



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ
ΠΛΑΙΣΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΝΙΚΟΛΑΟΥ Β. ΤΡΙΧΟΥ

Επιβλέπων:

Δρ Κοσμάς Κ. Καβαδίας

Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ
ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΝΙΚΟΛΑΟΥ Β. ΤΡΙΧΟΥ

Επιβλέπων: Δρ Κοσμάς Κ. Καββαδίας

Καθηγητής Πα.Δ.Α.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Δρ Κοσμάς Κ. Καββαδίας
Καθηγητής Πα.Δ.Α.

.....
Δρ Δημήτριος Ζαφειράκης
Επίκουρος Καθηγητής Πα.Δ.Α.

.....
Δρ Γεώργιος Σπυρόπουλος
Καθηγητής Πα.Δ.Α.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2024

Copyright © - Νικόλαος Β. Τρίχος, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΤΡΙΧΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ του ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ, με αριθμό μητρώου 19392169 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της Σχολής Μηχανικών, του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της 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



Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εξετάζει την επίδραση της ανακλαστικότητας του εδάφους στην ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και ειδικά η ηλιακή ενέργεια, φαίνεται να προτιμώνται όλο και περισσότερο σε διεθνές επίπεδο, σύμφωνα με φορείς που το επιβεβαιώνουν διαρκώς. Η ανάγκη για τη βελτιστοποίηση των συστημάτων βρίσκεται στο προσκήνιο καθώς η επιστημονική κοινότητα επικεντρώνεται τα φωτοβολταϊκά διπλής όψης, αγνοώντας τα μονής όψης. Παρόλα αυτά υπάρχει εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών η οποία μπορεί να βελτιστοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψιν την λευκαύγεια. Το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας, το οποίο φτάνει στη Γη με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, έχει ένα ποσοστό το οποίο προσπίπτει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού με την άμεση ακτινοβολία αλλά και ένα ποσό που φτάνει στην επιφάνεια του μέσω της διάχυτης ακτινοβολίας, που μπορεί και να οφείλεται στην ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία. Έπειτα αυτή απορροφάται και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Η διερεύνηση εξετάζει στην επίδραση της λευκαύγειας και της ανακλαστικότητας του εδάφους στην απόδοση των μονής όψης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Εξετάστηκαν διαφορετικά ανακλαστικά υλικά, όπως λευκό PVC, χλοοτάπητας PP και το δώμα του κτηρίου της εγκατάστασης. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν παρουσιάζουν τον βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος να επηρεάζεται από την ανακλαστικότητα της επιφάνειας, με το λευκό PVC να εμφανίζει τη μεγαλύτερη απόδοση, ακολουθούμενο από το δώμα του κτηρίου και τέλος τον συνθετικό χλοοτάπητα ομοίως με την παραγόμενη ενέργεια του συστήματος που έχει τη μεγαλύτερη παραγωγή με το λευκό PVC. Επιπρόσθετα παρατηρήθηκε ότι η ανακλαστικότητα του εδάφους λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της τις πρωινές ώρες και ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος τις μεσημεριανές. Συνοψίζοντας, η παρούσα διερεύνηση συμβάλλει στην κατανόηση της ζώνης επίδρασης ενός ανακλαστικού υλικού στην ενεργειακή παραγωγή και τα ενεργειακά οφέλη που έχει το σύστημα δημιουργώντας προοπτικές για περαιτέρω έρευνα και εφαρμογές στο υπό μελέτη πεδίο.

Λέξεις κλειδιά: Ηλιακή Ακτινοβολία, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Λευκαύγεια, Ανακλαστικότητα, Αλμπιντόμετρο .

Abstract

This study examines the effect of soil reflectivity on the energy production of photovoltaic panels. Renewable energy sources, especially solar energy, seem to be increasingly preferred at the international level, according to bodies that constantly confirm this. The need to optimise systems is at the forefront as the scientific community explores double-sided photovoltaics, ignoring single-sided ones. Nevertheless, there is installed PV capacity that can be optimised by taking into account the whiteness. Solar energy, which reaches the Earth in the form of electromagnetic radiation, has a proportion that reaches the surface of the photovoltaic in the form of direct radiation and an amount that reaches the surface through diffuse radiation, which may also be due to radiation reflected from the ground. This is then absorbed and converted into electricity by the photovoltaic cell. This investigation looks into the effect of soil whiteness and reflectivity on the performance of single-sided photovoltaic systems. Different reflective materials such as white PVC, PP turf and the roof of the facility building were examined. The results extracted show the efficiency of the PV system to be affected by the surface reflectivity, with white PVC showing the highest efficiency, followed by the roof of the building and finally the synthetic turf similarly with the system energy output having the highest output with white PVC. In addition, it was observed that the reflectivity of the soil takes its maximum value in the morning hours and the efficiency of the photovoltaic system in the midday hours. In summary, this investigation contributes to the understanding of the zone of influence of a reflective material on energy production and the energy benefits of the system, creating prospects for further research and applications in the field under study.

Keywords: Solar Radiation, Photovoltaic Systems, Albedo, Reflectivity, Albedometer .

**Αφιερώνω την εργασία μου,
Στον παππού μου.**

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου τον κ. Καββαδία Κοσμά, για τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη του σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας. Ο ρόλος του ήταν καθοριστικός για την ακαδημαϊκή μου εξέλιξη, καθώς με ενέπνευσε να διευρύνω τις γνώσεις μου και να εξελιχτώ ως μηχανολόγος, αφού πέρα από την επιστημονική προσέγγιση μου έμαθε να βλέπω τα προβλήματα με διαφορετική ματιά και να προσπαθώ να τα επιλύω μεθοδικά και αποτελεσματικά. Η συνεργασία αυτή με εξέλιξε όχι μόνο ως μηχανολόγο μηχανικό αλλά και ως άνθρωπο.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω για την συμβολή του στην πειραματική διαδικασία τον κ. Χριστόπουλο Κωνσταντίνο, που μου εμπιστεύτηκε τον πειραματικό εξοπλισμό και κάθε φορά που υπήρχε πρόβλημα κατά τη λήψη μετρήσεων ήταν εκεί για να το επιλύσει και να μπορέσω να συνεχίσω. Συνέβαλε καθοριστικά στην επιτυχή διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής.

Πίνακας περιεχομένων

Keywords:	5
Κεφάλαιο 1 ^ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 Γενικά Εισαγωγικά.....	12
1.2 Τρέχουσα Τεχνολογική Στάθμιση.....	18
1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	22
1.4 Τεκμηρίωση Έρευνας	23
1.5 Ερευνητικές Ερωτήσεις	24
Κεφάλαιο 2 ^ο – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	25
2.1 Δομή Πειράματος.....	25
2.2 Ερευνητικός Εξοπλισμός	25
2.3 Πειραματική Διαδικασία	28
2.4 Συλλογή Δεδομένων.....	33
2.5 Έλεγχος Ποιότητας Δεδομένων	35
Κεφάλαιο 3 ^ο – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	46
3.1 Παρουσίαση Πειραματικών Δεδομένων.....	46
3.2 Συγκριτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	48
3.3 Επίδραση της ανακλαστικής επιφάνειας στην παραγωγή.	52
3.4 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ενεργειακή παραγωγή.....	57
Κεφάλαιο 4 ^ο - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	61
4.1 Ανάλυση Κύριων Ευρημάτων.....	61
4.2 Απρόοπτα και Προκλήσεις κατά τη Διεξαγωγή του Πειράματος	61
4.3 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	64
4.4 Πρακτικές Εφαρμογές	65
4.5 Συμβολή Έρευνας.....	65
Κεφάλαιο 5 ^ο -ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	67
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:.....	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:.....	81

Ταξινόμηση Εικόνων

Εικόνα 1: Μήκος Κύματος Ηλιακής Ακτινοβολίας απορρόφησης σε κάθε τύπο φωτοβολταϊκού	17
Εικόνα 2: Εγκατεστημένη ισχύ ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και οι ετήσιες προσθήκες, ανά τεχνολογία, 2022	18
Εικόνα 3: Παγκόσμιες Επενδύσεις στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Καυσίμων, ανά τεχνολογία, 2018-2022.	19
Εικόνα 4: Παγκόσμια Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών και οι ετήσιες προσθήκες, 2012-2022	19
Εικόνα 5: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς Φωτοβολταϊκών και ετήσιες προσθήκες 2010-2023	20
Εικόνα 6: Μερίδιο Φωτοβολταϊκών στην εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 2010-2023	20
Εικόνα 7: Επενδύσεις Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα 2010-2023	21
Εικόνα 8: Βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το έτος 2030 σε GW	21
Εικόνα 9: SR05 Li19	26
Εικόνα 10: Αλμπιντόμετρο CMA 6, Glare Screen Kit, Επίπεδος Δίσκος CMF1	26
Εικόνα 11: Η τελική διάταξη του αλμπιντόμετρου σε συνδυασμό με το τρίτο πυρανόμετρο.	27
Εικόνα 12: Υποδοχές Καταγραφικού Campbell CR310	27
Εικόνα 13: Συνδεσμολογία Πυρανομέτρων-Μπαταρίας-Τροφοδοσίας με το καταγραφικό	27
Εικόνα 14: Σύνδεση SR05- Li-19	28
Εικόνα 15: (Α) Ο χώρος πριν καθαριστεί. (Β) Ο χώρος μετά τον καθαρισμό.	31
Εικόνα 16: (Α) Γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών. (Β) Τελική διάταξη οργάνου.	31
Εικόνα 17 Διάταξη οργάνου στο πεδίο με το Δώμα του Κτηρίου Γ.	32
Εικόνα 18 (Α) Τοποθέτηση λευκού PVC. (Β) Το αλμπιντόμετρο πάνω στο λευκό PVC.	32
Εικόνα 19 (Α) Τοποθέτηση του αλμπιντόμετρου πάνω στον Χλοστάπητα PP. (Β) Η θέση των πυρανομέτρων κατά την Ανατολή.	33
Εικόνα 20: (Α) Ψύξη. (Β) Θέρμανση.	35
Εικόνα 21: Απεικόνιση Μεταβολής Θερμοκρασίας Αισθητήρα.	35
Εικόνα 22 Εγκατάσταση Λευκού Μουσαμά μετά τη βροχόπτωση.	62
Εικόνα 23 (Α) Η κανονική διάταξη του Συνθετικού Χλοστάπητα. (Β) Η διάταξη με την μετακίνηση του ρολού απο ριπή ανέμου.	62

Ταξινόμηση Πινάκων

<i>Πίνακας 1: Ηλεκτρικά Δεδομένα πλαισίου σε STC.....</i>	<i>25</i>
<i>Πίνακας 2: Ηλεκτρικά Δεδομένα πλαισίου σε NOCT.....</i>	<i>26</i>
<i>Πίνακας 3: Πληρότητα Μετρήσεων CMA 6.....</i>	<i>36</i>
<i>Πίνακας 4: Αρχική Πληρότητα δεδομένων για κάθε αισθητήρα.</i>	<i>37</i>
<i>Πίνακας 5: Ποσοστό πληρότητας μετρήσεων.</i>	<i>40</i>
<i>Πίνακας 6: Μέρες και καταλληλόλητα συμμετοχής στη μελέτη.....</i>	<i>44</i>
<i>Πίνακας 7: Δεδομένα Καταγραφής Ακτινοβολίας-Παραγωγής Φ/Β-Ηλιακή Γωνία.....</i>	<i>47</i>
<i>Πίνακας 8: Είδος Ανακλαστικού Υλικού- Λευκαύγεια.....</i>	<i>49</i>
<i>Πίνακας 9: Ποσοστιαία Διαφορά Μεταξύ Δύο Υλικών.....</i>	<i>54</i>
<i>Πίνακας 10: Βαθμός Απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος για κάθε υλικό.</i>	<i>57</i>

Ταξινόμηση Σχημάτων

Σχήμα 1: Σύγκριση καταγραφών μεταξύ των πυρανομέτρων στραμμένων στον ουράνιο θόλο.....	30
Σχήμα 2: Θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της περιόδου της πειραματικής διαδικασίας (μέσες τιμές 10 λεπτών).....	39
Σχήμα 3: Σύγκριση Ηλιακής Ακτινοβολίας σε αίθρια μέρα και σε μέρα με νεφώσεις 27/7/2024-28/7/2024.....	40
Σχήμα 4: Παραγωγή Ισχύος στο διάστημα 25/6/2024-1/7/2024.....	41
Σχήμα 5: Σύγκριση της παραγωγής μίας κανονικής ημέρας με τις ημέρες που υπήρχε πρόβλημα στην παραγωγή.....	42
Σχήμα 6: Παρουσίαση της ημερήσιας ανακλώμενης ακτινοβολίας από Δώμα Κτηρίου στον πρωτεύοντα κατακόρυφο και της παραγωγής ισχύος στο δευτερεύοντα κατακόρυφο.	43
Σχήμα 7: Παρουσίαση της ημερήσιας ανακλώμενης ακτινοβολίας από Λευκό PVC στον πρωτεύοντα κατακόρυφο και της παραγωγής ισχύος στο δευτερεύοντα κατακόρυφο.	44
Σχήμα 8: Παρουσίαση της ημερήσιας ανακλώμενης ακτινοβολίας από χλοοτάπητα PP στον πρωτεύοντα κατακόρυφο και της παραγωγής ισχύος στο δευτερεύοντα κατακόρυφο.	44
Σχήμα 9: Η τιμή της Λευκαύγειας (κόκκινο) μεταξύ των ανακλαστικών υλικών παρουσία της μέσης ημερήσιας ανακλώμενης ακτινοβολίας (πράσινο) και της μέσης ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας (μπλε).	49
Σχήμα 10: Μέση Ημερήσια Ανακλώμενη Ενέργεια ανά ημέρα.....	50
Σχήμα 11: Μεταβολή της ανακλαστικότητας στο δώμα κτηρίου μέσα στη διάρκεια της ημέρας.....	51
Σχήμα 12: Μεταβολή της ανακλαστικότητας στο λευκό PVC μέσα στη διάρκεια της ημέρας.....	51
Σχήμα 13: Μεταβολή της ανακλαστικότητας στο χλοοτάπητα PVC μέσα στη διάρκεια της ημέρας.	52
Σχήμα 14: Σύγκριση Ακτινοβολίας- Παραγόμενης Ισχύος.....	53
Σχήμα 15: Σύγκριση Παραγωγής Ενέργειας Φωτοβολταϊκού ανάλογα με το ανακλαστικό υλικό.	54
Σχήμα 16: Απεικόνιση σε Scatterplot διάγραμμα της μέσης παραγωγής ενέργειας και της λευκαύγειας.	55
Σχήμα 17: Μεταβολή της απόδοσης του φωτοβολταϊκού μέσα στο διάστημα μελέτης χωρισμένο σε πρωί, μεσημέρι και απόγευμα παρουσία της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού ανά υλικό.	56
Σχήμα 18: Σύγκριση Θεωρητικής και Πειραματικής Παραγόμενης ισχύος ανά ημέρα καταγραφής.....	58
Σχήμα 19: Σύγκριση πειραματικής και θεωρητικής παραγόμενης ισχύος ανά ημέρα καταγραφής.....	59
Σχήμα 20: Παρουσίαση της Πειραματικής Παραγόμενης Ισχύος και της Θεωρητικής Παραγόμενης Ισχύος.	60
Σχήμα 21 Αποτύπωση Ηλιακής Ακτινοβολίας και Λευκαύγειας σε ημέρα με νεφώσεις.	63
Σχήμα 22: Σύγκριση Ισχύος, Τάσης και Ρεύματος στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....	64

Κεφάλαιο 1^ο- ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά Εισαγωγικά

Τα ορυκτά καύσιμα αποτέλεσαν την πρώτη πηγή ενέργειας που χρησιμοποίησε η ανθρωπότητα για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών. Με την πρόοδο της τεχνολογίας και την εξάντληση των ορυκτών πόρων της Γης ο άνθρωπος καλείται να εκμεταλλευτεί τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), οι οποίες έχουν άεναη χρήση. Στο πεδίο των ΑΠΕ ανήκει και η ηλιακή ενέργεια, η οποία μέσω της ροής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τον Ήλιο όπου στο κενό διαδίδεται με ταχύτητα περίπου $3 \times 10^8 \text{m/s}$ [1], οδηγείται στη γήινη ατμόσφαιρα. Στο όριο αυτό έχουμε περίπου 1368Wm^{-2} ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και την ονομάζουμε ηλιακή σταθερά. Η τιμή αυτή μεταβάλλεται κατά $\pm 3.4\%$ στη διάρκεια του έτους εξαιτίας της ελλειπτικής τροχιάς που διανύει η Γη γύρω από τον ήλιο [2]. Ανά πάσα χρονική στιγμή εισέρχονται στον πλανήτη περίπου 173000TW ηλιακής ισχύος. Ο Ήλιος είναι το αστέρι στο κέντρο του ηλιακού συστήματος όπου οι βαρυτικές δυνάμεις του συγκρατούν τη δομή που υπάρχει στο σύστημα. Έχει μέγεθος 100 φορές μεγαλύτερο από τη Γη και βρίσκεται σε απόσταση 150 εκατομμυρίων χιλιομέτρων ή μίας αστρονομικής μονάδας AU. Ο ήλιος παράγει ενέργεια εδώ και περίπου 4,5 δισεκατομμύρια έτη και υπολογίζεται ότι θα συνεχίσει να εκπέμπει για άλλα 5 δισεκατομμύρια έτη. Η ηλιακή ενέργεια εκπέμπεται στο διάστημα υπό τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και διαδίδεται έως την ατμόσφαιρα της Γης. Όλη η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι φως, ωστόσο ο άνθρωπος μπορεί να δει μόνο ένα πολύ μικρό φάσμα της που ονομάζεται ορατό φως, καθώς τα κωνοειδή κύτταρα στα μάτια είναι δέκτες μόνο αυτού του στενού μέρους του φάσματος. Αν το φως οδηγηθεί σε ένα πρίσμα θα αποδώσει ένα ουράνιο τόξο, καθώς το κάθε χρώμα έχει διαφορετικό μήκος κύματος με το ιώδες να έχει το μικρότερο στα $0.38 \mu\text{m}$ και το κόκκινο το μεγαλύτερο μήκος στα $0.7 \mu\text{m}$ [3]. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τον Ήλιο εμπεριέχει το υπεριώδες, το ορατό και το υπέρυθρο φως [1]. Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας στην τροπόσφαιρα σχετίζεται με μήκη κύματος άνω των $0.295 \mu\text{m}$ με τα φωτόνια που έχουν μικρότερο μήκος κύματος και επομένως μεγαλύτερης ενέργειας να δεσμεύονται από την ύλη στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Βασιζόμενοι στον Νόμο του Planck, το ενεργειακό περιεχόμενο ενός φωτονίου είναι ανάλογο της συχνότητας της ακτινοβολίας [4].

$$\varepsilon = h * \nu = \frac{h * c}{\lambda} \quad (1)$$

όπου:

ε : η ενέργεια του φωτονίου σε Joule

h : η σταθερά του Planck και ισούται με $6.626218 \times 10^{-34} \text{Joule/second}$

ν : η συχνότητα της φωτεινής ακτινοβολίας σε second^{-1}

c : η ταχύτητα του φωτός $2.997925 \times 10^8 \text{meters/second}$

λ: το μήκος κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας σε meters.

Από τις σύγχρονες αναλύσεις είναι γνωστό πως η ηλιακή ακτινοβολία υπάρχει σε μικρά και μεγάλα μήκη κύματος όπου έως 4μm υπάρχουν τα μικρά μήκους κύματα και στο πεδίο από 0.25μm έως 4μm περιλαμβάνεται το 99% της ηλιακής ενέργειας. Αναλυτικά, το 46.41% να ανήκει στο 0.39μm-0.77μm που είναι το ορατό τμήμα της ακτινοβολίας, το 8.03% στο υπεριώδες με μήκος κύματος κάτω από 0.4 μm και τέλος το εναπομείναν 45.56% βρίσκεται για μήκη κύματος μεγαλύτερα από 0.77 μm. Αναφορικά με αυτά, η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης, χωρίζεται σε άμεση και διάχυτη ακτινοβολία με το άθροισμα τους να μας δίνει την ολική ακτινοβολία. Άμεση είναι η ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης χωρίς σκέδαση κατά τη διαδρομή της μέσα από την ατμόσφαιρα, αντίθετα η διάχυτη πριν φτάσει στην επιφάνεια της Γης αλλάζει διεύθυνση μέσα από κάποια ανάκλαση ή σκέδαση, ενώ επιπλέον υπάρχει και ένα ποσό που προέρχεται από την ανάκλαση της στην επιφάνεια Γης. Τέλος, η ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της άμεσης ακτινοβολίας και της διάχυτης ακτινοβολίας.

$$I = I_b + I_d \quad (2)$$

όπου: το I_b αντιστοιχεί στην άμεση ακτινοβολία ενώ ο δείκτης I_d στο σύνολο της διάχυτης [5].

Το ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος είναι μεταβλητό και επηρεάζεται πέρα από την τροχιά του ήλιου και από τις κλιματολογικές συνθήκες και την ευρύτερη σύνθεση της ατμόσφαιρας [6]. Για την αξιοποίηση της ενέργειας που φτάνει από τον Ήλιο, είναι απαραίτητη η χρήση κατάλληλων τεχνολογικών μέσων. Αυτά χωρίζονται σε Παθητικά Συστήματα Θέρμανσης που στοχεύουν κυρίως στο σωστό σχεδιασμό μιας εγκατάστασης και σε Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα. Τα κύρια και πιο διαδεδομένα Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι οι ηλιακοί συλλέκτες και τα φωτοβολταϊκά συστήματα [7]. Στην παρούσα έρευνα θα χρησιμοποιηθούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι μια ώριμη τεχνολογικά μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από την ηλιακή ακτινοβολία. Από το μακρινό 1839 που ανακαλύφθηκε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο από το Γάλλο φυσικό Alexandre-Edmond Becquerel [8], έφτασε να περάσει πάνω από ένας αιώνας έως το 1954 για να χρησιμοποιηθούν για διαστημικές εφαρμογές [9]. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο απαρτίζεται από δύο πλάκες ημιαγωγών σε επαφή μεταξύ τους [5]. Οι ημιαγωγοί έχουν μια ηλεκτρονιακή διαμόρφωση, που παραχωρεί μια ηλεκτρική αγωγιμότητα χαμηλότερα της πολύ υψηλής των μετάλλων και υψηλότερη από την πολύ χαμηλή των μονωτών [4]. Τα ημιαγωγά στοιχεία βρίσκονται στην ομάδα 4B του περιοδικού πίνακα και εμπεριέχουν το γερμάνιο «Ge» και το πυρίτιο «Si». Χωρίζονται σε ενδογενείς ημιαγωγούς, των οποίων οι ιδιότητες δεν διαμορφώνονται από τις προσμίξεις και στους εξωγενείς ημιαγωγούς των οποίων οι ιδιότητες είναι σταθερές με τη θερμοκρασία αλλά και μπορούν να ελεγχθούν με την τεχνική εμφύτευσης ιόντων ή τη διάχυση ενισχυτικών στοιχείων. Στις διατάξεις προτιμώνται οι εξωγενείς ημιαγωγοί [10].

Για την τελική διάταξη ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου, δεν έχει καίριο ρόλο ο ημιαγωγός, αλλά η επαφή ημιαγωγών διαφορετικού τύπου. Αυτή η επαφή ονομάζεται δίοδος. Μια δίοδος δημιουργείται αν ενωθούν ένας ημιαγωγός τύπου p με έναν ημιαγωγό τύπου n, όπου κατά την επαφή μεταξύ τους υπάρχουν φαινόμενα διάχυσης πλεονάζοντος φορτίου είτε οπών είτε ηλεκτρονίων προς το φορέα που βρίσκεται σε μειονότητα, ώστε να επέλθει η ισορροπία. Αποτέλεσμα αυτού να δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού όπου ανάλογα με τη φύση των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί μεταβάλλεται από 300-600mV [4].

Για το ημερολογιακό έτος 2023 η Ελληνική αγορά φωτοβολταϊκών εγκατέστησε περισσότερα Megawatt (MWp) από κάθε άλλη τεχνολογία και πιο συγκεκριμένα αποτέλεσαν το 74% των ΑΠΕ που εγκαταστάθηκαν συνολικά και πλέον συμπεριλαμβανομένου και του προηγούμενου έτους έχουμε μια εγκατεστημένη ισχύ της τάξεως των 7087.5 MWp. Επιπρόσθετα, η Ελλάδα για το 2023 ήταν πρώτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα με 18.4 %, συγκριτικά με το μέσο ευρωπαϊκό όρο που ήταν στα 8.6% και το μέσο παγκόσμιο ευρωπαϊκό όρο στα 5.4%[11].

Οι υποκατηγορίες των φωτοβολταϊκών που υπάρχουν στην αγορά ποικίλουν με το υλικό τα οποία είναι κατασκευασμένα τα πάνελ και την ελευθερία στην κίνηση τους ως οι πιο διαδεδομένοι παράμετροι. Όσον αφορά το υλικό τα διακρίνουμε σε εκείνα που έχουν στην πρόοψη Κρυσταλλικό Υλικό, Λεπτή Μεμβράνη, Οργανικά-Πολυμερή και Υβριδικό Ηλιακό Κύτταρο. Για την κίνηση του συστήματος διακρίνουμε τρεις κατηγορίες, τα Σταθερά Φωτοβολταϊκά Συστήματα, τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα κίνησης ενός άξονα και τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα κίνησης δύο αξόνων[12]. Μία ακόμα ενδιαφέρουσα κατηγορία Φωτοβολταϊκών Συστημάτων αποτελούν τα Διπλής όψης (bifacial) Φωτοβολταϊκά Συστήματα, όπου σε σχέση με τα συμβατικά πάνελ μίας όψης, γίνεται αξιοποίηση και της πίσω πλευράς που λαμβάνει φως από τον χώρο [13], δηλαδή τη διάχυτη ακτινοβολία, καθώς όπως είναι φυσικό με τον προσανατολισμό του δεν είναι εφικτό να ληφθεί άμεση ακτινοβολία στην επιφάνεια της πίσω όψης του φωτοβολταϊκού. Το πόρισμα των ερευνών υποδεικνύει ότι ανάμεσα σε μονής όψης (monofacial)- διπλής όψης (bifacial) φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι στραμμένα προς το νότο, υπάρχει έως και 21% αυξημένη απόδοση του διπλής όψης (bifacial), με πιο παραγωγική εποχή την άνοιξη και βέλτιστη κλίση 35°-45° [14].

Δύο άμεσα συ σχετιζόμενες παράμετροι στην ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών είναι η λευκαύγεια και η ανακλαστικότητα του εδάφους [15]. Η λευκαύγεια είναι η ελληνική απόδοση του λατινικού όρου «Albedo» που σημαίνει λευκότης στα αρχαία ελληνικά ή πιο απλά λευκότητα στα νέα ελληνικά [16],[17]. Λευκαύγεια μιας επιφάνειας καλούμε το λόγο της ανακλώμενης από μία επιφάνεια ακτινοβολίας (upwelling) προς την ακτινοβολία που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο στην επιφάνεια (downwelling) με εύρος τιμών από 0 έως 1 [18],[19],[20] και είναι πρακτικά μία μη διαστατική μονάδα μέτρησης του πόσο καλά μια επιφάνεια ανακλά την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει πάνω σε αυτή [21] και ποσοτικοποιεί την ηλιακή

ακτινοβολία που ανακλάται από μία επιφάνεια [22]. Η Λευκαύγεια είναι πάντα μικρότερη ή ίση της ανακλαστικότητας μίας επιφάνειας[23].

Η ανακλαστικότητα του εδάφους διαφέρει από την λευκαύγεια, καθότι είναι ένας γενικός όρος που αναφέρεται στην ακτινοβολία που ανακλάται από μια δεδομένη επιφάνεια ή σκεδάζεται μέσω αυτής ως αντίδραση σε κάποιο ποσό ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια με το ίδιο μήκος κύματος ή εύρος μήκους κύματος [24]. Κατά την πρόσπτωση της ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια συμβαίνουν τρία σενάρια είτε αυτή απορροφάται, είτε ανακλάται, είτε στην περίπτωση διαφανών ή ημιδιαφανών επιφανειών έχουμε μετάδοση. Οι τρεις προαναφερόμενες διεργασίες αποδίδονται ως συνιστώσες με το « α_{ab} » να είναι ο δείκτης της απορροφητικότητας, το « ρ_r » ο δείκτης για την ανακλαστικότητα και για την περατότητα έχουμε το δείκτη « τ » με το άθροισμα τους να μας δίνει ένα σύνολο μονάδας [25]. Συχνά στη βιβλιογραφία έχουμε τη χρήση του “albedo”, δηλαδή της λευκαύγειας του εδάφους, ως συντελεστή ανάκλασης του εδάφους και είναι πιθανό να ταυτιστεί με την ανακλαστικότητα του εδάφους, κάτι που δεν υφίσταται[23]. Για τον υπολογισμό της ανακλώμενης ακτινοβολίας είναι σημαντικό να διερευνηθούν οι ανακλαστικές ιδιότητες του εκάστοτε υλικού και πως οι γωνιακές οπτικές ιδιότητες από το κάθε υλικό περιγράφονται από την ανακλαστικότητα [15]. Η ανακλαστικότητα μίας επιφάνειας δεν μπορεί να περιγραφεί από μία απλή μέτρηση καθώς έχει εξάρτηση από αρκετούς παράγοντες που την καθιστούν αρκετά σύνθετη.

Έχουν αποδειχθεί αρκετές παράμετροι που την επηρεάζουν με τις περισσότερες έρευνες να εστιάζουν στην γεωμετρική ανομοιογένεια του εδάφους που ονομάζεται τραχύτητα. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των πολλών σκεδάσεων που υπόκειται η ηλιακή ακτινοβολία από τη στιγμή της πρόσπτωσης στην επιφάνεια έως ότου διαφύγει από αυτή καθώς έχουμε υποβάθμιση της ενέργειας [26] κάτι που άλλωστε φαίνεται στο συμπέρασμα της έρευνας [14] παρατηρείται ότι το albedo των λευκών πλακιδίων είναι υψηλότερο σε σύγκριση με εκείνο των λευκών βότσαλων, γεγονός που αποδίδεται στη διαφορά στην τραχύτητα μεταξύ των δύο επιφανειών. Επιπλέον άξια σχολιασμού είναι και η περίπτωση της θάλασσας, όπου υπάρχει πιο έντονα η παρατήρηση αυτού του φαινομένου, καθώς σε μια απόλυτα λεία επιφάνεια της θάλασσας με απουσία κύματος, φαίνεται ότι ανακλά ως καθρέπτης όμως στην παρουσία κύματος που θα εμπεριέχονται ανακλάσεις του φωτός τόσο ανάμεσα στο υλικό όσο και στο μίγμα που δημιουργείται από την ανάδευση (φυσαλίδες, εναλλαγές στην πυκνότητα, ίχνη άμμου κ.α.) η ανακλαστικότητα εμφανίζεται ως αρκετά μικρή.

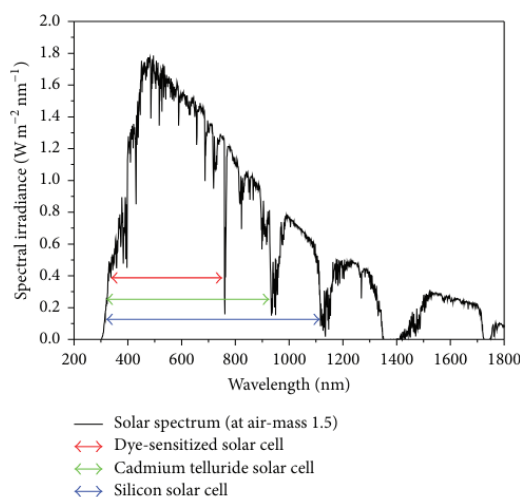
Είναι επίσης σημαντικό να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι το νερό αποτελεί διαφανές υλικό, οπότε σύμφωνα με την αναφορά στους τρεις δείκτες που απαρτίζουν την ηλιακή ακτινοβολία όταν προσπίπτει σε μία επιφάνεια, δηλαδή για την περίπτωση του νερού έχουμε ένα μέρος της ακτινοβολίας να απορροφάται, ένα μέρος της να ανακλάται αλλά και ένα μέρος της να μεταδίδεται [27]. Αξίζει να αναφερθεί ότι για την περίπτωση της ανάκλασης του φωτός στους ωκεανούς χρησιμοποιείται πιο συχνά ο όρος «Ηλιακή Λάμψη» [16].

Είναι ευρέως γνωστό πως το ιδανικό πρότυπο δεν υπάρχει στη φύση, αρά ούτε και στις επιφάνειες πρόσπτωσης του φωτός αφού δομούνται από πολλά στοιχεία [19]. Οπότε, για να περιγραφεί η ανακλαστικότητα χρησιμοποιείται ο όρος Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) που είναι μέτρο ανισοτροπίας της διαδικασίας ανάκλασης και περιγράφει την απόκλιση από μία λαμπεριανή διαδικασία [15]. Λαμπεριανή επιφάνεια καλείται μια τέλεια ανακλώμενη επιφάνεια [28] και έχει πάρει την ονομασία της από τον Ελβετό Jean-Henri Lambert όπου πραγματοποίησε αυτή τη θεώρηση για τα πειράματα του το 1760 [29] κατ' επέκταση η Λαμπεριανή Ανακλαστικότητα είναι μια ιδιότητα του επιπέδου να κατανέμει την ενέργεια από οποιονδήποτε προσπίπτοντα φωτισμό σε όλες τις κατευθύνσεις ισόποσα [30]. Δηλαδή για μια τέτοια επιφάνεια η BRDF που δείχνει τη συσχέτιση των όρων της ενέργειας του φωτός που προσπίπτει και του ανακλώμενου είναι σταθερή, καθώς δείχνει το ίδιο φωτεινή από κάθε πλευρά και επομένως ο παρατηρητής από όποια μεριά παρακολουθεί την επιφάνεια οπτικά έχει το ίδιο αποτέλεσμα [31]. Αυτό που αναφέρθηκε είναι αδύνατο καθώς οι επιφάνειες που δομούν τη φύση αποτελούνται από πληθώρα στοιχείων που απορροφούν διαφορετικό μήκος κύματος με την ανακλώμενη ακτινοβολία μετά τη διασπορά να αποκτά ένα γωνιακό μοτίβο [16]. Άλλη μια σημαντική παράμετρος στην τελική τιμή της ανακλαστικότητας είναι η θέση του ήλιου. Μέσα από πλήθος ερευνών έχει προκύψει το συμπέρασμα ότι είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την τελική τιμή καθώς η τιμή της ανακλαστικότητας είναι αυξημένη τις πρωινές ώρες αλλά και τις απογευματινές [32] καθώς δεν είναι ισοτροπικές επιφάνειες (λαμπεριανές) [19] με τις τιμές το απόγευμα να είναι υψηλότερες από τις πρωινές [23], κάτι που οφείλεται στο γεγονός ότι η ανακλαστικότητα αυξάνεται όταν ο ήλιος είναι χαμηλά [26].

Ιδίως για τις επιφάνειες κτηρίων εντός πόλης η αυξημένη τιμή του albedo από την ανάκλαση στους δρόμους αυξάνει τη θερμοκρασία και επομένως τα φορτία ψύξης των κτηρίων [33] καθώς η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή χαμηλό albedo, συμβάλλει στην αύξηση θερμοκρασίας της επιφάνειας [16],[34]. Για τον πλανήτη από το φως που φτάνει, μόνο το 58% αγγίζει το έδαφος και από αυτό το ποσοστό το 50% απορροφάται από τη γη. Είναι μια τιμή απορροφητικότητας που είναι απαραίτητη, ειδικά σε περίπτωση που δεν είχαμε αυτή την απορρόφηση η θερμοκρασία του περιβάλλοντος θα έπεφτε δραματικά και θα έβαζε σε κίνδυνο το ανθρώπινο είδος [35]. Για την φρέσκια άσφαλτο έχουμε μια τιμή λευκαύγειας στα 0,05 [33]. Στην αντίπερα όχθη είναι σημαντική η αξιοποίηση της ανακλαστικότητας καθώς μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση στην ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών. Τις ώρες που υπάρχει χαμηλή ενεργειακή παραγωγή, δηλαδή το πρωί και το απόγευμα [36] με την κατάλληλη αξιοποίηση ανακλαστικών επιφανειών υπάρχει η δυνατότητα για αύξηση στην απόδοση, της τάξεως του 20%-30%.

Τέτοια υλικά, που είναι καλοί ανακλαστήρες είναι εκείνα που με την πρόσπτωση φωτός συνήθως εμφανίζονται πιο λευκά και απορροφούν λιγότερη ακτινοβολία [37], με πιο γνωστό παράδειγμα το φρέσκο χιόνι που μπορεί να φτάσει η λευκαύγεια έως 0,94 [18] γεγονός που συμβάλλει στο να αποτραπεί το λιώσιμο των πάγων καθώς

απορροφούν ελάχιστο ποσοστό ακτινοβολίας [16]. Μια ενδιαφέρουσα ανακάλυψη στην ανάκλαση του χιονιού είναι η ιδιότητα του να ανακλά υπεριώδη ακτινοβολία, δηλαδή μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία και κατ' επέκταση μεγάλης ενέργειας, σε αντίθεση με τα ξερόχορτα που ανακλούν στο υπέρυθρο, δηλαδή σε μεγαλύτερου μήκους κύματος ακτινοβολίας και χαμηλότερης ενέργειας [38]. Συνεπώς συσχετίζοντας αυτή την ακτινοβολία στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών διαπιστώνεται πως και στις δύο περιπτώσεις δεν υπάρχει κέρδος για το φωτοβολταϊκό, αφού όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1 το πεδίο των μηκών κύματος που αξιοποιεί το φωτοβολταϊκό ανήκει στο ορατό φως, με ένα πολύ μικρό ποσοστό της υπεριώδους ακτινοβολίας και ένα μεγαλύτερο ποσοστό της υπέρυθρης [39]. Είναι μείζονος σημασίας η ενέργεια που έχει το κάθε φωτόνιο αφού μόνο συγκεκριμένου μήκους κύματος φωτόνια μπορούν να ενεργοποιήσουν ηλεκτρόνια. Τα φωτόνια με μεγάλη κινητική ενέργεια διαπερνούν τον ημιαγωγό, ενώ παράλληλα μεταφέρουν μέρος της ενέργειας τους στα ηλεκτρόνια έχοντας ως αποτέλεσμα η κινητική ενέργεια να μετασχηματίζεται σε θερμότητα. Τα φωτόνια με μικρή κινητική ενέργεια δεν λαμβάνουν μέρος στην αντίδραση, διότι δεν πληρούν την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια ενός φωτονίου για την ενεργοποίηση και απελευθέρωση ενός ηλεκτρονίου που ονομάζεται «ενεργειακό κατώφλι». Γενικά στα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου, που είναι και τα πιο διαδεδομένα, το ενεργειακό κατώφλι είναι στα 1,08eV περίπου σε μήκος κύματος 1,1μm. Συνοπτικά οι απώλειες που υπάρχουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο οφείλονται σε Υπέρ-Ενεργητικά και Υπό-Ενεργητικά φωτόνια, Εσωτερικές απώλειες και σχήμα κυψέλης αλλά και αντανάκλασεις στην επιφάνεια του Φ/Β [5]. Τέλος, η αξιοποίηση της λευκαύγειας και της ανακλαστικότητας του εδάφους μπορεί να βοηθήσει σε διάφορα προβλήματα που απειλούν την ανθρώπινη φυλή, όπως είναι η υπερθέρμανση του πλανήτη, η ενεργειακή κρίση κ. α [23].



Εικόνα 1: Μήκος Κύματος Ηλιακής Ακτινοβολίας απορρόφησης σε κάθε τύπο φωτοβολταϊκού

Στην Εικόνα 1 φαίνεται το Μήκος Κύματος της Ηλιακής Ακτινοβολίας για AM 1.5, το οποίο απορροφά κάθε τύπος φωτοβολταϊκού. Στα φωτοβολταϊκά πλαίσια που χρησιμοποιούν πυρίτιο στην κατασκευή των ημιαγωγών, δηλαδή η μπλε γραμμή,

υπάρχει και το μεγαλύτερο εύρος απορρόφησης ακτινοβολίας όπου ξεκινάει από τα μεγάλα μήκη κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας και φτάνει έως τα μικρά μήκη κύματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

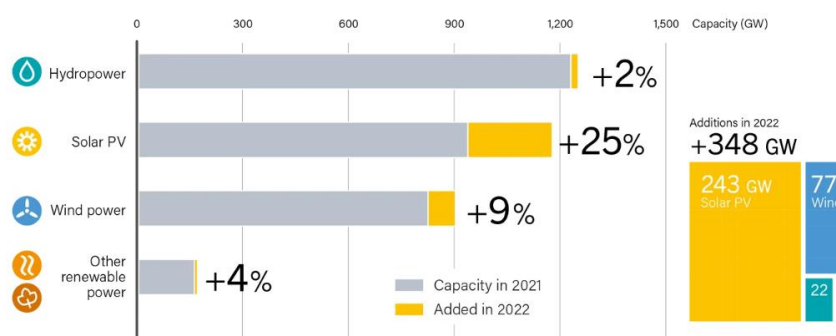
1.2 Τρέχουσα Τεχνολογική Στάθμιση

Τα τελευταία χρόνια οι προσπάθειες των κυβερνήσεων για την απολιγνιτοποίηση, έχουν οδηγήσει τον πλανήτη να στραφεί στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), όπου εντάσσονται και τα φωτοβολταϊκά. Σε παγκόσμιο επίπεδο σύμφωνα με το Ren21, συγκεντρώνονται συνολικά από την έκθεση Renewables 2023 Global Status Report [40] διάφορα στατιστικά στοιχεία σχετικά με την εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών αλλά και των υπολοίπων ΑΠΕ.

Πιο συγκεκριμένα από τις αναλύσεις:

Παρατηρείται ότι παρόλο που η μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύς σε GW ανήκει στα Υδροηλεκτρικά, για το έτος 2022 ο κόσμος στράφηκε στα φωτοβολταϊκά παρουσιάζοντας 25% αύξηση και συγκεκριμένα από τη συνολική αύξηση εγκατεστημένης ισχύος σε ΑΠΕ, τα φωτοβολταϊκά κατείχαν από τα 348 GW τα 244 GW όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.

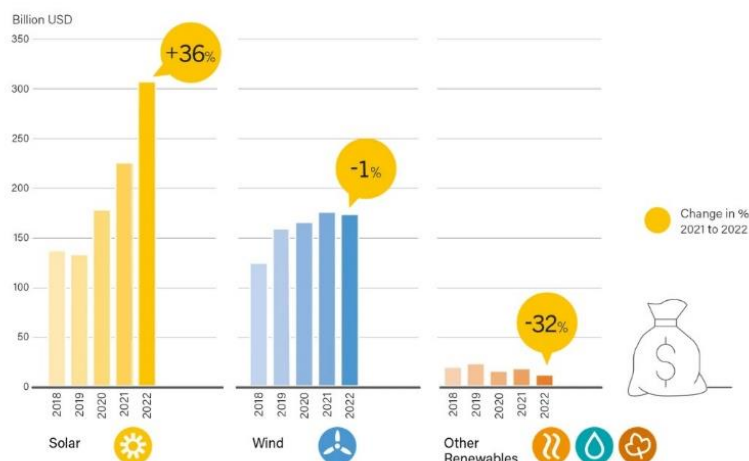
Renewable Power Total Installed Capacity and Annual Additions, by Technology, 2022



Εικόνα 2: Εγκατεστημένη ισχύ ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και οι ετήσιες προσθήκες, ανά τεχνολογία, 2022

Επιπρόσθετα, σύμφωνα με την Εικόνα 3 οι επενδύσεις που έγιναν ανά τον κόσμο σε ΑΠΕ, υπάρχει μείωση επενδύσεων στις λοιπές τεχνολογίες για το έτος 2022 συγκριτικά με το προηγούμενο, με τη μοναδική τεχνολογία που έχει αύξηση επενδύσεων να είναι τα φωτοβολταϊκά, όπου για το έτος 2022 οι επενδύσεις άγγιξαν τα 307,5 δισεκατομμύρια δολάρια.

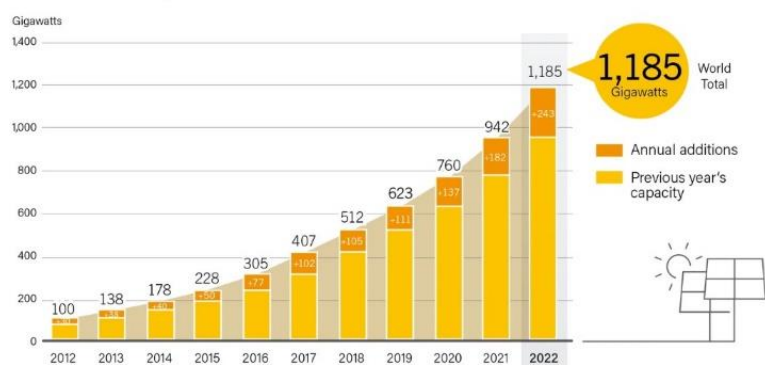
Global Investment in Renewable Power and Fuels, by Technology, 2018-2022



Εικόνα 3: Παγκόσμιες Επενδύσεις στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Καυσίμων, ανά τεχνολογία, 2018-2022.

Σαν συνολική εικόνα, αυτό που παρατηρείται από τις στατιστικές αναλύσεις είναι η αύξηση στην εγκατεστημένη ισχύ από φωτοβολταϊκά, κάθε χρόνο από το 2012, με εκθετικό ρυθμό και το 2022 να είναι η χρονιά με τη μεγαλύτερη ετήσια εγκατάσταση όπου αγγίζει τα 243 GW και τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ να ανέρχεται στα 1185GW. Χρήζει σχολιασμού η ετήσια εγκατεστημένη ισχύς του 2022 που φαίνεται να είναι μεγαλύτερη από τη συνολική εγκατεστημένη έως το 2015, κάτι που δείχνει πως έχει εξελιχθεί η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών και πως ο κόσμος πλέον την εμπιστεύεται, συγκριτικά με τις υπόλοιπες τεχνολογίες όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.

Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2012-2022



Εικόνα 4: Παγκόσμια Εγκατεστημένη Ισχύς Φωτοβολταϊκών και οι ετήσιες προσθήκες, 2012-2022

Για τα εγχώρια δεδομένα, μέσω της έρευνας από το Σύνδεσμο Εταιριών Φωτοβολταϊκών στο διάστημα 2010-2023, παρατηρείται κάθε χρόνο αύξηση στην εγκατεστημένη ισχύ των φωτοβολταϊκών, με την ετήσια εγκατεστημένη ισχύ να έχει αύξουσα τάση από το 2018 και έπειτα. Για το έτος 2023 σημειώθηκε η μεγαλύτερη ετήσια εγκατάσταση ισχύος από φωτοβολταϊκά, αγγίζοντας τα 1575 MW. Παρόλο που παρατηρείται σχεδόν μηδενική ετήσια προσθήκη εγκατεστημένης ισχύος στην περίοδο

2014-2017, δεν οφείλεται σε αναξιοπιστία των φωτοβολταϊκών αλλά σε διακοπή κρατικής επιδότησης στη συγκεκριμένη τεχνολογία. Μελετώντας τις τελευταίες στατιστικές αναλύσεις, η Ελλάδα έχει συνολική εγκατεστημένη ισχύ από φωτοβολταϊκά 7.087MW.



Εικόνα 5: Συνολική εγκατεστημένη ισχύς Φωτοβολταϊκών και ετήσιες προσθήκες 2010-2023

Επιπρόσθετα, η Ελλάδα για το έτος 2023 βρίσκεται στην πρώτη θέση στην Ευρώπη για την ηλεκτροπαραγωγή που προέρχεται από φωτοβολταϊκά, με το ποσοστό του 18.4% να είναι υπερδιπλάσιο από το μέσο ευρωπαϊκό μέσο όρο που βρίσκεται στα 8.6% αλλά και πολύ πάνω από τον παγκόσμιο μέσο όρο που αγγίζει μόλις τα 5.4%.



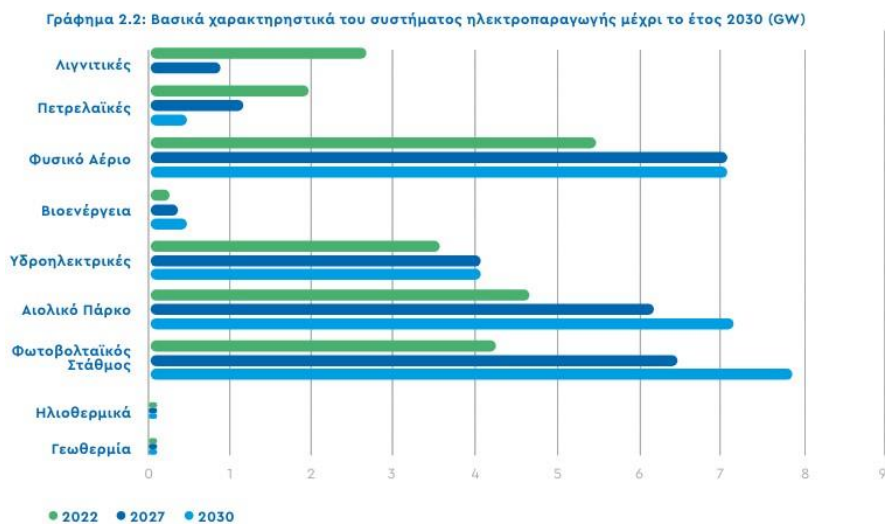
Εικόνα 6: Μερίδιο Φωτοβολταϊκών στην εγχώρια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 2010-2023

Ενώ επιπλέον με την παρακάτω στατιστική ανάλυση φαίνεται η Ελλάδα να επενδύει και να εμπιστεύεται την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών ιδίως μετά το 2019 όπου κάθε χρόνο τα επενδυμένα εκατομμύρια ευρώ αυξάνονται. Ωστόσο μεταξύ των τελευταίων δύο ετών δεν φαίνεται να υπάρχει ιδιαίτερη αύξηση στις επενδύσεις.



Εικόνα 7: Επενδύσεις Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα 2010-2023

Επιπλέον εξετάζοντας τους στόχους που έχει θέσει ο Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), με βάση την Έκθεση Βιωσιμότητας για το έτος 2022 που εκδόθηκε τον Οκτώβριο του 2023 εμφανίζονται οι στόχοι που έχει θέσει η χώρα έως και το 2030. Η τεχνολογία που φαίνεται να στοχεύει για ηλεκτροπαραγωγή είναι τα φωτοβολταϊκά, καθώς στην εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος εμφανίζεται σχεδόν διπλάσια με την υπάρχουσα, αγγίζοντας τα 8 GW.



Εικόνα 8: Βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το έτος 2030 σε GW

Συνεπώς, τόσο σε Εθνικό Επίπεδο όσο και σε Διεθνές παρατηρείται ότι ο κόσμος στρέφεται στις ΑΠΕ και συγκεκριμένα στα φωτοβολταϊκά συστήματα, διότι όπως προαναφέρθηκε είναι μια ώριμη τεχνολογικά μέθοδος που μπορεί εύκολα να αξιοποιηθεί παρά τις παραμέτρους και να υπάρξει κέρδος για τον καταναλωτή από τη χρήση τους στην παραγωγή ενέργειας. Η τάση της εποχής όμως, είναι η αξιοποίηση πέρα από έναν απλό χώρο για την τοποθέτηση ενός πλαισίου, να μπορούμε να

αξιοποιήσουμε και την ανακλαστικότητα μιας επιφάνειας ούτως ώστε με ένα διπλής όψης (bifacial) φωτοβολταϊκών συστημάτων να έχουμε κέρδος και από τη διάχυτη ακτινοβολία στην πίσω όψη του πλαισίου, που σε ένα μονής όψης δεν θα αξιοποιούνταν [14]. Δυστυχώς επειδή είναι σχετικά νέα τεχνολογία, δεν έχει ακόμα την αποδοχή που της αρμόζει και αυτό διότι ο κόσμος δεν έχει δει ξεκάθαρα δεδομένα από τη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος στο πεδίο, μολονότι βάσει έρευνας εμφανίζεται και αυξημένη ενέργεια του διπλής όψης (bifacial) συστήματος έναντι του μονής όψης, χαμηλότερο Levelized Cost Of Electricity (LCOE) της τάξεως του 2%-6%, υψηλότερο Net Present Value και μια βέβαιη απόσβεση χωρίς καμία κρατική επιδότηση στα 10 έτη [41].

1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Το αντικείμενο της πειραματικής διερεύνησης έχει ανά καιρούς αυξημένο ενδιαφέρον από την επιστημονική κοινότητα, θέλοντας να δώσουν λύση στο καίριο πρόβλημα της ενεργειακής παραγωγής από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και συγκεκριμένα να αξιοποιήσουν στο μέγιστο την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών. Αρχικά, για να αξιοποιηθεί ορθά η ανακλαστικότητα του εδάφους και η επίδραση της στην ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών, χρειάζονται αρκετές περιπτώσεις πειραματικών διερευνήσεων, όπως είναι και η εργασία [41], που στοχεύει στην παρουσίαση της διαφοράς στην παραγωγή ενέργειας μεταξύ monofacial και διπλής όψης (bifacial) PV systems μέσα από ένα πραγματικό πείραμα στο πεδίο. Επιπρόσθετα, για το πείραμα [42] μέσα από το υπό κλίμακα σχέδιο, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την ανακλαστικότητα των επιφανειών αφού μέσα από τα γραφήματα των αποτελεσμάτων με τις τιμές της ακτινοβολίας που έχουν καταγραφεί από τα δύο πυρανόμετρα, παρουσιάζεται η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις επιφάνειες που έχουν επιλεχθεί και αποτελούν τα δύο ακραία παραδείγματα, δηλαδή μαύρη και τη λευκή επιφάνεια. Ακόμη πιο εκτενής ήταν η προσπάθεια προορισμού της λευκαύγειας ορισμένων υλικών από [43], που συγκριτικά με την προηγούμενη έχει χρησιμοποιηθεί διαφορετικό αλμπιντόμετρο αλλά και πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες επιφάνειες από το μέσο καταναλωτή για την οικία του. Για τον κόσμο που ζει σε αστικό περιβάλλον εμβαθύνει περισσότερο στο πρόβλημα η [44] όπου σε μεγάλο πλήθος δοκιμών με πραγματικά είδη επιφανειών, παραθέτει τις διαφορές στην απόδοση των υλικών αλλά και χρωμάτων δύο παράγοντες που είναι συνυφασμένοι με την ανακλαστικότητα. Παρατηρείται επίσης στην [45], με τη χρήση αλμπιντόμετρου και σε ένα σχετικά μεγαλύτερο πεδίο από τις προηγούμενες διερευνήσεις, μια ανάλυση τριών περιπτώσεων, όπου παράλληλα πέρα από τα αποτελέσματα αναφέρει και την πολυπλοκότητα που είχε η κάθε περίπτωση ως προς το σύνολο της πραγμάτωσης της. Όμως πέρα από την ανακλαστικότητα του εδάφους από μόνη της, το ενδιαφέρον έγκειται στην αύξηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού για την παραγωγή ενέργειας. Στην συγκεκριμένη μελέτη [46], υπάρχει διερεύνηση που στοχεύει να αποδώσει, πως με την αλλαγή της ανακλαστικής επιφάνειας κάτω από ένα διπλής όψης (bifacial) PV θα μεταβληθεί η απόδοση του, εξάγοντας χρήσιμα συμπεράσματα για αρκετές περιπτώσεις υλικών και με τη χρήση μερικής κάλυψης της ανακλώμενης επιφάνειας με άλλο υλικό που έδειξε ύφεση στην απόδοση του φωτοβολταϊκού. Καθότι έχουμε

διπλής όψης (bifacial) PV, η μελέτη [47] άφησε το παραδοσιακό μοντέλο τοποθέτησης, με κεκλιμένο πάνελ και προσανατολισμό στο Νότο, αντ' αυτού τοποθέτησε τα φωτοβολταϊκά με προσανατολισμό σε Ανατολή/Δύση και κάθετα, αποδεικνύοντας, πως με την πίσω πλευρά των συγκεκριμένων φωτοβολταϊκών μπορούμε να αυξήσουμε την απόδοση του συστήματος.

Είναι απαραίτητο να συγκριθεί η απόδοση ενός μονοπρόσπου (monofacial) με ενός διπλής όψης (bifacial) φωτοβολταϊκού συστήματος, ώστε να προσδιοριστεί η διαφορά στην αποδοτικότητά τους. Στην διερεύνηση [48] εμφανίζεται η διαφορά στην απόδοση τους ειδικά τη χειμερινή περίοδο με τα διπλής όψης (bifacial) συστήματα να έχουν διαφορά από τα Monofacial 19,31%, ενώ ένα ποσοστό ακόμα που διαμορφώνει μια τεράστια διαφορά ανάμεσα στα δύο συστήματα είναι οι ετήσιες απώλειες, όπου για τα monofacial είχαμε απώλειες 16,37% και στα διπλής όψης (bifacial) από 0,24% έως 2,24%. Τέλος, μία αναλυτική μελέτη για την συμβολή της ανακλαστικότητας του εδάφους, έχει γίνει στο ΤΕΙ Πειραιά, όπου συνδυάζει με τη χρήση πυρανομέτρων σε αντιδιαμετρική διάταξη τη μεταβολή της ανακλαστικότητας μπροστά από το φωτοβολταϊκό και ταυτόχρονα την ενεργειακή παραγωγή από το monofacial φωτοβολταϊκό [49].

1.4 Τεκμηρίωση Έρευνας

Με βάση τη μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί μέχρι τώρα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι, παρά το γεγονός πως αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την επίδραση του εδάφους στα διπλής όψης (bifacial) φωτοβολταϊκά συστήματα, δεν υπάρχουν επαρκείς μελέτες σχετικά με την επίδραση του εδάφους στα μονής όψης (monofacial) φωτοβολταϊκά συστήματα. Ειδικότερα, απουσιάζουν προτάσεις για λύσεις που να αφορούν την ανακλαστικότητα του εδάφους και την επίδρασή της στην ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών, πέρα από τη χρήση ψηφιακών μοντέλων σε υπολογιστικά περιβάλλοντα.

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του ΤΕΙ Πειραιά, το εμβαδόν της επιφάνειας μπροστά από τα φωτοβολταϊκά έχει επιλεγεί αυθαίρετα, χωρίς να προηγηθούν υπολογισμοί ή εκτενής μελέτη για την ανακλαστικότητα. Αυτό φαίνεται να μη συνάδει με την παραδοχή ότι η ανακλαστικότητα αυξάνεται κατά τις ώρες που η ηλιακή γωνία είναι μικρή. Είναι γνωστό ότι ακόμη και για μια συγκεκριμένη επιφάνεια, η ανακλαστικότητα μεταβάλλεται με το πέρασμα του χρόνου λόγω φθοράς ή αλλαγών στην επιφάνεια [23].

Συνεπώς, υπάρχουν πτυχές που δεν έχουν διερευνηθεί για τη συγκεκριμένη τοποθεσία, αλλά και γενικότερα η μελέτη της επίδρασης της ανακλαστικότητας του εδάφους στα μονής όψης φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ανεπαρκής. Το κενό αυτό μπορεί να καλυφθεί μέσω μιας σειράς πειραμάτων στο πεδίο, όπου θα μελετηθεί η συμβολή της ανακλαστικότητας διαφορετικών τύπων εδάφους στην ενεργειακή παραγωγή των

μονής όψης φωτοβολταϊκών. Επιπλέον, θα γίνει καταγραφή της λευκαύγειας του κάθε τύπου εδάφους.

1.5 Ερευνητικές Ερωτήσεις

Η δυσκολία της παρούσας έρευνας έγκειται στο γεγονός ότι η ανακλαστικότητα του εδάφους επηρεάζεται από πολλές μεταβλητές, οι οποίες μπορεί να μεταβάλλονται ακόμη και σε καθημερινή βάση. Παράλληλα, οι κλιματολογικές συνθήκες και η σύσταση της ατμόσφαιρας παίζουν σημαντικό ρόλο, καθώς επηρεάζουν την ποσότητα και την ποιότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Αυτή η ποικιλία παραγόντων καθιστά την ακριβή μέτρηση και μελέτη της ανακλαστικότητας αδύνατη.

Ωστόσο, μέσω της εξιδανίκευσης ορισμένων παραμέτρων στα πειράματα, θα είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η ζώνη επίδρασης της ανακλαστικότητας, δηλαδή η περιοχή αμφιθεατρικά του φωτοβολταϊκού συστήματος όπου η ανάκλαση του φωτός από το έδαφος επηρεάζει την ενεργειακή του παραγωγή. Σε αυτή τη διαδικασία, θα εκτιμηθεί και η λευκαύγεια κάθε τύπου επιφάνειας που θα εξεταστεί. Η μέτρηση αυτή θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση του αλμπιντόμετρου, το οποίο θα καταγράφει τις ανακλαστικές ιδιότητες καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, σε περιόδους με ηλιοφάνεια. Παράλληλα, θα διερευνηθεί εάν οι διαφορετικοί τύποι επιφανειών που θα χρησιμοποιηθούν στα πειράματα επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Αν όντως παρατηρηθεί κάποια μεταβολή στην παραγωγή ενέργειας, θα επιχειρηθεί να προσδιοριστεί ποσοτικά η διαφορά αυτή, προκειμένου να αξιολογηθεί η σημασία της ανακλαστικότητας του εδάφους στη συνολική απόδοση του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο, θα κατανοηθεί σε βάθος η επίδραση του εδάφους στα μονής όψης φωτοβολταϊκά και θα εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την εφαρμογή τους σε πραγματικές συνθήκες.

Κεφάλαιο 2^ο – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Δομή Πειράματος

Κατά την αναζήτηση λύσεων στα ερωτήματα που προαναφέρθηκαν, οργανώθηκε ο τρόπος μελέτης των επί μέρους μεταβλητών. Αρχικά, προκειμένου να διερευνηθεί η ζώνη επίδρασης ανακλαστικότητας για την υπό μελέτη φωτοβολταϊκή συστοιχία, υπολογίστηκε η κλίση του φωτοβολταϊκού όπως αυτό έχει τοποθετηθεί στο Δώμα του Κτηρίου Γ. Έπειτα μετρήθηκαν τα ακριβή γεωμετρικά χαρακτηριστικά του, με σκοπό να βρεθεί η προβολή της κορυφής του στο έδαφος. Από τη μελέτη πανομοιότυπων πειραματικών διερευνήσεων έχει διαπιστωθεί πως η ανακλαστικότητα αποκλειστικά μπροστά από το φωτοβολταϊκό, καθότι έχει νότιο προσανατολισμό, δεν θα έχει κάποια έντονη επιρροή στην παραγωγή του εφόσον στο διάστημα αυτό είναι η μεγαλύτερη ηλιακή γωνία της ημέρας και επομένως η μικρότερη ανακλαστικότητα. Στη συνέχεια λαμβάνοντας υπόψιν το φάσμα του ορατού φωτός, εφόσον από τη βιβλιογραφία είναι γνωστό ότι η συστοιχία με πολυκρυσταλλικό πυρίτιο απορροφά κυρίως αυτό το μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας επιλέχθηκαν οι τρεις χρωματικοί συνδυασμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαφοροποίηση στη λευκαύγεια του εδάφους. Για τη διάκριση της ανακλαστικότητας ανάμεσα στους τύπους εδάφους που τοποθετήθηκαν, τα υλικά μεταξύ τους εκτός από διαφορετικό μήκος κύματος εκπομπής επιλέχθηκαν με διαφορετική τραχύτητα στην επιφάνεια ώστε να υπάρξει εμφανής διαφορά στην ανακλαστικότητα των υλικών εφόσον έχει αποδειχθεί πως η τραχύτητα έχει επιρροή στην ενέργεια του φωτονίου καθώς αυτό ανακλάται από μία επιφάνεια. Τέλος, για τη λειτουργία του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τα κατάλληλα μετρητικά όργανα και καταγραφικά από τον εξοπλισμό του Εργαστηρίου Ήπιων Μορφών Ενέργειας, τα οποία με κατάλληλη συνδεσμολογία αλλά και τοποθέτηση στο πεδίο μετά από τη μελέτη προηγούμενων διερευνήσεων εξήχθησαν οι καταγραφές ενσύρματα σε περιβάλλον υπολογιστή όπου και έγινε η τελική ανάλυση, λαμβάνοντας υπόψιν και την παραγωγή των φωτοβολταϊκών στο διάστημα που πραγματοποιήθηκε η έρευνα στον χώρο.

2.2 Ερευνητικός Εξοπλισμός

Αναλυτικά, για τη διεκπεραίωση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τα κάτωθι όργανα.

1. Φωτοβολταϊκή συστοιχία (2 πάνελ) Aleo S18.235.

Τα χαρακτηριστικά του, από την εταιρία παραγωγής είναι:

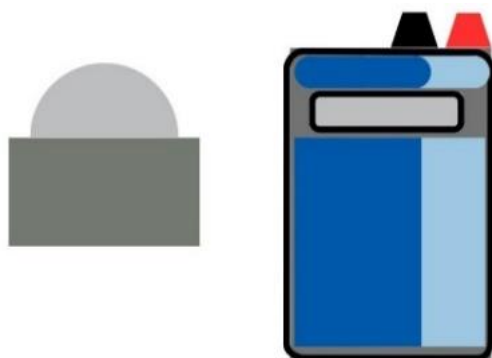
Πίνακας 1: Ηλεκτρικά Δεδομένα πλαισίου σε STC

S18.235			
Ισχύς Ρεύματος	P_{MPP}	W	235
Τάση Ρεύματος	U_{MPP}	V	29.35
Ένταση Ρεύματος	I_{MPP}	A	8
Τάση OC	U_{OC}	V	36.74
Ένταση Ρεύματος SC	I_{SC}	A	8.56
Απόδοση	η	%	14.3

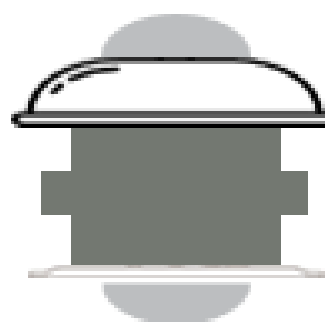
Πίνακας 2: Ηλεκτρικά Δεδομένα πλαισίου σε NOCT

S18.235			
Ισχύς Ρεύματος	P_{MPP}	W	168
Τάση Ρεύματος	U_{MPP}	V	26.9
Ένταση Ρεύματος	I_{MPP}	A	6.25
Τάση OC	U_{OC}	V	33.3
Ένταση Ρεύματος SC	I_{SC}	A	6.74
Απόδοση	η	%	12.8

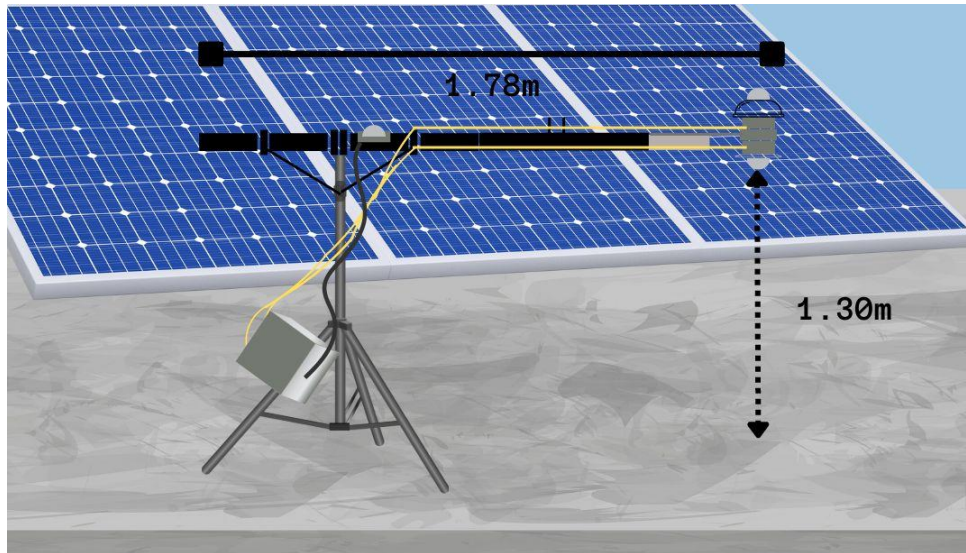
2. Ψηφιακό Γωνιόμετρο BOSCH GAM 220 MF Professional.
Με Ακρίβεια μέτρησης 0,1°
3. Μετροταινία 10 μέτρα.
4. Ηλεκτρονικός Υπολογιστής.
5. Δώμα Κτηρίου Γ (γκρι απόχρωση).
6. Λευκός μουσαμάς Πολυβινυλοχλωρίδιου (PVC) σε κομμάτια (λευκής απόχρωσης).
2 x 0.5 μέτρα/ανά κομμάτι
7. Συνθετικός Χλοοτάπητας Πολυπροπυλενίου (PP) σε ρολό (πράσινης απόχρωσης).
2 x 10 μέτρα/ανά ρολό
8. Ταινία Διπλής Όψης.
9. Σπάγκος.
10. Αλμπιντόμετρο CMA 6 Kípp & Zonnen (Εικόνα 10) το οποίο δομείται από:
 - a. Δύο Πυρανόμετρα SMP6-V , σε αντιδιαμετρική διάταξη.
 - b. Επίπεδο Δίσκο CMF1.
 - c. Glare Screen Kit.
11. Καταγραφικό Campbell CR-310.
12. Πυρανόμετρο Hukseflux SR05 (Εικόνα 9).
13. Καταγραφικό Hukseflux Li-19 (Εικόνα 9).
14. Πολυεστερικό Κιβώτιο ARIA43, όπου περικλείονταν τα δύο καταγραφικά και μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία 12V.



Εικόνα 9: SR05 Li19



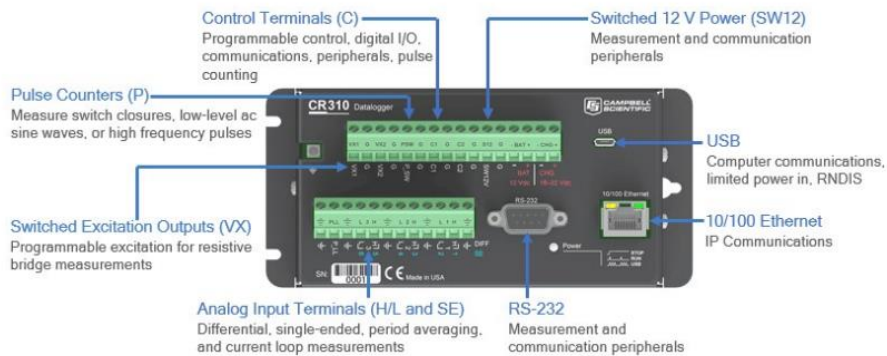
Εικόνα 10: Αλμπιντόμετρο CMA 6, Glare Screen Kit, Επίπεδος Δίσκος CMF1



Εικόνα 11: Η τελική διάταξη του αλμπιντόμετρου σε συνδυασμό με το τρίτο πυρανόμετρο.

Η τελική σύνδεση για τη λειτουργία του Αλμπιντόμετρου χωρισμένη σε κομμάτια έγινε όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

A) Η σύνδεση του αλμπιντόμετρου CMA 6 με το καταγραφικό CR310



Εικόνα 12: Υποδοχές Καταγραφικού Campbell CR310



Εικόνα 13: Συνδεσμολογία Πυρανομέτρων-Μπαταρίας-Τροφοδοσίας με το καταγραφικό

Τα δύο καλώδια που ήταν συνδεδεμένα στα πυρανόμετρα, συνδέθηκαν με όμοιο τρόπο στο καταγραφικό, όπου υπήρξαν από δύο συνδέσεις στις αναλογικές εισόδους H (+) και L (-). Έπειτα για τη λειτουργία και μεταφορά των δεδομένων τους συνδέθηκαν στην SW12 έξοδο του καταγραφικού όπου συνδέονται τα περιφερειακά μέτρησης και επικοινωνίας και παράγει ρεύμα 12VDC. Τέλος, τα καλώδια θωράκισης των αισθητήρων συνδέθηκαν στην υποδοχή G που αφορά τη γείωση.

Β) Το καταγραφικό CR310, τροφοδοτείται με ρεύμα από τη σύνδεση με αναφορτιζόμενη μπαταρία 12 V στην υποδοχή BAT \pm , όπου και λειτουργεί για 10 με 18 VDC, ώστε να λειτουργεί απομακρυσμένα στο πεδίο αλλά επιπλέον είχε και τροφοδοσία με το δίκτυο ρεύματος από την υποδοχή CHG \pm , που λειτουργεί στα 16 με 32 VDC και παρέχει συνεχόμενη λειτουργία ανεξάρτητα της μπαταρίας.

Γ) Η παροχή των μετρήσεων από το καταγραφικό, διεκπεραιώθηκε μέσω ενσύρματης σύνδεσης με υπολογιστή, μέσω της υποδοχής USB όπου και μετά την αποσύνδεση του από το δίκτυο παρείχε στο μηχάνημα ελάχιστο ρεύμα 5 VDC και διευκόλυνε την άντληση των μετρήσεων.



Εικόνα 14: Σύνδεση SR05- Li-19

Δ) Η σύνδεση του SR05 πυρανομέτρου με το καταγραφικό Li-19 γίνεται μέσω δύο καλωδίων, με το λευκό συνδέεται στην κόκκινη υποδοχή (+) και το γκρι στη μαύρη υποδοχή (-).

Ε) Το καταγραφικό Li-19 τροφοδοτείται από δύο μπαταρίες AA, όπου μπορούν να παρέχουν έως και 50 μέρες συνεχόμενων καταγραφών.

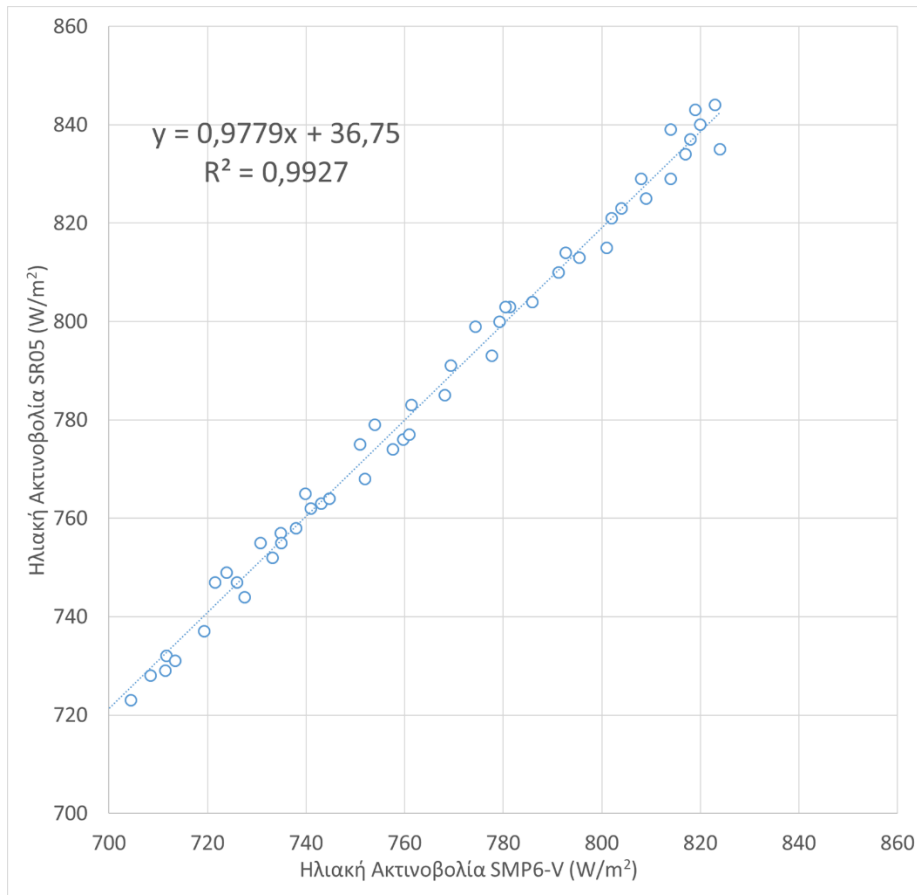
ΣΤ) Για την άντληση καταγραφών, η σύνδεση με τον υπολογιστή έγινε με USB

2.3 Πειραματική Διαδικασία

Οι πειραματική διερεύνηση έλαβε χώρα στο Δώμα του Κτηρίου Γ της Πανεπιστημιούπολης Αρχαίου Ελαιώνα και συγκεκριμένα στο σημείο (37°58'41.6"N 23°40'23.2"E). Η λήψη μετρήσεων ξεκίνησε τον Ιούνιο του 2024 ενώ ολοκληρώθηκε τον Ιούλιο του ίδιου έτους. Προτού ξεκινήσουν οι μετρήσεις στο πεδίο, ήταν σκόπιμο να διενεργηθούν ορισμένες δοκιμές ούτως ώστε να κατανοηθεί η λειτουργία του αλμπιντόμετρου καθώς και η ακρίβεια του. Οπότε χωρίστηκαν σε φάσεις, όπου στην πρώτη φάση αντλήθηκαν μετρήσεις εντός του εργαστηρίου και σε δεύτερη φάση σε ανοιχτό χώρο. Κατά την πρώτη φάση, τέθηκε σε λειτουργία το CR310 με το

αλμπιντόμετρο CMA 6 και ξεχωριστά το SR-05 με το Li-19, αρχικά ήταν σκόπιμο να κατανοηθούν τα προγράμματα που θα χρησιμοποιούνταν ώστε να αντληθούν οι καταγραφές κάθε μέρας. Για την περίπτωση του CR310 η Campbell παρέχει δωρεάν το λογισμικό PC400 μαζί με το Device Configuration Utility. Η σύνδεση της συσκευής με τον υπολογιστή γίνεται πρώτα με το Device Configuration Utility, ώστε να ρυθμιστεί το μηχάνημα και να οριστούν ο τρόπος σύνδεσης, η ταχύτητα επικοινωνίας αλλά και να οριστεί ένα μοναδικό κλειδί (PakBus Key) που κωδικοποιεί το καταγραφικό. Έπειτα, αφότου ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία, τερματίζεται το Device Configuration Utility και γίνεται εκκίνηση του PC400 που στο συγκεκριμένο πρόγραμμα γίνεται η σύνδεση με το μηχάνημα μέσω των ορισμών που έγιναν στο προηγούμενο πρόγραμμα. Για να τεθεί σε λειτουργία το καταγραφικό απαιτείται να δημιουργηθεί κώδικας, όπου θα του ορίζει τον τρόπο που θα λαμβάνει τις καταγραφές, αυτό γίνεται μέσω του CRBasic που περιέχεται στο PC400 και ουσιαστικά είναι ένα περιβάλλον προγραμματισμού σε γλώσσα Basic. Στο συγκεκριμένο πείραμα, το πρόγραμμα δημιουργήθηκε από την Εταιρία Επιστημονικές Επιχειρήσεις ΕΠΕ και οι μοναδικές τροποποιήσεις αφορούσαν τον ρυθμό καταγραφής. Εφόσον έχει ολοκληρωθεί το πρόγραμμα, επιλέγεται το πεδίο Send Program στην αρχική οθόνη του προγράμματος και ξεκινάει η καταγραφή. Έπειτα υπάρχει η επιλογή του Monitor Data όπου αν υπάρχει η αναλογική σύνδεση με τον υπολογιστή, φαίνεται σε πραγματικό χρόνο η λειτουργία του μηχανήματος, ενώ έχουμε και το πεδίο Collect Data, όπου δείχνει συγκεντρωτικά όλες τις μετρήσεις που έχει κάνει το καταγραφικό. Στο δεύτερο καταγραφικό που χρησιμοποιήθηκε, η διαχείριση ήταν αρκετά πιο απλή, καθώς με την αναλογική σύνδεση του καταγραφικού με τον υπολογιστή και τη χρήση του λογισμικού Li-19 υπήρχε αναγνώριση στο Sensor Settings του αισθητήρια SR05 αλλά και οι τεχνικές λειτουργίες του. Έπειτα το μόνο που ορίστηκε στο πεδίο Data logger ήταν ο τρόπος καταγραφής. Μετά από τις ρυθμίσεις, στο ίδιο πεδίο υπάρχει η επιλογή Read The Data from the Data logger όπου και απεικονίζει μαζί με μια γραφική παράσταση όλες τις καταγραφές της ημέρας. Από την πρώτη φάση, εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την τροφοδοσία του μηχανήματος CR310, αφού διαπιστώθηκε και από την εκτενέστερη μελέτη του εγχειριδίου χρήσης ότι ήταν απαραίτητη η απευθείας σύνδεσης στο δίκτυο, παρά τη συμμετοχή της μπαταρίας, ώστε να τροφοδοτείται σε όλο το ημερήσιο πρόγραμμα. Επιπλέον, από τον κώδικα που ήταν εγκατεστημένος στο καταγραφικό, όπως αυτό είχε παραδοθεί από την εταιρία Επιστημονικές Επιχειρήσεις ΕΠΕ, χρειάστηκαν μεταβολές στο τρόπο καταγραφής μετρήσεων, ενώ για το δεύτερο καταγραφικό αυτό που διαπιστώθηκε είναι ο τρόπος λήψης μετρήσεων. Κατά τη δεύτερη φάση, διαπιστώθηκε η καταλληλότητα του χώρου αλλά και του οργάνου στη συλλογή δεδομένων και μεταφοράς στον υπολογιστή. Πιο συγκεκριμένα, το όργανο μεταφέρθηκε στο Δώμα του Κτηρίου Γ, όπου και ορίστηκε η τελική του διάταξη με το τρίτο πυρανόμετρο αλλά και ο χώρος τοποθέτησης του καταγραφικού του. Επιπλέον, δεδομένου ότι το διάστημα καταγραφής εντός της ημέρας διαρκούσε πολλές ώρες, αποφασίστηκε η τροφοδοσία να γίνεται μέσω παροχής ρεύματος από το δίκτυο, παράλληλα με την μπαταρία, για να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα στη λειτουργία (π.χ. να διακοπεί η λειτουργία σε περίπτωση βλάβης της μπαταρίας). Έτσι με την επιλογή του χώρου διεξαγωγής του πειράματος, σχεδιάστηκε

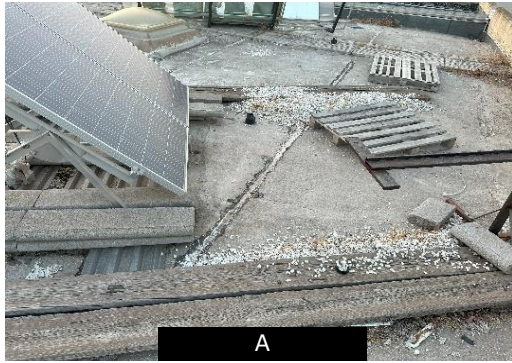
ο τρόπος σύνδεσης στο ρεύμα, με μπαλαντέζα 20 μέτρων. Στην τρίτη φάση των δοκιμών, το όργανο μέτρησης τοποθετήθηκε στο πεδίο για ολιγόωρα διαστήματα ούτως ώστε να διευκρινιστεί ο τρόπος λήψης μετρήσεων αλλά και η δυνατότητα της διάταξης να παρέχει μετρήσεις για διάφορα χρονικά διαστήματα χωρίς να διακοπεί η λειτουργία της. Στην τέταρτη και τελευταία φάση των δοκιμών, πραγματοποιήθηκε calibration των καταγραφικών, καταγράφοντας στο πεδίο για ορισμένο χρονικό διάστημα όπου και διαπιστώθηκε η απόκλιση τους με ένα συστηματικό σφάλμα όπως αυτό φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 1: Σύγκριση καταγραφών μεταξύ των πυρανομέτρων στραμμένων στον ουράνιο θόλο

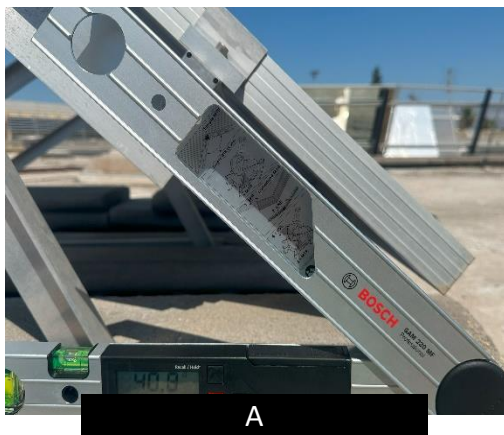
Η απόκλιση που διαπιστώθηκε του φορητού πυρανομέτρου από το αλμπιντόμετρο με ακρίβεια 99.27% είναι $0.9779x + 36.75 \text{ W/m}^2$.

Για την εκκίνηση του πειράματος, μετά από τις δοκιμές και τα συμπεράσματα αυτών, ήταν αναγκαίος ο καθαρισμός του χώρου, καθότι υπήρχαν αντικείμενα από προηγούμενες μελέτες που εμπόδιζαν την εγκατάσταση του εξοπλισμού.



Εικόνα 15: (Α) Ο χώρος πριν καθαριστεί. (Β) Ο χώρος μετά τον καθαρισμό.

Όταν απομακρύνθηκαν τα περιττά αντικείμενα και καθαρίστηκε ο χώρος, βάσει των σεναρίων που είχαν σχεδιαστεί ξεκίνησε η πειραματική διαδικασία. Στην τελική διάταξη το τρίτο πυρανόμετρο τοποθετήθηκε μαζί με το αλμπιντόμετρο στην ίδια διάταξη, με γωνία κλίσης η οποία ταυτιζόταν με τη γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών, με σκοπό να καταγράφει τα ποσά της ακτινοβολίας που δέχεται η συστοιχία. Το ψηφιακό γωνιόμετρο BOSCH GAM 220 MF Professional χρησιμοποιήθηκε για την ακριβή μέτρηση της γωνίας κλίσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη προσαρμογή τους στην επιθυμητή γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.



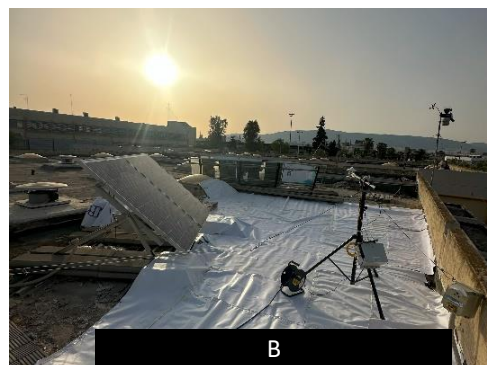
Εικόνα 16: (Α) Γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών. (Β) Τελική διάταξη οργάνου.

Για το πρώτο σενάριο, αξιοποιήθηκε το Δώμα του Κτηρίου Γ, που υπήρχε στα φωτοβολταϊκά. Το αλμπιντόμετρο τοποθετήθηκε μπροστά από τα πάνελ σε σημείο τέτοιο ώστε να αποφεύγεται η σκίαση τους καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Επιπρόσθετα για τη διασφάλιση της ακεραιότητας του οργάνου ήταν σκόπιμο μέσω των ενσωματωμένων συρματόσχοινων που είχε η διάταξη να στερεωθεί σε σημεία, ώστε με την έντονη παρουσία ανέμου που υπήρχε εκείνες τις ημέρες να μην μετακινηθεί.



Εικόνα 17 Διάταξη οργάνου στο πεδίο με το Δώμα του Κτηρίου Γ.

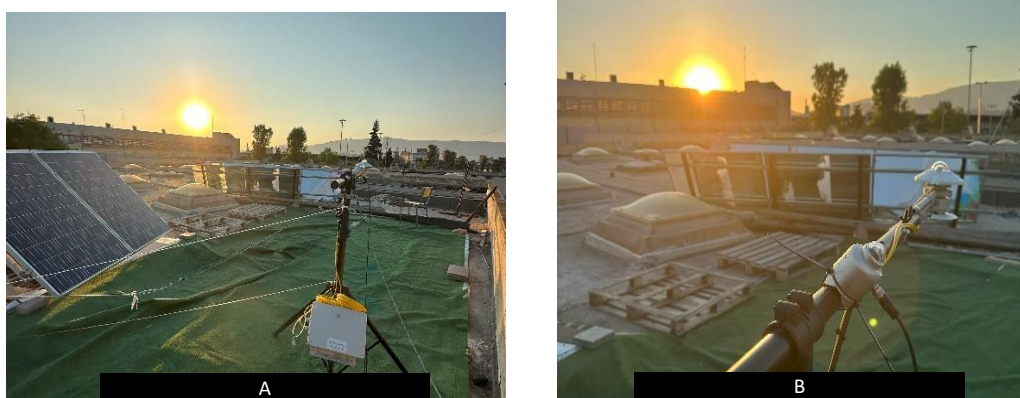
Στο δεύτερο σενάριο χρησιμοποιήθηκε το λευκό PVC, όπου για την τοποθέτηση του χρειάστηκαν και άλλα μέσα. Προκειμένου να ενωθούν όλα τα κομμάτια και να τοποθετηθούν αμφιθεατρικά του φωτοβολταϊκού χρησιμοποιήθηκε σπάγκος και ταινία διπλής όψης. Ωστόσο, δεν αρκούσε μόνο η ένωση των κομματιών, αλλά χρειάστηκε και η στερέωση όλης της επιφάνειας στις άκρες για να μην μετακινείται και να παραμένει τεντωμένη και λεία η επιφάνεια της, καθώς έτσι θα αποκτούσε τσακίσεις και επομένως θα υπήρχε μεγαλύτερη σκέδαση των φωτονίων. Με τα υλικά που υπήρχαν και με σπάγκο ολόκληρη η επιφάνεια στερεώθηκε στις άκρες σε άλλα σημεία με βαριά αντικείμενα όπως παλέτες και σε άλλα σημεία δέθηκε όπως για παράδειγμα στη βάση του φωτοβολταϊκού. Η χρήση του συγκεκριμένου υλικού έγινε για να τονιστεί η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στα χρώματα αλλά και την επιφάνεια, καθώς το λευκό το απαρτίζουν όλα τα χρώματα και έτσι έχει και τη μεγαλύτερη λευκαύγεια αλλά και λόγω της υφής του μουσαμά συγκρίνοντας τον με τις άλλες δύο περιπτώσεις είχε τη μεγαλύτερη ανακλαστικότητα. Η ορθή τοποθέτηση του μουσαμά αλλά και η συγκράτηση του στην παρουσία ανέμου ήταν αναγκαία καθώς σε κάθε άλλη περίπτωση θα είχαμε σκιάσεις στο φωτοβολταϊκό από τις μετακινήσεις του αλλά και πιθανή βλάβη στο αλμπιντόμετρο.



Εικόνα 18 (Α) Τοποθέτηση λευκού PVC. (Β) Το αλμπιντόμετρο πάνω στο λευκό PVC.

Στο τρίτο και τελευταίο σενάριο, έγινε η χρήση του Συνθετικού Χλοστάπητα, ένα υλικό το οποίο αφενός έχει εμφανέστατα μεγαλύτερη τραχύτητα από τα δύο προηγούμενα συνεπώς κατά την ανάκλαση του φωτονίου από το συγκεκριμένο υλικό θα έχουμε

αρκετά μειωμένη ενέργεια λόγω των σκεδάσεων. Επιπρόσθετα, εξαιτίας του πράσινου χρώματος το οποίο βρίσκεται χαμηλά στο φάσμα εκπομπής του ορατού φωτός, αποτελεί μια επιφάνεια με χαμηλή λευκαύγεια και σε συνδυασμό με την τραχύτητα που προσδίδουν οι ίνες του συνθετικού γρασιδιού θα έχει αρκετά χαμηλή ανακλαστικότητα. Επομένως η υπάρχουσα κάλυψη με το λευκό μουσαμά σκεπάστηκε ομοίως με τον τεχνητό χλοοτάπητα, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν οι ταινίες διπλής όψης και να συγκρατηθεί η επιφάνεια του χλοοτάπητα πάνω στο λευκό μουσαμά. Επιπλέον, εξαιτίας του ανέμου και επειδή το ρολό ήταν ενιαίο 2x10 μέτρα αξιοποιήθηκαν βαριά αντικείμενα στις άκρες ώστε να μην διπλώσει ή γυρίσει σε σημεία που θα επηρέαζαν τις μετρήσεις.



Εικόνα 19 (Α) Τοποθέτηση του αλμπιντόμετρου πάνω στον χλοοτάπητα PP. (Β) Η θέση των πυρανομέτρων κατά την Ανατολή.

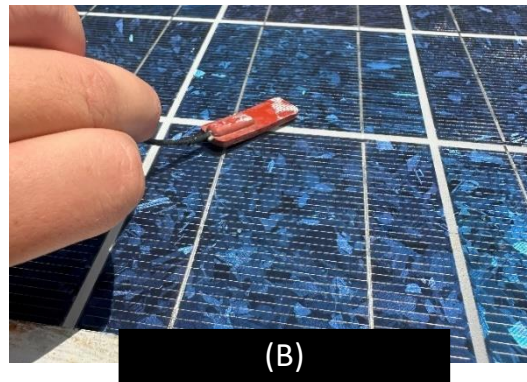
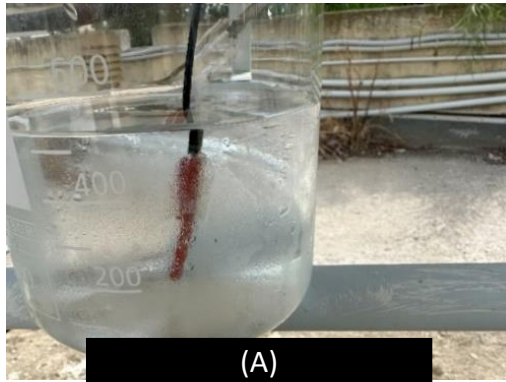
Μετά το πέρας κάθε ημέρας καταγραφής το όργανο για λόγους ασφαλείας μεταφερόταν εντός του εργαστηρίου. Παράλληλα, εφόσον το όργανο είχε καταγράψει για όλο το διάστημα της ημέρας γινόταν άντληση των καταγραφών. Έτσι εφόσον υπήρχε η δυνατότητα να καταγραφούν όλες οι μέρες ξεχωριστά για κάθε όργανο μέτρησης, μπορούσε να γίνει οπτικός έλεγχος των ημερήσιων τιμών. Από τον έλεγχο εντοπίστηκαν αστοχίες και προβλήματα λειτουργίας για κάποιες ημέρες και έτσι διορθώθηκαν με σκοπό να συνεχιστεί κανονικά το πείραμα για όλες τις υπόλοιπες μέρες.

2.4 Συλλογή Δεδομένων

Για την συλλογή δεδομένων από τα όργανα καταγραφής αξιοποιήθηκαν δύο μέθοδοι. Στην πρώτη μέθοδο που αφορά τα φωτοβολταϊκά για την άντληση των καταγραφών της ημέρας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Carlo Gavazzi, με απομακρυσμένη σύνδεση. Το λογισμικό επιτρέπει στο χρήστη με την σύνδεση του να αντλήσει όλες τις καταγραφές της ημέρας, όπως είναι η Ισχύς, το Ρεύμα και η Τάση του φωτοβολταϊκού καταναμεμένα σε διαστήματα πέντε λεπτών. Αυτή η μέθοδος παρείχε λεπτομερείς πληροφορίες για την απόδοση της συστοιχίας, τη συμπεριφορά του σε όλη τη διάρκεια της ημέρας και τελικά την ενεργειακή παραγωγή.

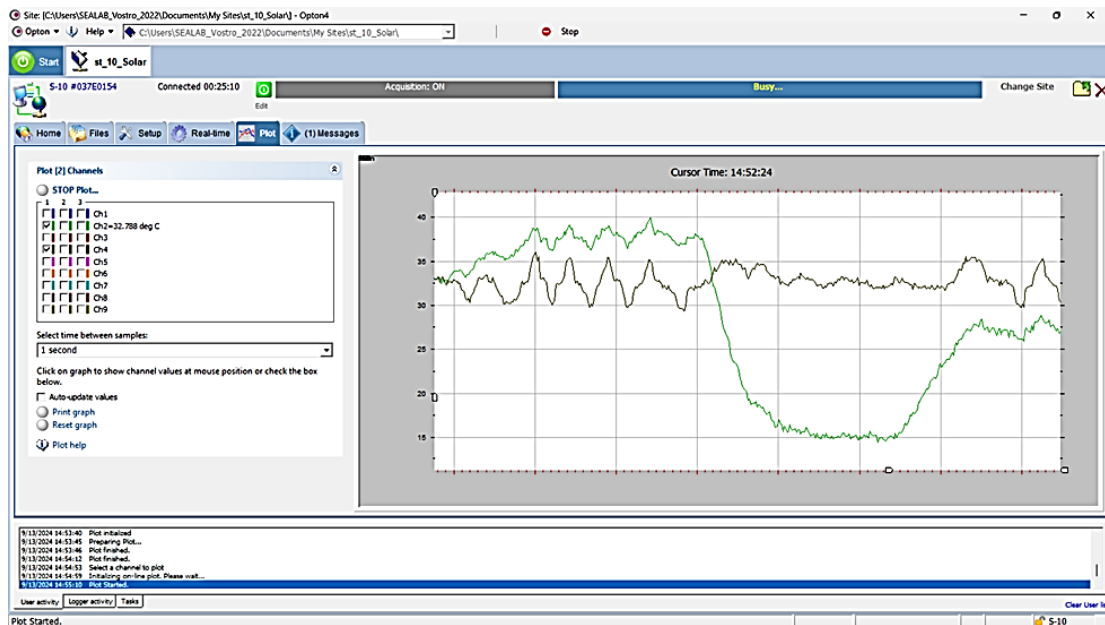
Η δεύτερη μέθοδος αφορούσε τις καταγραφές ακτινοβολίας από τα πυρανόμετρα. Για την μεταφορά των δεδομένων από κάθε ένα καταγραφικό χρησιμοποιήθηκε ενσύρματη σύνδεση με τον υπολογιστή, στην περίπτωση του CR310 μέσω καλωδίου USB A to micro B και για το Li-19 USB A to Mini B. Έπειτα σε κάθε ένα από τα καταγραφικά, ο κατασκευαστής είχε ορίσει διαφορετικό λογισμικό διαμόρφωσης και συλλογής δεδομένων. Για το CR310, χρησιμοποιείται το PC400 από τη Campbell Sc. όπου ο χρήστης μπορεί πέρα από το να διαμορφώσει το μηχάνημα, να ορίσει το πρόγραμμα που θα λειτουργεί στο καταγραφικό και ανάλογα θα αντλεί τα δεδομένα από τα πυρανόμετρα, να παρακολουθεί την κατάσταση του ανά λεπτό και στην περίπτωση που υπάρχει ενσύρματη σύνδεση να κάνει την τελική άντληση των καταγραφών. Το πρόγραμμα για το Li-19 από τη Hukseflux φέρει το ίδιο όνομα. Στο Li-19 ο χρήστης αρχικά αφού επιβεβαιώσει τον αισθητήρα που συνδέεται με το καταγραφικό, στη συνέχεια ορίζει την ευαισθησία του οργάνου και το διάστημα που επιθυμεί να καταγράψει, ώστε στο τέλος της ημέρας να κάνει την τελική άντληση όλων των δεδομένων που έχουν αποθηκευτεί στη μνήμη του. Για την παρούσα διπλωματική το καταγραφικό CR310 ήταν συνδεδεμένο με δύο πυρανόμετρα SMP6-V και το Li-19 με ένα πυρανόμετρο SR05. Ο χρόνος καταγραφής μετρήσεων είχε οριστεί στο ένα λεπτό, όπου αποδιδόταν ο μέσος όρος της ακτινοβολίας που πρόσπιπτε πάνω στους θόλους ανά ένα δευτερόλεπτο. Με την καταγραφή του φωτοβολταϊκού να είναι στα πέντε λεπτά και των πυρανομέτρων να είναι στο ένα λεπτό, για να γίνει η τελική στατιστική ανάλυση και η απόδοση των αποτελεσμάτων, χρειάστηκε μετά τη συλλογή όλων των καταγραφών σε περιβάλλον Excel, να υπολογιστεί ο μέσος όρος για διάστημα πέντε λεπτών σε κάθε πυρανόμετρο. Αυτή η διαμόρφωση επέτρεψε την ομαλή συσχέτιση της παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά με την καταγραφή της ακτινοβολίας της εκάστοτε ημέρας και παρείχε ένα ομοιογενές σύνολο.

Τέλος, η άντληση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος που επικρατούσε τις ημέρες καταγραφής, έγινε μέσω του Στυλίτης-10 της Σύμμετρον, ενός καταγραφικού μπαταρίας για πολλούς αισθητήρες με εξόδους υψηλής ακρίβειας 2.5V και 0.5mA. Ο αισθητήρας που είναι συνδεδεμένος είναι ο PT100 με καταγραφή ανά 1 δευτερόλεπτο. Επειδή στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου λειτουργούν πολλοί αισθητήρες, για την επιλογή των δεδομένων από τον ένα, χρειάστηκε πειραματική διερεύνηση. Αρχικά αφού εντοπίστηκε ο αισθητήρας, έχοντας απευθείας σύνδεση με υπολογιστή, έγινε προσπάθεια για ακραία μεταβολή της θερμοκρασίας του αισθητήρα, μια με θέρμανση και μία με ψύξη όπως φαίνεται στην Εικόνα 20.



Εικόνα 20: (A) Ψύξη. (B) Θέρμανση.

Συνεπώς με τις ακραίες μεταβολές στη θερμοκρασία του αισθητήρα και την ταυτόχρονη παρακολούθηση σε περιβάλλον υπολογιστή επιλέχθηκε ο αισθητήρα CH2 σύμφωνα με τα αποτελέσματα.



Εικόνα 21: Απεικόνιση Μεταβολής Θερμοκρασίας Αισθητήρα.

Από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, κρίθηκε απαραίτητος ο έλεγχος ποιότητας των μετρήσεων προκειμένου να αξιοποιηθούν μόνο εκείνες που πληρούν τα προκαθορισμένα κριτήρια. Για τον έλεγχο ποιότητας σε ολόκληρο το σύνολο των δεδομένων απομονώθηκαν οι στήλες με τις καταγραφές των οργάνων.

2.5 Έλεγχος Ποιότητας Δεδομένων

Προκειμένου να διερευνηθούν τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί, είναι σκόπιμο να χωριστούν σε δύο σκέλη τα ζητούμενα. Στο πρώτο σκέλος μελετάται η διαφοροποίηση της λευκαύγειας και της ανακλώμενης ακτινοβολίας από κάθε είδος επιφάνειας που έχει χρησιμοποιηθεί επομένως οι μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται αφορούν την ολική ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στην υπό μελέτη επιφάνεια και την

ανακλώμενη, από αυτή την επιφάνεια, ακτινοβολία. Στο δεύτερο σκέλος μελετάται η επίδραση της ανακλώμενης ακτινοβολίας στην ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων, συνεπώς χρειάζονται περισσότερες μεταβλητές για να διερευνηθεί, οπότε σε αυτή την περίπτωση θα μελετηθούν πέρα από την ολική G και την ανακλώμενη ακτινοβολία G_s , η υπό γωνία ακτινοβολία, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η παραγωγή του φωτοβολταϊκού.

Για τον προσδιορισμό της Λευκαύγειας ρ και τη μελέτη της ανακλώμενης ακτινοβολίας οι τιμές ελεγχθούν ως προς την ποιότητα των δεδομένων τους, με το διάστημα μελέτης είναι από τις 07:00-19:00, δηλαδή 12 ώρες, χωρισμένες σε διαστήματα των 5 λεπτών για τις μετρήσεις ακτινοβολίας, προκύπτουν 145 μετρήσεις κάθε ημέρα. Οι δύο μεταβλητές σε αυτή την περίπτωση αφορούν την ακτινοβολία, επομένως εφαρμόζοντας Έλεγχο Εμβέλειας για τις τιμές της ακτινοβολίας:

$$X_{min} \leq X_i \leq X_{max} \text{ με } i = 1, \dots, N$$

Όπου X είναι η ακτινοβολία I και I_s αντίστοιχα σε κάθε περίπτωση και N το πλήθος μετρήσεων. Για ελάχιστο αποδεκτό όριο εφόσον πρόκειται για ακτινοβολία θα οριστεί η τιμή $0 \frac{W}{m^2}$ και το ανώτερο αποδεκτό όριο είναι $1367 \frac{W}{m^2}$. Εφαρμόζοντας τον έλεγχο δεν προκύπτει καμία τιμή που να υπερβαίνει τα όρια.

Στην συνέχεια, εφόσον όλες οι μέρες είναι αποδεκτές, θα εφαρμοστεί έλεγχος πληρότητας των μετρήσεων, για να εξεταστεί αν υπάρχει επάρκεια δεδομένων ούτως ώστε να εξαχθεί αποτέλεσμα. Από οπτικό έλεγχο των μετρήσεων, τρεις μέρες από το σύνολο φαίνεται να μην έχουν δεδομένα για όλο το εύρος των 12 ωρών. Συγκεκριμένα στις 19/6/2024, 26/6/2024 και στις 6/7/2024. Στην πρώτη περίπτωση υπάρχουν το 80% των μετρήσεων, στη δεύτερη το 97% και στην τρίτη το 97.9% των μετρήσεων. Επομένως, οι μέρες θεωρούνται κατάλληλες για την περαιτέρω διερεύνηση τους ως προς την Λευκαύγεια του εδάφους.

Πίνακας 3: Πληρότητα Μετρήσεων CMA 6

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ			
	<u>19/6/2024</u>	<u>26/6/2024</u>	<u>6/7/2024</u>
ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ			
<u>CMA 6</u>	80%	97%	97.9%

Έπειτα, στο δεύτερο σκέλος που αφορά την ενεργειακή παραγωγή του φωτοβολταϊκού, απαιτείται εκτενέστερος έλεγχος. Στον έλεγχο ποιότητας οι τιμές αξιολογήθηκαν ώστε να εντοπιστούν και να εξαιρεθούν τυχόν αποκλίσεις ή σφάλματα. Μόνο οι μετρήσεις που συμμορφώνονται με τα κριτήρια ποιότητας ενσωματώθηκαν στην περαιτέρω ανάλυση.

Αρχικά, το διάστημα μελέτης είναι από τις 07:00-19:00, δηλαδή 12 ώρες, χωρισμένες σε διαστήματα των 5 λεπτών για τις μετρήσεις ακτινοβολίας και παραγωγής του φωτοβολταϊκού και σε διαστήματα των 10 λεπτών για την θερμοκρασία. Επομένως, για την ακτινοβολία και για την παραγωγή του φωτοβολταϊκού αναμένονται 145 καταγραφές σε αυτό το διάστημα και για τη θερμοκρασία 73 καταγραφές. Προκειμένου να διαχωριστούν οι ημέρες που είναι κατάλληλες για την εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με την παραγωγή του φωτοβολταϊκού θα προηγηθεί ένας έλεγχος αρχικής πληρότητας ούτως ώστε να διαπιστωθεί ότι υπάρχουν οι μετρήσεις για όλο το διάστημα που μελετάται.

Για την πρώτη ημέρα στις 19/6/2024, οι καταγραφές της ακτινοβολίας από το αλμπιντόμετρο (CMA 6) είναι 116, για το υπό γωνία πυρανόμετρο (SR05) είναι 69, για το φωτοβολταϊκό (S18.235) έχουμε όλες τις μετρήσεις και για τη θερμοκρασία είναι 73. Άρα για κάθε ένα μέγεθος έχουμε την εξής πληρότητα:

- CMA 6: $\frac{116}{145} = 0.8$ ή 80%
- SR05: $\frac{69}{145} = 0.476$ ή 47.6%
- S18.235: $\frac{145}{145} = 1$ ή 100%
- PT100: $\frac{73}{73} = 1$ ή 100%

Επομένως, με το ποσοστό καταγραφών για το υπό γωνία πυρανόμετρο να είναι μικρότερο του 50% η μέρα απορρίπτεται καθότι δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για τη διερεύνηση.

Ομοίως θα ακολουθήσουν τον έλεγχο όλες οι μέρες για την αρχική πληρότητα των καταγραφών και θα αποδοθούν στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Αρχική Πληρότητα δεδομένων για κάθε αισθητήρα.

ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	<u>CMA 6</u>	<u>SR05</u>	<u>S18.235</u>	<u>PT100</u>
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ				
<u>19/6</u>	80%	47.6%	100%	100%
<u>20/6</u>	100%	84%	100%	100%
<u>21/6</u>	100%	0%	100%	100%
<u>25/6</u>	100%	100%	100%	100%
<u>26/6</u>	97%	97%%	100%	100%

<u>27/8</u>	100%	100%	100%	100%
<u>28/6</u>	100%	100%	100%	100%
<u>1/7</u>	100%	100%	100%	100%
<u>6/7</u>	97.9%	97.9%	100%	100%
<u>8/7-19/7</u>	100%	100%	100%	100%

Συνοψίζοντας την αξιολόγηση, οι μέρες των οποίων οι μετρήσεις απορρίπτονται επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στον πίνακα. Στις 19/6/2024 οι μετρήσεις απορρίπτονται γιατί δεν υπάρχει επάρκεια μετρήσεων στο υπό γωνία πυρανόμετρο καθώς τέθηκε σε λειτουργία αργότερα. Στις 21/6/2024, οι μετρήσεις της ημέρας απορρίπτονται αφού δεν υπάρχει καμία καταγραφή για το υπό γωνία πυρανόμετρο, κάτι που οφείλεται σε σφάλμα του οργάνου καθώς δεν κατέγραψε καμία τιμή για όλο το διάστημα που ήταν σε λειτουργία.

Στη συνέχεια έχοντας απορρίψει τις μετρήσεις των δύο μερών, θα αξιολογηθεί η εγκυρότητα των μετρήσεων σύμφωνα με τον έλεγχο εμπέλειας.

$$X_{min} \leq X_i \leq X_{max} \text{ με } i = 1, \dots, N \quad (8)$$

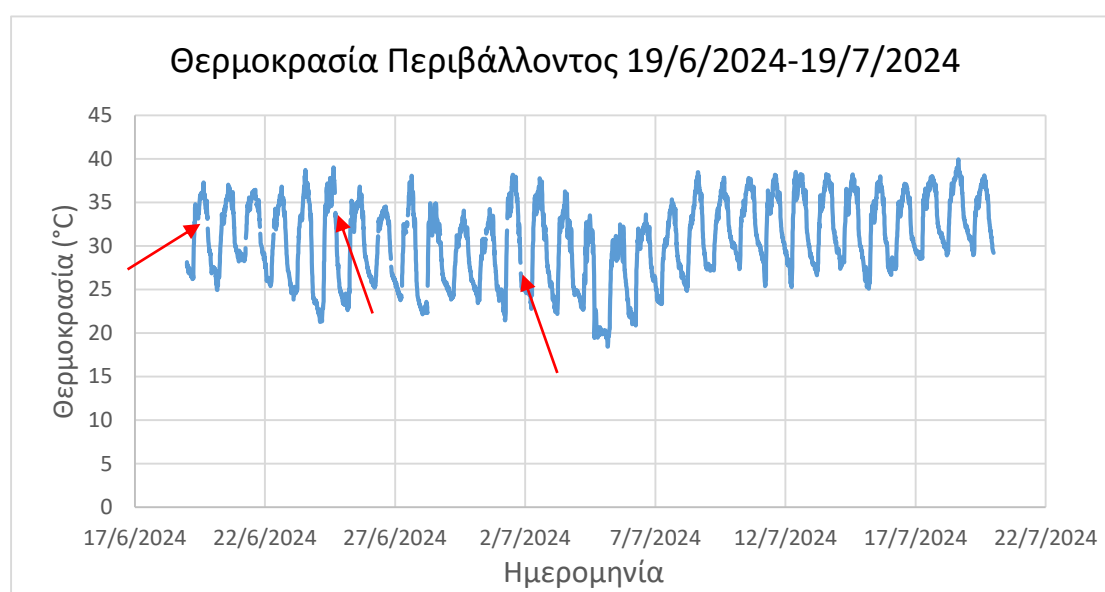
Στη μεταβλητή X, θα εξεταστούν όλες οι τιμές και τα όρια min και max θα καθοριστούν εμπειρικά λαμβάνοντας υπόψη την εποχή του χρόνου που είναι Καλοκαίρι (Ιούνιος-Ιούλιος) και τις ώρες καταγραφής 07:00-19:00, δηλαδή ηλιοφάνεια.

Αρχικά για τη θερμοκρασία, για τους μήνες της διερεύνησης στην Πανεπιστημιούπολη Αρχαίου Ελαιώνα που βρίσκεται στο Αιγάλεω Αττικής στην Κλιματική Ζώνη Β, θα οριστεί η ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας στους 20 °C και η μέγιστη τιμή θερμοκρασίας στους 45 °C.

Στο χρονικό διάστημα της πειραματικής διερεύνησης, δεδομένου ότι χωρίζεται σε διαστήματα των 10 λεπτών, οι συνολικές καταγραφές ανά ημέρα είναι 73 με τις συνολικές για το διάστημα των 19 ημερών να είναι 1387 μετρήσεις. Βάσει του ελάχιστου ορίου που έχει τεθεί απορρίφθηκαν 17 μετρήσεις ενώ από το μέγιστο όριο δεν απορρίφθηκε καμία μέτρηση. Συνεπώς, η απόδοση των καταγραφών της θερμοκρασίας θ είναι:

$$\theta = \frac{\text{Πλήθος Διαθέσιμων Καταγραφών}}{\text{Συνολικές Καταγραφές}} = \frac{1370}{1387} = 0.988 \text{ ή } 98.8\%$$

Με την ελάχιστη ανά ημέρα να είναι 94.5% και την καλύτερη 100%. Δεν απορρίπτεται καμία ημέρα από τις καταγραφές στη θερμοκρασία καθώς υπάρχει επάρκεια στις μετρήσεις. Παρόλα αυτά, για το σύνολο των μετρήσεων επειδή αποτελεί μέσος όρος 10 λεπτών με τη χρήση γραφημάτων για να προσδιοριστεί η ποιότητα των μετρήσεων της θερμοκρασίας, εμφανίζονται τιμές για την ελάχιστη τιμή που καταγράφεται στο ορισμένο διάστημα που δεν είναι αποδεκτές όπως για παράδειγμα μια τιμή θερμοκρασίας στους $-257\text{ }^{\circ}\text{C}$. Συνεπώς στο Σχήμα 2 αποτυπώνονται οι μέσες θερμοκρασίες για όλες τις ημέρες καταγραφής εξαιρώντας τις τιμές όπου έχει προκύψει σφάλμα.



Σχήμα 2: Θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της περιόδου της πειραματικής διαδικασίας (μέσες τιμές 10 λεπτών).

για κάθε ημέρα πλην των μετρήσεων που υπάρχει σφάλμα στην μέτρηση.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2, όπου παρουσιάζεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας υπάρχουν μέρες που για την θερμοκρασία δεν υπάρχουν όλα τα δεδομένα θερμοκρασίας και εξαιρούνται από το διάγραμμα θερμοκρασιακής μεταβολής. Τα διαστήματα των 10 λεπτών που έχουν εξαιρεθεί εμφανίζονται ως κενό στη συνεχόμενη μπλε γραμμή. Ενδεικτικά κάποιες τιμές έχουν επισημανθεί με κόκκινο βέλος ως παράδειγμα. Για το λόγο αυτό θα συγκεντρωθούν σε ένα μαζικό πίνακα που παρουσιάζει την ημερομηνία που γίνεται η καταγραφή και τον αισθητήρα που καταγράφει ώστε να φαίνεται το ποσοστό των μετρήσεων ανά ημέρα που υπάρχει διαθέσιμο για κάθε μέρα καταγραφής.

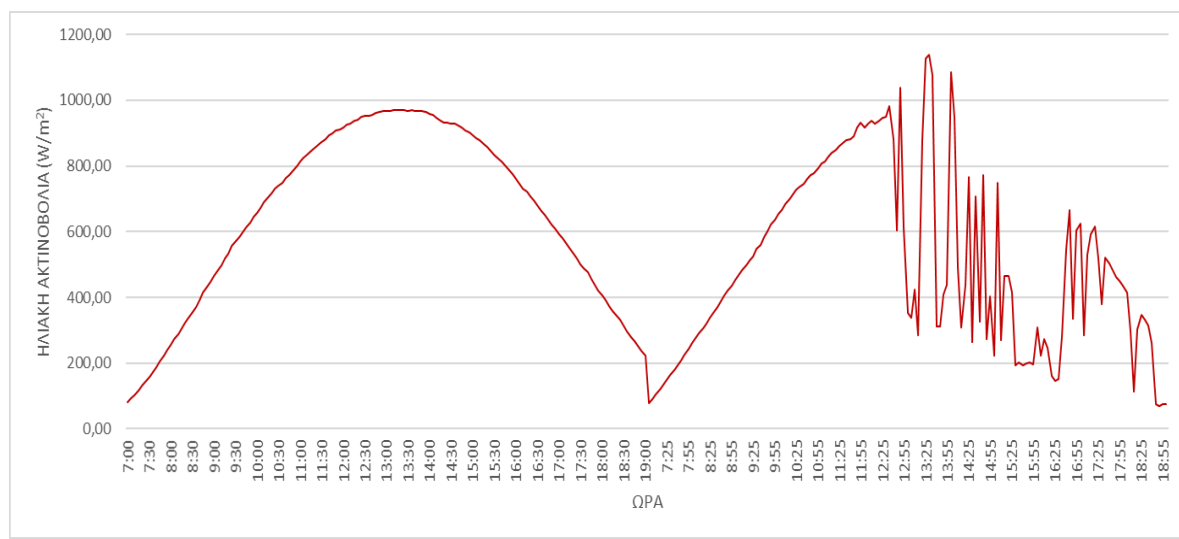
Πίνακας 5: Ποσοστό πληρότητας μετρήσεων.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ	PT100
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	
<u>19/6</u>	98.6%
<u>20/6</u>	97.3%
<u>21/6</u>	95.9%
<u>25/6</u>	97.3%
<u>26/6</u>	98.6%
<u>27/6</u>	94.5%
<u>28/6</u>	97%
<u>1/7</u>	97%

Από τον παραπάνω έλεγχο, δεν προκύπτει κάποια ημέρα της οποίας οι μετρήσεις να απορρίπτονται λόγω απουσίας δεδομένων. Επομένως συνεχίζονται οι έλεγχοι και για τους υπόλοιπους αισθητήρες και τις μετρήσεις που έχουν συλλέξει.

Έπειτα στην αξιολόγηση ποιότητας των μετρήσεων στην ακτινοβολία, θα μελετηθούν μαζί τα δεδομένα από το Αλμπιντόμετρο CMA 6 και το υπό γωνία πυρανόμετρο SR05, όπου στο διάστημα καταγραφής καθότι έχουμε ηλιοφάνεια θα τεθεί το ελάχιστο όριο ακτινοβολίας στα $0 \frac{W}{m^2}$ και το ανώτερο όριο ακτινοβολίας θα έχει την τιμή της Ηλιακής Σταθεράς στα $1367 \frac{W}{m^2}$.

Ο έλεγχος για τα δύο αυτά όρια έχει ως αποτέλεσμα να είναι δεκτές όλες οι καταγραφές που μετρήθηκαν από τα πυρανόμετρα. Παρόλα αυτά, με τη χρήση γραφημάτων σε περιβάλλον excel παρατηρείται έντονη μεταβολή της ακτινοβολίας στις 28/6/2024 όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 συγκριτικά με την προηγούμενη ακριβώς ημέρα.



Σχήμα 3: Σύγκριση Ηλιακής Ακτινοβολίας σε αίθρια μέρα και σε μέρα με νεφώσεις 27/7/2024-28/7/2024

Επομένως, οι μετρήσεις της μέρας 28/6/2024 απορρίπτονται από τις αποδεκτές τιμές καθώς δεν μπορούν να αξιοποιηθούν οι καταγραφές, γεγονός που οφείλεται στην εναλλαγή νεφώσεων και ηλιοφάνειας εκείνη τη μέρα με αποτέλεσμα να επηρεάζεται περιοδικά η ηλιακή ακτινοβολία.

Η τελευταία υπό αξιολόγηση κατηγορία αφορά τα φωτοβολταϊκά πλαίσια της εγκατάστασης, όπου σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους για την συστοιχία Aleo S18.235 ονομαστικής ισχύος 470 Watt και με δεδομένο ότι το πείραμα λαμβάνει χώρα σε περίοδο της ημέρας με ηλιοφάνεια, θα τεθεί το ελάχιστο όριο παραγωγής στα 0 W και το ανώτερο όριο παραγωγής στα 470Watt.

Ο έλεγχος στο ελάχιστο όριο, εξείρεσε από το πλήθος μετρήσεων 13 τιμές, όπου όλες εντάσσονται στις 25/6/2024 και συγκεκριμένα στο διάστημα 14:50-15:50 με την ηλιακή γωνία να είναι από 56°-44°. Οι τιμές αυτές παρουσίασαν αρνητική τάση κάτι που δεν είναι αποδεκτό με τον περιορισμό που έχει τεθεί. Όπως είναι αντιληπτό οι τιμές οφείλονται σε σφάλμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου το οποίο οφείλεται στην εγκατάσταση του εργαστηρίου. Στο ανώτερο όριο δεν υπήρξε κάποια τιμή να το υπερβαίνει συνεπώς είναι δεκτές οι υπόλοιπες.

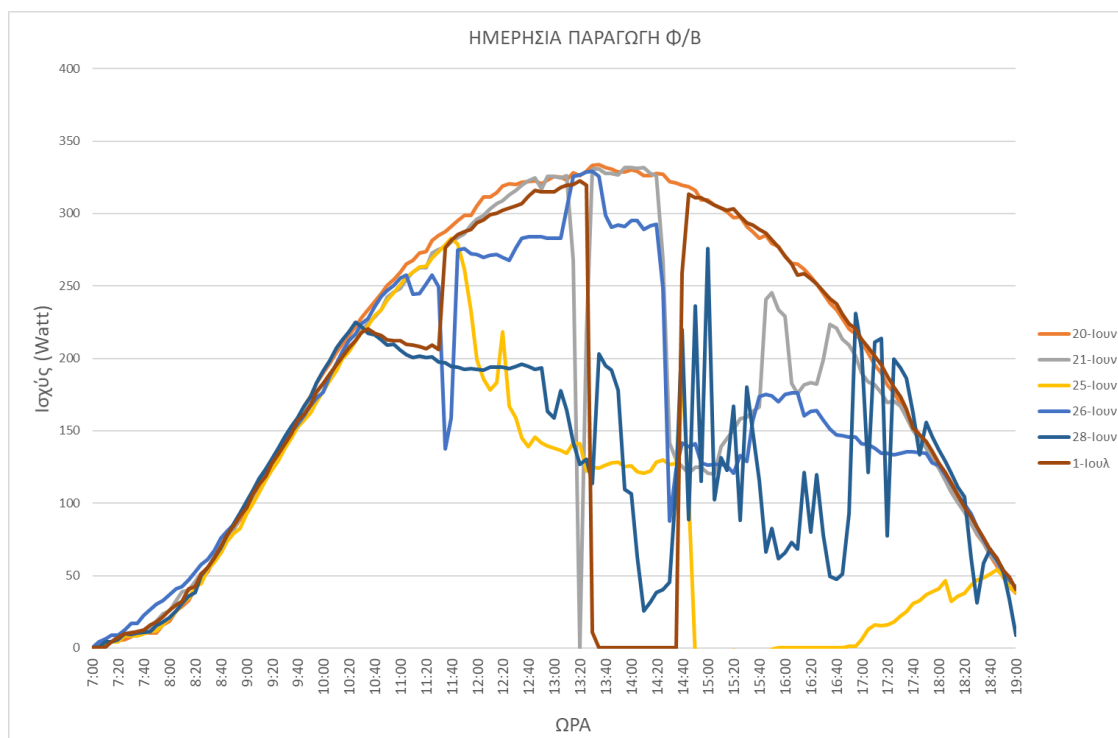
Συνεπώς απορρίπτονται οι μετρήσεις καθότι δεν υπάρχει επάρκεια δεδομένων για να διερευνηθεί η συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού όλη τη μέρα.

Παρόλα αυτά με τη χρήση γραφήματος για την βδομάδα από τις 25/6/2024 έως και τη 1/7/2024, υπάρχει διακοπή στη λειτουργία του φωτοβολταϊκού σε ώρες που δεν δικαιολογείται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Παραγωγή Ισχύος στο διάστημα 25/6/2024-1/7/2024

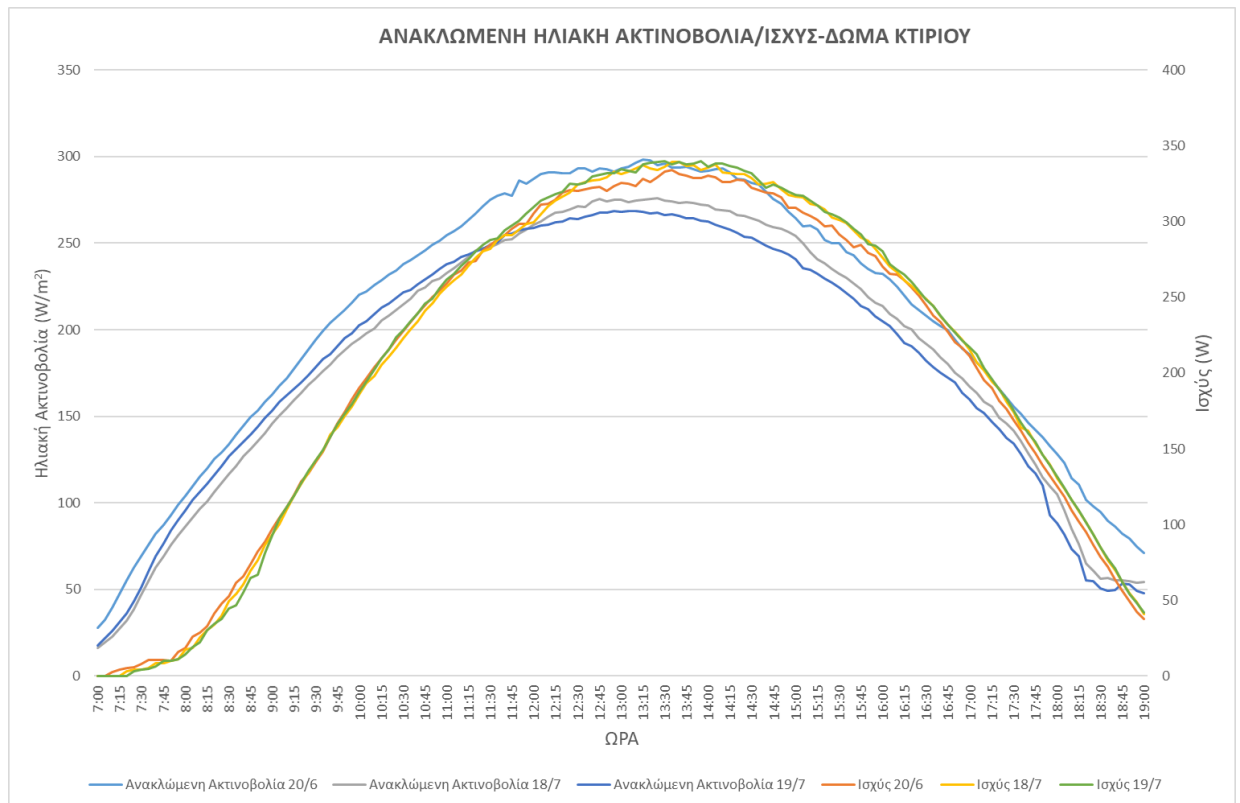
Τις ώρες που φαίνεται να διακόπτεται η λειτουργία του φωτοβολταϊκού τις ημέρες 26/6/2024 και 1/7/2024 είναι μεσημβρινές ώρες κάτι που δεν δικαιολογεί την πτώση ισχύος του καθώς υπάρχει μεγάλη ηλιακή γωνία και απουσία νεφώσεων επομένως υπάρχει πρόβλημα στην εγκατάσταση του εργαστηρίου που εμποδίζει την παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά. Αργότερα για την συνέχεια του πειράματος διενεργήθηκε συντήρηση στο σύστημα συσσωρευτών που έχει εγκατεστημένο η εγκατάσταση και διεκπεραιώθηκε κανονικά το πείραμα.



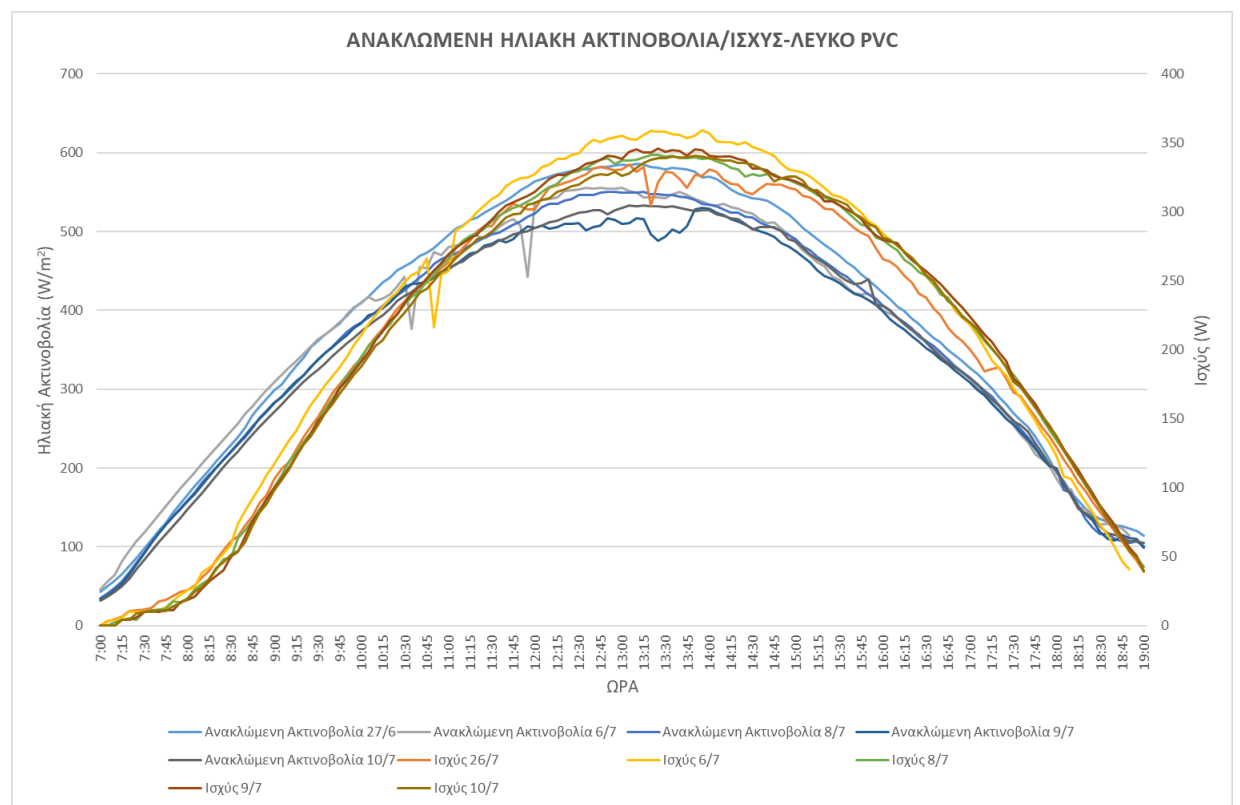
Σχήμα 5: Σύγκριση της παραγωγής μίας κανονικής ημέρας με τις ημέρες που υπήρχε πρόβλημα στην παραγωγή.

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η ημερήσια παραγωγή ισχύος από τη συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων που είναι εγκατεστημένη στο Κτίριο Γ' για κάποιες ημέρες καταγραφής. Οι μέρες που αναπαρίστανται είναι εκείνες που έχουν απορριφθεί καθώς δεν συμμορφώνονται με την κανονική παραγωγή ενέργειας που θα είχε το σύστημα των φωτοβολταϊκών πλαισίων μέσα σε μία μέρα. Η μέρα που αναπαριστά μια φυσιολογική παραγωγή ενέργειας στο διάστημα 07:00-19:00 μίας ημέρας είναι στις 20-Ιουνίου. Όπως φαίνεται οι υπόλοιπες παρουσιάζουν διάφορες ανωμαλίες στην παραγωγή που οφείλονται κατά κύριο λόγο στην μη ύπαρξη φορτίου ζήτησης με αποτέλεσμα να διακόπτεται η λειτουργία του φωτοβολταϊκού.

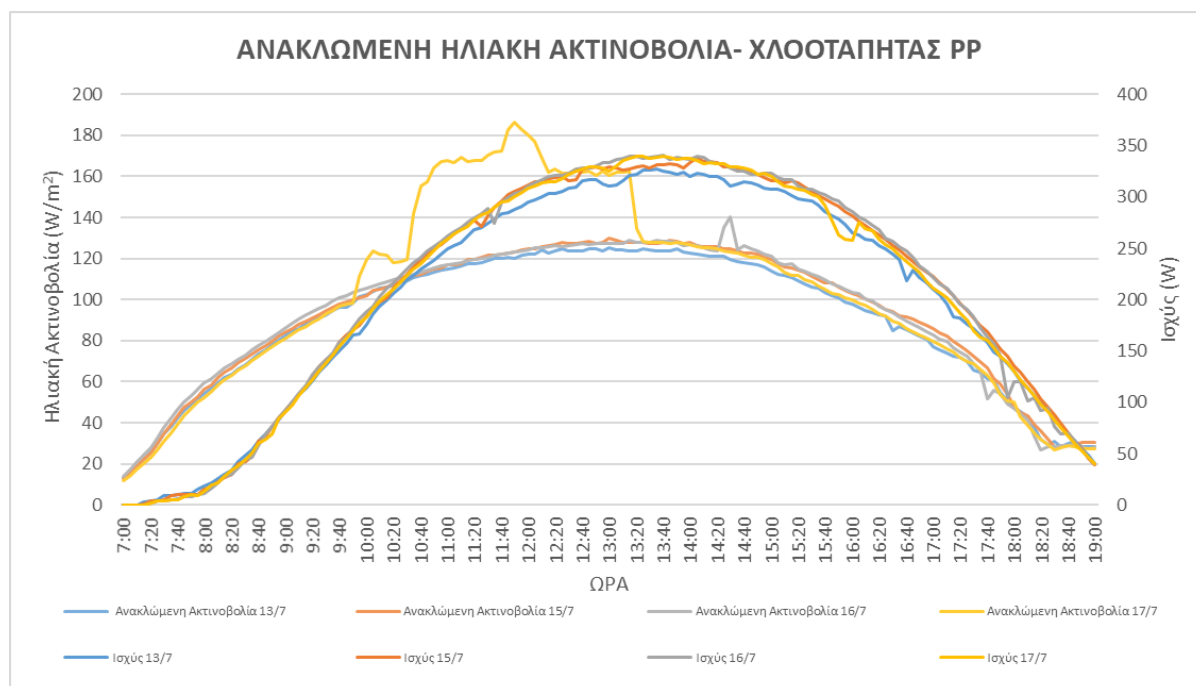
Οι ημέρες που θα εξεταστούν ώστε να υπάρξουν αποτελέσματα στην διερεύνηση αποτυπώνονται διαχωρισμένες ανάλογα τον τύπο του ανακλαστικού υλικού που χρησιμοποιείται για την καλύτερη ανάγνωση των σχημάτων.



Σχήμα 6: Παρουσίαση της ημερήσιας ανακλώμενης ακτινοβολίας από Δώμα Κτηρίου στον πρωτεύοντα κατακόρυφο και της παραγωγής ισχύος στο δευτερεύοντα κατακόρυφο.



Σχήμα 7: Παρουσίαση της ημερήσιας ανακλώμενης ακτινοβολίας από Λευκό PVC στον πρωτεύοντα κατακόρυφο και της παραγωγής ισχύος στο δευτερεύοντα κατακόρυφο.



Σχήμα 8: Παρουσίαση της ημερήσιας ανακλώμενης ακτινοβολίας από χλοοτάπητα ΡΡ στον πρωτεύοντα κατακόρυφο και της παραγωγής ισχύος στο δευτερεύοντα κατακόρυφο.

Όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα (Σχήμα 6, Σχήμα 7, Σχήμα 8) η ανακλώμενη ακτινοβολία επηρεάζεται άμεσα από τον τύπο του ανακλαστικού υλικού που υπάρχει στο έδαφος και διαχωρίζονται με τον οπτικό έλεγχο για τα δεδομένα του πειράματος σε μικρή, μεσαία και μεγάλη ανακλαστικότητα. Επιπρόσθετα στα διαγράμματα στον δευτερεύοντα κατακόρυφο άξονα είναι η ισχύς της συστοιχίας και συγκρίνοντας τα τρία σχήματα εμφανίζεται η υψηλότερη τιμή ισχύος να είναι σε συνδυασμό με το λευκό PVC, έπειτα με το δώμα του κτηρίου και τέλος την χαμηλότερη τιμή παραγωγής έχει με την χρήση του χλοοτάπητα ΡΡ.

Ο τελικός πίνακας με τις ημέρες που θα αξιοποιηθούν στην πειραματική διερεύνηση και αφορούν την ενεργειακή παραγωγή ώστε να μελετηθεί η επίδραση της ανακλαστικότητας είναι ο Πίνακας 6:

Πίνακας 6: Μέρες και καταλληλόλητα συμμετοχής στη μελέτη

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
19/6/2024	ΔΩΜΑ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ
21/6/2024	ΔΩΜΑ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ
25/6/2024	ΔΩΜΑ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ
22/6/2024	ΔΩΜΑ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ
26/6/2024	ΛΕΥΚΟΣ ΜΟΥΣΑΜΑΣ	ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ

28/6/2024	ΛΕΥΚΟΣ ΜΟΥΣΑΜΑΣ	ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ
1/7/2024	ΛΕΥΚΟΣ ΜΟΥΣΑΜΑΣ	ΑΠΟΡΡΙΠΤΕΤΑΙ
20/6/2024	ΔΩΜΑ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
27/6/2024	ΛΕΥΚΟΣ ΜΟΥΣΑΜΑΣ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
6/7/2024	ΛΕΥΚΟΣ ΜΟΥΣΑΜΑΣ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
8/7/2024	ΛΕΥΚΟΣ ΜΟΥΣΑΜΑΣ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
9/7/2024	ΛΕΥΚΟΣ ΜΟΥΣΑΜΑΣ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
10/7/2024	ΛΕΥΚΟΣ ΜΟΥΣΑΜΑΣ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
13/7/2024	ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
15/7/2024	ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
16/7/2024	ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
17/7/2024	ΣΥΝΘΕΤΙΚΟΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
18/7/2024	ΔΩΜΑ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ
19/7/2024	ΔΩΜΑ ΚΤΗΡΙΟΥ	ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΟ

Κεφάλαιο 3^ο – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Παρουσίαση Πειραματικών Δεδομένων

Κατά την περίοδο, 19 Ιουνίου 2024 έως τις 19 Ιουλίου 2024, καταγράφηκαν δεκαεννιά ημέρες με τις δώδεκα από αυτές να είναι αξιοποιήσιμες για το πείραμα. Οι υπόλοιπες μετρήσεις περιέχουν σφάλματα που οφείλονται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες αλλά και δυσλειτουργίες στις εγκαταστάσεις των φωτοβολταϊκών του εργαστηρίου.

Οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν χωρίζονται σε κατηγορίες. Αρχικά, υπάρχουν οι μετρήσεις που έχουν συλλεχθεί από το Αλμπιντόμετρο. Εκεί σύμφωνα με το περιβάλλον του PC400 υπάρχει η δυνατότητα άντλησης της Ολικής Ακτινοβολίας (Global) και της Ανακλώμενης από το έδαφος. Επομένως, σε περιβάλλον Excel εισάγονται οι τιμές Rad_Upper για την Ολική Ακτινοβολία G και Rad_Down για την Ανακλώμενη G_s με μονάδες μέτρησης $\frac{W}{m^2}$. Στη συνέχεια, για το SR05 από το περιβάλλον του Li-19 εισάγονται οι τιμές για την ακτινοβολία που δέχεται το πυρανόμετρο υπό γωνία G_t , δηλαδή εισάγονται οι τιμές Rad_Tilted με μονάδα μέτρησης $\frac{W}{m^2}$. Για τον υπολογισμό του Λευκαύγεια ρ , δηλαδή της λευκαύγειας του εδάφους, εφαρμόζεται ο τύπος:

$$\rho = \frac{G_s}{G} \quad (4)$$

όπου:

- I: Η ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία επιφάνεια.
- I_s : Η ακτινοβολία που ανακλάται από την ίδια επιφάνεια.

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση, στην εύρεση του albedo αξιοποιείται ο λόγος της Rad_Down (G_s) προς την Rad_Upper (G). Επιπλέον, το albedo είναι αδιάστατη ποσότητα επομένως δεν έχει μονάδες μέτρησης.

Αφού έχουν συλλεχθεί τα δεδομένα για την ακτινοβολία από τα πυρανόμετρα, μέσω της ιστοσελίδας Carlo Gavazzi, αντλούνται τα δεδομένα παραγωγής των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Για την περίπτωση του Κτηρίου Γ στην Πανεπιστημιούπολη του Αρχαίου Ελαιώνα, χρησιμοποιούνται τα δεδομένα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας PV2_940. Από εκεί συμπληρώνονται οι στήλες για την τάση του φωτοβολταϊκού σε Volt και για το ρεύμα σε Ampere, δηλαδή οι στήλες PV_Volt (V) και PV_Ampere (I) αντίστοιχα. Για τη συμπλήρωση του PV_Power (P) που είναι η παραγόμενη ισχύς από το φωτοβολταϊκό πραγματοποιείται ο πολλαπλασιασμός της τάσης με το ρεύμα και αποδίδεται ισχύς σε Watt.

$$P = V * I \text{ (Watt)} \quad (5)$$

- P: Power, ισχύς
- V: Volt, τάση
- I: Current, ρεύμα

Προκειμένου να υπάρχουν λογικά συμπεράσματα αναφορικά με την παραγωγή του φωτοβολταϊκού και τις τιμές της ακτινοβολίας είναι αναγκαίο να υπολογιστεί η ηλιακή γωνία (α) σε όλο το διάστημα καταγραφής. Αυτό γίνεται με την καταχώρηση των δεδομένων στην ιστοσελίδα planetcalc.com όπου με την χρήση του γεωγραφικού πλάτους και μήκους, της ημερομηνίας καταγραφής και τη διαφορά ώρας από το Greenwich αποδίδεται σε μοίρες η ηλιακή γωνία και εισάγεται στον πίνακα με την ονομασία Sol_Alt (α).

Πίνακας 7: Δεδομένα Καταγραφής Ακτινοβολίας-Παραγωγής Φ/Β-Ηλιακή Γωνία

		Year	Month	Day	Hour	Min	Ground	RAD_UPPER	RAD_DOWN	RAD_TILT	ALBEDO	PV_Volt	PV_Ampere	PV_Power	Sol_Alt	Energy Wh	Βαθμός Απόδοσης
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	8:50:00 πμ	2024	6	20	8	50	ΔΩΜΑ	454,38	153,28	347,50	0,337	1,48	55,51	82,1548	41,87422627	6,846233333	7,266310876
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	8:55:00 πμ	2024	6	20	8	55	ΔΩΜΑ	470,58	158,36	376,80	0,337	1,6	55,31	88,496	42,85910472	7,374666667	7,218527039
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:00:00 πμ	2024	6	20	9	0	ΔΩΜΑ	487,66	162,82	393,40	0,334	1,82	53,5	97,37	43,84348367	8,114166667	7,607231891
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:05:00 πμ	2024	6	20	9	5	ΔΩΜΑ	504,72	167,56	411,00	0,332	1,97	53,1	104,607	44,82715577	8,71725	7,822665607
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:10:00 πμ	2024	6	20	9	10	ΔΩΜΑ	520,18	172,14	426,60	0,331	2,04	54,69	111,5676	45,80990162	9,2973	8,038093993
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:15:00 πμ	2024	6	20	9	15	ΔΩΜΑ	538,26	177,38	444,60	0,330	2,19	54,5	119,355	46,79148827	9,94625	8,251007832
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:20:00 πμ	2024	6	20	9	20	ΔΩΜΑ	556,98	183,08	463,40	0,329	2,38	54,01	128,5438	47,77166755	10,71198333	8,525717643
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:25:00 πμ	2024	6	20	9	25	ΔΩΜΑ	575,44	188,58	482,80	0,328	2,56	52,36	134,0416	48,75017414	11,17013333	8,53312647
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:30:00 πμ	2024	6	20	9	30	ΔΩΜΑ	594,78	194,4	502,20	0,327	2,69	52,41	140,9829	49,72672342	11,748575	8,628306658
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:35:00 πμ	2024	6	20	9	35	ΔΩΜΑ	613,18	199,56	521,20	0,325	2,89	51,33	148,3437	50,70100902	12,361975	8,747834148
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:40:00 πμ	2024	6	20	9	40	ΔΩΜΑ	629,18	203,88	537,60	0,324	2,99	52,83	157,9617	51,67270006	13,163475	9,030844817
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:45:00 πμ	2024	6	20	9	45	ΔΩΜΑ	644,56	207,66	553,80	0,322	3,16	52,82	166,9112	52,64143804	13,90926667	9,263356297
Πέμπτη, 20 Ιουνίου 2024	9:50:00 πμ	2024	6	20	9	50	ΔΩΜΑ	659,94	211,54	571,00	0,321	3,31	52,55	173,9405	53,60683321	14,49504167	9,362685741
Εμβαδόν Πλαισίων																	
3,2536																	

Ακόμα στις μετρήσεις υπάρχουν οι στήλες Year, Month, Day, Hour, Min όπου αναφέρονται σε πληροφορίες για την ημέρα καταγραφής και το χρόνο καταγραφής μέσα στη μέρα διαχωρισμένο σε πεντάλεπτα διαστήματα. Η στήλη Ground αναφέρει το είδος της επιφάνειας που μελετάται.

Για τις εναπομείναντες στήλες τα δεδομένα βασίζονται στα προαναφερόμενα και είναι αποτελέσματα εξισώσεων. Η στήλη Energy (E), υπολογίζει την ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό στο διάστημα του πεντάλεπτου, αυτό γίνεται με την κάτωθι εξίσωση:

$$E = \left[\frac{P}{60} \right] * 5 \text{ (Wh)} \quad (6)$$

όπου:

- *P*: Ισχύς φωτοβολταϊκού σε Watt.
- Ποσότητα «60»: αναφέρεται στα 60 δευτερόλεπτα του ενός λεπτού.
- Ποσότητα «5»: αναφέρεται στην τιμή της ενέργειας στα πέντε λεπτά.

Η στήλη που αναφέρεται στο εμβαδόν των πλαισίων A υπολογίζει την επιφάνεια σε τετραγωνικά μέτρα που καλύπτουν τα δύο πλαίσια της εγκατάστασης σύμφωνα με τον τύπο:

$$A = [Y * M] * 2 \text{ (m}^2\text{)} \quad (7)$$

όπου :

- Ύψος (Y), Μήκος (M): Είναι τα γεωμετρικά στοιχεία του πάνελ
- Ποσότητα «2»: Αναφέρεται στην χρήση δύο πάνελ στην φωτοβολταϊκή συστοιχία.

Τέλος, η στήλη για τον Βαθμό Απόδοσης η , εξαρτάται από τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί και υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\eta = \frac{P}{A * G_t} \quad (8)$$

όπου:

- P: Η παραγόμενη ισχύς από το φωτοβολταϊκό.
- G_t : Η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, από το υπό γωνία πυρανόμετρο.
- A: Έκταση φωτοβολταϊκών πλαισίων.

3.2 Συγκριτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Κατά την μελέτη των δεδομένων που έχουν εκλεγεί για την τελική αξιολόγηση, υπάρχουν αποτελέσματα και για τη μελέτη των διαφορετικών επιφανειών αλλά και για την επίδραση του στην ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών. Αρχικά για τον προσδιορισμό της λευκαύγειας, υπολογίζεται η μέση ημερήσια ανακλώμενη ακτινοβολία σε $\frac{W}{m^2}$ και η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία σε $\frac{W}{m^2}$ σύμφωνα με τον τύπο:

$$\bar{G}_s = \frac{\sum_i^n G_s}{N} \quad (9)$$

όπου:

- \bar{G}_s : Μέση Ημερήσια Ανακλώμενη Ακτινοβολία.
- $\sum_i^n G_s$: Άθροισμα των τιμών της Ανακλώμενης Ακτινοβολίας με $i=1, \dots, n$.
- N: Το πλήθος μετρήσεων.

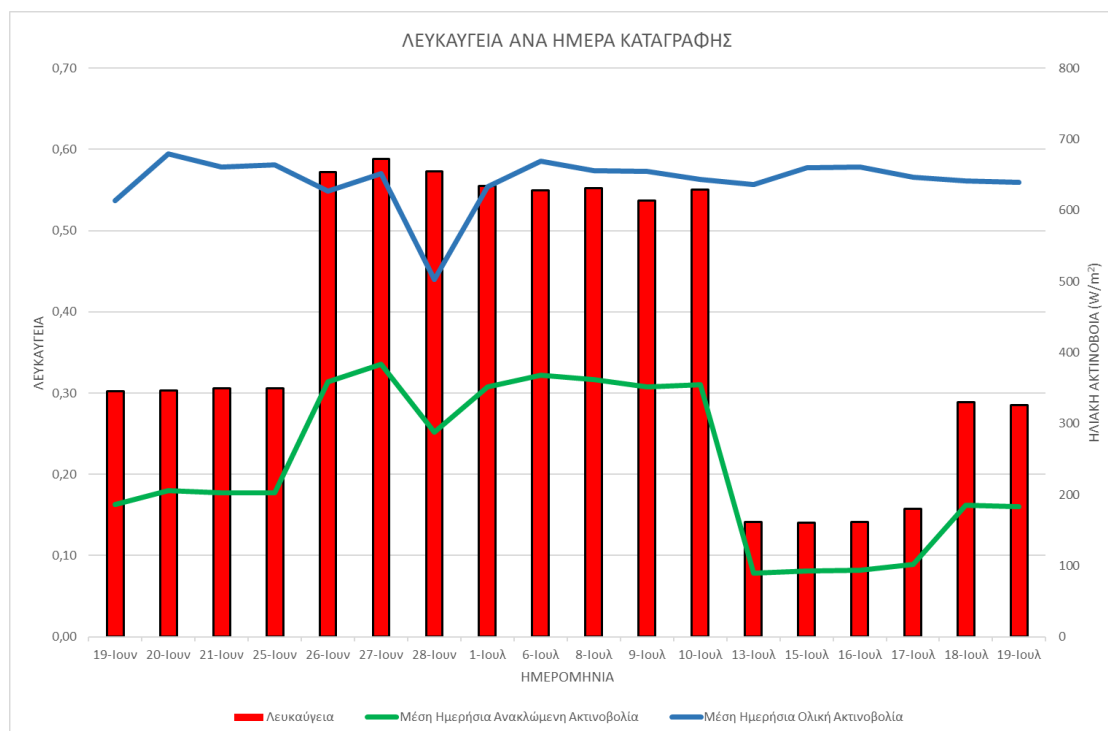
Και σύμφωνα με:

$$\bar{G} = \frac{\sum_i^n G}{N} \quad (10)$$

όπου:

- \bar{G} : Μέση Ημερήσιας Ολική Ακτινοβολία.
- $\sum_i^n G$: Άθροισμα των τιμών της Ολικής Ακτινοβολίας με $i=1, \dots, n$.
- N: Το πλήθος μετρήσεων

Εφόσον αυτές οι τιμές έχουν υπολογιστεί για όλες τις ημέρες που υπάρχει καταγραφή, εφαρμόζεται η Εξίσωση 4 και ως αποτέλεσμα προκύπτει το Σχήμα 9:



Σχήμα 9: Η τιμή της Λευκαύγειας (κόκκινο) μεταξύ των ανακλαστικών υλικών παρουσία της μέσης ημερήσιας ανακλώμενης ακτινοβολίας (πράσινο) και της μέσης ημερήσιας ολικής ακτινοβολίας (μπλε).

Στο σχήμα απεικονίζονται στις κατακόρυφες στήλες η λευκαύγεια κάθε ημέρας μέτρησης ενώ επιπλέον με βάση το δευτερεύον κατακόρυφο άξονα με τη μπλε γραμμή απεικονίζεται η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία και με την πράσινη γραμμή η μέση ημερήσια ανακλώμενη ακτινοβολία. Από τη μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία, που πέρα από τις 28/6/2024 που εμφανίζει μείωση, τις υπόλοιπες μέρες κυμαίνεται στο ίδιο εύρος τιμών και φαίνεται η μέση ημερήσια ανακλώμενη ακτινοβολία να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη λευκαύγεια του εδάφους.

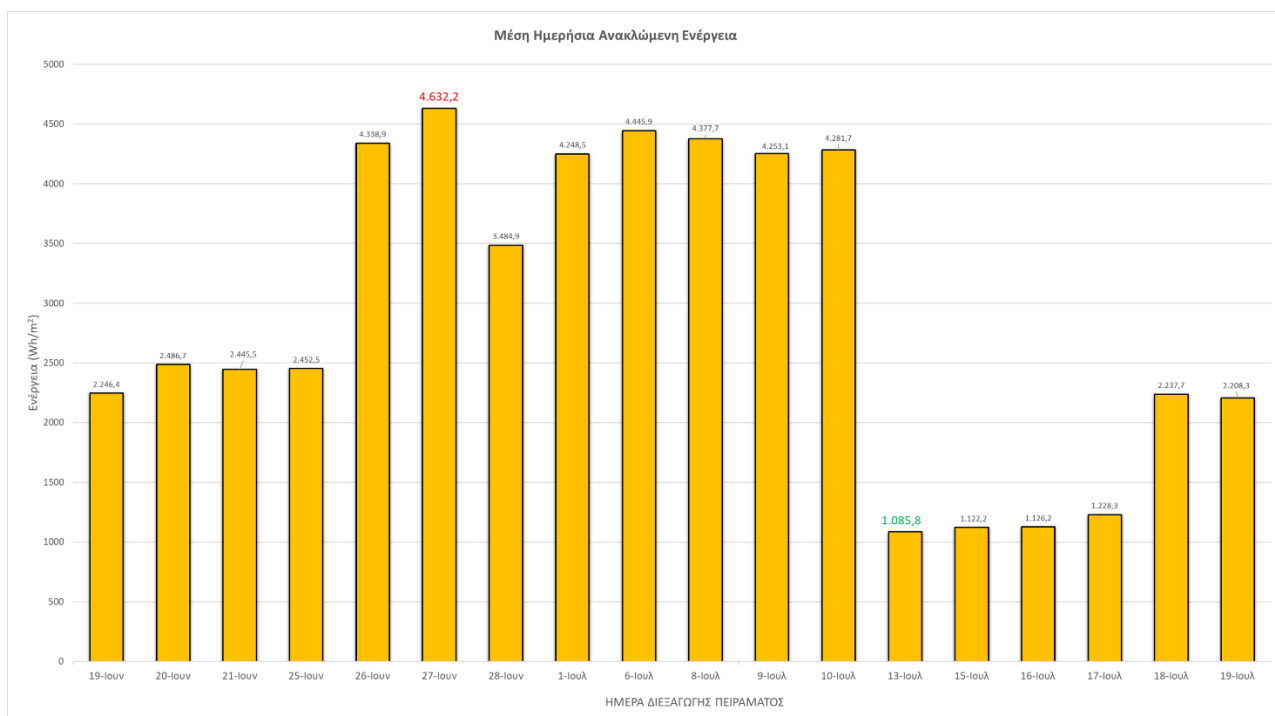
Από τις καταγραφές μπορεί να προσδιοριστεί η τιμή της λευκαύγειας για κάθε επιφάνεια και παρουσιάζεται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Είδος Ανακλαστικού Υλικού- Λευκαύγεια

ΕΙΔΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	ΛΕΥΚΑΥΓΕΙΑ
Δώμα Κτηρίου	0.29-0.31
Λευκός PVC	0.54-0.59
Χλοοτάπητας PP	0.14-0.16

Η ανακλώμενη ενέργεια από το ανακλαστικό υλικό είναι άμεσα συνυφασμένη με την λευκαύγεια. Με τα δεδομένα που υπάρχουν και την χρήση Σχήματος 8, απεικονίζεται

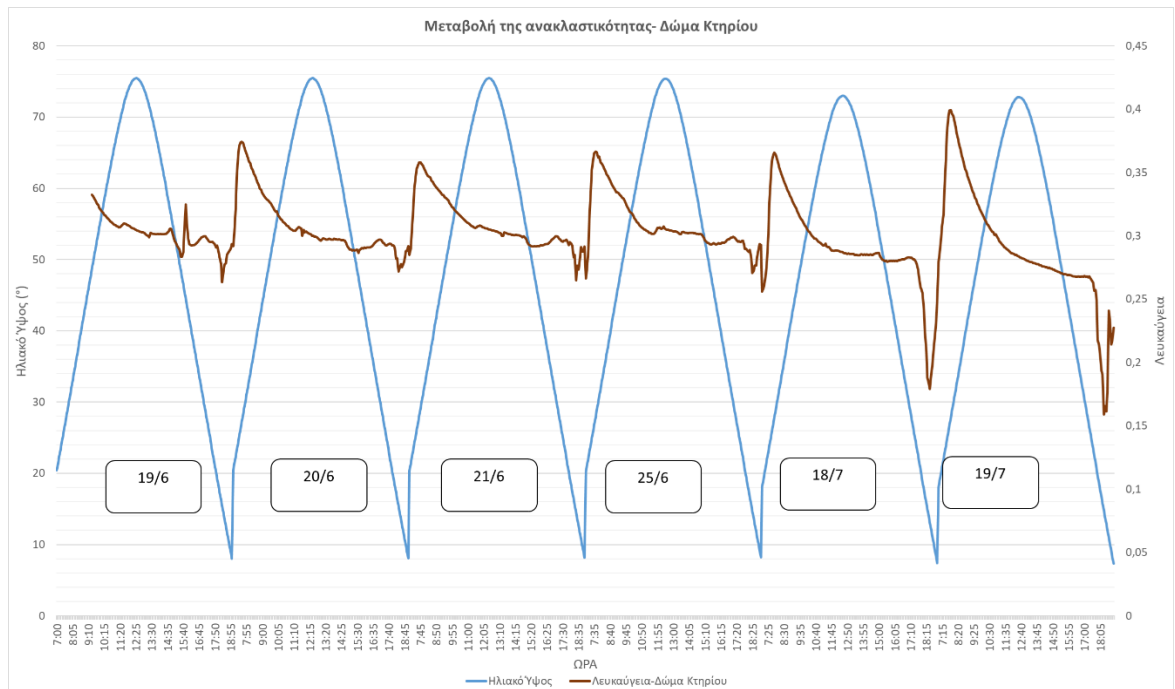
η ενέργεια που ανακλάται από κάθε υλικό για κάθε ημέρα καταγραφής που άλλωστε θα συνεισφέρει στην παραγωγή του φωτοβολταϊκού.



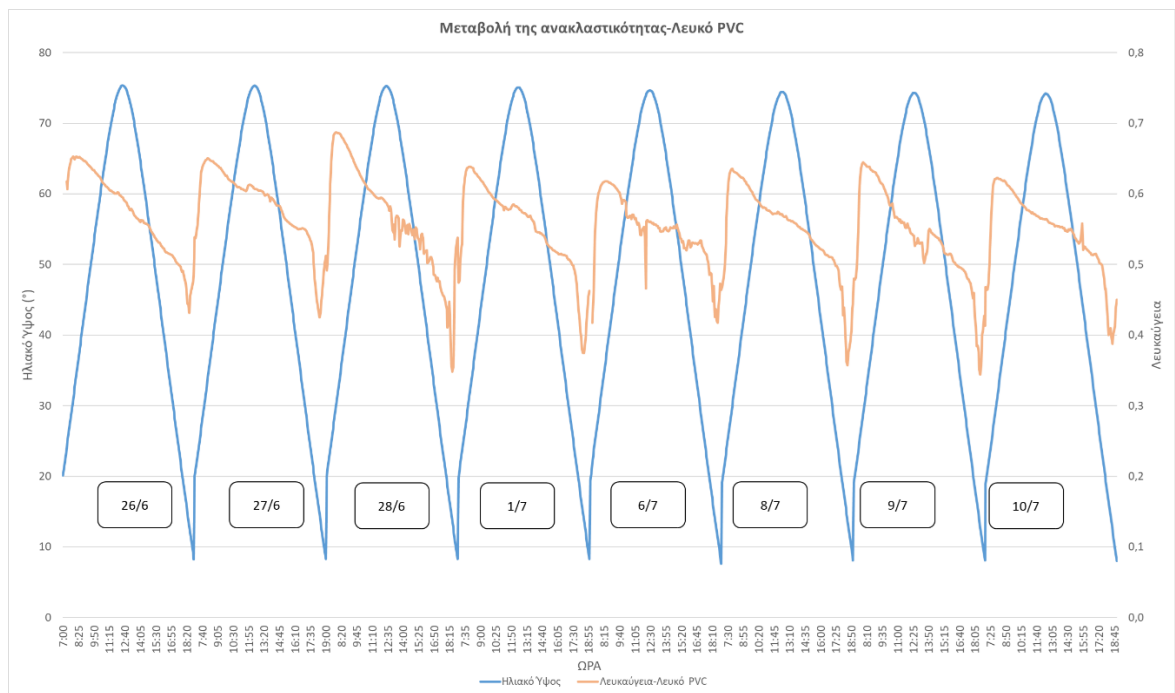
Σχήμα 10: Μέση Ημερήσια Ανακλώμενη Ενέργεια ανά ημέρα.

Με τη χρήση BarChart για όλες τις ημέρες που υπάρχει καταγραφή, εμφανίζεται η μέση ημερήσια ανακλώμενη ενέργεια ανά ημέρα. Στις ημερομηνίες που χρησιμοποιείται το λευκό PVC (26-Ιουν έως 10-Ιουλ) φαίνεται η ανακλώμενη ενέργεια από το έδαφος να διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από τις άλλες επιφάνειες, καθώς υπάρχει μια βέλτιστη τιμή ενέργειας που ξεπερνά τις 4500 Wh/m². Το δώμα κτηρίου έχει τη δεύτερη μεγαλύτερη μέση ημερήσια ανακλώμενη ενέργεια με τιμές που πλησιάζουν τις 2500 Wh/m² ενώ τη χαμηλότερη ενέργεια καταγράφει ο αισθητήρας για τον χλοοτάπητα PP με την μέγιστη τιμή να είναι περίπου 1250 Wh/m².

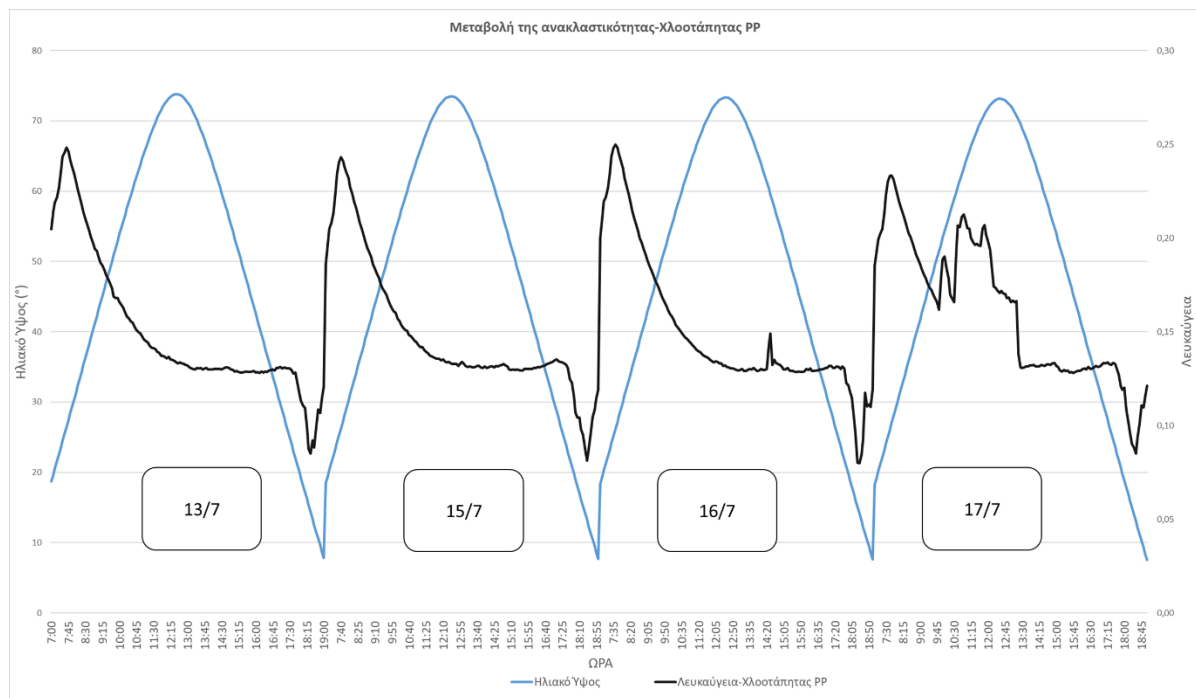
Επιπρόσθετα, καθώς τα δεδομένα καταγράφηκαν σε τακτά χρονικά διαστήματα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ξεκινώντας από τις πρωινές και συνεχίζοντας μέχρι τις απογευματινές ώρες, με την χρήση της ηλιακής γωνίας στο διάστημα αυτό μπορεί να καθοριστεί η ώρα της ημέρας που υπάρχει η μεγαλύτερη ανακλαστικότητα του εκάστοτε ανακλαστικού υλικού. Καθότι χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά ανακλαστικά υλικά σχηματίστηκαν τα αντίστοιχα τρία διαγράμματα για την μεταβολή της ανακλαστικότητας.



Σχήμα 11: Μεταβολή της ανακλαστικότητας στο δώμα κτηρίου μέσα στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 12: Μεταβολή της ανακλαστικότητας στο λευκό PVC μέσα στη διάρκεια της ημέρας.



Σχήμα 13: Μεταβολή της ανακλαστικότητας στο χλοοτάπητα PVC μέσα στη διάρκεια της ημέρας.

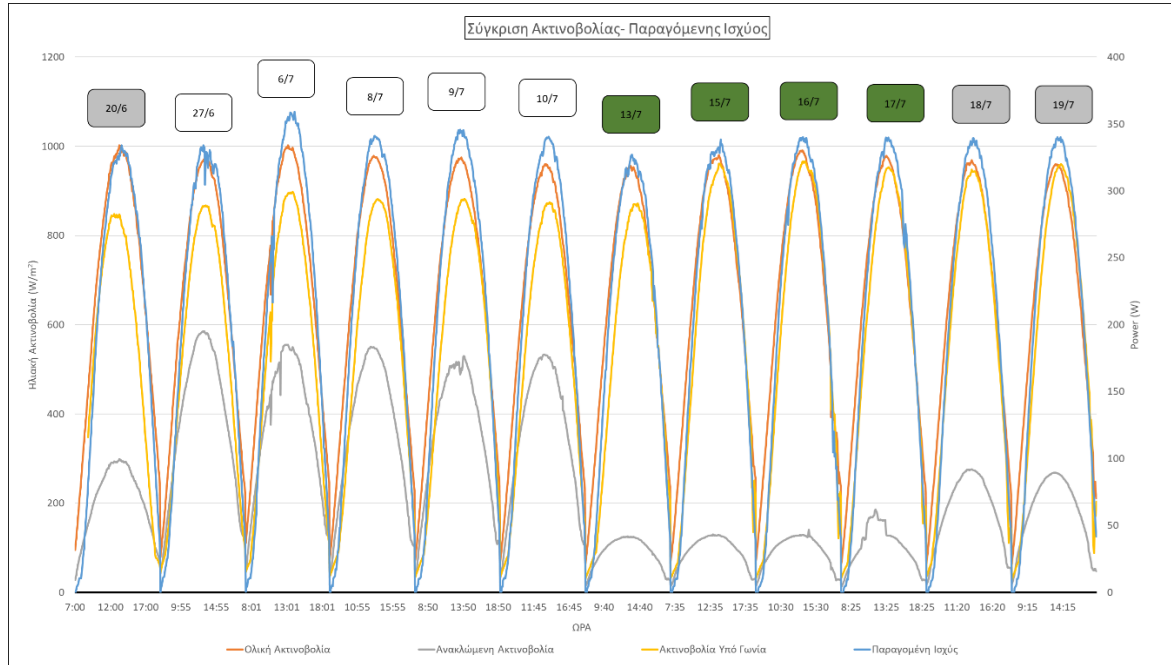
Από τα τρία σχήματα (Σχήμα 11, Σχήμα 12, Σχήμα 13) εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με το πείραμα. Σύμφωνα με την μπλε γραμμή που απεικονίζει την ηλιακή γωνία, εμφανίζεται στα σημεία που έχουμε τη μικρότερη τιμή της, να καταγράφονται και οι μεγαλύτερες τιμές ανακλαστικότητας που απεικονίζονται από την γραμμή με το διαφορετικό χρώμα και στα τρία διαγράμματα. Η αυξημένη ανακλαστικότητα που παρατηρείται τις πρωινές ώρες μπορεί να αποδοθεί σε μεγάλο βαθμό στην διάταξη του αλμπινομέτρου αφού τις ώρες αυτές υπήρχε πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας και στο άνω και στο κάτω πυρανόμετρο με αποτέλεσμα να διαμορφωθεί η υψηλή τιμή. Για τις χαμηλές τιμές τις απογευματινές ώρες το αποτέλεσμα αποδίδεται στην θέση του αλμπινομέτρου καθότι για εκείνο το διάστημα μεταξύ ήλιου και οργάνου παρεμβάλλεται το κτίριο Δ' και δέντρο που βρίσκεται μπροστά στο χώρο του εργαστηρίου. Τέλος, στο Σχήμα 13 και συγκεκριμένα την ημέρα 17/7 υπάρχει αύξηση της λευκαύγειας κατά τις μεσημεριανές ώρες γεγονός που οφείλεται στην αποκάλυψη του λευκού PVC με την μετακίνηση του χλοοτάπητα PP από ριπές ανέμου.

Στη συνέχεια, αυτό που παρατηρείται είναι η μεταβολή της παραγωγής του φωτοβολταϊκού, ανάλογα με την επιφάνεια που μελετάται ανά ημέρα.

3.3 Επίδραση της ανακλαστικής επιφάνειας στην παραγωγή.

Με την συλλογή όλων αυτών των δεδομένων προκύπτει η ανάγκη να αναλυθούν ώστε να εξαχθούν τα συμπεράσματα. Αρχικά, με την χρήση των δεδομένων για την ακτινοβολία σχεδιάζεται το Σχήμα 14 όπου παρουσιάζονται τα δεδομένα για την Ολική

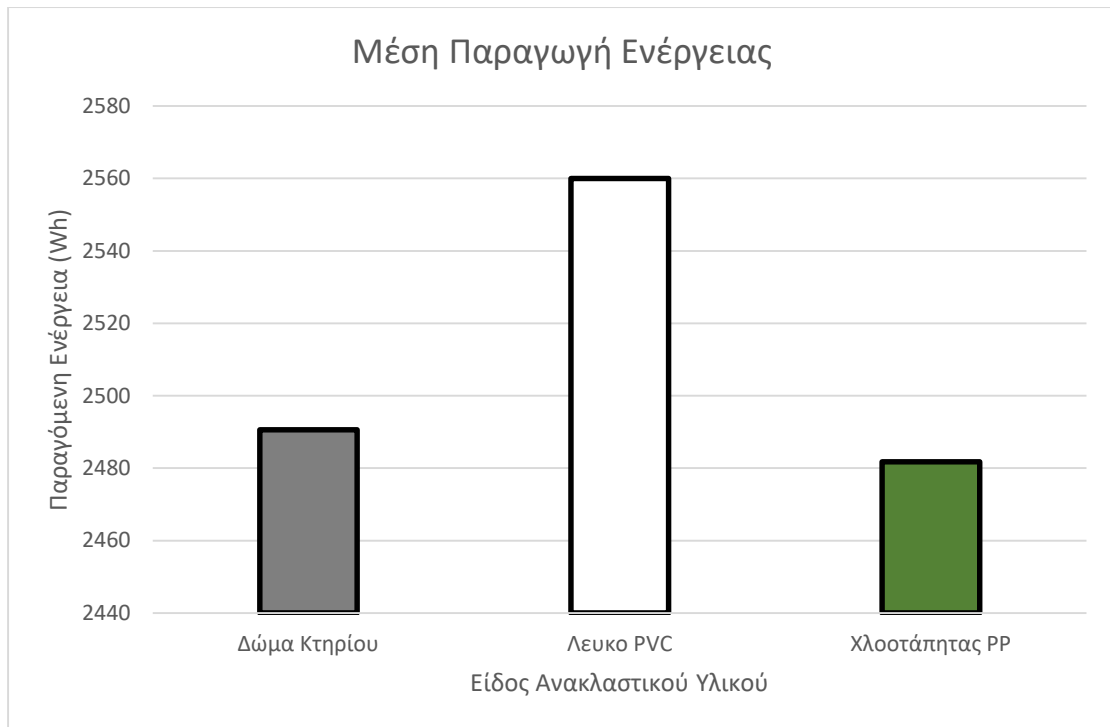
Ακτινοβολία που προσπίπτει στην υπό μελέτη επιφάνεια με πορτοκαλί χρώμα, την Ανακλώμενη Ακτινοβολία με γκρι χρώμα, την Ακτινοβολία που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό με κίτρινο χρώμα και την παραγωγή ισχύος από το φωτοβολταϊκό με μπλε χρώμα όπου ακολουθεί το δευτερεύον κατακόρυφο άξονα.



Σχήμα 14: Σύγκριση Ακτινοβολίας- Παραγόμενης Ισχύος

Αναφορικά με το σχήμα παρατηρούνται αποκλίσεις από τη φυσιολογική ροή ιδίως της ανακλώμενης ακτινοβολίας, δηλαδή η γκρι γραμμή. Αυτό οφείλεται στην παρουσία ανέμου κατά την πειραματική διαδικασία, γεγονός που επηρέασε την επιφάνεια κάλυψης του δώματος του Κτηρίου Γ, για αυτό άλλωστε οι αποκλίσεις φαίνονται μόνο κατά τις ημέρες που έχουμε κάλυψη επιφάνειας και όχι στη μελέτη του δώματος. Στις 6/7/2024 και 9/7/2024 φαίνεται να μετακινείται το λευκό PVC από την ακτίνα σάρωσης του αλμπιντόμετρου και να εμφανίζεται το δώμα με αποτέλεσμα να πέσει στιγμιαία η ανακλώμενη ακτινοβολία. Αντίθετα στις 17/7/2024 με δυνατή ριπή ανέμου, μετακινήθηκε ο χλοοτάπητας PP και αποκαλύφθηκε το λευκό PVC με αποτέλεσμα να ανέβει η ανακλώμενη ακτινοβολία. Ενδιαφέρουσα παρατήρηση για την λειτουργία του οργάνου είναι η διαφορές που απεικονίζονται στις γκρι γραμμές με την εναλλαγή του υλικού κάτι που επιβεβαιώνει την σωστή καταγραφή του κάτω πυρανομέτρου.

Στο επόμενο σχήμα, φαίνεται η διαφορά στην παραγωγή του φωτοβολταϊκού ανάλογα με το είδος του ανακλαστικού υλικού που έχει τοποθετηθεί γύρω από τα πλαίσια, κάτι που επιβεβαιώνει την επιλογή ανάμεσα στα είδη που έχουν επιλεχθεί.



Σχήμα 15: Σύγκριση Παραγωγής Ενέργειας Φωτοβολταϊκού ανάλογα με το ανακλαστικό υλικό.

Όπως ήταν αναμενόμενο η παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού για την περίπτωση που χρησιμοποιείται το λευκό PVC, είναι πολύ μεγαλύτερη συγκριτικά με το δώμα του Κτηρίου Γ' και του χλοοτάπητα PP. Αυτό άλλωστε φαίνεται συγκρίνοντας τις παραγωγές ενέργειας βασιζόμενοι:

$$\frac{E_1 - E_2}{E_2} * 100\% \quad (11)$$

Έτσι προκύπτει και ο Πίνακας 9 όπου παρουσιάζεται η ποσοστιαία διαφορά της ανακλώμενης ενέργειας μεταξύ των ανακλαστικών υλικών που μελετώνται.

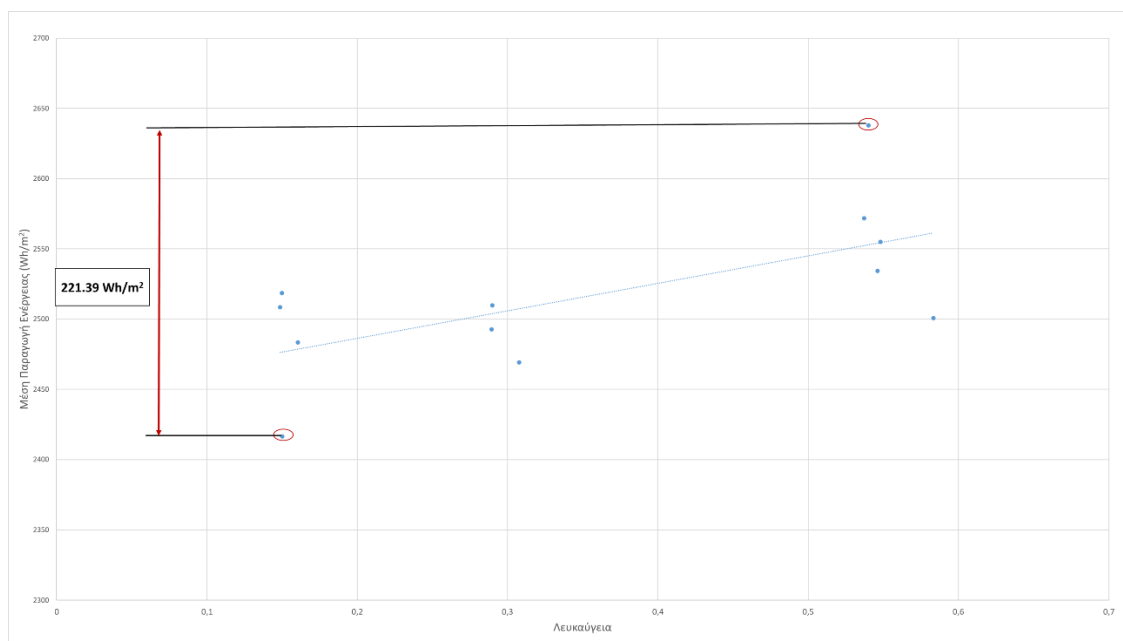
Πίνακας 9: Ποσοστιαία Διαφορά Μεταξύ Δύο Υλικών

Σύγκριση Ανακλαστικών Υλικών	Ποσοστιαία Διαφορά
Λευκός PVC-Δώμα Κτηρίου	+2.79%
Χλοοτάπητας PP-Δώμα Κτηρίου	-0.35%
Χλοοτάπητας PP-Λευκός PVC	-3.05%

Από τον τύπο αυτό που υπολογίζεται είναι πόσο διαφέρει η παραγωγή ενέργειας μεταξύ δύο επιφανειών. Δηλαδή, στη σύγκριση του λευκού PVC με το δώμα του Κτηρίου Γ' φαίνεται ότι η παραγωγή που έχει το φωτοβολταϊκό είναι κατά 2.79% είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση του λευκού PVC. Ομοίως στη σύγκριση του χλοοτάπητα PP με το Δώμα του Κτηρίου Γ' από το ποσοστό που υπολογίζεται είναι κάτι που αποδίδει πως η παραγωγή ενέργειας στην περίπτωση του χλοοτάπητα PP είναι μικρότερη κατά 0.35% από ότι στο δώμα του Κτηρίου Γ'. Τέλος η μεγαλύτερη διαφορά

είναι στην σύγκριση του χλοοτάπητα PP με το λευκό PVC, όπου από το αποτέλεσμα η παραγωγή ενέργειας κατά τη χρήση του χλοοτάπητα PP είναι μικρότερο κατά 3.05% από ότι είναι στην περίπτωση του λευκού PVC.

Για να μελετηθεί η επίδρασης της λευκαύγειας στην παραγωγής ενέργειας του φωτοβολταϊκού, ταξινομήθηκαν οι μέρες βάσει της ημερομηνίας και για κάθε ημέρα υπολογίστηκε η μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας από το φωτοβολταϊκό (Wh) και η μέση λευκαύγεια που υπήρχε ανά ημέρα ανάλογα τον τύπο της ανακλαστικής επιφάνειας, έπειτα τα δεδομένα αναλύθηκαν μέσω ενός διαγράμματος Scatterplot όπως αυτό παρατίθεται στο Σχήμα 16.



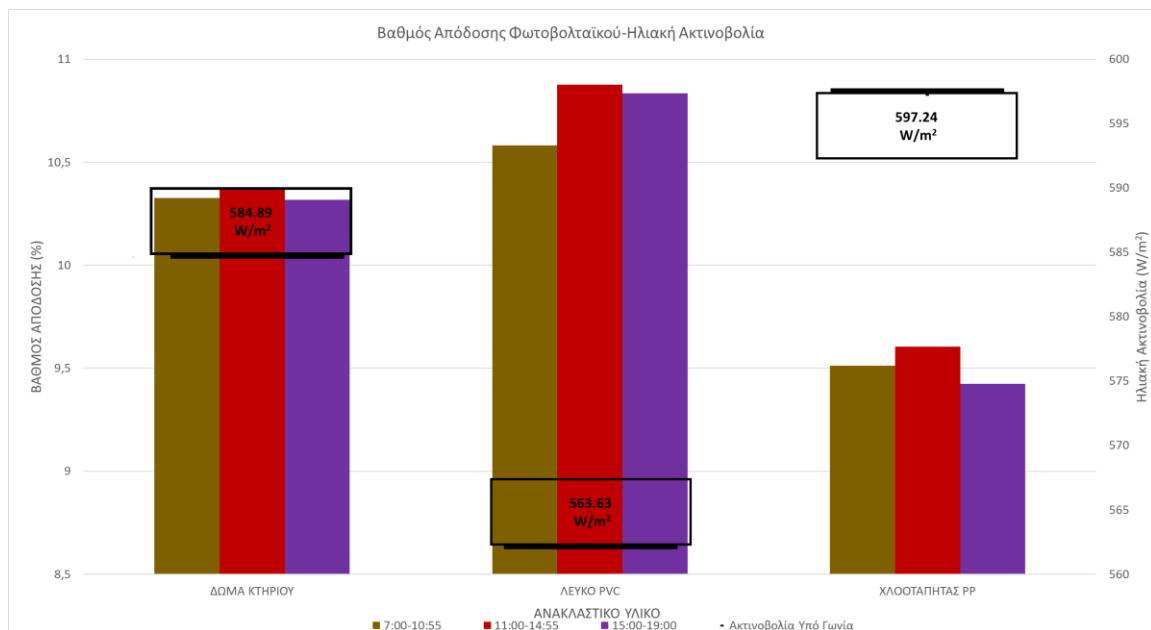
Σχήμα 16: Απεικόνιση σε Scatterplot διάγραμμα της μέσης παραγωγής ενέργειας και της λευκαύγειας.

Η διαφορά ενέργειας μεταξύ του ανώτερου σημείου «Σ₁» και του κατώτερου σημείου «Σ₂», που στο σχήμα τονίζονται με κόκκινο κύκλο, αποδίδει το μέγιστο κέρδος που υπήρχε με την αλλαγή της επιφάνειας ανάκλασης στην ενεργειακή παραγωγή, δηλαδή:

$$\Sigma_1 - \Sigma_2 = 2637.96 - 2416.57 = 221.39Wh$$

Τέλος από τη γραμμή παλινδρόμησης παρατηρείται θετική συσχέτιση μεταξύ της λευκαύγειας και της μέσης παραγωγής ενέργειας, επομένως επηρεάζει την ενεργειακή παραγωγή του φωτοβολταϊκού το ανακλαστικό υλικό που έχει τοποθετηθεί.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ σημαντικός παράγοντας στην απόδοση τους είναι και το ανακλαστικό υλικό που βρίσκεται αμφιθεατρικά της εγκατάστασης.



Σχήμα 17: Μεταβολή της απόδοσης του φωτοβολταϊκού μέσα στο διάστημα μελέτης χωρισμένο σε πρωί, μεσημέρι και απόγευμα παρουσία της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού ανά υλικό.

Σύμφωνα με τα δεδομένα στις ομαδοποιημένες στήλες, η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος ήταν μεγαλύτερη όταν χρησιμοποιήθηκε το λευκό PVC ως ανακλαστική επιφάνεια, ακολουθούμενη από το δώμα του κτηρίου, ενώ η χαμηλότερη απόδοση παρατηρήθηκε με τον συνθετικό χλοοτάπητα PP. Αυτό που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η διαφορά στην ποσότητα της ακτινοβολίας που προσέπιπτε στο σύστημα για κάθε περίπτωση. Παρά το γεγονός ότι το λευκό PVC είχε τη μικρότερη συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία, παρείχε την υψηλότερη απόδοση λόγω της εξαιρετικής του ανακλαστικότητας. Αντίθετα, ο χλοοτάπητας PP, παρότι δέχτηκε την περισσότερη ακτινοβολία είχε τη χαμηλότερη απόδοση κάτι που οφείλεται στην τραχύτητα της επιφάνειας του η οποία διασκορπίζει την ακτινοβολία. Αυτά τα ευρήματα υπογραμμίζουν τη σημαντική επίδραση της ανακλαστικής επιφάνειας στην απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος και αναδεικνύουν τη σημασία της επιλογής κατάλληλων υλικών για βέλτιστη ενεργειακή απόδοση.

Επιπλέον, από την προσέγγιση των ξεχωριστών στηλών σχετικά με τα διαφορετικά χρονικά διαστήματα της ημέρας, βρίσκεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις της ημέρας η επίδοση του συστήματος είναι μέγιστη στο μεσημέρι, επακολουθούμενη από τις πρωινές ώρες και τελειώνοντας με τις απογευματινές. Ωστόσο, για την περίπτωση του λευκού PVC, παρατηρείται μια ενδιαφέρουσα απόκλιση καθώς η απόδοση υπερέχει τις απογευματινές ώρες από τις πρωινές. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται στην ικανότητα ανάκλασης του λευκού PVC, η οποία φαίνεται να ενισχύει την ανάκλαση της ακτινοβολίας ακόμα και στην περίοδο του απογεύματος που υπάρχει χαμηλή πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας στο υλικό. Από αυτή τη μελέτη ενισχύεται η

απόδοση του λευκού PVC έναντι των άλλων αφού φαίνεται να διατηρεί σε όλο το διάστημα καταγραφής υψηλή ανακλαστικότητα.

Δεδομένου ότι η μόνιμη επιφάνεια στην εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού είναι το δώμα του κτηρίου με την γκρι απόχρωση, μπορεί να υπολογιστεί η διαφορά στην απόδοση του με την εναλλαγή του υλικού.

Πίνακας 10: Βαθμός Απόδοσης φωτοβολταϊκού συστήματος για κάθε υλικό.

ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	<u>ΔΩΜΑ ΚΤΗΡΙΟΥ</u>	<u>ΛΕΥΚΟ PVC</u>	<u>ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑΣ PP</u>
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	10.33712	10.76502	9.513123

Όμοια με τη Σχέση 11 προκύπτει:

- Η διαφορά στον βαθμό απόδοσης μεταξύ Δώματος Κτηρίου-Λευκό PVC είναι 4.14% επομένως υπάρχει κέρδος στην αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας.
- Η διαφορά στον βαθμό απόδοσης μεταξύ Δώματος Κτηρίου-Χλοστάπητας PP είναι -7,97% επομένως υπάρχει απώλεια στην αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας.

3.4 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ενεργειακή παραγωγή

Σημαντική παράμετρος στην ενεργειακή απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Θα εξεταστεί η θεωρητική παραγωγή ισχύος του συστήματος εφαρμόζοντας δύο θεωρητικές προσεγγίσεις. Κατά την πρώτη προσέγγιση θα ληφθούν υπόψη η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Αρχικά θα υπολογιστεί η θερμοκρασία των κυψελών του φωτοβολταϊκού με τον τύπο:

$$T_c = T_{ambient} + \frac{G_t}{G_{NOCT}} \times (NOCT - 20) \quad (12)$$

όπου:

- T_c : Θερμοκρασία Κυψέλης σε °C, θεωρώντας ότι όλες έχουν την ίδια θερμοκρασία.
- $T_{ambient}$: Θερμοκρασία Περιβάλλοντος σε °C
- $NOCT$: Nominal Operating Cell Temperature, Ονομαστική Θερμοκρασία Λειτουργίας Κυψέλης (47.9 °C).
- G_t : Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση του φωτοβολταϊκού σε $\frac{W}{m^2}$.
- G_{NOCT} : Ηλιακή ακτινοβολία στις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας των κυψελών. ($800 \frac{W}{m^2}$)
- 20 °C

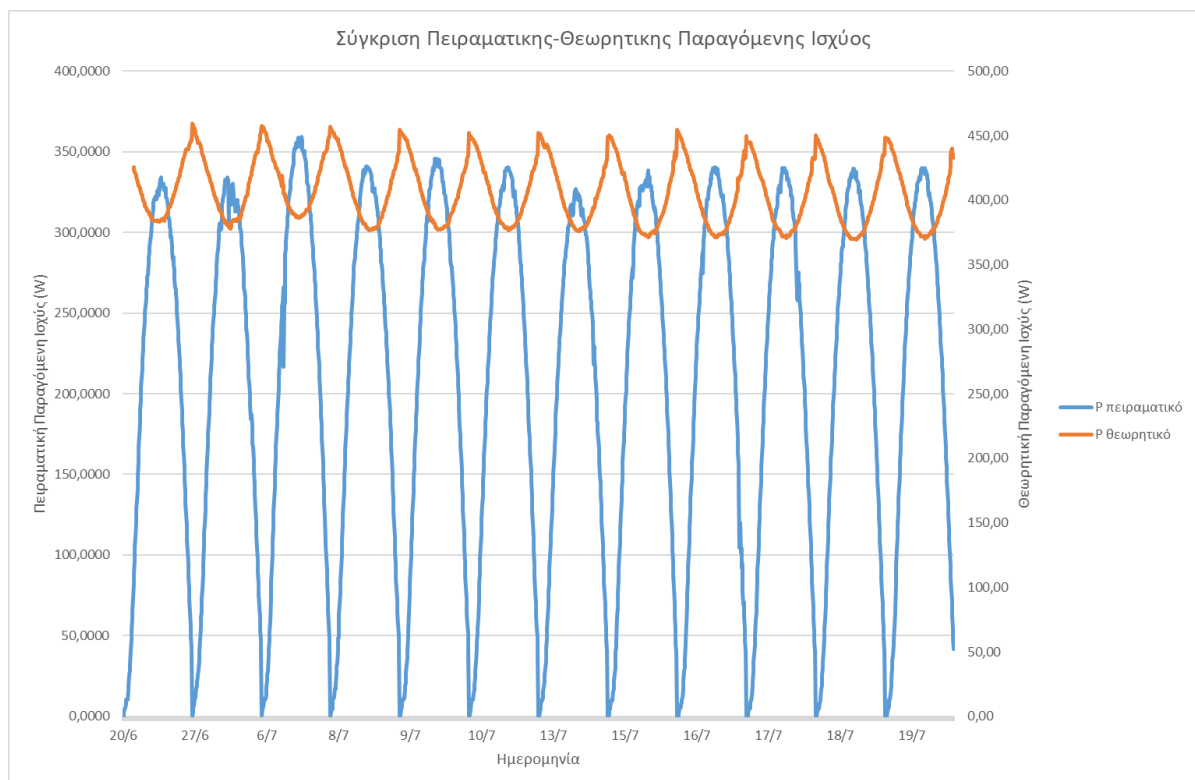
Βάσει της υπολογισμένης θερμοκρασίας λειτουργίας των κυψελών θα υπολογιστεί η θεωρητική παραγόμενη ισχύς που θα είχε το σύστημα σύμφωνα με τον τύπο:

$$P_{\theta_1} = P_{STC} \times [1 + \gamma_{P_{MPP}} (T_c - 25)] \quad (13)$$

όπου:

- P_{θ_1} : Υπολογιζόμενη θεωρητική ισχύς σε W.
- P_{STC} : Μέγιστη ονομαστική ισχύς πλαισίων (470 W)
- $\gamma_{P_{MPP}}$: θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος $\frac{\%}{^\circ C}$
- $25^\circ C$

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την συγκεκριμένη προσέγγιση απεικονίζονται στο Σχήμα 18:



Σχήμα 18: Σύγκριση Θεωρητικής και Πειραματικής Παραγόμενης ισχύος ανά ημέρα καταγραφής.

Από αυτή την προσέγγιση προκύπτει η ισχύς που θα παρήγαγε το σύστημα θεωρητικά εάν ληφθεί υπόψιν μόνο η θερμοκρασία των κυψελών, κάτι που όπως φαίνεται είναι λανθασμένο με τα όσα μέχρι στιγμής έχουν μελετηθεί καθώς η ελάχιστη θεωρητική παραγόμενη ισχύς συμπίπτει με τις χρονικές στιγμές που υπάρχει η μέγιστη πειραματική παραγόμενη ισχύς. Συνεπώς αυτό το μοντέλο που εξετάζει μόνο τη θερμοκρασία των κυψελών είναι άτοπο.

Στη δεύτερη θεωρητική προσέγγιση θα διερευνηθούν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ισχύος του συστήματος.

Για την παρούσα προσέγγιση θα χρησιμοποιηθεί ο τύπος:

$$I_{\theta} = \frac{G}{G_{STC}} \times I_{sc_{STC}} \times [1 + a_{I_{sc}}(\theta_{περ} - 25)] \quad (14)$$

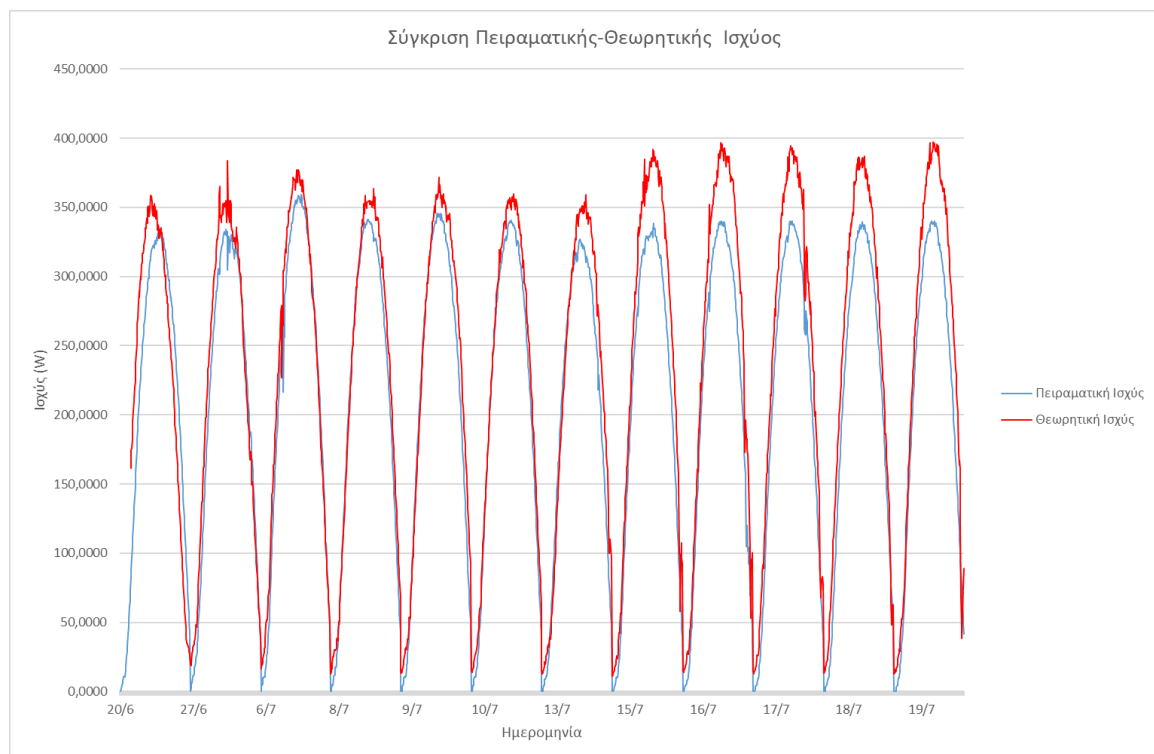
όπου:

- I_{θ} : Υπολογιζόμενο ρεύμα σε A.
- G_{STC} : Ηλιακή ακτινοβολία σε συνθήκες Standard Test Conditions ($1000W/m^2$).
- $I_{sc_{STC}}$: Ρεύμα βραχυκυκλώσεως σε συνθήκες STC (8.35A).
- $a_{I_{sc}}$: Θερμοκρασιακός συντελεστής ρεύματος βραχυκυκλώσεως $\frac{\%}{K}$.

Εφόσον έχει γίνει ο υπολογισμός της θεωρητικής τιμής του ρεύματος, έπειτα γίνεται ο υπολογισμός της θεωρητικής ισχύος:

$$P_{\theta_{θεωρητικο}} = V \times I_{\theta} \quad (15)$$

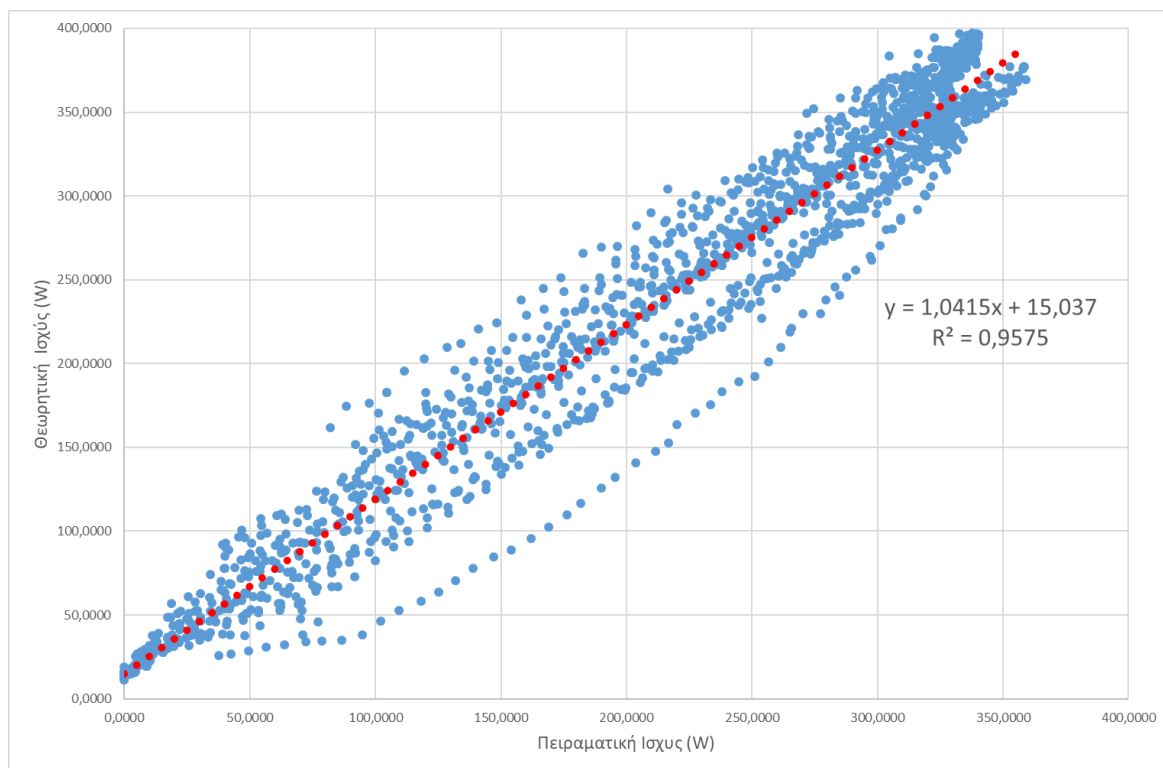
Και μπορεί να συγκριθεί με την πειραματική παραγόμενη ισχύ που είχε το σύστημα όπως φαίνεται στο Σχήμα 19:



Σχήμα 19: Σύγκριση πειραματικής και θεωρητικής παραγόμενης ισχύος ανά ημέρα καταγραφής.

Όπως αναπαρίστανται στο σχήμα οι γραμμές για την παραγωγή ισχύος, με κόκκινο η θεωρητική ισχύς και με μπλε η πειραματική ισχύς, παρατηρείται ότι υπάρχει απόκλιση στις τιμές. Γεγονός που αποδεικνύει πως το εξιδανικευμένο μοντέλο που

χρησιμοποιείται παρότι πλησιάζει αρκετά την πραγματικότητα έχει απόκλιση, αφού δεν έχουν συμπεριληφθεί και οι απώλειες που έχει ένα φωτοβολταϊκό στο πεδίο όπως έχει προαναφερθεί και στην εισαγωγή της εργασίας.



Σχήμα 20: Παρουσίαση της Πειραματικής Παραγόμενης Ισχύος και της Θεωρητικής Παραγόμενης Ισχύος.

Στην απεικόνιση των δεδομένων στο διάγραμμα scatterplot προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα μεταξύ των τιμών. Αυτό που παρατηρείται πρώτα είναι η γραμμή παλινδρόμησης που αποδίδει τη θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των τιμών. Έπειτα από τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 που πλησιάζει το 1, διαπιστώνεται η γραμμή παλινδρόμησης εξηγεί καλά τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται δηλαδή κατά πόσο καλά οι πειραματικές τιμές συμφωνούν με τις θεωρητικές. Τέλος, από την εξίσωση $y=ax+\beta$, για την περίπτωση που η πειραματική ισχύς ισούται με 0 η θεωρητική έχει την τιμή 15.037W και για την κλίση που είναι κοντά στο 1 αλλά το υπερβαίνει ελαφρώς φαίνεται να έχει υπερεκτιμηθεί συγκριτικά με την πειραματική.

Κεφάλαιο 4^ο- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Ανάλυση Κύριων Ευρημάτων

Μετά το πέρας της πειραματικής διερεύνησης, εξήχθησαν χρήσιμα ευρήματα. Ξεκινώντας με τη ζώνη επίδρασης ανακλαστικότητας όπου και ήταν μία βασική παράμετρος μελέτης, καθώς δεν έχει μελετηθεί εκτενώς για τα Φωτοβολταϊκά Μονής Όψης, από τις τιμές που αντλήθηκαν είναι εμφανές ότι τα μεγαλύτερα ποσά ανακλώμενης ακτινοβολίας προέρχονται τις ώρες στις οποίες ο ήλιος έχει μεγάλη ζενιθιακή γωνία, ένα φαινόμενο το οποίο παρατηρείται τις πρωινές αλλά και απογευματινές ώρες όπως προαναφέρθηκε και στην εισαγωγή από παρόμοιες μελέτες, που όμως επιβεβαιώνεται από τα ευρήματα της παρούσας μελέτης. Συνεπώς, έχοντας υπόψη ότι η φωτοβολταϊκή συστοιχία έχει αζιμουθιακή γωνία 180° , η ανακλαστικότητα στις δύο πλαϊνές πλευρές του φωτοβολταϊκού είναι μεγαλύτερη από εκείνη στην μπροστινή μεριά του.

Για τα τρία διαφορετικά ανακλαστικά υλικά που διερευνήθηκαν, παρατηρήθηκε αρχικά ότι η ανακλώμενη ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη κατά τη χρήση του λευκού PVC, ακολούθως για το δώμα του κτηρίου και τέλος για τον χλοοτάπητα PP, το οποίο είναι ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα βάσει του μήκους κύματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για το κάθε χρώμα, ωστόσο παρατηρώντας τις τιμές υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τριών χρωμάτων γεγονός που αποδίδεται και στην διαφορά τραχύτητας των υλικών με το λευκό PVC να είναι το πιο λείο και ο χλοοτάπητας PP το υλικό με την μεγαλύτερη τραχύτητα.

Τέλος, η ενεργειακή παραγωγή του φωτοβολταϊκού μέσω της μελέτης φαίνεται να επηρεάζεται από το ανακλαστικό υλικό περιμετρικά του φωτοβολταϊκού όπως υπολογίστηκε στον Πίνακα 9.

4.2 Απρόοπτα και Προκλήσεις κατά τη Διεξαγωγή του Πειράματος

Από την ημέρα εκκίνησης του πειράματος και μέχρι το πέρας του, υπήρξαν κάποιες δυσκολίες ως προς τη διεξαγωγή του αλλά και κατά τη διάρκεια συνέβησαν ορισμένα απρόοπτα. Αρχικά, δεδομένου ότι ήταν η πρώτη διπλωματική εργασία και έρευνα για το όργανο μέτρησης, είχε αυξημένη δυσκολία καθώς έπρεπε να ελεγχθεί για την ικανή λειτουργία του και να μελετηθεί σε βάθος για το πως αυτό χρησιμοποιείται, με αποτέλεσμα να καθυστερήσει η εκκίνηση. Επιπρόσθετα, ο κώδικας που χρησιμοποιούσε το CR310 είχε δημιουργηθεί από το προσωπικό της εταιρίας που αγοράστηκε, έπρεπε να μελετηθεί για τυχόν αστοχίες στις παραμέτρους και τους τύπους που χρειαζόταν η εργασία.

Κατά την δόμηση του χώρου για τη διεξαγωγή του πειράματος, υπήρξαν δυσκολίες στην εγκατάσταση των διαφορετικών επιφανειών. Για την τοποθέτηση του λευκού μουσαμά, επειδή ήταν σε μορφή τεμαχίων 2×0.5 μέτρα, χρειάστηκαν αρκετές ώρες για τη συναρμολόγηση ενός ενιαίου πατώματος, ωστόσο με την παρουσία του ανέμου στην ταράτσα του κτηρίου σε όλη τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων, όσο

λεπτομερής και αν ήταν η κατασκευή κάθε ημέρα υπήρχε διάβρωση στις ενώσεις, ενώ εξαιτίας της συμπαγούς μορφής του χρειαζόταν να δεθεί και το αλμπιντόμετρο καθώς με τις ριπές ανέμου υπήρχε μετακίνηση του από την επιφάνεια. Αποκορύφωμα στην επίδραση του περιβάλλοντος στο λευκό PVC ήταν η ημέρα όπου υπήρξε έντονη βροχόπτωση στην περιοχή, με αποτέλεσμα να πλημμυρίσει ο χώρος του πειράματος και για την επανεκκίνηση του πειράματος, αποσυναρμολογήθηκε όλη η επιφάνεια ώστε να στεγνώσουν και τα κομμάτια το κάθε ένα ξεχωριστά, το έδαφος κάτω από το λευκό PVC, ενώ μετά την τελική συναρμολόγηση ήταν αναγκαίο να σφουγγαριστεί το PVC, διότι υπήρξε παρουσία χρώματος που αλλοίωνε την ανακλαστικότητα του υλικού.



Εικόνα 22 Εγκατάσταση λευκού PVC μετά τη βροχόπτωση.

Πέρα από τα προβλήματα που υπήρξαν με την παραμόρφωση της ομοιογένειας του μουσαμά, προβλήματα υπήρξαν και με τον χλοοτάπητα PP, όπου επειδή ήταν ενιαία ρολά με την παρουσία αέρα μετακινούνταν ολόκληρα, με αποτέλεσμα να χρειάζονται πολλά βαρίδια στις άκρες ώστε να μείνει αναλλοίωτο. Αξιοσημείωτο γεγονός αποτελεί η μετακίνηση του ρολού αυτού από τον αέρα παρά την τοποθέτηση τουλάχιστον 10 κιλών στην άκρη με ορισμένες δυνατές ριπές ανέμου.

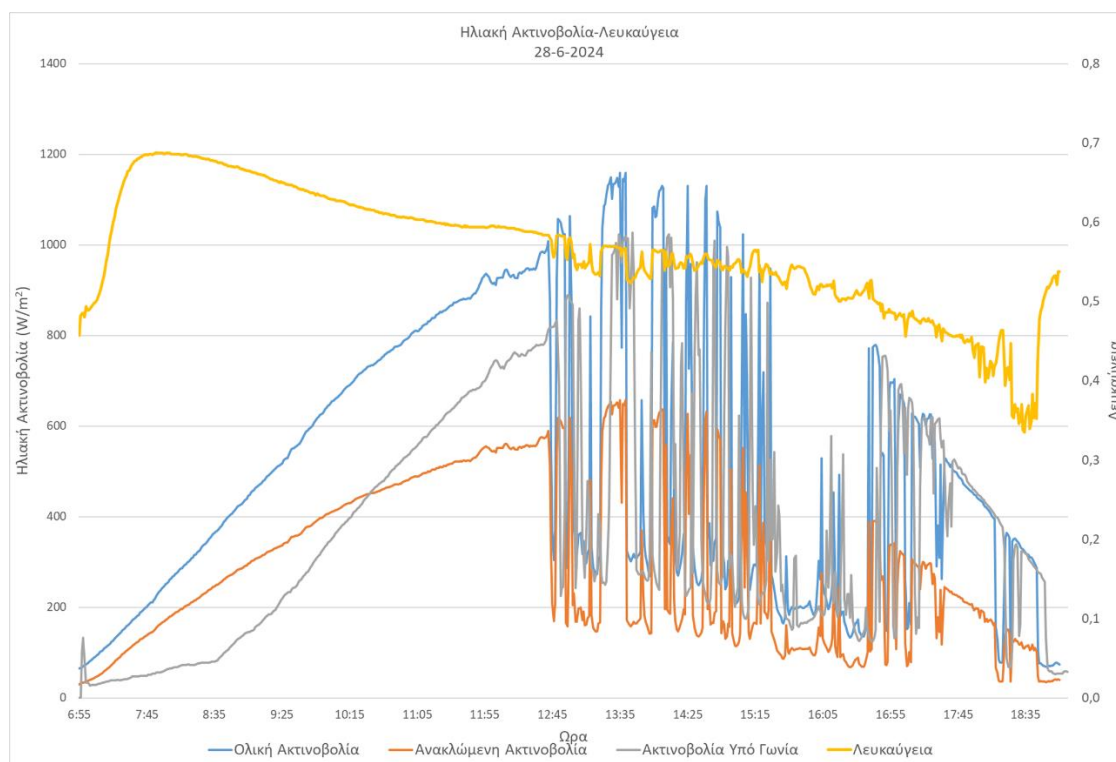


Εικόνα 23 (Α) Η κανονική διάταξη του χλοοτάπητα PP. (Β) Η διάταξη με την μετακίνηση του ρολού από ριπή ανέμου.

Οπότε είναι εμφανές ότι τόσο στην περίπτωση των αλλοιώσεων στο λευκό PVC όσο και στο χλοοτάπητα PP, τις ημέρες που κάτι συνέβαινε και παραμορφωνόταν η

επιφάνεια στην ακτίνα σάρωσης του αισθητήρα μέτρησης ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας, η διαφορά στις μετρήσεις ήταν εμφανής.

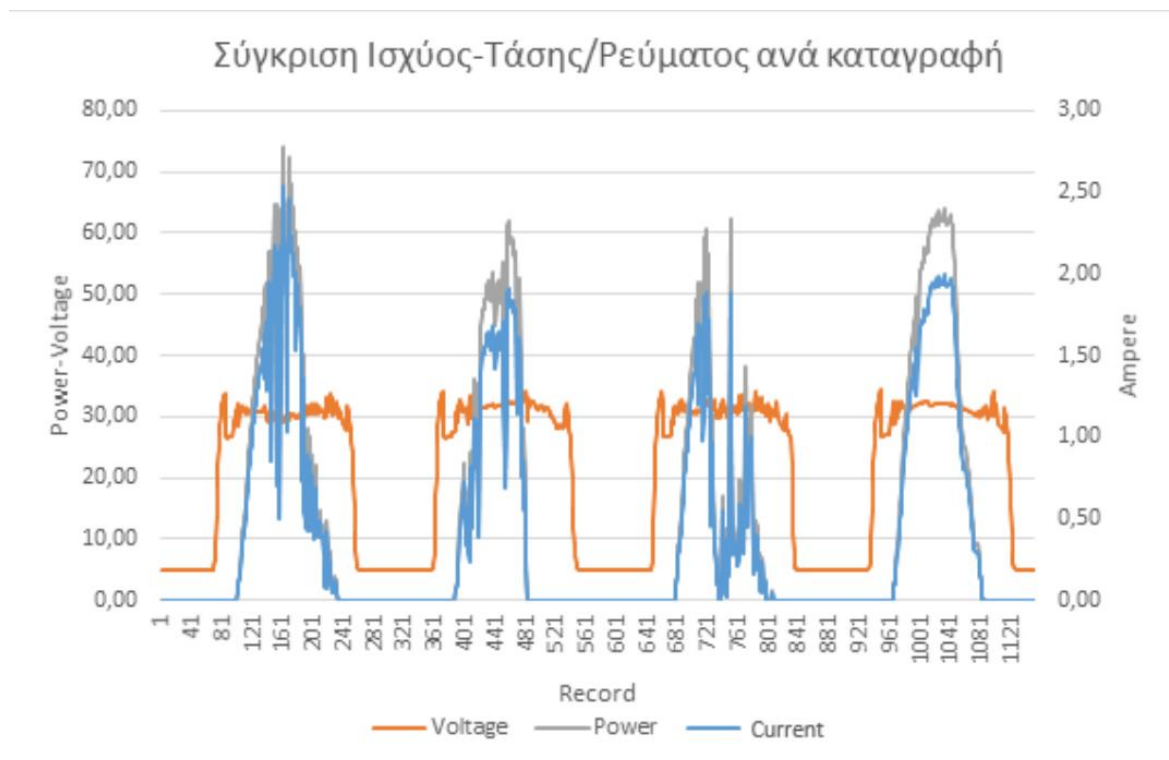
Όπως και στην περίπτωση της βροχής που δεν μπορούσε να αξιοποιηθούν οι μετρήσεις της ημέρα, το ίδιο συνέβαινε και στις μέρες με συννεφιά. Επειδή η κύρια μέτρηση των οργάνων είναι η ηλιακή ακτινοβολία και μάλιστα σε σύγκριση με την παραγωγή του φωτοβολταϊκού, οι μέρες με συννεφιά καθιστούν μια περίπτωση όπου δεν μπορεί κανείς να εξάγει συγκρίσιμα συμπεράσματα με τις υπόλοιπες μέρες, καθώς μεταβάλλεται ακανόνιστα η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης, όπως άλλωστε φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα σε μία τέτοια ημέρα.



Σχήμα 21 Αποτύπωση Ηλιακής Ακτινοβολίας και Λευκαύγειας σε ημέρα με νεφώσεις.

Τέλος, η πιο απαιτητική δυσκολία που υπήρξε κατά τη διάρκεια της πειραματικής διερεύνησης οφείλεται στη λειτουργία των συστημάτων του εργαστηρίου. Πιο συγκεκριμένα, το εργαστήριο Ήπιων Μορφών Ενέργειας απαρτίζεται από μια σειρά συστημάτων για την παραγωγή ενέργειας και λειτουργίας του. Είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο, όμως επιπλέον παράγει ενέργεια μέσω των φωτοβολταϊκών συστοιχιών και μιας ανεμογεννήτριας και αποθηκεύει την ενέργεια αυτή μέσω ενός Inverter και ενός ρυθμιστή φόρτισης σε μπαταρίες. Το πρόβλημα σε αυτή την εγκατάσταση εντοπίστηκε στην καθυστέρηση της συντήρησης των μπαταριών, παρόλο που υπήρχε μεγάλη παραγωγή ενέργειας μέσα στη μέρα το σύστημα δεν άντεχε στην κατανάλωση. Με άλλα λόγια, αντιμετωπίστηκαν δύο συνθήκες προβλήματος, όπου στην πρώτη υπήρχαν οι μπαταρίες και μέσω της μεγάλης παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά εξαντλούσαν την χωρητικότητά τους και καθότι δεν υπήρχε κάποιο φορτίο, ο inverter σταματούσε την παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά με αποτέλεσμα να μην

είναι αξιοποιήσιμη η μέρα, όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα λειτουργίας της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.



Σχήμα 22: Σύγκριση Ισχύος, Τάσης και Ρεύματος στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

Στην δεύτερη συνθήκη, για να αποτραπεί η παραπάνω δυσλειτουργία τοποθετήθηκαν φορτία ζήτησης, ώστε να μην εξαντλείται ο αποθηκευτικός χώρος των μπαταριών. Τα φορτία που δοκιμάστηκαν ήταν 700W, 500W και 300W. Σε κάθε μία από τις τρεις προσπάθειες τα αποθέματα των μπαταριών εξαντλούνταν σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα ο Inverter να διακόπτεται. Αποκλείοντας λοιπόν, μία σειρά σεναρίων με τη συμβολή του εργαστηριακού προσωπικού, εντοπίστηκε έλλειψη ηλεκτρολύτη στις μπαταρίες όπου και συμπληρώθηκε αργότερα και με την σωστή συντήρηση συνεχίστηκε εν τέλει η διαδικασία.

4.3 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται σε δυο τομείς, ο ένας είναι η ανακλαστικότητα του εδάφους και ο άλλος είναι η ενεργειακή παραγωγή και στοχεύει με τον συνδυασμό των δύο στην αναβάθμιση των φωτοβολταϊκών. Παρά την εκτενή μελέτη στους τύπους ανακλαστικών υλικών και την ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών υπάρχουν κενά τα οποία θα μπορούσαν να διερευνηθούν περαιτέρω. Το λευκό PVC και ο χλοοτάπητας PP είναι μόνο κάποια παραδείγματα κάλυψης της επιφάνειας, θα μπορούσαν να υπάρξουν και άλλες μελέτες με υλικά που ποικίλουν και στην απόχρωσή τους και στην τραχύτητα της επιφάνειας ενώ το πιο θεμιτό είναι να μελετηθούν φυσικά υλικά όπως είναι τα ξερόχορτα, οι πέτρες, άμμος κ.α. αφού άλλωστε οι μεγάλες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών γίνονται στο πεδίο και τα συνηθέστερα υλικά που συναντώνται είναι αυτά. Επίσης, τα φωτοβολταϊκά συστήματα παράγουν ενέργεια σε

όλη τη διάρκεια του έτους και όχι μόνο το καλοκαίρι που εστιάζει η παρούσα μελέτη. Σε μια χώρα όπως είναι η Ελλάδα οι μέρες με ηλιοφάνεια υπερέχουν μέσα στο έτος κάτι που δίνει τη δυνατότητα στα φωτοβολταϊκά να παράγουν ενέργεια σε όλες τις εποχές του χρόνου, άρα υπάρχει το κενό διερεύνησης της ενεργειακής παραγωγής και της συμβολής του εδάφους σε όλη τη διάρκεια του έτους που θα μπορούσε να αναλυθεί.

Παρότι οι τελευταίες έρευνες στρέφονται στη μελέτη των φωτοβολταϊκών διπλής όψης θα ήταν χρήσιμο αφού υπάρχει θετική συσχέτιση της ανακλαστικής επιφάνειας αμφιθεατρικά του φωτοβολταϊκού να συγκριθούν με τα φωτοβολταϊκά μονής όψης ούτως ώστε να προσδιοριστεί η διαφορά στην απόδοση τους αλλά και με τη χρήση της ανακλαστικής επιφάνειας περιμετρικά να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απόδοση στα διπλής όψης αφού εκμεταλλεύονται και την διάχυτη ακτινοβολία στην πίσω όψη. Σε συνδυασμό με τα διπλής όψης φωτοβολταϊκά θα μπορούσε να αποδώσει και η διερεύνηση σε διαφορετικές κλίσεις των πλαισίων για τα μονής όψης και τα διπλής όψης αφού τοποθετηθούν και τα κατάλληλα ανακλαστικά υλικά για να βρεθεί η βέλτιστη απόδοση.

Τέλος, θα υπήρχε μεγαλύτερο ενδιαφέρον να υπάρξει μια συνεργασία μεταξύ των Πανεπιστημίων της χώρας και να επαναληφθεί η ίδια πειραματική διερεύνηση σε περισσότερες πόλεις της Ελλάδας καθώς η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος.

4.4 Πρακτικές Εφαρμογές

Η έρευνα έχει σκοπό να βελτιστοποιήσει την καθημερινότητα του ανθρώπου και ειδικότερα εκείνους που εξαρτώνται από την ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών. Με την διερεύνηση των ανακλαστικών υλικών βελτιστοποιούνται τα φωτοβολταϊκά συστήματα τόσο σε οικιακή χρήση αλλά και σε εμπορικά φωτοβολταϊκά πάρκα, όπου η ενίσχυση της απόδοσης είναι καθοριστική για την οικονομική βιωσιμότητα. Με την εκμετάλλευση της λευκαύγειας στις αστικές περιοχές είναι εφικτό να μειωθεί η υπερθέρμανση, ενώ είναι θεμιτό να συνδυαστεί με φωτοβολταϊκά συστήματα για την παραγωγή ενέργειας που εντάσσονται στις ΑΠΕ και με τη διείσδυση τους μπορούν να ωφελήσουν στη μείωση του ενεργειακού κόστους. Πέρα από τις αστικές περιοχές που έχουν μεγάλες ενεργειακές ανάγκες, ο συνδυασμός της λευκαύγειας για τη βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών θα ήταν θεμιτό να εφαρμοστεί σε νησιά και απομακρυσμένες περιοχές γενικότερα, όπου πολλές φορές τυγχάνει να έχουν μεγάλα διαστήματα όπου το δίκτυο από μόνο του δεν μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες του εκάστοτε πληθυσμού, επομένως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν τη λύση στο πρόβλημα. Τέλος, η βελτιστοποίηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος με την βελτίωση της λευκαύγειας του εδάφους αμφιθεατρικά μειώνει το κόστος της επένδυσης και το χρόνο απόσβεσης της.

4.5 Συμβολή Έρευνας

Συνοψίζοντας, η έρευνα έχει σημαντικό αντίκτυπο στην κοινωνία. Οι επιπτώσεις σχετίζονται με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, της προστασίας του περιβάλλοντος, την βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων αλλά και την ευαισθητοποίηση της επιστημονικής κοινότητας. Με την εκμετάλλευση της

λευκαύγειας του εδάφους όπως φάνηκε και στα αποτελέσματα είναι εφικτό να αυξηθεί η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ώστε μέσα από τη μεγαλύτερη ενεργειακή παραγωγή να επωφελούνται οι καταναλωτές καθώς συνεπάγεται και μείωση τους κόστους της ενέργειας με την διείσδυση των ΑΠΕ. Εφόσον εντάσσεται στις ΑΠΕ η συγκεκριμένη τεχνολογία, τότε είναι σκόπιμο να αναφερθεί και η μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, αφού συνεπάγεται μείωση των εκπομπών CO₂ από την παραγωγή ενέργειας στους ηλεκτρικούς σταθμούς. Επομένως, δεν είναι απλά μια χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού στο δώμα ενός κτηρίου ή στο πεδίο, είναι η αρχή μια ενεργειακή μετάβαση καθώς αποτελεί μια τεχνολογία ώριμη και πιο εύκολη στην εγκατάσταση της και την εμπιστεύεται ο κόσμος. Άρα η αύξηση της απόδοσης των συστημάτων που όπως προαναφέρθηκε και στην Εικόνα 4 προτιμά περισσότερο ο κόσμος είναι μια μορφή αειφόρου ανάπτυξης καθώς ενισχύει την οικονομία και σέβεται το περιβάλλον.

Μέσα από τη συσχέτιση της λευκαύγειας και την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων κατάλληλα, μπορεί να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των ανθρώπων στις μεγάλες πόλεις. Τα υλικά με μεγαλύτερη λευκαύγεια δεν ενισχύουν απλά την ανάκλαση περισσότερης ενέργειας, συμβάλλουν επίσης στο να απορροφούν και λιγότερη θερμότητα, αποτέλεσμα αυτού είναι να μειωθεί το φαινόμενο της αστικής θερμονησίδας που πλήττει τις μεγάλες πόλεις κατά τους θερινούς μήνες. Η σωστή στρατηγική επιλογής υλικών και χρωμάτων στους οικισμούς μπορεί πολλές φορές να αποβεί σωτήρια για την διαμονή των κατοίκων, όπως για παράδειγμα τα γραφικά λευκά σπίτια στους οικισμούς των Κυκλάδων.

Τέλος, με την παρούσα διερεύνηση εγείρεται το ενδιαφέρον των μηχανικών, καθώς δεν αποτελεί μελέτη μόνο των φωτοβολταϊκών που περιορίζει τις ειδικότητες των επιστημόνων. Με την εμβάθυνση στις ιδιότητες των υλικών και του εδάφους για τη μελέτη της λευκαύγειας, απομακρύνεται από τα συνηθισμένα πλαίσια έρευνας ενός μηχανολόγου μηχανικού, κάτι που ενισχύει την καινοτομία στην έρευνα, ενώ επιπλέον ανοίγει τους ορίζοντες για τις επόμενες έρευνες να εξελίξουν το αντικείμενο ακόμα περισσότερο και έτσι συμβάλει στην εκπαίδευση

Κεφάλαιο 5^ο-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πειραματική διερεύνηση της επίδρασης της ανακλαστικότητας του εδάφους στην ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων απέδειξε τη σημασία του τύπου εδάφους και της ανακλαστικότητάς του στη συνολική απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η μελέτη αυτή βασίστηκε στη σύγκριση διαφορετικών τύπων επιφανειών, όπως χλοοτάπητα PP, λευκό PVC και δώμα κτηρίου με γκρι απόχρωση, σε συνθήκες πραγματικού πεδίου. Οι μετρήσεις που καταγράφηκαν και η περαιτέρω ανάλυση επιβεβαίωσαν τις αρχικές θεωρητικές υποθέσεις αλλά και τα δείγματα των προηγούμενων ερευνών, αποδεικνύοντας πως το ανακλαστικό υλικό της επιφάνειας αμφιθεατρικά του φωτοβολταϊκού μονής όψης ενισχύει την απόδοση του.

Αρχικά, η μελέτη απέδειξε ότι η ανακλώμενη ενέργεια είναι άμεσα συνυφασμένη με τη λευκαύγεια του εδάφους. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 9, οι τιμές της λευκαύγειας μεταβάλλονται ανάλογα με την ανακλώμενη ακτινοβολία και κατ' επέκταση στο Σχήμα 10 παριστάνεται η μέση ημερήσια ανακλώμενη ενέργεια με τις τιμές του λευκού PVC να είναι με διαφορά μεγαλύτερες σε σύγκριση με τα άλλα δύο ανακλαστικά υλικά. Είναι ένα αποτέλεσμα που βασίζεται στην λευκαύγεια των συγκεκριμένων υλικών καθώς μετρήθηκε ότι η τιμή του λευκού PVC κυμαίνεται από 0.54-0.59, του δώματος του κτηρίου 0.29-0.31 και του χλοοτάπητα PP 0.14-0.16.

Αναφορικά με τις μετρήσεις της ανακλαστικότητας του εδάφους που πραγματοποιήθηκαν φάνηκε επίσης ότι η ανακλαστικότητα είναι μέγιστη τις πρωινές ώρες, όταν η ηλιακή γωνία είναι χαμηλή αυτή η θεώρηση στηρίζεται σε προηγούμενες έρευνες που έχουν διενεργηθεί στο συγκεκριμένο πεδίο, παρόλα αυτά στη συγκεκριμένη διάταξη η παρουσία υψηλότερης τιμής λευκαύγειας τις πρωινές ώρες οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας και στο άνω και στο κάτω πυρανόμετρο, με αποτέλεσμα να ληφθούν αυτές οι τιμές. Οι απογευματινές ώρες είχαν τον περιορισμό της τοποθεσίας που εμπόδιζε την ομαλή λήψη μετρήσεων σε όλο το χρονικό εύρος, καθώς με την παρουσία του κτιρίου Δ' και του δέντρου που βρίσκεται μπροστά από το χώρο του εργαστηρίου δεν υπήρχε η ανάλογη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας για αυτές τις ώρες στο όργανο μέτρησης.

Η τραχύτητα της επιφάνειας του υλικού αποτελεί επίσης σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την ανακλαστικότητα. Όπως παρατηρήθηκε η επιφάνεια με τη μεγαλύτερη τραχύτητα που είναι ο χλοοτάπητας PP ανακλά την λιγότερη ενέργεια παρόλο που εκείνη την περίοδο καταγράφηκαν τα μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας, κάτι που οφείλεται στις σκεδάσεις που υπόκειται το φωτόνιο μέχρι να ανακλαστεί από την επιφάνεια του υλικού. Αντίθετα η ανακλώμενη ενέργεια από το λευκό PVC είναι μεγαλύτερη και με μικρότερη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας εφόσον αποτελεί ένα υλικό πιο λείο με αποτέλεσμα να υπάρχουν λιγότερες αλλαγές στην διεύθυνση του φωτονίου πριν αυτό ανακλαστεί από την επιφάνεια. Σημαντικός παράγοντας στην ανακλώμενη ενέργεια αποτελεί και η απόχρωση του χρώματος, με το πράσινο να βρίσκεται πιο χαμηλά στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και να απορροφά μεγαλύτερο ποσό ακτινοβολίας σε σύγκριση με το λευκό.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που έχει η εγκατάσταση επηρεάστηκαν από τις μεταβολές που έγιναν στα ανακλαστικά υλικά. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 15, η παραγόμενη ενέργεια από το σύστημα μεταβάλλεται ανάλογα το υλικό, όπου η παραγωγή στην περίοδο που χρησιμοποιείται το λευκό PVC είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το δώμα του κτηρίου που ακολουθεί μετά ενώ η μικρότερη παραγωγή ενέργειας είναι κατά τη χρήση του χλοοτάπητα PP και με το λευκό PVC έχει διαφορά 3.05%. Με την αλλαγή της παραγωγής ενέργειας ερευνήθηκε και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 17. Είναι μείζονος σημασίας να ληφθεί υπόψη και η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας που υπήρξε στις περιόδους καταγραφής, αφού για το μικρότερο ποσό μέσης ακτινοβολίας της περιόδου καταγραφής που επικρατεί, το λευκό PVC ενίσχυσε το σύστημα ώστε να έχει την μεγαλύτερη απόδοση ενώ αντίθετα στην περίοδο που υπήρχε η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία ο χλοοτάπητας PP δεν βοήθησε ιδιαίτερα το σύστημα να αυξήσει την απόδοση του με αποτέλεσμα να καταγραφεί η μικρότερη απόδοση. Σε σύγκριση με την μόνιμη επιφάνεια που είναι το δώμα κτηρίου, η απόδοση με το λευκό φάνηκε να βελτιώνεται κατά 4.14% ενώ με τον χλοοτάπητα υπήρξε μείωση της απόδοσης κατά 7.97%.

Η θερμοκρασία φάνηκε να μην επηρεάζει ιδιαίτερα την απόδοση των φωτοβολταϊκών. Όπως παρουσιάστηκε στα σχήματα (Σχήμα 19, Σχήμα 20) η ισχύς που υπολογίστηκε θεωρητικά έχει απόκλιση από την πειραματική τιμή που λήφθηκε από το σύστημα και συγκεκριμένα ήταν υψηλότερη. Αυτή όμως η διαφορά που έχει το σύστημα από την θεωρητική δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στην θερμοκρασία που επικρατεί στα πλαίσια καθώς υπάρχουν και άλλοι παράμετροι που επηρεάζουν το σύστημα όπως είναι οι απώλειες εσωτερικά της κυψέλης, αντανάκλασεις στην επιφάνεια των πλαισίων, σε σκόνη που μπορεί να έχει επικαθίσει πάνω στο φωτοβολταϊκό, σκιάσεις, γήρανση των υλικών του πλαισίου κ.α. Σε κάθε περίπτωση η θεωρητική ισχύς που υπολογίστηκε ικανοποιεί τη συσχέτιση με την πειραματική όπως φαίνεται στο scatterplot.

Τα ευρήματα της παρούσας διερεύνησης επισημαίνουν τη σημασία της ζώνης επίδρασης ανακλαστικότητας στην ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών. Διαχωρίζονται σε δύο φάσεις, πρώτα για τα ανακλαστικά υλικά και έπειτα για την απόδοση. Από αυτά προκύπτουν σημαντικοί παράμετροι που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση του φωτοβολταϊκού και επομένως και την παραγόμενη ενέργεια. Η λευκαύγεια του υλικού που χρησιμοποιείται ώστε να ενισχύσει την απόδοση του συστήματος είναι μια σημαντική παράμετρος καθώς συσχετίζεται άμεσα με την ανακλώμενη ενέργεια του εδάφους που προσπίπτει στην επιφάνεια του πλαισίου. Τέλος, σημαντικός δείκτης που επηρεάζει την ανακλαστικότητα ενός υλικού είναι η τραχύτητα του καθώς επηρεάζει την διεύθυνση του φωτονίου που προσπίπτει και μέσω των σκεδάσεων υποβαθμίζει την ενέργεια του.

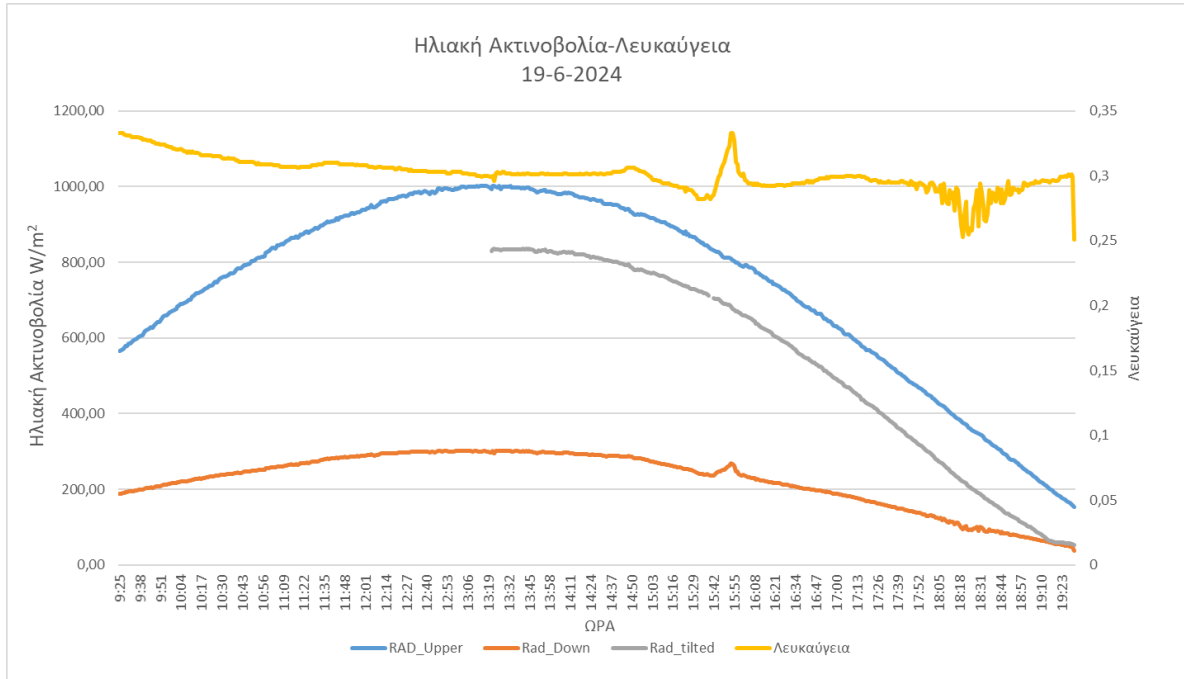
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ιωάννης Κ. Καλδέλλης και Αιμιλία Μ. Κονδύλη, *Περιβάλλον και Βιομηχανική Ανάπτυξη*, τ. Δεύτερος. Αθ. Σταμούλης.
- [2] Α. Καζαντζίδης, ‘Θεωρητικές διακυμάνσεις της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας και σύγκριση με φασματικές μετρήσεις’, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), 2004. doi: 10.12681/eadd/15032.
- [3] Dana Bolles και SMD Content Editors, ‘The Sun’, [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]. Διαθέσιμο στο: <https://science.nasa.gov/sun/>
- [4] Ιωάννης Γεντεκάκης, *ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ*, 2η. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.
- [5] Ιωάννης Κ. Καλδέλλης και Κοσμάς Α. Καββαδίας, *Εργαστηριακές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας*. Εκδόσεις ΑΘ. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ.
- [6] ‘Φωτοβολταϊκά συστήματα και μελέτη απόδοσής τους.pdf’.
- [7] ‘ΟΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΝΕΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.pdf’.
- [8] ‘E. Becquerel, Mémoire sur les effets électriques produits sous l’influence des rayons solaires, C. R. Acad. Sci. Paris 9 (1839) 561.’
- [9] ‘Φωτοβολταϊκά Συστήματα’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]
- [10] D. R. ASKELAND και WENDELIN J. WRIGHT, *ΥΛΙΚΑ ΔΟΜΗ, ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ*, 7η. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- [11] ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ, ‘Στατιστικά στοιχεία αγοράς φωτοβολταϊκών για το 2023’, 19 Φεβρουάριος 2024. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]
- [12] ΘΕΟΦΥΛΑΚΤΟΣ ΤΟΥΜΑΝΙΔΗΣ, ‘Συγκριτική μελέτη ανταγωνιστικότητας αιολικών και φωτοβολταϊκών επενδύσεων: Μελέτη Περίπτωσης σε Εγκατάσταση στη Βοιωτία’, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, ΑΘΗΝΑ, 2021. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή].
- [13] M. Ernst, X. Liu, C.-A. Asselineau, D. Chen, C. Huang, και A. Lennon, ‘Accurate modelling of the bifacial gain potential of rooftop solar photovoltaic systems’, *Energy Conversion and Management*, τ. 300, σ. 117947, Ιανουαρίου 2024, doi: 10.1016/j.enconman.2023.117947.
- [14] M. Alam, M. S. Gul, και T. Muneer, ‘Performance analysis and comparison between bifacial and monofacial solar photovoltaic at various ground albedo conditions’, *Renewable Energy Focus*, τ. 44, σσ. 295–316, Μαρτίου 2023, doi: 10.1016/j.ref.2023.01.005.
- [15] C. A. Gueymard, V. Lara-Fanego, M. Sengupta, και Y. Xie, ‘Surface albedo and reflectance: Review of definitions, angular and spectral effects, and intercomparison of major data sources in support of advanced solar irradiance modeling over the Americas’, *Solar Energy*, τ. 182, σσ. 194–212, Απριλίου 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.02.040.
- [16] J. A. Coakley, ‘REFLECTANCE AND ALBEDO, SURFACE’, στο *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, Elsevier, 2003, σσ. 1914–1923. doi: 10.1016/B0-12-227090-8/00069-5.
- [17] Γ.ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ και Ε.ΣΙΑΡΕΝΟΣ, ‘ΤΟ ΜΙΚΡΟ MICHIGAN PRESS ΑΓΓΛΟ-ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΟΝΟΤΟΝΙΚΟ ΛΕΞΕΙΚΟ’. Π.ΚΟΥΤΣΟΥΜΠΟΣ.
- [18] R. W. Andrews και J. M. Pearce, ‘The effect of spectral albedo on amorphous silicon and crystalline silicon solar photovoltaic device performance’, *Solar Energy*, τ. 91, σσ. 233–241, Μαΐου 2013, doi: 10.1016/j.solener.2013.01.030.
- [19] J. C. Blakesley, G. Koutsourakis, D. E. Parsons, N. A. Mica, S. Balasubramanyam, και M. G. Russell, ‘Sourcing albedo data for bifacial PV systems in complex

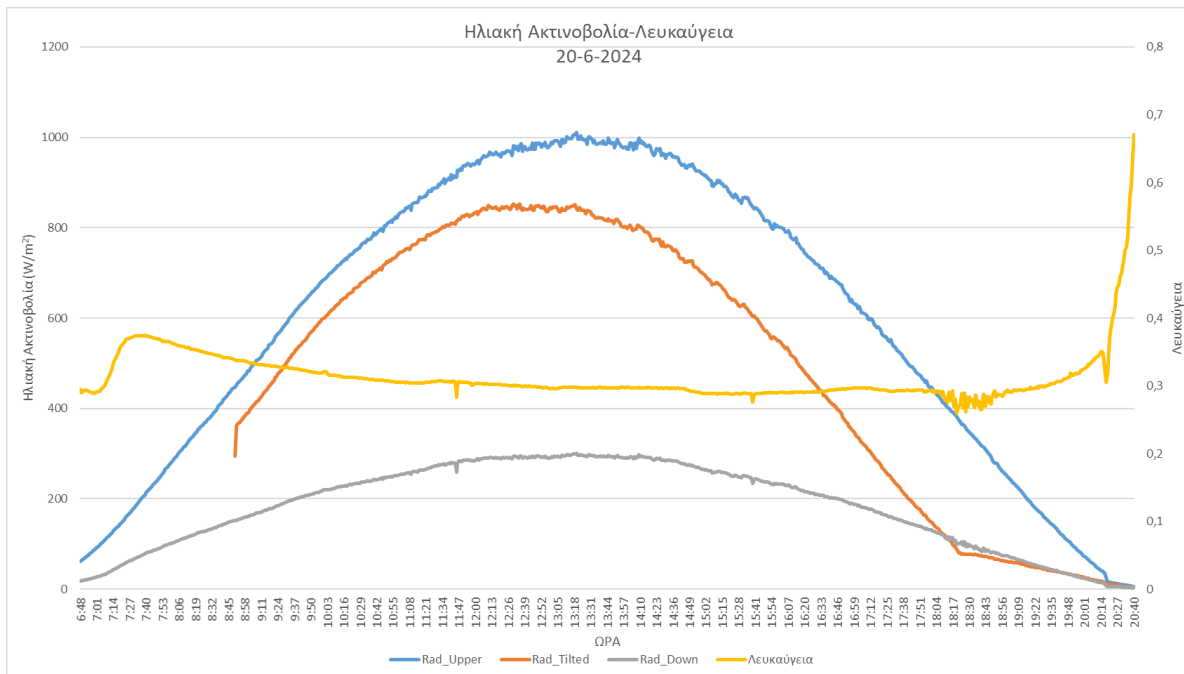
- landscapes’, *Solar Energy*, τ. 266, σ. 112144, Δεκεμβρίου 2023, doi: 10.1016/j.solener.2023.112144.
- [20] ‘ΜΕΛΕΤΗ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ.pdf’.
- [21] S. Golroodbari και W. Van Sark, ‘On the effect of dynamic albedo on performance modelling of offshore floating photovoltaic systems’, *Solar Energy Advances*, τ. 2, σ. 100016, 2022, doi: 10.1016/j.seja.2022.100016.
- [22] Y. Qin, J. Luo, Z. Chen, G. Mei, και L.-E. Yan, ‘Measuring the albedo of limited-extent targets without the aid of known-albedo masks’, *Solar Energy*, τ. 171, σσ. 971–976, Σεπτεμβρίου 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.07.043.
- [23] H. Ziar, F. F. Sönmez, O. Isabella, και M. Zeman, ‘A comprehensive albedo model for solar energy applications: Geometric spectral albedo’, *Applied Energy*, τ. 255, σ. 113867, Δεκεμβρίου 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113867.
- [24] ‘Glossary of Meteorology’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]
- [25] ‘ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ.pdf’.
- [26] P. Chimklai, A. Hagishima, και J. Tanimoto, ‘A computer system to support Albedo Calculation in urban areas’, *Building and Environment*, τ. 39, τχ. 10, σσ. 1213–1221, Οκτωβρίου 2004, doi: 10.1016/j.buildenv.2004.02.006.
- [27] Κωνσταντίνος-Στέφανος Παν. Νίκας και Ελένη Σπ. Παπάζογλου, *ΑΡΧΕΣ της ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ για Μηχανικούς*, 1η.
- [28] G. E. Stillman, ‘Optoelectronics’, *REFERENCE DATA FOR ENGINEERS*.
- [29] Jean-Henri Lambert, *Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae*. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]
- [30] K. Ikeuchi, Επιμ., *Computer Vision: A Reference Guide*. Boston, MA: Springer US, 2014. doi: 10.1007/978-0-387-31439-6.
- [31] Y. Wu, ‘Radiometry, BRDF and Photometric Stereo’.
- [32] A. Kotopouleas, R. Giridharan, M. Nikolopoulou, R. Watkins, και M. Yeninarçilar, ‘Experimental investigation of the impact of urban fabric on canyon albedo using a 1:10 scaled physical model’, *Solar Energy*, τ. 230, σσ. 449–461, Δεκεμβρίου 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.09.074.
- [33] A. Salvati, M. Kolokotroni, A. Kotopouleas, R. Watkins, R. Giridharan, και M. Nikolopoulou, ‘Impact of reflective materials on urban canyon albedo, outdoor and indoor microclimates’, *Building and Environment*, τ. 207, σ. 108459, Ιανουαρίου 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108459.
- [34] R. Levinson, H. Akbari, και P. Berdahl, ‘Measuring solar reflectance—Part I: Defining a metric that accurately predicts solar heat gain’, *Solar Energy*, τ. 84, τχ. 9, σσ. 1717–1744, Σεπτεμβρίου 2010, doi: 10.1016/j.solener.2010.04.018.
- [35] A. Zaragoza και C. Bartolom, ‘Albedo Effect and Energy Efficiency of Cities’, στο *Sustainable Development - Energy, Engineering and Technologies - Manufacturing and Environment*, C. Ghenai, Επιμ., InTech, 2012. doi: 10.5772/29536.
- [36] A. Zabihi, M. Parhamfar, S. S. S. R. Sarathbabu Duvvuri, και M. Abtahi, ‘Increase power output and radiation in photovoltaic systems by installing mirrors’, *Measurement: Sensors*, τ. 31, σ. 100946, Φεβρουαρίου 2024, doi: 10.1016/j.measen.2023.100946.
- [37] J. Yang, Z.-H. Wang, και K. E. Kaloush, ‘Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a 'silver bullet' for mitigating urban heat island?’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, τ. 47, σσ. 830–843, Ιουλίου 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.03.092.

- [38] M. P. Brennan, A. L. Abramase, R. W. Andrews, και J. M. Pearce, ‘Effects of spectral albedo on solar photovoltaic devices’, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, τ. 124, σσ. 111–116, Μαΐου 2014, doi: 10.1016/j.solmat.2014.01.046.
- [39] H. Ahmed, S. J. McCormack, και J. Doran, ‘External Quantum Efficiency Improvement with Luminescent Downshifting Layers: Experimental and Modelling’, *International Journal of Spectroscopy*, τ. 2016, σσ. 1–7, Ιανουαρίου 2016, doi: 10.1155/2016/8543475.
- [40] ‘Renewables 2023 Global Status Report’. [Έκδοση σε ψηφιακή μορφή]
- [41] J. Johnson και S. Manikandan, ‘Experimental study and model development of bifacial photovoltaic power plants for Indian climatic zones’, *Energy*, τ. 284, σ. 128693, Δεκεμβρίου 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.128693.
- [42] J. Yuan, Y. Shimazaki, και S. Masuko, ‘Neural network models for predicting urban albedo of urban surfaces with different reflection directional properties’, *Energy Reports*, τ. 10, σσ. 2850–2864, Νοεμβρίου 2023, doi: 10.1016/j.egyr.2023.09.133.
- [43] T. Ruan, F. Wang, M. Topel, B. Laumert, και W. Wang, ‘A new optimal PV installation angle model in high-latitude cold regions based on historical weather big data’, *Applied Energy*, τ. 359, σ. 122690, Απριλίου 2024, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.122690.
- [44] A. Kotopouleas, R. Giridharan, M. Nikolopoulou, R. Watkins, και M. Yeninarçilar, ‘Experimental investigation of the impact of urban fabric on canyon albedo using a 1:10 scaled physical model’, *Solar Energy*, τ. 230, σσ. 449–461, Δεκεμβρίου 2021, doi: 10.1016/j.solener.2021.09.074.
- [45] R. Levinson, S. Chen, P. Berdahl, P. Rosado, και L. A. Medina, ‘Reflectometer measurement of roofing aggregate albedo’, *Solar Energy*, τ. 100, σσ. 159–171, Φεβρουαρίου 2014, doi: 10.1016/j.solener.2013.11.006.
- [46] K. Ganesan, D. P. Winston, S. Sugumar, και S. Jegan, ‘Performance analysis of n-type PERT bifacial solar PV module under diverse albedo conditions’, *Solar Energy*, τ. 252, σσ. 81–90, Μαρτίου 2023, doi: 10.1016/j.solener.2023.01.020.
- [47] M. Baricchio, M. Korevaar, P. Babal, και H. Ziar, ‘Modelling of bifacial photovoltaic farms to evaluate the profitability of East/West vertical configuration’, *Solar Energy*, τ. 272, σ. 112457, Απριλίου 2024, doi: 10.1016/j.solener.2024.112457.
- [48] K. S. Hayibo, A. Petsiuk, P. Mayville, L. Brown, και J. M. Pearce, ‘Monofacial vs bifacial solar photovoltaic systems in snowy environments’, *Renewable Energy*, τ. 193, σσ. 657–668, Ιουνίου 2022, doi: 10.1016/j.renene.2022.05.050.
- [49] ‘Μελέτη της επίδρασης της ανακλαστικότητας του εδάφους στην ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων.pdf’.

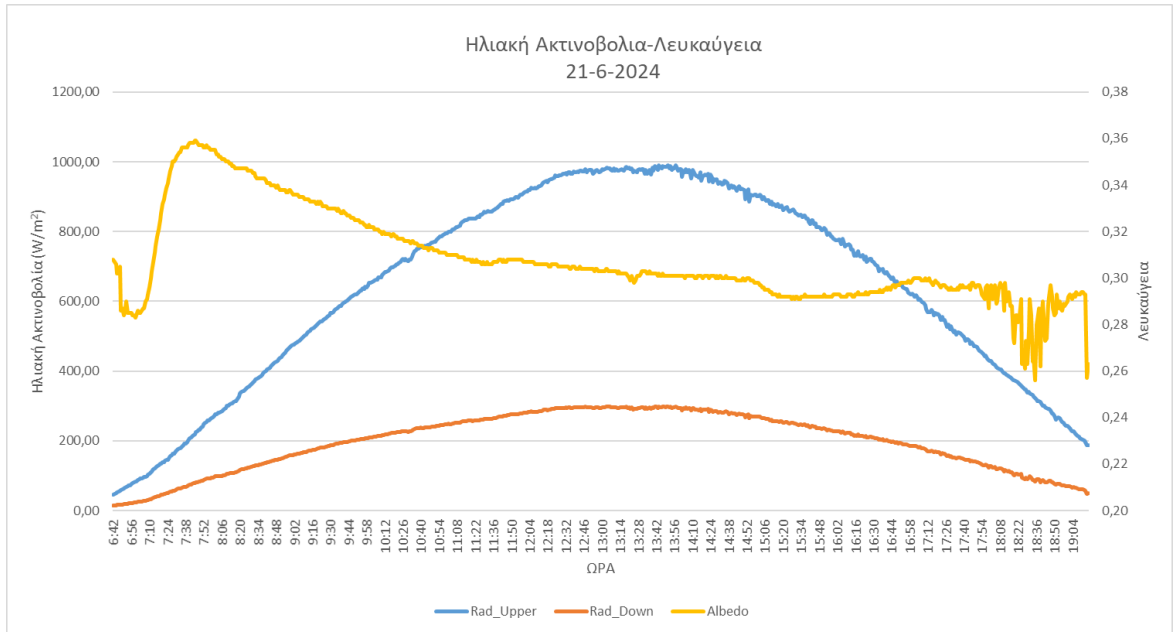
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



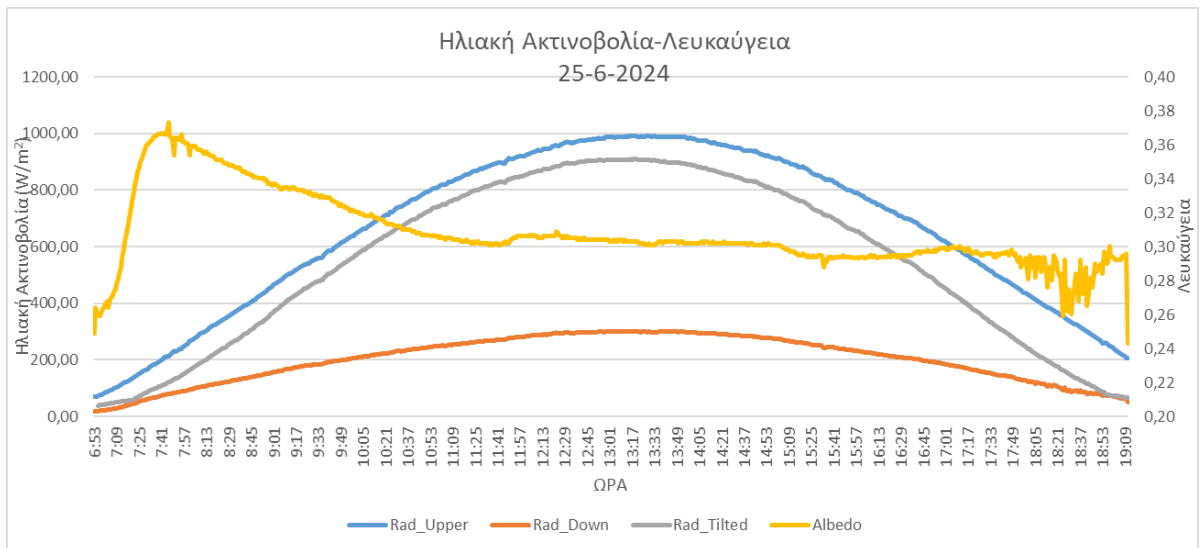
Σχήμα 23: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 19-6-2024.



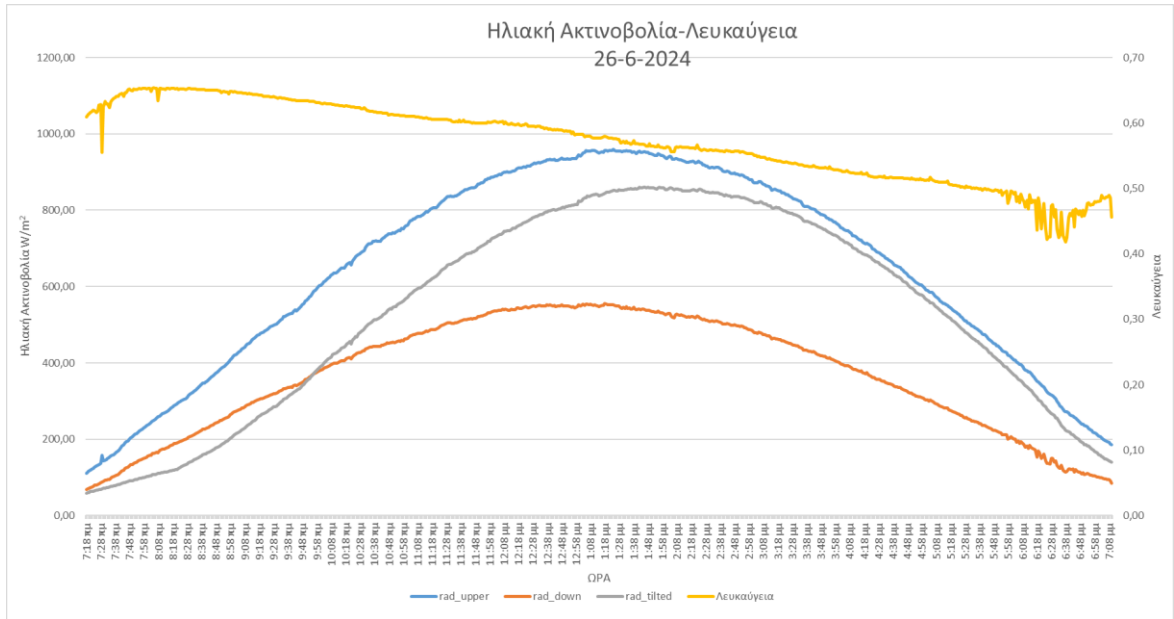
Σχήμα 24: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 20-6-2024.



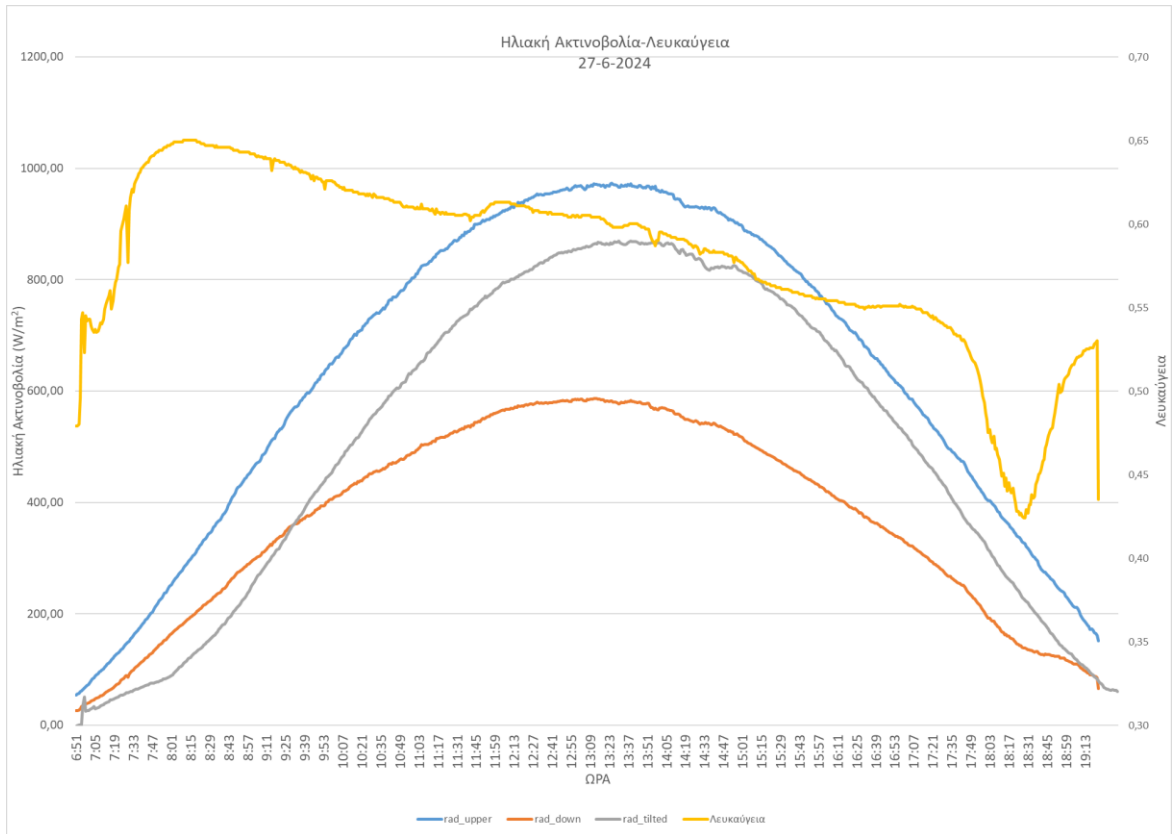
Σχήμα 25: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγεια 21-6-2024.



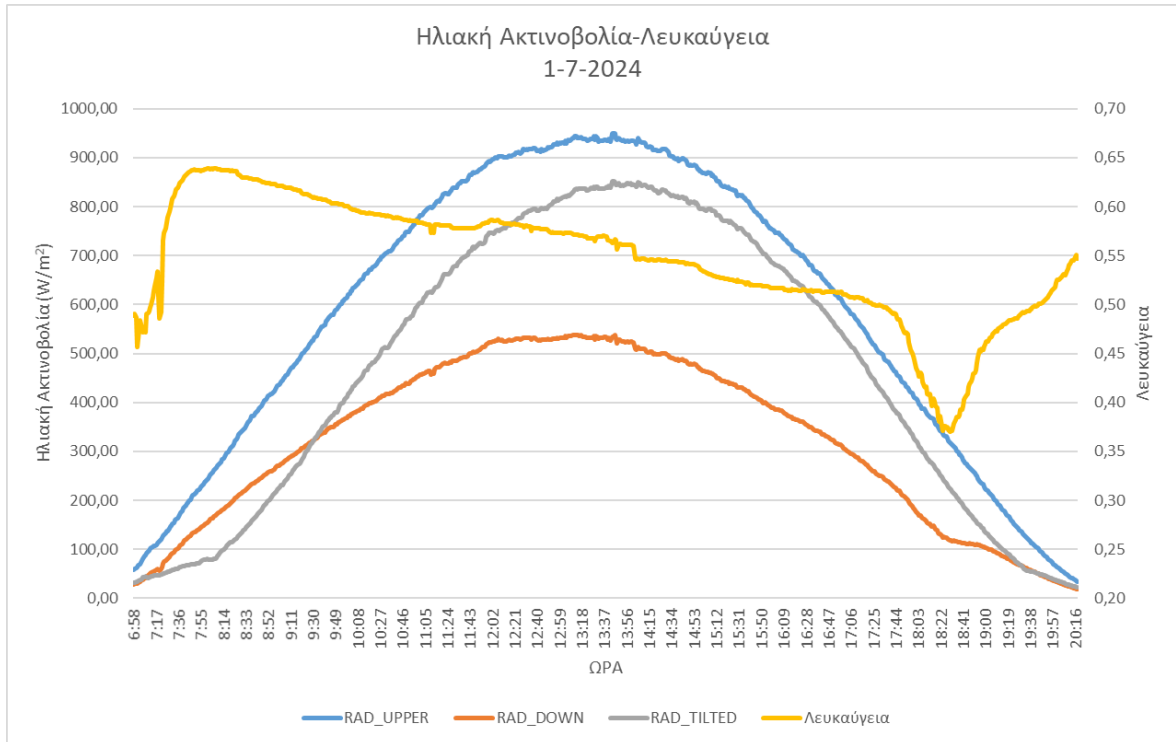
Σχήμα 26: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγεια 25-6-2024.



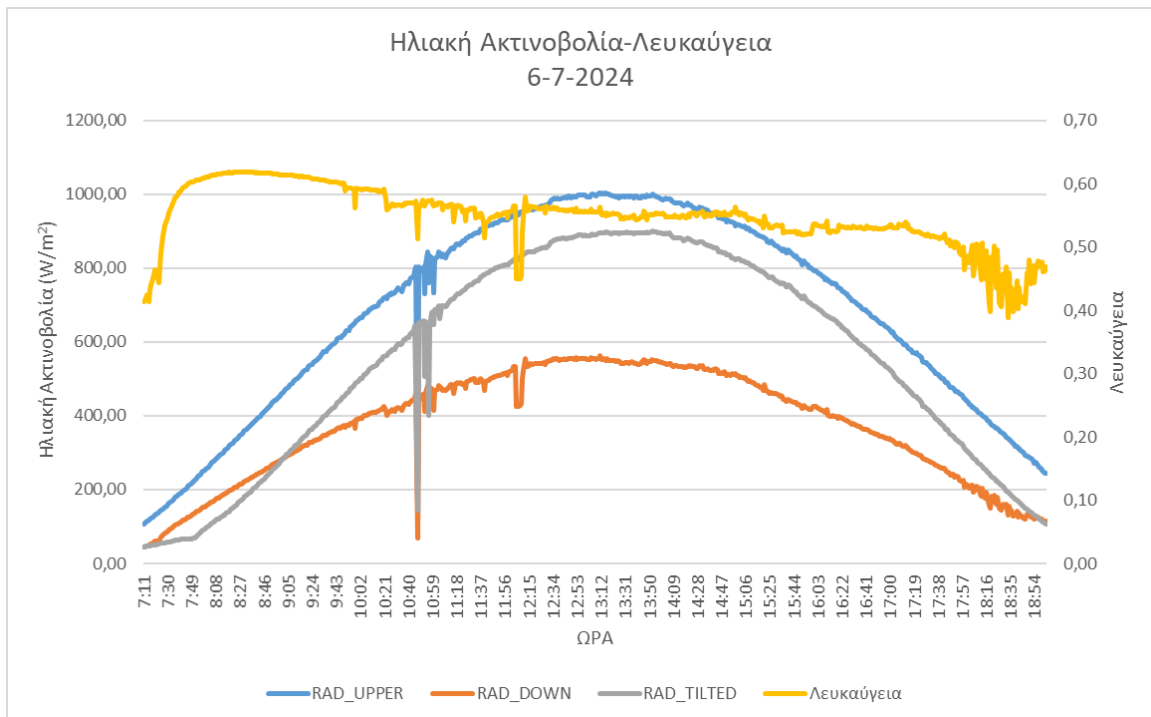
Σχήμα 27: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 26-6-2024.



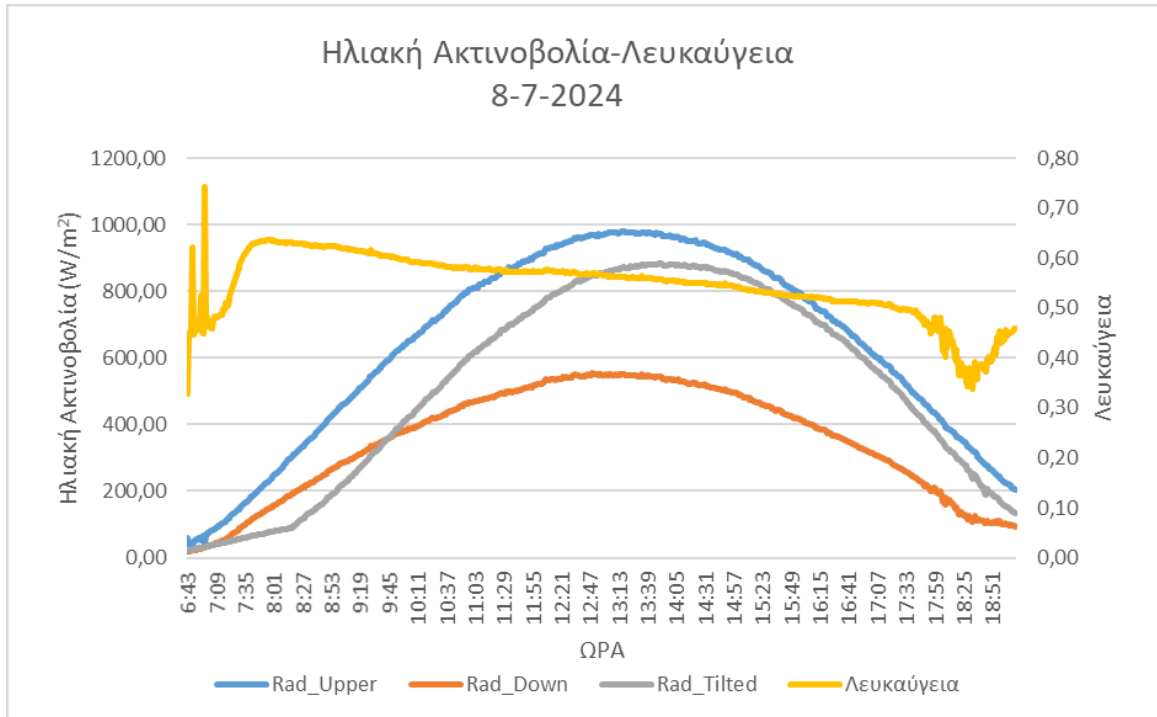
Σχήμα 28: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 27-6-2024.



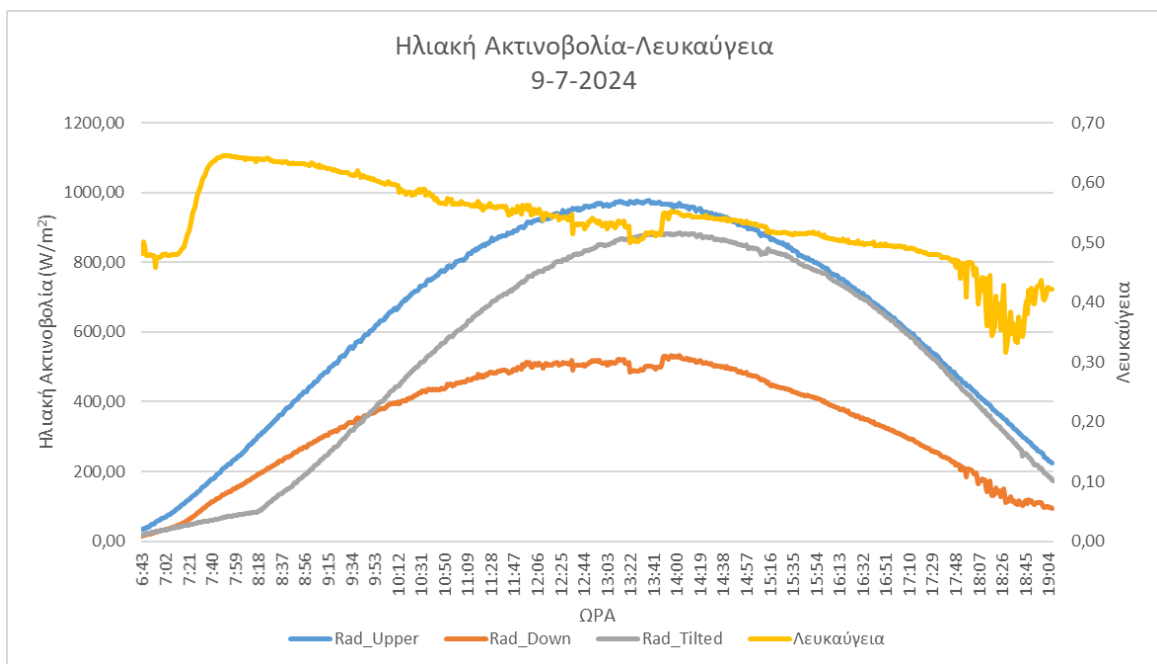
Σχήμα 29: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 01-7-2024.



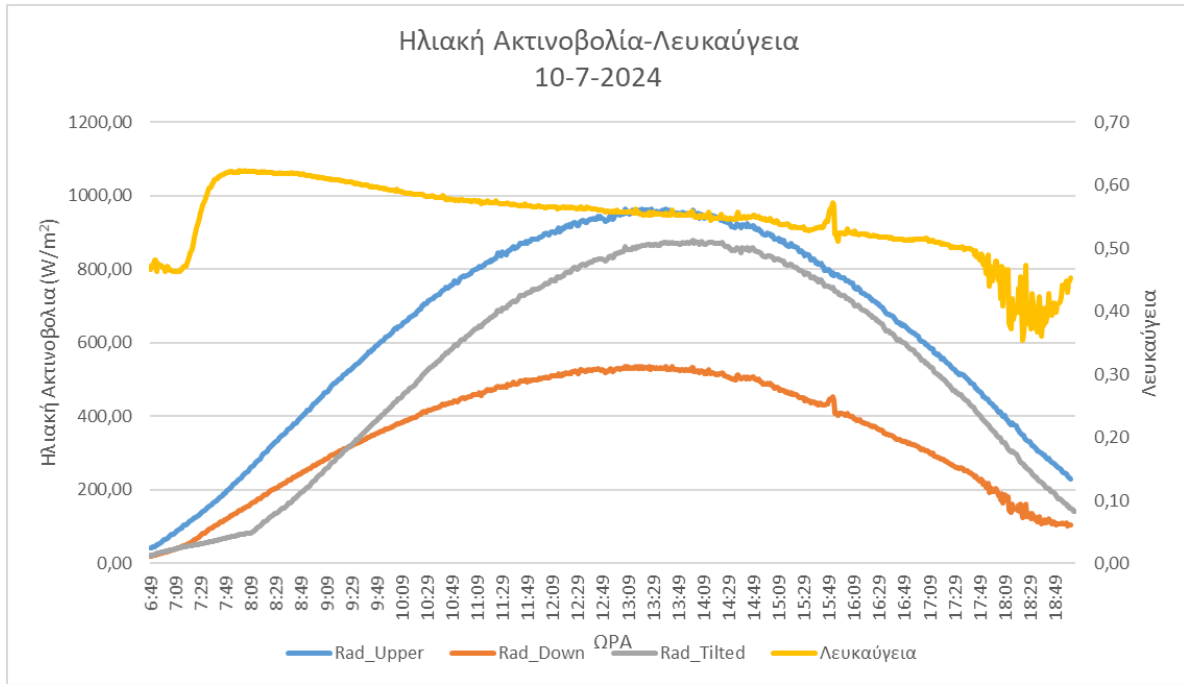
Σχήμα 30: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 06-7-2024.



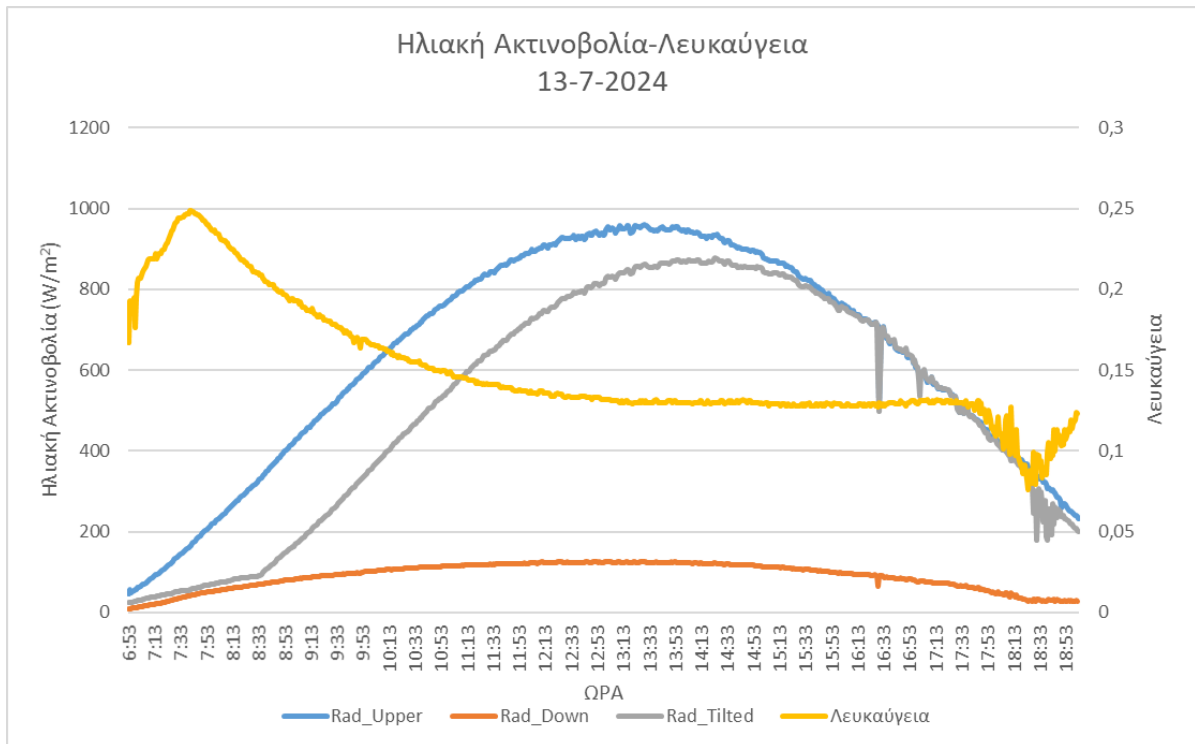
Σχήμα 31: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 08-7-2024.



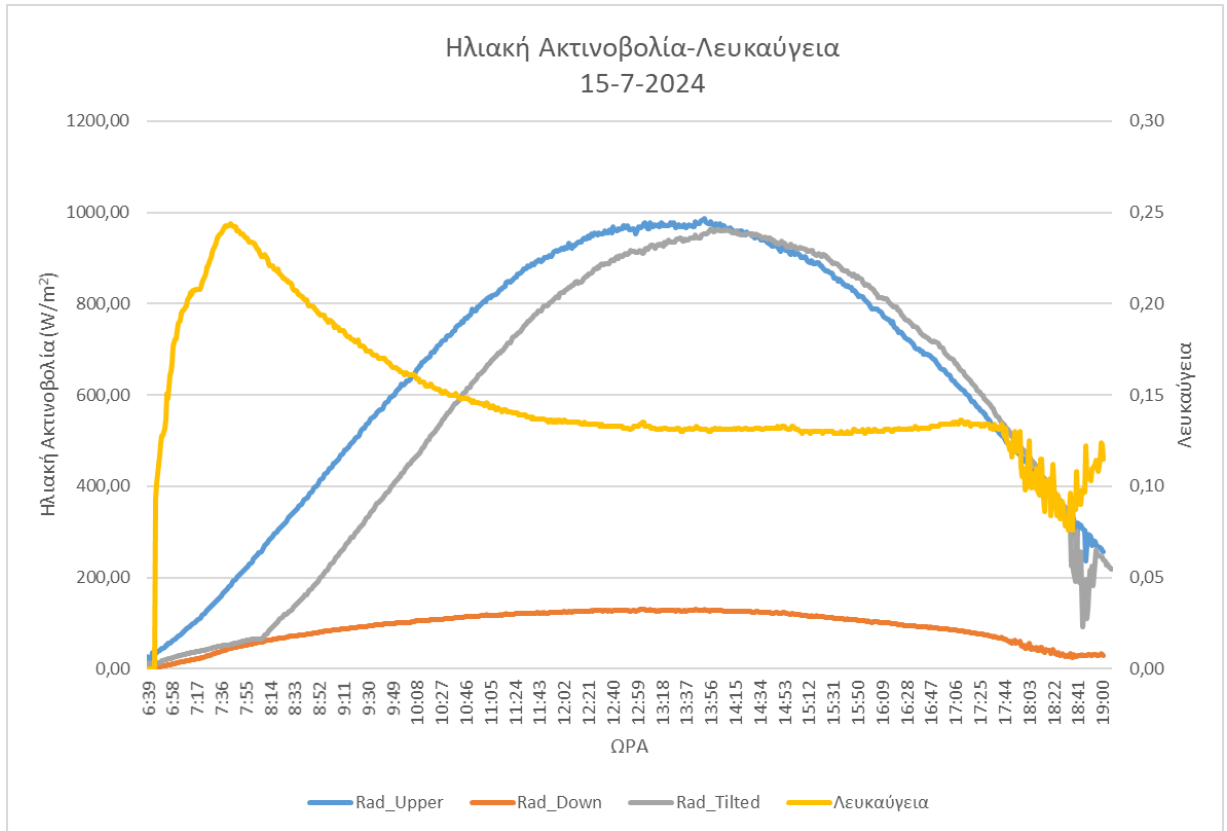
Σχήμα 32: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 09-7-2024.



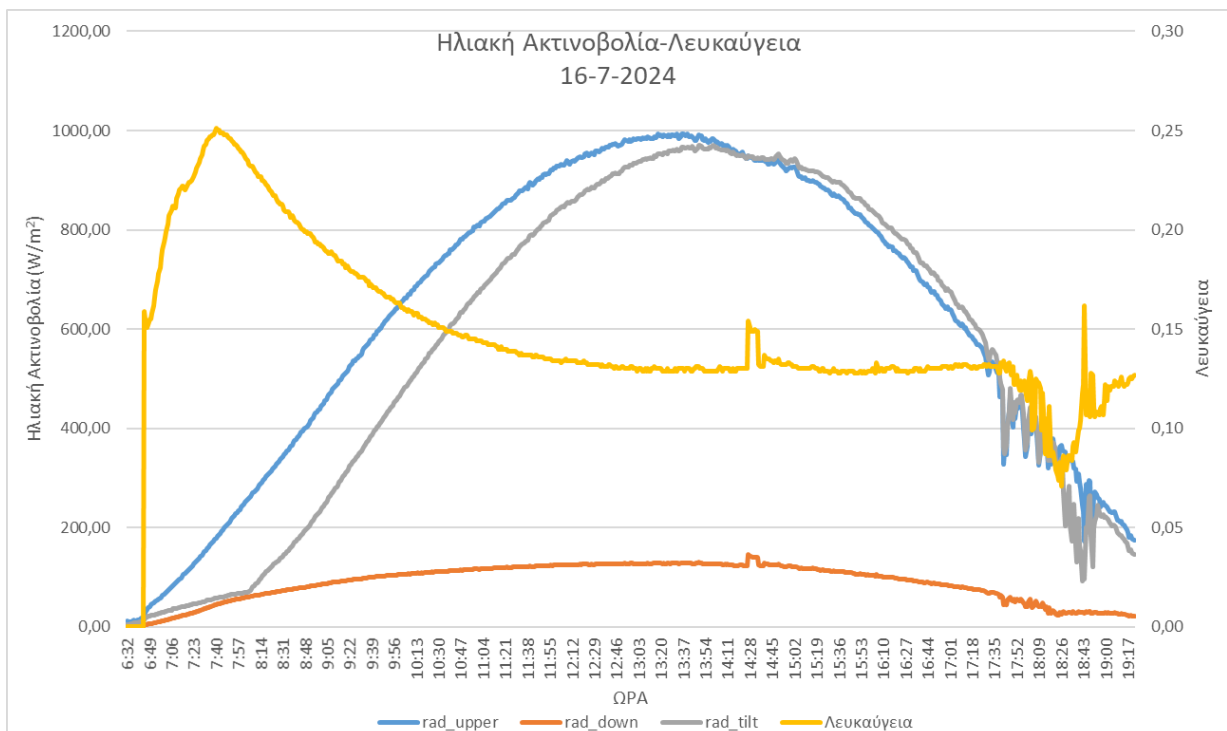
Σχήμα 33: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 10-7-2024.



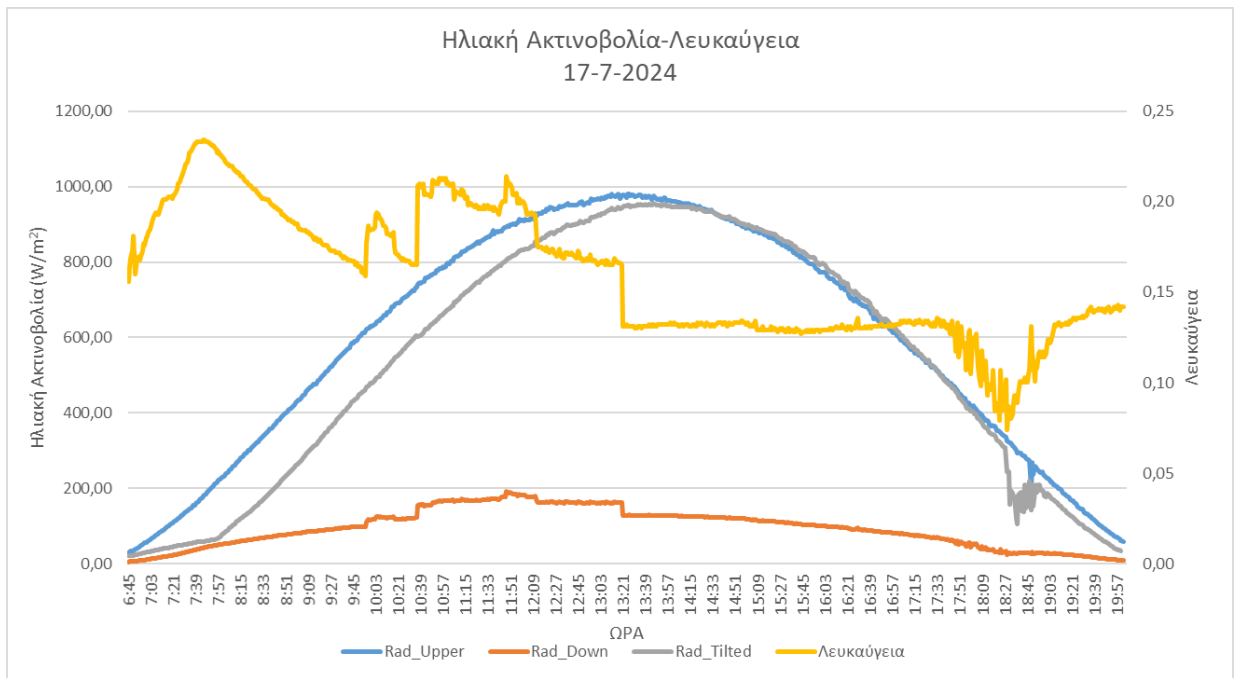
Σχήμα 34: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 13-7-2024.



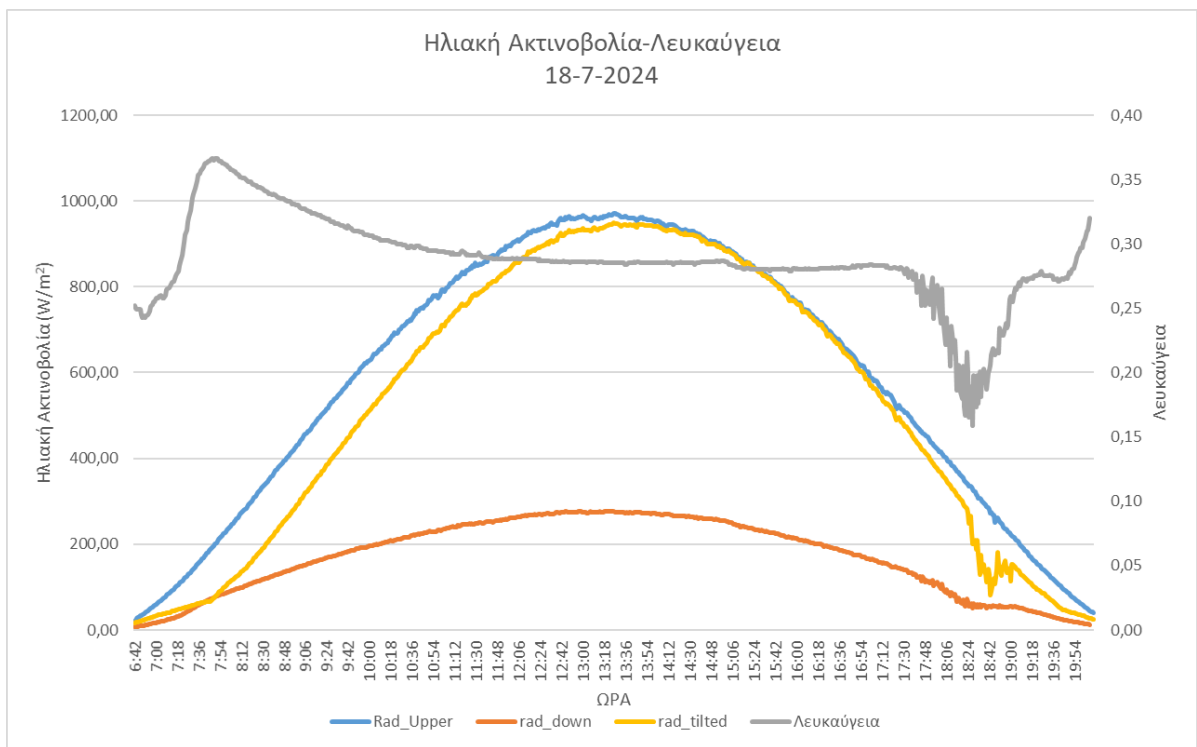
Σχήμα 35: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 15-7-2024.



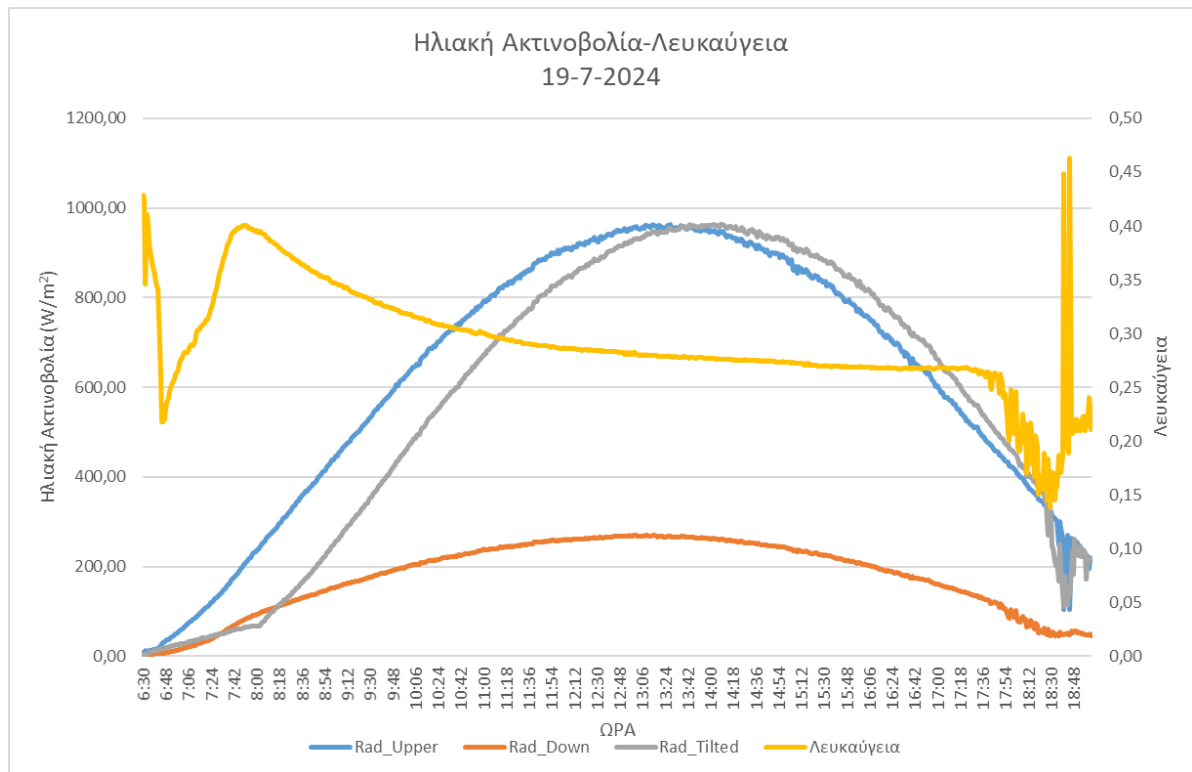
Σχήμα 36: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 16-7-2024.



Σχήμα 37: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 17-7-2024.



Σχήμα 38: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 18-7-2024.



Σχήμα 39: Ημερήσια κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας και λευκαύγειας 19-7-2024.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Κώδικας CR310

```
'CR300 Series Datalogger
'Albedo Station for West Attica University, Mechanical Engineer
Department
```

```
'Date: 10.02.2022
'Program author:Spyros Drikos for Scientific Enterprises Ltd
```

```
'CRBasic angle units are in Radians by default.
'Switch to Degrees
AngleDegrees
```

```
'Declare Constants
Const Stn_Code = 879
```

```
'Declare Public Variables
Public PTemp, batt_volt
Public Rad_upper
Public Rad_down
Public Albedo
Public Energy_UP, Energy_Down
```

```
'Declare Units
'-----
Units PTemp = degC
Units batt_volt = Volts
Units Rad_upper = W/m2
Units Rad_down = W/m2
Units Albedo = W/m2
Units Energy_UP = Wh/m2
Units Energy_Down = Wh/m2
```

```
'Define Data Tables.
DataTable (Albedo_Data,1,-1)
  DataInterval (0,1,Min,10)
  Average (1,Rad_upper,FP2,False)
  Average (1,Rad_down,FP2,False)
  Average (1,Albedo,FP2,False)
  Totalize (1,Energy_UP,FP2,False)
  Totalize (1,Energy_Down,FP2,False)
  Sample (1,PTemp,FP2)
  Minimum (1,batt_volt,FP2,0,False)
EndTable
```

```
'Main Program
BeginProg
```

```
sw12 (1 ) 'Set SW12V ON for Pyranometers Power Supply
```

```
  Scan (60,Sec,0,0)
    PanelTemp (PTemp,60)
```

```

        Battery (batt_volt)

        'Enter other measurement instructions

'Rad_Upper (SMP6) Measurement
'-----
'Wiring
'-----
'Green ----- SE1 (Rad_upper +)
'Brown ----- SE2 (Rad_upper -)
'White ----- 12V (Supply +)
'Black ----- Gnd (Supply -)

'0...1000 mV @ -200 ... 2000 W/m2
'so SolRad = (mV * 2.2) - 200
VoltDiff (Rad_upper,1,mv2500,1,False,0,60,2.2,-200)

'Rad_Down (SMP6) Measurement
'-----
'Wiring
'-----
'Green ----- SE3 (Rad_upper +)
'Brown ----- SE4 (Rad_upper -)
'White ----- 12V (Supply +)
'Black ----- Gnd (Supply -)

'0...1000 mV @ -200 ... 2000 W/m2
'so SolRad = (mV * 2.2) - 200
VoltDiff (Rad_down,1,mv2500,2,False,0,60,2.2,-200)

'-----
'Radiation Measurements Correction
'-----

'Rad_Upper Correction
'-----
'    Measurement can not be negative
If Rad_upper < 3  AND Rad_upper > -10 Then
    Rad_upper = 0
EndIf

'Rad_Down Correction
'-----
'    Measurement can not be negative
If Rad_down < 3  AND Rad_down > -10 Then
    Rad_down = 0
EndIf

If Rad_upper = 0 Then
    Rad_down = 0
EndIf

'#####

'Energy Calculations
'-----

```

```

    'In order to convert Irradiance (W/m2) to Energy (Wh/m2)
    'we have to multiply the irradiance with the scan time (1
min)
    'devided by 1 hour (60 min) in the same units
    Energy_UP = Rad_upper *(1/60)

    'In order to convert Irradiance (W/m2) to Energy (Wh/m2)
    ' we have to multiply the irradiance with the scan time (1
min)
    'devided by 1 hour (60 min) in the same units
    Energy_Down = Rad_down *(1/60)

'Albedo Measurement
'-----
'because of the division, Rad_up can not be 0. So...
If Rad_upper = 0 OR Rad_down = 0 Then
    Albedo = 0
Else
    Albedo=Rad_down/Rad_upper
EndIf

        'Call Output Tables
        CallTable Albedo_Data

    NextScan
EndProg

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

aleo s_18 ulr

Electrical data (STC)			S18U225	S18U230	S18U235	Address aleo solar AG Gewerbegebiet Nord Marius-Eriksen-Strasse 1 17291 Prenzlau Germany
Rated power	P_{MPP}	[W]	225	230	235	
Rated voltage	U_{MPP}	[V]	29.3	29.5	29.8	
Rated current	I_{MPP}	[A]	7.68	7.80	7.89	
Open-circuit voltage	U_{OC}	[V]	36.5	36.7	36.9	
Short-circuit current	I_{SC}	[A]	8.13	8.26	8.35	
Efficiency	η	[%]	13.7	14.0	14.3	
Area-to-power ratio	A_p	[ft ² /kW _p]	78.6	76.9	75.3	

Electrical values measured under standard test conditions (STC): 1000 W/m²; 25°C; AM 1.5

Electrical data (NOCT)			S18U225	S18U230	S18U235
Power	P_{MPP}	[W]	161	165	168
Voltage	U_{MPP}	[V]	26.4	26.6	26.9
Current	I_{MPP}	[A]	6.11	6.19	6.25
Open-circuit voltage	U_{OC}	[V]	33.0	33.1	33.3
Short-circuit current	I_{SC}	[A]	6.56	6.67	6.74
Efficiency	η	[%]	12.3	12.5	12.8

Electrical values measured under nominal operating conditions of cells: 800 W/m²; 20°C; AM 1.5; wind speed 1 m/s
NOCT: 47.9°C(nominal operating cell temperature)

Additional electrical data		
Reduction of STC efficiency from 92.9 W/ft ² to 18.6 W/ft ² (1000 W/m ² to 200 W/m ²)	[%]	< 6
Classification range (positive classification)	[W]	-0/+4.99
Measurement accuracy of P_{MPP} under STC	[%]	-3/+3
Accuracy of other electrical values	[%]	-10/+10

Basic data		
Length x width x height	[in ³] ([mm ³])	65.35 x 38.98 x 1.97 (1660 x 990 x 50)
Weight	[lbs] ([kg])	46.30 (21)
Number of cells		60
Cell size	[in ²] ([mm ²])	6.14 x 6.14 (156 x 156)
Cell material		Polycrystalline Si
Front sheet		Solar glass (TSG)
Back sheet		Polymer
Frame material		Al alloy
Cable length	[in] ([mm])	47.24 (+), 31.50 (+) (1200 (+), 800 (+))
Connectors		MC4 class
IP class		IP65
Bypass diodes		3

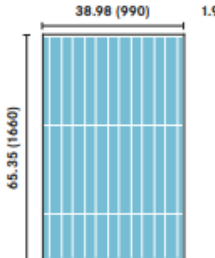
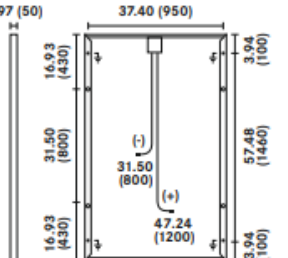
Detailed information regarding our products, warranties and certificates can be requested from us at any time. This information is also available online at www.aleo-solar.com.

© aleo solar AG | 07/2011 | Subject to change without notice, not responsible for errors

Loads		
Mechanical load ¹	[psf]	112.7
Maximum system voltage (UL)	[V _{oc}]	600
Reverse current load	I_R [A]	15

¹ Snow and ice load tests exceed the approved standard

Temperature coefficients			
1 st temperature coefficient	$\alpha (I_{SC})$	[%/K]	+0.04
2 nd temperature coefficient	$\beta (U_{OC})$	[%/K]	-0.34
3 rd temperature coefficient	$\gamma (P_{MPP})$	[%/K]	-0.46

Dimensions [in] ([mm])	
	

Please contact your authorized aleo dealer

Εικόνα 24: Datasheet Aleo S18.235

Specifications	CMP 6
Classification to ISO 9060:1990	First Class
Spectral range (50% points)	285 to 2800 nm
Sensitivity	5 to 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Impedance	20 to 200 Ω
Expected output range (0 to 1500 W/m^2)	0 to 30 mV
Maximum operational irradiance	2000 W/m^2
Response time (63%)	< 6 s
Response time (95%)	< 18 s
Zero offsets	
(a) thermal radiation (at 200 W/m^2)	< 12 W/m^2
(b) temperature change (5 K/h)	< 4 W/m^2
Non-stability (change/year)	< 1%
Non-linearity (100 to 1000 W/m^2)	< 1%
Directional response (up to 80° with 1000 W/m^2 beam)	< 20 W/m^2
Spectral selectivity (350 to 1500 nm)	< 3%
Temperature response	< 4% (-10°C to +40°C)
Tilt response (0° to 90° at 1000 W/m^2)	< 1%
Field of view	180°
Accuracy of bubble level	< 0.1°
Temperature sensor output	
Detector type	Thermopile
Operational temperature range	-40°C to +80°C
Storage temperature range	-40°C to +80°C
Humidity range	0 to 100% non-condensing
Ingress Protection (IP) rating	67
Recommended applications	Good quality measurements for hydrology networks, greenhouse climate control

Εικόνα 25: Προδιαγραφές πυρανομέτρου SMP6-V

SR05 MEASUREMENT SPECIFICATIONS:

LIST OF CLASSIFICATION CRITERIA OF ISO 9060*

ISO classification (ISO 9060: 1990)	second class pyranometer
WMO performance level (WMO-No. 8, seventh edition 2008)	moderate quality pyranometer
Response time (95 %)	18 s
Zero offset a (response to 200 W/m^2 net thermal radiation)	< 15 W/m^2 unventilated
Zero offset b (response to 5 K/h change in ambient temperature)	< $\pm 4 \text{ W}/\text{m}^2$
Non-stability	< $\pm 1 \%$ change per year
Non-linearity	< $\pm 1 \%$ (100 to 1000 W/m^2)
Directional response	< $\pm 25 \text{ W}/\text{m}^2$
Spectral selectivity	< $\pm 5 \%$ (0.35 to 1.5 $\times 10^{-6} \text{ m}$)
Temperature response	< $\pm 3 \%$ (-10 to +40 °C)
Tilt response	< $\pm 2 \%$ (0 to 90 ° at 1000 W/m^2)

Εικόνα 26: Προδιαγραφές πυρανομέτρου SR05