



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

2024

# Διπλωματική Εργασία



**Σχεδιασμός εγκατάστασης και Λειτουργίας Ακτινομετρικού Σταθμού του Εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής**

**Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Αραβαντινός Λεωνίδης Δημήτριος**

**ΑΜ:51204260**

**Επιβλέπων: Καβαδιάς Κοσμάς,**

**Συν επιβλέπων: Χριστόπουλος Κωνσταντίνος**



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL DEPARTMENT

2024

# Diploma Thesis



**Installation and Operation Planning of the Radiometric Station of the Laboratory of Mild Forms of Energy and Environmental Protection of the University of Western Attica**

**Student name and surname: Aravadinis Leonidis Dimitris**

**Registration Number: 51204260**

**Supervisor name and surname: Kavvadias Kosmas**

**Co-supervisor name and surname: Christopoulos Konstantinos**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**Copyright** © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και (Όνοματεπώνυμο  
Φοιτητή/ήτριας),  
Μήνας, Έτος**

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 τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αραβαντιός Νωνίδης Δημήτρης  
του Σπυριδών, με αριθμό μητρώου 51204260 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της  
Σχολής Μηχανολόγων του Τμήματος Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



(Υπογραφή)  
Αραβαντιός Νωνίδης  
Δημήτρης

\* Ονοματεπώνυμο/Ιδιότητα

Ψηφιακή Υπογραφή/Επιβλέποντα

## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς το πρόσωπο του επιβλέποντα καθηγητή Καββαδία Κοσμά και του Κωνσταντίνου Χριστόπουλου, ακαδημαϊκού υπότροφου και συνεργάτη του κ. Καββαδία για την πολύτιμη συνεργασία καθ' όλο το χρονικό διάστημα της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Καββαδία για την εμπιστοσύνη στο πρόσωπο μου και το σύνολο των γνώσεων που αποκόμισα σε όλη την ακαδημαϊκή μου σταδιοδρομία.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τη συντήρηση και επαναλειτουργία του ακτινομετρικού σταθμού του εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος, που σκοπό έχει τη μέτρηση και την καταγραφή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε διαφορετικές διευθύνσεις, καθώς επίσης της ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο. Αρχικά πραγματοποιήθηκε αλλαγή και συντήρηση σε βασικά μη λειτουργικά λόγω παλαιότητας μέρη της εγκατάστασης, όπως οι καλωδιώσεις μετάδοσης σήματος, τα πυρανόμετρα και η μονάδα καταγραφής. Αφού η εγκατάσταση κατέστη λειτουργική, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση των πυρανομέτρων σε διαφορετικές συνθήκες ηλιοφάνειας. Τέλος, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση της λειτουργίας του σταθμού και προγραμματισμός της ρύθμισης της στεφάνης της διάταξης μέτρησης της διάχυτης ακτινοβολίας. Ειδικότερα, το κεφάλαιο 1 αναφέρεται στα θεωρητικά στοιχεία της μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ γίνεται αναφορά στην αρχή λειτουργίας του πυρανόμετρου. Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται παρουσία του καταγραφικού οργάνου καθώς και του σχετικού λογισμικού που χρησιμοποιείται για την συλλογή των μετρήσεων. Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται όλες οι απαραίτητες εργασίες συντήρησης του πυρανομετρικού σταθμού, η απαιτούμενη συνδεσμολογία καθώς και η διαδικασία βαθμονόμησης των πυρανομέτρων μέσω του λογισμικού. Το κύριο μέρος ολοκληρώνεται με το τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας στο οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων, ενώ η εργασία καταλήγει σε συμπεράσματα με μελλοντικές προτάσεις πάνω στο αντικείμενο.

### Λέξεις κλειδιά

Ακτινομετρικός Σταθμός, Ηλιακή ακτινοβολία, Μέτρηση Άμεσης & Διάχυτης Ακτινοβολίας, Πυρανόμετρα, Καταγραφικά, Βαθμονόμηση οργάνων.

## **Abstract**

This thesis concerns the maintenance and reoperation of the radiometric station of the Laboratory of Mild Energy and Environmental Protection, which aims to measure and record the intensity of solar radiation in different directions, as well as total and diffuse radiation in the horizontal plane. Initially, replacement and/or maintenance was carried out on key non-functional parts of the installation due to age, such as the signal transmission wiring, the pyranometers and the recording unit. Once the installation was operational, a calibration of the pyranometers under different sunshine conditions was performed. Finally, the operation of the station was evaluated and the adjustment of the diffuse radiation measurement device was programmed. In particular, chapter 1 deals with the theoretical elements of solar radiation measurement, and the principle of operation of the pyranometer is mentioned. The second chapter of the paper presents the recording instrument and the related software used to collect the measurements. The third chapter of the thesis presents all the necessary maintenance operations of the pyranometer station, the required wiring as well as the calibration procedure of the pyranometers through the software. The main part concludes with the fourth chapter of the thesis in which the results of the measurements are presented. While the paper concludes with future recommendations on the subject.

## **Key words**

solar radiation, pyranometer, diffuse radiation, stylus 10, software program opton-4

## Πίνακας περιεχομένων

<b>Περίληψη</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>6</b>
<b>Κατάλογος εικόνων</b> .....	<b>8</b>
<b>Κεφάλαιο 1ο. Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
1.1 Γενικά .....	1
1.2 Ακτινομετρικοί σταθμοί.....	2
1.3 Η ηλιακή ακτινοβολία .....	3
1.3.1 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία - Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία .....	4
1.3.2. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (irradiance) .....	4
1.3.3 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας .....	6
1.3.4. Ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας στη Γη.....	10
1.3.5 Οι παράμετροι της ηλιακής ακτινοβολίας.....	10
1.4 Πυρανόμετρα.....	13
1.4.1 Ορισμός και αρχή λειτουργίας .....	13
1.4.2 Κύρια μέρη πυρανόμετρου.....	14
1.4.3 Συλλογή Δεδομένων με τη Χρήση Πυρανομέτρων .....	15
1.4.4 Πυρανόμετρα και Περιβάλλον .....	16
1.4.5 Κλίση στεφάνης σκίασης διάχυτης ακτινοβολίας.....	17
1.4.6 Είδη πυρανόμετρων .....	21
<b>Κεφάλαιο 2. Συσκευές &amp; όργανα - Εξοπλισμός</b> .....	<b>26</b>
2.1 Το καταγραφικό συλλογής δεδομένων <i>Stylitis 10</i> .....	28
2.2 Λογισμικό <i>ortop 4</i> .....	29
<b>Κεφάλαιο 3. Έλεγχος και αποκατάσταση εξοπλισμού και διάταξης.</b> .....	<b>32</b>
3.1 Διαδικασίες συντήρησης και προετοιμασίας.....	32
3.2 Σύνδεση πυρανομετρικού σταθμού .....	35
3.3 Σύνδεση πυρανόμετρου .....	36



3.4 Ρύθμιση παραμέτρων μέσω του λογισμικού ορτον 4 .....	39
<b>Κεφάλαιο 4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....</b>	<b>42</b>
4.1 Βαθμονόμηση πυρανομέτρων εγκατάστασης με πρότυπο .....	43
4.2 Ημερήσια καταγραφή όλων των πυρανομέτρων.....	49
4.3 Μηνιαία καταγραφή δεδομένων .....	52
<b>Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα και μελλοντικές προτάσεις .....</b>	<b>56</b>
<b>Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές .....</b>	<b>58</b>
<b>Παράρτημα .....</b>	<b>60</b>
Παράρτημα 1. Τεχνικά χαρακτηριστικά πυρανομέτρων Kipp & Zonen .....	60
Παράρτημα 2. Βαθμονόμηση καταγραφικού μέσω του λογισμικού ορτον-4.....	63
Παράρτημα 3. Οι συγκριτικές μετρήσεις με το πρότυπο πυρανόμετρο.....	67
<b>Κατάλογος εικόνων</b>	
Εικόνα 1: Η ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΉΛΙΟ ΣΕ ΕΝΑ ΕΤΟΣ (ΠΗΓΗ: ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ, 2015).....	5
Εικόνα 2: ΈΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΟΡΙΟ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ (ΠΗΓΗ: ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ, 2015) .....	6
Εικόνα 3: ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΟ CMP3 ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ KIPP & ZONEN (ΠΗΓΗ: <a href="https://www.kippzonen.com">HTTPS://WWW.KIPPZONEN.COM</a> ) .....	27
Εικόνα 4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ (ΠΗΓΗ: <a href="http://symmetron.gr/gr_index.php?cat1=20">HTTP://SYMMETRON.GR/GR_INDEX.PHP?CAT1=20</a> ) .....	30
Εικόνα 5: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΣΑ ΤΗΣ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΟΡΤΟΝ-4 (ΠΗΓΗ: <a href="http://symmetron.gr/gr_index.php?cat1=20">HTTP://SYMMETRON.GR/GR_INDEX.PHP?CAT1=20</a> ) .....	31
Εικόνα 6: ΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ (ΠΗΓΗ: <a href="http://symmetron.gr/gr_index.php?cat1=20">HTTP://SYMMETRON.GR/GR_INDEX.PHP?CAT1=20</a> ) .....	31
Εικόνα 7: ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ .....	33

Εικόνα 10: ΤΕΛΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΑ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΑ.....	36
Εικόνα 11: ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΣΤΥΛΙΤΗ ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (ΠΗΓΗ: SYMMETRON, 2016) .....	37
Εικόνα 12: ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΣΤΥΛΙΤΗ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (ΠΗΓΗ: SYMMETRON, 2016) .	38
Εικόνα 13: ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ .....	40
Εικόνα 14: ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ 2. ....	41
Εικόνα 15: ΖΩΝΤΑΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ 2-3-4-5 ΣΤΙΣ 15:50 ΣΤΙΣ 30/9/2022 .....	42
Εικόνα 16: ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΟ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΣΤΟΝ ΑΚΤΙΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ .....	45
Εικόνα 17: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΟΥ .....	45
Εικόνα 18: ΚΟΙΝΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ CMP .....	60
Εικόνα 19: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ CMP3 ΚΑΙ CMP6 .....	61
Εικόνα 20: ΚΟΙΝΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ SMP .....	62
Εικόνα 21: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ SMP3 ΚΑΙ SMP6.....	62
Εικόνα 22: ΑΡΧΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	63
Εικόνα 23: ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΟΔΩΝ ΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ 2 ΕΩΣ 6 .....	63
Εικόνα 24: ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ 2 .....	64
Εικόνα 25: ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ 3 .....	64
Εικόνα 26: ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ .....	65
Εικόνα 27: ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	66
Εικόνα 28: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	66

## **Κεφάλαιο 1ο. Εισαγωγή**

### **1.1 Γενικά**

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του ακτινομετρικού σταθμού, ο οποίος είναι μέρος του εξοπλισμού του εργαστηρίου: **Ήπιων μορφών ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος της Σχολής Μηχανικών**. Ειδικότερα, πραγματεύεται την συντήρηση και επαναλειτουργία του εγκατεστημένου ακτινομετρικού σταθμού του εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου. Κύριος στόχος, είναι η μέτρηση και καταγραφή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ανά διεύθυνση, καθώς επίσης και της έντασης της ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο.

Ο σταθμός, αποτελεί προσομοίωση ενός κτιρίου σε υπο-κλίμακα, καθώς διαθέτει πυρανόμετρα σε κάθε προσανατολισμό (ολική – διάχυτη), ώστε να είναι εφικτή η μέτρηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε χρονική στιγμή της ημέρας και του έτους. Η μέτρηση σε όλες τις εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου προσφέρει σημαντικές πληροφορίες που δύναται να υποστηρίξουν μελέτες που αφορούν τον υπολογισμό της απαιτούμενης θερμομόνωσης σε κτίρια, ή μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους κατασκευαστές για την βελτιστοποίηση απόδοσης συστημάτων ψύξης και θέρμανσης.

Ο Ακτινομετρικός σταθμός του εργαστηρίου παρέμενε ανενεργός για αρκετά χρόνια και μέσω της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης, με σκοπό την επαναλειτουργία του. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε αλλαγή ή/και συντήρηση σε βασικά μη λειτουργικά λόγω παλαιότητας τμήματα της εγκατάστασης ( καλωδιώσεις μετάδοσης σήματος, πυρανόμετρα, καταγραφική συσκευή δεδομένων ). Στη συνέχεια , εφόσον η εγκατάσταση κατέστη λειτουργική, με τη βοήθεια ήδη βαθμονομημένου πυρανόμετρου του εργαστηρίου, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση με βάση πλήθος μετρήσεων σε διαφορετικές συνθήκες ηλιοφάνειας. Τέλος, βάσει πραγματικών μετρήσεων σε ημερήσιο, εβδομαδιαίο καθώς και μηνιαίο επίπεδο, διεξήχθη και η τελική αξιολόγηση της λειτουργίας του σταθμού συνδυαστικά με τον προγραμματισμό για ενεργοποίηση της λειτουργικότητας που αφορά τη μέτρηση διάχυτης ακτινοβολίας.

Το εργαστήριο είναι οργανωμένο σύμφωνα με τα πρότυπα EN 45000 και έχει εκπονήσει ένα εγχειρίδιο ποιότητας, το οποίο έχει εγκριθεί από το Διοικητικό Συμβούλιο της ΕΑΑ. Οι βαθμονομήσεις πραγματοποιούνται σύμφωνα με τα πρότυπα ISO.

## **1.2 Ακτινομετρικοί σταθμοί**

Ο ακτινομετρικός σταθμός είναι μια εξειδικευμένη εγκατάσταση που έχει σχεδιαστεί για τη μέτρηση και την παρακολούθηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε διάφορες περιοχές μήκους κύματος, όπως το ορατό φως, το υπέρυθρο και το υπεριώδες. Οι σταθμοί αυτοί είναι συνήθως εξοπλισμένοι με ακτινομετρίτες ή άλλα ευαίσθητα όργανα που καταγράφουν δεδομένα σχετικά με την ένταση και τη διακύμανση της ακτινοβολίας στο περιβάλλον. Η πρωταρχική εστίαση είναι συχνά στην ηλιακή ακτινοβολία, αλλά μπορούν επίσης να μετρούν τη γήινη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και την κοσμική ακτινοβολία από το διάστημα.

Τα δεδομένα που συλλέγονται από ακτινομετρικούς σταθμούς εξυπηρετούν πολλαπλούς σημαντικούς σκοπούς. Στον τομέα της ηλιακής ενέργειας, οι ακτινομετρικοί σταθμοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της Γης σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Τα δεδομένα αυτά είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων παραγωγής ηλιακής ενέργειας, τη βελτιστοποίηση της τοποθέτησης των ηλιακών συλλεκτών και τη βελτίωση των ενεργειακών προβλέψεων για έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Πέρα από τις ενεργειακές εφαρμογές, οι ακτινομετρικοί σταθμοί είναι επίσης αναπόσπαστο μέρος της κλιματολογίας και της μετεωρολογίας. Παρακολουθώντας τα επίπεδα ακτινοβολίας, οι σταθμοί αυτοί βοηθούν τους επιστήμονες να παρακολουθούν τις αλλαγές στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, τη νεφοκάλυψη και την κατανομή του ηλιακού φωτός. Οι πληροφορίες αυτές είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση των μοντέλων πρόγνωσης καιρού και την κατανόηση των μακροπρόθεσμων κλιματικών αλλαγών, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη και οι αλλαγές στα εποχιακά πρότυπα. Επιπλέον, στη γεωργία, τα ακτινομετρικά δεδομένα βοηθούν τους αγρότες να βελτιστοποιήσουν τη διαχείριση των καλλιεργειών, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την έκθεση στο φως, η οποία είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη και την ανάπτυξη των φυτών.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι ο πρώτος ακτινομετρικός σταθμός ιδρύθηκε το 1953 στο Θησείο, καθιστώντας τον τον παλαιότερο σταθμό στην Ελλάδα. Είναι ταξινομημένος ως αστικός σταθμός λόγω της λειτουργίας του εντός της πόλης των Αθηνών. Ο σταθμός διεξάγει διάφορες δραστηριότητες που σχετίζονται με τη μέτρηση παραμέτρων ηλιακής

ακτινοβολίας, συμπεριλαμβανομένων συνολικών και διάχυτων στοιχείων σε οριζόντιες επιφάνειες και επιλεγμένες κλίσεις και προσανατολισμούς, υπεριώδη ακτινοβολία, επίγεια ακτινοβολία, φυσικό φωτισμό (τόσο ολικό όσο και διάχυτο σε οριζόντια επιφάνεια) και ατμοσφαιρικές ιδιότητες (όπως η ατμοσφαιρική ομίχλη και τα αερολύματα). Επιπρόσθετα, αυτόματος ακτινομετρικός σταθμός λειτουργεί στην Πεντέλη, όπου έχει τις κύριες εγκαταστάσεις της η ΙΕΠΒΑ. Οι σταθμοί αυτοί είναι εξοπλισμένοι με σύγχρονη τεχνολογία και χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των χαρακτηριστικών της ηλιακής και της επίγεια ακτινοβολίας, υποστηρίζονται από προγράμματα ανάλυσης δεδομένων και καταγραφής. Συμμορφώνονται με τα διεθνή πρότυπα και τις επιστημονικές διαδικασίες για τη συντήρηση και τη βαθμονόμηση του εξοπλισμού.

Μια μερική άποψη του ASEAA περιλαμβάνει όργανα για τη μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, του ολικού φωτισμού, της υπέρυθρης και της υπεριώδους ακτινοβολίας. Στον ακτινομετρικό σταθμό στο Θησείο λειτουργεί ακτινομετρική πλατφόρμα μέτρησης των φασματικών χαρακτηριστικών της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή η πλατφόρμα διαθέτει ένα φασματοφωτόμετρο τύπου PSR ικανό να μετρήσει συνολική και άμεση ηλιακή ακτινοβολία από 300 έως 1020 nm με ανάλυση περίπου 0,7 nm. Οι μετρήσεις συνοδεύονται από πιστοποιητικό απόλυτης βαθμονόμησης από το Παγκόσμιο Κέντρο Ακτινοβολίας. Επιπλέον, ο σταθμός είναι εξοπλισμένος με ένα φασματοφωτόμετρο τύπου Pandora 15 που μπορεί να μετρήσει την άμεση ακτινοβολία στις υπεριώδεις και ορατές περιοχές του ηλιακού φάσματος.

Ο ακτινομετρικός σταθμός Θησείου στεγάζει επίσης ένα εργαστήριο αφιερωμένο στη βαθμονόμηση μετεωρολογικών και ακτινομετρικών οργάνων. Αυτό το εργαστήριο μπορεί να βαθμονομήσει διάφορα όργανα, όπως υδράργυρα και ηλεκτρονικά θερμομέτρα, θερμογράφους, υγρόμετρα, πυρανόμετρα, πυροδιόμετρα, ανεμόμετρα θερμού σύρματος, φωτόμετρα και βροχόμετρα. Η συλλογή και η επεξεργασία δεδομένων πραγματοποιείται με συστήματα υψηλής ακρίβειας με τη βοήθεια υπολογιστών.

### **1.3 Η ηλιακή ακτινοβολία**

Η ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται ως η ενέργεια που λαμβάνει η Γη από τον Ήλιο, τον αστέρα του ηλιακού μας συστήματος. Στη Γη ωστόσο, φτάνουν μόνο 2 δισεκατομμυριοστά από την ενέργεια που εκπέμπει ο Ήλιος, ενώ από αυτή την ποσότητα, εξαιτίας απωλειών κατά τη διέλευση από όλα τα στρώματα της γήινης ατμόσφαιρας φτάνει αρκετά μικρότερη ποσότητα στην επιφάνεια της Γης.

Παρακάτω, περιγράφονται και αναλυτικά οι διακριτές εκφάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης. (Iqbal 2012)

### ***1.3.1 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία - Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία***

Ως **άμεση ηλιακή ακτινοβολία** ορίζεται η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης από τις ηλιακές ακτίνες και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών σε σχέση με την κάθετη ευθεία στη συγκεκριμένη θέση. Αντίθετα, ως **διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία** ορίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που διαχέεται από την ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας ονομάζεται **ολική ηλιακή ακτινοβολία** και υπολογίζεται με ακτινόμετρα, όπως το πυρανόμετρο (Μονάδα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι  $\frac{1W}{m^2}$ ).

Μάλιστα, όπως αναφέρεται και από τον Καββαδία : *Υπό την προϋπόθεση ότι οι καιρικές συνθήκες είναι ιδανικές και ο ουρανός είναι καθαρός χωρίς νεφώσεις περίπου το 80% της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης είναι άμεση (Καββαδίας, 2015).*

Τέλος, μια άλλη έννοια που συνδέεται άμεσα με την ηλιακή ακτινοβολία είναι η ηλιακή σταθερά. Η τελευταία, ορίζεται ως το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει κάθετα προς μονάδα επιφάνειας που είναι τοποθετημένη στο ανώτερο όριο της ατμόσφαιρας ανά μονάδα χρόνου, όταν η θέση της Γης βρίσκεται στη μέση απόσταση Ήλιος-Γη και η μονάδα της ισούται με  $1.367\frac{W}{m^2}$ . (Jeter 1981)

### ***1.3.2. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (irradiance)***

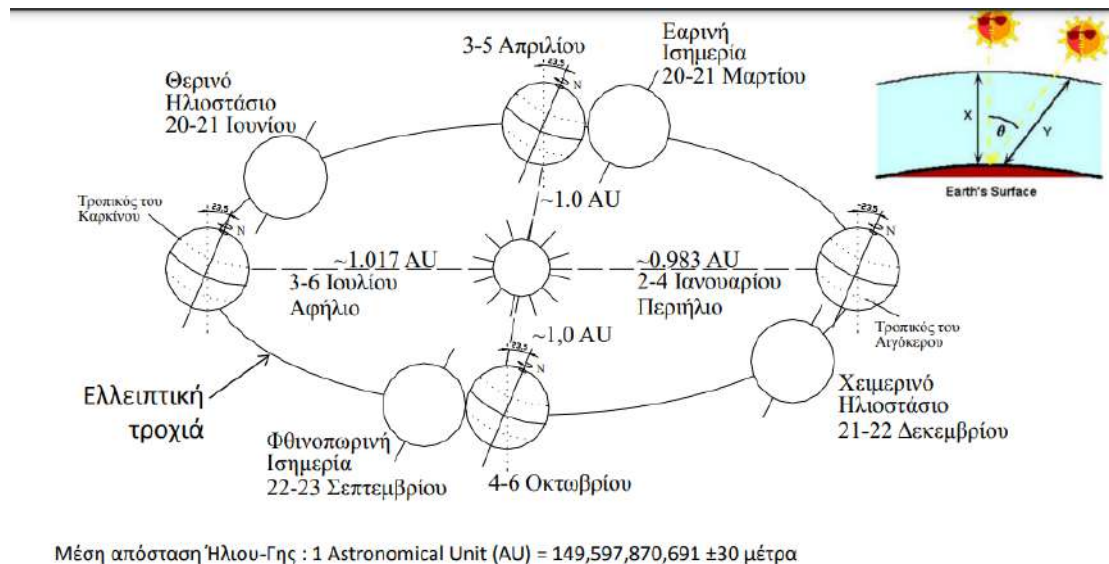
Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια της γης εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Από την εκάστοτε απόσταση ηλίου-γης.
- Από το ύψος του ηλίου πάνω από τον ορίζοντα του τόπου
- Από την εκάστοτε διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα.

Το ποσό της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που είναι δυνατό να φτάσει τις επιφάνειες ενός πυρανόμετρου εξαρτάται άμεσα από τις καιρικές συνθήκες και πιο συγκεκριμένα από τις

νεφώσεις. Είναι σημαντικό, μάλιστα, να τονιστεί πως σε μικρότερο βαθμό επηρεάζεται η διάχυτη ακτινοβολία, κυρίως λόγω της έκτασης των νεφώσεων.

Προκειμένου να αποσαφηνιστεί περισσότερο η έννοια της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδυαστικά με την απόσταση της γης από τον ήλιο, έχει χρησιμοποιηθεί η παρακάτω εικόνα, όπου παρουσιάζεται η απόσταση της Γης από τον Ήλιο κατά την περιστροφή της γύρω από αυτόν σε ένα έτος.



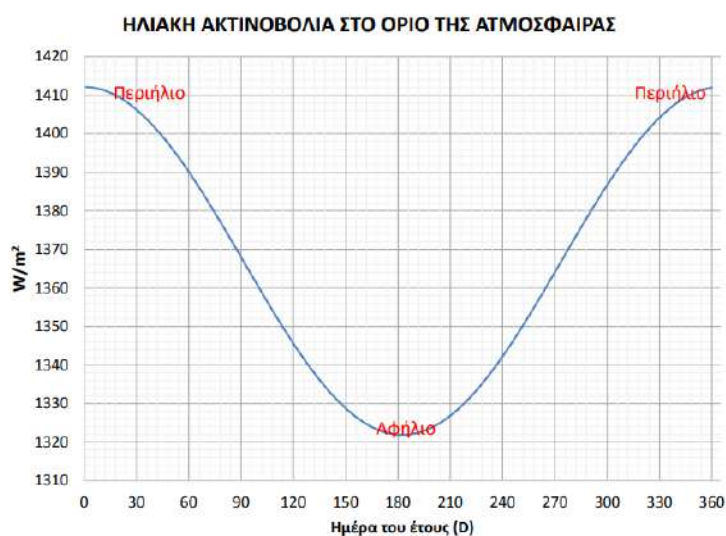
**ΕΙΚΟΝΑ 1: Η ΜΕΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΉΛΙΟ ΣΕ ΕΝΑ ΕΤΟΣ (ΠΗΓΗ: ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ, 2015)**

Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης κυμαίνονται από  $1.322 \frac{W}{m^2}$  έως  $1.415 \frac{W}{m^2}$  όπου οι υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν στο περιήλιο<sup>1</sup> και οι χαμηλότερες στο αφήλιο<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Περιήλιο=το σημείο της τροχιάς όπου η απόσταση από τον Ήλιο είναι ελάχιστη

<sup>2</sup>Αφήλιο=το σημείο της τροχιάς όπου η απόσταση από τον Ήλιο είναι μέγιστη

Στην εικόνα 2 που ακολουθεί παρουσιάζεται το διάγραμμα της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ανά ημέρα του έτους.



12

**ΕΙΚΟΝΑ 2: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στο όριο της ατμόσφαιρας σε συνάρτηση με την ημέρα του έτους (πηγή: ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ, 2015)**

### 1.3.3 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας

**Ολική ηλιακή ακτινοβολία = Άμεση ηλ. ακτινοβολία + Διάχυτη ηλ. ακτινοβολία**

#### Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία

Η μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας πυρανόμετρο.

Για να γίνει μια αξιόπιστη μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες, όπως η θέση, η ώρα της ημέρας, η εποχή του χρόνου και οι καιρικές συνθήκες. Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και να λαμβάνονται υπόψη οι διακυμάνσεις στην ακτινοβολία λόγω του ορίου του ορίζοντα, της ατμοσφαιρικής διασποράς και άλλων παραγόντων (Sabbagh, Sayigh, and El-Salam 1977).



Η μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντική για πολλούς τομείς, όπως η φωτοβολταϊκή ενέργεια, οι μετεωρολογικές μελέτες, η κλιματική έρευνα και η γεωργία, καθώς και για την αξιολόγηση του δυναμικού για εναλλακτικές πηγές ενέργειας.

Για τον υπολογισμό των μετρήσεων της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, συνήθως χρησιμοποιείται ο εξής τύπος:

$$I = Id + Ir$$

Όπου:

- $I$  είναι η μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας.
- $Id$  είναι η μέτρηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.
- $Ir$  είναι η μέτρηση της διαχυτικής ηλιακής ακτινοβολίας.

Αυτός ο τύπος υπολογίζει τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει σε μια επιφάνεια, λαμβάνοντας υπόψη την άμεση ακτινοβολία και τη διάχυτη ακτινοβολία

### Άμεση Ηλιακή Ακτινοβολία

Η μέτρηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να γίνει με τη χρήση πυρανομέτρων που καταγράφουν την ενέργεια που λαμβάνεται από τον ήλιο χωρίς καμία διάχυση ή ανάκλαση. Αυτές οι μετρήσεις είναι συνήθως πιο ακριβείς και αντικατοπτρίζουν την πραγματική ενέργεια που φτάνει σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια από τον ήλιο.

Οι αισθητήρες αυτοί είναι ευαίσθητοι σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας, συνήθως στο ορατό και το υπέρυθρο φάσμα.

Για πιο ακριβείς μετρήσεις, ο αισθητήρας τοποθετείται σε μια σταθερή θέση και καταγράφει την ενέργεια που λαμβάνεται από τον ήλιο σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, ώστε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί ανάλυση των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια μιας ημέρας ή μιας περιόδου.

Οι μετρήσεις της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντικές για πολλούς τομείς, όπως η ενέργεια, η μετεωρολογία, η αειφορία και η αστρονομία.

Για τον υπολογισμό των μετρήσεων της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ακόλουθος τύπος:

$$I = I_0 \cdot \cos(\theta)$$

Όπου:

- $I$  είναι η μέτρηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.
- $I_0$  είναι η μέγιστη ακτινοβολία που θα λάβει μια επιφάνεια κάθετα στον ήλιο (συνήθως λαμβάνεται από προδιαγραφές ή χαρτογραφήσεις).
- $\theta$  είναι ο γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της κατακόρυφης επιφάνειας που μετράει την ακτινοβολία και της κατεύθυνσης του ήλιου.

Ο υπολογισμός αυτός λαμβάνει υπόψη την αλλαγή της ακτινοβολίας ανάλογα με τη γωνία που έχει ο ήλιος σε σχέση με την επιφάνεια που γίνεται η μέτρηση. Εάν η επιφάνεια είναι κάθετη στον ήλιο, η ακτινοβολία θα είναι μέγιστη ( $I=I_0 \cdot \cos(0)=I_0$ ). Όταν η γωνία γίνεται μικρότερη (όταν ο ήλιος δύει ή ανατέλλει, για παράδειγμα), η ακτινοβολία μειώνεται αναλογικά.

### Διάχυτη Ηλιακή Ακτινοβολία

Η μέτρηση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια διαδικασία που αφορά την καταγραφή της ενέργειας που φτάνει σε μια επιφάνεια μετά τη διάχυση και την ανάκλαση του φωτός από τον ήλιο στην ατμόσφαιρα της Γης.

Για τη μέτρηση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας, χρησιμοποιούνται πυρανόμετρα.

Η μέτρηση αυτή γίνεται με τη βοήθεια δακτυλίου σκίασης που προσαρμόζεται στο πυρανόμετρο. Ο δακτύλιος λόγω του ειδικού προφίλ που έχει, παρέχει σχεδόν σταθερή γωνία θέασης κατά τη διάρκεια του έτους και εγγυάται τη σταθερή στήριξη ακόμα και σε δυνατούς ανέμους. Ο σκοπός του δακτυλίου σκίασης είναι να «κόψει» την άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας χωρίς επαναρύθμιση.

Κατά συνέπεια θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω απαιτήσεις:

I. Ο άξονας συμμετρίας του δακτυλίου σκίασης, θα πρέπει να είναι παράλληλος με τον πολικό άξονα.

II. Ο δακτύλιος σκίασης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να ολισθαίνει κατά μήκος του άξονα συμμετρίας ακολουθώντας την κλίση του ηλίου.

III. Το πυρανόμετρο θα πρέπει να τοποθετείται με το κέντρο του αισθητηρίου του επί του άξονα συμμετρίας του δακτυλίου.

Κατά τη μέτρηση, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες όπως η γωνία του ηλίου, οι καιρικές συνθήκες και η ατμοσφαιρική διασπορά, καθώς αυτοί επηρεάζουν το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια.

Η μέτρηση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντική για την κατανόηση του επιπέδου της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει σε συγκεκριμένες περιοχές και χρονικές στιγμές, καθώς και για την αξιολόγηση της δυνατότητας χρήσης της ηλιακής ενέργειας και την κατασκευή εναλλακτικών ενεργειακών συστημάτων.

Ο υπολογισμός των μετρήσεων της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να γίνει με βάση την εξίσωση του διαχυτικού νόμου του Lambert-Beer. Αυτή η εξίσωση περιγράφει τη μείωση της ενέργειας της ακτινοβολίας καθώς διασχίζει ένα διαφανές μέσο, όπως η ατμόσφαιρα της Γης.

Η εξίσωση Lambert-Beer έχει την ακόλουθη μορφή:

$$I=I_0 \cdot e^{-kx}$$

Όπου:

-  $I$  είναι η μέτρηση της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.

-  $I_0$  είναι η αρχική ηλιακή ακτινοβολία.

-  $k$  είναι ο συντελεστής απορρόφησης, ο οποίος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του μέσου διάχυσης και τη μήκος του διαύλου.

-  $x$  είναι η απόσταση που διασχίζεται από την ακτινοβολία.

Εξηγεί πώς η ενέργεια της ακτινοβολίας μειώνεται εκθετικά καθώς διασχίζει την ατμόσφαιρα.

Ο συντελεστής απορρόφησης  $k$  εξαρτάται από τη σύνθεση της ατμόσφαιρας και την μήκος του διαύλου, με μικρότερες τιμές του  $k$  να υποδεικνύουν μεγαλύτερη διαφάνεια της ατμόσφαιρας.

### 1.3.4. Ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας στη Γη

Η Γη δέχεται 174 petawatt (PW) εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιοφάνεια) στην ανώτερη ατμόσφαιρα.[4] Περίπου το 30% αντανακλάται πίσω στο διάστημα, ενώ το υπόλοιπο, 122 PW, απορροφάται από τα σύννεφα, τους ωκεανούς και τις χερσαίες μάζες. Το φάσμα του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια της Γης είναι ως επί το πλείστον διασκορπισμένο στο ορατό και το εγγύς υπέρυθρο φάσμα με ένα μικρό μέρος στο σχεδόν υπεριώδες. Το μεγαλύτερο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε περιοχές με επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας 150-300 watt/m<sup>2</sup>, ή 3,5-7,0 kWh/m<sup>2</sup> την ημέρα. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από την επιφάνεια της γης, τους ωκεανούς -που καλύπτουν περίπου το 71% του πλανήτη - και την ατμόσφαιρα. Ο θερμός αέρας που περιέχει το εξατμισμένο νερό από τους ωκεανούς ανεβαίνει, προκαλώντας ατμοσφαιρική κυκλοφορία ή μεταφορά. Όταν ο αέρας φτάσει σε μεγάλο υψόμετρο, όπου η θερμοκρασία είναι χαμηλή, οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σε σύννεφα, τα οποία μετατρέπονται σε βροχή στην επιφάνεια της Γης, ολοκληρώνοντας τον κύκλο του νερού. Η λανθάνουσα θερμότητα της συμπύκνωσης του νερού ενισχύει τη μεταφορά, παράγοντας ατμοσφαιρικά φαινόμενα όπως άνεμος, κυκλώνες και αντικυκλώνες. Το ηλιακό φως που απορροφάται από τους ωκεανούς και τις χερσαίες μάζες διατηρεί την επιφάνεια σε μέση θερμοκρασία 14 °C (Wald 2021).

### 1.3.5 Οι παράμετροι της ηλιακής ακτινοβολίας

Οι παράμετροι της ηλιακής ακτινοβολίας αναφέρονται σε διάφορα χαρακτηριστικά και παράγοντες που περιγράφουν τη φύση και τη διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Αυτοί οι παράγοντες είναι κρίσιμοι για την κατανόηση και την αξιολόγηση της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορες εφαρμογές. Οι σημαντικότεροι παράγοντες περιλαμβάνουν:

- **Ηλιοφάνεια:** Η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει σε μια συγκεκριμένη περιοχή κατά μονάδα επιφάνειας και χρόνου, συνήθως μετριέται σε ισχύ (Watt ανά τετραγωνικό μέτρο) ή άλλες μονάδες ενέργειας.

- **Διανομή Ηλιακής Ακτινοβολίας:** Περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο η ηλιακή ακτινοβολία κατανέμεται χωρικά και χρονικά στην επιφάνεια της Γης. Περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τον γωνιακό παράγοντα, τον ηλιακό ύψος, και την εποχή του χρόνου.
- **Τύπος Ακτινοβολίας:** Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από διάφορες κατηγορίες ακτινοβολίας, όπως η ορατή φωτεινότητα, η υπέρυθη ακτινοβολία, και η υπεριώδης ακτινοβολία. Οι διαφορετικοί τύποι έχουν διάφορες εφαρμογές και επιδράσεις.
- **Ηλιακή Συνέπεια:** Περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο η ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από την γεωγραφική τοποθεσία, την εποχή, και τις καιρικές συνθήκες. Αυτή η μεταβαλλόμενη ποσότητα είναι σημαντική για τη σχεδίαση και την απόδοση ηλιακών ενεργειακών συστημάτων. Η "ηλιακή συνέπεια" αναφέρεται στο φαινόμενο όπου η διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης είναι επηρεασμένη από διάφορους παράγοντες, όπως η γεωγραφική τοποθεσία, η εποχή του χρόνου και οι καιρικές συνθήκες. Σε άλλες λέξεις, η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι σταθερή, αλλά διαφοροποιείται με βάση τον χώρο και τον χρόνο (Karaman, Tanyildizi Ağır, and Arsel 2021).

### 1.3.6 Μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας

#### Όργανα μέτρησης

Η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ζωτικής σημασίας για διάφορες εφαρμογές, ιδίως στον τομέα της ηλιακής ενέργειας. Διάφορες συσκευές χρησιμοποιούνται συνήθως για την ποσοτικοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ακολουθούν ορισμένες από τις κύριες συσκευές:

**Πυρανόμετρο:** Αυτή είναι η πιο κοινή συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της παγκόσμιας ηλιακής ακτινοβολίας. Μετρά τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία σε ένα ευρύ φασματικό εύρος, συμπεριλαμβανομένης της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.

**Πυρηλιόμετρο:** Ειδικά σχεδιασμένο για τη μέτρηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, ένα πυρηλιόμετρο είναι στραμμένο απευθείας στον ήλιο για να ποσοτικοποιήσει την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης χωρίς σκέδαση.

**Πυρηλιόμετρο:** Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος και βοηθά στον προσδιορισμό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα.

**Ηλιακός ιχνηλάτης:** Οι ηλιακοί ιχνηλάτες είναι μηχανικές συσκευές που προσανατολίζουν τους ηλιακούς συλλέκτες, τα κάτοπτρα ή άλλες συσκευές συλλογής ηλιακής ενέργειας προς τον ήλιο. Αν και δεν αποτελούν συσκευή άμεσης μέτρησης της ακτινοβολίας, οι ηλιακοί ανιχνευτές διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στη βελτιστοποίηση της συλλογής ηλιακής ενέργειας.

**Ηλιακό ραδιόμετρο:** Αυτή η συσκευή μετρά την ηλιακή ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος και χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές ατμοσφαιρικής έρευνας και τηλεπισκόπησης.

**Ηλιακόμετρο:** Παρόμοια με το πυρανόμετρο, το ηλιακόμετρο μετρά την ηλιακή ακτινοβολία, αλλά μπορεί να διαθέτει πρόσθετα χαρακτηριστικά για συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως η μέτρηση της ηλιακής ενέργειας για την ανάπτυξη των φυτών.

**Κβαντικός αισθητήρας:** Χρησιμοποιούνται στη βιολογία των φυτών και τη γεωργία, οι κβαντικοί αισθητήρες μετρούν τη φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία (PAR), η οποία αντιπροσωπεύει το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιούν τα φυτά για τη φωτοσύνθεση.

Οι συσκευές αυτές είναι απαραίτητες για την κατανόηση της διαθεσιμότητας και των χαρακτηριστικών της ηλιακής ακτινοβολίας, βοηθώντας στο σχεδιασμό, τη βελτιστοποίηση και την παρακολούθηση των συστημάτων ηλιακής ενέργειας. Η επιλογή της συσκευής εξαρτάται από τις συγκεκριμένες παραμέτρους και τα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας που πρέπει να μετρηθούν για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

### **Ολική, άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία**

Η μέτρηση της ολικής, άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της κατανομής της ηλιακής ενέργειας και των αλληλεπιδράσεών της με τη γήινη ατμόσφαιρα. Οι μετρήσεις αυτές βοηθούν σε διάφορες εφαρμογές, από τις κλιματικές μελέτες έως τη βελτιστοποίηση των συστημάτων ηλιακής ενέργειας. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία αναφέρεται στο άθροισμα της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει σε μια επιφάνεια, η οποία περιλαμβάνει τόσο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (το τμήμα του ηλιακού φωτός που ταξιδεύει σε ευθεία πορεία από τον ήλιο) όσο και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (ηλιακή ακτινοβολία που έχει σκεδαστεί από μόρια και σωματίδια στην ατμόσφαιρα). Η κατανόηση της ισορροπίας μεταξύ αυτών των συνιστωσών είναι σημαντική για τη μοντελοποίηση της ποσότητας της ηλιακής ενέργειας που είναι διαθέσιμη για διαδικασίες όπως η παραγωγή ηλιακής ενέργειας, η φωτοσύνθεση και η θέρμανση.

Για τη μέτρηση της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται συνήθως όργανα που ονομάζονται πυρανόμετρα. Ένα πυρανόμετρο είναι εξοπλισμένο με έναν ημισφαιρικό αισθητήρα που συλλαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία από όλες τις κατευθύνσεις. Το όργανο αυτό μετρά τη συνολική εισερχόμενη ακτινοβολία, συμπεριλαμβανομένων τόσο των άμεσων ακτίνων από τον ήλιο όσο και της διάχυτης διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό. Για μια πιο λεπτομερή ανάλυση των συνιστωσών της ακτινοβολίας, χρησιμοποιείται μια πρόσθετη συσκευή γνωστή ως πυρηλιόμετρο για τη μέτρηση μόνο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Το πυρηλιόμετρο είναι εφοδιασμένο με στενό οπτικό πεδίο και παρακολουθεί τον ήλιο, επιτρέποντάς του να απομονώνει και να καταγράφει την ηλιακή ακτινοβολία που ταξιδεύει απευθείας από τον ήλιο χωρίς διασπορά.

Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία προσδιορίζεται στη συνέχεια έμμεσα με την αφαίρεση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (που μετράται από το πυρηλιόμετρο) από τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία (που μετράται από το πυρανόμετρο). Σε ορισμένες διατάξεις, χρησιμοποιείται μια διάταξη σκίασης που εμποδίζει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία να φθάσει στο πυρανόμετρο, επιτρέποντας στο όργανο να μετρά μόνο τη διάχυτη συνιστώσα. Αυτός ο διαχωρισμός των μετρήσεων είναι σημαντικός για εφαρμογές όπως ο σχεδιασμός της ηλιακής ενέργειας, όπου η κατανόηση της κατανομής του άμεσου και του διάχυτου φωτός βοηθά στη βελτιστοποίηση της τοποθέτησης και του προσανατολισμού των ηλιακών συλλεκτών, οι οποίοι αποδίδουν διαφορετικά ανάλογα με την έκθεσή τους στο άμεσο ηλιακό φως σε σχέση με τη διάχυτη ακτινοβολία του ουρανού. Επιπλέον, οι μετρήσεις αυτές είναι κρίσιμες στην κλιματολογία, καθώς βοηθούν τους επιστήμονες να κατανοήσουν πώς τα σύννεφα, τα αερολύματα και άλλες ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη σκέδαση και την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

## **1.4 Πυρανόμετρα**

### ***1.4.1 Ορισμός και αρχή λειτουργίας***

Ετυμολογικά η λέξη πυρανόμετρο, αποτελείται από τα συνθετικά: πυρ (φωτιά), άνω και μέτρο. Τα πυρανόμετρα είναι αξιόπιστα όργανα για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια. Οι βασικές εφαρμογές του είναι στις επιστήμες της φυσικής, της μετεωρολογίας και της κλιματολογίας. Ο αισθητήρας του πυρανόμετρου είναι μια θερμοστήλη. Το πυρανόμετρο λειτουργεί με βάση το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, ενώ η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Το πυρανόμετρο μετρά τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο διαφορετικών

επιφανειών: μιας σκοτεινής και μιας λευκής. Η σκοτεινή επιφάνεια απορροφά μεγαλύτερο ποσό θερμότητας, ενώ η λευκή επιφάνεια έχει την τάση να αντανακλά μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, όποτε εν τέλει απορροφά μικρότερο ποσό θερμότητας. Η θερμοστήλη του πυρανόμετρου μετρά την διαφορά θερμοκρασίας των δύο επιφανειών και την διαφορά δυναμικού που δημιουργείται σε αυτή (Dantas et al. 2022).

#### 1.4.2 Κύρια μέρη πυρανόμετρου

Τα κύρια μέρη ενός πυρανόμετρου είναι:

- **Θερμοσύλη**

Αποτελεί το σημαντικότερο μέρος του πυρανόμετρου και αποτελείται από ένα ζεύγος δύο διαφορετικών αγωγίμων υλικών, η διαφορά θερμοκρασία αυτών των δύο υλικών παράγει μια τάση και είναι αποτέλεσμα του θερμοηλεκτρικού φαινομένου, που εκφράζεται από τους διαφορετικούς συντελεστές Seebeck των δύο υλικών. Το «κρύο» υλικό της θερμοστήλης είναι προσαρτημένο στον αισθητήρα του οργάνου ενώ το «ζεστό» υλικό που αποτελεί τον αισθητήρα επιφανείας επικαλύπτεται από σκούρο μαύρο υλικό επικάλυψης που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του. Το «κρύο» υλικό διατηρείται σε θερμοκρασία δωματίου μέσω της σύνδεσης με το σώμα του αισθητήρα, ενώ αυτή η διαφορά θερμοκρασίας παράγει το ηλεκτρικό δυναμικό.

Παρακάτω, ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση του φαινομένου Seebeck:

Ο Thomas Seebeck το 1821 ανακάλυψε το εξής: «Ένα κλειστό κύκλωμα από δύο ανόμοια μέταλλα, οι ενώσεις των οποίων βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες απωθεί έναν μαγνήτη. Άρα στον μαγνήτη ασκείται δύναμη που είναι αποτέλεσμα της ροής ρεύματος στο κύκλωμα. Το συμπέρασμα είναι πως η διαφορά θερμοκρασίας δημιουργεί διαφορά δυναμικού, η οποία προκαλεί την ροή ρεύματος σε κλειστό κύκλωμα». Μέσα από την πειραματική διαδικασία προέκυψε πως η διαφορά δυναμικού που δημιουργείται είναι ανάλογη της διαφοράς θερμοκρασίας των δύο ενώσεων. Το δυναμικό που δημιουργείται ονομάζεται δυναμικό Seebeck και δεν εξαρτάται από την κατανομή θερμοκρασίας κατά μήκος των μεταλλικών αγωγών.

Η σταθερά αναλογίας ονομάζεται συντελεστής Seebeck (S) και προκύπτει από τη διαφορά των αντίστοιχων απόλυτων συντελεστών κάθε υλικού (Τρικαλίτης, 2006),

$$\Delta V = S\Delta T$$

- **Γυάλινος θόλος**



Ο γυάλινος θόλος χρησιμοποιείται πρωταρχικά για τη θερμική μόνωση των αισθητήρων και την αντιμετώπιση του φαινομένου της συναγωγής, ώστε να ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα μετρήσεων. Η θερμική συναγωγή είναι ένας τρόπος διάδοσης της θερμότητας μεταξύ ενός στερεού και ενός ρευστού σώματος εξαιτίας διαφοράς θερμοκρασίας. Επιπλέον η χρήση του γυάλινου θόλου είναι σημαντική για την προστασία του οργάνου και των αισθητήρων από ριπές αέρα και σωματιδιακούς ρύπους. Επίσης, είναι απαραίτητος για το φιλτράρισμα απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να προσδιορίζεται η φασματική απόκριση της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο εσωτερικό της διάταξης. Ο γυάλινος θόλος περιορίζει την απόκριση από 300nm έως 2.800nm.

- **Δίσκος απόκρυψης**

Ο δίσκος απόκρυψης χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της διάχυτης ακτινοβολίας, έχει το σχήμα ενός δαχτυλιδιού και είναι τοποθετημένο στη διεύθυνση του Ήλιου για όλο το γεωγραφικό πλάτος ώστε να σκιάζεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας ο γυάλινος θόλος.

### *1.4.3 Συλλογή Δεδομένων με τη Χρήση Πυρανομέτρων*

Τα πυρανόμετρα αποτελούν συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στο εξωτερικό περιβάλλον του κτιρίου. Τα δεδομένα αυτά είναι κρίσιμα για την κατανόηση του βαθμού επηρεασμού της θερμοκρασίας εντός του κτιρίου, από την ηλιακή ακτινοβολία (Azouzoute et al. 2019).

Ειδικότερα , παρατίθενται ορισμένες εφαρμογές των πυρανομέτρων:

- **Παρακολούθηση του Φωτισμού και της Θερμοκρασίας:** Τα πυρανόμετρα μπορούν να παρακολουθούν τις αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία και τη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτές οι πληροφορίες είναι σημαντικές για τον προγραμματισμό των συστημάτων φωτισμού, κλιματισμού και θέρμανσης του κτιρίου.
- **Βελτιστοποίηση του Φωτισμού:** Με την ανάλυση των δεδομένων από τα πυρανόμετρα, μπορεί να γίνει η αυτόματη ρύθμιση του φωτισμού στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτό σημαίνει ότι τα φώτα μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε να μειώνεται η χρήση του ηλεκτρικού φωτισμού τις ηλιόλουστες ημέρες.

- **Ρύθμιση του Κλιματισμού:** Τα πυρανόμετρα, μπορούν να συνδεθούν με τα συστήματα κλιματισμού του κτιρίου, επιτρέποντας την αυτόματη ρύθμιση της θερμοκρασίας ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία και τις εξωτερικές συνθήκες. Αυτό βοηθά στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση του κόστους.
- **Ανάλυση Δεδομένων για Βελτιστοποίηση:** Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα πυρανόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου και την εύρεση τρόπων για τη βελτίωσή της. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την εφαρμογή βέλτιστων πρακτικών διαχείρισης ενέργειας.
- **Συμβολή στην Βιωσιμότητα:** Η αυτόματη διαχείριση της ενέργειας με τη χρήση πυρανομέτρων συμβάλλει στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων και, ως εκ τούτου, στην προστασία του περιβάλλοντος μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

#### *1.4.4 Πυρανόμετρα και Περιβάλλον*

Εξίσου σημαντική και άξια αναφοράς είναι και η συμβολή των πυρανομέτρων σε θέματα που αφορούν το περιβάλλον. Παρακάτω, μάλιστα παρατίθενται κάποια αξιοσημείωτα σημεία εφαρμογής:

- **Διαχείριση των υδάτινων πόρων:** Τα πυρανόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας των υδάτων, όπως ποτάμια, λίμνες και υδάτινα αποθέματα. Η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων μπορεί να επηρεάσει την οικολογία των υδάτινων οικοσυστημάτων και να οδηγήσει σε προβλήματα όπως η ξηρασία και η εξάντληση των υδάτινων πόρων. Η συνεχής παρακολούθηση της θερμοκρασίας των υδάτων μπορεί να βοηθήσει στη λήψη μέτρων για τη [διατήρηση και την αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων](#).
- **Παρακολούθηση του κλίματος:** Τα πυρανόμετρα χρησιμοποιούνται επίσης για την παρακολούθηση των κλιματικών συνθηκών. Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση των μοτίβων της ηλιακής ενέργειας και της θερμοκρασίας σε διάφορες περιοχές. Αυτές οι πληροφορίες είναι χρήσιμες για την παρακολούθηση των

αλλαγών στο κλίμα και την ανάπτυξη προληπτικών μέτρων για την προσαρμογή σε αυτές τις αλλαγές.

- **Ενεργειακή απόδοση:** Στον τομέα της ενέργειας, τα πυρανόμετρα χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ηλιακής απόδοσης σε φωτοβολταϊκά συστήματα. Καθορίζουν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στα φωτοβολταϊκά κύτταρα, βοηθώντας στην αξιολόγηση της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας των φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- **Αγροτική χρήση:** Στη γεωργία, τα πυρανόμετρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στα αγροκτήματα. Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να βοηθήσουν τους αγρότες να προσαρμόσουν τις πρακτικές τους για καλύτερη απόδοση των καλλιεργειών.
- **Περιβαλλοντικές έρευνες:** Τα πυρανόμετρα είναι χρήσιμα εργαλεία στις ερευνητικές μελέτες σχετικά με το περιβάλλον και την αλλαγή του κλίματος. Οι μετρήσεις τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή δεδομένων που αφορούν την ηλιακή ενέργεια, τη θερμοκρασία και την εξέλιξη των κλιματικών μεταβολών σε συγκεκριμένες περιοχές.

#### *1.4.5 Κλίση στεφάνης σκίασης διάχυτης ακτινοβολίας*

Στεφάνη σκίασης, ορίζεται ως το τμήμα του ακτινομετρικού σταθμού που σκιάζει καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας το πυρανόμετρο διάχυτης ακτινοβολίας. Ειδικότερα, παρουσιάζεται παρακάτω αναλυτικά η μέθοδος ρύθμισης της στεφάνης ώστε να προσαρμόζεται στην ημερήσια μεταβολή της θέσης του ήλιου σύμφωνα με το επίπεδο που βρίσκεται ο σταθμός.

Ας εξετάσουμε το σενάριο όπου το σημείο παρατήρησης βρίσκεται στον ισημερινό κατά το μεσημέρι μιας ισημερίας, όταν ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς πάνω από το κεφάλι (στο ζηνίθ). Την ημέρα αυτή, ο ήλιος διαγράφει ένα τόξο 180 μοιρών στον ουρανό από την ανατολή προς τη δύση, περνώντας από το ζηνίθ το μεσημέρι. Λόγω της κλίσης του άξονα περιστροφής της Γης, η θέση του ήλιου στον ουρανό το μεσημέρι ποικίλλει καθ' όλη τη διάρκεια του έτους κατά +/- 23,5 μοίρες από την κατακόρυφο (ζηνίθ). Από τις 22 Μαρτίου έως τις 22 Ιουνίου, ο ήλιος κινείται προς τα βόρεια, και για τον υπόλοιπο χρόνο, κινείται προς τα νότια. Στις ισημερίες, ο ήλιος θα είναι ακριβώς από πάνω. Συγκεκριμένα, στις 22 Ιουνίου, ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον Τροπικό του Καρκίνου (23,5 μοίρες βόρειο γεωγραφικό

πλάτος), και στις 22 Δεκεμβρίου βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον Τροπικό του Αιγόκερω (23,5 μοίρες νότιο γεωγραφικό πλάτος).

Η θέση του ήλιου το μεσημέρι σε άλλες τοποθεσίες ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Για να υπολογίσετε την πορεία του ήλιου σε μια συγκεκριμένη περιοχή, είναι απαραίτητο να γνωρίζετε το γεωγραφικό πλάτος. Για αυτήν την εφαρμογή, μια απόκλιση ύψους +/- μισή μοίρα είναι αποδεκτή. Ο όρος «απόκλιση» θα χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τη θέση του ήλιου στον ουρανό πάνω από τον νότιο ορίζοντα. Θα θεωρήσουμε τη θέση του ήλιου το μεσημέρι κατά τις ισημερίες, το μέγιστο στο θερινό ηλιοστάσιο και το ελάχιστο στο χειμερινό ηλιοστάσιο ως «μέσο υψόμετρο».

Η μέση συνολική ανύψωση του ήλιου το μεσημέρι υπολογίζεται ως 90 μοίρες μείον το γεωγραφικό πλάτος. Για παράδειγμα, στην Αθήνα, ο ήλιος το μεσημέρι στις ισημερίες (21 Μαρτίου και 23 Σεπτεμβρίου) βρίσκεται σε υψόμετρο  $90 - 38 = 52$  μοίρες πάνω από τον ορίζοντα, με προσανατολισμό προς τα νότια. Για να βρεθεί το μέγιστο υψόμετρο του ήλιου το μεσημέρι στο θερινό ηλιοστάσιο (21 Ιουνίου), προστίθενται 23,5 μοίρες στη μέση τιμή. Για την Αθήνα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα  $90 - 38 + 23,5 = 52 + 23,5 = 75,5$  μοίρες πάνω από τον ορίζοντα, με προσανατολισμό προς το νότο. Αντίθετα, για τον υπολογισμό της ελάχιστης ανύψωσης του ήλιου το μεσημέρι στο χειμερινό ηλιοστάσιο (22 Δεκεμβρίου), αφαιρούνται 23,5 μοίρες από τη μέση τιμή.

Για την Αθήνα  $90-38-23.5=52-23.5=28.5$  μοίρες πάνω από τον ορίζοντα με φορά προς το Νότο.

**Με βάση τα παραπάνω λοιπόν προκύπτει το εξής συμπέρασμα: στην Αθήνα ο ήλιος το μεσημέρι βρίσκεται σε ανύψωση από το Νότιο ορίζοντα από 28.5 έως 75.5 μοίρες με μέση θέση τις 52 μοίρες.**

Η διαδρομή του ήλιου στον ουρανό ακολουθεί μια ημιτονοειδή και όχι γραμμική σχέση, με το μέγιστο υψόμετρο να εμφανίζεται στις 22 Ιουνίου και το ελάχιστο υψόμετρο στις 22 Δεκεμβρίου. Αυτός ο ημιτονοειδής κύκλος (360 μοίρες) εκτείνεται σε 365,25 ημέρες. Η θέση του ήλιου είναι στις 0 και 180 μοίρες κατά τις ισημερίες, με το θερινό ηλιοστάσιο στις 90 μοίρες (μέγιστο υψόμετρο, όπου το ημίτονο των 90 μοιρών ισούται με 1) και το χειμερινό ηλιοστάσιο στις 270 μοίρες (ελάχιστο υψόμετρο, όπου το ημίτονο 270 μοίρες ισούται με -1).

Στους υπολογισμούς της ηλιακής κίνησης, η τιμή του ημιτόνου πολλαπλασιάζεται επί  $\pm 23,5$  μοίρες (αντανακλώντας την αξονική κλίση της Γης) και προστίθεται στο μέσο υψόμετρο. Για

την Αθήνα, με μέσο υψόμετρο 52 μοίρες, αυτό έχει ως αποτέλεσμα μέγιστη ανύψωση 75,5 μοίρες και ελάχιστη 28,5 μοίρες.

Η θέση 0 μοιρών ορίζεται στις 22 Μαρτίου, την 81η ημέρα του χρόνου. Κάθε μέρα, η θέση του ήλιου αλλάζει κατά 360/365,25 μοίρες. Οι επιπλέον 0,25 μοίρες συσσωρεύονται σε τέσσερα χρόνια, επαναφέρονται με την συμπερίληψη της 29ης Φεβρουαρίου σε δίσεκτο έτος. Για να προσδιορίσετε τη θέση του ήλιου σε μια δεδομένη ημέρα, υπολογίστε την ημέρα του έτους (γ/γ ημέρα) και βρείτε την αντίστοιχη μετατόπιση στον ημιτονοειδές κύκλο. Αυτή η μετατόπιση πολλαπλασιάζεται στη συνέχεια με τη μέγιστη απόκλιση λόγω της αξονικής κλίσης της Γης και προστίθεται στο μέσο υψόμετρο για να προσδιοριστεί το υψόμετρο του ήλιου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία εκείνη την ημέρα.

Για μεγαλύτερη σαφήνεια, λάβετε υπόψη το ακόλουθο παράδειγμα: Την 100η ημέρα του έτους, η μετατόπιση θέσης υπολογίζεται ως  $(100 - 81) * (360 / 365,25)$  μοίρες. Αυτή η γωνιακή θέση χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον προσδιορισμό της ημιτονικής τιμής, η οποία πολλαπλασιάζεται επί 23,5 μοίρες και προστίθεται στο μέσο υψόμετρο. Αυτή η μέθοδος παρέχει έναν ακριβή υπολογισμό της ανύψωσης του ήλιου για οποιαδήποτε δεδομένη ημέρα και τοποθεσία. (Yun et al. 2020).

Σημαντικό είναι να αναφερθεί και ο υπολογισμός για την ανύψωση το μεσημέρι οποιασδήποτε ημέρας του χρόνου. Ειδικότερα, ο ήλιος το μεσημέρι κάποιας ημέρας του χρόνου (α/α ημέρας) βρίσκεται σε ανύψωση από το Νότιο ορίζοντα του τόπου που βρισκόμαστε (θέλουμε τη μέση ανύψωση σε μοίρες) και ορίζεται σύμφωνα με τη σχέση:  $23.5 \times \eta\mu\acute{\iota}\tau\omicron\nu\omicron(360 \times (\alpha/\alpha \text{ η\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha\varsigma} - 81) / 365.25) + \mu\acute{\epsilon}\sigma\eta \text{ αν\acute{\upsilon}\psi\omega\sigma\eta}$

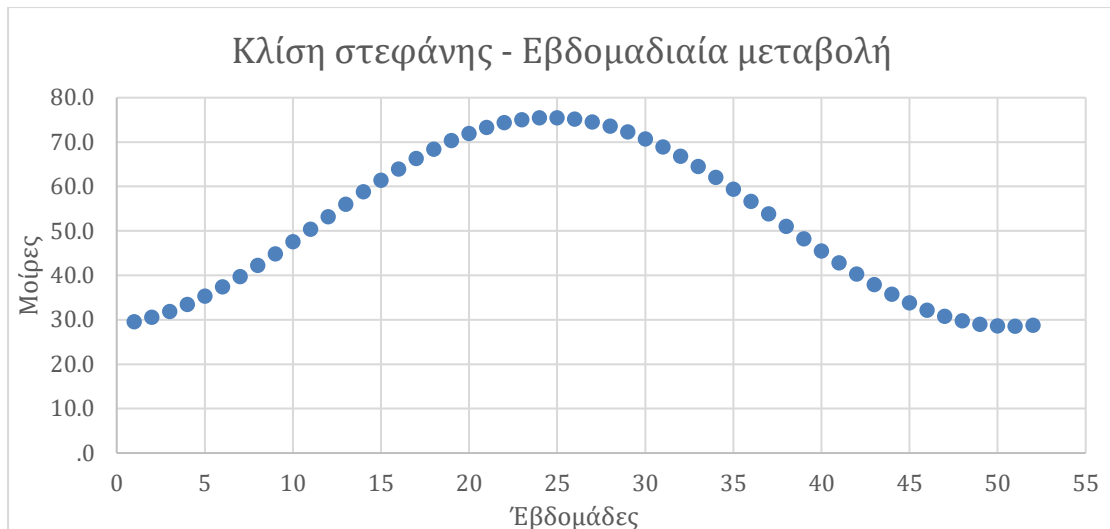
Προκειμένου να συγκεκριμενοποιηθεί περαιτέρω η μέθοδος τοποθέτησης της στεφάνης, παρατίθενται τα παρακάτω παραδείγματα:

- Στην Αθήνα, την πρωτοχρονιά ο ήλιος βρίσκεται σε ανύψωση:  
 $23.5 * \sin(360 * (1-81)/365.25) + 52 = 28.944$ , δηλαδή 29 μοίρες
- Για την δέκατη τέταρτη ημέρα του έτους σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς θα πρέπει να τοποθετήσουμε την στεφάνη στις 30,52 μοίρες.

Εβδομάδες του έτους	Μοίρες κλίσης στεφάνης	Εβδομάδες του έτους	Μοίρες κλίσης στεφάνης	Εβδομάδες του έτους	Μοίρες κλίσης στεφάνης
---------------------	------------------------	---------------------	------------------------	---------------------	------------------------

1 <sup>η</sup>	29,53	19 <sup>η</sup>	70,33	37 <sup>η</sup>	53,87
2 <sup>η</sup>	30,53	20 <sup>η</sup>	71,96	38 <sup>η</sup>	51,04
3 <sup>η</sup>	31,83	21 <sup>η</sup>	73,31	39 <sup>η</sup>	48,23
4 <sup>η</sup>	33,42	22 <sup>η</sup>	74,34	40 <sup>η</sup>	45,47
5 <sup>η</sup>	35,29	23 <sup>η</sup>	75,06	41 <sup>η</sup>	42,80
6 <sup>η</sup>	37,39	24 <sup>η</sup>	75,44	42 <sup>η</sup>	40,27
7 <sup>η</sup>	39,71	25 <sup>η</sup>	75,47	43 <sup>η</sup>	37,91
8 <sup>η</sup>	42,20	26 <sup>η</sup>	75,17	44 <sup>η</sup>	35,75
9 <sup>η</sup>	44,84	27 <sup>η</sup>	74,54	45 <sup>η</sup>	33,83
10 <sup>η</sup>	47,58	28 <sup>η</sup>	73,58	46 <sup>η</sup>	32,17
11 <sup>η</sup>	50,38	29 <sup>η</sup>	72,30	47 <sup>η</sup>	30,80
12 <sup>η</sup>	53,21	30 <sup>η</sup>	70,73	48 <sup>η</sup>	29,74
13 <sup>η</sup>	56,02	31 <sup>η</sup>	68,89	49 <sup>η</sup>	28,99
14 <sup>η</sup>	58,77	32 <sup>η</sup>	66,81	50 <sup>η</sup>	28,58
15 <sup>η</sup>	61,43	33 <sup>η</sup>	64,51	51 <sup>η</sup>	28,51
16 <sup>η</sup>	63,95	34 <sup>η</sup>	62,03	52 <sup>η</sup>	28,78
17 <sup>η</sup>	66,29	35 <sup>η</sup>	59,40		
18 <sup>η</sup>	68,43	36 <sup>η</sup>	56,67		

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Η ΕΤΗΣΙΑ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΗΣ ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ ΣΕ ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΕ ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.**



#### 1.4.6 Είδη πυρανόμετρων

- **Θερμοπυρανόμετρα**

Τα θερμοπυρανόμετρα θεωρούνται ευρέως ως τα πιο ακριβή και αξιόπιστα όργανα μέτρησης της πυκνότητας ροής της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι συσκευές αυτές λειτουργούν με βάση το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, το οποίο περιλαμβάνει την παραγωγή ηλεκτρικής τάσης σε απόκριση σε μια κλίση θερμοκρασίας (Karki et al. 2021).

Ένα τυπικό θερμοπυρανόμετρο αποτελείται από έναν αισθητήρα θερμοπυρανόμετρου, ο οποίος είναι μια σειρά από θερμοζεύγη συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα για την αύξηση της παραγόμενης τάσης. Το θερμοπύλη καλύπτεται με μια μαύρη επίστρωση που απορροφά ομοιόμορφα την ηλιακή ακτινοβολία. Η απορροφούμενη ενέργεια θερμαίνει τη μαύρη επιφάνεια, δημιουργώντας μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και μιας αναφοράς (συνήθως το σώμα του πυρανόμετρου ή ένα θερμοκράσταθερο υπόστρωμα). Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας δημιουργεί μια τάση ανάλογη της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

#### **Εξαρτήματα:**

**Μαύρη επικάλυψη:** Η μαύρη επίστρωση στον αισθητήρα θερμοπυρανόμετρου είναι ζωτικής σημασίας, καθώς απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα ευρύ φάσμα, συμπεριλαμβανομένου του υπεριώδους, του ορατού και του υπέρυθρου φωτός. Αυτό εξασφαλίζει ότι το πυρανόμετρο μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία.

**Γυάλινος θόλος:** Τα περισσότερα θερμοπυρανόμετρα διαθέτουν έναν ή δύο γυάλινους θόλους. Αυτοί οι θόλοι προστατεύουν τον αισθητήρα από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως ο άνεμος, η βροχή και η σκόνη, ενώ επιτρέπουν τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι θόλοι φιλτράρουν επίσης την υπέρυθη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, εμποδίζοντας την να επηρεάσει τις μετρήσεις.

**Περίβλημα και τοποθέτηση:** Το περίβλημα ενός θερμοπυρανόμετρου έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι στιβαρό και ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες, εξασφαλίζοντας μακροπρόθεσμη αντοχή και ακρίβεια. Το όργανο τοποθετείται συνήθως σε οριζόντια επιφάνεια για τη μέτρηση της παγκόσμιας οριζόντιας ακτινοβολίας (GHI) ή είναι εξοπλισμένο με έναν ηλιακό ιχνηλάτη για τη μέτρηση της άμεσης κανονικής ακτινοβολίας (DNI) και της διάχυτης οριζόντιας ακτινοβολίας (DHI).

Τα θερμοπυρανόμετρα είναι γνωστά για την υψηλή ακρίβειά τους, επιτυγχάνοντας συνήθως αβεβαιότητες μόλις  $\pm 2\%$  υπό κανονικές συνθήκες. Η ακρίβεια αυτή επιτυγχάνεται μέσω αυστηρών διαδικασιών βαθμονόμησης, συχνά ανιχνεύσιμων σε διεθνή πρότυπα όπως το Παγκόσμιο Κέντρο Ακτινοβολίας (WRC). Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει την έκθεση του πυρανόμετρου σε μια γνωστή πηγή ακτινοβολίας και τη ρύθμισή του ώστε η τάση εξόδου να αντιστοιχεί με ακρίβεια στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

Λόγω της ακρίβειας και της αξιοπιστίας τους, τα θερμοπυρανόμετρα χρησιμοποιούνται σε ευρύ φάσμα εφαρμογών:

**Μετεωρολογία και κλιματολογία:** Παρέχουν βασικά δεδομένα για την πρόγνωση του καιρού, τη μοντελοποίηση του κλίματος και τη μελέτη του προϋπολογισμού ακτινοβολίας της Γης.

**Ηλιακή ενέργεια:** Στην έρευνα για την ηλιακή ενέργεια και την παρακολούθηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων, η ακριβής μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ζωτικής σημασίας. Τα θερμοπυρανόμετρα βοηθούν στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών και των ηλιοθερμικών συστημάτων.

**Γεωργία:** Οι ακριβείς μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντικές για την κατανόηση των προτύπων ανάπτυξης των φυτών, των ρυθμών εξατμισοδιαπνοής και τη βελτιστοποίηση των περιβαλλόντων του θερμοκηπίου.



**Περιβαλλοντική παρακολούθηση:** Χρησιμοποιούνται για τη μελέτη των επιπτώσεων της ηλιακής ακτινοβολίας στα οικοσυστήματα, τη σύνθεση της ατμόσφαιρας και την ποιότητα του αέρα.

- **Φωτοβολταϊκά πυρανόμετρα**

Τα φωτοβολταϊκά πυρανόμετρα, αν και γενικά είναι λιγότερο ακριβή από τα αντίστοιχα θερμοστοιχεία, προσφέρουν σαφή πλεονεκτήματα όσον αφορά το κόστος, το χρόνο απόκρισης και την ευκολία ενσωμάτωσης σε ηλεκτρονικά συστήματα. Τα όργανα αυτά βασίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, όπου το φως μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρικό ρεύμα με τη χρήση ημιαγωγού, συνήθως πυριτίου. Αυτός ο μηχανισμός καθιστά τα φωτοβολταϊκά πυρανόμετρα ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές όπου η ταχεία απόκριση και η οικονομική προσιτότητα είναι πιο κρίσιμα από την απόλυτη ακρίβεια (Anon n.d.).

Τα φωτοβολταϊκά πυρανόμετρα αποτελούνται από μια φωτοδίοδο πυριτίου, η οποία χρησιμεύει ως αισθητήρας που παράγει ρεύμα όταν εκτίθεται στο ηλιακό φως. Η φωτοδίοδος καλύπτεται συχνά με διαχύτη για να διασφαλίζεται ομοιόμορφη απόκριση στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία από όλες τις κατευθύνσεις. Το παραγόμενο ρεύμα είναι ανάλογο της έντασης του προσπίπτοντος φωτός και το ρεύμα αυτό μετράται και μετατρέπεται σε σήμα τάσης που μπορεί εύκολα να καταγραφεί και να αναλυθεί.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών πυρανόμετρων είναι ο γρήγορος χρόνος απόκρισής τους. Οι φωτοδιόδοι πυριτίου αντιδρούν σχεδόν ακαριαία στις μεταβολές της έντασης του φωτός, επιτρέποντας σε αυτά τα πυρανόμετρα να καταγράφουν τις ταχείες διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό το χαρακτηριστικό τα καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμα σε δυναμικά περιβάλλοντα όπου τα επίπεδα φωτισμού αλλάζουν γρήγορα, όπως σε κυμαινόμενες καιρικές συνθήκες ή για την παρακολούθηση της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Τα φωτοβολταϊκά πυρανόμετρα είναι συνήθως πιο οικονομικά από τα θερμοπυρανόμετρα. Αυτή η προσιτή τιμή τα καθιστά ελκυστική επιλογή για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, όπως σε ηλιακά πάρκα ή εκτεταμένα μετεωρολογικά δίκτυα όπου απαιτούνται πολυάριθμοι αισθητήρες. Επιπλέον, η ηλεκτρική έξοδος από τις φωτοδιόδους πυριτίου είναι εύκολο να ενσωματωθεί σε ψηφιακά συστήματα συλλογής δεδομένων, διευκολύνοντας την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και την καταγραφή δεδομένων χωρίς την ανάγκη πολύπλοκης επεξεργασίας σήματος.

Ενώ τα φωτοβολταϊκά πυρανόμετρα μπορεί να μην προσφέρουν το ίδιο επίπεδο ακρίβειας με τα θερμοπυρανόμετρα, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε μια ποικιλία πρακτικών εφαρμογών. Στον τομέα της ηλιακής ενέργειας, χρησιμοποιούνται συνήθως για την παρακολούθηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων, παρέχοντας κρίσιμα δεδομένα σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της απόδοσης και της απόδοσης των συστημάτων ηλιακής ενέργειας. Στη μετεωρολογία, συμβάλλουν στους βασικούς μετεωρολογικούς σταθμούς προσφέροντας αξιόπιστες μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, βοηθώντας στην κατανόηση των τοπικών κλιματικών συνθηκών και υποστηρίζοντας τον γεωργικό σχεδιασμό.

Παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα φωτοβολταϊκά πυρανόμετρα έχουν ορισμένους περιορισμούς. Η φασματική απόκριση των φωτοδιόδων πυριτίου δεν είναι ομοιόμορφη σε όλο το ηλιακό φάσμα- είναι πιο ευαίσθητες σε ορισμένα μήκη κύματος, ιδίως στην ορατή περιοχή, και λιγότερο ευαίσθητες στην υπεριώδη και υπέρυθη περιοχή. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανακρίβειες κατά τη μέτρηση της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας, ιδίως υπό μεταβαλλόμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Έτσι, ορισμένα μοντέλα ενσωματώνουν φίλτρα ή αλγόριθμους διόρθωσης, αλλά αυτές οι προσαρμογές μπορούν να αντισταθμίσουν μόνο εν μέρει την εγγενή φασματική ανομοιομορφία.

- **Πυρανόμετρα φωτοδίων**

Τα πυρανόμετρα φωτοδίων είναι ένας εξειδικευμένος τύπος οργάνου που έχει σχεδιαστεί για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας με τη χρήση φωτοδίων ως το κύριο στοιχείο ανίχνευσης. Αυτές οι συσκευές αξιοποιούν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, όπου το φως μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα από ένα ημιαγωγικό υλικό. Τα πυρανόμετρα με φωτοδίοδο προσφέρουν μια συναρπαστική ισορροπία μεταξύ ακρίβειας, κόστους και ευελιξίας, καθιστώντας τα κατάλληλα για μια σειρά εφαρμογών στην περιβαλλοντική παρακολούθηση, την αξιολόγηση της ηλιακής ενέργειας και τη μετεωρολογία (Vignola et al. 2016).

Το βασικό συστατικό των πυρανόμετρων φωτοδίοδου είναι η ίδια η φωτοδίοδος, η οποία συνήθως κατασκευάζεται από πυρίτιο ή άλλα υλικά ημιαγωγών. Η φωτοδίοδος παράγει ηλεκτρικό ρεύμα ανάλογο της έντασης του προσπίπτοντος φωτός. Αυτό το ρεύμα μετατρέπεται στη συνέχεια σε σήμα τάσης, το οποίο μπορεί εύκολα να μετρηθεί και να καταγραφεί. Για τη βελτίωση της απόδοσης και της φασματικής απόκρισης της συσκευής, τα πυρανόμετρα με φωτοδίοδο συχνά περιλαμβάνουν οπτικά φίλτρα και διαχύτες. Αυτά τα εξαρτήματα συμβάλλουν στη διασφάλιση ότι ο αισθητήρας συλλαμβάνει με ακρίβεια

ολόκληρο το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, από το υπεριώδες έως το εγγύς υπέρυθρο μήκος κύματος.

Τα φωτοδιόδους πυρανόμετρα είναι γνωστά για τον ταχύ χρόνο απόκρισης τους, ο οποίος τους επιτρέπει να ανιχνεύουν γρήγορα τις αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό τα καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές όπου η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο είναι κρίσιμη, όπως στη δυναμική αξιολόγηση της απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών ή σε αυτοματοποιημένους μετεωρολογικούς σταθμούς. Επιπλέον, τα πυρανόμετρα φωτοδιόδων είναι γενικά πιο προσιτά από τα πυρανόμετρα θερμοπυλών, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει σημαντικό πλεονέκτημα κατά την ανάπτυξη μεγάλων δικτύων αισθητήρων ή όταν οι περιορισμοί του προϋπολογισμού αποτελούν πρόβλημα.

Παρόλο που τα πυρανόμετρα φωτοδιόδων μπορεί να μην επιτυγχάνουν το ίδιο επίπεδο ακρίβειας με τα πυρανόμετρα θερμοπυλών, έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρέχουν μια αρκετά ακριβή μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ενσωμάτωση οπτικών φίλτρων και τεχνικών βαθμονόμησης συμβάλλει στην άμβλυνση ορισμένων από τους εγγενείς περιορισμούς της φασματικής απόκρισης των φωτοδιόδων. Οι συσκευές αυτές έχουν σχεδιαστεί για να προσεγγίζουν περισσότερο το ηλιακό φάσμα, καθιστώντας τις κατάλληλες για ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών και επιστημονικών εφαρμογών. Παρ' όλα αυτά, είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη τα συγκεκριμένα φασματικά χαρακτηριστικά της φωτοδιόδου και της προβλεπόμενης εφαρμογής, ώστε να διασφαλίζεται ότι οι μετρήσεις είναι επαρκώς ακριβείς.

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα των φωτοδιόδων πυρανόμετρων είναι η ευκολία ενσωμάτωσής τους με τα σύγχρονα συστήματα συλλογής δεδομένων. Η ηλεκτρική έξοδος από τις φωτοδιόδους είναι απλή στην επεξεργασία και πολλές συσκευές διαθέτουν ψηφιακές διεπαφές για απρόσκοπτη σύνδεση με υπολογιστές και καταγραφείς δεδομένων. Αυτό διευκολύνει τη συλλογή, ανάλυση και αποθήκευση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας πιο αποτελεσματικές και αυτοματοποιημένες λύσεις παρακολούθησης.

#### ○ Ψηφιακά πυρανόμετρα

Τα ψηφιακά πυρανόμετρα αποτελούν μια σύγχρονη εξέλιξη στη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενσωματώνοντας προηγμένα ηλεκτρονικά εξαρτήματα για τη βελτίωση της ακρίβειας των δεδομένων, της ευκολίας χρήσης και της συνδεσιμότητας. Τα όργανα αυτά συνδυάζουν παραδοσιακούς αισθητήρες πυρανόμετρου με ψηφιακή επεξεργασία σήματος,

προσφέροντας μια σειρά πλεονεκτημάτων που τα καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλα για διάφορες εφαρμογές στη μετεωρολογία, την ηλιακή ενέργεια και την περιβαλλοντική παρακολούθηση.

Τα ψηφιακά πυρανόμετρα ενσωματώνουν συνήθως έναν αισθητήρα υψηλής ακρίβειας, όπως ένα θερμοστοιχείο ή μια φωτοδίοδο, με ενσωματωμένο αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα (ADC). Αυτός ο μετατροπέας ψηφιοποιεί το αναλογικό σήμα που παράγεται από τον αισθητήρα, μετατρέποντάς το σε ψηφιακή μορφή που μπορεί εύκολα να επεξεργαστεί και να μεταδοθεί. Η ψηφιακή μετατροπή εξασφαλίζει ότι τα δεδομένα είναι λιγότερο ευαίσθητα στο θόρυβο και την υποβάθμιση του σήματος, παρέχοντας πιο αξιόπιστες και ακριβείς μετρήσεις. Επιπλέον, τα ψηφιακά πυρανόμετρα περιλαμβάνουν συχνά μηχανισμούς αντιστάθμισης της θερμοκρασίας για τη διόρθωση της ευαισθησίας του αισθητήρα στη θερμοκρασία, ενισχύοντας περαιτέρω την ακρίβεια των μετρήσεων (Taha et al. 2023).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των ψηφιακών πυρανόμετρων είναι η αυξημένη ακρίβεια και σταθερότητα των δεδομένων τους. Με την ψηφιοποίηση του σήματος στην πηγή, οι συσκευές αυτές ελαχιστοποιούν το ενδεχόμενο παρεμβολών και απωλειών του αναλογικού σήματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πιο συνεπείς και ακριβείς μετρήσεις. Επιπλέον, τα ψηφιακά πυρανόμετρα μπορούν να αποθηκεύουν εσωτερικά συντελεστές βαθμονόμησης, επιτρέποντας την αυτόματη διόρθωση δεδομένων και μειώνοντας την ανάγκη για χειροκίνητες ρυθμίσεις. Αυτό το χαρακτηριστικό απλοποιεί τη διαδικασία βαθμονόμησης και εξασφαλίζει συνεχή ακρίβεια με την πάροδο του χρόνου.

Τα ψηφιακά πυρανόμετρα έχουν σχεδιαστεί για απρόσκοπτη ενσωμάτωση με σύγχρονα συστήματα συλλογής δεδομένων. Συχνά διαθέτουν διάφορες διεπαφές επικοινωνίας, όπως USB, RS-232, RS-485 και Ethernet, επιτρέποντας την εύκολη σύνδεση με υπολογιστές, καταγραφείς δεδομένων και συστήματα απομακρυσμένης παρακολούθησης. Ορισμένα προηγμένα μοντέλα προσφέρουν ακόμη και επιλογές ασύρματης συνδεσιμότητας, διευκολύνοντας τη μετάδοση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την απομακρυσμένη πρόσβαση. Αυτή η συνδεσιμότητα είναι ιδιαίτερα πολύτιμη σε μεγάλης κλίμακας ηλιακά πάρκα και μετεωρολογικά δίκτυα, όπου η κεντρική συλλογή και παρακολούθηση δεδομένων είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική λειτουργία.

## **Κεφάλαιο 2. Συσκευές & όργανα - Εξοπλισμός**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ο σχεδιασμός εγκατάστασης και λειτουργίας ενός ακτινομετρικού σταθμού του εργαστηρίου ήπιων μορφών ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Το εργαστηριακό τμήμα της εργασίας, έχει βασιστεί στις μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση πυρανόμετρου. Στην παρούσα ενότητα θα γίνει παρουσίαση του εξοπλισμού καθώς και των οργάνων και συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα σύγχρονα πυρανόμετρα της εταιρείας Kipp & Zonen<sup>3</sup>, τα οποία και είναι τοποθετημένα στον ακτινομετρικό σταθμό.



**ΕΙΚΟΝΑ 3: ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΟ CMP3 ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ KIPP & ZONEN (ΠΗΓΗ: [HTTPS://WWW.KIPPZONEN.COM](https://www.kippzonen.com))**

Το πυρανόμετρο CMP3 αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα πυρανόμετρα καθώς το κόστος του είναι σχετικά χαμηλό και έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί σε θερμοκρασίες εύρους -40°C και 80°C.

---

<sup>3</sup><https://www.kippzonen.com/>

Στο παράρτημα 1 της εργασίας παρουσιάζονται οι πίνακες με τα τεχνικά χαρακτηριστικά διαφόρων πυρανομέτρων της εταιρείας Kírr& Zonen

## 2.1 Το καταγραφικό συλλογής δεδομένων Stylitis 10

Ο Στυλίτης 10 είναι ένα αυτόνομο καταγραφικό μπαταρίας, προϊόν της εταιρείας Symmetron<sup>4</sup> και έχει τη δυνατότητα της απευθείας μέτρησης της ηλεκτρικής τάσης, τη συχνότητα και τους παλμούς. Επιπλέον με κατάλληλους αισθητήρες εισόδου μπορεί να μετρήσει την ηλιακή ακτινοβολία, τη ταχύτητα του ανέμου, τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πίεση. Είναι κατάλληλο καταγραφικό όργανο για γενικές, ηλιακές και ηλεκτρικές μετρήσεις, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μετεωρολογικούς σταθμούς καθώς και σε δίκτυα πρόληψης πυρκαγιάς. Διαθέτει απομακρυσμένο ρελέ, το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών, όπως το άναμμα ή το σβήσιμο του φωτισμού ή το αυτόματο άνοιγμα και κλείσιμο μιας πόρτας κ.α.

Οι αισθητήρες παρέχουν έξοδο τάσης έως 2,5V . Όσον αφορά τις εξόδους, χρησιμοποιείται η +VPULSED η οποία έχει τη δυνατότητα συνολικής τροφοδοσίας έως 20mA με ακρίβεια  $\pm 0,2\%$ , ενώ η έξοδος διέγερσης ρεύματος είναι επίσης παλμική και μπορεί να τροφοδοτήσει θερμομέτρα PT-100 με ακρίβεια  $\pm 6\%$ . Όπου οι αισθητήρες PT-100 έχουν αντίσταση 100Ω στους 0°C και τα θερμομέτρα αυτά χρησιμοποιούν αντιστάσεις λεπτού υμενίου.

Το καταγραφικό περιλαμβάνει δύο θήρες σειριακού τύπου την peripheral που είναι πάντα ενεργή και την communication, η οποία ενεργοποιείται μόνο όταν η μονάδα επικοινωνίας είναι external. Η πρώτη θήρα χρησιμοποιείται για σειριακή σύνδεση με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Απαιτείται η χρήση καλωδίου σε ευθεία σύνδεση ώστε να συνδέεται ο ακροδέκτης 2 της μιας πρίζας με τον ακροδέκτη της άλλης, σημείωση: η πρίζα του υπολογιστή είναι θηλυκή και του καταγραφικού αρσενική. Με αντίστοιχο τρόπο γίνεται η σύνδεση της δεύτερης θήρας με τη θήρα ενός εξωτερικού modem, όμως εδώ η πρίζα του καταγραφικού πρέπει να είναι θηλυκή, ενώ του modem εξαρτάται από το modem.

Διαστάσεις: 18x10x4cm

---

<sup>4</sup>[https://www.symmetron.gr/gr\\_products\\_sub\\_pageslist.php?showmaster=1&products\\_tb\\_id=186](https://www.symmetron.gr/gr_products_sub_pageslist.php?showmaster=1&products_tb_id=186)

Διαθέτει μνήμη 4MB η οποία επαρκεί για 32 μήνες με στατιστικό διάστημα 10 λεπτών, ενώ όλα τα κανάλια καταγράφουν τις μέσες τιμές. Οι στατιστικοί υπολογισμοί που πραγματοποιεί είναι δύο ειδών: α) καταγραφή μέσου όρου, β) καταγραφή μέσης/ελάχιστης/μέγιστης τιμής, ενώ και στις δύο περιπτώσεις γίνεται καταγραφή της τυπικής απόκλισης.

Η σύνδεση με τον υπολογιστή γίνεται είτε μέσω Ethernet/Wifi ή GSM/GPRSModem. Ενώ προαιρετικά παρέχεται και μονάδα GPS.

## **2.2 Λογισμικό οργon 4**

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την συλλογή των μετρήσεων είναι το οργon 4 και είναι σχεδιασμένο από την κατασκευαστική εταιρεία Symmetron. Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά.

- Επικοινωνία καταγραφικού δεδομένων (data logger communication)
- Προγραμματισμός καταγραφικών δεδομένων (data logger programming)
- Διαχείριση αρχείων (file manager)
- Προβολή μηνυμάτων (message viewer)
- Έλεγχος ακεραιότητας αρχείου (data file integrity check)
- Γραφική παράσταση δεδομένων και στατιστικά στοιχεία (data file plot and statistics)

Ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση κάποιων από τα παραπάνω χαρακτηριστικά του λογισμικού.

Στην εικόνα 4 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο πίνακας ελέγχου του λογισμικού οργon-4. Είναι φιλικό προς το χρήστη λογισμικό και προσφέρει τον εύκολο έλεγχο της δραστηριότητας του ιστότοπου και των πρόσφατων αρχείων του.

The screenshot displays a software interface with several panels:

- Weather Panel:** Sunny, [10:25 AM] Wind:1,9m/s, Dir:NE, Temp:26C, Site map.
- Project Panel:** Project: None.
- General Measurement Panel:** Campaign: In Progress, Flag: White, Operator, Logger Site: ghfd, Address, Latitude: 33, Longitude: 33, Altitude: 0.
- Usage Panel:** Usage.
- Tasks Panel:**
  - Begin logger session
  - View logger setup
  - Apply setup and start Acquisition
  - Download data from logger
  - End logger session
  - Check for emails
- Site Summary Panel:** No Site remarks, View Site History, Auto connections not found.
- Data Table:**

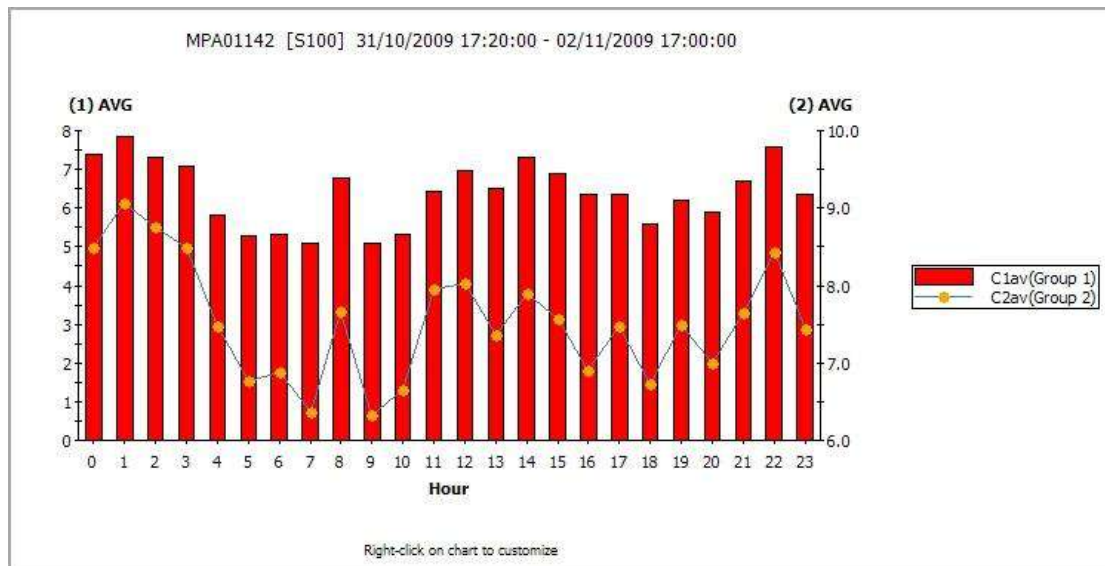
Start Date	Duration			
12/7/2013 22:17:00	5 min's	View	Plot	Stat
12/7/2013 22:17:00	5 min's	View	Plot	Stat
12/7/2013 01:15:07	6 min's	View	Plot	Stat
12/7/2013 01:15:07	6 min's	View	Plot	Stat
12/4/2013 11:28:00	2 hours	View	Plot	Stat
12/4/2013 11:28:00	2 hours	View	Plot	Stat
- Summary Panels:**
  - Files with Remarks: 0
  - Files not Checked: 4
  - Files with Warnings: 0
  - Files with Errors: 1
  - S-10 #037A0174 Status (16/5/2013 13:21:06)
  - Accumulator Status (16/5/2013 1:21:06 μμ)

**ΕΙΚΟΝΑ 4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ (ΠΗΓΗ: [HTTP://SYMMETRON.GR/GR\\_INDEX.PHP?CAT1=20](http://symmetron.gr/gr_index.php?cat1=20))**

Στη στήλη tasks, ο χρήστης επιλέγει της κύριες λειτουργίες του λογισμικού, δηλαδή την έναρξη της καταγραφής, την προβολή της καταγραφής, την εφαρμογή ρυθμίσεων και έναρξη διαδικασίας απόκτησης (start acquisition), το κατέβασμα των δεδομένων καταγραφής και τον τερματισμό της καταγραφικής περιόδου.

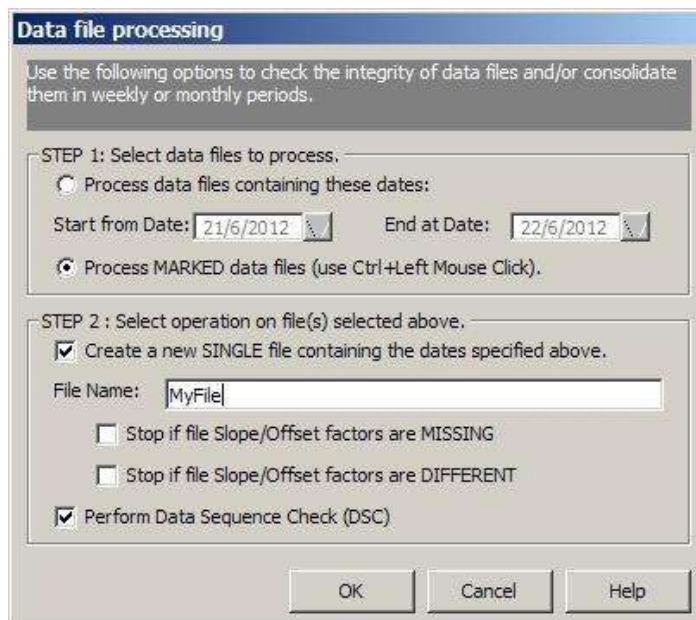
Στην εικόνα 5 που ακολουθεί παρουσιάζεται μια απεικόνιση των στατιστικών δεδομένων καταγραφής δεδομένων.





**ΕΙΚΟΝΑ 5: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΣΑ ΤΗΣ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΟΡΤΟΝ-4 (ΠΗΓΗ: [HTTP://SYMMETRON.GR/GR\\_INDEX.PHP?CAT1=20](http://symmetron.gr/gr_index.php?cat1=20))**

Στην εικόνα 6 που ακολουθεί παρουσιάζεται το εργαλείο επεξεργασίας δεδομένων του λογισμικού.



**ΕΙΚΟΝΑ 6: ΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ (ΠΗΓΗ: [HTTP://SYMMETRON.GR/GR\\_INDEX.PHP?CAT1=20](http://symmetron.gr/gr_index.php?cat1=20))**

## **Κεφάλαιο 3. Έλεγχος και αποκατάσταση εξοπλισμού και διάταξης.**

Το τμήμα μηχανολόγων μηχανικών διέθεσε τον εξοπλισμό του ακτινομετρικού σταθμού. Αρχικά έγινε αναγνώριση εξοπλισμού, στην ταράτσα του Β κτηρίου με τον οποίο και έγινε η λήψη μετρήσεων για την ερευνητική διαδικασία. Ήταν αναγκαία η συντήρηση και η επαναφορά του σε κατάσταση λειτουργίας, τόσο της εγκατάστασης όσο και των υπόλοιπων αισθητήριων και καταγραφικών μέσων. Επιπρόσθετα χρειάστηκε καλωδίωση για απομακρυσμένη λήψη μετρήσεων καθώς γινόταν μόνο τοπικά.

### **3.1 Διαδικασίες συντήρησης και προετοιμασίας**

Το πρώτο στάδιο για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο έλεγχος των υλικών, πυρανομέτρων, καταγραφικού αλλά και την κατάσταση του υπάρχοντος ακτινομετρικού σταθμού. Κατά τον έλεγχο της εγκατάστασης διαπιστώθηκε πως ο ακτινομετρικός σταθμός είχε υποστεί μεγάλη οξειδωση σε όλο το μήκος της κατασκευής. Κάποια μέταλλα είχαν αποκολληθεί, έλλειπαν και ήταν επικίνδυνη η οποιαδήποτε εργαστηριακή ενέργεια. Καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών αλλά και της εν γένει παρουσίας στην εγκατάσταση λήφθηκε και αντίστοιχο φωτογραφικό υλικό.



**ΕΙΚΟΝΑ 7: ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

Παραπάνω στην εικόνα 7 διακρίνονται τα πυρανόμετρα πριν τοποθετηθούν στην βάση τους. Υπήρχαν σε όλα ετικέτες με τον σειριακό αριθμό και την θέση που ήταν τοποθετημένα στην εγκατάσταση. Έγινε οπτικός έλεγχος στο κάθε ένα ξεχωριστά για τυχόν βλάβες. Χρειάστηκε συναρμολόγηση κάποιων πυρανομέτρων καθώς οι στεφάνες κυρίως αυτών, όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα είχαν αφαιρεθεί από το κύριο σώμα.



**ΕΙΚΟΝΑ 8: Η ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΠΡΩΤΑΡΧΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ**



**ΕΙΚΟΝΑ 9: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΡΙΨΙΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

Παρατηρώντας την εικόνα 8 είναι εμφανές πως η μεταλλική κατασκευή έχει υποστεί φθορές που ως αποτέλεσμα έχουν την παραμόρφωση της. Κρίθηκε αναγκαία η αποσυναρμολόγηση της εγκατάστασης, ώστε να συν αρμολογηθεί από την αρχή και να ξαναμπούν στη θέση τους τα μεταλλικά κομμάτια που έλειπαν. Η επανατοποθέτηση έγινε με χρήση πριτσιναδόρου. Στη συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία του τριψίματος όλων των μερών της κατασκευής με ειδικό φτερό για τροχό, ενώ οι λεπτομέρειες σε δεύτερη φάση έγιναν με γυαλόχαρτο, στη συνέχεια οι επιφάνειές καλύφθηκαν με ειδικό υλικό για μεταλλικά μέρη, μίνιο και τέλος βάφτηκαν με λευκό χρώμα.

### 3.2 Σύνδεση πυρανομετρικού σταθμού

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία συντήρησης του πυρανομετρικού σταθμού ξεκίνησαν οι διαδικασίες επανατοποθέτησης των πυρανομέτρων και του καταγραφικού στην εγκατάσταση. Στη συνέχεια, ακολούθησε η τοποθέτηση και σύνδεση του καταγραφικού, το οποίο τοποθετήθηκε σε κυτίο όπου προφυλάσσεται από τις καιρικές συνθήκες. Για τον απομακρυσμένο έλεγχο του καταγραφικού με ηλεκτρονικό υπολογιστή που βρίσκεται στο ισόγειο του κτιρίου Β της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών εγκαταστάθηκε καλώδιο τύπου UTP<sup>5</sup>, μήκους 55 μέτρων και τοποθετήθηκε εντός σωληνώσεων βαρέου τύπου για λόγους προστασίας από τις καιρικές συνθήκες και το εξωτερικό περιβάλλον. Στην εγκατάσταση υπάρχει επίσης παροχή ρεύματος που εξυπηρετεί για παροχή ρεύματος του καταγραφικού και βρίσκεται μέσα στο κυτίο. Η οποία έχει ξεχωριστή ασφάλεια και προέρχεται από τον ηλεκτρολογικό πίνακα που βρίσκεται στον διάδρομο έξω από το αμφιθέατρο β226.

---

<sup>5</sup>Καλώδιο μετάδοσης δεδομένων κατηγορίας 6



**ΕΙΚΟΝΑ 8: ΤΕΛΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΑ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΑ**

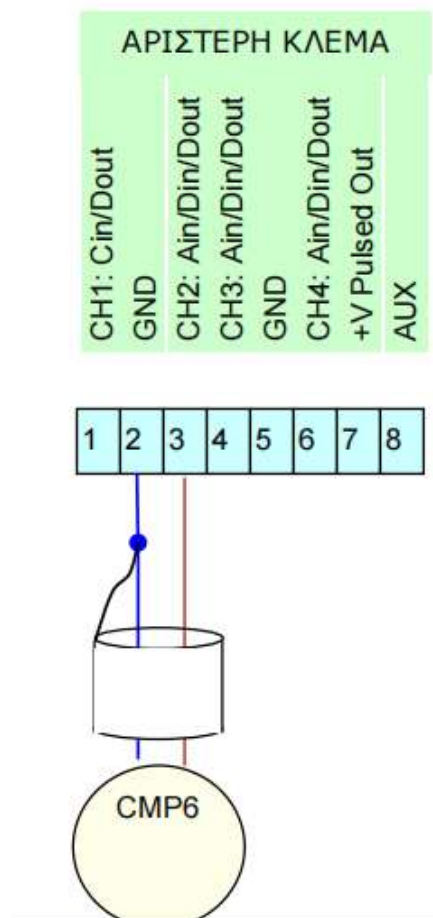
Παραπάνω, στην εικόνα 10 προβάλλεται ο ακτινομετρικός σταθμός μετά το πέρας των εργασιών συντήρησης και τοποθέτησης των πυρανομέτρων σε αυτόν. Παρατηρούνται τα δυο Kipp & Zonen πυρανόμετρα βόρειου και ανατολικού προσανατολισμού και τα δύο empley ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας. Η εικόνα που φαίνεται, έχει ληφθεί απογευματινή ώρα καθώς παρατηρείται ο προσανατολισμός της στεφάνης σκίασης σε συνδυασμό με το σκιασμένο ανατολικό πυρανόμετρο.

### **3.3 Σύνδεση πυρανόμετρου**

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι οδηγίες εγκατάσταση του στυλίου 10 με σειρά πυρανομέτρων. Αρχικά, γίνεται έλεγχος για την ορθή λειτουργία του πυρανομέτρου, σύμφωνα με τις οδηγίες της κατασκευάστριας εταιρείας γίνεται μέτρηση της τάσης με ένα πολύμετρο ανάμεσα στις επαφές 3 και 2, το πυρανοόμετρο πρέπει να δίνει περίπου 10V, ενώ στο σκοτάδι πρέπει να μετράει κάτω από 1W. Σε αντίθετη περίπτωση δεν είναι λειτουργικό.

Στην περίπτωση που δεν είναι απαραίτητος ο ενισχυτής σήματος η σύνδεση είναι η ακόλουθη:

### ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ

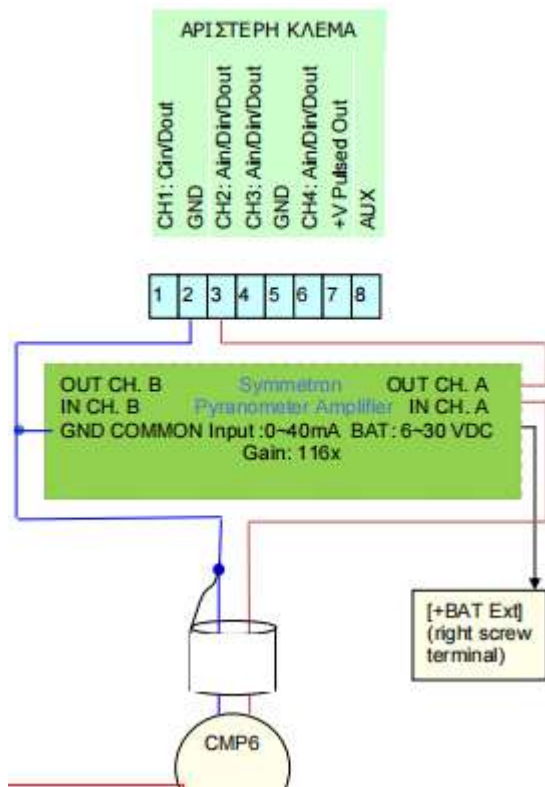


ΕΙΚΟΝΑ 9: ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΣΤΥΛΙΟΥ ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (ΠΗΓΗ: SYMMETRON, 2016)

Ενώ στην σύνδεση με ενισχυτή η σύνδεση είναι η ακόλουθη:



## ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΤΗ



**ΕΙΚΟΝΑ 10: ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΣΤΥΛΙΤΗ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΤΗ (ΠΗΓΗ: SYMMETRON, 2016)**

Τα πυρανόμετρα που χρειάζονται ενίσχυση σήματος είναι συνήθως, λόγω μεγάλου μήκους καλωδίου, πάνω από πέντε μέτρα. Αυτό, συμβαίνει διότι, περνάνε πολύ λίγα volt από το καλώδιο και υπάρχει πτώση τάσης μέχρι τα καταγραφικό. Σε άλλη περίπτωση όπως η συγκεκριμένη, χρησιμοποιείται ενισχυτής λόγω γήρανσης των πυρανομέτρων, καθώς το μήκος των καλωδίων όλων των πυρανομέτρων είναι μικρότερο των πέντε μέτρων.



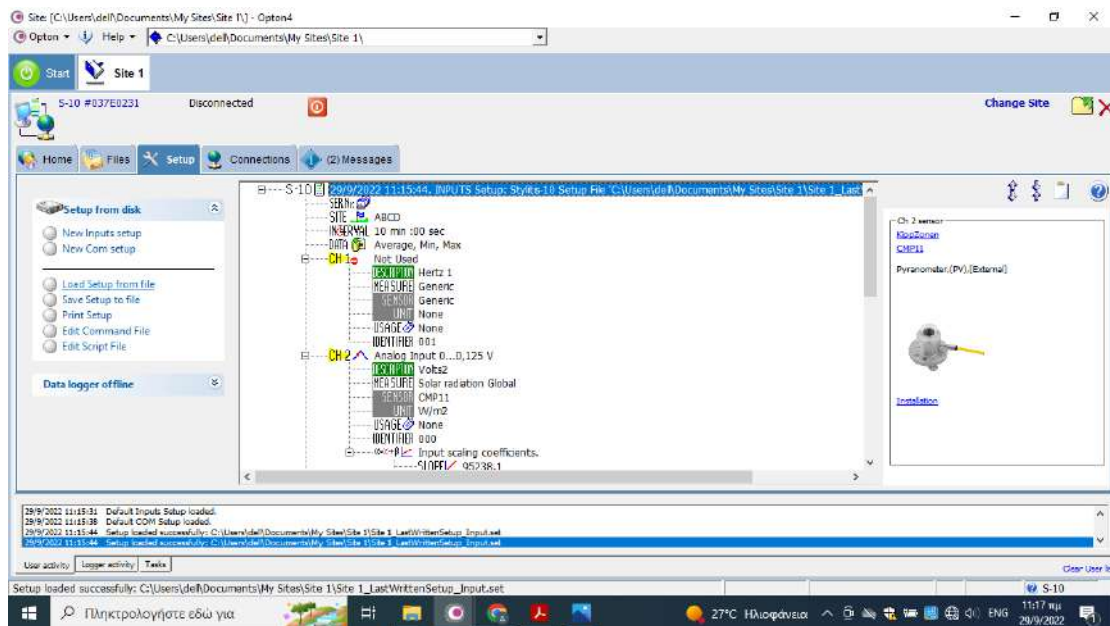
Κανάλι (data logger)	Προσανατολισμός	Σειριακός αριθμός
CH2	Βοράς	CM11903036
CH3	Ανατολή	CM11903038
CH4	Νότος	CM11903035
CH5	Δύση	CM11903037
CH6	Ολική	25875F3
CH7	Στεφάνη	25874F3

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ

Στον πίνακα 2 παραπάνω παρουσιάζονται οι σειριακοί αριθμοί των πυρανομέτρων που χρησιμοποιήθηκαν, το κανάλι σύνδεσης τους και ο προσανατολισμός τους. Συγκεκριμένα, το όργανο καταγραφής δεδομένων stylitis-10 της Symmetron datalogger έχει σταθερή τάση μέσω σύνδεσης με εξωτερική μπαταρία 12V η οποία συνοδεύεται από φορτιστή 12V. Το κάθε πυρανόμετρο συνδέεται σε ένα channel η μια επαφή του (κόκκινο χρώμα καλωδίου) και η άλλη σε ένα κοινό ground (άσπρο μπλε ντρενάζ).

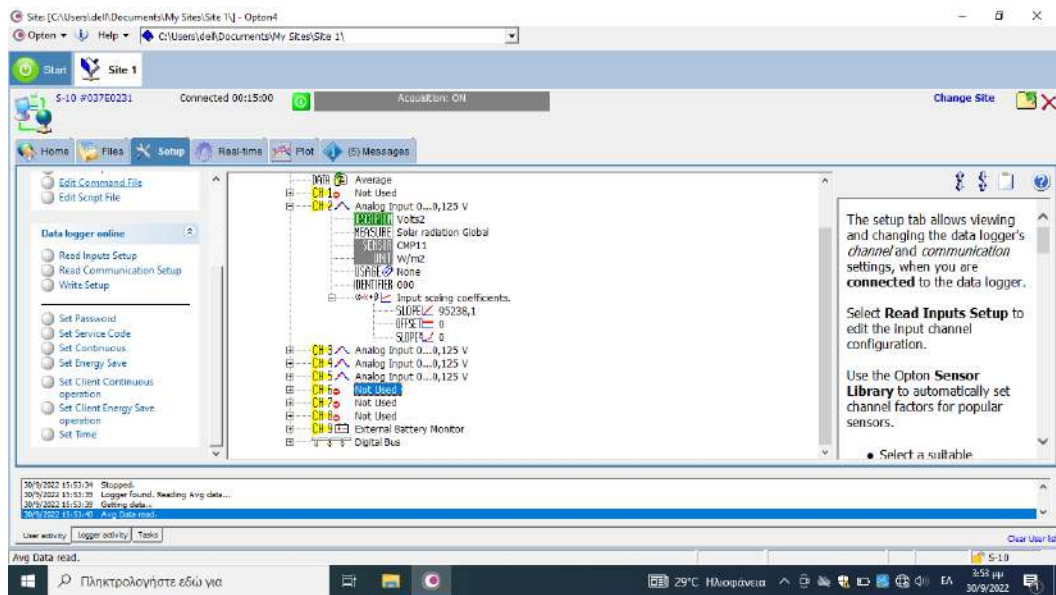
### 3.4 Ρύθμιση παραμέτρων μέσω του λογισμικού opton 4

Μετά την ολοκλήρωση της εγκατάστασης και σύνδεσης του πυρανομετρικού σταθμού, ακολουθεί στο στάδιο της ρύθμισης των κατάλληλων παραμέτρων μέσω του λογισμικού opton 4 ώστε να ληφθούν οι κατάλληλες μετρήσεις. Αρχικά, είναι σημαντικό να γίνει βαθμονόμηση του datalogger, η οποία πραγματοποιείται μέσω της επιλογής setup του λογισμικού. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ρύθμιση που επιλέχθηκε.



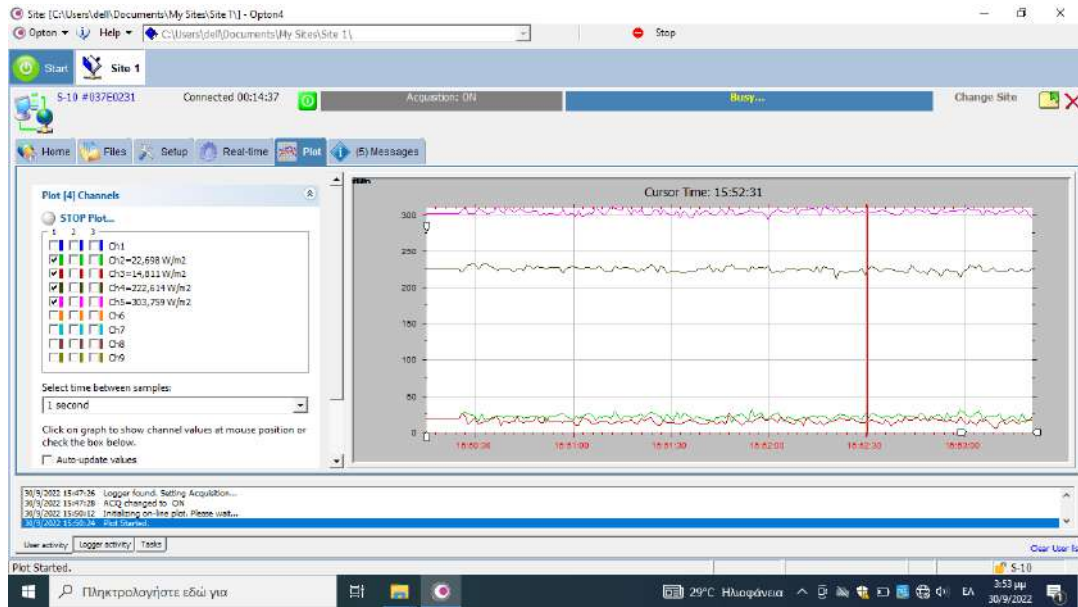
**ΕΙΚΟΝΑ 11: ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ**

Η εικόνα 13 είναι αποτέλεσμα στιγμιότυπου οθόνης και παρουσιάζει τις επιλογές ρυθμίσεων. Αρχικά κατά την διάρκεια ρυθμίσεων το καταγραφικό τίθεται εκτός λειτουργίας . Το κανάλι 1 βρίσκεται εκτός λειτουργίας διότι δεν έχει συνδεθεί κανένα πυρανόμετρο σε αυτό και απενεργοποιείται για να μην επηρεάζει τις υπόλοιπες μετρήσεις. Άρα στο κανάλι 2, στην κατηγορία Analog επιλέγουμε την ρύθμιση 0 έως 0,125V σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες του κατασκευαστή του ανάλογου πυρανόμετρου που χρησιμοποιείται. Στην συγκεκριμένη περίπτωση CMP11 αντίστοιχα στην κατηγορία Sensor. Αμέσως μετά στο Description επιλέγουμε volts, και στην συνέχεια στην κατηγορία Unit ορίζουμε την μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιούμε. Τέλος, στην κατηγορία Identifier καταχωρείται ο διορθωτικός συντελεστής (slope).



**ΕΙΚΟΝΑ 12: ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ 2.**

Για την ολοκλήρωση της βαθμονόμησης του καταγραφικού γίνεται έλεγχος σε πραγματικό χρόνο των μετρήσεων των πυρανομέτρων που είναι συνδεδεμένα στα κανάλια 2-3-4-5. Συγκεκριμένα γίνεται έλεγχος για χρονικό διάστημα περίπου τριών λεπτών και ελέγχεται η σταθερή και συνεχόμενη ροή μετρήσεων, ο κέρσορας τοποθετήθηκε στη χρονική στιγμή 15:52:30 και στο κουτάκι στα αριστερά της οθόνης δεξιά κάθε καναλιού παρουσιάζονται οι τιμές που λαμβάνει κάθε κανάλι εκείνη ακριβώς τη στιγμή. Τα ανωτέρω παρουσιάζονται στην εικόνα 14 που ακολουθεί. Στιγμιότυπα της οθόνης καθ' όλη τη διάρκεια βαθμονόμησης παρουσιάζονται στο παράρτημα 2 της εργασίας.



**ΕΙΚΟΝΑ 13: ΖΩΝΤΑΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ 2-3-4-5 ΣΤΙΣ 15:50 ΣΤΙΣ 30/9/2022**

## **Κεφάλαιο 4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

#### 4.1 Βαθμονόμηση πυρανόμετρων εγκατάστασης με πρότυπο

Για τη σύγκριση και τη βαθμονόμηση των πυρανόμετρων, χρησιμοποιήσαμε ένα πρότυπο πυρανόμετρο Hukseflux σε συνδυασμό με ένα καταγραφικό LI-19, τα οποία ήταν και τα δύο βαθμονομημένα με ακρίβεια για να χρησιμεύσουν ως όργανα αναφοράς. Η διασφάλιση της ακρίβειας του πρότυπου πυρανόμετρου είναι ζωτικής σημασίας, καθώς θέτει τη βάση για τη βαθμονόμηση όλων των άλλων συσκευών. Για να διευκολυνθεί αυτή η διαδικασία, το πρότυπο πυρανόμετρο τοποθετήθηκε ακριβώς δίπλα σε κάθε πυρανόμετρο από τον ακτινομετρικό σταθμό, εξασφαλίζοντας ότι και οι δύο συσκευές δέχονταν την ίδια ηλιακή ακτινοβολία.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης, το πρότυπο και το δοκιμαστικό πυρανόμετρο τοποθετήθηκαν το ένα δίπλα στο άλλο σε πανομοιότυπο ύψος και προσανατολισμό, ώστε να λαμβάνονται ταυτόχρονες μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή η προσέγγιση παράλληλων μετρήσεων πραγματοποιείται για την επίτευξη ακριβών αποτελεσμάτων βαθμονόμησης, καθώς ελαχιστοποιεί τις πιθανές αποκλίσεις που προκαλούνται από τις χρονικές και χωρικές διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ταυτόχρονη συλλογή δεδομένων διεξήχθη σε σταθερό χρονικό διάστημα, επιτρέποντας μια ισχυρή σύγκριση μεταξύ των μετρήσεων από το πρότυπο πυρανόμετρο και κάθε δοκιμαστικό πυρανόμετρο.

Μετά τη φάση συλλογής δεδομένων, αναλύσαμε τις μετρήσεις για να προσδιορίσουμε τον παράγοντα βαθμονόμησης για κάθε πυρανόμετρο. Ο παράγοντας αυτός είναι απαραίτητος για τη διόρθωση τυχόν αποκλίσεων από τις πραγματικές τιμές της ακτινοβολίας, όπως αυτές υποδεικνύονται από το πρότυπο όργανο. Ο συντελεστής βαθμονόμησης υπολογίστηκε με τη σύγκριση της εξόδου του δοκιμαστικού πυρανόμετρου με το πρότυπο πυρανόμετρο, αντλώντας έτσι έναν διορθωτικό συντελεστή που προσαρμόζει τις ενδείξεις του δοκιμαστικού πυρανόμετρου ώστε να ευθυγραμμιστούν με τις τιμές αναφοράς.

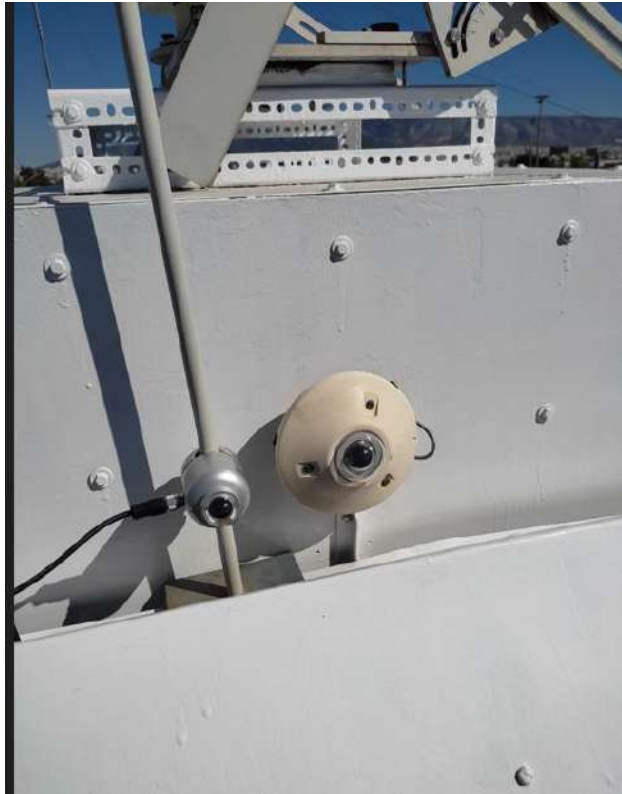
Στις 5 Οκτωβρίου 2022, πραγματοποιήσαμε μια σειρά συγκριτικών μετρήσεων χρησιμοποιώντας το πρότυπο πυρανόμετρο για να επαληθεύσουμε την ακρίβεια και τη συνέπεια των βαθμονομημένων πυρανόμετρων. Αυτό περιελάμβανε την τοποθέτηση του πρότυπου πυρανόμετρου δίπλα σε κάθε προηγουμένως βαθμονομημένο πυρανόμετρο και την καταγραφή δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας για μια συγκεκριμένη περίοδο. Αναλύοντας αυτές τις συγκριτικές μετρήσεις, εξασφαλίσαμε ότι οι συντελεστές

βαθμονόμησης που εφαρμόστηκαν σε κάθε πυρανόμετρο ήταν ακριβείς και ότι τα όργανα παρείχαν αξιόπιστες ενδείξεις.

Η διαδικασία εγκατάστασης του πρότυπου πυρανόμετρου τεκμηριώθηκε σχολαστικά για να διασφαλιστεί η επαναληψιμότητα και η ακρίβεια σε μελλοντικές ασκήσεις βαθμονόμησης. Το πρότυπο πυρανόμετρο τοποθετήθηκε σε σταθερή πλατφόρμα για την αποφυγή οποιασδήποτε μετακίνησης ή κλίσης, η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει τις μετρήσεις. Ο αισθητήρας οριζοντιώθηκε χρησιμοποιώντας ένα επίπεδο φυσαλίδων ακριβείας και ο προσανατολισμός του ευθυγραμμίστηκε προσεκτικά για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη έκθεση στο ηλιακό φως.

Εκτός από τις μετρήσεις βαθμονόμησης και σύγκρισης, καταγράψαμε επίσης τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της διαδικασίας βαθμονόμησης. Καταγράφηκαν παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η νεφοκάλυψη, καθώς αυτοί μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των πυρανόμετρων. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις μεταβλητές, βελτιώσαμε την ευρωστία της διαδικασίας βαθμονόμησης και την αξιοπιστία των παραγόμενων διορθωτικών συντελεστών.

Οι ακόλουθες εικόνες παρέχουν μια οπτική επισκόπηση του τυποποιημένου πυρανόμετρου και της διαδικασίας εγκατάστασης. Οι εικόνες αυτές απεικονίζουν την προσεκτική τοποθέτηση των πυρανόμετρων, τη διαδικασία ευθυγράμμισης και τη ρύθμιση παρακολούθησης του περιβάλλοντος.



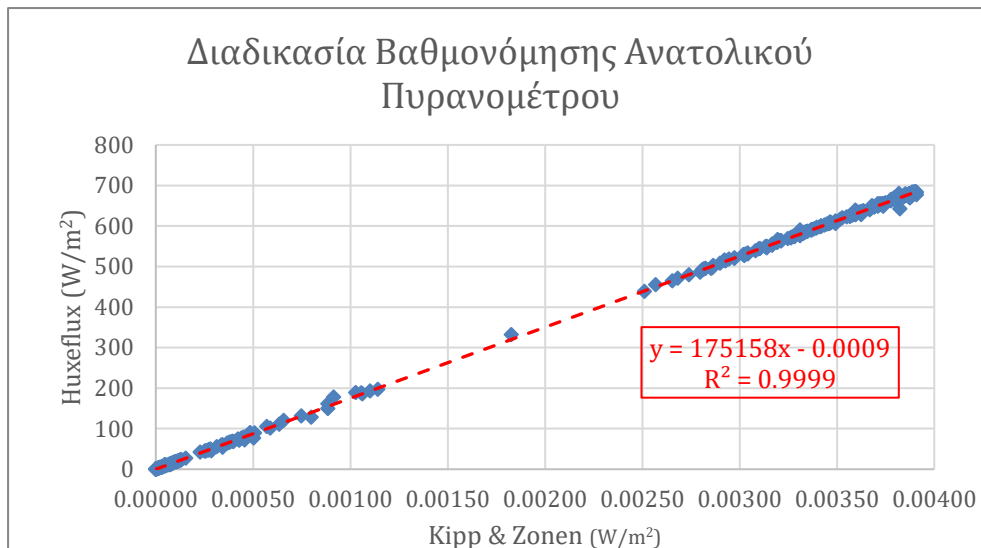
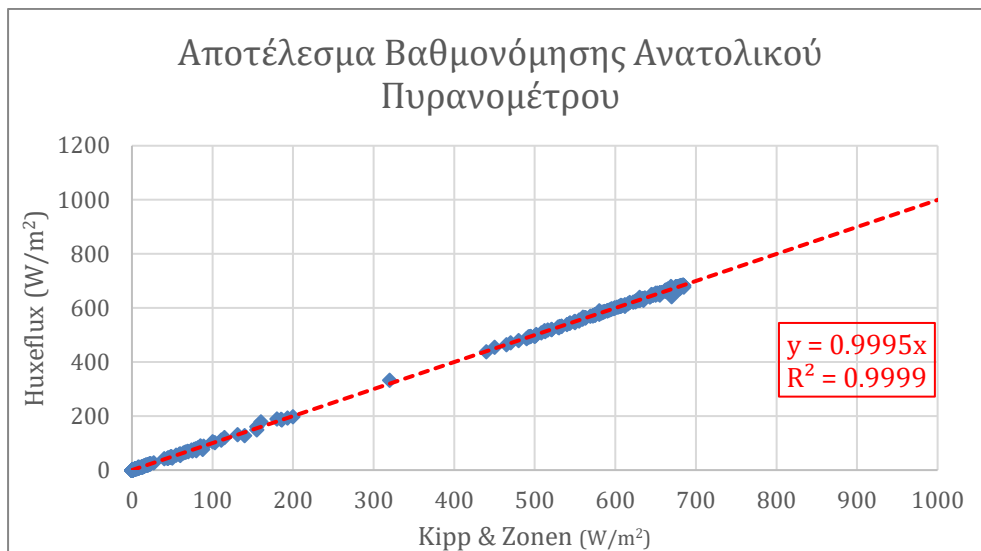
**ΕΙΚΟΝΑ 14: ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΟ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΣΤΟΝ ΑΚΤΙΝΟΜΕΤΡΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ**



**ΕΙΚΟΝΑ 15: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΟΥ**

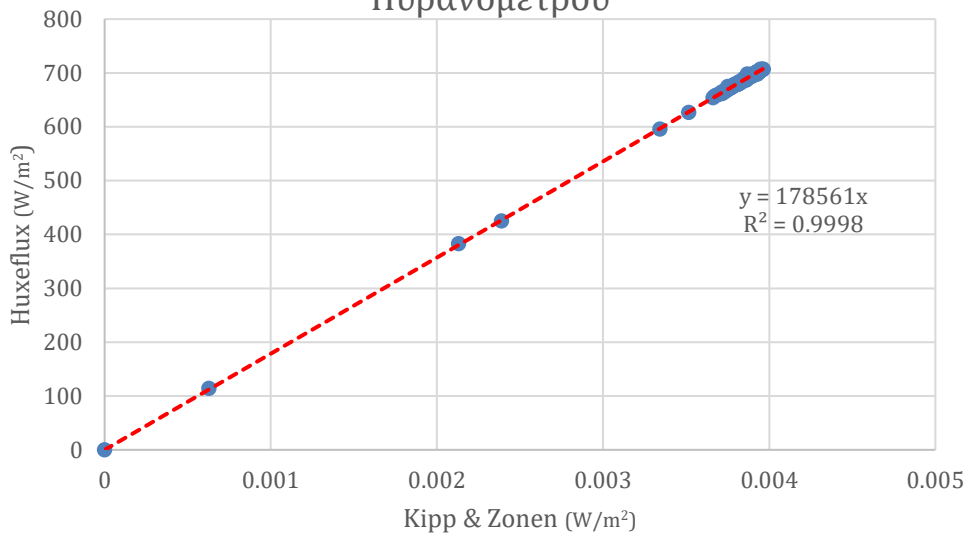
Οι τιμές των μετρήσεων παρουσιάζονται στο παράρτημα 4 της παρούσας εργασίας. Στα παρακάτω γραφήματα συγκρίνονται τα πυρανόμετρα της εγκατάστασης του ακτινομετρικού σταθμού (Kipp & Zonen) με το πρότυπο Βαθμονομημένο Huxeflux, ώστε να γίνει η βαθμονόμηση αυτών. Για το κάθε πυρανόμετρο υπάρχουν δύο γραφήματα : ένα πριν την βαθμονόμηση και ένα μετά καθώς και σε κάθε γράφημα ο διορθωτικός συντελεστής slope που χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση του κάθε πυρανομέτρου ξεχωριστά.

### ΠΙΝΑΚΕΣ 3: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΚΤΙΝΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ (KIPP & ZONEN) ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΜΕΝΟ HUXENFLUX

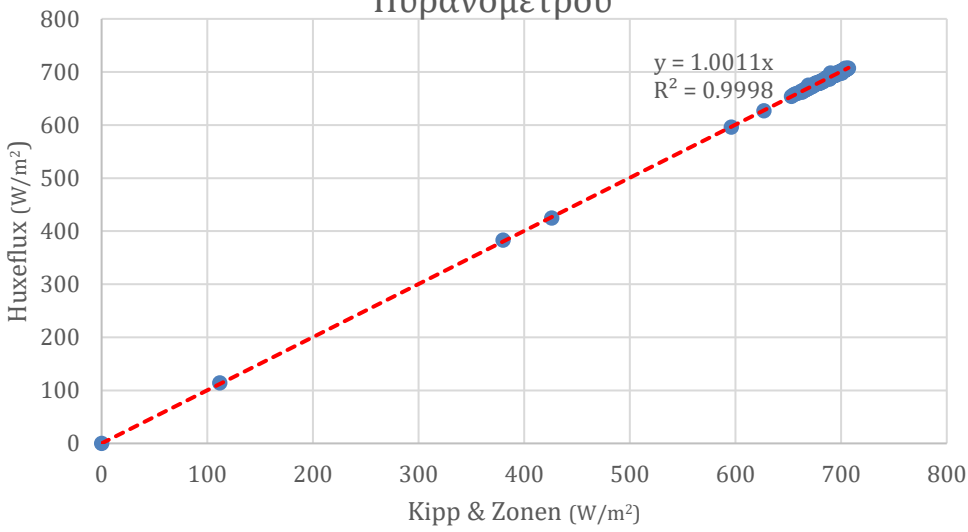




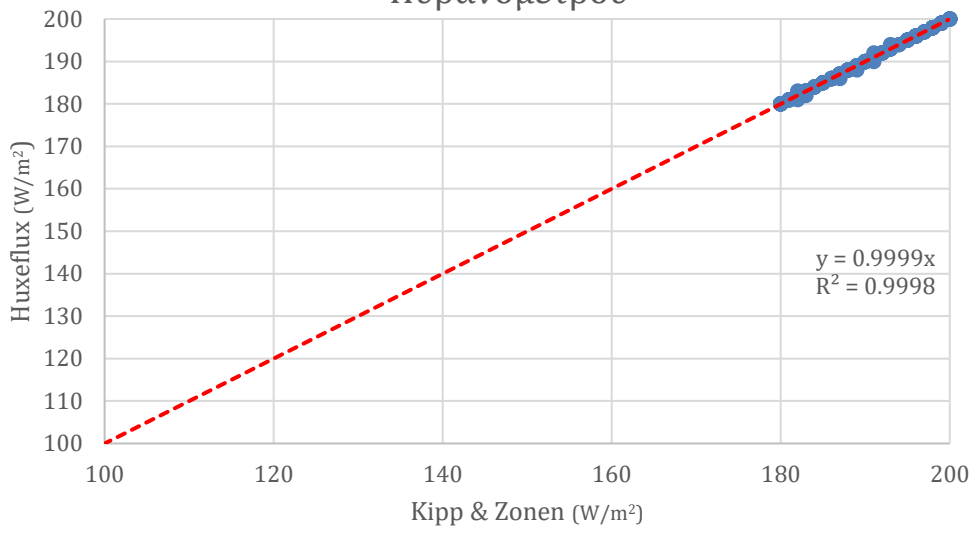
### Διαδικασία Βαθμονόμησης Νότιου Πυρανομέτρου



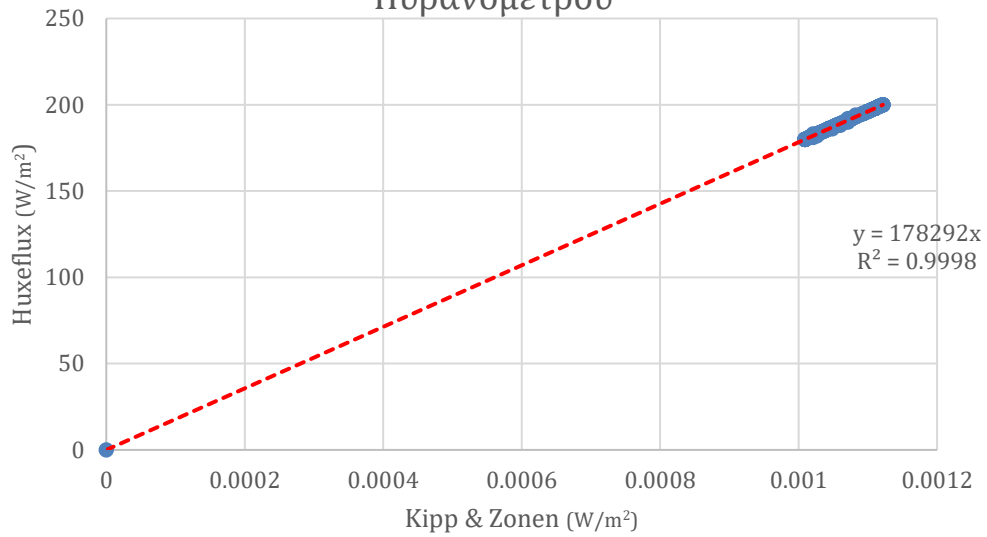
### Αποτέλεσμα Βαθμονόμησης Νότιου Πυρανομέτρου

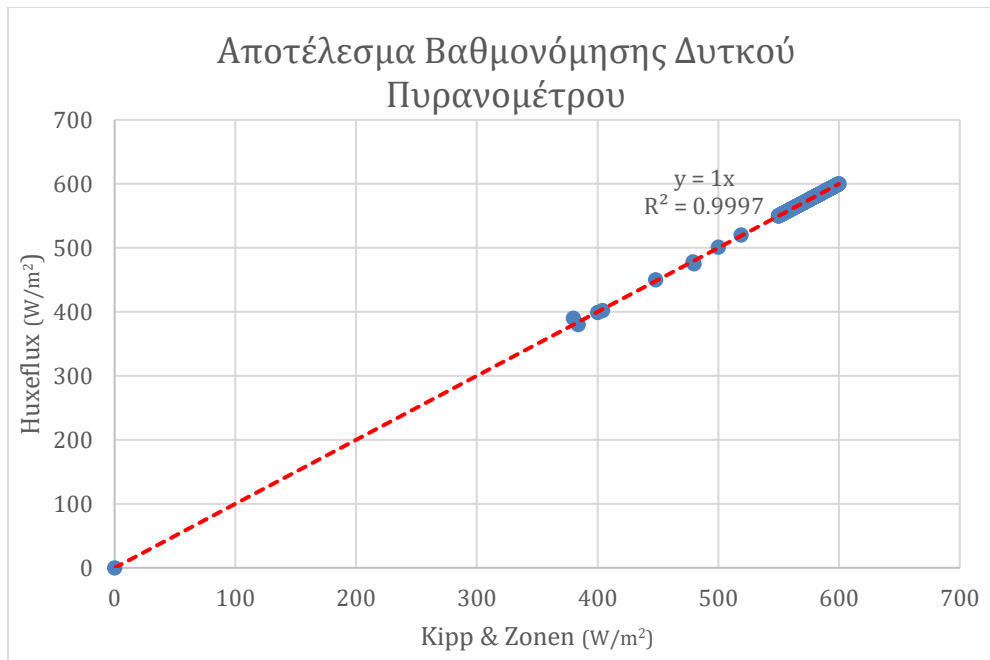


### Αποτέλεσμα Βαθμονόμησης Βόρριου Πυρανομέτρου



### Διαδικασία Βαθμονόμησης Βόρριου Πυρανομέτρου





#### 4.2 Ημερήσια καταγραφή όλων των πυρανομέτρων

Τα παρακάτω γραφήματα απεικονίζουν τις ημερήσιες μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας που καταγράφονται από πυρανόμετρα προσανατολισμένα προς το βορρά, το νότο, την ανατολή και τη δύση. Το πρώτο γράφημα αντιπροσωπεύει μια ηλιόλουστη ημέρα, ενώ το δεύτερο γράφημα απεικονίζει μια ημέρα με σημαντικές διακυμάνσεις στην ηλιακή ακτινοβολία λόγω σημαντικής νεφοκάλυψης.

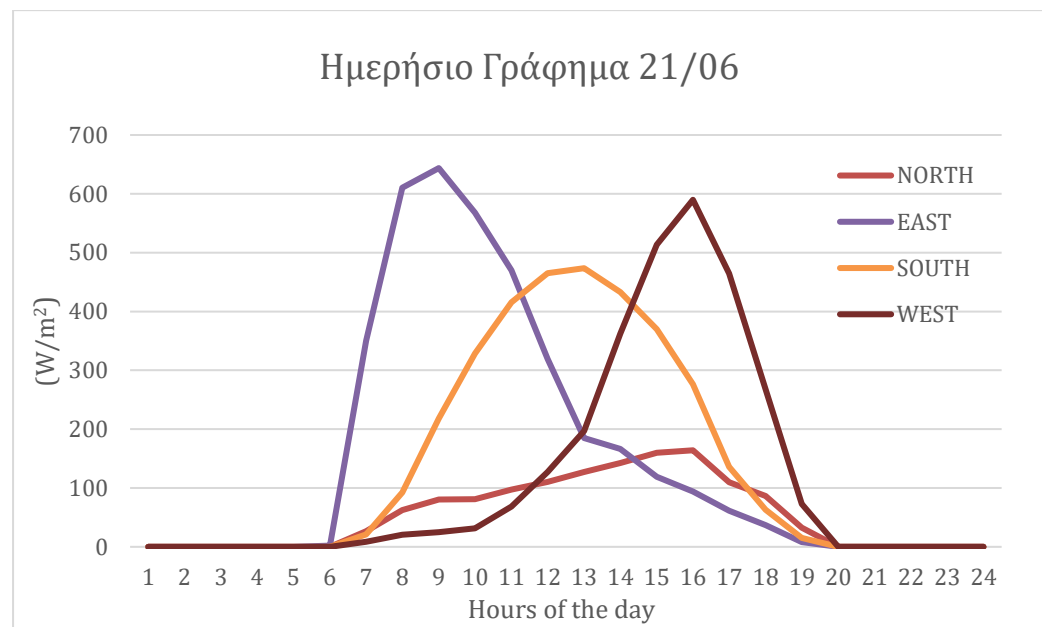
*Ανάλυση ηλιόλουστης ημέρας - 21 Ιουνίου:*

Στις 21 Ιουνίου, μια τυπική ηλιόλουστη ημέρα, οι τάσεις της ηλιακής ακτινοβολίας που παρατηρήθηκαν από τα πυρανόμετρα ευθυγραμμίζονται με τα αναμενόμενα μοτίβα με βάση την κίνηση του ήλιου στον ουρανό. Νωρίς το πρωί, το ανατολικό πυρανόμετρο παρουσιάζει αυξητική τάση καθώς οι πρώτες ακτίνες του ηλιακού φωτός το χτυπούν, φθάνοντας σε μέγιστο γύρω στις 9 π.μ. όταν οι ακτίνες του ήλιου είναι κάθετες στην επιφάνειά του. Αυτό το αρχικό μέγιστο ακολουθείται από σταθερή μείωση καθώς ο ήλιος κινείται προς το νότο.

Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, το νότιο πυρανόμετρο παρουσιάζει μια σχεδόν ημιτονοειδή τροχιά, χαρακτηριστική των μετρήσεων της ηλιακής ακτινοβολίας όταν ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο του στον ουρανό. Ωστόσο, η μέγιστη ακτινοβολία που καταγράφεται από

το νότιο πυρανόμετρο είναι χαμηλότερη από εκείνη των ανατολικών και δυτικών πυρανόμετρων. Αυτή η ανωμαλία υποδηλώνει πιθανή δυσλειτουργία, που ενδεχομένως οφείλεται στην ηλικία της συσκευής, υποδεικνύοντας ότι ίσως χρειάζεται αντικατάσταση για να διασφαλιστούν ακριβείς μετρήσεις.

Το απόγευμα, αφού το δυτικό πυρανόμετρο δεν σκιάζεται πλέον από τη δομή του σταθμού ακτινοβολίας (μετά τις 12:00 το μεσημέρι), αρχίζει να καταγράφει αυξανόμενα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας. Τα επίπεδα αυτά κορυφώνονται γύρω στις 4:00 μ.μ., όταν οι ακτίνες του ήλιου είναι και πάλι κάθετες στον αισθητήρα. Το βόρειο πυρανόμετρο, ωστόσο, παραμένει στη σκιά για το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας λόγω της θέσης του σε σχέση με τον ισημερινό και της κατασκευής του σταθμού ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να λαμβάνει ελάχιστες μετρήσεις.

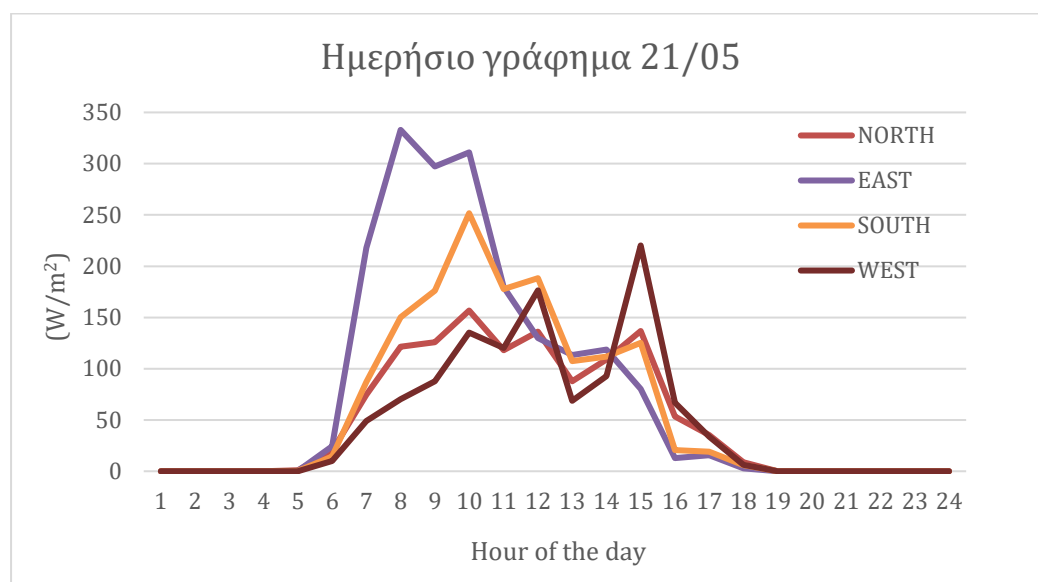


**ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ 21/06**

*Ανάλυση συνεφιασμένης ημέρας - 21 Μαΐου:*

Το δεύτερο γράφημα, που απεικονίζει δεδομένα από τις 21 Μαΐου, αντικατοπτρίζει τη μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προκαλείται από την εκτεταμένη νεφοκάλυψη. Νωρίς το πρωί, το ανατολικό πυρανόμετρο καταγράφει μια τυπική αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας έως και  $350 \text{ W/m}^2$ . Ωστόσο, καθώς η νεφοκάλυψη εντείνεται, οι ενδείξεις του πυρανόμετρου δεν αυξάνονται περαιτέρω και τελικά μειώνονται καθώς ο αισθητήρας αποκρύπτεται από τη δομή του σταθμού ακτινοβολίας.

Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλα τα πυρανόμετρα παρουσιάζουν κυμαινόμενα επίπεδα ακτινοβολίας που αντιστοιχούν στη διαλείπουσα νεφοκάλυψη. Κατά τη διάρκεια σύντομων περιόδων ηλιοφάνειας το απόγευμα, το δυτικό πυρανόμετρο καταγράφει αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας, υποδεικνύοντας βραχύβια διαλείμματα στη νεφοκάλυψη. Αυτές οι διακυμάνσεις συνάδουν με τις συνθήκες συννεφιάς που παρατηρήθηκαν, αποδεικνύοντας την ορθή λειτουργία όλων των πυρανόμετρων υπό μεταβλητές καιρικές συνθήκες.



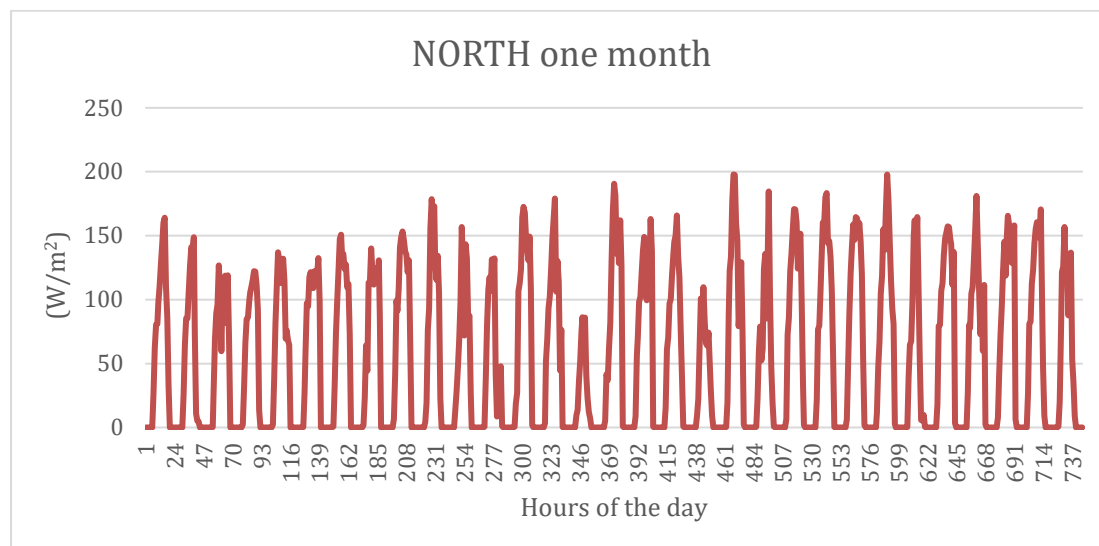
**ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ 21/05**

*Συμπέρασμα:*

Η ανάλυση αυτών των γραφημάτων υπογραμμίζει τη σημασία της τακτικής βαθμονόμησης και συντήρησης των πυρανόμετρων για τη διασφάλιση ακριβών μετρήσεων της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε μια ηλιόλουστη ημέρα όπως η 21η Ιουνίου, οποιεσδήποτε αποκλίσεις από τα αναμενόμενα μοτίβα μπορούν να σηματοδοτήσουν πιθανά προβλήματα με τους αισθητήρες, όπως παρατηρήθηκε με το νότιο πυρανόμετρο. Σε συννεφιασμένες ημέρες, όπως η 21η Μαΐου, η ικανότητα των πυρανόμετρων να καταγράφουν ταχείες αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία αναδεικνύει την ανταπόκριση και την αξιοπιστία τους.

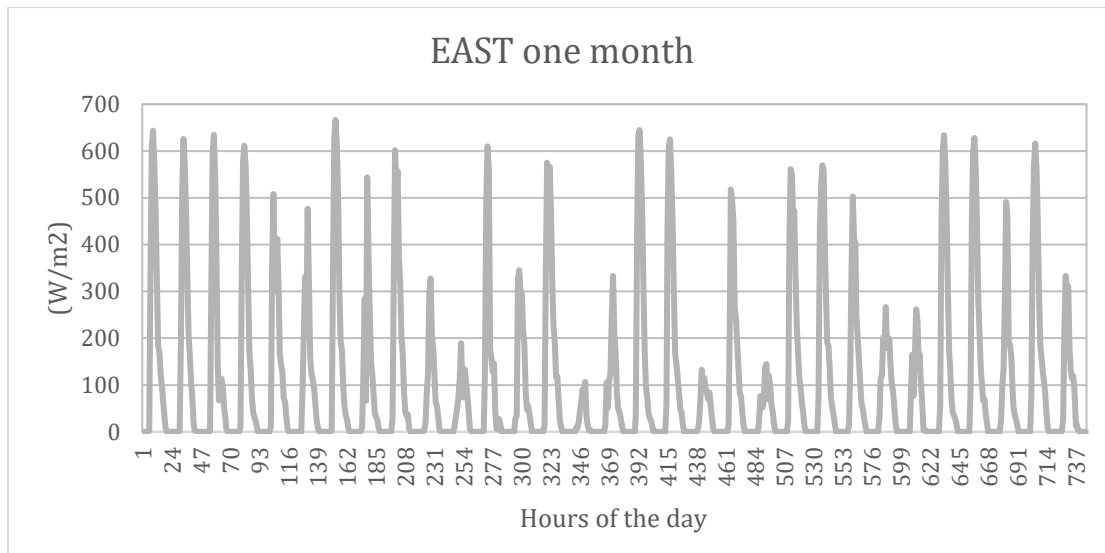
Τα οπτικά δεδομένα που παρέχουν τα πυρανόμετρα, σε συνδυασμό με την προσεκτική παρατήρηση και ανάλυση, διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην κατανόηση των καθημερινών προτύπων ηλιακής ακτινοβολίας. Οι πληροφορίες αυτές είναι ζωτικής σημασίας για διάφορες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της μετεωρολογικής έρευνας, της συλλογής ηλιακής ενέργειας και της παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Η διασφάλιση της καλής λειτουργίας όλων των πυρανόμετρων μέσω τακτικών ελέγχων και έγκαιρης αντικατάστασης εγγυάται την ακρίβεια και την αξιοπιστία των δεδομένων που συλλέγονται.

### 4.3 Μηνιαία καταγραφή δεδομένων



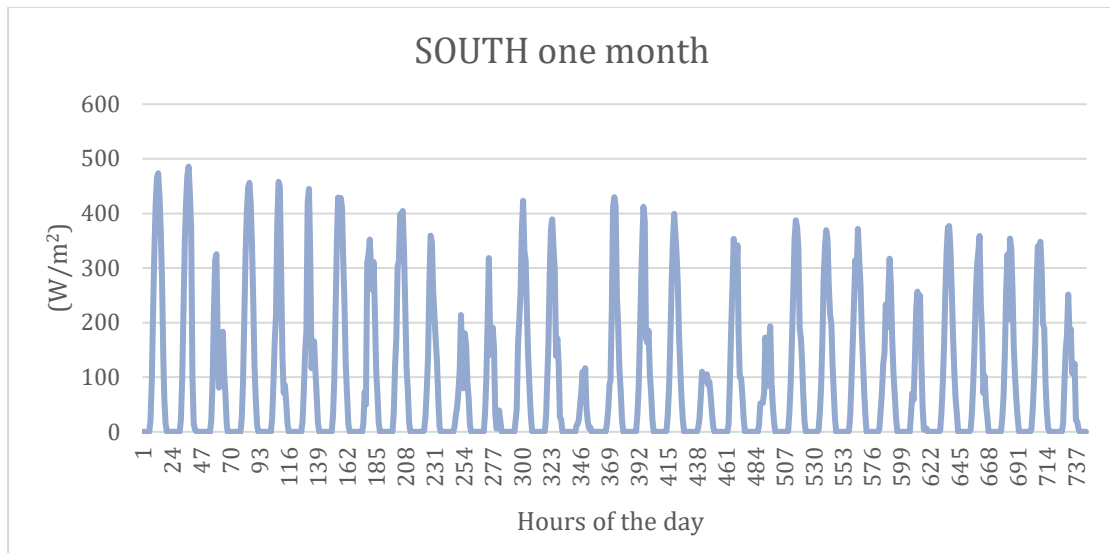
**ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (ΒΟΡΕΙΟ ΤΜΗΜΑ)**

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται πως αρκετές ώρες της ημέρας η μέτρηση είναι κάτω των 2001 τετραγωνικό μέτρο. οδηγούμαστε έτσι στο συμπέρασμα πως επικρατούσε συννεφιά καιρός ήταν νεφελώδης. Στην μηνιαία αποτύπωση των μετρήσεων βορείου πυρανόμετρο καταγράφηκαν χαμηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας λόγω της σκιάσής του από τον ακτινομετρικό σταθμό καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Παρατηρούνται πολλές μέρες συννεφιάς λόγω των χαμηλών τιμών ηλιακής ακτινοβολίας που καταγράφηκαν, Οι τιμές που καταγράφονται από το βόρειο πυρανόμετρο μπορούν να παρομοιαστούν, με τις προσδοκώμενες τιμές της διάχυτης ακτινοβολίας καθώς δεν πέφτουν άμεσα η ακτίνες του ηλίου σε αυτό.



#### ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΟ ΤΜΗΜΑ)

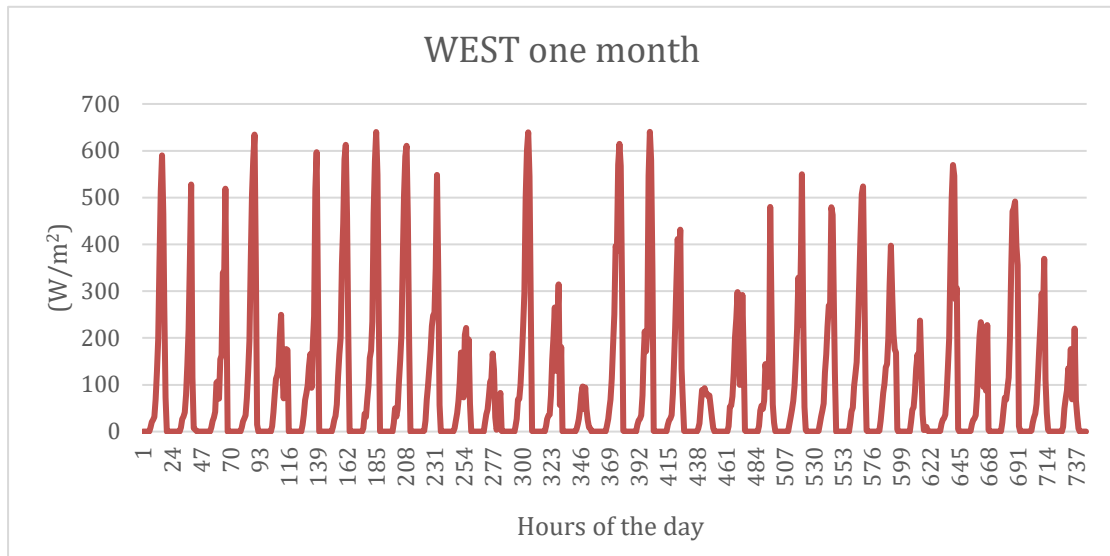
Στο διάγραμμα του ανατολικού πυρανόμετρου παρατηρείται ημερήσια μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας σε αντίστοιχες συνθήκες ηλιοφάνειας και συννεφιάς. στις καμπύλες υπάρχει μία απότομη αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας των πρωινών ακτινών του ηλίου που πέφτουν κάθετα στο ανατολικό πυρανόμετρο και φτάνει στις μέγιστες τιμές του πολύ γρήγορα πριν τις μεσημβρινές ώρες, μετά αρχίζει η σταδιακή μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας μέχρι τη στιγμή που σκιάζεται από την κατασκευή του ακτινομετρικού σταθμού. Επίσης παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις στις μέγιστες τιμές ακτινοβολίας ανά ημέρα αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σωστή λειτουργία του πυρανόμετρου διότι διαβάζει τις ηλιόλουστες αλλά και συννεφιασμένες ημέρες.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (ΝΟΤΙΟ ΤΜΗΜΑ)**

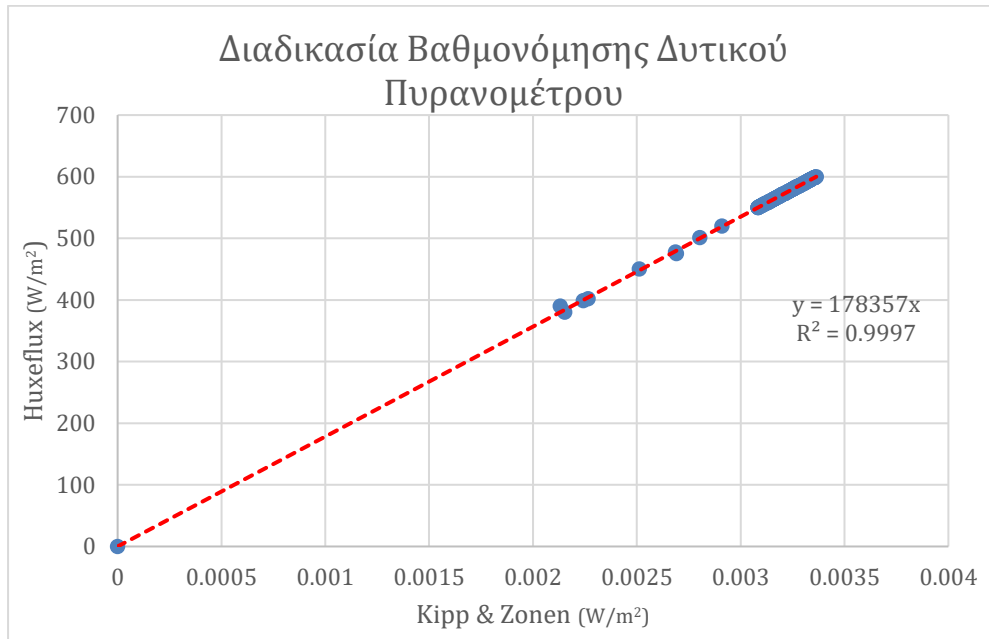
Στην νότια διεύθυνση του ακτινομετρικού σταθμούς το πυρανόμετρο της ηλιόλουστες ημέρες έχει μία ομαλή ημιτονοειδής καμπύλη καθώς δεν σκιάζεται καθόλου από τον ακτινομετρικό σταθμό. Οι τιμές που λαμβάνει θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τα πυρανόμετρα της ανατολής και της δύσης καθώς οι καταγραφές της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας τις μεσημβρινές ώρες δεν υπερβαίνουν τα  $500 \text{ watt}/m^2$  σε σχέση με τις άλλες 2 διευθύνσεις που ξεπερνούν τα  $600 \text{ watts}$ . Αναλογικά όμως το πυρανόμετρο καταγράφει σωστές τιμές καθώς οι διακυμάνσεις σύμφωνα με τις συνθήκες που επικρατούν την κάθε ημέρα προσεγγίζουν τις επιθυμητές καμπύλες μετρήσεων





**ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΜΗΝΙΑΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (ΔΥΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ)**

Στο παραπάνω διάγραμμα αποτυπώνεται καταγραφή δεδομένων στο νότιο μέρος του ακτινομετρικού σταθμού. Όπως παρουσιάζεται οι μέγιστες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνονται απογευματινές ώρες καθώς η καμπύλη την κάθε ημέρα είναι πιο ομαλά αυξανόμενη μέχρι να φτάσει στο μέγιστο της. Και αυτό το πυρανόμετρο επίσης καταγράφει σωστά, σύμφωνα και με τα παραπάνω διαγράμματα τις ημέρες συννεφιάς από τις χαμηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας.



Συνολικά, τα διαγράμματα και τα δεδομένα υπογραμμίζουν τη σημασία της τακτικής βαθμονόμησης και συντήρησης των πυρανόμετρων για τη διασφάλιση ακριβών μετρήσεων της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι σταθερά χαμηλές τιμές του βόρειου πυρανόμετρου λόγω σκίασης και οι ημερήσιες διακυμάνσεις των ανατολικών και νότιων πυρανόμετρων καταδεικνύουν την ικανότητα των οργάνων να καταγράφουν με ακρίβεια την ηλιακή ακτινοβολία υπό διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Οι μετρήσεις αυτές είναι ζωτικής σημασίας για διάφορες εφαρμογές, όπως η μετεωρολογική έρευνα, η συλλογή ηλιακής ενέργειας και η παρακολούθηση του περιβάλλοντος. Οι τακτικοί έλεγχοι και η έγκαιρη αντικατάσταση των πυρανόμετρων διασφαλίζουν τη συνεχή ακρίβεια και αξιοπιστία των δεδομένων που συλλέγονται.

## **Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα και μελλοντικές προτάσεις**

Η παρούσα διατριβή παρουσιάζει τα αποτελέσματα εκτεταμένων εργαστηριακών μελετών και πρακτικών εργασιών που επικεντρώνονται στη μέτρηση και ανάλυση της ηλιακής

ακτινοβολίας. Μετά από ενδελεχή ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας για την ηλιακή ακτινοβολία, σε συνδυασμό με λεπτομερή εξέταση των αρχών λειτουργίας του τεχνολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε, επιτεύχθηκε σημαντική πρόοδος. Ο ακτινομετρικός σταθμός του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής δεν λειτουργούσε για αρκετά χρόνια. Ωστόσο, μετά την απαραίτητη συντήρηση και αναβάθμιση, συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης καλωδίου UTP για την απομακρυσμένη συλλογή δεδομένων, ο σταθμός αποκαταστάθηκε σε λειτουργικότητα, επιτρέποντας ακριβείς και αξιόπιστες μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς την ανάγκη φυσικής παρουσίας προσωπικού στην οροφή.

Η επαναβαθμονόμηση όλων των πυρανόμετρων πραγματοποιήθηκε σχολαστικά, χρησιμοποιώντας το πρότυπο πυρανόμετρο του Πανεπιστημίου ως σημείο αναφοράς. Αυτό εξασφάλισε ότι όλα τα όργανα παρείχαν συνεκτικές και ακριβείς μετρήσεις, ζωτικής σημασίας για την αξιόπιστη ανάλυση των δεδομένων. Η βελτιωμένη ρύθμιση όχι μόνο αποκατέστησε τη λειτουργική ικανότητα του σταθμού, αλλά και βελτίωσε την ακρίβεια των μετρήσεών του, συνεισφέροντας έτσι πολύτιμα δεδομένα για τρέχοντα και μελλοντικά ερευνητικά έργα.

Μία από τις πολλά υποσχόμενες κατευθύνσεις για μελλοντικές εργασίες είναι η ανάπτυξη ενός φορητού ακτινομετρικού σταθμού. Ένας τέτοιος σταθμός θα μπορούσε εύκολα να αναπτυχθεί σε στέγες κτιρίων για τη λήψη ακριβών μετρήσεων της απορρόφησης της ηλιακής ενέργειας από διάφορες προσόψεις. Τα δεδομένα αυτά είναι ανεκτίμητα για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των κτιρίων και της διαχείρισης της ενέργειας. Με την κατανόηση της δυναμικής της ηλιακής ενέργειας κάθε επιφάνειας του κτιρίου, καθίσταται δυνατός ο σχεδιασμός καλύτερα ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων.

Επιπλέον, η προσέγγιση αυτή μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη διαχείριση του φορτίου φωτισμού ενός κτιρίου για τη μεγιστοποίηση της εξοικονόμησης ενέργειας. Για παράδειγμα, η ενσωμάτωση απλών συστημάτων αυτοματισμού με λαμπτήρες με δυνατότητα dimmable και ρυθμιζόμενους ηλεκτρικούς πίνακες σκίασης μπορεί να βελτιστοποιήσει τον εσωτερικό φωτισμό με βάση δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το προσαρμοστικό σύστημα φωτισμού μπορεί να μειώσει την περιττή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, ενισχύοντας τη συνολική ενεργειακή απόδοση του κτιρίου.

Επιπλέον, τα συλλεγόμενα ακτινομετρικά δεδομένα μπορούν να ενημερώσουν για τη στρατηγική εγκατάσταση κάθετων φωτοβολταϊκών πάνελ στις προσόψεις του κτιρίου. Με την ανάλυση των προτύπων ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε πλευρά του κτιρίου, είναι δυνατόν να καθοριστούν οι βέλτιστες θέσεις και προσανατολισμοί για τα εν λόγω πάνελ. Αυτό όχι

μόνο βελτιώνει την αποδοτικότητα της συλλογής ηλιακής ενέργειας, αλλά συμβάλλει επίσης στην ενεργειακή ανεξαρτησία του κτιρίου και στους στόχους βιωσιμότητας.

Η εργασία αναδεικνύει επίσης τις ευρύτερες επιπτώσεις των ακριβών μετρήσεων της ηλιακής ακτινοβολίας στον αστικό σχεδιασμό και τη διαχείριση του περιβάλλοντος. Τα ακριβή δεδομένα μπορούν να καθοδηγήσουν την τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών σε ολόκληρη την αστική περιοχή, μεγιστοποιώντας την παραγωγή ενέργειας και μειώνοντας την εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επιπλέον, υποστηρίζουν σχεδιασμούς κτιρίων που ανταποκρίνονται στο κλίμα και μπορούν να προσαρμόζονται στις ποικίλες καιρικές συνθήκες, ενισχύοντας έτσι την ανθεκτικότητα και τη βιωσιμότητα των αστικών περιβαλλόντων.

Συμπερασματικά, η παρούσα εργασία υπογραμμίζει τον κρίσιμο ρόλο της ακριβούς μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας στην προώθηση της ενεργειακής απόδοσης και της αειφορίας. Η αποκατάσταση και η ενίσχυση του ακτινομετρικού σταθμού στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής σηματοδοτούν ένα σημαντικό βήμα προς τα εμπρός στον τομέα αυτό. Οι γνώσεις που αποκτήθηκαν από την παρούσα εργασία θέτουν τα θεμέλια για μελλοντικές καινοτομίες, όπως οι φορητοί ακτινομετρικοί σταθμοί και τα προσαρμοστικά συστήματα διαχείρισης κτιρίων, που μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και να προωθήσουν τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη. Η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών με πρακτικές εφαρμογές ανοίγει νέους δρόμους για την έρευνα και την ανάπτυξη, ανοίγοντας το δρόμο για πιο έξυπνες, αποδοτικές και φιλικές προς το περιβάλλον κτιριακές πρακτικές.

## **Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές**

1. Καββαδίας, Κ. (2015), *Ήπιες μορφές ενέργειας, ενότητα 6: Ηλιακή ακτινοβολία*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Διδακτικές Σημειώσεις
2. Τρικαλίτης, Π. (2006), *Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο*, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Τμήμα Χημεία, Διδακτικές Σημειώσεις
3. De Vicenzi, M. & Fasano, G. (2020), *A brief history of measuring instruments for solar radiation*, CNR Institute of BioEconomy, Florence

4. Symmetron, (2016), *Στυλίτης-10: Οδηγίες εγκατάστασης*, Σύμμετρον ηλεκτρονικές εφαρμογές
5. <http://mymeasurements.eu/u/lapup/solar.php?lang=el>(Ανακτήθηκε στις 9/9/2022)
6. <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/th/math9.html> (Ανακτήθηκε στις 9/9/2022)
7. <https://science.fandom.com>(Ανακτήθηκε στις 9/9/2022)
8. <https://www.kippzonen.com/>(Ανακτήθηκε στις 9/9/2022)
9. [https://www.scienter.gr/web/el/cmp\\_pyranometers.php](https://www.scienter.gr/web/el/cmp_pyranometers.php) (Ανακτήθηκε στις 9/9/2022)
10. [https://www.symmetron.gr/gr\\_products\\_sub\\_pageslist.php?showmaster=1&products\\_tb\\_id=186](https://www.symmetron.gr/gr_products_sub_pageslist.php?showmaster=1&products_tb_id=186)(Ανακτήθηκε στις 9/9/2022)
11. <https://www.vechro.gr/proioda/oxidol-antiskoriako-astari> (Ανακτήθηκε στις 10/9/2022)
12. [http://symmetron.gr/gr\\_index.php?cat1=20](http://symmetron.gr/gr_index.php?cat1=20)(Ανακτήθηκε στις 29/9/2022)
13. Anon. n.d. "Analysis of Instrumentation System for Photovoltaic Pyranometer Used to Measure Solar Irradiation Level | Megantoro | Bulletin of Electrical Engineering and Informatics." Retrieved July 11, 2024 (https://beei.org/index.php/EEl/article/view/4390).
14. Azouzoute, Alae, Ahmed Alami Merrouni, El Ghali Bennouna, and Abdellatif Gennioui. 2019. "Accuracy Measurement of Pyranometer vs Reference Cell for PV Resource Assessment." *Energy Procedia* 157:1202–9. doi: 10.1016/j.egypro.2018.11.286.
15. Dantas, Evandson Claude Seabra, José Taunaí Dantas Segundo, Sebastian Yuri Cavalcanti Catunda, Diomadson Rodrigues Belfort, Raimundo Carlos Silvérios Freire, and Paulo Fernandes da Silva Júnior. 2022. "Architecture of an Electrical Equivalence Pyranometer with Temperature Difference Analog Control." *Sensors* 22(21):8137. doi: 10.3390/s22218137.
16. Iqbal, Muhammad. 2012. *An Introduction To Solar Radiation*. Elsevier.
17. Jeter, Sheldon M. 1981. "Maximum Conversion Efficiency for the Utilization of Direct Solar Radiation." *Solar Energy* 26(3):231–36. doi: 10.1016/0038-092X(81)90207-3.
18. Karaman, Ömer Ali, Tuba Tanyıldızı Ağır, and İsmail Arsel. 2021. "Estimation of Solar Radiation Using Modern Methods." *Alexandria Engineering Journal* 60(2):2447–55. doi: 10.1016/j.aej.2020.12.048.
19. Karki, Sameep, Hesam Ziar, Marc Korevaar, Thijs Bergmans, Joop Mes, and Olindo Isabella. 2021. "Performance Evaluation of Silicon-Based Irradiance Sensors Versus Thermopile Pyranometer." *IEEE Journal of Photovoltaics* 11(1):144–49. doi: 10.1109/JPHOTOV.2020.3038342.

20. Sabbagh, J. A., A. a. M. Sayigh, and E. M. A. El-Salam. 1977. "Estimation of the Total Solar Radiation from Meteorological Data." *Sol. Energy; (United States)* 19:3. doi: 10.1016/0038-092X(77)90075-5.
21. Taha, Muhammad, M. Omar, Saad Khan, Stephen Larkin, and Malik Imran Ali. 2023. "A Low-Cost IoT-Enabled Pyranometer; Based on the Peltier Element." *International Journal of Engineering Trends and Technology* 71:334–40. doi: 10.14445/22315381/IJETT-V71I2P235.
22. Vignola, Frank, Zachary Derocher, Josh Peterson, Laurent Vuilleumier, Christian Félix, Julian Gröbner, and Natalia Kouremeti. 2016. "Effects of Changing Spectral Radiation Distribution on the Performance of Photodiode Pyranometers." *Solar Energy* 129:224–35. doi: 10.1016/j.solener.2016.01.047.
23. Wald, Lucien. 2021. *Fundamentals of Solar Radiation*. London: CRC Press.
24. Yun, Su-In, Hye-Rim Kim, Doo Yong Park, and Jae-Weon Jeong. 2020. "Sensor Minimization Method for Integrated Daylighting Control by a Mathematical Approach." *Energy and Buildings* 214:109891. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109891.

## Παράρτημα

### Παράρτημα 1. Τεχνικά χαρακτηριστικά πυρανομέτρων Kipp & Zonen

Κοινά χαρακτηριστικά των CMP	
Οπτικό πεδίο	180°
Τύπος αισθητηρίου	Θερμοστήλη
Προστασία IP	67
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40 °C ... +80 °C
Υγρασία λειτουργίας	0 ... 100%
MTBF	> 10 ετών

ΕΙΚΟΝΑ 16: ΚΟΙΝΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ CMP

<b>CMP3</b>		<b>CMP6</b>	
Κατάταξη κατά ISO 9060	B' τάξης	Κατάταξη κατά ISO 9060	A' τάξης
Ευαισθησία	5 ... 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$	Ευαισθησία	5 ... 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Σύνθετη αντίσταση	20 ... 200 $\Omega$	Σύνθετη αντίσταση	20 ... 200 $\Omega$
Φασματικό εύρος (20% σημ.)	285 ... 3000 nm	Φασματικό εύρος (20% σημ.)	270 ... 3000 nm
Φασματικό εύρος (50% σημ.)	300 ... 2800 nm	Φασματικό εύρος (50% σημ.)	285 ... 2800 nm
Χρόνος απόκρισης (63%)	< 6 sec	Χρόνος απόκρισης (63%)	< 6 sec
Χρόνος απόκρισης (95%)	< 18 sec	Χρόνος απόκρισης (95%)	< 18 sec
Zero offset A	< 15 $\text{W}/\text{m}^2$	Zero offset A	< 10 $\text{W}/\text{m}^2$
Zero offset B	< 5 $\text{W}/\text{m}^2$	Zero offset B	< 4 $\text{W}/\text{m}^2$
Απόκριση κατεύθυνσης <sup>(1)</sup>	< 20 $\text{W}/\text{m}^2$	Απόκριση κατεύθυνσης <sup>(1)</sup>	< 20 $\text{W}/\text{m}^2$
Απόκριση θερμοκρασίας <sup>(2)</sup>	< 5 %	Απόκριση θερμοκρασίας <sup>(2)</sup>	< 4 %

**ΕΙΚΟΝΑ 17: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ CMP3 ΚΑΙ CMP6**

Κοινά χαρακτηριστικά των SMP	
Αναλογική έξοδος (V-έκδοση)	0 ... 1 V
Αναλογική έξοδος (A-έκδοση)	4 ... 20 mA
Ψηφιακή έξοδος	RS-485
Οπτικό πεδίο	180°
Τύπος αισθητηρίου	Θερμοστήλη
Τάση τροφοδοσίας	5 ... 30 VDC
Προστασία IP	67
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40 °C ... +80 °C
Υγρασία λειτουργίας	0 ... 100%

**ΕΙΚΟΝΑ 18: ΚΟΙΝΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ SMP**

SMP3		SMP6	
Κατάταξη κατά ISO 9060	B' τάξης	Κατάταξη κατά ISO 9060	A' τάξης
Φασματικό εύρος (20% σημ.)	285 ... 3000 nm	Φασματικό εύρος (20% σημ.)	270 ... 3000 nm
Φασματικό εύρος (50% σημ.)	300 ... 2800 nm	Φασματικό εύρος (50% σημ.)	285 ... 2800 nm
Χρόνος απόκρισης (63%)	< 1.5 sec	Χρόνος απόκρισης (63%)	< 1.5 sec
Χρόνος απόκρισης (95%)	< 12 sec	Χρόνος απόκρισης (95%)	< 12 sec
Zero offset A	< 15 W/m <sup>2</sup>	Zero offset A	< 10 W/m <sup>2</sup>
Zero offset B	< 5 W/m <sup>2</sup>	Zero offset B	< 4 W/m <sup>2</sup>
Απόκριση κατεύθυνσης <sup>(1)</sup>	< 20 W/m <sup>2</sup>	Απόκριση κατεύθυνσης <sup>(1)</sup>	< 15 W/m <sup>2</sup>
Απόκριση θερμοκρασίας <sup>(2)</sup>	< 2 %	Απόκριση θερμοκρασίας <sup>(2)</sup>	< 1.5 %

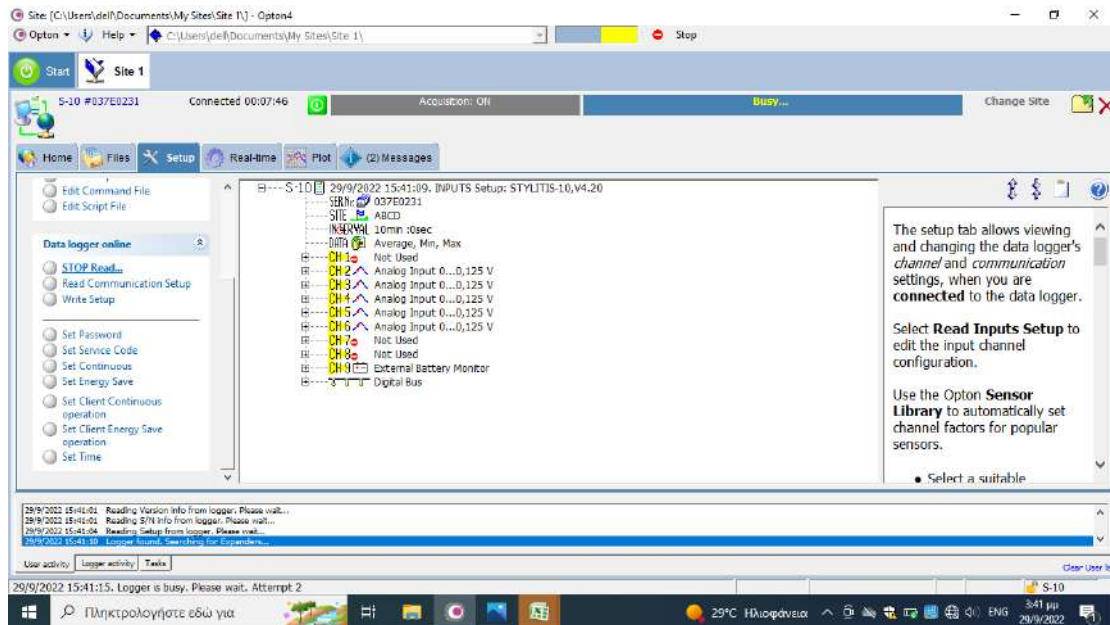
**ΕΙΚΟΝΑ 19: ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ SMP3 ΚΑΙ SMP6**



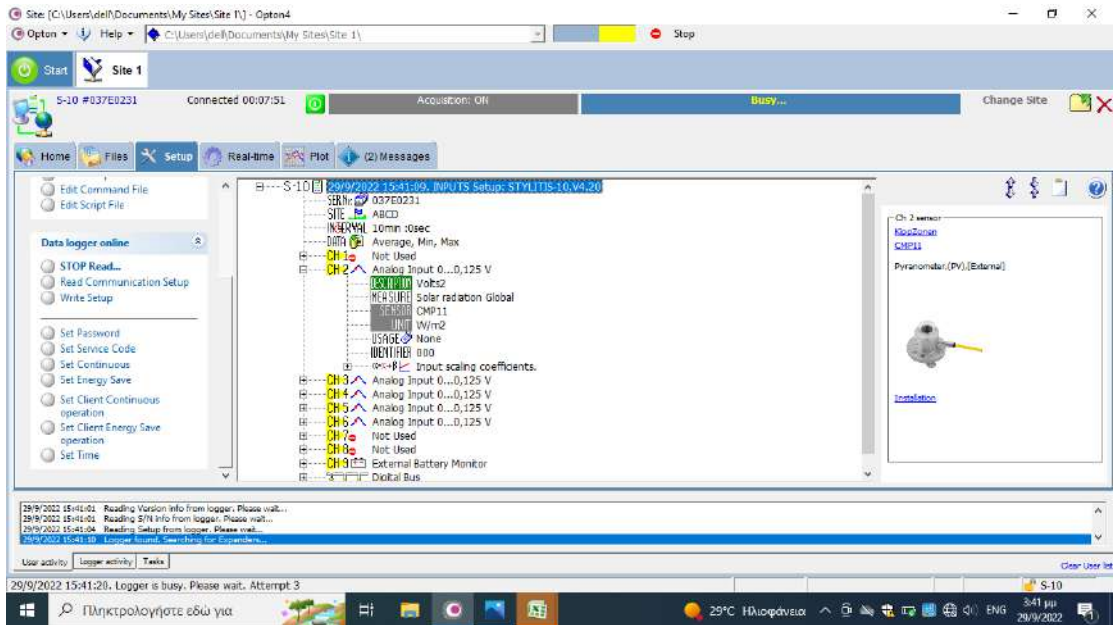
## Παράρτημα 2. Βαθμονόμηση καταγραφικού μέσω του λογισμικού opton-4



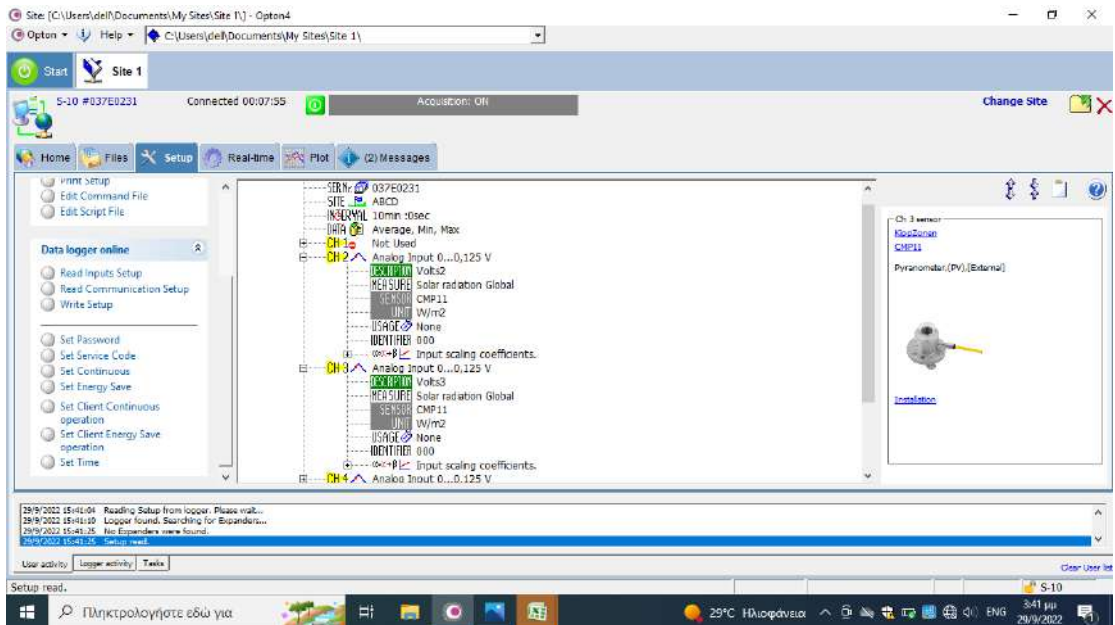
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΑΡΧΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



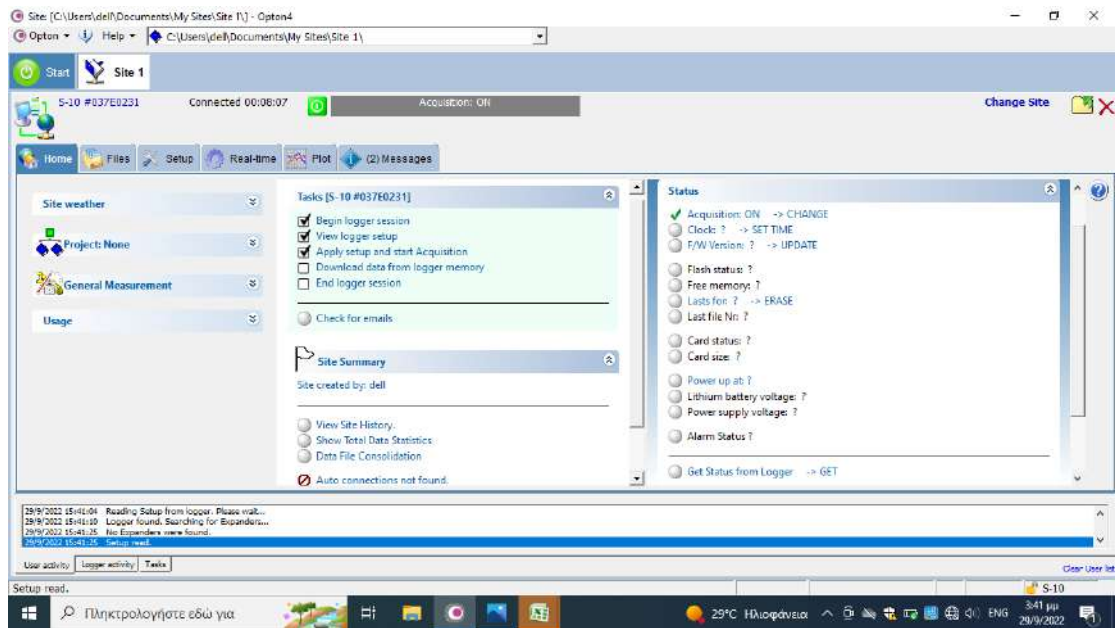
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΕΙΣΟΔΩΝ ΤΩΝ ΚΑΝΑΛΙΩΝ 2 ΕΩΣ 6



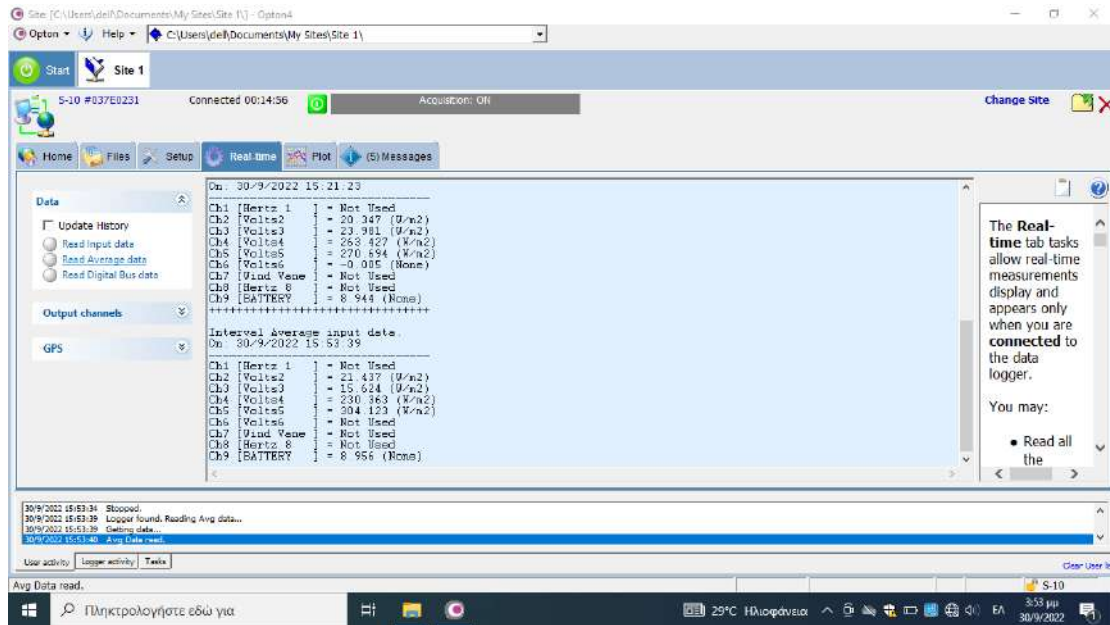
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ 2



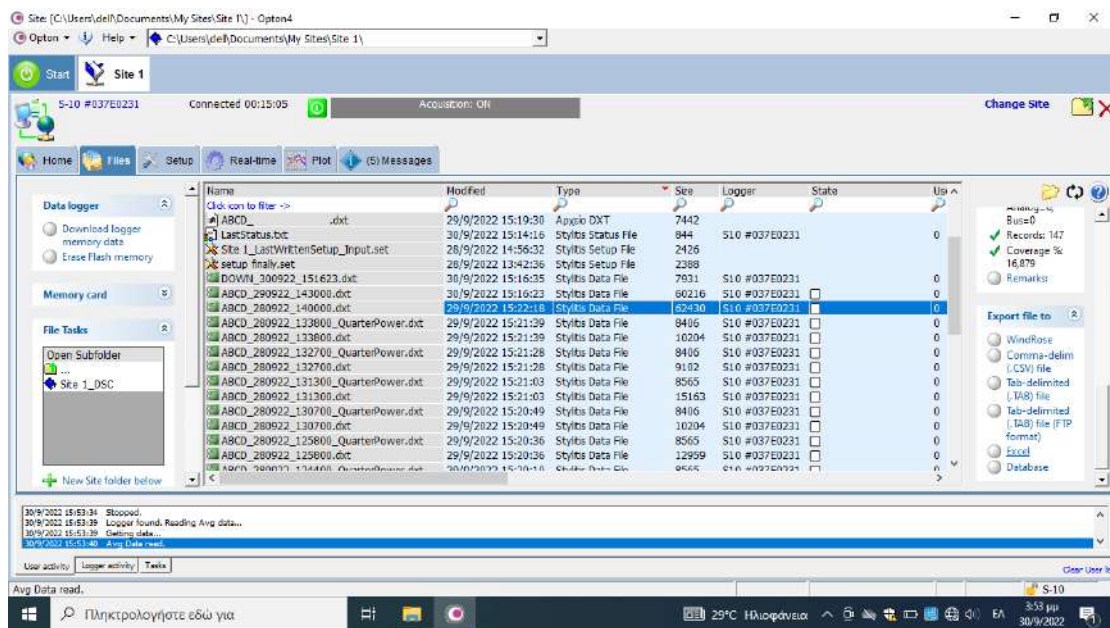
ΕΙΚΟΝΑ 23: ΡΥΘΜΙΣΗ ΚΑΝΑΛΙΟΥ 3



ΕΙΚΟΝΑ 24: ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 25: ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕΣΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 26: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

### Παράρτημα 3. Οι συγκριτικές μετρήσεις με το πρότυπο πυρανόμετρο

**ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΟ**

10/4/2022	2:48:44 PM	Min.	Max.	Average W/m <sup>2</sup>	Ανατολή
10/5/2022	7:00:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:01:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:01:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:02:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:02:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:03:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:03:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:04:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:04:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:05:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:05:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:06:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:06:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:07:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:07:44 AM	0	0	0	0

10/5/2022	7:08:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:08:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:09:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:09:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:10:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:10:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:11:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:11:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:12:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:12:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:13:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:13:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:14:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:14:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:15:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:15:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:16:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:16:44 AM	0	0	0	0

10/5/2022	7:17:14 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:17:44 AM	0	0	0	0
10/5/2022	7:18:14 AM	0	1	0	0
10/5/2022	7:18:44 AM	1	1	1	1
10/5/2022	7:19:14 AM	1	1	1	1
10/5/2022	7:19:44 AM	1	2	2	2
10/5/2022	7:20:14 AM	2	2	2	2
10/5/2022	7:20:44 AM	2	2	2	2
10/5/2022	7:21:14 AM	2	2	2	2
10/5/2022	7:21:44 AM	2	2	2	2
10/5/2022	7:22:14 AM	2	2	2	2
10/5/2022	7:22:44 AM	2	2	2	2
10/5/2022	7:23:14 AM	2	3	2	2
10/5/2022	7:23:44 AM	3	3	3	3
10/5/2022	7:24:14 AM	3	3	3	3
10/5/2022	7:24:44 AM	3	4	4	4
10/5/2022	7:25:14 AM	4	4	4	4
10/5/2022	7:25:44 AM	4	4	4	4

10/5/2022	7:26:14 AM	4	4	4	4
10/5/2022	7:26:44 AM	4	4	4	4
10/5/2022	7:27:14 AM	4	5	4	4
10/5/2022	7:27:44 AM	5	5	5	5
10/5/2022	7:28:14 AM	5	5	5	5
10/5/2022	7:28:44 AM	5	6	6	6
10/5/2022	7:29:14 AM	6	6	6	6
10/5/2022	7:29:44 AM	6	6	6	6
10/5/2022	7:30:14 AM	6	6	6	6
10/5/2022	7:30:44 AM	6	7	7	7
10/5/2022	7:31:14 AM	7	7	7	7
10/5/2022	7:31:44 AM	7	8	8	8
10/5/2022	7:32:14 AM	8	9	8	8
10/5/2022	7:32:44 AM	8	9	9	9
10/5/2022	7:33:14 AM	9	9	9	9
10/5/2022	7:33:44 AM	9	9	9	9
10/5/2022	7:34:14 AM	9	9	9	9
10/5/2022	7:34:44 AM	9	10	9	9



10/5/2022	7:35:14 AM	10	10	10	9
10/5/2022	7:35:44 AM	10	10	10	11
10/5/2022	7:36:14 AM	10	11	11	13
10/5/2022	7:36:44 AM	11	11	11	8
10/5/2022	7:37:14 AM	11	12	11	13
10/5/2022	7:37:44 AM	12	13	12	12
10/5/2022	7:38:14 AM	13	13	13	13
10/5/2022	7:38:44 AM	13	13	13	13
10/5/2022	7:39:14 AM	13	13	13	13
10/5/2022	7:39:44 AM	13	14	14	15
10/5/2022	7:40:14 AM	14	15	14	14
10/5/2022	7:40:44 AM	15	15	15	15
10/5/2022	7:41:14 AM	15	15	15	15
10/5/2022	7:41:44 AM	15	16	16	16
10/5/2022	7:42:14 AM	17	17	17	17
10/5/2022	7:42:44 AM	17	18	18	19
10/5/2022	7:43:14 AM	18	18	18	17
10/5/2022	7:43:44 AM	18	18	18	18

10/5/2022	7:44:14 AM	18	19	19	19
10/5/2022	7:44:44 AM	19	20	20	20
10/5/2022	7:45:14 AM	20	20	20	20
10/5/2022	7:45:44 AM	20	21	20	20
10/5/2022	7:46:14 AM	21	22	21	21
10/5/2022	7:46:44 AM	22	25	23	22
10/5/2022	7:47:14 AM	22	25	23	23
10/5/2022	7:47:44 AM	22	23	22	22
10/5/2022	7:48:14 AM	23	24	23	23
10/5/2022	7:48:44 AM	23	36	27	27
10/5/2022	7:49:14 AM	37	56	49	49
10/5/2022	7:49:44 AM	56	61	59	59
10/5/2022	7:50:14 AM	61	67	64	64
10/5/2022	7:50:44 AM	67	72	69	69
10/5/2022	7:51:14 AM	72	77	74	74
10/5/2022	7:51:44 AM	77	81	79	79
10/5/2022	7:52:14 AM	81	83	82	82
10/5/2022	7:52:44 AM	69	83	77	77

10/5/2022	7:53:14 AM	54	69	60	60
10/5/2022	7:53:44 AM	55	84	66	66
10/5/2022	7:54:14 AM	86	119	105	100
10/5/2022	7:54:44 AM	94	121	111	111
10/5/2022	7:55:14 AM	65	93	77	88
10/5/2022	7:55:44 AM	63	75	67	67
10/5/2022	7:56:14 AM	76	99	89	89
10/5/2022	7:56:44 AM	74	100	90	85
10/5/2022	7:57:14 AM	69	75	71	75
10/5/2022	7:57:44 AM	76	119	101	103
10/5/2022	7:58:14 AM	118	128	120	115
10/5/2022	7:58:44 AM	130	187	161	155
10/5/2022	7:59:14 AM	186	191	188	185
10/5/2022	7:59:44 AM	187	191	189	180
10/5/2022	8:00:14 AM	183	188	186	186
10/5/2022	8:00:44 AM	188	208	197	200
10/5/2022	8:01:14 AM	160	209	193	193
10/5/2022	8:01:44 AM	117	157	131	131

10/5/2022	8:02:14 AM	129	155	149	155
10/5/2022	8:02:44 AM	98	152	128	140
10/5/2022	8:03:14 AM	53	96	72	80
10/5/2022	8:03:44 AM	41	52	45	50
10/5/2022	8:04:14 AM	41	43	42	40
10/5/2022	8:04:44 AM	43	44	44	44
10/5/2022	8:05:14 AM	45	45	45	45
10/5/2022	8:05:44 AM	45	45	45	45
10/5/2022	8:06:14 AM	45	53	47	47
10/5/2022	8:06:44 AM	51	58	55	55
10/5/2022	8:07:14 AM	46	50	48	48
10/5/2022	8:07:44 AM	47	51	49	49
10/5/2022	8:08:14 AM	47	51	48	48
10/5/2022	8:08:44 AM	51	55	54	60
10/5/2022	8:09:14 AM	56	88	68	70
10/5/2022	8:09:44 AM	92	246	178	160
10/5/2022	8:10:14 AM	250	417	332	320
10/5/2022	8:10:44 AM	419	448	438	440

10/5/2022	8:11:14 AM	449	461	455	450
10/5/2022	8:11:44 AM	461	468	464	465
10/5/2022	8:12:14 AM	468	475	471	470
10/5/2022	8:12:44 AM	475	484	479	480
10/5/2022	8:13:14 AM	484	488	486	490
10/5/2022	8:13:44 AM	488	495	492	492
10/5/2022	8:14:14 AM	495	496	495	495
10/5/2022	8:14:44 AM	494	496	494	494
10/5/2022	8:15:14 AM	493	494	493	493
10/5/2022	8:15:44 AM	494	495	495	500
10/5/2022	8:16:14 AM	495	500	497	501
10/5/2022	8:16:44 AM	500	504	502	502
10/5/2022	8:17:14 AM	504	511	508	508
10/5/2022	8:17:44 AM	511	513	513	513
10/5/2022	8:18:14 AM	514	517	516	512
10/5/2022	8:18:44 AM	517	520	518	516
10/5/2022	8:19:14 AM	519	520	520	521
10/5/2022	8:19:44 AM	520	524	521	521

10/5/2022	8:20:14 AM	525	527	527	530
10/5/2022	8:20:44 AM	527	530	529	529
10/5/2022	8:21:14 AM	530	532	531	531
10/5/2022	8:21:44 AM	531	532	531	533
10/5/2022	8:22:14 AM	531	535	533	533
10/5/2022	8:22:44 AM	536	542	539	540
10/5/2022	8:23:14 AM	542	544	543	543
10/5/2022	8:23:44 AM	544	545	544	544
10/5/2022	8:24:14 AM	545	547	546	550
10/5/2022	8:24:44 AM	547	549	549	549
10/5/2022	8:25:14 AM	549	551	550	550
10/5/2022	8:25:44 AM	551	553	552	555
10/5/2022	8:26:14 AM	554	557	555	555
10/5/2022	8:26:44 AM	557	560	559	559
10/5/2022	8:27:14 AM	560	560	560	560
10/5/2022	8:27:44 AM	561	563	563	563
10/5/2022	8:28:14 AM	563	565	564	562
10/5/2022	8:28:44 AM	562	565	563	563

10/5/2022	8:29:14 AM	564	568	566	560
10/5/2022	8:29:44 AM	568	569	569	569
10/5/2022	8:30:14 AM	569	571	570	572
10/5/2022	8:30:44 AM	571	574	572	572
10/5/2022	8:31:14 AM	574	576	575	575
10/5/2022	8:31:44 AM	576	578	576	580
10/5/2022	8:32:14 AM	578	583	581	583
10/5/2022	8:32:44 AM	583	585	584	584
10/5/2022	8:33:14 AM	584	585	585	585
10/5/2022	8:33:44 AM	585	587	587	587
10/5/2022	8:34:14 AM	585	587	586	586
10/5/2022	8:34:44 AM	587	591	590	590
10/5/2022	8:35:14 AM	591	592	591	591
10/5/2022	8:35:44 AM	590	591	590	590
10/5/2022	8:36:14 AM	590	592	591	591
10/5/2022	8:36:44 AM	592	594	593	593
10/5/2022	8:37:14 AM	594	596	595	595
10/5/2022	8:37:44 AM	596	597	596	595

10/5/2022	8:38:14 AM	597	599	598	598
10/5/2022	8:38:44 AM	598	599	599	599
10/5/2022	8:39:14 AM	599	601	600	599
10/5/2022	8:39:44 AM	600	603	602	602
10/5/2022	8:40:14 AM	603	605	604	604
10/5/2022	8:40:44 AM	605	606	606	606
10/5/2022	8:41:14 AM	605	606	606	606
10/5/2022	8:41:44 AM	605	607	606	606
10/5/2022	8:42:14 AM	605	608	607	607
10/5/2022	8:42:44 AM	607	610	608	608
10/5/2022	8:43:14 AM	610	611	610	607
10/5/2022	8:43:44 AM	611	612	612	612
10/5/2022	8:44:14 AM	593	612	606	612
10/5/2022	8:44:44 AM	575	592	583	583
10/5/2022	8:45:14 AM	572	575	573	575
10/5/2022	8:45:44 AM	572	578	574	574
10/5/2022	8:46:14 AM	579	605	590	580
10/5/2022	8:46:44 AM	606	619	616	616



10/5/2022	8:47:14 AM	619	621	620	618
10/5/2022	8:47:44 AM	621	623	622	622
10/5/2022	8:48:14 AM	623	625	623	625
10/5/2022	8:48:44 AM	625	628	627	627
10/5/2022	8:49:14 AM	627	628	628	630
10/5/2022	8:49:44 AM	627	629	628	628
10/5/2022	8:50:14 AM	628	628	628	630
10/5/2022	8:50:44 AM	628	629	628	628
10/5/2022	8:51:14 AM	628	628	628	630
10/5/2022	8:51:44 AM	628	628	628	628
10/5/2022	8:52:14 AM	628	629	628	635
10/5/2022	8:52:44 AM	628	630	629	629
10/5/2022	8:53:14 AM	629	631	630	635
10/5/2022	8:53:44 AM	630	631	630	630
10/5/2022	8:54:14 AM	630	632	632	635
10/5/2022	8:54:44 AM	632	635	633	633
10/5/2022	8:55:14 AM	635	637	636	636
10/5/2022	8:55:44 AM	635	636	635	635

10/5/2022	8:56:14 AM	636	638	637	637
10/5/2022	8:56:44 AM	638	641	640	643
10/5/2022	8:57:14 AM	641	646	644	644
10/5/2022	8:57:44 AM	646	647	647	647
10/5/2022	8:58:14 AM	646	648	648	650
10/5/2022	8:58:44 AM	646	648	647	647
10/5/2022	8:59:14 AM	648	649	648	655
10/5/2022	8:59:44 AM	649	650	650	650
10/5/2022	9:00:14 AM	650	653	652	652
10/5/2022	9:00:44 AM	653	655	654	654
10/5/2022	9:01:14 AM	654	655	655	650
10/5/2022	9:01:44 AM	653	654	653	653
10/5/2022	9:02:14 AM	653	654	653	655
10/5/2022	9:02:44 AM	653	655	655	655
10/5/2022	9:03:14 AM	654	655	655	655
10/5/2022	9:03:44 AM	655	655	655	652
10/5/2022	9:04:14 AM	651	655	654	654
10/5/2022	9:04:44 AM	649	651	650	645

10/5/2022	9:05:14 AM	650	652	650	650
10/5/2022	9:05:44 AM	652	654	653	652
10/5/2022	9:06:14 AM	653	655	655	655
10/5/2022	9:06:44 AM	655	655	655	655
10/5/2022	9:07:14 AM	654	655	655	655
10/5/2022	9:07:44 AM	654	655	655	655
10/5/2022	9:08:14 AM	655	662	657	657
10/5/2022	9:08:44 AM	663	667	665	662
10/5/2022	9:09:14 AM	666	668	667	667
10/5/2022	9:09:44 AM	668	668	668	670
10/5/2022	9:10:14 AM	665	668	666	666
10/5/2022	9:10:44 AM	665	666	665	665
10/5/2022	9:11:14 AM	665	666	666	663
10/5/2022	9:11:44 AM	657	666	662	662
10/5/2022	9:12:14 AM	630	656	642	670
10/5/2022	9:12:44 AM	626	630	627	627
10/5/2022	9:13:14 AM	624	628	625	625
10/5/2022	9:13:44 AM	628	638	634	634

10/5/2022	9:14:14 AM	630	662	639	630
10/5/2022	9:14:44 AM	664	672	670	670
10/5/2022	9:15:14 AM	670	671	671	672
10/5/2022	9:15:44 AM	669	671	670	665
10/5/2022	9:16:14 AM	668	669	669	679
10/5/2022	9:16:44 AM	667	668	668	668
10/5/2022	9:17:14 AM	666	668	667	669
10/5/2022	9:17:44 AM	668	668	668	668
10/5/2022	9:18:14 AM	668	671	670	670
10/5/2022	9:18:44 AM	670	671	671	673
10/5/2022	9:19:14 AM	670	671	671	669
10/5/2022	9:19:44 AM	671	674	673	674
10/5/2022	9:20:14 AM	673	676	674	670
10/5/2022	9:20:44 AM	676	677	677	685
10/5/2022	9:21:14 AM	677	679	678	678
10/5/2022	9:21:44 AM	677	679	678	680
10/5/2022	9:22:14 AM	677	679	678	678
10/5/2022	9:22:44 AM	677	677	677	677

10/5/2022	9:23:14 AM	675	677	676	676
10/5/2022	9:23:44 AM	676	677	677	677
10/5/2022	9:24:14 AM	677	678	678	675
10/5/2022	9:24:44 AM	677	679	678	680
10/5/2022	9:25:14 AM	677	679	678	678
10/5/2022	9:25:44 AM	677	680	678	682
10/5/2022	9:26:14 AM	680	682	681	681
10/5/2022	9:26:44 AM	682	684	683	681
10/5/2022	9:27:14 AM	683	684	683	683
10/5/2022	9:27:44 AM	682	683	682	682
10/5/2022	9:28:14 AM	682	684	683	685
10/5/2022	9:28:44 AM	684	684	684	684
10/5/2022	9:29:14 AM	682	684	683	682
10/5/2022	9:29:44 AM	681	682	681	681
10/5/2022	9:30:14 AM	678	680	679	679
10/5/2022	9:30:44 AM	677	679	678	678
10/5/2022	9:31:14 AM	676	678	677	677
10/5/2022	9:31:44 AM	675	677	676	676

10/5/2022	9:32:14 AM	677	678	677	677
10/5/2022	9:32:44 AM	678	680	679	679
10/5/2022	9:33:14 AM	680	683	682	682
10/5/2022	9:33:44 AM	683	684	684	684
10/5/2022	9:34:14 AM	682	684	683	683
10/5/2022	9:34:44 AM	679	682	681	681
10/5/2022	9:35:14 AM	679	681	680	680
10/5/2022	9:35:44 AM	679	680	679	679
10/5/2022	9:36:14 AM	679	680	680	680
10/5/2022	9:36:44 AM	680	680	680	680
10/5/2022	9:37:14 AM	680	681	680	680
10/5/2022	9:37:44 AM	680	683	682	682
10/5/2022	9:38:14 AM	682	682	682	682
10/5/2022	9:38:44 AM	680	682	681	681
10/5/2022	9:39:14 AM	680	680	680	680
10/5/2022	9:39:44 AM	680	680	680	669
10/5/2022	9:40:14 AM	678	680	678	675
10/5/2022	9:40:44 AM	676	678	677	675

10/5/2022	9:41:14 AM	676	677	676	675
10/5/2022	9:41:44 AM	677	678	677	680
10/5/2022	9:42:14 AM	677	677	677	680
10/5/2022	9:42:44 AM	673	676	675	675
10/5/2022	9:43:14 AM	670	673	672	673
10/5/2022	9:43:44 AM	670	671	671	669
10/5/2022	9:44:14 AM	670	672	671	671
10/5/2022	9:44:44 AM	671	674	672	680