



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

**Θεωρητική και πειραματική προσέγγιση αυτόνομου
ψυκτικού συστήματος**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΙΧΑΗΛ ΝΙΤΣΑΣ

Επιβλέπουσα : ΕΙΡΗΝΗ ΚΟΡΩΝΑΚΗ

Επίκουρος Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2013

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING

SECTION OF THERMAL ENGINEERING

LABORATORY OF APPLIED THERMODYNAMICS

**Theoretical and experimental approach of a
standalone refrigerating system**

Diploma Thesis

Michail Nitsas

Advisor: Irene Koronakis

Assistant Professor NTUA

Athens, July 2013

Copyright © ΝΙΤΣΑΣ ΜΙΧΑΗΛ, 2013.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα Ειρήνη Κορωνάκη για την δυνατότητα που μου προσέφερε να ασχοληθώ με ένα θέμα που ανταποκρίνεται στα ενδιαφέροντα μου αλλά ταυτόχρονα βρίσκει και άμεση εφαρμογή στο καθαρά πρακτικό σκέλος της επιστήμης ενός Μηχανικού. Επιπλέον, την ευχαριστώ για την καθοδήγησή της κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας αλλά και για την προθυμία της να υλοποιήσουμε την ιδέα της αυτόνομης ψυκτικής διάταξης.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Δημήτρη Τερτίπη για την ουσιαστική βοήθεια του κατά την εκτέλεση των πειραματικών μετρήσεων.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη τους και την κατανόηση που έδειξαν απέναντι στις στιγμές άγχους μου.

Τέλος, εκ βάθους καρδιάς ευχαριστώ το Θεό που μου έδωσε την ευκαιρία να πραγματοποιήσω ένα από τα όνειρά μου και που σε στιγμές αντικειμενικής δυσκολίας και υποκειμενικής μου αδυναμίας έφερε στη ζωή μου ανθρώπους που με στήριξαν πραγματικά.

δῶς μοι πᾶ στῶ καὶ τὰν γᾶν κινάσω

Αρχιμήδης

Στην ανιψιά μου Νεφέλη

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη μιας αυτόνομης ενεργειακά και ταυτόχρονα φορητής διάταξης ψύξης που βασίζεται εξ ολοκλήρου στην ηλιακή ενέργεια και που θα μπορούσε να έχει εφαρμογή σε περιοχές μη συνδεδεμένες στο κεντρικό δίκτυο όπως αγροτικές περιοχές και χώροι camping ή σε χώρες που δεν ανήκουν στον αναπτυγμένο κόσμο και που στερούνται ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, περιγράφεται ο τρόπος κατασκευής της διάταξης και δίδεται ένα απλό δισδιάστατο σχέδιο της.

Συνοπτικά στην παρούσα διπλωματική εργασία :

- Μελετάται η διάταξη όσον αφορά τις ενεργειακές της ανάγκες και γίνεται η διαστασιολόγηση της
- Προσεγγίζεται θεωρητικά η ενεργειακή απόδοση της ψυκτικής διάταξης με τα πακέτα Mathcad, TRNSYS και το online εργαλείο PVGIS σε διάφορες πόλεις του ευρωπαϊκού Νότου και της Μεσογείου αλλά και σε πόλεις χωρών της Αφρικής
- Παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα και γίνεται σύγκριση με τις θεωρητικές εκτιμήσεις για την πόλη της Αθήνας.

Abstract

The aim of this diploma thesis is the theoretical and experimental study of a portable and autonomous in terms of energy needs refrigerating system which depends only on solar energy. The under study system could be a useful implement for isolated off-grid regions such as rural districts as well as countries belonging to the developing world that are deprived of electric energy. Apart from the system's energy analysis, the stages of construction are also described and a 2D drawing is attached at the appendix.

Briefly, in this diploma thesis:

- the energy needs of the system are estimated and a first mathematical dimensioning of it, is performed
- by using the software tools Mathcad , TRNSYS and the online tool PVGIS the efficiency of the refrigerating device is approached theoretically in various cities in Southern Europe , Mediterranean and African countries as well.
- the results of the experiment are presented and compared with the theoretical estimates for the city of Athens.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο Α. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	1
Α.1 Σαν πρόλογος	1
Α.2 Υφιστάμενη Ενεργειακή Πραγματικότητα	1
Α.3 ΑΠΕ	5
Α.4 Η ηλιακή ενέργεια και η αξιοποίησή της	10
Κεφάλαιο Β . Φωτοβολταϊκά Συστήματα	14
Β.1 Ιστορική Αναδρομή	14
Β.2 Δομή και μηχανισμός λειτουργίας ηλιακών κυψελών-ΦΒ πλαίσιο	16
Β.3 Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών-Market των PVs	18
Κεφάλαιο Γ . Ηλιακή ψυκτική διάταξη	25
Γ.1 Το status quo στα ηλιακά ψυγεία	25
Γ.2 Η προς μελέτη διάταξη	29
Γ.2.1 Διαστασιολόγηση του προβλήματος	29
Γ.2.2 Περιγραφή της διάταξης	31
Κεφάλαιο Δ. Θεωρητική προσέγγιση της διάταξης	34
Δ.1 Ανάλυση με το TRNSYS και το PVGIS	34
Δ.1.1 Θεωρητική ανάλυση για Αθήνα	36
Δ.1.2 Θεωρητική ανάλυση για Θεσσαλονίκη	43
Δ.1.3 Θεωρητική ανάλυση για Κρήτη	49
Δ.1.4 Θεωρητική ανάλυση για Κύπρο	52
Δ.1.5 Θεωρητική ανάλυση για Μάλτα	58
Δ.1.6 Θεωρητική ανάλυση για Ισπανία	63
Δ.1.7 Θεωρητική ανάλυση για Dori ($\phi=14^\circ$)	67
Δ.1.8 Θεωρητική ανάλυση για το Darfur	72
Δ.2 Ανάλυση με το Mathcad	78
Κεφάλαιο Ε. Πειραματική προσέγγιση της διάταξης	82
Κεφάλαιο ΣΤ. Συμπεράσματα-Προτάσεις βελτίωσης	87
Παράρτημα Α	88
Παράρτημα Β	89
Παράρτημα Γ	93
Παράρτημα Δ	94
Βιβλιογραφία	95

Κεφάλαιο Α. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

A.1 Σαν πρόλογος

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες διακρίνεται , όλο και περισσότερο , μια στροφή όσον αφορά στην παραγωγή ενέργειας. Παρατηρείται , σε παγκόσμιο επίπεδο , η ανάγκη ηλεκτροπαραγωγής (και όχι μόνο) βασιζόμενη σε ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους και η απεξάρτηση από τα συμβατικά ,εν γένει ρυπογόνα , ορυκτά καύσιμα.

Οι λόγοι για αυτή την γενικότερη αλλαγή ενεργειακής “νοοτροπίας” είναι πολλοί και η αναζήτησή τους μας οδηγεί σε οικονομικούς παράγοντες και δευτερευόντως σε αύξηση της περιβαλλοντικής ευαισθησίας.

Η μείωση των αποθεματικών των συμβατικών καυσίμων λόγω της συνεχώς αυξανόμενης ενεργειακής κατανάλωσης, η ανεξαρτητοποίηση των αναπτυσσόμενων κρατών από τα μεγαθήρια ΗΠΑ , Ρωσία και Αραβικά κράτη που κρατούν τα σκήπτρα στη διάθεση ορυκτών καυσίμων και η ρύπανση του περιβάλλοντος συγκαταλέγονται στους λόγους της παγκόσμιας μεταστροφής στις εναλλακτικές μεθόδους παραγωγής ενέργειας βρίσκοντας έτσι πρόσφορο έδαφος οι *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας* (ΑΠΕ).

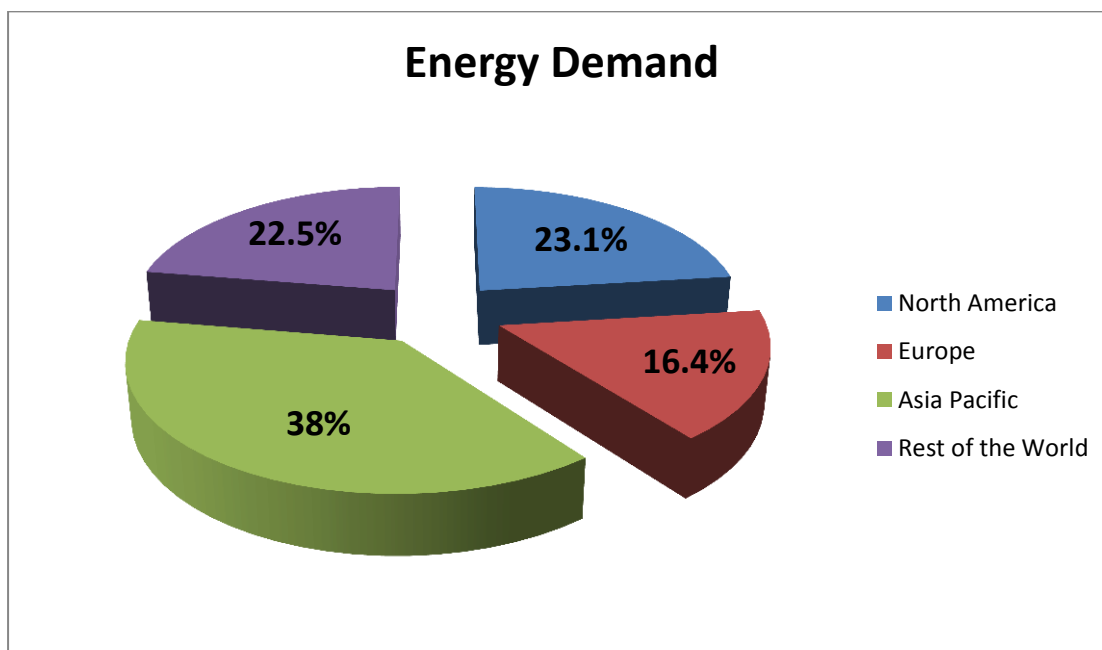
A.2 Υφιστάμενη Ενεργειακή Πραγματικότητα

Με τον όρο *ενέργεια* εννοούμε (με μεγάλη χαλαρότητα ως προς τον ορισμό) το ποσό έργου που απαιτείται ώστε ένα σύστημα να μεταβεί από μια αρχική κατάσταση σε μία τελική. Υπό περιβαλλοντική σκοπιά , η ενέργεια διακρίνεται σε *συμβατική* και σε *πράσινη* .

- Ως συμβατική ορίζουμε την ενέργεια που παράγεται από ορυκτά καύσιμα όπως γαιάνθρακες , πετρέλαιο, φυσικό αέριο.
- Ως πράσινη νοείται η ενέργεια που παράγεται από πόρους που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον όπως ηλιακή , αιολική , υδροηλεκτρική, κλπ

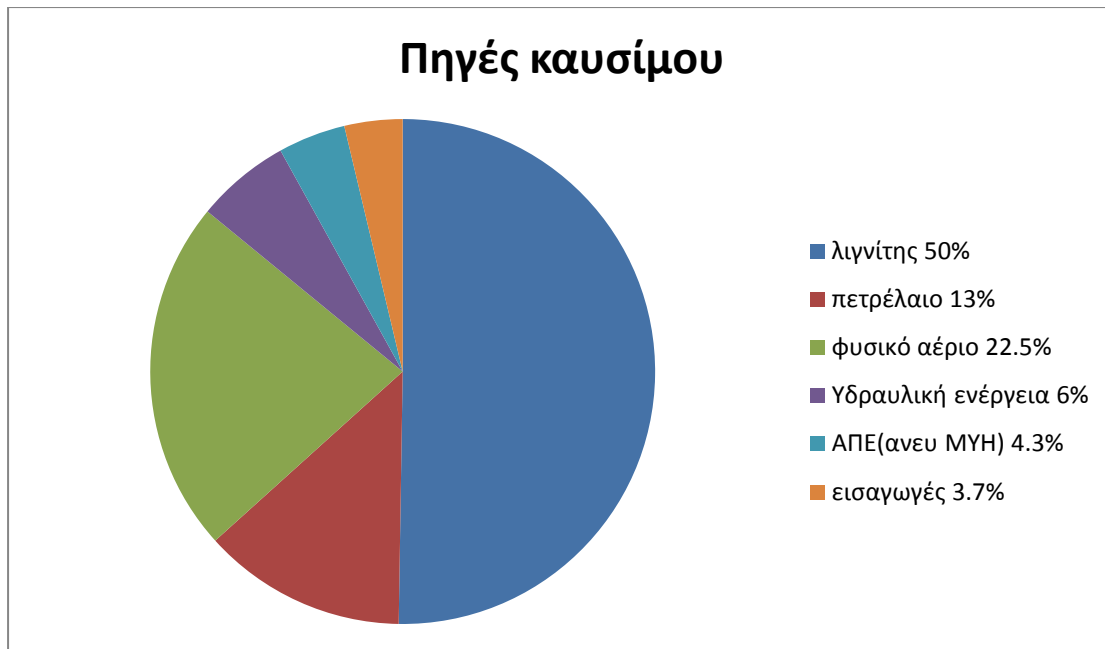
Στο παρόν πόνημα δεν θα γίνει ανάλυση των συμβατικών μορφών ενέργειας καθώς ο κύριος σκοπός είναι η ανάδειξη των ΑΠΕ. Αξίζει όμως να αναφερθεί η παρούσα ενεργειακή πολιτική τόσο στην Ελλάδα όσο και σε παγκόσμια κλίμακα και οι προβλέψεις για το ενεργειακό μέλλον.

Η σημερινή παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται σε ~13000 Mtoe με τα ορυκτά καύσιμα να αποτελούν το 80% των πηγών ενέργειας. Παρατίθεται διάγραμμα όπου φαίνεται η ποσοστιαία κατανάλωση ενέργειας ανά γεωγραφική περιφέρεια του πλανήτη.



Διάγραμμα 1. Παγκόσμια ζήτηση ενέργειας 2011. Πηγή ΙΕΑ

Όσον αφορά στην Ελλάδα, η μόνη αξιοσημείωτη εγχώρια πηγή ενέργειας είναι ο φτωχός σε ενεργειακό περιεχόμενο λιγνίτης και χρησιμοποιείται στη ηλεκτροπαραγωγή. Η ενεργειακή εξάρτηση της χώρας είναι μεγάλη και σε περιπτώσεις όπως το φυσικό αέριο απόλυτη. Όπως παρατηρείται και στο διάγραμμα που ακολουθεί οι ΑΠΕ στην χώρα μας αποτελούν μόλις το 10% των πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (συμπεριλαμβανομένων και των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων). Το γεγονός αυτό μόνο δυσοίωνα μπορεί να χαρακτηριστεί καθώς η Ελλάδα είναι μια χώρα που γεωγραφικά και κλιματολογικά της επιτρέπεται να αξιοποιήσει ενεργειακά τον υπέροχο ήλιο που την λούζει το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου και το δυνατό αέρα που την δροσίζει. Εντούτοις, επιμένει κατά κόρον στην μέθοδο του λιγνίτη.



Διάγραμμα 2. Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας. ΔΕΗ επίσημα στοιχεία 2008

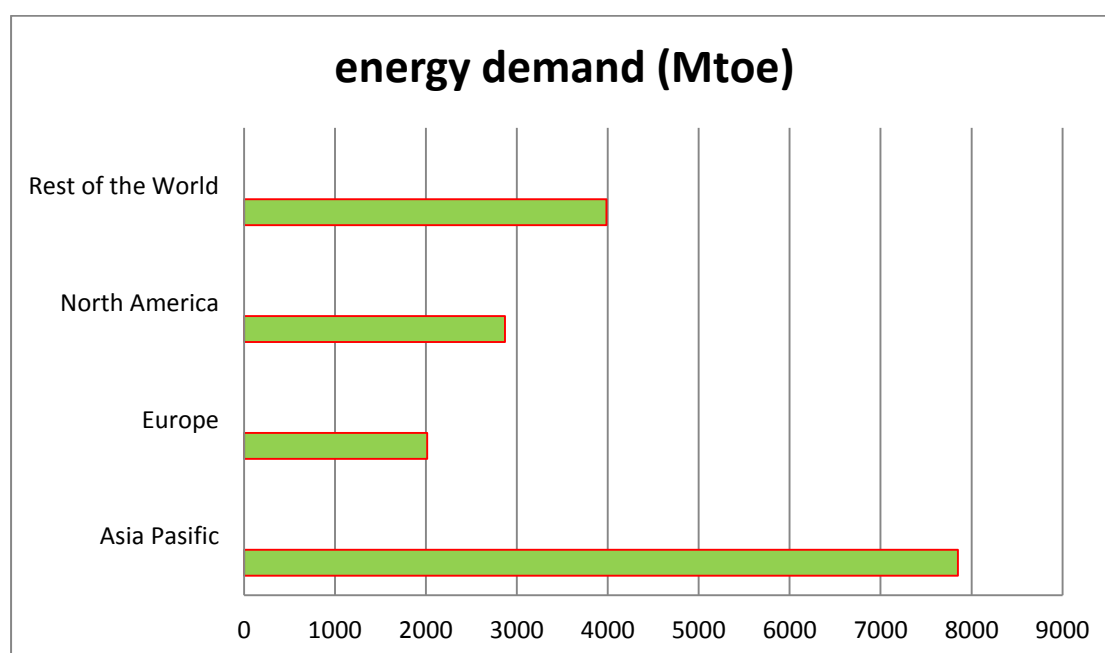
Σύμφωνα με την Διεθνή Οργάνωση Ενέργειας (IEA), μέλος της οποίας είναι και η Ελλάδα, στην μελέτη της, world energy outlook 2012, προβλέπεται ότι το status quo στην ενεργειακή πολιτική θα συνεχιστεί έως το 2030 τουλάχιστον. Συγκεκριμένα, η παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση θα αυξηθεί σύμφωνα με μετριοπαθείς προβλέψεις πάνω από 50%. Ως εκ τούτου η κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων θα αυξηθεί ώστε να καλύψει το 81% της κατανάλωσης ενώ οι ΑΠΕ θα καλύπτουν το 13% συνολικά. Ακολουθεί πίνακας με το ποσοστό της κατανάλωσης των βασικότερων πηγών ενέργειας για το 2030 σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της IEA .Πρέπει όμως να αναφερθεί και ένα πολύ αισιόδοξο σενάριο της IEA όπου μέχρι το 2030 οι ΑΠΕ θα αποτελούν το 32.4% αλλά αυτό προϋποθέτει ανάπτυξη των ΑΠΕ με συντεταγμένες μεθόδους και πλήρως στοιχειοθετημένους στόχους.

ΠΗΓΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ 2030
Άνθρακας	26.0%
Πετρέλαιο	32.6%
Φυσικό Αέριο	22.6%
Πυρηνική	5.0%
ΑΠΕ	13.8%
Σύνολο	100%

Πίνακας 1. Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας το 2030 σε %Mtoe

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε ένα παράγοντα που δεν συμπεριλήφθηκε στην παραπάνω έκθεση καθώς δεν προϋπήρχε. Αυτός ο παράγοντας είναι η οικονομική κρίση που έχει πλήξει αρκετές χώρες συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας.

Η κατανάλωση ενέργειας στις G20 το 2011 έπεσε κατά 2% κυρίως λόγω της κρίσης. Για αρκετά χρόνια από τώρα , αναμένεται , η ζήτηση ενέργειας να προσδιορίζεται από ανερχόμενες οικονομίες όπως η Κίνα , η Ινδία , η Βραζιλία ενώ οι αναπτυγμένες θα πασχίζουν με λιτότητες , λιμνάζουσες οικονομίες και υψηλές τιμές πετρελαίου και εκ των πραγμάτων θα σταθεροποιήσουν ή και θα μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση. Ακολουθεί διάγραμμα με τις εκτιμήσεις για το 2030 λαμβάνοντας υπόψη και την οικονομική πραγματικότητα.



Διάγραμμα 3. Παγκόσμια ζήτηση ενέργειας σε Mtoe. Πηγή IEA

Σε κάθε περίπτωση όμως , ένα ενεργειακό μέλλον βασισμένο στην λογική του εθισμένου καταναλωτή και στην εντατική χρήση των συμβατικών καυσίμων μόνο βιώσιμο δεν μπορεί να χαρακτηριστεί διότι προκλήσεις όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου , η ρύπανση της ατμόσφαιρας, η μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών , το κόστος των συμβατικών καυσίμων, πόλεμοι (κι όμως το έχουμε δει να συμβαίνει στο άμεσο παρελθόν) θα μας υπενθυμίζουν διαρκώς ότι πρέπει να αλλάξουμε νοοτροπία στην ενεργειακή πολιτική. Στην κατεύθυνση αυτή κινείται η Λευκή Βίβλος της ΕΕ που θέτει στόχο ως το 2020 το 20% της παραγωγής ενέργειας στην Ευρώπη των 27 να προέρχεται από ΑΠΕ ενώ στην Ελλάδα έχει τεθεί ο στόχος του 18% έως το 2020[6].

Δυστυχώς στην χώρα μας οι εκάστοτε πολιτικές , η έλλειψη σχεδιασμού ενεργειακής ανάπτυξης , η γραφειοκρατία , η οικονομική κρίση , η απουσία επενδυτών , η μείωση του feed in tariff , η ενδεχόμενη επιβολή φόρου στα φωτοβολταϊκά αποτελούν τροχοπέδη για την ανάπτυξη των ΑΠΕ και αν μη τι άλλο για την επίτευξη του ευρωπαϊκού στόχου.

A.3 ΑΠΕ

Η επιτακτική ανάγκη, όπως προαναφέρθηκε ,για ενεργειακή αυτοτέλεια-αυτάρκεια των εξαρτημένων (ενεργειακά) κρατών αλλά και η βούληση για αποδέσμευση από την κυριαρχία των ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας έδωσε πρόσφορο έδαφος στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).

Με τον όρο ΑΠΕ εννοούμε τις μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες , όπως ηλιακή ακτινοβολία, άνεμος , γεωθερμία, κυκλοφορία του νερού. Είναι ανανεώσιμες διότι είναι απόρροια της αέναης παρουσίας των φυσικών φαινομένων ακόμη και αν η ανανέωση τους κρατά έως χιλιετίες (γεωθερμία) εν αντιθέσει με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας (άνθρακας και πετρέλαιο) που είναι πεπερασμένης και επομένως εξαντλήσιμης ποσότητας. Τέλος , χαρακτηρίζονται και ως ήπιες μορφές ενέργειας γιατί αφενός η εκμετάλλευσή τους δεν περιλαμβάνει ενεργητική παρέμβαση απλώς αξιοποίηση της υπάρχουσας ροής ενέργειας και αφετέρου είναι φιλικές στο περιβάλλον μιας και δεν αποδεσμεύουν επιβλαβή αέρια ή ραδιενεργά απόβλητα.

Στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας περιλαμβάνονται οι ακόλουθες



Ηλιακή



Αιολική



Υδραυλική



Βιομάζα



Γεωθερμία



Θαλάσσιο δυναμικό

Πηγή των περισσότερων ΑΠΕ είναι ο ήλιος. Η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών διαμέσου της φωτοσύνθεσης. Η αιολική είναι ενέργεια που έχουν οι άνεμοι οι οποίοι προκαλούνται από την θέρμανση του αέρα από τον ήλιο ενώ η υδραυλική ουσιαστικά βασίζεται στον κύκλο του νερού όπου γενεσιουργός δύναμη είναι και πάλι ο ήλιος. Εξαιρεση αποτελεί η γεωθερμία που είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης και η θαλάσσια ενέργεια όπου εκεί παρεμβαίνει και ο παράγοντας της βαρύτητας Σελήνης εκτός από τον κύκλο του νερού.

Χάριν πληρότητας, στο παρόν στάδιο θα αναφέρουμε κάποιες πληροφορίες για κάθε μορφή ΑΠΕ πλην της ηλιακής θα αναλυθεί σε επόμενη ενότητα.

Βιομάζα

Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών για αποδέσμευση της ενέργειας που περικλείεται στο φυτό από την φωτοσύνθεση για την παραγωγή βιοκαυσίμων ή απευθείας παραγωγή ενέργειας πχ Θερμότητα. Πηγές βιομάζας είναι τα υπολείμματα αγροτικών καλλιεργειών , κτηνοτροφίας, αγροτικής βιομηχανίας, τα αστικά απορρίμματα αλλά και οι πλέον διαδεδομένες ενεργειακές καλλιέργειες.

Υδραυλική Ενέργεια

Πρόκειται για την ενέργεια που αξιοποιείται από τα γνωστά σε όλους υδροηλεκτρικά έργα με την μορφή κυρίως των μικρών υδροηλεκτρικών. Το νερό σε μια λεκάνη απορροής παροχής Q οδηγείται σε υδροστρόβιλο όπου η βαρυτική ενέργεια του νερού σε ένα ύψος H μετατρέπεται σε μηχανικό έργο ρgQH_M στον στρόβιλο και κατόπιν σε ηλεκτρική ενέργεια $\rho gQH_{M\eta_e}$.

Γεωθερμία

Προέρχεται από την θερμότητα που παράγεται από την ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης η οποία αυξάνει την θερμική ενέργεια των ρευστών που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη στα σημεία όπου τα γεωθερμικά ρευστά εξέρχονται με φυσικό τρόπο πχ πίδακες. Θα ήταν άτοπο να μην γίνει μνεία στο παράδειγμα της Ισλανδίας όπου η γεωθερμία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών αναγκών της χώρας για θέρμανση και το 20% των αναγκών για ηλεκτρισμό.

Θαλάσσιο δυναμικό

Οι κύριες μορφές εμφάνισης και άρα αξιοποίησης του θαλάσσιου δυναμικού είναι τα ακόλουθα.

- ✓ Παλιρροιακά ή θαλάσσια ρεύματα
- ✓ Κυματική ενέργεια
- ✓ Οσμωτική ενέργεια

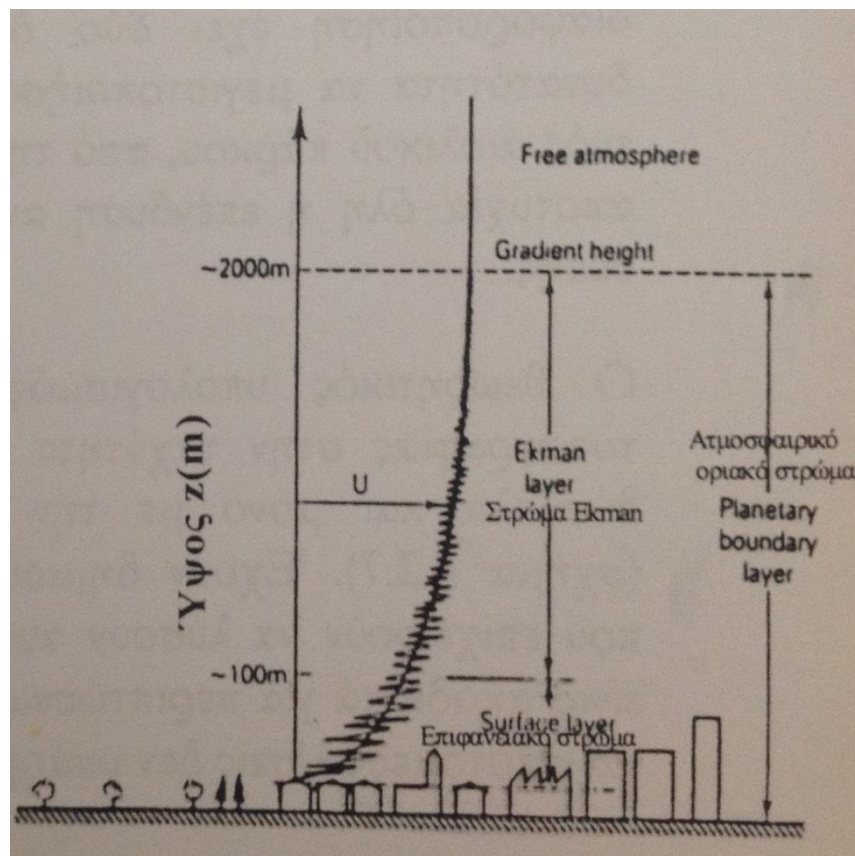
- ✓ Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ επιφάνειας και πυθμένα ωκεανών

Ειδικά η τελευταία περίπτωση βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της έρευνας.

Αιολικό Δυναμικό

Οι άνεμοι είναι αέριες μάζες που κινούνται λόγω των διαφορετικών πιέσεων που προκαλούνται κυρίως από την άνιση θέρμανση των διαφόρων περιοχών της γης από τον ήλιο. Η κίνηση τους επηρεάζεται από την ακτινοβολία που φτάνει στη γη, από το γεωμορφολογικό ανάγλυφο της γης και από την περιστροφική κίνηση της Γης.

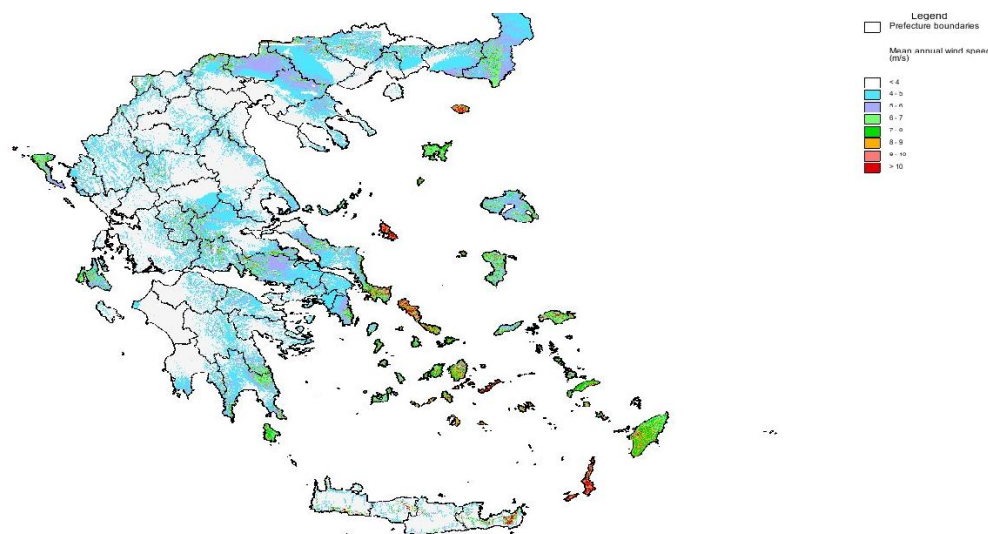
Στο κατώτατο επίπεδο της ατμόσφαιρας δημιουργείται, λόγω ιξώδους του αέρα (τυρβώδης μετάδοση θερμότητας), το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα.



Εικόνα 1. Ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα[8]

Η ισχύς του ανέμου είναι $P=0.5\rho AV^3$ όπου ρ η πυκνότητα του και A η επιφάνεια που προσβάλλει. Μέρος της ισχύος αυτής δεσμεύεται από τις *ανεμογεννήτριες* για την ηλεκτροπαραγωγή.

Παρακάτω φαίνεται ο αιολικός χάρτης της Ελλάδος όπου φαίνεται το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό στη χώρα.



Εικόνα 2.Αιολικός χάρτης Ελλάδας [9]

Κλείνοντας την ενότητα αυτή , απαριθμώ παρακάτω τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ.

- ▲ Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στην μείωση της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα
- ▲ Συνεισφέρουν στην εθνική ενεργειακή αυτάρκεια
- ▲ Είναι φιλικές για το περιβάλλον και τον άνθρωπο
- ▲ Καθότι είναι διάσπαρτες γεωγραφικά συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος και στη μείωση του κόστους μεταφοράς ενέργειας
- ▲ Είναι ευέλικτες ως προς την εφαρμογή τους δηλαδή μπορεί ένα υβριδικό σύστημα να παράγει ζεστό νερό χρήσης (ΖΝΧ) , ψύξη και ηλεκτρισμό ταυτόχρονα.
- ▲ Συμβάλλουν στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Τα μόνα αρνητικά που θα μπορούσαμε να καταλογίσουμε στις ΑΠΕ είναι η χαμηλή τους απόδοση (~30%) , το ακριβό κόστος επένδυσης και η εξάρτησή τους από κλιματολογικά δεδομένα , παράγοντες που τις καθιστούν συμπληρωματικές και όχι πρωτεύουσες πηγές ενέργειας.

A.4 Η ηλιακή ενέργεια και η αξιοποίησή της

Πηγή της ηλιακής ενέργειας είναι ο ήλιος. Ο ήλιος είναι ένας τεράστιος αντιδραστήρας σύντηξης όπου υδρογόνο μετατρέπεται σε ήλιο με ρυθμό 4 Mtnps. Η μάζα που χάνεται μετασχηματίζεται σε ενέργεια ενώ υπολογίζεται ότι η μετατροπή 1 gr υδρογόνου σε ήλιο έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση ενέργειας ίση με 0.167 MWh. Η ηλιακή ενέργεια που παράγεται διαδίδεται με την μορφή κυρίως ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Υπάρχει βέβαια και η διάδοση με σωματιδιακή μορφή αλλά είναι μηδενικού ενδιαφέροντος από πλευράς ενεργειακής εκμετάλλευσης. Η διαμόρφωση της ακτινοβολίας παρομοιάζεται με εκείνη που εκπέμπει μέλαν σώμα θερμοκρασίας 5800-6000 K. Από την ισχύ που παράγεται από τον ήλιο (~173000 TW) το 30% ανακλάται στο διάστημα ενώ ένα 47% μετατρέπεται άμεσα σε θερμότητα στη Γη , στους ωκεανούς και στον αέρα. Η ηλιακή ενέργεια έχει τεράστιο θεωρητικό δυναμικό ενώ αυτή που φτάνει στη γη είναι μεγαλύτερη κατά τρεις τάξεις μεγέθους από την ετήσια παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Η ενέργεια της ακτινοβολίας που τελικά φτάνει στην επιφάνεια της γης εξαρτάται από το υψόμετρο , τη γεωγραφική θέση , την υγρασία της ατμόσφαιρας , τη θέση του ήλιου στον ουρανό και τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε μια οριζόντια ή κεκλιμένη επιφάνεια, έχει δυο συνιστώσες: την άμεση και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι αυτή η οποία φτάνει απ' ευθείας από τον ηλιακό δίσκο στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση (αλλαγή κατεύθυνσης) κατά τη διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Εξαρτάται από την απόσταση Ήλιου-Γης, την ηλιακή απόκλιση (δ), το ηλιακό ύψος (α), το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (ϕ), το υψόμετρο του τόπου (h), την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει (β), καθώς και από την απορρόφηση και διάχυση την οποία υφίσταται μέσα στην ατμόσφαιρα. Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία είναι το ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την ανάκλαση ή σκέδαση μέσα στην ατμόσφαιρα, αλλά και μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της Γης.

Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος (α), το υψόμετρο του τόπου, τη λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διαφόρων κέντρων σκεδάσεως (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στην ατμόσφαιρα, τόσο μικρότερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης. Για τον λόγο αυτό η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την θερινή περίοδο σε σχέση με τη χειμερινή. Τέλος, όσο πιο κάθετα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επιφάνεια στην Γη τόσο μεγαλύτερη είναι η έντασή της.

Η Ελλάδα, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζει ένα ιδιαίτερα υψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1,400-1,800 (kWh/(m².yr)) ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια μορφή ενέργειας με σχεδόν σταθερή και προβλέψιμη ένταση (W/m²) στην διάρκεια του χρόνου και της ημέρας. Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει την μέγιστη ένταση της κατά την διάρκεια του μεσημεριού (μέγιστο ηλιακό ύψος), τόσο κατά τη θερινή όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο. Η ηλιακή ενέργεια είναι μεγαλύτερη κατά τη θερινή περίοδο, λόγω την θέσης του ήλιου, αλλά και λόγω της αύξησης των ωρών ηλιοφάνειας (μείωση των νεφώσεων).

Ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας γίνεται σε τρία στάδια:

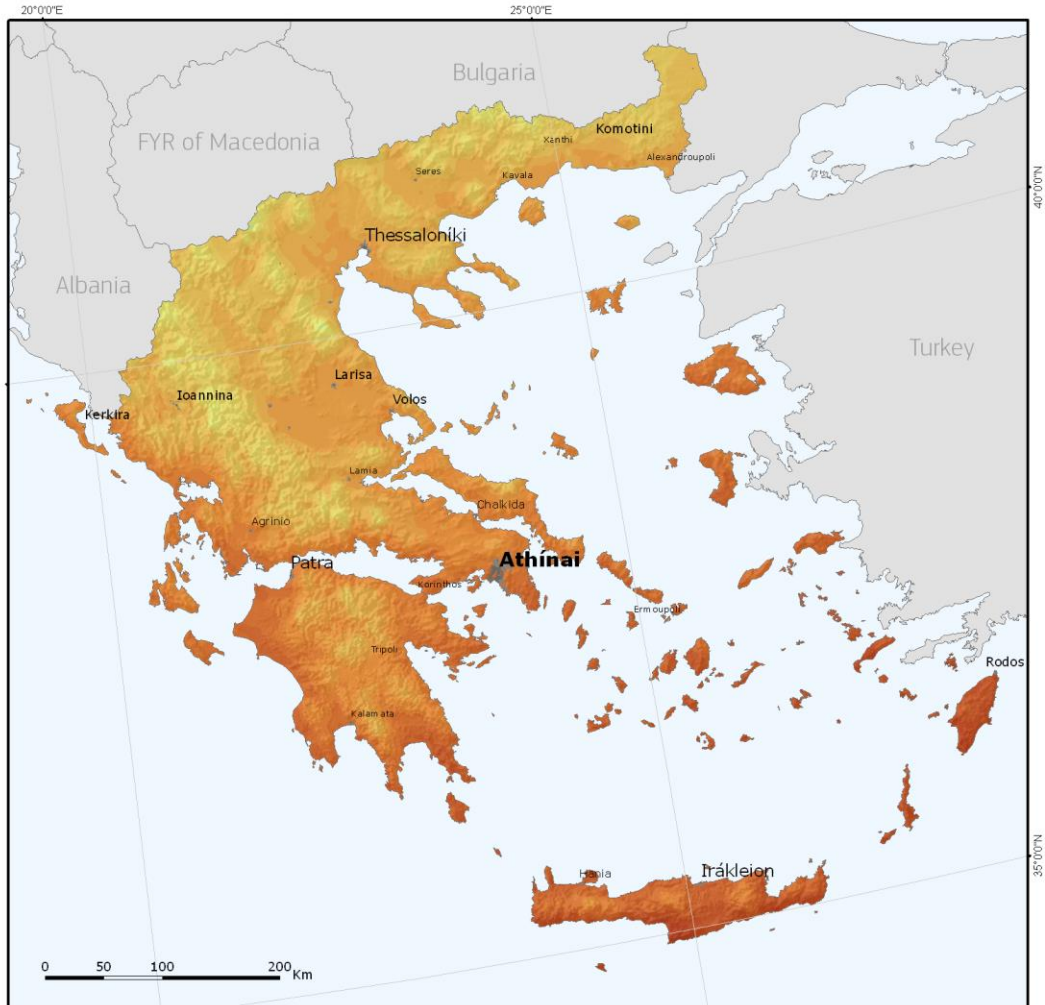
- Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας
- Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια
- Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια

Τα στάδια υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας με μαθηματικές σχέσεις περιγράφονται στο Παράρτημα Α.



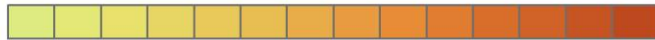
Global irradiation and solar electricity potential Horizontally mounted photovoltaic modules

GREECE / ΕΛΛΑΔΑ



Yearly sum of global irradiation
[kWh/m²]

1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000



975 1050 1125 1200 1275 1350 1425 1500

- Urban area
- Water body

Yearly sum of solar electricity generated by 1kW_p
system with performance ratio 0.75
[kWh/kW_{peak}]



Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua
European Commission - Joint Research Centre
Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Εικόνα 3. Ηλιακό δυναμικό στην Ελλάδα [10]

Το τεράστιο ηλιακό δυναμικό αξιοποιείται με τρία είδη ηλιακών συστημάτων , τα ενεργητικά , τα παθητικά και τα φωτοβολταϊκά.

Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα

Πρόκειται για συστήματα τα οποία βασίζονται στον ηλιακό συλλέκτη , ο οποίος περιλαμβάνει μια μαύρη μεταλλική επιφάνεια που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα , συνήθως γυαλί ή πλαστικό , που παγιδεύει την θερμότητα. Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται σωληνώσεις διαμέσου των οποίων ρέει υγρό που απάγει την θερμότητα και με την βοήθεια κυκλοφορητών μεταφέρεται σε δεξαμενή αποθήκευσης.

Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Πρόκειται για συστήματα τα οποία στηρίζονται στα δομικά στοιχεία ενός κτηρίου και συνδράμουν στην καλύτερη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την θέρμανση ή την ψύξη του κτηρίου. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου , στη θερμική υστέρηση των υλικών (θερμοχωρητικότητα) και στους νόμους της μετάδοσης θερμότητας.

Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα

Πρόκειται για ηλιακά συστήματα που στηρίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο και που μετατρέπουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου σε ηλεκτρική ενέργεια. Εκτενέστερη ανάλυση ακολουθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο Β . Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Β.1 Ιστορική Αναδρομή

Με τον όρο *φωτοβολταϊκό φαινόμενο* εννοούμε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φως. Η ανακάλυψη του φαινομένου πιστώνεται στον Γάλλο φυσικό Edmund Becquerel ο οποίος σε μια δημοσίευση το 1839 περιέγραφε πείραμα όπου η τάση ενός συσσωρευτή αύξανε όταν οι πλάκες του εκτίθονταν στο ηλιακό φως.

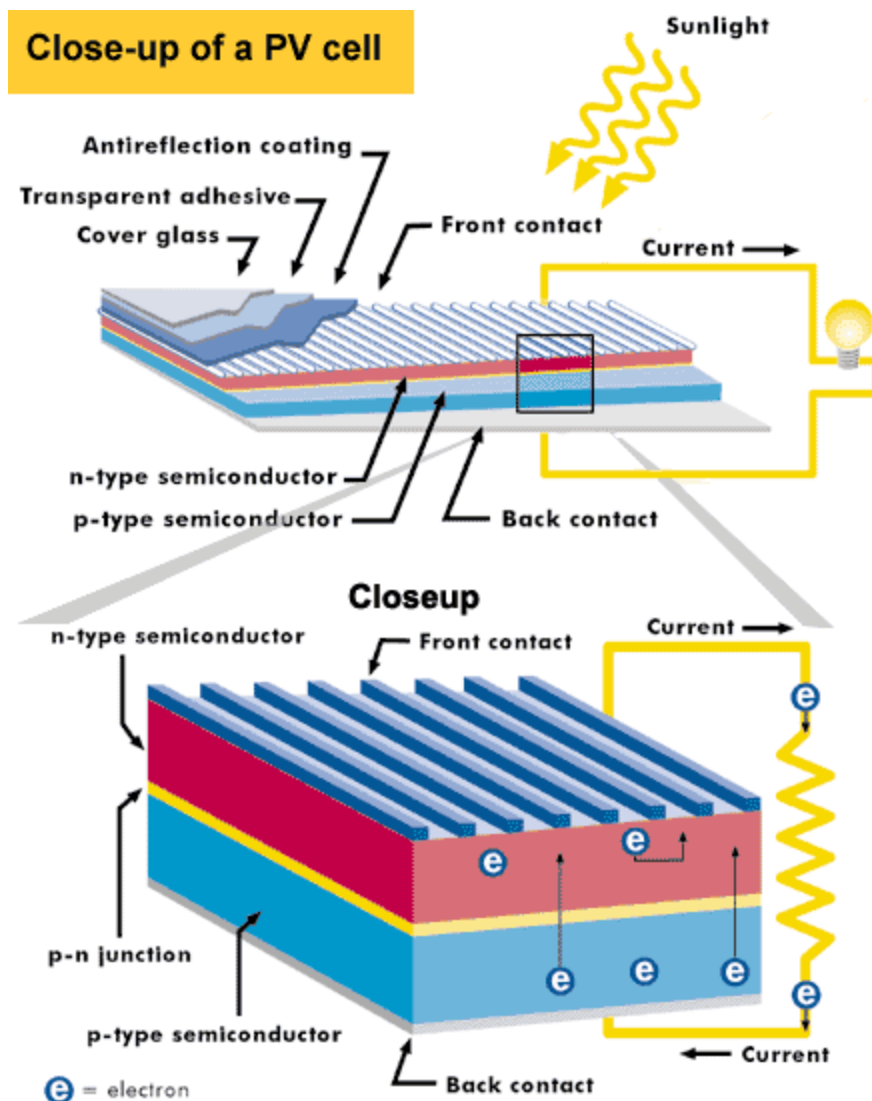
Ακολουθεί πίνακας με την χρονολογική εξέλιξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας .

1839	Παρατήρηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου από Becquerel
1871	Περιγραφή από Adams & Day των μεταβολών των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του σεληνίου όταν αυτό εκτίθεται στο φως
1883	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από σεληνιο (Charles Edgar Fritts)
1937	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από PbS(Fischer and Godden)
1941	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Si (Ohi)
1953	Ανακάλυψη της μεθόδου σχηματισμού ενώσεων p-n (Fuller)
1954	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Si με σχηματισμό ένωσης p-n με διάχυση προσμίξεων και με απόδοση (Chapin , Fuller and Pearson)
1956	Εμπορική διάθεση ηλιακών στοιχείων (εταιρεία Hoffman)
1959	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από CdS με απόδοση 5%(Hammond)
1972	Κατασκευή ινώδους ηλιακού Si με απόδοση 14% (Lindmayer και Allison)
1976	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από άμορφο Si με απόδοση 0.01%(Carlson και Wronski)
1977	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs απόδοσης 16% (Kameth)
1984	Παραγωγή ηλιακών στοιχείων άμορφου Si στην Ιαπωνία αποδόσεως 5%

Πίνακας 2.Χρονολογική εξέλιξη της τεχνολογίας των ΦΒ

B.2 Δομή και μηχανισμός λειτουργίας ηλιακών κυψελών-ΦΒ πλαίσιο

Τα σημαντικότερα στοιχεία ενός ηλιακού κελιού (*solar cell*) είναι δύο στρώματα ημιαγωγικού υλικού τα οποία γενικά αποτελούνται από κρυστάλλους πυριτίου. Το κρυσταλλικό πυρίτιο, αυτό καθ' αυτό δεν είναι ένας πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, αλλά όταν προστίθενται σ' αυτό προσμίξεις, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Στο κάτω στρώμα του ηλιακού κελιού προστίθεται συνήθως βόριο, το οποίο δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο οδηγώντας στην ανάπτυξη θετικού φορτίου (p). Στο πάνω μέρος του ηλιακού κελιού προστίθεται συνήθως φώσφορος, το οποίο δημιουργεί δεσμούς με το πυρίτιο οδηγώντας στην ανάπτυξη αρνητικού φορτίου (n). Η επιφάνεια μεταξύ των ημιαγωγών τύπου p και τύπου n που δημιουργούνται ονομάζεται p-n επαφή (P-N junction).



Εικόνα 4. Δομή ενός ηλιακού κελιού [11]

Όταν το ηλιακό φως εισέρχεται στο κελί (Βλ. Εικόνα 3), η ενέργεια του ελευθερώνει ηλεκτρόνια και στα δύο στρώματα. Τα ηλεκτρόνια αυτά, γνωστά και ως ελεύθερα ηλεκτρόνια, προσπαθούν, λόγω των διαφορετικών φορτίσεων των δύο στρωμάτων, να μετακινηθούν από το στρώμα τύπου-n στο στρώμα τύπου-p, αλλά εμποδίζονται από το ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή p-n. Ωστόσο, η παρουσία ενός εξωτερικού κυκλώματος δημιουργεί την απαραίτητη διαδρομή για τη μεταφορά ηλεκτρονίων από το στρώμα τύπου-n στο στρώμα τύπου-p. Εξαιρετικά λεπτά καλώδια κατά μήκος του στρώματος τύπου-n επιτρέπουν τη διέλευση ηλεκτρονίων και η κίνηση αυτή των ηλεκτρονίων προκαλεί τη δημιουργία ρεύματος.

Το βασικό δομικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι όπως αναφέρθηκε η ηλιακή κυψέλη που παράγει ισχύ 1-2 Watt .Προκειμένου να επιτευχθεί κατάλληλη ισχύς , 36 με 50 κυψέλες διατάσσονται σε σειρά και εν παραλλήλω δημιουργώντας έτσι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module) το οποίο εν γένει χαρακτηρίζεται από την ονομαστική ή διαφορετικά ισχύ αιχμής του σε συγκεκριμένες συνθήκες (ακτινοβολία 1000 W/m², θερμοκρασία κυψέλης 25°C)

Ενώ η φωτοβολταϊκή τεχνολογία έχει φθίνον κόστος κατασκευής εντούτοις δεν παύει να είναι μια ακριβή ακόμη τεχνολογία. Ακολουθούν σε μορφή πίνακα τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ΦΒ μετατροπής.

Πλεονεκτήματα Φ/Β μετατροπής	Μειονεκτήματα Φ/Β μετατροπής
Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.	Υψηλό κόστος κατασκευής ηλιακών στοιχείων.
Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής και Αυτονομία.	Αποθήκευση ενέργειας με χρήση ακριβών συστημάτων (συσσωρευτές).
Κατασκευή στοιχείων από πρώτες ύλες που αφθονούν. (π.χ. Si, Cu, Ar)	Μεγάλη διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας και ενδεχόμενη αστάθεια συστημάτων.
Εύκολη και ανέξοδη συντήρηση και επίλυση βλαβών στις φωτοβολταϊκές διατάξεις.	Χρησιμοποίηση μεγάλων επιφανειών λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.
Μηδενική ρύπανση περιβάλλοντος.	
Κατάλληλα για διαστημικές εφαρμογές.	

Πίνακας 3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΦΒ μετατροπής

B.3 Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών-Market των PVs

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ανάλογα με το υλικό κατασκευής των κυψελών τους διακρίνονται σε μονοκρυσταλλικά , πολυκρυσταλλικά , άμορφου πυριτίου καθώς και άλλες κατηγορίες που προκύπτουν από προσμίξεις. Οι δύο πρώτες κατηγορίες είναι και αυτές που επικρατούν στο εμπόριο.

Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου. Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία “Czochralski”. Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, της τάξης του 15-18% αλλά και υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φθηνότερα από τα υπόλοιπα επειδή είναι λιγότερα τα υπολείμματα κατά την κατασκευή τους. Ωστόσο δε χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ επειδή δεν χρησιμοποιείται αποδοτικά μία επιφάνεια, λόγω των κενών μεταξύ τους όταν τοποθετούνται δίπλα το ένα στο άλλο. Αποτελούν όμως μία καλή προοπτική για ενσωμάτωση σε κτίρια όταν απαιτείται μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι συνήθως βαθύ μπλε έως μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική (AR) επίστρωση ή γκρι (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).



Εικόνα 5. Μορφή monoSi κυψέλης [12]

Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους (wafers) πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).

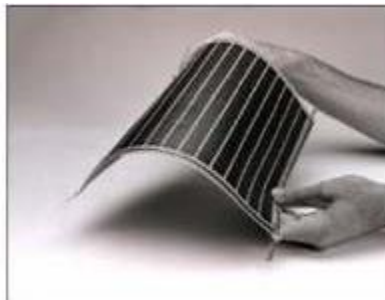


Εικόνα 6. Πλαίσιο αποτελούμενο από κυψέλες poly-Si [12]

Αρκετή έρευνα έχει διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για την τελειοποίηση μεθόδων κατασκευής ηλιακών κελιών με ημιαγωγούς πάχους μόλις μερικών μικρομέτρων, με στόχο την επίτευξη μίας εύλογης απόδοσης με τη χρήση μικρής ποσότητας πυριτίου. Τα κελιά αυτά έχουν μικρότερη απόδοση από τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου (της τάξης του 5-7%)[5] αλλά με αρκετά χαμηλότερο κόστος, ώστε να τα καθιστά ανταγωνιστικά. Συνήθως χαρακτηρίζονται από το έντονα σκούρο (σχεδόν μαύρο) χρώμα τους. Κυριότεροι αντιπρόσωποι της κατηγορίας αυτής αποτελούν τα παρακάτω:

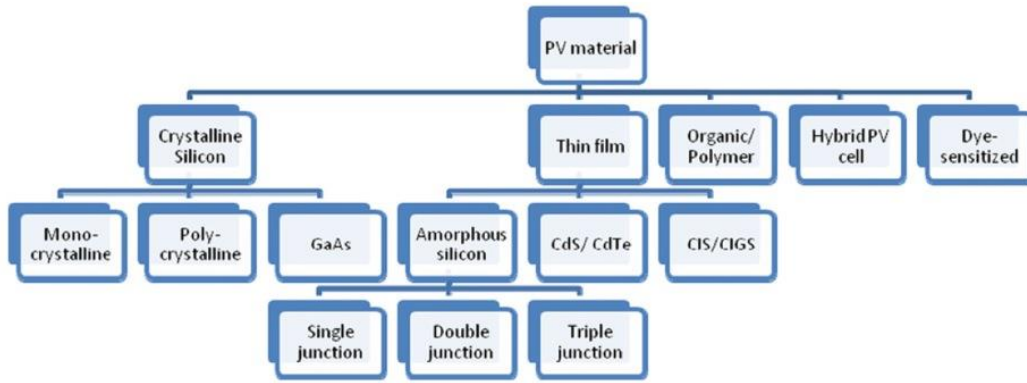
- Κελιά άμορφου πυριτίου
- Κελιά καδμίου-τελλουρίου CdTe
- Κελιά χαλκού-ινδίου/γάλλιου-σεληνίου

Αξίζει να σημειώσουμε την υψηλή απόδοση της τελευταίας περίπτωσης (CuInGeSe_2) που φτάνει το 20%[10]



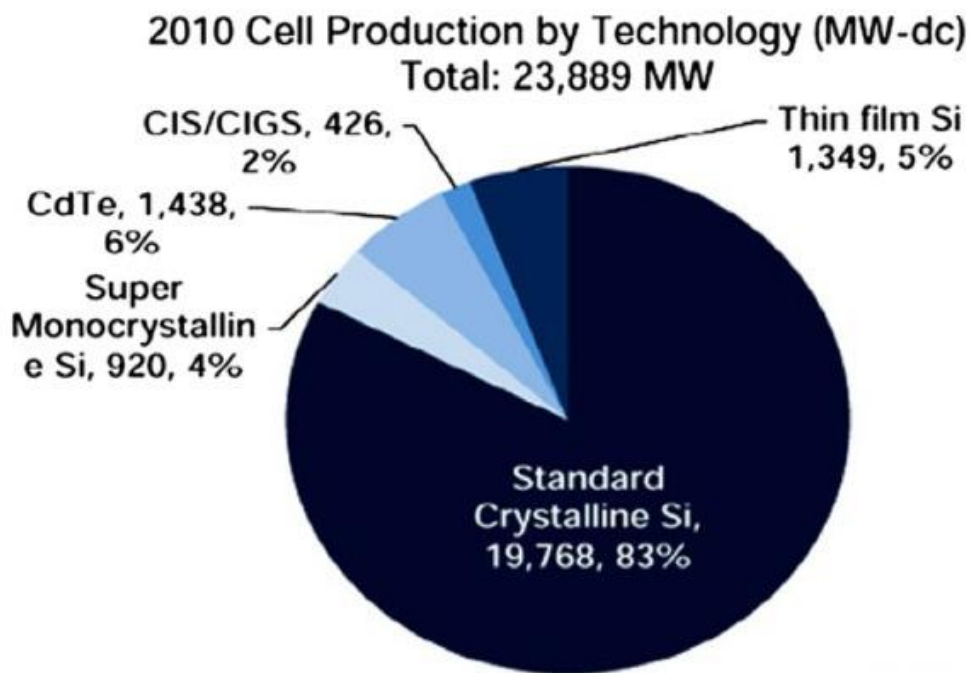
Εικόνα 7.Στοιχείο λεπτού υμένου[12]

Στην επόμενη σελίδα , χάριν σύνοψης , παρατίθεται σε εικόνα ένα διάγραμμα τύπου δένδρου όπου φαίνεται η κατηγοριοποίηση των PV modules με κριτήριο το υλικό κατασκευής των κυψελών τους.



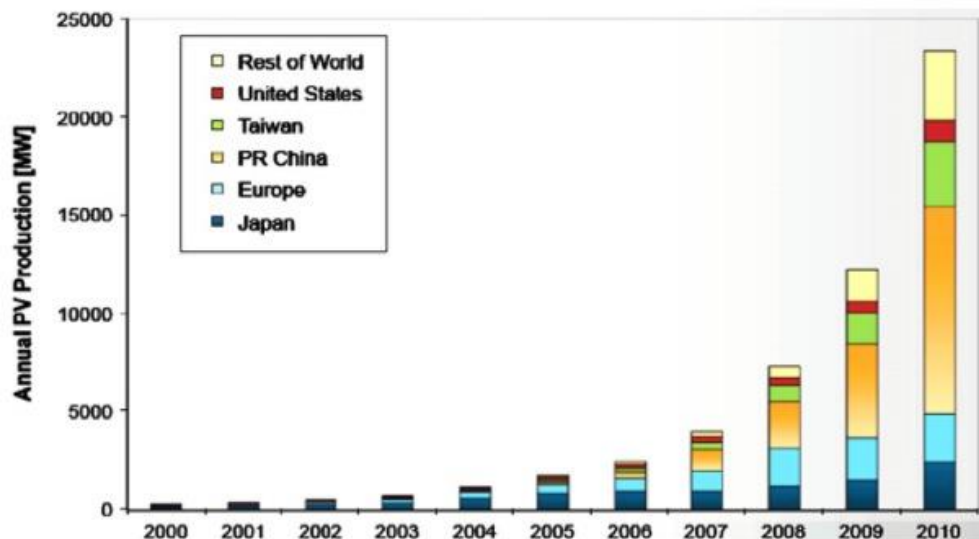
Εικόνα 8.Υλικά κατασκευής ηλιακών στοιχείων.[13]

Δεν αποτελεί ,σαφώς, έκπληξη το γεγονός ότι τα ΦΒ πλαίσια πυριτίου μονοπωλούν τις Αγορές των PVs όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί.

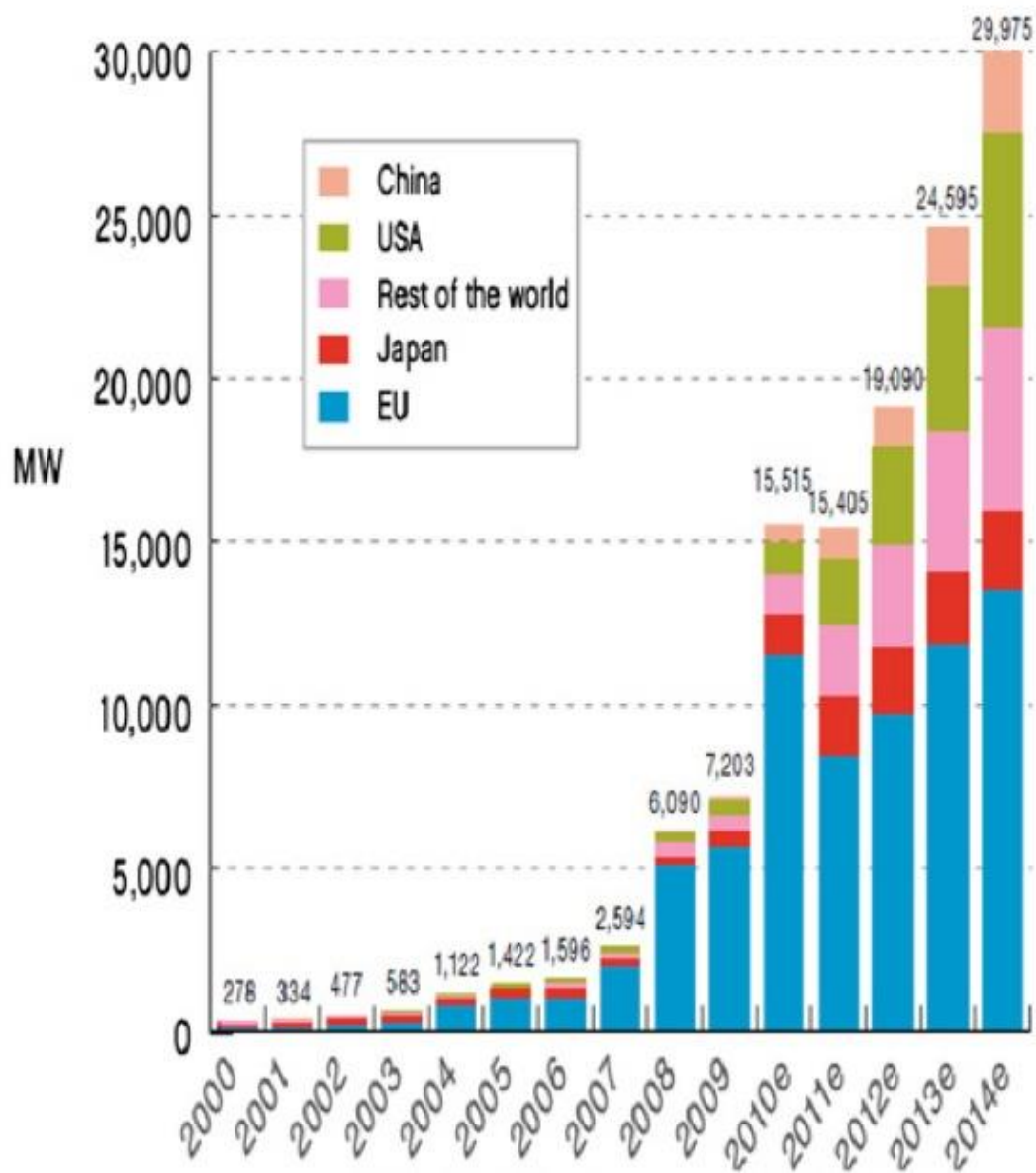


Διάγραμμα 4.Υλικά κατασκευής PV για το έτος 2010. [13]

Όσον αφορά στην κατασκευή ΦΒ συστημάτων η Κίνα , όπως φαίνεται και στο διάγραμμα 5 , είναι πρωτοπόρος με παραγωγή πάνω από 10000MW ΦΒ πινέλων[5]. Εντούτοις , στην εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων για ηλεκτροπαραγωγή πρωτοστατεί η ΕΕ με περίπου 10GWp το 2012 ενώ εκτιμήσεις θέλουν την εγκατεστημένη ισχύ να αγγίζει τα 14GWp το 2014 , όπως φαίνεται από το διάγραμμα 6 [10] .



Διάγραμμα 5. Παγκόσμια παραγωγή PV για το διάστημα 2000-2010.[13]



Διάγραμμα 6. Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς σε PVs. [14]

Όσον αφορά στις νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών προκειμένου να βελτιωθεί η απόδοση των ΦΒ , οι έρευνες πλέον δεν επικεντρώνονται στην ανεύρεση νέων υλικών αλλά σε νέες μεθόδους παρασκευής των υφιστάμενων ΦΒ με βελτιωμένη συμπεριφορά. Η νανοτεχνολογία ή όπως αναφέρονται μερικές φορές “ τρίτης γενιάς ΦΒ” [15] χρησιμοποιείται για να αυξήσει την απόδοση της μετατροπής του ηλιακού στοιχείου μιας και το χάσμα ενέργειας μπορεί να ρυθμιστεί από συστατικά-εξαρτήματα νανοκλίμακας [15]. Τρεις διατάξεις νανοτεχνολογίας με εφαρμογή στην παραγωγή ΦΒ κελιών είναι οι nanotubes (CNT) , τα quantum dots (QDs) και το λεγόμενο hot carrier solar cell (HC) [16] .Ειδικά η τρίτη περίπτωση είναι αρκετά υποσχόμενη , παρότι είναι ακόμη σε πειραματικό στάδιο, καθώς αυξάνει την απόδοση του κελιού στο 66% [17] .

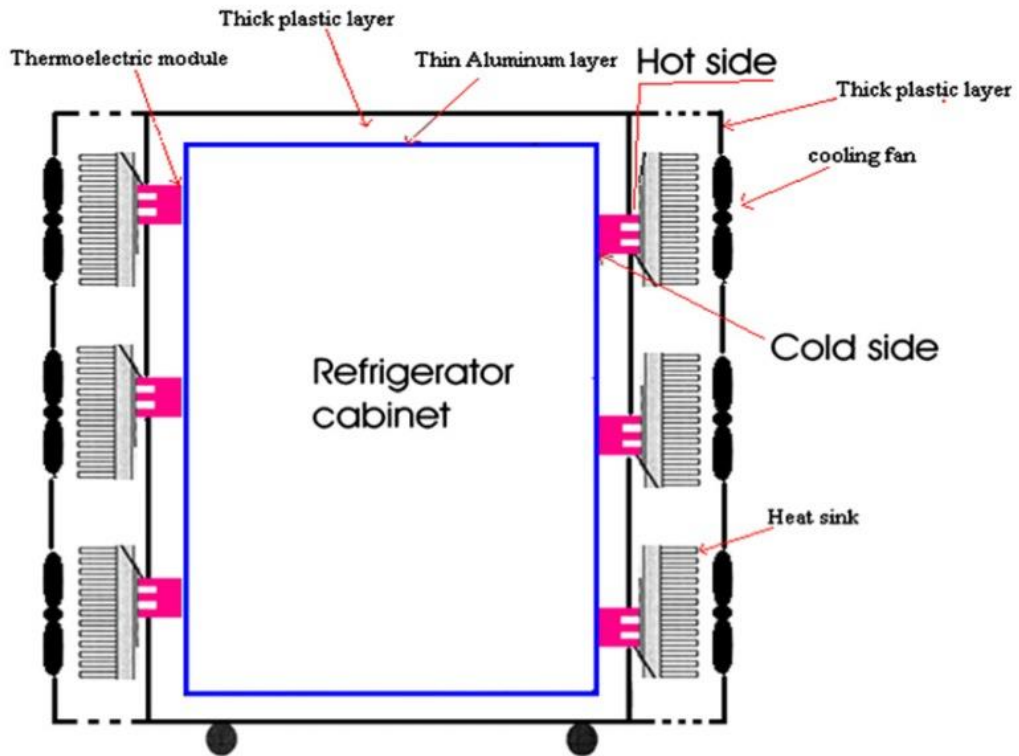
Κεφάλαιο Γ . Ηλιακή ψυκτική διάταξη

Γ.1 Το status quo στα ηλιακά ψυγεία

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ηλιακό ψυγείο είναι η διάταξη ψύξης που καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική σε ένα ΦΒ πλαίσιο και αποθηκεύεται σε συσσωρευτή. Το ηλιακό ψυγείο ως οικιακή συσκευή μπορεί να αποτελέσει λύση για συντήρηση τροφίμων και φαρμάκων-εμβολίων σε χώρες υπό ανάπτυξη και όχι τόσο στις αναπτυγμένες χώρες. στον αναπτυγμένο κόσμο εντούτοις μπορεί να γίνει χρήσιμο εργαλείο σε αγροτικές περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες σε δίκτυο.

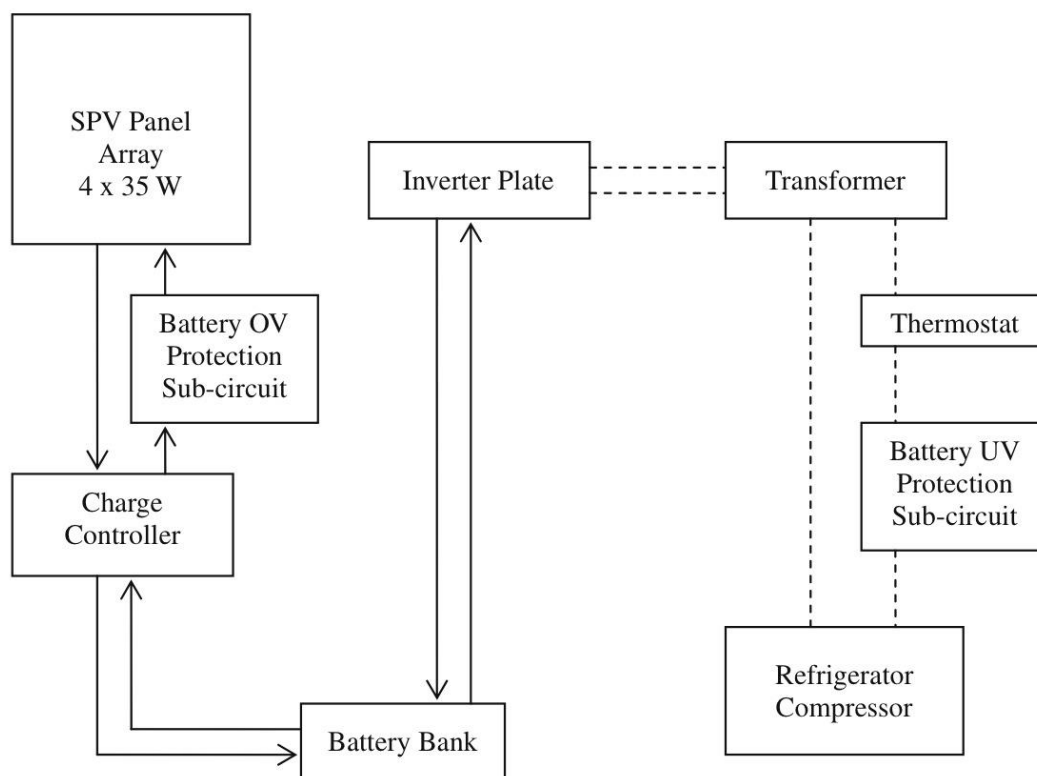
Παρά την χρησιμότητα της συσκευής ,δεν έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για ευρεία κατασκευή και χρήση τους ενώ ακόμη λιγότερα έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναφορά σε δύο προσεγγίσεις από διαφορετικές ομάδες επιστημόνων και σε μια αρκετά καινοτόμο ιδέα ως προς το σχεδιασμό ενός ηλιακού ψυγείου.

Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τους Sabah Abdul , Ali Elkamel , Ishaq Al-Habsi et al [18] οι οποίοι σχεδίασαν ένα φορητό θερμοηλεκτρικό ψυγείο που λειτουργεί με αρχική πηγή ενέργειας τον ήλιο. Συγκεκριμένα, χρησιμοποίησαν ηλιακό πάνελ 64 κυψελών που τροφοδοτεί με ρεύμα έντασης 3.6A και τάσης 0.5V δέκα θερμοηλεκτρικά στοιχεία των οποίων η μία πλευρά στο ονομαστικό σημείο λειτουργίας τους έχει θερμοκρασία -4°C (και άρα λειτουργεί ως "ψυγείο") και η άλλη τους πλευρά έχει θερμοκρασία ως 22°C .Οι χαμηλής θερμοκρασίας πλευρές των θερμοστοιχείων τοποθετούνται σε μονωμένο κιβώτιο αλουμινίου ενώ για τις θερμές χρησιμοποιούνται καταβόθρες θερμότητας και μικροί ανεμιστήρες. Η ψυκτική διάταξη , εικόνα της οποίας παρατίθεται , κατόπιν πειράματος της ερευνητικής ομάδας είχε απόδοση COP=0.16.



Εικόνα 9. Το ηλιακό ψυγείο με θερμοηλεκτρικά στοιχεία

Η δεύτερη βιβλιογραφική αναφορά απευθύνεται στους Anish Modi , Anirban Chaudhuri et al[19] . Η ερευνητική ομάδα για τις ανάγκες ενός ψυγείου οικιακής χρήσης έντασης ρεύματος 0.91 A και τάσης 160-250 V διαστασιοποιούν μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 140 Wp (4x35Wp) και κατόπιν εκτελούν πείραμα προκειμένου να καταλήξουν στο συμπέρασμα αν είναι τεχνολογικά εφικτό ένα συμβατικό ψυγείο να μετατραπεί σε ένα ηλιακό-φωτοβολταϊκό ψυγείο διατηρώντας τις αποδόσεις του. Ακολουθεί σχηματική απεικόνιση του συστήματος της άνω ερευνητικής ομάδας .



Σχήμα 1. Διάταξη των Modi , Chaudhuri et al

Όπως θα περιγραφεί και σε επόμενη ενότητα , η διάταξη μας μοιάζει περισσότερο στην εργασία της δεύτερης ερευνητικής ομάδας με την διαφορά ότι το ψυγείο που χρησιμοποιήσαμε φέρει ψήκτρα και ανεμιστήρα και όχι συμπιεστή.

Κλείνοντας αυτή την ενότητα , οφείλω να αναφέρω την πολλά υποσχόμενη ιδέα του σχεδιαστή Ryan Sorrell . Στα πλαίσια των σπουδών του σχεδίασε ένα φορητό ψυγείο με σύγχρονο design που φέρει ενσωματωμένο ΦΒ πάνελ στην οροφή του και το οποίο θα χρησιμοποιείται για συντήρηση εμβολίων σε χώρες της Αφρικής και της Ασίας. Η κατασκευή του "Solar Vaccine Fridge-SVF" όπως ο ίδιος την ονόμασε ακολουθεί σε μορφή εικόνας.



Εικόνα 10. Το SVF ψυγείο του Ryan Sorrell[20]



Εικόνα 11. Χώρος αποθήκευσης εμβολίων στο SVF[20]

Γ.2 Η προς μελέτη διάταξη

Γ.2.1 Διαστασιολόγηση του προβλήματος

Στην παρούσα εργασία σχεδιάζεται για ακαδημαϊκούς σκοπούς μια διάταξη φωτοβολταϊκής γεννήτριας που θα καλύπτει της ανάγκες ενός μικρού ψυγείου ισχύος 75 Watt . Προς αρχική διαστασιολόγηση του προβλήματος θεωρώ ότι η ηλεκτρική συσκευή θα λειτουργεί καθημερινά 6 ώρες και επομένως θα καταναλώνει 450Wh per day . Όπως σε κάθε σύστημα , έτσι και σε αυτό υπάρχουν κρυφές απώλειες οι οποίες συνεισφέρουν στην κατανάλωση με ένα συντελεστή 20% ..

Η επιλογή του συσσωρευτή μπορεί να γίνει ως ακολούθως. Προκειμένου να είμαστε στην ασφαλή μεριά της λειτουργίας της διάταξης θα πρέπει να σχεδιάσουμε σύστημα που θα παράγει 540 Wh (450*1,2) καθημερινά Για το υπόψη σύστημα απαιτείται συσσωρευτής συνολικής ενέργειας 2*540=1080 Wh. Για μπαταρία 12 V η χωρητικότητα της σε αμπερώρια είναι 90AH (Οι μπαταρίες ακολουθούν τυποποίηση ως προς την χωρητικότητά τους, εδώ απλά γίνεται μια πρώτη εκτίμηση).

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο τύπος

$$AH = \frac{(N + p) * m * E_k}{\sigma_\gamma * \sigma_\mu * \beta * V} * 100$$

- Για μέρες αυτονομίας N=3
- Για ποσοστό φορτίων που τροφοδοτούνται από την μπαταρία p=1 (όλες οι συσκευές απορροφούν από τον συσσωρευτή
- Για περιθώριο ασφαλείας μ=1.2
- Για ημερήσια κατανάλωση $E_k=0.45$ kWh
- Για συντελεστή απωλειών γήρανσης $\sigma_\gamma=0.8$
- Για συντελεστή απωλειών μεταφοράς $\sigma_\mu=0.9$
- Για τρεις μέρες αυτονομίας η βιβλιογραφία προτείνει βάθος εκφόρτισης $\beta=0.4$
- Επειδή η εγκατεστημένη ισχύς της φωτοβολταϊκής γεννήτριας δεν θα ξεπερνά τα 500Wp οι τεχνικές οδηγίες προτείνουν συσσωρευτές τάσης V=12 Volt

Με εφαρμογή προκύπτει AH=62.5

Υπολογίζω σε δεύτερο βήμα το μέγεθος των φωτοβολταϊκών . Στη χειρίστη περίπτωση (μήνας Δεκέμβριος) έχουμε καθημερινά το πολύ 4 ώρες ηλιοφάνειας όποτε για να καλύπτονται οι ανάγκες των 540Wh θέλουμε ΦΒ πάνελ συνολικής ισχύος $P = \frac{540Wh}{4H} = 135 W$

Διαφορετικά, χρήσιμος είναι και ο τύπος $P(Watt) = \frac{Ek*Pstc*m}{Eπ*σφ*σμ} * \frac{31}{31-N} * 1000$

- Με $E_k=0.45$ kWh
- Με $P_{stc}=1$ kw/m² η ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε πρότυπες συνθήκες
- $m=1.2$ το περιθώριο ασφαλείας
- $Eπ=5$ kWh/m² η μέση ημερήσια ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας
- $σ_μ=0.9$ ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς
- $σ_φ=0.77*σ_θ$ ο συντελεστής απωλειών του ΦΒ , όπου $σ_θ$ οι απώλειες θερμοκρασίας με τυπική τιμή $σ_θ=0.9$
- $N=3$ οι μέρες αυτονομίας

Προκύπτει ότι η εγκατεστημένη ισχύς πρέπει να είναι $P=115 W$.

Λαμβάνοντας υπόψη αποδόσεις μπαταρίας (~0,9) , ρυθμιστή (~0.95) , αντιστροφέα (~0.93) και λοιπές απώλειες(~5%) έχω $α=0.9*0.95*0.93*0.95=0,755$ επομένως $P=115/0.755=152 W$

Στην επόμενη παράγραφο περιγράφονται αναλυτικά όλα τα στοιχεία της διάταξης.

Γ.2.2 Περιγραφή της διάταξης

Η διάταξη περιλαμβάνει μια ηλεκτρική συσκευή (ψυγείο) σε τροχήλατο φορείο η οποία λειτουργεί , ανεξάρτητα από την ύπαρξη δικτύου , αντλώντας ηλεκτρική ενέργεια από συσσωρευτή ο οποίος φορτίζεται από ΦΒ πάνελ .Επί της ουσίας , πρόκειται για μικρογραφία ενός αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος με διακριτά (άρα και πλήρως αποσυναρμολογούμενα και επανασυναρμολογούμενα) μέρη.

Ακολουθεί περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών των επιμέρους τμημάτων.

- Ηλεκτρική Συσκευή

Πρόκειται για ψυγείο της Crown (model CR-48a) με ημερήσια κατανάλωση 0.8kWh τάσης 220 V και έντασης ρεύματος 0.4 A . Απουσιάζει το μοτέρ και ο συμπιεστής ενώ η ψύξη επιτυγχάνεται με θερμοηλεκτρικό στοιχείο και ανεμιστήρα . Οι διαστάσεις του είναι (ΥxΠxB) 465x515x530 mm .

- Φωτοβολταϊκό πάνελ

Όπως βρέθηκε στην προηγούμενη παράγραφο η εγκατεστημένη ισχύς για να επιτευχθεί ομαλή λειτουργία είναι 135 W (μέθοδος A) ή 152 W (μέθοδος B). Την μέγιστη από τις δυο αυτές τιμές την στρογγυλοποιώ στην μεθεπόμενη τυποποιημένη ονομαστική ισχύ ενός ΦΒ πάνελ . Επιλέγεται το ΦΒ πλαίσιο 50 κυψελών μονοκρυσταλλικού πυριτίου της εταιρείας Aleo solar (model s_17) ονομαστικής ισχύος 200W και διαστάσεων 1660x830x50 mm το οποίο σε τυπικές συνθήκες δοκιμών είχε απόδοση 14.5% . Περισσότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλαισίου μπορούν να αναζητηθούν στο παράρτημα Β .

- Συσσωρευτής

Στην προηγούμενη παράγραφο βρήκαμε ότι τις ανάγκες μας εξυπηρετεί συσσωρευτής τάσης 12 V τουλάχιστον 90 AH. Επιλέγεται συσσωρευτής της εταιρείας Sunlight. Πρόκειται για μπαταρία μολύβδου-οξέος κλειστού τύπου βαθείας εκφόρτισης προδιαγραφών SPG 12 V , 100 AH και κατηγορίας GEL HP κατά την Eurobat για υψηλές αποδόσεις (εως 95%).

- Ρυθμιστής φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης ελέγχει την διαδικασία φόρτισης και αποφόρτισης του συσσωρευτή φροντίζοντας να διακόπτει την φόρτιση προς αποφυγή καταστροφής της μπαταρίας όταν αυτή έχει φορτιστεί πλήρως αλλά και να εκκινεί την επαναφόρτισή της όταν αυτή αδειάζει. Επιλέγεται ο ρυθμιστής φόρτισης sunsaver MPPT της εταιρείας MorningStar co. ο οποίος ανιχνεύει το σημείο μέγιστης ισχύος (γόνατο της καμπύλης V-I) και λειτουργεί με υψηλές αποδόσεις ($0.975 > \eta > 0.940$) μονίμως στο σημείο Vmprr του ΦΒ για ελαχιστοποίηση της απορριπτόμενης ισχύος. Τέλος, έχει ελάχιστη ιδιοκατανάλωση (35 mA) ακόμη και όταν δέχεται ρεύματα έως 15A και φορτίζει τον συσσωρευτή σε τέσσερα στάδια για ελαχιστοποίηση του χρόνου φόρτισης με απώλειες τάσης $-5\text{mV}/^\circ\text{C}$ (επίπεδο αναφοράς 25°C).

- Μετατροπέας ισχύος

Επιλέγεται inverter για την μετατροπή της DC τάσης σε AC ο AJ500-12 της εταιρείας Studer. Πρόκειται για αντιστροφέα καθαρού ημιτόνου συνεχούς ισχύος 400VA και δυνατότητας λειτουργίας στα 500VA για 30 λεπτά με βαθμό απόδοσης 93% και ιδιοκατανάλωσης 4.6 W άνευ φορτίου. Φέρει ανεμιστήρα που τίθεται σε λειτουργία για συνθήκες θερμοκρασίας 40°C και άνω.

Για την εξασφάλιση της φορητότητας της διάταξης, κατασκευάστηκε τροχήλατο ξύλινο φορείο όπου μέσα σε αυτό τοποθετείται το ψυγείο ενώ επί της μιας του πλευράς προσαρμίζονται η μπαταρία, ο αντιστροφέας, ο ρυθμιστής καθώς και ο υπόλοιπος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός (ασφάλειες, διακόπτες, πίνακας DC-AC, καλώδια). Η φορητή κατασκευή βρίσκεται στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής.

Ακόμη, στην ταράτσα του κτηρίου N στη σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ κατασκευάστηκαν κατάλληλα μεταλλικά στηρίγματα επί των οποίων στηρίζεται μονίμως το πλαίσιο υπό μηδενική κλίση σε ύψος 2 m.

Τέλος, αξίζει να αναφέρουμε ότι το κόστος αγοράς των στοιχείων της διάταξης και η κατασκευή έφτασε τα 1400 euro, χρήματα τα οποία δόθηκαν χάρη στην προθυμία που επέδειξε η επιβλέπουσα καθηγήτρια μου.



Εικόνα 12. Η διάταξη κατά την εκτέλεση πειραματικών μετρήσεων 12/7/2013

Κεφάλαιο Δ. Θεωρητική προσέγγιση της διάταξης

Στις επόμενες παραγράφους επιχειρείται μια θεωρητική ανάλυση του ηλιακού ψυγείου με τα λογισμικά TRNSYS , PVGIS , PVSYST , για κάποιες ελληνικές πόλεις αλλά και πόλεις του εξωτερικού ενώ σε επόμενη ενότητα θα γίνει η σύγκρισή τους με τα πειραματικά δεδομένα για την πόλη της Αθήνας.

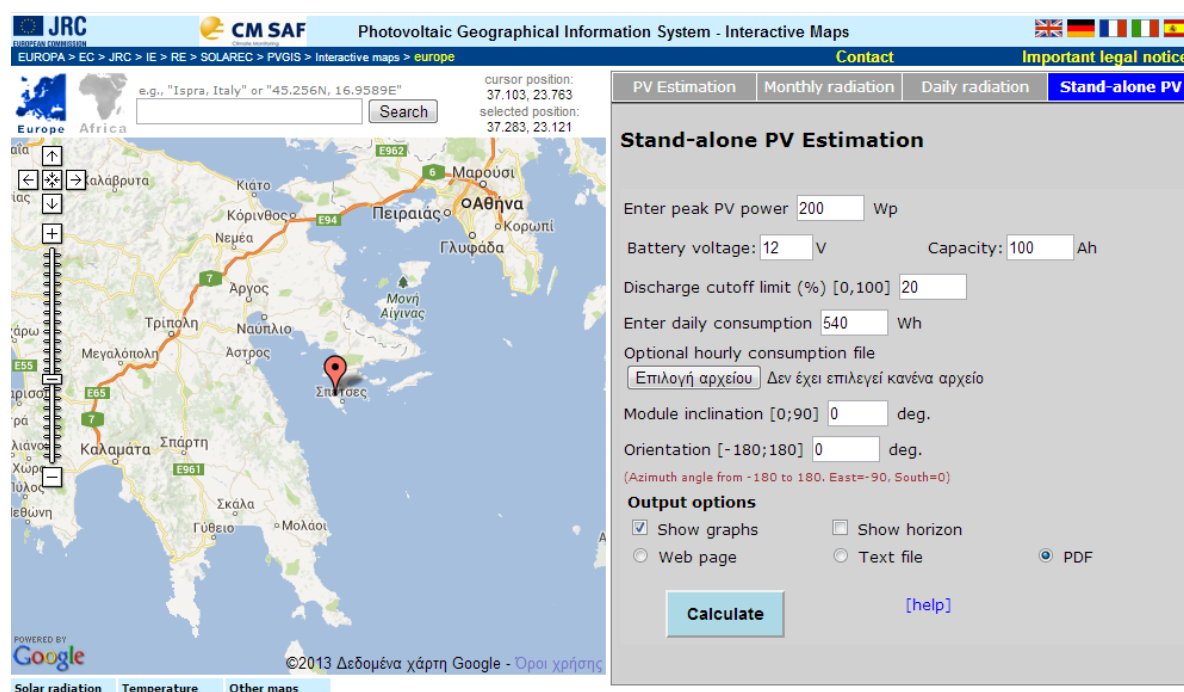
Δ.1 Ανάλυση με το TRNSYS και το PVGIS

Όπως θα φανεί και παρακάτω ,η επιλογή των πόλεων προς μελέτη έγινε με κριτήριο να καλύπτεται ένα ευρύ φάσμα γεωγραφικών συντεταγμένων σε μια περιοχή (Νότια Ευρώπη ,Μεσόγειος) όπου υπάρχει ισχυρή σε ένταση ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό που επιχειρήθηκε με τη χρήση των δύο λογισμικών είναι ο υπολογισμός της παραγόμενης ισχύος από το ΦΒ πλαίσιο της διάταξης και της μηνιαίας παραγωγής ενέργειας , ο προσδιορισμός της διακύμανση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του πλαισίου καθώς και η κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή. Προτού παρατεθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν κάποια χαρακτηριστικά γνωρίσματα των δύο λογισμικών. Πρέπει να αναφέρω ότι ο λόγος που τα αποτελέσματα και των δυο προγραμμάτων παρουσιάζονται στην ίδια ενότητα είναι διότι αλληλοσυμπληρώνονται αμφότερα και έτσι ο αναγνώστης των αποτελεσμάτων σχηματίζει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της ανάλυσης.

Το TRNSYS είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης όπου ο χρήστης επί της ουσίας κατασκευάζει μια ροή ισχύος συνδέοντας τύπους προσομοίωσης όπως ΦΒ πλαίσια , ηλιακά , αντλίες , εναλλάκτες κλπ (types) ενώ όταν δοθεί η εντολή εκκίνησης της προσομοίωσης τρέχει στο παρασκήνιο κώδικας fortran και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται είτε με την μορφή διαγραμμάτων είτε και σε αρχείο τιμών. Στην παρούσα προσπάθεια χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι τύποι προσομοίωσης για χρόνο προσομοίωσης 8760 ώρες (χάριν πλήρους αντιστοιχίας με το πρόγραμμα ακολουθείται αγγλική ορολογία).

- type 9e για την εισαγωγή κλιματικών δεδομένων
- type 94a για το ΦΒ τροποποιημένο κατάλληλα για τις προδιαγραφές του δικού μας πλαισίου
- type47a για τον συσσωρευτή
- type 64c για την κατασκευή των διαγραμμάτων

Το PVGIS είναι online εργαλείο που διατίθεται δωρεάν από την ευρωπαϊκή επιτροπή και το κέντρο έρευνας JRC που εδρεύει στην Ιταλία. Το περιβάλλον εργασίας του εργαλείου είναι αρκετά φιλικό και παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.

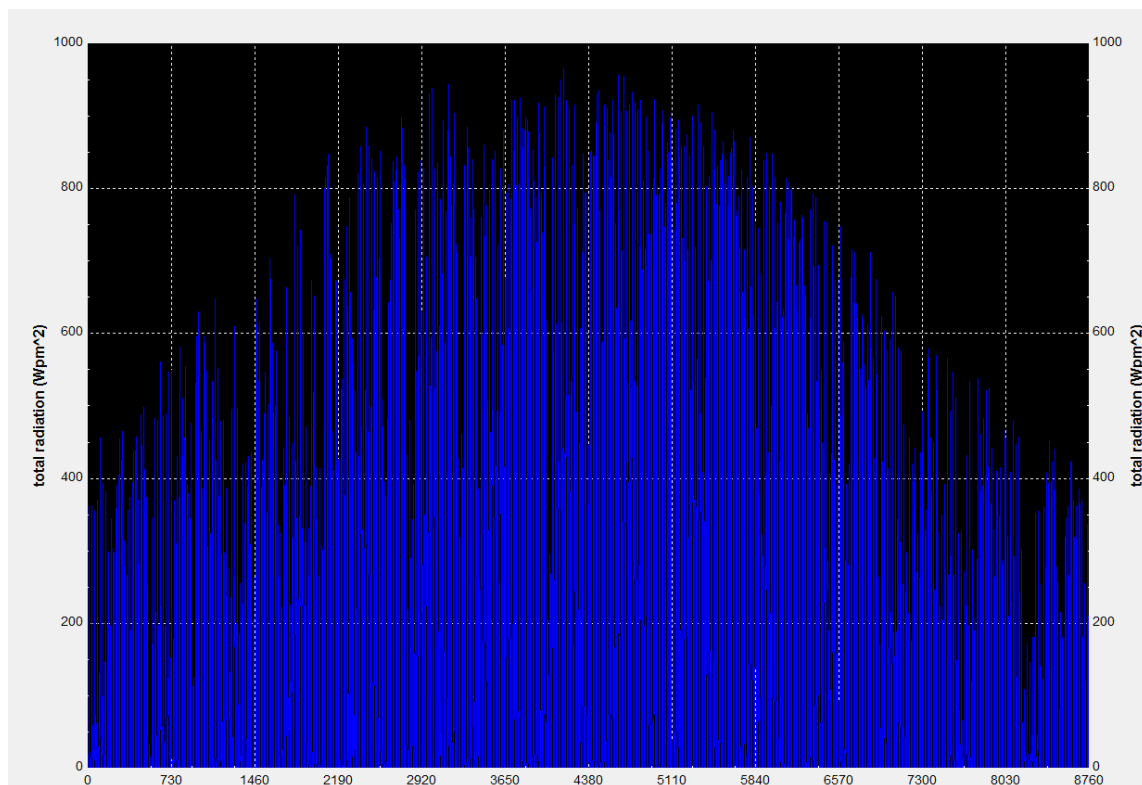


Εικόνα 13. Περιβάλλον εργασίας του PVGIS

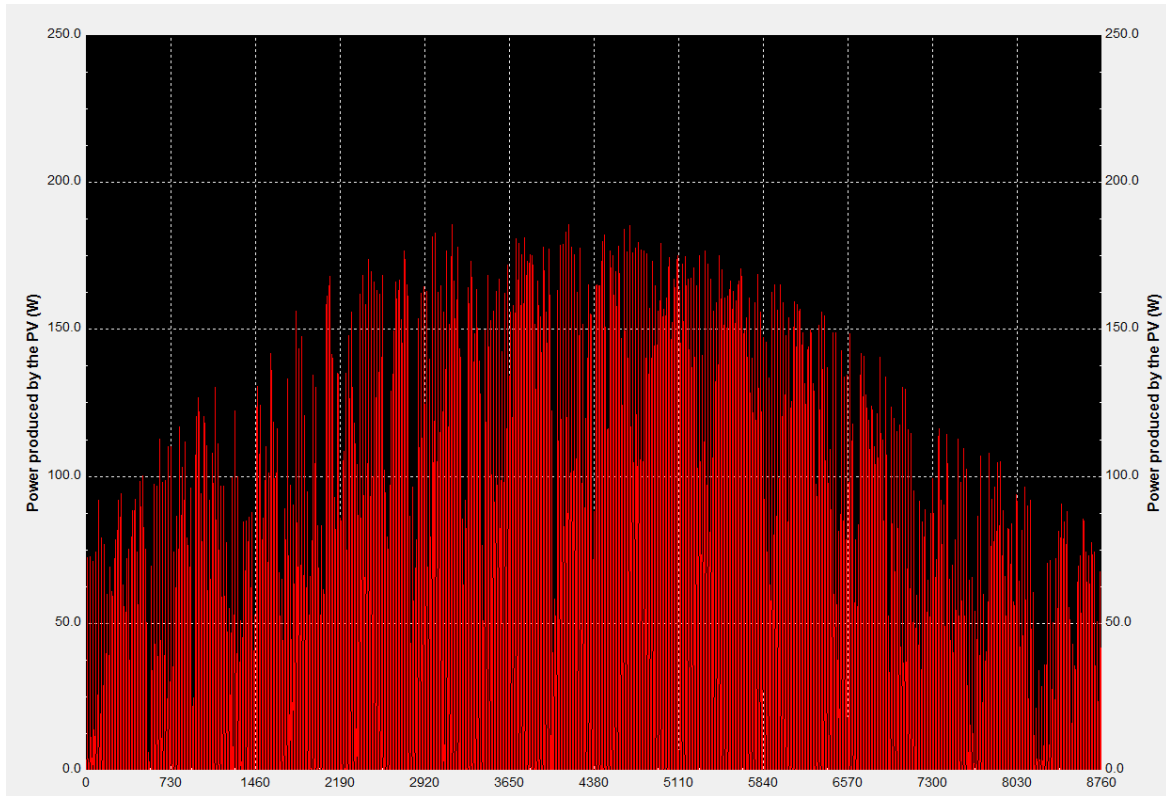
Επιλέγεται για την περίπτωση μας το standalone PV και εισάγουμε τις παραμέτρους που ζητούνται. Σε επόμενο βήμα επιλέγουμε την προς μελέτη περιοχή είτε με ακριβείς συντεταγμένες ή με καρφίτσωμα στο χάρτη και πατάμε Υπολογισμό. Το εργαλείο χρησιμοποιηθεί 1801 μέρες για τους υπολογισμούς του. Όσον αφορά τους υπολογισμούς που έχω κάνει απαιτούνται δύο διευκρινήσεις. Αφενός έχω θεωρήσει ότι όταν η μπαταρία φτάσει στο 20% της χωρητικότητας της κατά την αποφόρτιση σταματά η παροχή ενέργειας στο φορτίο. Αφετέρου δε, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο Γ, μολονότι η ημερήσια κατανάλωση του φορτίου είναι 420 Wh προκειμένου να καλυφθούν και οι ιδιοκαταναλώσεις του συστήματος υπερεκτιμώ την τιμή αυτή κατά 20% και άρα έχω ημερήσια κατανάλωση ενέργειας 540 Wh.

Δ.1.1 Θεωρητική ανάλυση για Αθήνα

Εισάγοντας τα κλιματολογικά δεδομένα για την πόλη της Αθήνας (κλιματική ζώνη Β, $\phi=38^\circ$) λαμβάνουμε τα παρακάτω διαγράμματα (προηγούνται αυτά του TRNSYS) όπου φαίνεται η διακύμανση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και η παραγωγή ισχύος από το ΦΒ πλαίσιο ισχύος 200 W το οποίο βρίσκεται σε μηδενική κλίση .

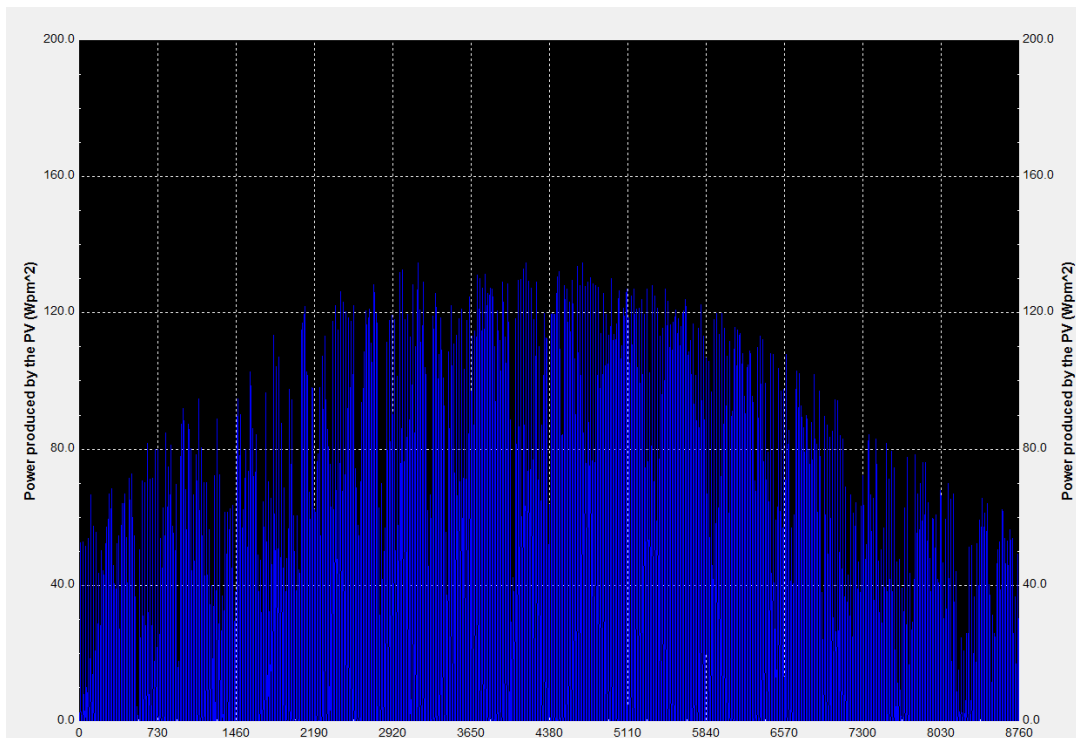


Διάγραμμα 7. Προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας



Διάγραμμα 8. Παραγωγή ισχύος από το ΦΒ

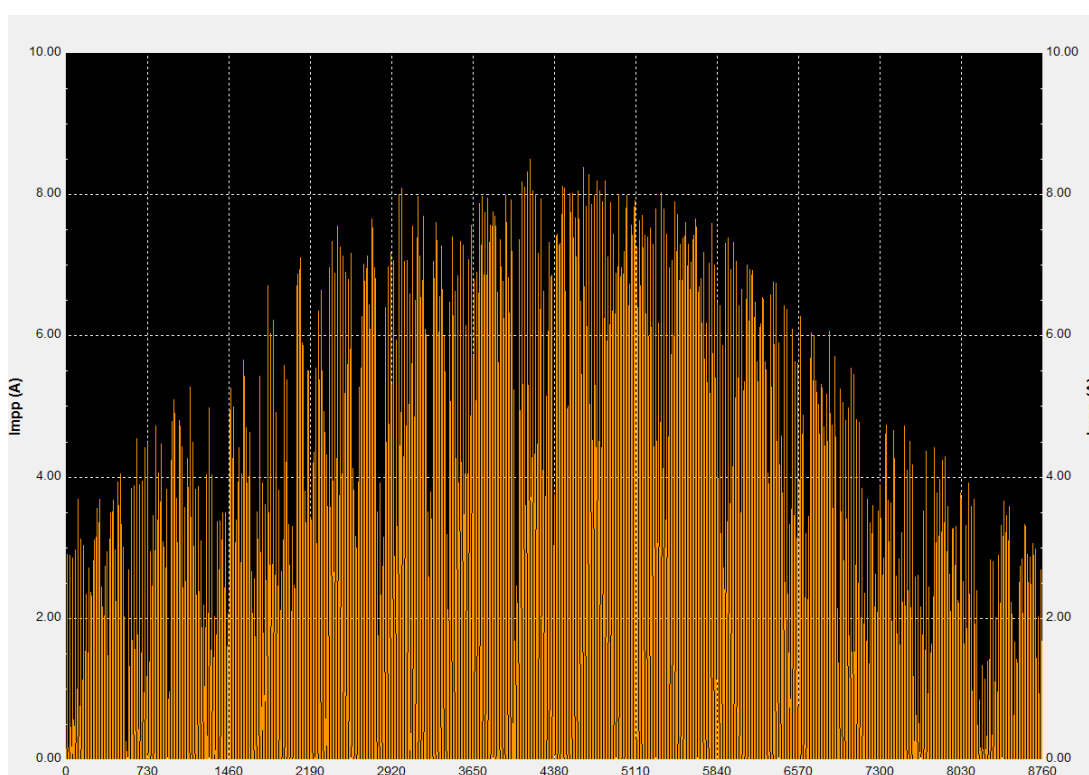
Ακολουθεί και διάγραμμα όπου η παραγόμενη ισχύς του πλαισίου ανάγεται σε μονάδα επιφάνειας.



Διάγραμμα 9. Παραγωγή ισχύος ΦΒ ανηγμένη σε μονάδα επιφάνειας

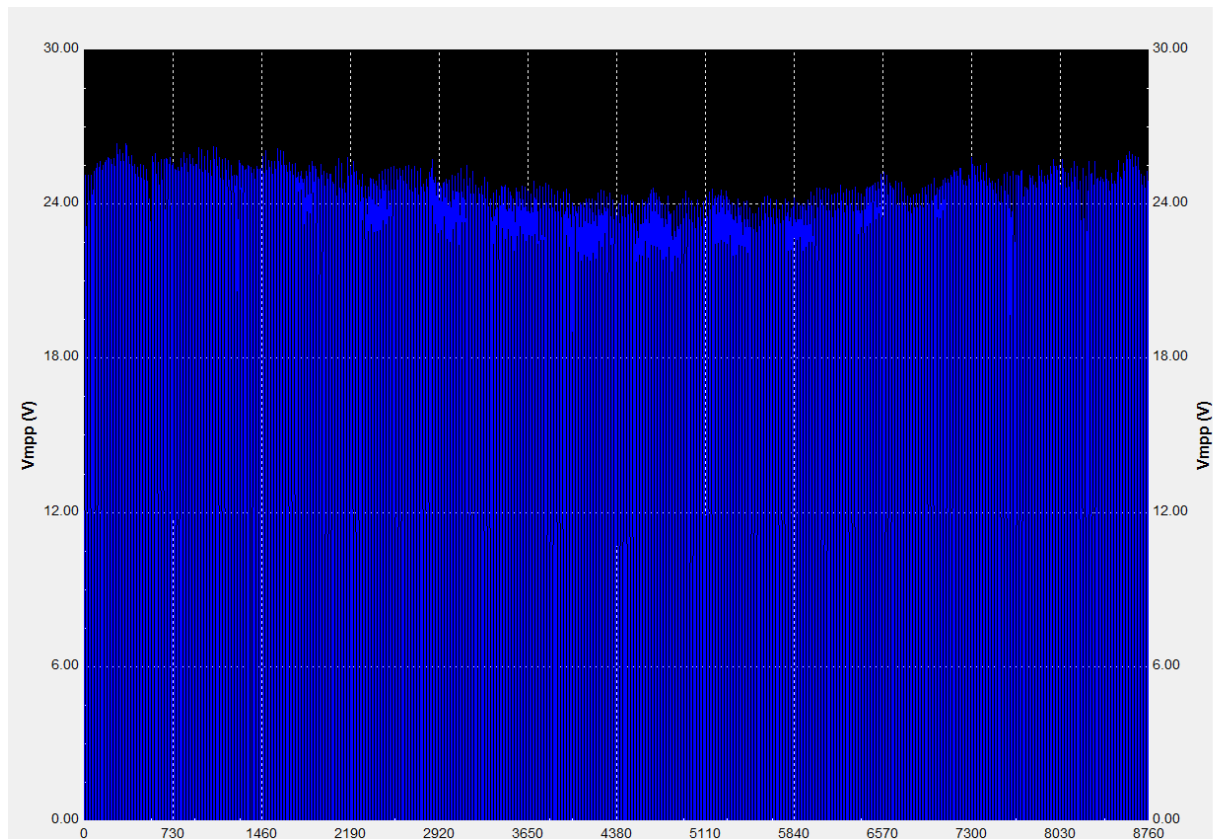
Παρατηρούμε ότι η μέγιστη παραγόμενη ισχύς εμφανίζεται μεταξύ των ωρών 4477 και 4479 που αντιστοιχεί στις 4 Ιουλίου και είναι 135 W/m^2 . Πρέπει να αναφέρουμε ότι επειδή έχουμε μηδενική κλίση de facto έχουμε απώλεια παραγόμενης ισχύος κατά 10 % [??]. Εάν είχαμε την βέλτιστη κλίση, $\beta=30^\circ$ για Αθήνα, τότε η μέγιστη ισχύς θα ήταν 150 W/m^2 .

Τέλος παρατίθεται η χρονική εξέλιξη της παραγωγής ρεύματος DC από το πάνελ και της τάσης του πλαισίου στο σημείο μέγιστης ισχύος. Η χρήση του σημείου αυτού επιλέχθηκε λόγω του ότι έχουμε ρυθμιστή MPPT.



Διάγραμμα 10. Καμπύλη παραγωγής συνεχούς ρεύματος

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι για πάνω από 40% του χρόνου το πάνελ παράγει ρεύμα παραπλήσιο του I_{mp} του σημείου μέγιστης ισχύος που βάσει προδιαγραφών είναι 6.32A.



Διάγραμμα 11.Μεταβολή της V_{mpp} στο χρόνο

Φαίνεται από την ανάλυση για την πόλη της Αθήνας ότι η τάση στο MPP που παράγεται προσεγγίζει ικανοποιητικότερα τις προδιαγραφές του πλαισίου στις ονομαστικές του συνθήκες.

Παρατίθενται ακολούθως τα αποτελέσματα του PVGIS .Η θέση που επιλέχθηκε με το πρόγραμμα δεν θα μπορούσε να είναι άλλη από τα κτήρια Μηχανολόγων με συντεταγμένες 37.982N, 23.781E .

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	318.0	0	98
Feb	417.0	5	73
Mar	531.0	56	10
Apr	539.0	82	1
May	539.0	91	0
Jun	539.0	98	0
Jul	540.0	100	0
Aug	539.0	100	0
Sep	535.0	86	1
Oct	493.0	43	20
Nov	371.0	2	88
Dec	256.0	0	100

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

Πίνακας 4.Αποτελέσματα για την παραγωγή ενέργειας

Φαίνεται ότι για το 66% του χρόνου το πανέλο παράγει αρκετή ισχύ προκειμένου να συντηρήσει αυτόνομα το φορτίο ενώ για τους 4 μήνες (Νοέμβριος-Φεβρουάριος) ο συσσωρευτής φαίνεται να μην φορτίζει πλήρως ποτέ (οπότε απαιτείται υποβοήθηση του συστήματος με άλλη μορφή ενέργειας).

Cs	Cb
20-28	20
28-36	5
36-44	5
44-52	3
52-60	2
60-68	2
68-76	15
76-84	8
84-92	8
92-100	27

Cs: Charge state at end of each hour (%)

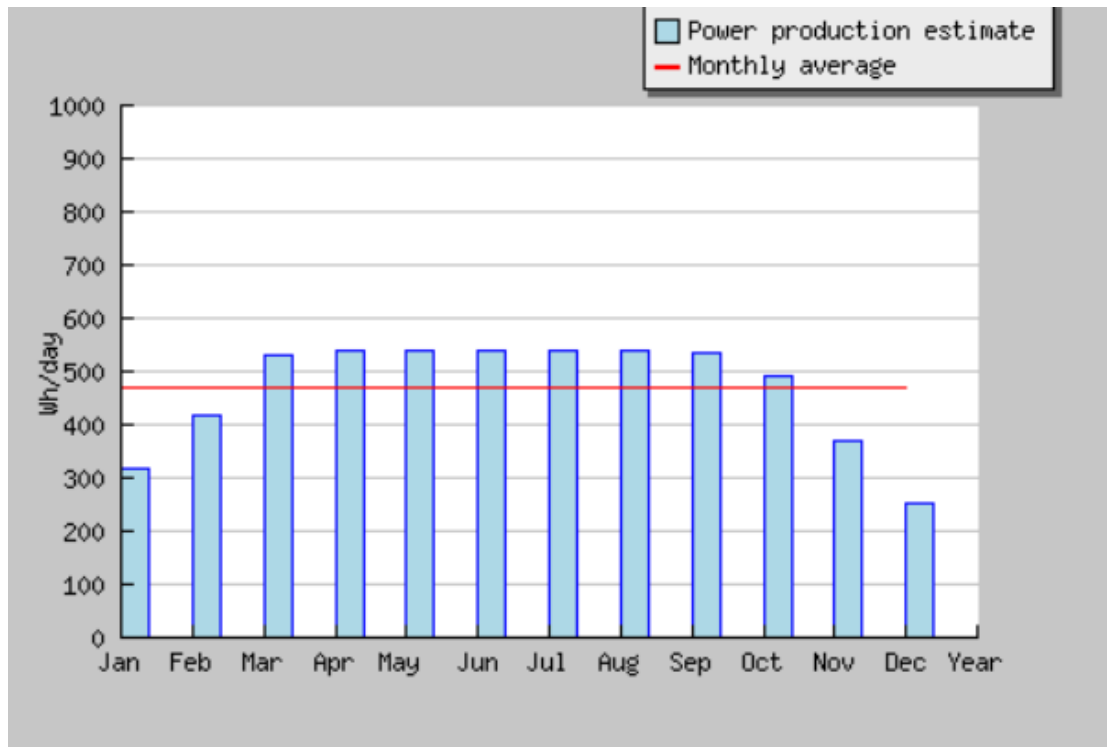
Cb: Percentage of days with this charge state (%)

Πίνακας 5.Πιθανότητα κατάστασης φόρτισης μπαταρίας

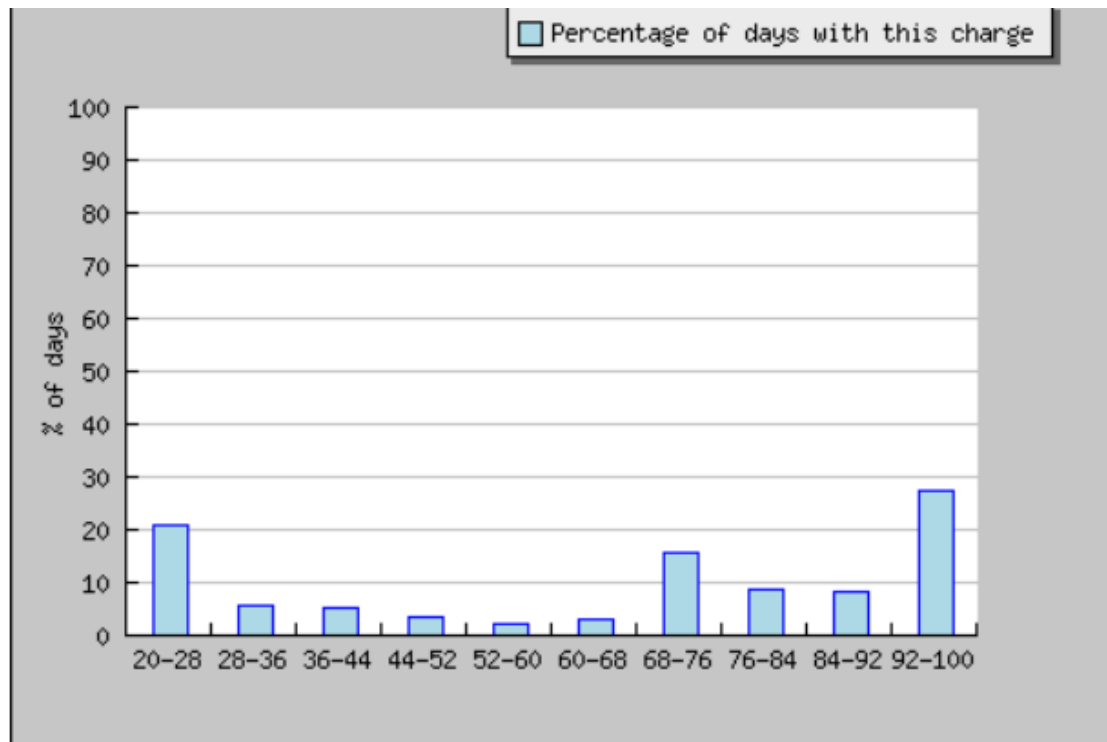
Όπως διακρίνεται από τον πίνακα 4 για το 27% των ημερών που γίνεται ο υπολογισμός , στο τέλος κάθε ώρας η μπαταρία είναι σχεδόν πλήρως φορτισμένη ενώ ανάλογο (20%) είναι το ποσοστό η μπαταρία είναι πλήρως αφόρτιστη (cut-off limit) .

Συνολικά , το 55.69% των ημερών η μπαταρία φορτίζεται πλήρως ενώ η ενέργεια που χάνεται λόγω πλήρους φόρτισης του συσσωρευτή αντιστοιχεί σε 468.82Wh . Τέλος , το 32% των ημερών ο συσσωρευτής αποφορτίζεται πλήρως (όριο 20%)

Οι πίνακες παρουσιάζονται παρακάτω και με την μορφή διαγράμματος.



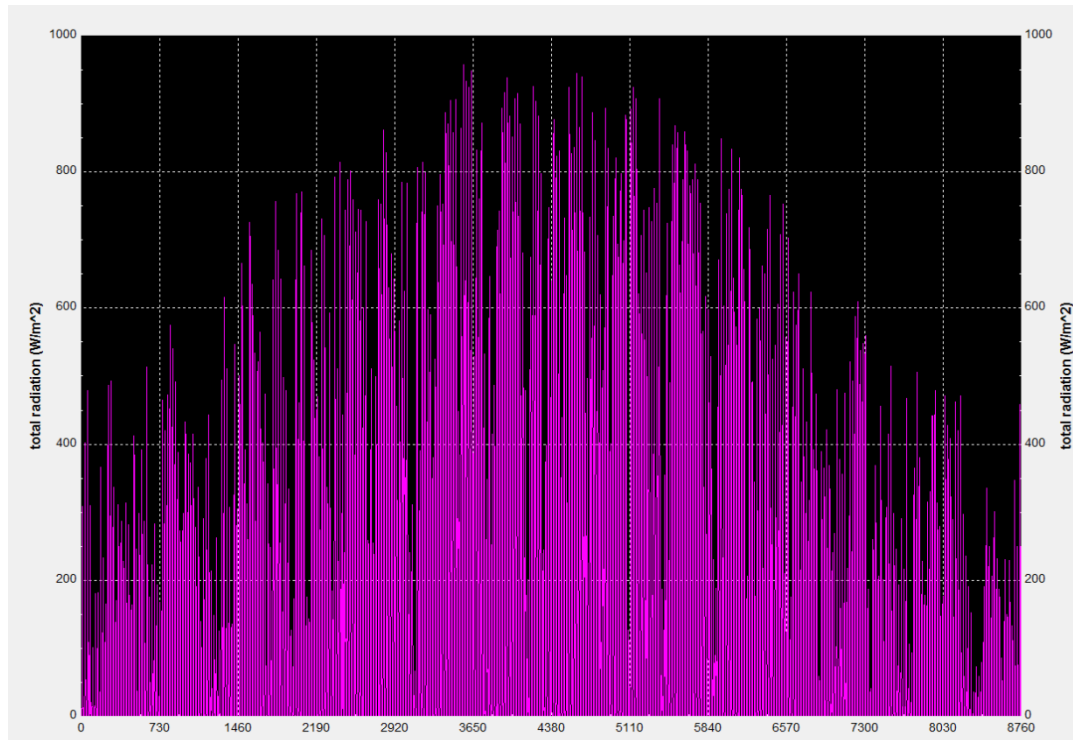
Διάγραμμα 12.Μηνιαία παραγωγή ενέργειας



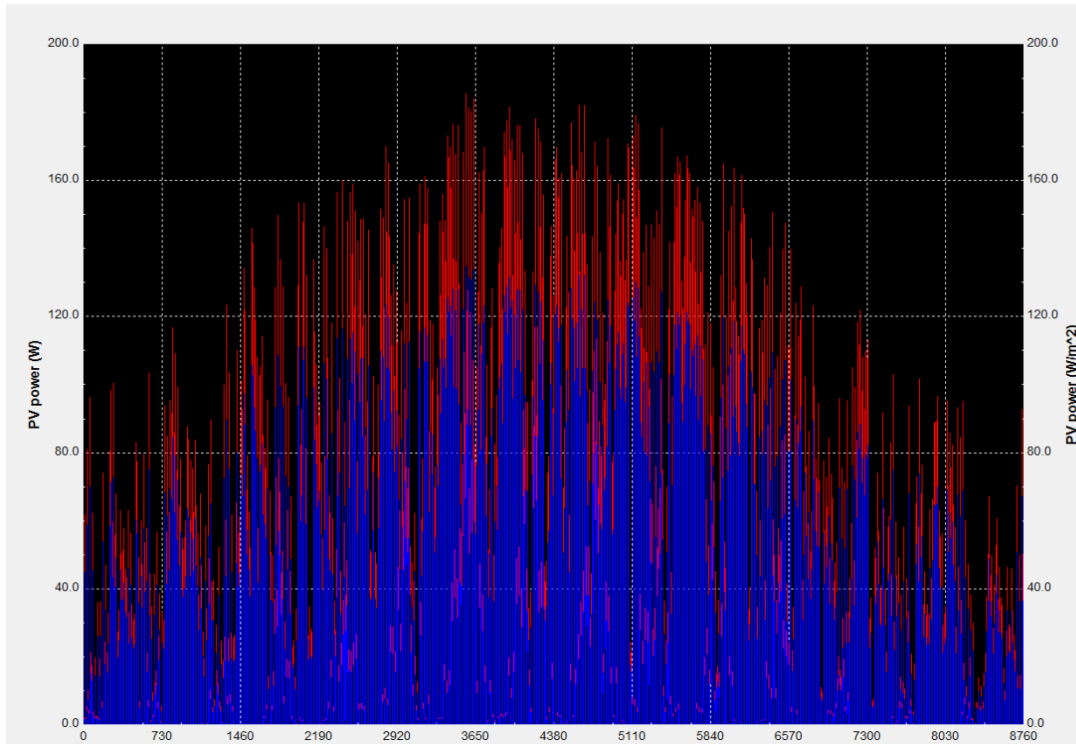
Διάγραμμα 13.State of charge του συσσωρευτή

Δ.1.2 Θεωρητική ανάλυση για Θεσσαλονίκη

Ανάλογη διαδικασία ακολουθείται και για την πόλη της Θεσσαλονίκης (κλιματική ζώνη Γ , $\phi=40^{\circ} 31'$) και λαμβάνονται τα ακόλουθα διαγράμματα.

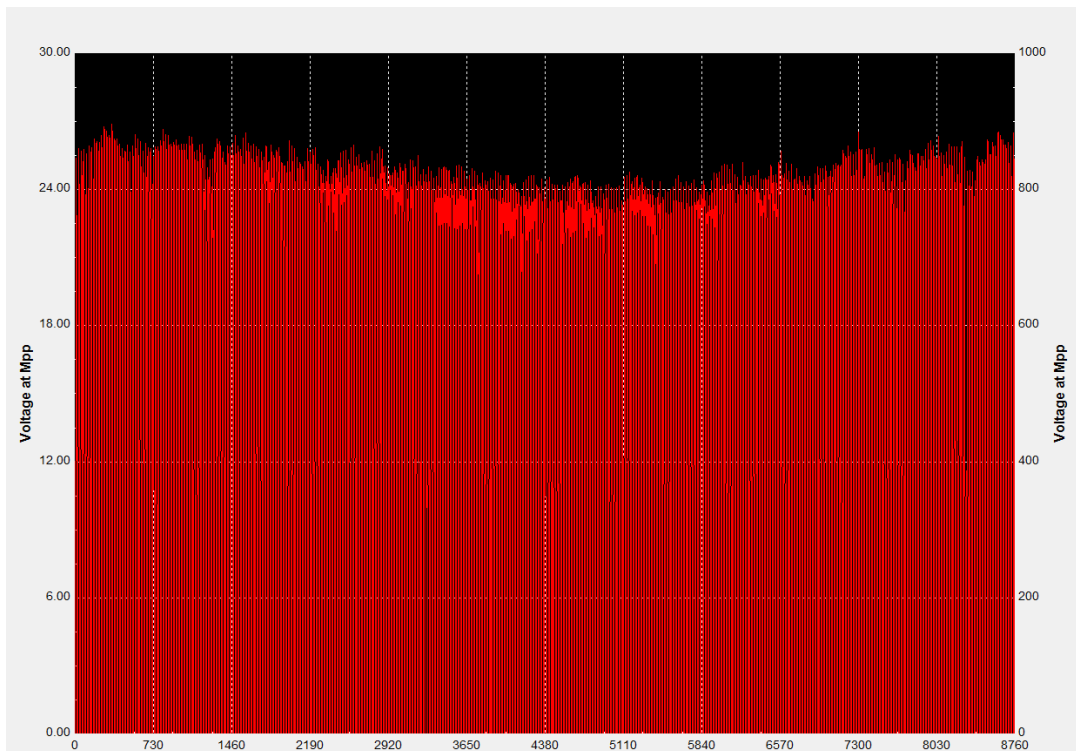


Διάγραμμα 14.Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία (οριζόντιο επίπεδο)



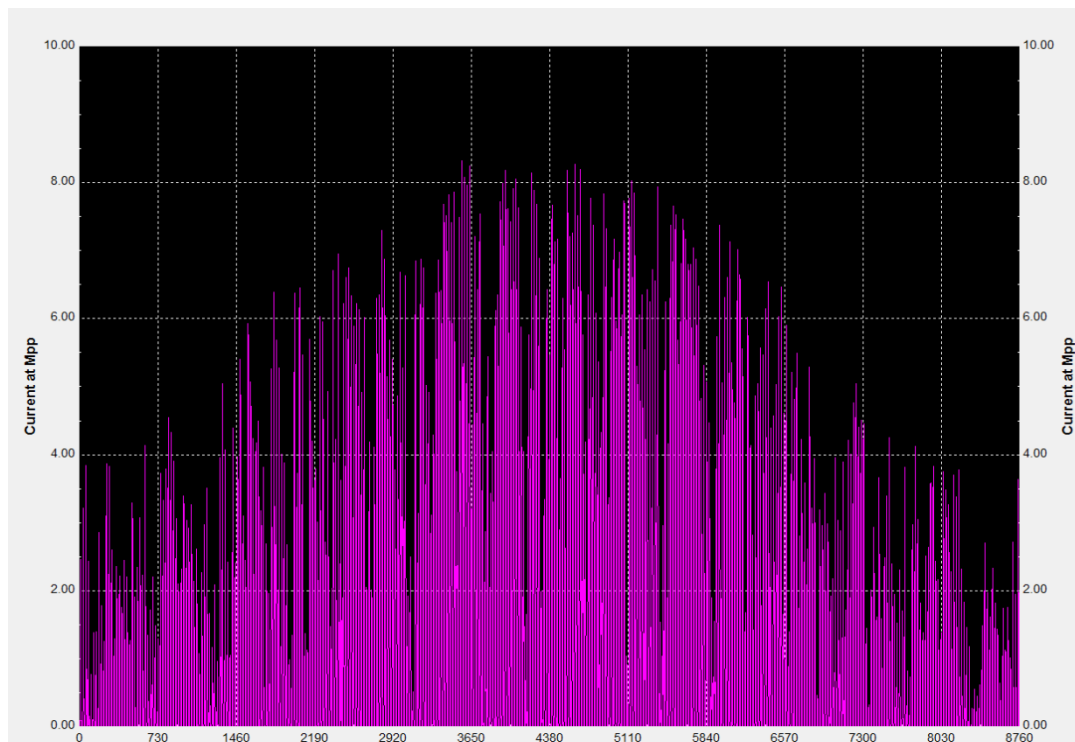
Διάγραμμα 15. Ισχύς και ανηγμένη ισχύς του πλαισίου

Παρατηρείται μέγιστη παραγωγή ισχύος περί τα 130 W/m^2 .



Διάγραμμα 16. Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος

Παρατηρείται ότι το διάγραμμα της τάσης στο σημείο μέγιστης παραγωγής ισχύος ακολουθεί στοχαστικό χαρακτήρα. Μακροσκοπικά όμως μπορούμε να πούμε ότι έχει περιοδικότητα γύρω από μια μέση τιμή που είναι κοντά στα 24 V . Δεν μπορούμε να πούμε το ίδιο και για την καμπύλη ρεύματος στο MPP που , όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα , έχει μια πιο ομοιόμορφη κατανομή .



Διάγραμμα 17. Ένταση ρεύματος στο MPP

Ακολουθούν τα αποτελέσματα που εξήχθησαν με το PVGIS

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	245.0	0	98
Feb	352.0	2	85
Mar	499.0	32	25
Apr	542.0	66	3
May	539.0	89	0
Jun	540.0	94	0
Jul	539.0	99	0
Aug	539.0	98	0
Sep	522.0	64	10
Oct	426.0	20	53
Nov	290.0	0	96
Dec	194.0	0	100

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

Πίνακας 6. Μέση ημερήσια παραγόμενη ενέργεια

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα ο συσσωρευτής αναμένεται να φτάνει στο όριο εκφόρτισης του σε απόλυτο σχεδόν ποσοστό τους χειμερινούς μήνες ενώ παρατηρείται και μείωση της παραγόμενης ενέργειας τον μήνα Οκτώβριο σε σχέση με την Αθήνα λόγω του μεγαλύτερου γεωγραφικού πλάτους.

Cs	Cb
20-28	27
28-36	6
36-44	5
44-52	3
52-60	2
60-68	3
68-76	14
76-84	7
84-92	6
92-100	23

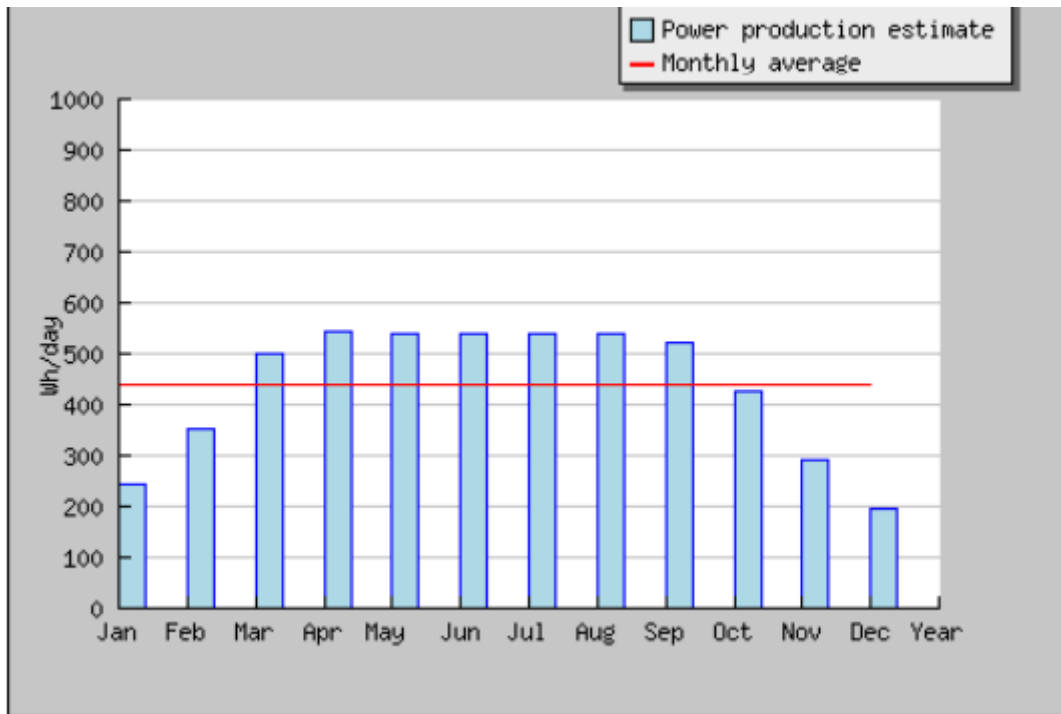
Cs: Charge state at end of each hour (%)

Cb: Percentage of days with this charge state (%)

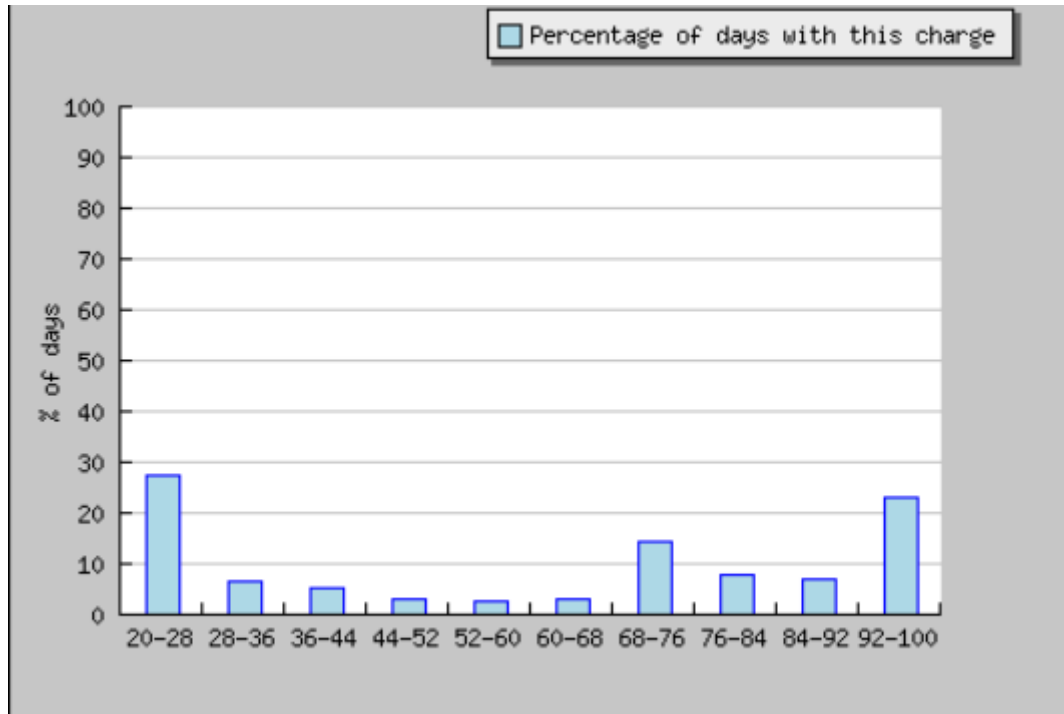
Πίνακας 7.Πιθανότητα κατάστασης φόρτισης μπαταρίας

Αξιοσημείωτο είναι το 27% που εμφανίζεται όσον αφορά στις μέρες όπου η μπαταρία εκφορτίζεται πλήρως, γεγονός που οδηγεί σε μη ικανοποιητική λειτουργία του φορτίου.

Συνολικά προκύπτει από την ανάλυση ότι για το 47.97% του χρόνου ο συσσωρευτής φορτίζεται πλήρως ενώ ένα σημαντικό 39% δηλώνει ότι για το ποσοστό των ημερών αυτών η ακτινοβολία δεν είναι αρκετή και ότι η μπαταρία φτάνει στο όριο εκφόρτισης .



Διάγραμμα 18. Ημερήσια παραγωγή ενέργειας κάθε μήνα



Διάγραμμα 19. Πιθανότητα κατάστασης φόρτισης συσσωρευτή

Δ.1.3 Θεωρητική ανάλυση για Κρήτη

Όσον αφορά στη μελέτη της Κρήτης προτιμήθηκε να γίνει ανάλυση μόνο με το PVGIS καθότι μας παρέχει πιο συνολική εικόνα ως προς την παραγόμενη μέση ημερήσια ενέργεια κάθε μήνα.

Επιλέγεται η περιοχή Λέντας στο Ηράκλειο (κλιματική ζώνη Α) με συντεταγμένες 34.931N, 24.924E .

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	426.0	0	90
Feb	521.0	15	31
Mar	543.0	90	0
Apr	540.0	96	0
May	540.0	95	0
Jun	539.0	100	0
Jul	540.0	100	0
Aug	539.0	100	0
Sep	538.0	96	0
Oct	535.0	67	0
Nov	468.0	14	58
Dec	361.0	0	100

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

Πίνακας 8.Μηνιαία παραγωγή ενέργειας

Εμφανώς παρατηρείται η αύξηση της παραγωγής ενέργειας στο δεδομένο γεωγραφικό πλάτος.

Cs	Cb
20-28	11
28-36	4
36-44	5
44-52	4
52-60	2
60-68	3
68-76	17
76-84	9
84-92	9
92-100	32

Cs: Charge state at end of each hour (%)

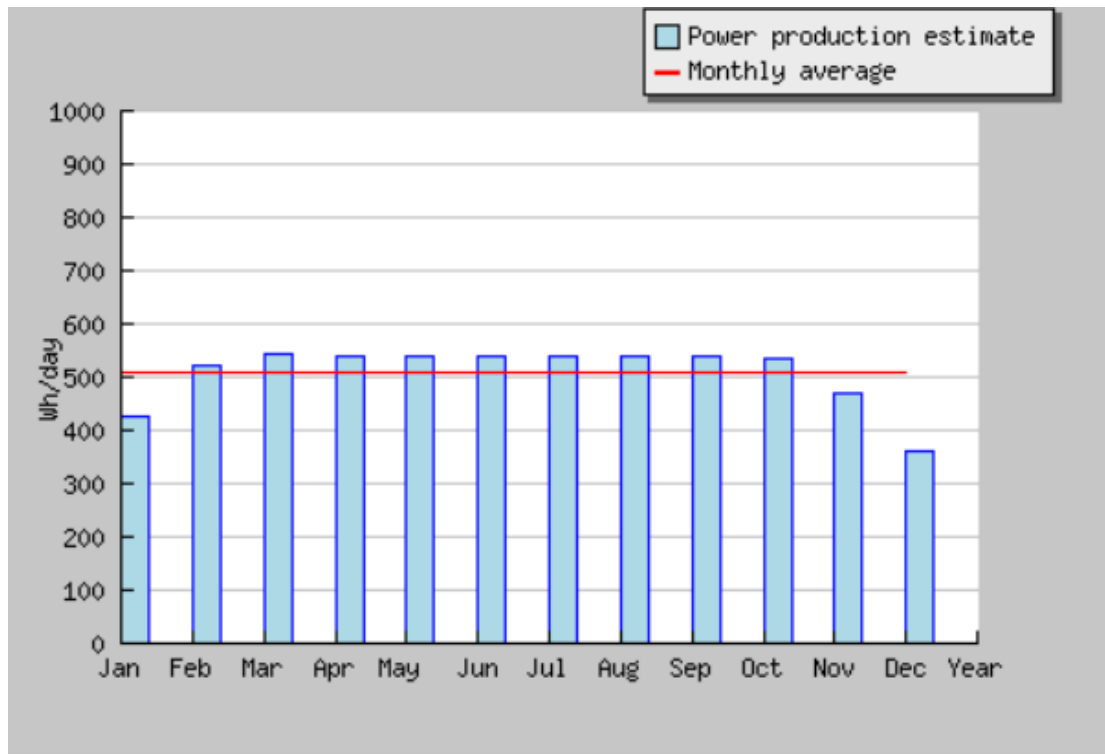
Cb: Percentage of days with this charge state (%)

Πίνακας 9.Πιθανότητες φόρτισης μπαταρίας

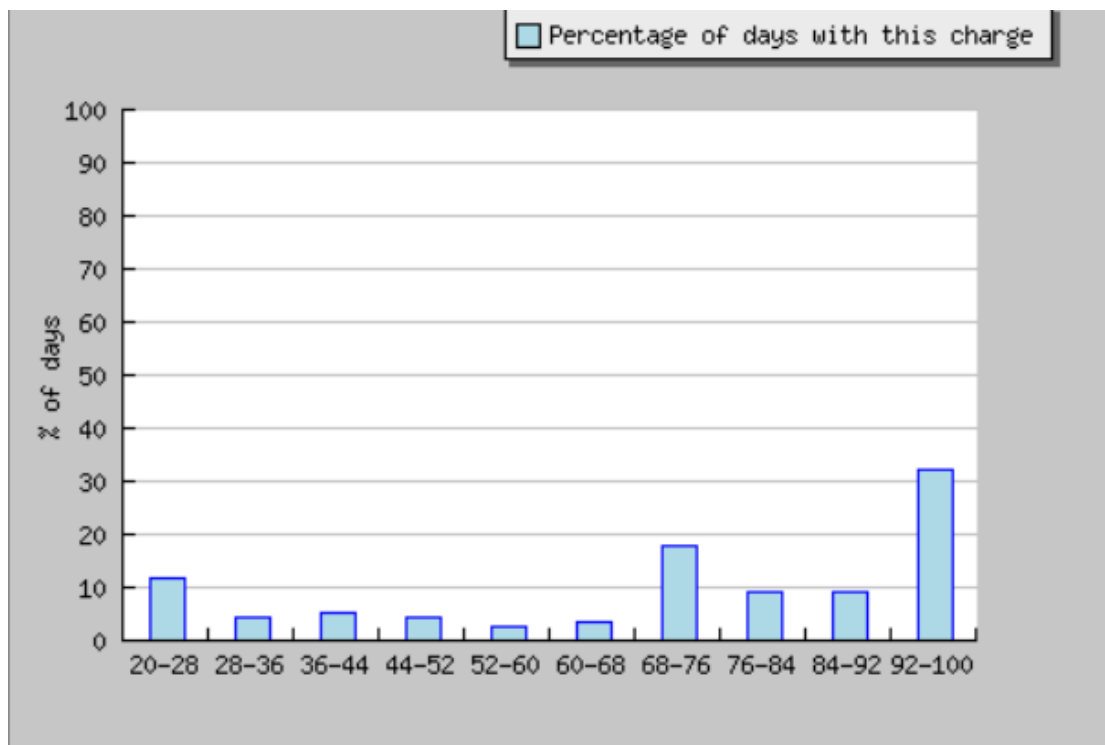
Βλέπουμε ότι η πιθανότητα η μπαταρία να είναι στο όριο εκφόρτισης της στο τέλος κάθε ώρας είναι αρκετά μικρότερη από τις δύο περιοχές που εξετάστηκαν ως τώρα.

Συνοπτικά , ο συσσωρευτής αναμένεται να φορτίζεται πλήρως στο 65.41% των ημερών χάνοντας έτσι ενέργεια ίση με 489.19 Wh . Τέλος , αναμένεται η μπαταρία να αποφορτίζεται πλήρως στο 23% των ημερών.

Ακολουθούν οι πίνακες υπό μορφή διαγραμμάτων.



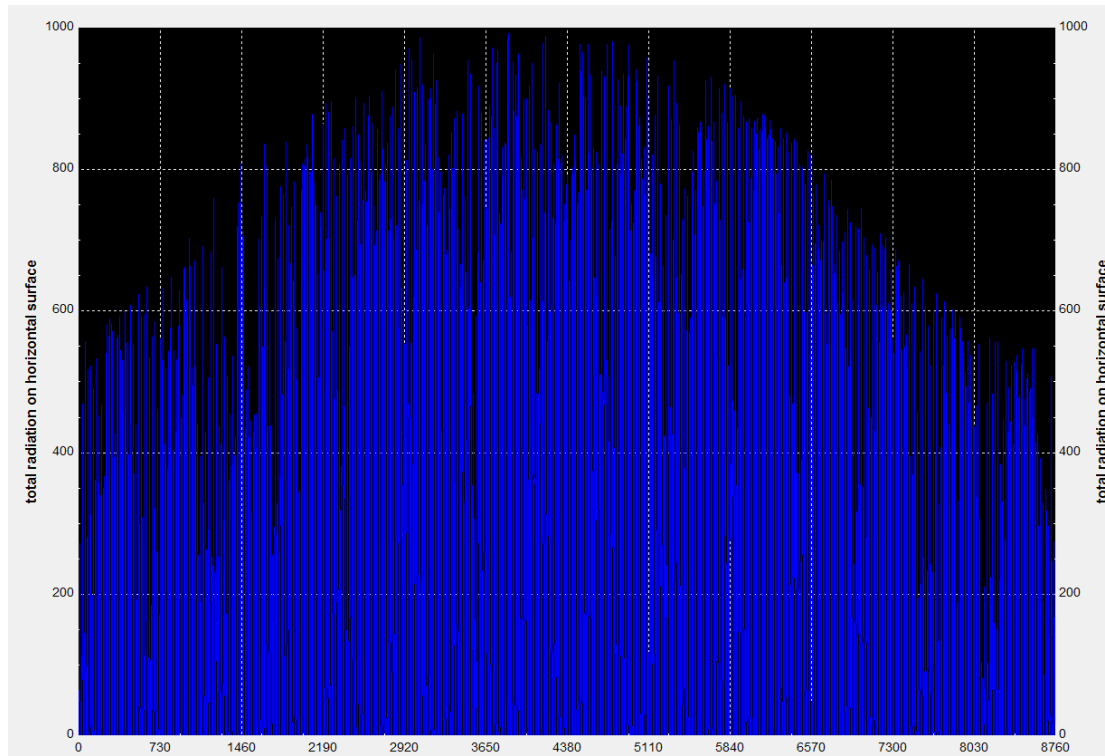
Διάγραμμα 20. Ημερήσια παραγωγή ενέργειας κάθε μήνα



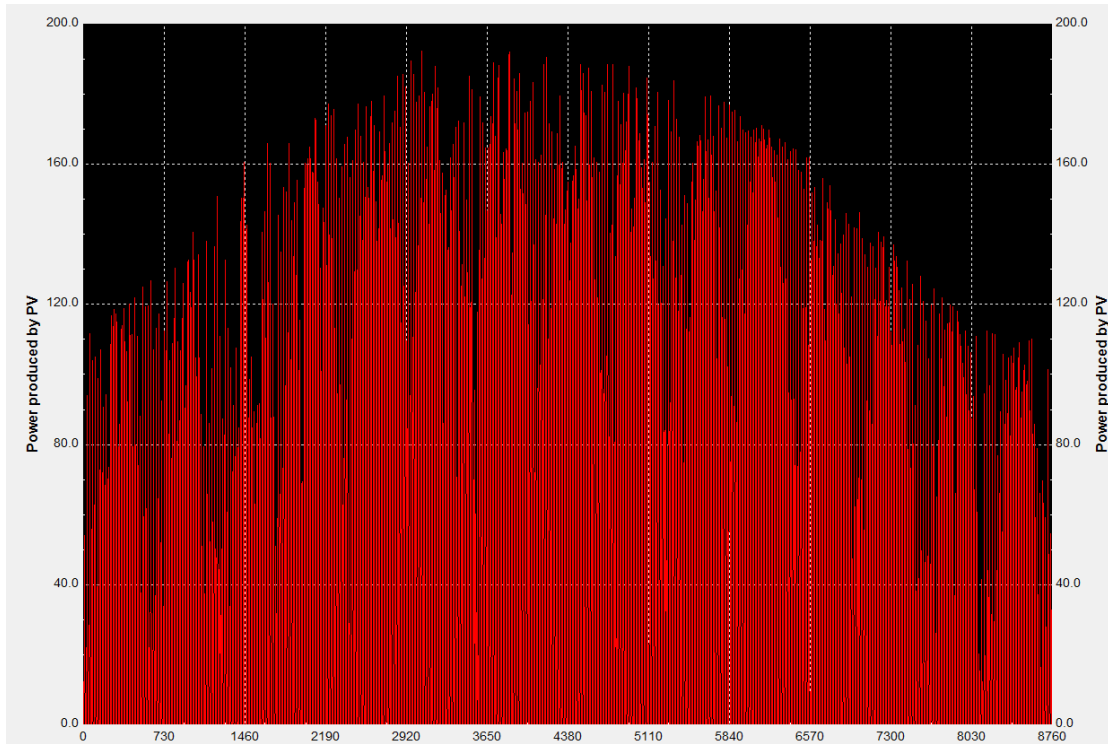
Διάγραμμα 21. Πιθανότητες κατάστασης φόρτισης μπαταρίας

Δ.1.4 Θεωρητική ανάλυση για Κύπρο

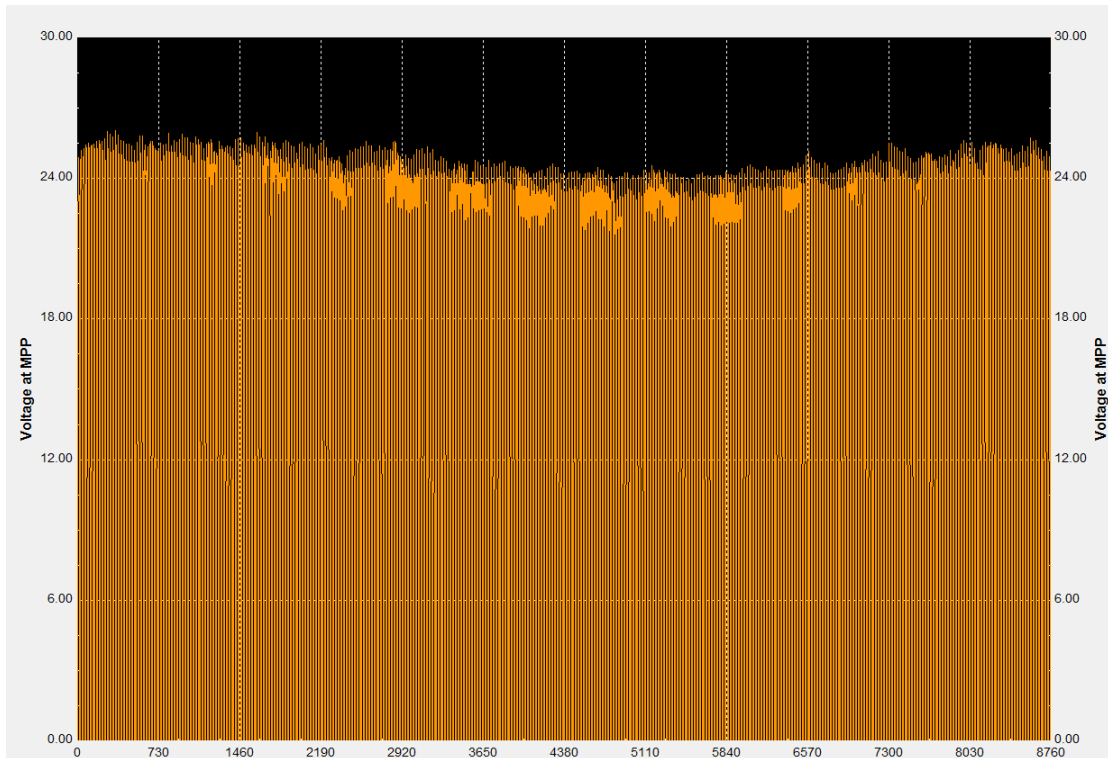
Για την ανάλυση επιλέχθηκε η Λάρνακα ($\phi=34.9^\circ$)



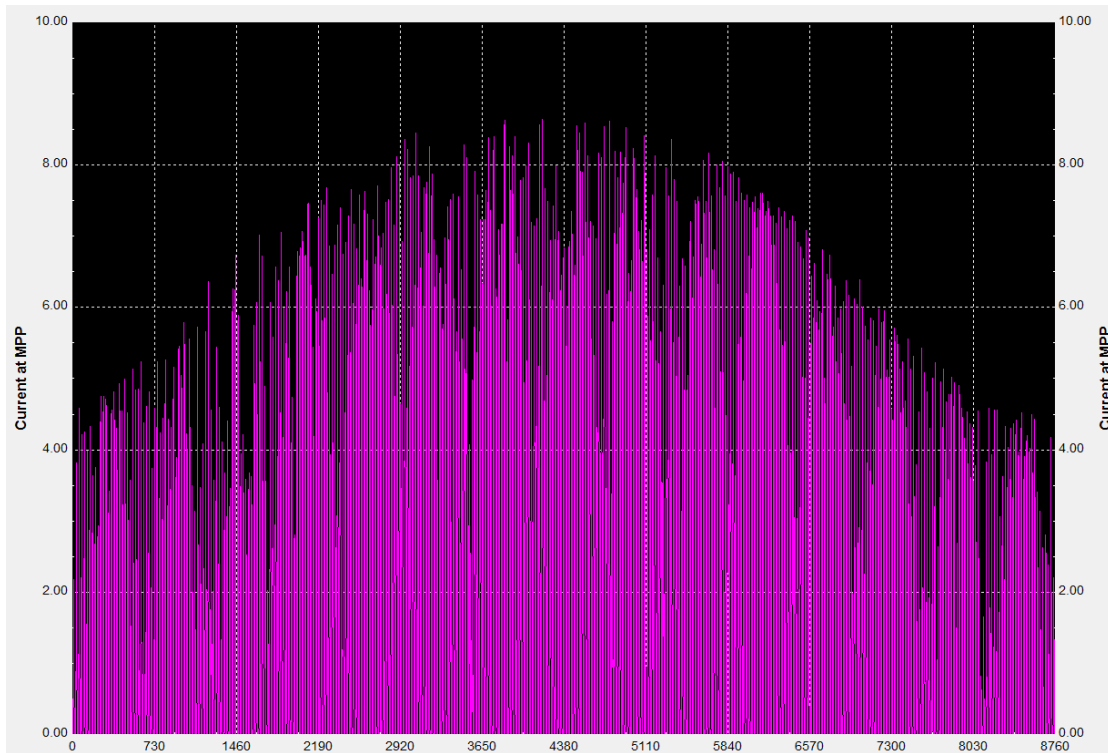
Διάγραμμα 22.Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια (w/m^2)



Διάγραμμα 23. Η παραγόμενη ισχύς από το πλαίσιο (Watt)



Διάγραμμα 24. Η τάση του πλαισίου στο σημείο μέγιστης ισχύος



Διάγραμμα 25. Η ένταση του ρεύματος στο σημείο μεγίστης ισχύος

Έπονται τα αποτελέσματα από το PVGIS.

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	367.0	0	98
Feb	490.0	7	45
Mar	551.0	61	4
Apr	539.0	92	0
May	537.0	92	2
Jun	540.0	100	0
Jul	539.0	100	0
Aug	539.0	99	0
Sep	536.0	96	0
Oct	535.0	76	0
Nov	465.0	7	57
Dec	352.0	0	100

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

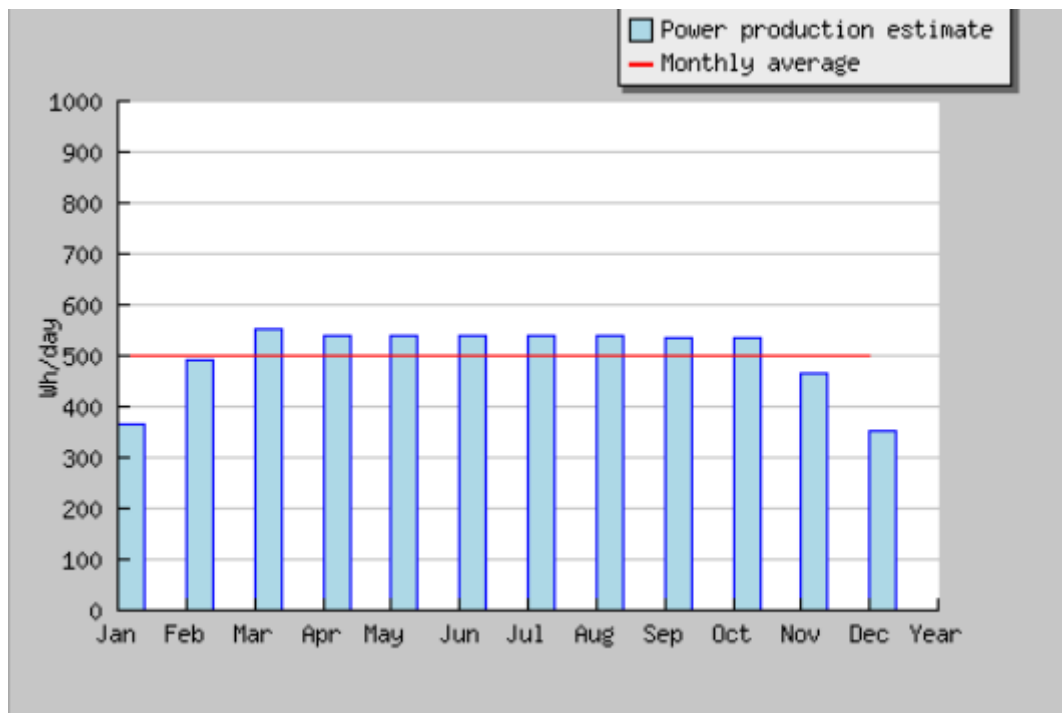
Πίνακας 10. Μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας κάθε μήνα

Cs	Cb
20-28	13
28-36	4
36-44	5
44-52	4
52-60	2
60-68	3
68-76	16
76-84	9
84-92	9
92-100	30

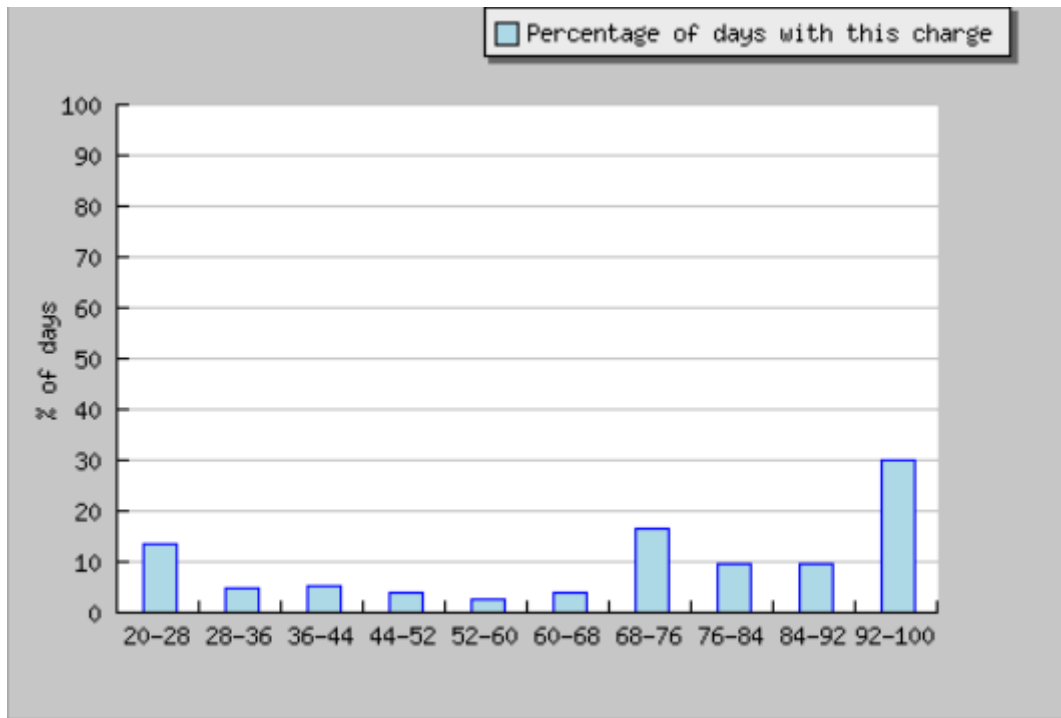
Cs: Charge state at end of each hour (%)

Cb: Percentage of days with this charge state (%)

Πίνακας 6. Πιθανότητα κατάστασης φόρτισης συσσωρευτή



Διάγραμμα 26. Μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας κάθε μήνα

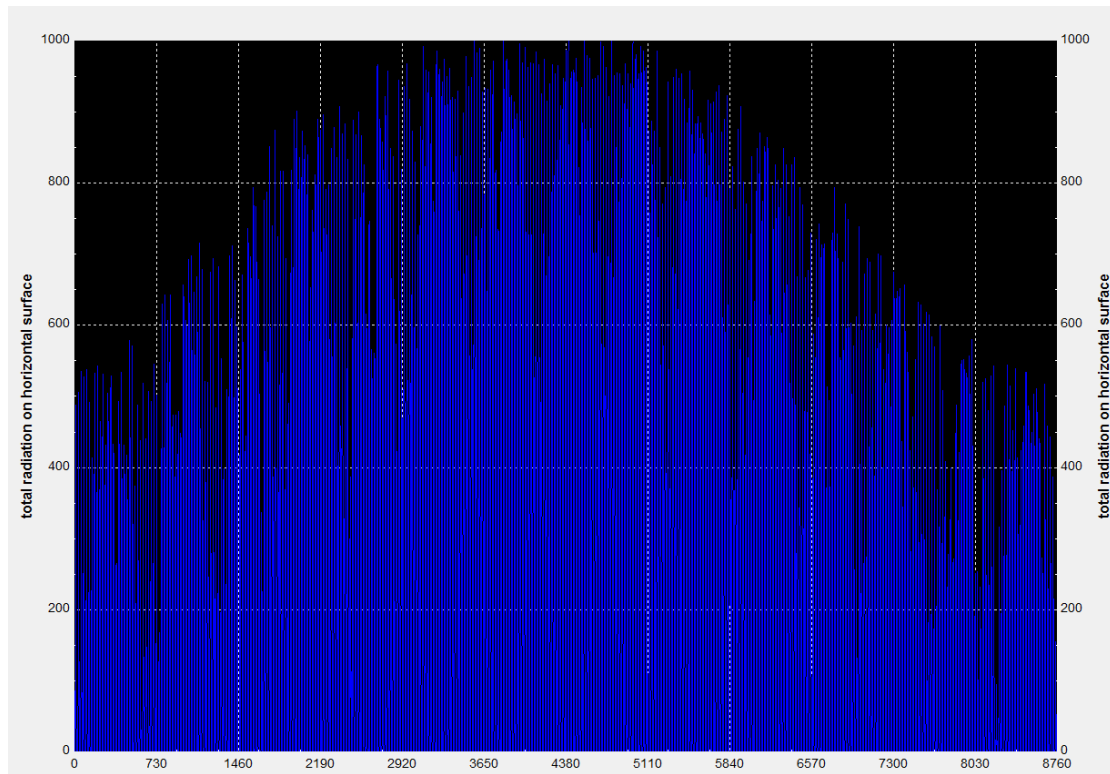


Διάγραμμα 27.Πιθανότητα κατάστασης φόρτισης μπαταρίας

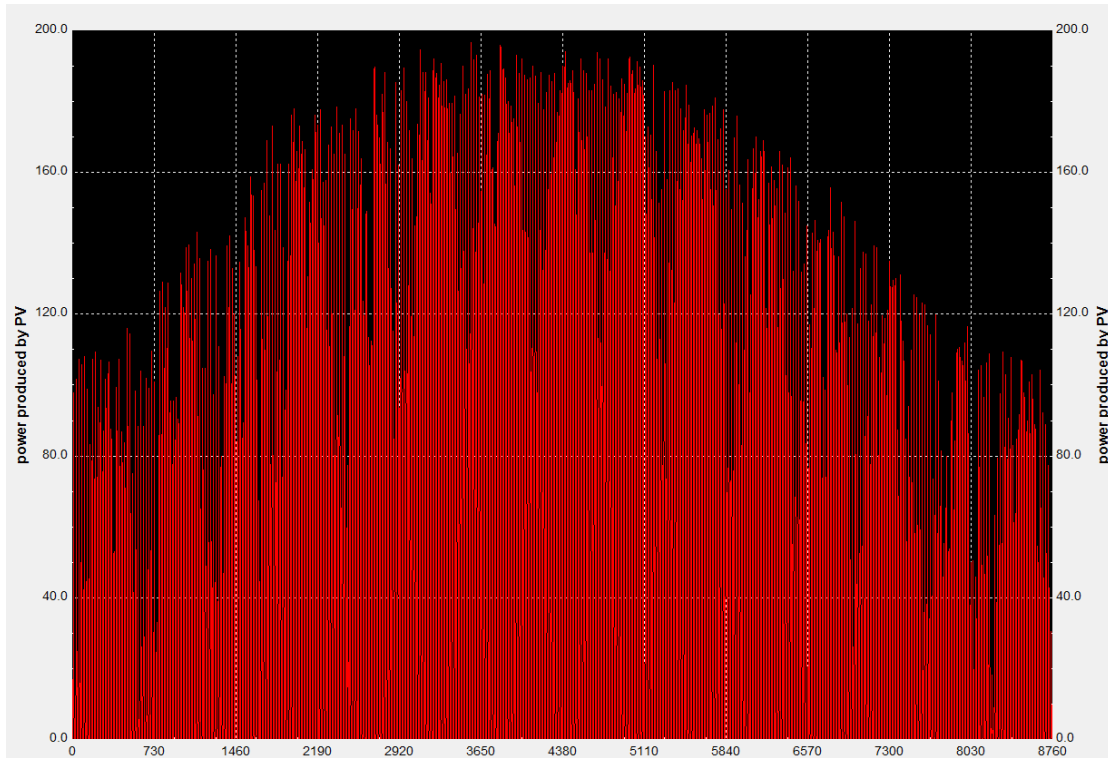
Από την συνολική ανάλυση προκύπτει ότι για το 61.97% του χρόνου η μπαταρία φορτίζεται πλήρως λόγω επαρκούς ηλιακής ενέργειας ενώ για το 25% των ημερών φτάνει στο σημείο πλήρους εκφόρτισης.

Δ.1.5 Θεωρητική ανάλυση για Μάλτα

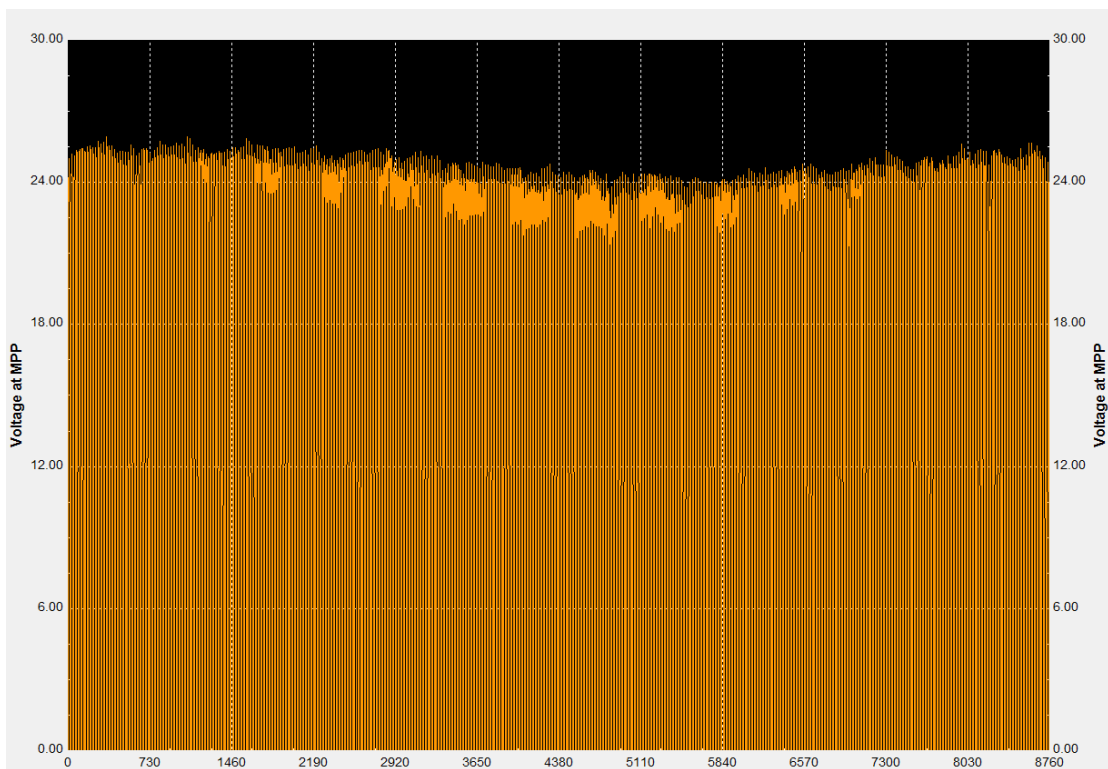
Επιλέγεται η περιοχή Λυγα ($\phi=35.86^\circ$) για την ανάλυση και ακολουθούν τα αποτελέσματα από την προσομοίωση με το TRNSYS και με το PVGIS και όπως θα φανεί τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά και για την Μάλτα όσον αφορά στη λειτουργία της ψυκτικής διάταξης.



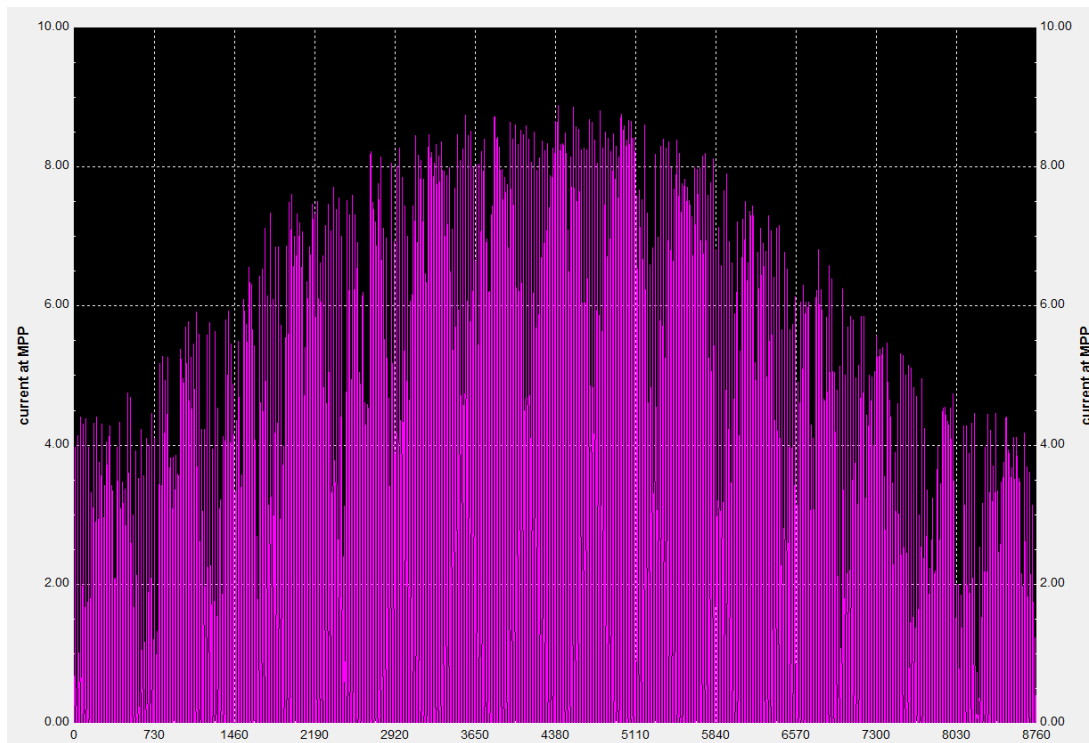
Διάγραμμα 28.Ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου



Διάγραμμα 29. Παραγόμενη ισχύς του ΦΒ (Watt)



Διάγραμμα 30. Τάση του ΦΒ στο σημείο μείστης ισχύος



Διάγραμμα 31. Ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος.

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	382.0	0	96
Feb	506.0	7	47
Mar	533.0	70	6
Apr	543.0	91	0
May	540.0	96	0
Jun	540.0	96	0
Jul	539.0	100	0
Aug	539.0	100	0
Sep	539.0	91	0
Oct	520.0	49	11
Nov	421.0	0	80
Dec	316.0	0	100

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

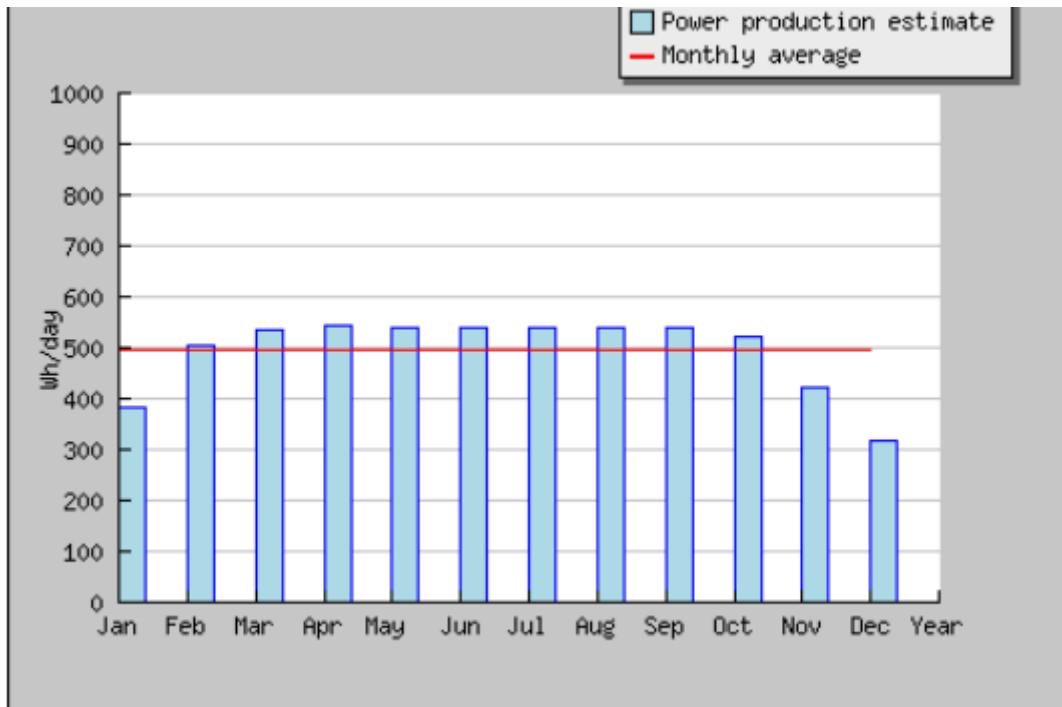
Πίνακας 7. Μέση ημερήσια παραγόμενη ενέργεια κάθε μήνα

Cs	Cb
20-28	15
28-36	5
36-44	6
44-52	4
52-60	2
60-68	2
68-76	16
76-84	9
84-92	7
92-100	29

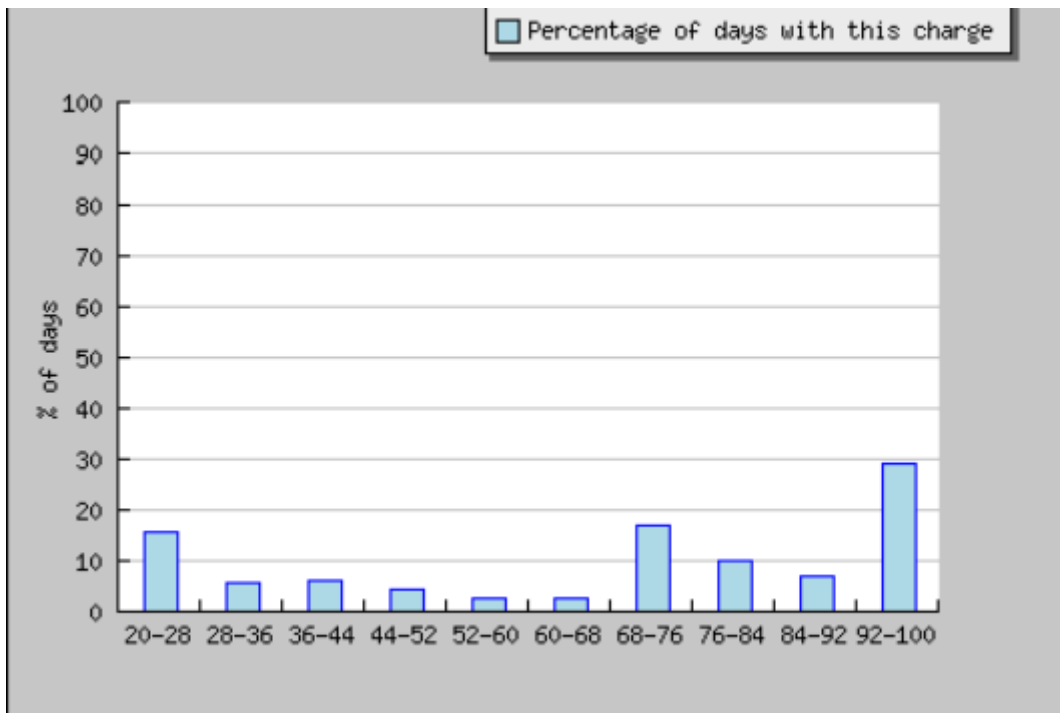
Cs: Charge state at end of each hour (%)

Cb: Percentage of days with this charge state (%)

Πίνακας 8.Πιθανότητα κατάστασης μπαταρίας



Διάγραμμα 32. Μέση ημερήσια παραγόμενη ενέργεια κάθε μήνα

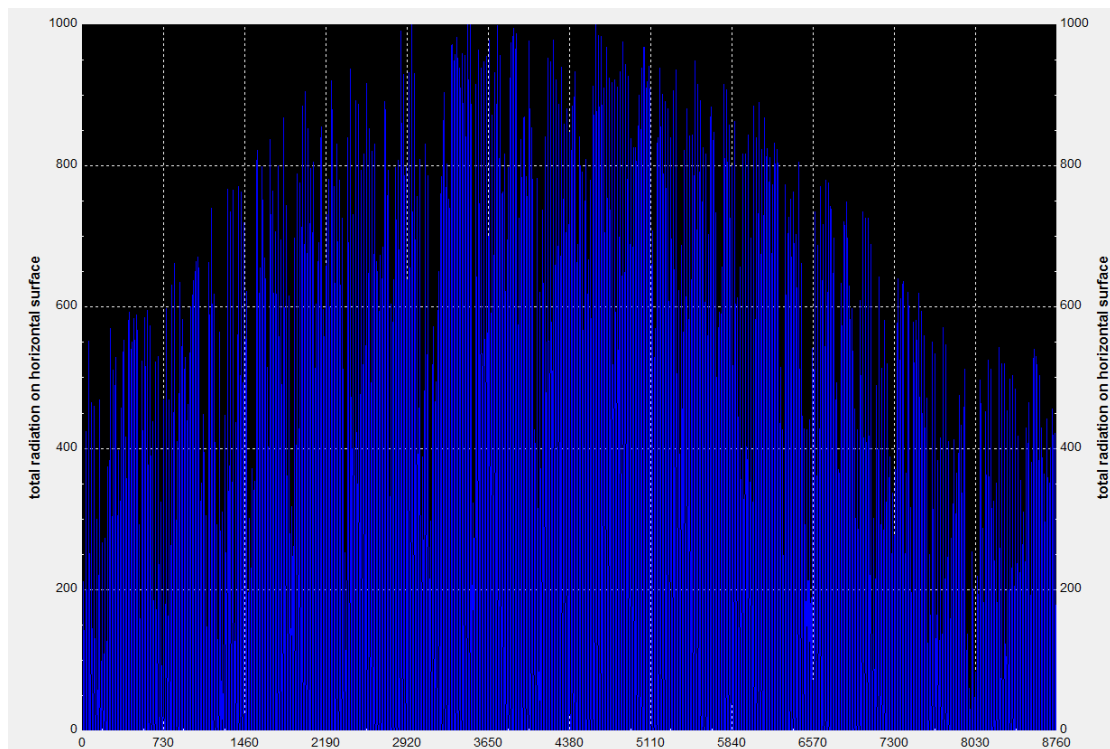


Διάγραμμα 33. Πιθανότητα κατάστασης φόρτισης μπαταρίας

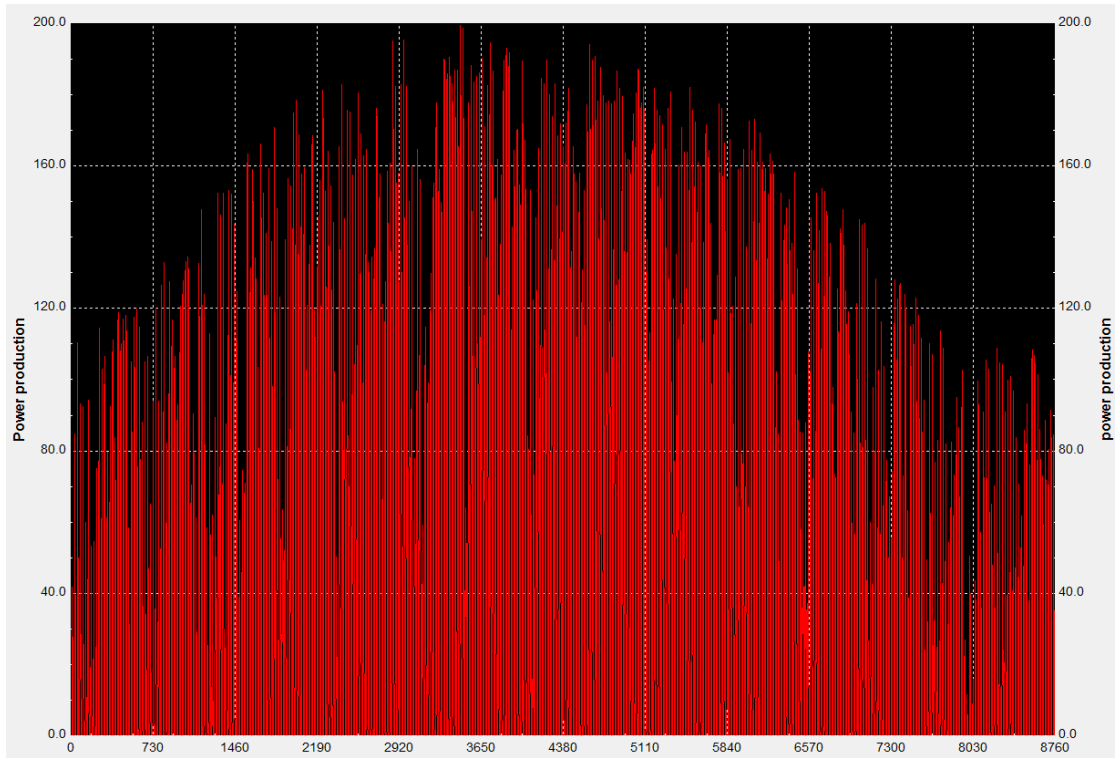
Από τα παραπάνω διαγράμματα συνάγεται ότι η διάταξη λειτουργεί ικανοποιητικά και με αυτονομία για πάνω από 75% του χρόνου ενώ η μπαταρία για το 60% του χρόνου φορτίζεται πλήρως λόγω επαρκούς ηλιακής ενέργειας.

Δ.1.6 Θεωρητική ανάλυση για Ισπανία

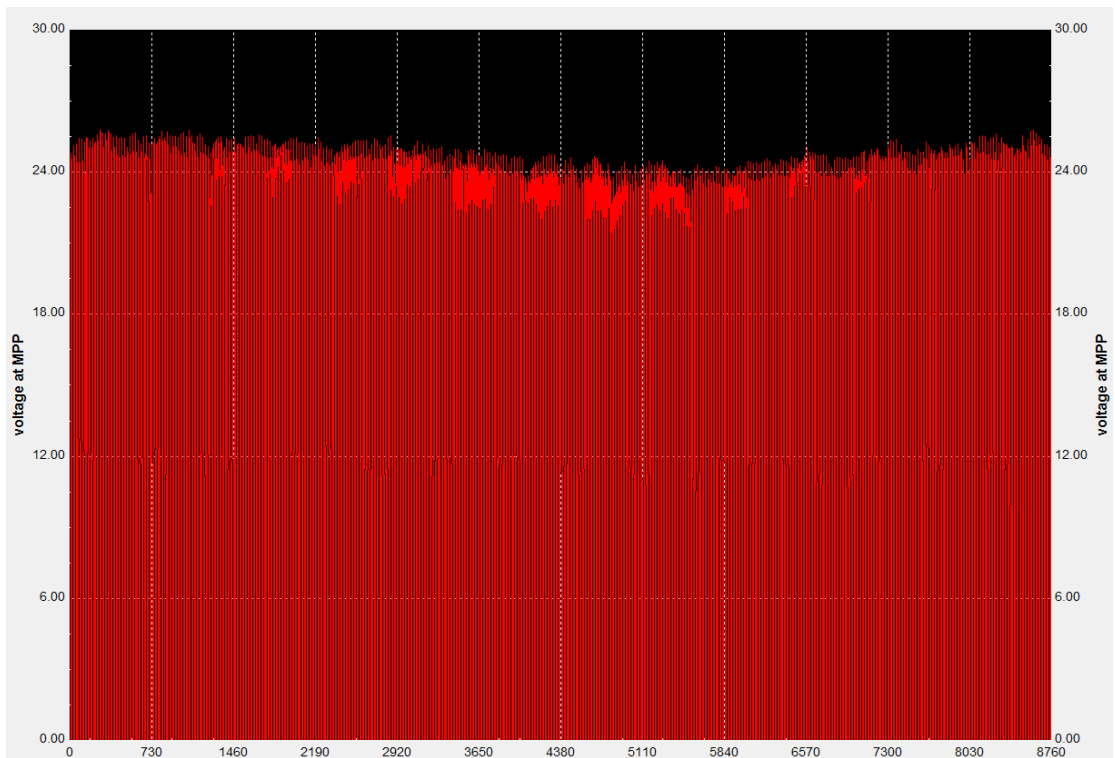
Επιλέγεται η Almeria ($\phi=36.84^\circ$) και ακολουθούν τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από την ανάλυση.



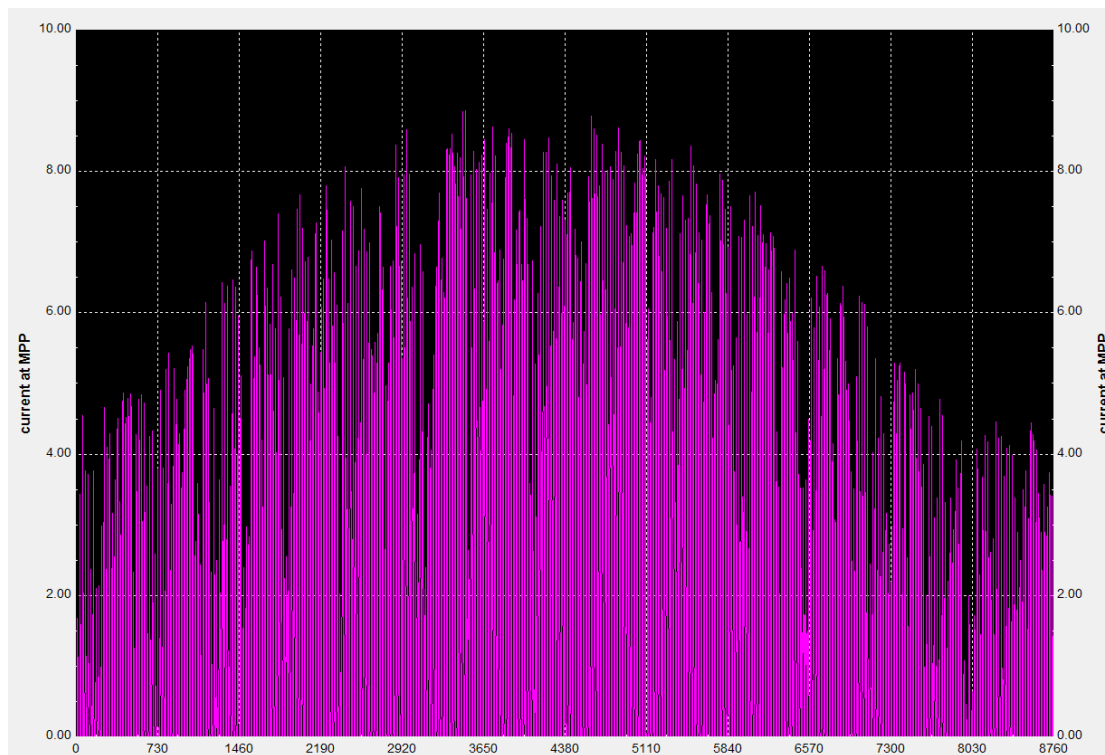
Διάγραμμα 34.Ολική προσπίπτουσα στο οριζόντιο επίπεδο ακτινοβολία



Διάγραμμα 35. Παραγόμενη ισχύς σε W απο το πάνελ



Διάγραμμα 36. Διακύμανση τάσης στο σημείο μέγιστης ισχύος



Διάγραμμα 37. Ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος

Παρατηρείται επαρκής παραγωγή ισχύος για το 60% του χρόνου ενώ όπως αναμενόταν υπάρχει ένα 28% όπου στο διάστημα αυτό ο συσσωρευτής φτάνει στο όριο εκφόρτισης του.

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	358.0	0	96
Feb	497.0	10	48
Mar	537.0	68	4
Apr	540.0	89	0
May	540.0	96	0
Jun	539.0	100	0
Jul	540.0	99	0
Aug	539.0	99	0
Sep	535.0	88	0
Oct	520.0	49	11
Nov	419.0	1	80
Dec	319.0	0	100

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

Πίνακας 9. Παραγόμενη μέση ημερήσια ενέργεια κάθε μήνα

Cs	Cb
20-28	17
28-36	5
36-44	5
44-52	3
52-60	2
60-68	2
68-76	16
76-84	11
84-92	7
92-100	27

Cs: Charge state at end of each hour (%)

Cb: Percentage of days with this charge state (%)

Πίνακας 10. Πιθανότητα κατάστασης φόρτισης μπαταρίας

Δ.1.7 Θεωρητική ανάλυση για Dori

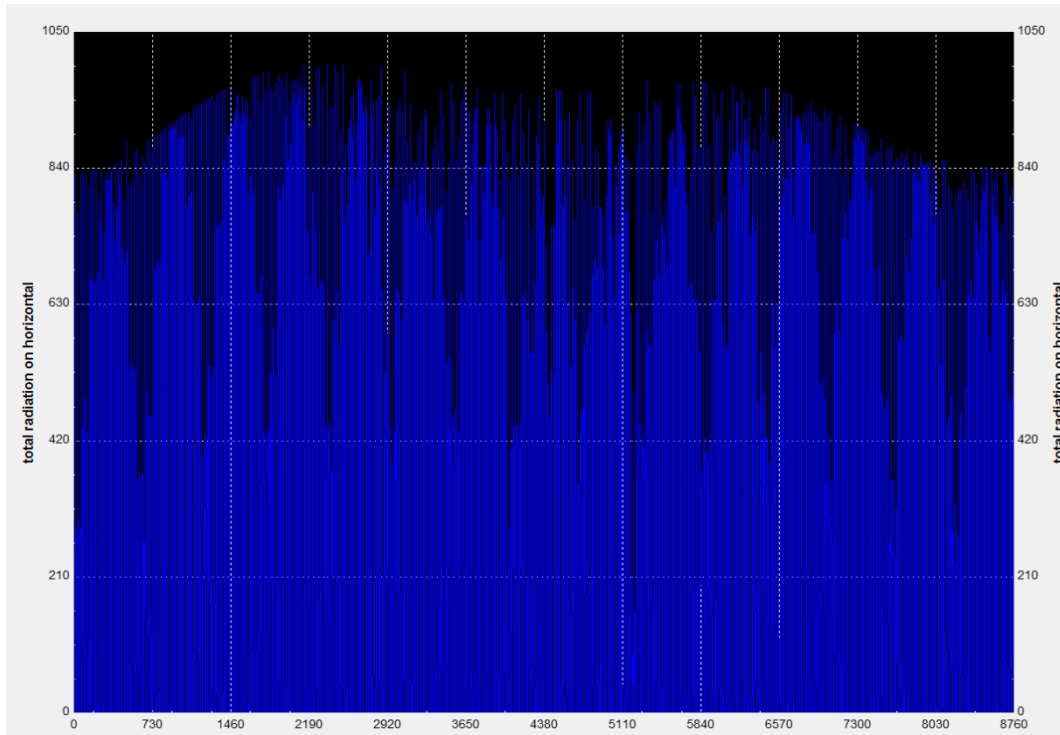
Όπως ελέγχθη ήδη από την περίληψη αυτού του πονήματος , από την πρώτη στιγμή που έγινα κοινωνός της ιδέας του ηλιακού ψυγείου η σκέψη μου πήγε στα παιδιά των χωρών της Αφρικής και στο πως η διάταξη αυτή θα μπορούσε να βοηθήσει όσον αφορά στην φαρμακευτική περίθαλψη τους.

Το Dori ($\phi=14^\circ$) είναι πόλη στη Burkina Faso 17000 κατοίκων , ιδιαίτερα φτωχή. Η εικόνα που ακολουθεί αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα όχι μόνη στην πόλη αυτή αλλά στην πλειονότητα του αφρικανικού κόσμου που σε ποσοστό 58% [21] (αντιστοιχεί σε πάνω από 587 εκατομμύρια ανθρώπων) δεν έχει πρόσβαση στον ηλεκτρισμό. Για το λόγο αυτό γίνεται σαφής η σημασία αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας στις χώρες αυτές αλλά και η χρήση του ηλιακού ψυγείου για την ζωτικής σημασίας συντήρηση φαρμάκων και εμβολίων.

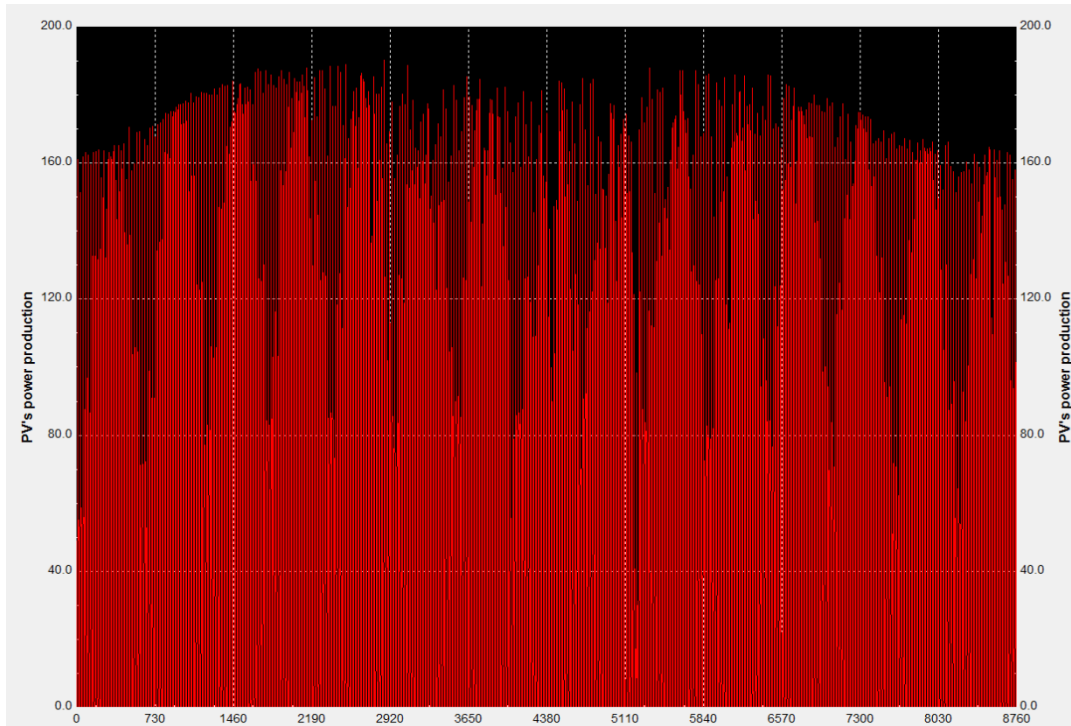


Εικόνα 14. Κομμάτι της καθημερινότητας στο Dori [19]

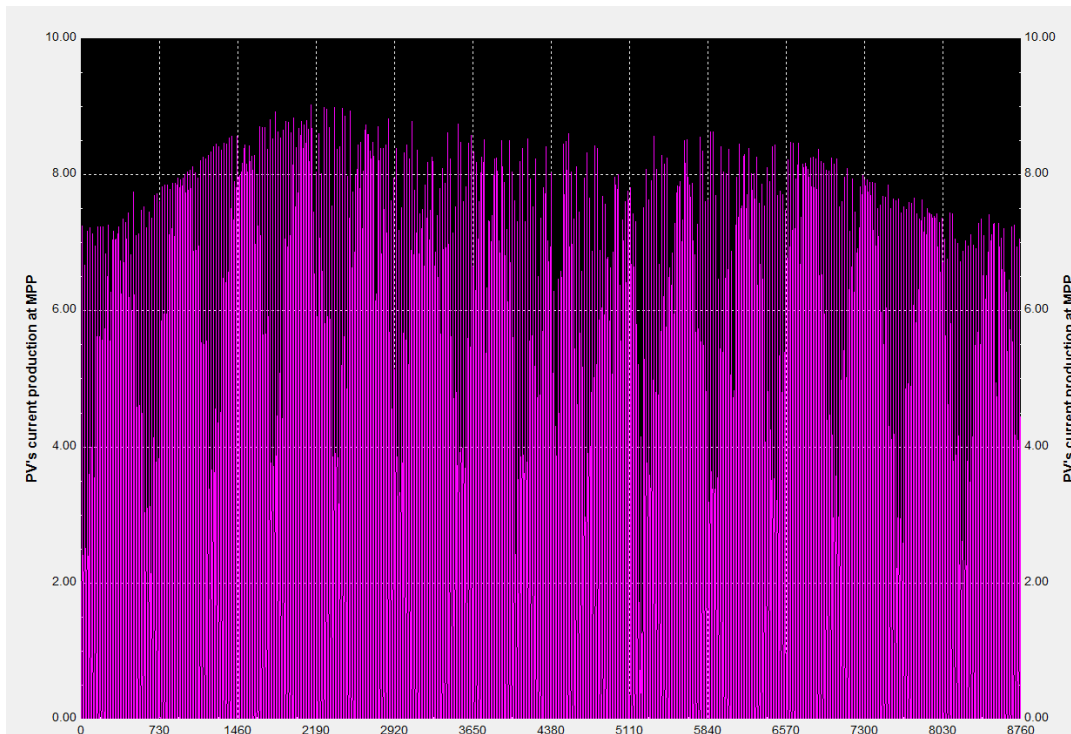
Ακολουθούν τα διαγράμματα όπου φαίνεται η ικανοποιητική παραγωγή ισχύος καθ όλη την διάρκεια του έτους (πάνω από 160 W διαρκώς). Η τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος παρουσίασε , όπως αναμενόταν , μικρή μείωση λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.



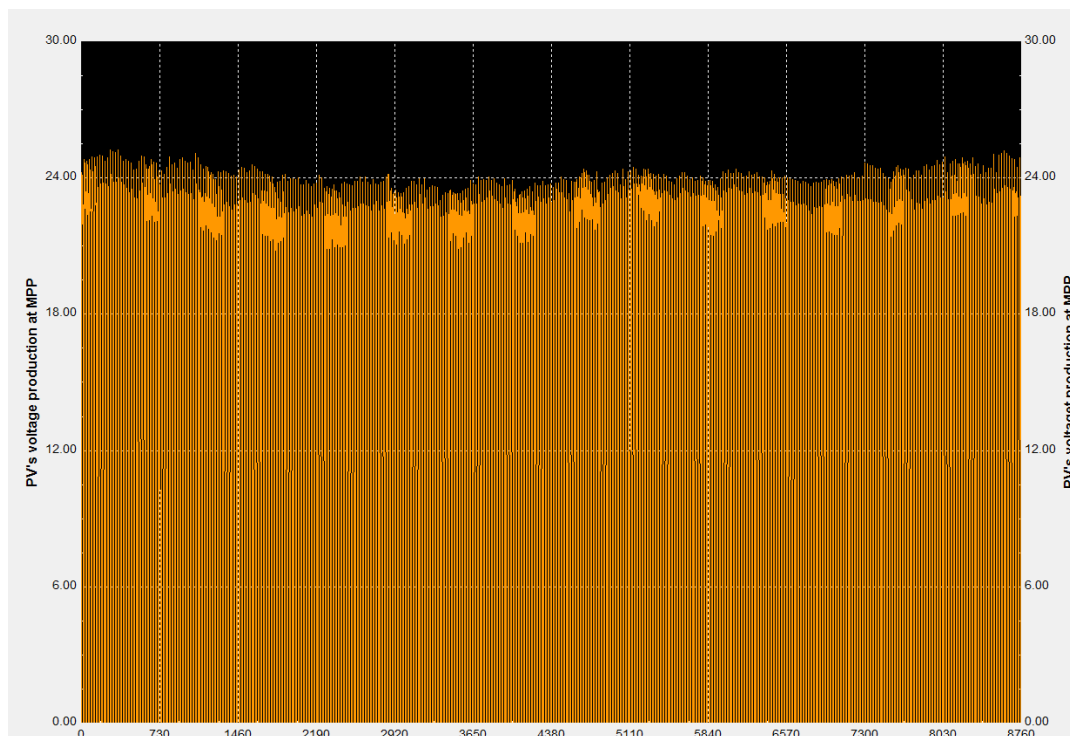
Διάγραμμα 38.Ολική προσιπτουσα ακτινοβολία



Διάγραμμα 39. Παραγόμενη ισχύς από το ΦΒ πλαίσιο



Διάγραμμα 40. ένταση ρεύματος στο σημείο MP



Διάγραμμα 41.Τάση στο σημείο MP

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	538.0	94	0
Feb	539.0	95	0
Mar	539.0	95	0
Apr	539.0	95	0
May	537.0	90	0
Jun	542.0	87	0
Jul	539.0	84	0
Aug	541.0	87	0
Sep	540.0	92	0
Oct	538.0	90	0
Nov	540.0	94	1
Dec	539.0	88	0

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

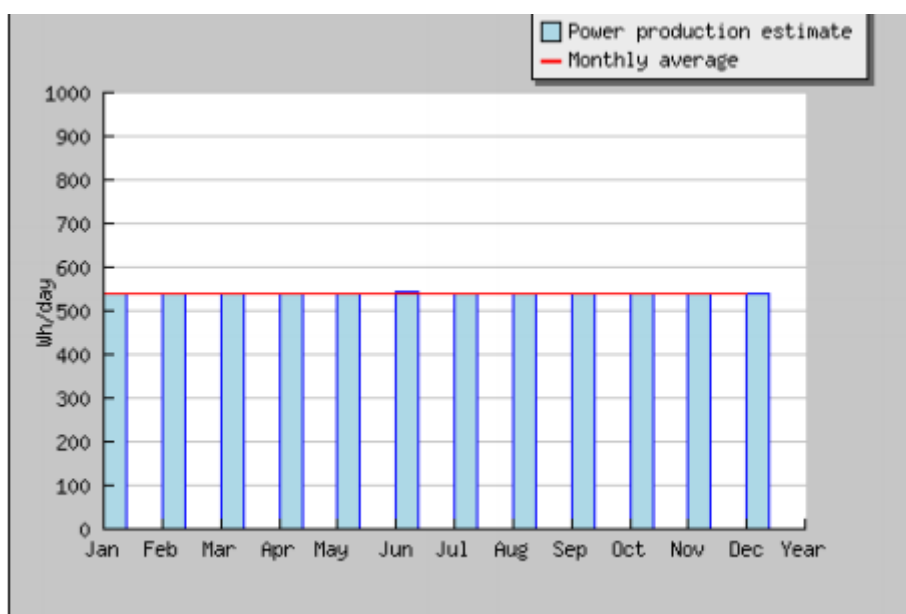
Πίνακας 11.Μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας κάθε μήνα

Cs	Cb
20-28	0
28-36	0
36-44	0
44-52	0
52-60	1
60-68	3
68-76	30
76-84	14
84-92	9
92-100	39

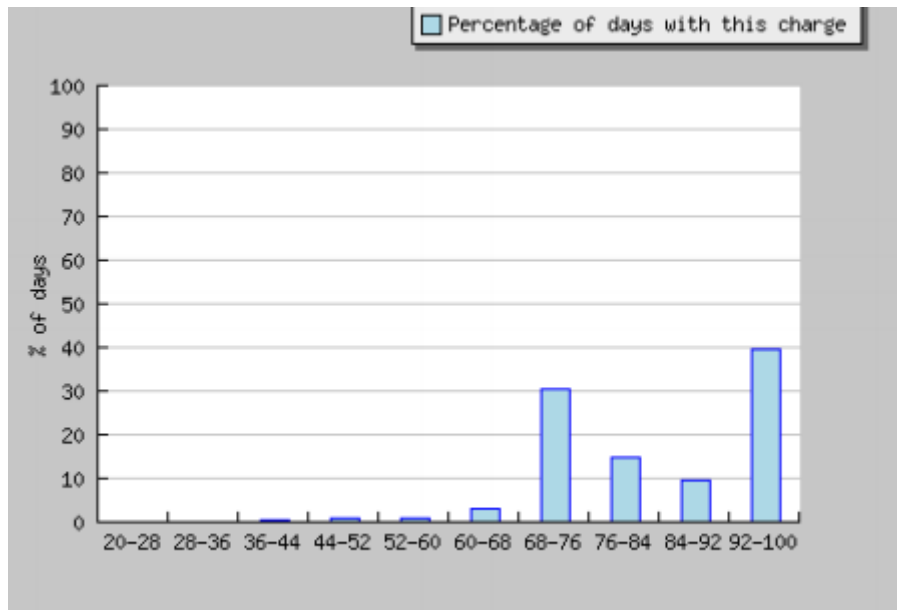
Cs: Charge state at end of each hour (%)

Cb: Percentage of days with this charge state (%)

Πίνακας 12.Πιθανότητα κατάστασης φόρτισης μπαταρίας



Διάγραμμα 42.Μέση ημερήσια παραγόμενη ενέργεια κάθε μήνα

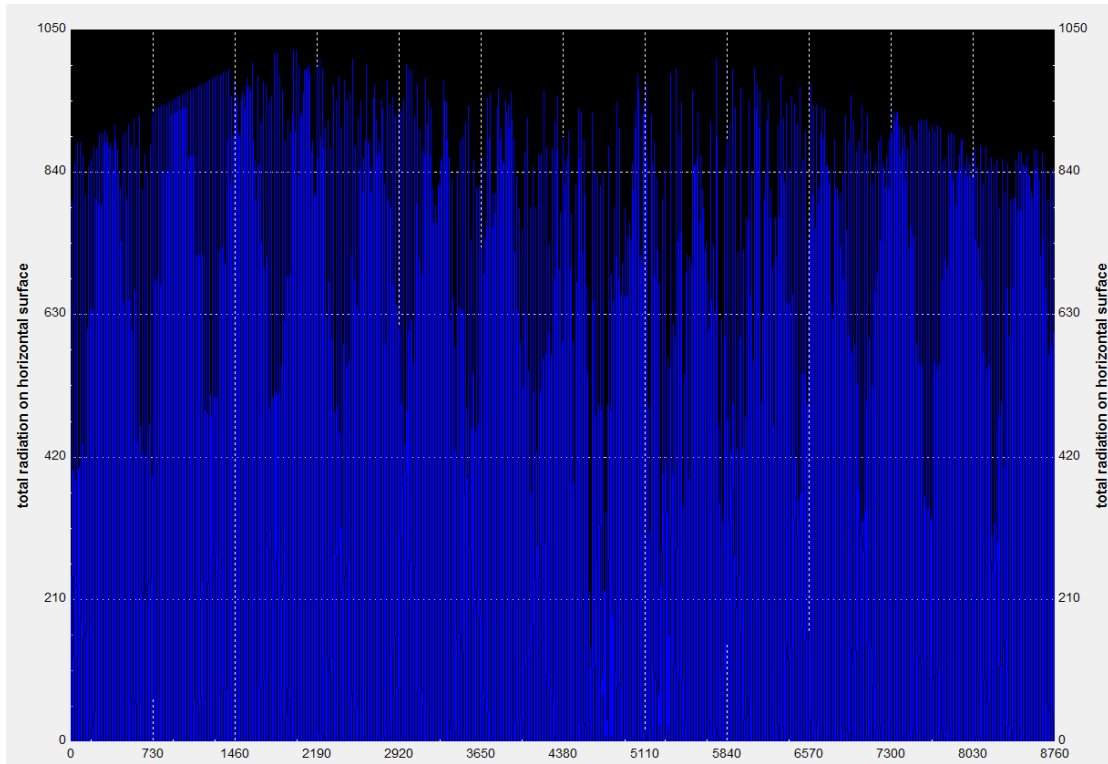


Διάγραμμα 42.Πιθανότητα κατάστασης φόρτισης μπαταρίας

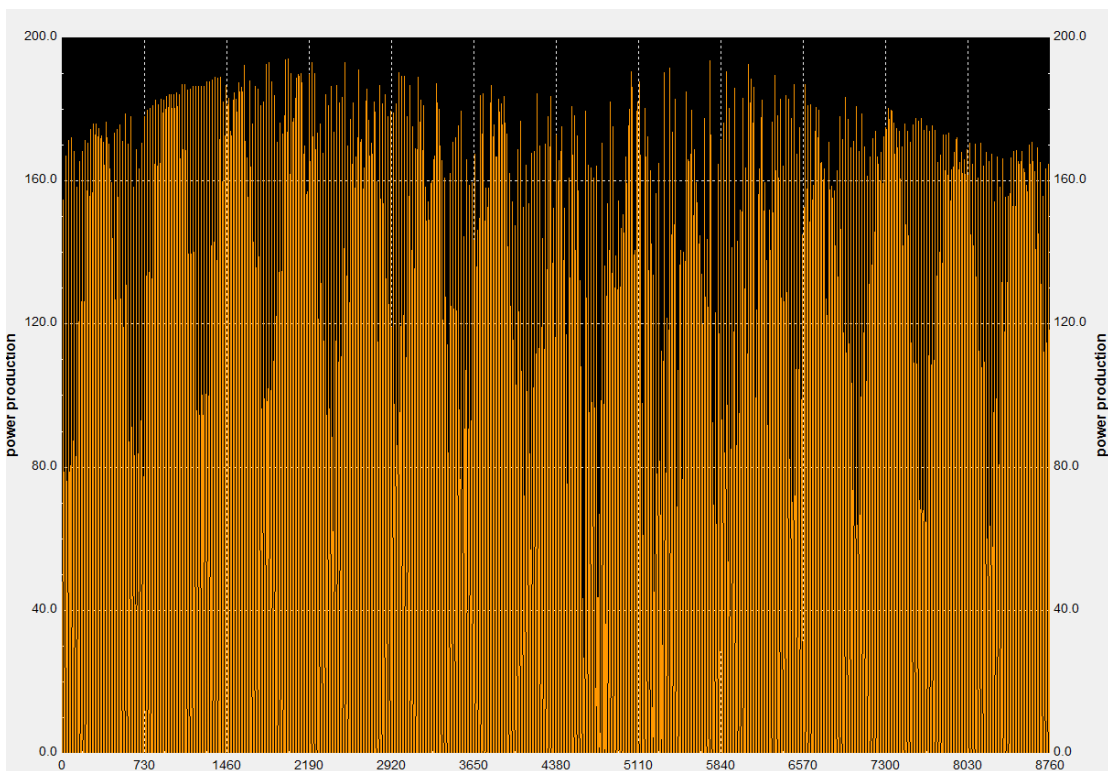
Αυτό που φαίνεται ξεκάθαρα είναι ότι στο Dori το ηλιακό ψυγείο μπορεί να λειτουργήσει με επάρκεια και αυτονομία για το 100 % του χρόνου ενώ άξιο αναφοράς είναι και το γεγονός ότι ο συσσωρευτής δεν φτάνει ποτέ το όριο εκφόρτισης. Μάλιστα όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα , στο τέλος κάθε ώρας λειτουργίας για το 50% των ημερών η μπαταρία βρίσκεται στο επίπεδο φόρτισης πάνω από 92%.

Δ.1.8 Θεωρητική ανάλυση για το Darfur

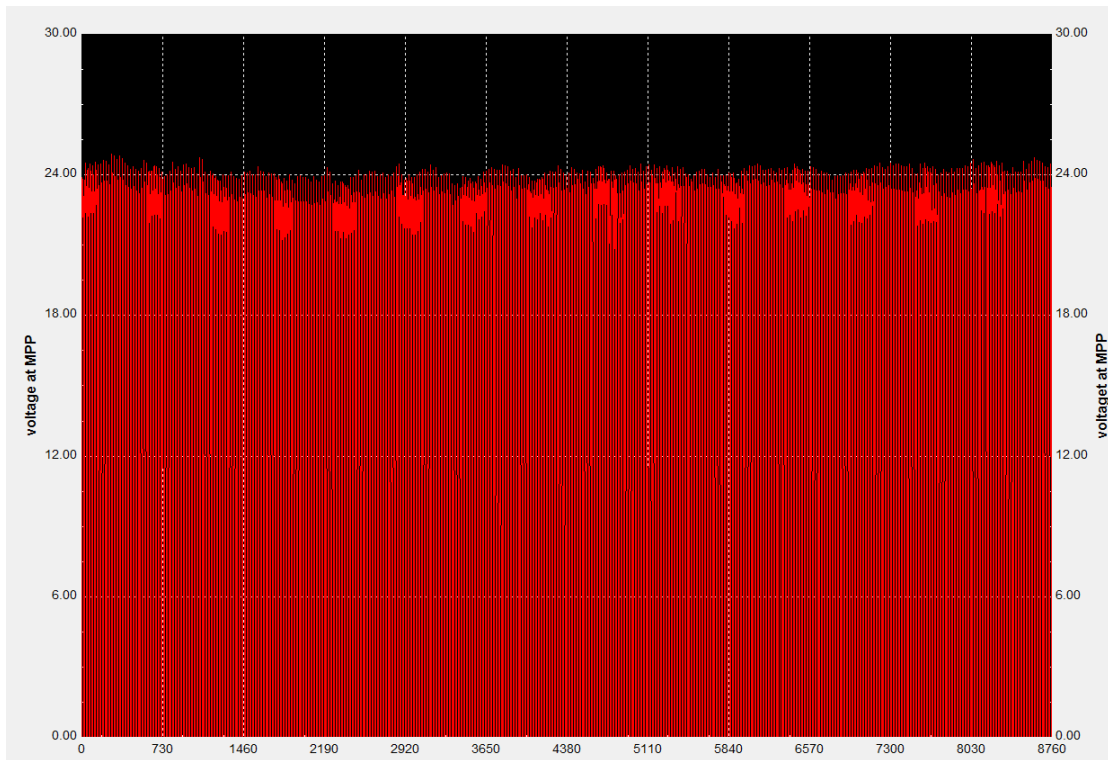
Εδώ προσεγγίζεται θεωρητικά η λειτουργία της διάταξης στο Darfur του Soudan με συντεταγμένες 14.378N, 24.904E .Ακολουθούν τα αποτελέσματα σε πίνακες και διαγράμματα.



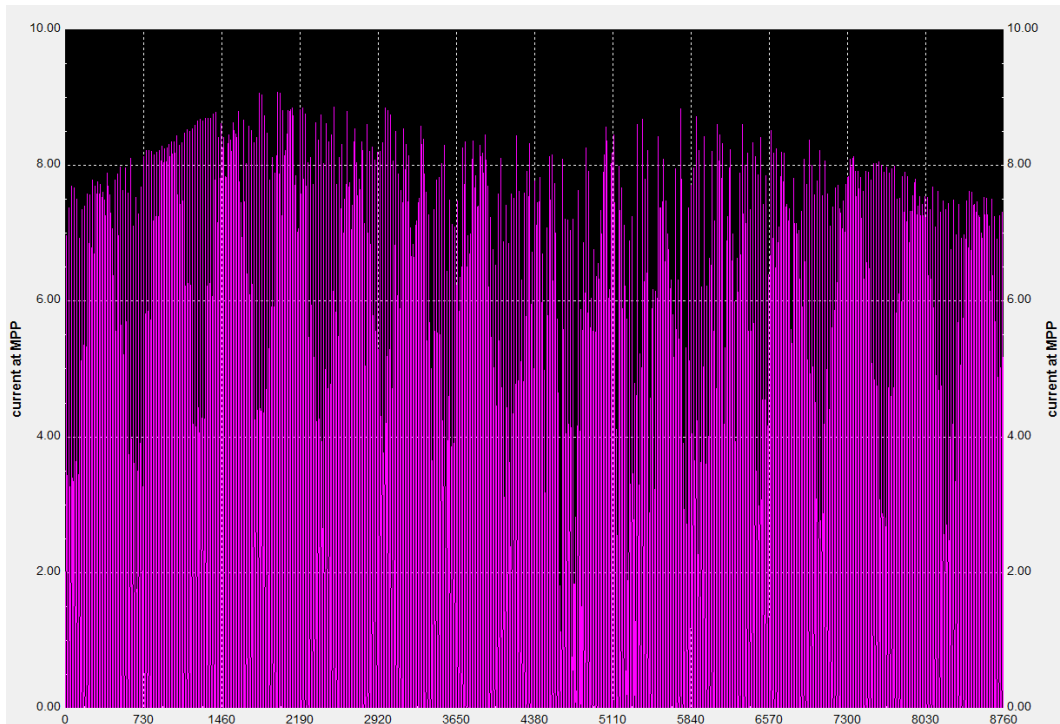
Διάγραμμα 43.ολική προσιπτουσα ακτινοβολία



Διάγραμμα 44.Παραγόμενη ισχύς



Διάγραμμα 45. Τάση στο σημείο μεγίστης παραγόμενης ισχύος



Διάγραμμα 46. Ένταση ρεύματος στο σημείο μεγίστης ισχύος

Month	Ed	Ff	Fe
Jan	538.0	99	0
Feb	540.0	99	0
Mar	540.0	100	0
Apr	539.0	100	0
May	540.0	96	0
Jun	539.0	98	0
Jul	539.0	92	0
Aug	540.0	92	0
Sep	539.0	95	0
Oct	539.0	99	0
Nov	539.0	100	0
Dec	540.0	94	0

Ed: Average energy production per day (Wh/day)

Ff: Percentage of days when battery became full (%)

Fe: Percentage of days when battery became empty (%)

Πίνακας 13.Μηνιαία παραγωγή ενέργειας

Ξεκάθαρα το πάνελ παράγει όλη την διάρκεια του έτους την απαραίτητη ενέργεια του φορτίου. Ενώ σημαντικό είναι το ότι η τάση που αναπτύσσεται από το πάνελ είναι σταθερή στα 24 Volt περίπου για κάθε ακτινοβολία που δέχεται. Αυτό μεταφράζεται σε σταθερή παραγωγή ισχύος όπως φαίνεται πάνω από 160 W συνεχώς.

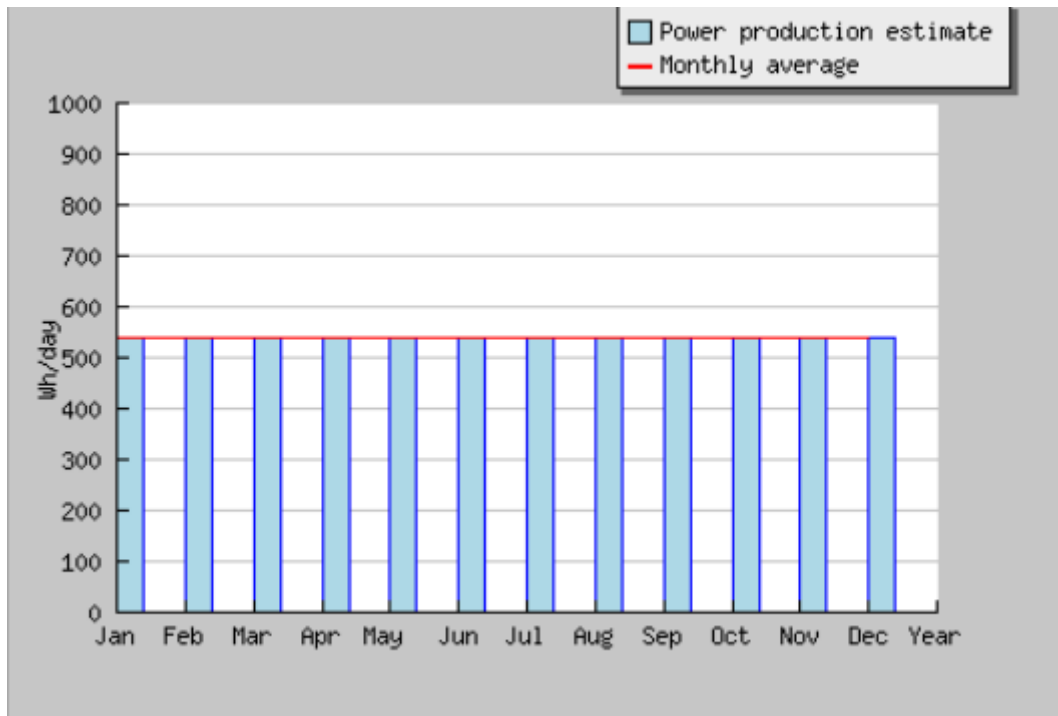
Cs	Cb
20-28	0
28-36	0
36-44	0
44-52	0
52-60	0
60-68	4
68-76	27
76-84	11
84-92	12
92-100	43

Cs: Charge state at end of each hour (%)

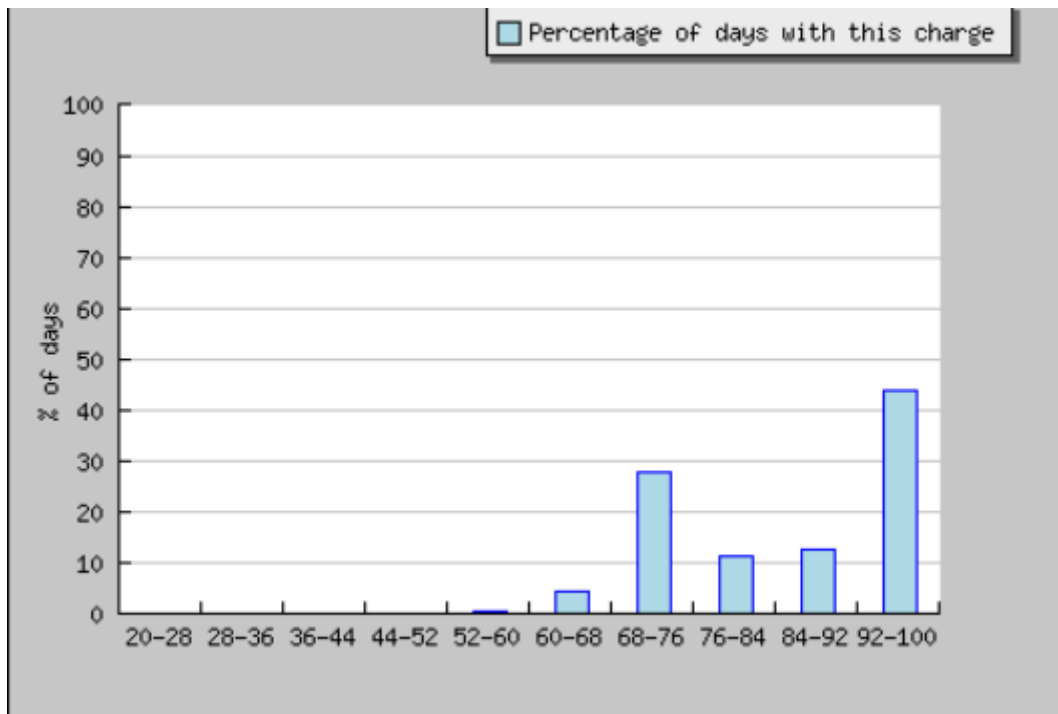
Cb: Percentage of days with this charge state (%)

Πίνακας 14.Πιθανότητα για κατάσταση φόρτισης μπαταρίας

Συνοπτικά στο 97.33% των ημερών αναμένεται ο συσσωρευτής να φορτίζεται πλήρως ενώ στο τέλος κάθε ώρας η πιθανότητα η κατάσταση φόρτισης να είναι κάτω από 60% είναι μηδενική.



Διάγραμμα 47.Μηνιαία παραγωγή ενέργειας



Διάγραμμα 48.Κατάσταση φόρτισης μπαταρίας

Δ.2 Ανάλυση με το Mathcad

Η ανάλυση που θα ακολουθήσει αφορά μόνο την πόλη της Αθήνας προκειμένου να αποτελέσει και ένα παραπάνω μέτρο σύγκρισης για τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν στο επόμενο κεφάλαιο που πραγματεύεται την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων. Επιχειρείται να υπολογιστεί η παραγόμενη ενέργεια από το ΦΒ πλαίσιο με δύο μεθόδους. Με την πρώτη μέθοδο, θεωρώ βαθμό απόδοσης σταθερό (διαφορετικό από το δοθέν του κατασκευαστή που αφορά συγκεκριμένες συνθήκες δοκιμών) και υπολογίζω την παραγόμενη ισχύ. Με την δεύτερη μέθοδο υπολογίζεται σε πρώτη φάση ο βαθμός απόδοσης διορθωμένος ως προς την θερμοκρασία και την κλίση του πλαισίου και μετά σε δεύτερο βήμα υπολογίζω την παραγόμενη ισχύ.

ΜΕΘΟΔΟΣ Α

Υπολογίζεται ο βαθμός απόδοσης με βάση την σχέση των Taine & Petit ο οποίος συσχετίζει την απόδοση του ΦΒ με την μέση θερμοκρασία που αναπτύσσουν οι κυψέλες του.

$$\eta = 0,10 + 0,002 * (333 - T)$$

Για την περίπτωση των ΦΒ mono-Si δεν είναι λάθος να θεωρήσουμε μια τέτοια θερμοκρασία κυψελών περίπου 40°C-50°C και εν συνεχεία να λάβουμε ένα μέσο βαθμό απόδοσης.

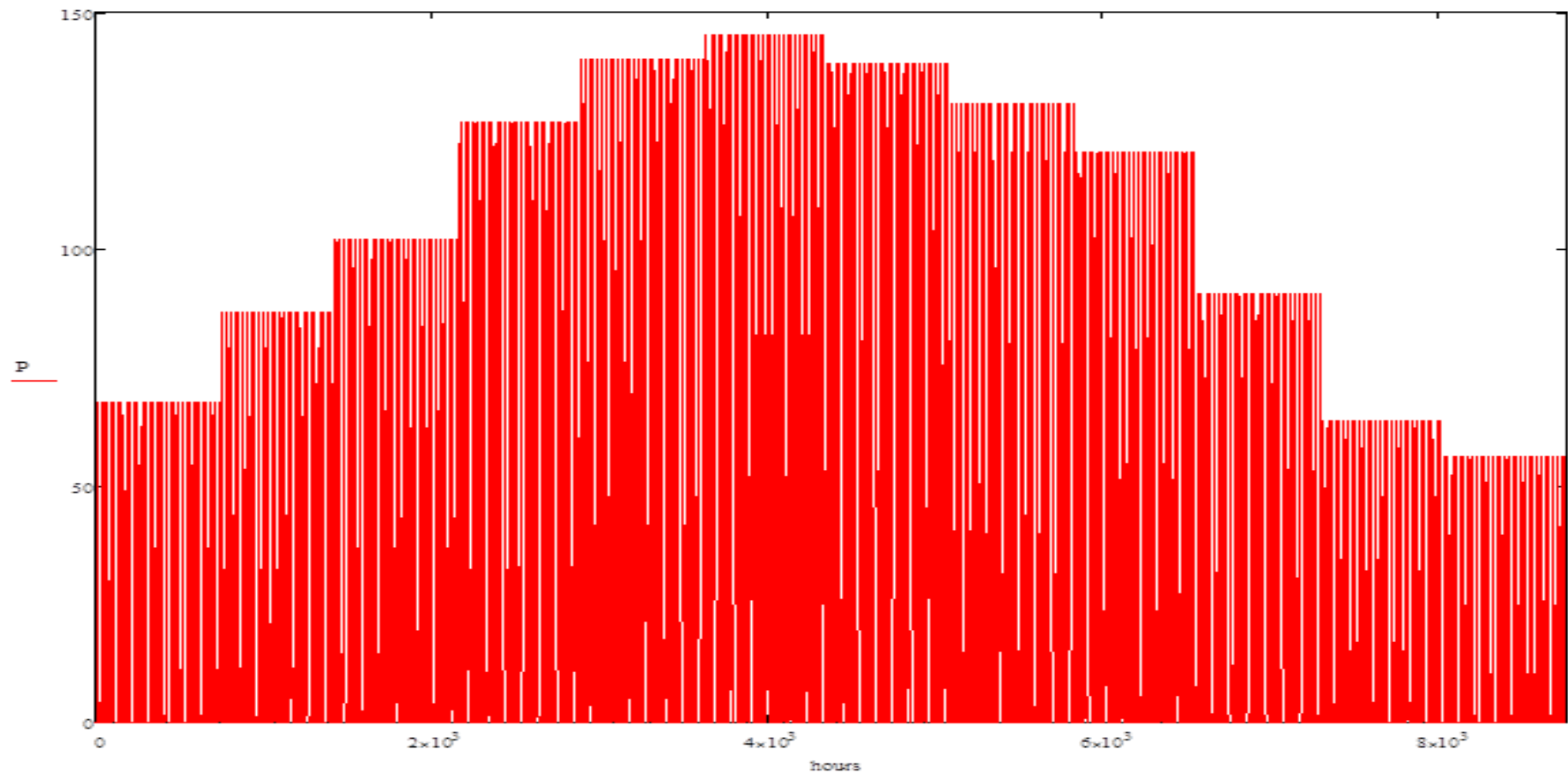
Προκύπτει ότι $\eta=0.13$ που διαφέρει από το 0.14 που δίνει ο κατασκευαστής.

Εν συνεχεία εφαρμόζεται η σχέση $P(W) = I \left(\frac{W}{m^2} \right) * S(m^2) * \eta * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho}$

όπου

- I η μέση ωριαία ακτινοβολία
- S η επιφάνεια του πάνελ 1,378m²
- η , η απόδοση όπως προσδιορίστηκε
- $\sigma_{\theta}=1-0,005*(\theta_{amb}-20)$
- $\sigma_{\rho}=1$ ο συντελεστής ρύπανσης (θεωρώ το πάνελ απαλλαγμένο σκόνης)

Προκύπτει το διάγραμμα παρακάτω όπου παρατηρείται μέγιστη παραγωγή ισχύος τον Ιούλιο ίση με 145.28 W .



Διάγραμμα 49.Ετήσια παραγωγή ισχύος

ΜΕΘΟΔΟΣ Β

Στη δεύτερη μέθοδο προσαρμόζω τον δοσμένο από τον κατασκευαστή βαθμό απόδοσης βάσει διορθωτικών παραγόντων κλίσης και θερμοκρασίας και κατόπιν υπολογίζω την παραγωγή ισχύος από το ΦΒ.

Υπολογίζω τον διορθωτικό παράγοντα C_f της σχέσης Evans που σχετίζεται με την κλίση του πάνελου.

$$C_f = 1 - 1.17 * 10^{-4} (|\varphi - \delta| - \beta)^2$$

με

- $\varphi=38^\circ$ το γεωγραφικό πλάτος
- δ η ηλιακή απόκλιση κάθε μέρας
- $\beta=0$ η κλίση του πάνελ

Κατόπιν βρίσκω την θερμοκρασία T_c

$$T_c = T_a + C_f(219 + 832k_T) \frac{NOCT - 20}{800}$$

όπου

- T_a η θερμοκρασία περιβάλλοντος
- k_T μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας του υπόψη μήνα που προκύπτει από αξιοποίηση στατιστικών στοιχείων(βλ Παράρτημα Γ)
- $NOCT=45^\circ\text{C}$ η θερμοκρασία κυψελών σε δοκιμές

Έπειτα λογαριάζω τον διορθωμένο βαθμό απόδοσης από την σχέση

$$\eta = \eta_r [1 - \beta_p (T_c - T_r)]$$

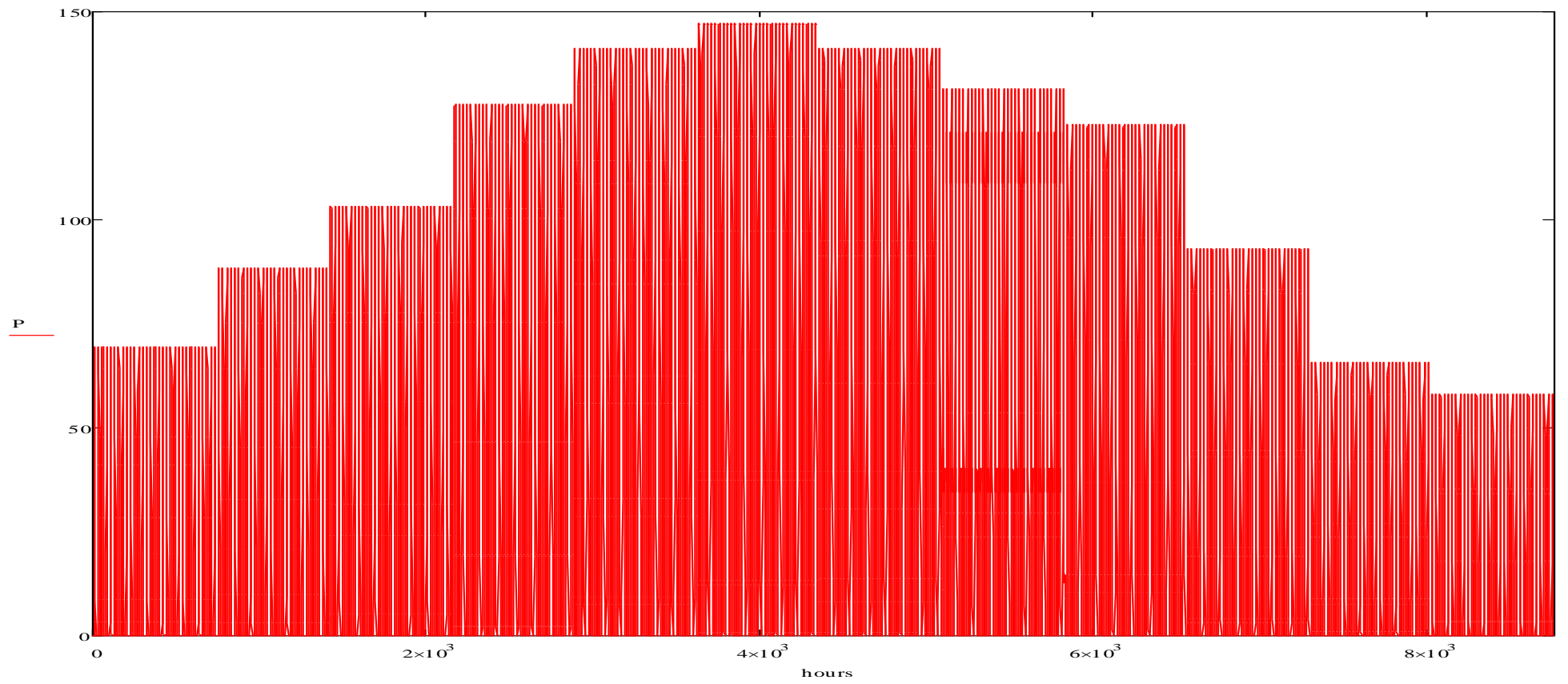
όπου

- η_r η απόδοση που δίνει ο κατασκευαστής για $T_r=25^\circ\text{C}$. Εδώ $\eta_r=0.145$
- β_p ο θερμοκρασιακός συντελεστής του ΦΒ. Εδώ $0.34/^\circ\text{C}$

Τέλος, θεωρώντας ότι το σύστημα έχει και ένα $\lambda=5\%$ απώλειες έχω

$$P = I * \eta * S * (1 - \lambda)$$

Έτσι προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα.



Όπως φαίνεται από το διάγραμμα 50 λαμβάνουμε μέγιστη ισχύ 147.13 W κατά τον Ιούλιο. Διαπιστώνεται σχεδόν ταύτιση των αποτελεσμάτων μια μικρή στα όρια του ανεκτού διαφορά.

Κεφάλαιο Ε. Πειραματική προσέγγιση της διάταξης

Το πείραμα έλαβε χώρα στις 12/7/2013 από τις 10πμ έως τις 6μμ στη οροφή του κτιρίου Ν της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών όπου και βρίσκεται μόνιμα το ΦΒ πλαίσιο. Η υπόλοιπη διάταξη μεταφέρθηκε εύκολα λόγω της φορητότητας της από το εργαστήριο στην ταράτσα του κτιρίου.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

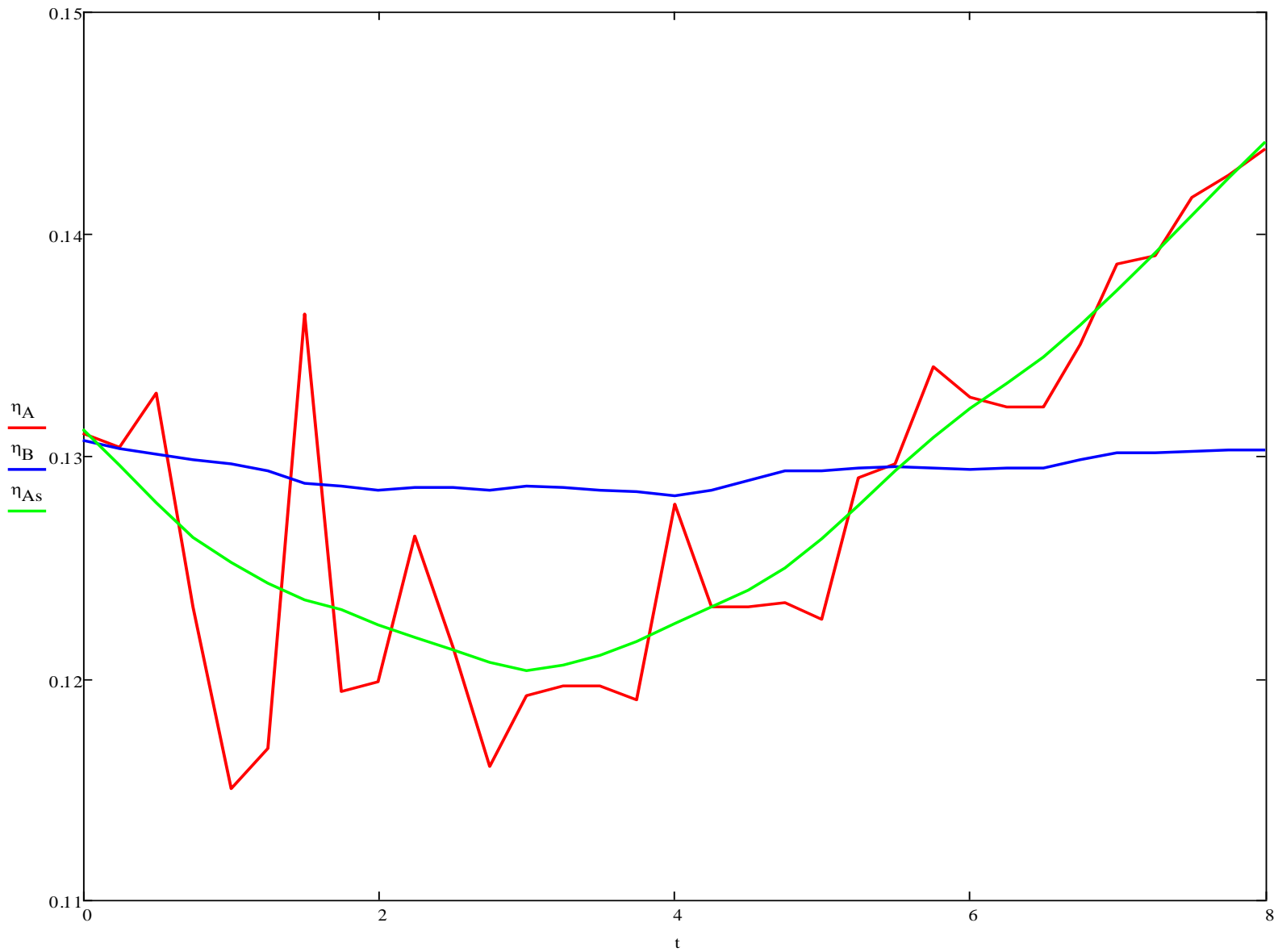
- ψηφιακό πολύμετρο με αμπεροτσιμπίδα για μέτρηση τάσης και έντασης
- πυρανόμετρο για τον προσδιορισμό της προσπίπτουσας ολικής ακτινοβολίας
- θερμόμετρο με μεταλλάκτη

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν ανα 15' και περιλάμβαναν :

- ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία
- θερμοκρασία περιβάλλοντος
- θερμοκρασία κυψελών
- τάση στα άκρα της μπαταρίας
- τάση ανοιχτοκυκλώματος
- ένταση ρεύματος υπο φορτίο

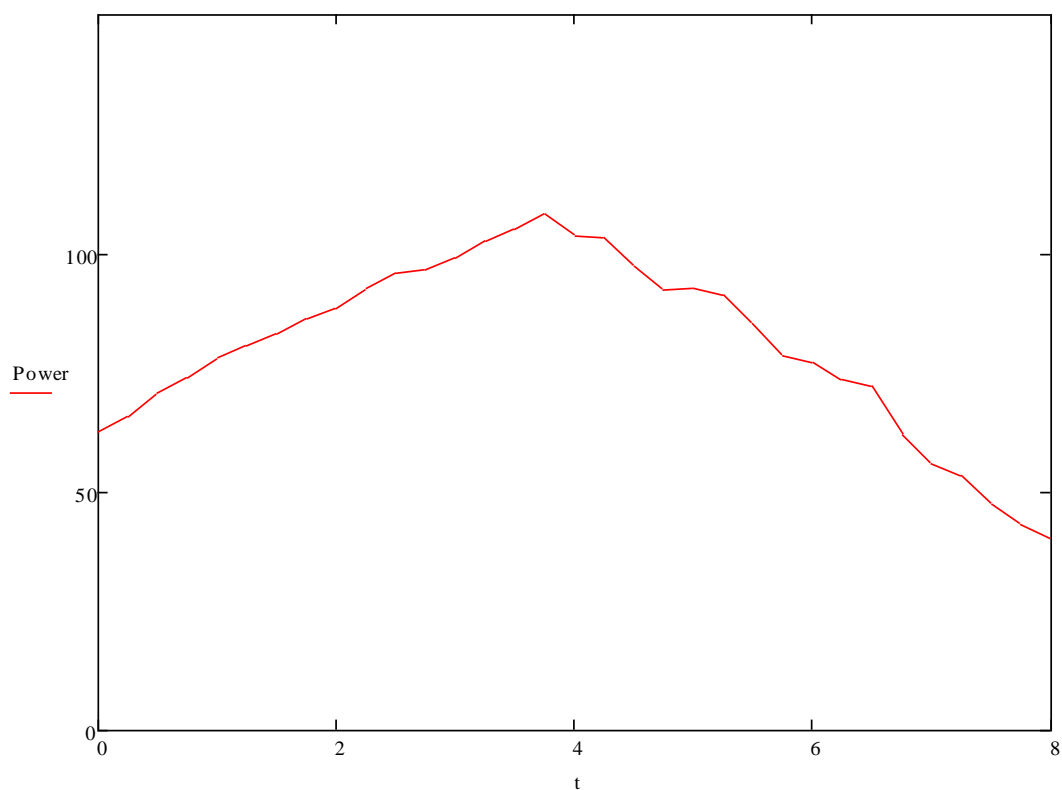
Πρέπει να αναφέρουμε ότι σε όλη την διάρκεια του πειράματος λειτουργούσαν και το ψυγείο ($I=0.45\text{ A}$) και το πυρανόμετρο ($I=0.4\text{ A}$)

Τα πειραματικά δεδομένα επεξεργάστηκαν στο Excel και το Mathcad και παρουσιάζονται υπό μορφή διαγραμμάτων.



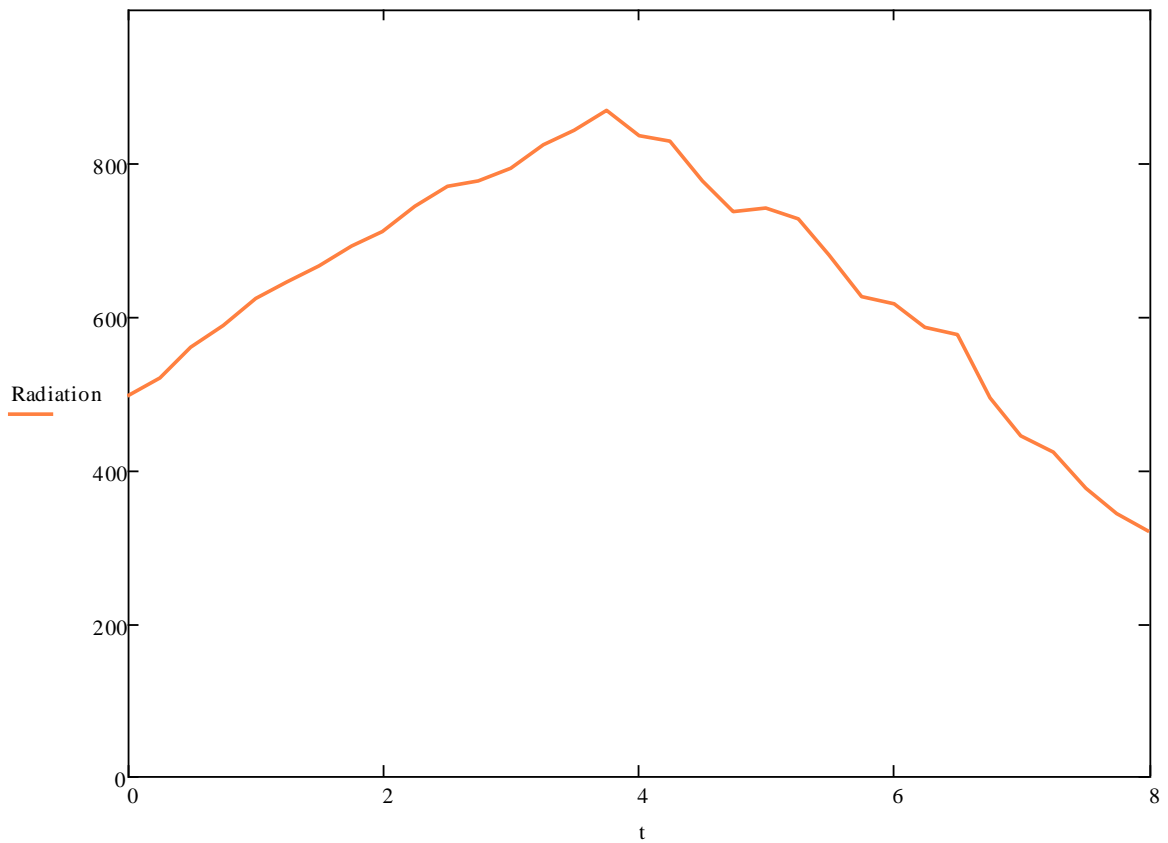
Διάγραμμα 51.Αποδόσεις

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή της απόδοσης προϊόντος του χρόνου. Ο δείκτης A αντιστοιχεί στη μέθοδο Taine & Petit , ο δείκτης B στη δεύτερη μέθοδο με τους διορθωτικούς συντελεστές όπως αναπτύχθηκε στο Δ.2 ενώ ο δείκτης AS είναι αποτέλεσμα της ενσωματωμένης στο Mathcad συνάρτησης sursmooth για πιο ομαλή καμπύλη παρουσιάσης των αποτελεσμάτων. Φαίνεται πως η μέθοδος B έχει βγάλει ορθότερα αποτελέσματα καθότι όλα τα σημεία είναι πολύ κοντά στη μέση τιμή 0.129. Θυμίζω ότι ως βαθμός απόδοσης του πάνελου στο Δ2 είχε υπολογιστεί το 0.13 .



Διάγραμμα 52. Παραγόμενη ισχύς

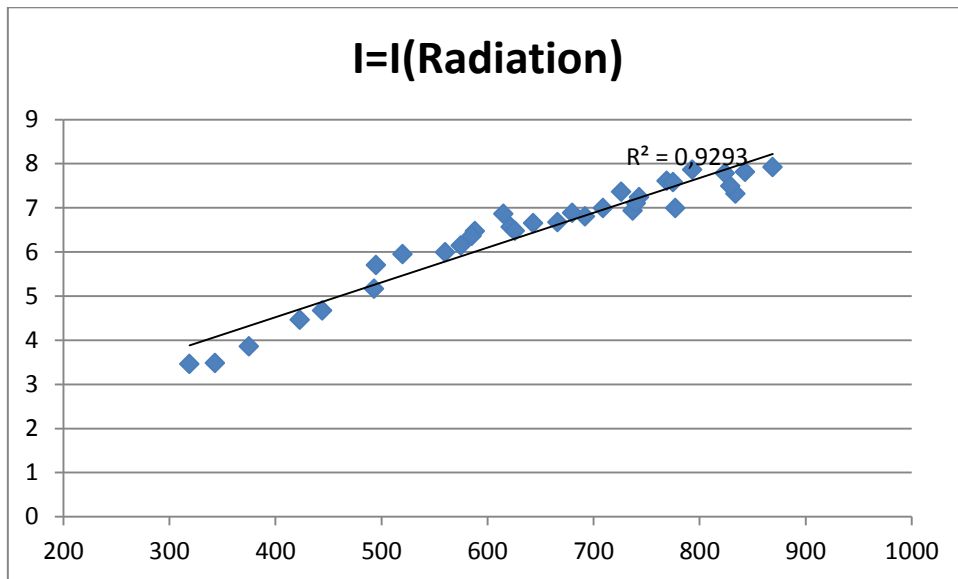
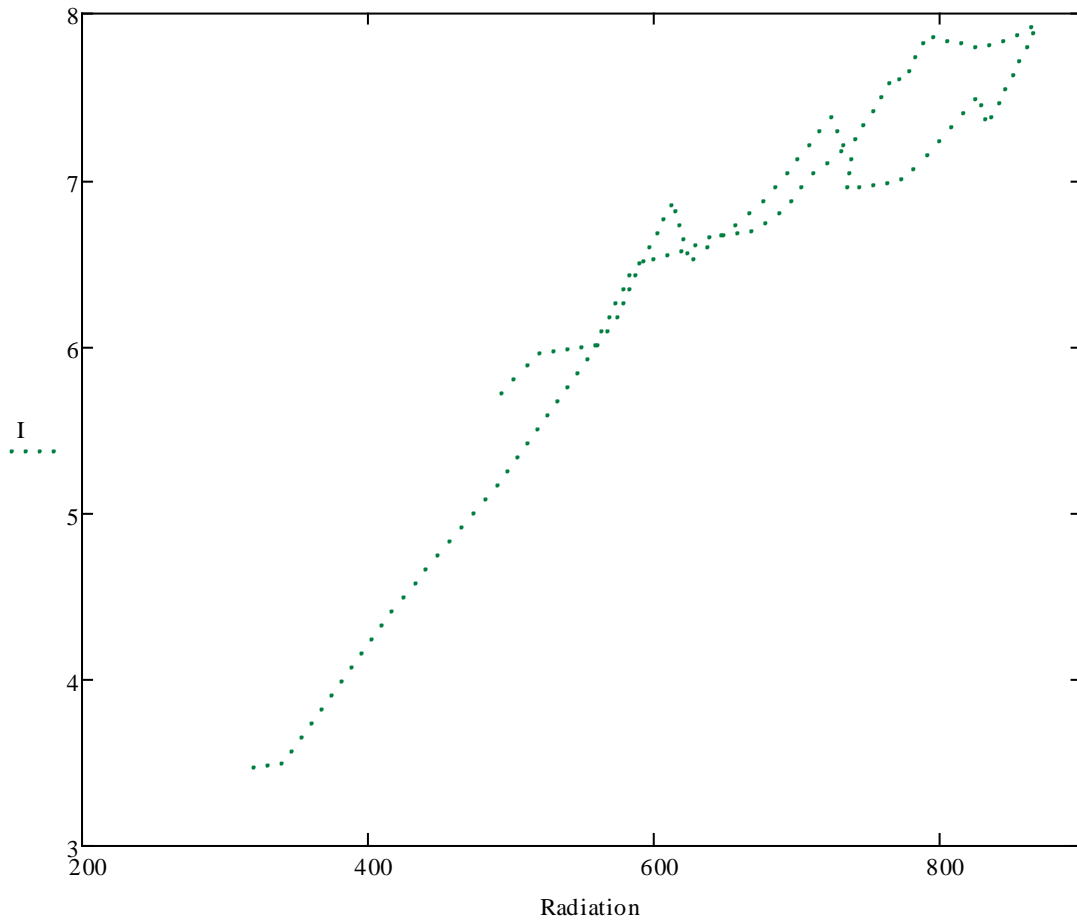
Η μέγιστη ισχύς που παράχθηκε όπως φάνηκε από το διάγραμμα ήταν 108.2 W/m^2 ή διαφορετικά 149 W αν πολλαπλασιάσουμε με το εμβαδόν του πλαισίου $1,378 \text{ m}^2$. Τιμή που είναι πάρα πολύ κοντά με την μέγιστη που υπολογίσθηκε στο Δ2 και που εμφανιζόταν κατά τις 4/7 όπως φάνηκε από την προσομοίωση του TRNSYS.



Διάγραμμα 53.Ηλιακή ακτινοβολία κατά την εκτέλεση του πειράματος

Τέλος , ακολουθεί γράφημα μεταξύ της έντασης του ρεύματος και της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως φαίνεται ακολουθεί μια έντονα γραμμική σχέση που αποδεικνύεται και από το συντελεστή γραμμικότητας R^2 στο Διάγραμμα 41.

Διάγραμμα 54.Ένταση ρεύματος συναρτήσει της ακτινοβολίας



Διάγραμμα 55.Γραμμική σχέση I=I(radiation)

Κεφάλαιο ΣΤ. Συμπεράσματα-Προτάσεις βελτίωσης

Λαμβάνοντας υπόψη τις θεωρητικές προσεγγίσεις αλλά και την πειραματική ανάλυση μπορεί να εξαχθεί το ασφαλές συμπέρασμα ότι η διάταξη που κατασκευάστηκε ή όπως την ονομάσαμε ηλιακό ψυγείο λειτουργεί ικανοποιητικά αρκετές περιοχές της Μεσογείου αλλά και σε πόλεις της Αφρικής. Ειδικά για την Αθήνα παρατηρούμε πόσο συγκλίνουν στα αποτελέσματα τους οι αναλύσεις του TRNSYS, του PVGIS , η ανάλυση στο Mathcad στηριζόμενοι σε απλά μαθηματικά μοντέλα προσέγγισης αλλά και τα πειραματικά αποτελέσματα.

Η ενθαρρυντική , ως προς τα τελικά αποτελέσματα , έκβαση του όλου εγχειρήματος δίνει ελπίδες και τροφοδοτεί με όρεξη όσους εργαστήκαμε για αυτό προκειμένου η προσπάθεια αυτή να τύχει βελτίωσης. Ενδεικτικά , θα μπορούσα να προτείνω την δημιουργία μηχανισμού που θα ανυψώνει το πάνελ στην μια του πλευρά ώστε να σχηματίζεται κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο για να μην χάνεται αξιοποιήσιμη ακτινοβολία. Ακόμη , θα μπορούσε να γίνει προσπάθεια ώστε να μην αυξάνεται σε τέτοια επίπεδα η θερμοκρασία των κυψελών (μετρήθηκε θερμοκρασία ακόμη και 52°C) και να αποτρέπονται έτσι οι απώλειες μέσω του συντελεστή θερμοκρασίας. Τέλος , θα μπορούσε να επαναληφθεί το πείραμα για περισσότερες ώρες και με μεταβλητό φορτίο ώστε να κατασκευαστούν και οι καμπύλες V-I της φωτοβολταϊκής γεννήτριας.

Παράρτημα Α

Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας

$$\overline{H}_o = \frac{24 * 3600}{\pi} * G_{sc} * \left(1 + 0.333 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \right) * (\cos\varphi * \cos\delta * \sin\omega_s + \frac{2 * \pi * \omega_s}{360} * \sin\varphi * \sin\delta)$$

Όπου

\overline{H}_o η μέση μηνιαία ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας υπολογισμένη τη μέση μέρα κάθε μήνα

G_{sc} η ηλιακή σταθερά 1353 W/m².

n η μέρα του χρόνου

φ το γεωγραφικό πλάτος

δ η ηλιακή απόκλιση δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του ισημερινού και την ευθεία που συνδέει τα κέντρα ηλίου και γης. $\delta = 23.45 * \sin\left(360 * \frac{284+n}{365}\right)$

ω_s η ωριαία γωνία ανατολής ή δύσης. $\omega_s = \arccos(-\tan\varphi * \tan\delta)$

Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια

$$\overline{H} = k_T \overline{H}_o$$

Όπου

\overline{H} η μέση μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια

\overline{H}_o η μέση μηνιαία ακτινοβολία στην κορυφή της ατμόσφαιρας

k_T ο μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας.

Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια

$$H_T = R * H$$

$$R = \underbrace{\left[\left(1 - \frac{H_d}{H}\right) * R_b \right]}_{\text{ΑΜΕΣΗ}} + \underbrace{\left[\frac{H_d}{H} \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) \right]}_{\text{ΔΙΑΧΥΤΗ}} + \underbrace{\left[\rho \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \right]}_{\text{ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ}}$$

Όπου

H η μέση ημερήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

H_d η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

R_b ο λόγος της άμεσης ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς την άμεση οριζόντιου επιπέδου. Δίνεται από το τύπο

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \delta) * \cos\delta * \sin\omega_{st} + \omega_{st} \sin(\varphi - \delta) * \sin\delta}{\cos\varphi * \cos\delta * \sin\omega_s + \omega_s * \sin\varphi * \sin\delta}$$

Με $\omega_s = \min\{\omega_s, \text{acos}(-\tan(\varphi - \delta) * \tan\delta)\}$

ρ ο συντελεστής ανακλαστικότητας με συνήθεις τιμές 0.2 για τσιμεντένιες περιοχές και 0.7 για χιονισμένες. Για την Ελλάδα λαμβάνεται $\rho=0.2$.

Τέλος, ο λόγος της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας προς τη συνολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο σχετίζεται με τον συντελεστή αιθριότητας βάσει της σχέσης των Colares-Pereira και Ramble

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 0.99 \text{ για } K_T \leq 0.1 \\ 1.188 - 2.272K_T + 9.473K_T^2 - 21.865K_T^3 + 14.648K_T^4 \text{ για } 0.17 \leq K_T \leq 0.75 \\ 0.54K_T + 0.632 \text{ για } 0.75 < K_T \leq 0.80 \\ 0.2 \text{ για } K_T > 0.80 \end{cases}$$

Παράρτημα Β

Τεχνικές προδιαγραφές του ΦΒ πλαισίου

aleo s_17

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (STC)			S 17.195	S 17.200
Ονομαστική ισχύς	P_{MPP}	[W]	195	200
Ονομαστική τάση	U_{MPP}	[V]	25,1	25,6
Ονομαστικό ρεύμα	I_{MPP}	[A]	7,77	7,82
Τάση άνευ φορτίου	U_{OC}	[V]	30,7	30,8
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	I_{SC}	[A]	8,45	8,46
Απόδοση	η	[%]	14,2	14,5
Επιφάνεια ανά μονάδα ισχύος	A_p	[m ² /kW _p]	7,07	6,89

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε τυπικές συνθήκες δοκιμών (STC): 1000 W/m²; 25°C; AM 1,5

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (NOCT)			S 17.195	S 17.200
Ισχύς	P_{MPP}	[W]	146	148
Τάση	U_{MPP}	[V]	23,1	23,4
Ρεύμα	I_{MPP}	[A]	6,31	6,32
Τάση άνευ φορτίου	U_{OC}	[V]	28,0	28,1
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	I_{SC}	[A]	6,87	6,89
Απόδοση	η	[%]	13,2	13,4

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας κυψελών: 800 W/m²; 20°C; AM 1,5; άνεμος 1 m/s
NOCT: 47°C (ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κυψελών)

Άλλα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Μείωση της απόδοσης STC Από 1000 W/m ² σε 200 W/m ²	[%]	< 6
Εύρος κατηγορίας (θετική ταξινόμηση)	[W]	-0/+4,99
Ακρίβεια μέτρησης P _{MPP} σε STC	[%]	-3/+3
Ανοχή λοιπών ηλεκτρικών τιμών	[%]	-10/+10

Φορτία

Μηχανική καταπόνηση πλαισίων	[Pa]	5400
Μέγιστη τάση συστήματος	[V _{DC}]	1000
Ρεύμα επιστροφής	I _R [A]	15

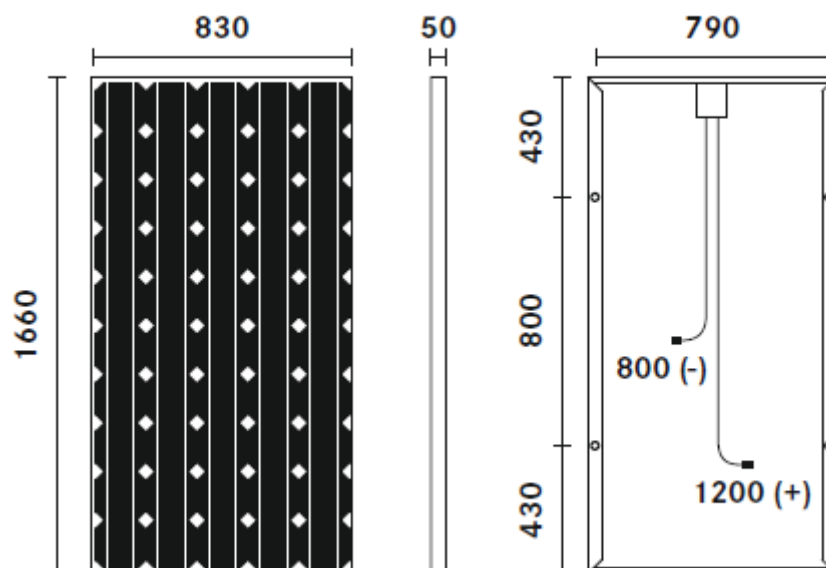
Μηχανική καταπόνηση κατά IEC/EN 61215

Συντελεστές θερμοκρασίας

1. Συντελεστής θερμοκρασίας	α (I _{sc})	[%/K]	+0,03
2. Συντελεστής θερμοκρασίας	β (U _{oc})	[%/K]	-0,34
3. Συντελεστής θερμοκρασίας	γ (P _{MPP})	[%/K]	-0,48

Βασικά στοιχεία		
Μήκος x πλάτος x ύψος	[mm ³]	1660 x 830 x 50
Βάρος	[kg]	17
Αριθμός κυψελών		50
Μέγεθος κυψελών	[mm ²]	156 x 156
Υλικό κυψελών		Μονοκρυσταλλικό Si
Μπροστινό κάλυμμα		Ηλιακό γυαλί (TSG)
Πισω κάλυμμα		Πολυμερής μεμβράνη
Υλικό πλαισίου		Κράμα αλουμινίου
Μήκος καλωδίου	[mm]	1200 (+), 800 (-)
Φις		Κατηγορία MC3
Κατηγορία IP		IP65
Διοδοί by-pass		3

Διαστάσεις [mm]



Παράρτημα Γ

Υπολογισμός του συντελεστή αιθριότητας k_T .

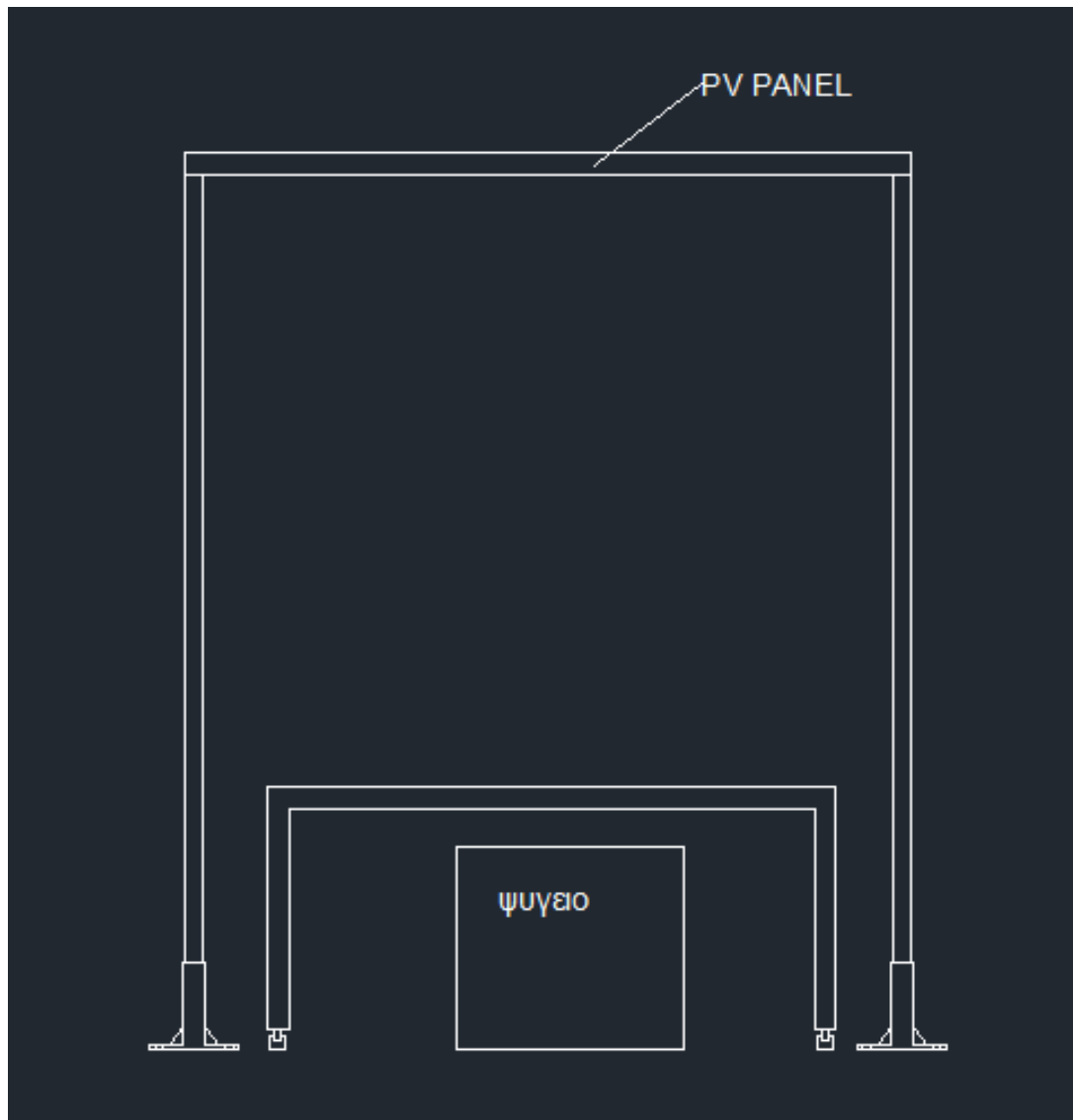
Για την μέση μέρα κάθε μήνα, με δεδομένο το γεωγραφικό πλάτος ϕ , υπολογίζεται η ημερήσια ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας όπως αναλύθηκε στο Παράρτημα Α με μονάδες J/m^2 .

Έχοντας ως δεδομένο από την ΤΟΤΕΕ την μέση ημερήσια ακτινοβολία κάθε μήνα με μονάδες kWh/m^2 σχηματίζονται οι λόγοι $\frac{H_i}{H_{oi}}$, όπου ο δείκτης i λαμβάνει τις τιμές 1:12 για κάθε έναν από τους μήνες, με κατάλληλη μετατροπή μονάδων. Οι λόγοι αυτοί δεν είναι παρά ο συντελεστής αιθριότητας που αντιπροσωπεύει όλο τον μήνα καθώς είναι υπολογισμένος στη μέση μέρα κάθε μήνα. Γι αυτό είναι και μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας.

Χάριν πληρότητας δίνεται πίνακας με τους υπολογισμένους συντελεστές αιθριότητας κάθε μήνα.

Μήνας	k_T
Ιανουάριος	0.420
Φεβρουάριος	0.439
Μάρτιος	0.484
Απρίλιος	0.529
Μάιος	0.572
Ιούνιος	0.609
Ιούλιος	0.623
Αύγουστος	0.618
Σεπτέμβριος	0.594
Οκτώβριος	0.533
Νοέμβριος	0.472
Δεκέμβριος	0.422

Παράρτημα Δ



Βιβλιογραφία

- [1] Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας , Αρθούρος Ζερβός , Εκδόσεις ΕΜΠ , Αθήνα 2008
- [2] World Energy Outlook 2012 , distributed .pdf format
- [3] Θερμικά – Ηλιακά Συστήματα , Κίμων Αντωνόπουλος , Αθήνα 2008
- [4] Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών , ΤΟΤΕΕ 2010
- [5] Πρακτικός τεχνικός οδηγός ΦΒ , σύνδεσμος εταιριών ΦΒ
- [6] Παραγωγή ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές , Μ. Παπαδόπουλος , Αθήνα 1997
- [7] Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα , Δημήτριος Παπαντώνης , Εκδόσεις Συμεών , Αθήνα 2008
- [8] Ανεμοκινητήρες , Γ. Μπεργελές , Εκδόσεις Συμεών , Αθήνα 2005
- [9] www.cres.gr/kape
- [10] re.jrc.ec.europa.eu/pvgis
- [11] Οδηγός Μελέτης Και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων, ΤΕΕ , Θεσσαλονίκη 2011
- [12] www.4green.gr
- [13] Solar photovoltaic electricity : current and future prospects , Razykov , Ferekides et al,
Solar Energy 2011
- [14] Progress in solar PV technology : Research and achievement , Tyagi ,Rahim et al ,
Elsevier 2013
- [15] Nanotechnology for sustainable energy ,Serrano ,Rus ,Garcia Martinez , Renewable and
sustainable energy reviews 2009
- [16] Use of nanotechnology in solar PV cell , Sethi &Shukla , IJCEA 2011
- [17] Nanostructured solar cells for high efficiency photovoltaics , Hosenberg &Kirkpatrick,
WCPEC 2007
- [18] Design and experimental investigation of portable solar thermoelectric refrigerator ,
Abdul-Wahab , Ali Elkamel et al
- [19] Performance analysis of a solar photovoltaic operated domestic refrigerator ,
Anish Mody, Anirban Chaudhuri
- [20] www.ryansorrell.com

[21] Remote autonomous energy systems project : towards sustainability in developing countries, Paleta ,Pina & Silva

[22] [en.wikepedia.org](https://en.wikipedia.org)