8	-102,7	33,5	-41,6
8,2	8:16	23	-102,5	33,6	-41,5
8,2	8:17	23,2	-102,4	33,7	-41,4
8,3	8:18	23,4	-102,3	33,8	-41,2
8,3	8:19	23,6	-102,1	33,9	-41,1
8,3	8:20	23,8	-102	33,9	-41
8,3	8:21	24	-101,9	34	-40,8
8,3	8:22	24,2	-101,7	34,1	-40,7
8,3	8:23	24,4	-101,6	34,2	-40,6
8,4	8:24	24,6	-101,5	34,3	-40,5
8,4	8:25	24,7	-101,3	34,4	-40,3
8,4	8:26	24,9	-101,2	34,5	-40,2
8,4	8:27	25,1	-101,1	34,6	-40,1
8,4	8:28	25,3	-100,9	34,7	-39,9
8,4	8:29	25,5	-100,8	34,7	-39,8
8,5	8:30	25,7	-100,6	34,8	-39,7
8,5	8:31	25,9	-100,5	34,9	-39,5
8,5	8:32	26,1	-100,4	35	-39,4
8,5	8:33	26,3	-100,2	35,1	-39,3
8,5	8:34	26,5	-100,1	35,2	-39,1
8,5	8:35	26,7	-100	35,3	-39
8,6	8:36	26,9	-99,8	35,3	-38,8
8,6	8:37	27,1	-99,7	35,4	-38,7
8,6	8:38	27,3	-99,6	35,5	-38,6
8,6	8:39	27,5	-99,4	35,6	-38,4
8,6	8:40	27,7	-99,3	35,7	-38,3
8,6	8:41	27,9	-99,1	35,8	-38,2

8,7	8:42	28	-99	35,8	-38
8,7	8:43	28,2	-98,9	35,9	-37,9
8,7	8:44	28,4	-98,7	36	-37,8
8,7	8:45	28,6	-98,6	36,1	-37,6
8,7	8:46	28,8	-98,5	36,2	-37,5
8,7	8:47	29	-98,3	36,3	-37,3
8,8	8:48	29,2	-98,2	36,3	-37,2
8,8	8:49	29,4	-98	36,4	-37,1
8,8	8:50	29,6	-97,9	36,5	-36,9
8,8	8:51	29,8	-97,8	36,6	-36,8
8,8	8:52	30	-97,6	36,7	-36,6
8,8	8:53	30,2	-97,5	36,7	-36,5
8,9	8:54	30,4	-97,4	36,8	-36,4
8,9	8:55	30,6	-97,2	36,9	-36,2
8,9	8:56	30,8	-97,1	37	-36,1
8,9	8:57	31	-96,9	37,1	-35,9
8,9	8:58	31,2	-96,8	37,1	-35,8
8,9	8:59	31,4	-96,7	37,2	-35,6
9	9:00	31,6	-96,5	37,3	-35,5
9	9:01	31,8	-96,4	37,4	-35,4
9	9:02	32	-96,2	37,4	-35,2
9	9:03	32,2	-96,1	37,5	-35,1
9	9:04	32,4	-96	37,6	-34,9
9	9:05	32,5	-95,8	37,7	-34,8
9,1	9:06	32,7	-95,7	37,7	-34,6
9,1	9:07	32,9	-95,5	37,8	-34,5
9,1	9:08	33,1	-95,4	37,9	-34,3
9,1	9:09	33,3	-95,2	38	-34,2
9,1	9:10	33,5	-95,1	38	-34
9,1	9:11	33,7	-95	38,1	-33,9
9,2	9:12	33,9	-94,8	38,2	-33,8
9,2	9:13	34,1	-94,7	38,3	-33,6
9,2	9:14	34,3	-94,5	38,3	-33,5
9,2	9:15	34,5	-94,4	38,4	-33,3
9,2	9:16	34,7	-94,3	38,5	-33,2
9,2	9:17	34,9	-94,1	38,6	-33
9,3	9:18	35,1	-94	38,6	-32,9
9,3	9:19	35,3	-93,8	38,7	-32,7
9,3	9:20	35,5	-93,7	38,8	-32,6
9,3	9:21	35,7	-93,5	38,8	-32,4
9,3	9:22	35,9	-93,4	38,9	-32,3
9,3	9:23	36,1	-93,2	39	-32,1
9,4	9:24	36,3	-93,1	39,1	-32
9,4	9:25	36,5	-92,9	39,1	-31,8
9,4	9:26	36,7	-92,8	39,2	-31,7
9,4	9:27	36,9	-92,7	39,3	-31,5

9,4	9:28	37,1	-92,5	39,3	-31,3
9,4	9:29	37,3	-92,4	39,4	-31,2
9,5	9:30	37,5	-92,2	39,5	-31
9,5	9:31	37,7	-92,1	39,5	-30,9
9,5	9:32	37,9	-91,9	39,6	-30,7
9,5	9:33	38,1	-91,8	39,7	-30,6
9,5	9:34	38,3	-91,6	39,7	-30,4
9,5	9:35	38,5	-91,5	39,8	-30,3
9,6	9:36	38,7	-91,3	39,9	-30,1
9,6	9:37	38,8	-91,2	39,9	-30
9,6	9:38	39	-91	40	-29,8
9,6	9:39	39,2	-90,9	40,1	-29,6
9,6	9:40	39,4	-90,7	40,1	-29,5
9,6	9:41	39,6	-90,6	40,2	-29,3
9,7	9:42	39,8	-90,4	40,3	-29,2
9,7	9:43	40	-90,3	40,3	-29
9,7	9:44	40,2	-90,1	40,4	-28,9
9,7	9:45	40,4	-90	40,4	-28,7
9,7	9:46	40,6	-89,8	40,5	-28,5
9,7	9:47	40,8	-89,6	40,6	-28,4
9,8	9:48	41	-89,5	40,6	-28,2
9,8	9:49	41,2	-89,3	40,7	-28,1
9,8	9:50	41,4	-89,2	40,8	-27,9
9,8	9:51	41,6	-89	40,8	-27,7
9,8	9:52	41,8	-88,9	40,9	-27,6
9,8	9:53	42	-88,7	40,9	-27,4
9,9	9:54	42,2	-88,6	41	-27,3
9,9	9:55	42,4	-88,4	41,1	-27,1
9,9	9:56	42,6	-88,2	41,1	-26,9
9,9	9:57	42,8	-88,1	41,2	-26,8
9,9	9:58	43	-87,9	41,2	-26,6
9,9	9:59	43,2	-87,8	41,3	-26,5
10	10:00	43,4	-87,6	41,3	-26,3
10	10:01	43,6	-87,4	41,4	-26,1
10	10:02	43,8	-87,3	41,5	-26
10	10:03	44	-87,1	41,5	-25,8
10	10:04	44,2	-86,9	41,6	-25,6
10	10:05	44,4	-86,8	41,6	-25,5
10,1	10:06	44,6	-86,6	41,7	-25,3
10,1	10:07	44,8	-86,4	41,7	-25,1
10,1	10:08	45	-86,3	41,8	-25
10,1	10:09	45,2	-86,1	41,9	-24,8
10,1	10:10	45,4	-85,9	41,9	-24,7
10,1	10:11	45,6	-85,8	42	-24,5
10,2	10:12	45,7	-85,6	42	-24,3
10,2	10:13	45,9	-85,4	42,1	-24,2

10,2	10:14	46,1	-85,3	42,1	-24
10,2	10:15	46,3	-85,1	42,2	-23,8
10,2	10:16	46,5	-84,9	42,2	-23,7
10,2	10:17	46,7	-84,8	42,3	-23,5
10,3	10:18	46,9	-84,6	42,3	-23,3
10,3	10:19	47,1	-84,4	42,4	-23,1
10,3	10:20	47,3	-84,2	42,4	-23
10,3	10:21	47,5	-84,1	42,5	-22,8
10,3	10:22	47,7	-83,9	42,5	-22,6
10,3	10:23	47,9	-83,7	42,6	-22,5
10,4	10:24	48,1	-83,5	42,6	-22,3
10,4	10:25	48,3	-83,4	42,7	-22,1
10,4	10:26	48,5	-83,2	42,7	-22
10,4	10:27	48,7	-83	42,8	-21,8
10,4	10:28	48,9	-82,8	42,8	-21,6
10,4	10:29	49,1	-82,6	42,9	-21,4
10,5	10:30	49,3	-82,4	42,9	-21,3
10,5	10:31	49,5	-82,3	43	-21,1
10,5	10:32	49,7	-82,1	43	-20,9
10,5	10:33	49,9	-81,9	43,1	-20,8
10,5	10:34	50,1	-81,7	43,1	-20,6
10,5	10:35	50,3	-81,5	43,2	-20,4
10,6	10:36	50,5	-81,3	43,2	-20,2
10,6	10:37	50,6	-81,1	43,2	-20,1
10,6	10:38	50,8	-80,9	43,3	-19,9
10,6	10:39	51	-80,8	43,3	-19,7
10,6	10:40	51,2	-80,6	43,4	-19,5
10,6	10:41	51,4	-80,4	43,4	-19,4
10,7	10:42	51,6	-80,2	43,5	-19,2
10,7	10:43	51,8	-80	43,5	-19
10,7	10:44	52	-79,8	43,5	-18,8
10,7	10:45	52,2	-79,6	43,6	-18,7
10,7	10:46	52,4	-79,4	43,6	-18,5
10,7	10:47	52,6	-79,2	43,7	-18,3
10,8	10:48	52,8	-79	43,7	-18,1
10,8	10:49	53	-78,8	43,8	-18
10,8	10:50	53,2	-78,6	43,8	-17,8
10,8	10:51	53,4	-78,4	43,8	-17,6
10,8	10:52	53,6	-78,1	43,9	-17,4
10,8	10:53	53,7	-77,9	43,9	-17,3
10,9	10:54	53,9	-77,7	44	-17,1
10,9	10:55	54,1	-77,5	44	-16,9
10,9	10:56	54,3	-77,3	44	-16,7
10,9	10:57	54,5	-77,1	44,1	-16,5
10,9	10:58	54,7	-76,9	44,1	-16,4
10,9	10:59	54,9	-76,7	44,1	-16,2

11	11:00	55,1	-76,4	44,2	-16
11	11:01	55,3	-76,2	44,2	-15,8
11	11:02	55,5	-76	44,3	-15,7
11	11:03	55,7	-75,8	44,3	-15,5
11	11:04	55,9	-75,5	44,3	-15,3
11	11:05	56,1	-75,3	44,4	-15,1
11,1	11:06	56,2	-75,1	44,4	-14,9
11,1	11:07	56,4	-74,9	44,4	-14,8
11,1	11:08	56,6	-74,6	44,5	-14,6
11,1	11:09	56,8	-74,4	44,5	-14,4
11,1	11:10	57	-74,2	44,5	-14,2
11,1	11:11	57,2	-73,9	44,6	-14
11,2	11:12	57,4	-73,7	44,6	-13,8
11,2	11:13	57,6	-73,4	44,6	-13,7
11,2	11:14	57,8	-73,2	44,7	-13,5
11,2	11:15	57,9	-72,9	44,7	-13,3
11,2	11:16	58,1	-72,7	44,7	-13,1
11,2	11:17	58,3	-72,5	44,7	-12,9
11,3	11:18	58,5	-72,2	44,8	-12,8
11,3	11:19	58,7	-71,9	44,8	-12,6
11,3	11:20	58,9	-71,7	44,8	-12,4
11,3	11:21	59,1	-71,4	44,9	-12,2
11,3	11:22	59,3	-71,2	44,9	-12
11,3	11:23	59,4	-70,9	44,9	-11,8
11,4	11:24	59,6	-70,7	44,9	-11,7
11,4	11:25	59,8	-70,4	45	-11,5
11,4	11:26	60	-70,1	45	-11,3
11,4	11:27	60,2	-69,8	45	-11,1
11,4	11:28	60,4	-69,6	45,1	-10,9
11,4	11:29	60,6	-69,3	45,1	-10,7
11,5	11:30	60,7	-69	45,1	-10,5
11,5	11:31	60,9	-68,7	45,1	-10,4
11,5	11:32	61,1	-68,5	45,2	-10,2
11,5	11:33	61,3	-68,2	45,2	-10
11,5	11:34	61,5	-67,9	45,2	-9,8
11,5	11:35	61,7	-67,6	45,2	-9,6
11,6	11:36	61,8	-67,3	45,3	-9,4
11,6	11:37	62	-67	45,3	-9,2
11,6	11:38	62,2	-66,7	45,3	-9,1
11,6	11:39	62,4	-66,4	45,3	-8,9
11,6	11:40	62,6	-66,1	45,3	-8,7
11,6	11:41	62,8	-65,8	45,4	-8,5
11,7	11:42	62,9	-65,5	45,4	-8,3
11,7	11:43	63,1	-65,1	45,4	-8,1
11,7	11:44	63,3	-64,8	45,4	-7,9
11,7	11:45	63,5	-64,5	45,4	-7,8

11,7	11:46	63,6	-64,2	45,5	-7,6
11,7	11:47	63,8	-63,9	45,5	-7,4
11,8	11:48	64	-63,5	45,5	-7,2
11,8	11:49	64,2	-63,2	45,5	-7
11,8	11:50	64,4	-62,8	45,5	-6,8
11,8	11:51	64,5	-62,5	45,6	-6,6
11,8	11:52	64,7	-62,2	45,6	-6,4
11,8	11:53	64,9	-61,8	45,6	-6,3
11,9	11:54	65	-61,5	45,6	-6,1
11,9	11:55	65,2	-61,1	45,6	-5,9
11,9	11:56	65,4	-60,7	45,6	-5,7
11,9	11:57	65,6	-60,4	45,7	-5,5
11,9	11:58	65,7	-60	45,7	-5,3
11,9	11:59	65,9	-59,6	45,7	-5,1
12	12:00	66,1	-59,2	45,7	-4,9
12	12:01	66,2	-58,9	45,7	-4,7
12	12:02	66,4	-58,5	45,7	-4,6
12	12:03	66,6	-58,1	45,7	-4,4
12	12:04	66,7	-57,7	45,8	-4,2
12	12:05	66,9	-57,3	45,8	-4
12,1	12:06	67,1	-56,9	45,8	-3,8
12,1	12:07	67,2	-56,5	45,8	-3,6
12,1	12:08	67,4	-56	45,8	-3,4
12,1	12:09	67,6	-55,6	45,8	-3,2
12,1	12:10	67,7	-55,2	45,8	-3
12,1	12:11	67,9	-54,8	45,8	-2,9
12,2	12:12	68,1	-54,3	45,8	-2,7
12,2	12:13	68,2	-53,9	45,8	-2,5
12,2	12:14	68,4	-53,4	45,9	-2,3
12,2	12:15	68,5	-53	45,9	-2,1
12,2	12:16	68,7	-52,5	45,9	-1,9
12,2	12:17	68,8	-52,1	45,9	-1,7
12,3	12:18	69	-51,6	45,9	-1,5
12,3	12:19	69,2	-51,1	45,9	-1,3
12,3	12:20	69,3	-50,6	45,9	-1,1
12,3	12:21	69,5	-50,2	45,9	-1
12,3	12:22	69,6	-49,7	45,9	-0,8
12,3	12:23	69,8	-49,2	45,9	-0,6
12,4	12:24	69,9	-48,7	45,9	-0,4
12,4	12:25	70,1	-48,1	45,9	-0,2
12,4	12:26	70,2	-47,6	45,9	0
12,4	12:27	70,4	-47,1	45,9	0,2
12,4	12:28	70,5	-46,6	45,9	0,4
12,4	12:29	70,6	-46	45,9	0,6
12,5	12:30	70,8	-45,5	45,9	0,8
12,5	12:31	70,9	-44,9	45,9	0,9



12,5	12:32	71,1	-44,4	46	1,1
12,5	12:33	71,2	-43,8	46	1,3
12,5	12:34	71,3	-43,2	46	1,5
12,5	12:35	71,5	-42,6	46	1,7
12,6	12:36	71,6	-42	46	1,9
12,6	12:37	71,7	-41,4	46	2,1
12,6	12:38	71,9	-40,8	46	2,3
12,6	12:39	72	-40,2	46	2,5
12,6	12:40	72,1	-39,6	46	2,7
12,6	12:41	72,2	-39	46	2,8
12,7	12:42	72,4	-38,3	45,9	3
12,7	12:43	72,5	-37,7	45,9	3,2
12,7	12:44	72,6	-37	45,9	3,4
12,7	12:45	72,7	-36,4	45,9	3,6
12,7	12:46	72,8	-35,7	45,9	3,8
12,7	12:47	73	-35	45,9	4
12,8	12:48	73,1	-34,4	45,9	4,2
12,8	12:49	73,2	-33,7	45,9	4,4
12,8	12:50	73,3	-33	45,9	4,6
12,8	12:51	73,4	-32,3	45,9	4,7
12,8	12:52	73,5	-31,5	45,9	4,9
12,8	12:53	73,6	-30,8	45,9	5,1
12,9	12:54	73,7	-30,1	45,9	5,3
12,9	12:55	73,8	-29,3	45,9	5,5
12,9	12:56	73,9	-28,6	45,9	5,7
12,9	12:57	74	-27,8	45,9	5,9
12,9	12:58	74,1	-27,1	45,9	6,1
12,9	12:59	74,2	-26,3	45,9	6,3
13	13:00	74,2	-25,5	45,9	6,4
13	13:01	74,3	-24,7	45,8	6,6
13	13:02	74,4	-23,9	45,8	6,8
13	13:03	74,5	-23,1	45,8	7
13	13:04	74,6	-22,3	45,8	7,2
13	13:05	74,6	-21,5	45,8	7,4
13,1	13:06	74,7	-20,7	45,8	7,6
13,1	13:07	74,8	-19,8	45,8	7,8
13,1	13:08	74,8	-19	45,8	8
13,1	13:09	74,9	-18,2	45,8	8,1
13,1	13:10	75	-17,3	45,7	8,3
13,1	13:11	75	-16,4	45,7	8,5
13,2	13:12	75,1	-15,6	45,7	8,7
13,2	13:13	75,1	-14,7	45,7	8,9
13,2	13:14	75,2	-13,8	45,7	9,1
13,2	13:15	75,2	-13	45,7	9,3
13,2	13:16	75,3	-12,1	45,7	9,5
13,2	13:17	75,3	-11,2	45,6	9,6

13,3	13:18	75,3	-10,3	45,6	9,8
13,3	13:19	75,4	-9,4	45,6	10
13,3	13:20	75,4	-8,5	45,6	10,2
13,3	13:21	75,4	-7,6	45,6	10,4
13,3	13:22	75,5	-6,7	45,6	10,6
13,3	13:23	75,5	-5,8	45,5	10,8
13,4	13:24	75,5	-4,9	45,5	11
13,4	13:25	75,5	-3,9	45,5	11,1
13,4	13:26	75,5	-3	45,5	11,3
13,4	13:27	75,5	-2,1	45,5	11,5
13,4	13:28	75,5	-1,2	45,5	11,7
13,4	13:29	75,5	-0,3	45,4	11,9
13,5	13:30	75,5	0,7	45,4	12,1
13,5	13:31	75,5	1,6	45,4	12,3
13,5	13:32	75,5	2,5	45,4	12,4
13,5	13:33	75,5	3,4	45,4	12,6
13,5	13:34	75,5	4,3	45,3	12,8
13,5	13:35	75,5	5,2	45,3	13
13,6	13:36	75,5	6,1	45,3	13,2
13,6	13:37	75,5	7,1	45,3	13,4
13,6	13:38	75,4	8	45,2	13,5
13,6	13:39	75,4	8,9	45,2	13,7
13,6	13:40	75,4	9,8	45,2	13,9
13,6	13:41	75,3	10,7	45,2	14,1
13,7	13:42	75,3	11,6	45,2	14,3
13,7	13:43	75,3	12,4	45,1	14,5
13,7	13:44	75,2	13,3	45,1	14,6
13,7	13:45	75,2	14,2	45,1	14,8
13,7	13:46	75,1	15,1	45,1	15
13,7	13:47	75,1	15,9	45	15,2
13,8	13:48	75	16,8	45	15,4
13,8	13:49	74,9	17,7	45	15,6
13,8	13:50	74,9	18,5	44,9	15,7
13,8	13:51	74,8	19,4	44,9	15,9
13,8	13:52	74,8	20,2	44,9	16,1
13,8	13:53	74,7	21	44,9	16,3
13,9	13:54	74,6	21,8	44,8	16,5
13,9	13:55	74,5	22,7	44,8	16,7
13,9	13:56	74,5	23,5	44,8	16,8
13,9	13:57	74,4	24,3	44,8	17
13,9	13:58	74,3	25,1	44,7	17,2
13,9	13:59	74,2	25,8	44,7	17,4
14	14:00	74,1	26,6	44,7	17,6
14	14:01	74	27,4	44,6	17,7
14	14:02	73,9	28,1	44,6	17,9
14	14:03	73,8	28,9	44,6	18,1

14	14:04	73,8	29,6	44,5	18,3
14	14:05	73,7	30,4	44,5	18,5
14,1	14:06	73,6	31,1	44,5	18,6
14,1	14:07	73,4	31,8	44,4	18,8
14,1	14:08	73,3	32,6	44,4	19
14,1	14:09	73,2	33,3	44,4	19,2
14,1	14:10	73,1	34	44,3	19,3
14,1	14:11	73	34,6	44,3	19,5
14,2	14:12	72,9	35,3	44,3	19,7
14,2	14:13	72,8	36	44,2	19,9
14,2	14:14	72,7	36,7	44,2	20,1
14,2	14:15	72,6	37,3	44,2	20,2
14,2	14:16	72,4	38	44,1	20,4
14,2	14:17	72,3	38,6	44,1	20,6
14,3	14:18	72,2	39,2	44,1	20,8
14,3	14:19	72,1	39,9	44	20,9
14,3	14:20	71,9	40,5	44	21,1
14,3	14:21	71,8	41,1	44	21,3
14,3	14:22	71,7	41,7	43,9	21,5
14,3	14:23	71,5	42,3	43,9	21,6
14,4	14:24	71,4	42,9	43,8	21,8
14,4	14:25	71,3	43,5	43,8	22
14,4	14:26	71,1	44	43,8	22,2
14,4	14:27	71	44,6	43,7	22,3
14,4	14:28	70,9	45,2	43,7	22,5
14,4	14:29	70,7	45,7	43,6	22,7
14,5	14:30	70,6	46,2	43,6	22,9
14,5	14:31	70,4	46,8	43,6	23
14,5	14:32	70,3	47,3	43,5	23,2
14,5	14:33	70,1	47,8	43,5	23,4
14,5	14:34	70	48,4	43,4	23,5
14,5	14:35	69,8	48,9	43,4	23,7
14,6	14:36	69,7	49,4	43,4	23,9
14,6	14:37	69,5	49,9	43,3	24,1
14,6	14:38	69,4	50,4	43,3	24,2
14,6	14:39	69,2	50,8	43,2	24,4
14,6	14:40	69,1	51,3	43,2	24,6
14,6	14:41	68,9	51,8	43,1	24,7
14,7	14:42	68,8	52,3	43,1	24,9
14,7	14:43	68,6	52,7	43,1	25,1
14,7	14:44	68,5	53,2	43	25,3
14,7	14:45	68,3	53,6	43	25,4
14,7	14:46	68,2	54,1	42,9	25,6
14,7	14:47	68	54,5	42,9	25,8
14,8	14:48	67,8	54,9	42,8	25,9
14,8	14:49	67,7	55,4	42,8	26,1

14,8	14:50	67,5	55,8	42,7	26,3
14,8	14:51	67,3	56,2	42,7	26,4
14,8	14:52	67,2	56,6	42,6	26,6
14,8	14:53	67	57	42,6	26,8
14,9	14:54	66,8	57,4	42,5	26,9
14,9	14:55	66,7	57,8	42,5	27,1
14,9	14:56	66,5	58,2	42,4	27,3
14,9	14:57	66,3	58,6	42,4	27,4
14,9	14:58	66,2	59	42,4	27,6
14,9	14:59	66	59,4	42,3	27,8
15	15:00	65,8	59,8	42,3	27,9
15	15:01	65,7	60,1	42,2	28,1
15	15:02	65,5	60,5	42,2	28,3
15	15:03	65,3	60,9	42,1	28,4
15	15:04	65,1	61,2	42,1	28,6
15	15:05	65	61,6	42	28,7
15,1	15:06	64,8	62	42	28,9
15,1	15:07	64,6	62,3	41,9	29,1
15,1	15:08	64,5	62,6	41,9	29,2
15,1	15:09	64,3	63	41,8	29,4
15,1	15:10	64,1	63,3	41,7	29,6
15,1	15:11	63,9	63,7	41,7	29,7
15,2	15:12	63,7	64	41,6	29,9
15,2	15:13	63,6	64,3	41,6	30
15,2	15:14	63,4	64,6	41,5	30,2
15,2	15:15	63,2	65	41,5	30,4
15,2	15:16	63	65,3	41,4	30,5
15,2	15:17	62,9	65,6	41,4	30,7
15,3	15:18	62,7	65,9	41,3	30,8
15,3	15:19	62,5	66,2	41,3	31
15,3	15:20	62,3	66,5	41,2	31,2
15,3	15:21	62,1	66,8	41,2	31,3
15,3	15:22	62	67,1	41,1	31,5
15,3	15:23	61,8	67,4	41	31,6
15,4	15:24	61,6	67,7	41	31,8
15,4	15:25	61,4	68	40,9	32
15,4	15:26	61,2	68,3	40,9	32,1
15,4	15:27	61	68,6	40,8	32,3
15,4	15:28	60,9	68,9	40,8	32,4
15,4	15:29	60,7	69,1	40,7	32,6
15,5	15:30	60,5	69,4	40,6	32,7
15,5	15:31	60,3	69,7	40,6	32,9
15,5	15:32	60,1	70	40,5	33
15,5	15:33	59,9	70,2	40,5	33,2
15,5	15:34	59,7	70,5	40,4	33,4
15,5	15:35	59,6	70,8	40,4	33,5

15,6	15:36	59,4	71	40,3	33,7
15,6	15:37	59,2	71,3	40,2	33,8
15,6	15:38	59	71,5	40,2	34
15,6	15:39	58,8	71,8	40,1	34,1
15,6	15:40	58,6	72,1	40,1	34,3
15,6	15:41	58,4	72,3	40	34,4
15,7	15:42	58,2	72,6	39,9	34,6
15,7	15:43	58,1	72,8	39,9	34,7
15,7	15:44	57,9	73,1	39,8	34,9
15,7	15:45	57,7	73,3	39,8	35
15,7	15:46	57,5	73,5	39,7	35,2
15,7	15:47	57,3	73,8	39,6	35,3
15,8	15:48	57,1	74	39,6	35,5
15,8	15:49	56,9	74,3	39,5	35,6
15,8	15:50	56,7	74,5	39,4	35,8
15,8	15:51	56,5	74,7	39,4	35,9
15,8	15:52	56,4	75	39,3	36,1
15,8	15:53	56,2	75,2	39,2	36,2
15,9	15:54	56	75,4	39,2	36,4
15,9	15:55	55,8	75,6	39,1	36,5
15,9	15:56	55,6	75,9	39,1	36,7
15,9	15:57	55,4	76,1	39	36,8
15,9	15:58	55,2	76,3	38,9	37
15,9	15:59	55	76,5	38,9	37,1
16	16:00	54,8	76,7	38,8	37,3
16	16:01	54,6	77	38,7	37,4
16	16:02	54,4	77,2	38,7	37,6
16	16:03	54,2	77,4	38,6	37,7
16	16:04	54,1	77,6	38,5	37,9
16	16:05	53,9	77,8	38,5	38
16,1	16:06	53,7	78	38,4	38,2
16,1	16:07	53,5	78,2	38,3	38,3
16,1	16:08	53,3	78,4	38,3	38,4
16,1	16:09	53,1	78,6	38,2	38,6
16,1	16:10	52,9	78,9	38,1	38,7
16,1	16:11	52,7	79,1	38,1	38,9
16,2	16:12	52,5	79,3	38	39
16,2	16:13	52,3	79,5	37,9	39,2
16,2	16:14	52,1	79,7	37,9	39,3
16,2	16:15	51,9	79,9	37,8	39,4
16,2	16:16	51,7	80,1	37,7	39,6
16,2	16:17	51,5	80,2	37,7	39,7
16,3	16:18	51,3	80,4	37,6	39,9
16,3	16:19	51,1	80,6	37,5	40
16,3	16:20	51	80,8	37,4	40,2
16,3	16:21	50,8	81	37,4	40,3

16,3	16:22	50,6	81,2	37,3	40,4
16,3	16:23	50,4	81,4	37,2	40,6
16,4	16:24	50,2	81,6	37,2	40,7
16,4	16:25	50	81,8	37,1	40,9
16,4	16:26	49,8	82	37	41
16,4	16:27	49,6	82,2	37	41,1
16,4	16:28	49,4	82,3	36,9	41,3
16,4	16:29	49,2	82,5	36,8	41,4
16,5	16:30	49	82,7	36,7	41,5
16,5	16:31	48,8	82,9	36,7	41,7
16,5	16:32	48,6	83,1	36,6	41,8
16,5	16:33	48,4	83,2	36,5	42
16,5	16:34	48,2	83,4	36,4	42,1
16,5	16:35	48	83,6	36,4	42,2
16,6	16:36	47,8	83,8	36,3	42,4
16,6	16:37	47,6	84	36,2	42,5
16,6	16:38	47,4	84,1	36,2	42,6
16,6	16:39	47,2	84,3	36,1	42,8
16,6	16:40	47	84,5	36	42,9
16,6	16:41	46,8	84,7	35,9	43
16,7	16:42	46,6	84,8	35,9	43,2
16,7	16:43	46,5	85	35,8	43,3
16,7	16:44	46,3	85,2	35,7	43,5
16,7	16:45	46,1	85,3	35,6	43,6
16,7	16:46	45,9	85,5	35,6	43,7
16,7	16:47	45,7	85,7	35,5	43,9
16,8	16:48	45,5	85,9	35,4	44
16,8	16:49	45,3	86	35,3	44,1
16,8	16:50	45,1	86,2	35,2	44,2
16,8	16:51	44,9	86,4	35,2	44,4
16,8	16:52	44,7	86,5	35,1	44,5
16,8	16:53	44,5	86,7	35	44,6
16,9	16:54	44,3	86,8	34,9	44,8
16,9	16:55	44,1	87	34,9	44,9
16,9	16:56	43,9	87,2	34,8	45
16,9	16:57	43,7	87,3	34,7	45,2
16,9	16:58	43,5	87,5	34,6	45,3
16,9	16:59	43,3	87,7	34,6	45,4
17	17:00	43,1	87,8	34,5	45,6
17	17:01	42,9	88	34,4	45,7
17	17:02	42,7	88,1	34,3	45,8
17	17:03	42,5	88,3	34,2	45,9
17	17:04	42,3	88,5	34,2	46,1
17	17:05	42,1	88,6	34,1	46,2
17,1	17:06	41,9	88,8	34	46,3
17,1	17:07	41,7	88,9	33,9	46,5

17,1	17:08	41,5	89,1	33,8	46,6
17,1	17:09	41,3	89,2	33,8	46,7
17,1	17:10	41,1	89,4	33,7	46,8
17,1	17:11	40,9	89,6	33,6	47
17,2	17:12	40,7	89,7	33,5	47,1
17,2	17:13	40,5	89,9	33,4	47,2
17,2	17:14	40,3	90	33,4	47,3
17,2	17:15	40,1	90,2	33,3	47,5
17,2	17:16	39,9	90,3	33,2	47,6
17,2	17:17	39,8	90,5	33,1	47,7
17,3	17:18	39,6	90,6	33	47,8
17,3	17:19	39,4	90,8	33	48
17,3	17:20	39,2	90,9	32,9	48,1
17,3	17:21	39	91,1	32,8	48,2
17,3	17:22	38,8	91,2	32,7	48,3
17,3	17:23	38,6	91,4	32,6	48,5
17,4	17:24	38,4	91,5	32,5	48,6
17,4	17:25	38,2	91,7	32,5	48,7
17,4	17:26	38	91,8	32,4	48,8
17,4	17:27	37,8	92	32,3	48,9
17,4	17:28	37,6	92,1	32,2	49,1
17,4	17:29	37,4	92,3	32,1	49,2
17,5	17:30	37,2	92,4	32	49,3
17,5	17:31	37	92,6	32	49,4
17,5	17:32	36,8	92,7	31,9	49,6
17,5	17:33	36,6	92,9	31,8	49,7
17,5	17:34	36,4	93	31,7	49,8
17,5	17:35	36,2	93,2	31,6	49,9
17,6	17:36	36	93,3	31,5	50
17,6	17:37	35,8	93,4	31,4	50,2
17,6	17:38	35,6	93,6	31,4	50,3
17,6	17:39	35,4	93,7	31,3	50,4
17,6	17:40	35,2	93,9	31,2	50,5
17,6	17:41	35	94	31,1	50,6
17,7	17:42	34,8	94,2	31	50,7
17,7	17:43	34,6	94,3	30,9	50,9
17,7	17:44	34,4	94,5	30,8	51
17,7	17:45	34,2	94,6	30,8	51,1
17,7	17:46	34	94,7	30,7	51,2
17,7	17:47	33,8	94,9	30,6	51,3
17,8	17:48	33,6	95	30,5	51,4
17,8	17:49	33,4	95,2	30,4	51,6
17,8	17:50	33,3	95,3	30,3	51,7
17,8	17:51	33,1	95,4	30,2	51,8
17,8	17:52	32,9	95,6	30,1	51,9
17,8	17:53	32,7	95,7	30,1	52

17,9	17:54	32,5	95,9	30	52,1
17,9	17:55	32,3	96	29,9	52,3
17,9	17:56	32,1	96,2	29,8	52,4
17,9	17:57	31,9	96,3	29,7	52,5
17,9	17:58	31,7	96,4	29,6	52,6
17,9	17:59	31,5	96,6	29,5	52,7
18	18:00	31,3	96,7	29,4	52,8
18	18:01	31,1	96,9	29,4	52,9
18	18:02	30,9	97	29,3	53,1
18	18:03	30,7	97,1	29,2	53,2
18	18:04	30,5	97,3	29,1	53,3
18	18:05	30,3	97,4	29	53,4
18,1	18:06	30,1	97,5	28,9	53,5
18,1	18:07	29,9	97,7	28,8	53,6
18,1	18:08	29,7	97,8	28,7	53,7
18,1	18:09	29,5	98	28,6	53,8
18,1	18:10	29,3	98,1	28,5	54
18,1	18:11	29,1	98,2	28,4	54,1
18,2	18:12	28,9	98,4	28,4	54,2
18,2	18:13	28,7	98,5	28,3	54,3
18,2	18:14	28,6	98,7	28,2	54,4
18,2	18:15	28,4	98,8	28,1	54,5
18,2	18:16	28,2	98,9	28	54,6
18,2	18:17	28	99,1	27,9	54,7
18,3	18:18	27,8	99,2	27,8	54,8
18,3	18:19	27,6	99,3	27,7	54,9
18,3	18:20	27,4	99,5	27,6	55
18,3	18:21	27,2	99,6	27,5	55,2
18,3	18:22	27	99,7	27,4	55,3
18,3	18:23	26,8	99,9	27,3	55,4
18,4	18:24	26,6	100	27,3	55,5
18,4	18:25	26,4	100,2	27,2	55,6
18,4	18:26	26,2	100,3	27,1	55,7
18,4	18:27	26	100,4	27	55,8
18,4	18:28	25,8	100,6	26,9	55,9
18,4	18:29	25,6	100,7	26,8	56
18,5	18:30	25,4	100,8	26,7	56,1
18,5	18:31	25,2	101	26,6	56,2
18,5	18:32	25,1	101,1	26,5	56,3
18,5	18:33	24,9	101,2	26,4	56,4
18,5	18:34	24,7	101,4	26,3	56,5
18,5	18:35	24,5	101,5	26,2	56,7
18,6	18:36	24,3	101,7	26,1	56,8
18,6	18:37	24,1	101,8	26	56,9
18,6	18:38	23,9	101,9	25,9	57
18,6	18:39	23,7	102,1	25,8	57,1

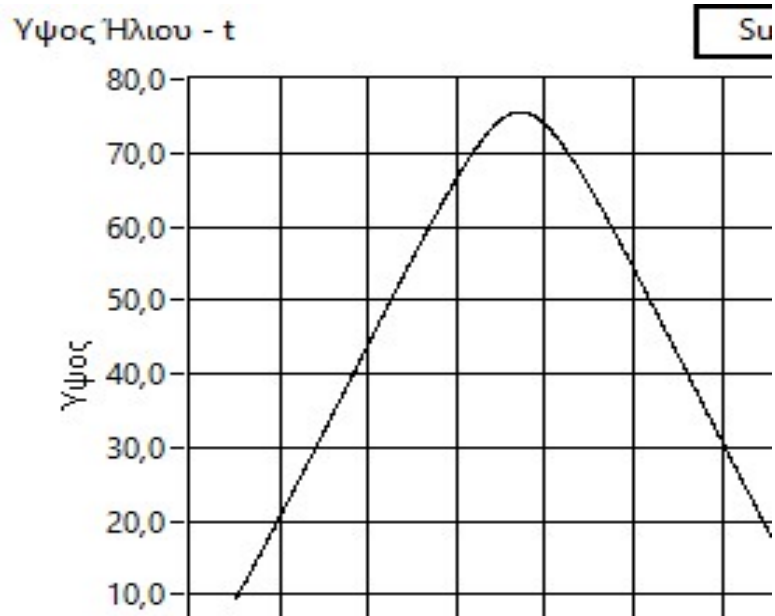


18,6	18:40	23,5	102,2	25,7	57,2
18,6	18:41	23,3	102,3	25,6	57,3
18,7	18:42	23,1	102,5	25,6	57,4
18,7	18:43	22,9	102,6	25,5	57,5
18,7	18:44	22,7	102,7	25,4	57,6
18,7	18:45	22,5	102,9	25,3	57,7
18,7	18:46	22,4	103	25,2	57,8
18,7	18:47	22,2	103,1	25,1	57,9
18,8	18:48	22	103,3	25	58
18,8	18:49	21,8	103,4	24,9	58,1
18,8	18:50	21,6	103,5	24,8	58,2
18,8	18:51	21,4	103,7	24,7	58,3
18,8	18:52	21,2	103,8	24,6	58,4
18,8	18:53	21	104	24,5	58,5
18,9	18:54	20,8	104,1	24,4	58,6
18,9	18:55	20,6	104,2	24,3	58,7
18,9	18:56	20,4	104,4	24,2	58,8
18,9	18:57	20,2	104,5	24,1	58,9
18,9	18:58	20,1	104,6	24	59
18,9	18:59	19,9	104,8	23,9	59,1
19	19:00	19,7	104,9	23,8	59,2
19	19:01	19,5	105	23,7	59,3
19	19:02	19,3	105,2	23,6	59,4
19	19:03	19,1	105,3	23,5	59,5
19	19:04	18,9	105,4	23,4	59,6
19	19:05	18,7	105,6	23,3	59,7
19,1	19:06	18,5	105,7	23,2	59,8
19,1	19:07	18,3	105,8	23,1	59,9
19,1	19:08	18,2	106	23	60
19,1	19:09	18	106,1	22,9	60,1
19,1	19:10	17,8	106,3	22,8	60,2
19,1	19:11	17,6	106,4	22,7	60,3
19,2	19:12	17,4	106,5	22,6	60,4
19,2	19:13	17,2	106,7	22,5	60,5
19,2	19:14	17	106,8	22,4	60,6
19,2	19:15	16,8	106,9	22,3	60,7
19,2	19:16	16,6	107,1	22,2	60,8
19,2	19:17	16,5	107,2	22,1	60,9
19,3	19:18	16,3	107,3	22	61
19,3	19:19	16,1	107,5	21,9	61,1
19,3	19:20	15,9	107,6	21,8	61,2
19,3	19:21	15,7	107,8	21,7	61,3
19,3	19:22	15,5	107,9	21,6	61,4
19,3	19:23	15,3	108	21,5	61,5
19,4	19:24	15,1	108,2	21,4	61,6
19,4	19:25	14,9	108,3	21,3	61,7

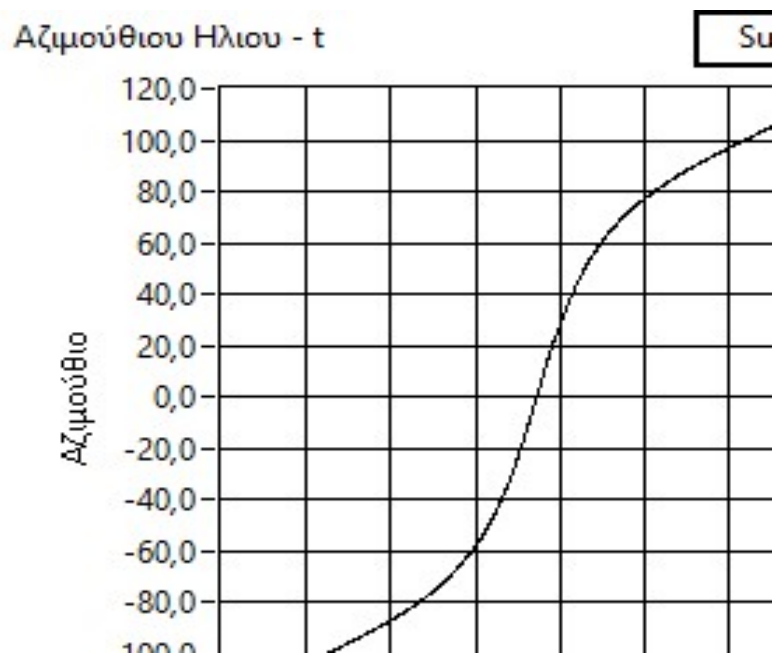
19,4	19:26	14,8	108,4	21,2	61,8
19,4	19:27	14,6	108,6	21,1	61,8
19,4	19:28	14,4	108,7	21	61,9
19,4	19:29	14,2	108,9	20,9	62
19,5	19:30	14	109	20,8	62,1
19,5	19:31	13,8	109,1	20,7	62,2
19,5	19:32	13,6	109,3	20,6	62,3
19,5	19:33	13,5	109,4	20,5	62,4
19,5	19:34	13,3	109,5	20,4	62,5
19,5	19:35	13,1	109,7	20,3	62,6
19,6	19:36	12,9	109,8	20,2	62,7
19,6	19:37	12,7	110	20	62,8
19,6	19:38	12,5	110,1	19,9	62,9
19,6	19:39	12,3	110,2	19,8	63
19,6	19:40	12,2	110,4	19,7	63,1
19,6	19:41	12	110,5	19,6	63,2
19,7	19:42	11,8	110,6	19,5	63,2
19,7	19:43	11,6	110,8	19,4	63,3
19,7	19:44	11,4	110,9	19,3	63,4
19,7	19:45	11,2	111,1	19,2	63,5
19,7	19:46	11	111,2	19,1	63,6
19,7	19:47	10,9	111,3	19	63,7
19,8	19:48	10,7	111,5	18,9	63,8
19,8	19:49	10,5	111,6	18,8	63,9
19,8	19:50	10,3	111,8	18,7	64
19,8	19:51	10,1	111,9	18,6	64,1
19,8	19:52	9,9	112	18,5	64,2
19,8	19:53	9,8	112,2	18,4	64,2
19,9	19:54	9,6	112,3	18,3	64,3
19,9	19:55	9,4	112,5	18,1	64,4
19,9	19:56	9,2	112,6	18	64,5
19,9	19:57	9	112,8	17,9	64,6
19,9	19:58	8,9	112,9	17,8	64,7
19,9	19:59	8,7	113	17,7	64,8
20	20:00	8,5	113,2	17,6	64,9
20	20:01	8,3	113,3	17,5	65
20	20:02	8,1	113,5	17,4	65
20	20:03	7,9	113,6	17,3	65,1
20	20:04	7,8	113,7	17,2	65,2
20	20:05	7,6	113,9	17,1	65,3
20,1	20:06	7,4	114	17	65,4
20,1	20:07	7,2	114,2	16,9	65,5
20,1	20:08	7	114,3	16,7	65,6
20,1	20:09	6,9	114,5	16,6	65,7
20,1	20:10	6,7	114,6	16,5	65,7
20,1	20:11	6,5	114,7	16,4	65,8

20,2	20:12	6,3	114,9	16,3	65,9
20,2	20:13	6,2	115	16,2	66
20,2	20:14	6	115,2	16,1	66,1
20,2	20:15	5,8	115,3	16	66,2
20,2	20:16	5,6	115,5	15,9	66,3
20,2	20:17	5,4	115,6	15,8	66,3
20,3	20:18	5,3	115,8	15,7	66,4
20,3	20:19	5,1	115,9	15,5	66,5
20,3	20:20	4,9	116,1	15,4	66,6
20,3	20:21	4,7	116,2	15,3	66,7
20,3	20:22	4,6	116,3	15,2	66,8
20,3	20:23	4,4	116,5	15,1	66,9
20,4	20:24	4,2	116,6	15	66,9
20,4	20:25	4	116,8	14,9	67
20,4	20:26	3,8	116,9	14,8	67,1
20,4	20:27	3,7	117,1	14,6	67,2
20,4	20:28	3,5	117,2	14,5	67,3
20,4	20:29	3,3	117,4	14,4	67,4
20,5	20:30	3,1	117,5	14,3	67,4
20,5	20:31	3	117,7	14,2	67,5
20,5	20:32	2,8	117,8	14,1	67,6
20,5	20:33	2,6	118	14	67,7
20,5	20:34	2,4	118,1	13,9	67,8
20,5	20:35	2,3	118,3	13,7	67,9
20,6	20:36	2,1	118,4	13,6	67,9
20,6	20:37	1,9	118,6	13,5	68
20,6	20:38	1,8	118,7	13,4	68,1
20,6	20:39	1,6	118,9	13,3	68,2
20,6	20:40	1,4	119	13,2	68,3
20,6	20:41	1,2	119,2	13,1	68,4
20,7	20:42	1,1	119,3	13	68,4
20,7	20:43	0,9	119,5	12,8	68,5
20,7	20:44	0,7	119,6	12,7	68,6
20,7	20:45	0,5	119,8	12,6	68,7
20,7	20:46	0,4	119,9	12,5	68,8
20,7	20:47	0,2	120	12,4	68,8
20,8	20:48	0	120	12,3	68,9
20,8	20:49	0	120	12,1	69

Στη συνέχεια δίνονται οι γραφικές παραστάσεις των πιο πάνω υπολογισμών όπως προέκυψαν από το πρόγραμμα LabView.

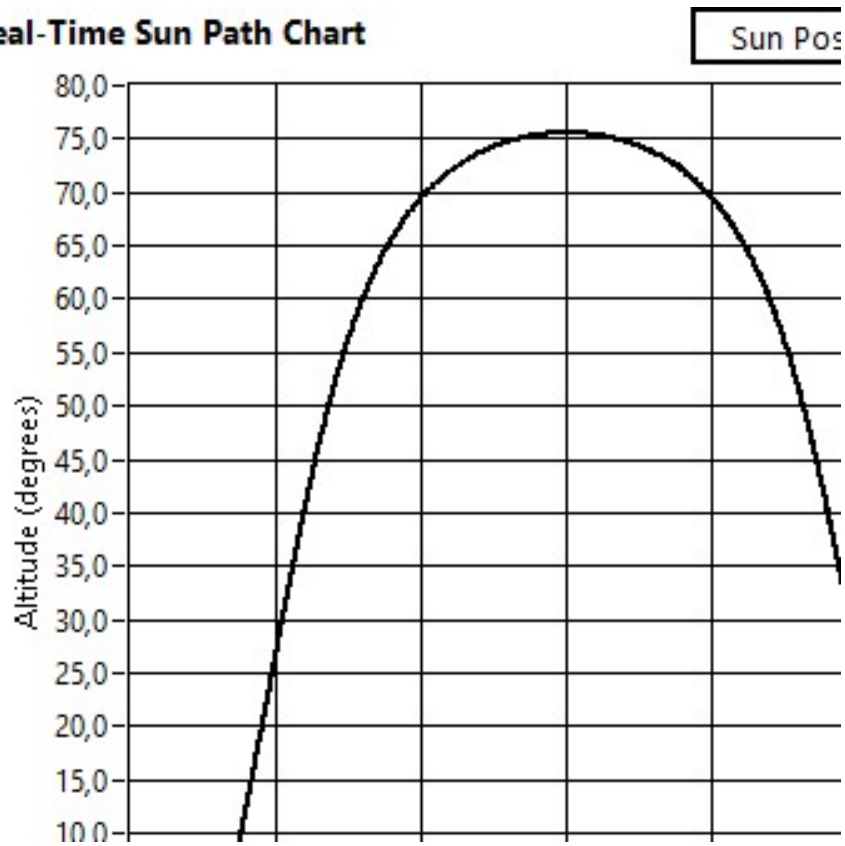


Γράφημα 1. Γραφική παράσταση Υψους Ήλιου σε συνάρτηση με το χρόνο. Παρατηρούμε ότι η γραφική παράσταση ξεκινάει την ώρα ανατολής του ηλίου και τελειώνει την ώρα δύσης, ενώ ο ήλιος βρίσκεται στο μέγιστο ύψος περίπου 1:30 η ώρα το μεσημέρι.



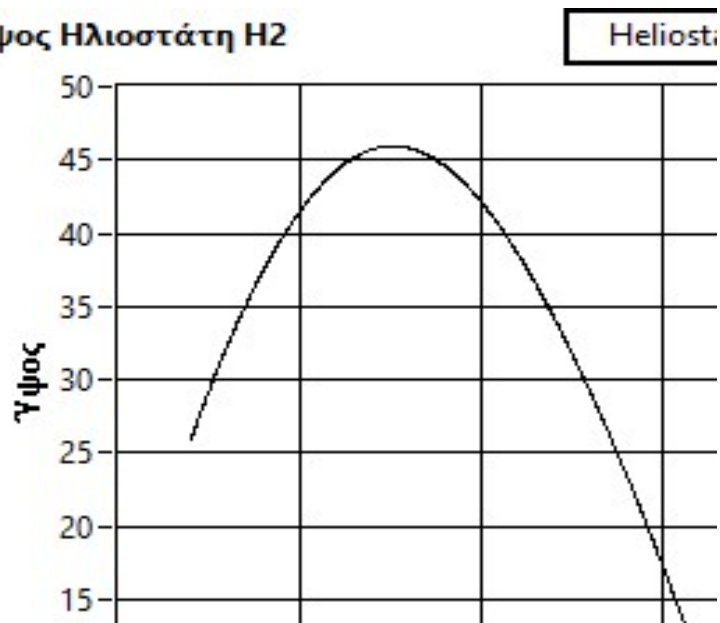
Γράφημα 2. Γραφική παράσταση Αζιμούθιου Ήλιου σε συνάρτηση με το χρόνο.

**Real-Time Sun Path Chart**

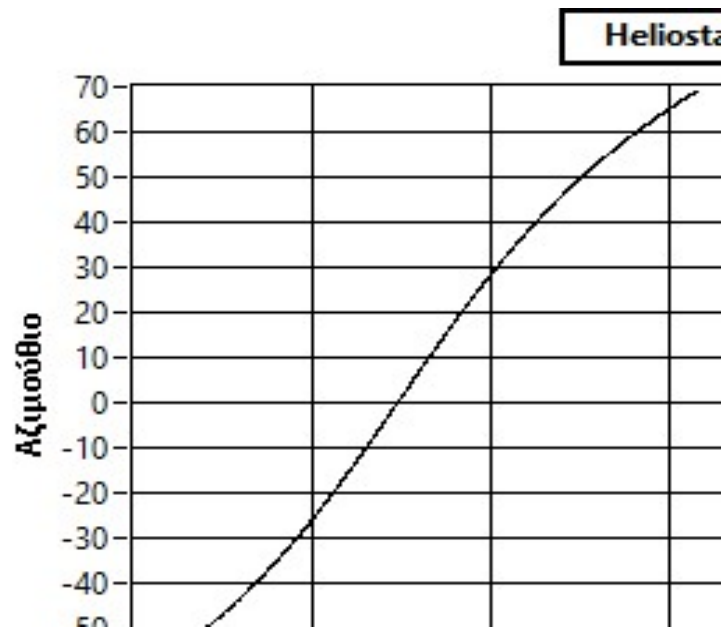


Γράφημα 3. Γραφική παράσταση Θέσης Ηλίου σε συνάρτηση με το χρόνο. Παρατηρούμε ότι βρίσκεται στο μέγιστο ύψος έχει γωνία αζιμούθιου μηδέν ( πάνω από το Νότο).

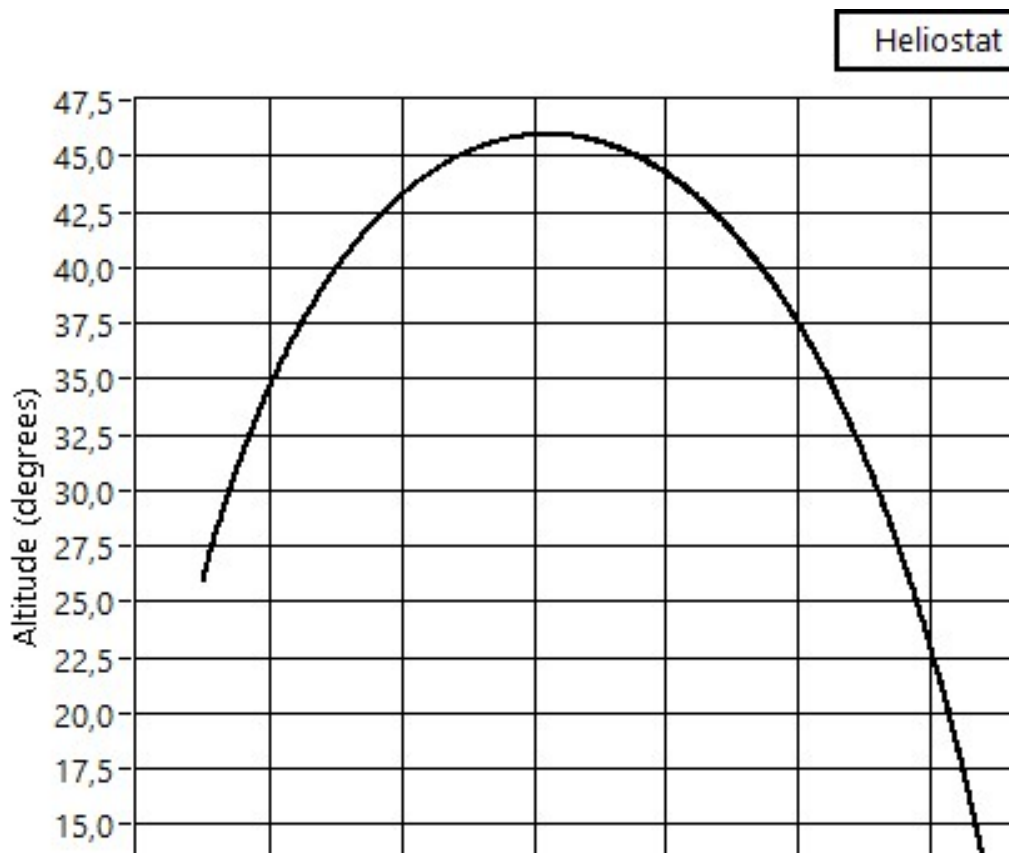
**Ύψος Ηλιοστάτη Η2**



Γράφημα 4. Γραφική παράσταση Ύψους Ηλιοστάτη σε συνάρτηση με το χρόνο. Παρατηρούμε ότι το μέγιστο ύψος που σημειώνει ο Ηλιοστάτης είναι περίπου 12:30 η ώρα διαφορετική από την ώρα που σημειώνει μέγιστο ύψος ο Ήλιος.

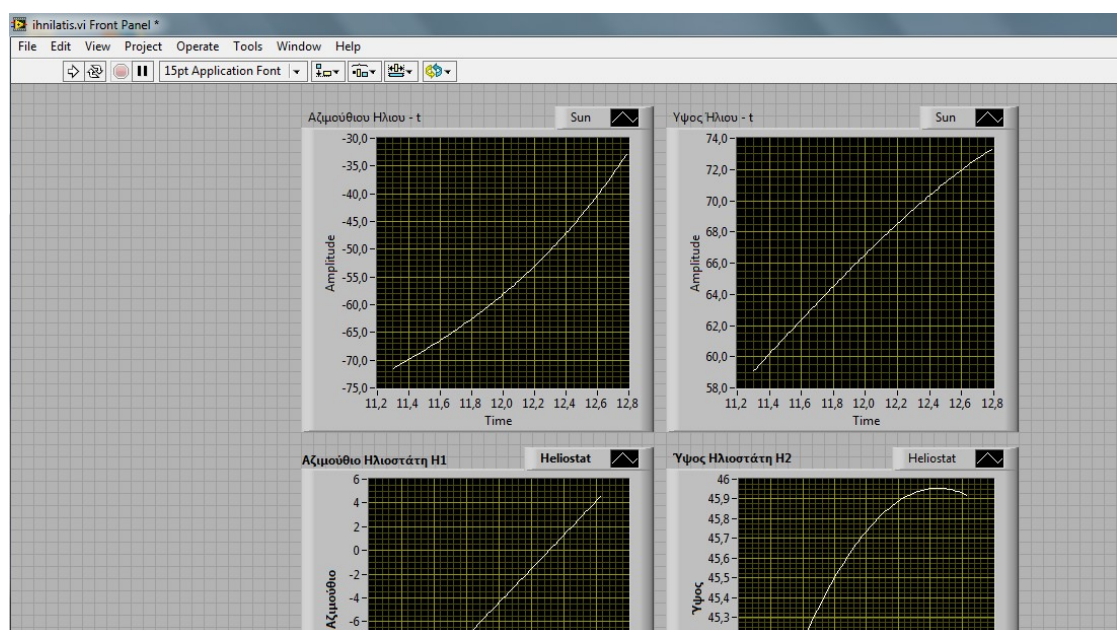
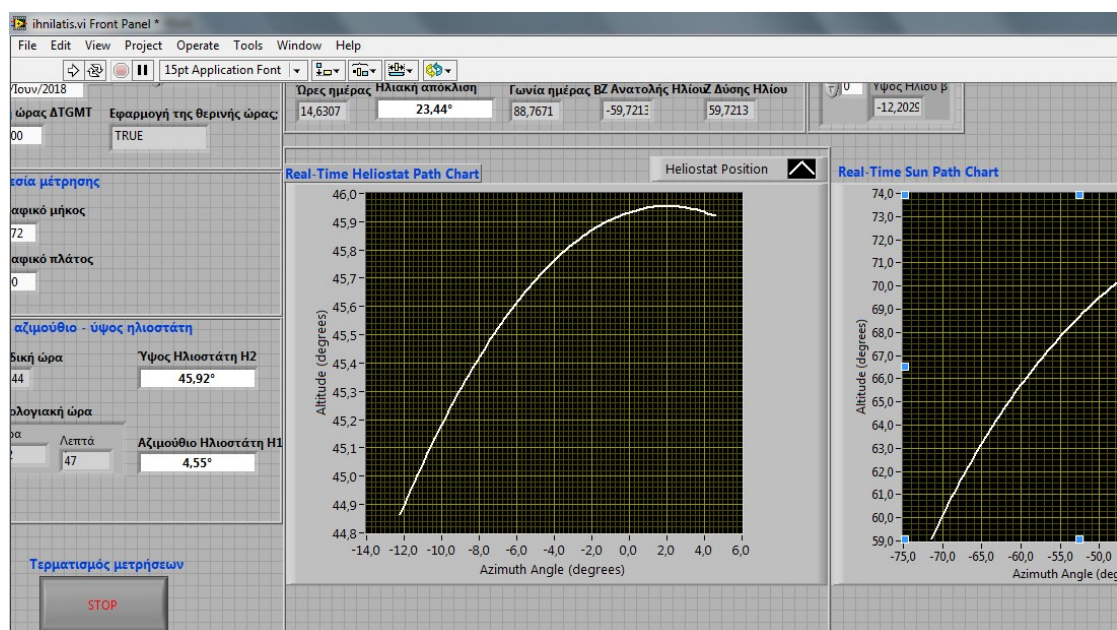


Γράφημα 5. Γραφική παράσταση Αζιμούθιου Ηλιοστάτη σε συνάρτηση με το χρόνο. Τη χρονική στιγμή που ο ηλιοστάτης έχει μηδενική γωνία αζιμούθιου είναι απόλυτα προσανατολισμένος στο Νότο.



Γράφημα 6. Γραφική παράσταση Θέσης Ηλιοστάτη σε συνάρτηση με το χρόνο. Παρατηρούμε ότι το μέγιστο ύψος του σημειώνεται λίγο μετά αφότου περάσει το Νότο (αζιμούθιο = μηδέν)

Κατά τη διάρκεια του πειράματος πήραμε screenshots από τον Η/Υ, όπου απεικονίζονται οι ανωτέρω γραφικές παραστάσεις στο πρόγραμμα LabView.



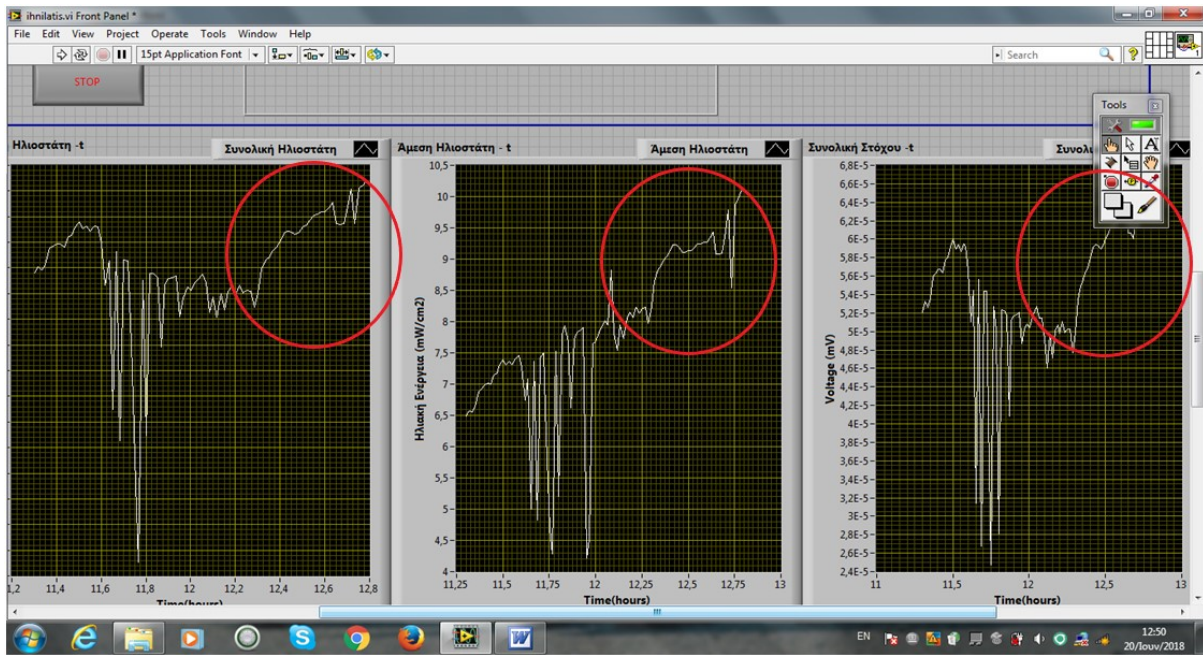
Εικόνα 33. Screenshots που απεικονίζεται το front panel του κυρίου προγράμματος με τις γραφικές παραστάσεις κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε περιείχε τη συλλογή, επεξεργασία και εμφάνιση των μετρήσεων της ηλιακής ακτινοβολίας σε μορφή γραφικών παραστάσεων και από τους 3 αισθητήρες. Το πυρηλιόμετρο και το πυρανόμετρο του ηλιοστάτη, έδωσαν δεδομένα της άμεσης και συνολικής

ακτινοβολίας αντίστοιχα στη θέση του ηλιοστάτη. Ο τρίτος αισθητήρας – πυρανόμετρο , βασίστηκε στην ιδέα της μέτρησης της ακτινοβολίας στο σημείο του δέκτη, ωστόσο κάτι τέτοιο δεν έγινε εφικτό κατά τη διάρκεια του πειράματος και μας έδωσε αποτελέσματα για τη συνολική ακτινοβολία στην βάση της διάταξης. Στη συνέχεια δίνονται οι μετρήσεις που καταγράφηκαν από τις 12:25 έως 13:00 με βήμα ενός λεπτού σε μορφή πίνακα.

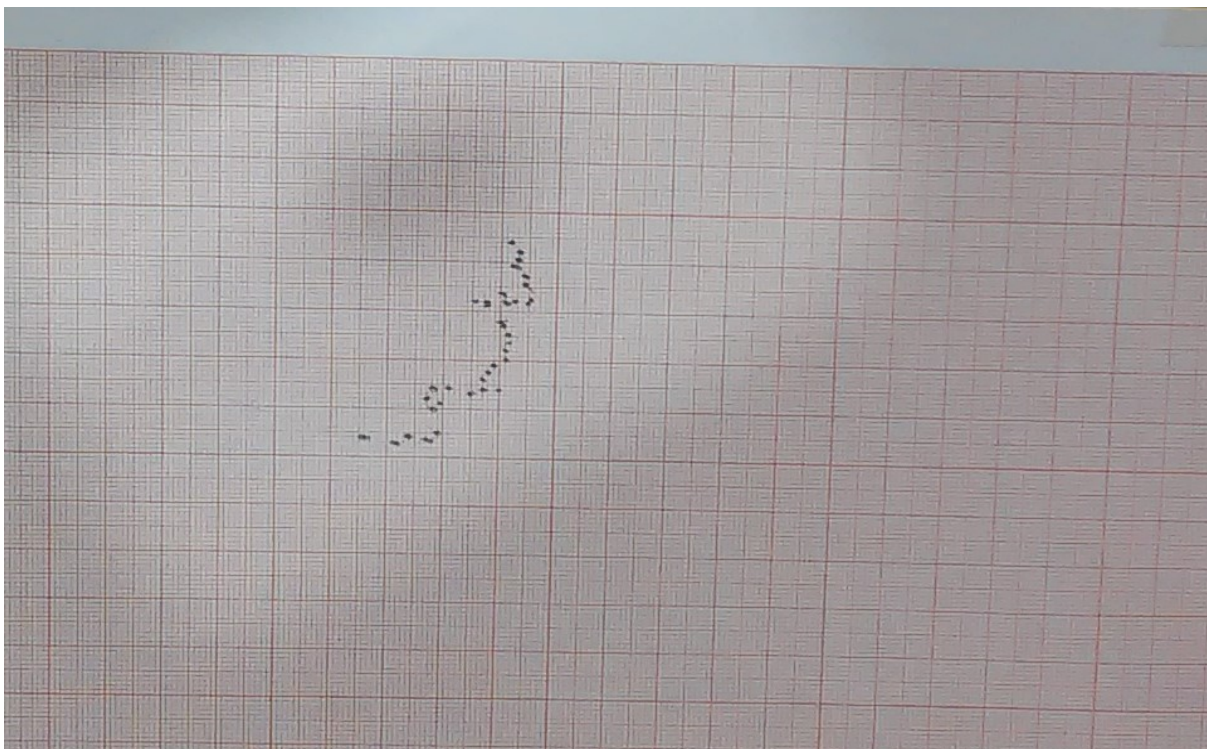
ΧΡΟΝΟΣ (Ω:ΛΛ)	ΑΜΕΣΗ ΗΛΙΟΣΤΑΤΗ (mW/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΟΣΤΑΤΗ (mW/cm <sup>2</sup> )	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΣΗΣ (mV)
12:13	8,23	66,70	5,11E-05
12:14	8,14	65,22	4,99E-05
12:15	8,20	65,57	5,02E-05
12:16	8,22	65,49	5,02E-05
12:17	7,98	62,29	4,77E-05
12:18	8,24	65,14	4,99E-05
12:19	8,65	69,75	5,35E-05
12:20	8,83	71,58	5,49E-05
12:21	8,88	72,13	5,53E-05
12:22	8,98	73,30	5,63E-05
12:23	9,04	74,11	5,69E-05
12:24	9,14	75,43	5,79E-05
12:25	9,23	76,79	5,91E-05
12:26	9,23	77,16	5,94E-05
12:27	9,19	77,04	5,93E-05
12:28	9,11	76,53	5,89E-05
12:29	9,10	77,01	5,94E-05
12:30	9,14	77,92	6,00E-05
12:31	9,14	78,32	6,05E-05
12:32	9,19	79,35	6,12E-05
12:33	9,25	80,32	6,19E-05
12:34	9,24	80,53	6,21E-05
12:35	9,27	80,88	6,26E-05
12:36	9,27	80,94	6,24E-05
12:37	9,34	81,78	6,30E-05
12:38	9,44	82,69	6,38E-05
12:39	9,08	78,71	6,07E-05
12:40	9,09	78,55	6,07E-05
12:41	9,09	78,59	6,01E-05
12:42	9,45	81,86	6,32E-05
12:43	9,79	85,47	6,56E-05
12:44	8,54	78,59	6,28E-05
12:45	9,86	85,51	6,55E-05
12:46	9,96	85,99	6,61E-05
12:47	10,09	86,88	6,66E-05





Εικόνα 34. Screenshot από τον Η/Υ όπου απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις των μετρήσεων από τους 3 αισθητήρες που πήραμε από το πρόγραμμα LabView. Στον κόκκινο κύκλο επισημαίνεται το χρονικό διάστημα των μετρήσεων όπου διεξήχθη το πείραμα.

Όπως έχουμε εξηγήσει ο προσδιορισμός της θέσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας έγινε πάνω σε τετραγωνισμένο χαρτί, μιλιμετρέ, ώστε να μπορεί να γίνει περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων (Εικόνα 35).



Εικόνα 35. Η απεικόνιση των μετρήσεων πάνω σε μιλιμετρέ επιφάνεια κατά τη διεξαγωγή του πειράματος. Είναι ορατή η προσπίπτουσα ακτινοβολία και η κηλίδα σκίασης.

Θεωρώντας ως σημείο δέκτη, (0,0), το σημείο στόχευσης της πρώτης επανάληψης έγινε ο προσδιορισμός όλων των σημείων σε καρτεσιανές και πολικές συντεταγμένες. Με βάση αυτό οι πολικές συντεταγμένες αντιπροσωπεύουν την απόκλιση της προσιπτουσας ακτινοβολίας από το δέκτη.

Δίνονται οι σχέσεις μετατροπής από καρτεσιανές σε πολικές συντεταγμένες:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$$

Οι υπολογισμοί φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ (Ω:ΛΛ)	ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ		ΠΟΛΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ / ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΔΕΚΤΗ	
		x (mm)	y (mm)	r (mm)	φ (rad)
1	12:13	0	0	0	0
2	12:14	5	0	5	0
3	12:15	8	1	8,06	0,12
4	12:16	11	0	11,00	0,00
5	12:17	13	2	13,15	0,15
6	12:18	12	7	13,89	0,53
7	12:19	13	8	15,26	0,55
8	12:20	11	9	14,21	0,69
9	12:21	12	11	16,28	0,74
10	12:22	15	11	18,60	0,63
11	12:23	19	10	21,47	0,48
12	12:24	21	11	23,71	0,48
13	12:25	24	11	26,40	0,43
14	12:26	21	13	24,70	0,55
15	12:27	22	14	26,08	0,57
16	12:28	23	16	28,02	0,61
17	12:29	25	17	30,23	0,60
18	12:30	25	19	31,40	0,65
19	12:31	26	21	33,42	0,68
20	12:32	26	22	34,06	0,70
21	12:33	25	24	34,66	0,76
22	12:34	25	25	35,36	0,79
23	12:35	22	28	35,61	0,90
24	12:36	20	28	34,41	0,95
25	12:37	24	31	39,20	0,91
26	12:38	25	29	38,29	0,86
27	12:39	26	29	38,95	0,84
28	12:40	29	29	41,01	0,79
29	12:41	29	29	41,01	0,79
30	12:42	28	32	42,52	0,85
31	12:43	28	34	44,05	0,88
32	12:44	27	36	45,00	0,93

33	12:45	27	37	45,80	0,94
34	12:46	27	39	47,43	0,97
35	12:47	26	41	48,55	1,01

## 4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ

Αρχικά θα υπολογίσουμε τη μέση τιμή των μετρήσεων για το μέγεθος της απόστασης και της γωνίας ( χρήση των πολικών συντεταγμένων ), χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις:

Μέση τιμή απόστασης  $r$  :

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^{N=34} r_i}{N}$$

Μέση τιμή γωνίας  $\phi$  :

$$\bar{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^{N=34} \phi_i}{N}$$

Όπου  $N=34$  είναι ο αριθμός των μετρήσεων, εκτός της πρώτης επανάληψης που θεωρείται η θέση του δέκτη.

Προκύπτουν:  $\bar{r} = 1.428 \text{ mm}$  ,  $\bar{\phi} = 0.03 \text{ rad}$

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός συντελεστή διόρθωσης της θέσης του ηλιοστάτη με βάση τις αποκλίσεις που προσδιορίσαμε από το σημείο του δέκτη. Αυτό θα το πετύχουμε με χρήση της θεωρίας σφαλμάτων για τις αποκλίσεις αυτές των 35 επαναλήψεων.

Επειδή ο αλγόριθμός μας είναι μία επαναληπτική διαδικασία θα υπολογίσουμε τις αποκλίσεις - offsets που παρουσιάζονται όχι σε σχέση με τον δέκτη αλλά ανάμεσα σε δύο διαδοχικές επαναλήψεις. Θα υπολογίσουμε δηλαδή πόσο αποκλίνει η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε σχέση με τη προηγούμενη της θέση.

Είναι λογικό εφόσον έχουμε 35 μετρήσεις, να προκύψουν 34 διαφορές - αποκλίσεις ανάμεσα σε διαδοχικές μετρήσεις, οι οποίες δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ i	ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	
		r (mm)	$\phi$ (rad)
1	2-1	5	0
2	3-2	3,0623	0,1244
3	4-3	2,9377	-0,1244
4	5-4	2,1529	0,1526
5	6-5	0,7395	0,3754
6	7-6	1,3719	0,0236
7	8-7	-1,0517	0,1341
8	9-8	2,0662	0,0562
9	10-9	2,3223	-0,1092
10	11-10	2,8698	-0,1483
11	12-11	2,2356	-0,0020
12	13-12	2,6942	-0,0528
13	14-13	-1,7026	0,1245
14	15-14	1,3786	0,0124
15	16-15	1,9410	0,0411
16	17-16	2,2146	-0,0106
17	18-17	1,1682	0,0527
18	19-18	2,0209	0,0295
19	20-19	0,6372	0,0228
20	21-20	0,5967	0,0627
21	22-21	0,6999	0,0204
22	23-22	0,2536	0,1194
23	24-23	-1,1997	0,0457
24	25-24	4,7953	-0,0386
25	26-25	-0,9162	-0,0527
26	27-26	0,6603	-0,0194
27	28-27	2,0635	-0,0545
28	29-28	0,0000	0,0000
29	30-29	1,5084	0,0666
30	31-30	1,5248	0,0299
31	32-31	0,9546	0,0454
32	33-32	0,8039	0,0131
33	34-33	1,6302	0,0249
34	35-34	1,1148	0,0404

Με χρήση της θεωρίας πιθανοτήτων θα αποδείξουμε ότι οι αποκλίσεις των μετρήσεων που υπολογίσαμε ακολουθούν κατανομή Gauss.

Αρχικά θα υπολογίσουμε την τυπική απόκλιση που δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N=34} (r_i - \bar{r})^2}{N - 1}}$$

ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ	ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	$(r_i - \bar{r})^2$
i	r (mm)	r (mm)
1	5	12,7599
2	3,0623	2,6711
3	2,9377	2,2796
4	2,1529	0,5257
5	0,7395	0,4739
6	1,3719	0,0031
7	-1,0517	6,1483
8	2,0662	0,4074
9	2,3223	0,7999
10	2,8698	2,0792
11	2,2356	0,6524
12	2,6942	1,6036
13	-1,7026	9,7999
14	1,3786	0,0024
15	1,9410	0,2633
16	2,2146	0,6189
17	1,1682	0,0674
18	2,0209	0,3517
19	0,6372	0,6252
20	0,5967	0,6909
21	0,6999	0,5300
22	0,2536	1,3789
23	-1,1997	6,9042
24	4,7953	11,3393
25	-0,9162	5,4949
26	0,6603	0,5892
27	2,0635	0,4040
28	0,0000	2,0389
29	1,5084	0,0065
30	1,5248	0,0094
31	0,9546	0,2240
32	0,8039	0,3893
33	1,6302	0,0409
34	1,1148	0,0980

**SUM:** 72,2713

Άρα προκύπτει:

Τυπική απόκλιση:  $\sigma_r = 1,48$

Για να ακολουθούν οι μετρήσεις μας κατανομή Gauss πρέπει τουλάχιστον το 68,3% των τιμών να βρίσκεται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης  $[\bar{r} - \sigma_r, \bar{r} + \sigma_r] = [-0,052, 2,9078]$ . Στον επόμενο πίνακα σημειώνουμε με 1 όσες τιμές βρίσκονται εντός του διαστήματος και 0 όσες βρίσκονται εκτός. Στη συνέχεια υπολογίζουμε το ποσοστό των τιμών που βρίσκονται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης.

ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ i	ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΕ ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ
	r (mm)	[-0,052, 2,9078]
1	5	0
2	3,0623	0
3	2,9377	0
4	2,1529	1
5	0,7395	1
6	1,3719	1
7	-1,0517	0
8	2,0662	1
9	2,3223	1
10	2,8698	1
11	2,2356	1
12	2,6942	1
13	-1,7026	0
14	1,3786	1
15	1,9410	1
16	2,2146	1
17	1,1682	1
18	2,0209	1
19	0,6372	1
20	0,5967	1
21	0,6999	1
22	0,2536	1
23	-1,1997	0
24	4,7953	0
25	-0,9162	0
26	0,6603	1
27	2,0635	1
28	0,0000	1
29	1,5084	1
30	1,5248	1
31	0,9546	1
32	0,8039	1
33	1,6302	1
34	1,1148	1

Υπολογίζεται ότι το 76,5% των τιμών βρίσκεται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης, ποσοστό μεγαλύτερο του 68,3%. Συνεπώς οι τιμές μας ακολουθούν κατανομή Gauss. Αυτό σημαίνει ότι αν πραγματοποιούσαμε άλλη μία μέτρηση, η απόκλιση της θα είχε πιθανότητα 68% να βρίσκεται εντός του διαστήματος  $[\bar{r} - \sigma_r, \bar{r} + \sigma_r] = [-0,052, 2,9078]$ .

Η μέση τιμή είναι η πιο πιθανή τιμή μίας κατανομής Gauss. Η μέση τιμή που υπολογίσαμε βασίζεται σε μικρό αριθμό μετρήσεων. Για να υπολογίσουμε την πιθανότητα να βρίσκεται κοντά στην αληθινή μέση τιμή που θα βασιζόταν σε ένα μεγάλο (άπειρο) αριθμό μετρήσεων υπολογίζουμε την τυπική απόκλιση των μέσων τιμών που δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma_{\bar{r}} = \frac{\sigma_r}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N=34} (r_i - \bar{r})^2}{N(N-1)}}$$

Το  $\sigma_{\bar{r}}$  ονομάζεται τυπικό σφάλμα της μέσης τιμής (ή απόλυτο σφάλμα μέσης τιμής) και προκύπτει:

$$\sigma_{\bar{r}} = 0,25$$

Αυτό σημαίνει ότι αν παίρναμε άλλες 34 μετρήσεις, η μέση τιμή των αποκλίσεών τους θα είχε 68% πιθανότητα να βρίσκεται εντός του διαστήματος  $[\bar{r} - \sigma_{\bar{r}}, \bar{r} + \sigma_{\bar{r}}] = [1,178, 1,678]$ .

Αυτό μας επιτρέπει να χρησιμοποιήσουμε τις τιμές  $\bar{r} = 1,428 \text{ mm}$ ,  $\bar{\varphi} = 0,03 \text{ rad}$  ως συντελεστές διόρθωσης της θέσης του ηλιοστάτη σε κάθε επανάληψη.

Για τη μετατροπή τους από πολικές σε καρτεσιανές συντεταγμένες χρησιμοποιούμε τις σχέσεις:  $x = r \cos \varphi$ ,  $y = r \sin \varphi$  οπότε προκύπτουν:  $\bar{x} = 1,428 \text{ mm}$ ,  $\bar{y} = 0,043 \text{ mm}$

Εδώ πρέπει να επισημάνουμε ότι αυτοί οι συντελεστές απόκλισης είναι υπολογισμένοι για πολύ μικρή απόσταση ανάμεσα σε δέκτη και ηλιοστάτη ( περίπου 5m ). Αν θέταμε τις διατάξεις μας όμως σε ρεαλιστικές αποστάσεις το σφάλμα αυτό θα πολλαπλασιαζόταν.

# 5

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη διεξαγωγή του πειράματος καταφέραμε να αποδείξουμε ότι με τον αλγόριθμο που αναπτύξαμε πετυχαίνουμε την ορθή στόχευση της ηλιακής ακτίνας πάνω στο δέκτη. Με τις μετρήσεις που πήραμε κατά τη διεξαγωγή του πειράματος και τη περαιτέρω επεξεργασία τους καταφέραμε να υπολογίσουμε ένα μέσο συντελεστή απόκλισης-offset της ηλιακής δέσμης πάνω στο δέκτη σε κάθε επανάληψη. Από τον συντελεστή αυτό διαπιστώνουμε ότι παρουσιάζεται ένα σημαντικό σφάλμα απόκλισης, αν λάβουμε συγκεντρωτικά τις αποκλίσεις όλων των επαναλήψεων, το οποίο θα αυξάνεται όσο απομακρύνουμε τον ηλιοστάτη από τον δέκτη. Με βάση τα συμπεράσματα αυτά, φαίνεται ότι η περαιτέρω ανάπτυξη του υφιστάμενου αλγορίθμου, που θα συμπεριλαμβάνει το συντελεστή απόκλισης στο προσδιορισμό της θέσης του ηλιοστάτη σε κάθε επανάληψη, θα ήταν σκόπιμη.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Spellning, J. : «Concentrated Solar Power. Renewable Energy Technology.» Stockholm: KTH Institutionen för Energiteknik, (2012).

[2] Paul, R.: «Google Invests \$168 Million Towards the World's Largest Solar Power Tower Plant.» , (2011). Photo. Retrieved 01 25, 2014, from Inhabitat.com: <http://inhabitat.com/google-invests-168-million-towards-the-worlds-largest-solar-power-tower-plant/>

[3] Vant-Hull, L. : «Central tower concentrating solar power (CSP) systems.» , University of Houston, USA, (2012).

[4] Irena : «Renewable Technologies: Cost Analysis Series - Concentrating Solar Power.» Technical Report 2, International Renewable Energy Agency, (2012):.

[5] Torresol: «GemSolar, the world's first solar thermal plant consisting of central tower technology and salts receiver.» , Technical report, Torresol Energy Investments, S.A., Seville – Spain, (2011)

[6] Κ. Δέρβος): «Φωτοβολταϊκά συστήματα από τη θεωρία στη πράξη», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., (2013), σελ.207-230

[7] Leonard, T.: «The solar trak controller system - Heliostat reflection equations» Enhancement Electronics Inc, pp.4-7, (2003).

[8] Κ. Καλοβρέκτης): «LabView. Συστήματα συλλογής δεδομένων. Ανάπτυξη και προγραμματισμός.» , Εκδόσεις Τζιόλα, (2015), σελ.131-372

[9] <https://www.zaber.com/products/rotary-stages/T-RS/details/T-RS60A/features>