

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ  
ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ  
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ  
ΣΤΕΦΑΝΟΣ Α. ΓΚΟΥΦΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
Δρ. Κ.Α. ΚΑΒΒΑΔΙΑΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ  
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020

# ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από το έδαφος που προσπίπτει σε φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για την παραγωγή ενέργειας. Τουλάχιστον ένα 20% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο έδαφος, θεωρείται ευρέως αποδεκτό, ως ανακλώμενο. Στην παρούσα εργασία διερευνάται η επίδραση της ανακλαστικότητας αυτής στην ενεργειακή παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων, μέσω πειραματικής διαδικασίας που διεξάχθηκε στο δώμα του κτιρίου Γ, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, κατά το διάστημα Δεκέμβριος 2019 – Σεπτέμβριος 2020. Μέσω μετρήσεων δεκαλέπτου συγκρίθηκε η λευκαύγεια της επιφάνειας της λευκής ψηφίδας και του χαρτονιού τύπου «οντουλέ». Για κάθε υλικό, λήφθηκαν μετρήσεις δύο ημερών ώστε να μειωθεί το ποσοστό σφάλματος λόγω καιρικών συνθηκών. Ταυτόχρονα, καθώς τα υλικά ήταν τοποθετημένα εμπροσθεν των φωτοβολταϊκών πλαισίων καταγράφηκε η ενδεχόμενη επίδρασή τους στην ενεργειακή παραγωγή. Από τα αποτελέσματα, μεγαλύτερη ανακλαστικότητα παρατηρήθηκε από την λευκή ψηφίδα με λευκαύγεια 0.4-0.45, ενώ του χαρτονιού τύπου «οντουλέ» ήταν 0.3-0.35. Στην ενεργειακή παραγωγή δεν αποδείχθηκε διαφορά στην επίδραση των δύο υλικών, αλλά εντοπίστηκε η συμβολή της λευκαύγειας στην αύξηση της.

# STUDY OF THE GROUND ALBEDO EFFECT ON THE ENERGY PRODUCTION OF PHOTOVOLTAIC MODULES

## ABSTRACT

The reflected solar radiation from the ground that falls on photovoltaic panels is an important factor for energy production. At least 20% of the incident radiation on the ground is considered widely accepted as reflected. In the present project, the effect of this reflectivity on the energy production of photovoltaic panels is investigated, through an experimental process carried out on the roof of building C, University of West Attica, during the period December 2019 - September 2020. The albedo of the surface of the white tile and the "ondoule" type cardboard was compared through ten minute measurements. For each material, two-day measurements were taken to reduce the error rate due to weather conditions. At the same time, as the materials were placed in front of the photovoltaic panels, their possible effect on energy production was recorded. From the results, greater reflectivity was observed from the white tile with an albedo of 0.4-0.45, while that of the "ondoule" type cardboard was 0.3-0.35. In energy production, no difference was found in the effect of the two materials, but the contribution of albedo to its increase was identified.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία είναι δομημένη σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

### Δομή εργασίας

A/A	Τίτλος	Περιεχόμενο
1	Εισαγωγή	Παρουσιάζεται μια επισκόπηση του σκοπού της εργασίας
2	Σχεδιασμός πειράματος	Αναλύεται ο σχεδιασμός και η μεθοδολογία του πειράματος
3	Όργανα που χρησιμοποιήθηκαν	Παρουσιάζονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν και αναφέρονται οι λειτουργίες τους
4	Περιγραφή πειράματος και διαδικασίας που ακολουθήθηκε	Περιγράφονται αναλυτικά όλα τα βήματα που έγιναν κατά την διεξαγωγή του πειράματος
5	Παρουσίαση μετρήσεων και αποτελεσμάτων	Παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος
6	Συμπεράσματα	Αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των μετρήσεων.
7	Περιορισμοί πειράματος	Σχολιάζονται παράμετροι που συνέβαλαν ανασταλτικά στη διαδικασία του πειράματος
8	Προτάσεις	Αναφέρονται προτάσεις για μελλοντικές μελέτες σχετικές με την παρούσα

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	II
ABSTRACT.....	III
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	IV
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	V
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ΛΕΥΚΑΥΓΕΙΑ .....	2
1.2 ΠΩΣ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ .....	3
<b>2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>5</b>
<b>3 ΟΡΓΑΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ .....</b>	<b>6</b>
3.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ.....	6
3.2 ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΑ .....	6
3.3 ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΣΗΜΑΤΟΣ .....	8
3.4 ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	9
3.5 ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΑ (DATA LOGGERS) .....	10
<b>4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ.....</b>	<b>13</b>
4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....	13
4.2 ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ – ΒΑΣΗ ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗ ΛΕΥΚΑΥΓΕΙΑΣ.....	17
4.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ.....	19
<b>5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>21</b>
5.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	21
5.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΥΛΙΚΩΝ.....	29
<b>6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>34</b>
<b>7 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ .....</b>	<b>35</b>
<b>8 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>36</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>37</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>38</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>39</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>40</b>

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας είναι πλέον επιτακτική η ανάγκη εκμετάλλευσης εναλλακτικών μεθόδων παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές, καθώς οι συμβατικές μορφές παραγωγής όπως καύση ορυκτών πόρων, αφενός εξαντλούνται και αφετέρου εγκυμονούν κινδύνους και επηρεάζουν την κλιματική αλλαγή. Η χρήση φωτοβολταϊκών αποτελεί μια αξιόπιστη και δόκιμη λύση καθώς χρησιμοποιούνται αρκετά χρόνια και έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην εξέλιξή τους καθιστώντας τα ανταγωνιστικά σε θέμα κόστους.

Ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος (PV) βασίζεται στην ακριβή απόδοση προβλέψεων ηλεκτρικών και περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος [1]. Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση περνά από δύο βασικά στάδια, την ανάπτυξη και την πρόβλεψη της ισχύος εξόδου [2], με διάφορα είδη πληροφοριών σχετικά με τον ηλιακό πόρο που απαιτούνται σε κάθε στάδιο. Στο στάδιο ανάπτυξης, απαιτούνται αξιόπιστα στατιστικά στοιχεία για την ηλιακή ακτινοβολία για την τοποθεσία της εγκατάστασης και το σχεδιασμό του συστήματος.

Όλο και περισσότερες έρευνες διεξάγονται τελευταία, σχετικά με την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά πλαίσια μιας εγκατάστασης, καθώς η συμβολή της στην ενεργειακή παραγωγή έχει παρατηρηθεί ότι δεν είναι καθόλου αμελητέα. Στην παρούσα εργασία λοιπόν, η επίδραση αυτή, μελετάται μέσω πειραματικής διάταξης. Υλικά με διαφορετικές ανακλαστικές ιδιότητες τοποθετήθηκαν έτσι ώστε να εξετασθεί η λευκαύγειά τους με την χρήση πυρανομέτρων και να διαπιστωθεί η ενδεχόμενη διαφοροποίηση στις τιμές της παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

## 1.1 ΛΕΥΚΑΥΓΕΙΑ

### Θεωρία λευκαύγειας (albedo)

«Albedo» είναι ένας λατινικός όρος, που σημαίνει λευκότητα και στα ελληνικά αποδίδεται ως «λευκαύγεια». Γενικότερα, ground-albedo, ή απλά albedo, ορίζεται ως ο λόγος της ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία στο έδαφος [4]. Είναι ένα κλάσμα χωρίς διάσταση και λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Albedo ίσο με 0 αντιστοιχεί σε μια απόλυτα μαύρη (μελανή) επιφάνεια που δεν ανακλάται ακτινοβολία από αυτήν, όλα απορροφώνται, και albedo ίσο με 1 αντιστοιχεί σε επιφάνεια από πολύ ανακλαστικό υλικό όπως ένας καθρέφτης που διαθέτει ολική ανάκλαση, χωρίς απορρόφηση ακτινοβολίας [4,6].

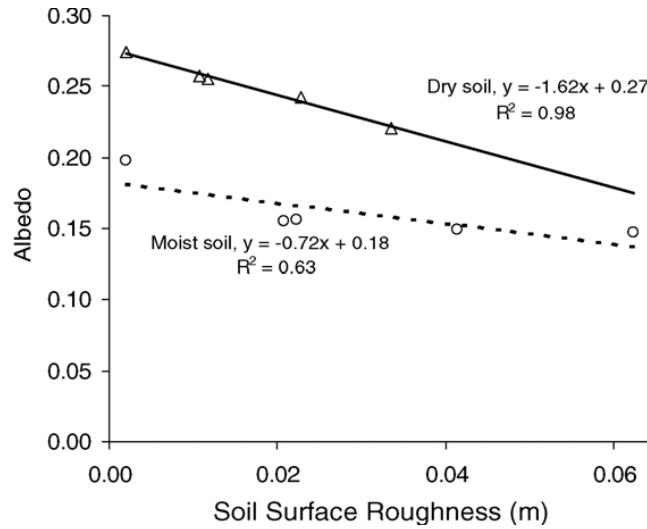
Ενδεικτικά στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται επιφάνειες πολλές από τις οποίες συναντώνται συχνά στην καθημερινότητά μας και έχουν μεγάλες διαφορές στις τιμές λευκαύγειάς τους.

**Πίνακας 1.1 - Τυπικές τιμές από διάφορα είδη επιφανειών [8]**

Επιφάνεια	Λευκαύγεια
Φρέσκο χιόνι	0.81 - 0.88
Πάγος	0.3 - 0.5
Δέντρα	0.15 - 0.18
Ωκεανοί	0.05 - 0.1
Άσφαλτος	0.05 - 0.2
Παλιό χιόνι	0.65 - 0.81
Βράχος	0.2 - 0.25
Τούβλο / Πέτρα	0.2 - 0.4
Γρασίδι	0.25 - 0.3
Κόκκινα / καφέ κεραμίδια	0.1 - 0.35
Λευκό χρώμα	0.5 - 0.9
Σκυρόδεμα	0.25 - 0.7

Το είδος της κάθε επιφάνειας παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάκλαση της ακτινοβολίας. Η ανακλαστικότητα αυτής εξαρτάται από την τραχύτητα, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που απορροφά το κάθε υλικό αλλά και το αν είναι υγρή ή ξηρή. Όσο πιο τραχύ είναι ένα υλικό τόσο περισσότερες ανακλάσεις θα δημιουργούνται στην επιφάνειά του, με αποτέλεσμα πολλές από αυτές να καταλήγουν πάλι στο ίδιο το υλικό και η συνολική ανάκλαση της επιφάνειας αυτής να μειώνεται. Κάθε υλικό απορροφά ένα μήκος κύματος ακτινοβολίας το οποίο παρατηρείται ως αύξηση της θερμοκρασίας του, ενώ το υπόλοιπο ανακλάται. Ένα έδαφος με μεγάλη υγρασία είναι πιο σκούρο από ένα ξηρό έδαφος. Αυτό οφείλεται στο ότι το νερό αντικαθιστά τον αέρα ανάμεσα στους πόρους του υλικού και αυξάνει τη πιθανότητα απορρόφησης του φωτός. Συνεπώς μια υγρή

επιφάνεια τείνει να έχει μικρότερη ανακλαστικότητα καθώς απορροφάτε μεγαλύτερο μήκος κύματος ακτινοβολίας.



Σχήμα 1.1 - Απεικόνιση λευκαύγειας συναρτήσεως της τραχύτητας και της υγρασίας του εδάφους [10]

## 1.2 Πως επηρεάζονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια από την ανακλαστικότητα των επιφανειών

Η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μια επιφάνεια όπως ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, δεδομένης κλίσης είναι το άθροισμα των παρακάτω συνιστωσών:

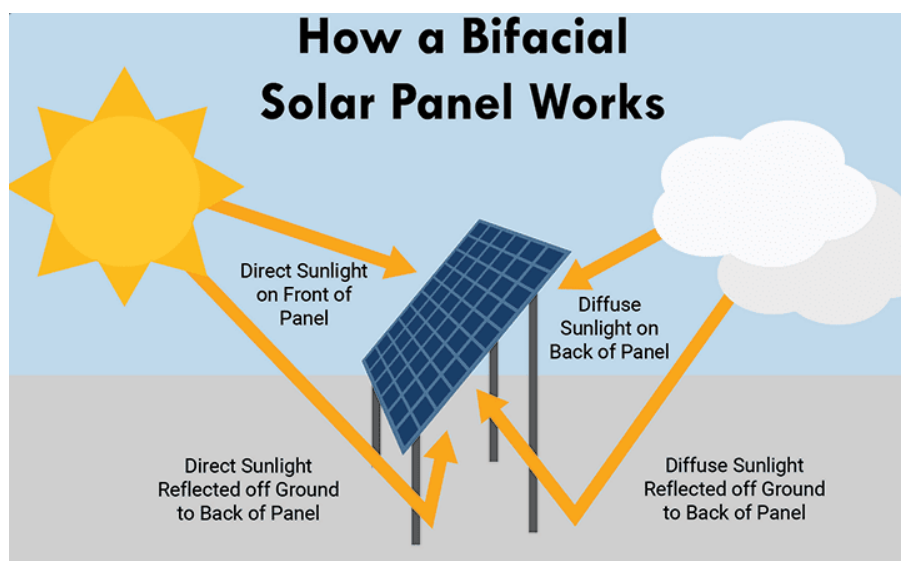
- Άμεσης δέσμης μεταξύ ήλιου και πλαισίου,
- Διάχυτης ακτινοβολίας του ουρανού όπως από σύννεφα και μικροσωματίδια
- Ανακλώμενης ακτινοβολίας από διάφορες επιφάνειες, η οποία προκύπτει και από τις δύο προηγούμενες.

Για την επιτυχημένη πρόβλεψη της παραγωγής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, είναι σημαντικό οι υπολογισμοί της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι ακριβείς, να είναι πολύ κοντά με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Μια συνήθης προσέγγιση είναι να θεωρήσουμε μια σταθερή τιμή λευκαύγειας 0,2, ελλείψει μετρούμενων δεδομένων ανακλώμενης ακτινοβολίας εδάφους και χρησιμοποιείται στη μοντελοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Παρ' όλα αυτά, σύμφωνα με την ανάλυση του Kotak [3] η σταθερή τιμή αυτή δεν είναι αξιόπιστη και ικανοποιητική. Δεν παρέχει τα ακριβή αποτελέσματα για την ανάκλαση ακτινοβολίας. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από την σταθερή τιμή λευκαύγειας και τις πραγματικές τοπογραφικές τιμές αυτής, υπάρχει ένα αξιοσημείωτο όφελος 31% για την ακτινοβολία που αντανακλά το έδαφος [3]. Άρα οι επιφάνειες του προσκηνίου μπορεί να έχουν διαφορετικά albedos, και συνεπώς μια σταθερή τιμή albedo είναι ακατάλληλη.



Μια ηλιακή μονάδα τοποθετημένη σε κεκλιμένη οροφή μπορεί να δέχεται ανακλάσεις από διαφορετικές επιφάνειες εδάφους όπως γρασίδι, δρόμους από πίσσα άλλων κτιρίων και χιονιού. Επομένως, μια καλή εκτίμηση του albedo του γύρω εδάφους αποτελεί προϋπόθεση για τον προσδιορισμό της ισορροπίας ακτινοβολίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος [8].

Η τιμή albedo καθίσταται ακόμη πιο σημαντική στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών κυττάρων διπλής όψης, τα οποία προορίζονται να παράγουν περισσότερη ενέργεια καθώς συλλέγουν ακτινοβολία στην μπροστινή πλευρά αλλά και την πίσω με σύλληψη φωτός που ανακλάται από την επιφάνεια κάτω από τη μονάδα και από το περιβάλλον, σχήμα 1.1. Συναντάται συχνά σε βόρειες περιοχές που κυριαρχούν νεφελώδεις ουρανοί και έχουν υψηλή συχνότητα μ μικρής κλίσης ακτινοβολίας, και συνεπώς η αντανάκλαση του εδάφους είναι ένας σημαντικός συντελεστής για τη συνολική αύξηση της ηλιακής ενέργειας.



Σχήμα 1.2 - Συνιστώσες προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε φωτοβολταϊκή μονάδα διπλής όψης (bifacial PV module) [9]

## 2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Κατόπιν έρευνας από σχετικές μελέτες και πειράματα αλλά και καθοδήγησης από τον επιβλέποντα καθηγητή και τους καθηγητές του εργαστηρίου ήπιων μορφών ενέργειας και προστασίας περιβάλλοντος του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου, αποφασίστηκε η διαδικασία και ο τρόπος εκτέλεσης του πειράματος βάση του ήδη υπάρχοντος εξοπλισμού. Περιλάμβανε :

- Βαθμονόμηση και έλεγχος αξιοπιστίας πυρανομέτρων.
- Δημιουργία μεταλλικής βάσης στήριξης για αυτοσχέδια κατασκευή οργάνου μέτρησης λευκαύγειας (albedo), αλμπιντόμετρο (albedometer). Δύο πυρανόμετρα μαζί με  $180^\circ$  γωνία μεταξύ τους.
- Χρήση λευκής ψηφίδας ως υλικό υψηλής ανακλαστικότητας και χαρτόνι τύπου «οντουλέ» χαμηλής για την προσομοίωση εδάφους, από το οποίο επηρεάζονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.
- Λήψη μετρήσεων ενεργειακής παραγωγής φωτοβολταϊκών πλαισίων, ηλιακής ακτινοβολίας, οριζόντιου, κεκλιμένου και ανακλώμενης ανά 10 λεπτά.
- Φωτοβολταϊκά πλαίσια σε  $30^\circ$  και  $40^\circ$ , καθώς σε λιγότερες μοίρες η συμβολή της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τα υλικά που επιλέχθηκαν θα ήταν αδύνατο να εντοπιστεί.

### 3 ΟΡΓΑΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

#### 3.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Σημαντικό ρόλο στην διεξαγωγή του πειράματος είχαν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια της εταιρείας aleo, τα οποία εδράζονταν με βάση η οποία είχε την δυνατότητα να αλλάζει την κλίση τους σε προκαθορισμένες μοίρες. Έτσι υπήρχε η δυνατότητα να γίνουν μετρήσεις σε 30° και 40° μοίρες με ευκολία. Το σύστημα από το οποίο λήφθηκαν οι μετρήσεις απαρτιζόταν από δύο πλαίσια, τα οποία απεικονίζονται στο σχήμα 3.1 συνολικής ονομαστικής ισχύος 470 W.

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πλαισίου

Ονομαστική ισχύς  $PMPP$  [W] : 235

Ονομαστική τάση  $UMPP$  [V] : 29.3

Ονομαστικό ρεύμα  $IMPP$  [A] : 80.1

Τάση άνευ φορτίου  $UOC$  [V] : 36.8

Ρεύμα βραχυκύκλωσης  $ISC$  [A] : 8.54

Απόδοση  $\eta$  [%] : 14.3

Επιφάνεια ανά μονάδα ισχύος  $AP$  [ $m^2/kWP$ ] :  
6.99



Σχήμα 3.1 - Φωτοβολταϊκά πλαίσια aleo

#### 3.2 Πυρανόμετρα

Οι μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο αλλά και κεκλιμένο επίπεδο, έγιναν με τρία πυρανόμετρα. Δύο εξ αυτών ήταν τα Kipp & zonen CM11, τα οποία τοποθετήθηκαν σε βάση με βραχίονα ώστε το ένα να μετρά ακτινοβολία ουράνιου θόλου και το άλλο ανακλώμενη ακτινοβολία εδάφους. Η ακρίβεια στην απόλυτα οριζόντια θέση, επιτυγχάνεται λόγω ύπαρξης ενσωματωμένης αεροστάθμης για την ρύθμιση των κοχλίων στους οποίους εδράζονται.

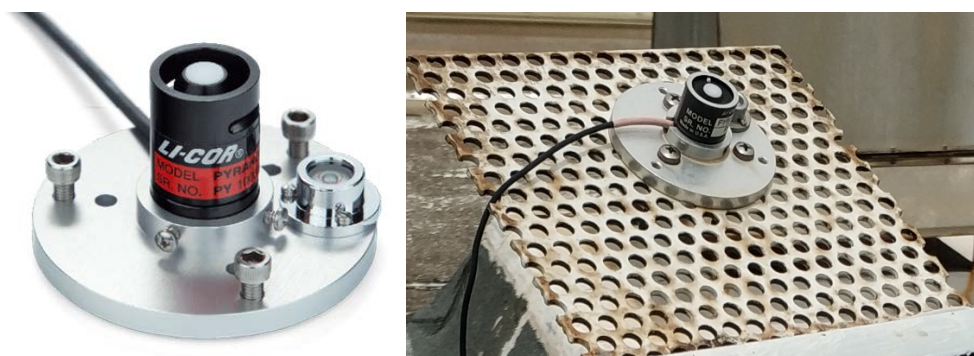


Σχήμα 3.2 - Πυρανόμετρο kipp & zonen CM11

#### Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Ευαισθησία : μεταξύ 4 και 6μV/Wm<sup>-2</sup>
- Αντίσταση : 700 – 1500 Ohm
- Εξάρτηση της ευαισθησίας από τη θερμοκρασία : <1% (-10 °C έως +40 °C)
- Θερμοκρασία λειτουργίας : -40 °C έως +80 °C
- Σφάλμα κλίσης : < 0.25% (δέσμη 1000 W/m<sup>2</sup> )
- Ακτινοβολία : 0 – 1400 W/m<sup>2</sup> (μέγιστο 4000 W/m<sup>2</sup>)
- Τάση εξόδου

Το τρίτο πυρανόμετρο ήταν το LI-200R της εταιρείας LI-COR και χρησιμοποιήθηκε στην λήψη μετρήσεων σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία που ταυτιζόταν με εκείνη των φωτοβολταϊκών πλαισίων του πειράματος. Διαθέτει όπως τα άλλα πυρανόμετρα, αεροστάθμη αλλά η βάση του είναι πλήρως επίπεδη με ποικίλες επιλογές τοποθέτησης και σύσφιξης κατευθείαν πάνω σε φωτοβολταϊκά πλαίσια.



Σχήμα 3.3 - Πυρανόμετρο LI-COR LI-200R

## Τεχνικά Χαρακτηριστικά

- Ευαισθησία: Τυπικά 75  $\mu\text{A}$  ανά 1.000  $\text{W m}^{-2}$
- Γραμμικότητα: Μέγιστη απόκλιση 1% έως 3.000  $\text{W m}^{-2}$
- Χρόνος απόκρισης: Λιγότερο από 1 $\mu\text{s}$  (καλώδιο 2 m τερματίζεται σε φορτίο 147 Ohm)
- Εξάρτηση θερμοκρασίας: μέγιστο  $\pm 0,15\%$  ανά  $^{\circ}\text{C}$
- Διόρθωση συνημίτονου: Το συνημίτονο διορθώνεται έως και  $82^{\circ}$  γωνία πρόσπτωσης
- Αζιμούθιο:  $<\pm 1\%$  σφάλμα πάνω από  $360^{\circ}$  σε  $45^{\circ}$  ανύψωση
- Κλίση: Δεν προκύπτει σφάλμα από τον προσανατολισμό
- Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας:  $-40^{\circ}\text{C}$  έως  $65^{\circ}\text{C}$
- Εύρος σχετικής υγρασίας: 0% έως 100% RH, χωρίς συμπύκνωση

### 3.3 Ενισχυτής σήματος

Το καταγραφικό που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της λευκαύγειας είχε εύρος εισόδου τάσης 0 έως 2.5 V, ενώ οι αισθητήρες των πυρανομέτρων είχαν έξοδο 0 έως 20 mV. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε επιπλέον ο Tropos 20mV-2.5V που λειτουργεί ως ενισχυτής με κέρδος τάσης 116 φορές, ώστε το εύρος του σήματος από τα πυρανόμετρα να ταυτίζεται με το εύρος τάσης εισόδου του καταγραφικού. Έτσι αξιοποιείται στο μέγιστο η ανάλυση του μετατροπέα ADC του καταγραφικού.

#### Τεχνικές Προδιαγραφές

TROPOS	ΕΥΡΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΕΥΡΟΣ ΕΞΟΔΟΥ	ΑΚΡΙΒΕΙΑ	ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ
20mV-2.5V	0~20mV	0~2.5V	0.3%	6~30V @ 1mA

Ο αισθητήρας πρέπει να είναι απομονωμένος, δηλ. να μην αναφέρεται στη γη του TROPOS.

**ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ:** Από υπερτάσεις και ανάποδες συνδέσεις στους ακροδέκτες τροφοδοσίας.

**ΚΟΥΤΙ:** Ράγας, 80 x 23 x 74 mm.

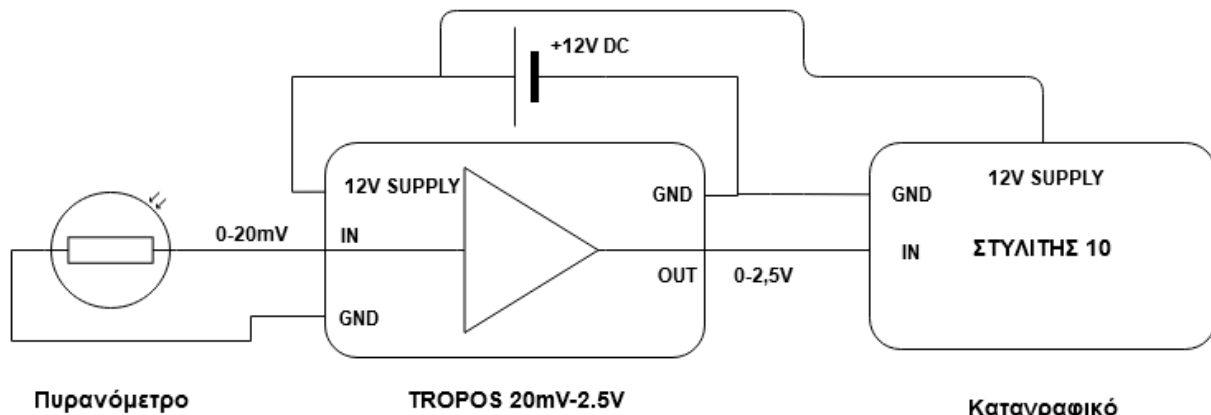
**ΒΑΡΟΣ:** 80gr.

**ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ:**  $-30^{\circ}\sim+70^{\circ}$

**IP RATING:** 20



**Σχήμα 3.4 - Ενισχυτής Tropos  
20mV-2.5V**



Σχήμα 3.5 - Συνδεσμολογία Πυρανομέτρων λευκαύγειας - Ενισχυτών – Τροφοδοσίας

### 3.4 Ρυθμιστής φόρτισης

Το φωτοβολταϊκό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του παρόντος πειράματος είναι αυτόνομο. Συνεπώς η ενεργειακή παραγωγή των πλαισίων αποθηκεύεται σε συσσωρευτές. Για αυτό το σκοπό υπεύθυνος είναι ο ρυθμιστής φόρτισης flexmax-60 της εταιρείας outback. Το συγκεκριμένο όργανο έχει την δυνατότητα, μέσω της οθόνης (σχήμα 3.6), να εμφανίζει στιγμιαίες τιμές ρεύματος, τάσης αλλά και παραγωγής που αφορούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τους συσσωρευτές. Η λήψη των μετρήσεων αυτών έγινε από την οθόνη, με τιμές ανά 10 λεπτά, δεδομένου του γεγονότος πως δεν αποθηκεύονταν και δεν υπήρχε η ευχέρεια χρήσης άλλου οργάνου.



Σχήμα 3.6 - Ρυθμιστής φόρτισης

### 3.5 Καταγραφικά (data loggers)

#### ΣΤΥΛΙΤΗΣ 10

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του οργάνου που τοποθετήθηκε για την καταγραφή των μετρούμενων τιμών ηλιακής ενέργειας, για τον υπολογισμό λευκαύγειας υλικών, Στυλίτη -10 είναι:

- Πολλαπλές δυνατότητες δικτύωσης.
- 8 πολύ-λειτουργικά κανάλια, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως είσοδοι μέτρησης ή έξοδοι ελέγχου.
- Ολοκληρωμένο σύστημα, μέρος ενός πλήρους συστήματος, ο Stylitis-10 συνεργάζεται με άλλα προϊόντα της Symmetron:
  - **Opton 4** – Λογισμικό διαχείρισης δεδομένων και καταγραφικών
  - **AutoConnect** – Λογισμικό αυτομάτων συνδέσεων και κατεβάσματος.
- Τα δεδομένα συμπίεζονται και αποθηκεύονται στην εσωτερική μνήμη flash 4MB και στην αποσπώμενη κάρτα SD flash 2GB. Η ανάκτηση δεδομένων γίνεται μέσω οποιασδήποτε θύρας ή modem. Το δωρεάν λογισμικό **Opton 4** διαχειρίζεται τη λειτουργία του καταγραφικού. Επίσης, κατεβάζει και διαχειρίζεται αρχεία δεδομένων.

Τεχνικές προδιαγραφές

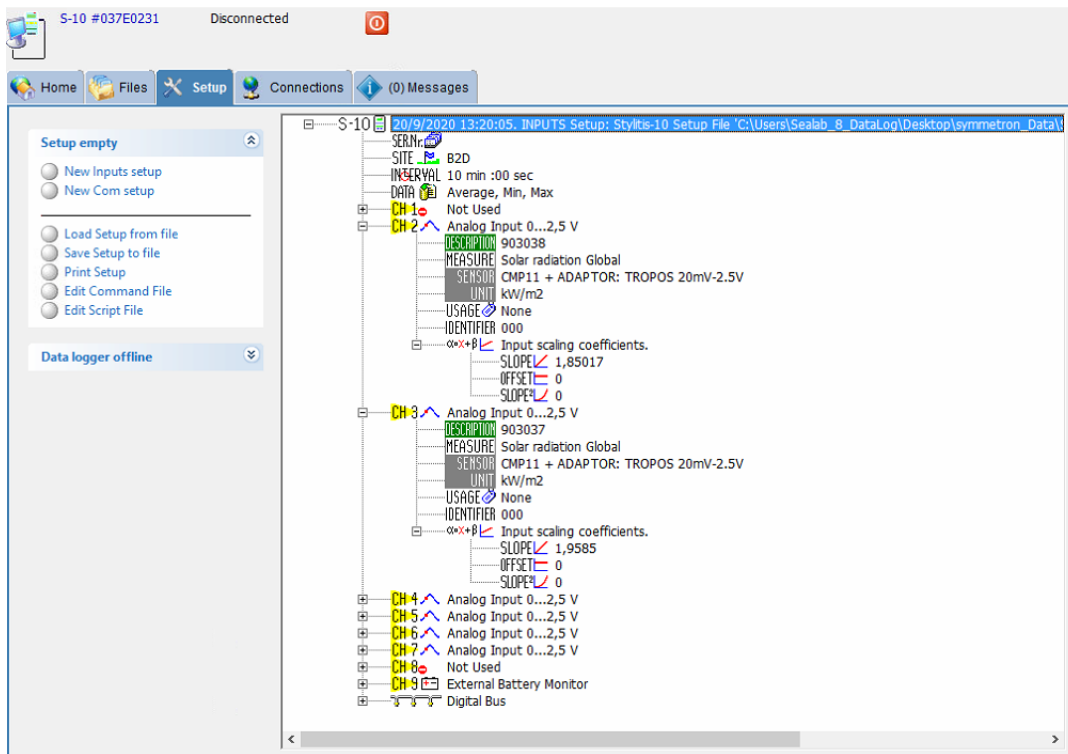
#### ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

- Προστασία από υπέρταση & ασφάλεια σε όλες τις εισόδους και εξόδους.

#### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

- Ανεξάρτητα προγραμματιζόμενα slope, slope2 και offset για κάθε είσοδο. Δειγματοληψία: 1 Hz. Υπολογισμός του  $ax^2+bx+c$ .
- Στατιστικό διάστημα από 1 δευτ. ~ 1 ώρα.
- Επιλεγόμενη αποθήκευση Μέσων, Μέγιστων, Ελαχίστων και Τυπικής Απόκλισης.

Στο σχήμα 3.7 εμφανίζεται η παραμετροποίηση των καναλιών δύο και τρία, οι οποίες λάμβαναν τα σήματα των πυρανομέτρων που μετρούσαν λευκαύγεια.



**Σχήμα 3.7 - Ρυθμίσεις καταγραφικού για τις θύρες 2 και 3 που συνδέονται τα πυρανόμετρα λευκαύγειας**

#### ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

- 2 ενσωματωμένες σειριακές θύρες RS232 και μια Ethernet για επικοινωνία με PC, εξωτερικό modem, κλπ.

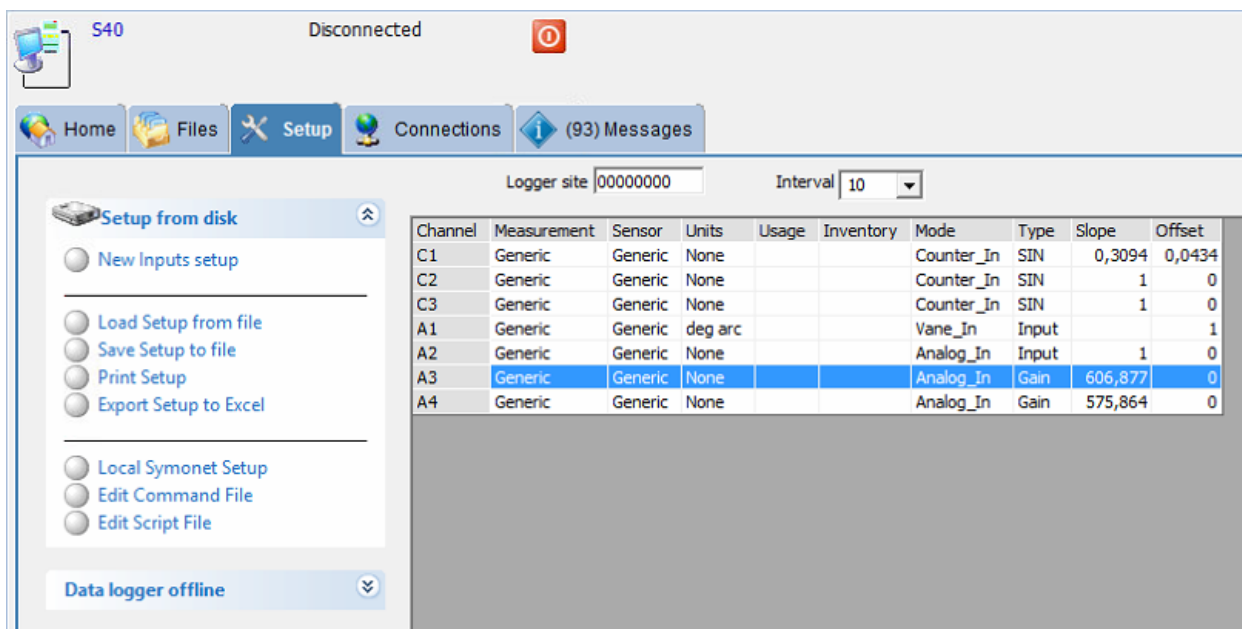


**Σχήμα 3.8 - Καταγραφικό στυλίτης 10**



## ΣΤΥΛΙΤΗΣ 40

Ο ρόλος του συγκεκριμένου καταγραφικού οργάνου στο πείραμα ήταν η λήψη μετρήσεων από το πυρανόμετρο LI-COR. Οι λειτουργίες του είναι όμοιες με του στυλίτη 10, αλλά περισσότερες. Το μέγεθός του είναι σημαντικά μεγαλύτερο και έχει πλήθος δυνατοτήτων για ρυθμίσεις μέσω των πλήκτρων και της οθόνης του σε αντίθεση με το συγκενικό καταγραφικό. Επίσης, είναι τοποθετημένο εξ κατασκευής σε στεγανό κυτίον για χρήση σε εξωτερικούς χώρους, παρότι στην συγκεκριμένη πειραματική διάταξη βρίσκεται μέσα στο εργαστήριο «Ηπιων μορφών ενέργειας».



The screenshot shows the Symmetron software interface. At the top, it displays 'S40' and 'Disconnected'. Below this is a navigation bar with 'Home', 'Files', 'Setup', 'Connections', and '(93) Messages'. The main area is titled 'Setup from disk' and contains several options: 'New Inputs setup', 'Load Setup from file', 'Save Setup to file', 'Print Setup', 'Export Setup to Excel', 'Local Symonet Setup', 'Edit Command File', and 'Edit Script File'. A 'Data logger offline' status is shown at the bottom left. On the right, there is a table with columns: Channel, Measurement, Sensor, Units, Usage, Inventory, Mode, Type, Slope, and Offset. The table contains four rows of data, with the third row (A3) highlighted in blue.

Channel	Measurement	Sensor	Units	Usage	Inventory	Mode	Type	Slope	Offset
C1	Generic	Generic	None			Counter_In	SIN	0,3094	0,0434
C2	Generic	Generic	None			Counter_In	SIN	1	0
C3	Generic	Generic	None			Counter_In	SIN	1	0
A1	Generic	Generic	deg arc			Vane_In	Input		1
A2	Generic	Generic	None			Analog_In	Input	1	0
A3	Generic	Generic	None			Analog_In	Gain	606,877	0
A4	Generic	Generic	None			Analog_In	Gain	575,864	0

Σχήμα 3.9 Ρυθμίσεις στυλίτη 40 για πυρανόμετρο LI-COR



Σχήμα 3.10 Στυλίτης 40

## 4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΟΥ ΑΚΟΛΟΥΘΗΘΗΚΕ

### 4.1 Περιγραφή πειράματος

Το πείραμα έγινε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Πανεπιστημιούπολη 2, δώμα του κτιρίου Γ (37°58'41.6"N 23°40'23.2"E), διεξήχθη κατά το διάστημα Δεκεμβρίου 2019 και Σεπτεμβρίου 2020 με σκοπό την σύγκριση ενεργειακής παραγωγής φωτοβολταϊκών πλαισίων σε διαφορετικές μοίρες και διαφορετικά υλικά στο έδαφος μπροστά τους. Για αυτό το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής:

- φωτοβολταϊκά πλαίσια
- πυρανόμετρα
- ενισχυτής σήματος
- ρυθμιστής συσσωρευτών
- καταγραφικά (data loggers)
- κάμερα
- λευκή ψηφίδα
- χαρτόνι τύπου «οντουλέ»

Αρχικά, απομακρύνθηκαν, από τον χώρο που αξιοποιήθηκε, ορισμένα κάτοπτρα, τα οποία ήταν μέρος ενός άλλου πειράματος.



**Σχήμα 4.1 - Απομάκρυνση κατόπτρων**

Όταν ο χώρος διαμορφώθηκε κατάλληλα ο χώρος, ξεκίνησε η κατασκευή ενός αυτοσχέδιου βραχίονα στήριξης για δύο πυρανόμετρα, ο οποίος στηρίζεται σε δική του ανεξάρτητη και αποσπώμενη βάση.



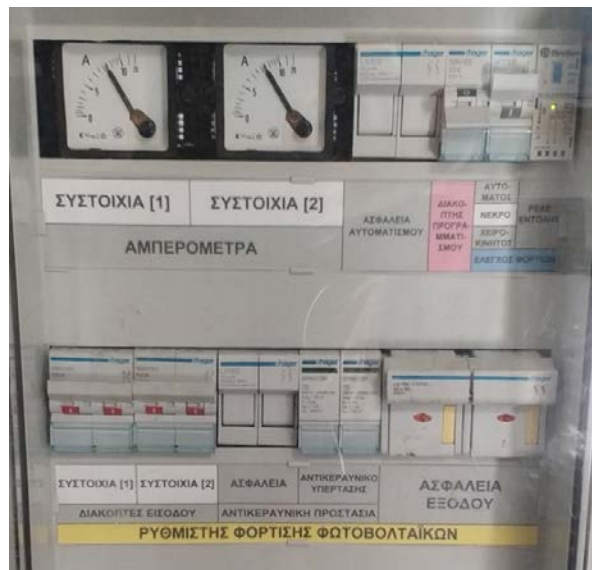
**Σχήμα 4.2 - Βραχίονας στήριξης πυρανομέτρων**

Αφού ετοιμάστηκε έγινε βαθμονόμηση στα δύο πυρανόμετρα (σχήμα 4.12), για τις μετρήσεις της λευκαύγειας και αυτά στερεώθηκαν πάνω στον βραχίονα στήριξης (σχήμα 4.9). Το τρίτο πυρανόμετρο, το οποίο ήδη βρισκόταν στο δώμα του κτιρίου Γ, προσαρμοζόταν αναλόγως στην κλίση του φωτοβολταϊκού, με την βοήθεια κλισιοσκοπίου, για τις ανάγκες των μετρήσεων.



**Σχήμα 4.3 - Χρήση κλισιοσκοπίου για την ταύτιση της γωνίας του πυρανομέτρου με εκείνη των φωτοβολταϊκών πλαισίων της πειραματικής διάταξης**

Δύο συστοιχίες φωτοβολταϊκών ήταν συνδεδεμένες με τον ρυθμιστή φόρτισης και χρειάστηκε να απομονωθεί η συστοιχία 2, για να ληφθούν οι μετρήσεις μόνο από αυτήν.



**Σχήμα 4.4 - Πίνακας φωτοβολταϊκών πλαισίων πειράματος**

Εν συνεχεία, συνδέθηκαν τα καταγραφικά (data loggers), οι μετατροπείς σήματος και μια μπαταρία 12V και τοποθετήθηκαν σε αδιάβροχο ηλεκτρολογικό πίνακα για προστασία από τις οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες.



**Σχήμα 4.5 - Καταγραφικό πυρανομέτρων μέτρησης λευκαύγειας με ενισχυτές τάσης και μπαταρία 12V**

Παράλληλα, για τις ανάγκες του πειράματος κατασκευάστηκε ένα ξύλινο πλαίσιο, διαστάσεων 2x3m, για να τοποθετηθούν αργότερα τα υλικά. Στο ξύλινο πλαίσιο μπήκε νάιλον, το οποίο αρχικά καλύφθηκε με το πρώτο υλικό, δηλαδή, λευκή ψηφίδα, για να ξεκινήσουν οι μετρήσεις.



**Σχήμα 4.6 - Τελική διάταξη με πλαίσιο και λευκή ψηφίδα ως ανακλαστικό υλικό**

Πριν την έναρξη καταγραφής των μετρήσεων παρατηρήθηκε πως οι τιμές που παρείχε το προσαρμοσμένο κατά την κλίση πυρανόμετρο ήταν ασταθείς. Διαπιστώθηκε πως το καλώδιο που μετέφερε το σήμα από το δώμα έως το καταγραφικό που βρισκόταν στο εργαστήριο ήταν φθαρμένο και χρειάστηκε να αντικατασταθεί.

Οι μετρήσεις παραγωγής ενέργειας έγιναν με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στις 30° και 40°. Στο σημείο αυτό, να σημειωθεί πως για την καταγραφή τους χρειάστηκε να τοποθετηθεί κάμερα, διότι ο ρυθμιστής φόρτισης εμφάνιζε τις τιμές στην οθόνη του στιγμιαία και δεν γινόταν καταγραφή δεδομένων, κάτι που κατέστησε τη λήψη αυτών με κάμερα απαραίτητη.



**Σχήμα 4.7 - Λήψη μετρήσεων παραγωγής ενέργειας από φορτιστή μπαταριών με κάμερα**

Όταν συλλέχθηκαν τα στοιχεία, το υλικό άλλαξε σε χαρτόνι τύπου «οντουλέ» και ακολουθήθηκε η ίδια ακριβώς διαδικασία.



Σχήμα 4.8 - Πειραματική διάταξη με ανακλαστικό υλικό χαρτόνι τύπου «οντουλέ»

## 4.2 Βραχίονας – βάση πυρανομέτρων για μέτρηση λευκαύγειας

Όπως προαναφέρθηκε, η λευκαύγεια είναι αποτέλεσμα του λόγου της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας, σε ένα υλικό, προς την προσπίπτουσα. Συνεπώς, για την μέτρηση της χρησιμοποιήθηκαν δύο πυρανόμετρα τα οποία τοποθετήθηκαν οριζόντια σε αυτοσχέδια μεταλλική βάση με βραχίονα, με το ένα να κοιτάει τον ουράνιο θόλο και το άλλο το έδαφος.



Σχήμα 4.9 - θέση πυρανομέτρων μέτρησης λευκαύγειας

Η κατασκευή της βάσης αυτής επιτεύχθηκε ανακυκλώνοντας διάφορα μεταλλικά υλικά, καθώς ο προϋπολογισμός ήταν περιορισμένος, όπως στρατζαριστή λαμαρίνα πάχους 1mm για τον βραχίονα και κοιλοδοκό πάχους 2mm για την στήριξη του. Ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση έγιναν με γνώμονα την αποτελεσματικότερη τοποθέτηση των πυρανομέτρων, την αποδοτικότητα της κατασκευής έτσι ώστε οι μετρήσεις να έχουν όσο το δυνατόν μικρότερο σφάλμα, παραδείγματος χάριν σκίαση, αλλά και την αντοχή, σταθερότητα και δυνατότητα μεταφοράς της. Επιπροσθέτως, λήφθηκαν υπόψιν οι σχετικές οδηγίες για τον τρόπο τοποθέτησης λευκαύγειας από

το έντυπο προδιαγραφών των πυρανομέτρων. Το ύψος του βραχίονα από το έδαφος είναι 1m, η απόσταση των πυρανομέτρων από τον κορμό της βάσης 1m και ο σταυρός 1x1m. Αρχικά είχε γίνει πρόβλεψη, έτσι ώστε το οριζόντιο κομμάτι στο οποίο τοποθετούνται και τα πυρανόμετρα, να έχει την δυνατότητα αυξομείωσης ύψους και για αυτό ο κατακόρυφος άξονας έχει τρύπες σε διάφορα ύψη.



**Σχήμα 4.10 - Κατασκευή βραχίονα με δυνατότητα αυξομείωσης ύψους**

Στη συνέχεια όμως, εκτιμήθηκε ότι αυτό θα δημιουργούσε άλλες δυσχέρειες σχετικά με την σταθερότητα και την πρακτικότητα της κατασκευής, παρά το γεγονός ότι θα υπήρχαν περισσότερες επιλογές ύψους και επομένως ενώθηκαν με ηλεκτροκόλληση. Άρα, η κατασκευή αποτελείται από δύο μέρη, τα οποία συναρμολογούνται συσφίγγοντας περικόχλια στους κοχλίες που ενσωματώθηκαν στον σταυρό στο κάτω μέρος για να ισορροπεί και τον κυρίως κορμό με το βραχίονα που συγκρατεί και τα πυρανόμετρα.



**Σχήμα 4.11 - Συγκόλληση βραχίονα στον κορμό της βάσης**

### 4.3 Βαθμονόμηση

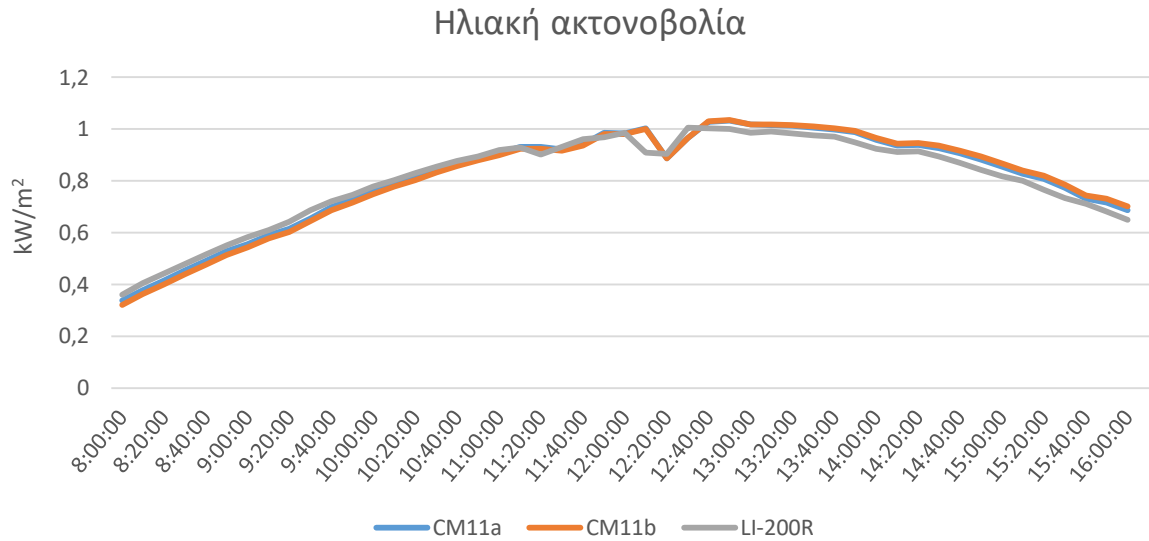
Για την βαθμονόμηση των δύο πυρανομέτρων Kipp & Zonen CM11 χρησιμοποιήθηκε ως πρότυπο το τρίτο πυρανόμετρο του πειράματος LI-COR, το οποίο ήταν ήδη βαθμονομημένο καθώς αποτελεί όργανο του εργαστηρίου. Τοποθετήθηκαν και τα τρία μαζί πάνω σε ένα μεταλλικό κεκλιμένο πλαίσιο, έχοντας όλα την ίδια κλίση.



**Σχήμα 4.12 - Βαθμονόμηση πυρανομέτρων**

Εν συνεχεία, καταγράφηκαν με data logger οι μετρήσεις για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από μια ολόκληρη ημέρα. Ωστόσο οι σύγκριση μεταξύ τους δεν περιλάμβανε τις ώρες της ανατολής και της δύσης του ηλίου, καθώς τα όργανα βρίσκονταν πολύ κοντά μεταξύ τους και υπήρχαν σκιάσεις. Στο σχήμα 4.13 παρουσιάζονται σε διάγραμμα οι καμπύλες των οργάνων. Η ομοιότητα αυτή στις καμπύλες, μεταφράζεται σε αριθμούς ως 3% μέση ποσοστιαία απόκλιση μεταξύ CM11a – LI-200R, 5% μεταξύ CM11b - LI-200R και 1% μεταξύ CM11a - CM11b. Οι αποκλίσεις σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο ως πρότυπο πυρανόμετρο δεν είναι αμελητέες, αλλά στην προκυμμένη περίπτωση η απόκλιση μεταξύ των kipp & zonen, των οποίων οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για να υπολογιστή η λευκαύγεια, είναι αποδεκτή.





**Σχήμα 4.13 - Συγκριτικό διάγραμμα ηλιακής ακτινοβολίας τριών πυρανομέτρων**

Κάθε ένα από τα πυρανόμετρα kipp & zonen CM11, παρότι είναι ίδιο μοντέλο έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν. Αυτά τα χαρακτηριστικά αναφέρονται από τον κατασκευαστή ή βαθμονομούνται από πιστοποιημένο φορέα όπως το Ινστιτούτο ερευνών περιβάλλοντος & βιώσιμης ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών στο οποίο είχε γίνει το 2004 βαθμονόμηση. Αυτά τα χαρακτηριστικά καταχωρούνται ως παράμετροι στο data logger, ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν ακριβέστερες μετρήσεις.

## 5 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 5.1 Παρουσίαση μετρήσεων

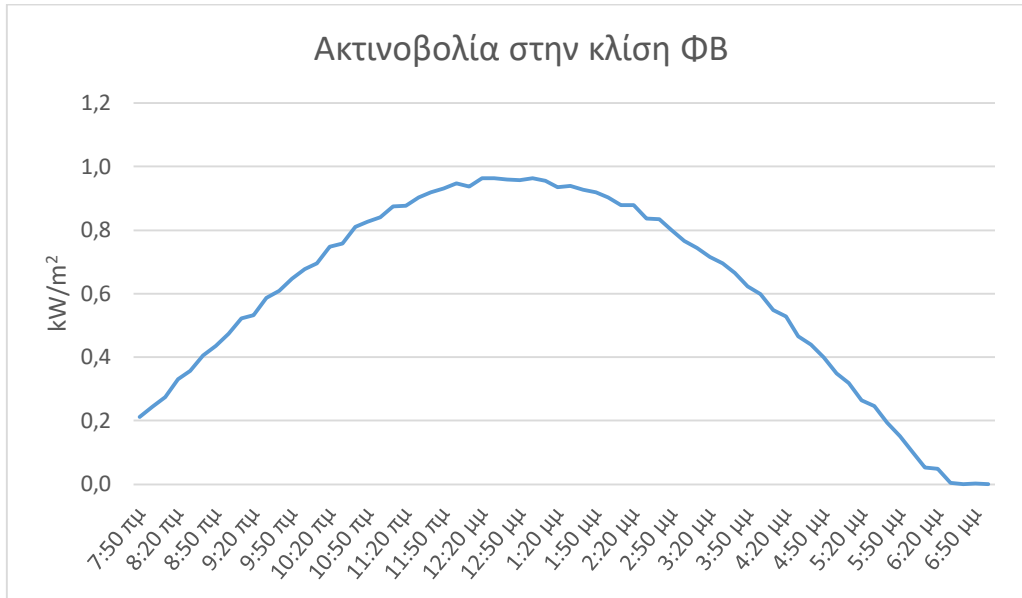
Οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν κατά την διεξαγωγή του πειράματος ήταν δύο ειδών. Εκείνες από τα τρία πυρανόμετρα, που αφορούν άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο, και έμμεση η οποία προερχόταν εξ ανακλάσεως των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν ως 'έδαφος'. Ακόμη, λήφθηκαν στοιχεία για την ενεργειακή παραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Από τα δεδομένα όλων αυτών των μετρήσεων αξιολογήθηκε ότι θα πρέπει να αρχειοθετηθούν και να επεξεργαστούν όσα βρίσκονταν στο χρονικό διάστημα μεταξύ 7.50πμ έως 7μμ, ανά δεκάλεπτο. Η διαδικασία πλήρους καταγραφής ξεκίνησε στις 4 Σεπτεμβρίου με τα πλαίσια στις 40° και την χρήση λευκής ψηφίδας. Ενδεικτικά στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι μετρήσεις για την πρώτη ημέρα, από τον οποίο δημιουργήθηκαν και τα διαγράμματα των σχημάτων 5.1-5.5.

Πίνακας 5.1 Πίνακας μετρήσεων 4/9/2020 για κλίση 40° με χρήση λευκής ψηφίδας

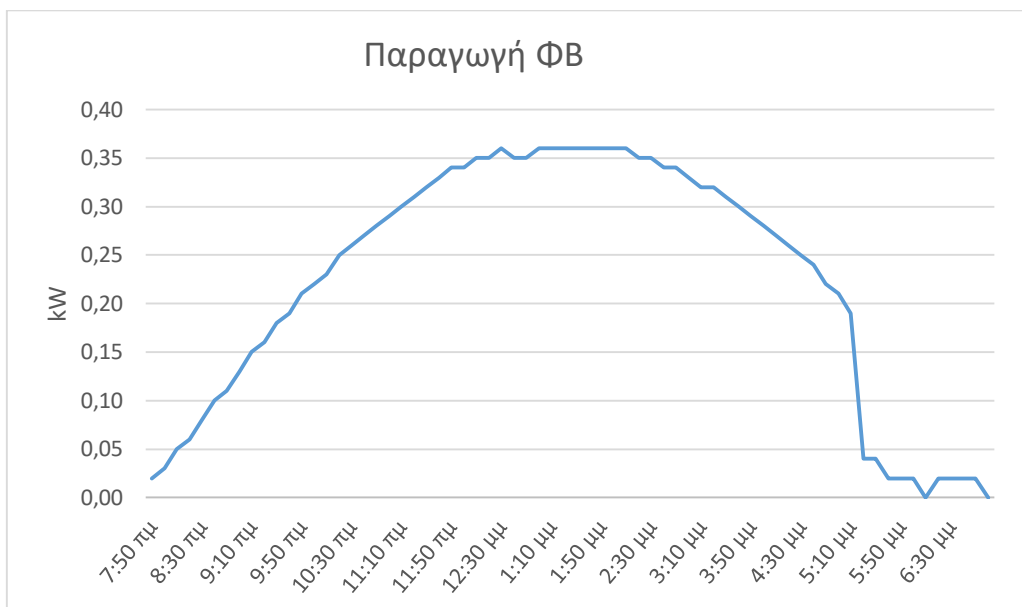
Ημερομηνία	Ωρα	Παραγωγή ΦΒ (kW)	Πυρανόμετρο ουράνιου θόλου (kW/m <sup>2</sup> )	Πυρανόμετρο μέτρησης ανάκλασης (kW/m <sup>2</sup> )	Ακτινοβολία στην κλίση ΦΒ (kW/m <sup>2</sup> )	Λευκαύγεια
4-Σεπ	7:50 πμ	0.020	0.0800	0.0214	0.2122	0.2675
4-Σεπ	8:00 πμ	0.030	0.1422	0.0545	0.2444	0.3833
4-Σεπ	8:10 πμ	0.050	0.1708	0.0714	0.2750	0.4180
4-Σεπ	8:20 πμ	0.060	0.2026	0.0906	0.3302	0.4472
4-Σεπ	8:30 πμ	0.080	0.2346	0.1071	0.3568	0.4565
4-Σεπ	8:40 πμ	0.100	0.2692	0.1242	0.4049	0.4614
4-Σεπ	8:50 πμ	0.110	0.2999	0.1375	0.4349	0.4585
4-Σεπ	9:00 πμ	0.130	0.3347	0.1539	0.4739	0.4598
4-Σεπ	9:10 πμ	0.150	0.3656	0.1689	0.5219	0.4620
4-Σεπ	9:20 πμ	0.160	0.4005	0.1852	0.5325	0.4624
4-Σεπ	9:30 πμ	0.180	0.4354	0.2025	0.5871	0.4651
4-Σεπ	9:40 πμ	0.190	0.4690	0.2176	0.6099	0.4640
4-Σεπ	9:50 πμ	0.210	0.5009	0.2322	0.6476	0.4636
4-Σεπ	10:00 πμ	0.220	0.5328	0.2466	0.6780	0.4628
4-Σεπ	10:10 πμ	0.230	0.5613	0.2597	0.6960	0.4627
4-Σεπ	10:20 πμ	0.250	0.5864	0.2705	0.7487	0.4613
4-Σεπ	10:30 πμ	0.260	0.6097	0.2814	0.7591	0.4615
4-Σεπ	10:40 πμ	0.270	0.6375	0.2951	0.8097	0.4629
4-Σεπ	10:50 πμ	0.280	0.6596	0.3061	0.8261	0.4641
4-Σεπ	11:00 πμ	0.290	0.6838	0.3183	0.8414	0.4655
4-Σεπ	11:10 πμ	0.300	0.7036	0.3264	0.8746	0.4639

4-Σεπ	11:20 πμ	0.310	0.7231	0.3356	0.8780	0.4641
4-Σεπ	11:30 πμ	0.320	0.7448	0.3457	0.9036	0.4642
4-Σεπ	11:40 πμ	0.330	0.7614	0.3534	0.9184	0.4641
4-Σεπ	11:50 πμ	0.340	0.7862	0.3651	0.9308	0.4644
4-Σεπ	12:00 μμ	0.340	0.8075	0.3749	0.9473	0.4643
4-Σεπ	12:10 μμ	0.350	0.8218	0.3809	0.9380	0.4635
4-Σεπ	12:20 μμ	0.350	0.8324	0.3853	0.9643	0.4629
4-Σεπ	12:30 μμ	0.360	0.8414	0.3894	0.9627	0.4628
4-Σεπ	12:40 μμ	0.350	0.8513	0.3938	0.9591	0.4626
4-Σεπ	12:50 μμ	0.350	0.8540	0.3948	0.9581	0.4623
4-Σεπ	1:00 μμ	0.360	0.8599	0.3972	0.9627	0.4619
4-Σεπ	1:10 μμ	0.360	0.8678	0.3996	0.9563	0.4605
4-Σεπ	1:20 μμ	0.360	0.8638	0.3963	0.9348	0.4588
4-Σεπ	1:30 μμ	0.360	0.8651	0.3957	0.9398	0.4574
4-Σεπ	1:40 μμ	0.360	0.8630	0.3933	0.9275	0.4557
4-Σεπ	1:50 μμ	0.360	0.8589	0.3899	0.9197	0.4540
4-Σεπ	2:00 μμ	0.360	0.8578	0.3873	0.9023	0.4515
4-Σεπ	2:10 μμ	0.360	0.8571	0.3862	0.8790	0.4506
4-Σεπ	2:20 μμ	0.350	0.8418	0.3770	0.8800	0.4478
4-Σεπ	2:30 μμ	0.350	0.8293	0.3682	0.8370	0.4440
4-Σεπ	2:40 μμ	0.340	0.8181	0.3613	0.8343	0.4416
4-Σεπ	2:50 μμ	0.340	0.8106	0.3558	0.8006	0.4389
4-Σεπ	3:00 μμ	0.330	0.8019	0.3486	0.7666	0.4347
4-Σεπ	3:10 μμ	0.320	0.7818	0.3386	0.7444	0.4331
4-Σεπ	3:20 μμ	0.320	0.7663	0.3298	0.7159	0.4304
4-Σεπ	3:30 μμ	0.310	0.7530	0.3219	0.6958	0.4275
4-Σεπ	3:40 μμ	0.300	0.7357	0.3120	0.6655	0.4241
4-Σεπ	3:50 μμ	0.290	0.7132	0.2995	0.6238	0.4199
4-Σεπ	4:00 μμ	0.280	0.6892	0.2857	0.5995	0.4145
4-Σεπ	4:10 μμ	0.270	0.6649	0.2720	0.5494	0.4091
4-Σεπ	4:20 μμ	0.260	0.6374	0.2582	0.5283	0.4051
4-Σεπ	4:30 μμ	0.250	0.6175	0.2461	0.4666	0.3985
4-Σεπ	4:40 μμ	0.240	0.5895	0.2319	0.4388	0.3934
4-Σεπ	4:50 μμ	0.220	0.5646	0.2188	0.4000	0.3875
4-Σεπ	5:00 μμ	0.210	0.5349	0.2031	0.3496	0.3797
4-Σεπ	5:10 μμ	0.190	0.5030	0.1868	0.3181	0.3714
4-Σεπ	5:20 μμ	0.040	0.4669	0.1674	0.2653	0.3585
4-Σεπ	5:30 μμ	0.040	0.4348	0.1444	0.2454	0.3321
4-Σεπ	5:40 μμ	0.020	0.4007	0.0921	0.1929	0.2298
4-Σεπ	5:50 μμ	0.020	0.3037	0.0345	0.1512	0.1136
4-Σεπ	6:00 μμ	0.020	0.0851	0.0245	0.1036	0.2879
4-Σεπ	6:10 μμ	0.000	0.0791	0.0232	0.0521	0.2933
4-Σεπ	6:20 μμ	0.020	0.0782	0.0223	0.0487	0.2852

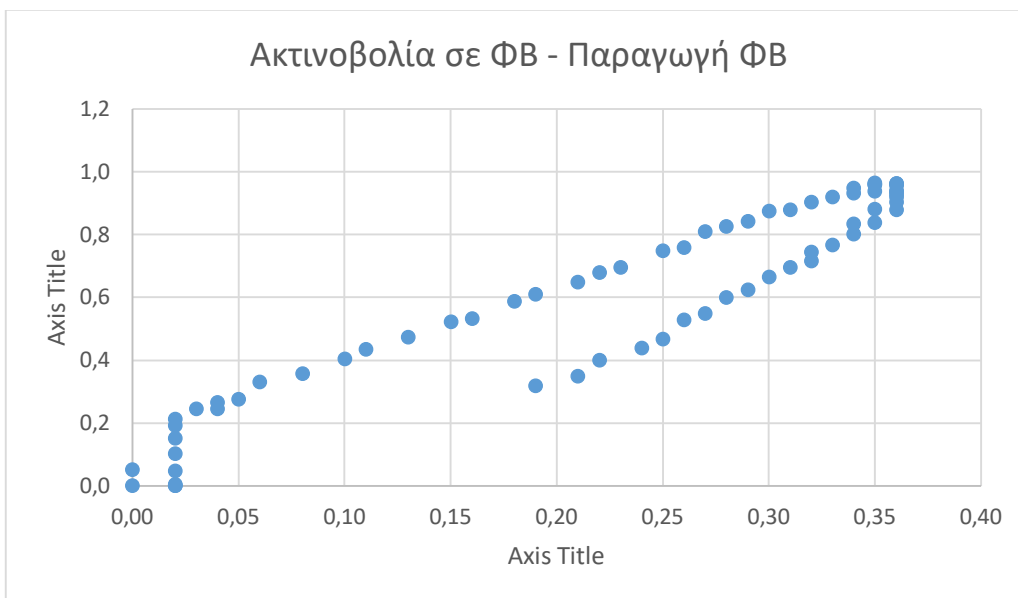
4-Σεπ	6:30 μμ	0.020	0.0721	0.0217	0.0047	0.3010
4-Σεπ	6:40 μμ	0.020	0.0686	0.0200	0.0008	0.2915
4-Σεπ	6:50 μμ	0.020	0.0638	0.0185	0.0018	0.2900
4-Σεπ	7:00 μμ	0.000	0.0599	0.0164	0.0008	0.2738



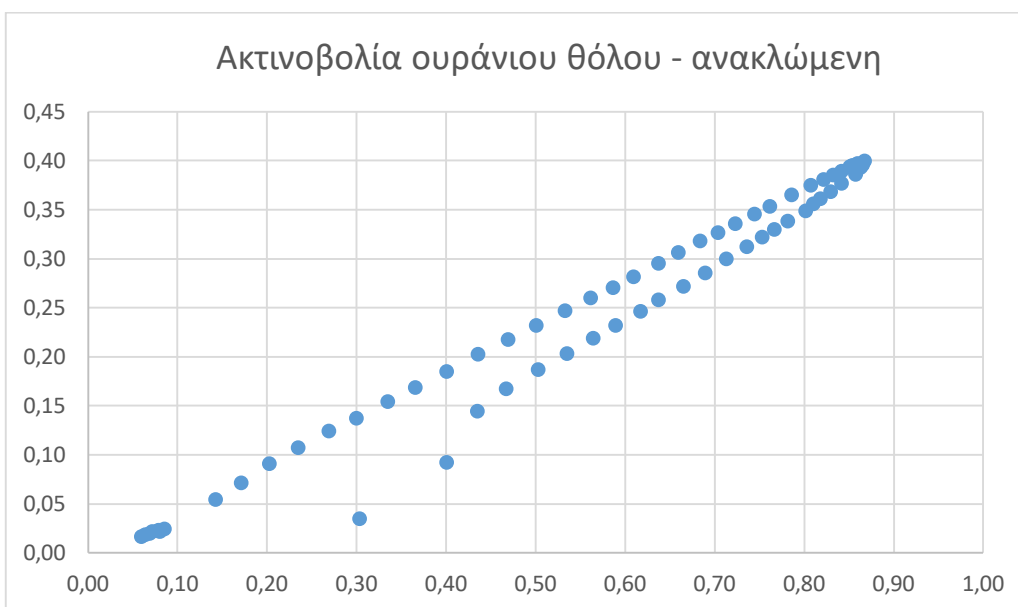
Σχήμα 5.1 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° στις 4/9/2020



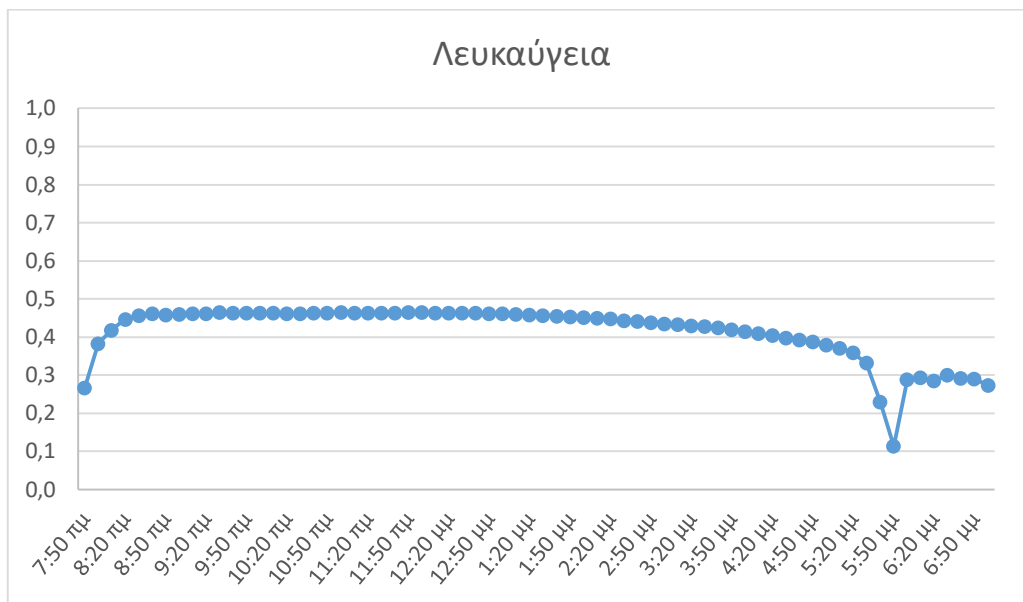
Σχήμα 5.2 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° και λευκή ψηφίδα στις 4/9/2020



**Σχήμα 5.3 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με κλίση 40° και λευκή ψηφίδα στις 4/9/2020, συναρτήσε της παραγωγής ενέργειας**



**Σχήμα 5.4 - Ηλιακή ακτινοβολία ουράνιου θόλου συναρτήσε με την ανακλώμενη από την λευκή ψηφίδα στις 4/9/2020**



**Σχήμα 5.5 - Υπολογιζόμενη λευκαύγεια λευκής ψηφίδας στις 4/9/2020**

Η αδικαιολόγητα απότομη κλίση και οι αυξομειώσεις έπειτα, των καμπύλων παραγωγής ενέργειας και ηλιακής ακτινοβολίας στο σχήμα 5.9, οφείλεται στην παρουσία δέντρου και κτιρίου που σκίαζαν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατά τις απογευματινές ώρες, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6. Ωστόσο, το πυρανόμετρο στο κεκλιμένο επίπεδο που λάμβανε τιμές ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίση των πλαισίων δεν επηρεαζόταν από αυτή την σκίαση, σχήμα 5.7, και επομένως παρατηρείται μεγαλύτερη ομοιομορφία στο διάγραμμα του σχήματος 5.1.

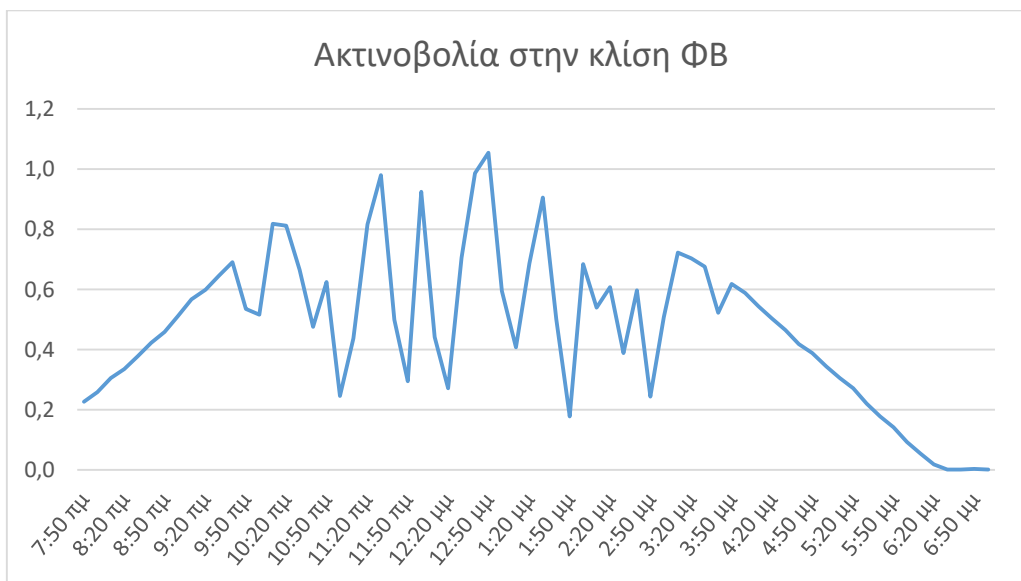


**Σχήμα 5.6 - Απεικόνιση παρεμβαλόμενων αντικειμένων μεταξύ φωτοβολταϊκού πλαισίου και ήλιου κατά τις απογευματινές ώρες.**



**Σχήμα 5.7 - Απεικόνιση πυρανόμετρου LI-COR σε σχέση με το σκιαζόμενα υπόλοιπα όργανα του πειράματος**

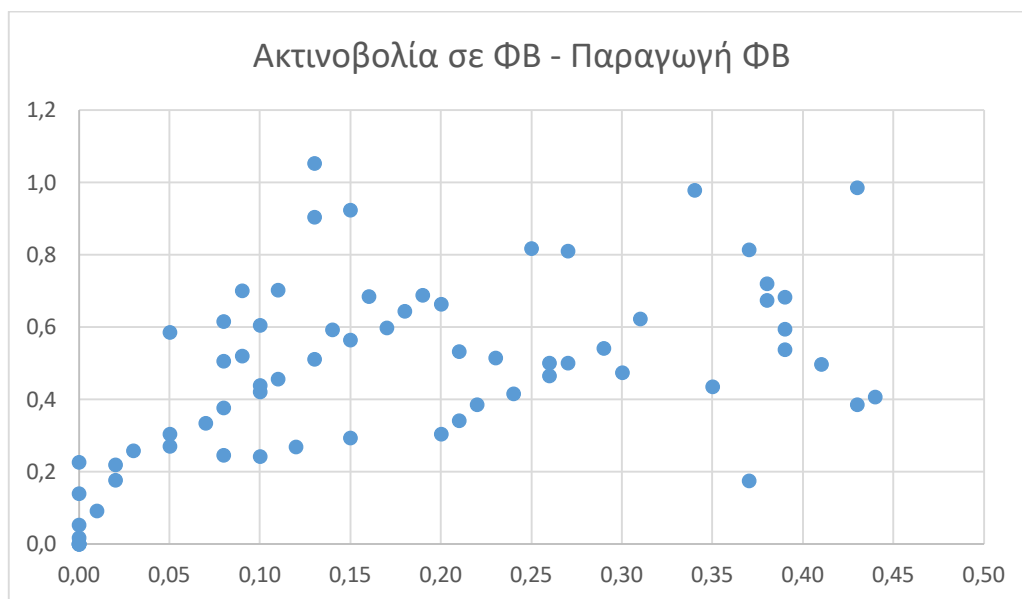
Στις 5/9/2020 υπήρχε αραιή συννεφιά με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να μην παρουσιάζουν συνοχή και δεν υπάρχει δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων καθώς καμία άλλη ημέρα δεν είχε παρόμοιες καιρικές συνθήκες για να συσχετισθούν, εκτός από το αξιοσημείωτο ωστόσο γεγονός ότι η λευκαύγεια, στο σχήμα 5.12, δεν έχει επηρεαστεί και η καμπύλη της δεν απέχει ιδιαίτερα από εκείνη τους σχήματος 5.5



**Σχήμα 5.8 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° στις 5/9/2020**

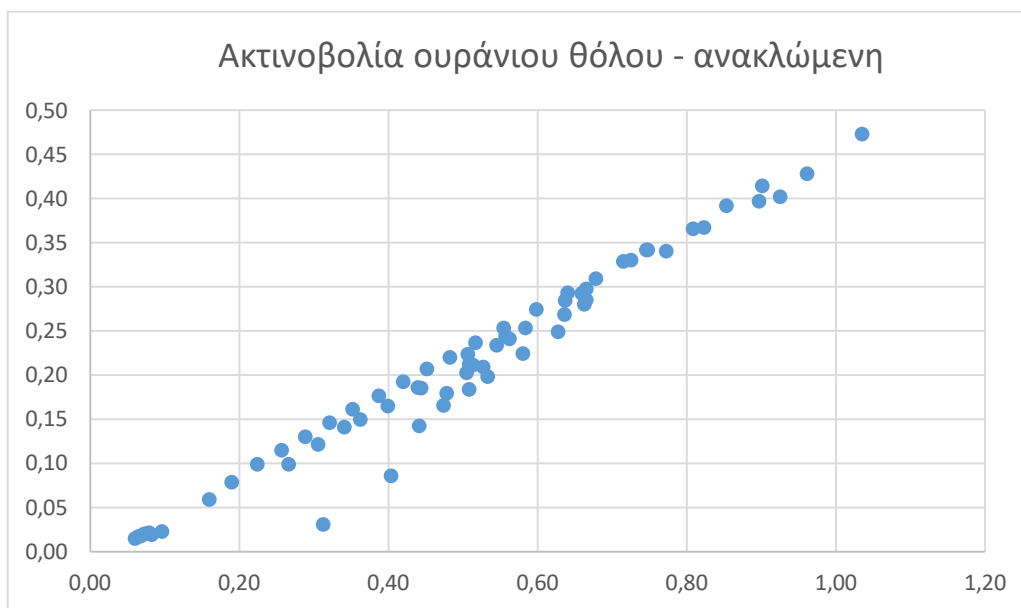


**Σχήμα 5.9 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° και λευκή ψηφίδα στις 5/9/2020**

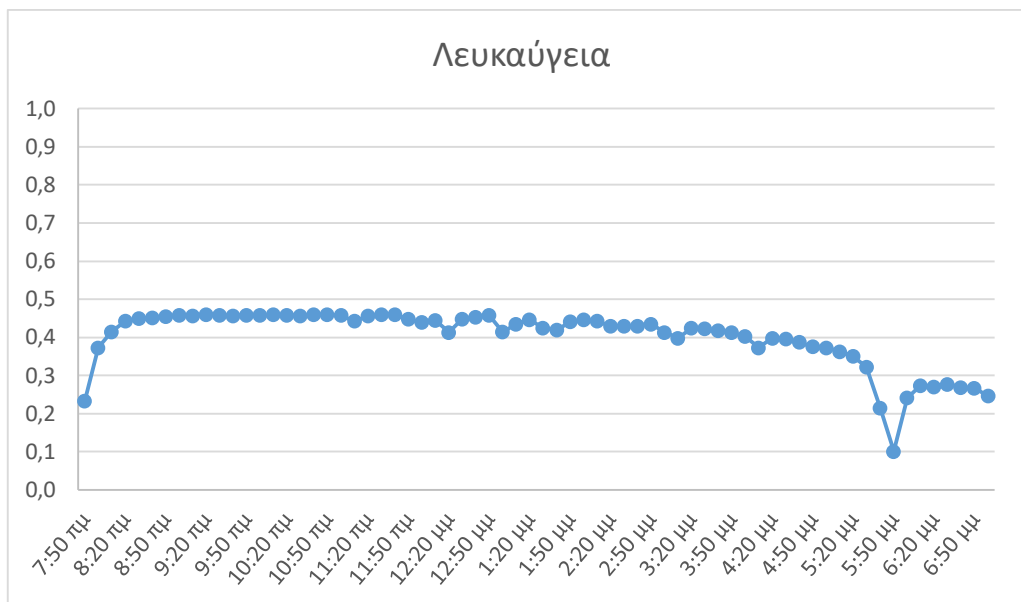


**Σχήμα 5.10 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με κλίση 40° και λευκή ψηφίδα στις 5/9/2020, συναρτήσεως της παραγωγής ενέργειας**





**Σχήμα 5.11 - Ηλιακή ακτινοβολία ουράνιου θόλου συναρτήσει της ανακλώμενης από την λευκή ψηφίδα στις 5/9/2020**

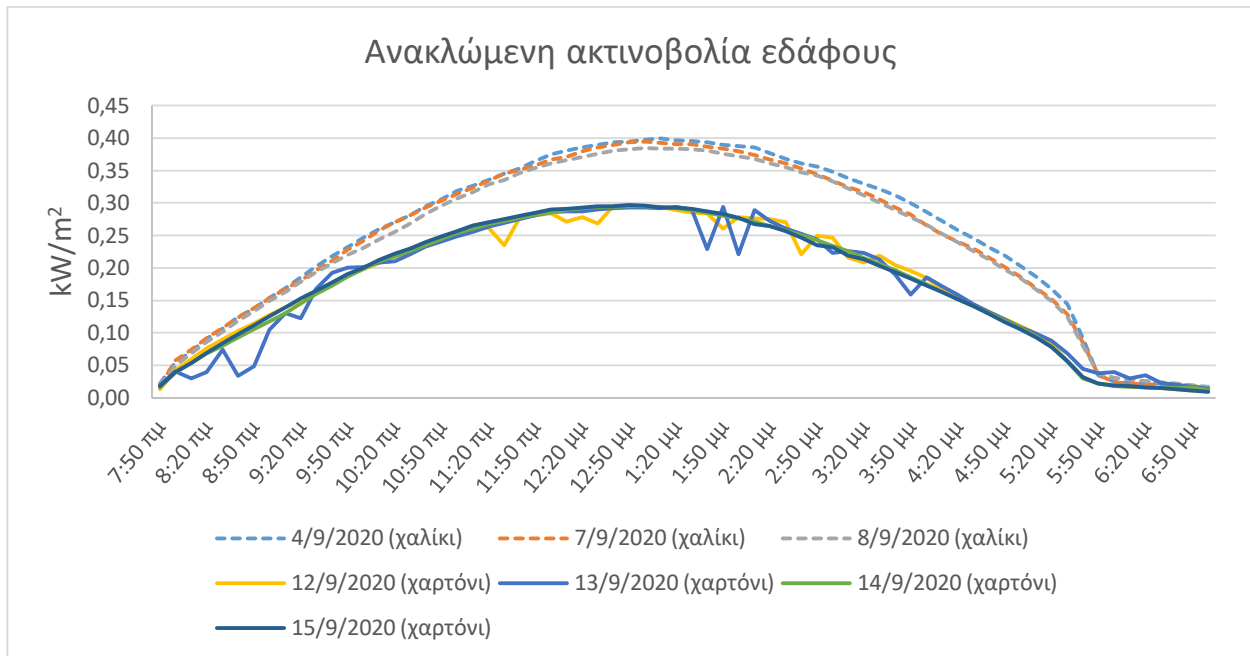


**Σχήμα 5.12 - Υπολογιζόμενη λευκαύγεια λευκής ψηφίδας στις 5/9/2020**

Εν συνεχεία, μετά το πέρας δύο ολόκληρων ημερών, αλλάχθηκε η κλίση στα πλαίσια, στις 6 του μηνός, και τοποθετήθηκαν στις 30° για ίδιο χρονικό διάστημα. Κατά τον ίδιο τρόπο, συνεχίστηκε η διαδικασία για το δεύτερο υλικό που χρησιμοποιήθηκε, το χαρτόνι τύπου «οντουλέ».

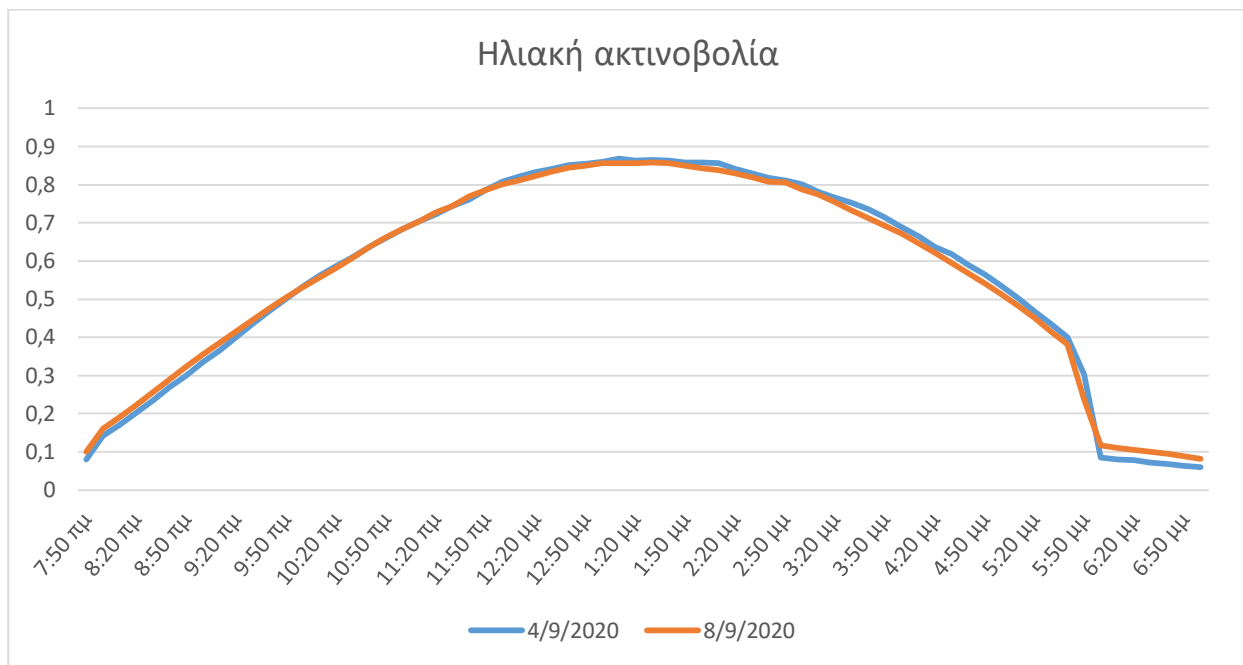
## 5.2 Σύγκριση ανακλαστικότητας μεταξύ υλικών

Η ανακλαστικότητα κάθε υλικού διαφέρει. Στο σχήμα 5.13 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ανάκλασης των δύο υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα για επτά ξεχωριστές ημέρες. Παρατηρείται ότι οι καμπύλες από τις ημέρες που πάρθηκαν οι μετρήσεις με λευκή ψηφίδα είναι μεταξύ τους όμοιες. Το ίδιο ισχύει και για εκείνες που πάρθηκαν με χαρτόνι τύπου «οντουλέ». Είναι εμφανές και αποδεικνύεται ότι, οι τιμές ανάκλασης μεταξύ λευκής ψηφίδας και χαρτόνι τύπου «οντουλέ» διαφέρουν.



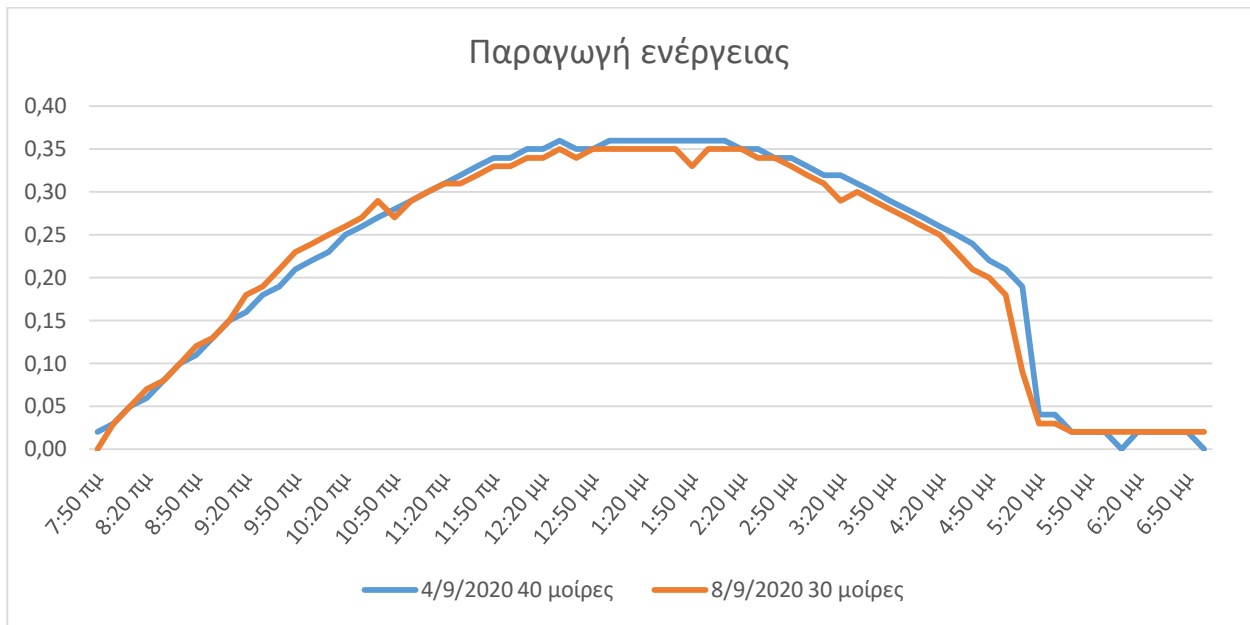
Σχήμα 5.13 - Διάγραμμα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

Στο διάγραμμα του σχήματος 5.14 παρατηρούμε ότι για δύο διαφορετικές ημέρες η ηλιακή ακτινοβολία, καθ' όλη την διάρκεια των ημερών αυτών, σχεδόν ταυτίζεται. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις έχουν παρθεί από το ίδιο όργανο, με μηδενική κλίση, δηλαδή λαμβάνοντας μετρήσεις από τον ουράνιο θόλο στο οριζόντιο επίπεδο, στο ίδιο ακριβώς σημείο και για τις δύο μέρες. Συνεπώς, έχουμε την δυνατότητα να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της παραγωγής των φωτοβολταϊκών πλαισίων τις μεταξύ τους για τις μέρες αυτές.

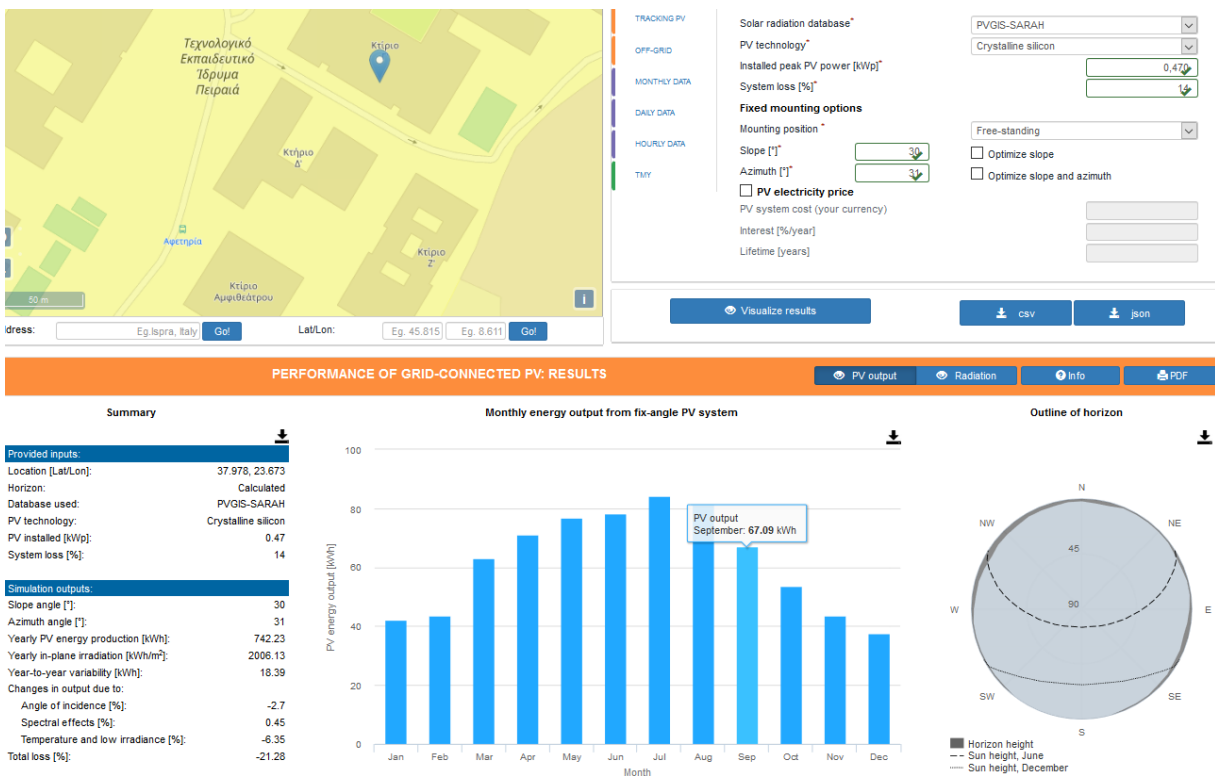


**Σχήμα 5.14 - Ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο**

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα του σχήματος 5.15 οι καμπύλες παραγωγής από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια για τις δύο ημέρες που προαναφέρθηκαν παρουσιάζουν ομοιομορφία ως προς το σχήμα αλλά και ως προς τις τιμές, ενώ η κλίση των πλαισίων διέφερε κατά τις ημέρες αυτές. Να σημειωθεί ότι, η διαφορά ως προς την ομαλότητα των διαγραμμάτων μεταξύ σχήματος 5.14 και 5.15 οφείλεται στο γεγονός πως οι μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας αφορούν μέση τιμή δεκαλέπτου, ενώ της παραγωγής ενέργειας στιγμιαίες τιμές καθώς δεν υπήρχε καταγραφικό όργανο για αυτές.

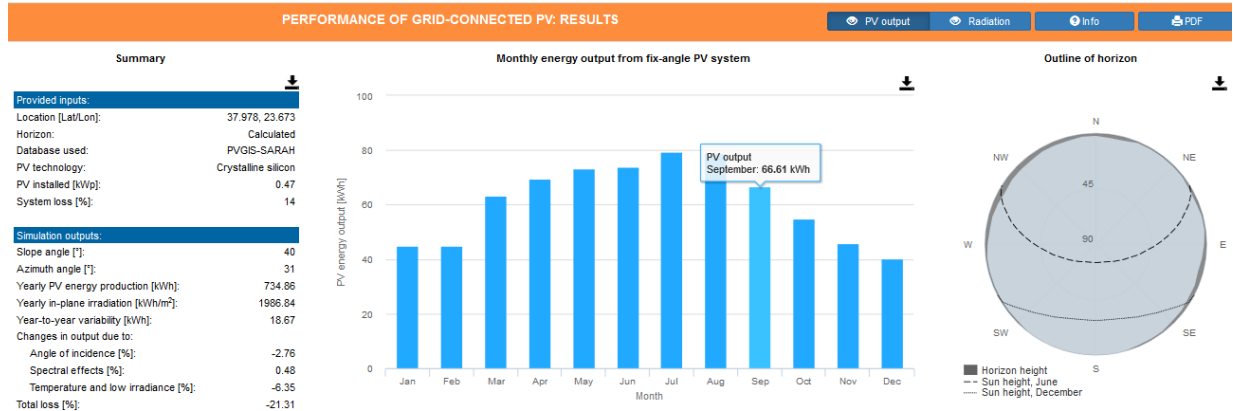
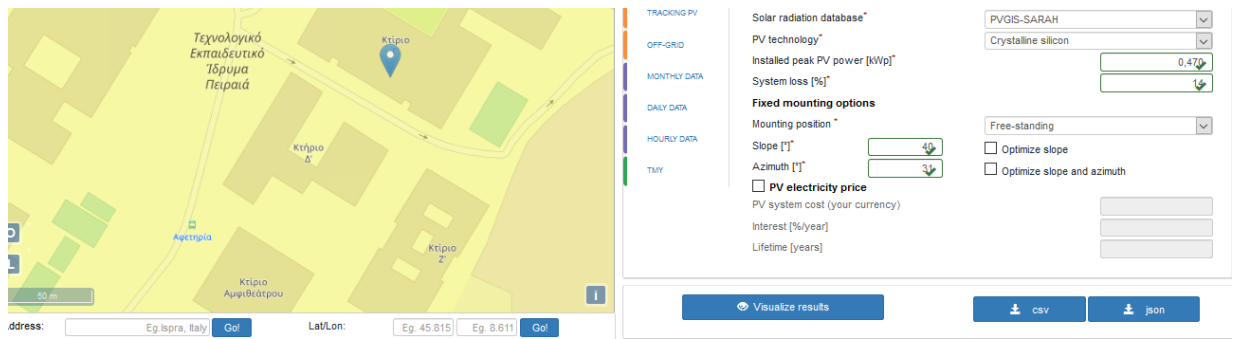


Σχήμα 5.15 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πειραματικής διάταξης



Σχήμα 5.16 - Δεδομένα και προβλέψεις για τα φωτοβολταϊκά από το PVGIS

Σύμφωνα με φωτοβολταϊκό γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών της ευρωπαϊκής επιτροπής, στην θέση που βρίσκονται τα πλαίσια του πειράματος, η παραγωγή για τον μήνα Σεπτέμβριο, όπου είναι οι δύο μέρες που εξετάζουμε, διαφέρει ανάλογα με την κλίση τους.



Σχήμα 5.17 - Δεδομένα και προβλέψεις για τα φωτοβολταϊκά από το PVGIS

Το αζιμουθίο των πλαισίων που επιλέχθηκε στο σύστημα της ευρωπαϊκής επιτροπής για να λάβουμε αυτά τα δεδομένα, προκύπτει από την εργασία του Αλλυσανδράκη Άγγελου που αναφέρει τον προσανατολισμό κατά την εγκατάστασή τους.[11]



Σχήμα 5.18 - Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων (2015)

Συνεπώς, είναι εύλογο να θεωρηθεί πώς η κλίση των πλαισίων επηρεάζει την παραγωγή τους. Η ομοιότητα αυτή στην παραγωγή προκύπτει διότι όσο οι μοίρες αυξάνονται στην κλίση των πλαισίων και έχουμε μείωση της άμεσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, τόσο αυξάνεται η έμμεση ακτινοβολία και στην περίπτωση μας η ανακλώμενη ακτινοβολία από το λευκή ψηφίδα, το οποίο έχει μεγάλη λευκαύγεια (albedo).

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων η λευκαύγεια (albedo) λευκής ψηφίδας προκύπτει ότι είναι μεταξύ 0,4 - 0,45, ενώ για τα χαρτόνι τύπου «οντουλέ» 0,3 – 0,35. Αποτελεί μια μικρή έκπληξη το 2<sup>ο</sup> υλικό καθώς αναμενόταν μικρότερη ανακλαστικότητα από αυτό. Ενδεχομένως, η ανομοιομορφία του υλικού ως προς την τοποθέτηση, να δημιούργησε ένα μικρό φαινόμενο κατοπτρισμού. Συνεπώς, γίνεται κατανοητό πως τα χαρακτηριστικά ανακλαστικότητας τους εδάφους, αλλά και κάθε επιφάνειας που βρίσκεται στο προσκήνιο των φωτοβολταϊκών πλαισίων έχει σημαντικό ρόλο στην ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία που θα δέχονται αυτά τα πλαίσια.
- Όσον αφορά την ενεργειακή παραγωγή συγκριτικά με τα δύο υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, δυστυχώς δεν εξάγεται κάποιο ξεκάθαρο συμπέρασμα, αλλά υπάρχουν ενδείξεις ότι επηρεάζεται από την λευκαύγεια των επιφανειών στο προσκήνιο βάση της ανάλυσης των αποτελεσμάτων.

## 7 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Στο πλαίσιο αυτής της πειραματικής έρευνας, εντοπίστηκαν ορισμένοι παράγοντες επηρέασαν ανασταλτικά την διεξαγωγή του πειράματος όπως:

- Έλλειψη ή μη δυνατότητα χρήσης ορισμένων οργάνων.
  - Η ανάγκη δημιουργίας αλμπινομέτρου κατασκευάζοντας βάση στήριξης πυρανομέτρων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που απαιτούνταν, καθυστέρησε την διαδικασία του πειράματος με συνέπεια τον χρονικό περιορισμό άλλων μερών της διαδικασίας.
  - Η απουσία καταγραφικού οργάνου και τηλεμετρίας mate3 για τον ρυθμιστή φόρτισης των συσσωρευτών είχε ως αποτέλεσμα την δυσχέρεια στον τρόπο και την διαδικασία λήψης των μετρήσεων παραγωγής ενέργειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων.
  - Λόγω της έλλειψης ασφάλειας στον χώρο που θα έπρεπε να τοποθετηθεί το όργανο I-V, για λήψη μετρήσεων από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια η χρήση του κατέστη αδύνατη.
  - Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια δεν είχαν την δυνατότητα να ρυθμιστούν σε κλίση μεγαλύτερη των 40°, γεγονός που δεν επέτρεψε την λήψη μετρήσεων με κλίση η οποία να μεγιστοποιεί την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας εξ ανακλάσεως.
- Τοποθεσία και προσβασιμότητα πειράματος. Η προσέγγιση στο δώμα του κτιρίου Γ της σχολής Μηχανολόγων γινόταν από κάθετη μεταλλική σκάλα, από την οποία πολλά υλικά και όργανα ήταν αδύνατον να μεταφερθούν. Επιπροσθέτως, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια βρίσκονταν σε σημείο όπου δεν υπήρχε ο απαιτούμενος χώρος στο προσκήνιό τους για τις απαιτούμενες διεργασίες.
- Ταυτόχρονη χρήση δεύτερης συστοιχίας με άλλο υλικό για παράλληλη σύγκριση ίδιας χρονικής στιγμής. Παρά το γεγονός ότι υπήρχε δεύτερη συστοιχία με ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε, δεν υπήρχε η δυνατότητα λήψης μετρήσεων και από τις δύο ξεχωριστά και ταυτόχρονα.



## 8 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η διεξαγωγή του πειράματος οδήγησε σε ορισμένα επιπλέον συμπεράσματα για επόμενες σχετικές μελέτες και εφαρμογές.

- Κάλυψη μεγαλύτερου εμβαδού προσκηνίου φωτοβολταϊκών πλαισίων με το υλικό προς μελέτη, για τον ακριβέστερο υπολογισμό της επίδρασης της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας από αυτό στα φωτοβολταϊκά πλαίσια.
- Λήψη μετρήσεων υπό σχεδόν όλες τις καιρικές συνθήκες, καθώς για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα υπάρχει η απαίτηση να εκμεταλλεύεται τη διάρκεια ολόκληρου έτους, είτε υπάρχει υψηλή είτε χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία.
- Σημαντικός παράγοντας στην προσέγγιση της μελέτη της επίδρασης της ανακλαστικότητας τους εδάφους των φωτοβολταϊκών πλαισίων αποτελεί η ταυτόχρονη λήψη μετρήσεων από δύο διαφορετικές διατάξεις με ίδια χαρακτηριστικά αλλά διαφορετικό υλικό.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1]. Thevenard, D.; Driesse, A.; Pelland, S.; Turcotte, D.; Poissant, Y. Uncertainty in Long-Term Photovoltaic Yield Predictions; Canmet Energy Report; Natural Resources Canada: Ottawa, ON, Canada, 2010.
- [2]. Polescu, M.; Pailescu, E.; Gravila, P.; Baddescu, V. Solar Radiation Measurements. In Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation; Springer: London, UK, 2013; pp. 17–42.
- [3]. Kotak, Y.; Gul, M.S.; Muneer, T.; Ivanova, S.M. Investigating the Impact of Ground Albedo on the Performance of PV Systems; Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE): London, UK, 2015.
- [4]. Liu, B.Y.; Jordan, R.C. The long-term average performance of flat-plate solar-energy collectors: With design data for the U.S., its outlying possessions and Canada. *Sol. Energy* 1963, 7, 53–74.
- [5]. Ineichen, P.; Guisan, O.; Perez, R. Ground-reflected radiation and albedo. *Sol. Energy* 1990, 44, 207–214.
- [6]. CIBSE. Environmental Design: CIBSE Guide A, 7th ed.; The Chartered Institution of Building Services Engineers: London, UK, 2006.
- [7]. Ramirez AZ, Munoz CB. Sustainable Development – Energy, Engineering and Technologies – Manufacturing and Environment. Albedo Effect and Energy Efficiency of Cities. [Online] Available from: [http://cdn.intechopen.com/pdfs/29929/InTech-Albedo\\_effect\\_and\\_energy\\_efficiency\\_of\\_cities.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/29929/InTech-Albedo_effect_and_energy_efficiency_of_cities.pdf) [Accessed 15th November 2014].
- [8]. Saluja GS and Muneer T, Estimation of ground-reflected radiation for the United Kingdom. *BSER&T*. 1988; 9(4): 189-195.
- [9]. Beyza Durusoy, Talat Ozden & Bulent G. Akinoglu, Solar irradiation on the rear surface of bifacial solar modules: a modeling approach
- [10]. Tillage and surface moisture effects on bare-soil albedo of a tropical loamy sand, Philip G. Oguntunde, yodele Ebenezer Ajayi, Nick van de Giesen
- [11]. Εγκατάσταση και έλεγχος λειτουργίας αυτόνομου υβριδικού σταθμού Α.Π.Ε., Αλλυσανδράκης Άγγελος, 2015

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

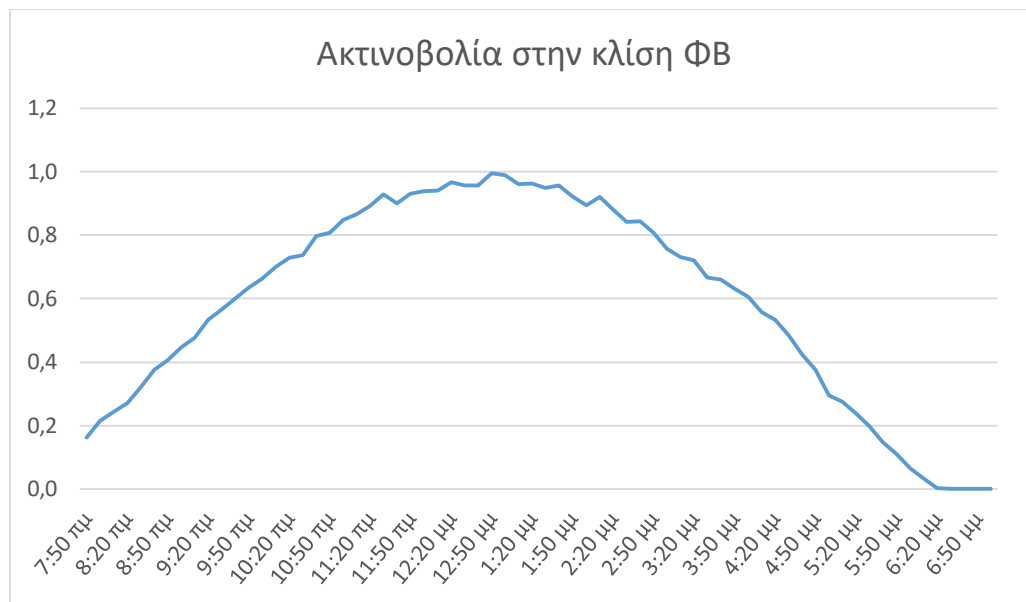
Σχήμα 1.1 - Απεικόνιση λευκαύγειας συναρτήσει της τραχύτητας και της υγρασίας του εδάφους [10].....	3
Σχήμα 1.2 - Συνιστώσες προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε φωτοβολταϊκή μονάδα διπλής όψης (bifacial PV module) [9] .....	4
Σχήμα 3.1 - Φωτοβολταϊκά πλαίσια aleo.....	6
Σχήμα 3.2 - Πυρανόμετρο kipp & zonen CM11 .....	7
Σχήμα 3.3 - Πυρανόμετρο LI-COR LI-200R.....	7
Σχήμα 3.4 - Ενισχυτής Tropos 20mV-2.5V .....	8
Σχήμα 3.5 - Συνδεσμολογία Πυρανομέτρων λευκαύγειας - Ενισχυτών – Τροφοδοσίας .....	9
Σχήμα 3.6 - Ρυθμιστής φόρτισης.....	9
Σχήμα 3.7 - Ρυθμίσεις καταγραφικού για τις θύρες 2 και 3 που συνδέονταν τα πυρανόμετρα λευκαύγειας .....	11
Σχήμα 3.8 - Καταγραφικό στυλίτης 10.....	11
Σχήμα 3.9 Ρυθμίσεις στυλίτη 40 για πυρανόμετρο LI-COR.....	12
Σχήμα 3.10 Στυλίτης 40.....	12
Σχήμα 4.1 - Απομάκρυνση κατόπτρων.....	13
Σχήμα 4.2 - Βραχίονας στήριξης πυρανομέτρων .....	14
Σχήμα 4.3 - Χρήση κλισιοσκοπίου για την ταύτιση της γωνίας του πυρανομέτρου με εκείνη των φωτοβολταϊκών πλαισίων της πειραματικής διάταξης.....	14
Σχήμα 4.4 - Πίνακας φωτοβολταϊκών πλαισίων πειράματος .....	15
Σχήμα 4.5 - Καταγραφικό πυρανομέτρων μέτρησης λευκαύγειας με ενισχυτές τάσης και μπαταρία 12V.....	15
Σχήμα 4.6 - Τελική διάταξη με πλαίσιο και λευκή ψηφίδα ως ανακλαστικό υλικό .....	16
Σχήμα 4.7 - Λήψη μετρήσεων παραγωγής ενέργειας από φορτιστή μπαταριών με κάμερα.....	16
Σχήμα 4.8 - Πειραματική διάταξη με ανακλαστικό υλικό χαρτόνι τύπου «οντουλέ».....	17
Σχήμα 4.9 - θέση πυρανομέτρων μέτρησης λευκαύγειας .....	17
Σχήμα 4.10 - Κατασκευή βραχίονα με δυνατότητα αυξομείωσης ύψους .....	18
Σχήμα 4.11 - Συγκόλληση βραχίονα στον κορμό της βάσης .....	18
Σχήμα 4.12 - Βαθμονόμηση πυρανομέτρων .....	19
Σχήμα 4.13 - Συγκριτικό διάγραμμα ηλιακής ακτινοβολίας τριών πυρανομέτρων .....	20
Σχήμα 5.1 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° στις 4/9/2020.....	23
Σχήμα 5.2 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° και λευκή ψηφίδα στις 4/9/2020 .....	23
Σχήμα 5.3 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με κλίση 40° και λευκή ψηφίδα στις 4/9/2020, συναρτήσει της παραγωγής ενέργειας.....	24

Σχήμα 5.4 - Ηλιακή ακτινοβολία ουράνιου θόλου συναρτήσει με την ανακλώμενη από την λευκή ψηφίδα στις 4/9/2020.....	24
Σχήμα 5.5 - Υπολογιζόμενη λευκαύγεια λευκής ψηφίδας στις 4/9/2020.....	25
Σχήμα 5.6 - Απεικόνιση παρεμβαλλόμενων αντικειμένων μεταξύ φωτοβολταϊκού πλαισίου και ήλιου κατά τις απογευματινές ώρες.....	25
Σχήμα 5.7 - Απεικόνιση πυρανόμετρου LI-COR σε σχέση με το σκιαζόμενο υπόλοιπα όργανα του πειράματος.....	26
Σχήμα 5.8 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° στις 5/9/2020.....	26
Σχήμα 5.9 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° και λευκή ψηφίδα στις 5/9/2020.....	27
Σχήμα 5.10 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με κλίση 40° και λευκή ψηφίδα στις 5/9/2020, συναρτήσει της παραγωγής ενέργειας.....	27
Σχήμα 5.11 - Ηλιακή ακτινοβολία ουράνιου θόλου συναρτήσει της ανακλώμενης από την λευκή ψηφίδα στις 5/9/2020.....	28
Σχήμα 5.12 - Υπολογιζόμενη λευκαύγεια λευκής ψηφίδας στις 5/9/2020.....	28
Σχήμα 5.13 - Διάγραμμα ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.....	29
Σχήμα 5.14 - Ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο.....	30
Σχήμα 5.15 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πειραματικής διάταξης.....	31
Σχήμα 5.16 - Δεδομένα και προβλέψεις για τα φωτοβολταϊκά από το PVGIS.....	31
Σχήμα 5.17 - Δεδομένα και προβλέψεις για τα φωτοβολταϊκά από το PVGIS.....	32
Σχήμα 5.18 - Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων (2015).....	32

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 - Τυπικές τιμές από διάφορα είδη επιφανειών [8].....	2
Πίνακας 5.1 Πίνακας μετρήσεων 4/9/2020 για κλίση 40° με χρήση λευκής ψηφίδας.....	21

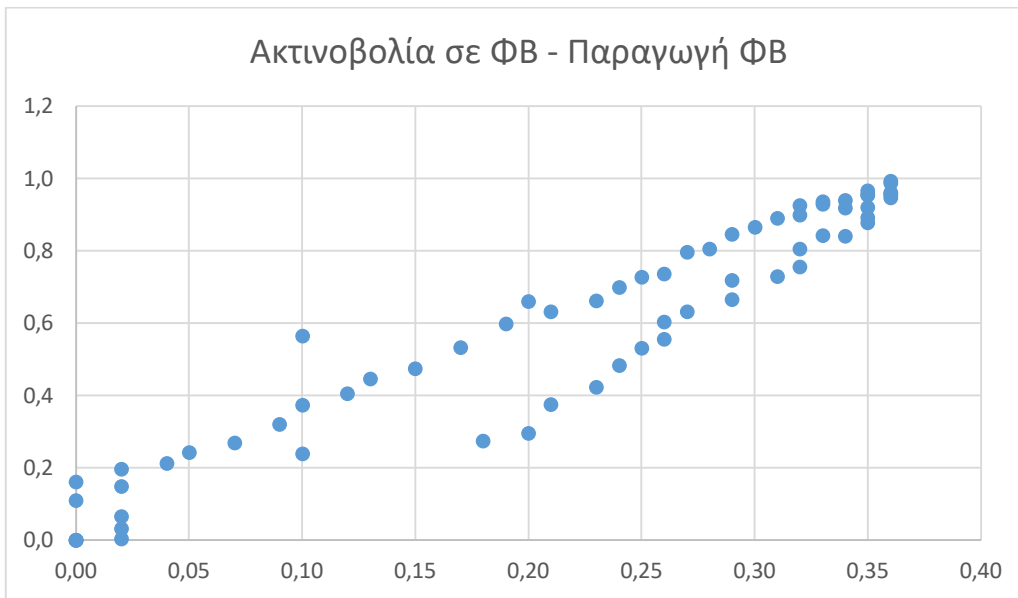
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



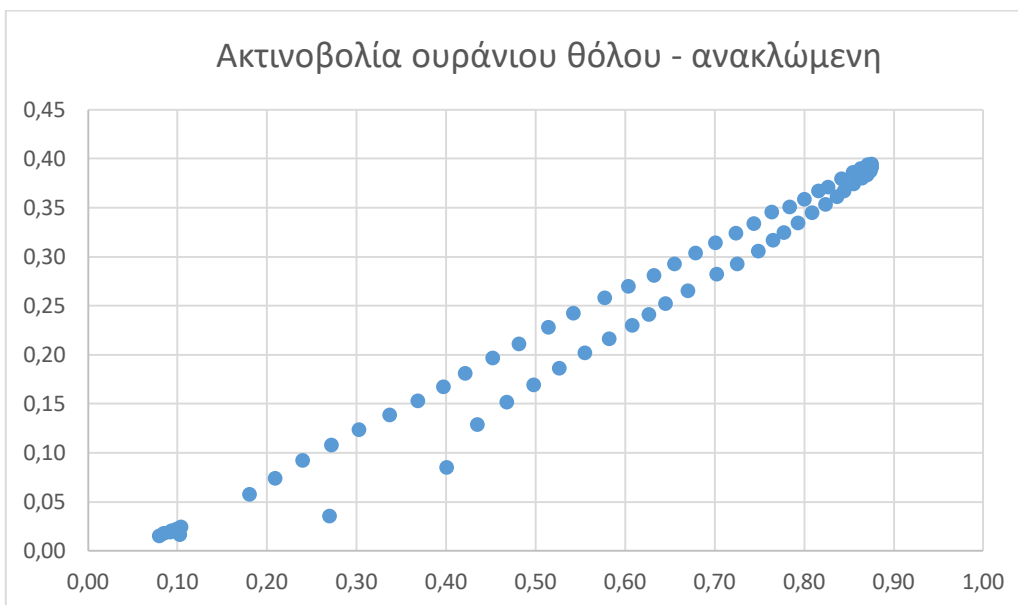
Σχήμα 8.1 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 30° στις 7/9/2020



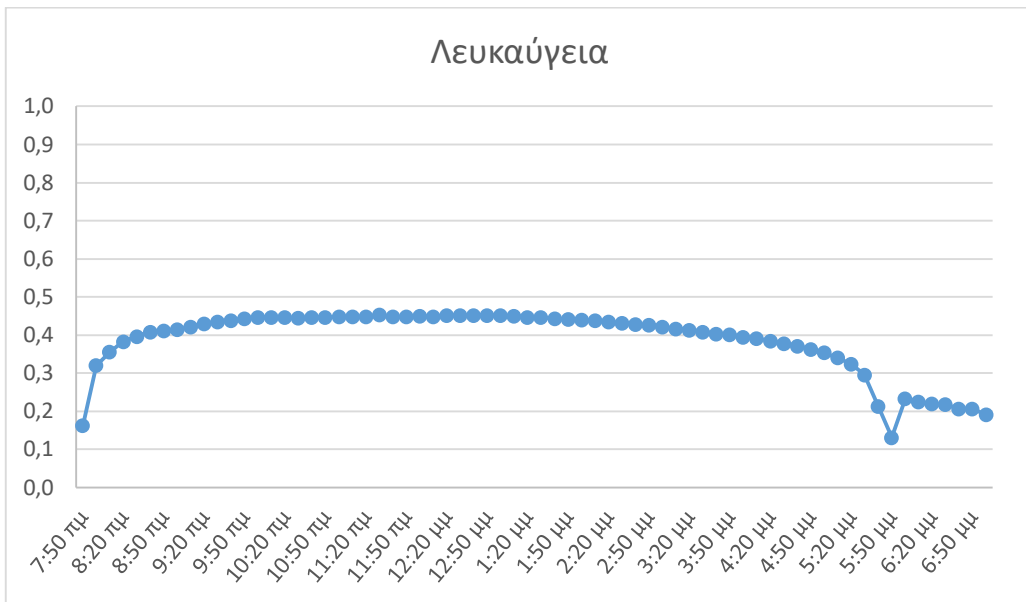
Σχήμα 8.2- Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 30° και λευκή ψηφίδα στις 7/9/2020



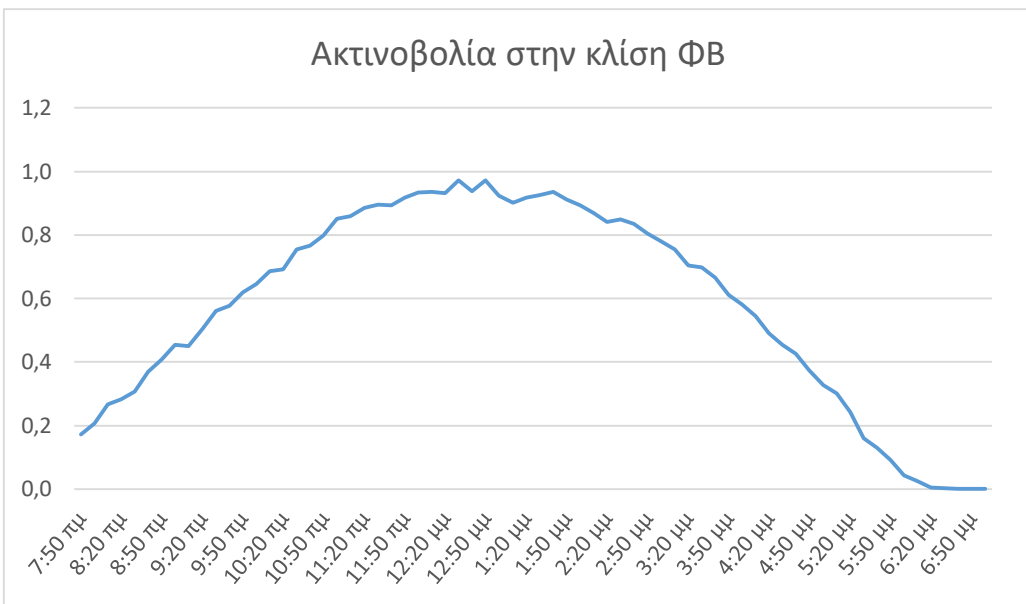
**Σχήμα 8.3-** Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με κλίση 30° και λευκή ψηφίδα στις 7/9/2020, συναρτήσει της παραγωγής ενέργειας



**Σχήμα 8.4 -** Ηλιακή ακτινοβολία ουράνιου θόλου συναρτήσει της ανακλώμενης από την λευκή ψηφίδα στις 7/9/2020



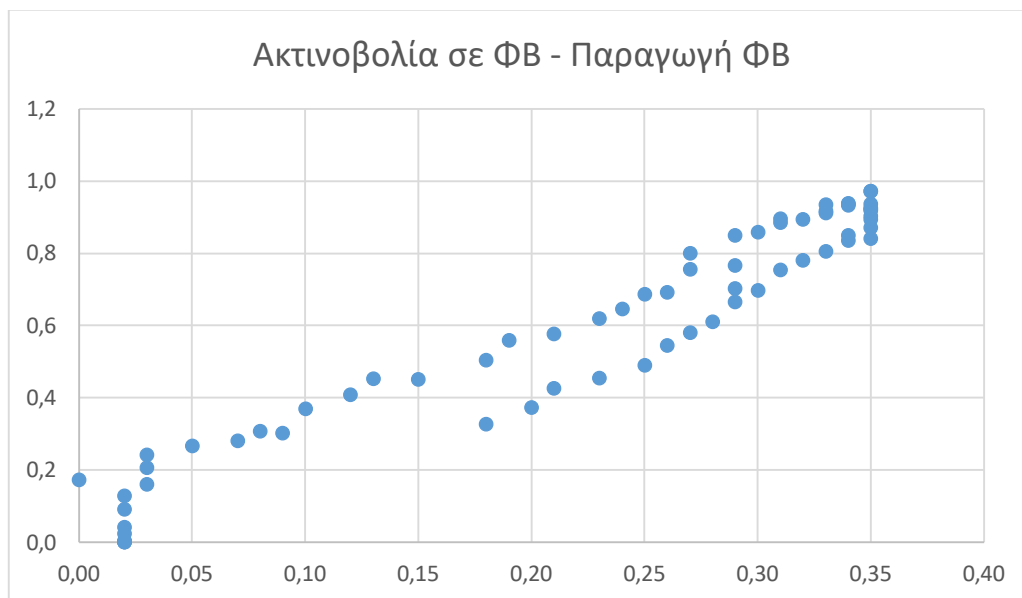
**Σχήμα 8.5 - Υπολογιζόμενη λευκαύγεια λευκής ψηφίδας στις 7/9/2020**



**Σχήμα 8.6 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 30° στις 8/9/2020**

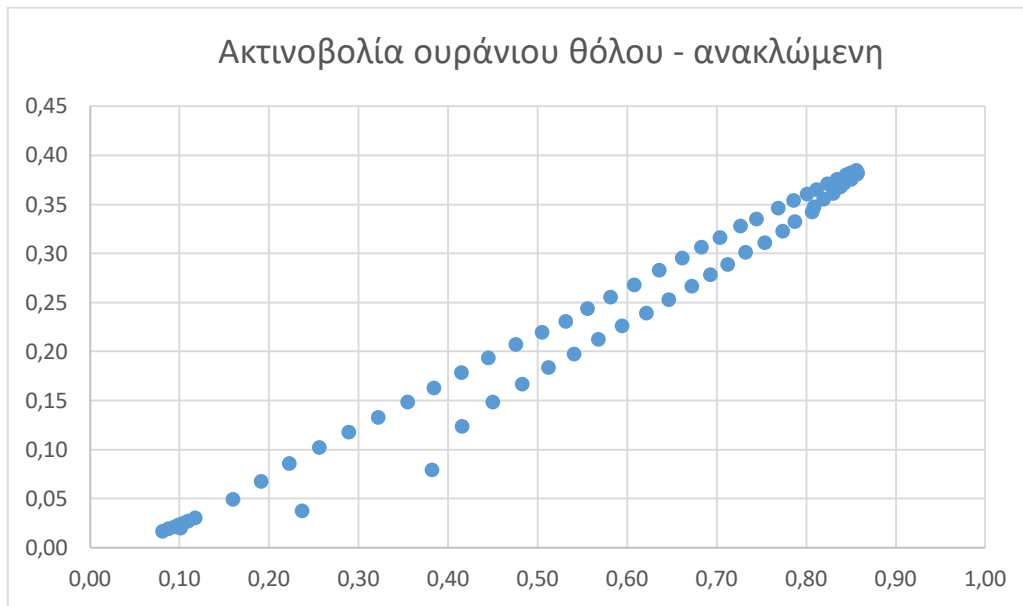


**Σχήμα 8.7 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 30° και λευκή ψηφίδα στις 8/9/2020**

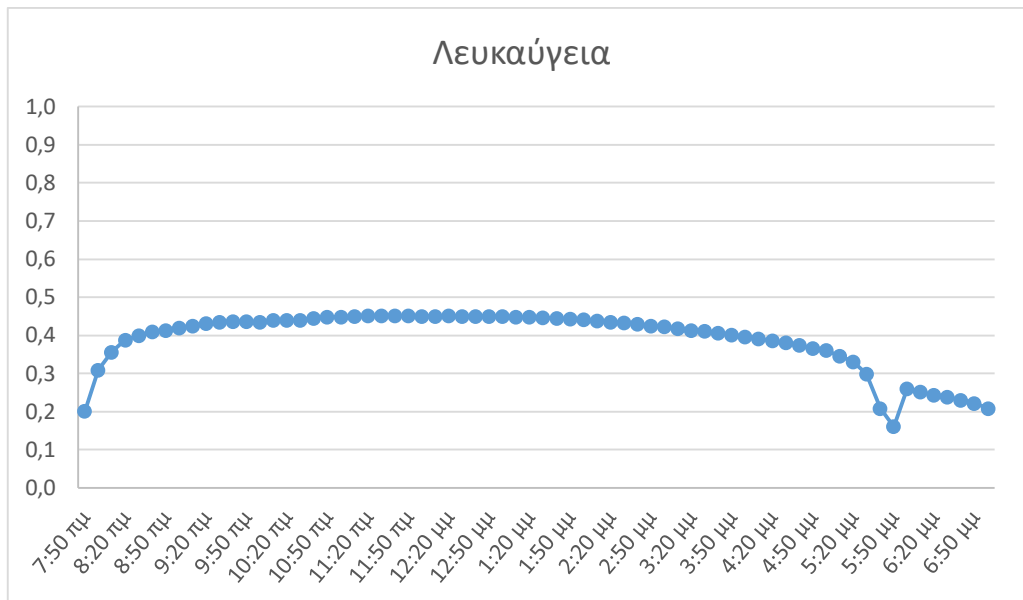


**Σχήμα 8.8 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με κλίση 30° και λευκή ψηφίδα στις 8/9/2020, συναρτήσει της παραγωγής ενέργειας**

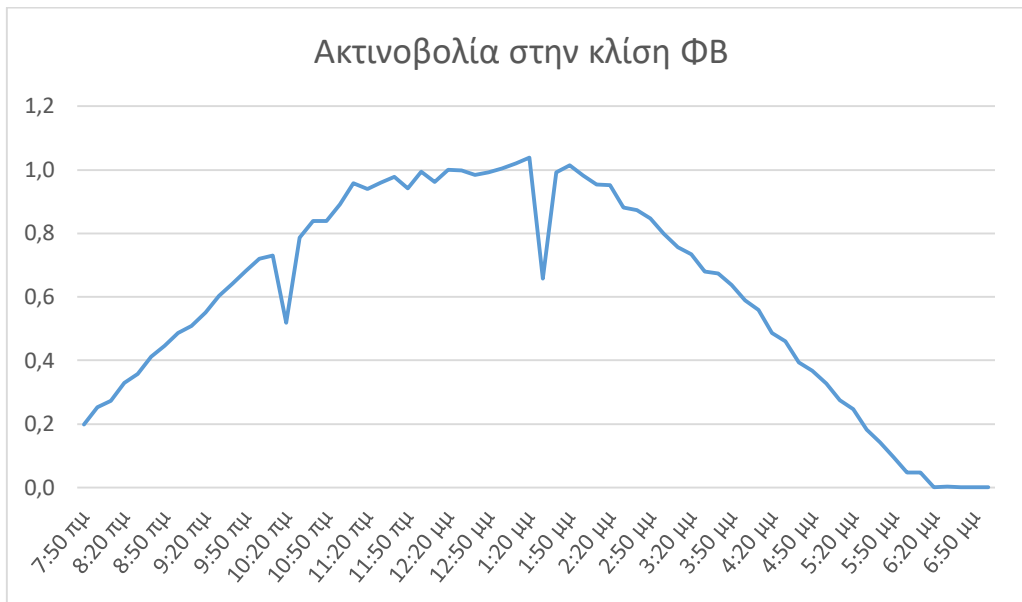




**Σχήμα 8.9 - Ηλιακή ακτινοβολία ουράνιου θόλου συναρτήσει της ανακλώμενης από την λευκή ψηφίδα στις 8/9/2020**



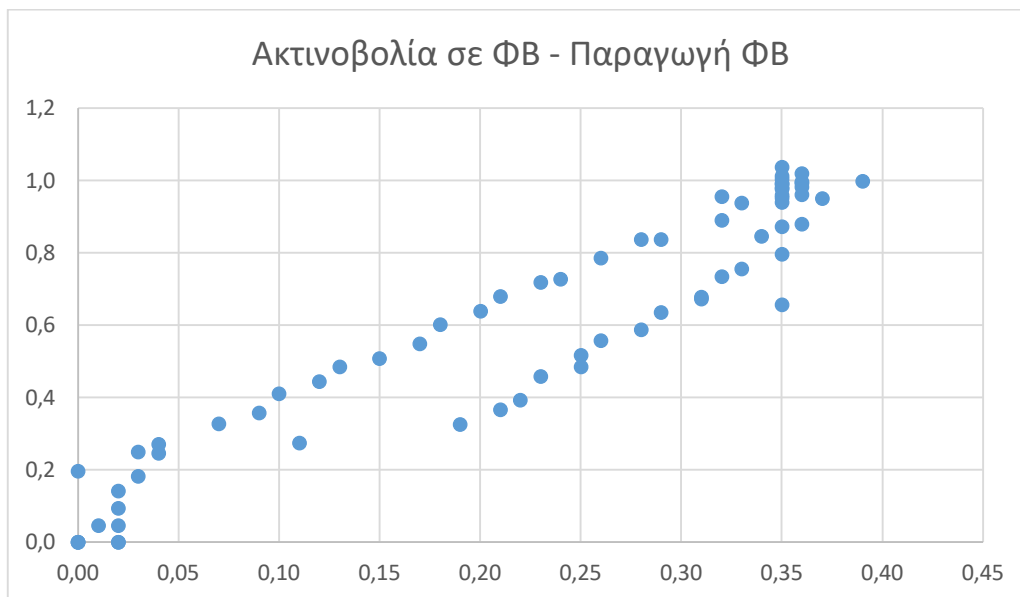
**Σχήμα 8.10 - Υπολογιζόμενη λευκαύγεια λευκής ψηφίδας στις 8/9/2020**



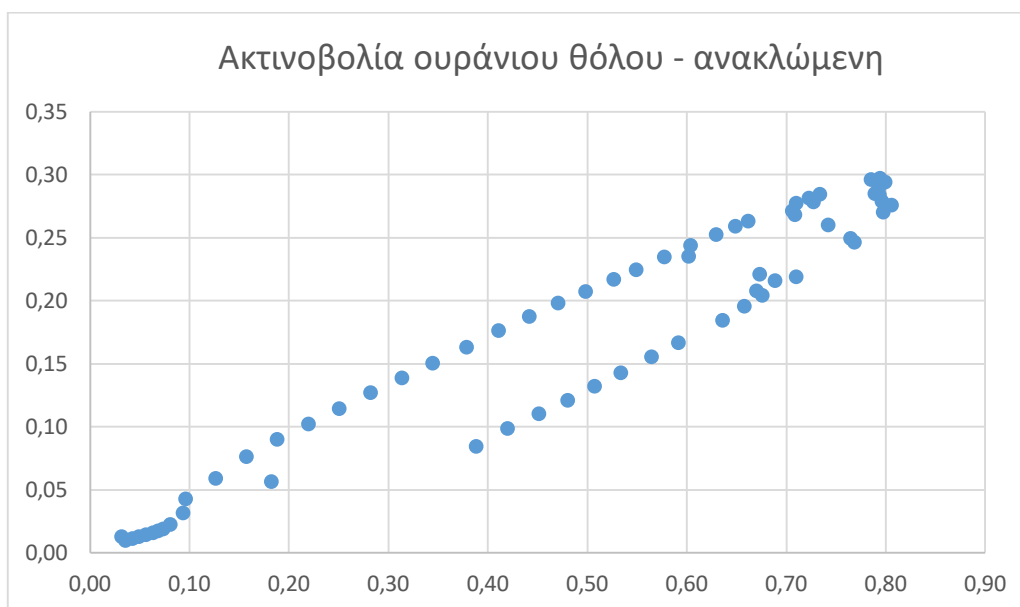
**Σχήμα 8.11 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 30° στις 12/9/2020**



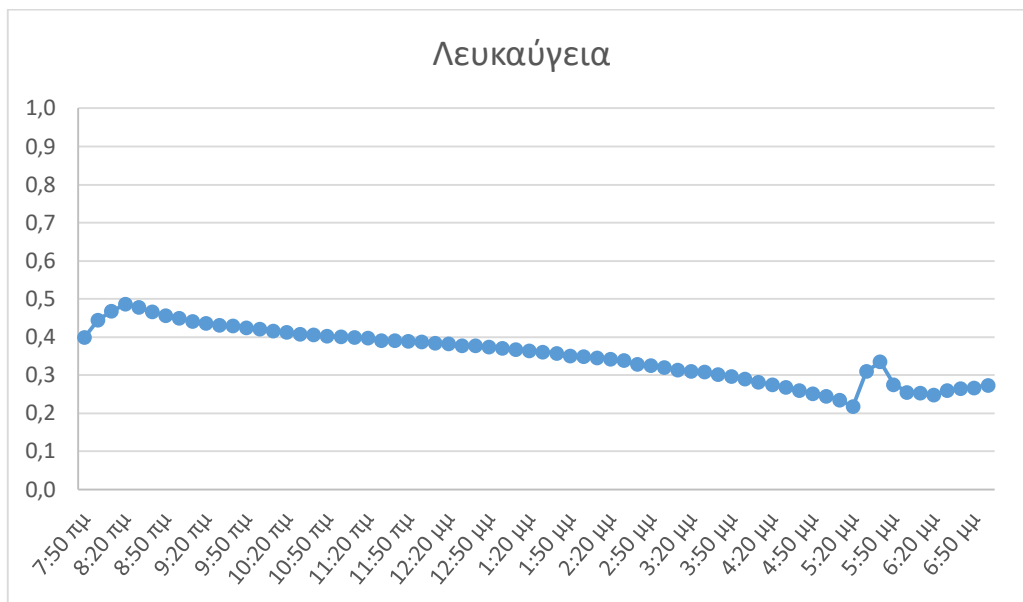
**Σχήμα 8.12 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 30° και χαρτόνι τύπου «οντουλέ» ως ανακλαστικό υλικό στις 12/9/2020**



**Σχήμα 8.13 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με κλίση 30° και χαρτόνι τύπου «οντουλέ» στις 12/9/2020, συναρτήσεϊ της παραγωγής ενέργειας**



**Σχήμα 8.14 - Ηλιακή ακτινοβολία ουράνιου θόλου συναρτήσεϊ της ανακλώμενης από χαρτόνι τύπου «οντουλέ» στις 12/9/2020**



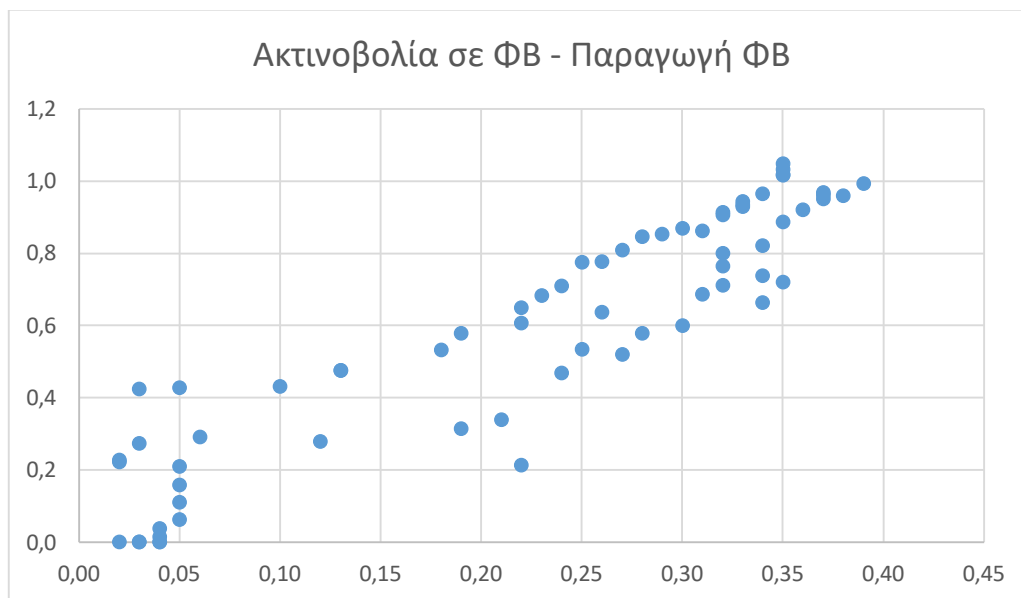
**Σχήμα 8.15 - Υπολογιζόμενη λευκαύγεια χαρτονιού τύπου «οντουλέ» στις 12/9/2020**



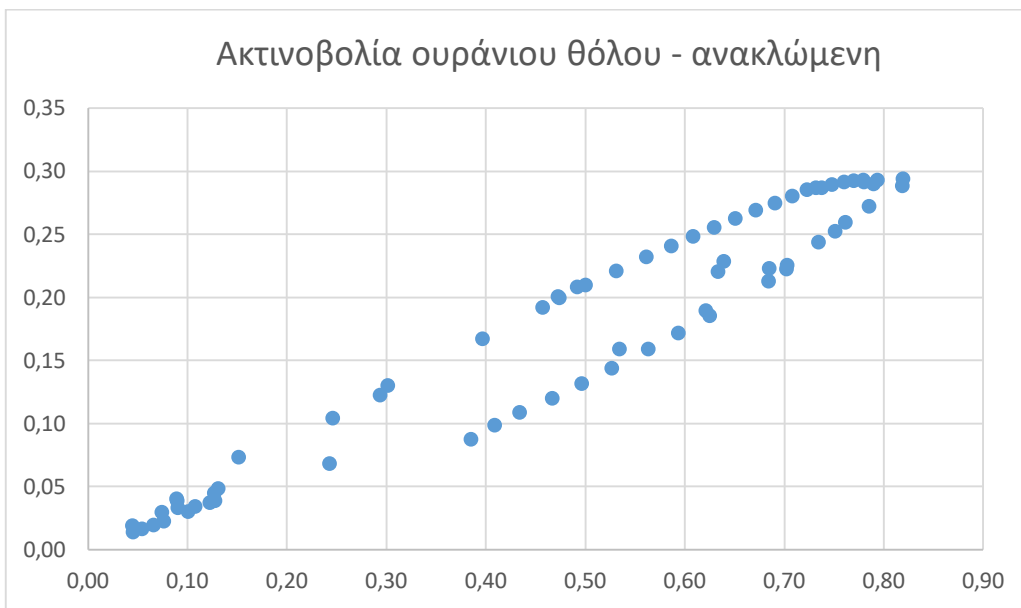
**Σχήμα 8.16 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 30° στις 13/9/2020**



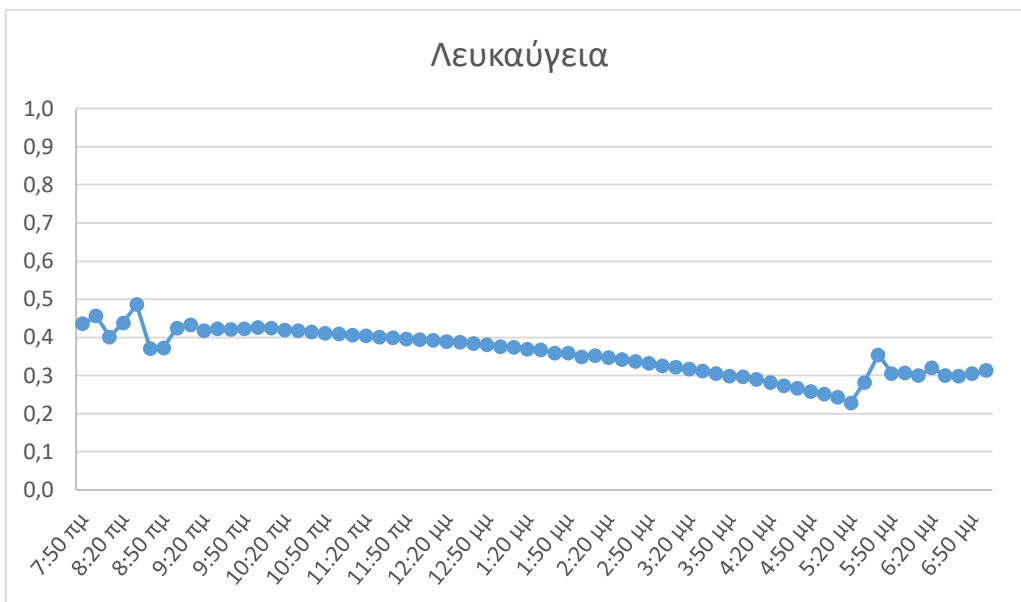
**Σχήμα 8.17 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 30° και χαρτόνι τύπου «οντουλέ» ως ανακλαστικό υλικό στις 13/9/2020**



**Σχήμα 8.18 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με κλίση 30° και χαρτόνι τύπου «οντουλέ» στις 13/9/2020, συναρτήσει της παραγωγής ενέργειας**



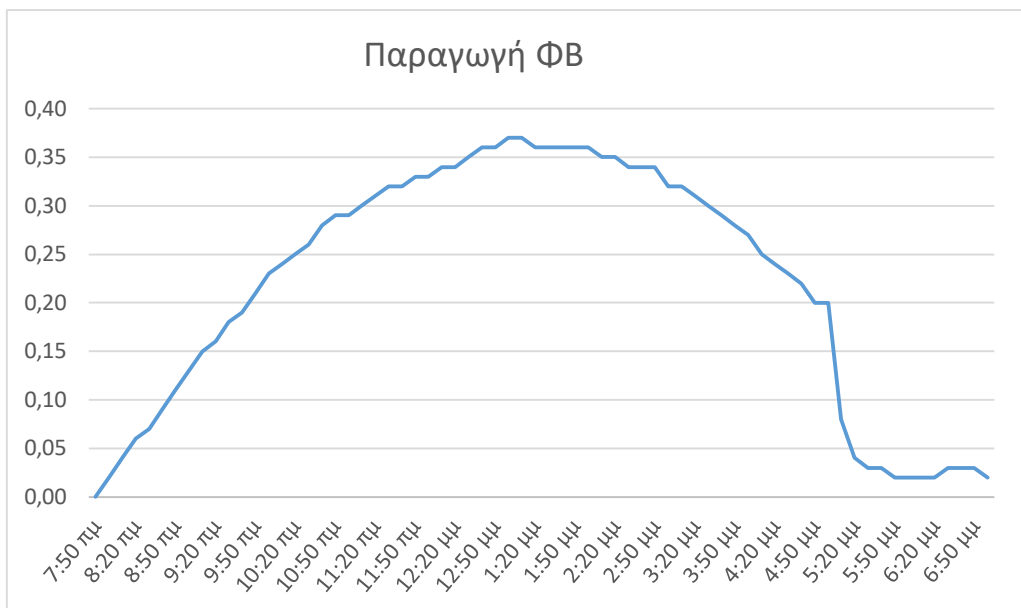
Σχήμα 8.19 - Ηλιακή ακτινοβολία ουράνιου θόλου συναρτήσει της ανακλώμενης από χαρτόνι τύπου «οντουλέ» στις 13/9/2020



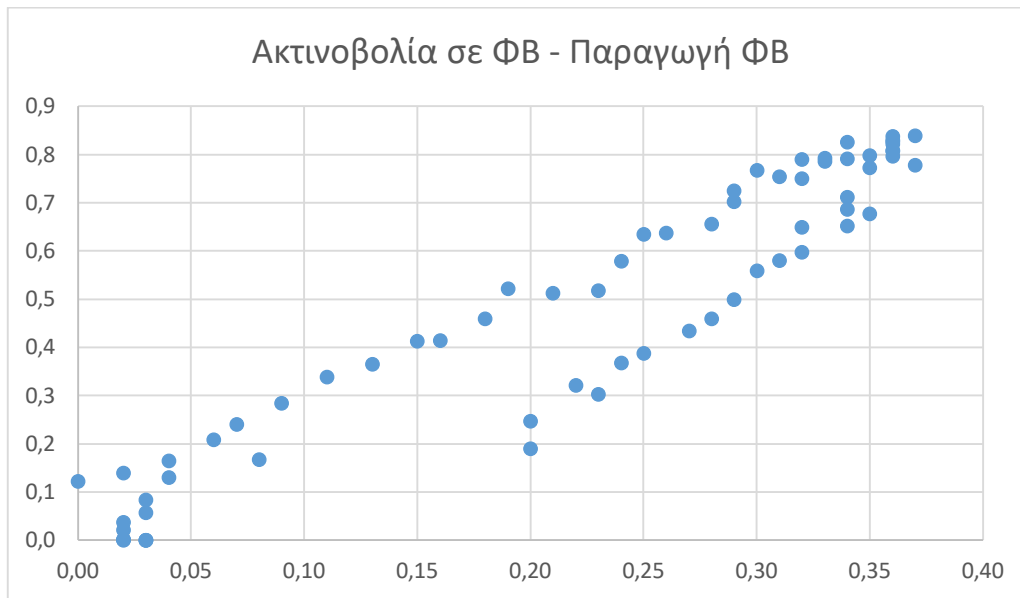
Σχήμα 8.20 - Υπολογιζόμενη λευκαύγεια χαρτονιού τύπου «οντουλέ» στις 13/9/2020



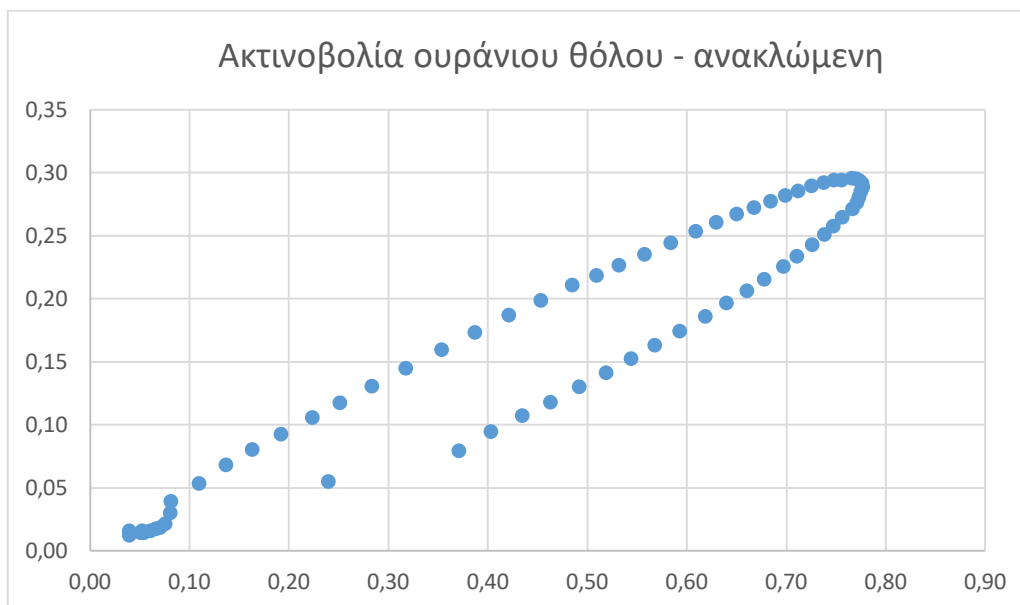
**Σχήμα 8.21 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° στις 14/9/2020**



**Σχήμα 8.22 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° και χαρτόνι τύπου «οντουλέ» ως ανακλαστικό υλικό στις 14/9/2020**

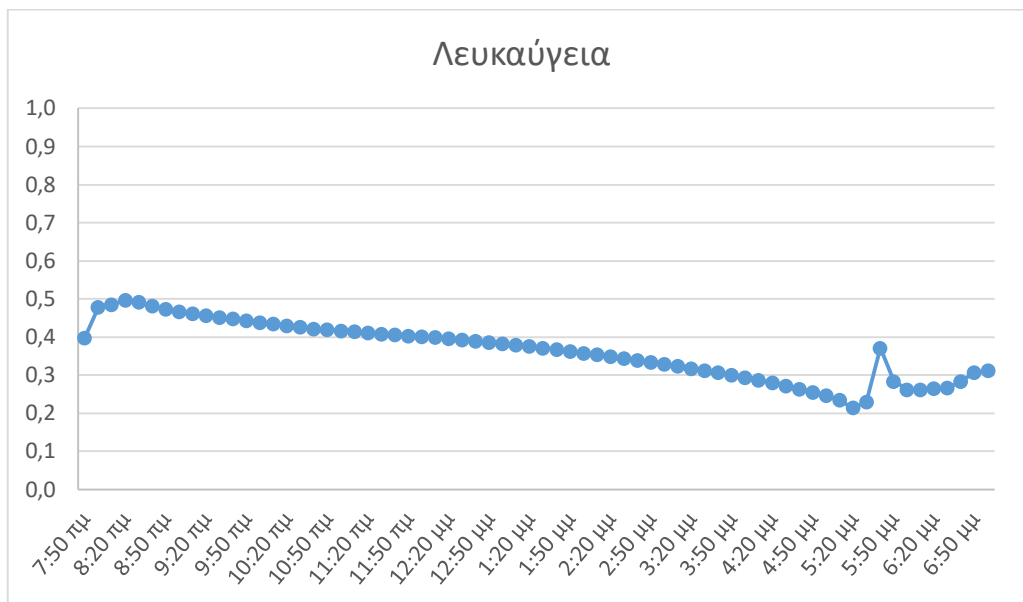


Σχήμα 8.23 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με κλίση 40° και χαρτόνι τύπου «οντουλέ» στις 14/9/2020, συναρτήσει της παραγωγής ενέργειας

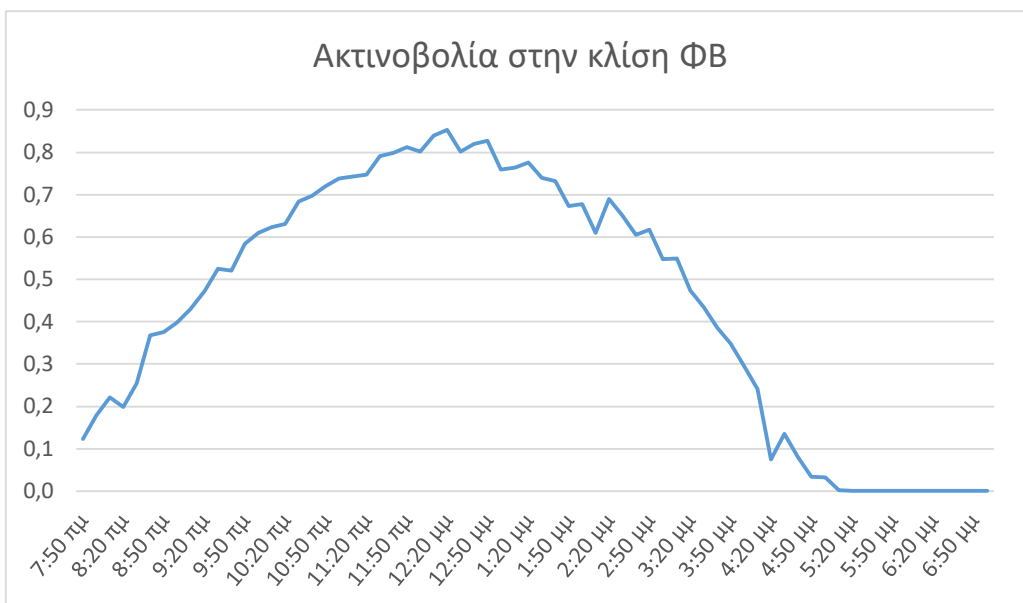


Σχήμα 8.24 - Ηλιακή ακτινοβολία ουράνιου θόλου συναρτήσει της ανακλώμενης από χαρτόνι τύπου «οντουλέ» στις 14/9/2020





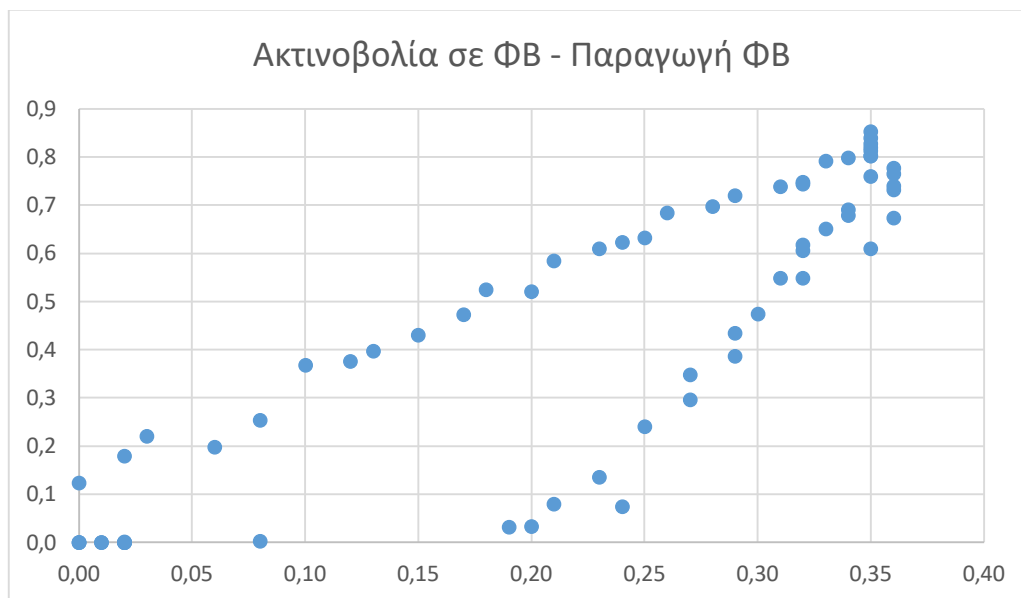
**Σχήμα 8.25 - Υπολογιζόμενη λευκαύγεια χαρτονιού τύπου «οντουλέ» στις 14/9/2020**



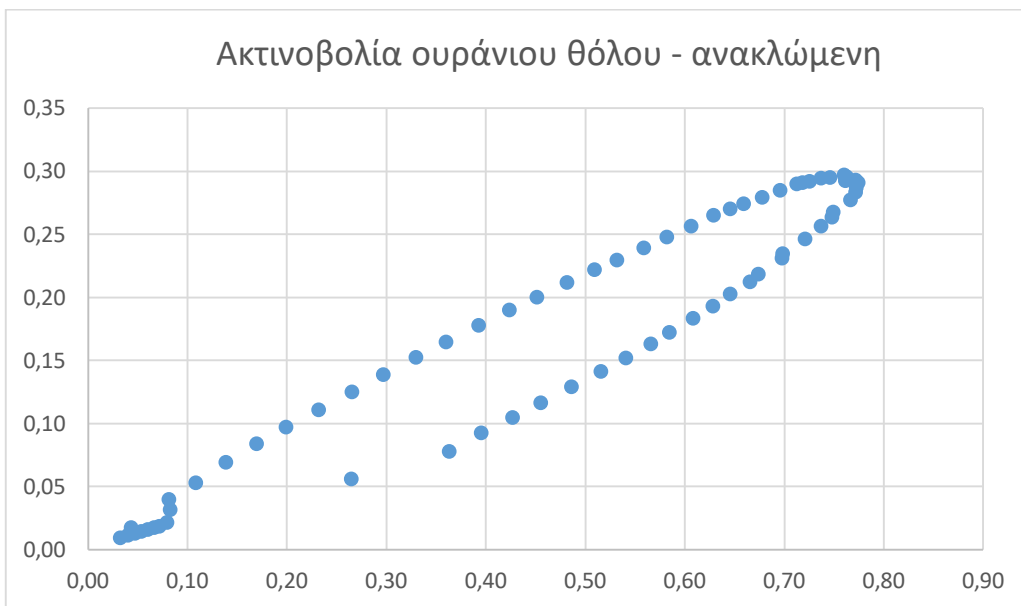
**Σχήμα 8.26 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° στις 15/9/2020**



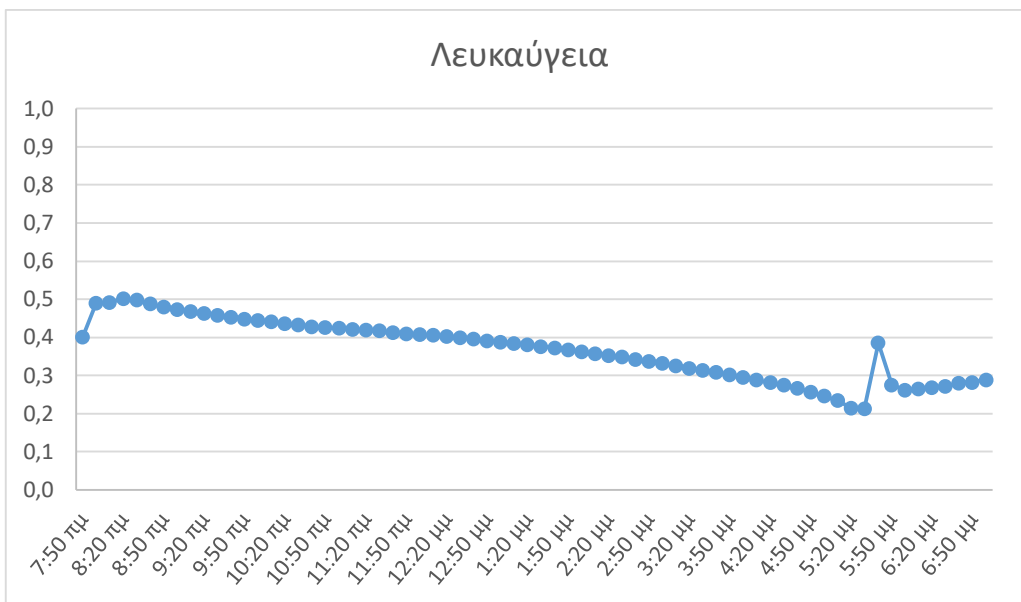
**Σχήμα 8.27 - Παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκών πλαισίων με κλίση 40° και χαρτόνι τύπου «οντουλέ» ως ανακλαστικό υλικό στις 15/9/2020**



**Σχήμα 8.28 - Ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με κλίση 40° και χαρτόνι τύπου «οντουλέ» στις 15/9/2020, συναρτήσεως της παραγωγής ενέργειας**



Σχήμα 8.29 - Ηλιακή ακτινοβολία ουράνιου θόλου συναρτήσει με την ανακλώμενη από χαρτόνι τύπου «οντουλέ» στις 15/9/2020



Σχήμα 8.30 - Υπολογιζόμενη λευκαύγεια χαρτονιού τύπου «οντουλέ» στις 15/9/2020