

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ  
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΚΑΙ  
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ, ΜΕ ΟΜΟΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ  
ΠΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΕΙ ΤΟΝ ΗΛΙΟ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑ ΔΥΟ  
ΑΞΟΝΕΣ.**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:**

**ΣΑΜΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (Α.Μ. 6161)**

**ΠΑΤΟΥΡΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (Α.Μ. 6258)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΕΛΕΝΗ ΚΑΠΛΑΝΗ**

Copyright © Σάμιος Νικόλαος Δ., Πατούρας Νικόλαος Ι. 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου 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 την χρήση της εργασίας, για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, έχει ως αντικείμενο μελέτης την σύγκριση της ενεργειακής συμπεριφοράς σε ετήσια βάση δύο ίδιων φωτοβολταϊκών γεννητριών, μιας κινητής και μία σταθερής που βρίσκονται στην οροφή του κτιρίου των Α.Π.Ε στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος. Η εργασία αυτή δηλαδή, εστιάζει στη μελέτη των δεδομένων που έχουν καταγραφεί από το ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας σημάτων και δεδομένα για τις δύο αυτές γεννήτριες. Ο υπολογισμός των μεγεθών που είναι αναγκαία για την μελέτη αυτή γίνεται με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος matlab. Η μελέτη αποτελείται από 3 σκέλη. Ένα θεωρητικό μέρος και δύο μελετητικά. Στο θεωρητικό μέρος αναφέρονται και επεξηγούνται βασικές έννοιες που αφορούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα που θα μελετήσουμε. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η πειραματική διαδικασία που αφορά τόσο στην κινητή όσο και την σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Στο τρίτο μέρος αναλύονται και παρουσιάζονται τα δεδομένα σε διαγράμματα για την χαρακτηριστική μέρα του κάθε μήνα και σε μηνιαία βάση για όλο το 2014.

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση της καθηγήτριας μας της Ελένης Καπλάνη, την οποία και ευχαριστούμε πρώτον από όλους, καθώς η συνεργασία μας και οι οδηγίες της στην πρωτότυπη μελέτη ήταν καθοριστική για το επιτυχές αποτέλεσμα. Ένα μεγάλο ευχαριστώ και στον κύριο Σωκράτη Καπλάνη για τις γνώσεις που μας μετάδωσε στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην φοιτητική μας πορεία. Οι γνώσεις που έλαβα δίπλα του, είναι εργαλεία που θα μας είναι χρήσιμα σε όλη μας την ζωή. Τέλος ευχαριστούμε ο ένας τον άλλο για την συνεργασία μας στην διεκπεραίωση αυτής της εργασίας αφιερώνουμε στους δικούς μας ανθρώπους, που χωρίς την δύναμη που μας έδιναν μέσα στα δύσκολα, δεν θα τα είχαμε καταφέρει. Σας ευχαριστούμε.

ΣΑΜΙΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΟΥΡΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015

**Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών:** Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι φοιτητές έχοντας επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί λογοκλοπής δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχουμε δε αναφέρει στη βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από βιβλία ή από άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένα ακριβώς ή παραφρασμένα τα έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και τη πηγή προέλευσης. Οι Φοιτητές

Σάμιος Νικόλαος

Πατούρας Νικόλαος

.....

.....

*Στους γονείς μας,  
Στους ανθρώπους που μας στήριξαν*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην συγκριτική μελέτη δύο φωτοβολταϊκών γεννητριών, μιας κινητής περί 2 άξονες και μιας σταθερής. Η μελέτη αφορά τα πειραματικά δεδομένα που έχουν καταγραφεί για να μελετηθούν με την βοήθεια υπολογιστικού προγράμματος με σκοπό την σύγκριση των δύο γεννητριών.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε επτά Κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο επεξηγούνται βασικές έννοιες που αφορούν τον ήλιο και την ηλιακή γεωμετρία, αλλά και την ηλιακή ακτινοβολία. Γίνεται μια εκτενής αναφορά, που σκοπό έχει την εύκολη κατανόηση από τον εκάστοτε αναγνώστη.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο πραγματοποιείται αναφορά πάνω στα φωτοβολταϊκά συστήματα και πάνω στις διατάξεις που συνδέονται μαζί με την γεννήτρια, σε μια ολοκληρωμένη, αυτόνομη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στα είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων ως προς την συνδεσμολογία, ως προς την τεχνολογία και ως προς την λειτουργικότητα.

Στο τρίτο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά αναλυτικά στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων, στην χαρακτηριστική καμπύλη I-V, στις συνθήκες ελέγχου των στοιχείων. Επίσης αναλύεται η εγκατάσταση διαφορετικών συστημάτων(υβριδικό, διασυνδεδεμένο και αυτόνομο. Ακόμα γίνεται λόγος για τις βάσεις εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά πάνω στην πειραματική διαδικασία και συνδεσμολογία των δύο γεννητριών. Επίσης γίνεται αναφορά στα όργανα και στα συστήματα μέτρησης και στο καταγραφικό σύστημα.

Το πέμπτο Κεφάλαιο περιέχει την εξαγωγή των ηλεκτρικών μεγεθών σε διαγράμματα της ακτινοβολίας, θερμοκρασίας, ενέργειας, απόδοσης και επίδοσης για τις δυο γεννήτριες για την χαρακτηριστική μέρα του κάθε μήνα, μαζί με τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα διαγράμματα αυτά.

Στο έκτο Κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των ηλεκτρικών μεγεθών σε μηνιαία βάση μαζί με τα συμπεράσματα που προκύπτουν σε κάθε εποχή για αυτά.

Στο έβδομο Κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση ανάμεσα στις δυο γεννήτριες στην στήριξη και λειτουργία τους, καθώς και στο κόστος εγκατάστασης τους. Καθώς και στις διαφορές τους ανάμεσα στα ηλεκτρικά τους μεγέθη.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ ..... 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1	Ενέργεια από τον ήλιο .....	9
1.2	Ενεργειακό ισοζύγιο .....	10
1.3	Φάσμα και ηλιακής ακτινοβολίας .....	11
1.4	Ηλιακή ακτινοβολία .....	13
1.4.1	Γενικά .....	13
1.4.2	Ολική ηλιακή ακτινοβολία στο γήινο επίπεδο .....	15
1.4.2.1	Άμεση ηλιακή ακτινοβολία $H_B$ .....	15
1.4.2.2	Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία $H_D$ .....	16
1.4.2.3	Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία $H_r$ .....	16
1.4.2.4	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας $I$ .....	16
1.4.2.5	Αέρια μάζα .....	17
1.4.3	Ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας .....	17
1.5	Ηλιακή γεωμετρία .....	18
1.5.1	Γενικά .....	18
1.5.2	Αληθής ηλιακός χρόνος .....	18
1.5.3	Βασικά στοιχεία ηλιακής γεωμετρίας .....	19
1.5.4	Υπολογιστικές εξισώσεις ηλιακής γεωμετρίας .....	24
1.6	Συντελεστής $R$ ακτινοβολίας σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο .....	25
1.7	Έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο .....	27
1.7.1	CLASSIC PVGIS .....	27
1.8	Όργανα μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας .....	32

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1	Φωτοβολταϊκή τεχνολογία .....	36
2.1.1	Γενικά .....	36
2.1.2	Δομή των ημιαγωγών .....	36
2.2	Φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του .....	38
2.2.1	Ορισμός φωτοβολταϊκού φαινομένου .....	38
2.2.2	Συνθήκες δημιουργίας .....	39
2.2.3	Απόδοση φωτοβολταϊκών στοιχείων .....	40
2.3	Είδη και ταξινόμηση των φωτοβολταϊκών στοιχείων .....	41
2.3.1	Φωτοβολταϊκά στοιχεία από πυρίτιο .....	41

2.3.1.1. Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου .....	42
2.3.1.2. Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου.....	42
2.3.1.3.Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας (RIBBON SILICON).....	43
2.3.1.4. Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου .....	44
2.3.2. Φωτοβολταϊκά στοιχεία από διαφορετικά υλικά .....	44
2.3.3. Οργανικά φωτοβολταϊκά.....	45
2.3.4. Φωτοβολταϊκά στοιχεία με νανοτεχνολογία .....	45
2.3.5. Συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά .....	46
2.4. Κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	46
2.5. Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.....	48
2.5.1 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.....	48
2.5.2. Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα .....	49
2.5.3. Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα .....	49
2.6. Προσανατολισμός και στήριξης της εγκατάστασης.....	50
2.6.1. Στήριξη με σταθερή κλίση .....	51
2.6.2. Στήριξη με εποχιακή μεταβλητή κλίση .....	51
2.6.3. Στήριξη με φωτοβολταϊκών πλαισίων με SunTracker ενός ή δύο αξόνων .....	52

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>:ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥΣ**

3.1. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού στοιχείου .....	54
3.2. Παράμετροι της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	55
3.2.1. Χαρακτηριστική καμπύλη φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	55
3.2.2. Σημείο λειτουργίας φωτοβολταϊκού στοιχείου .....	56
3.2.3. Καμπύλη φορτίου .....	57
3.2.4. Συντελεστής πλήρωσης.....	57
3.2.5. Συνθήκες ελέγχου και ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκού στοιχείου .....	57
3.3. Παράγοντες που επιδρούν στη λειτουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων...	58

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ**

4.1. Γενικά .....	61
4.1.1. Σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Fixed) .....	61
4.1.2.Κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Tracker).....	61
4.1.3. Όργανα/συστήματα μέτρησης.....	63
4.1.3.1. Πυρανόμετρο.....	64
4.1.3.2. Θερμοζεύγος .....	65
4.1.3.3. Καταγραφικό.....	67
4.2.1. Δεδομένα καταγραφής.....	68
4.2.2. Προ-επεξεργασία δεδομένων .....	69
4.2.3. Επεξεργασία δεδομένων .....	70

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ**

5.1. Γενικά .....	72
-------------------	----

5.2. Ανάλυση δεδομένων αντιπροσωπευτικής ημέρας για κάθε μήνα .....	73
5.2.1. Αποτελέσματα για τον μήνα Ιανουάριο.....	74
5.2.2. Αποτελέσματα για τον μήνα Φεβρουάριο .....	78
5.2.3. Αποτελέσματα για τον μήνα Μάρτιο .....	82
5.2.4. Αποτελέσματα για τον μήνα Απρίλιο .....	86
5.2.5. Αποτελέσματα για τον μήνα Μάιο.....	90
5.2.6. Αποτελέσματα για τον μήνα Ιούνιο .....	94
5.2.7. Αποτελέσματα για τον μήνα Ιούλιο .....	98
5.2.8. Αποτελέσματα για τον μήνα Αύγουστο .....	102
5.2.9. Αποτελέσματα για τον μήνα Σεπτέμβριο .....	106
5.2.10. Αποτελέσματα για τον μήνα Οκτώβριο .....	109
5.2.11. Αποτελέσματα για τον μήνα Νοέμβριο.....	113
5.2.12. Αποτελέσματα για τον μήνα Δεκέμβριο .....	117

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ 2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ**

6.1. Γενικά .....	122
6.1.2. Ανάλυση σε μηνιαία βάση.....	123
6.1.3. Ημερήσια παραγομένη ενέργεια ανά μήνα .....	123
6.1.4. Ημερήσια ακτινοβολία για κάθε μήνα.....	123
6.1.5. Ημερήσια επίδοση (Yield) για κάθε μήνα.....	124
6.1.6. Ημερήσια απόδοση $\eta_{pv}$ για κάθε μήνα.....	124
6.1.7. Θερμοκρασία $T_c(^{\circ}C)$ φωτοβολταϊκών ανά ημέρες/μήνα.....	125
6.2.1. Ιανουάριος.....	125
6.2.2. Φεβρουάριος .....	128
6.2.3. Μάρτιος .....	131
6.2.4. Απρίλιος .....	133
6.2.5. Μάιος.....	136
6.2.6. Ιούνιος .....	139
6.2.7. Ιούλιος .....	141
6.2.8. Αύγουστος.....	144
6.2.9. Σεπτέμβριος .....	146
6.2.10. Οκτώβριος.....	149
6.2.11. Νοέμβριος.....	151
6.2.12. Δεκέμβριος .....	153
6.3.1. Εποχιακή σύγκριση μεγεθών.....	156
6.3.2. Εποχιακή απόδοση .....	156
6.3.3. Εποχιακή ακτινοβολία $HT(\frac{Wh}{m^2})$ .....	156
6.3.4. Εποχιακή ενέργεια $E(Wh)$ .....	157
6.3.5. Εποχιακή θερμοκρασία $T(^{\circ}C)$ .....	157
6.3.6. Εποχιακή επίδοση $Yield(\frac{kWh}{kWp})$ .....	157
6.4.1. Εποχιακή σύγκριση γεννητριών.....	157
6.4.1.1. Θερμοκρασία ανάμεσα στις δύο γεννήτριες ανά εποχή.....	157
6.4.1.2. Ακτινοβολία ανάμεσα στις δύο γεννήτριες ανά εποχή .....	158
6.4.1.3. Μέση ημερήσια απόδοση ανάμεσα στις δύο γεννήτριες ανά εποχή .....	158
6.4.1.4. Μηνιαία ημερήσια ενέργεια ανάμεσα στις δύο γεννήτριες ανά εποχή...	158



6.4.1.5. Μέση μηνιαία ημερήσια απόδοση ανάμεσα στις δύο γεννήτριες ανά εποχή.....	159
---	-----

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΤΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ**

7.1.1. Στήριξη λειτουργίας σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας .....	161
7.2.1. Στήριξη κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας, συστήματα που παρακολουθούν τον ήλιο.....	163
7.3.1. Οικονομικό πλαίσιο.....	164
7.3.1.1. Τα φωτοβολταϊκά στην αγορά .....	164
7.3.1.2. Κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκών .....	164
7.3.1.3. Κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στην ταράτσα του εργαστηρίου των ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.....	165
7.3.1.4. Σύγκριση κόστους φωτοβολταϊκών γεννητριών .....	165
7.4.1. Σύγκριση και συμπεράσματα ανάμεσα στις δύο φωτοβολταϊκές γεννήτριες.....	167
7.4.1.1. Αναπτυσσόμενη θερμοκρασία στις δύο γεννήτριες .....	167
7.4.1.2. Προσπίπτουσα ακτινοβολία στις δύο γεννήτριες .....	167
7.4.1.3. Παραγόμενη μέγιστη ισχύς από τις δύο γεννήτριες .....	167
7.4.1.4. Απόδοση των δύο γεννητριών.....	167
7.4.1.5. Σύγκριση επίδοσης και κόστους των δυο γεννητριών.....	168
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:</b> .....	170

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1. Η ανάγκη του ανθρώπου σε ενέργεια και εφαρμογές

Η εξέλιξη της ανθρωπότητας είναι στενά συνδεδεμένη με την χρήση της ενέργειας, η οποία έφερε μεγάλες αλλαγές για την διευκόλυνση της καθημερινότητας στην ζωή των ανθρώπων αλλά και στο περιβάλλον. Σε παλιές περιόδους της ιστορίας ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε οποιαδήποτε μορφής ενέργεια για να επιβιώσει. Τα τελευταία χρόνια έκανε τεράστια άλματα προόδου όσον αφορά το θέμα της παραγωγής ενέργειας και προσανατολίστηκε κυρίως στις ορυκτές πηγές (άνθρακας-Βιομηχανική επανάσταση), οι οποίες εξευγενίστηκαν, με έρευνες και κατασκευές, κυρίως στην ηλεκτρονική τεχνολογία. Παράλληλα, άρχισαν να επιβεβαιώνονται, προβλέψεις για σημαντικές (αέρια, φαινόμενο του θερμοκηπίου), επιβαρυντικές συνέπειες της συμπεριφοράς του ανθρώπου στο οικοσύστημα, εξαιτίας κυρίως της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων. Φαινόμενο του θερμοκηπίου θεωρείται η πιθανολογούμενη αύξηση της μέσης γήινης θερμοκρασίας ως συνέπεια της συνεχούς αύξησης της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα [41]. Τελικά, η ανθρωπότητα στράφηκε στην πράσινη ενέργεια. (Πράσινη ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών της κοινωνίας μας χωρίς την επιβάρυνση της κοινωνίας) [42]. Με τον όρο αυτό εννοούμε μορφές ενέργειας οι οποίες ανανεώνονται από την ίδια την φύση και δεν έχουν αντίκτυπο στο περιβάλλον. Είναι ενέργεια που μπορεί ο άνθρωπος να εκμεταλλευτεί από την φύση για καλύτερη ζωή προς το δικό του συμφέρον και να ελαφρύνει το περιβάλλον από τις επιβαρυντικές συνθήκες (όξινη βροχή, μείωση της ποιότητας ζωής και αύξηση των ασθενειών).

Το σύνολο των πηγών ενέργειας, διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες οι οποίες είναι οι εξής:

- εκείνες που βρίσκονται στο στερεό φλοιό της Γης, με πεπερασμένα όρια και συγκεκριμένη διάρκεια ζωής.
- σε αυτές που μας παρέχονται ελεύθερα από την φύση.

Στις πρώτες ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο, πυρηνικά), ενώ οι υπόλοιπες, έχουν βασική τους πηγή τον Ήλιο (Ηλιακή ακτινοβολία).



*Εικόνα Ε1: Εργοστάσιο Παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, Πτολεμαΐδα[44]*

**Οι κύριες πηγές ενέργειας, που χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι:**

**Άνθρακας:** Ο άνθρακας είναι το αμέταλλο χημικό στοιχείο με χημικό σύμβολο C και ατομικό αριθμό 6 [45], είναι η καύση της ύλης (κάρβουνο). Η βιομηχανική επανάσταση βασίστηκε πάνω στον άνθρακα, καθώς ξεκίνησε η εκβιομηχάνιση δηλαδή η πρόοδος στην παραγωγή και τις τεχνικές μεθόδους. Όμως ακόμα και σήμερα μεγάλο ποσοστό της παγκόσμια βιομηχανίας βασίζεται στον άνθρακα.

**Πετρέλαιο:** Το πετρέλαιο είναι υγρό πέτρωμα, μείγμα υδρογονανθράκων, δηλαδή ουσιών που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο, κατά ένα μεγάλο μέρος της σειράς των αλκανίων [46]. Το πετρέλαιο και τα παράγωγα του αποτελεί ένα από τους πιο σημαντικούς υδρογονάνθρακες τόσο στην παγκόσμια βιομηχανία αλλά και στην καθημερινότητα του ανθρώπου, αφού υπάρχει πληθώρα προϊόντων που έχουν σαν βάση το πετρέλαιο. Ωστόσο το πετρέλαιο χρειάζεται ειδική επεξεργασία μέχρι να φτάσει στην κατάλληλη ποιότητα που απαιτείται για να πουληθεί στην αγορά. Η επεξεργασία η οποία υφίσταται αρχικά ονομάζεται αποθείωση με σκοπό στην απομάκρυνση των θειούχων προσμείξεων, οι οποίες κατά την καύση δημιουργούν τα ρυπογόνα οξέα του θείου. Στην συνέχεια το πετρέλαιο υποβάλλεται σε κλασματική απόσταξη. Η κλασματική απόσταξη αποτελεί μια μέθοδο διαχωρισμού των συστατικών πετρελαίου σε ομάδες υδρογονανθράκων με κριτήριο το σημείο βρασμού της κάθε μιας [46]. Οι αυξημένες ποσότητες του πετρελαίου και των παραγώγων του αποτελούν ρύπους με επιβλαβή αποτελέσματα για τον άνθρωπο (νοσεί πιο εύκολα λόγω των διαφόρων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα) αλλά και για το περιβάλλον (φαινόμενο του θερμοκηπίου).

**Πυρηνική Ενέργεια:** Η πυρηνική τεχνολογία αναπτύχθηκε λίγο μετά την δεκαετία του 50', αποτελεί μια μεγάλης ισχύος πηγή ενέργειας, στην οποία αρχικά βασίστηκαν πολλές ελπίδες. Σήμερα γίνεται αντιληπτή η αδυναμία να λυθεί το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης διασποράς των πυρηνικών όπλων ή της αποθήκευσης των πυρηνικών αποβλήτων, καθώς οι κίνδυνοι είναι σημαντικοί με χρόνιες επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου [1].

**Φυσικό Αέριο:** Το φυσικό αέριο είναι φυσικό μείγμα αερίων υδρογονανθράκων κυρίως από μεθάνιο. Αποτελεί συγκέντρωση άλλων υδρογονανθράκων(συνήθως

αιθάνιο), επίσης περιέχει μικρές ποσότητες ρύπων όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται εκτεταμένα καθώς αποτελεί σημαντική πηγή ενέργειας σε πληθώρα εφαρμογών, όπως στην θέρμανση των κτιρίων, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την παροχή θερμότητας στη βιομηχανία και ως καύσιμο στα οχήματα. [6]

**Πράσινη ενέργεια:** Η πράσινη ενέργεια πηγάζει καθαρά από την φύση και δεν έχει επιπτώσεις σε αυτήν. Ανανεώνεται συνεχώς, δεν ρυπαίνει, δεν επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Είναι ανεξάντλητες πηγές ενέργειας άφθονες και πάντα διαθέσιμες και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους. Μπορούν να καλύψουν ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών σε μικρή κλίμακα εφαρμογών ή σε μεγάλη κλίμακα. Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που ότι και να συμβαίνει στην διεθνή οικονομία δεν επηρεάζονται ιδιαίτερα. Δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας και συμβάλλουν στην αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών [7]. Στο ηλεκτρικό δίκτυο κάθε χώρας μπορούν να συνδεθούν συμβατικές μαζί με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



*Εικόνα Ε2: Άντληση πετρελαίου[47]*

### **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας:**

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη, εκτός από την διατήρηση και ανάπτυξη της ζωής στον πλανήτη, δίνει αδιάκοπη ενέργεια, με διάφορες μορφές αξιοποίησης. Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (αιολική ενέργεια), θερμαίνει άμεσα και εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό υδρολογικό κύκλο, δημιουργώντας λίμνες και ποτάμια, που αποτελούν πηγή ενέργειας (υδροηλεκτρικά εργοστάσια). Με την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας παράγει ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκό φαινόμενο). Η εκμετάλλευση ακόμα και των κυμάτων (Ενέργεια κυμάτων), επίσης συντείνει η πράσινη ενέργεια στην ανάπτυξη της χλωρίδας λόγω της μείωσης των ρυπών, με την καύση των φυτικών προϊόντων παράγεται ενέργεια (βιομάζα).

### **Υδροηλεκτρική Ενέργεια:**

Η υδατόπτωση επίσης αποτελεί έναν από τους τρόπους παραγωγής καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εκμετάλλευση φυσικών υδάτινων λεκανών σε περιοχές με συγκεκριμένη εδαφική διαμόρφωση, γίνεται με την κατασκευή φραγμάτων. Από μεγάλο ύψος ρέει νερό, έτσι κινούνται υδροστρόβιλοι και θέτουν σε κίνηση τις

ηλεκτρογεννήτριες. Το μειονέκτημα είναι ότι μια τέτοια εγκατάσταση χρειάζεται ορισμένη εδαφική περιοχή με συγκεκριμένα κριτήρια. Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα αδιαμφισβήτητα επηρεάζουν σημαντικά το περιβάλλον (τόσο θετικά όσο και αρνητικά). Σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από μια τέτοια εγκατάσταση συνδέονται με την κατάκλιση φυσικών και αγροτικών συστημάτων, οικισμών και ανθρώπινων κατασκευών από το νερό των ταμιευτήρων. Μειωμένη οξυγόνωση του νερού με αποτέλεσμα το φαινόμενο του ευτροφισμού. Υποβάθμιση της φυσικής ομορφιάς του τοπίου λόγω εκσκαφών και άλλων εργασιών στην περιοχή. Ωστόσο η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί πηγή ενέργειας η οποία δεν ρυπαίνει το περιβάλλον και μάλιστα η παραγόμενη ισχύς που παράγει ένα τέτοιο εργοστάσιο είναι σημαντικό ποσό ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μια χώρας, αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο για κάλυψη ενεργειακών αναγκών. Σημαντικό είναι να επισημανθεί, πως το 16% της παγκόσμιας ενέργειας καλύπτεται από υδροηλεκτρικά εργοστάσια [49].

	Ετήσια Παραγωγή Υδροηλεκτρικής Ενέργειας		Εγκατεστημένη Ισχύς για Παραγωγή Υδροηλεκτρικής Ενέργειας	
	TWh	% συνολικής παραγωγής	GW	% συνολικής εγκατεστημένης ισχύος
Αλβανία	5	96	Μη διαθέσιμα στοιχεία	
Αυστρία	42,2	78	10,9	67,7
Βουλγαρία	3	9	2	17
Γαλλία	66,9	13,3	24,3	22,1
Γερμανία	23,6	4,8	8,3	8,3
Ελβετία	37,8	57,9	13,8	77,2
Ελλάδα	4,1	9,0	3	32,9
Ισπανία	31,4	16,1	16,3	35,4
Ιταλία	50,3	19,2	19,8	27,5
Νορβηγία	122,1	99,4	27,6	98,9
Πορτογαλία	11,6	30,9	4,2	45,5
Σερβία, ΠΓΔΜ	13,2	32	4,6	36,6
Βοσνία-Ερζεγοβίνη				
Τουρκία	42	39	10	44

**Εικόνα Ε3: Ετήσια παραγωγή και εγκατεστημένη ισχύς σε χώρες της Ευρώπης[48]**

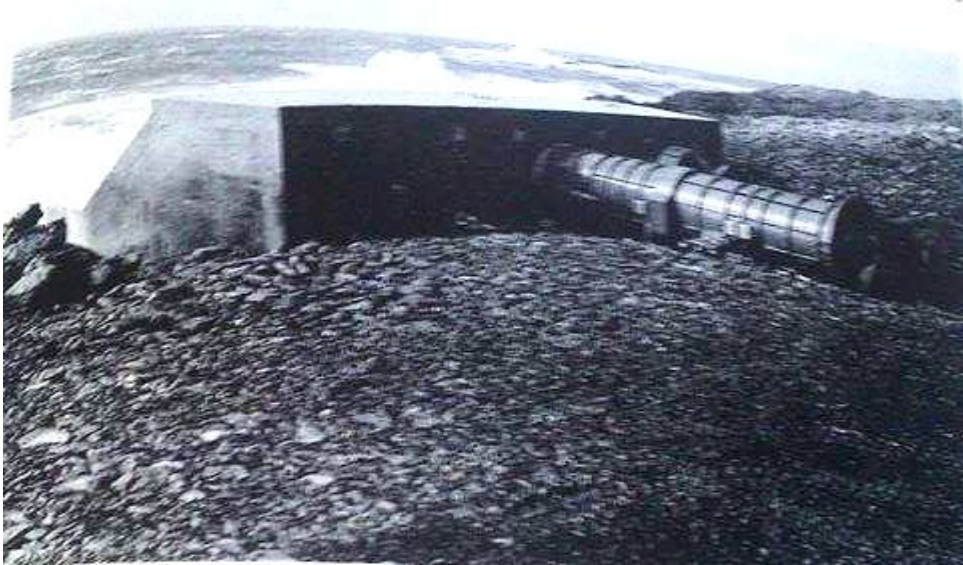
### **Ενέργεια από κύματα:**

Η τεχνολογία αυτή παράγει, με πηγή την ενέργεια των κυμάτων, Ηλεκτρική, Θερμική και Μηχανική ενέργεια. Οι δυο τελευταίες μορφές είναι χρήσιμες για αφαλάτωση του νερού αλλά και άντληση θαλάσσιου νερού. Ως γνωστό, άνεμος που διέρχεται ακριβώς πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας μεταφέρει μέρος της ενέργειας του σε αυτήν δημιουργώντας τα κύματα [43]. Αυτού του είδους η παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιείται όπου η διάρκεια κυματισμού ή το ύψος των κυμάτων και η ταχύτητα των θαλάσσιων ρευμάτων επιτρέπουν την αξιοποίηση και ασφαλή εγκατάστασή του. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας οι οποίοι ακολουθούν παρακάτω.

- Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυματισμό
- Στο άμεσο μέλλον η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση υποθαλάσσιων ηλεκτρογεννητριών, σε θαλάσσιες περιοχές που υπάρχουν ισχυρά υποθαλάσσια ρεύματα.
- Μελετάται ακόμα η αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων σε ειδικές κατασκευές, στις οποίες ενσωματώνονται ανεμογεννήτριες, ένα μέρος των

οποίων είναι βυθισμένο στη θάλασσα. Κατά τον κυματισμό, ο εισερχόμενος όγκος του νερού συμπιέζει τον εγκλωβισμένο αέρα, ο οποίος ρέει μέσω της κεντρικής χοάνης, θέτοντας σε περιστροφή τη φτερωτή της ανεμογεννήτριας[1].

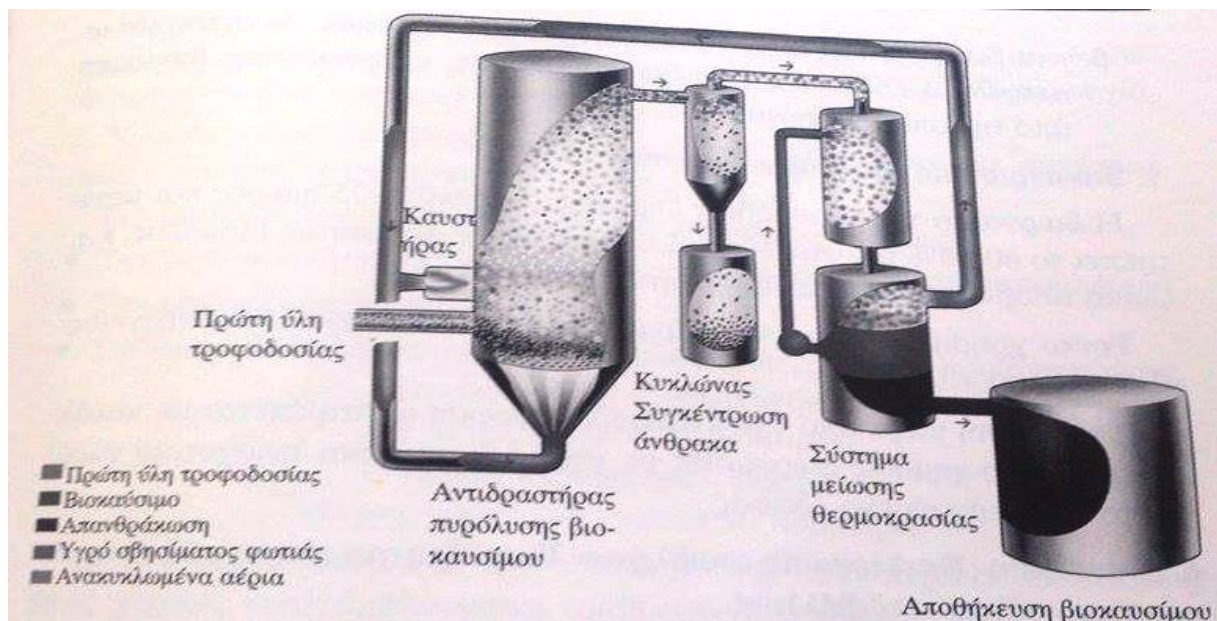
Επίσης μπορούν να εκμεταλλευθούν για την παραγωγή ενέργειας, πέραν τις παλίρροιες και την ενέργεια των κυμάτων αλλά και λόγω των θερμοκρασιακών διαφορών της θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου νερού στην επιφάνεια και του ψυχρότερου νερού στον πυθμένα μια μέθοδος φιλική προς το περιβάλλον[8].



**Εικόνα Ε4: Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυματισμό (βλέπε σελίδα 141, [43])**

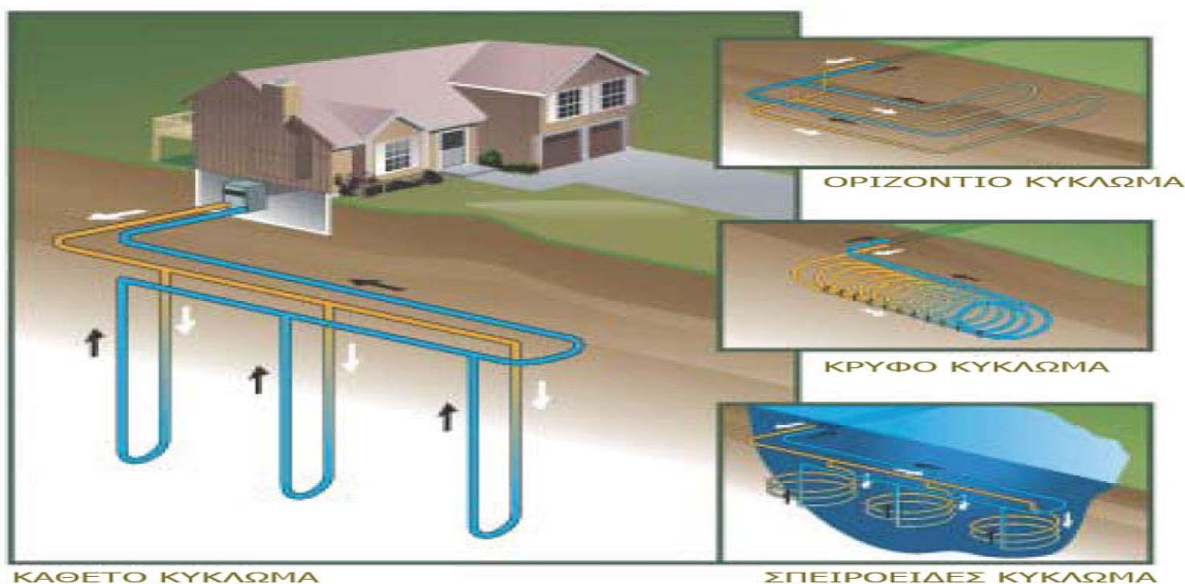
**Βιομάζα:** Η βιομάζα ή πιο σωστά η παραγωγή βιομάζας είναι το αποτέλεσμα της φυσικοχημικής αντίδρασης ενός οικοσυστήματος με την προσπίπτουσα από ηλιακή ακτινοβολία [43]. Κατά την καύση της βιομάζας η δεσμευμένη ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική. Τα ανόργανα στοιχεία που περιέχονται στην τέφρα εμπλουτίζουν το έδαφος με θρεπτικά στοιχεία. Η βιομάζα καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίως ζητούμενης ενέργειας. Η καύση αποτελεί ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου [9].





**E5: Διάταξη παραγωγής και αποθήκευσης βιοκαυσίμου [43]**

**Γεωθερμική ενέργεια:** Αφορά στην ενέργεια των θερμών νερών που πηγάζει μέσα από ηφαιστειακές διόδους ή ρήγματα του υπεδάφους. Η θέρμανση των γεωθερμικών υδάτων αποδίδεται στην εκλυόμενη ενέργεια κατά τη διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων στο στερεό φλοιό της γης. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι χαμηλή, η ενέργεια τους χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση κτιρίων ενώ στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία των ατμών είναι υψηλή (>150 °C), μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [1].



**Εικόνα E6: Εγκατάσταση γεωθερμίας σε κατοικία[50]**

**Αιολική Ενέργεια:** Η αιολική ενέργεια εξαρτάται από τον άνεμο, ο οποίος δημιουργείται όταν η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρα δημιουργεί διαφορά βαρομετρικής πίεσης. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι να κινηθεί μια αέρια μάζα από την ψυχρότερη προς την θερμότερη περιοχή. Η εγκατάσταση αιολικών συστημάτων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο με χρήση

ανεμογεννητριών οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα πτερυγίων, αναπτύσσεται διαρκώς στις μέρες μας. [10].



**Εικόνα Ε7:** Φωτογραφία εγκατάστασης ανεμογεννητριών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Παναχαϊκό όρος(οριζόντιου άξονα τύπου Vestas 800KW/έκαστη).

**Ηλιακή Ενέργεια:** Η ηλιακή ενέργεια είναι άφθονη και δωρεάν, όμως έχει μικρή πυκνότητα και χαμηλή ακτινοβολία ( $10^3 \text{w/m}^2$ ). Έχει αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο από την αρχαιότητα με μια σειρά από εξελισσόμενες τεχνολογίες. Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα, καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.



**Εικόνα Ε8:** Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σταθερού προσανατολισμού για εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας



Η εκμετάλλευση της χωρίζεται στις εξής τρεις κατηγορίες:

1. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα,
2. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα
3. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που μετατρέπεται η ηλιακή ακτινοβολία, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

## **2. Ενεργειακός Σχεδιασμός – Υβριδικά Συστήματα**

Η εφαρμογή του ενεργειακού σχεδιασμού και η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτίρια είναι ένας παράγοντας για την αξιοποίηση της ενέργειας για κάθε κτίριο σε κάθε μέρος. Τόσο στον αγροτικό, αλλά και στον βιομηχανικό κτιριακό τομέα μπορούν να ενταχθούν και να ενσωματωθούν διάφορες λειτουργίες και καινοτομίες τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στόχος είναι να μειωθεί στους ενεργοβόρους αυτούς τομείς η χρήση των συμβατικών πηγών και να αντικατασταθούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ιδιαίτερα να ενσωματωθούν στο κέλυφος των κτιρίων, ώστε να καλύπτεται ενεργειακά, θερμικά και ηλεκτρικά από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το ίδιο και στον αγροτικό τομέα, όπου η ένταξη της τεχνολογίας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να παίξει σημαντικό παράγοντα ανάπτυξης του. Με την είσοδο αυτών των τεχνολογιών ενέργειας στις αγροτικές εγκαταστάσεις θα υπάρξουν άμεσες μεταβολές στον τρόπο παραγωγής των προϊόντων. Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται χρονικά κατά την διάρκεια της ημέρας και διαρκεί από την Ανατολή μέχρι την Δύση του ήλιου, είναι αναγκαίο να σχεδιαστούν υβριδικά συστήματα που παράγουν ενέργεια από ανανεώσιμες μαζί με άλλα, συστήματα (π.χ. φωτοβολταϊκές γεννήτριες-ανεμογεννήτριες –βιομάζα).

Η αξιοποίηση αυτού του συνδυασμού συστημάτων βασισμένη στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τις περιβαλλοντικές συνθήκες ενός τόπου. Στις μέρες μας υπάρχει πληθώρα από διαφορετικά ενεργειακά συστήματα που δύναται να ενσωματωθούν στα κτίρια με σκοπό την μερική ή ολική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ή φορτίων. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Φωτοβολταϊκά συστήματα
- Ηλιακά θερμικά συστήματα
- Αιολικά συστήματα
- Γεωθερμικά συστήματα (Geothermal energy systems)
- Συστήματα αξιοποίησης βιομάζας (Biomass systems)

Βασικός στόχος για τον σχεδιασμό των κτιρίων είναι η εξασφάλιση θερμικής κάλυψης με την όσο δυνατόν λιγότερη κατανάλωση συμβατικής ενέργειας. Τα συστήματα αυτά, προκύπτουν από τον συνδυασμό δύο ή περισσότερων διαφορετικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά και με την βοήθεια συμπληρωματικών πηγών παραγωγής ενέργειας που προαναφέρθηκε.

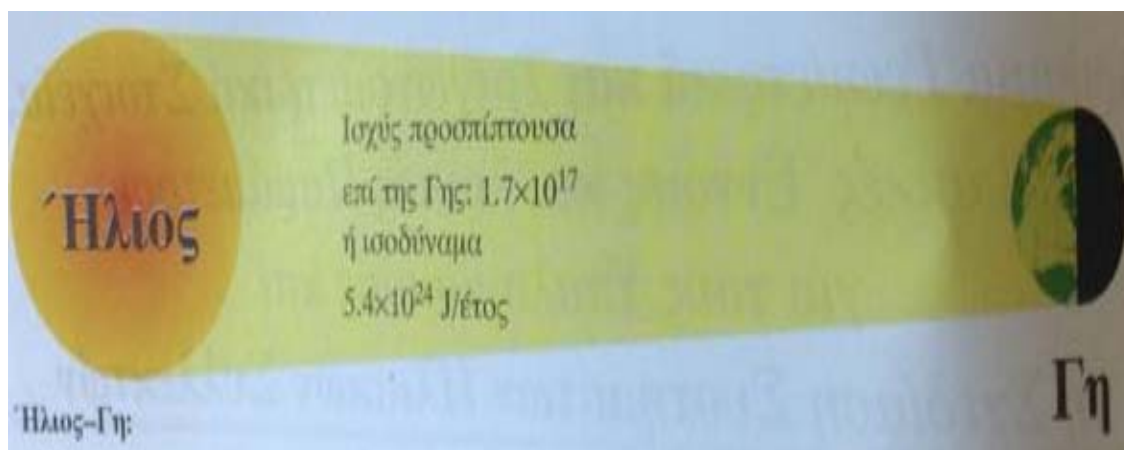
Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά την ανάλυση μεγεθών και την ενεργειακή συμπεριφορά δύο ίδιων φωτοβολταϊκών γεννητριών, μίας σταθερής και μια κινητής που ιχνηλατεί τον ηλιακό δίσκο στην περιοχή του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, με σκοπό

την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων από τα ηλεκτρικά τους μεγέθη καθώς αφορούν την συμπεριφορά της απόδοσης και της επίδοσης τους. Για να διαπιστωθεί ποια από τις δυο γεννήτριες είναι αποτελεσματικότερη και πιο συμφέρουσα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

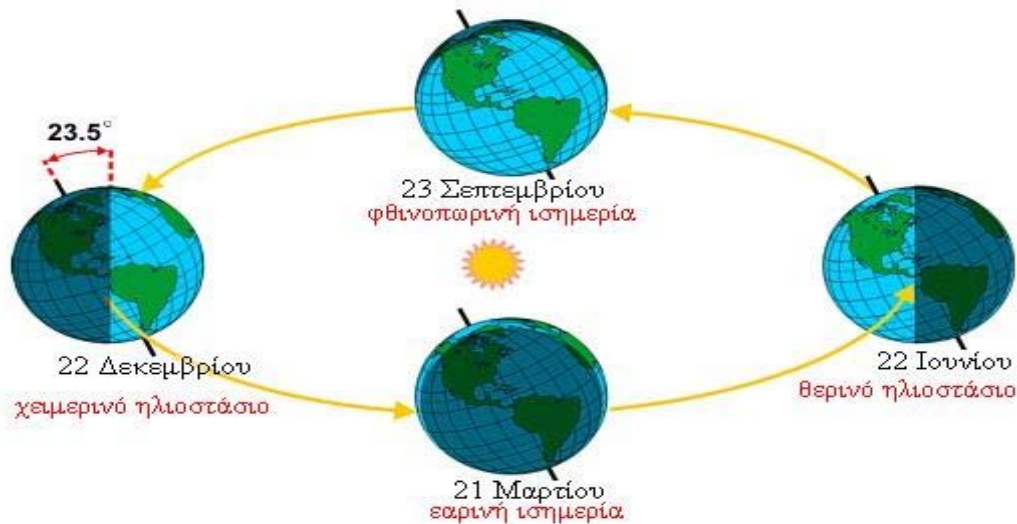
### 1.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΗΛΙΟ

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διάφορων μορφών ενέργειας που εκπέμπονται από τον Ήλιο. Μέρος της ενέργειας κατευθύνεται προς την Γη υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το φάσμα της έχει ένα μεγάλο τμήμα από την περιοχή του ορατού φάσματος (βλ. εικόνα 1.1). Το 1/3 της ακτινοβολίας ανακλάται στο διάστημα καθώς κινείται από τα αραιότερα προς τα πιο πυκνά στρώματα της ατμόσφαιρας, ενώ η υπόλοιπη ακτινοβολία απορροφάται από την ατμόσφαιρα και στην συνέχεια ακτινοβολείται ξανά στο διάστημα.



Εικόνα 1.1: Προσπίπτουσα ισχύς από τον ήλιο στη γη [2]

Η εξέλιξη της ανθρωπότητας είναι συνδεδεμένη με τη χρήση ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους. Δεν είναι τυχαίο ότι οι ονομασίες των ιστορικών περιόδων της ανθρωπότητας, λίθινη εποχή, εποχή του σιδήρου ή του χαλκού, προέκυψαν από τη δυνατότητα των ανθρώπων να εκμεταλλεύονται διαφορετικές μορφές ενέργειας. Το 5000 π.Χ στον Νείλο χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά η αιολική ενέργεια για την κίνηση των πλοίων, ενώ το 4000 π.Χ μικροί νερόμυλοι στην Ελλάδα χρησίμευαν για την άλεση δημητριακών αλλά και για παροχή πόσιμου νερού σε οικισμούς. Όσον αφορά τον άνθρακα, η χρήση του αναφέρεται ήδη από το 3000 π.Χ στην Κίνα, ενώ σημαντική χρήση του για μαγείρεμα απο το 100 μ.Χ. στην Αγγλία. Βεβαίως, σε όλη την αρχαϊκή περίοδο, την σημαντικότερη πηγή ενέργειας αποτελούσε η ανθρώπινη μυϊκή δύναμη καθώς και η χρήση ζώων. Ο Αρχιμήδης, τον 3ο π.Χ. αιώνα, έκαψε το Ρωμαϊκό στόλο συγκεντρώνοντας τις ηλιακές ακτίνες με ασπίδες – κάτοπτρα [1]



**Εικόνα 1.2: Η τροχιά της Γης γύρω από τον ήλιο [12]**

## 1.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Για την διατήρηση της σταθερότητας στο κλίμα, δηλαδή για την διατήρηση σταθερής ενέργειας, η ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα και στην συνέχεια εκπέμπεται ξανά. Μέρος της ενέργειας που απελευθερώνεται από τον ήλιο κατευθύνεται προς την γη με μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το 1/3 της ακτινοβολίας ανακλάται στο διάστημα όταν εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης ενώ το υπόλοιπο εισέρχεται στην γη και απορροφάται ή επιστρέφει στη διάστημα υπό τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας που περιγράφεται από το νόμο των Stefan και Boltzman ή αλλιώς σχέση του ενεργειακού ισοζυγίου [2].

$$Q_r = \sigma \cdot A \cdot \epsilon \cdot T_r^4 \quad (1.1)$$

$Q_r$  = Το ποσό θερμότητας που επαναακτινοβολείται

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  και καλείται σταθερά Stefan – Boltzmann.

A: η ακτινοβολούσα επιφάνεια

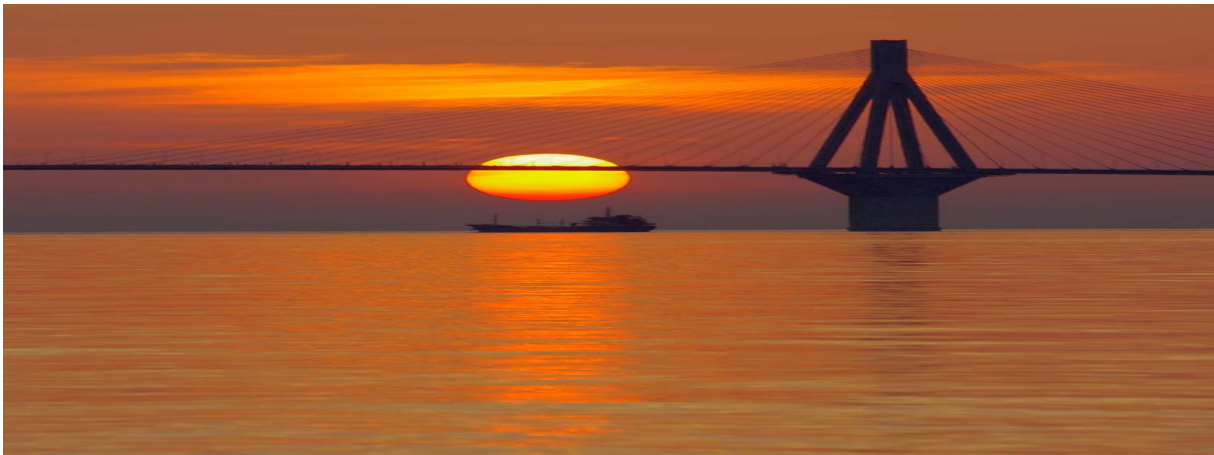
$\epsilon$ : η αφετικότητα της Γης (καθαρός αριθμός <1)

$T_r$ : η μέση θερμοκρασία της Γης σε °K

### 1.3 ΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Το φως λοιπόν, που εκπέμπεται από τον Ήλιο, είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα και μαζικά σε μια συνεχή σειρά μικρών κυμάτων ή συχνοτήτων. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ορίζεται ως το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ξεκινά από μηδενική συχνότητα και φτάνει έως το άπειρο. Με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες. [13]

Η ζώνη του ορατού φωτός είναι μία στενή ζώνη του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στην οποία είναι ευαίσθητο το αισθητήριο της όρασης των ζωντανών οργανισμών. Το ορατό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες τις οποίες το ανθρώπινο μάτι τις αντιλαμβάνεται ως διαφορετικά χρώματα.



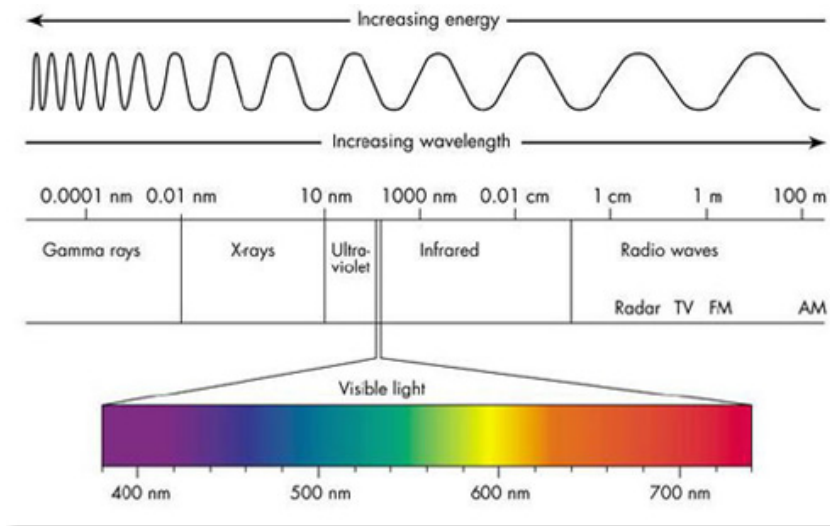
**Εικόνα 1.3: Ηλιοβασίλεμα στην περιοχή του Ρίου της Πάτρας που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι, λόγω του μήκους κύματος του ορατού φάσματος**

Η ενέργεια από τον ήλιο μετατρέπεται ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (θεωρία των κυμάτων) με το αντιπροσωπευτικό της φάσμα, από την σωματιδιακή τους μορφή (φωτόνια) φωτός με ενέργεια που ισούται με.

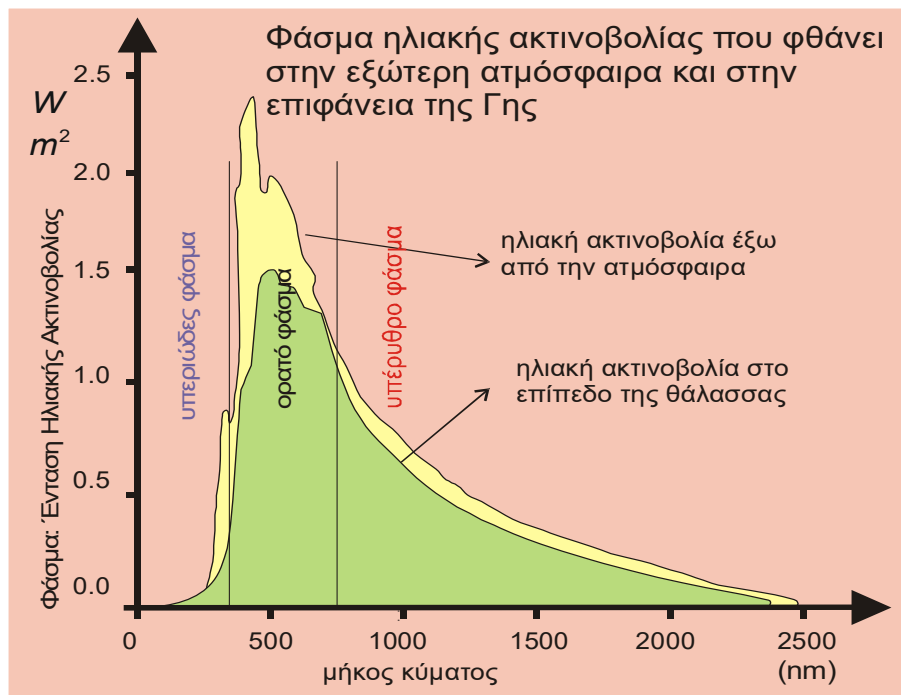
$$E = h * \nu = h * \frac{c}{\lambda} \quad (1.2)$$

- E = ενέργεια
- $h = 6.6256 \times 10^{-34}$  J\*s (σταθερά αναλογίας)
- $c = 299.792.458$  m/s (ταχύτητα φωτός)
- $\lambda$  = μήκος κύματος
- $\nu$  = παίρνει τιμές από το φάσμα των ορατών

Πρέπει να αναφερθεί ότι το μήκος κύματος για την ηλιακή ακτινοβολία που είναι κατάλληλη για θερμικές εφαρμογές βρίσκεται στην περιοχή 380nm - 3000nm και η ακτινοβολία που μπορεί να αξιοποιηθεί από τα PV-στοιχεία περιορίζεται στην περιοχή των 380nm – 1200nm.

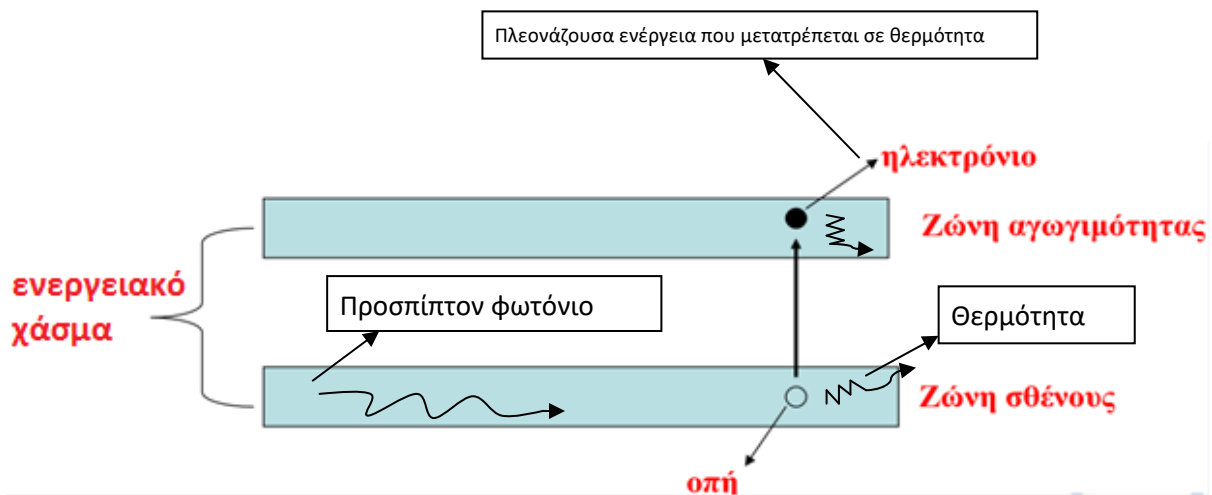


**Εικόνα 1.4: Ορατό φάσμα φωτός [14]**



**Εικόνα 1.5: Φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του μ.κ. [2]**

Το φωτόνιο αλληλεπιδρά με τα άτομα άρα σίγουρα και με κάποιο ηλεκτρόνιο καθώς περνάει από την ζώνη σθένους στην ζώνη αγωγιμότητας με αποτέλεσμα να το αναβαθμίζει ενεργειακά.



Εικόνα 1.6: Αλληλεπίδραση του φωτονίου με ηλεκτρόνιο στην ζώνη σθένους και μεταφορά του στην ζώνη αγωγιμότητας

## 1.4. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

### 1.4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Για να προσδιοριστεί το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία επιφάνεια ορίζεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ως το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει κάθετα σε  $1 \text{ m}^2$  επιφάνειας ανά  $1 \text{ sec}$ .

Η σχέση υπολογισμού της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας είναι:

$$I = \frac{dE}{dS \times dt} = \frac{dP}{dS} (\text{W/m}^2) \quad (1.3)$$

E: το ποσό της ηλιακής ενέργειας,

P: η ισχύς της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια,

S: το εμβαδό της επιφάνειας και

t : ο χρόνος.

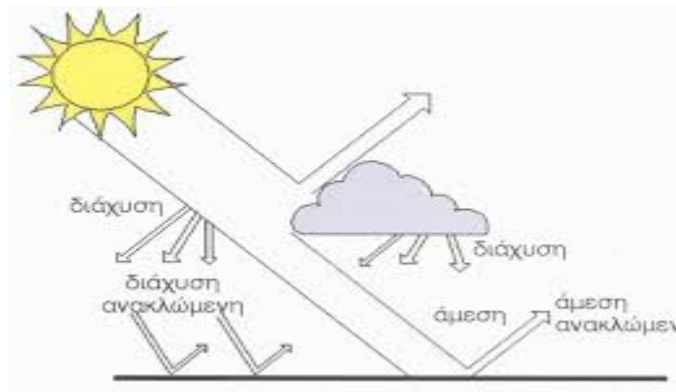


**Εικόνα 1.7: Ηλιακή Ακτινοβολία σε παγκόσμιο σε kWh/m<sup>2</sup> [15]**

Η ακτινοβολία που φθάνει στην εξωτερική επιφάνεια της Γής μεταβάλλεται εξ' αιτίας της ελλειπτικής τροχιάς της γης περί τον ήλιο και παίρνει τιμές μεταξύ 1310 και 1399 W/m<sup>2</sup> και προκύπτει από την παρακάτω σχέση [2].

$$I_0 = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot R_0^2} = \frac{3.91 \cdot 10^{23} \text{ kW}}{4 \cdot \pi \cdot (1.5 \cdot 10^{11})^2 \text{ m}^2} = 1.38 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \quad (1.4)$$

Η Γη έχει ατμόσφαιρα η οποία αποτελείται από πολλά στρώματα διαφορετικής πυκνότητας το καθένα. Η ακτινοβολία διέρχεται μέσα από αυτά σκεδαζόμενη, δηλαδή με συνεχή μείωση της έντασης αυτής μέχρι την πρόσπτωση της στην επιφάνεια της γης.



**Εικόνα 1.8: Άμεση, Διάχυτη και Ανακλώμενη Ηλιακή Ακτινοβολία [16]**

Το ποσό της ελάττωσης της ακτινοβολίας εξαρτάται:

α) από την θέση του ήλιου, την συννεφιά της ημέρας και το υψόμετρο ενός τόπου

β) από την σύσταση της ατμόσφαιρας κάθε στιγμή, καθώς επηρεάζει σημαντικά το φαινόμενο της απορρόφησης το οποίο μειώνει την ένταση της ακτινοβολίας.

**Πίνακας 1.1: Κατάταξη των κυριότερων πόλεων της Ελλάδας με βάση την προσπίπτουσα ακτινοβολία και θερμοκρασία περιβάλλοντος**

1 <sup>η</sup> Ζώνη	2 <sup>η</sup> Ζώνη	3 <sup>η</sup> Ζώνη	4 <sup>η</sup> Ζώνη	5 <sup>η</sup> Ζώνη	6 <sup>η</sup> Ζώνη
Ηράκλειο Ιεράπετρα Ρόδος Σητεία Χανιά	Αθήνα Καλαμάτα Νάξος Σάμος Σύρος	Αργοστόλι Κόρινθος Μυτιλήνη Πάτρα Χίος	Άρτα Κέρκυρα Λαμία Λήμνος	Θεσσαλονίκη Κομοτηνή Καβάλα Κατερίνη Λάρισα	Ιωάννινα Κόνιτσα Σέρρες

**Πίνακας 1.2: Μηνιαίες τιμές της Ολικής Ηλιακής Ακτινοβολίας στο επίπεδο της θάλασσας ανά ζώνη σε MJ/m<sup>2</sup>**

Ζώνη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μ.Ο	ΣΥΝΟΛΟ
1	230	277	439	558	706	770	817	760	598	421	284	220	507	6080
2	230	274	418	493	691	752	781	713	736	382	270	198	478	5738
3	220	259	100	493	648	754	781	713	526	367	241	187	468	5616
4	194	234	371	493	644	724	781	695	504	349	220	173	449	5384
5	169	223	360	493	644	680	727	670	486	328	220	162	430	5162
6	169	216	349	468	612	666	706	641	464	313	202	162	414	4968

#### 1.4.2. ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΓΗΙΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

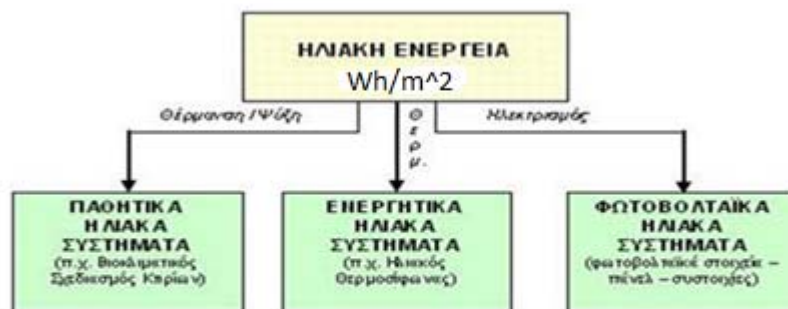
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κατά τη διέλευση της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα, τα φωτόνια σκεδάζονται και έτσι η ένταση τους ελαττώνεται. Τα συστατικά της ατμόσφαιρας απορροφούν μέρος της ακτινοβολίας και το κυριότερο στρώμα της ατμόσφαιρας που μας προστατεύει από την υπεριώδη ακτινοβολία είναι αυτό του όζοντος. Η Ολική Ηλιακή Ακτινοβολία, είναι το άθροισμα της άμεσης, διάχυτης και ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια, μετράται σε(J/m<sup>2</sup>).

##### 1.4.2.1. ΑΜΕΣΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ H<sub>b</sub>

Ως άμεση ηλιακή ακτινοβολία ορίζουμε την ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση. Είναι η ακτινοβολία η οποία



προέρχεται απευθείας από τον ηλιακό δίσκο. Για τους διάφορους υπολογισμούς όσον αφορά τους ηλιακούς συλλέκτες και τα φωτοβολταϊκά, αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μια κάθετη και μία παράλληλη στην επιφάνεια της γης ή του συλλέκτη ανάλογα με την περίπτωση. Η οριζόντια συνιστώσα δεν αλληλεπιδρά με την επιφάνεια της γης ή του συλλέκτη αντίστοιχα και δεν συνεισφέρει στην μετατροπή της ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια. Με αυτό τον τρόπο ευνοείται και σε υπολογισμούς. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία μετράται σε  $J/m^2$ .



**Εικόνα 1.11: Χρήσεις της Ηλιακής Ενέργειας [17]**

#### 1.4.2.2. ΔΙΑΧΥΤΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ $H_d$

Η διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια προέρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο (πάνω από το φυσικό ορίζοντα) και σε πρώτη εκτίμηση μπορεί να θεωρηθεί ισότροπη. Επίσης δημιουργείται από την σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας από σωματίδια της ατμόσφαιρας ή σύννεφα. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία μετράται σε ( $J/m^2$ ).

#### 1.4.2.3. ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ $H_R$

Είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από ανάκλαση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από διάφορα γειτονικά αντικείμενα (σπίτια, δέντρα, αυτοκίνητα) ή από το ίδιο το έδαφος [3]

#### 1.4.2.4. ΈΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ $I$

Ορίζεται ως ο ρυθμός πρόσπτωσης της Ηλιακής Ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια ανά μονάδα επιφανείας και ανά μονάδα χρόνου. Μετράται σε  $W/m^2$ .

#### 1.4.2.5. ΑΕΡΙΑ ΜΑΖΑ

Ως Αέριος Μάζα,  $m$ , ορίζεται το πηλίκο του οπτικού πάχους της ατμόσφαιρας δια μέσου της οποίας περνά η άμεση ακτινοβολία, προς το οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας όταν ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ. Για γωνίες μεταξύ των  $0^\circ$  και  $70^\circ$  στο επίπεδο της θάλασσας ισχύει η σχέση:

$$m = (\cos \theta_z)^{-1} \quad (1.5)$$

Επομένως το  $m$  είναι καθαρός αριθμός. Για μεγαλύτερη ακρίβεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι σχέσεις:

$$m = \left[ \cos \theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.25} \right]^{-1}, \text{ ή} \quad (1.6)$$

$$m = 35 / \left[ (1224 \cos^2 \theta_z) + 1 \right]^{0.5} \quad (1.7)$$

#### 1.4.3. Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΚΤΟΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

Στην προηγηθείσα ανάλυση παρατηρήθηκε ότι η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας μεταβάλλεται χρονικά συνεχώς και η ισχύς της δίδεται από τη σχέση:

$$I_{on} = I_{sc} \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (1.8)$$

Όπου  $I_{sc}$  η ηλιακή σταθερά και ισοδύναμη με  $1367 \text{ (W/m}^2\text{)}$

- Για ένα οριζόντιο επίπεδο, το οποίο ευρίσκεται έξω από το όριο της ατμόσφαιρας, η ένταση της ακτινοβολία που δέχεται ισούται με

$$I_o = I_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega) \text{ (W / m}^2\text{)} \quad (1.9)$$

- Ολοκλήρωση της ανωτέρω σχέσεως από την ανατολή έως τη δύση του ηλίου θα δώσει τη συνολική ακτινοβολία που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια στο όριο της ατμόσφαιρας, κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. [3] βλέπε σελ.42

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 \cdot I_{sc}}{\pi} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right] \cdot \left( \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{2\pi \omega_s}{360} \sin \phi \sin \delta \right) \quad (1.10)$$

## 1.5. ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

### 1.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Είναι γνωστό ότι η Γη περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό της και ταυτόχρονα γύρω από τον ήλιο σε ετήσια βάση. Η Γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο ακολουθώντας ελλειπτική τροχιά με πολύ μικρή εκκεντρότητα, κάνοντας μία πλήρη περιστροφή κάθε 365.25 μέρες. Το ισημερινό επίπεδο και το επίπεδο της ελλειπτικής τροχιάς σχηματίζουν γωνία  $23.45^\circ$  ή  $23^\circ 27'$ . Το καλοκαίρι στο βόρειο ημισφαίριο οι ακτίνες του ηλίου πέφτουν κατά την μεσημβρία περίπου κάθετα στο οριζόντιο επίπεδο και ουσιαστικά η θερμοκρασία είναι υψηλότερη έστω και αν η απόσταση Γης-Ηλίου το καλοκαίρι είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη κατά τον χειμώνα. Όταν η θέση του ηλίου είναι χαμηλά στον ορίζοντα οι ακτίνες του διανύουν μεγαλύτερη απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος τους να απορροφάται αλλά και να εκτρέπεται χωρίς να φθάνει στην επιφάνεια της γης. Η θέση του ηλίου κατά το μεσημέρι είναι υψηλά σε σχέση με τον ορίζοντα. Αντίθετα τον χειμώνα για την ίδια ώρα η θέση του ηλίου είναι χαμηλότερα.

### 1.5.2. ΑΛΗΘΗΣ ΗΛΙΑΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ

Είναι ο χρόνος του οποίου η μέτρηση και ο προσδιορισμός βασίζεται στην γωνιακή μετακίνηση του ηλίου σε σχέση με τον γήινο μεσημβρινό του τόπου [3].

Το ηλιακό μεσημέρι ορίζεται ως η  $12^{\text{η}}$  ώρα, όταν δηλαδή ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς στο υψηλότερο σημείο της τροχιάς του στον ουρανό και ο ήλιος να διέρχεται από τον γήινο μεσημβρινό του τόπου. Με βάση το ηλιακό μεσημέρι καθορίζεται ο αληθής ηλιακός χρόνος. Για εξυπηρέτηση των καθημερινών αναγκών του ανθρώπου χρησιμοποιείται ο τοπικός και όχι ο αληθής ηλιακός χρόνος. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι για τον υπολογισμό του Α.Η.Χ. (Αληθούς Ηλιακού Χρόνου) με βάση τον Τ.Ω.Χ. (τοπικό ηλιακό χρόνο) γίνονται δύο βασικές διορθώσεις, λόγω:

α) Διαφοράς του γεωγραφικού μήκους του μεσημβρινού του τόπου, που γίνονται οι μετρήσεις με το κατά συνθήκη γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού της ατράκτου στην οποία ευρίσκεται ο τόπος ή η χώρα ( $L_{st}$ ). (Ως γνωστόν η Γη είναι χωρισμένη σε 24 ατράκτους, δηλ.  $360^\circ:24 = 15^\circ$  ανά άτρακτο).

Για περιστροφή της Γης κατά  $360^\circ$  μοίρες απαιτούνται 24h. Για στροφή  $15^\circ$  (γωνιακή μετατόπιση μίας ατράκτου) απαιτούνται:

$$\frac{360^\circ}{15^\circ} = \frac{24h}{x} \Rightarrow x = 24h \cdot \frac{15}{360} = 1h \quad (1.11)$$

$$\frac{15^{\circ}}{1^{\circ}} = \frac{1h}{y} \Rightarrow y = 4\text{min}/\mu\text{οίρα} \quad (1.12)$$

Ο ήλιος για να διανύσει γωνία ατράκτου ίση με  $1^{\circ}$ , χρειάζεται 4 πρώτα λεπτά. Για την Ελλάδα ο μεσημβρινός μέτρησης του χρόνου είναι αυτός της 2ας ατράκτου και αντιστοιχεί σε  $L_{st} = 30^{\circ}$ .

Εξαιτίας της ελλειπτικής τροχιάς της γης. Η διόρθωση δίδεται από την εξίσωση του χρόνου, E.

$$E = 0,0172 + (0,4281082 \cdot \cos B) - (7,3514069 \cdot \sin B) - (3,3494657 \cdot \cos 2B) - (9,3617738 \cdot \sin 2B) \quad (1.13)$$

όπου:  $B = \frac{360(\eta-1)}{365}$  και η είναι ο αύξων αριθμός της ημέρας για την οποία γίνεται ο υπολογισμός του E. Αρχή μέτρησης του η λαμβάνεται πάντα η 1η Ιανουαρίου. Η σχέση που συνδέει τον Τ.Ω.Χ. και Α.Η.Χ. είναι η ακόλουθη:

$$A\eta X = T\omega X - 4\text{min}/\mu\text{οίρα} (L_{loc} - L_{st}) + E \quad (1.14)$$

### 1.5.3 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΙΑΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ:

Γεωγραφικό πλάτος (latitude)  $\varphi$ , είναι ένα από τα δύο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων με τα οποία προσδιορίζεται η θέση των διαφόρων τόπων και αντικειμένων στην επιφάνεια της γης και κατά προβολή η θέση των αεροσκαφών υπεράνω αυτής. Συγκεκριμένα, προσδιορίζει την γωνιακή απόσταση των διάφορων τόπων από τον Ισημερινό, ο οποίος έχει γεωγραφικό πλάτος ίσο με 0. Λέγεται επίσης και παράλληλος ενός τόπου.

Γεωγραφικό μήκος (Longitude), L ονομάζεται το δεύτερο μέγεθος γεωγραφικών συντεταγμένων στην προσπάθεια να προσδιοριστεί μια θέση πάνω στην Γη. Συμβολίζεται στην ελληνική με το γράμμα ( $\lambda$ ) εκ της αγγλικής L (long). Το γεωγραφικό μήκος αποδίδεται σε μοίρες, πρώτα και δεύτερα της μοίρας ή και ως δεκαδικός αριθμός επί των προηγούμενων.

Κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη,  $\beta$ , ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται από το οριζόντιο επίπεδο και το επίπεδο του συλλέκτη. Η γωνία αυτή κυμαίνεται μεταξύ  $0^{\circ}$  έως  $90^{\circ}$ . Για να υπολογιστεί η γωνία  $\beta$ , υπό την οποία θα τοποθετηθεί ένας ηλιακός συλλέκτης να παρουσιάζει τη μεγίστη απόδοση, προτείνεται η σχέση:

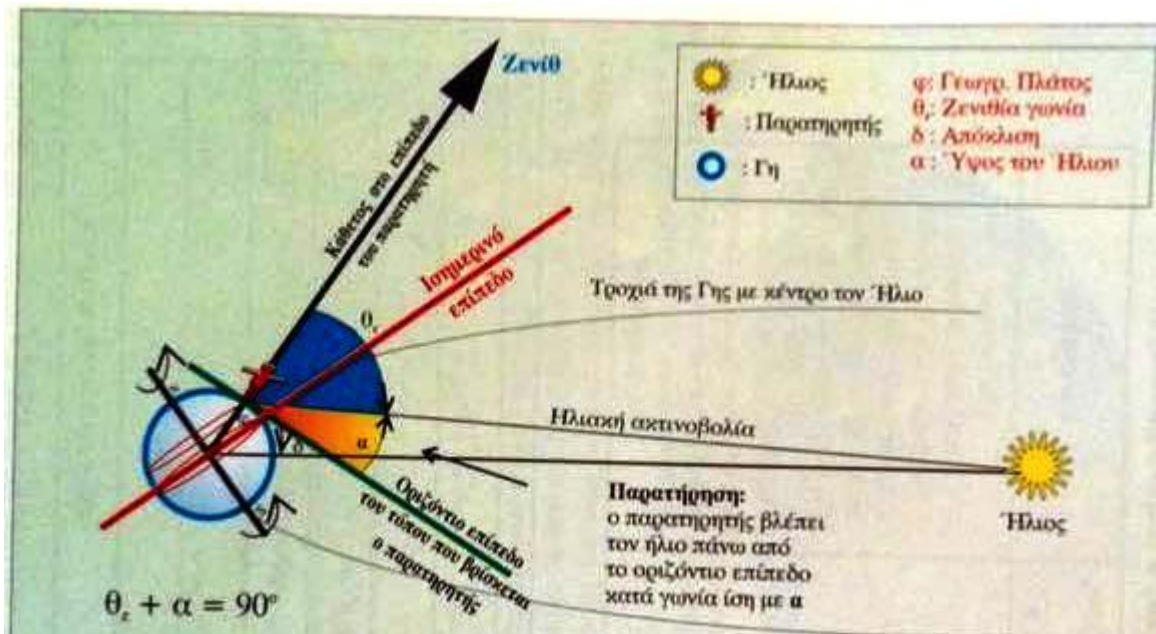
$$\beta = \varphi - \delta \quad (1.15)$$

Σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, εξαρτάται η γωνία  $\beta$  από το πότε χρειάζεται κάλυψη φορτίων, τι φορτία έχει.

$\delta$ : Η απόκλιση του ηλίου

Το  $\delta$  μεταβάλλεται μερικώς (συνεπώς και η  $\beta$  μικραίνει), για να πέφτουν οι ακτίνες της κάθετα στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

φ: Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης



Εικόνα 1.12: Ηλιακή γεωμετρία, διάκριση γωνιών [3].

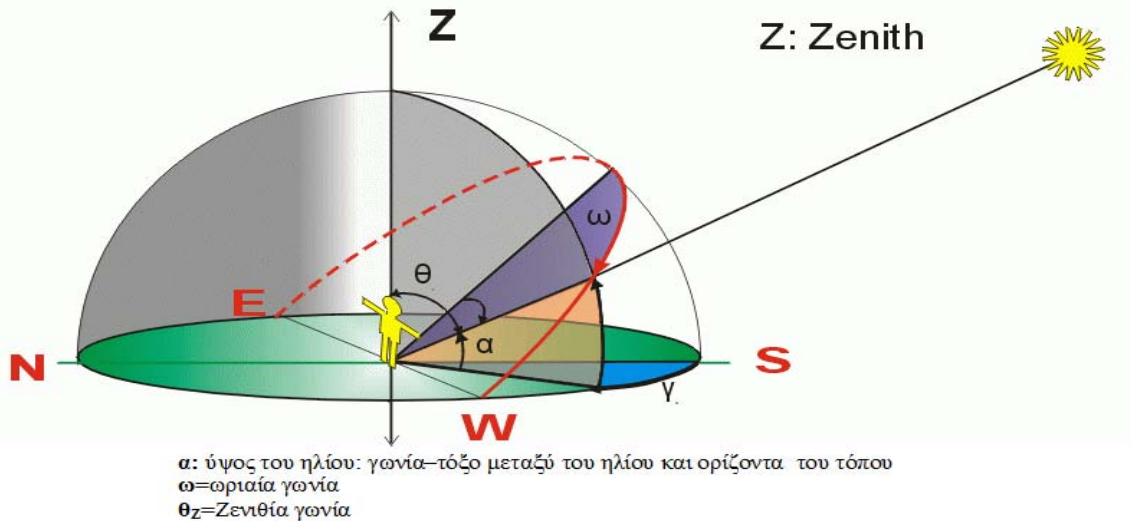
Πίνακας 1.3: Γεωγραφικά μήκη και πλάτη πόλεων της Ελλάδας

ΠΟΛΗ	Φ	L	ΠΟΛΗ	Φ	L
ΑΜΑΛΙΑΔΑ	37.80	21.35	ΚΩΣ	36.80	27.09
ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΣ	36.20	28.13	ΛΑΜΙΑ	38.90	22.43
ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	35.18	25.72	ΛΑΡΙΣΑ	39.63	22.42
ΑΓΡΙΝΙΟ	38.63	21.42	ΛΕΙΒΑΔΙΑ	38.26	22.53
ΑΘΗΝΑ –Ν. ΨΥΧΙΚΟ	38.00	23.77	ΛΕΥΚΑΔΑ	38.83	20.71
ΑΘΗΝΑ –ΡΕΝΤΗΣ	37.96	23.68	ΛΗΜΝΟΣ	39.92	25.24
ΑΙΓΙΟ	38.25	22.08	ΛΗΞΟΥΡΙ	38.20	20.44
ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΑ	40.66	22.49	ΛΙΒΑΔΕΙΑ	38.43	22.88
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40.86	25.96	ΜΑΛΕΜΕ	35.53	23.84
ΑΜΦΙΣΣΑ	38.53	22.38	ΜΑΡΑΘΟΣ	38.15	24.00
ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	37.92	21.29	ΜΑΡΙΤΣΑ	36.38	28.12
ΑΡΑΞΟΣ	38.15	21.42	ΜΕΓΑΡΑ	37.98	23.37
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	38.17	20.47	ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ	38.36	21.43
ΑΡΓΟΣ	37.38	22.44	ΜΥΚΟΝΟΣ	37.44	25.35
ΑΡΤΑ	39.03	20.99	ΜΗΛΟΣ	36.70	24.48
ΑΤΑΛΑΝΤΗ	38.65	23.00	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39.10	26.55
ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ (ΣΠΑΤΑ)	37.92	23.94	ΝΑΞΟΣ	37.08	25.38
ΒΟΛΟΣ	39.37	22.95	ΝΕΑ ΑΓΧΙΑΛΟΣ	39.22	22.80
ΒΟΛΟΣ	39.37	22.93	ΞΑΝΘΗ	41.90	24.54
ΓΡΕΒΕΝΑ	40.08	21.42	ΞΥΛΟΚΑΣΤΡΟ	38.08	22.63
ΔΕΚΕΛΙΑ	38.02	23.78	ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ	41.31	26.32

<b>ΔΡΑΜΑ</b>	41.90	24.10	<b>ΠΑΡΟΣ</b>	37.01	25.13
<b>ΈΔΕΣΣΑ</b>	40.85	21.83	<b>ΠΑΤΡΑ</b>	38.25	21.73
<b>ΕΛΕΥΣΙΝΑ</b>	38.06	23.55	<b>ΠΟΡΤΟ ΧΕΛΙ</b>	37.30	23.15
<b>ΕΠΙΤΑΛΕΙΟ</b>	37.62	21.50	<b>ΠΡΕΒΕΖΑ</b>	38.95	20.75
<b>ΖΑΚΥΝΘΟΣ</b>	37.78	20.90	<b>ΠΥΛΟΣ</b>	36.92	21.70
<b>ΗΡΑΚΛΕΙΟ</b>	35.34	25.09	<b>ΠΥΡΓΟΣ</b>	37.67	21.43
<b>ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ</b>	40.68	23.08	<b>ΡΑΦΗΝΑ</b>	38.06	23.98
<b>ΘΗΒΑ</b>	38.32	23.32	<b>ΡΕΘΥΜΝΟ</b>	35.37	24.47
<b>ΙΚΑΡΙΑ</b>	37.85°	26.35	<b>ΡΟΔΟΣ</b>	36.43	28.22
<b>ΙΣΤΙΑΙΑ</b>	38.95	23.15	<b>ΣΑΜΟΣ</b>	37.69	26.91
<b>ΙΩΑΝΝΙΝΑ</b>	39.7	20.82	<b>ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ</b>	36.40	25.48
<b>ΚΑΒΑΛΑ</b>	40.9	24.63	<b>ΣΕΡΡΕΣ</b>	41.01	23.55
<b>ΚΑΛΑΜΑΤΑ</b>	37.03	22.12	<b>ΣΕΡΡΕΣ</b>	40.53	23.03
<b>ΚΑΡΔΙΤΣΑ</b>	39.22	21.55	<b>ΣΗΤΕΙΑ</b>	35.22	26.01
<b>ΚΑΡΠΑΘΟΣ</b>	35.70	27.15	<b>ΣΚΙΑΘΟΣ</b>	39.18	23.51
<b>ΚΑΣΟΣ</b>	35.42	26.92	<b>ΣΚΥΡΟΣ</b>	38.97	24.49
<b>ΚΑΣΤΕΛΙ</b>	35.19	25.33	<b>ΣΟΥΔΑ</b>	35.53	24.15
<b>ΚΑΣΤΕΛΟΡΙΖΟ</b>	36.13	29.57	<b>ΣΠΑΡΤΗ</b>	37.08	22.43
<b>ΚΑΣΤΟΡΙΑ</b>	40.45	21.28	<b>ΣΥΡΟΣ</b>	37.41	24.95
<b>ΚΑΤΕΡΙΝΗ</b>	40.17	22.31	<b>ΤΑΝΑΓΡΑ</b>	38.34	23.55
<b>ΚΕΡΚΥΡΑ</b>	39.60	19.92	<b>ΤΡΙΚΑΛΑ</b>	39.33	21.46
<b>ΚΕΦΑΛΟΝΙΑ</b>	38.12	20.50	<b>ΤΡΙΠΟΛΗ</b>	37.52	22.37
<b>ΚΙΛΚΙΣ</b>	40.99	22.62	<b>ΤΥΜΠΑΚΙ</b>	35.01	24.76
<b>ΚΟΖΑΝΗ</b>	40.29	21.84	<b>ΦΛΩΡΙΝΑ</b>	40.81	21.44
<b>ΚΟΡΙΝΘΟΣ</b>	37.93	22.93	<b>ΧΑΛΚΙΔΑ</b>	38.47	23.60
<b>ΚΟΤΡΟΝΙ</b>	38.14	23.95	<b>ΧΑΝΙΑ</b>	35.51	24.02
<b>ΚΥΘΗΡΑ</b>	36.29	23.03	<b>ΧΙΟΣ</b>	38.37	26.13
<b>ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑ</b>	37.25	21.67	<b>ΧΟΛΑΡΓΟΣ</b>	37.10	23.78

Ωριαία γωνία  $\omega$ : Αντιστοιχεί στο τόξο της τροχιάς του ήλιου που σχηματίζεται καθώς ο Ήλιος κινείται στην ημερήσια τροχιά του από την ανατολή μέχρι την δύση (βλ. σχήμα 1.11). Στην ουσία είναι η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία. Στην ηλιακή μεσημβρία  $\omega=0^\circ$ , ενώ για κάθε ώρα η  $\omega$  μεταβάλλεται κατά  $15^\circ$ . Για κάθε χρονική στιγμή, μιας ημέρας, αντιστοιχεί και μια τιμή του  $\omega$ . Τις πρωινές ώρες η  $\omega$  είναι αρνητική (-) και κατά τις απογευματινές, θετική(+).

Ύψος ηλίου,  $\alpha$ : Για να προσδιορίσουμε την θέση του ήλιου στον ουρανό συνήθως χρησιμοποιούμε δύο γωνίες. Το ύψος του ήλιου,  $\alpha$ , και την αζιμουθιακή γωνία του ήλιου,  $\gamma_s$ . Το ύψος του ηλίου ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του ορίζοντα και της τροχιάς του ήλιου στον ουρανό. Επίσης είναι η συμπληρωματική γωνία της ζενιθίας γωνίας  $\theta_z$  που θα αναφερθεί παρακάτω. Όταν ο Ήλιος ανατέλλει ή δύει, ισχύει πάντα  $\alpha=0$  και  $\theta_z=90^\circ$ .



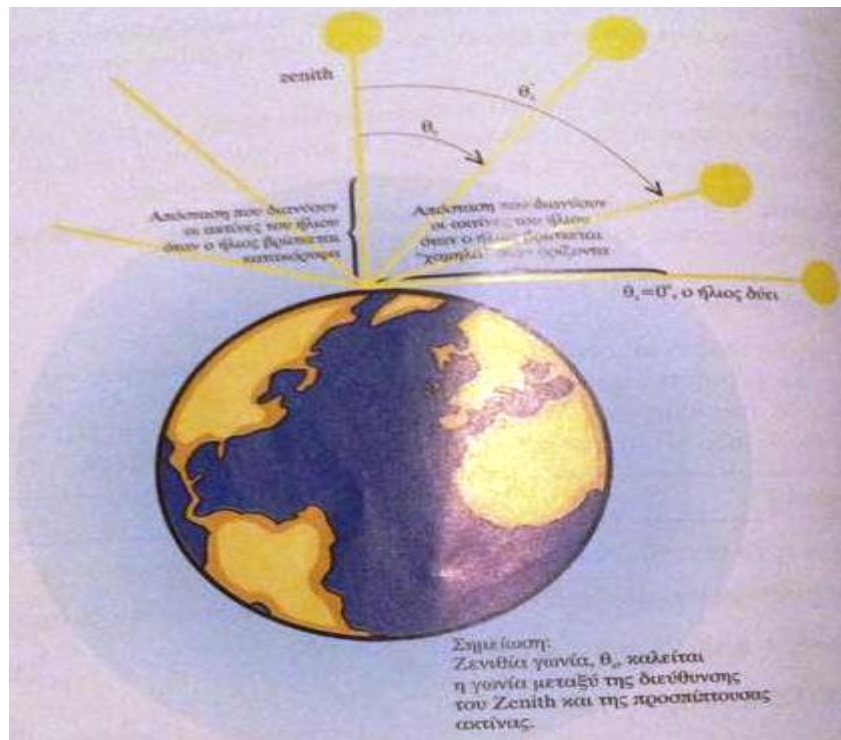
**Εικόνα 1.13: Ωριαία, αζιμούθια, ζενιθία γωνία και ύψος ηλίου [3]**

Αζιμουθιακή γωνία του ηλίου,  $\gamma_s$ , ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, μεταξύ του μεσημβρινού Βορρά – Νότου του τόπου και της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο, της ευθείας που συνδέει τον Ήλιο με τον παρατηρητή ή τον ήλιο με το συλλέκτη. Προς τα δεξιά από το Νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές τιμές. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό στην τροχιά του.

Αζιμουθιακή γωνία ενός επιπέδου συλλέκτη,  $\gamma$ , είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στον τοπικό μεσημβρινό Βορρά-νότου και στην προβολή της καθέτου στον συλλέκτη στο οριζόντιο επίπεδο. Η αζιμουθιακή γωνία του συλλέκτη είναι μηδέν όταν η προβολή της καθέτου πάνω στο οριζόντιο επίπεδο συμπίπτει με την διεύθυνση Β-Ν. Τότε λέγεται ότι ο συλλέκτης έχει μηδενικό αζιμούθιο δηλαδή είναι άψογα προσανατολισμένος. Παίρνει τιμές από  $-180^\circ$  μέχρι  $+180^\circ$ .

Γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας,  $\theta$ , ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη και της ευθείας που συνδέει αυτό το επίπεδο με τον ήλιο. Πρέπει να επισημανθεί ότι παίρνει τιμές από  $-90^\circ < \theta < 90^\circ$  [3]





**Εικόνα 1.14: Η διαδρομή που διανύει η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ανάλογα με την θέση του ήλιου [3]**

Ζενίθια γωνία,  $\theta_z$ , είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που συνδέει το επίπεδο του συλλέκτη με τον Ήλιο και της κατακόρυφου του τόπου που βρίσκεται ο συλλέκτης. Αντί για το ύψος του ήλιου, η ζενίθια γωνία χρησιμοποιείται συχνά και ισχύει:

$$\theta_z + \alpha = 90^\circ \quad (1.16)$$

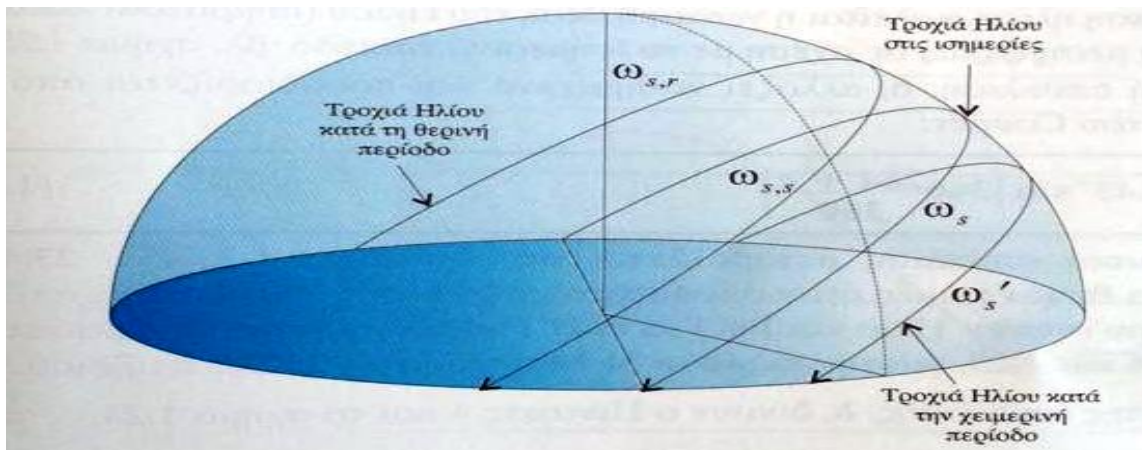
και επίσης ονομάζεται και ζενιθιακή απόσταση του ήλιου.

Απόκλιση ηλίου,  $\delta$ , καλείται η γωνιακή θέση του Ηλίου σε σχέση με το Ισημερινό επίπεδο. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης ( $\delta$ ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού [3]

Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής του ηλίου,  $\omega_s$ ,  $\omega_{ss}$  ή  $\omega_{sr}$  αντίστοιχα, ονομάζεται η ωριαία γωνία  $\omega$  όταν το ύψος του ηλίου είναι  $\alpha = 0$  ή όταν η ζενίθια γωνία είναι:  $\theta_z = 90^\circ$ . Η ωριαία γωνία Δύσης  $\omega_{ss} > 0$  είναι ίση με την ωριαία γωνία Ανατολής  $\omega_{sr}$ ,  $< 0$  [3]

Ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής για ένα κεκλιμένο επίπεδο,  $\omega'_s$ , ονομάζεται η ωριαία γωνία  $\omega$  κατά την οποία ο ήλιος δέει ή ανατέλλει για το επίπεδο αυτό, όταν θεωρηθεί ως εκτεινόμενο απέραντα από το πλαίσιο του συλλέκτη [3].





Εικόνα 1.15: Τροχιές γωνιών [2]

#### 1.5.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ

Γενική σχέση που συνδέει τη γωνία πρόσπτωσης  $\theta$  με τα υπόλοιπα τριγωνομετρικά μεγέθη για μια ορισμένη χρονική στιγμή κατά τη νιοστή ημέρα του χρόνου [3]:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cos \beta - \quad (1.17)$$

$$\begin{aligned} & -\sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \\ & +\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \\ & +\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \\ & +\cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned}$$

Εάν τεθεί  $\gamma=0$  τότε:

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin \varphi \cos \beta - \quad (1.18)$$

$$\begin{aligned} & -\sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta + \\ & +\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \\ & +\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \omega + \end{aligned}$$

Για  $\beta=0^\circ$ , και  $\gamma=0^\circ$ , η γωνία πρόσπτωσης  $\theta$  ταυτίζεται με τη  $\theta_z$  όπως περιγράφεται την παραπάνω σχέση και άρα θα έχει:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi \quad (1.19)$$

Όταν η επιφάνεια είναι κάθετη έχει  $\beta=90^\circ$  και η σχέση γράφεται:

$$\cos \theta = -\sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \gamma +$$

$$\begin{aligned}
& + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \\
& + \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega
\end{aligned}
\tag{1.20}$$

Η αζιμούθια γωνία του ηλίου  $\gamma_s$  κατά μια ημέρα  $\eta$ , υπολογίζεται:

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\sin \theta_z}
\tag{1.21}$$

## 1.6. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ R ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΚΑΙ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Η θέση του ήλιου σε σχέση με ένα κεκλιμένο επίπεδο μπορεί να περιγραφεί χρησιμοποιώντας διάφορες γωνίες όπως αναφέραμε παραπάνω. Επίσης, για να υπολογιστεί, την ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται κεκλιμένες επιφάνειες, θα πρέπει να συγκρίνεται με την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στις ίδιες επιφάνειες όταν αυτές έχουν  $\beta=0^\circ$ . Για αυτό το πρόβλημα ορίστηκε ο λόγος  $R_b$ , της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα επίπεδο με κλίση  $\beta$ , προς την άμεση ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο.

$$R_b = \frac{I_{bn}}{I_b} = \frac{I_{bd} \cos \theta}{I_{bd} \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}
\tag{1.22}$$

**Με αυτό τον τρόπο μετατρέπεται την τιμή αυτή από οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο.**

Για τους υπολογισμούς, ιδιαίτερα χρήσιμος είναι ο **συντελεστής R** που δίνει τον λόγο της ολικής έντασης (άμεσης και έμμεσης ή διάχυτης) στο κεκλιμένο επίπεδο ( $I_T$ ) προς αυτήν στο οριζόντιο ( $I$ ).

$$R = \frac{I_T}{I}
\tag{1.23}$$

Προφανώς και επειδή το  $I_T$  έχει δυο συνιστώσες την άμεση  $I_{b,T}$  και την διάχυτη  $I_{d,T}$ , η σχέση αυτή μπορεί να γραφτεί:

$$R = \frac{I_{b,T}}{I} R_b + \frac{I_{d,T}}{I} R_d
\tag{1.24}$$

όπου

$$R_b = \frac{I_{b,T}}{I_b} = \frac{\text{άμεση ακτινοβολία στο κεκλιμένο}}{\text{άμεση ακτινοβολία στο οριζόντιο}}
\tag{1.25}$$

$$R_d = \frac{I_{d,T}}{I_d} = \frac{\text{διάχυτη ακτινοβολία στο κεκλιμένο}}{\text{διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο}}
\tag{1.26}$$

Ο συντελεστής διόρθωσης,  $R_d$ , λόγω της διάχυτης ακτινοβολίας εξαρτάται από την κατανομή της ακτινοβολίας αυτής στον ουρανό. Υπάρχουν δυο περιπτώσεις: Ο πολύ καθαρός ουρανός  $R = R_b$  και απαλή συννεφιά  $R_d = 1$ . Μια βελτιωμένη σχέση για τον υπολογισμό του  $R$  είναι η σχέση των Liu και Jordan, οι οποίοι υπολόγισαν την ακτινοβολία που προσπίπτει σε κεκλιμένη επιφάνεια, θεωρώντας ότι συνίσταται από την άμεση, την διάχυτη και την ανακλώμενη συνιστώσα.

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + \frac{1 - \cos\beta}{2} \times r \quad (1.27)$$

$r$  είναι ο συντελεστής ανελαστικότητας του χώρου γεινίασης του συλλέκτη, με συνιστώμενες τιμές:

$r \approx 0.2$  για συνηθισμένες συνθήκες εδάφους και

$r \approx 0.7$  για χιονοσκεπείς περιοχές.

Μέχρι τώρα υπολογίστηκε τον λόγο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ ) στο κεκλιμένο επίπεδο προς αυτήν στο οριζόντιο. Δηλαδή, είτε για στιγμιαία ακτινοβολία ή για ολοκλήρωση των τιμών αυτών ανά ώρα κ.λπ.

Ωστόσο, για τους υπολογισμούς αυτούς δηλαδή στον σχεδιασμό και σημαντικότερο τη διαστασιολόγηση των συστημάτων ηλιακών συλλεκτών για τις διάφορες εφαρμογές, είναι απαραίτητες οι μηνιαίες τιμές της ακτινοβολίας.

Προσπάθεια καταβάλλεται να υπολογισθεί η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε κεκλιμένο επίπεδο, κλίσης  $\beta$ , και συμβολίζεται με  $\bar{H}_T$  και όπου κατ' αναλογία με τη σχέση έχουμε

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}} \quad (1.28)$$

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}} = \left( 1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \times \bar{R}_b + \left( \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \times \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + r \times \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (1.29)$$

$$\bar{H}_T = \bar{H} \left( 1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \times \bar{R}_b + \bar{H}_d \times \left( \frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + r \times \bar{H} \times \left( \frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (1.30)$$

$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}$  είναι ο λόγος της μηνιαίας μέσης ημερήσιας διάχυτης ακτινοβολίας προς την

αντίστοιχη ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο. Ο λόγος  $\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}$  (διάχυτη προς ολική ακτινοβολία) υπολογίζεται από την σχέση:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.39 - 4.03 \times \bar{K}_T + 5.53 \times \bar{K}_T^2 - 3.11 \times \bar{K}_T^3 \quad (1.31)$$

Ο παράγοντας  $\bar{K}_T$  ονομάζεται συντελεστής αιθριότητας και ορίζεται ως ο λόγος της μηνιαίας ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο προς την μηνιαία ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο στην περίπτωση που δεν υπήρχε ατμόσφαιρα. Τούτο συμβαίνει μόνο σε μεγάλο ύψος, δηλαδή εκτός ατμόσφαιρας.

$$\bar{K}_T = \frac{\text{Μηνιαία ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο}}{\text{Μηνιαία ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο εκτός της ατμόσφαιρας}} \quad (1.32)$$

Το  $R_b$  υπολογίζεται από την σχέση:

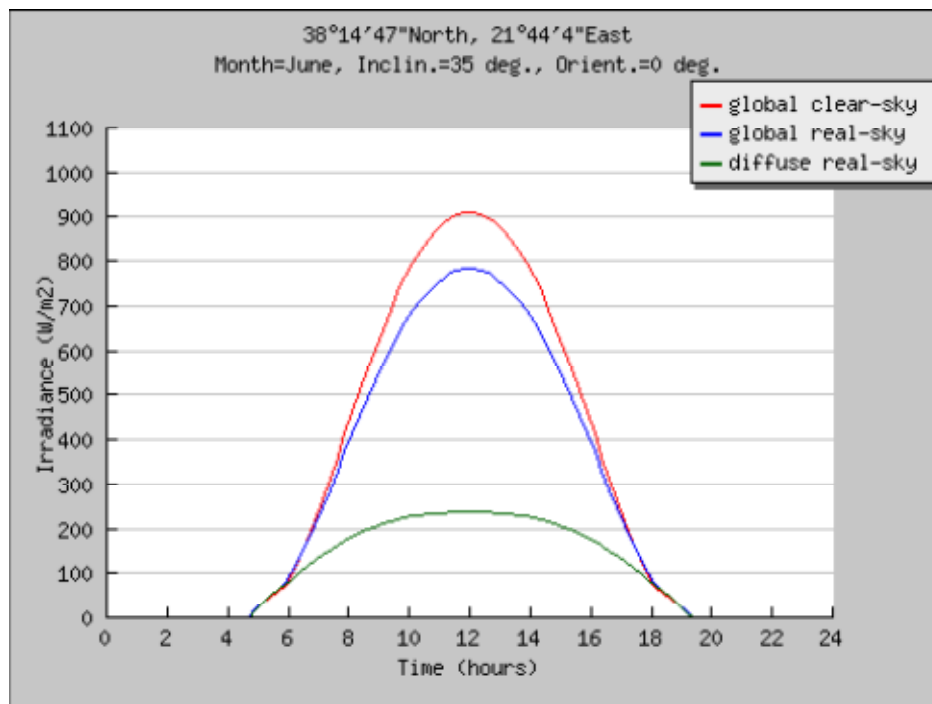
$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \times \cos\delta \times \sin\omega'_s + \frac{\pi}{180} \times \omega'_s \times \sin(\varphi - \beta) \times \sin\delta}{\cos\varphi \times \cos\delta \times \sin\omega_s + \frac{\pi}{180} \times \omega'_s \times \sin\varphi \times \sin\delta} \quad (1.33)$$

## 1.7. ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

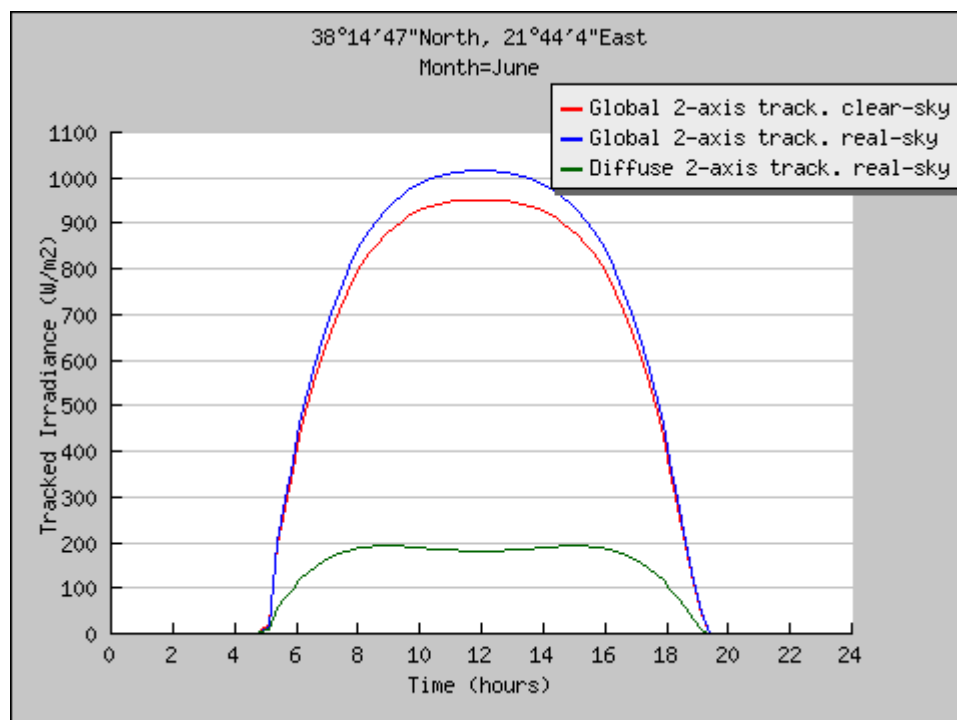
Για την μελέτη της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχουν πολλές βάσεις δεδομένων, μερικές από αυτές είναι το PVGIS [51], η SODA [52], το Meteororm [51] και άλλες. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην πτυχιακή αυτή είναι το PVGIS. Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (PVGIS) του Ινστιτούτου Ενέργειας και Μεταφορών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αποτελεί μια βάση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας και άλλων κλιματικών δεδομένων για την Ευρώπη και την Αφρική. Με τη χρήση διαδραστικών χαρτών καταχωρώντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες ενός φωτοβολταϊκού πάρκου είναι δυνατό να υπολογιστεί η απόδοσή του. Η ιστοσελίδα περιλαμβάνει ακόμα εικόνες κινούμενων γραφικών που απεικονίζουν διάφορα κλιματολογικά στοιχεία κατά τη διάρκεια του έτους [20]

### 1.7.1. CLASSIC PVGIS

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα από την βάση δεδομένων του PVGIS για μέση μηνιαία και μέση ημερήσια ακτινοβολία για ένα μήνα για κάθε εποχή του έτους. Στα διαγράμματα που ακολουθούν δίδονται τα αποτελέσματα για την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε φωτοβολταϊκή γεννήτρια τόσο στην πόλη των Πατρών για Δεκέμβρη, Ιούνιο, Σεπτέμβρη και Μάρτη.

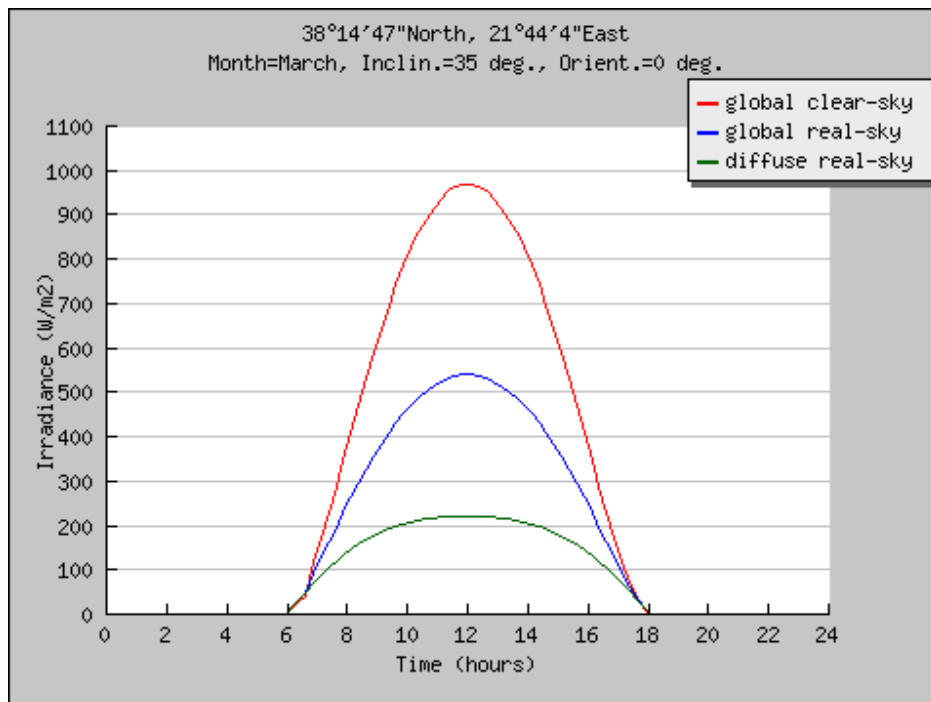


**Εικόνα 1.16<sup>a</sup>:** Διάγραμμα ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο 35° για τη περιοχή της Πάτρας για τον μήνα Ιούνιο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το PVGIS[51]

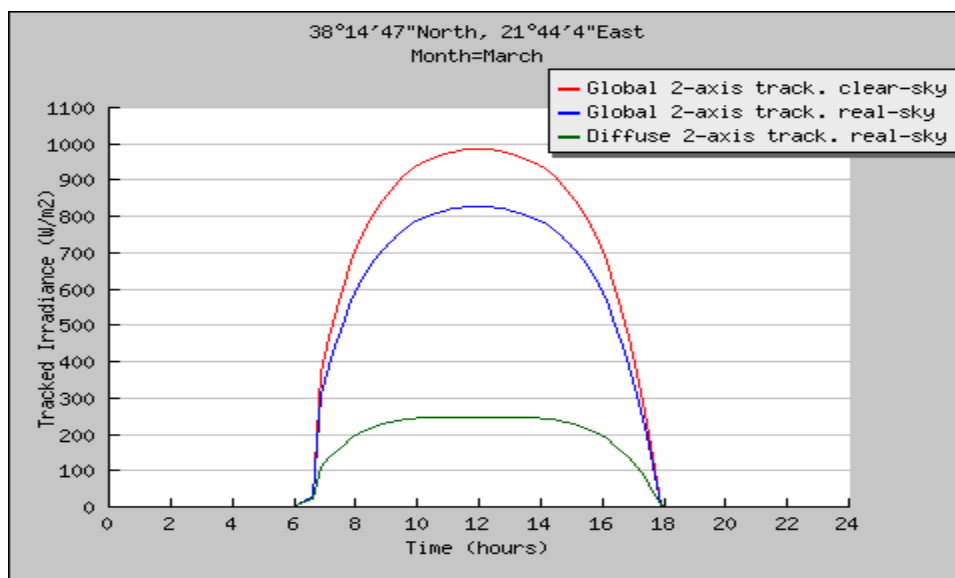


**Εικόνα 1.16<sup>b</sup>:** Διάγραμμα ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε διαξονικό σύστημα tracker για τη περιοχή της Πάτρας για τον μήνα Ιούνιο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το PVGIS[51]

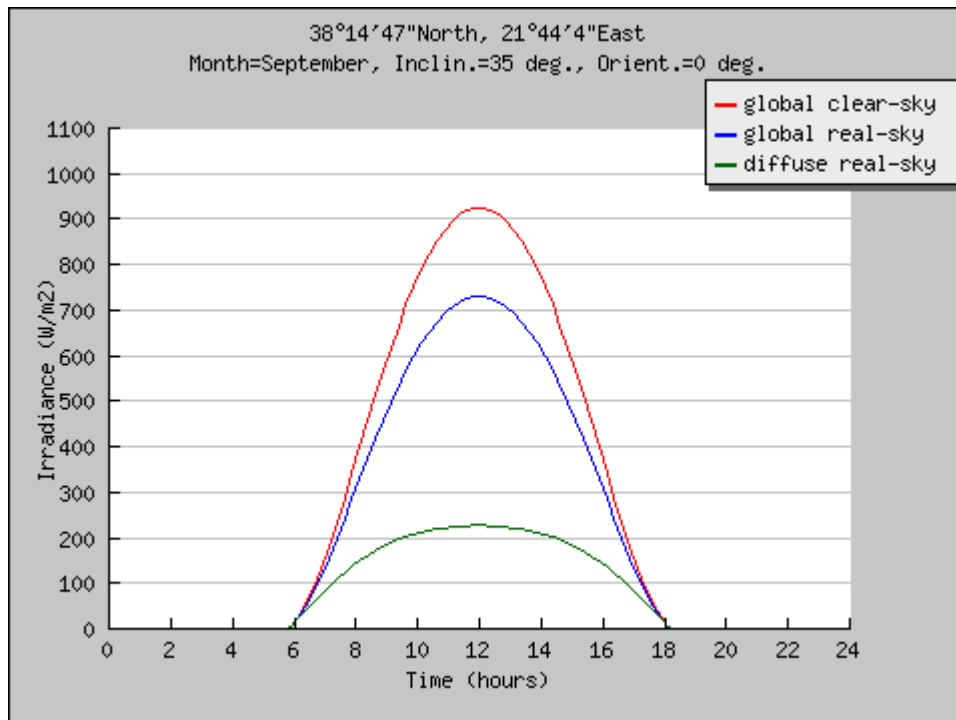
Location: 38°14'47" North, 21°44'4" East, Elevation: 15 m a.s.l.,  
 Inclination of plane: 35 deg  
 Orientation (azimuth) of plane: 0 deg



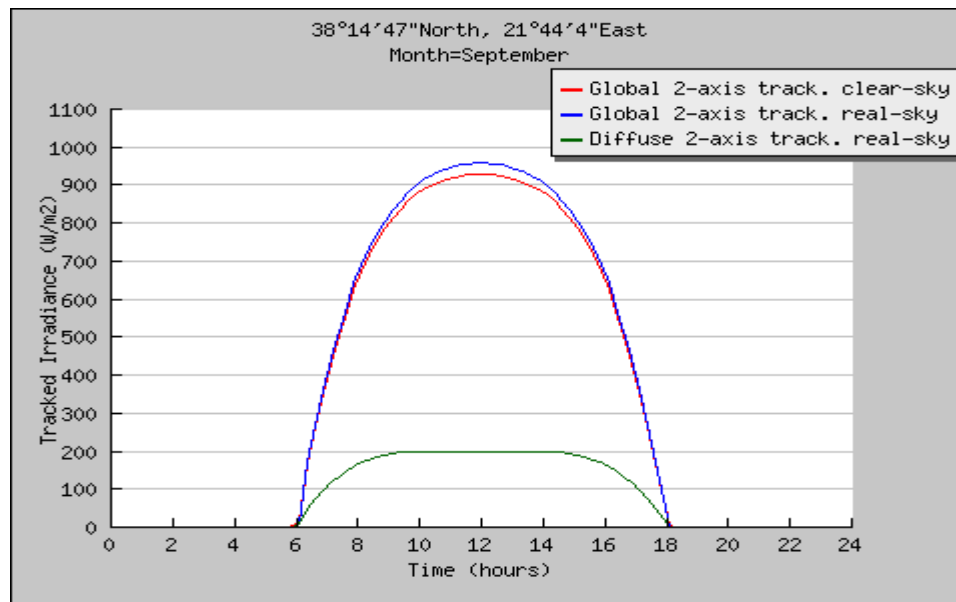
**Εικόνα 1.17<sup>α</sup>:** Διάγραμμα ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο 35° για τη περιοχή της Πάτρας για τον μήνα Μάρτιο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το PVGIS[51]



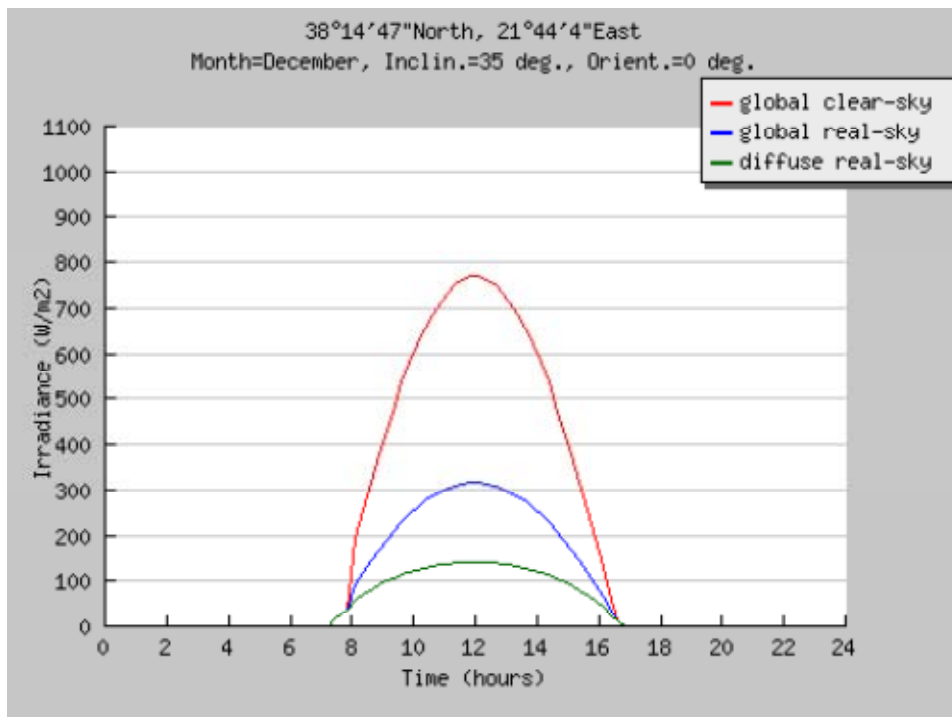
**Εικόνα 1.17<sup>β</sup>:** Διάγραμμα ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε διαξονικό σύστημα tracker για τη περιοχή της Πάτρας για τον μήνα Μάρτιο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το PVGIS[51]



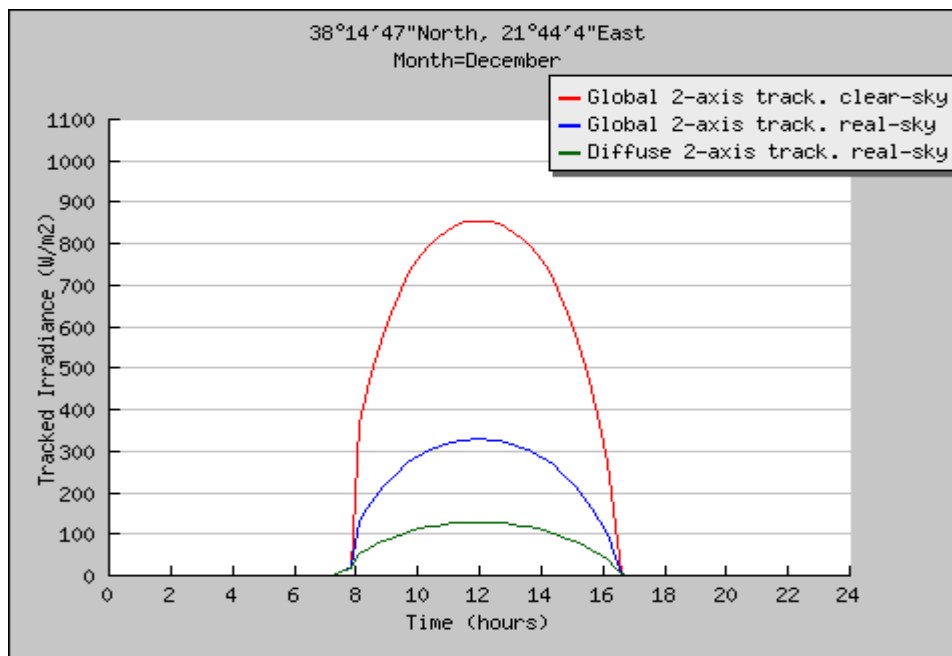
**Εικόνα 1.18<sup>α</sup>:** Διάγραμμα ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο 35° για τη περιοχή της Πάτρας για τον μήνα Σεπτέμβριο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το PVGIS[51]



**Εικόνα 1.18<sup>β</sup>:** Διάγραμμα ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε διαξονικό σύστημα tracker για τη περιοχή της Πάτρας για τον μήνα Σεπτέμβριο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το PVGIS[51]



**Εικόνα 1.19<sup>α</sup>:** Διάγραμμα ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο 35° για τη περιοχή της Πάτρας για τον μήνα Δεκέμβριο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το PVGIS[51]



**Εικόνα 1.19<sup>β</sup>:** Διάγραμμα ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε διαξονικό σύστημα tracker για τη περιοχή της Πάτρας για τον μήνα Δεκέμβριο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα από το PVGIS[51]



Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα παραπάνω διαγράμματα είναι για την κάθε εποχή είναι ότι, η ακτινοβολία όσο πλησιάζει στο καλοκαίρι (βλ εικόνα 1.16<sup>α</sup>, 1.16<sup>β</sup>) αυξάνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Σε αντίθεση με τον χειμώνα(βλ εικόνα 1.19<sup>α</sup>, 1.19<sup>β</sup>) όπου η ακτινοβολία έχει μικρότερη τιμή από όλες τις άλλες εποχές. Ενώ άνοιξη (βλ εικόνα 1.17<sup>α</sup>, 1.17<sup>β</sup>) με φθινόπωρο(βλ εικόνα 1.18<sup>α</sup>, 1.18<sup>β</sup>) η ακτινοβολία έχει σταθερές τιμές.

## 1.8. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Πυρανόμετρο:

Το Πυρανόμετρο αποτελεί αξιόπιστο όργανο, σχεδιασμένο για να χρησιμοποιείται για μετρήσεις έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε ( $W/m^2$ ).

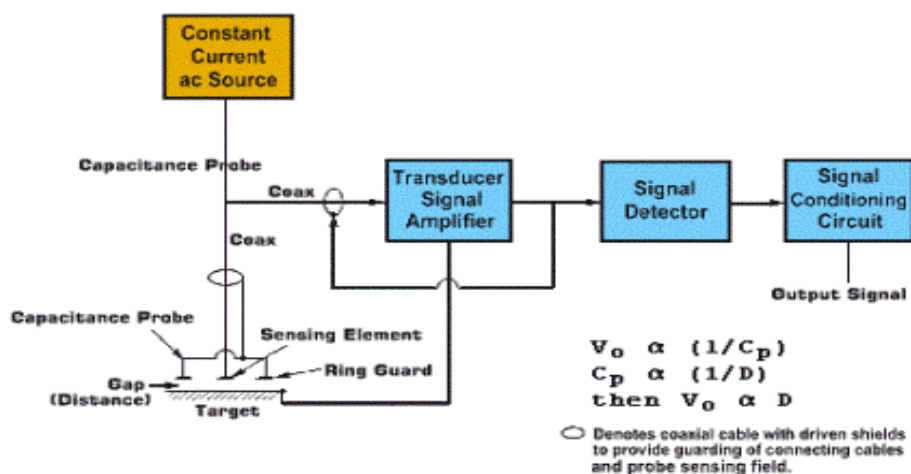


**Εικόνα 1.20:** Πυρανόμετρο τοποθετημένο στην σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Fixed) στο εργαστήριο των ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Η ετυμολογία της λέξης πυρανόμετρο προκύπτει από τις ελληνικές λέξεις πυρ (φωτιά), άνω (ψηλά) και μέτρο. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ολικής ή διάχυτης (ανάλογα με την περίπτωση), μετράται με το Πυρανόμετρο, διότι είναι ένα ακριβές και αξιόπιστο όργανο. Η αρχή λειτουργίας του πυρανόμετρου στηρίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο ή φαινόμενο Peltier, από το όνομα του Γάλλου Φυσικού (1785-1845) που το μελέτησε. Συγκεκριμένα το πυρανόμετρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της έντασης ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια. Η ακτινοβολία που προσπίπτει, στην ενεργό επιφάνεια, (μαύρη) του πυρανομέτρου απορροφούμενη θερμαίνει την πλάκα αυτή. Τα πυρανόμετρα αναπτύσσουν, λόγω του θερμοηλεκτρικού φαινομένου, μια διαφορά δυναμικού (τάση) στα άκρα θερμοζευγών τα οποία είναι ενσωματωμένα στο πυρανόμετρο και τα μισά εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώ τα άλλα μισά είναι σκιασμένα. Η ηλεκτρική τάση δημιουργείται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας που αναπτύσσεται μεταξύ των σκιασμένων και των εκτιθεμένων στην ηλιακή ακτινοβολία θερμοζευγών ή θερμοπυλών. Θερμοπύλη είναι ένα σύνολο θερμοζευγών συνδεδεμένων μεταξύ των

εν σειρά για την αύξηση της ευαισθησίας και της αξιοπιστίας στην μέτρηση του δυναμικού. Είναι προφανές ότι η παραγόμενη διαφορά δυναμικού είναι συνάρτηση της προσπίπτουσας έντασης και μάλιστα ανάλογη του συνημίτονου της γωνίας,  $\theta$ , πρόσπτωσης. Επομένως, η μέτρηση της έντασης της ακτινοβολίας ανάγεται στην μέτρηση της διαφοράς δυναμικού στα άκρα της θερμοπύλης.

Ένα τέτοιο όργανο, π.χ. το 1<sup>ης</sup> τάξης πυρανόμετρο Kirp και Zonen, αποτελείται από μια κυκλική διάταξη 100 θερμοζευγών τυπωμένων σε ένα κεραμικό υπόστρωμα. Το υλικό αυτό έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα ώστε οι θερμικές απώλειες λόγω διαφοράς θερμοκρασίας να είναι αμελητέες. Ο δίσκος με τα θερμοζεύγη ευρίσκεται εντός δύο ημισφαιρικών γυάλινων κελυφών με ξηρό αέρα. Η ακρίβεια των οργάνων αυτών πρώτης τάξης είναι  $\pm 1\%$ . Οι τιμές που λαμβάνει το δυναμικό καθώς τονίσαμε, είναι συνάρτηση της προσπίπτουσας έντασης. Η ένταση του ρεύματος που παράγεται από την διαφορά δυναμικού, ολοκληρώνεται για ένα χρονικό διάστημα π.χ. 15', ή μία ώρα ή μια ημέρα και προσδιορίζεται έτσι η ηλιακή ενέργεια (σε kJ ή MJ) που προσπίπτει κατά το ως άνω χρονικό διάστημα στο επίπεδο που είναι τοποθετημένο το πυρανόμετρο.



**Εικόνα 1.21: Αρχή λειτουργίας πυρανόμετρου [22]**

Είναι δυνατόν με τα πυρανόμετρα να μετράται και η ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας. Αυτό επιτυγχάνεται με μία στεφάνη, η οποία αποτρέπει να βλέπει το πυρανόμετρο. Με κατάλληλη τοποθέτηση της στεφάνης πάνω και γύρω από το πυρανόμετρο, με σκοπό ο βολβός του, να μην βλέπει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία παρά μόνο την διάχυτη.



**Εικόνα 1.22: Πυρανόμετρο με στεφάνι τοποθετημένο στο εργαστήριο των ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας**

Συνήθως, με δύο πυρανόμετρα, το ένα χωρίς στεφάνη και το άλλο με στεφάνη, μετράται η ένταση της ολικής ακτινοβολίας και της διάχυτης αντίστοιχα. Αφαιρώντας τις δύο μετρήσεις υπολογίζουμε την ένταση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Επειδή το ύψος της τροχιάς του ηλίου μεταβάλλεται από ημέρα σε ημέρα, είναι αναγκαίο για σωστές μετρήσεις της διάχυτης ακτινοβολίας να μετατοπίζεται η στεφάνη μέσω των δύο οδηγών (δεξιά και αριστερά) οι οποίοι δύναται να ολισθαίνουν δια των άκρων του οριζώντιου άξονα όπως δείχνει το σχήμα [3].

Μια βέλτιστη ρύθμιση για το χρονικό διάστημα των δεδομένων είναι να λαμβάνεται μέτρηση κάθε δευτερόλεπτο και να εξαχθεί ο μέσος όρος ανά λεπτό. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται, το φάσμα εξόδου του πυρανόμετρου να ταιριάζει στην περιοχή εισόδου. Στην περιοχή εισόδου της συσκευής συλλογής δεδομένων τούτο είναι αναγκαίο για να μεγιστοποιηθεί η διαθέσιμη ανάλυση και να γίνει ελαχιστοποίηση του θορύβου. Αυτό μπορεί να γίνει με μέγιστη αναμενόμενη αναλογική έξοδο του πυρανόμετρου στο σύστημα σας και τη λήψη των δεδομένων που μπορεί να χειριστεί μόνο αυτό το σήμα. Οι ανιχνευτές βασίζονται σε παθητικά θερμικά στοιχεία ανίχνευσης που ονομάζονται θερμοστήλες. Η θεμελιώδης αρχή λειτουργίας ισχύει για όλα τα πυρανόμετρα. Η θερμοστήλη ανταποκρίνεται στη συνολική ενέργεια που απορροφάται από μια μοναδική επίστρωση μαύρη επιφάνεια που αναπτύχθηκε από την Kirpp & Zonen και η οποία είναι μη επιλεκτική. Η θερμοστήλη ζεσταίνεται και η θερμότητα που παράγεται ρέει μέσω μιας θερμικής αντίστασης. Η θερμοκρασία μετατρέπεται σε μια μικρή τάση ως συνάρτηση της απορροφούμενης ακτινοβολίας. Η άνοδος της θερμοκρασίας στην θερμοστήλη είναι εύκολο να επηρεαστεί από τον άνεμο, τη βροχή και θερμική ακτινοβολία και η λεπτή μαύρη επίστρωση πρέπει να προστατεύεται. Ως εκ τούτου, ο ανιχνευτής πρέπει να είναι θωρακισμένος από δύο θόλους. Αυτοί οι θόλοι επιτρέπουν την ίση μετάδοση της

άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για κάθε θέση του ήλιου στο ημισφαίριο πάνω από τον ανιχνευτή[23].

Τεχνικά Χαρακτηριστικά πυρανόμετρου της εταιρίας Kipp&Zonnen

Φασματική περιοχή ( συνολικά)	285 to 2800 nm
Ευαισθησία	7 to 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
Χρόνος Απόκρισης	$< 5$ s
Zero offset A	$< 7$ $\text{W}/\text{m}^2$
Zero offset B	$< 2$ $\text{W}/\text{m}^2$
Κατευθυντική ανταπόκριση (up to 80° with 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ beam)	$< 10$ $\text{W}/\text{m}^2$
Εξάρτηση θερμοκρασίας από το sensitivity (-10 °C to +40 °C)	$< 1$ %
Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας	40 °C to +80 °C
Μέγιστη ένταση ηλ. Ακτινοβολίας	4000 $\text{W}/\text{m}^2$
Ορίζοντας	180 °

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 2.1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

#### 2.1.1. ΓΕΝΙΚΑ

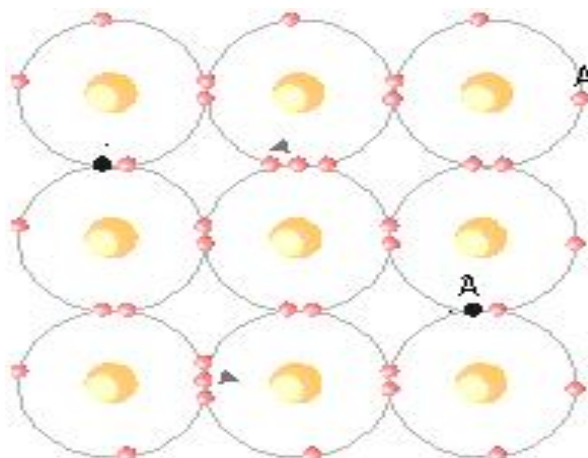
Η τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρισμού με ηλιακή ενέργεια ονομάζεται Φωτοβολταϊκή Ενέργεια. Ο Edmond Becquerel το 1839 ανακάλυψε ότι ηλεκτρόδια οξειδίου του χαλκού όταν τοποθετηθούν σε υγρό και εκτεθούν στον ήλιο παράγουν ηλεκτρισμό. Ο Charles Fritts το 1880 κατασκεύασε το πρώτο φωτοβολταϊκό κύτταρο(πλάκα) (cell) από σελήνιο και προέβλεψε ότι θα έλθει η εποχή που αν η στέγη μιας κατοικίας καλυφθεί με παρόμοια κύτταρα (πλαίσια) θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες της κατοικίας σε ηλεκτρισμό. Το 1905 ο Albert Einstein περιέγραψε τη φύση του φωτός και το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο το οποίο είναι ουσιαστικό για την φωτοβολταϊκή τεχνολογία.

Για το επίτευγμα αυτό τιμήθηκε το 1921 με το βραβείο Nobel. Δεκατέσσερα χρόνια αργότερα ο Jan Czochralski κατασκευάζει το πρώτο στοιχείο μονοκρυσταλλικού (c-Si) πυριτίου. Το 1931 πραγματοποιήθηκαν έρευνες πάνω στο κάδμιο σελήνιο (CdSe) στο οποίο παρατηρείται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

#### 2.1.2. ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

Από την μοριακή φυσική και χημεία είναι γνωστό ότι η ύλη, τα στερεά υλικά σώματα αποτελούνται από μόρια και άτομα. Κάθε άτομο περιλαμβάνει τον πυρήνα που είναι πρωτόνια και έναν αριθμό ηλεκτρονίων που περιφέρονται γύρω από αυτόν. Ο πυρήνας φέρει θετικό ηλεκτρικό φορτίο και τα ηλεκτρόνια αρνητικό. Το θετικό φορτίο του πυρήνα και το αρνητικό φορτίο του πυρήνα είναι ίσα υπό κανονικές συνθήκες. Τα ηλεκτρόνια σύμφωνα με την σχέση  $2n^2$  κατατάσσονται σε στιβάδες. Εκείνα που βρίσκονται στην τελευταία στιβάδα λέγονται και ηλεκτρόνια σθένους. Κάθε τέτοιο ηλεκτρόνιο έχει μια συγκεκριμένη ενέργεια, δηλαδή συγκεκριμένη στάθμη ενέργειας. Ηλεκτρική αγωγιμότητα ονομάζεται η κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα σε ένα σώμα και ανάλογα με την κίνηση τους μέσα από τα μόρια του υλικού διακρίνονται σε

μονωτές αγωγούς και ημιαγωγούς. Οι διάφορες ενεργειακές ζώνες σε ένα ημιαγωγό μπορούν να αναπαρασταθούν με διάφορα επίπεδα το καθένα πάνω από το άλλο.

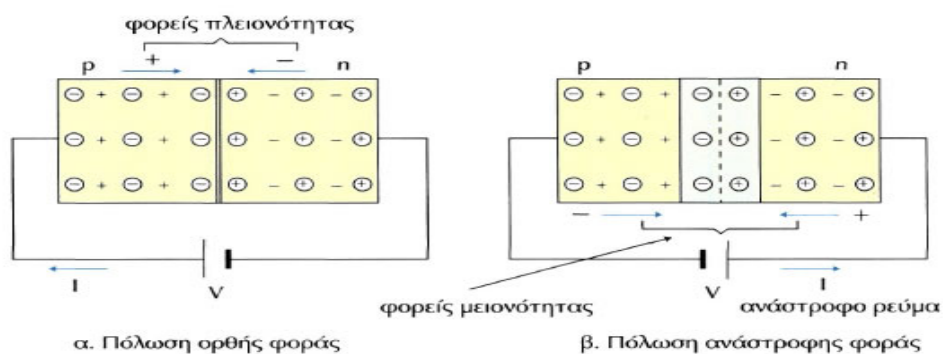


Εικόνα 2.3: Μοριακή δομή ενός ημιαγωγού πρόσμιξης [24]

Στο κατώτερο επίπεδο βρίσκεται η ενεργειακή ζώνη των ηλεκτρονίων των εσωτερικών στοιβάδων των ατόμων.

- Στο μέσο βρίσκεται η ενεργειακή ζώνη των ηλεκτρονίων σθένους.
- Τέλος, στο πάνω μέρος έχουμε την ενεργειακή ζώνη των ελεύθερων ηλεκτρονίων, δηλαδή εκείνων που είναι υπεύθυνα για την εκδήλωση ηλεκτρικής αγωγιμότητας, για αυτό τον λόγο και ονομάζεται ζώνη ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Η απόσταση ανάμεσα από την ζώνη σθένους και την ζώνη αγωγιμότητας, ονομάζεται ενεργειακό διάκενο ή ενεργειακό χάσμα. Στην ουσία το ενεργειακό χάσμα εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους και την μετατροπή του σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο.



Εικόνα 2.5: Δίοδος Επαφής και πόλωση (ορθής και ανάστροφης φοράς) [25]

Τα ηλεκτρόνια σθένους των ημιαγωγών μπορούν να απορροφήσουν σημαντική ποσότητα φωτός. Η απορρόφηση αυτή καθορίζεται από το μέγεθος της ενέργειας των φωτονίων σε σχέση με το ενεργειακό χάσμα. Εάν η ενέργεια του φωτονίου είναι μικρότερη από αυτή του ενεργειακού χάσματος του ημιαγωγού, τότε το φωτόνιο δεν

απορροφάται για να το εισάγει στην ζώνη αγωγιμότητας. Εάν η ενέργεια του φωτονίου  $E(h\nu)$  είναι ίση με αυτή του ενεργειακού χάσματος, το φωτόνιο πιθανό να αλληλεπιδρά με ένα ηλεκτρόνιο σθένους του ημιαγωγού. Με αυτό τον τρόπο το ηλεκτρόνιο δέχεται ενέργεια από το φως και ανέρχεται ενεργειακά στη ζώνη αγωγιμότητας αφήνοντας στη ζώνη σθένους μια “ενεργειακή οπή”, η οποία αποτελείται από θετικά φορτισμένο φορτίο.

- Ημιαγωγός τύπου n: Προκύπτει από τον αντίστοιχο καθαρό ημιαγωγό Si αν αντικατασταθούν μερικά από τα άτομά του, στο κρυσταλλικό πλέγμα με άλλα άλλου υλικού μεγαλύτερου σθένους.

Στον αγωγό αυτό ένα ηλεκτρόνιο ανά άτομο πρόσμειξης δεν συμμετέχει σε δεσμό και είναι ελεύθερο. Έτσι αυτός ο τύπος ημιαγωγού περιέχει περισσότερα ηλεκτρόνια από τον καθαρό αγωγό και τα άτομα πρόσμειξης ονομάζονται δότες.

- Ημιαγωγός τύπου p: Προκύπτει από τον αντίστοιχο καθαρό ημιαγωγό αν αντικατασταθούν μερικά από τα άτομά του κρυσταλλικού πλέγματος με άλλα άλλου υλικού μικρότερου σθένους. Στον ημιαγωγό αυτό τα άτομα πρόσμειξης μπορούν να δεχτούν ένα ηλεκτρόνιο για να συμπληρωθεί ο ελεύθερος δεσμός και ονομάζονται αποδέκτες.

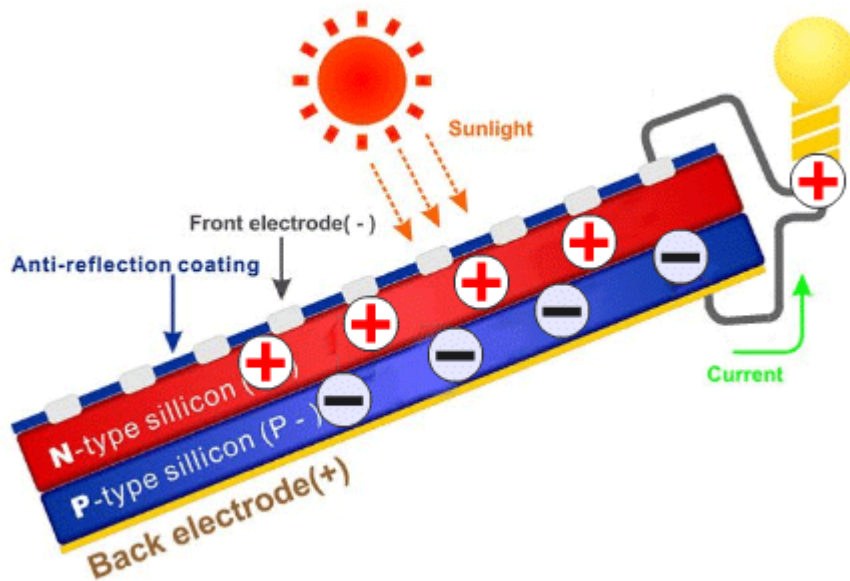
Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί και την ιδιότητα των ημιαγωγών που λέγεται φωτοαγωγιμότητα και είναι αυτή που εκφράζει την οπτική και ηλεκτρική συμπεριφορά του. Εννοείται ότι ένας τέτοιος ημιαγωγός όταν φωτίζεται παράγει πολύ περισσότερο ρεύμα από ότι όταν βρίσκεται σε σκοτεινό μέρος.

## **2.2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΙ Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ**

### **2.2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ**

Όταν σε σύστημα προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία, απελευθερώνονται ηλεκτρόνια. Αυτά σαρώνουν το ηλεκτροστατικό πεδίο, που έχει δημιουργηθεί από την διεπαφή n-p, και μεταφέρονται στην άλλη πλευρά. Αν οι δύο επαφές συνδεθούν μεταξύ τους, τότε το σύστημα διαρέεται από ηλεκτρόνια για όσο χρονικό διάστημα προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία η οποία μετατρέπεται σε ηλιακή ενέργεια. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών. Ανεξάρτητα από την κρυσταλλική τους δομή, όλα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία εμπεριέχουν μία δίοδο ημιαγωγού που εκτείνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου. Συνήθως η δίοδος αυτή δημιουργείται από την επαφή ενός στρώματος τύπου-n με ένα στρώμα τύπου-p ή ακόμα από την επαφή ανάμεσα σε ένα ημιαγωγό με ένα κατάλληλα επιλεγμένο μέταλλο.



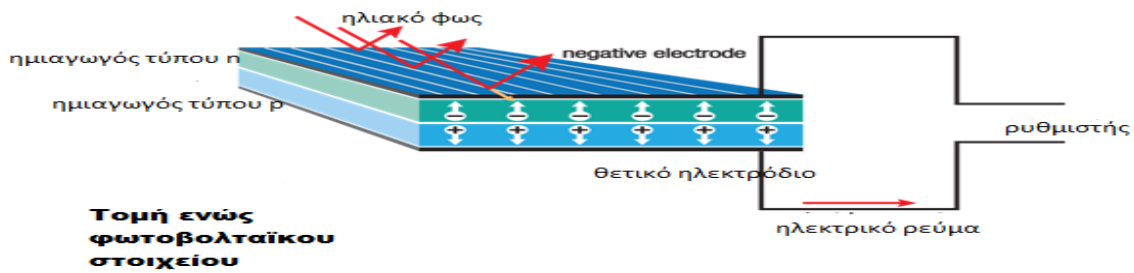


**Εικόνα 1.12: Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο [56]**

Έτσι τα φωτόνια αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός είναι η κίνηση ηλεκτρονίων. Εάν συνδεθούν στις πλευρές του πλαισίου δύο ακροδέκτες και κλείσει το κύκλωμα, θα έχουμε την διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος.

### **2.2.2. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ**

Για να προκύψει το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, απαιτείται η δημιουργία μιας διάταξης δύο φωτοαγωγίμων ημιαγωγικών υλικών σε επαφή και να βρίσκεται στην έκθεση του φωτός. Επίσης θα πρέπει να προστεθεί ότι το φως που προσπίπτει πάνω σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, δεν απορροφάται πλήρως αλλά ένα συγκεκριμένο εύρος μήκους κύματος. Το φως που απορροφάται είναι στην περιοχή από 380nm – 1200nm.



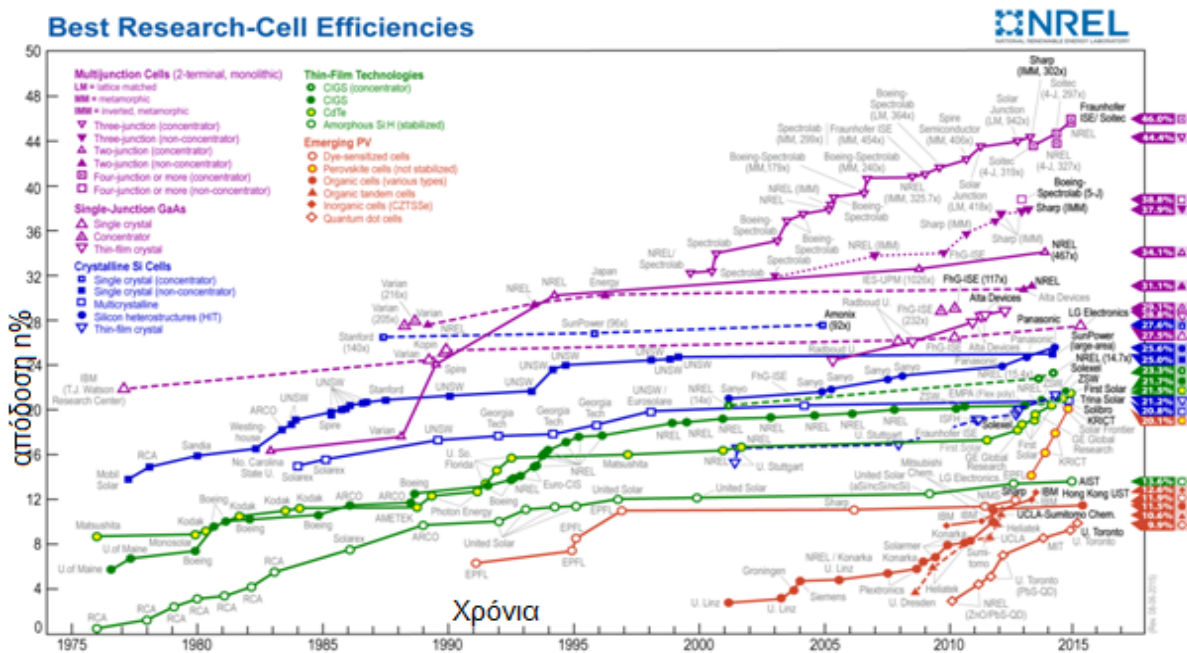
Εικόνα 2.13: Τομή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η διάταξη αυτή, αποτελεί πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο (cell) . Τέλος, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται φωτορεύμα.

### 2.2.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Απόδοση είναι ο λόγος  $\eta_c = \frac{P_m}{A_c * I_T}$ , δηλαδή η μέγιστη ισχύς που παράγει μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια προς την επιφάνεια επί την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτή. Η απόδοση σε συνθήκες STC ισούται με

$$\eta_c(STC) = \frac{P_m(W)}{A_c(m^2) * 10^3 \left(\frac{W}{m^2}\right)} \quad (2.1)$$

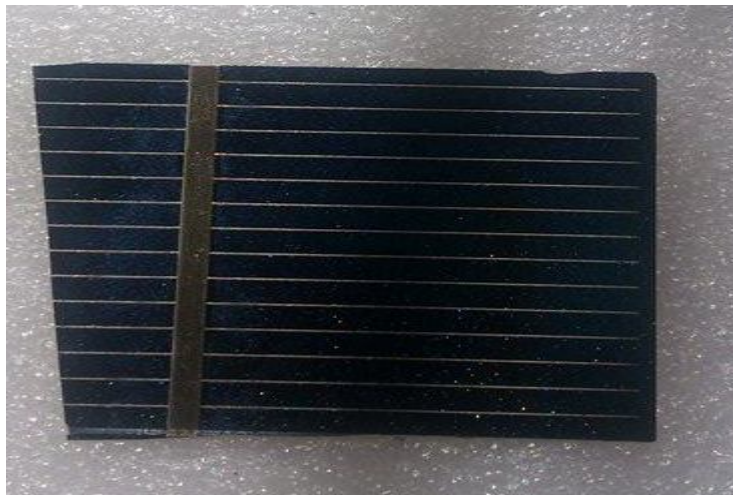


*Εικόνα 2.14: Διάγραμμα μέγιστου βαθμού απόδοσης σε όλα τα φωτοβολταϊκά [26]*

## **2.3. ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

### **2.3.1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΠΥΡΙΤΙΟ**

Το (Si) πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1, 12 eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητές του, δηλαδή έμμεσο ενεργειακό διάκενο και σχετικά μικρή τιμή ενεργειακού διακένου δεν είναι ιδεώδεις για την φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή αλλά μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων. Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι το πυρίτιο είναι το κύριο υλικό των διατάξεων ηλεκτρονικής για πολλές δεκαετίες κατά συνέπεια οι ιδιότητες του είναι καλά μελετημένες, το υλικό κυκλοφορεί στη αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες 600.000 τόνοι το χρόνο παγκοσμίως προκειμένου να κατασκευαστούν ασφάλι και κράματα.



*Εικόνα 2.15: Στοιχείο άμορφου πυριτίου στο εργαστήριο των ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας*

Ακόμα το υλικό κατασκευής του πυριτίου είναι πρακτικώς απεριόριστο, διότι το 60% του γήινου φλοιού είναι άμμος στο μεγαλύτερο μέρος του χαλαζίας ή διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ). Τέλος το πυρίτιο ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών πλαισίων έχει δοκιμαστεί αρκετά χρόνια σε διάφορες εφαρμογές με αρκετά μεγάλη επιτυχία [27].

### 2.3.1.1.ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

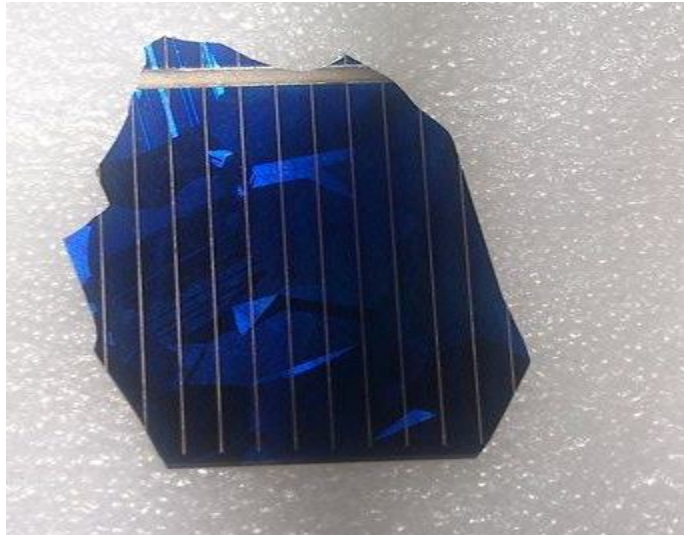
Το βασικό υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών αυτών είναι το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Το πάχος των υλικών αυτών είναι σχετικά μεγάλο, περίπου 300μm. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών μονοκρυσταλλικού πυρίτιου με τη μορφή πλαισίων κυμαίνεται από 13-18% και χαρακτηρίζονται από το υψηλό κόστος κατασκευής. Χρώμα: σκούρο μπλε [1].



*Εικόνα 2.16: Στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυρίτιου στο εργαστήριο των ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας*

### 2.3.1.2.ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα, πάχους 10 έως 50 μm. Στην επιφάνεια της κυψελίδας, διακρίνονται οι διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Τα όρια τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων. Άρα, όσο μικρότερο το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης φωτοβολταϊκό στοιχείο, τόσο καλύτερη η ηλεκτρική αγωγιμότητά του [1].



**Εικόνα 2.17:** Στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου στο εργαστήριο των ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

### **2.3.1.3. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΙΝΙΑΣ (RIBBON SILICON):**

Δημιουργία λεπτής ταινίας από τηγμένο υλικό. Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο με απόδοση περί το 13%. Μέθοδος υψηλού κόστους και προς το παρόν, περιορισμένης βιομηχανικής παραγωγής [1].



**Εικόνα 2.18:** Φωτοβολταϊκό στοιχείο thin film στο εργαστήριο των ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

#### **2.3.1.4. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ**

Τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων (films), (εικόνα 2.19) θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων αυτών μειώνεται έντονα, στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα του 6 έως 8%. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων φωτοβολταϊκών στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος [1].

#### **2.3.2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ**

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός  $Se_2Cu$  έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτων φως αλλά παράλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18, 8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως [4].

Το Τελουριούχο Κάδμιο  $TeCd$  έχει ενεργειακό χάσμα γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8% [4].

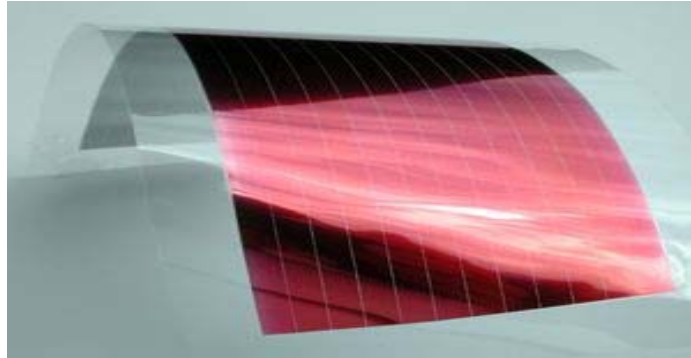
Το Γάλλιο Ga είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το Αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό χάσμα 1, 43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%[4].

#### **2.3.3. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ**

Σήμερα υπάρχουν τρεις τύποι οργανικών φωτοβολταϊκών διατάξεων: Οι ηλεκτροχημικές, οι οργανικές που βασίζονται σε μικρά οργανικά μόρια (κυρίως χρωστικές) και οι πολυμερικές. Οι μεγαλύτερες ενεργειακές αποδόσεις (11%) έχουν επιτευχθεί με τις ηλεκτροχημικές διατάξεις (που είναι γνωστές ως Gratzel cells), οι οποίες βασίζονται σε νανοκρυσταλλικό  $TiO_2$  και οργανικές χρωστικές. Μια ενδιαφέρουσα κατηγορία υλικών, ως προς την πιθανή χρήση τους σε φωτοβολταϊκές διατάξεις, είναι τα συζυγή πολυμερή (οργανικοί ημιαγωγοί) τα οποία συνδυάζουν τις



οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες ενός κλασσικού ημιαγωγού με τις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες ενός πολυμερούς.



**Εικόνα 2.19: Οργανικό φωτοβολταϊκό στοιχείο**

Οι σχετικές διατάξεις αναπτύσσονται συνήθως από διάλυμα με διάφορες απλές σε διαδικασία τεχνικές εναπόθεσης όπως με σταγόνες (drop casting), με φυγοκέντρωση (spin-coating) και με εκτύπωση (printing), τεχνικές που λειτουργούν σε θερμοκρασίες δωματίου[28]

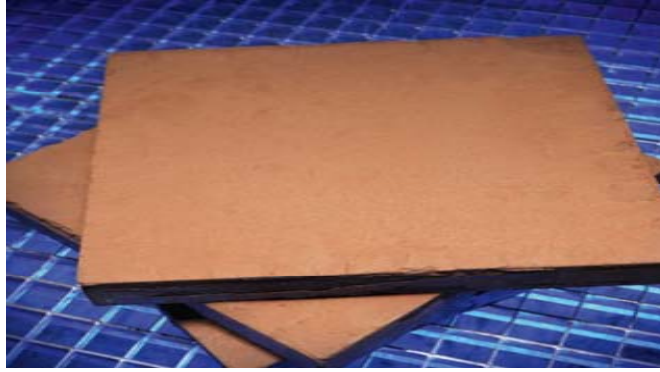
#### **2.3.4. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

Τα νανοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα ή αλλιώς τα ηλιακά κύτταρα κβαντικών τελείων είναι κύτταρα βασισμένα σε νανοκρυστάλλους. Η τεχνολογία των νανοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες. Στο μέλλον τα φωτοβολταϊκά κβαντικών τελείων μπορούν να προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως ευκαμψία, χαμηλό κόστος, καθαρή πηγή ενέργειας και απόδοση έως και 65%. Τα φωτοευαίσθητα ηλιακά κύτταρα (DSGC) είναι φωτοβολταϊκά βασισμένα σε νανοδιάστατο ημιαγωγό.

#### **2.3.5. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ**

Τα συγκεντρωτικά μέσα χρησιμοποιούν φακούς ή κάτοπτρα για να συγκεντρώσουν το φως του ήλιου επάνω σε ένα δέκτη. Αυτό επιτρέπει την μείωση της επιφάνειας φωτοβολταϊκών κυττάρων που απαιτείται για την παραγωγή συγκεκριμένης ισχύος. Ο στόχος είναι να μειωθεί σημαντικά το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με την αντικατάσταση των φωτοβολταϊκών κυττάρων, με το λιγότερο ακριβό οπτικό υλικό.





**Εικόνα 2.20: Πρώτη ύλη – επεξεργασμένο πυρίτιο για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων [29]**

## **2.4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

Το βασικό υλικό για τη διαδικασία αυτή είναι το κρυσταλλικό Si. Η πρώτη ύλη αρχικά τήκεται. Κατόπιν το τηγμένο υλικό εξάγεται αργά από το δοχείο τήξης, σχηματίζοντας ψυχώμενο μονοκρυστάλλο με σχήμα ράβδων κυκλικής διατομής.

Ο κρύσταλλος που είναι σκληρός, κόπτεται σε λεπτές φέτες (δίσκους) πάχους από 1/25 της ίντσας (περίπου 1 mm). Στις λεκάνες καθαρισμού απομακρύνονται οι ζημιές που προκύπτουν κατά τη διαδικασία τεμαχισμού με το πριόνι σύρματος, έπειτα διεξάγεται το τελικό φινίρισμα της επιφάνειας του δίσκου πυριτίου. Επειδή το πυρίτιο είναι πολύ σκληρό, η κοπή του επιτυγχάνεται με εργαλείο που έχει διαμάντι. Το περισσότερο από το πολύτιμο ακριβό υλικό σπαταλιέται, γιατί το εργαλείο κοπής είναι παχύτερο από τους δίσκους που προκύπτουν.

Αφού κοπούν οι δίσκοι, πρέπει να γυαλισθούν. Στο επόμενο βήμα, δημιουργείται μέσω διάχυσης φωσφόρου ο δεσμός p/n, κάτι που καθιστά το πυρίτιο αγωγίμο για τα ηλεκτρόνια. Κατόπιν, επειδή το πυρίτιο είναι κακός αγωγός ρεύματος προστίθενται προσμίξεις (όπως βόριο και φώσφορος) καθώς τα κύτταρα επαναθερμαίνονται.



**Εικόνα 2.21: Επεξεργασία του πυριτίου [29]**

Οι προσμίξεις καθιστούν την μια πλευρά του δίσκου θετική και την άλλη αρνητική. Σε μια λεπτή περιοχή στη μέση του δίσκου δεν εισέρχονται προσμίξεις (αυτό που περιγράφηκε είναι ουσιαστικά η βασική κρυσταλλοδίοδος). Στη θετική πλευρά του κυττάρου βρίσκεται το στρώμα B (positive). Στην αρνητική το στρώμα n (negative). Η ουδέτερη περιοχή είναι η διεπαφή pn. Η διεπαφή απομονώνει τα στρώματα B και n. Για τον ηλεκτρικό διαχωρισμό της εμπρόσθιας και οπίσθιας πλευράς, η πίσω πλευρά υποβάλλεται σε καύση μέσω οξέος.



**Εικόνα 2.22: Έτοιμοι επεξεργασμένοι δίσκοι πυριτίου με επαφές p-n[29]**

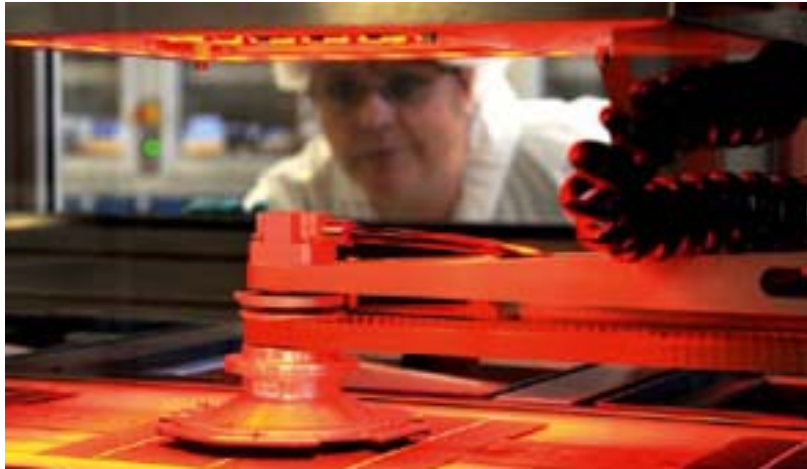
Στη συνέχεια συγκολλούνται μεταλλικά ηλεκτρόδια στις δύο επιφάνειες των στρωμάτων, οι οποίες επικαλύπτονται με επίστρωση από κατάλληλο υλικό, που εμποδίζει την ανάκλαση του φωτός. Όταν τα ηλιακά κύτταρα επικαλύπτονται με αντανάκλαστικά υλικά, όπως είναι το SiO (οξειδίο του πυριτίου) ή το TiO (οξειδίο του τιτανίου) η ανάκλαση του ηλιακού φωτός πάνω τους περιορίζεται από το 30% στο 5-8%.



**Εικόνα 2.23: Επίστρωση με αντανάκλαστική επικάλυψη [29]**

Η αντανάκλαστική επικάλυψη προσφέρεται σε αρκετούς χρωματισμούς, ανάλογα με τις αισθητικές αντιλήψεις του χρήστη. Μια γαλάζια αντανάκλαστική στρώση μειώνει τις οπτικές απώλειες και αποτελεί εγγύηση για την ηλεκτρική αδρανοποίηση

της επιφάνειας. Επίσης γίνεται τύπωμα των επαφών μπροστινής και πίσω πλευράς με τη μέθοδο της μεταξοτυπίας. Πριν από καθεμία από τις τρεις διαδικασίες εκτύπωσης μετριέται με ακρίβεια η θέση των στοιχείων, για να ευθυγραμμιστούν οι μάσκες εκτύπωσης.



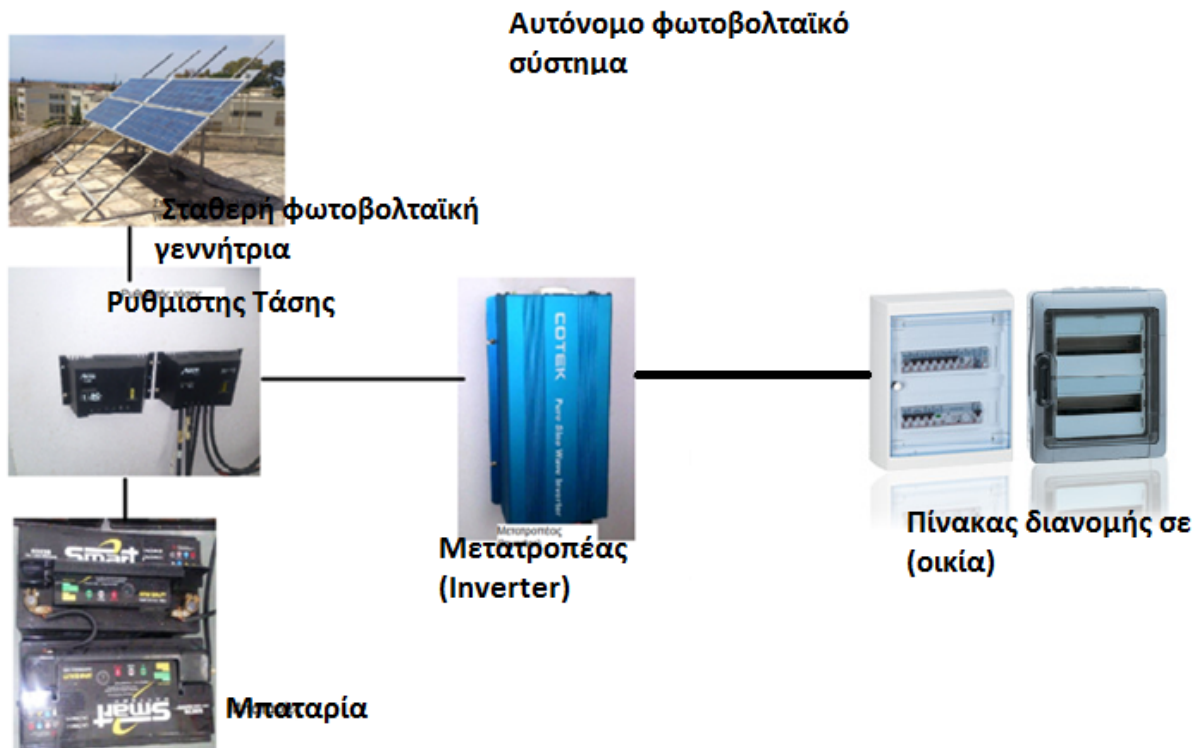
*Εικόνα 2.24: Μεταξοτύπωση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία [29]*

Τα ηλιακά κύτταρα υφίστανται μια διαδικασία διάβρωσης. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί ένα κατάλληλο μεταλλικό πλέγμα, δηλαδή μια αγωγίμη επικάλυψη. Αυτό επιτρέπει σε ηλεκτρικά φορτία να μετακινούνται από και προς το κύτταρο, όταν γίνει σύνδεση με εξωτερικό καλώδιο. Τα επιμέρους κύτταρα συνδέονται με αλλά σε σειρά (θετικός ακροδέκτης με αρνητικό ακροδέκτη) [30].

## **2.5. Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

### **2.5.1. ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ**

Υπάρχουν περιπτώσεις που το ηλεκτρικό ρεύμα είναι «πολυτέλεια» για ορισμένες περιοχές που είναι απομακρυσμένες από το δίκτυο. Σε αυτές τις περιοχές το ρεύμα είναι εξαιρετικά ακριβό και έτσι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι μια ανταγωνιστική λύση στο πρόβλημα.



**Εικόνα 2.25:** Αυτόνομο και διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα στο εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμεύουν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, ή αλλιώς off-grid systems. Αυτόνομα είναι τα συστήματα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο. Είναι ανεξάρτητα. Τροφοδοτούν μόνο τις εκάστοτε ανάγκες για τις οποίες και εγκαταστάθηκαν.

### 2.5.2 ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Τα συστήματα αυτά συνδέονται απευθείας στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής (AC). Το δίκτυο αποτελεί για το φωτοβολταϊκό σύστημα, ένα τεράστιο απόθεμα ηλεκτρικής ενέργειας, σταθερής ηλεκτρικής τάσης. Άρα, στα συστήματα αυτά δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ως καταναμημένα συστήματα και σε εκείνα που συνιστούν κεντρικούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο (βλέπε εικόνα 2.25).

### 2.5.3 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές μορφές ενέργειας βάσει των οποίων είναι δυνατή η παραγωγή ενέργειας χωρίς σημαντικές επιπτώσεις για το περιβάλλον. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που έχουν τα συστήματα αυτά είναι η διακύμανση στην παραγωγή ενέργειας. Για αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητο η

διασφάλιση της αξιοπιστίας και της ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας. Ένα κοινό υβριδικό σύστημα αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους συστήματα:

1. Μία πρωτογενής πηγή ενέργειας (π.χ. ανανεώσιμη πηγή ενέργειας)
2. Μία δευτερογενής πηγή, η οποία προσφέρει πρόσθετη ενέργεια στο σύστημα υπό κανονικές συνθήκες και κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας σε περιπτώσεις όπου η πρωτογενής πηγή είναι εκτός λειτουργίας.
3. Ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (για μη διασυνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα) για τη διασφάλιση της σταθερότητας της παροχής ενέργειας.
4. Ένας ελεγκτής φόρτισης.
5. Το υλικό εγκατάστασης ( καλώδια, κουτιά ασφαλείας κτλ)
6. Οι συσκευές κατανάλωσης ενέργειας



Εικόνα 2.26: Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα στο εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

## 2.6. ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων ή και όλης της εγκατάστασης, αποτελεί ίσως τον πιο βασικό παράγοντα για την απόδοσή τους και την σωστή λειτουργία του συστήματος. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα αποδοτικό φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να είναι προσανατολισμένο στον νότο καθώς έτσι, λαμβάνει την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Η σωστή τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε μια εγκατάσταση παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος, στην βιωσιμότητά του και την λειτουργία του.



### 2.6.1. ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΛΙΣΗ

Η απουσία κινητών μερών κατά την στήριξη της συστοιχίας με σταθερή κλίση, προσδίδει στη διάταξη επαρκή μηχανική αντοχή, ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Στατικές συλλεκτικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε κτίρια. Η πιο απλή περίπτωση είναι εκείνη κατά την οποία ο χώρος εγκατάστασης της συστοιχίας των συλλεκτών, δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλο το έτος.



*Εικόνα 2.27: φωτοβολταϊκή γεννήτρια με σταθερή κλίση (Fixed) στο εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας*

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή: οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πλαισίων κατά το μεσημέρι. Έτσι οι βάσεις κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πλαισίων σε σταθερή κλίση, περί τις 30 μοίρες. Η κλίση αυτή θεωρείται ως μία ικανοποιητική μέση τιμή για τα Ελληνικά γεωγραφικά δεδομένα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες [40].

### 2.6.2. ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΚΛΙΣΗ

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρεται, ότι σε μια εγκατάσταση υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμίζεται εποχιακά η κλίση του συστήματος. Συνήθως επιλέγονται 3 διαβαθμίσεις. Μία για καλή λειτουργία το χειμώνα, μία για το καλοκαίρι και μία για τις ισημερίες. Άλλα συστήματα χρησιμοποιούν άλλη μέθοδο. Υπάρχουν βάσεις οι οποίες μπορεί να ρυθμίζονται χειροκίνητα κάθε μήνα (για καλύτερη απόδοση) ή δύο φορές το χρόνο, συνήθως Σεπτέμβριο/ Οκτώβριο και Μάρτιο/Απρίλιο.



**Εικόνα 2.28: φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με συστήματα tracking στο εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας**

### **2.6.3. ΣΤΗΡΙΞΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΜΕ SUNTRACKER ΕΝΟΣ Ή ΔΥΟ ΑΞΟΝΩΝ**

Η ιχνηλάτηση της πορείας του ήλιου αποτελεί μία τεχνική η οποία στοχεύει στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της προσπάθειας κίνησης των βάσεων των πλαισίων κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να επιτυγχάνεται συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ήλιο παρακολουθητές, ή τράκερ (Tracker) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα παρέχοντας ωστόσο αυξημένες επιδόσεις ( $kWh/kW_p$ ), κατά μέσο όρο της τάξης του 30%. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Συστήματα μονού άξονα (single axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα κίνηση των πλαισίων σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια μίας μέρας. Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.
2. Συστήματα διπλού άξονα (dual axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πλαισίων ως προς την οριζόντιο. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Η κίνηση στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται με συνήθως με ηλεκτρομηχανικά ή ηλεκτρο-υδραυλικά μέσα. Κατά συνέπεια, όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από ιδιοκαταναλώσεις, οι οποίες είναι μικρές καθώς η κίνηση δεν είναι συνεχής αλλά περιοδική, τυπικά μία κίνηση ανά 10 λεπτά [40].



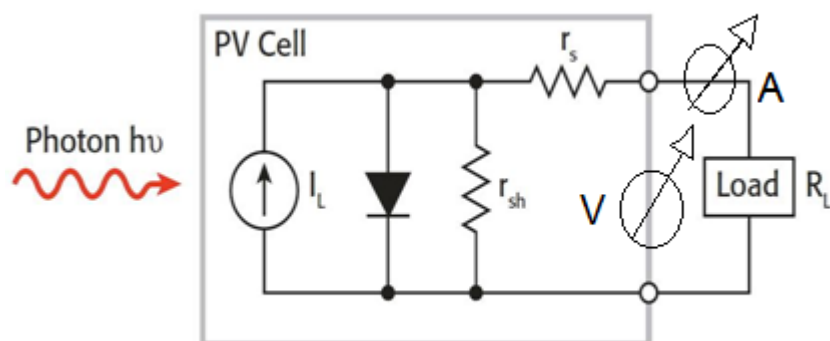


**Εικόνα 2.29: Διαξονική κινητή βάση παρακολούθησης του ηλιακού δίσκου, εργαστήριο ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> :ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥΣ.

## 3.1. ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Με σκοπό την μελέτη των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, που δεν δέχεται σταθερή ηλιακή ακτινοβολία, αποτελεί πηγή ρεύματος και ελέγχεται απλά από μια δίοδο επαφής.



Εικόνα 3.1: Ηλεκτρικό ανάλογο ενός φ/β στοιχείου

Αν στο απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα τα άκρα της επαφής συνδεθούν με χάλκινο σύρμα μεγάλης διατομής, μηδενικής αντίστασης, το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο και διαρρέεται από ρεύμα ίσο περίπου με το φωτόρευμα, που ονομάζεται ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  του φωτοβολταϊκού στοιχείου (short-circuit current). Αν τα άκρα της επαφής δεν συνδέονται μεταξύ τους, δηλαδή ανοιχτό κύκλωμα, η τάση στο άκρο ονομάζεται τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$  του φωτοβολταϊκού στοιχείου (open-circuit voltage). Στην πραγματικότητα το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου περιλαμβάνει ακόμα δύο αντιστάσεις:

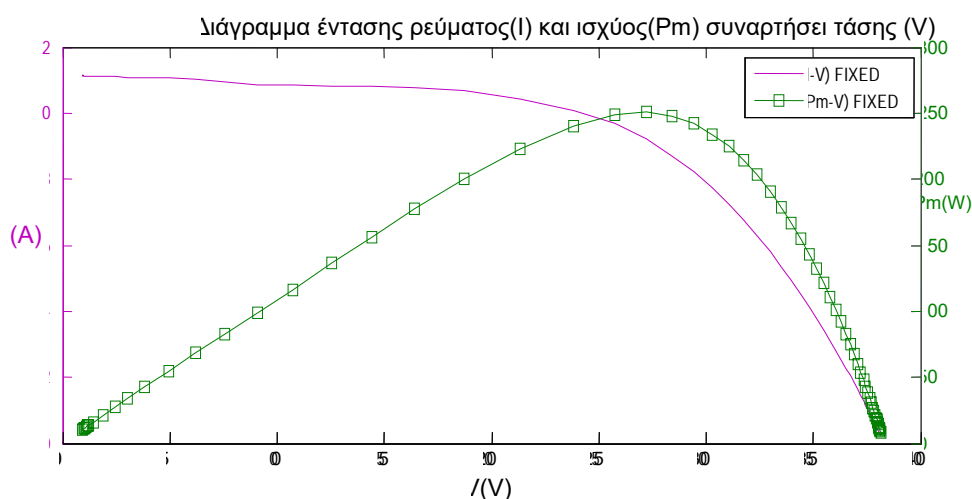
- Τη σειριακή αντίσταση  $R_s$  (series resistance), η οποία συνδέεται σε σειρά με τη δίοδο επαφής και αφορά στις αντιστάσεις κατά την κίνηση των ηλεκτρονίων  $e^-$  μέσα από τη δίοδο και τις επαφές με τα ηλεκτρόδια.
- Την αντίσταση διαρροής  $R_{sh}$  (shunt resistance), η οποία συνδέεται παράλληλα με τη δίοδο επαφής και αφορά στη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του εμπορίου έχουν συνήθως  $R_s < 1\Omega$  και  $R_{sh} > 500\Omega$  [5]

## 3.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

### 3.2.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Από όσα έχουν αναπτυχθεί σε προηγούμενες παραγράφους, γίνεται αντιληπτό ότι η τάση σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μεταβάλλεται σε σχέση με την ένταση του ρεύματος που διαρρέει στο κύκλωμα, ακόμα και όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω σε αυτό, παραμένει σταθερή.

Γενικά παρατηρούμε όταν το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο, η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος παίρνει την μέγιστη τιμή  $I_{sc}$  και η ηλεκτρική τάση μηδενίζεται ( $V=0$ ). Αντίθετα όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό, η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται ( $I=0$ ) και η τάση παίρνει την μέγιστη τιμή  $V_{oc}$ . Οι μεταβολές έντασης και τάσεως φαίνονται στην εικόνα 3.2, με μία καμπύλη γραμμή, που αποτελεί τη χαρακτηριστική καμπύλη του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Η καμπύλη αυτή ισχύει για συνθήκες σταθερής ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και για μεταβαλλόμενη αντίσταση του κυκλώματος από μηδέν (βραχυκύκλωμα) μέχρι άπειρη (ανοιχτό κύκλωμα). Είναι προφανές ότι ανάμεσα στις παραπάνω ακραίες καταστάσεις, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές. Όπως είναι γνωστό, η ηλεκτρική ισχύς  $P$  ορίζεται ως το γινόμενο της έντασης  $I$  επί την τάση  $V$  του ρεύματος ( $P = I \cdot V$ ). Το μέγιστο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο στην εικόνα 3.2 μέσα στην καμπύλη  $I - V$  με πλευρές  $I_{mpp}$  και  $V_{mpp}$ , έχει εμβαδόν ίσο με τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ  $P_{mpp}$  από το φωτοβολταϊκό στοιχείο.

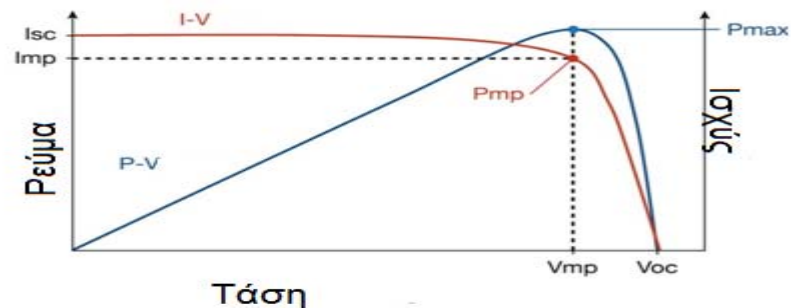


**Εικόνα 3.2:** Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος ( $I$ ) και ισχύος ( $P_m$ ) συναρτήσει της τάσης ( $V$ ) για τις 12:00μ.μ της αντιπροσωπευτικής ημέρας του μήνα Ιουλίου, της σταθερής (Fixed) φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

Άρα, εκτός από την τάση και την ένταση του ρεύματος, μεταβάλλεται ομαλά και η ηλεκτρική ισχύς  $P$  που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο, με μέγιστη τιμή την  $P_{mpp}$  για ένα ορισμένο ζεύγος τιμών έντασης  $I_{mpp}$  και τάσεως  $V_{mpp}$ . Το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με πλευρές  $I_{sc}$  (ρεύμα βραχυκύκλωσης) και  $V_{oc}$  (τάση ανοιχτού κυκλώματος), που βρίσκεται εξωτερικά της καμπύλης  $I - V$ , περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού στοιχείου ως πηγή σταθερού ρεύματος. Το πηλίκο των εμβαδών των δύο παραλληλογράμμων ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης  $FF$  του φωτοβολταϊκού στοιχείου (fill factor) και θα μιλήσουμε παρακάτω εκτενέστερα για αυτό [5].

### 3.2.2. ΣΗΜΕΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Στις ακραίες καταστάσεις του βραχυκυκλωμένου και ανοιχτού κυκλώματος, όπου ( $V=0$ ) και ( $I=0$ ), αντίστοιχα, η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι μηδενική ( $P=0$ ). Άρα, η μεταβολή της ισχύος με την τάση, που φαίνεται (εικόνα 2.9), παρουσιάζει μία μέγιστη τιμή κοντά στο σημείο όπου αρχίζει η έντονη πτώση της τιμής του ρεύματος. Συνεπώς, η αντίσταση του κυκλώματος, που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, πρέπει να έχει κατάλληλη τιμή για να παράγεται η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Δηλαδή, η τάση και το ρεύμα της αντίστασης πρέπει να αντιστοιχούν στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP Max Power Point).



Εικόνα 3.3: Στην παραπάνω εικόνα διακρίνεται το MPP σημείο λειτουργίας

### 3.2.3. ΚΑΜΠΥΛΗ ΦΟΡΤΙΟΥ

Θεωρώντας ότι ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο τροφοδοτεί μία ωμική αντίσταση, μπορεί να απεικονιστεί στο διάγραμμα I-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου, την καμπύλη φορτίου της αντίστασης (ευθεία γραμμή), η οποία δείχνει τη μεταβολή του ρεύματος I που τη διαρρέει σε συνάρτηση με την εφαρμοζόμενη στα άκρα της ηλεκτρική τάση V (εικόνα 3.3). Το σημείο τομής της χαρακτηριστικής καμπύλης και της καμπύλης φορτίου ονομάζεται σημείο λειτουργίας του συστήματος και καθορίζει το ρεύμα και την τάση στην αντίσταση.

### 3.2.4. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Ο παράγοντας αυτός δίνεται από το λόγο των εμβαδών του ορθογωνίου ορίζεται από τις τιμές  $I_{mpp}$ –  $V_{mpp}$ , προς το εμβαδό του ορθογωνίου που ορίζεται από τις τιμές  $V_{oc}$  και  $I_{sc}$

Ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης FF του φωτοβολταϊκού στοιχείου (fill factor) και δίνει το μέτρο προσέγγισης της λειτουργίας ενός στοιχείου προς την ιδανική συμπεριφορά. Η τιμή του FF κυμαίνεται από 0 έως 1. Μία τιμή από 0,7 έως 0,9 χαρακτηρίζει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση. Επίσης, η τιμή του καθορίζεται από το υλικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου και τις γύρω συνθήκες.

$$FF = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (3.1)$$

Η πιο βασική παράμετρος για την αξιολόγηση της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η ενεργειακή τους απόδοση  $\eta$ . Η απόδοση  $\eta$  εξαρτάται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$ , την τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$  και το συντελεστή πλήρωσης FF και ισούται με το λόγο της μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος του φωτοβολταϊκού στοιχείου, προς την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας. Δηλαδή, το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζεται απόδοση  $\eta$  του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

$$\eta_c = \frac{P_{MPP}}{P_{in}} = \frac{I_{MPP} \times V_{MPP}}{I_T \times A} \quad (3.2)$$

### 3.2.5. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Προκειμένου μελετηθεί η απόδοση και η ισχύ αιχμής που αποδίδουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, η επιστημονική κοινότητα έχει θέσει κάποια test τα οποία έχουν σαν βάση τις ακόλουθες συνθήκες.

1. **Οι πρότυπες συνθήκες ελέγχου (S.T.C.: Standard Test Conditions)** υπό τις οποίες γίνονται οι δοκιμές-μετρήσεις των ανωτέρω μεγεθών είναι οι εξής:

α. Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτουσας στα PV-πλαίσια:  $10^3 \text{W/m}^2$

β. Θερμοκρασία φωτοβολταϊκού πλαισίου,  $T_c=25^{\circ}\text{C}$

γ. Φάσμα προσπίπτουσας ακτινοβολίας:  $A.M=1.5$

## **2. Τυπικές Συνθήκες Λειτουργίας PV – πλαισίων, Standard Operating Conditions (SOC).**

Οι ακόλουθες συνθήκες έχουν προταθεί για τον προσδιορισμό της ισχύος αιχμής, ώστε αυτές να προσεγγίζουν περισσότερο μια πραγματική κατάσταση λειτουργίας, δηλ. η τιμή  $P_m$  που θα προκύπτει από τις συνθήκες αυτές να προσεγγίζει αυτήν που θα αποδίδει το PV –σύστημα στο πεδίο εφαρμογής.

Οι συνθήκες είναι:

α. Ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας  $800 \text{ W/m}^2$ .

β. Θερμοκρασία αέρα (περιβάλλοντος),  $T_a=20^{\circ}\text{C}$ .

γ. Ταχύτητα ανέμου  $1 \text{ m/sec}$ .

δ. Προσανατολισμός προς Νότο και μετρήσεις κατά το ηλιακό μεσημέρι.

ε. Μετρήσεις υπό συνθήκες ανοικτού κυκλώματος.

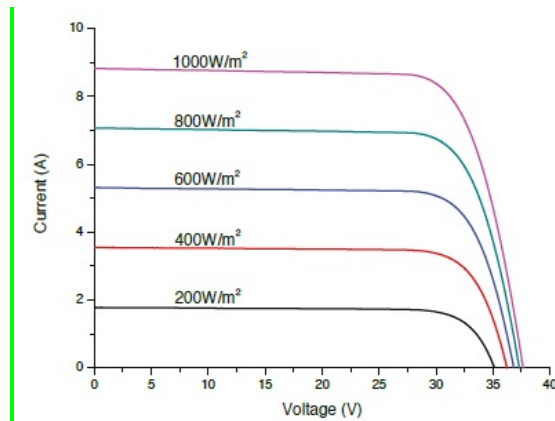
## **3. Ονομαστικές τιμές θερμοκρασίας λειτουργίας ενός PV – πλαισίου, Nominal Operation Cell Temperature (NOCT).**

Είναι η θερμοκρασία που αποκτά ένα PV – πλαίσιο όταν λειτουργεί υπό συνθήκες (SOC). Συνήθως η NOCT είναι μια θερμοκρασία κατά  $20 - 40^{\circ}\text{C}$  πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος [2].

### **3.3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**

Ο συντελεστής απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες:

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες είναι η σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ειδικότερα, δύο δέσμες ακτινοβολίας ίδιας ισχύος αλλά διαφορετικού μήκους κύματος οδηγούν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σε διαφορετική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η διαφορά οφείλεται κυρίως στην καταλληλότητα των φωτονίων σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού του φωτοβολταϊκού στοιχείου.



**Εικόνα 3.4: Επίδραση την έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο**

1. Όταν μεταβάλλεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, υπάρχει και μετατόπιση των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Παρατηρείται ότι όσο το φορτίο είναι σταθερό (αντίσταση) στο κύκλωμά, τα σημεία λειτουργίας μετατοπίζονται σε σχέση με τα σημεία μέγιστης ισχύος.
2. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την απόδοση είναι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στο στοιχείο και αυτό προκαλεί μικρή άνοδο του  $I_{sc}$ , και μεγάλη κάθοδο του  $V_{oc}$  του φωτοβολταϊκού. Η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει μεγέθη όπως το ρεύμα  $I$ , η τάση  $V$ , η ισχύς  $P$ , ο συντελεστής πλήρωσης  $FF$ , και η απόδοση  $\eta_c$ .

Όπως θα δούμε και σε επόμενες ενότητες (βλ. ενότητα 5.2.1) και διάγραμμα (βλ. διάγραμμα 5.12) το ρεύμα επηρεάζεται σε μικρό βαθμό από την αύξηση της θερμοκρασίας παραμένοντας σταθερό είτε έχει μια μικρή αύξηση. Η σχέση επηρεασμού του ρεύματος από την θερμοκρασία δίδεται παρακάτω

$$\frac{1}{I_{sc}} * \frac{dI_{sc}}{dT_c} = 3 * 10^{-4} (K^{-1}) \quad (3.3)$$

Η τάση είναι ένα ηλεκτρικό μέγεθος που επηρεάζεται άμεσα από την αύξηση της θερμοκρασίας (βλ διάγραμμα 5.12), δηλαδή με την αύξηση της θερμοκρασίας η τάση μειώνεται αυτό είναι χαρακτηριστικά ορατό στην καμπύλη I-V για την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια όπου λόγω αυτή της αύξησης το διάγραμμα μετακινείται αριστερά. Η σχέση μείωσης της τάσης λόγω θερμοκρασίας δίνεται παρακάτω.

$$\frac{dV_{oc}}{dT_c} = -2.2 \frac{mV}{^\circ C} * ns \quad (3.4)$$

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους του ημιαγωγού, όπως το ενεργειακό διάκενο και η συγκέντρωση των φορέων. Αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων, οι οποίες οδηγούν σε μείωση της απόδοσης μετατροπής.

Πολύ σημαντικό για την λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι ο παράγοντας της σκίασης. Όταν ένα πλαίσιο σκιάζεται προσπίπτει πάνω του μόνο το μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας και όχι της άμεσης. Αποτέλεσμα είναι ότι



προσπίπτει πάνω του μικρότερο ποσοστό ακτινοβολίας. Έτσι χάνει σε ενέργεια και φυσικά σε ρεύμα. Το πρόβλημα όμως δε σταματάει εδώ, καθώς το συγκεκριμένο πλαίσιο αποτελεί σημείο εν σειρά συμφόρησης (bottleneck) για όλη την ομάδα πλαισίων που είναι συνδεδεμένα επιβάλλοντας το χαμηλότερο ρεύμα του σε όλα τα υπόλοιπα μειώνοντας σημαντικά τη συνολική παραγωγή του συστήματος. Άσχετα από το θέμα της μειωμένης απόδοσης, επαναλαμβανόμενες τοπικές σκιάσεις σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας καταπονούν το σκιασμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο προκαλώντας πρόωρη γήρανση, καθώς το ρεύμα των υπόλοιπων πλαισίων καταναλώνεται σε μορφή θερμότητας στο σκιασμένο. Συνήθως το πρόβλημα της σκίασης, οι μηχανικοί το αντιμετωπίζουν σε οικιακά συστήματα δηλαδή σε ταράτσες και στέγες. Καταρχάς λόγω του περιορισμένου χώρου δεν είναι εύκολο να απομακρυνθεί το σύστημα από παρακείμενα εμπόδια. Τα περισσότερα συστήματα εγκαθίστανται εντός πόλεων όπου τα διαφορετικά ύψη κτιρίων προκαλούν μόνιμες σκιάσεις. Από όσα έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα είναι απαραίτητη η γνώμη ενός ειδικού πριν από την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε στέγη ή ταράτσα.

3. Η ταχύτητα του ανέμου επίσης είναι ένας παράγοντας επηρεασμού της ενεργειακής συμπεριφοράς των φωτοβολταϊκών στοιχείων και των πλαισίων επειδή επηρεάζει ως προς την θερμοκρασία της επιφάνειας. Ειδικά σε μεγάλες ταχύτητες επειδή έχει ως αποτέλεσμα μικρότερες θερμοκρασίες στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Όταν οι άνεμοι είναι βόρειοι είναι συνήθως κρύοι, με αποτέλεσμα τα φωτοβολταϊκά να λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με αυτές που θα λειτουργούσαν εάν υπήρχε άπνοια, υπό τα ίδια ποσοστά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Από ένα θετικό σε σχέση με την απόδοση Αντίθετα συμβαίνει για θερμούς ανέμους που αυξάνουν την θερμοκρασία των γεννητριών.

Για να είναι δυνατή η πλήρης εκμετάλλευση της αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών στοιχείων θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού είναι  $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$  με κατεύθυνση προς το Νότο

Λόγω της φθοράς των φωτοβολταϊκών πλαισίων (και των υπολοίπων μερών ενός φωτοβολταϊκού συστήματος), αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μία μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα παραγωγής της ηλεκτρικής ισχύος, που συνήθως υπολογίζεται από 0.5% έως 1% για κάθε έτος. Οι μικρές ρωγμές στις κυψέλες είναι εξαιρετικά δύσκολο να εντοπιστούν, ακόμη και με χρήση μικροσκοπικών βοηθημάτων και μειώνουν εμφανώς την απόδοση της μονάδας. Επίσης το φαινόμενο των θερμών κηλίδων (hot-spot) οφείλεται στην ύπαρξη ενός ή περισσότερων φωτοβολταϊκών στοιχείων που παράγουν χαμηλότερο ρεύμα (λόγω σκίασης, αστοχίας υλικού, αντίθετης πολικότητας κτλ.) σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία που είναι συνδεδεμένα σε σειρά. Το φαινόμενο PID μειώνει σταδιακά την απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου μέχρι και 30% αφού η υψηλή τάση επηρεάζει τις κυψέλες πλαισίων. Εμφανίζεται περισσότερο σε ζεστό και υγρό περιβάλλον όταν στις άκρες των πλαισίων συγκεντρώνονται ακαθαρσίες, όπως π.χ. σκόνη ή άλατα.

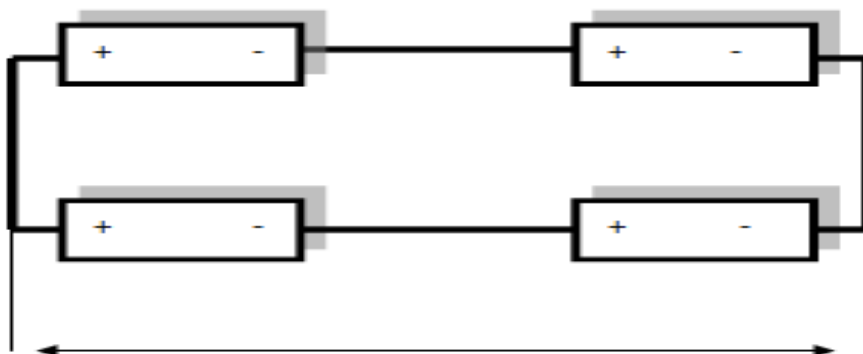
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν 2 όμοιες φωτοβολταϊκές γεννήτριες πολυκρυσταλλικού πυριτίου (pc-Si) με ονομαστική ισχύς (493Wp) σε κανονικές συνθήκες (STC) που λειτουργούν στην ταράτσα του εργαστηρίου των ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας. Η μία είναι τοποθετημένη σταθερή μια υπό σταθερή κλίση (FIXED) και η δεύτερη κινητή (TRACKER) περιστρέφεται σε 2 άξονες(αζιμούθια, κλίση) παρακολουθώντας το ύψος του ήλιου.

#### 4.1.1 ΣΤΑΘΕΡΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ (FIXED)

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια που είναι εγκαταστημένη στην ταράτσα του εργαστηρίου των ΑΠΕ (βλέπε εικόνα 4.1), είναι προσανατολισμένη προς τον Νοτιά και σε σταθερή κλίση 37°.



Σχήμα 4.1: Συνδεσμολογία πλαισίων της σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας

Η σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια αποτελείται από 4 φωτοβολταϊκά πλαίσια (ENERGY SOLUTIONS 120) τα οποία είναι συνδεδεμένα ανά 2 σε σειρά και μεταξύ τους παράλληλα. Συγκεκριμένα, τα δυο επάνω πλαίσια είναι συνδεδεμένα εν σειρά,

ομοίως και τα 2 κάτω και οι 2 σειρές είναι συνδεδεμένες παράλληλα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (βλέπε σχήμα 4.1).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας απεικονίζονται στο πίνακα 4.1. Καθώς τα πλαίσια έχουν μικροδιαφορές στα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, ακριβώς όπως έχουν δοθεί από την πιστοποίηση του κατασκευαστή οι τιμές των μεγεθών  $P_m$ ,  $I_m$ ,  $V_m$ ,  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ , έχουν υπολογιστεί με βάση την συνδεσμολογία (βλέπε σχήμα 4.1)

- Η συνολική ισχύς αιχμής  $P_m$ , προκύπτει από το άθροισμα όλων των  $P_m$  των φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- Η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$  καθώς και η τάση  $V_m$  στο σημείο μέγιστης ισχύς, θα προκύψει από το άθροισμα όλων των τάσεων των δυο πλαισίων εν σειρά.
- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  και το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος  $I_m$ , προκύπτει από το άθροισμα των ρευμάτων των 2 παράλληλων σειρών
- Η επιφάνεια  $A_{PV}$  της φωτοβολταϊκής γεννήτριας προκύπτει από τον άθροισμα των 4 πλαισίων επί την επιφάνεια του κάθε πλαισίου δηλαδή ότι  $A_{PV} = 36(\text{αριθμός φωτοβολταϊκών στοιχείων}) * 4(\text{αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων του συστήματος}) * 0.15 * 0.15(\text{διαστάσεις κάθε cell})$

**Πίνακας 4.1: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της σταθερής (Fixed) φωτοβολταϊκής γεννήτριας**

$P_m(W)$	493
$I_m(A)$	14.8
$I_{sc}(A)$	15.8
$V_m(V)$	67.1
$V_{oc}(V)$	86.2

#### 4.1.2 ΚΙΝΗΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ (TRACKER)

Η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια είναι εγκατεστημένη στην ταράτσα του εργαστηρίου των ΑΠΕ. Είναι τοποθετημένη επάνω σε μηχανικό σύστημα κίνησης που παρακολουθεί τον ήλιο κινείται κατά δυο άξονες κατά την διάρκεια της ημέρας (Tracker). Λειτουργεί με δύο προωστήρες, ώστε να προσαρμοστεί η κατεύθυνση, δηλαδή η περιστροφή γύρω από κάθετο άξονα με το επίπεδο και η περιστροφή γύρω από οριζόντιο άξονα (αζιμούθια γωνία) με αποτέλεσμα η άμεση

προσπίπτουσα ακτινοβολία στο επίπεδο των φωτοβολταϊκών πλαισίων να είναι πάντα κάθετη.



**Εικόνα 4.2:Κινητή διαξονική φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Tracker) στο εργαστήριο των ΑΠΕ ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας**

Η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Tracker) αποτελείται από 4 φωτοβολταϊκά πλαίσια όμοια με αυτά της σταθερής φωτοβολταϊκή γεννήτριας (βλέπε 4.1.1) τα οποία είναι συνδεδεμένα ομοίως με την σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια και είναι τοποθετημένα καθέτως. Η μόνη διαφορά είναι ότι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο βρίσκεται επάνω στον μηχανισμό (Tracker) παρακολούθησης του ήλιου. Όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά την κινητής γεννήτριας (Tracker) είναι όμοια με εκείνα της σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας (Fixed) που έχει γίνει αναφορά στην ενότητα (4.1.1).

**Πίνακας 4.2:Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της κινητής (Tracker) φωτοβολταϊκής γεννήτριας**

$P_m(W)$	492.4
$I_m(A)$	14.7
$I_{sc}(A)$	15.7
$V_m(V)$	67.1
$V_{oc}(V)$	86.2

#### **4.1.3 ΟΡΓΑΝΑ / ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ**

#### 4.1.3.1 ΠΥΡΑΝΟΜΕΤΡΟ

Για την μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας χρησιμοποιείται ένα πυρανόμετρο σταθερά τοποθετημένο σε προέκταση των πλαισίων για να είναι στην ίδια κλίση και προσανατολισμό. Το πυρανόμετρο που χρησιμοποιείται στην κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια είναι τύπου CM11 της εταιρίας Kipp & Zonen. Το πυρανόμετρο είναι τοποθετημένο στην κάθετη φωτοβολταϊκή γεννήτρια ώστε να μετράει την προσπίπτουσα στην φωτοβολταϊκή γεννήτρια ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας για την σταθερή γεννήτρια (Fixed) (εικόνα 4.3 ) και για την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Tracker) (εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.3: Πυρανόμετρο τοποθετημένο στην σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Fixed) στο εργαστήριο των ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας





**Εικόνα 4.4:** Πυρανόμετρο τοποθετημένο στην σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Tracker) στο εργαστήριο των ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

#### **4.1.3.2 ΘΕΡΜΟΖΕΥΓΟΣ**

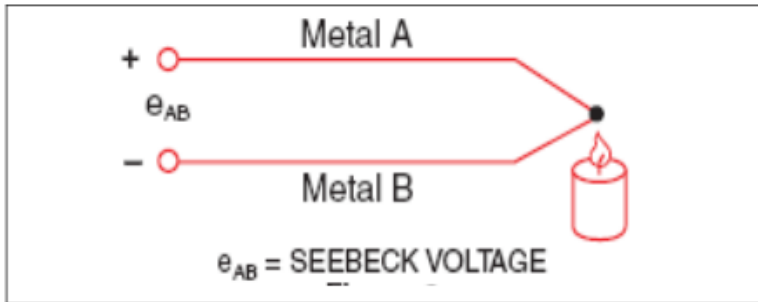
Για την μέτρηση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο της κάθε γεννήτριας χρησιμοποιούνται θερμοζεύγη τύπου χαλκού-κονοστσαντάνης(Cu-Cons), TypeT. Αρχή λειτουργίας των θερμοζευγών: αποτελούνται από δύο διαφορετικούς μεταλλικούς αγωγούς ενωμένους στα άκρα τους, που όταν έρχονται σε επαφή δημιουργείται θερμοηλεκτρική τάση  $E$  (emf) γνωστή και ως seebeck voltage και εξαρτάται από τα υλικά (τύπο) των αγωγών και την θερμοκρασία της επαφής (σχήμα 4.2). Για μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας η θερμοηλεκτρική αυτή τάση δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta E = \alpha \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

όπου:  $\Delta E$ = είναι η μεταβολή της τάσης(emf),

$\Delta T$ = η μεταβολή της θερμοκρασίας και

$\alpha$ = ο συντελεστής Seebeck που μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία, προκαλώντας μη γραμμική μεταβολή της θερμοηλεκτρικής τάσης του θερμοζεύγους με τη θερμοκρασία. Δηλαδή προκύπτει ότι η σχέση της θερμοηλεκτρικής τάσης Seebeck και της θερμοκρασίας είναι σχέση αναλογίας (γραμμική συνάρτηση) όπου η σταθερά αναλογίας είναι ο συντελεστής Seebeck.



**Σχήμα 4.2 : Θερμοηλεκτρική τάση κατά την έκθεση του αισθητηρίου σε θερμοκρασία**

Εξετάζοντας τις διακυμάνσεις του συντελεστή Seebeck γίνεται αντιληπτό ότι χρησιμοποιώντας μια μόνο σταθερή τιμή του συντελεστή περιορίζεται το εύρος των θερμοκρασιών που μπορούν να μετρηθούν καθώς και η ακρίβεια των μετρήσεων. Καλύτερη ακρίβεια κατά την μετατροπή τάσης σε θερμοκρασία μπορεί να επιτευχθεί αν κατά την ανάγνωση του βολτομέτρου συμβουλευτούμε τους πίνακες θερμοζευγών του προτύπου National Bureau of Standards (NBS). Στους πίνακες αυτούς δίνονται οι συντελεστές των πολυωνύμων μετατροπής της τάσης σε θερμοκρασία. Τα πολυώνυμα αυτά είναι της μορφής:  $T = a_0 + a_1 \cdot E + a_2 \cdot E^2 + a_3 \cdot E^3 + \dots + a_n \cdot E^n$

όπου  $T$  =είναι η εξαγόμενη θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου

$E$  =είναι η θερμοηλεκτρική τάση σε Volts (Emf)

$a_i$  = είναι οι συντελεστές του πολυωνύμου, μοναδικοί για κάθε τύπο θερμοζεύγους

$n$  =είναι η υψηλότερη τάξη (βαθμός) του πολυωνύμου

Πρακτικά όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός του πολυωνύμου τόσο αυξάνει η ακρίβεια κατά τη μετατροπή της θερμοηλεκτρικής τάσης σε θερμοκρασία. Ένας αντιπροσωπευτικός βαθμός είναι  $n=1$  για ακρίβεια  $\pm 10$  °C. Μικρότερου βαθμού πολυώνυμα μπορούν να χρησιμοποιούνται μέσα σε στενότερα θερμοκρασιακά εύρη.

Τα θερμοζευγη είναι τοποθετημένα στο πίσω μέρος της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας σε κεντρικό σημείο μετρώντας την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Να σημειωθεί ότι στην κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Tracker) είναι το τοποθετημένα δυο θερμοζεύγη, ένα στα αριστερά και ένα στα δεξιά του φωτοβολταϊκού πλαισίου.





**Εικόνα 4.6:** Θερμοζεύγος τύπου T (χαλκού-κωνσταντάνης) τοποθετημένο στο πίσω μέρος της σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας (Fixed) στο εργαστήριο των ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας



**Εικόνα 4.7:** Θερμοζεύγος τύπου T (χαλκού-κωνσταντάνης) τοποθετημένο στο πίσω μέρος της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας (Tracker) στο εργαστήριο των ΑΠΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

#### **4.1.3.3 ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΟ**

Σημαντικό κομμάτι της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί το καταγραφικό, καθώς χωρίς την καταγραφή των δεδομένων από τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες, τόσο από την σταθερή τόσο και από την κινητή, δεν θα ήταν εφικτή η επεξεργασία τους.



## 4.2.2 ΠΡΟ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα ενός έτους που έχουν ληφθεί από τις δυο φωτοβολταϊκές γεννήτριες όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.2.1, είναι τα ζεύγη τιμών ρεύμα-τάσης (I-V) για την χαρακτηριστική καμπύλη I-V για την ολική ακτινοβολία  $I_T$  στο επίπεδο της φωτοβολταϊκής γεννήτριας για κάθε ζεύγος τιμών I-V και για την θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας αντίστοιχα. Αρχικά στα δεδομένα έγινε προ-επεξεργασία ώστε να ελεγχθούν διπλογραφίες και ελλιπή δεδομένα. Αυτό επετεύχθη με τον έλεγχο της συνέχειας του αύξοντα αριθμού που ελέγχεται μέσω του record number. Η λήψη των δεδομένων αυτών ανά ώρα γίνεται πρώτα για την σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Fixed) και στην συνέχεια για την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Tracker) με διάρκεια συνολικά 2 λεπτά. Σε περίπτωση διπλόγραφης ή εντοπισμού ελλιπών δεδομένων, τα δεδομένα όλης της ημέρας αφαιρούνται, ακόμα και αν παρατηρηθούν προβληματικές μετρήσεις για κάποιες ώρες. Συνολικά έχουν αφαιρεθεί 32 ημέρες από τα δεδομένα όλου του έτους. Η επεξεργασία του αρχείου δεδομένων γίνεται μέσω του προγράμματος Matlab όπου τα δεδομένα κάθε στιγμής μεταφέρονται σε πίνακες για την καλύτερη διαχείριση τους. Οι δυο δεύτεροι κύκλοι δεδομένων ανά ώρα χρησιμοποιούνται για την ανάλυση δεδομένων

```
k=0;

x=0;
b=0;
for d=1:30
for h=1:24
for j=1:444
    x=x+1;
if (j>222)
if (data(x, 3)==1)
    k=k+1;
    (Fixed)(k, 1)=data(x, 7); %v
    (Fixed)(k, 2)=data(x, 8); %i
    (Fixed)(k, 3)=data(x, 12); %lt
    (Fixed)(k, 4)=data(x, 14); %temp
else
    b=b+1;
    (Tracker)(b, 1)=data(x, 7); %v
```

```

(Tracker)(b, 2)=data(x, 8); %i
(Tracker)(b, 3)=data(x, 13); %it
(Tracker)(b, 4)=data(x, 15); %temp right
(Tracker)(b, 5)=data(x, 16); %temp lefta

end

end
end
end

end

```

**Εικόνα 4.9:** Τμήμα κώδικα για επεξεργασία δεδομένων με την χρήση υπολογιστικού προγράμματος Matlab

#### 4.2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Λόγω αυτού του μεγάλου όγκου δεδομένων, η σύγκριση των 2 φωτοβολταικών γεννητριών θα γίνει με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Matlab, λόγω του μεγάλου μεγέθους των δεδομένων (πάνω από 2.000.000 μετρήσεις ανά μήνα). Τα δεδομένα που καταγράφουμε σε κάθε μέτρηση είναι  $I(A)$ ,  $V(V)$ ,  $I_T\left(\frac{W}{m^2}\right)$ ,  $T(^{\circ}C)$ , για ένα ολόκληρο έτος. Από κάθε κύκλο I-V εξάγεται η ισχύς αιχμής  $P_m(W)$ , το ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύς  $I_m(A)$ , η τάση  $V_m(V)$ , το ρεύμα βραχυκυκλώσεως  $I_{sc}(A)$ , η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}(V)$ , η μέση ένταση ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο επίπεδο του πλαισίου  $I_T\left(\frac{W}{m^2}\right)$  και μέση θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο  $T(^{\circ}C)$  κατά την διάρκεια της μέρας. Όλα αυτά τα αποτελέσματα εξάγονται για κάθε μια από τις 2 φωτοβολταϊκές γεννήτριες αντίστοιχα την κάθε ώρα, καθόλη την διάρκεια του έτους.

```

j2=0;

for i=1:720
    sum1=0;
    sum2=0;

    pmax(Fixed)=0;
    theshPmax=0;
    lmax(Fixed)=0;
    Vmax(Fixed)=0;
    p(Fixed)=0;
    a=0;

```

```

for k=1:111
    a=a+1;
    j2=j2+1;
    p(Fixed)=(Fixed)(j2, 1)*(Fixed)(j2, 2);
if (pmax(Fixed)<p(Fixed))
    pmax(Fixed)=p(Fixed);
    pmaxthesi=j2;
End
if (Imax(Fixed)<(Fixed)(j2, 1))
Imax(Fixed)=(Fixed)(j2, 1);    %(isc)
End
if (Vmax(Fixed)<(Fixed)(j2, 2))
Vmax(Fixed)= (Fixed)(j2, 2);    %(voc)
End
sum1=sum1+(Fixed)(j2, 3); % It
sum2=sum2+(Fixed)(j2, 4); %Tempright

End

fdata(i, 1)=pmax(Fixed);    %Pm
fdata(i, 2)=Imax(Fixed);    %(Isc)
fdata(i, 3)=Vmax(Fixed);    %Voc
fdata(i, 4)=(Fixed)(pmaxthesi, 1);    %Im
fdata(i, 5)=(Fixed)(pmaxthesi, 2);    %Vm

fdata(i, 6)=sum1/a; % It
fdata(i, 7)=sum2/a; %Tempright

End

```

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

## 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2014 έως 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου 2014 που ελήφθησαν από τις δυο φωτοβολταϊκές γεννήτριες σταθερή (Fixed) και κινητή διαξονική φωτοβολταϊκή γεννήτρια που ακολουθεί τον ήλιο (Tracker). Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων έγινε για κάθε μέρα του έτους. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό αφορούν την αντιπροσωπευτική μέρα κάθε μήνα του έτους. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η αντιπροσωπευτική μέρα κάθε μήνα σύμφωνα με την υπερκρήριξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης [54]

**Πίνακας 5.1: Αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα για την Ελλάδα**

Μήνας	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Ημέρα	17	15	16	15	15	11	17	16	16	16	15	11

Λόγω τεχνικών προβλημάτων για κάποιες ημέρες υπήρξε έλλειψη δεδομένων και οι τιμές έχουν αφαιρεθεί. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι μέρες που αφαιρέθηκαν για τον λόγο αυτόν κάθε μήνα.

**Πίνακας 5.2: Ημέρες με ελλιπές δεδομένα**

Μήνας	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν
Ημέρα που έχει αφαιρεθεί	2, 7	-	-	4	15	-	-	4, 9, 13, 20, 21, 22, 25-30	1, 5, 6, 8, 9, 20	3, 7, 24, 29	12, 13

## 5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΗΣ ΗΜΕΡΑΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ

Η ανάλυση των δεδομένων περιλαμβάνει την μελέτη κυρίως των εξής μεγεθών.

- α) Η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας  $I_T$
- β) Της ισχύς αιχμής,  $P_m$ .
- γ) Της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας  $T_{pv}$ .
- δ) Της απόδοσης  $\eta_c$ , κατά την διάρκεια κάθε ημέρας του κάθε μήνα.

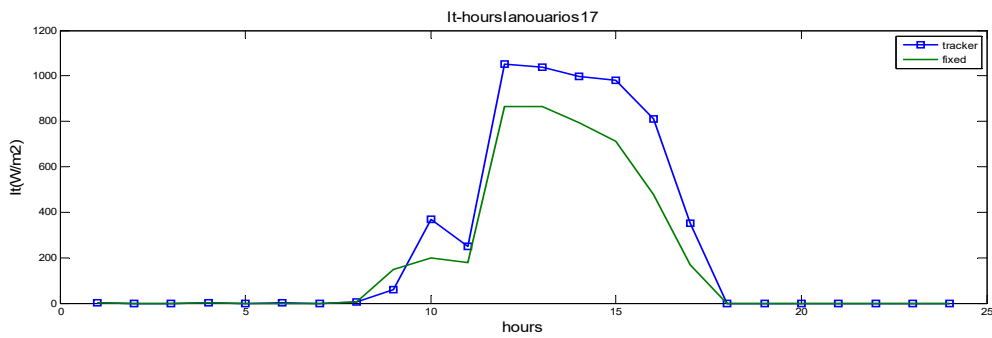
Επίσης μελετώνται η χαρακτηριστική καμπύλη I-V της κάθε γεννήτριας για τις ώρες γύρω από το ηλιακό μεσημέρι. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα εξής γραφήματα: η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις δύο φωτοβολταϊκές γεννήτριες σταθερή (Fixed) και κινητή διαξονική (Tracker) συνάρτηση της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα ( $I_T=f(h)$ ), η ισχύς αιχμής συνάρτηση της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα ( $P_m=f(h)$ ), η θερμοκρασία που εμφανίζεται υπό την επίδραση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις δύο φωτοβολταϊκές γεννήτριες ( $T_{pv}=f(h)$ ) και αφορά τη θερμοκρασία που παράγεται στο πλαίσιο της σταθερής (Fixed) γεννήτριας καθώς και τις θερμοκρασίες που παράγονται στην κινητή (Tracker) γεννήτρια. Να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία για την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια μετράται και στα δυο πλαίσια στο δεξί και στο αριστερό και μετράται με θερμοζεύγος (Cu-Const) για το οποίο έχει γίνει αναφορά στο κεφάλαιο (κεφάλαιο 4).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα γραφήματα που αφορούν στο βαθμό απόδοσης συνάρτηση ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα ( $\eta=f(h)$ ) για κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

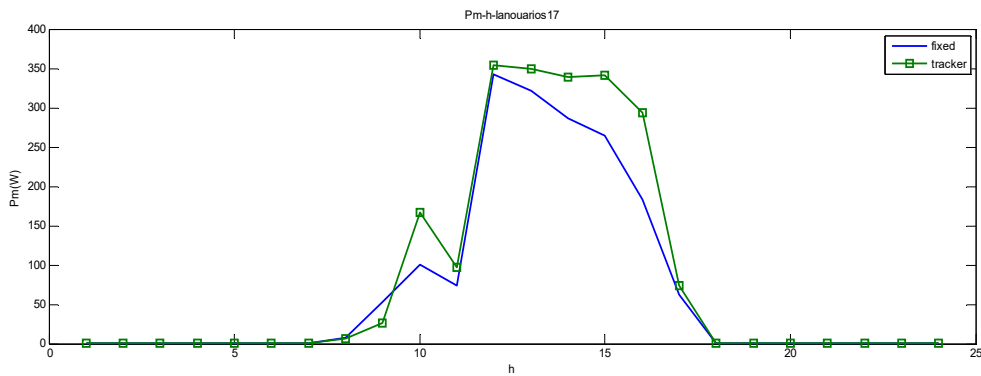
Τέλος, παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες I-V για κάθε φωτοβολταϊκές γεννήτρια που λήφθηκαν για την αντιπροσωπευτική ημέρα κάθε μήνα. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4 η ισχύς αιχμής  $P_m$  κάθε ώρα υπολογίζεται μέσω της ανάλυσης των χαρακτηριστικών καμπύλων I-V που λήφθηκαν ανά μια ώρα από τις φωτοβολταϊκές γύρω από το ηλιακό μεσημέρι και συγκεκριμένα για τις 11:00π.μ, 12:00μ.μ και 13:00μ.μ.



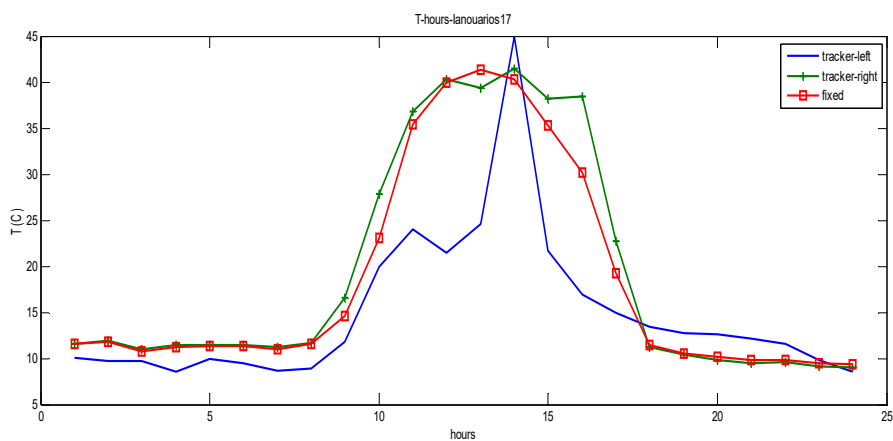
## 5.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟ



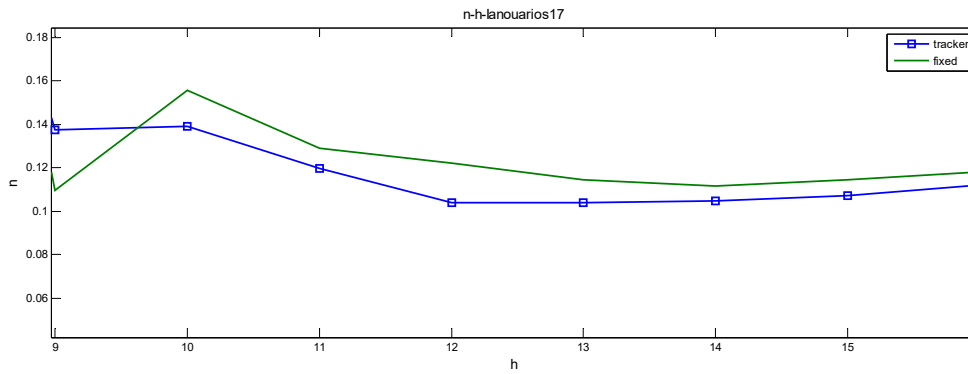
Διάγραμμα 5.1: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_T$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιανουαρίου( 17<sup>η</sup> ημέρα)



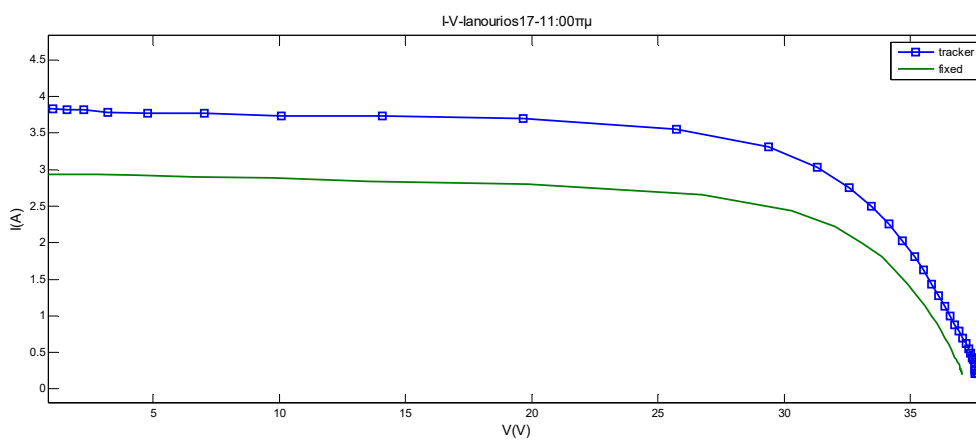
Διάγραμμα 5.2: Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιανουαρίου( 17<sup>η</sup> ημέρα)



Διάγραμμα 5.3: Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιανουαρίου( 17<sup>η</sup> ημέρα).



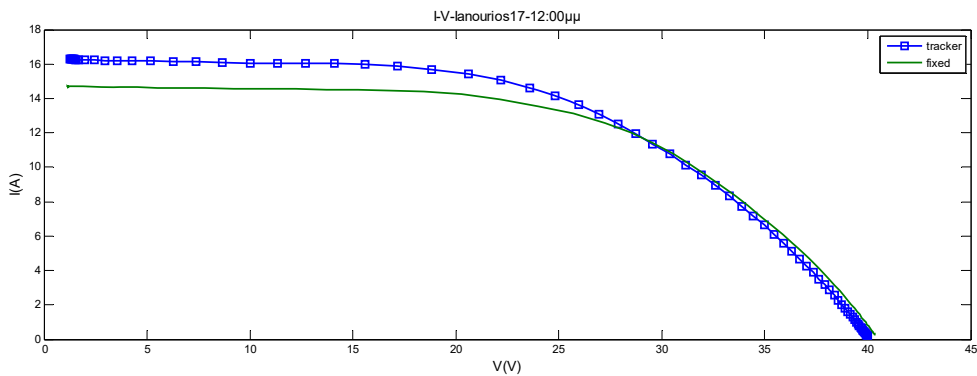
**Διάγραμμα 5.4:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιανουαρίου (17<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.5:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιανουαρίου (17<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ

**Πίνακας 5.3:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 17<sup>η</sup> ημέρα του Ιανουαρίου και για την ώρα 11:00π.μ

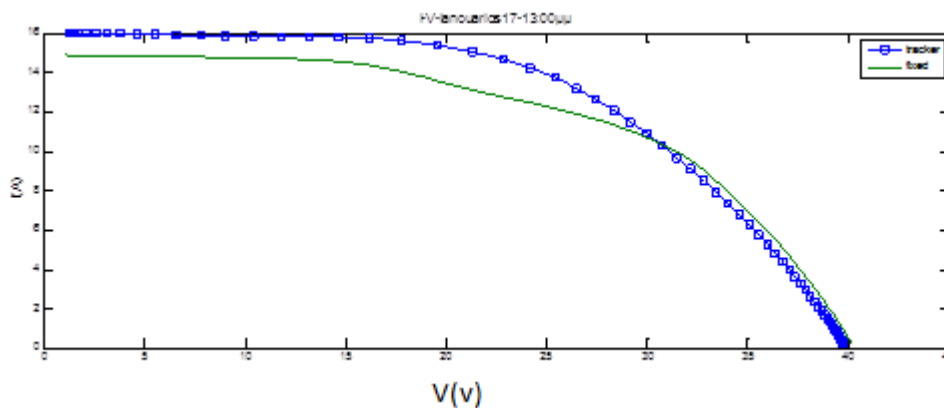
17/1/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
Pm(W)	73, 9	97
Isc(A)	2, 9	3, 8
Voc(V)	37	37, 7
Im(A)	2, 8	3, 4
Vm(V)	31, 2	32, 5



Διάγραμμα 5.6: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιανουαρίου ( 17<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ

Πίνακας 5.4: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 17<sup>η</sup> ημέρα του Ιανουαρίου και για την ώρα 12:00μ.μ

17/1/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
Pm(W)	342, 5	353, 8
Isc(A)	14, 7	16, 3
Voc(V)	40	39, 9
Im(A)	12, 6	14, 1
Vm(V)	25	25, 2



Διάγραμμα 5.7: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιανουαρίου( 17<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ

**Πίνακας 5.5: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 17<sup>η</sup> ημέρα του Ιανουαρίου και για την ώρα 13:00μ.μ**

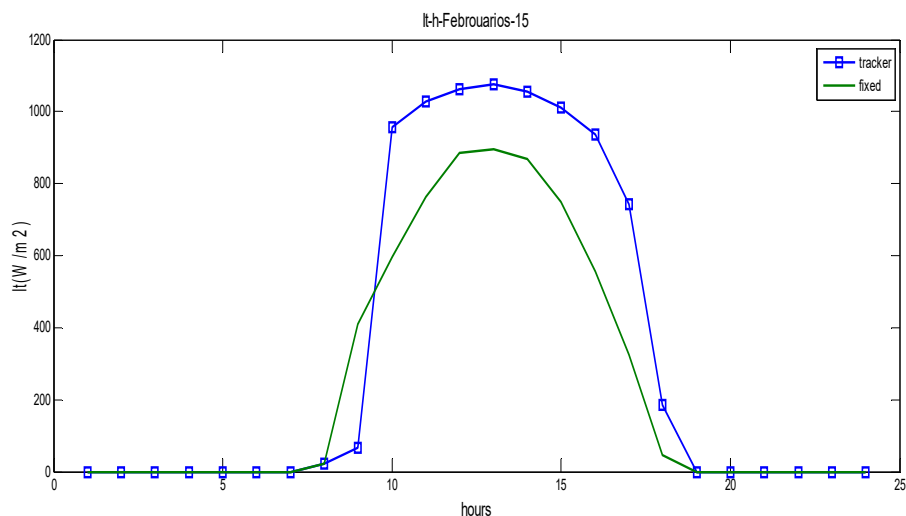
17/1/2014 (13:00)	<b>(FIXED)</b>	<b>(TRACKER)</b>
P <sub>m</sub> (W)	321, 6	349, 3
I <sub>sc</sub> (A)	14, 8	15, 9
V <sub>oc</sub> (V)	40, 1	39, 7
I <sub>m</sub> (A)	11, 4	12, 7
V <sub>m</sub> (V)	30	25

Από την εμφάνιση των γραφημάτων δίδεται ότι στο διάστημα ωρών μεταξύ 11:00π.μ.-12:00μ.μ. παρουσιάζεται πτώση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις δύο φωτοβολταϊκές γεννήτριες ((Fixed), (Tracker)) πιθανόν λόγω συννεφιάς, με αποτέλεσμα να υπάρχει και αντίστοιχη πτώση στην ισχύς αιχμής για τις ώρες αυτές (βλ. διαγράμματα 5.1 και 5.2). Η ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο επίπεδο της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι μεγαλύτερη από αυτή της σταθερής, διότι η κινητή γεννήτρια ακολουθεί τη τροχιά του ήλιου όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 4 και η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι κάθετη.

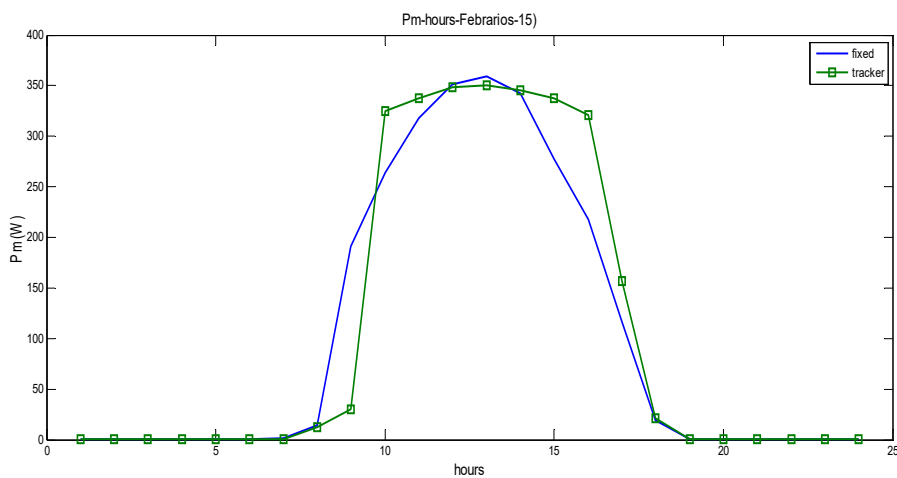
Στο διάγραμμα που αφορά την θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε κάθε πλαίσιο των φωτοβολταϊκών γεννητριών, φαίνεται ότι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην κινητή γεννήτρια (δεξί και αριστερό πλαίσιο) να είναι μεγαλύτερη από αυτή της σταθερής γεννήτριας, και εξηγείται γιατί η κινητή (Tracker) γεννήτρια προσπίπτει μεγαλύτερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς οι ακτίνες του ηλίου διαρκώς προσπίπτουν κάθετες σε αυτή. Με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται και περισσότερη θερμοκρασία στα πλαίσιά της. Στο ένα από τα δυο πλαίσια του (Tracker) παρουσιάζεται χαμηλότερη θερμοκρασία πιθανόν λόγω ανέμου

Η ισχύς αιχμής  $P_m$  καθώς εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας αλλά και της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών επίσης είναι μεγαλύτερη από την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Στο γράφημα της απόδοσης παρατηρείται η σταθερή γεννήτρια να έχει μεγαλύτερη απόδοση σχεδόν για όλη την διάρκεια της ημέρας. Από την ανάλυση I-V η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια δίνει περισσότερο ρεύμα από την σταθερή καθώς προσπίπτει μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας ενώ η σταθερή (Fixed) δίνει μεγαλύτερη τάση, όπως φαίνεται κυρίως από τα διαγράμματα 5.6 και 5.7 διότι αναπτύσσεται μικρότερη θερμοκρασία από την κινητή και έχει μικρότερη πτώση τάσης. Σε αντίθεση με την κινητή (Tracker) προσπίπτει μεγαλύτερη ακτινοβολία με αποτέλεσμα να έχει και μεγαλύτερη θερμοκρασία από τον (Fixed) με αποτέλεσμα αυτό να δημιουργεί πτώση τάσης για την (Tracker) γεννήτρια.

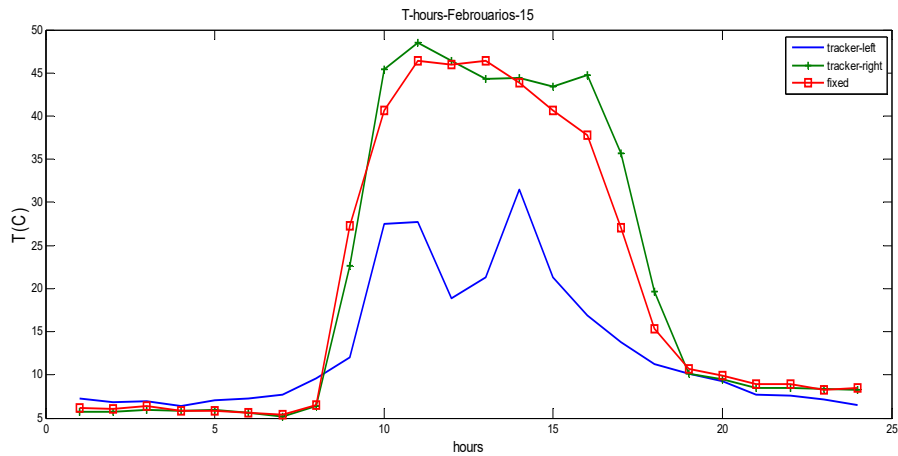
## 5.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟ



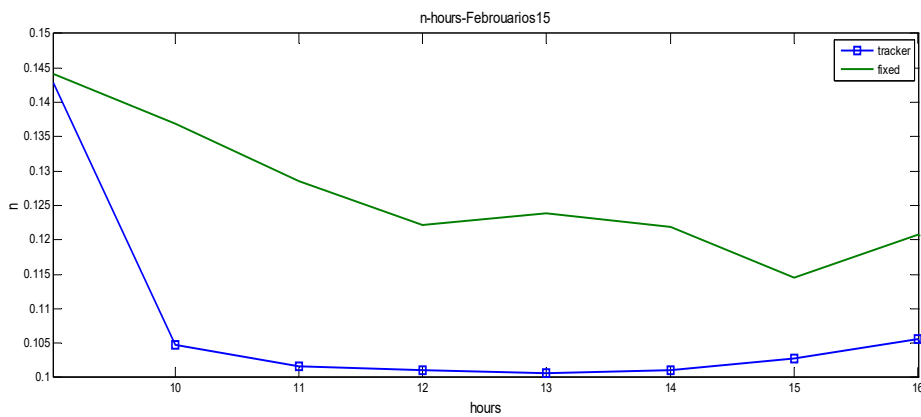
Διάγραμμα 5.8: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_T$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Φεβρουάριου( 15<sup>η</sup> ημέρα)



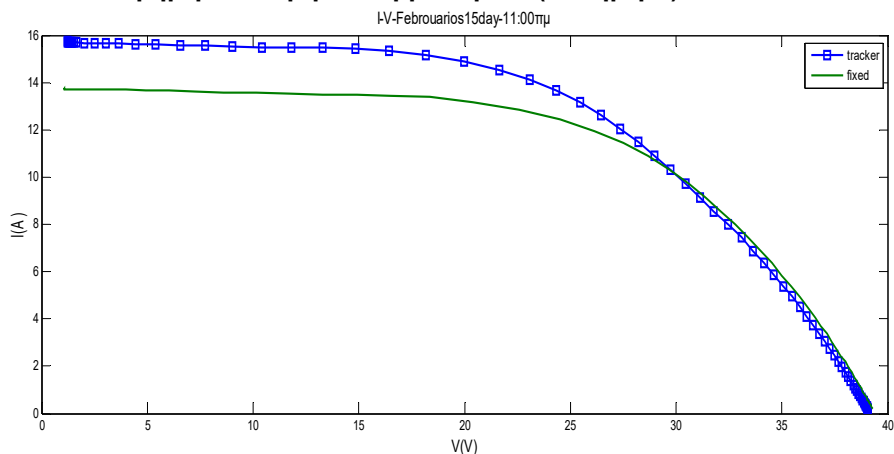
Διάγραμμα 5.9: Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Φεβρουάριου( 15<sup>η</sup> ημέρα)



**Διάγραμμα 5.10:** Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Φεβρουάριου( 15<sup>η</sup> ημέρα).



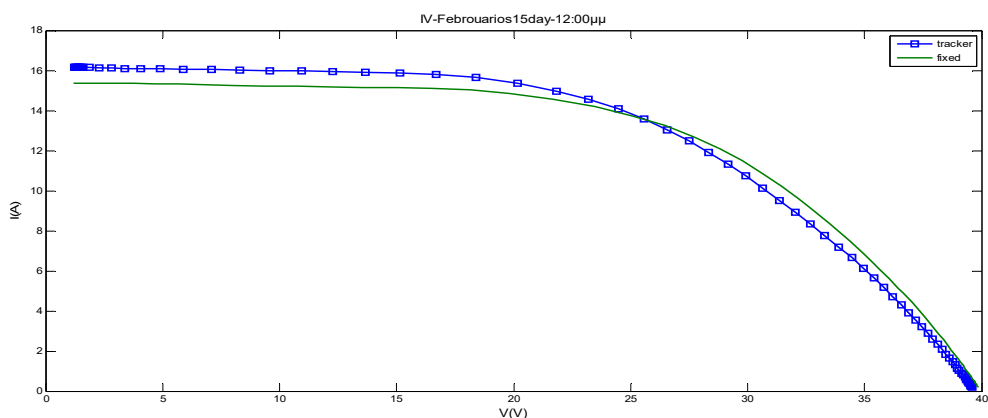
**Διάγραμμα 5.11:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Φεβρουάριου (15<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.12:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Φεβρουάριου( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ

Πίνακας 5.6: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 17<sup>η</sup> ημέρα του Φεβρουαρίου και για την ώρα 11:00π.μ.

15/2/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	314, 9	334, 9
$I_{sc}(A)$	13, 7	15, 7
$V_{oc}(V)$	39, 2	39
$I_m(A)$	10, 8	12, 6
$V_m(V)$	29	26, 6

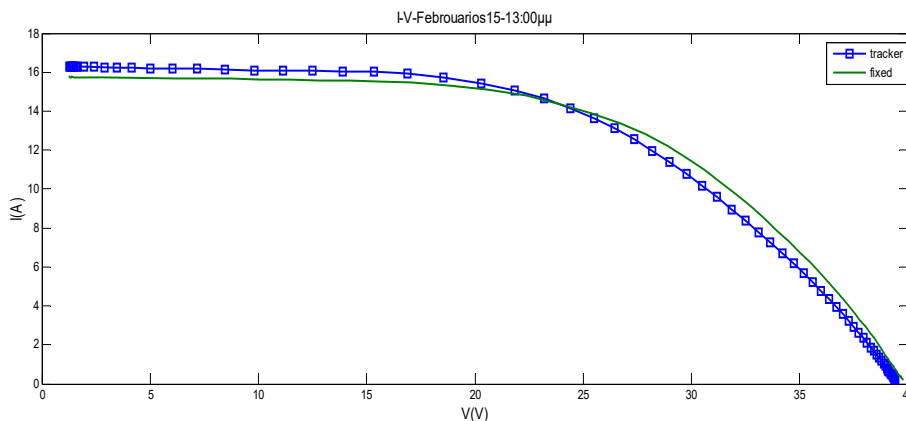


Διάγραμμα 5.13: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Φεβρουαρίου( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ

Πίνακας 5.7: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 17<sup>η</sup> ημέρα του Φεβρουαρίου και για την ώρα 12:00μ.μ

15/2/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	351, 4	347, 6
$I_{sc}(A)$	15, 3	16, 1
$V_{oc}(V)$	39, 8	39, 6
$I_m(A)$	12, 4	15, 2
$V_m(V)$	28, 4	25, 8





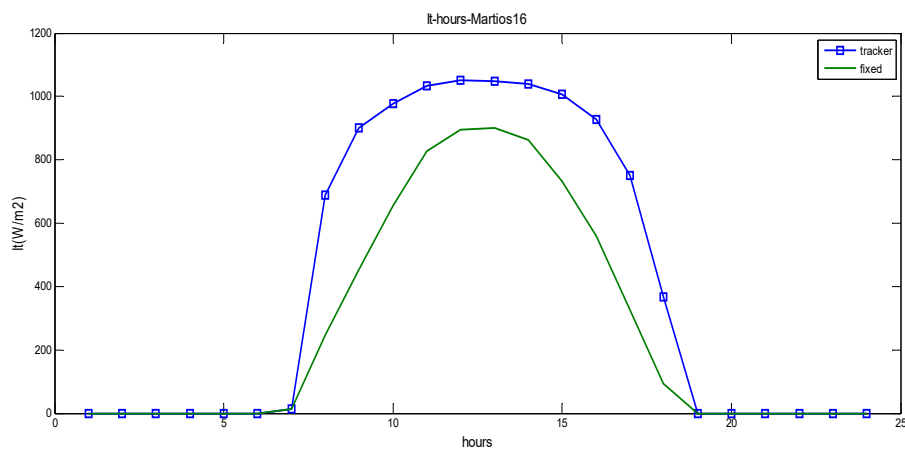
**Διάγραμμα 5.14:** καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Φεβρουαρίου( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ.

**Πίνακας 5.8:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 17<sup>η</sup> ημέρα του Φεβρουαρίου και για την ώρα 13:00μ.μ

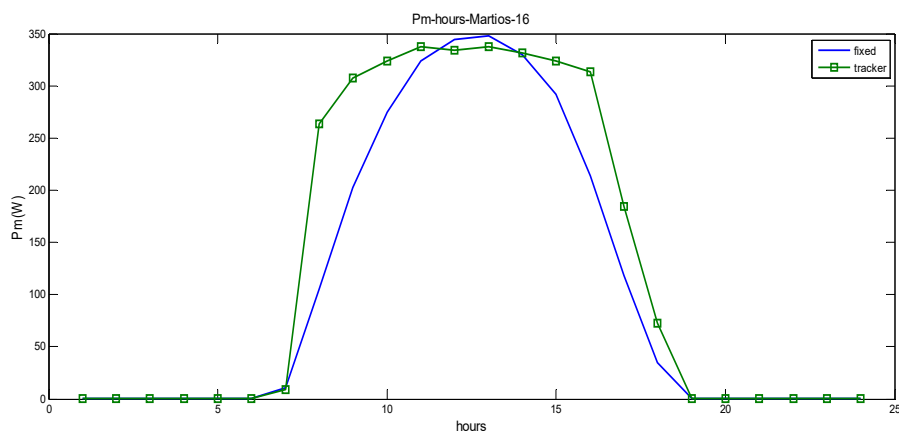
15/2/2014 (13:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	357, 4	348, 3
$I_{sc}(A)$	15, 7	16, 3
$V_{oc}(V)$	39, 7	39, 4
$I_m(A)$	13, 6	14, 9
$V_m(V)$	25, 8	24, 3

Τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν στην αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Φεβρουαρίου (15<sup>η</sup> ημέρα), δείχνουν ότι ο Φεβρουάριος ήταν ένας καλός μήνας και τα διαγράμματα έχουν λογικές μορφές. Σε γενικές γραμμές τα διαγράμματα αυτού του μήνα παρουσίασαν παρόμοια συμπεριφορά με αυτά του προηγούμενου μήνα (Ιανουάριος) όσον αφορά την ακτινοβολία την απόδοση και την επίδοση τα οποία έχουν σχολιαστεί στην προηγούμενη ενότητα (βλ. ενότητα 5.2.1). Αν γίνει μια πιο προσεκτική μελέτη των διαγραμμάτων τόσο για την ακτινοβολία  $I_t$ ,  $P_m$  στις 9 π.μ. στην κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια η μείωση πιθανότητα οφείλεται σε σκίαση. Ακόμα αναγνωρίζεται μια μεγάλη διαφορά στην θερμοκρασία ανάμεσα στα δυο πλαίσια της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας αυτή η διαφορά σε μεγάλο ποσοστό οφείλεται στην μεταβολή των καιρικών συνθηκών, δηλαδή σε συννεφιά.

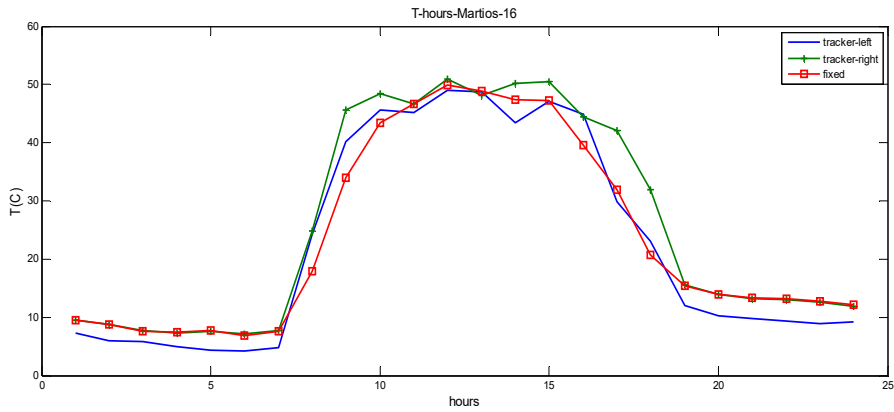
### 5.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΜΑΡΤΙΟ



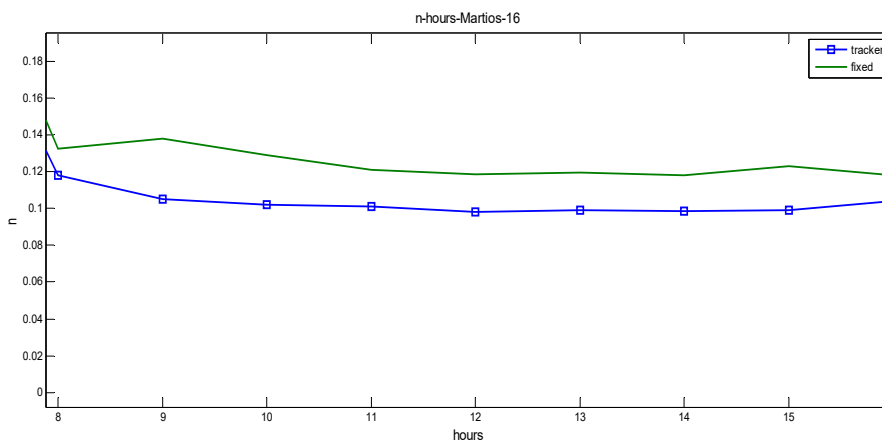
Διάγραμμα 5.15: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_t$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαρτίου( 16<sup>η</sup> ημέρα)



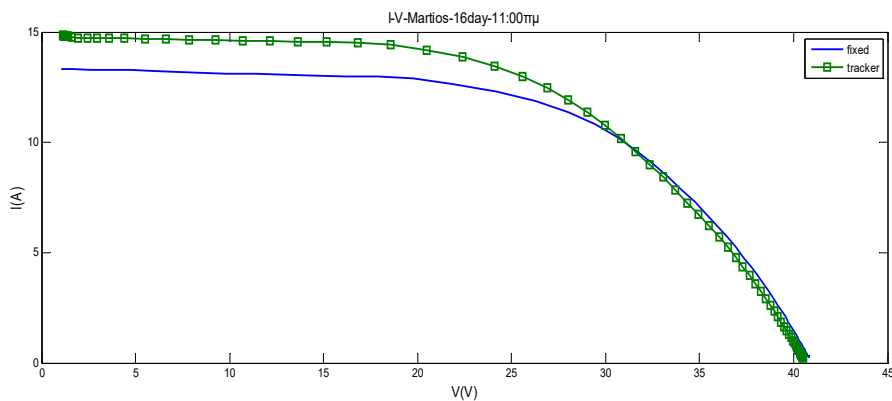
Διάγραμμα 5.16: Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαρτίου( 16<sup>η</sup> ημέρα)



**Διάγραμμα 5.17:** Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαρτίου( 16<sup>η</sup> ημέρα).



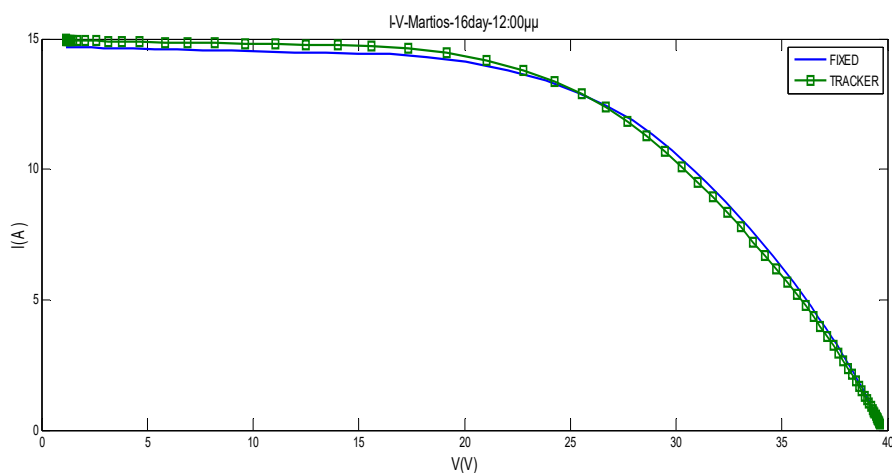
**Διάγραμμα 5.18:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαρτίου( 16<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.19:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαρτίου( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ

Πίνακας 5.9: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Μαρτίου και για την ώρα 11:00π.μ.

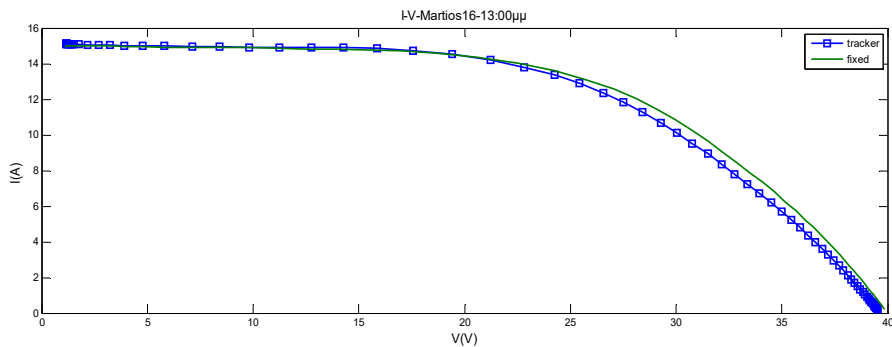
16/3/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	318, 1	355, 5
$I_{sc}(A)$	13	14, 8
$V_{oc}(V)$	40, 8	40, 5
$I_m(A)$	11, 6	12, 5
$V_m(V)$	32, 5	27, 3



Διάγραμμα 5.20: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαρτίου( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ.

Πίνακας 5.10: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Μαρτίου και για την ώρα 12:00μ.μ.

16/3/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	332, 5	329, 7
$I_{sc}(A)$	14, 6	14, 9
$V_{oc}(V)$	39, 6	39, 6
$I_m(A)$	13, 4	13, 6
$V_m(V)$	25, 2	24, 4



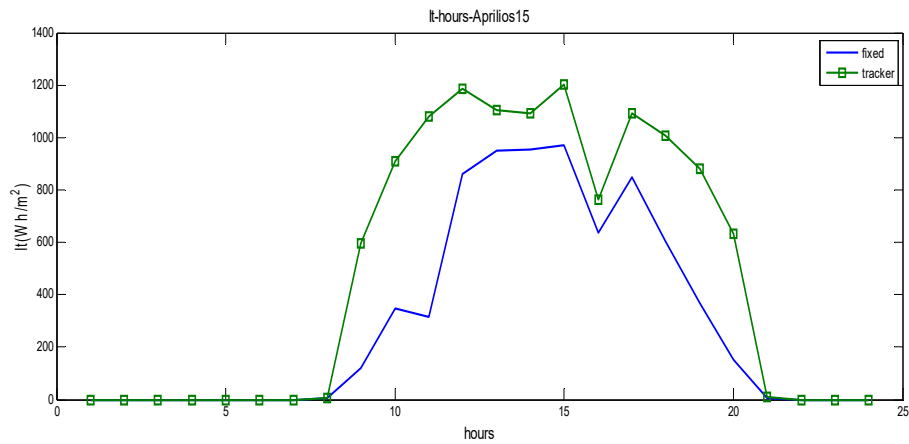
**Διάγραμμα 5.21:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαρτίου( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ.

**Πίνακας 5.11:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Μαρτίου και για την ώρα 13:00μ.μ.

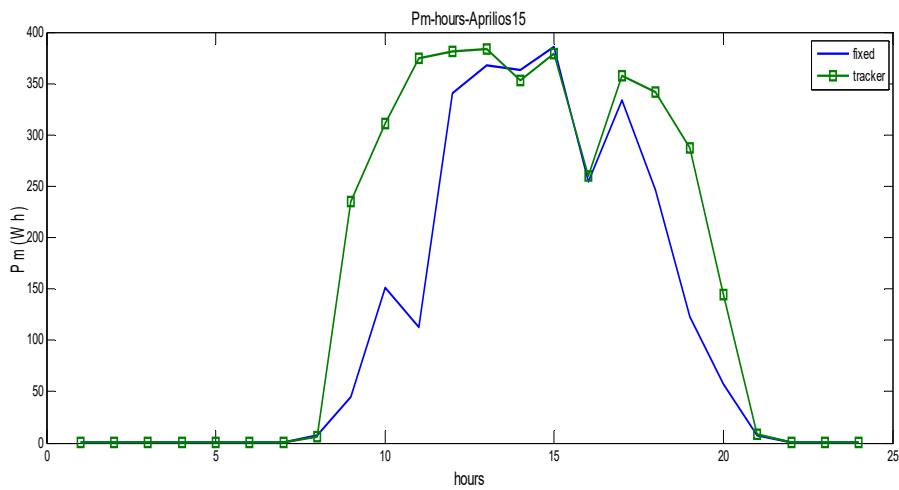
16/3/2014 (13:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	340, 2	328, 2
$I_{sc}(A)$	15	15, 1
$V_{oc}(V)$	39, 8	39, 5
$I_m(A)$	13, 2	13, 8
$V_m(V)$	25, 2	24, 6

Τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαρτίου δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες. Με μια προσεκτικότερη ματιά αναγνωρίζεται μια μεταβολή την 13<sup>η</sup> ώρα της ημέρας στο διάγραμμα τις ισχύς αιχμής  $P_m$ . Όπου η τιμή της ισχύς της σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας ξεπερνά αυτή της κινητής λόγω της μεγαλύτερης θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην κινητή γεννήτρια γύρω από το ηλιακό μεσημέρι καθώς προσπίπτει μεγαλύτερη ακτινοβολία.

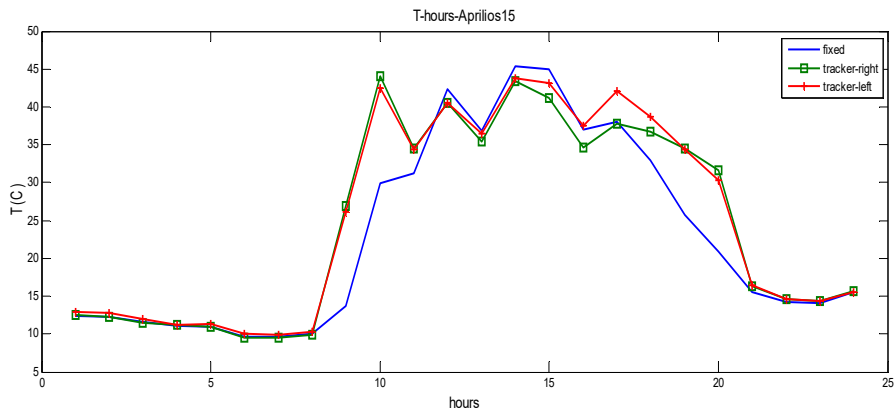
## 5.2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟ



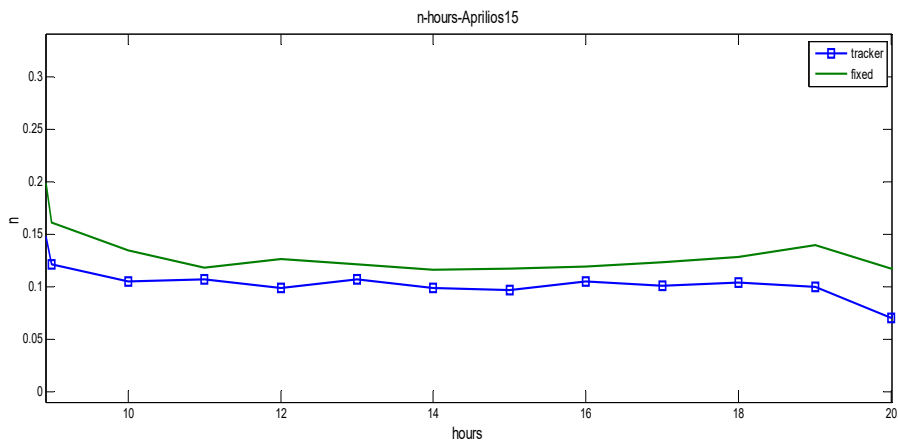
Διάγραμμα 5.22: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_t$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Απριλίου( 15<sup>η</sup> ημέρα)



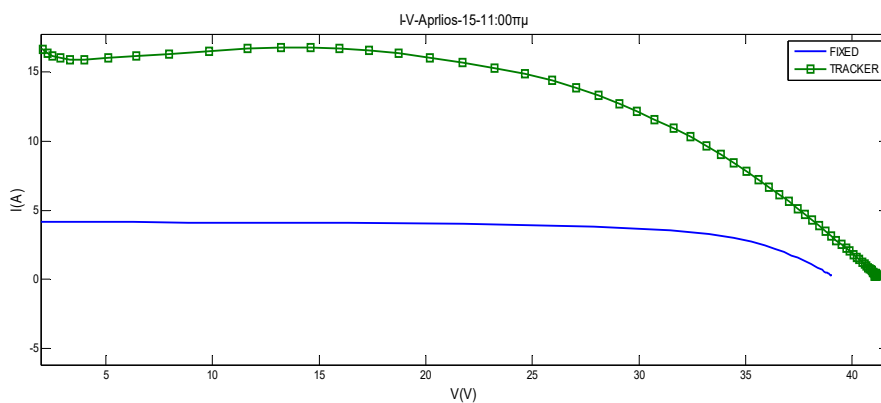
Διάγραμμα 5.23: Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως ώρας την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Απριλίου( 15<sup>η</sup> ημέρα)



**Διάγραμμα 5.24:** Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Απρίλιου( 15<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.25:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Απρίλιου( 15<sup>η</sup> ημέρα).

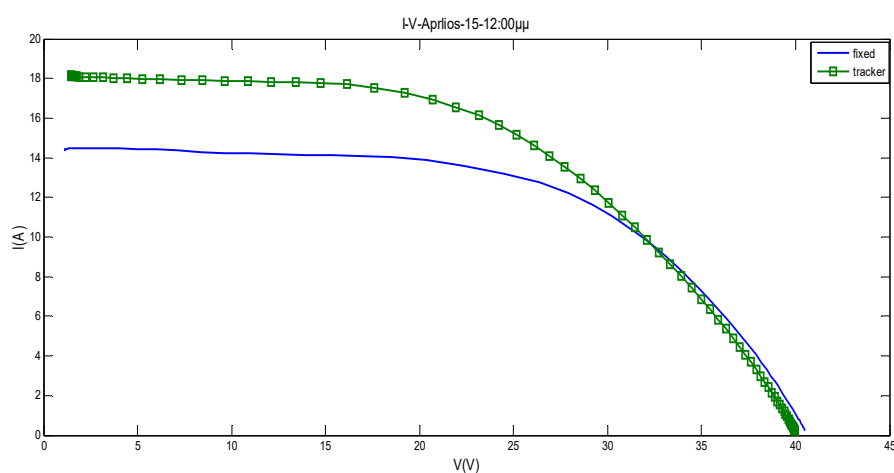


**Διάγραμμα 5.26:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Απρίλιου( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ



Πίνακας 5.12: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 15<sup>η</sup> ημέρα του Απριλίου και για την ώρα 11:00π.μ.

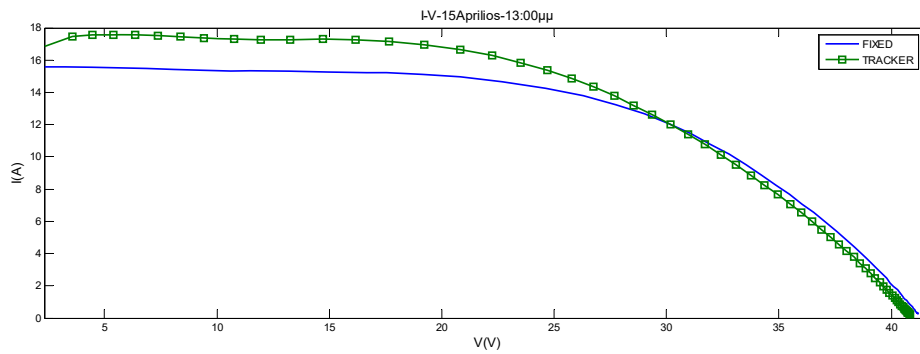
15/4/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	112, 25	375
$I_{sc}(A)$	4, 9	15, 6
$V_{oc}(V)$	39	41, 1
$I_m(A)$	3, 2	12, 8
$V_m(V)$	34, 2	27, 6



Διάγραμμα 5.27: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Απριλίου( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ.

Πίνακας 5.13: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 15<sup>η</sup> ημέρα του Απριλίου και για την ώρα 12:00μ.μ.

15/4/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	340, 28	381, 68
$I_{sc}(A)$	14, 48	18, 15
$V_{oc}(V)$	40, 49	39, 95
$I_m(A)$	13, 2	13, 8
$V_m(V)$	25, 2	24, 6



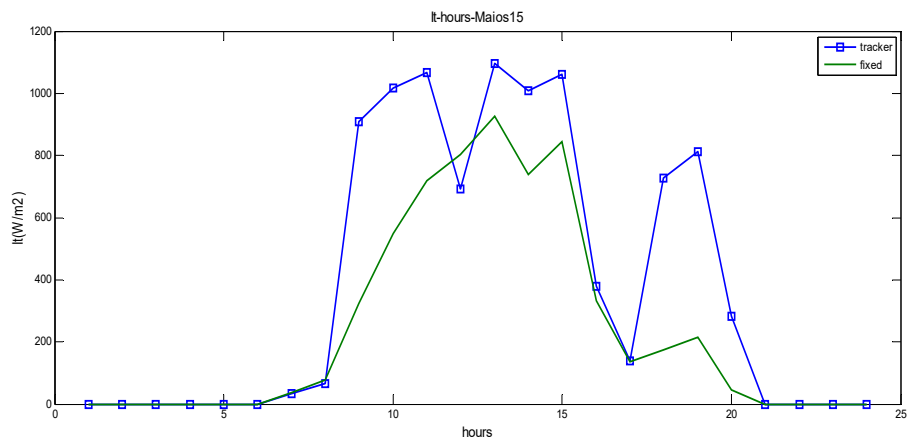
**Διάγραμμα 5.28:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Απριλίου( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ.

**Πίνακας 5.14:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 15<sup>η</sup> ημέρα του Απριλίου και για την ώρα 13:00μ.μ.

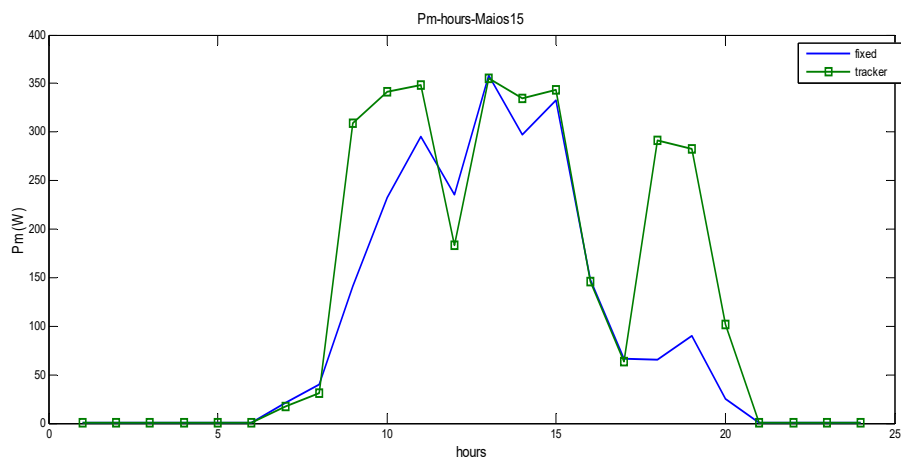
15/4/2014 (13:00)	<b>(FIXED)</b>	<b>(TRACKER)</b>
$P_m(W)$	367, 7	389, 8
$I_{sc}(A)$	15, 6	16, 4
$V_{oc}(V)$	41, 2	40, 8
$I_m(A)$	13, 2	15, 8
$V_m(V)$	26, 2	24, 6

Τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Απριλίου δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.

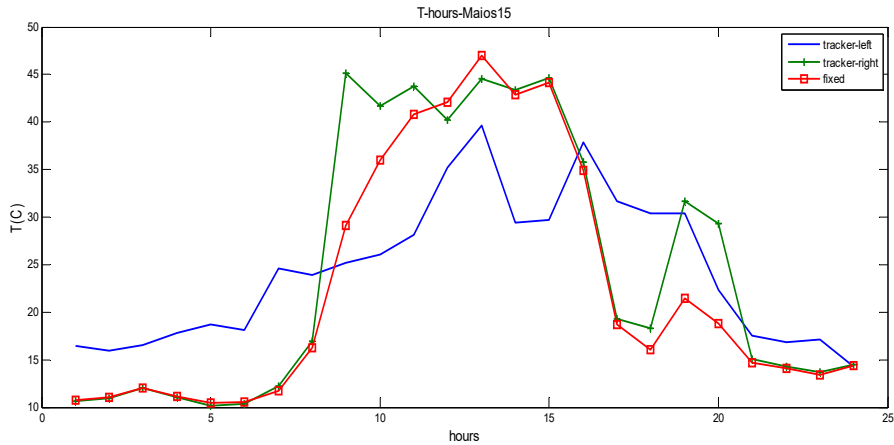
## 5.2.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΜΑΪΟ



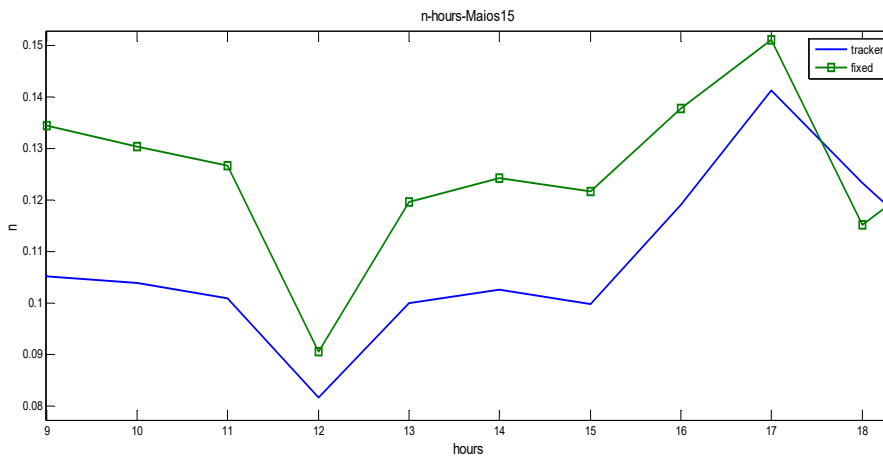
Διάγραμμα 5.29: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_i$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαΐου( 15<sup>η</sup> ημέρα)



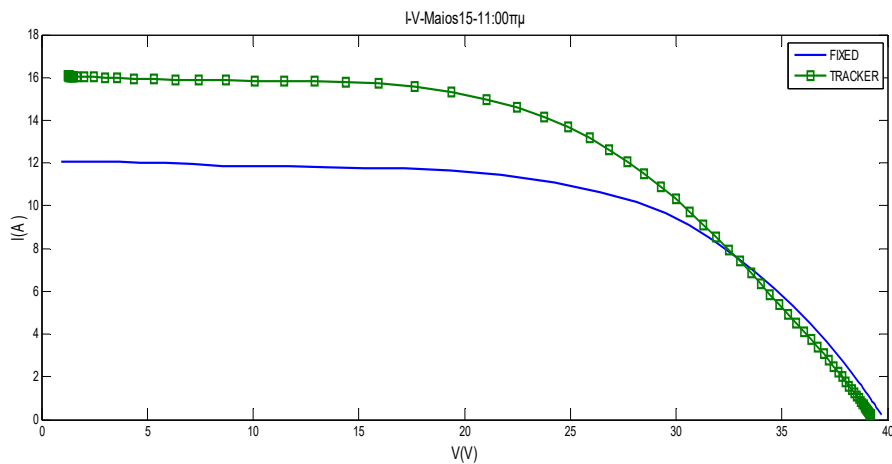
Διάγραμμα 5.30: Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως ώρας την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαΐου( 15<sup>η</sup> ημέρα)



**Διάγραμμα 5.31:** Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαΐου( 15<sup>η</sup> ημέρα).



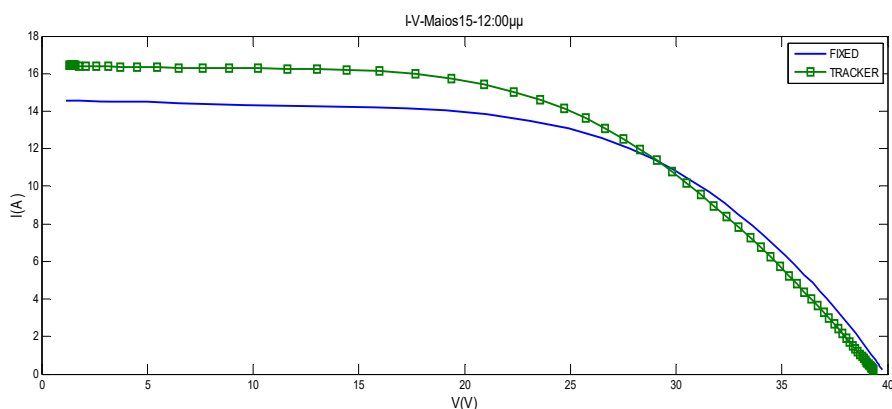
**Διάγραμμα 5.32:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαΐου( 15<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.33:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαΐου( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ

**Πίνακας 5.15:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 15<sup>η</sup> ημέρα του Μαΐου και για την ώρα 11:00π.μ.

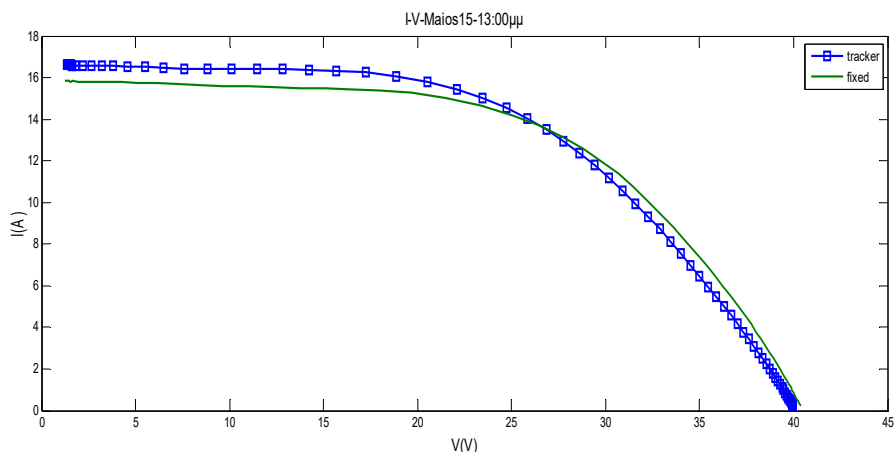
15/5/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	286, 4	340, 9
$I_{sc}(A)$	12	16
$V_{oc}(V)$	39, 7	39, 2
$I_m(A)$	11, 6	15, 2
$V_m(V)$	30	24, 2



**Διάγραμμα 5.34:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαΐου( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ.

**Πίνακας 5.16:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 15<sup>η</sup> ημέρα του Μαΐου και για την ώρα 12:00μ.μ.

15/5/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	334, 5	350, 7
$I_{sc}(A)$	14, 5	16, 4
$V_{oc}(V)$	39, 7	39, 3
$I_m(A)$	12, 2	15, 8
$V_m(V)$	28, 3	24, 6



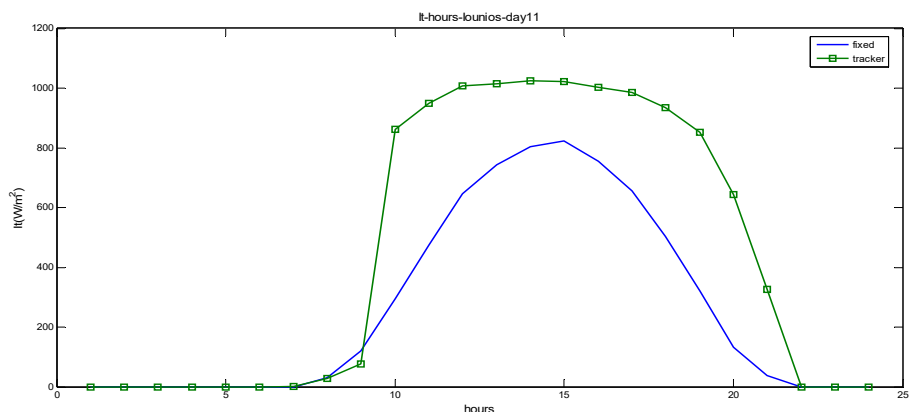
**Διάγραμμα 5.35:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαΐου( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ.

**Πίνακας 5.17:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 15<sup>η</sup> ημέρα του Μαΐου και για την ώρα 13:00μ.μ.

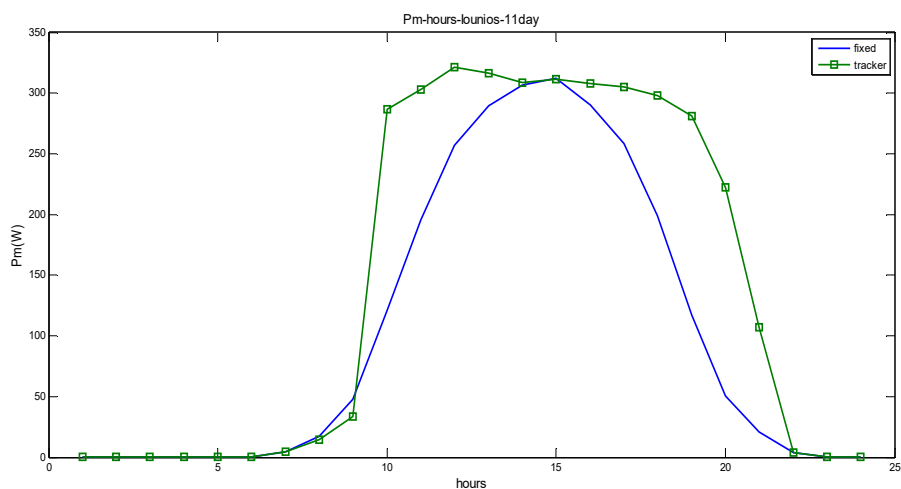
15/5/2014 (13:00)	<b>(FIXED)</b>	<b>(TRACKER)</b>
$P_m(W)$	363, 2	364, 5
$I_{sc}(A)$	15, 8	16, 6
$V_{oc}(V)$	40, 3	39, 9
$I_m(A)$	14, 4	16
$V_m(V)$	24, 5	24

Τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Μαΐου δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.

### 5.2.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΙΟΥΝΙΟ

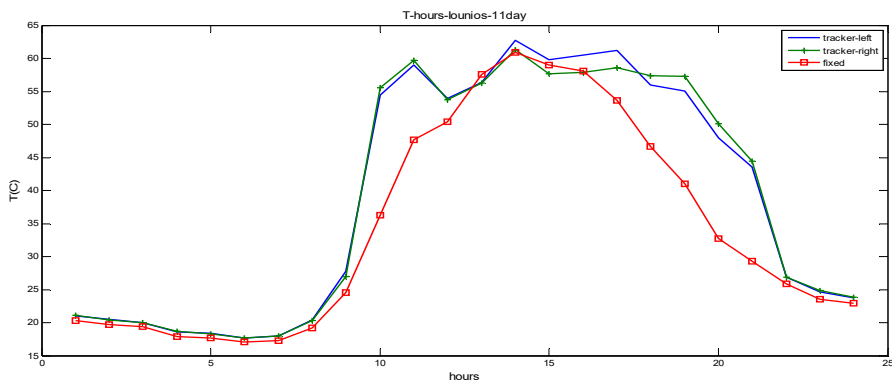


**Διάγραμμα 5.36:** Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_T$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουνίου( 12<sup>η</sup> ημέρα)

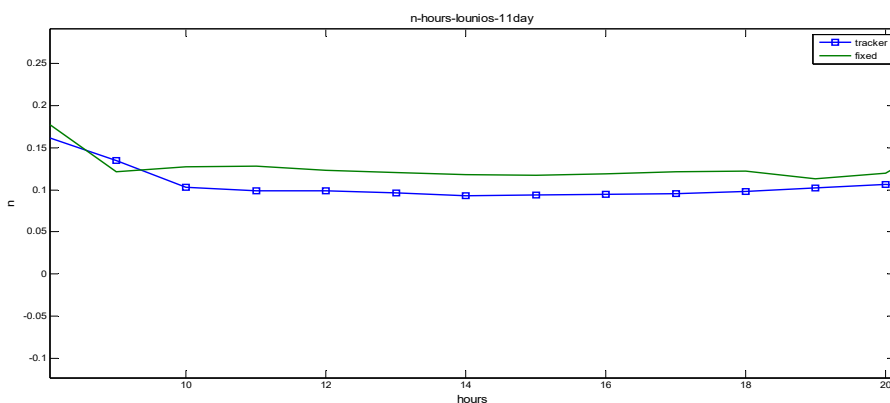


**Διάγραμμα 5.37:** αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουνίου(12<sup>η</sup> ημέρα)

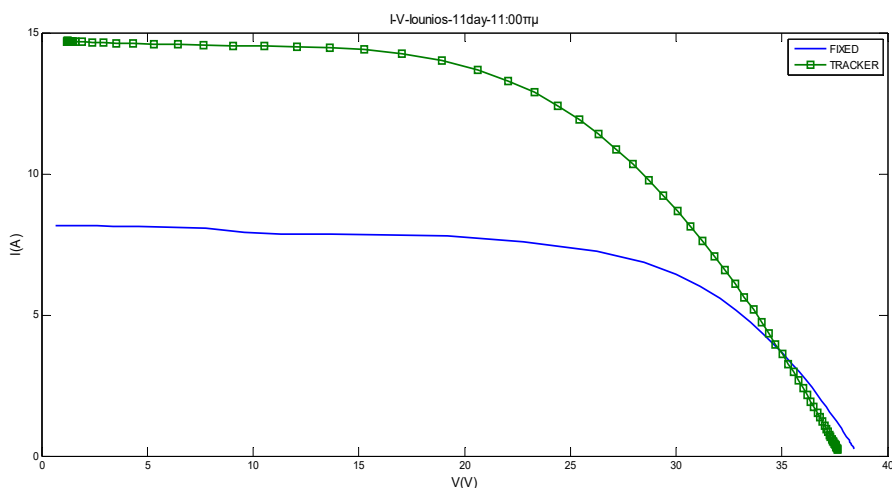




**Διάγραμμα 5.38:** Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουνίου (12<sup>η</sup> ημέρα).



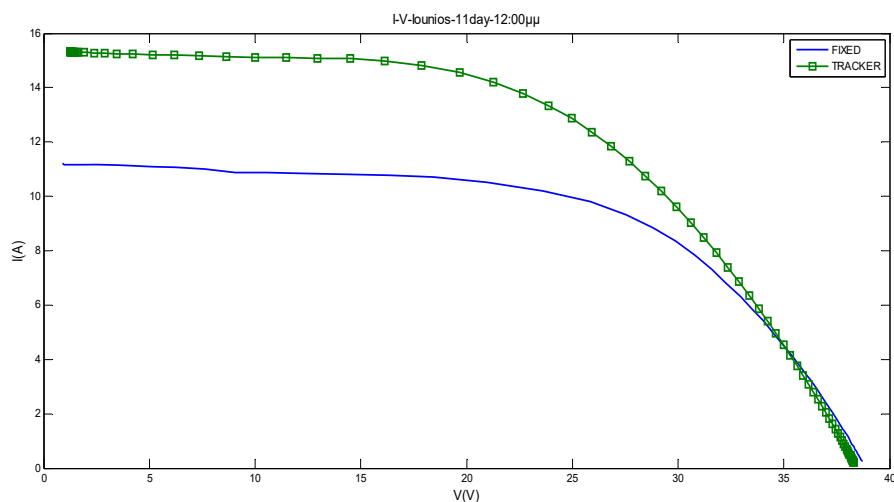
**Διάγραμμα 5.39:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουνίου (12<sup>η</sup> ημέρα)



**Διάγραμμα 5.40:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουνίου (12<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ

Πίνακας 5.18: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 12<sup>η</sup> ημέρα του Ιουνίου και για την ώρα 11:00π.μ.

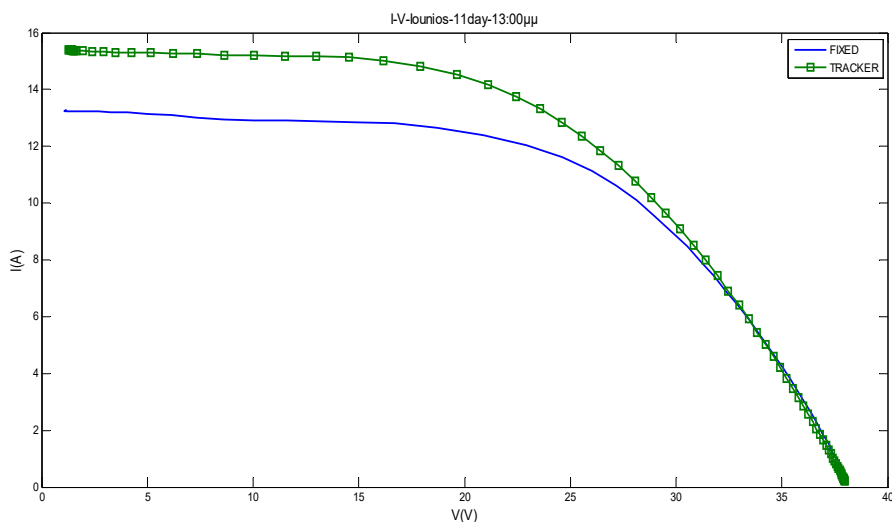
11/6/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	195, 6	303, 2
$I_{sc}(A)$	8, 17	14, 7
$V_{oc}(V)$	38, 4	37, 6
$I_m(A)$	6, 8	14, 5
$V_m(V)$	27, 8	22, 5



Διάγραμμα 5.41: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουνίου( 12<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ.

Πίνακας 5.19: : Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 12<sup>η</sup> ημέρα του Ιουνίου και για την ώρα 12:00μ.μ.

11/6/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	256, 9	321, 2
$I_{sc}(A)$	11, 2	15, 33
$V_{oc}(V)$	37, 7	38, 31
$I_m(A)$	9, 8	14, 2
$V_m(V)$	25, 8	22



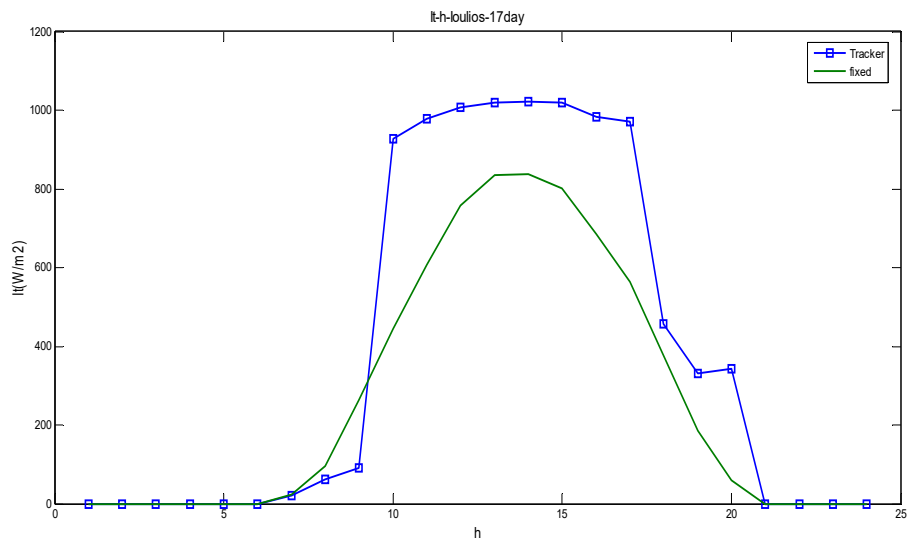
**Διάγραμμα 5.42:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουνίου( 12<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ.

**Πίνακας 5.20:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 12<sup>η</sup> ημέρα του Ιουνίου και για την ώρα 13:00μ.μ.

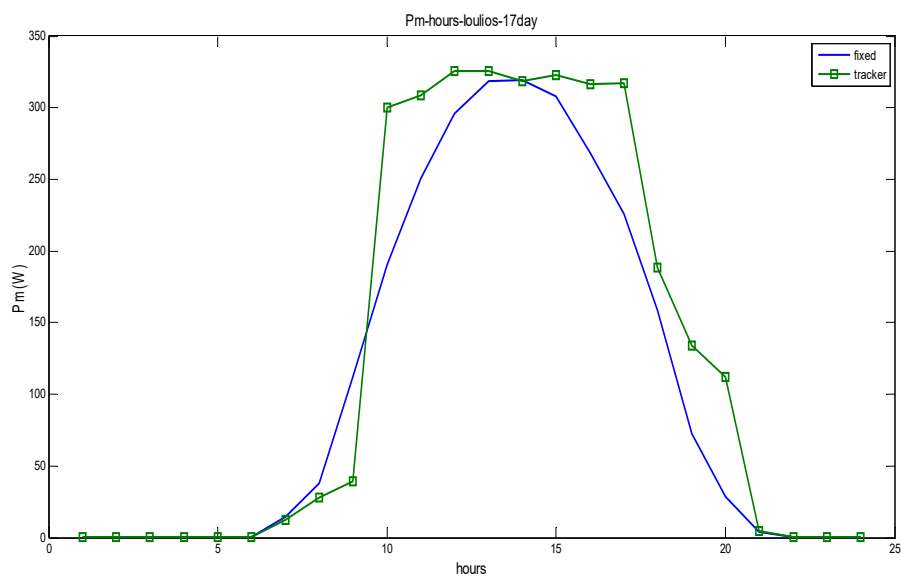
11/6/2014 (13:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	289, 8	316, 2
$I_{sc}(A)$	12, 2	15, 3
$V_{oc}(V)$	38	37, 9
$I_m(A)$	11, 7	14, 1
$V_m(V)$	25, 2	21, 9

Τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουνίου δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες. Εξετάζοντας το διάγραμμα της I-V για πρωινές ώρες (βλέπε Διάγραμμα 5.40) διακρίνουμε μεγάλες διαφορές στα μεγέθη της έντασης του ρεύματος και της ισχύος. Αυτό οφείλεται στην υψηλή προσπίπτουσα ακτινοβολία που ανακλάται στην επιφάνεια της κινητής διαξονικής φωτοβολταϊκής γεννήτριας (Tracker) καθώς ακολουθεί τον ήλιο, σε αντίθεση με την σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια, στην οποία τις πρωινές ώρες δεν προσπίπτει μεγάλο ποσό ακτινοβολίας.

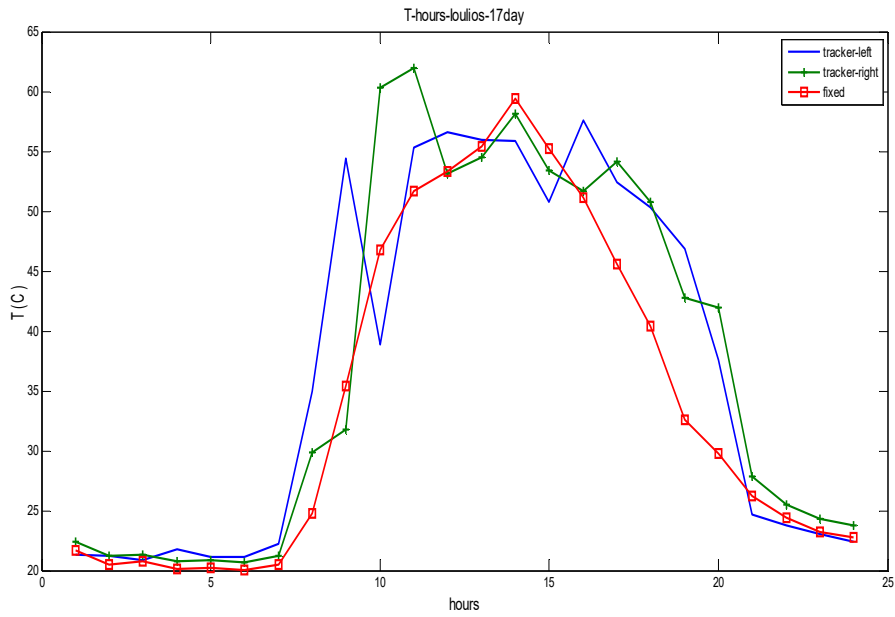
### 5.2.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟ



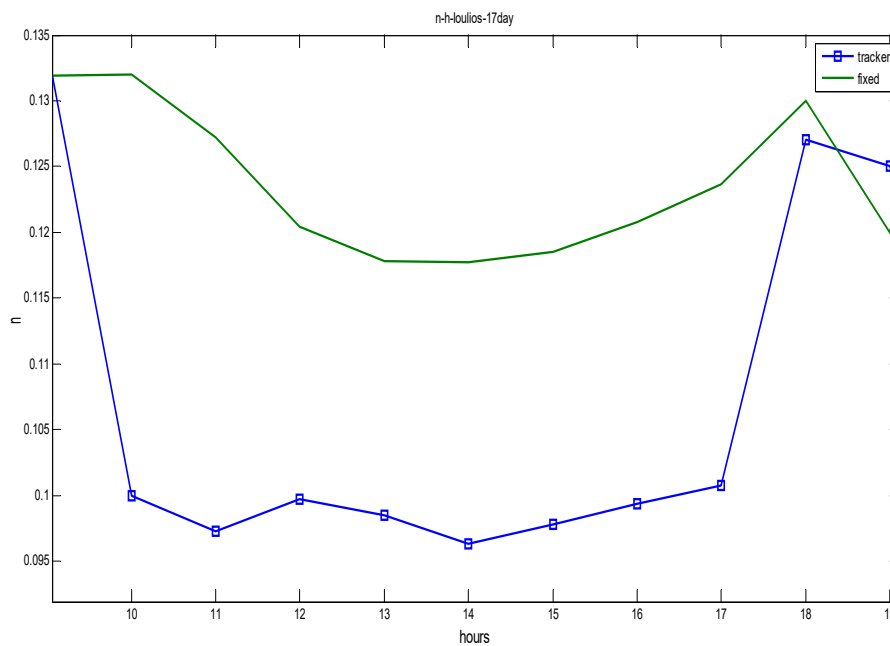
**Διάγραμμα 5.43:** Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_t$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιούλιου( 17<sup>η</sup> ημέρα)



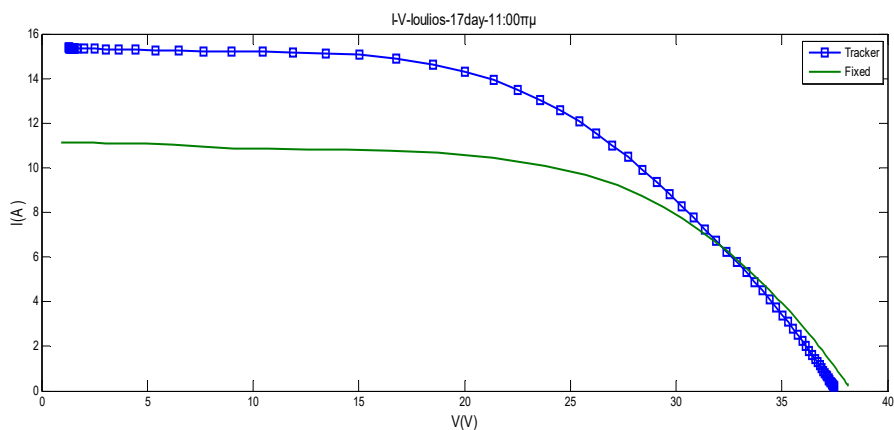
**Διάγραμμα 5.44:** Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιούλιου( 17<sup>η</sup> ημέρα)



**Διάγραμμα 5.45:** Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουλίου (17<sup>η</sup> ημέρα).



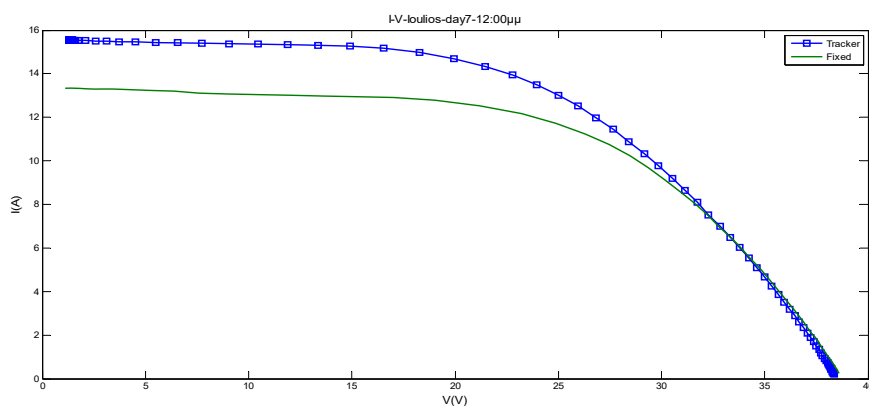
**Διάγραμμα 5.46:** Η απόδοση (η) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουλίου (17<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.47:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουλίου( 17<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ

**Πίνακας 5.21:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 17<sup>η</sup> ημέρα του Ιουλίου και για την ώρα 11:00π.μ.

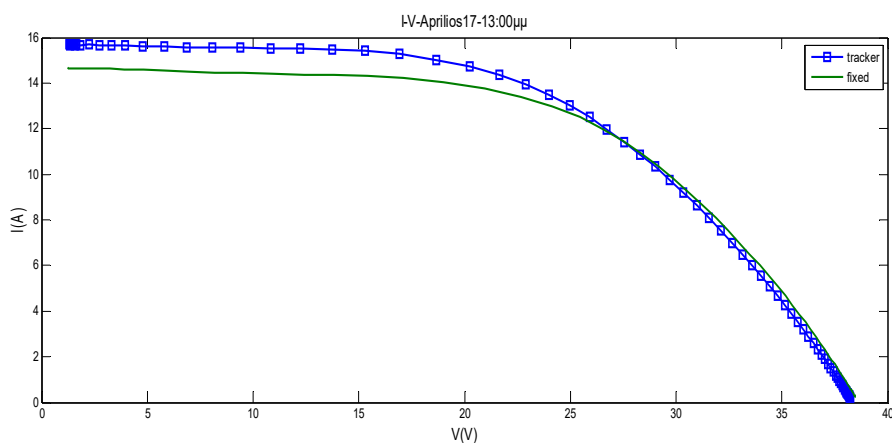
17/7/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	250, 7	308, 4
$I_{sc}(A)$	11, 1	15, 4
$V_{oc}(V)$	38, 1	37, 5
$I_m(A)$	10	14, 4
$V_m(V)$	27	20



**Διάγραμμα 5.48:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουλίου( 17<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ.

**Πίνακας 5.22:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 17<sup>η</sup> ημέρα του Ιουλίου και για την ώρα 12:00μ.μ.

17/7/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m$ (W)	295, 9	325, 4
$I_{sc}$ (A)	13, 3	15, 5
$V_{oc}$ (V)	38, 6	38, 3
$I_m$ (A)	11, 7	14, 1
$V_m$ (V)	25, 2	22, 3



**Διάγραμμα 5.49:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουλίου( 17<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ.

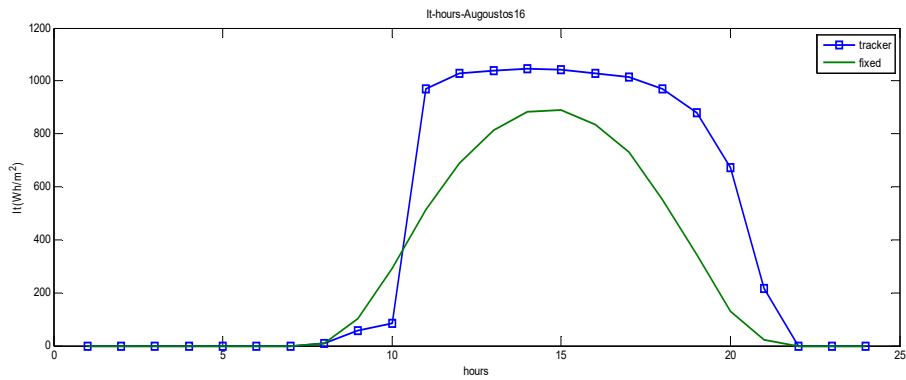
**Πίνακας 5.23:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 17<sup>η</sup> ημέρα του Ιουλίου και για την ώρα 13:00μ.μ.

17/7/2014 (13:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m$ (W)	318, 37	325, 25
$I_{sc}$ (A)	14, 68	15, 70
$V_{oc}$ (V)	38, 48	38, 24
$I_m$ (A)	13	14, 3
$V_m$ (V)	25, 4	23, 8

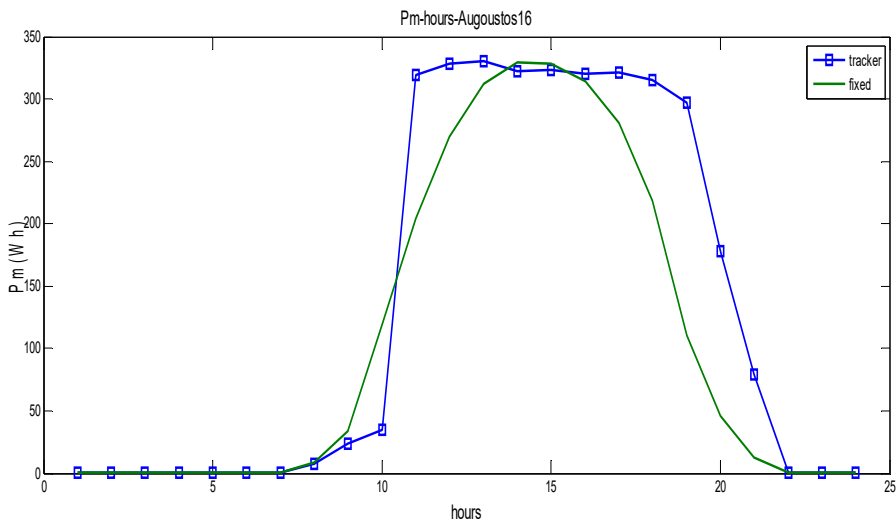
Τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Ιουλίου δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.



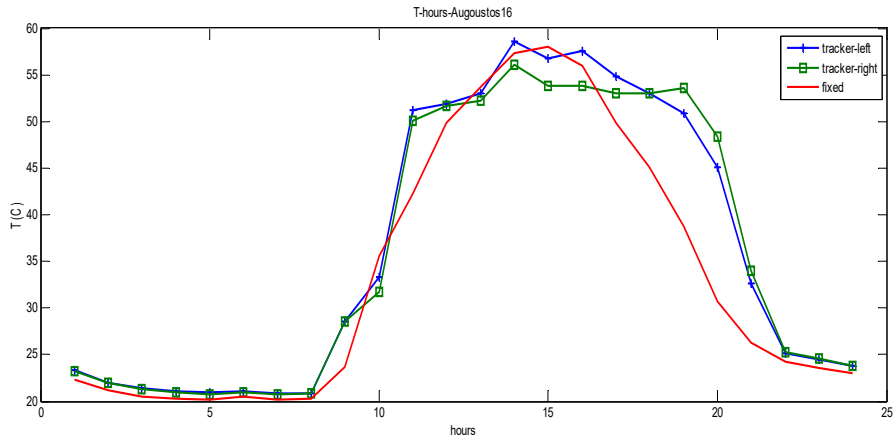
## 5.2.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΑΥΓΟΥΣΤΟ



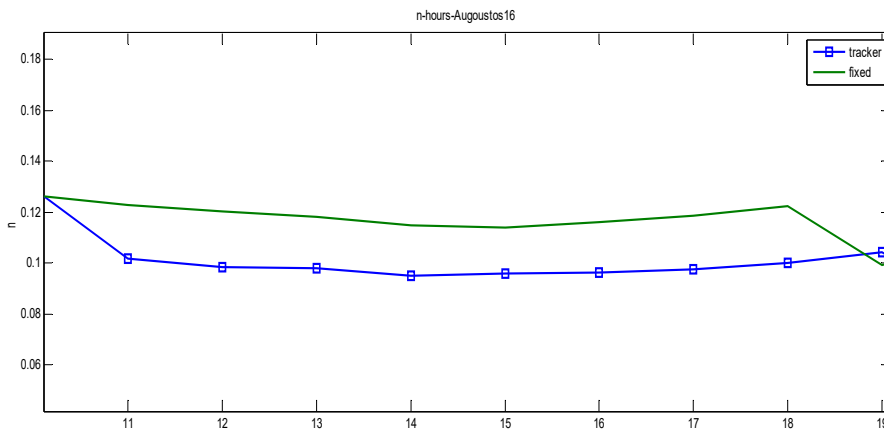
Διάγραμμα 5.50: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_t$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Αυγούστου( 16<sup>η</sup> ημέρα)



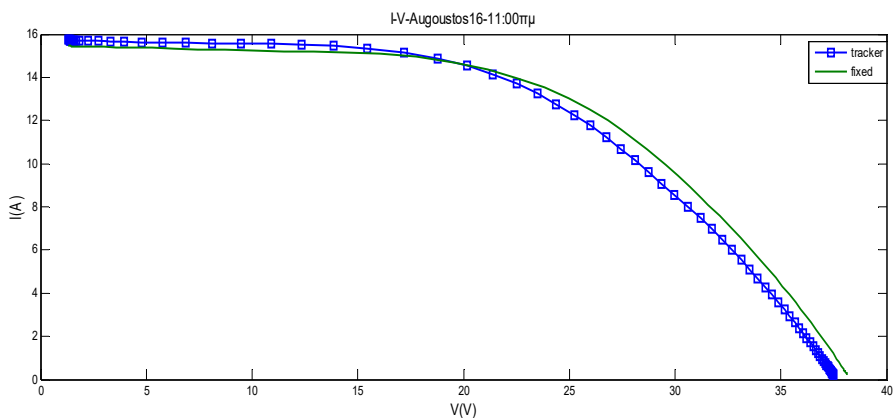
Διάγραμμα 5.51: Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως ώρας την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Αυγούστου( 16<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.52:** Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Αυγούστου( 16<sup>η</sup> ημέρα).



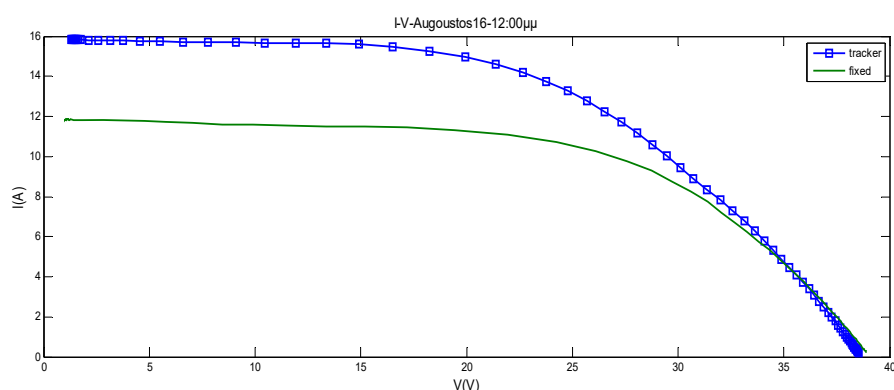
**Διάγραμμα 5.53:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Αυγούστου( 16<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.54:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Αυγούστου( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ

Πίνακας 5.24: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Αυγούστου και για την ώρα 11:00π.μ.

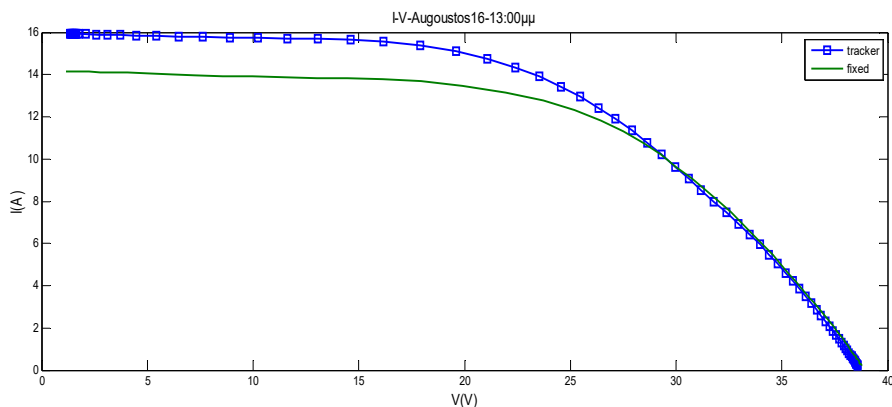
16/8/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	204, 7	319, 7
$I_{sc}(A)$	15, 4	15, 7
$V_{oc}(V)$	38, 1	37, 5
$I_m(A)$	13, 9	14, 3
$V_m(V)$	24, 1	21, 8



Διάγραμμα 5.55: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Αυγούστου ( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ.

Πίνακας 5.25: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Αυγούστου και για την ώρα 12:00μ.μ.

16/8/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	269, 7	330
$I_{sc}(A)$	11, 8	15, 8
$V_{oc}(V)$	38, 9	38, 5
$I_m(A)$	11	14, 6
$V_m(V)$	28, 8	23



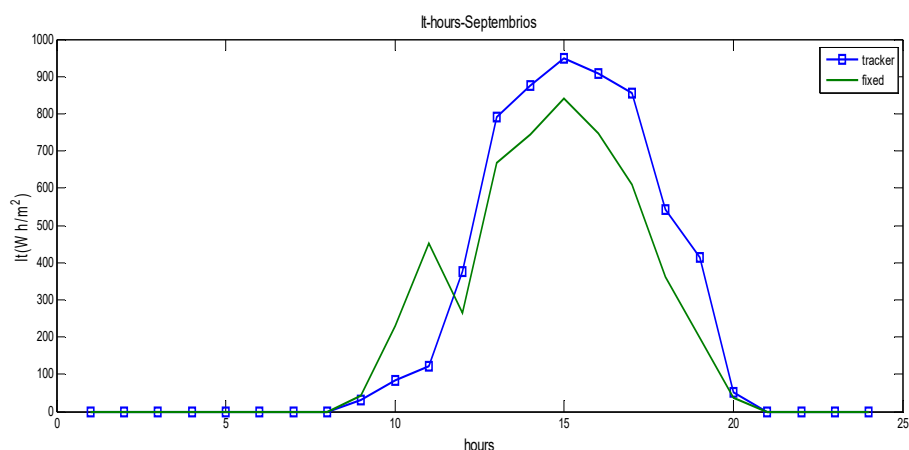
**Διάγραμμα 5.56:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Αυγούστου ( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ.

**Πίνακας 5.26:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Αυγούστου και για την ώρα 13:00μ.μ.

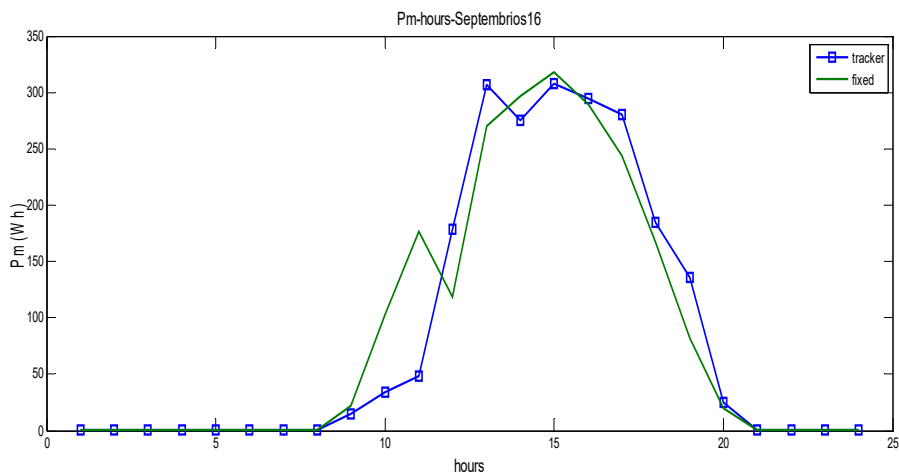
16/8/2014 (13:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	312, 33	330, 07
$I_{sc}(A)$	14, 16	15, 95
$V_{oc}(V)$	38, 77	38, 59
$I_m(A)$	11, 3	14, 8
$V_m(V)$	29	24

Τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Αύγουστου δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες. Πρέπει να σχολιαστεί η μείωση της ακτινοβολίας μεταξύ 9 με 10 π.μ. καθώς διακρίνεται μείωση της προσπίπτουσα ακτινοβολίας στην κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτριας λόγω ακραίας μεταβολής των καιρικών συνθηκών αυτές τις ώρες. Επίσης για τον ίδιο λόγο εμφανίζεται πολύ κοντινές τιμές της έντασης του ρεύματος στο διάγραμμα 5.54.

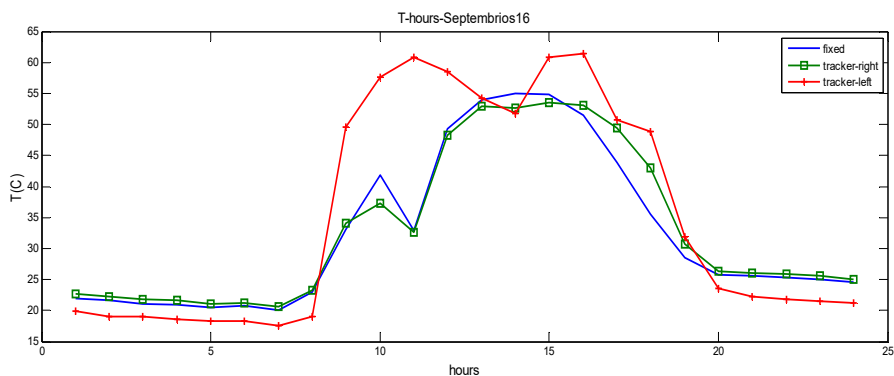
## 5.2.9 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ



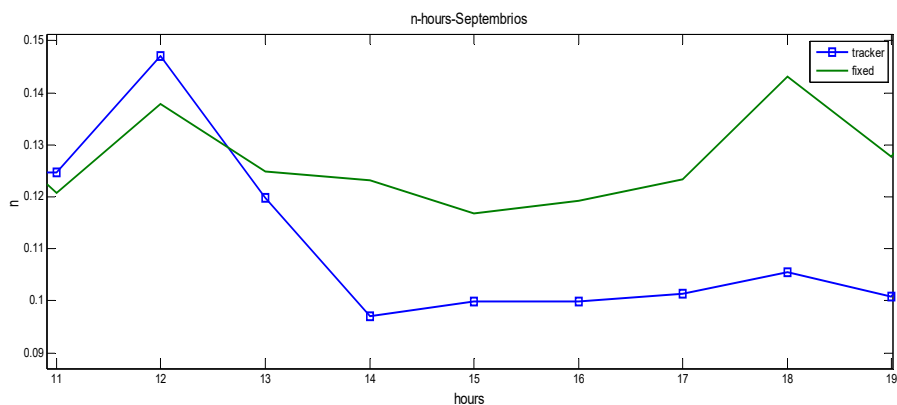
Διάγραμμα 5.57: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_t$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Σεπτεμβρίου (16<sup>η</sup> ημέρα)



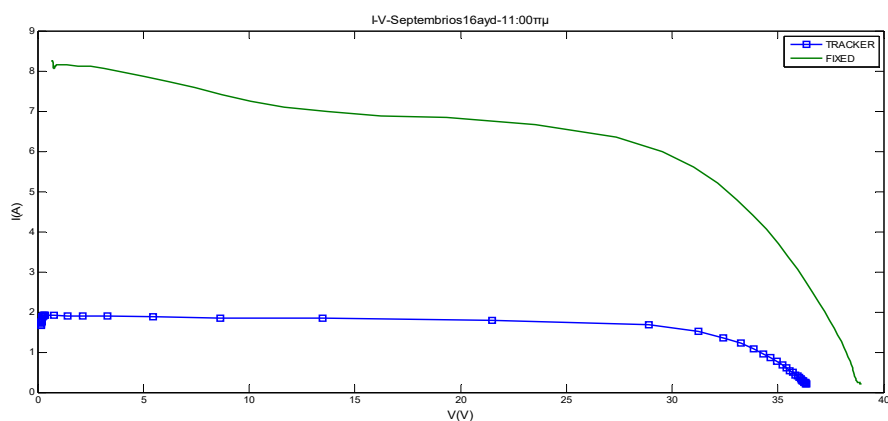
Διάγραμμα 5.58: Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως ώρας την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Σεπτεμβρίου (16<sup>η</sup> ημέρα)



Διάγραμμα 5.59: Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια,, συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Σεπτεμβρίου (16<sup>η</sup> ημέρα).



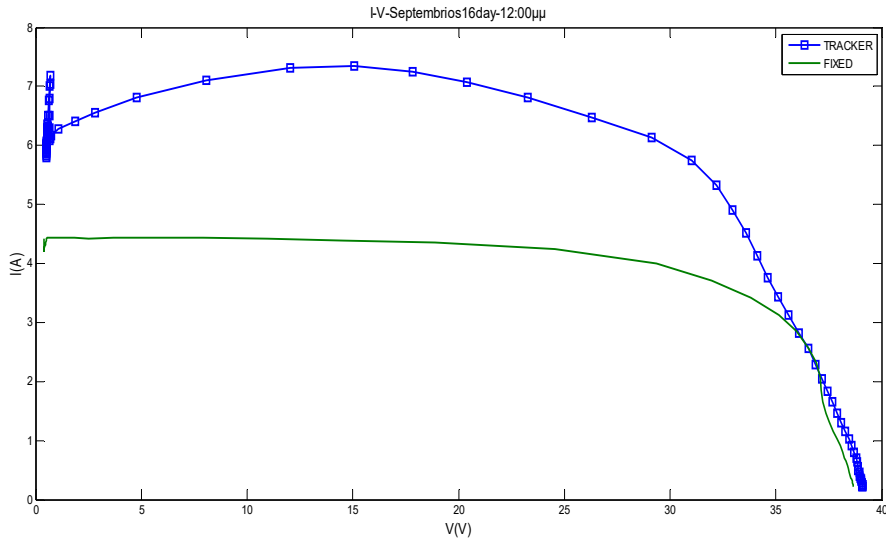
**Διάγραμμα 5.60:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Σεπτεμβρίου (16<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.61:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Σεπτεμβρίου (16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ.

**Πίνακας 5.27:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Σεπτεμβρίου και για την ώρα 11:00π.μ.

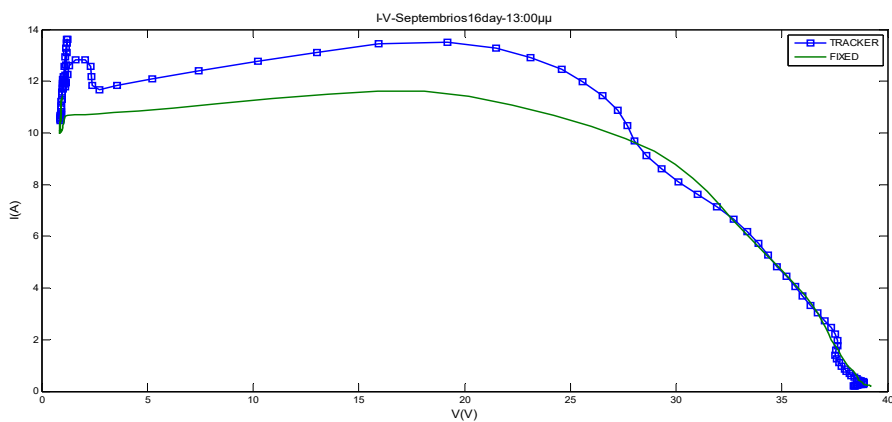
16/9/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m$ (W)	177	48,6
$I_{sc}$ (A)	8,2	1,9
$V_{oc}$ (V)	36,3	48,6
$I_m$ (A)	6,3	1,8
$V_m$ (V)	29	32



**Διάγραμμα 5.62:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Σεπτεμβρίου( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ

**Πίνακας 5.28:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Σεπτεμβρίου και για την ώρα 12:00μ.μ.

16/9/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	118, 4	178, 5
$I_{sc}(A)$	4, 4	7, 3
$V_{oc}(V)$	38, 6	39, 1
$I_m(A)$	3, 4	5, 6
$V_m(V)$	34, 7	31, 8



**Διάγραμμα 5.63:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Σεπτεμβρίου( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ.

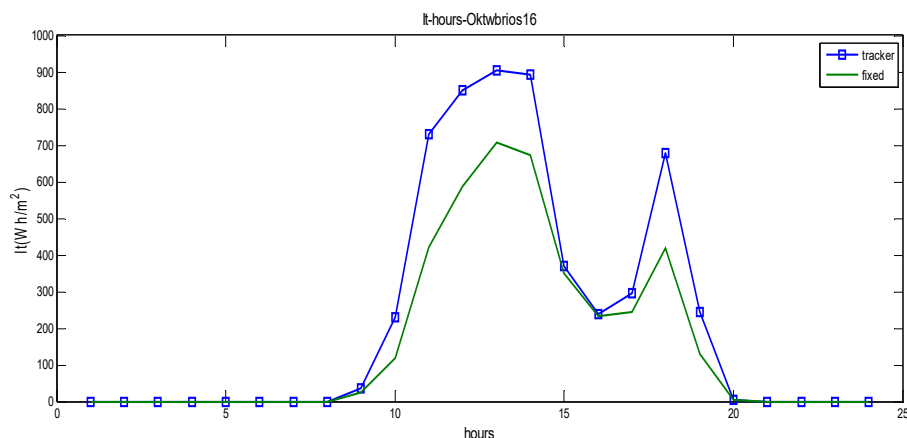


Πίνακας 5.29: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Σεπτεμβρίου και για την ώρα 13:00μ.μ.

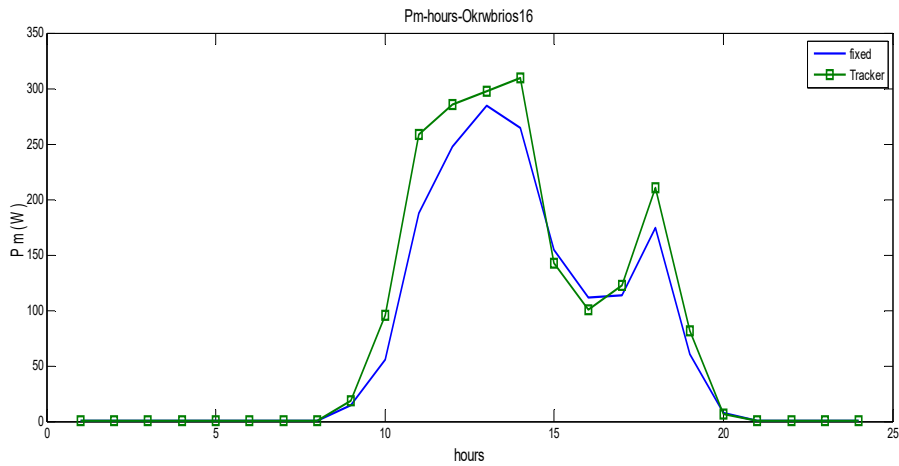
16/9/2014 (13:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	270, 1	306, 6
$I_{sc}(A)$	11, 6	13, 6
$V_{oc}(V)$	39, 2	38, 8
$I_m(A)$	9, 3	11, 2
$V_m(V)$	30, 4	28, 4

Παρατηρώντας το διάγραμμα της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στις δύο γεννήτριες (Fixed), (Tracker) (βλ. Διάγραμμα 5.57) υπάρχει ένα διάστημα ωρών από τις 09:00 π.μ. έως περίπου τις 12:00 μ.μ. όπου στη σταθερή γεννήτρια προσπίπτει μεγαλύτερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας από ότι στη κινητή (βλ. Διάγραμμα 5.57). Εκείνο το διάστημα των ωρών που προαναφέρθηκε, πιθανών να υπάρχει κάποιο είδος σκίασης στη κινητή γεννήτρια. Αυτό το πρόβλημα αποτυπώνεται και στα διαγράμματα της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V που αφορούν την 11:00 π.μ. (βλ. Διάγραμμα 5.61). Εκεί παρατηρείται σταθερή γεννήτρια δηλαδή περισσότερο ρεύμα από ότι η κινητή και αυτό συμβαίνει επειδή εκείνες τις ώρες προσπίπτει επάνω στη (Fixed) γεννήτρια μεγαλύτερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. Επίσης οι μεταπτώσεις που παρουσιάζονται τις καμπύλες I-V (5.62, 5.63) αφορούν σε ταχύτατες μεταβολές καιρικών συνθηκών κατά την χρονική περίοδο λήψης της καμπύλης.

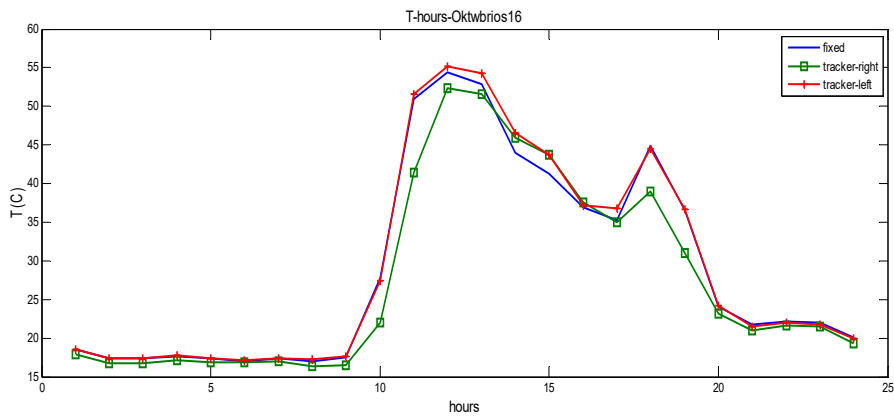
## 5.2.10 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟ



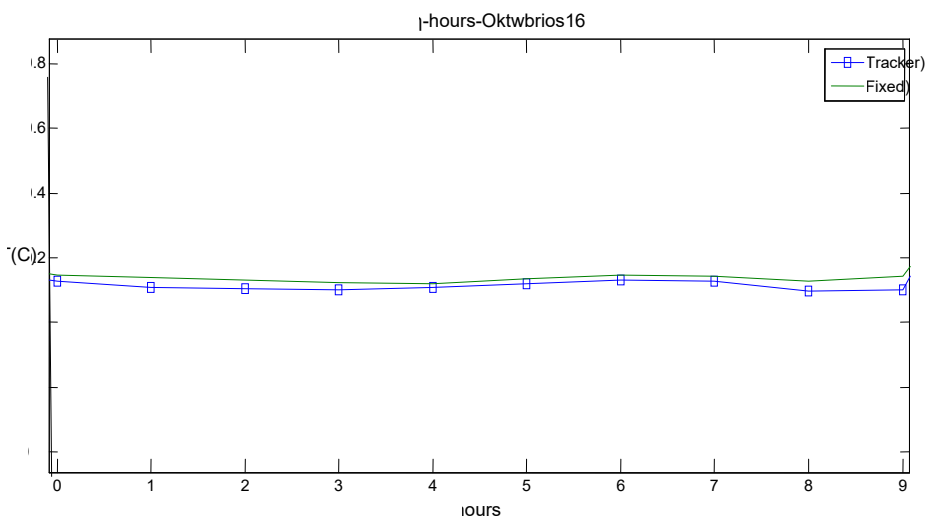
Διάγραμμα 5.64: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_t$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Οκτώβριου( 16<sup>η</sup> ημέρα).



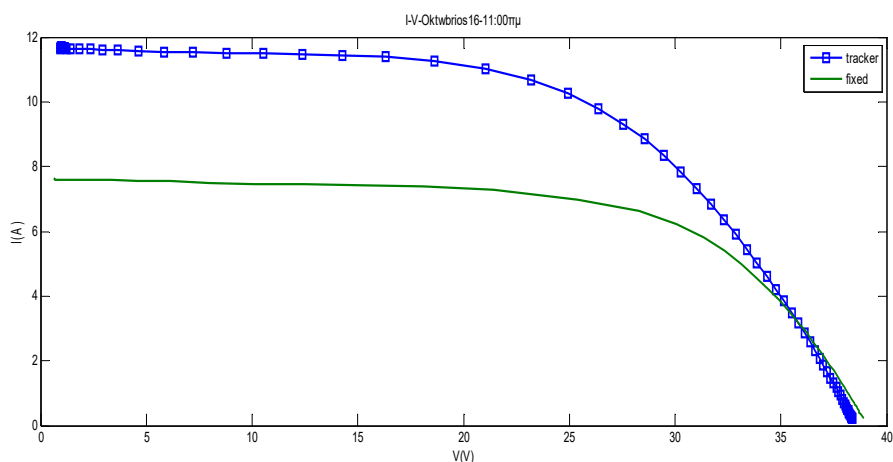
**Διάγραμμα 5.65:** Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Οκτώβριου( 16<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.66:** Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Οκτώβριου( 16<sup>η</sup> ημέρα).



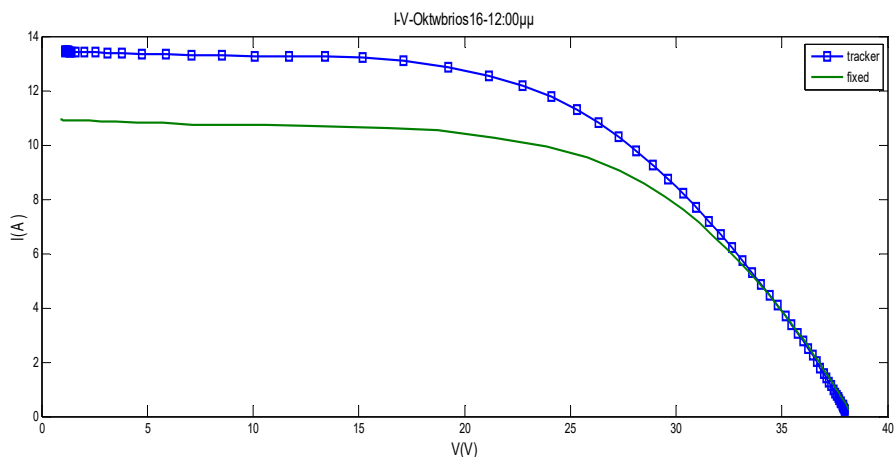
**Διάγραμμα 5.67:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Οκτώβριου( 16<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.68:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Οκτώβριου( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ.

**Πίνακας 5.30:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Οκτώβριου και για την ώρα 11:00π.μ.

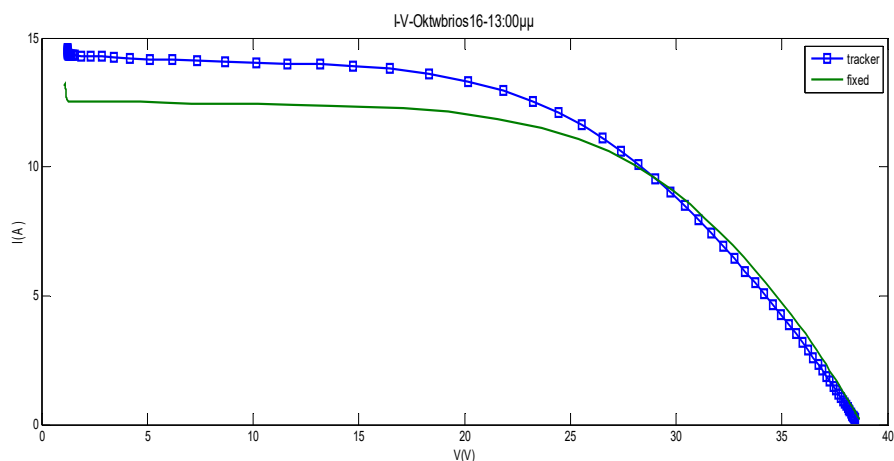
16/10/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m$ (W)	187, 5	258, 5
$I_{sc}$ (A)	7, 6	11, 7
$V_{oc}$ (V)	38, 9	38, 3
$I_m$ (A)	6, 5	9, 8
$V_m$ (V)	30	26, 5



**Διάγραμμα 5.69:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Οκτώβριου ( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ.

**Πίνακας 5.31:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Οκτώβριου και για την ώρα 12:00μ.μ.

16/10/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	247, 8	285, 3
$I_{sc}(A)$	10, 9	13, 4
$V_{oc}(V)$	38, 2	37, 9
$I_m(A)$	8, 9	12
$V_m(V)$	28	24, 8



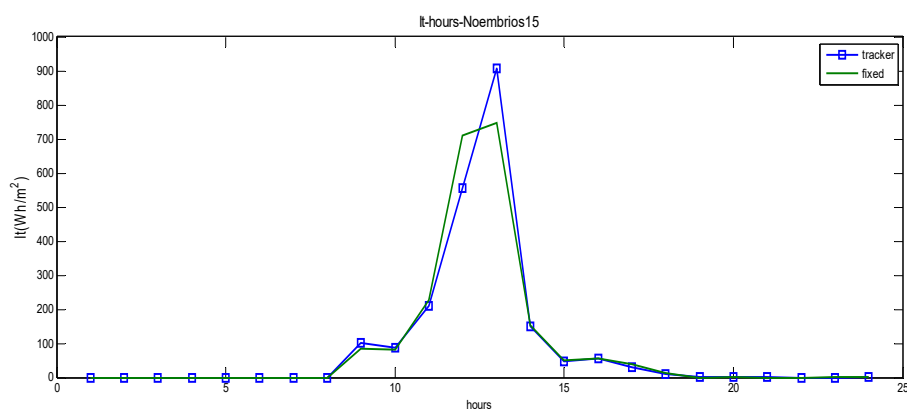
**Διάγραμμα 5.70:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Οκτώβριου ( 16<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ.

Πίνακας 5.32: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 16<sup>η</sup> ημέρα του Οκτώβριου και για την ώρα 13:00μ.μ.

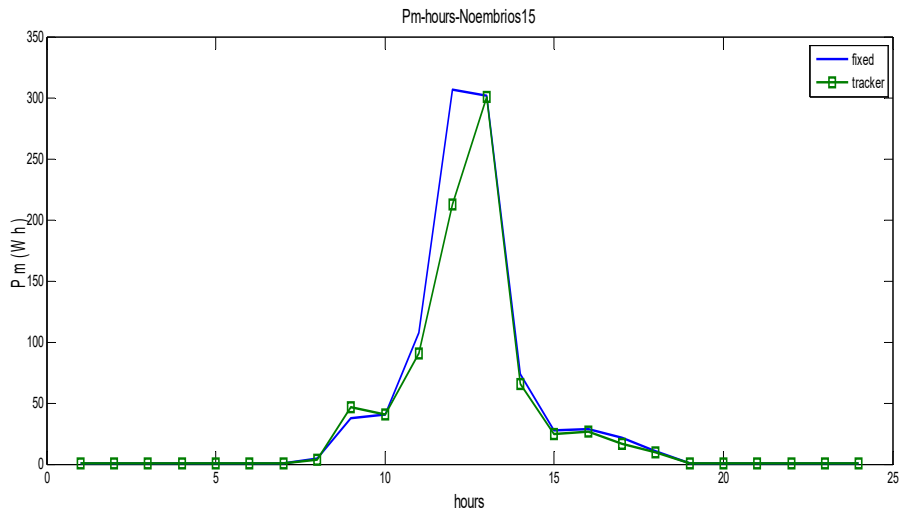
16/10/2014 (13:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	284, 2	297, 3
$I_{sc}(A)$	13, 2	13, 4
$V_{oc}(V)$	38, 7	38, 4
$I_m(A)$	10, 5	13, 2
$V_m(V)$	28	24, 8

Τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Οκτωβρίου, δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.

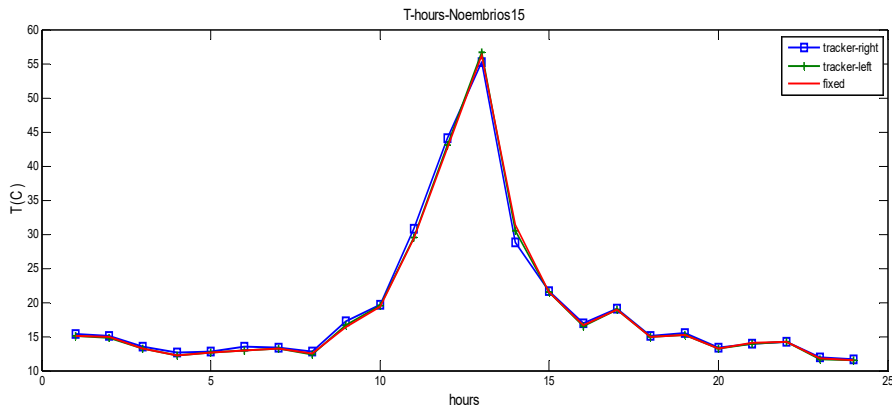
### 5.2.11 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟ



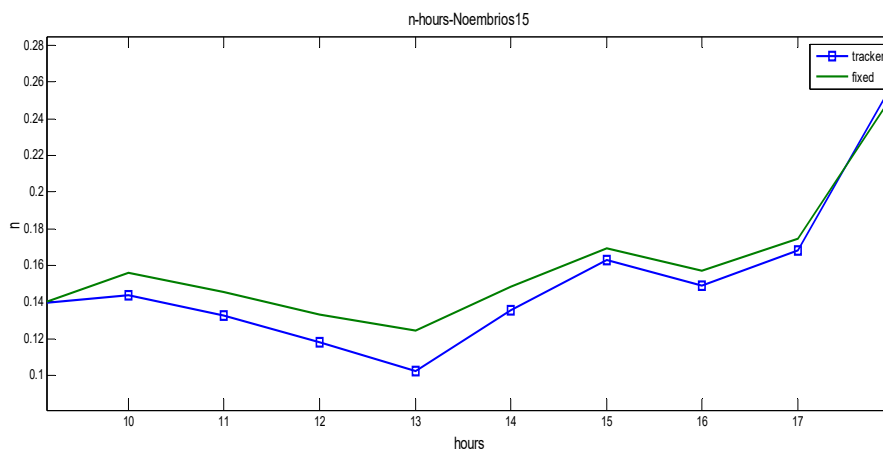
Διάγραμμα 5.71: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_T$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Νοέμβριου (15<sup>η</sup> ημέρα).



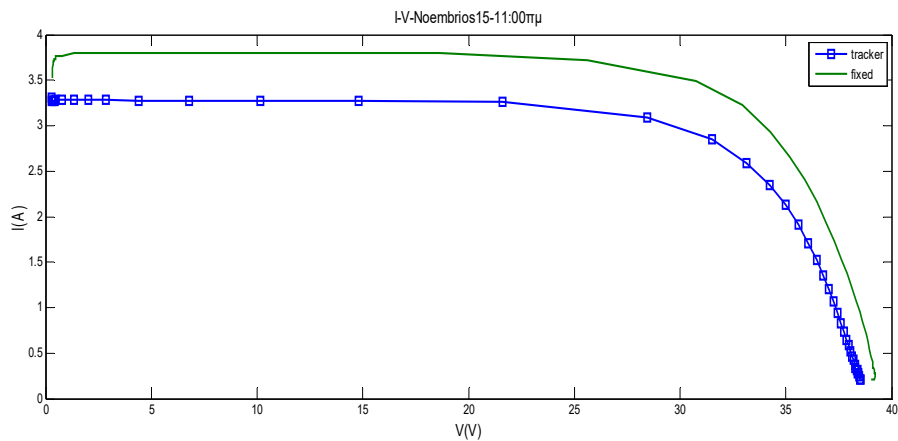
**Διάγραμμα 5.72:** Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως ώρας την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Νοεμβρίου (15<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.73:** Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Νοεμβρίου (15<sup>η</sup> ημέρα).



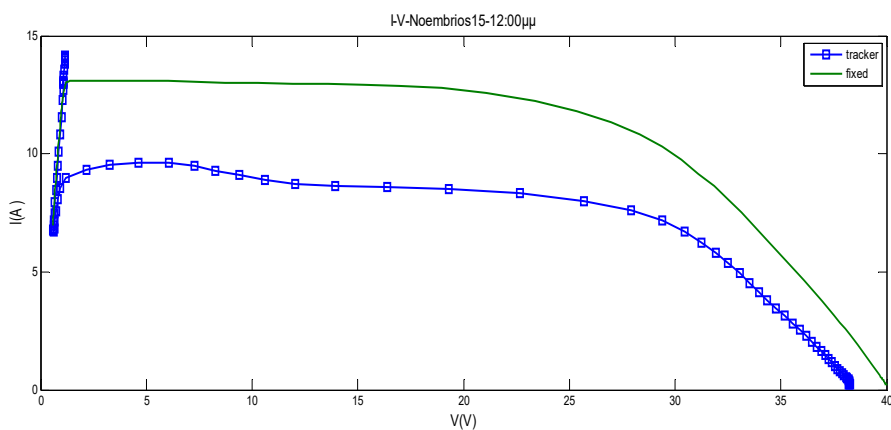
**Διάγραμμα 5.74:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Νοεμβρίου (15<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.75:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Νοέμβριου ( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ

**Πίνακας 5.33:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 15<sup>η</sup> ημέρα του Νοέμβριου και για την ώρα 11:00π.μ.

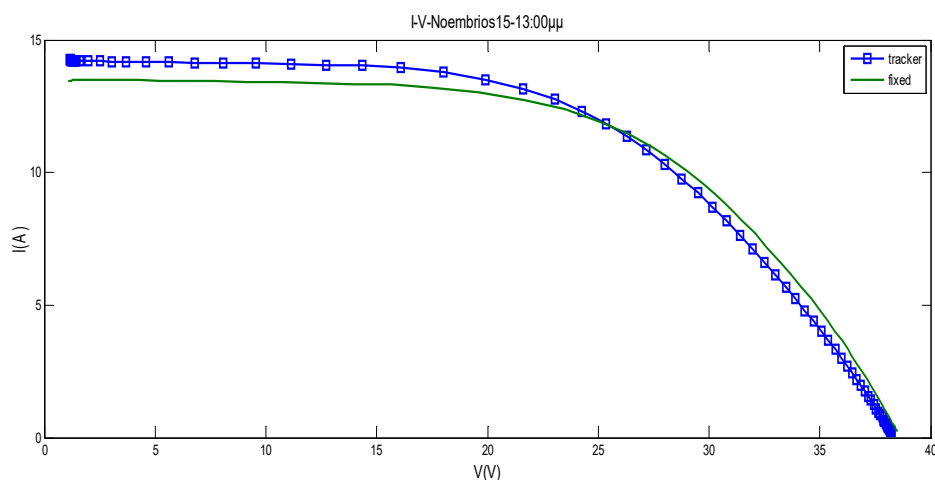
15/11/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	107, 4	90
$I_{sc}(A)$	3, 8	3, 3
$V_{oc}(V)$	39, 2	38, 5
$I_m(A)$	3, 7	2, 8
$V_m(V)$	32, 4	33, 7



**Διάγραμμα 5.76:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Νοέμβριου ( 15<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 12:00μ.μ

**Πίνακας 5.34:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 15<sup>η</sup> ημέρα του Νοέμβριου και για την ώρα 12:00μ.μ.

15/11/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	306, 9	212, 4
$I_{sc}(A)$	13, 1	14, 1
$V_{oc}(V)$	39, 9	38, 2
$I_m(A)$	13, 1	7, 2
$V_m(V)$	29, 7	28, 4



**Διάγραμμα 5.77:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 15<sup>η</sup> ημέρα του Νοέμβριου και για την ώρα 13:00μ.μ.

**Πίνακας 5.35:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 15<sup>η</sup> ημέρα του Νοέμβριου και για την ώρα 13:00μ.μ.

15/11/2014 (13:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	301, 9	300, 1
$I_{sc}(A)$	13	14, 2
$V_{oc}(V)$	38, 5	38, 2
$I_m(A)$	11, 4	12
$V_m(V)$	26, 8	25

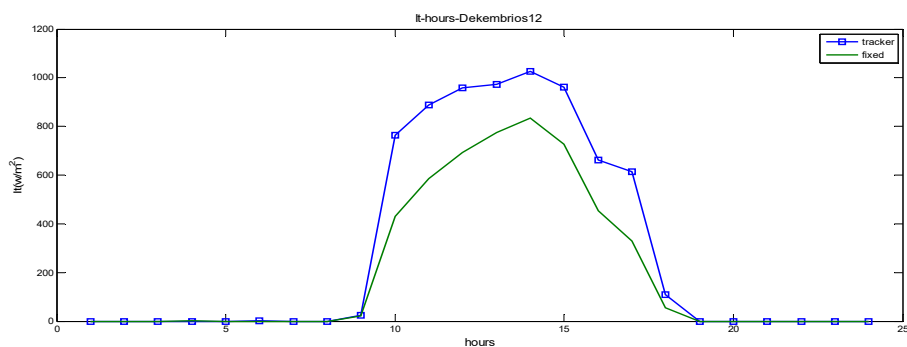
Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα, υπάρχει ένα διάστημα ωρών από τις 11:00π.μ. έως περίπου τις 12:00μ.μ. όπου στην σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια προσπίπτει περισσότερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας από ότι στη κινητή γεννήτρια (βλ. Διάγραμμα 5.71). Αυτό πιθανών συμβαίνει για το λόγο ότι παρουσιάστηκε κάποιο είδος σκίασης στη Tracker γεννήτρια ή ότι δεν λειτούργησε σωστά εκείνες τις ώρες οι γεννήτρια και δεν πρόλαβε να αποκριθεί άμεσα η κινητή φωτοβολταϊκή



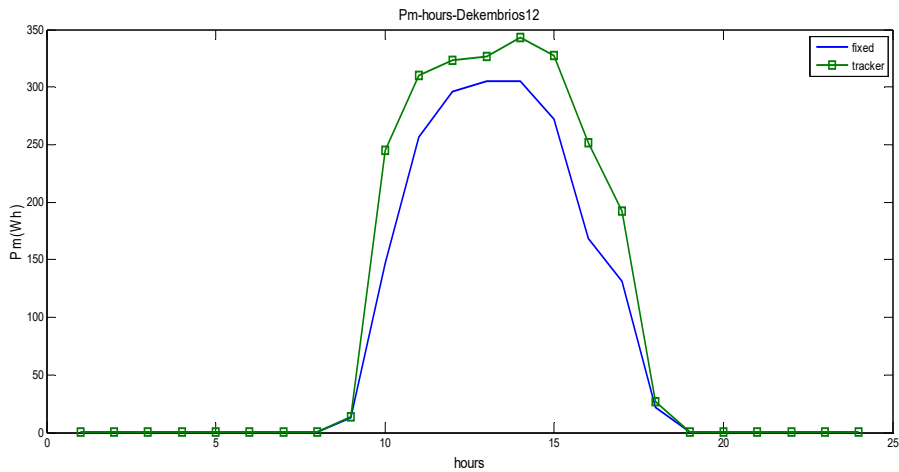
γεννήτρια στη τροχιά του ήλιου όπως είθισται να κάνει λόγω παρατεταμένης συννεφιάς όπως φαίνεται από το διάγραμμα ότι υπήρχε εκείνη την ημέρα. Αυτό το πρόβλημα αποτυπώνεται και στα διαγράμματα των χαρακτηριστικών καμπυλών I-V που αφορούν στις 11:00π.μ. και στις 12:00μ.μ (βλ. Διαγράμματα 5.75 και 5.76). Εκεί παρατηρείται ότι το γράφημα που αφορά τη σταθερή γεννήτρια παρουσιάζει μεγαλύτερο ρεύμα από ότι η κινητή και αυτό συμβαίνει επειδή εκείνες τις ώρες προσπίπτει στη σταθερή γεννήτρια μεγαλύτερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας. Στο γράφημα που δείχνει την χαρακτηριστική I-V στις 13:00μ.μ. η κινητή αποδίδει περισσότερο ρεύμα διότι εκείνη την ώρα προσπίπτει στη (Tracker) γεννήτρια μεγαλύτερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας.

## 5.2.12 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗΝΑ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟ

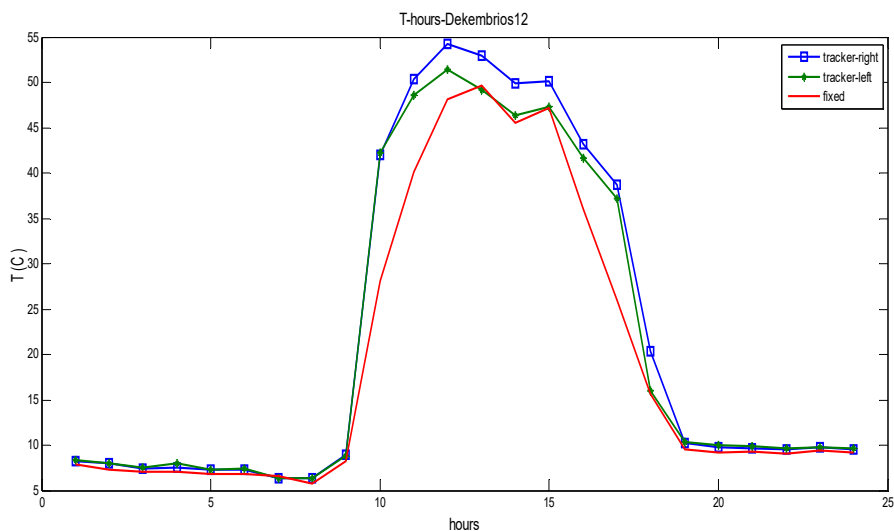
Για τον μήνα Δεκέμβριο παρουσιάζονται γραφήματα για την 12<sup>η</sup> ημέρα καθώς η 11<sup>η</sup> ημέρα (αντιπροσωπευτική) έχει ελλιπή δεδομένα, όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 5.1.



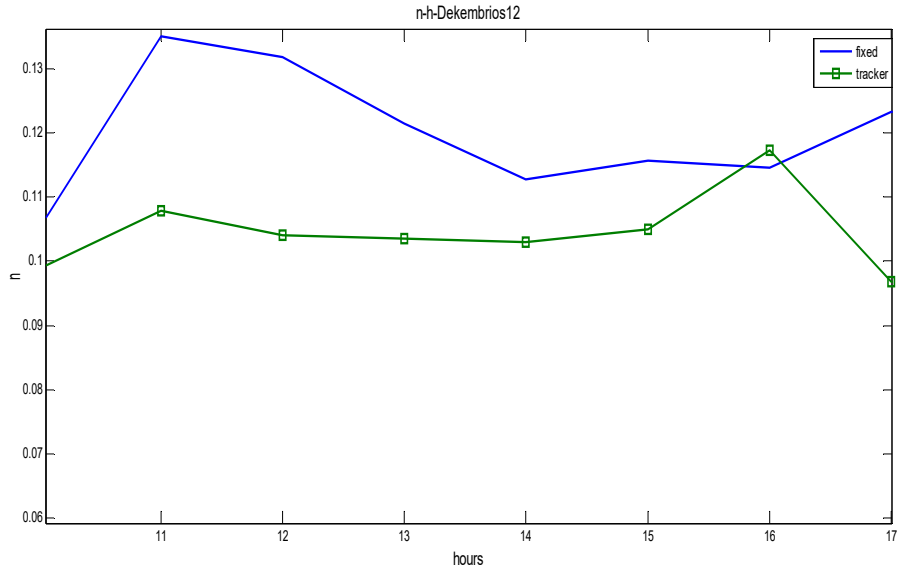
**Διάγραμμα 5.78:** Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας ( $I_T$ ) που προσπίπτει στο επίπεδο της κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσεως της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Δεκεμβρίου ( 12<sup>η</sup> ημέρα)



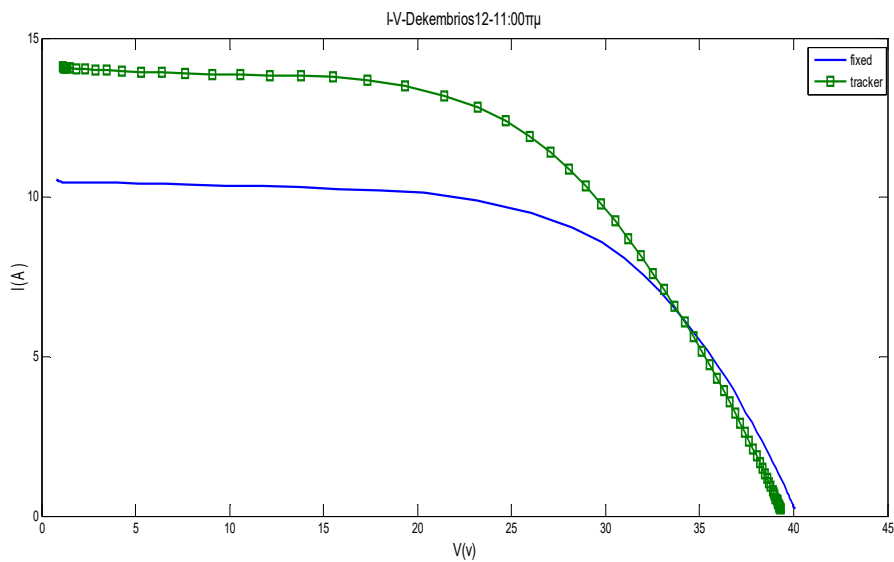
**Διάγραμμα 5.79:** Ισχύς αιχμής ( $P_m$ ) για την κάθε φωτοβολταϊκής γεννήτριες σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Δεκεμβρίου( 12<sup>η</sup> ημέρα)



**Διάγραμμα 5.80:** Θερμοκρασία  $T_{pv}$  που αναπτύσσεται στην κινητή (Tracker) φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο δεξί της και στο αριστερό της μέρος καθώς και η σταθερή (Fixed) γεννήτρια, συναρτήσει της ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Δεκεμβρίου( 12<sup>η</sup> ημέρα).



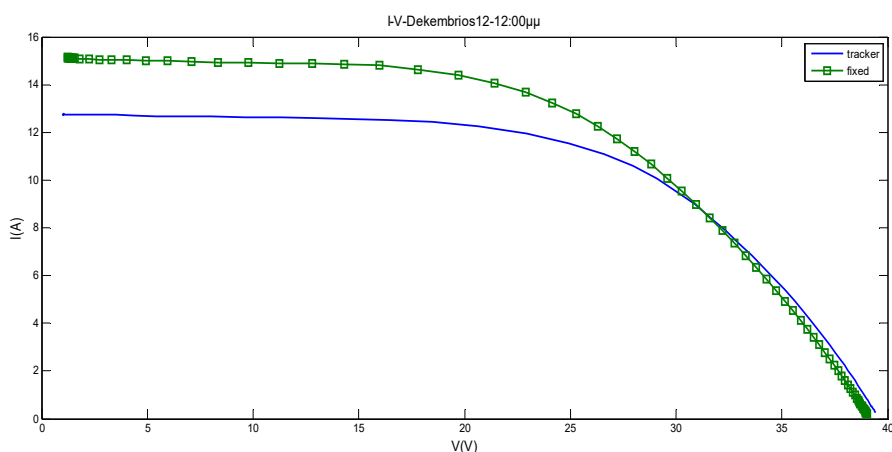
**Διάγραμμα 5.81:** Η απόδοση ( $\eta$ ) σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) συναρτήσει ώρας για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Δεκεμβρίου ( 12<sup>η</sup> ημέρα).



**Διάγραμμα 5.82:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Δεκεμβρίου ( 12<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ.

Πίνακας 5.36: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 12<sup>η</sup> ημέρα του Δεκεμβρίου και για την ώρα 11:00π.μ.

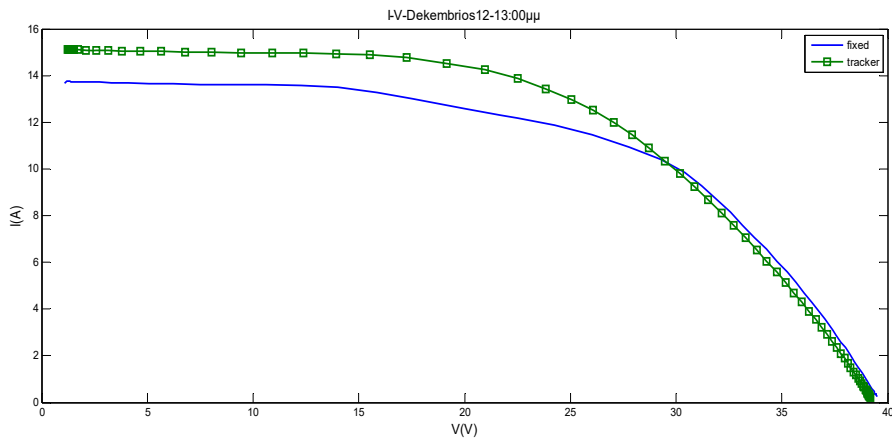
12/12/2014 (11:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	256, 3	309, 9
$I_{sc}(A)$	10, 5	14, 1
$V_{oc}(V)$	40	39, 3
$I_m(A)$	9, 2	13, 9
$V_m(V)$	30	25



Διάγραμμα 5.83: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Δεκεμβρίου ( 12<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 11:00π.μ 12:00μ.μ.

Πίνακας 5.37: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 12<sup>η</sup> ημέρα του Δεκεμβρίου και για την ώρα 12:00μ.μ

12/12/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	296, 2	322, 9
$I_{sc}(A)$	12, 7	15, 1
$V_{oc}(V)$	39, 4	39
$I_m(A)$	10, 8	14, 1
$V_m(V)$	29	24, 5



**Διάγραμμα 5.84:** Χαρακτηριστική καμπύλη I-V φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) για την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Δεκεμβρίου ( 12<sup>η</sup> ημέρα) και για την ώρα 13:00μ.μ.

**Πίνακας 5.38:** Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής γεννήτριας σταθερής (Fixed), κινητής (Tracker) 12<sup>η</sup> ημέρα του Δεκεμβρίου και για την ώρα 13:00μ.μ

12/12/2014 (12:00)	(FIXED)	(TRACKER)
$P_m(W)$	304, 7	326, 1
$I_{sc}(A)$	13, 7	15, 1
$V_{oc}(V)$	39, 5	39, 1
$I_m(A)$	10, 8	14
$V_m(V)$	28, 8	24, 8

Τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν την αντιπροσωπευτική ημέρα του μήνα Δεκεμβρίου δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες. Στο Διάγραμμα 5.80 φαίνεται καθαρά η σταθερή γεννήτρια έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από ότι την κινητή και ιδιαίτερα στις πρωινές και απογευματινές ώρες λόγω χαμηλότερης έντασης της ακτινοβολίας στην επιφάνεια της.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6° : ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ 2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

### 6.1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της ενεργειακής συμπεριφοράς των φωτοβολταϊκών γεννητριών ανά ημέρα του μήνα.

### 6.1.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΑΣΗ

Τα μεγέθη που έχουν εξαχθεί σε μηνιαία βάση για κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια είναι τα εξής: η ημερήσια ενέργεια ανά μήνα, η ημερήσια ακτινοβολία για κάθε μέρα του μήνα, η επίδοση για κάθε μέρα του μήνα, η ημερήσια απόδοση για κάθε μέρα του μήνα και η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών γεννητριών ανά ημέρα του μήνα. Οι τιμές των μεγεθών που θα παρουσιαστούν γραφικά για την άμεση σύγκριση της ενεργειακής συμπεριφοράς των δυο φωτοβολταϊκών γεννητριών.

### 6.1.3 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΑ ΜΗΝΑ

Η ενέργεια  $E(\text{Wh/day})$  που παράγει κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια είναι το άθροισμα της Ισχύς αιχμής  $P_m(\text{Wh})$ , δίνεται αριθμητικά ως το άθροισμα της ακτινοβολίας  $I_t(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2})$ .

$$E\left(\frac{\text{Wh}}{\text{day}}\right) = \sum_{\text{hsr}}^{\text{hss}} P_m(h) dh \quad dh = 1h \quad (6.1)$$

Από τα διαγράμματα Ενέργειας ανά ημέρα του μήνα αποδεικνύεται πως για τις δύο φωτοβολταϊκές γεννήτριες κινητή-σταθερή, η ενέργεια της κινητής είναι υψηλότερη από της σταθερής καθώς η γεννήτρια αυτή ακολουθεί την τροχιά του ηλίου κατά την διάρκεια της ημέρας με αποτέλεσμα να προσπίπτει μεγαλύτερη

ακτινοβολία στα πλαίσια της κινητής. Από τα διαγράμματα για την ενέργεια αναμένεται διαφορετική συμπεριφορά ανάμεσα σε χειμερινούς και καλοκαιρινούς μήνες, καθώς το χειμώνα αναμένεται χαμηλότερη ένταση της ακτινοβολίας σε αντίθεση με το καλοκαίρι που είναι πολύ μεγαλύτερη. Όσο αφορά τις δύο φωτοβολταϊκές γεννήτριες αναμένεται μεγαλύτερη τιμή της ενέργειας της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας σε σχέση με την σταθερή.

#### 6.1.4 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ

Η ημερήσια ακτινοβολία  $H_T \left( \frac{Wh}{m^2} \right)$  εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται στα πλαίσια των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Επειδή η γεννήτρια κινητής ακολουθεί την τροχιά του ήλιου στην διάρκεια της μέρας προσπίπτει ανάλογα με την μεγαλύτερη ακτινοβολία  $H_T = \sum I_T(h) dh$ . Άρα η καμπύλη της ακτινοβολίας της κινητής είναι υψηλότερη από της σταθερής.

#### 6.1.5 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΠΙΔΟΣΗ (Yield) ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ

Η επίδοση (Yield) αποτελείται από τον λόγο της ενέργεια  $E(Wh)$  που παράγει η φωτοβολταϊκή γεννήτρια προς την εγκαταστημένη ισχύ της (σε συνθήκες (STC) )  $P_{m, stc}$ .

$$Y = \frac{E(Wh)}{P_{m, stc}} \left( \frac{kWh}{kWp} \right) \quad (6.2)$$

Η ενέργεια που παράγει η κάθε γεννήτρια εξαρτάται από την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτή, αλλά και από την θερμοκρασία του πλαισίου που θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα, (βλέπε 6.1.7).

#### 6.1.6 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗ $\bar{n}_{pv}$ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ

Ο βαθμός απόδοσης ( $\bar{n}_{pv}$ ) υπολογίζεται από την ενέργεια στην επιφάνεια κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου, προς την επιφάνεια του πλαισίου πολλαπλασιασμένο με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολία  $H_T \left( \frac{Wh}{m^2} \right)$ .

$$\bar{n}_{pv} = \frac{E(Wh)}{Ac \cdot Ht \left( \frac{Wh}{m^2} \right)} \quad (6.3)$$

Η απόδοση τόσο της κινητής αλλά και της σταθερής φωτοβολταϊκή γεννήτριας εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Για αυτό τον λόγο αναμένεται μεγαλύτερη απόδοση της σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας τόσο τους χειμερινούς όσο και τους καλοκαιρινούς μήνες.

$$\frac{1}{nc} * \frac{dnc}{dTc} (-0,4 - 0,5) \frac{\%}{^{\circ}C} \quad (6.4)$$

Λόγω της παραπάνω εξίσωσης (6.4) υπάρχει μια μείωση της απόδοσης η λόγω της υπέρμετρης προσπίπτουσας ακτινοβολίας με μείωση της τάξης 4-5%.

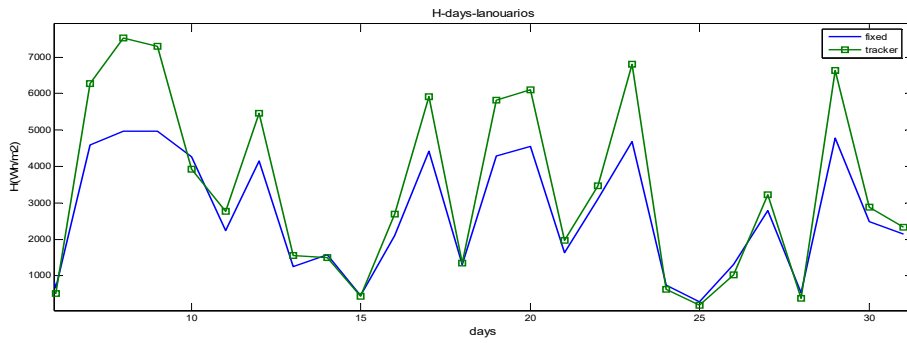
### 6.1.7 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ $T_c(^{\circ}C)$ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΑΝΑ ΗΜΕΡΕΣ/ΜΗΝΑ

Η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού  $T_{pv}(^{\circ}C)$  εξαρτάται άμεσα από την προσπίπτουσα ακτινοβολία  $I_T \left( \frac{Wh}{m^2} \right)$  καθώς όσο μεγαλύτερη η ένταση της, προσπίπτει η ακτινοβολία στα πλαίσια της φωτοβολταϊκής γεννήτριας τόσο υψηλότερη και η θερμοκρασία της. Η θερμοκρασία θα δοθεί μόνο για τις ώρες που έχουμε ακτινοβολία, έτσι ώστε να εξαχθούν καλύτερα συμπεράσματα για τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες τις ώρες για τις οποίες προσπίπτει στις επιφάνειες τους ακτινοβολία. Πρέπει να γίνει αναφορά στην κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια καθώς μετράται η θερμοκρασία στα δύο πλαίσια (Right-Left) όπου υπάρχει θερμοζεύγος (χαλκού-κωνσταντάνης) για την μέτρηση της θερμοκρασίας όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα (βλέπε ενότητα 4.1.3.2). Ακόμα είναι αναγκαίο να επισημανθεί πως τα διαγράμματα της θερμοκρασίας, απεικονίζουν την θερμοκρασία επάνω στα πλαίσια των γεννητριών μόνο για τις ώρες που προσπίπτει ακτινοβολία.

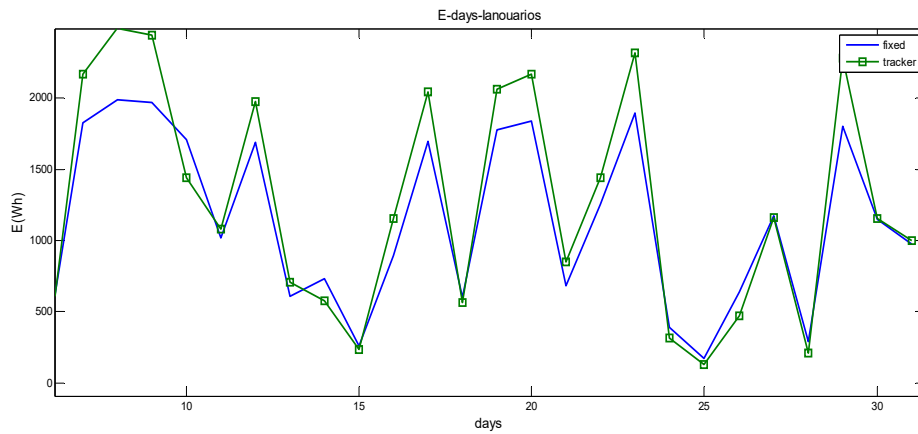
### 6.2.1 ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ

Σε αυτή την ενότητα απεικονίζονται γραφικά τα αποτελέσματα για τα μεγέθη  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $Yield=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ . Τον μήνα αυτό παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές στις καμπύλες των μεγεθών που παρουσιάζονται, καθώς ο Ιανουάριος αποτελεί χειμερινό μήνα και δεν υπάρχουν σταθερές καιρικές συνθήκες με αποτέλεσμα σε πολλές από τις ημέρες του χαμηλή ένταση της ακτινοβολίας στις φωτοβολταϊκές γεννήτριες που μελετώνται.

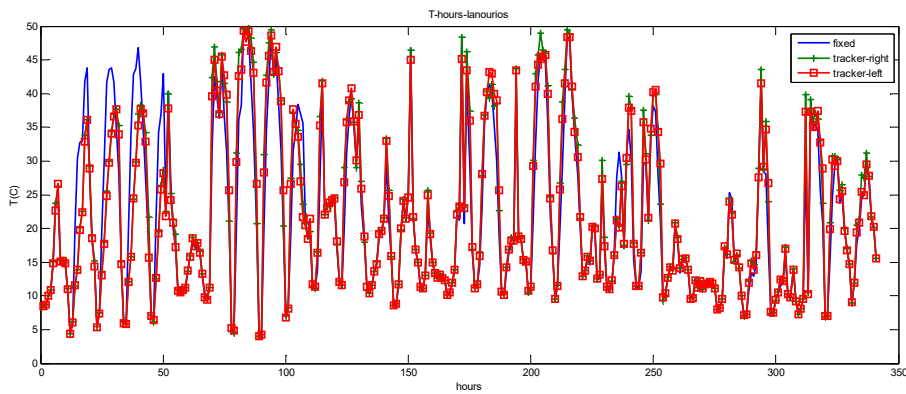




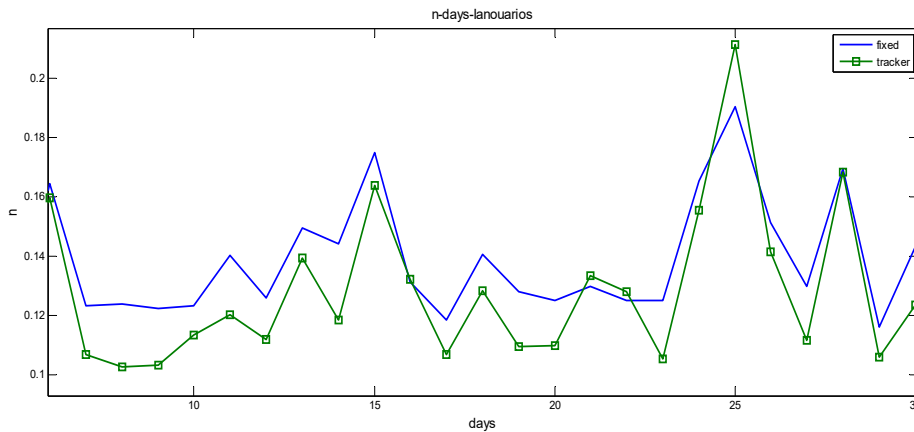
**Διάγραμμα 6.1:** Ημερήσια ακτινοβολία  $H_t$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Ιανουάριο



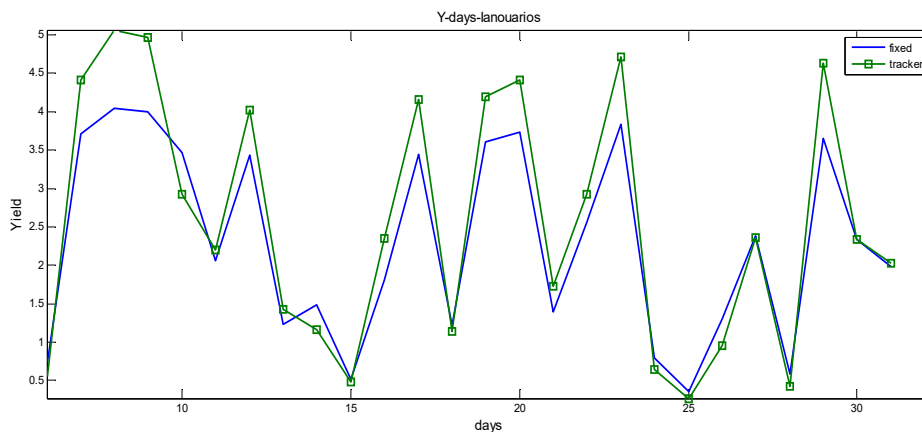
**Διάγραμμα 6.2:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Ιανουάριο



**Διάγραμμα 6.3:** Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας Τ συνάρτηση της ώρας για τον μήνα Ιανουάριο



**Διάγραμμα 6.4:** Ημερήσια απόδοση  $\eta$  της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Ιανουάριο



**Διάγραμμα 6.5:** Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Ιανουάριο

Στο διάγραμμα 6.4 της απόδοσης παρατηρείται ότι η σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια έχει μεγαλύτερη απόδοση κατά την διάρκεια του μήνα καθώς αναπτύσσεται μικρότερη θερμοκρασία στα πλαίσια της. Όμως την 25<sup>η</sup> ημέρα υπάρχει μια μεταβολή και η καμπύλη της κινητής γεννήτριας όπου ξεπερνάει αυτή της σταθερής όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα (βλ. 6.1.2.3). Η απόδοση ( $\eta$ ) εξαρτάται από την προσπίπτουσα ημερήσια ακτινοβολία  $H_T$ . Εξετάζοντας το γράφημα της ακτινοβολίας που αναφέρθηκε (βλέπε σχήμα 6.1) διαπιστώνεται ότι εκείνη την ημέρα η ένταση της ακτινοβολίας ήταν σε πολύ χαμηλό επίπεδο, αυτό θεωρείται φυσιολογικό για τον συγκεκριμένο μήνα καθώς υπάρχουν ραγδαίες μεταβολές στις καιρικές συνθήκες τους χειμερινούς μήνες. Αν εξεταστεί το διάγραμμα της ακτινοβολίας παρατηρείται μεγαλύτερη ακτινοβολία κατά την διάρκεια του μήνα στην κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Είναι σημαντικό να τονιστεί πώς τις έξι πρώτες μέρες του μήνα η ακτινοβολία της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι μικρότερη

από της σταθερής, πράγμα το οποίο αιτιολογείται από τις ακραίες μεταβολές των καιρικών συνθηκών τους χειμερινούς μήνες. Την ίδια ακριβώς συμπεριφορά παρατηρείται από την μελέτη της ημερήσιας ενέργειας. Μελετώντας το διάγραμμα 6.3 για την θερμοκρασία των πλαισίων διαπιστώνεται εύκολα πως η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια έχει μεγαλύτερη τιμή τόσο στο αριστερό αλλά και στο δεξιό της πλαίσιο. Αν εξεταστεί προσεχτικά το διάγραμμα αυτό από την 20<sup>η</sup> έως την 40<sup>η</sup> ώρα διακρίνεται μεγαλύτερη τιμή της σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Η ημερήσια επίδοση κατά την διάρκεια του μήνα έχει μεγαλύτερη τιμή η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια καθώς εξαρτάται από την ένταση της ακτινοβολίας. Σε αυτό οφείλεται και η πτωτική συμπεριφορά τις έξι πρώτες ώρες του μήνα όπως και στο διάγραμμα 6.1 για την ημερήσια ακτινοβολία.

**Πίνακας 6.1: Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Ιανουάριο**

$E_{(Fixed)}(Wh)$	$E_{(Tracker)}(Wh)$	$H_{(Fixed)}\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$	$H_{(Tracker)}\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$
<b>12.23*10<sup>2</sup></b>	<b>11.6*10<sup>2</sup></b>	<b>29.43*10<sup>2</sup></b>	<b>30.86*10<sup>2</sup></b>

**Πίνακας 6.2: Μέση ημερήσια απόδοση Ιανουαρίου**

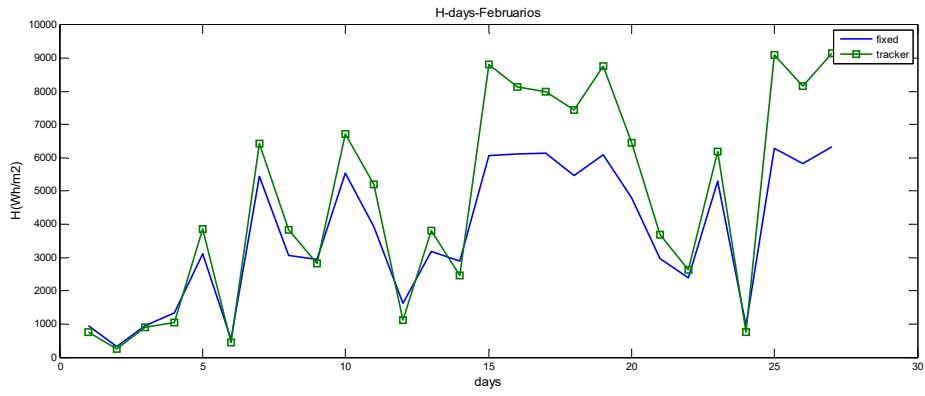
$\eta_{(Fixed)}$	$\eta_{(Tracker)}$
<b>0.137</b>	<b>0.128</b>

**Πίνακας 6.3: Μέση μηνιαία ημερήσια επίδοση για τον Ιανουάριο**

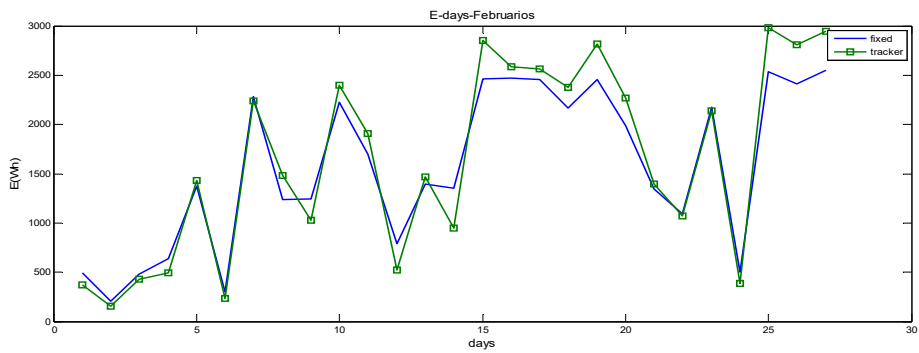
$Y_{(Fixed)}\left(\frac{KWh}{KWp}\right)$	$Y_{(Tracker)}\left(\frac{KWh}{KWp}\right)$
<b>2.407</b>	<b>2.252</b>

## 6.2.2 ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

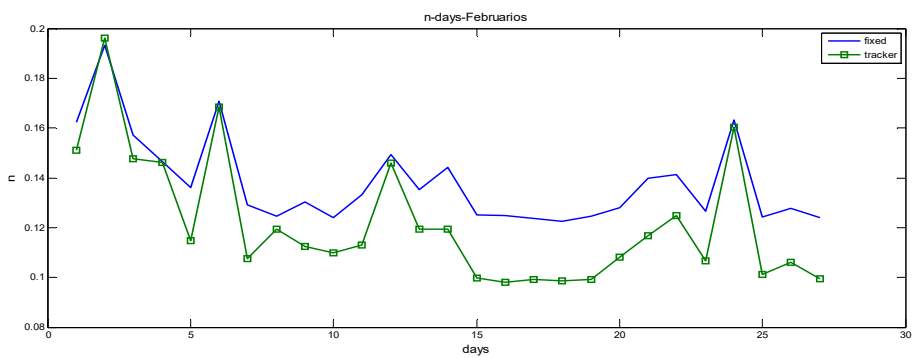
Σε αυτή την ενότητα θα απεικονιστούν γραφικά τα αποτελέσματα για τα μεγέθη  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $Yield=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ .



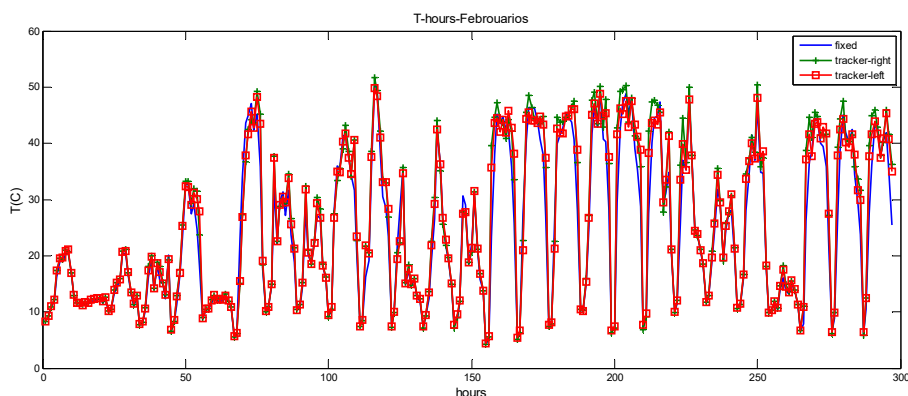
**Διάγραμμα 6.6:** Ημερήσια ακτινοβολία  $H_t$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Φεβρουάριο



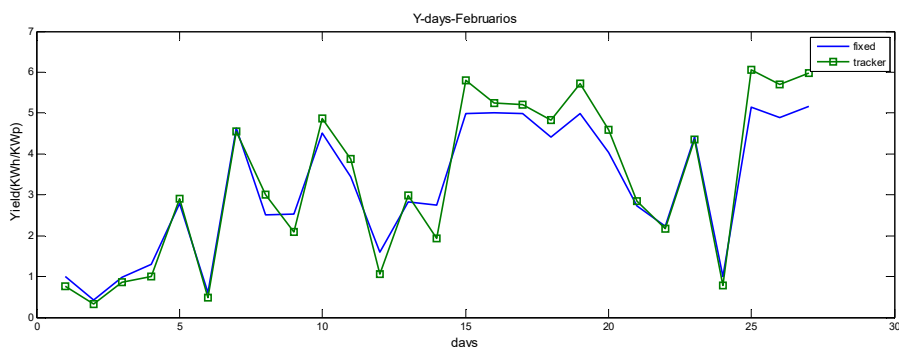
**Διάγραμμα 6.7:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Φεβρουάριο



**Διάγραμμα 6.9: Ημερήσια απόδοση η της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Φεβρουάριο**



**Διάγραμμα 6.8: Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας Τσυνάρτηση της ώρας για τον μήνα Φεβρουάριο**



**Διάγραμμα 6.10: Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Φεβρουάριο**

Τα παραπάνω διαγράμματα που αφορούν τον μήνα Φεβρουάριο δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τον προηγούμενο μήνα χωρίς μεταβολές στα διαγράμματα λόγω μεταβολής των καιρικών συνθηκών.

**Πίνακας 6.4: Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Φεβρουάριο**

$E_{(Fixed)} (Wh)$	$E_{(Tracker)} (Wh)$	$H_{(Fixed)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$	$H_{(Tracker)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$
$15.10 \cdot 10^2$	$15.82 \cdot 10^2$	$35.76 \cdot 10^2$	$45.32 \cdot 10^2$

**Πίνακας 6.5: Μέση ημερήσια απόδοση Φεβρουάριου**

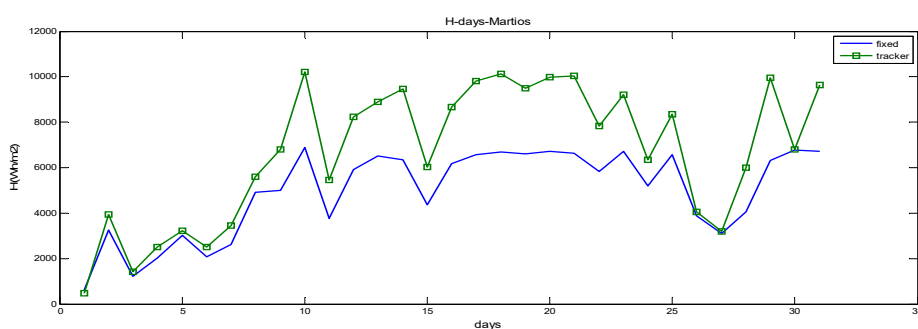
$\eta_{(Fixed)}$	$\eta_{(Tracker)}$
<b>0.137</b>	<b>0.128</b>

Πίνακας 6.6: Μέση μηνιαία ημερήσια επίδοση για τον Φεβρουάριο

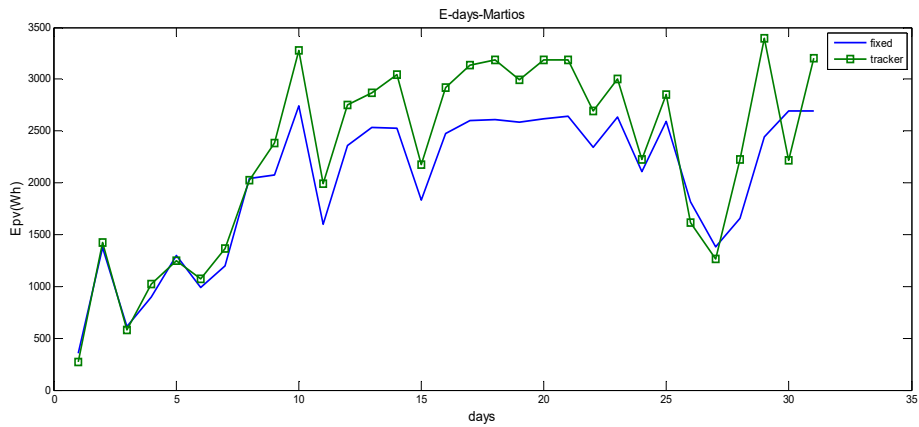
$Y_{(Fixed)} \left( \frac{KWh}{KWp} \right)$	$Y_{(Tracker)} \left( \frac{KWh}{KWp} \right)$
<b>3.179</b>	<b>3.333</b>

### 6.2.3 ΜΑΡΤΙΟΣ

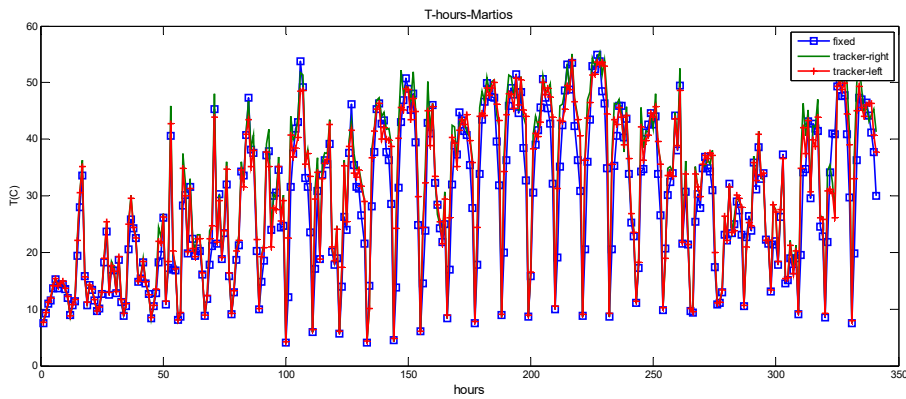
Στην ενότητα αυτή γίνεται γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων για τα μεγέθη  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $Yield=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ . Ο Μάρτιος ως πρώτος μήνας της άνοιξης αναμένεται να παρουσιάσει μικρότερες μεταβολές στις καμπύλες των γραφημάτων που θα παρουσιαστούν πιο κάτω, αλλά και πάλι θα έχουμε μεταβολές στις καμπύλες λόγω των μεταβολών των καιρικών συνθηκών. Κάποιοι από αυτές που επηρεάζουν τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες, έχουν αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο αναλυτικότερα. Όμως σημαντικό είναι να αναφερθεί πως ο άνεμος και η συννεφιά επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων.



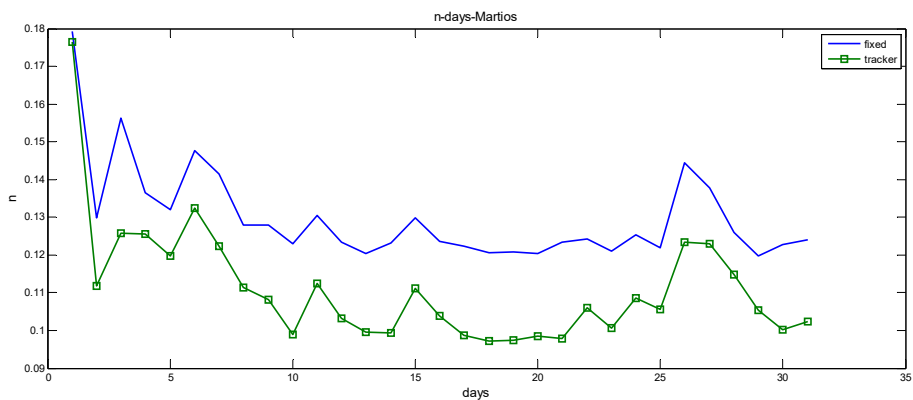
Διάγραμμα 6.11: Ημερήσια ακτινοβολία  $H_T$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Μάρτιο



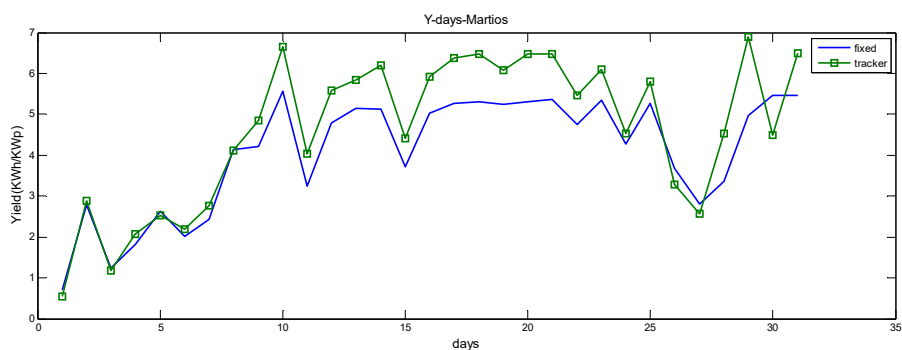
**Διάγραμμα 6.12:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Μάρτιο



**Διάγραμμα 6.13:** Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συνάρτηση της ώρας για τον μήνα Μάρτιο



**Διάγραμμα 6.14:** Ημερήσια απόδοση  $\eta$  της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Μάρτιο



**Διάγραμμα 6.15: Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Μάρτιο**

Το διάγραμμα για την απόδοση έχει φυσιολογική συμπεριφορά δηλαδή κατά την διάρκεια του μήνα οι τιμές της απόδοσης είναι μεγαλύτερες για την σταθερή από την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Πρέπει να τονιστεί η μεγάλη διαφορά την τιμή της απόδοσης ανάμεσα σε δύο γεννήτριες το οποίο οφείλεται την μεγάλη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα πλαίσια της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας όπου διακρίνεται και στο διάγραμμα 6.13 για την θερμοκρασία. Όσον αφορά τα υπόλοιπα διαγράμματα των μεγεθών για τον μήνα Μάρτιο δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.

**Πίνακας 6.7: Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Μάρτιο**

$E_{(Fixed)} (Wh)$	$E_{(Tracker)} (Wh)$	$H_{(Fixed)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$	$H_{(Tracker)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$
$20.09 \cdot 10^2$	$22.83 \cdot 10^2$	$48.38 \cdot 10^2$	$66.77 \cdot 10^2$

**Πίνακας 6.8: Μέση ημερήσια απόδοση Μάρτιο**

$\eta_{(Fixed)}$	$\eta_{(Tracker)}$
<b>0.129</b>	<b>0.111</b>

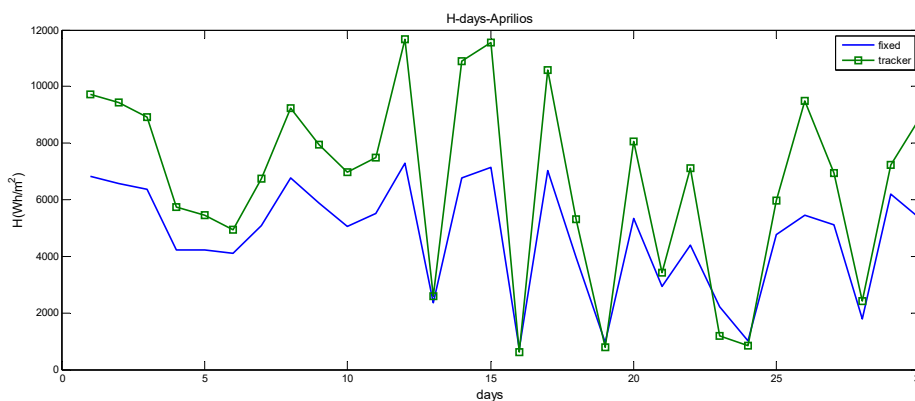
**Πίνακας 6.9: Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Μάρτιο**



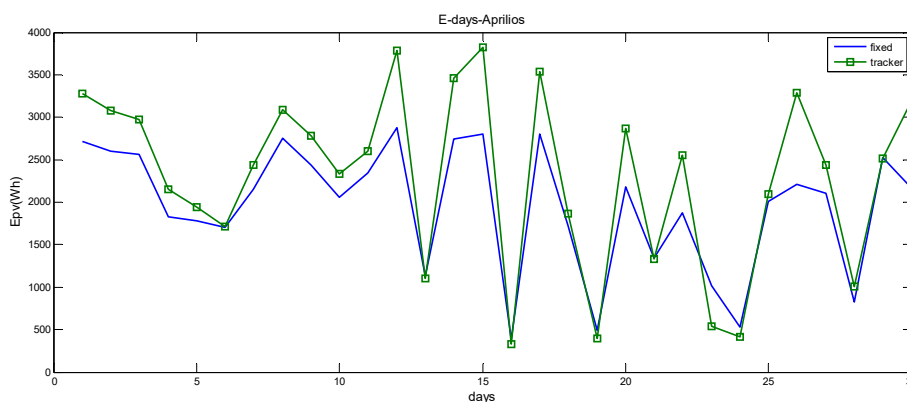
$Y_{(Fixed)} \left( \frac{KWh}{KWp} \right)$	$Y_{(Tracker)} \left( \frac{KWh}{KWp} \right)$
3.179	3.333

### 6.2.4 ΑΠΡΙΛΙΟΣ

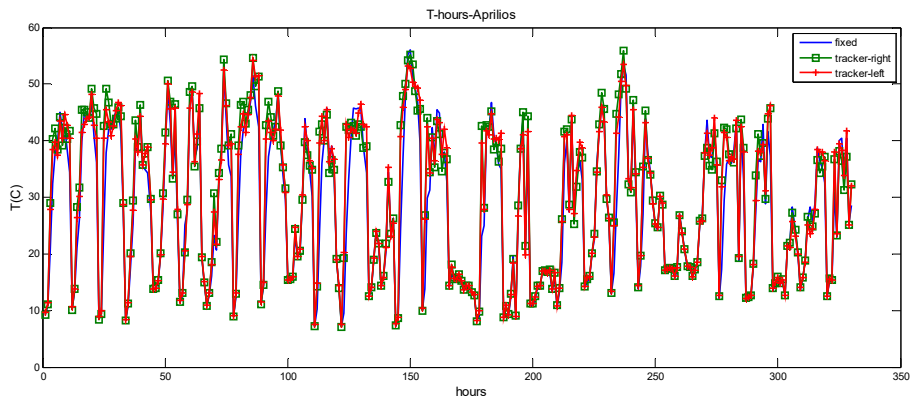
Στην ενότητα αυτή θα παρασταθούν γραφικά και θα εξεταστούν τα αποτελέσματα των μεγεθών  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $Yield=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ . Ο Απρίλιος σαν μήνας αναμένεται να είναι πιο σταθερός από τον Μάρτιο καθώς βαίνουμε προς το καλοκαίρι και σταθεροποιούνται οι καιρικές συνθήκες και η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αυξάνεται.



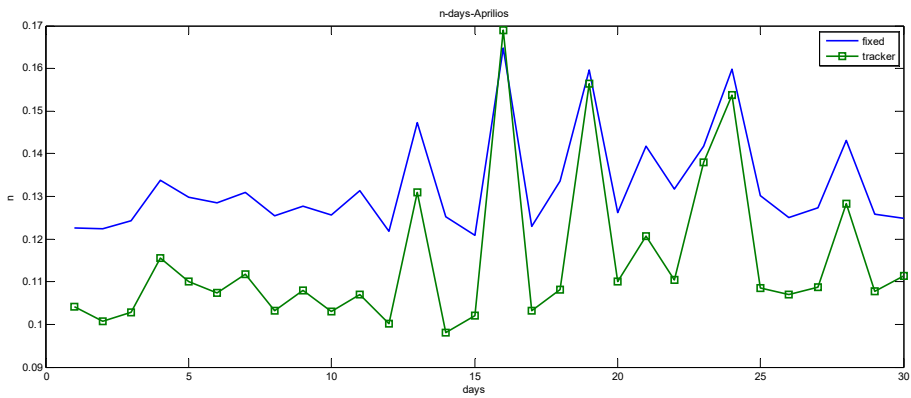
**Διάγραμμα 6.16:** Ημερήσια ακτινοβολία  $H_T$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Απρίλιο



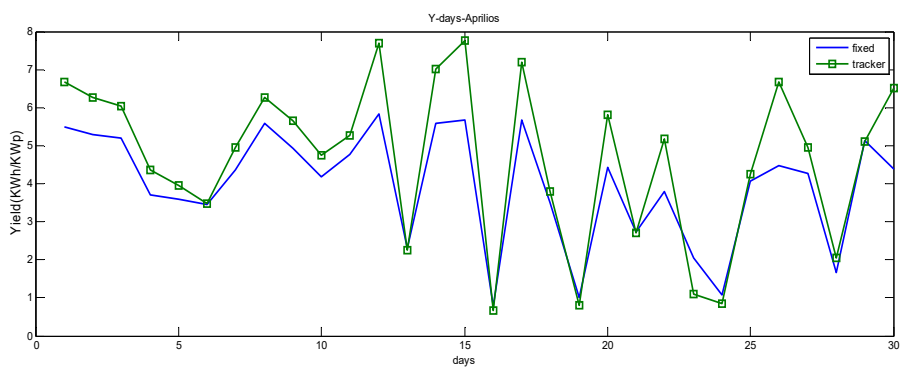
**Διάγραμμα 6.17:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Απρίλιο



**Διάγραμμα 6.18:** Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας T συναρτήσει της ώρας για τον μήνα Απρίλιο



**Διάγραμμα 6.19:** Ημερήσια απόδοση η της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Απρίλιο



**Διάγραμμα 6.20:** Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Απρίλιο

Στο διάγραμμα  $\eta=f(\text{day})$  που αφορά την απόδοση των δυο γεννητριών που μελετώντας την 16<sup>η</sup> ημέρα του μήνα η κινητής γεννήτρια ξεπερνάει αυτή της σταθερής λόγω μεγαλύτερης θερμοκρασίας την ημέρα εκείνη της σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας όπως φαίνεται το διάγραμμα 6.18 για την θερμοκρασία. Όσον αφορά τα υπόλοιπα διαγράμματα των μεγεθών για τον μήνα Μάρτιο δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.

**Πίνακας 6.10: Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Απρίλιο**

$E_{(\text{Fixed})} (\text{Wh})$	$E_{(\text{Tracker})} (\text{Wh})$	$H_{(\text{Fixed})} \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right)$	$H_{(\text{Tracker})} \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right)$
$20.20 \cdot 10^2$	$23.75 \cdot 10^2$	$48.27 \cdot 10^2$	$68.27 \cdot 10^2$

**Πίνακας 6.11: Μέση ημερήσια απόδοση Απρίλιο**

$\eta_{(\text{Fixed})}$	$\eta_{(\text{Tracker})}$
<b>0.132</b>	<b>0.114</b>

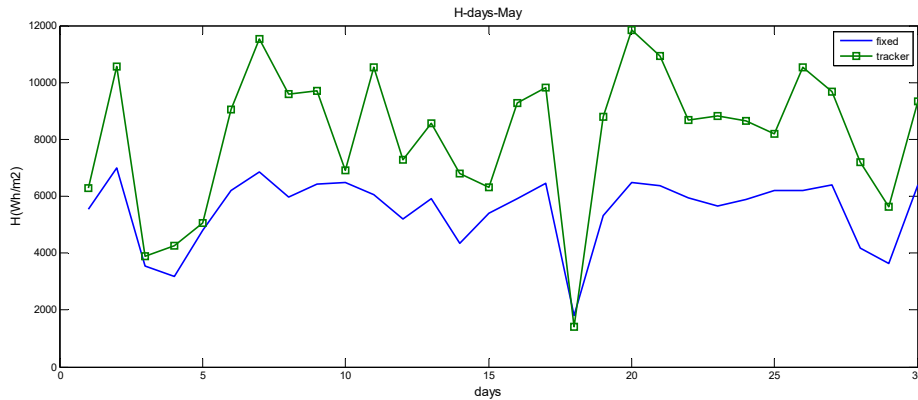
**Πίνακας 6.12: Μέση μηνιαία ημερήσια επίδοση για τον Απρίλιο**

$Y_{(\text{Fixed})} \left(\frac{\text{KWh}}{\text{KWp}}\right)$	$Y_{(\text{Tracker})} \left(\frac{\text{KWh}}{\text{KWp}}\right)$
<b>3.967</b>	<b>4.668</b>

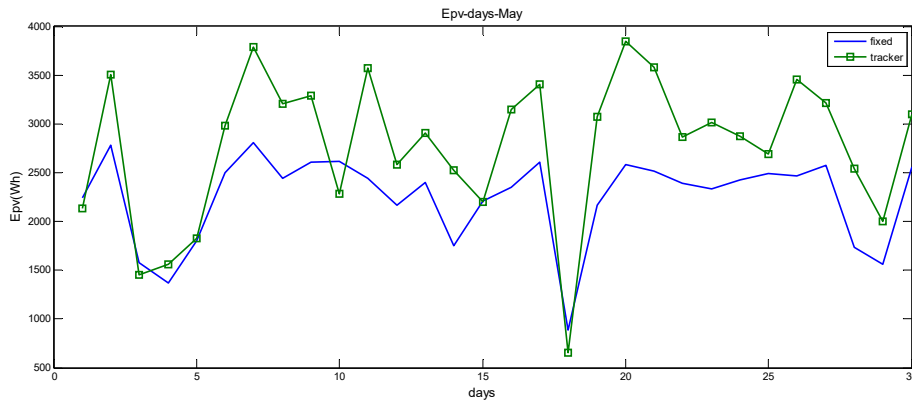
### 6.2.5 ΜΑΙΟΣ

Ο μήνας Μάιος θεωρείται ένας από τους σταθερούς μήνες με βάση την ένταση της ακτινοβολίας καθώς είναι ο μήνας που προηγείται του καλοκαιριού και αναμένεται μια σταθερή διακύμανση των γραφημάτων. Στην ενότητα αυτή θα παρασταθούν

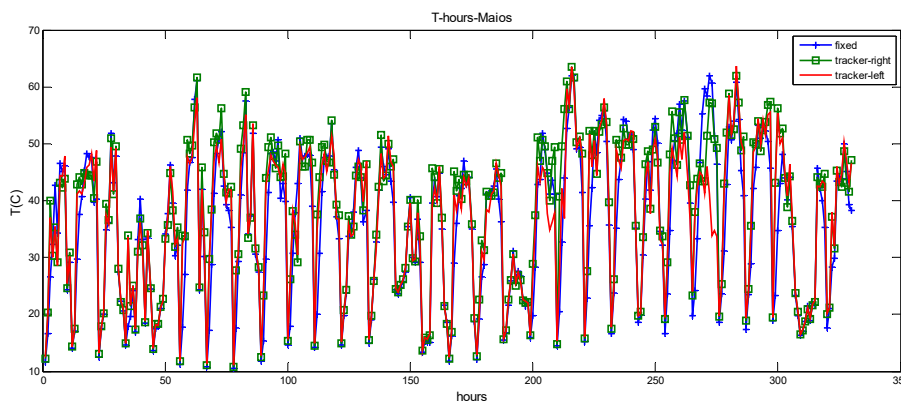
γραφικά και θα εξεταστούν τα αποτελέσματα των μεγεθών  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $\text{Yield}=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ .



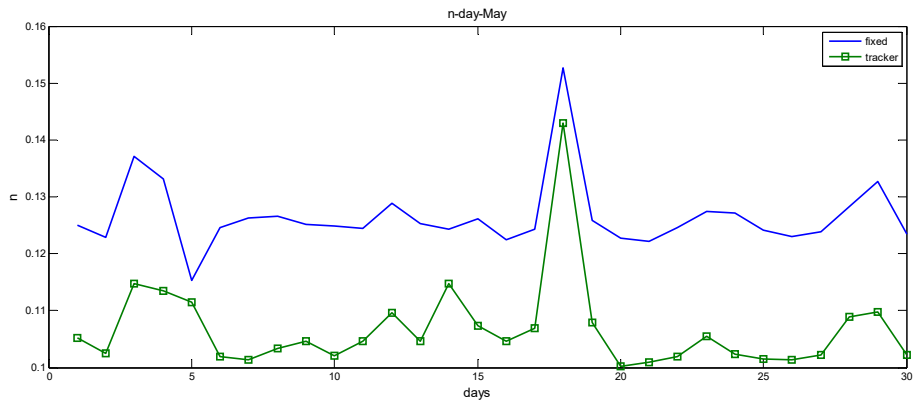
**Διάγραμμα 6.21:** Ημερήσια ακτινοβολία  $H_T$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Μάιο



**Διάγραμμα 6.22:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Μάιο

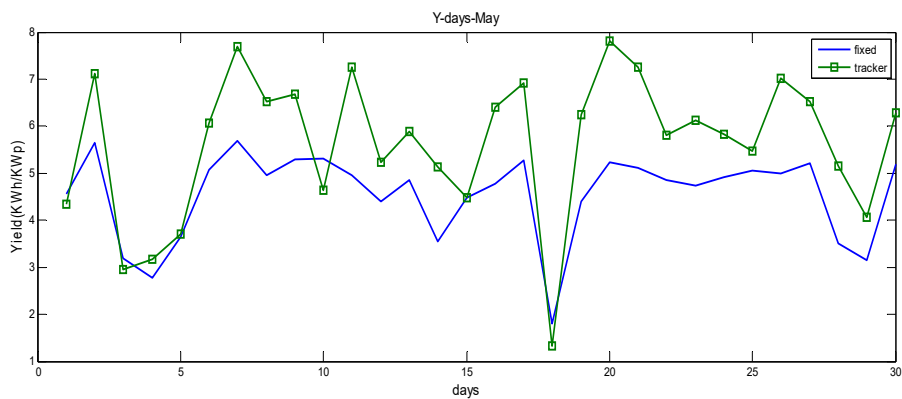


**Διάγραμμα 6.23:** Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας Τσυνάρτηση της ώρας για τον μήνα Μάιο



**Διάγραμμα 6.24:** Ημερήσια απόδοση η της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Μάιο

Το διάγραμμα της απόδοσης έχει φυσιολογική συμπεριφορά δηλαδή οι τιμές της απόδοσης της σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι μεγαλύτερη από την κινητή. Την 18<sup>η</sup> μέρα η απόδοση της κινητής γεννήτριας είναι υψηλότερη από την σταθερή λόγω μεγαλύτερη θερμοκρασίας στα πλαίσια της σταθερής γεννήτριας. Όσον αφορά τα υπόλοιπα διαγράμματα των μεγεθών για τον μήνα Μάρτιο δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.



**Διάγραμμα 6.25:** Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Μάιο.

**Πίνακας 6.13:** Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Μάιο

$E_{(Fixed)} (Wh)$	$E_{(Tracker)} (Wh)$	$H_{(Fixed)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$	$H_{(Tracker)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$
$22.43 \cdot 10^2$	$27.73 \cdot 10^2$	$55 \cdot 10^2$	$81.6 \cdot 10^2$

Πίνακας 6.14: Μέση ημερήσια απόδοση Μάιου

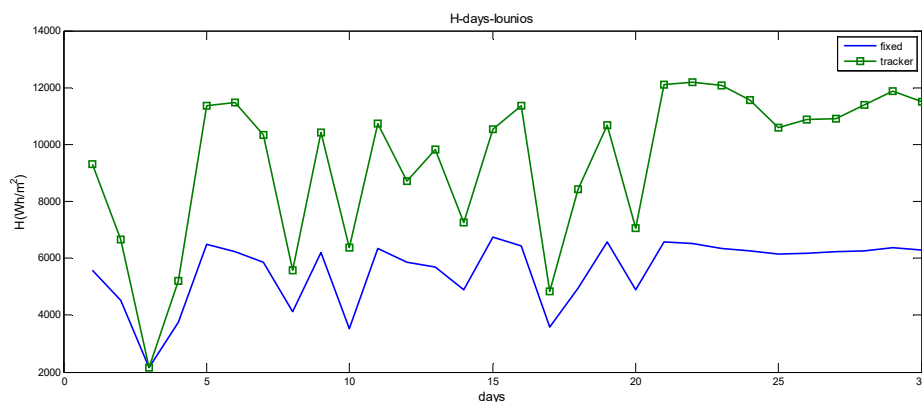
$\eta_{(Fixed)}$	$\eta_{(Tracker)}$
0.126	0, 106

Πίνακας 6.15: Μέση μηνιαία ημερήσια επίδοση για τον Μάιο

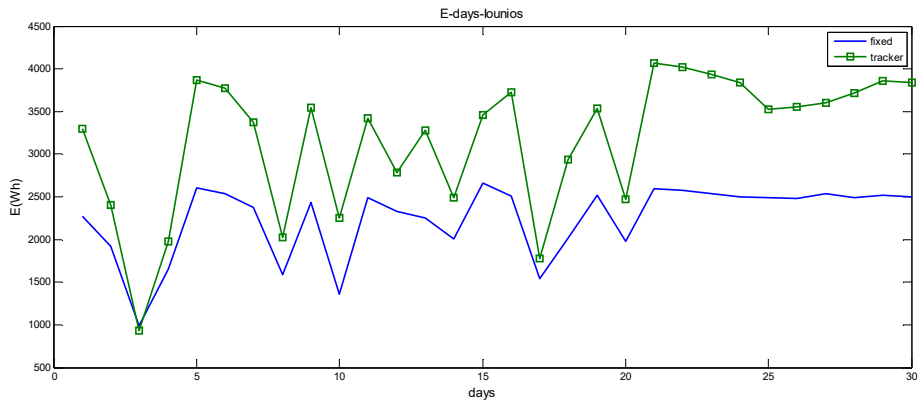
$Y_{(Fixed)} \left( \frac{KWh}{KWp} \right)$	$Y_{(Tracker)} \left( \frac{KWh}{KWp} \right)$
4.553	5.637

### 6.2.6 ΙΟΥΝΙΟΣ

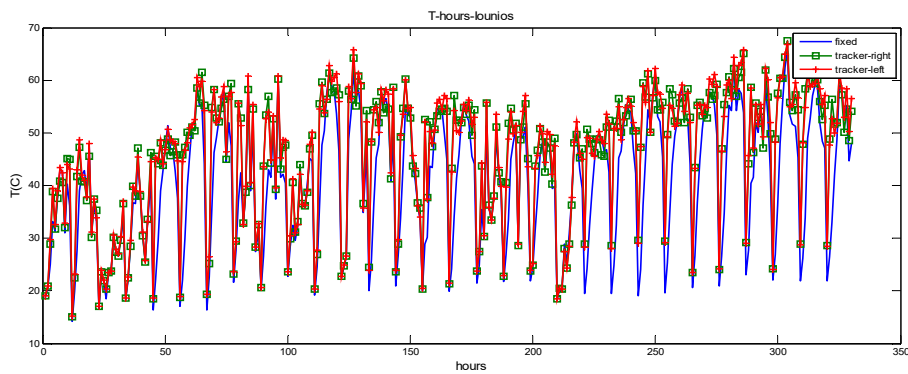
Κατά τον μήνα αυτό θα παρασταθούν γραφικά τα παρακάτω διαγράμματα που αφορούν τα μεγέθη που μελετούνται  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E= f(\text{day})$ ,  $Yield= f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ . Τον μήνα αυτό αναμένεται μια σταθερή συμπεριφορά με μεγάλες τιμές στα μεγέθη που μελετώνται.



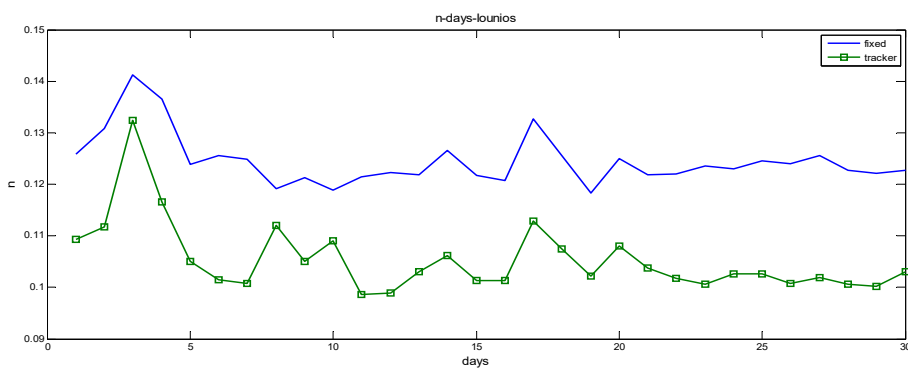
Διάγραμμα 6.26: Ημερήσια ακτινοβολία  $H_T$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Ιούνιο



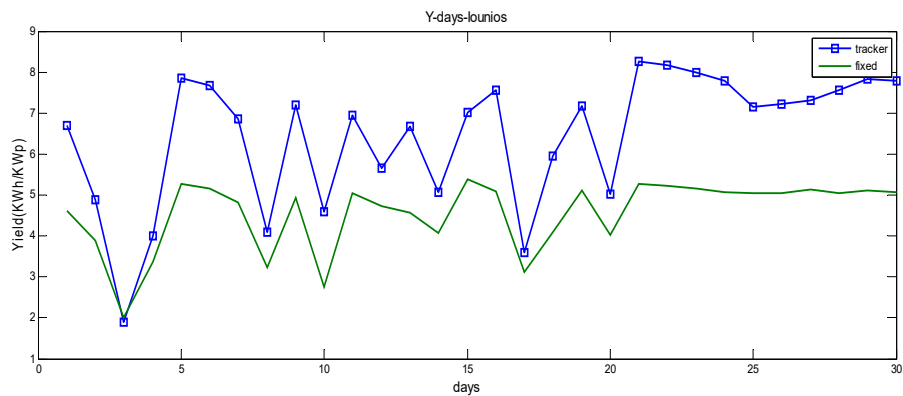
**Διάγραμμα 6.27:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Ιούνιο



**Διάγραμμα 6.28:** Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας  $T$  συναρτήσει της ώρας για τον μήνα Ιούνιο



**Διάγραμμα 6.29:** Ημερήσια απόδοση  $\eta$  της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Ιούνιο



**Διάγραμμα 6.30: Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Ιούνιο**

Η απόδοση για τον μήνα Ιούνιο έχει τιμές μεγαλύτερες για την σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια καθώς έχει μικρότερη θερμοκρασία στα πλαίσια της όπως έχει γίνει αναφορά και σε προηγούμενες ενότητες. Για τα γραφήματα που προηγούνται  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ , καθώς και για αυτό της επίδοσης  $Yield=f(\text{day})$ , διαπιστώνεται η αύξηση στα μεγέθη που μελετούνται, αλλά παρά την είσοδο του καλοκαιριού την 3<sup>η</sup> ημέρα εντοπίζεται μια πτωτική συμπεριφορά στις καμπύλες, λογικά λόγω μεταβολής των καιρικών συνθηκών. Δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.

**Πίνακας 6.16: Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Ιούνιο**

$E_{(\text{Fixed})} (\text{Wh})$	$E_{(\text{Tracker})} (\text{Wh})$	$H_{(\text{Fixed})} \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right)$	$H_{(\text{Tracker})} \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right)$
$22.4 \cdot 10^2$	$31.7 \cdot 10^2$	$55.6 \cdot 10^5$	$94.3 \cdot 10^2$

**Πίνακας 6.17: Μέση ημερήσια απόδοση Ιουνίου**

$\eta_{(\text{Fixed})}$	$\eta_{(\text{Tracker})}$
<b>0.124</b>	<b>0.105</b>

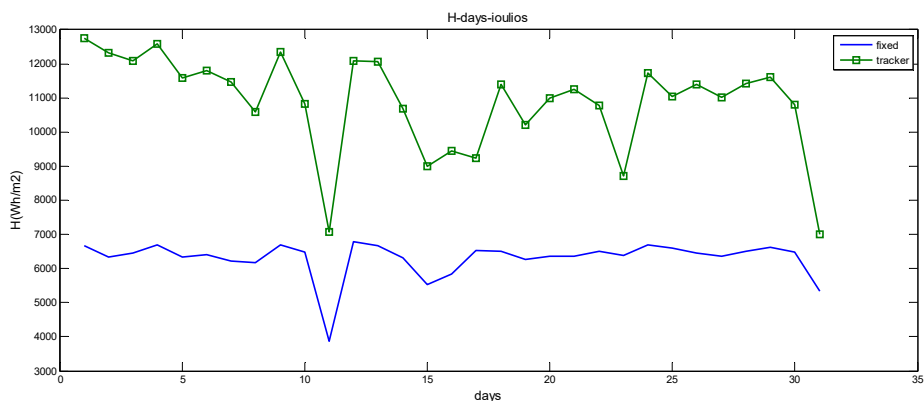
**Πίνακας 6.18: Μέση μηνιαία ημερήσια επίδοση για τον Ιούνιο**



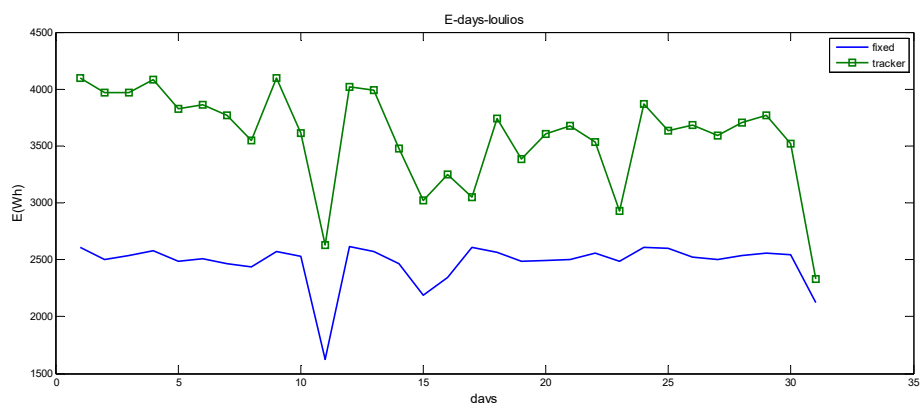
$Y_{(Fixed)} \left( \frac{KWh}{KWp} \right)$	$Y_{(Tracker)} \left( \frac{KWh}{KWp} \right)$
4.54	6.45

## 6.2.7 ΙΟΥΛΙΟΣ

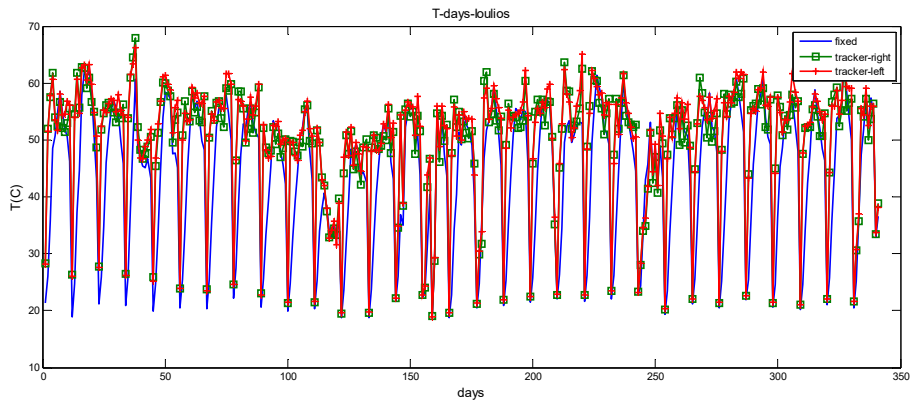
Στο μήνα αυτό παρουσιάζονται τα εξής μεγέθη τόσο γραφικά αλλά και αριθμητικά,  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $Yield=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ . Τον Ιούλιο που είναι ο δεύτερος μήνας του καλοκαιριού τα γραφήματα που θα απεικονιστούν αναμένεται να έχουν πολύ σταθερή συμπεριφορά στην ακτινοβολία, η οποία επηρεάζει όλα τα μεγέθη που μελετούνται.



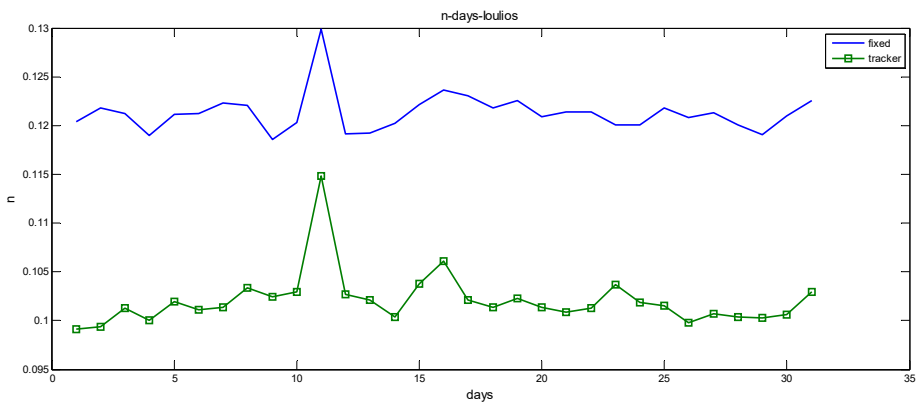
**Διάγραμμα 6.31:** Ημερήσια ακτινοβολία  $H_T$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Ιούλιο



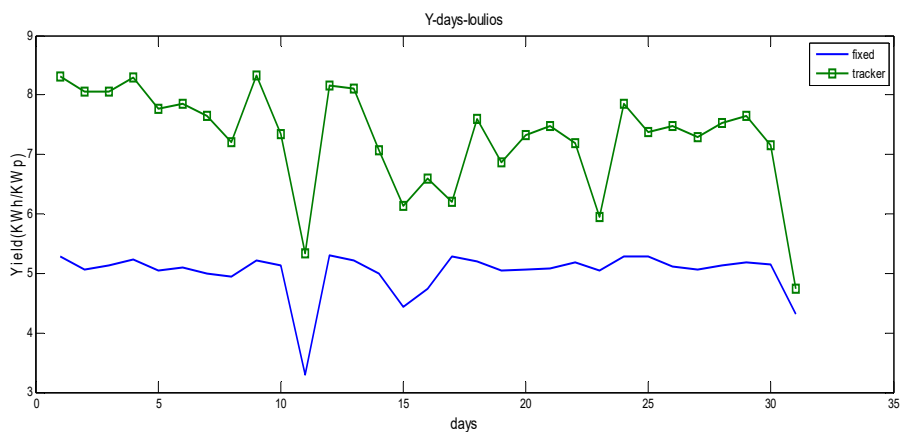
**Διάγραμμα 6.32:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Ιούλιο



**Διάγραμμα 6.33:** Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας  $T$  συναρτήσει της ώρας για τον μήνα Ιούλιο



**Διάγραμμα 6.34:** Ημερήσια απόδοση  $\eta$  της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Ιούλιο



**Διάγραμμα 6.35:** Ημερήσια επίδοση  $Yield$ , της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Ιούλιο

Όσον αφορά τα διαγράμματα των μεγεθών για τον μήνα Ιούλιο δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.

**Πίνακας 6.19: Αποτελέσματα αθροιστικά ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Ιούλιο**

$E_{(Fixed)} (Wh)$	$E_{(Tracker)} (Wh)$	$H_{(Fixed)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$	$H_{(Tracker)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$
<b><math>24.7 \cdot 10^2</math></b>	<b><math>35.8 \cdot 10^2</math></b>	<b><math>62.9 \cdot 10^2</math></b>	<b><math>108.7 \cdot 10^2</math></b>

**Πίνακας 6.20: Αποτελέσματα μέσης απόδοσης Ιούλιο (Σταθερής-Κινητής)**

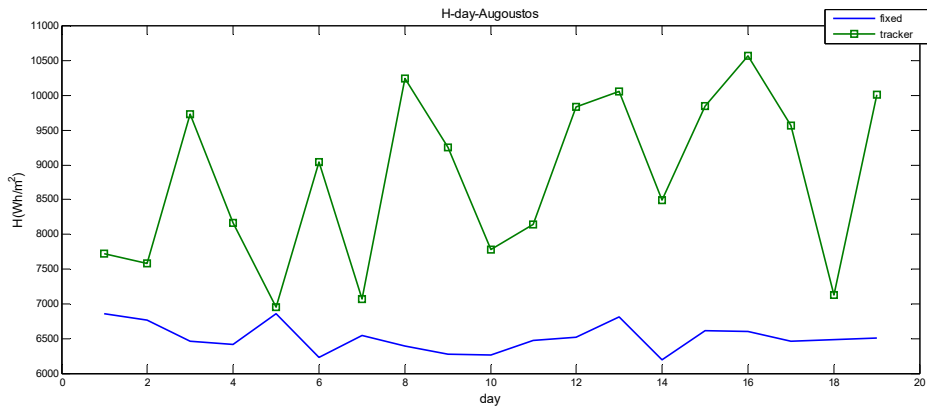
$\eta_{(Fixed)}$	$\eta_{(Tracker)}$
<b>0.12</b>	<b>0.10</b>

**Πίνακας 6.21: Αποτελέσματα μέσης επίδοσης Ιούλιο (Σταθερής-Κινητής)**

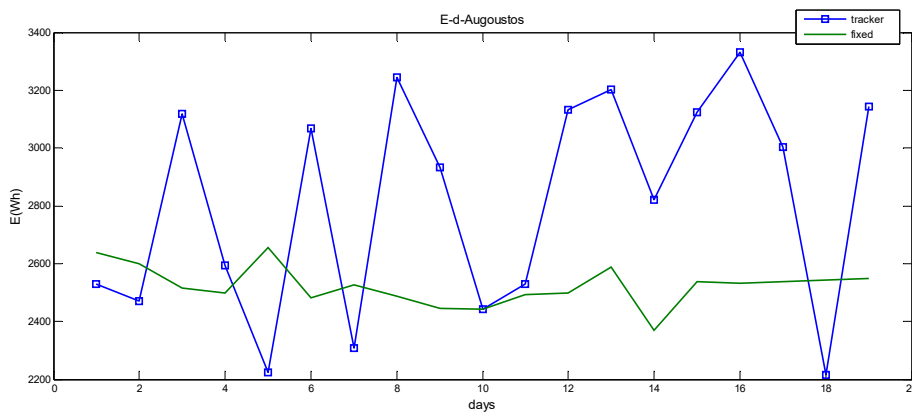
$Y_{(Fixed)} \left(\frac{KWh}{KWp}\right)$	$Y_{(Tracker)} \left(\frac{KWh}{KWp}\right)$
<b>5.02</b>	<b>7.28</b>

## 6.2.8 ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ

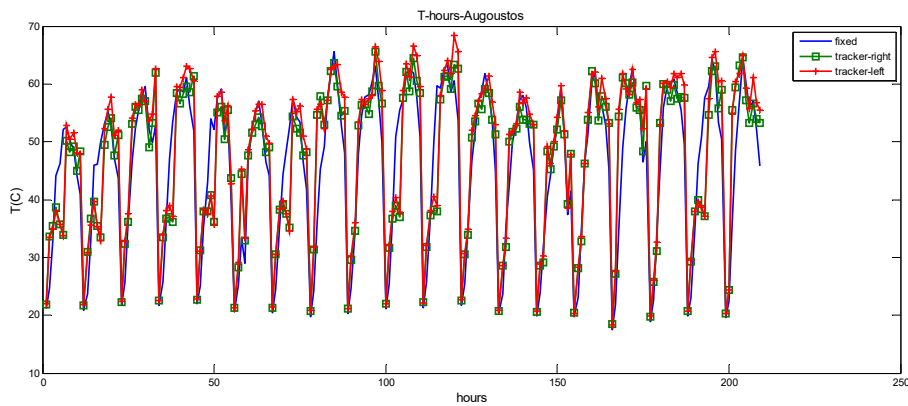
Τον τελευταίο μήνα του καλοκαιριού, θα παρουσιαστούν τα πιο σταθερά γραφήματα από άποψη έντασης προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αυτό θα διαπιστωθεί με ευκολία από τα παρακάτω γραφήματα των μεγεθών,  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $Yield=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ .



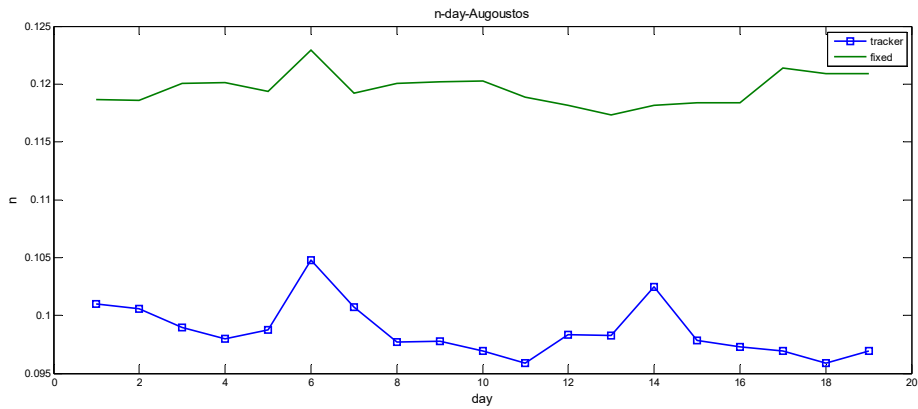
**Διάγραμμα 6.36:** Ημερήσια ακτινοβολία  $H_T$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Αύγουστο



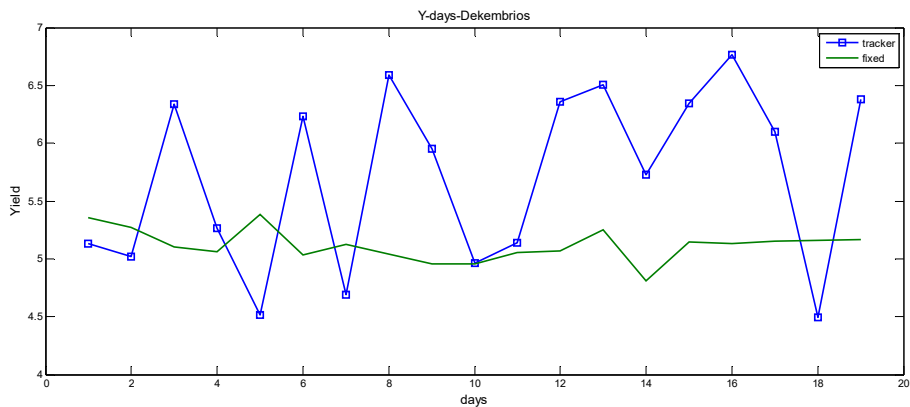
**Διάγραμμα 6.37:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Αύγουστο



**Διάγραμμα 6.38:** Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας  $T$  συναρτήσει της ώρας για τον μήνα Αύγουστο



**Διάγραμμα 6.39:** Ημερήσια απόδοση η της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Αύγουστο



**Διάγραμμα 6.40:** Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Αύγουστο

Στο διάγραμμα της απόδοσης είναι εμφανή μια μεγάλη διαφορά στις τιμές της σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας με αυτή της κινητής. Καθώς αν ανατρέξουμε στο διάγραμμα της θερμοκρασίας (βλέπε διάγραμμα 6.38), θα διαπιστωθεί πως η θερμοκρασία τόσο στο αριστερό όσο και στο δεξί πλαίσιο της κινητής γεννήτριας είναι μεγαλύτερο από της κινητής. Λαμβάνοντας υπ' όψιν το πόσο επηρεάζει η θερμοκρασία την απόδοση, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες ενότητες είναι φυσιολογική η μεγάλη διαφορά ανάμεσα στις τιμές της απόδοσης των δυο γεννητριών. Όσον αφορά τα διαγράμματα των μεγεθών για τον μήνα Ιούλιο δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.

**Πίνακας 6.22:** Μέση μηνιαία ημερήσια επίδοση για τον Αύγουστο

$E_{(Fixed)}(Wh)$	$E_{(Tracker)}(Wh)$	$H_{(Fixed)}\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$	$H_{(Tracker)}\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$
$20.8 \cdot 10^2$	$23.2 \cdot 10^2$	$84.7 \cdot 10^2$	$146.5 \cdot 10^2$

Πίνακας 6.23: Μέση ημερήσια απόδοση Αύγουστου

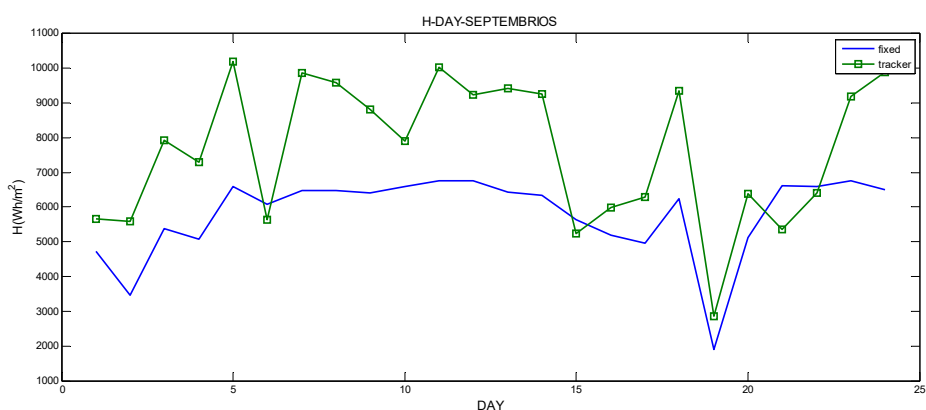
$\eta_{(Fixed)}$	$\eta_{(Tracker)}$
<b>0.119</b>	<b>0.09</b>

Πίνακας 6.24: Αποτελέσματα μέσης επίδοσης Αύγουστο (Σταθερής-Κινητής)

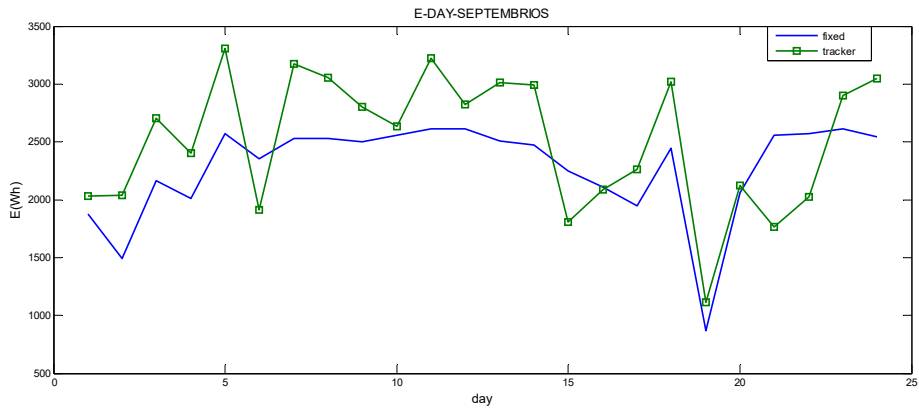
$Y_{(Fixed)}\left(\frac{KWh}{KWp}\right)$	$Y_{(Tracker)}\left(\frac{KWh}{KWp}\right)$
<b>5.117</b>	<b>5.711</b>

## 6.2.9 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

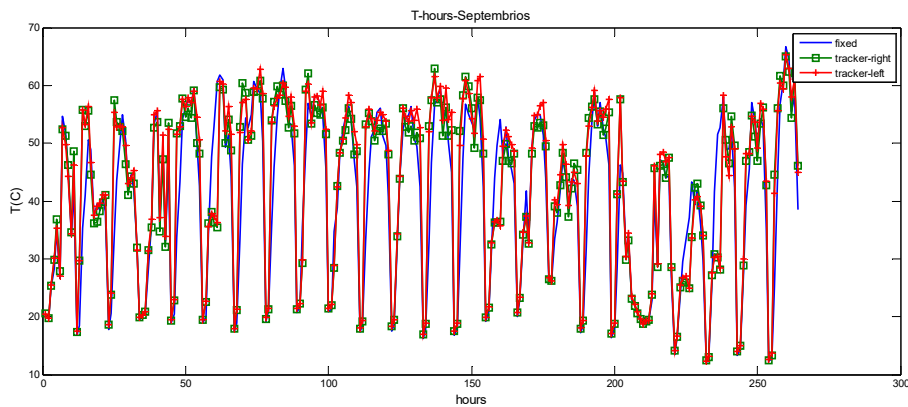
Ο μήνας Σεπτέμβριος αναμένεται με μεγάλες μεταβολές στις καμπύλες των μεγεθών που θα εξεταστούν παρακάτω, καθώς αποτελεί τον πρώτο μήνα του φθινοπώρου. Εύλογα συμπεραίνεται πως θα προκύψουν μεγάλες τιμές της έντασης της ακτινοβολίας, αλλά και μεταβολές σε αυτή λόγω αλλαγών στις καιρικές συνθήκες.



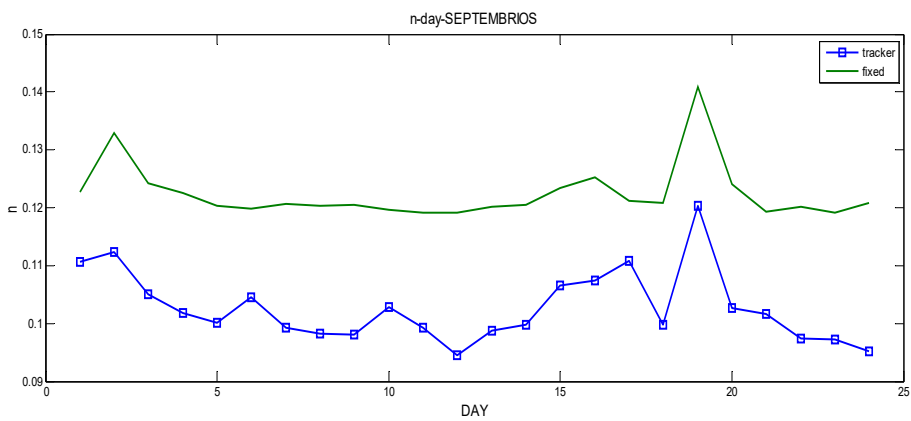
Διάγραμμα 6.41: Ημερήσια ακτινοβολία  $H_t$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Σεπτέμβριο



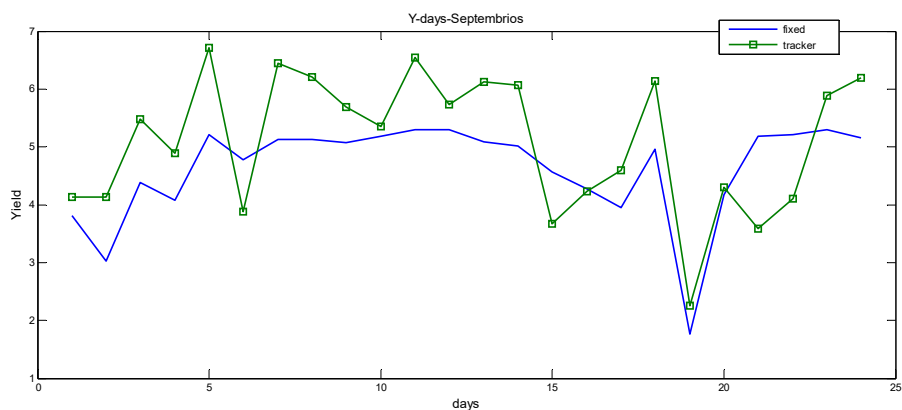
**Διάγραμμα 6.42:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Σεπτέμβριο



**Διάγραμμα 6.43:** Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας  $T$  συναρτήσει της ώρας για τον μήνα Σεπτέμβριο



**Διάγραμμα 6.44:** Ημερήσια απόδοση  $\eta$  της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Σεπτέμβριο



**Διάγραμμα 6.45: Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Σεπτέμβριο**

Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται έχουν όμοια συμπεριφορά με αυτά των προηγούμενων μηνών. Αν εξεταστούν με μια πιο προσεκτική ματιά έχουν κάποιες σημαντικές μεταβολές καθώς σε αρκετές μέρες του μήνα (6<sup>η</sup>, 15<sup>η</sup>, 21<sup>η</sup>, 22<sup>η</sup>) διακρίνεται σημαντική πτώση στις τιμές της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας σε σημείο να είναι μικρότερες από της σταθερής. Αυτό συμπεραίνεται εύκολα καθώς ο Σεπτέμβριος είναι ένας μήνας με πολλές καιρικές μεταβολές πράγμα που εξηγεί την συμπεριφορά των μεγεθών. Όσον αφορά την απόδοση υπάρχει μια ταυτόσημη συμπεριφορά όπως έχει γίνει αναφορά και σε προηγούμενες ενότητες.

**Πίνακας 6.25: Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Σεπτέμβριο**

$E_{(Fixed)} (Wh)$	$E_{(Tracker)} (Wh)$	$H_{(Fixed)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$	$H_{(Tracker)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$
<b><math>22.7 \cdot 10^2</math></b>	<b><math>23.1 \cdot 10^2</math></b>	<b><math>57.9 \cdot 10^2</math></b>	<b><math>76.2 \cdot 10^2</math></b>

**Πίνακας 6.26: Μέση ημερήσια απόδοση Σεπτέμβριου**

$\eta_{(Fixed)}$	$\eta_{(Tracker)}$
<b>0.122</b>	<b>0.102</b>

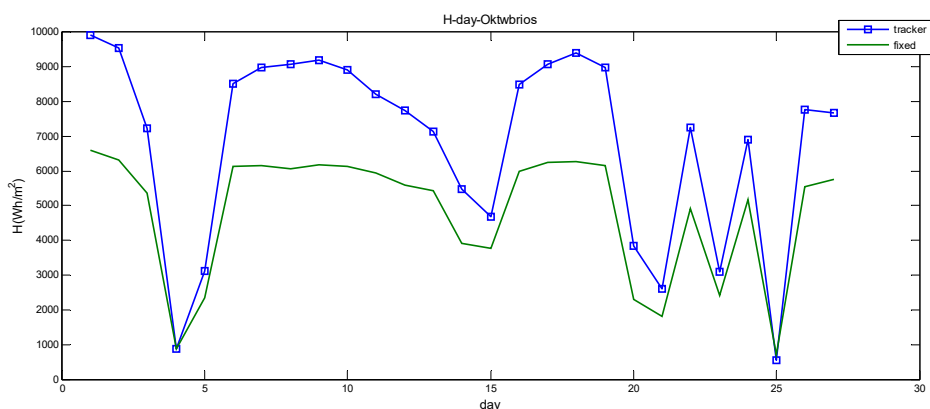
**Πίνακας 6.27: Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Σεπτέμβριο**

$Y_{(Fixed)} \left(\frac{KWh}{KWp}\right)$	$Y_{(Tracker)} \left(\frac{KWh}{KWp}\right)$
<b>4.627</b>	<b>5.099</b>

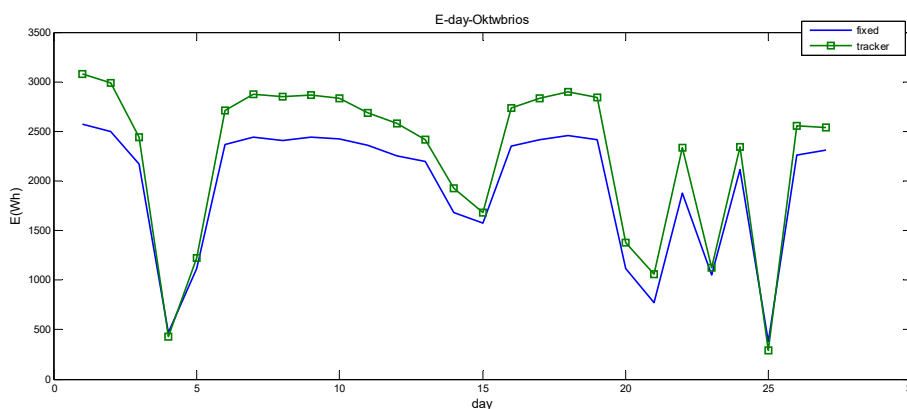


## 6.2.10 ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ

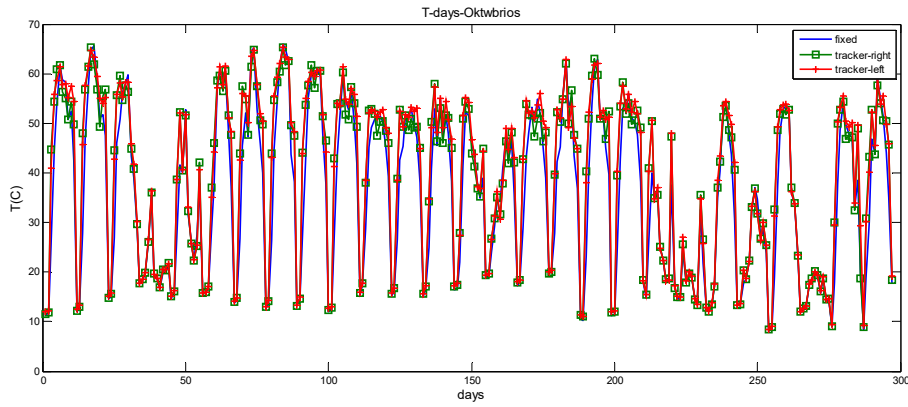
Ο Οκτώβριος δεύτερος μήνας του φθινόπωρου θεωρητικά αναμένεται να έχει μεγάλες μεταβολές στις καιρικές του συνθήκες, με αποτέλεσμα να έχουμε μειωμένη ένταση της ακτινοβολίας. Τα γραφήματα των μεγεθών που θα παρασταθούν είναι τα εξής,  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $\text{Yield}=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ .



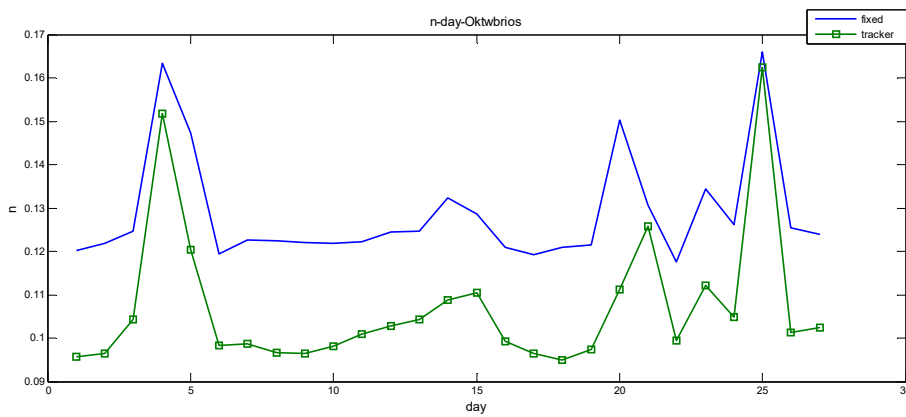
**Διάγραμμα 6.46:** Ημερήσια ακτινοβολία  $H_T$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Οκτώβριο



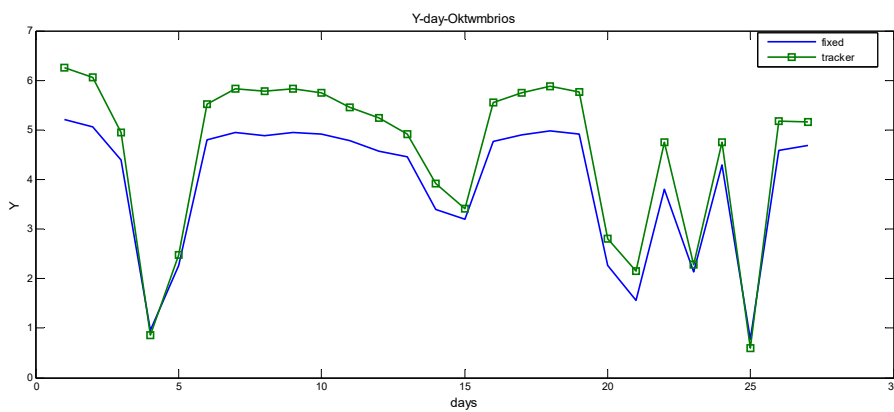
**Διάγραμμα 6.47:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Οκτώβριο



**Διάγραμμα 6.48: : Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας Τσυνάρτηση της ώρας για τον μήνα Οκτώβριο**



**Διάγραμμα 6.49: Ημερήσια απόδοση  $\eta$  της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Οκτώβριο**



**Διάγραμμα 6.50: Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συνάρτηση της ημέρας για τον μήνα Οκτώβριο**

Όσον αφορά τα διαγράμματα των μεγεθών για τον μήνα Οκτώβριο δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.

Πίνακας 6.28: Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Οκτώβριο

$E_{(Fixed)}(Wh)$	$E_{(Tracker)}(Wh)$	$H_{(Fixed)}\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$	$H_{(Tracker)}\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$
$19.4 \cdot 10^2$	$22.4 \cdot 10^2$	$48.1 \cdot 10^2$	$68.1 \cdot 10^2$

Πίνακας 6.29: Μέση ημερήσια απόδοση Οκτώβριου

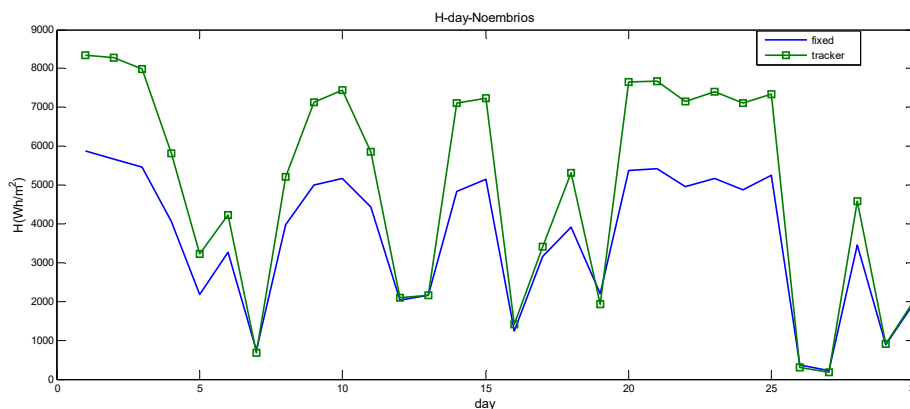
$\eta_{(Fixed)}$	$\eta_{(Tracker)}$
0.128	0.107

Πίνακας 6.30: Μέση μηνιαία ημερήσια επίδοση για τον Οκτώβριο

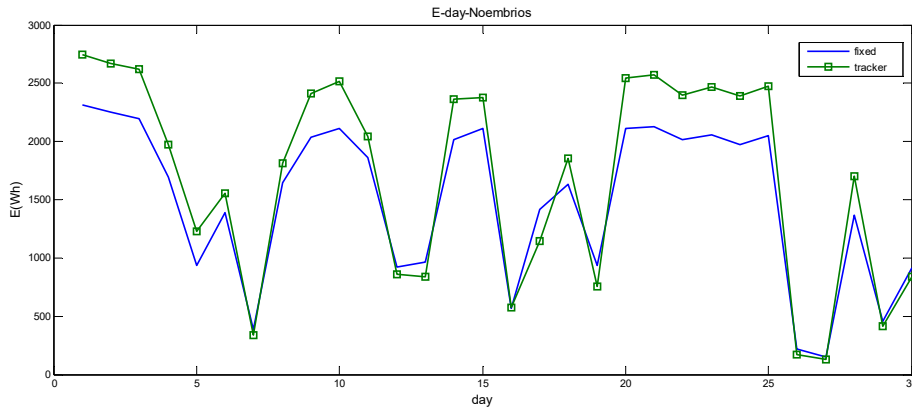
$Y_{(Fixed)}\left(\frac{KWh}{KWp}\right)$	$Y_{(Tracker)}\left(\frac{KWh}{KWp}\right)$
3.94	4.55

## 6.2.11 ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ

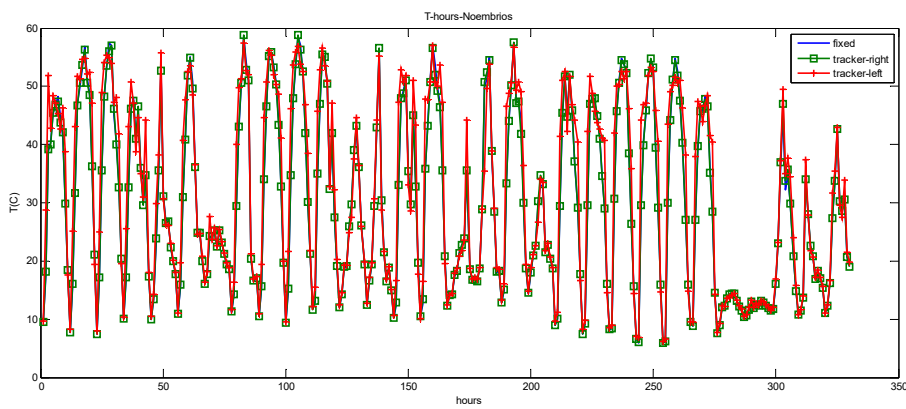
Τον μήνα αυτό αναμένονται μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές, αλλά και καιρικές καθώς αποτελεί τον τελευταίο μήνα της φθινοπωρινής εποχής. Είναι βέβαιο πως αυτό θα επηρεάσει την ένταση της ακτινοβολίας, καθώς είναι καθοριστική για την μεταβολή των μεγεθών που εξετάζονται. Τα μεγέθη που θα απεικονιστούν γραφικά παρακάτω είναι τα εξής,  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $Yield=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ .



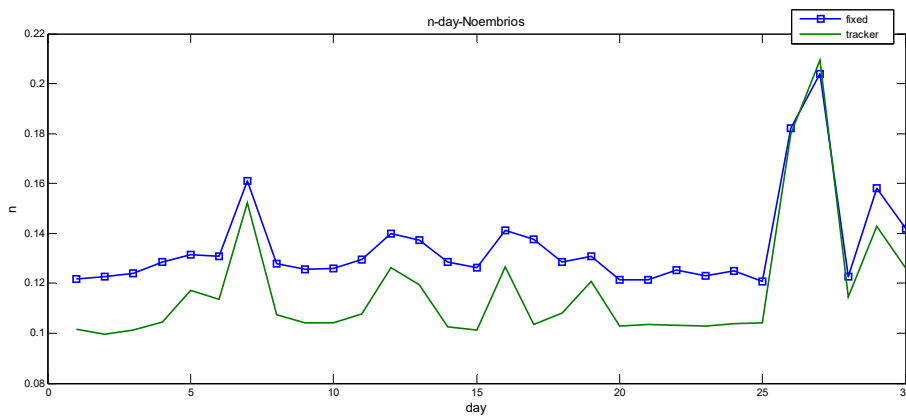
Διάγραμμα 6.51: Ημερήσια ακτινοβολία  $H_T$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Νοέμβριο



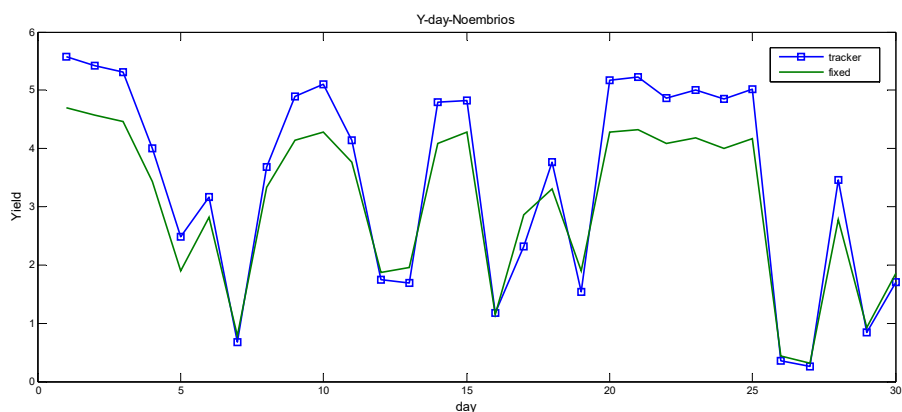
**Διάγραμμα 6.52: Ημερήσια ενέργεια E που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Νοέμβριο**



**Διάγραμμα 6.53: Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας T συναρτήσει της ώρας για τον μήνα Νοέμβριο**



**Διάγραμμα 6.54: Ημερήσια απόδοση η της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Νοέμβριο**



**Διάγραμμα 6.55:** Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Νοέμβριο

Όσον αφορά τα διαγράμματα των μεγεθών για τον μήνα Νοέμβριο δείχνουν μια όμοια συμπεριφορά των μεγεθών όπως με τους προηγούμενους μήνες που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες.

**Πίνακας 6.31:** Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Νοέμβριο

$E_{(Fixed)} (Wh)$	$E_{(Tracker)} (Wh)$	$H_{(Fixed)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$	$H_{(Tracker)} \left(\frac{Wh}{m^2}\right)$
$36.4 \cdot 10^2$	$49.6 \cdot 10^4$	$15 \cdot 10^2$	$17 \cdot 10^2$

**Πίνακας 6.32:** Μέση ημερήσια απόδοση Νοέμβριου

$\eta_{(Fixed)}$	$\eta_{(Tracker)}$
<b>0.134</b>	<b>0.117</b>

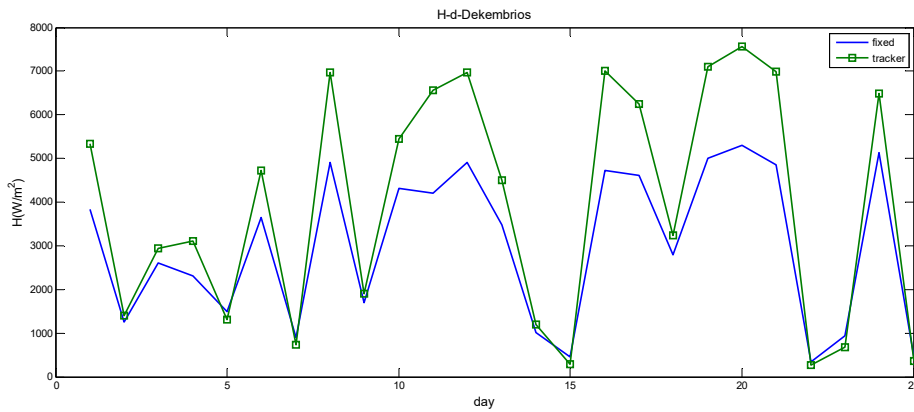
**Πίνακας 6.33:** Μέση μηνιαία ημερήσια επίδοση για τον Νοέμβριο

$Y_{(Fixed)} \left(\frac{KWh}{KWp}\right)$	$Y_{(Tracker)} \left(\frac{KWh}{KWp}\right)$
<b>3.032</b>	<b>3.436</b>

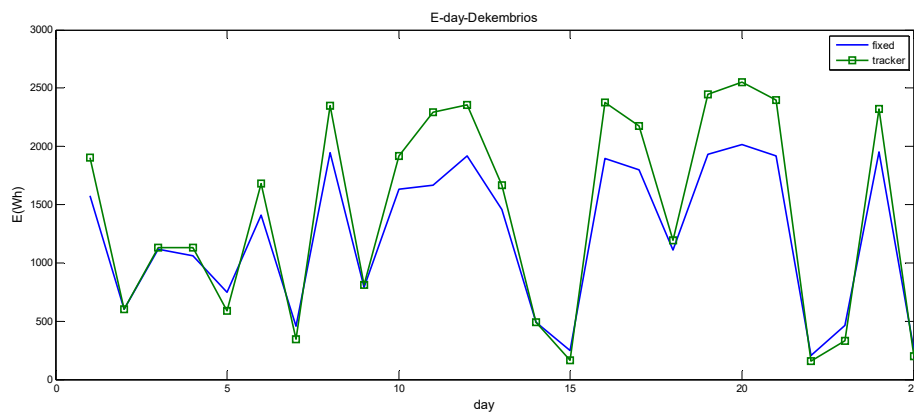
## 6.2.12 ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ

Ο Δεκέμβριος ως πρώτος μήνας της χειμερινής εποχής φυσιολογικά αναμένεται με πολλές κατακρημνίσεις, που είναι αποτέλεσμα των μεταβολών στις καιρικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που αναμένονται σοβαρές διακύμανσης στις τιμές

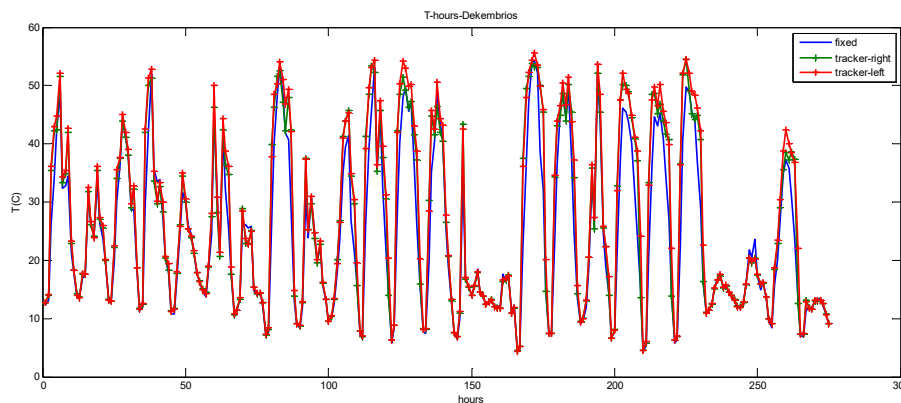
των μεγεθών των γραφημάτων που θα παρουσιαστούν παρακάτω  $H_T=f(\text{day})$ ,  $E=f(\text{day})$ ,  $\text{Yield}=f(\text{day})$ ,  $T=f(\text{hour})$ ,  $\eta=f(\text{day})$ . Ακόμα πρέπει να τονιστεί πως για μεγαλύτερη κατανόηση των μεγεθών που μελετάμε αφαιρέθηκαν οι παρακάτω μέρες λόγω προβλημάτων στο σύστημα της κινητής γεννήτριας (8/12, 11/12, 29/12, 30/12, 31/12)



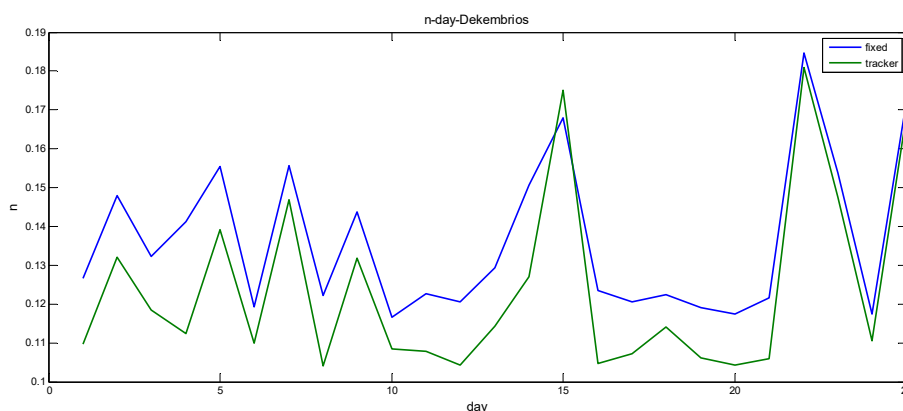
**Διάγραμμα 6.56:** Ημερήσια ακτινοβολία  $H_T$  που προσπίπτει στην σταθερή και την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Δεκέμβριο



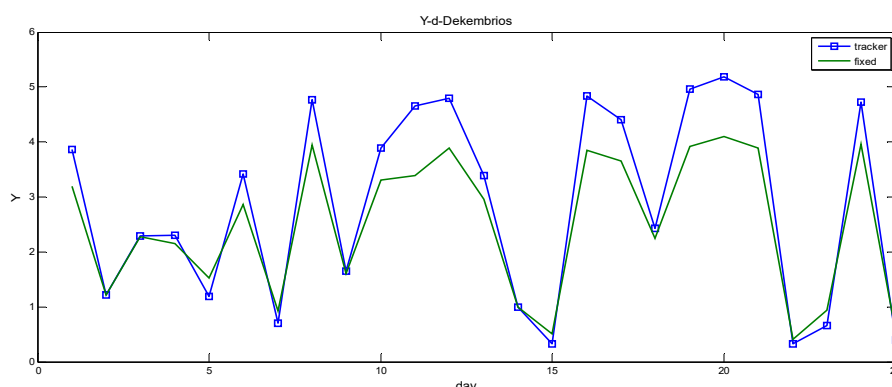
**Διάγραμμα 6.57:** Ημερήσια ενέργεια  $E$  που παράγει η σταθερή και η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Δεκέμβριο



**Διάγραμμα 6.58:**Θερμοκρασία των πλαισίων της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας T συναρτήσει της ώρας για τον μήνα Δεκέμβριο



**Διάγραμμα 6.59:** Ημερήσια απόδοση η της σταθερής της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Δεκέμβριο



**Διάγραμμα 6.60:** Ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας συναρτήσει της ημέρας για τον μήνα Δεκέμβριο

Τα διαγράμματα που εξετάζονται έχουν μια όμοια συμπεριφορά όπως τους προηγούμενους μήνες είναι σημαντικό να τονιστεί μια μεταβολή που διακρίνεται την 15<sup>η</sup> ημέρα του μήνα στο διάγραμμα 6.59 της απόδοσης. Υπάρχει μια διαφορετική συμπεριφορά την ημέρα εκείνη, η τιμή της απόδοσης της κινητής γεννήτριας είναι μεγαλύτερη από εκείνη της σταθερής αυτό οφείλεται στην θερμοκρασία εκείνης της ημέρας (βλέπε διάγραμμα 6.58) που επηρεάζει άμεσα την απόδοση της κινητής γεννήτριας αυξάνοντας την τιμή της.

**Πίνακας 6.34:** Μέση μηνιαία ημερήσια ενέργεια και ακτινοβολία για τον μήνα Δεκέμβριο

$E_{(Fixed)}(Wh)$	$E_{(Tracker)}(Wh)$	$H_{(Fixed)}\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$	$H_{(Tracker)}\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$
$11.76 \cdot 10^2$	$13.6 \cdot 10^2$	$28.8 \cdot 10^2$	$38.1 \cdot 10^2$

Πίνακας 6.35: Μέση ημερήσια απόδοση Δεκέμβριου

$\eta_{(Fixed)}$	$\eta_{(Tracker)}$
<b>0.13</b>	<b>0.12</b>

Πίνακας 6.36: Μέση μηνιαία ημερήσια επίδοση για τον Δεκέμβριο

$Y_{(Fixed)}\left(\frac{KWh}{KWp}\right)$	$Y_{(Tracker)}\left(\frac{KWh}{KWp}\right)$
<b>2.48</b>	<b>2.88</b>

### 6.3.1 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ

#### 6.3.2 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ( $\eta$ )

Για τον χειμώνα εύκολα μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι η απόδοση των φωτοβολταϊκών γεννητριών είναι μεγαλύτερη από ότι τις υπόλοιπες εποχές καθώς λόγω της εποχής (χαμηλές θερμοκρασίες), η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα πλαίσια των γεννητριών, τόσο της κινητής όσο και της σταθερής, είναι μικρότερη με αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών της απόδοσης. Αυτό εύκολα μπορεί να γίνει ορατό τόσο από τα διαγράμματα αλλά και από τους πίνακες που προηγούνται. Άρα εύκολα συμπεραίνεται ότι τον χειμώνα υπάρχει η απόδοση σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές.

#### 6.3.3 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ $H_T\left(\frac{Wh}{m^2}\right)$

Η ακτινοβολία που προσπίπτει στις γεννήτριες παίρνει μεγαλύτερες τιμές το καλοκαίρι. Αυτό εύκολα συμπεραίνεται αν αναλογιστεί κανείς ότι αυτή την περίοδο του έτους δεν υπάρχουν μεγάλες καιρικές μεταβολές παρά μόνο αύξηση ή μείωση της ηλιοφάνειας σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές του χρόνου. Τις υπόλοιπες



εποχές, οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι τέτοιες που επηρεάζεται η ακτινοβολία  $H_T(\frac{Wh}{m^2})$ .

#### **6.3.4 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ E(Wh)**

Η ενέργεια E(Wh) έχει ακριβώς την ίδια συμπεριφορά με την ακτινοβολία  $H_T(\frac{Wh}{m^2})$  δηλαδή όπως αναφέρθηκε και πριν το καλοκαίρι είναι μεγαλύτερη από τις άλλες εποχές του χρόνου. Αυτό διαπιστώνεται από τα διαγράμματα στις προηγούμενες ενότητες αλλά και από του πίνακες.

#### **6.3.5 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ $T_c(^{\circ}C)$**

Η θερμοκρασία στα πλαίσια των γεννητριών είναι ανάλογη της εποχής καθώς πέρα από την ακτινοβολία που προσπίπτει και θερμαίνει τα πλαίσια, τα επηρεάζει και η περιβαλλοντική θερμοκρασία. Αποτέλεσμα αυτό είναι τον χειμώνα να είναι η χαμηλότερη ενώ το καλοκαίρι η υψηλότερη.

#### **6.3.6 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΕΠΙΔΟΣΗ Yield( $\frac{KWh}{KWp}$ )**

Η επίδοση εξαρτάται από την ακτινοβολία άρα εξαρτάται από την εποχή και από την ακτινοβολία. Δηλαδή πολύ υψηλή κατά τους μήνες που βρίσκονται στο καλοκαίρι και χαμηλότερη κατά τους μήνες που απομακρύνεται από το καλοκαίρι. Η επίδοση είναι το μέγεθος που θέλει μεγάλη προσοχή καθώς είναι η παραγόμενη ισχύς που δίνεται στο δίκτυο.

### **6.4.1 ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

#### **6.4.1.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΑΝΑ ΕΠΟΧΗ**

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια είναι διαφορετική και εξαρτάται από τις εποχές. Ανάλογα με την εποχή τόσο η αύξηση ή

μείωση της επηρεάζουν τα φωτοβολταϊκά πέρα όμως από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, οι εποχές επηρεάζουν την θερμοκρασία στις φωτοβολταϊκές γεννήτριες λόγω της σταθεροποίησης των καιρικών συνθηκών. Η ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στα πλαίσια επηρεάζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών. Άρα εύκολα συμπεραίνει κανείς πως τους καλοκαιρινούς μήνες η θερμοκρασία στα πλαίσια είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες εποχές. Όσο πλησιάζει το καλοκαίρι αυξάνεται η θερμοκρασία άρα είναι λογικό οι μήνες κοντά στο καλοκαίρι να έχουν μια αυξητική συμπεριφορά σε σχέση με αυτούς που είναι πιο κοντά στο χειμώνα. Από τα γραφήματα που έχουν προηγηθεί (βλ. σχήμα 6.58) είναι εμφανές αυτό που αναφέρθηκε για τις εποχές. Ανάμεσα στις δυο γεννήτριες είναι διακριτό πως η κινητή γεννήτρια και στα δύο της πλαίσια( αριστερό και δεξί) έχει σχεδόν πάντα μεγαλύτερη θερμοκρασία σε σχέση με την σταθερή.

$$T_{pv}=T_a+ \lambda \cdot I_t \quad (6.5)$$

#### **6.4.1.2 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΑΝΑ ΕΠΟΧΗ**

Η παραγόμενη ακτινοβολία όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα για την θερμοκρασία 6.4.1.1 εξαρτάται από τις καιρικές μεταβολές, άρα και από την εποχιακή μεταβολή, δηλαδή όσο πλησιάζει τους καλοκαιρινούς μήνες η ακτινοβολία αυξάνεται με πολύ μεγάλο ρυθμό, σε αντίθεση με του χειμερινούς όπου λόγω καιρικών μεταβολών μειώνεται. Εύκολα καταλαβαίνει κανείς πως στην κινητή διαξονική γεννήτρια προσπίπτει πολύ περισσότερη ακτινοβολία καθώς ιχνηλατεί τον ήλιο καθόλη την διάρκεια της ημέρας, σε σύγκριση με την σταθερή που είναι τοποθετημένη σε κατάλληλο προσανατολισμό και κλίση όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 4.

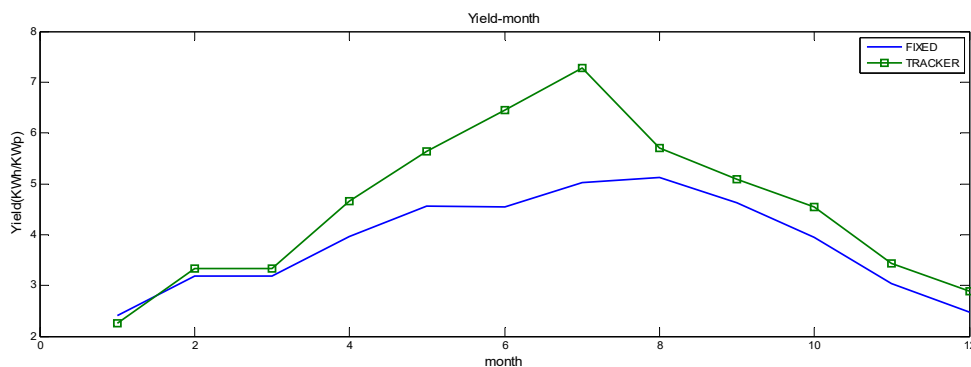
#### **6.4.1.3 ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΑΝΑ ΕΠΟΧΗ**

Η απόδοση είναι ένα μέγεθος το οποίο εξαρτάται από την εποχιακή μεταβολή της θερμοκρασίας αλλά και από την ανάπτυξη θερμοκρασιών στα πλαίσια λόγω της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε αυτά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα και είναι ορατό τόσο από τα γραφήματα τόσο και από τους πίνακες που προηγούνται η σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια να έχει μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με την κινητή σε όλη την διάρκεια του έτους. Πέρα όμως ότι πάντα η σταθερή γεννήτρια έχει μεγαλύτερες τιμές απόδοσης πρέπει να τονιστεί πως το καλοκαίρι η τιμή της απόδοσης είναι μικρότερη σε σχέση με τον χειμώνα πράγμα το οποίο είναι λογικό καθώς επηρεάζεται από την θερμοκρασία όπως αναφέρθηκε και πριν.

#### **6.4.1.4 ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΑΝΑ ΕΠΟΧΗ**

Η ενέργεια είναι ένα μέγεθος όπως και η ακτινοβολία που μεταβάλλεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες δηλαδή μεγάλες τιμές κοντά στους καλοκαιρινούς μήνες χαμηλές τιμές κοντά στους χειμερινούς. Η ενέργεια όπως και η ακτινοβολία είναι αναμενόμενο να έχει μεγαλύτερες τιμές στην κινητή γεννήτρια σε σχέση με την σταθερή λόγω του συστήματος Tracking παρακολούθησης του ήλιου.

#### 6.4.1.5 ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΠΙΔΟΣΗ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΑΝΑ ΕΠΟΧΗ



**Διάγραμμα 6.61: Μέση μηνιαία ημερήσια επίδοση Yield, της σταθερής και κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας**

Όπως εύκολα διακρίνει κανείς και από το παραπάνω γράφημα η επίδοση τους χειμερινούς μήνες πέφτει αριθμητικά σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες και όσο πλησιάζει προς το καλοκαίρι η τιμή της αυξάνεται. Είναι ξεκάθαρο πως καθ'όλη την διάρκεια του έτους (αν εξαιρέσουμε τον Ιανουάριο λόγο μεγάλων καιρικών μεταβολών), η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια έχει πάντα μεγαλύτερες τιμές επίδοσης δηλαδή παράγει μεγαλύτερη ισχύς. Άρα είναι ασφαλές να εξαχθεί το συμπέρασμα πως η κινητή γεννήτρια είναι αποδοτικότερη από πλευράς παραγωγής ισχύς άρα και ρεύματος.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΤΗΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

### 7.1.1 ΣΤΗΡΙΞΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Ο τρόπος λειτουργίας μιας τέτοιας φωτοβολταϊκής γεννήτριας απλός. Οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πλαισίων κατά το μεσημέρι. Έτσι οι βάσεις κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πλαισίων σε σταθερή κλίση, περί τις 30 μοίρες. Η κλίση αυτή θεωρείται ως μία ικανοποιητική μέση τιμή για τα ελληνικά δεδομένα.

$$\beta = \varphi - \delta \quad (7.1)$$

Πρέπει να αναφερθεί όμως ότι ανάλογα με την εποχή η κλίση θα έπρεπε να είναι διαφορετική. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες[32] Συγκεκριμένα για την περιοχή των Πατρών όπου είναι εγκαταστημένη η σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια η κλίση δίνεται από τον πίνακα που ακολουθεί.

**Πίνακας 7.1: Πίνακας ορθής κλίσης σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας καθόλη την διάρκεια του έτους για την περιοχή του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας[21]**

Month	$I_{opt}$
Jan	55
Feb	47
Mar	37
Apr	24
May	13
Jun	6
Jul	9
Aug	20
Sep	35
Oct	46
Nov	53

Dec	56
Year	27

$I_{opt}$ : Optimal inclination (deg.)

Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιον ή ανοξείδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ). Κατασκευάζονται μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού. [33] Οι βάσεις τοποθετούνται στο έδαφος με την επικάλυψη σκυροδέματος (σκυροδέτηση) ή με την απευθείας τοποθέτηση των βάσεων στο χώμα (εδαφόμπτυξη). Η σκυροδέτηση των βάσεων γίνεται συνήθως σε δοκάρι (δηλαδή σε όλη τη σειρά των βάσεων) από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε σε πέλματα από σκυρόδεμα, τοποθετημένα κατάλληλα ώστε να επιτρέπουν το βίδωμα των υποδοχών των βάσεων. Η εδαφόμπτυξη γίνεται συνήθως σε βάθη τυπικά του 0, 5-1, 5 μέτρα, όπου τοποθετούνται πάσσαλοι, επί των οποίων στη συνέχεια εδράζεται η βάση. Η σκυροδέτηση των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης σε σχέση με την απλή εδαφόμπτυξη. Ωστόσο, συστήνεται να διενεργείται αυτοψία και γεωτεχνική μελέτη για να διαπιστωθεί κατά πόσο ο τύπος του εδάφους επιτρέπει την εδαφόμπτυξη χωρίς να δημιουργούνται θέματα στατικής επάρκειας των βάσεων. [34]

Επιπλέον, ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να είναι προσεκτικός στη χρήση παρελκόμενων υλικών όπως βίδες ή σύνδεσμοι φωτοβολταϊκών πλαισίων, καθώς θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή οξειδώσεων ή ηλεκτρόλυσης. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται μέριμνα για τη δυνατότητα όδευσης καλωδίων καθώς και για τη στήριξη πινάκων ή αντιστροφών, σε περίπτωση που τεχνικά διαπιστωθεί ότι αυτή είναι η βέλτιστη λύση. Οι σταθερές βάσεις αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται επί το έργω. Κάθε τεμάχιο χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη επιφάνεια τοποθέτησης, η οποία συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας κάποιες μέσες τιμές διαστάσεων πλαισίων (τυπικά 1, 6-1m για κρυσταλλικά πλαισίων). Τα πλαισίων μπορούν να τοποθετηθούν ανά απλή (μονή) σειρά ή (συνηθέστερα) σε διπλή σειρά ή ακόμη και σε τριπλή ή τετραπλή σειρά. Επίσης είναι δυνατή η τοποθέτηση τους είτε κατά την μικρή διάσταση (ύψος) είτε κατά τη μεγάλη διάσταση (πλάτος). Η ακριβής χωροθέτηση εξαρτάται από τη μορφολογία του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης και τις διαστάσεις αυτού.[35]

## 7.2.1 ΣΤΗΡΙΞΗ ΚΙΝΗΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ, ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΟΥΝ ΤΟΝ ΗΛΙΟ

Η παρακολούθηση της πορείας του ήλιου αποτελεί μία τεχνική η οποία έχει ως σκοπό την μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της κίνησης των βάσεων των πλαισίων κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να επιτυγχάνεται συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα κινητά φωτοβολταϊκά συστήματα παρακολούθησης του ηλίου (Tracker), ακολουθούν τον ήλιο και περιστρέφονται ανάλογα περί 1 ή 2 άξονες. Συστήματα μονού άξονα πρόκειται για συστήματα στο οποία υπάρχει κίνηση των πλαισίων σε έναν άξονα κατά τη διάρκεια μίας μέρας. Το σύστημα περιστρέφεται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη, δηλαδή παρακολουθεί την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου. Στην άλλη περίπτωση το σύστημα περιστρέφεται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνία ίση με το ύψος του ήλιου. Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Το σύστημα διπλού άξονα, πρόκειται για συστήματα στο οποίο η φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Η αναγνώριση της πορείας του ήλιου γίνεται συνήθως με δύο τρόπους, ο πρώτος είναι με ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου. Ο δεύτερος τρόπος είναι μέσω λογισμικού, από αστρονομικά δεδομένα, βάσει των οποίων υπολογίζεται η θέση και πορεία του ήλιου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.

Έξυπνοι ανιχνευτές παρακολουθούν τον ήλιο και κατευθύνουν το σύστημα (Tracker) έτσι ώστε οι ακτίνες να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια της κινητής φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Στην αγορά διατίθενται μονοαξονικά και διαξονικά συστήματα παρακολούθησης του ηλίου.[36]

Τα συστήματα αυτά επηρεάζονται από την θερμοκρασία που αναπτύσσεται πάνω τους λόγω της αυξημένης ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια των πλαισίων τους με αποτέλεσμα την πτώση της τάσης. Ακόμα λόγω της ακτινοβολίας επιταχύνεται η γήρανση των φωτοβολταϊκών πολύ περισσότερο από μια σταθερή γεννήτρια.

### **7.3.1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

#### **7.3.1.1 ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ**

Με στόχο κατά το έτος 2020, το 20% της ενέργειας που καταναλώνουμε να προέρχεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, το 2009, προωθήθηκε το ειδικό πρόγραμμα εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, ισχύος έως 10 kWp, σε κτιριακές εγκαταστάσεις. Σύμφωνα με αυτό, όλοι οι ιδιοκτήτες ακινήτων μπορούν να προχωρήσουν στην τοποθέτηση φωτοβολταϊκού συστήματος στη στέγη ή την ταράτσα του σπιτιού. Το ειδικό αυτό πρόγραμμα ξεκίνησε 01/07/2009 και ισχύει μέχρι 31/12/2019. Για την ενίσχυση της ανάπτυξης του προγράμματος «φωτοβολταϊκά στις στέγες», η ενέργεια που παράγεται από την εγκατάσταση του συστήματος, πωλείται στη ΔΕΗ (διασυνδεδεμένο σύστημα). Οι κιλοβατώρες (kWh) που παράγουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (πλαισίων) καταμετρούνται από το δίκτυο της ΔΕΗ με ειδικό μετρητή και η ΔΕΗ πληρώνει τον ιδιοκτήτη του συστήματος για την ενέργεια που αγόρασε προς 0, 55€ ανά kWh. Η σύμβαση αυτή με τη ΔΕΗ, ισχύει για είκοσι πέντε (25) χρόνια και με την ίδια τιμή, από την ημερομηνία ενεργοποίησης της σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος. [37]

#### **7.3.1.2 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ**

Τα χρήματα που χρειάζεται κάποιος για ένα μικρό φωτοβολταϊκό σύστημα είναι ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης που θέλει να κάνει. Έτσι για παράδειγμα αν κάποιος τοποθετήσει 1 φωτοβολταϊκό πλαίσιο των 200 Watt (μαζί με τα λοιπά εξαρτήματα) σε μια σκεπή για να πουλήσει το ρεύμα που παράγει στην ΔΕΗ θα χρειαστεί από 700 έως 1100 ευρώ. Εάν πάλι τοποθετήσει 5 πλαίσια των 200 Watt (σύνολο 5 X 200= 1000 Watt ή 1 kW (κιλοβατ)) το αντίστοιχο κόστος θα είναι από 3500 έως 5500 ευρώ. Εάν αντίστοιχα αποφασίσετε να εγκαταστήσετε 5KW οι τιμές που θα βρείτε θα κυμαίνονται από 17.500€ έως 27.500€. Το κύριο μέρος του κόστους της εγκατάστασης αφορά τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (50% - 70% του συνολικού κόστους). Το υπόλοιπο κόστος επιμερίζεται στο σύστημα στήριξης και κατά δεύτερο λόγο στις καλωδιώσεις και ηλεκτρολογικούς πίνακες (ασφάλειες, διακόπτες, αντικεραυνικά κλπ).

Γενικά λοιπόν το κόστος και οι τιμές για ένα σταθερό φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελληνική αγορά κυμαίνεται από 3.500 έως 5.500 ευρώ ανά kW ή 3, 5 έως 5, 5 ευρώ ανά Watt. Φυσικά η αναλογία τιμή/Watt μειώνεται όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της εγκατάστασης.[38]

Η διαφορά ανάμεσα σε μια εγκατάσταση σταθερής φωτοβολταϊκής γεννήτριας με μια κινητή μοναξονική και μια κινητή διαξονική γεννήτρια είναι το κόστος της βάσης.



Για μια μοναξονική γεννήτρια το κόστος κυμαίνεται από 4.000-12.000€ και για μια διαξονική από 8.000€-20.000€

### 7.3.1.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΗΝ ΤΑΡΑΤΣΑ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΤΩΝ ΑΠΕ ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Για τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες που μελετήθηκαν μετά από έρευνα στην αγορά κυμαίνονται όσον αφορά την σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια στα 800€ που αποτελείται από την βάση μαζί με 3, 5 m<sup>2</sup> πλαισίων. Όσον αφορά την κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια το κόστος της εγκατάστασης ανέρχεται μαζί με τον μηχανισμό περιστροφής και το ίδιο αριθμό εμβαδό πλαισίων στο x, y άξονα στα 1.500€-4.000€.

### 7.3.1.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Από την ανάλυση της παρούσας πτυχιακής σημαντικό μέγεθος για την σύγκριση των δυο φωτοβολταϊκών γεννητριών είναι η επίδοση  $Yield_{\frac{kWh}{kWp}}$ . Είναι το μέγεθος το οποίο έχει πρακτική αξία καθώς μετράει την παραγόμενη ισχύ από κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια, άρα είναι ένας ασφαλής τρόπος σύγκρισης των δυο γεννητριών. Στο προηγούμενο κεφάλαιο (Βλ. κεφάλαιο 6) έγινε ο μέσος μηνιαίος υπολογισμός της επίδοσης για κάθε μια γεννήτρια, άρα από το άθροισμα όλων των μηνών για όλη την διάρκεια του έτους που έχει μελετηθεί (Ιανουάριος 2014 με Δεκέμβριο 2014). Θα προκύψει ποια από τις δυο φωτοβολταϊκές γεννήτριες έχει μεγαλύτερη παραγωγή ισχύς άρα αν αξίζει η εγκατάσταση της και μετά από πόσο χρόνο θα υπάρχει απόσβεση. Η σύγκριση αυτή δεν γίνεται για μια μεγάλη εγκατάσταση αλλά για τις γεννητριές που υπάρχουν στην ταράτσα του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας.

Πίνακας 7.2: Μέση μηνιαία επίδοση καθόλη την διάρκεια του έτους για τις 2 γεννήτριες

Μήνας	$Yield_{\text{σταθερής}} \left( \frac{kWh}{kWp} \right)$	$Yield_{\text{κινητής}} \left( \frac{kWh}{kWp} \right)$
Ιανουάριος	2.407	2.252
Φεβρουάριος	3.179	3.333
Μάρτιος	3.179	3.335
Απρίλιος	3.967	4.668
Μάιος	4.553	5.637
Ιούνιος	4.540	6.450
Ιούλιος	5.020	7.280
Αύγουστος	5.117	5.711
Σεπτέμβριος	4.627	5.099

Οκτώβριος	3.940	4.550
Νοέμβριος	3.032	3.436
Δεκέμβριος	2.480	2.880

**Πίνακας 7.3: Αθροισμα μέσης μηνιαίας επίδοσης για τις 2 γεννήτριες σε όλη την διάρκεια του έτους.**

$\Sigma(\text{Yield}_{\text{σταθερής}}) \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}\right)$	$\Sigma(\text{Yield}_{\text{κινητής}}) \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}\right)$
41.501	54.631

Από τον παραπάνω πίνακα της μέσης μηνιαίας απόδοσης για όλη την διάρκεια του έτους αντιλαμβάνεται εύκολα κάποιος ότι η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια παράγει συνήθως πολύ περισσότερη ενέργεια ετήσια από αυτή της σταθερής. Για την σημαντικότητα αυτών των αποτελεσμάτων θα γίνουν κάποιοι αριθμητικοί υπολογισμοί. Η τιμή της kWh συνεχώς μειώνεται τα τελευταία χρόνια και έχει φτάσει σήμερα στο 0.125€. [39]

**Πίνακας 7.4: Υπολογισμός σε ευρώ της ετήσιας επίδοσης των δύο γεννητριών**

Αξία επίδοσης σε € κινητής γεννήτριας	Αξία επίδοσης σε € σταθερής γεννήτριας
0.125€(τιμή Kwh) * 0.49 (kW)	0.125€(τιμή Kwh)*0.49(kW)
$54.631 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}\right) = 3.346\text{€}$	$*41.501 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}\right) = 2.593\text{€}$

Όπως αναμενόταν η κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια παρήγαγε πολύ περισσότερη ισχύς ετησίως και είναι πιο συμφέρουσα να εγκατασταθεί από μια σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Το κόστος εγκατάστασης όμως και συντήρησης μια τέτοιας εγκατάστασης είναι πολύ μεγάλο (περίπου 600€ ανά έτος). Αν αναλογιστεί κανείς τα χρήματα που χρειάζονται για το σύνολο της εγκατάστασης καθώς και την ετήσια συντήρηση της, είναι περίπου τα ίδια με αυτά που παράγει ετησίως. Πέραν όμως από αυτά, στην πτυχιακή αυτή εργασία, η μελέτη έγινε για την σύγκριση των δυο γεννητριών (κινητής και σταθερής) και το αποτέλεσμα που εξάχθηκε είναι ότι η κινητή γεννήτρια είναι πολύ αποδοτικότερη σε σχέση με την σταθερή γεννήτρια.

## **7.4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΓΕΘΩΝ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

### **7.4.1.1 ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, παίζει σημαντικό ρόλο στην λειτουργία μιας φωτοβολταϊκής γεννήτριας ακόμα όμως και στην διάρκεια ζωής της. Μια κινητή φωτοβολταϊκή γεννήτρια η οποία ακολουθεί τον ήλιο καθόλη την διάρκεια της ημέρας είναι προφανές πως θα προσπίπτει μεγάλο ποσοστό ακτινοβολίας πάνω της. Άρα και θα αναπτύσσεται πολύ μεγάλη θερμοκρασία στην επιφάνεια των πλαισίων της με τα παρακάτω δυο αποτελέσματα σε σχέση με την σταθερή γεννήτρια.

- Επιτάχυνση της γήρανσης λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας
- Πτώση τάσης λόγω αύξησης της θερμοκρασίας πράγμα το οποίο είναι ορατό σχεδόν σε κάθε γράφημα προηγούμενου κεφάλαιο 5 (βλ. Διάγραμμα 5.41)

### **7.4.1.2 ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

Η ακτινοβολία είναι ο λόγος ύπαρξης των φωτοβολταϊκών γεννητριών δηλαδή της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η ακτινοβολία που προσπίπτει στην κινητή γεννήτρια είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την σταθερή πράγμα το οποίο έχει αναλυθεί πλήρως στις προηγούμενες ενότητες.

### **7.4.1.3 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

Η μέγιστη ισχύς  $P_m$  ή ηλεκτρική ενέργεια που αναπτύσσεται στο Σημείο Λειτουργίας (MPP) είναι ουσιαστικά η μέγιστη τιμή του ρεύματος  $I_m$  πολλαπλασιασμένο με την μέγιστη τάση  $V_m$  ( $P_m=I_m*V_m$ ). Από το κεφάλαιο 5, στα διαγράμματα για τις καμπύλες  $I-V$  (βλ. Διάγραμμα 5.41) καθώς και από τους πίνακες (βλ. Πίνακας 5.5) εύκολα καταλαβαίνει κανείς ότι η μέγιστη ισχύς είναι συνήθως μεγαλύτερη για την κινητή γεννήτρια καθώς το ρεύμα που παράγει είναι μεγαλύτερο από αυτό της κινητής, ενώ η τάση είναι σχεδόν ίδια με αυτή της σταθερής παρά την μικρή πτώση τάσης λόγω αύξησης της θερμοκρασίας.

### **7.4.1.4 ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Στις γεννήτριες που έχουν μελετηθεί στην παρούσα πτυχιακή εύκολα συμπεραίνεται πως σε αυτή που αναπτύσσεται μικρότερη θερμοκρασία ο βαθμός απόδοσης είναι πολύ

μεγαλύτερος. Αυτό σημαίνει πως η σταθερή φωτοβολταϊκή γεννήτρια αναπτύσσει πολύ μεγαλύτερη απόδοση από αυτή της κινητής λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας στην επιφάνεια της λόγω της υπέρμετρης ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της κινητής γεννήτριας.

#### **7.4.1.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

Η επίδοση εκτός των άλλων, εξαρτάται από την ποσότητα της προσπίπτουσας στο φωτοβολταϊκό σύστημα ακτινοβολίας. Ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου, θεωρητικά είναι λογικό να δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με αυτά που της σταθερής. Η ισχύς είναι το μέγεθος που μπορεί κανείς να καταλάβει εύκολα αν μια γεννήτρια είναι αποδοτική ή όχι, καθώς μετρά την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει μια γεννήτρια. Από την μελέτη που αναπτύχθηκε σε αυτή την πτυχιακή αντιλαμβάνεται κανείς ότι η κινητή διαξονική γεννήτρια παρακολούθησης του ήλιου έχει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από αυτή της σταθερής(βλ. Πίνακας 7.3). Η κινητή γεννήτρια έχει επίδοση μεγαλύτερη από την σταθερή γεννήτρια. Υπερέχει για τους καλοκαιρινούς μήνες αυτό είναι εμφανές αφού λειτουργεί, άρα και παράγει ενέργεια από την Ανατολή του ηλίου σε αντίθεση από την σταθερή γεννήτρια που λειτουργεί πολύ λίγο αν και παράγει περισσότερη ενέργεια αν και έχει μικρή απόδοση. Σε ετήσια βάση η ενέργεια της κινητής είναι εμφανώς μεγαλύτερη από την σταθερή. Το κόστος εγκατάστασης για αυτές τις μικρές (κινητές) γεννήτριες, όπως έχει σχεδιαστεί στο εργαστήριο είναι μικρό. Ο Tracker έχει κόστος εγκατάστασης περίπου 2.000-3.000 ευρώ. Με τους υπολογισμούς που έγιναν παραπάνω το χρονικό διάστημα απόσβεσης μιας τέτοιας εγκαταστημένης γεννήτριας είναι 3-4 χρόνια.

Από την άλλη πλευρά, επειδή η κινητή γεννήτρια είναι μικρή σε μέγεθος και καταλαμβάνει μικρό χώρο, δεν χρειάζεται ειδική άδεια. Άρα σε πολλές περιπτώσεις επιλέγεται η τοποθέτηση της, δηλαδή προτιμάται μια μικρή κινητή μονάδα για εγκατάσταση παρά μια σταθερή που καταλαμβάνει μεγάλο χώρο. Υπάρχουν και άλλοι λόγοι για να επιλεγεί η εγκατάσταση ενός τέτοιου είδους κινητής γεννήτριας (δεν χρειάζεται μεγάλος χώρος για την τοποθέτηση της βάσης της) υπάρχει δηλαδή εξάρτηση από την γεωμετρία ενός κτιρίου[55]



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική Βιβλιογραφία:**

1. Ι.Ε Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά, 2009, εκδόσεις Ζήτα, Θεσσαλονίκη
2. Σ.Ν. Καπλάνης, Μηχανική των φωτοβολταϊκών, 2004, εκδόσεις ΙΩΝ, Πάτρα
3. Σ.Ν. Καπλάνης, Ηλιακή Μηχανική, 2004, εκδόσεις ΙΩΝ, Πάτρα
4. Π. Γεωργοστάσης, Μελέτη συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών/θερμικών ηλιακών συλλεκτών, 2010, Πάτρα
5. Σ.Δ Πέρδιος, Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, 2011, εκδόσεις Σέλκα-4Μ
40. ΤΟΤΕΕ 20701-5/2012
- 43 Σ.Ν. Καπλάνης, Περιβάλλον και Ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας, 2004, εκδόσεις ΙΩΝ, Πάτρα

### **Ξένα βιβλιογραφία**

54. European Passive Solar Handbook, Ed. P.Achand and R. Gicquel, Commission of the European Community, 1986
55. Renewable Energy Systems: Theory, Innovations and Intelligent Applications. S. Kaplanis, E. Kaplani (Eds.), 2013, Nova Science Publishers, N.Y.

### **Ηλεκτρονική βιβλιογραφία:**

1. <http://www.naturalgas.org/overview/background.asp>
2. [http://www.greenrhinoenergy.com/renewable/context/uses\\_and\\_sources.php](http://www.greenrhinoenergy.com/renewable/context/uses_and_sources.php)
3. <http://kpekastor.kas.sch.gr>
4. <http://www.physics4u.gr/news/2004/scnews1446.html>
5. [www.canren.gc.ca](http://www.canren.gc.ca)
6. <https://dime2.wordpress.com/%CE%B7%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1/>
- 7.

18. [http://agrino.org/71scouts/ellhnika/env5\\_energy.htm](http://agrino.org/71scouts/ellhnika/env5_energy.htm)
19. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C123/487/3182, 12876/>
20. [http://phys.org/\\_news/2014-12-nrel-efficiency-solar-cell.html](http://phys.org/_news/2014-12-nrel-efficiency-solar-cell.html)
21. [www.heliergia-photovoltaic.gr/](http://www.heliergia-photovoltaic.gr/)
22. [http://www.elke.teicrete.gr/LinkClick.aspx?fileticket=M\\_PN6BSc9QY%3D&tabid=670](http://www.elke.teicrete.gr/LinkClick.aspx?fileticket=M_PN6BSc9QY%3D&tabid=670)
23. <http://www.solarworld.gr/>
24. [http://fwtovoltaikaa.weebly.com/phiomegatauomicron\\_betaomicron\\_lambdataualphai\\_otakappaeta-pialpharhoalphagammaomegagammaeta.html](http://fwtovoltaikaa.weebly.com/phiomegatauomicron_betaomicron_lambdataualphai_otakappaeta-pialpharhoalphagammaomegagammaeta.html)
25. <http://aenaos-systems.gr/ipiresies-proionta/ongrid-sistima/>
26. <http://www.sunblog.org/parka/2012/08>
27. <http://www.aefstathiou.gr>
28. [http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/\\_news/preview\\_news/92028.asp](http://www.4green.gr/data/fotovoltaika/_news/preview_news/92028.asp)
29. <http://www.sunblog.org/parka/2012/08>
30. [http://library.tee.gr/digital/kma/kma\\_m1515/kma\\_m1515\\_PVGuide\\_Approved.pdf](http://library.tee.gr/digital/kma/kma_m1515/kma_m1515_PVGuide_Approved.pdf)
31. <http://www.4green.gr>
32. <http://www.selasenergy.gr/kostos-texnika-fotovoltaika-steges.php>
33. <http://www.econews.gr>
41. [http://captainharbour.blogspot.gr/2007/10/blog-post\\_04.html](http://captainharbour.blogspot.gr/2007/10/blog-post_04.html)
42. <http://www.slideshare.net/kiriakospachos1/2-16521280>
44. <http://energypress.gr/news/h-floydopoylos-pairnei-mprosta-i-nea-monada-aerioy-tis-megalopolis>
45. <https://el.wikipedia.org>
46. <https://el.wikipedia.org>
47. <http://olympia.gr>
48. <http://ebooks.edu.gr>
49. <http://www.worldwatch.org/>
50. <http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=161&catid=141&artid=1789>
51. <http://meteonorm.com/>
52. [http://www.soda-is.com/eng/education/other\\_solar\\_data.html](http://www.soda-is.com/eng/education/other_solar_data.html)
53. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
56. [http://greenenergyplus.blogspot.gr/2011/08/blog-post\\_25.html](http://greenenergyplus.blogspot.gr/2011/08/blog-post_25.html)