



Βέλτιστη διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκών συστημάτων

ΚΑΚΚΑΡΟΥ ΚΑΣΣΑΝΔΡΑ ΜΙΧΑΕΛΑ

Επιβλέπων Καθηγητής

Ιψάκης Δημήτριος

Χανιά, 2024

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία πραγματεύεται την δημιουργία και εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τόσο για οικιακή όσο και κρατική χρήση, μέσω της ανάπτυξης αλγορίθμου προσομοίωσης και βελτιστοποίησης.

Αρχικά, αναφέρονται οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να αξιοποιηθεί η ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρισμού και αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου. Εν συνεχεία, παρουσιάζεται το μαθηματικό μοντέλο του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Μελετώντας τα χαρακτηριστικά τεσσάρων (4) φωτοβολταϊκών πλαισίων σύμφωνα με τα τεχνικά φυλλάδια των κατασκευαστών και προσομοιώνοντας το μοντέλο του κάθε πλαισίου βάσει αλγορίθμου, ελέγχεται η αξιοπιστία και η λειτουργικότητά τους (σύγκριση πειραματικών και θεωρητικών δεδομένων).

Επιπροσθέτως, αναπτύσσεται κώδικας στο περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού (matlab) για την εύρεση βέλτιστου αριθμού φωτοβολταϊκών πάνελ, ώστε να διαμορφωθεί ο κατάλληλος σταθμός για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης κάθε εγκατάστασης που μελετάται. Ειδικότερα, πραγματοποιείται βελτιστοποίηση για το ενεργειακό προφίλ μίας κατοικίας και ενός νοσοκομείου (μετεωρολογικά δεδομένα λήφθηκαν για την περιοχή της Θεσσαλονίκης) χρησιμοποιώντας ως δεδομένα την ενεργειακή κατανάλωσή τους. Ο εξοπλισμός που αναλύεται αφορά φωτοβολταϊκά πάνελ ισχύος 245W , 390W , 370W και 280W, ο οποίος χρησιμοποιείται για την εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού –net metering- παράγοντας ετησίως την ενέργεια που απαιτείται σε κιλοβατώρες(kWh).

Όπως προέκυψε από τις προσομοιώσεις, το ιδανικότερο πάνελ που καλύπτει αποτελεσματικά τις ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας καθώς και του νοσοκομείου είναι το πάνελ ισχύος 370W με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 7,4kW και 13,9MW αντίστοιχα.

ABSTRACT

The present thesis deals with the creation and installation of a photovoltaic plant for the production of electricity for domestic and government use, through the development of a simulation and optimization algorithm.

Firstly, the ways in which solar energy can be used to produce electricity are mentioned and the way a photovoltaic panel works is analyzed. Subsequently, the mathematical model of a photovoltaic element is presented. By studying the characteristics of various photovoltaic panels according to the manufactures' technical brochures and simulating the model of each panel based on an algorithm, their reliability and functionality are checked (comparison of experimental and theoretical data).

In addition, code is developed in the programming language environment (matlab) to find the optimal number of photovoltaic panels to configure the appropriate station to cover the energy demand of each facility under study.

In particular, an optimization is carried out of the energy profile of a house and a hospital (meteorological data were obtained for the area of Thessaloniki) using their energy consumption as data. The analyzed equipment concerns photovoltaic panels of power 245W, 390W, 370W and 280W, which is used for the implementation of energy-net metering, producing annually the required energy in kilowatt hours (kWh).

As it emerged from the simulations, the most ideal panel that effectively covers the energy needs of the residence as well as the hospital is the panel of power 370W with a total installed power 7,4kW and 13,9MW respectively.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

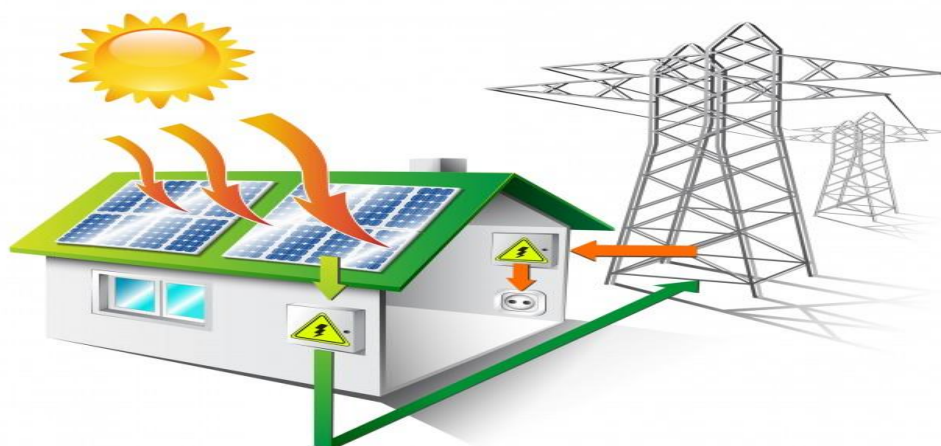
Κεφάλαιο 1^ο Μαθηματικό μοντέλο φωτοβολταϊκού συστήματος.....	5
1.1 Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	6
1.2 Μαθηματικό μοντέλο φωτοβολταϊκού συστήματος.....	7
Κεφάλαιο 2^ο Προσομοίωση φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	12
2.1 Προσομοίωση φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	13
2.2 Σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών τιμών για τους 4 διαφορετικούς τύπους πλαισίων.....	18
Κεφάλαιο 3^ο Βελτιστοποίηση φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	24
3.1 Δεδομένα Εισαγωγής.....	25
3.2 Παρουσίαση Κώδικα Βελτιστοποίησης.....	27
3.3 Βελτιστοποίηση για κάθε τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου για ενεργειακό προφίλ σπιτιού.....	28
3.4 Βελτιστοποίηση για κάθε τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου για ενεργειακό προφίλ νοσοκομείου.....	39
Κεφάλαιο 4^ο Συμπεράσματα.....	52
Βιβλιογραφία.....	53
Παράρτημα.....	54

Κεφάλαιο 1^ο Μαθηματικό μοντέλο φωτοβολταϊκού συστήματος

1.1 Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Ένα **φωτοβολταϊκό σύστημα** αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τον αντιστροφέα ή μετατροπέα, την στήριξη εγκατάστασής τους και τον βοηθητικό εξοπλισμό που περιλαμβάνει ηλεκτρικά κυρίως μέρη. Υπάρχουν δύο τρόποι να εκμεταλλευτεί κανείς την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Σε συνεργασία με το δίκτυο της ΔΕΗ :ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΥΜΨΗΦΙΣΜΟΣ-NET METERING όπου ως ενεργειακός συμψηφισμός νοείται ο συμψηφισμός της ενέργειας που παρέχει ένας σταθμός παραγωγής (δηλ. τα φωτοβολταϊκά συστήματα) μετά την αφαίρεση της καταναλισκόμενης ενέργειας στην εγκατάσταση κατανάλωσης (δηλ. του αυτοπαραγωγού). Απαιτείται, λοιπόν, μετρητής που ελέγχει την παραγόμενη ενέργεια καθώς και την ενέργεια που απορροφάται και εγχέεται από και προς το Δίκτυο αντίστοιχα.



Εικόνα 1.1 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Πηγή : Net Metering- Reporter[3]

Το net metering υπήρξε ένας από τους σημαντικότερους μοχλούς στην ανάπτυξη παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, ειδικά για τους ιδιοκτήτες κατοικιών. Ένας καταναλωτής με ηλιακά πάνελ τοποθετημένα στην οροφή του σπιτιού του, θα έστελνε ρεύμα στο δίκτυο όλη την ημέρα ενώ έλειπε στη δουλειά. Στη συνέχεια όταν ο ιδιοκτήτης επιστρέφει και ανάβει τα φώτα, μαγειρεύει ή βλέπει τηλεόραση το βράδυ, η ενέργεια που χρησιμοποιείται αντισταθμίζεται με την ενέργεια που παράγεται κατά την διάρκεια της ημέρας. Ως αποτέλεσμα , όταν ο λογαριασμός ενέργειας του αυτοπαραγωγού φτάσει στο τέλος του μήνα , η χρεώσιμη kWh μπορεί να είναι κοντά στο μηδέν.

Αυτόνομα Συστήματα

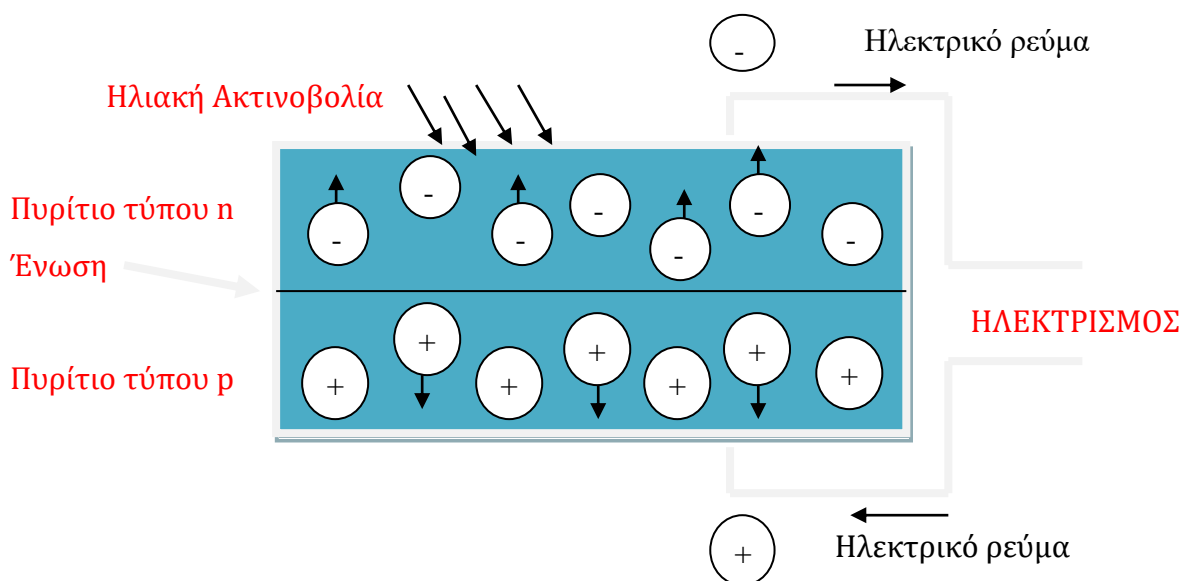
Ένα αυτόνομο σύστημα, μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες ενός κτιρίου ανεξάρτητα από το δίκτυο της ΔΕΗ και περιλαμβάνει απαραίτητα και μία μονάδα αποθήκευσης και διαχείρισης της ενέργειας , τους συσσωρευτές(μπαταρίες).



Εικόνα 1.2Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρίες

Πηγή : Αυτόνομο Φ/Β σύστημα- oknow[4]

“Καρδιά” του πάνελ είναι το ηλιακό στοιχείο από πυρίτιο όπου συγκεκριμένος αριθμός στοιχείων συνδέεται σε σειρά για την αύξηση της αποδιδόμενης τάσης και παράλληλα για την αύξηση του αποδιδόμενου ρεύματος. Η φυσική σημασία της λειτουργίας των στοιχείων έγκειται στην παρουσία δύο τύπων ημιαγωγών :n (αρνητικός πόλος) και p (θετικός πόλος). Στον αρνητικό πόλο τα ηλεκτρόνια διαθέτουν ελευθερία κίνησης, ενώ αντίθετα στον θετικό πόλο οι οπές-θέσεις των ηλεκτρονίων είναι αυτές που κινούνται, δημιουργώντας μία ένωση τύπου p-n που λειτουργεί ως δίοδος.



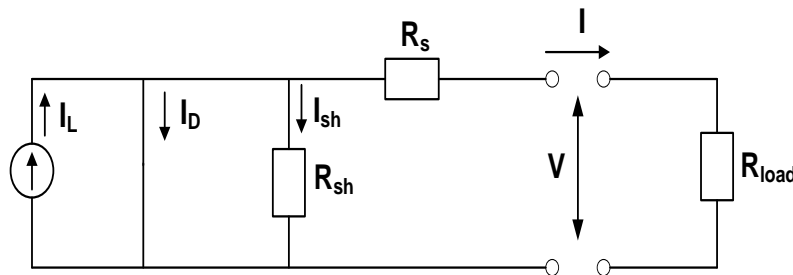
Εικόνα 1.3Αρχή λειτουργίας ενός ηλιακού στοιχείου

Όταν τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτουν στα ηλιακά στοιχεία με ενέργεια μεγαλύτερη της ζώνης εύρους ενέργειας, e_{gap} , του υλικού, διαπερνούν τον πόλο n (αυξάνεται ο αριθμός των οπών) και επιδρούν στα άτομα του πόλου p (αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων). Με τον τρόπο αυτό, τα ηλεκτρόνια του πόλου p κινούνται και φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής. Το σχηματιζόμενο ηλεκτρικό πεδίο εφόσον συνδεθεί σε εξωτερικό κύκλωμα (εικόνα 1.3) μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα

Ιδιαίτερη προσοχή κατά την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων δίδεται στην αποφυγή εμποδίων, όπως βλάστησης ή σκίασης, καθώς μπορεί να συντελέσουν στην μερική ή ολική καταστροφή τους. Η κλίση των πάνελ προς τον ήλιο εξαρτάται από την γεωγραφική θέση της περιοχής εγκατάστασης (υψόμετρο, ημισφαίριο κ.τ.λ.) και συνήθως η βέλτιστη γωνία εγκατάστασης παρέχεται από πληροφορίες οργανισμών εξερεύνησης διαστήματος (N.A.S.A.).

1.2 Μαθηματικό μοντέλο φωτοβολταϊκού συστήματος

Η μαθηματική ανάλυση της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων βασίζεται στην χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης (I - V) που εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Η διάταξη που ισοδυναμεί με την φυσική περιγραφή λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1 και αποτελεί την βάση ανάπτυξης των περισσότερων μαθηματικών μοντέλων φωτοβολταϊκών συστημάτων που ανιχνεύονται στην βιβλιογραφία [14].



Σχήμα 1.1 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η αντίσταση σε σειρά, R_s (V), καθώς και η αντίσταση εκτροπής (shunt resistance), R_{sh} (V), αποτελούν παρασιτικά στοιχεία του κυκλώματος, όπως άλλωστε υπαγορεύει η πραγματική συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων [14, 15]. Σύμφωνα με τον νόμο ρεύματος του Kirchhoff ισχύει για το παραπάνω κύκλωμα:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} \quad (1.1)$$

όπου I_L, I_D και I_{sh} δηλώνεται το ρεύμα λειτουργίας, το ρεύμα φωτοδίοδου, το ρεύμα διόδου και το ρεύμα εκτροπής σε A, αντίστοιχα.

Από την ημι-εμπειρική ανάλυση των ρευμάτων της σχέσης (1.1) θα προκύψει έμμεσα η σχέση ισχύος \rightarrow προσπίπτουσας ακτινοβολίας + θερμοκρασίας που εμφανίζει μία ισχυρά μη-γραμμική συμπεριφορά. Αναπτύσσοντας τους όρους του δεξιού σκέλους της (1.1) όπως προτείνεται από τον Ulleberg Ø. [14] προκύπτει η συσχέτιση I-V:

$$I = I_{pv} = I_L - I_D - I_{sh} = I_L - I_O \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{\alpha}\right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1.2)$$

όπου α δηλώνεται η παράμετρος συσχέτισης της χαρακτηριστικής καμπύλης σε V, I_O το ανάστροφο ρεύμα κορεσμού διόδου σε A και V_{pv} η τάση του στοιχείου σε V.

Θεωρώντας υψηλή την διαφορά των δύο αντιστάσεων, $R_{sh} \gg R_s$, η παραπάνω εξίσωση απλοποιείται περαιτέρω ως εξής [14]:

$$I_{pv} = I_L - I_O \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{\alpha}\right) - 1 \right] \quad (1.3)$$

Για την επίλυση της (1.3), απαιτούνται εξισώσεις που θα λαμβάνουν υπόψη ακραίες συνθήκες λειτουργίας. Τέτοιου είδους καταστάσεις αφορούν τις τιμές ρεύματος και τάσης σε συνθήκες βραχυκύκλωσης, ανοικτού κυκλώματος και μεγίστης ισχύος.

Συνθήκες Βραχυκύκλωσης του Κυκλώματος (SC)

Στις συνθήκες όπου ισχύει $V_{pv}=0$ (βραχυκύκλωση), το ρεύμα I_L διαπερνά την δίοδο και ισούται με το λεγόμενο ρεύμα κλειστού κυκλώματος (shortcurrent):

$$I_{L,ref} = I_{pv,sc,ref} = I_{pv} = I_{sc,ref} \quad (1.4)$$

Με τον όρο ref δηλώνονται οι συνθήκες αναφοράς:

Ηλιακή ακτινοβολία $G_{ref}=1000\text{W/m}^2$ και θερμοκρασία αέρα $T_{ref}=25\text{ }^\circ\text{C}$.

Συνθήκες Ανοικτού Κυκλώματος (OC)

Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος με μηδενική ένταση ρεύματος $I_{pv}=0$, η σχέση (1.3) μετασχηματίζεται σε (ο όρος 1 είναι μικρός σε σύγκριση με την εκθετική παράσταση):

$$I_{o,oc,ref} = I_{L,ref} \cdot \exp\left(\frac{-V_{oc,ref}}{\alpha_{ref}}\right) \quad (1.5)$$

Συνθήκες Μεγίστης Ισχύος (MPP)

Οι συνθήκες μέγιστης ισχύος υποδηλώνουν $I_{pv}=I_{mp,ref}$ και $V_{pv}=V_{mp,ref}$ και αντικαθιστώντας τις (1.4) και (1.5) στην (1.3) (ο όρος 1 είναι μικρός σε σύγκριση με την εκθετική παράσταση), προκύπτει η σχέση για την αντίσταση σε σειρά:

$$R_{s,ref} = \frac{\alpha_{ref} \cdot \ln\left(1 - \frac{I_{mp,ref}}{I_{L,ref}}\right) - V_{mp,ref} + V_{oc,ref}}{I_{mp,ref}} \quad (1.6)$$

Πέραν όμως των ανωτέρω βασικών σχέσεων, διακρίνεται και η ανάγκη ενσωμάτωσης της μεταβλητής της θερμοκρασίας στο μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης, καθώς επηρεάζει σημαντικά την μορφή της καμπύλης I-V. Δύο παράμετροι που εξαρτώνται πλήρως από την θερμοκρασία και δίνονται πάντοτε σε φυλλάδια εταιριών κατασκευής που συνοδεύουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, αποτελούν οι σταθερές θερμοκρασίας ($\mu_{i,j}$) σε συνθήκες βραχυκύκλωσης (SC) και ανοικτού κυκλώματος (OC) για σταθερή ακτινοβολία [14]:

$$\mu_{I,sc} = \frac{\Delta I_{sc}}{\Delta T} \cong \frac{I_{sc}(T_2) - I_{sc}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (1.7)$$

$$\mu_{V,oc} = \frac{\Delta V_{oc}}{\Delta T} \cong \frac{V_{oc}(T_2) - V_{oc}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (1.8)$$

όπου T_1, T_2 δηλώνονται θερμοκρασίες μεταξύ της θερμοκρασίας αναφοράς ($T_{c,ref}$) σε Κ ($T_2 > T_1$)

Επιπλέον, η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στους όρους α , I_L και I_o που αναφέρθηκαν στην βασική εξίσωση (1.3) εισάγεται ως εξής [14, 16]:

$$\alpha = \alpha_{ref} \frac{T_c}{T_{c,ref}} \quad (1.9)$$

$$I_L = \frac{G_T}{G_{T,ref}} \cdot [I_{L,ref} + \mu_{I,sc} \cdot (T_c - T_{c,ref})] \quad (1.10)$$

$$I_o = I_{o,ref} \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}} \right)^3 \cdot \exp\left[\left(\frac{e_{gap} \cdot N_s}{\alpha_{ref}} \right) \cdot \left(1 - \frac{T_{c,ref}}{T_c} \right) \right] \quad (1.11)$$

$$e_{gap} = 1.17 - 4.73 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{T_c^2}{T_c + 636} \quad (1.12)$$

όπου T_c δηλώνεται η θερμοκρασία του στοιχείου (ίδια με του αέρα) σε Κ, G_T δηλώνεται η ηλιακή ακτινοβολία σε W/m^2 , N_s ο αριθμός των ηλιακών στοιχείων του φωτοβολταϊκού πάνελ και e_{gap} η ζώνη εύρους του υλικού κατασκευής (Si) σε eV.

Μέσω διαφοροποίησης της σχέσης (1.5) ως προς την θερμοκρασία ($dV_{oc,ref}/dT = \mu_{V,oc}$) και χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (1.5), (1.7), (1.9), (1.11) προκύπτει ο προσδιορισμός της παραμέτρου α_{ref} που απαιτείται για την ολοκλήρωση της μαθηματικής περιγραφής του φωτοβολταϊκού συστήματος [14]:

$$\alpha_{ref} = \frac{\mu_{V,oc} \cdot T_{c,ref} - V_{oc,ref} + e_{gap} \cdot N_s}{\frac{\mu_{I,sc} \cdot T_{c,ref}}{I_{L,ref}} - 3} \quad (1.13)$$

Οι σχέσεις (1.3)-(1.13) ουσιαστικά αποτελούν το σετ των εξισώσεων που περιγράφουν την λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού πάνελ. Η αποδιδόμενη ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος δίδεται ως:

$$P_{pv} = V_{pv} \cdot I_{pv} \cdot n_{pv} \cdot N_{panel} \quad (1.14)$$

όπου P_{pv} δηλώνεται η ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού συστήματος σε W, N_{panel} ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πάνελ και n_{pv} η απόδοση του συστήματος. Στην απόδοση του συστήματος, n_{pv} , εμπεριέχονται όλες οι ηλεκτρικές απώλειες κατά την παραγωγή ρεύματος και συνήθως αντιστοιχούν σε μία τιμή κοντά στο ~90%.

Η αξιοποιήσιμη ισχύς που εκμεταλλεύεται μία εφαρμογή, υπολογίζεται στην πράξη μέσω αλγορίθμων ανίχνευσης μεγίστου (maximum power point trackers) που συνοδεύουν τα ηλεκτρονικά μέρη των φωτοβολταϊκών. Με στόχο όμως την απλοποίηση των υπολογισμών, εισάγεται στο παραπάνω μοντέλο μία εντολή εύρεσης του μέγιστου ζεύγους (I_{pv} , V_{pv}) για τα εκάστοτε δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, που αντιστοιχεί με μεγάλη ακρίβεια στην τιμή που θα έδιναν οι εξειδικευμένοι αλγόριθμοι ανίχνευσης μεγίστου που περιγράφονται από τους Enrique J.M. et al. [17] χρησιμοποιώντας όμως ιδιαίτερα πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα.

Κεφάλαιο 2° Προσομοίωση φωτοβολταϊκών πλαισίων

2.1 Προσομοίωση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Επιλέχθηκαν τέσσερα φωτοβολταϊκά πλαίσια με διαφορετική ισχύ το καθένα ώστε να μελετηθεί η ένταση του ρεύματος, η τάση του ρεύματος και η αποδιδόμενη ισχύς βάσει των χαρακτηριστικών που δίνονται από τα τεχνικά φυλλάδια του κάθε κατασκευαστή.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα εισαγωγής στον κώδικα(matlab) και αφορούν το ρεύμα βραχυκύκλωσης(IL_ref), την τάση ανοιχτού κυκλώματος(Voc_ref), το μέγιστο ρεύμα ισχύος(Imp_ref), την μέγιστη τάση ισχύος(Vmp_ref), το εμβαδό των πλαισίων(Apanels), τις συνθήκες θερμοκρασίας(NOCT), τα κελιά(Ns), και τους συντελεστές θερμοκρασίας(mu_oc, mi_sc). Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται στο μαθηματικό μοντέλο που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών πλαισίων

	Panel PANASONIC 245W	1 Panel CHEETAH 390W	2 Panel CITIZEN 370W	3 Panel SOLAR LEAPTON SOLAR 280W	4
IL_ref, A	5.86	10.12	9.78	9.45	
Voc_ref, V	53	49.3	48.43	38.6	
Imp_ref, A	5.54	9.49	9.32	8.78	
Vmp_ref, V	44.3	41.1	39.7	31.90	
Apanels, m ²	1.26	1.982	1.9404	1.6874	
NOCT, K	317	318	318	314	
Ns	72	72	72	60	
mu_oc, V/K	-0.0554	-0.1192	-0.1191	-0.1021	
mi_sc, A/K	0,1784	0.0046	-0.0354	0.0048	

Ακολουθεί προσομοίωση για 3 διαφορετικά σετ τιμών ηλιακής ακτινοβολίας(GT) και θερμοκρασίας(Tc)για κάθε ένα από τα πλαίσια που μελετώνται.

-- Tc=298K,GT=800W/m²

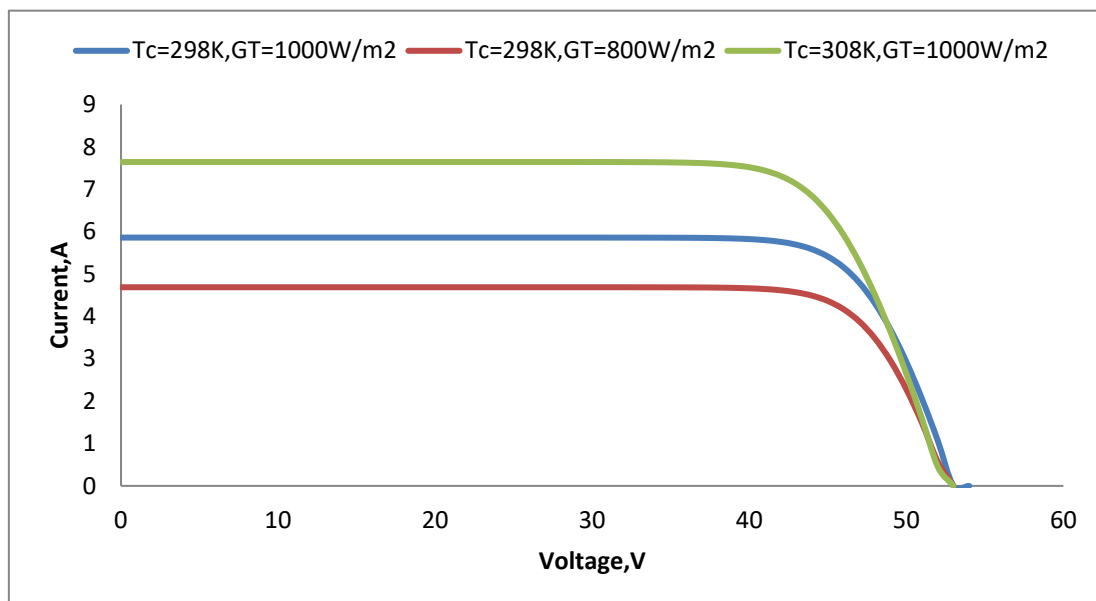
-- Tc=308K,GT=1000W/m²

-- Tc=298K,GT=1000W/m²

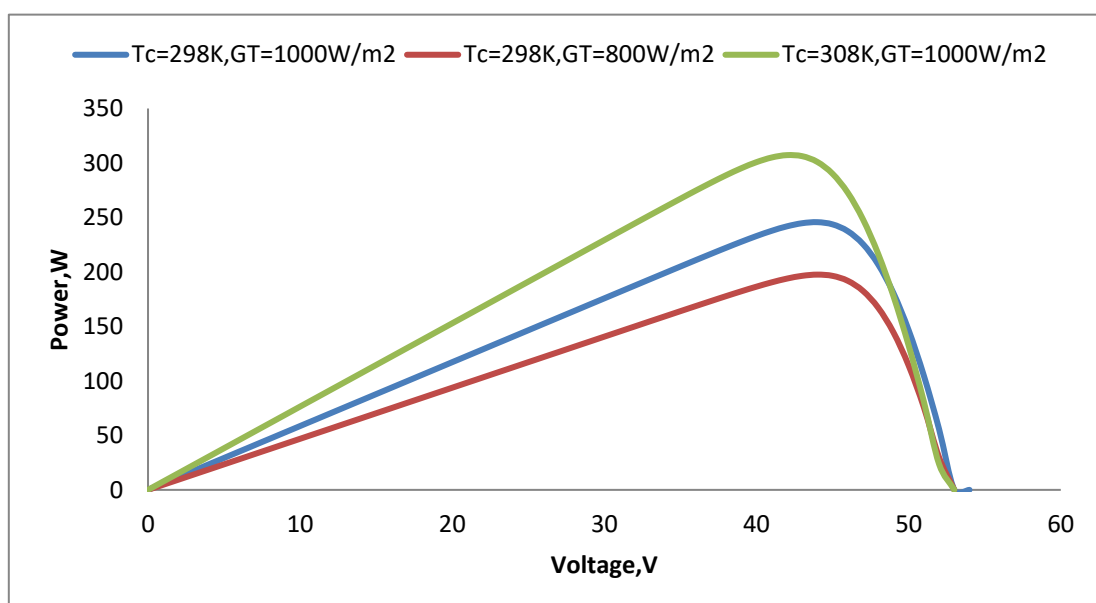
Panel 1 Panasonic 245W

Παρατηρείται ότι το πάνελ συμπεριφέρεται ως πηγή σταθερού ρεύματος για εύρος τάσεων λειτουργίας και έπειτα από μία συγκεκριμένη τιμή τάσης(45volt) συμπεριφέρεται ως αρνητική αντίσταση (αρνητική κλίση).

Το πάνελ με ισχύ 245W έχει την μικρότερη παραγωγή ρεύματος σε θερμοκρασία 25°C και ηλιακή ακτινοβολία 800W/m², ενώ μεγαλύτερη παραγωγή έχει σε θερμοκρασία 35°C και μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία 1000W/m².



Διάγραμμα 2.1.1 Χαρακτηριστική Καμπύλη I-V για πάνελ Panasonic 245W



Διάγραμμα 2.1.2 Αποδιδόμενη Ισχύς για πάνελ Panasonic 245W

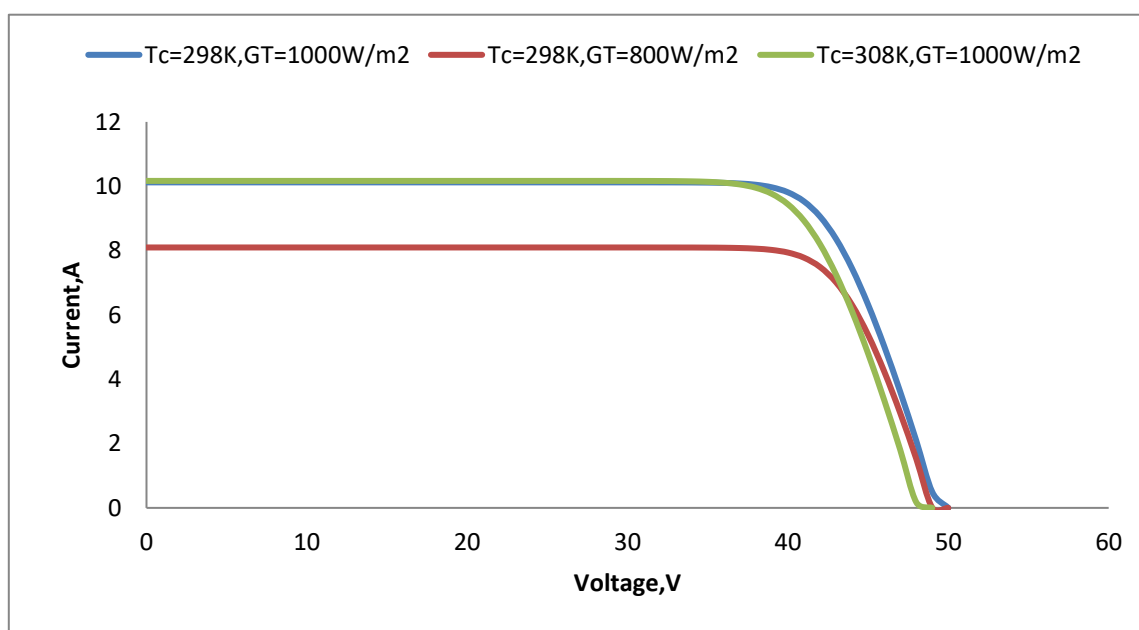
-- $T_c=308K, GT=1000W/m^2$ -> $max_PV = 307,200W$

-- $T_c=298K, GT=1000W/m^2$ -> $max_PV = 245,6632W$

-- $T_c=298K, GT=800W/m^2$ -> $max_PV = 197,542W$

Παρατηρείται πως αυξάνοντας την τιμή της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας η παραγωγή ενέργειας αυξάνεται.

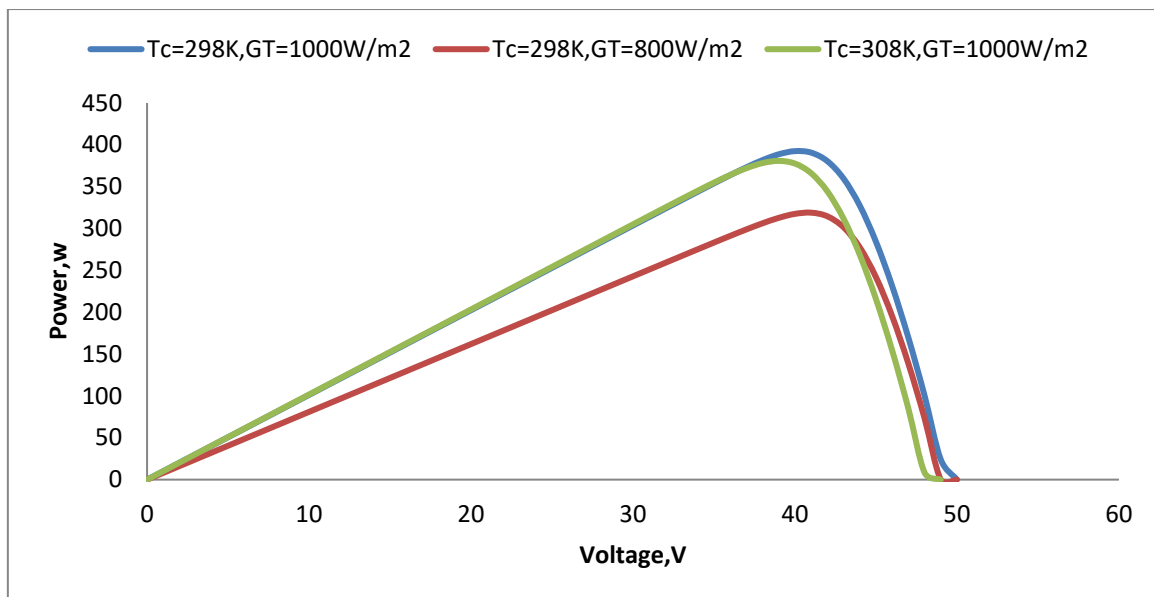
Panel 2 Cheetah 390W



Διάγραμμα 2.1.3 Χαρακτηριστική Καμπύλη I-V για πάνελ Cheetah 390W

Η πτώση της έντασης του ρεύματος στο πάνελ με ισχύ 390W είναι εμφανής όταν η τάση φθάσει περίπου στα 40 volt με την ένταση του ρεύματος να μηδενίζεται στα 50 volt.

Η χαμηλότερη παραγωγή ρεύματος πραγματοποιείται στους 25°C με ηλιακή ακτινοβολία 800W/m², ενώ η ένταση του ρεύματος στις θερμοκρασίες 25°C και 35°C με ηλιακή ακτινοβολία 1000W/m² παρουσιάζει παρόμοια πορεία ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται κατά δύο βαθμούς (10A) σε σχέση με την παραγωγή στους 25°C και ηλιακή ακτινοβολία 800W/m².



Διάγραμμα 2.1.4 Αποδιδόμενη Ισχύς για πάνελ Cheetah 390W

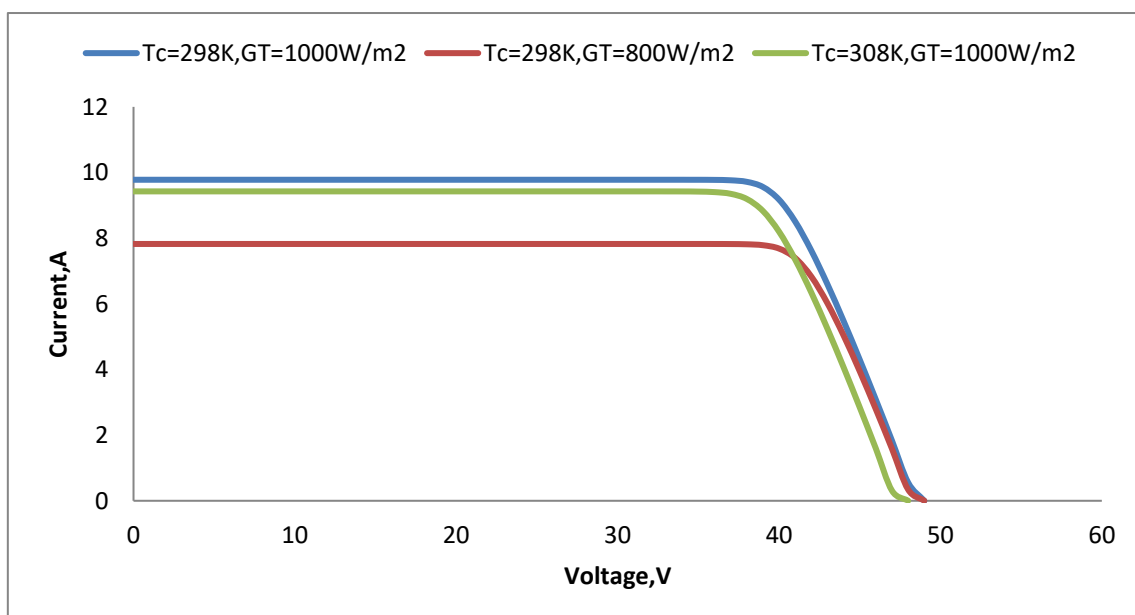
-- $T_c=298K, GT=1000W/m^2$ --> $max_PV = 392,4316W$

-- $T_c=308K, GT=1000W/m^2$ --> $max_PV = 380,7449W$

-- $T_c=298K, GT=800W/m^2$ --> $max_PV = 318,9133W$

Αυξάνοντας την τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας $1000W/m^2$ αυξάνεται παράλληλα και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

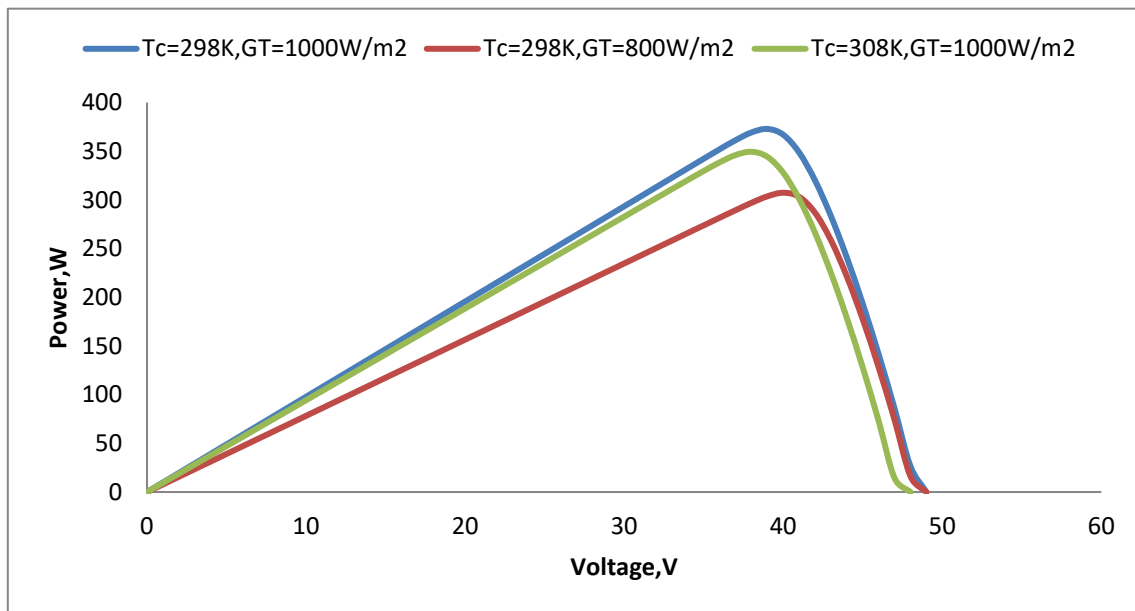
Panel 3 Citizen Solar 370W



Διάγραμμα 2.1.5 Χαρακτηριστική Καμπύλη I-V για πάνελ Citizen Solar 370W

Στα 0 volt η ένταση του ρεύματος για ηλιακή ακτινοβολία $GT=1000W/m^2$ και θερμοκρασίες $T_c=298K$ και $T_c=308K$ έχει σχεδόν την ίδια τιμή (9.5A), ενώ για $GT=800W/m^2$ η ένταση του ρεύματος ξεκινάει από την τιμή 7.8A και μηδενίζεται 50 volt.

Το πάνελ με ισχύ 370W έχει μικρή παραγωγή ρεύματος σε θερμοκρασία $T_c=298K$ και ηλιακή ακτινοβολία $GT=800W/m^2$, ενώ παρουσιάζεται αύξηση στην ένταση του ρεύματος με την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας $GT=1000W/m^2$.



Διάγραμμα 2.1.6 Αποδιδόμενη Ισχύς για πάνελ Citizen Solar 370w

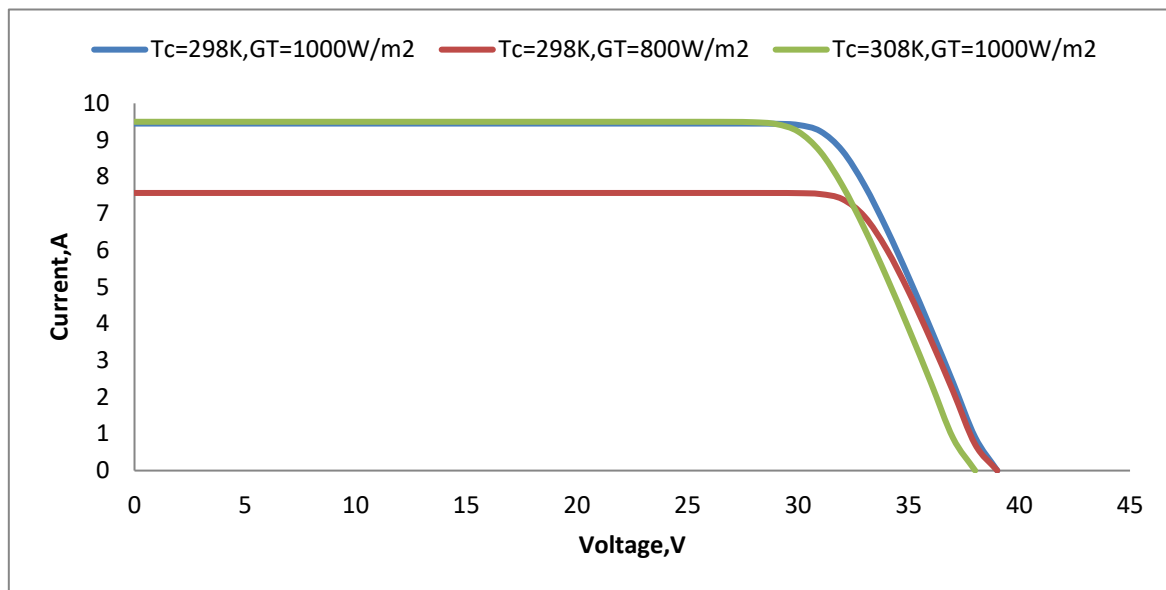
-- $T_c=298K, GT=1000W/m^2$ -> $max_PV = 372,8751W$

-- $T_c=308K, GT=1000W/m^2$ -> $max_PV = 349,4175W$

-- $T_c=298K, GT=800W/m^2$ -> $max_PV = 307,3383W$

Αυτό που παρατηρείται είναι πως η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας με $GT=1000W/m^2$ και η διατήρηση της θερμοκρασίας στους $25^\circ C$ (STC: Standard Test Conditions) συντελούν στην αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος του συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού πάνελ.

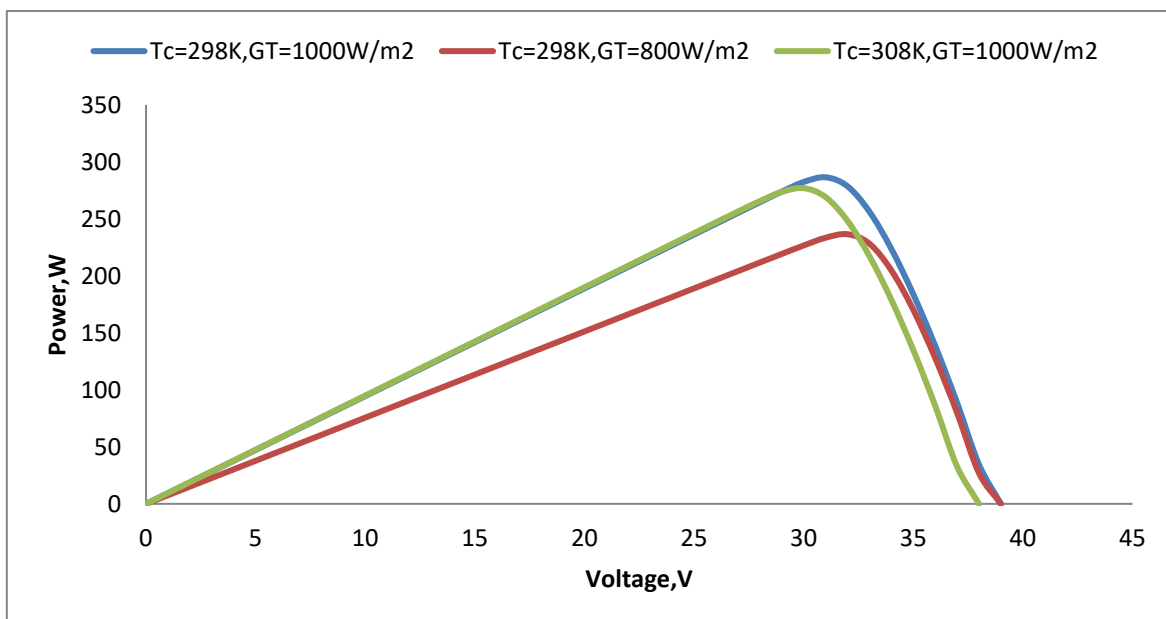
Panel 4 Leapton Solar 280W



Διάγραμμα 2.1.7 Χαρακτηριστική Καμπύλη I-V για πάνελ Leapton Solar 280W

Στα 0 volt η ένταση του ρεύματος για ηλιακή ακτινοβολία $GT=1000W/m^2$ και θερμοκρασίες $T_c=298K$ και $T_c=308K$ έχει σχεδόν την ίδια τιμή (9.5A), ενώ για $T_c=800W/m^2$ η ένταση του ρεύματος ξεκινάει από την τιμή 7.8A και μηδενίζεται στα 38volt.

Το πάνελ με ισχύ 280W έχει μικρή απόδοση ρεύματος σε θερμοκρασία $T_c=298K$ και ηλιακή ακτινοβολία $GT=800W/m^2$, ενώ παρουσιάζεται αύξηση στην ένταση του ρεύματος με την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας $GT=1000W/m^2$.



Διάγραμμα 2.1.8 Αποδιδόμενη Ισχύς για πάνελ Leapton Solar 280W

-- $T_c=298K, GT=1000W/m^2$ -> $max_PV = 286,4831W$

-- $T_c=308K, GT=1000W/m^2$ -> $max_PV = 276,9421W$

-- $T_c=298K, GT=800W/m^2$ -> $max_PV = 236,5326W$

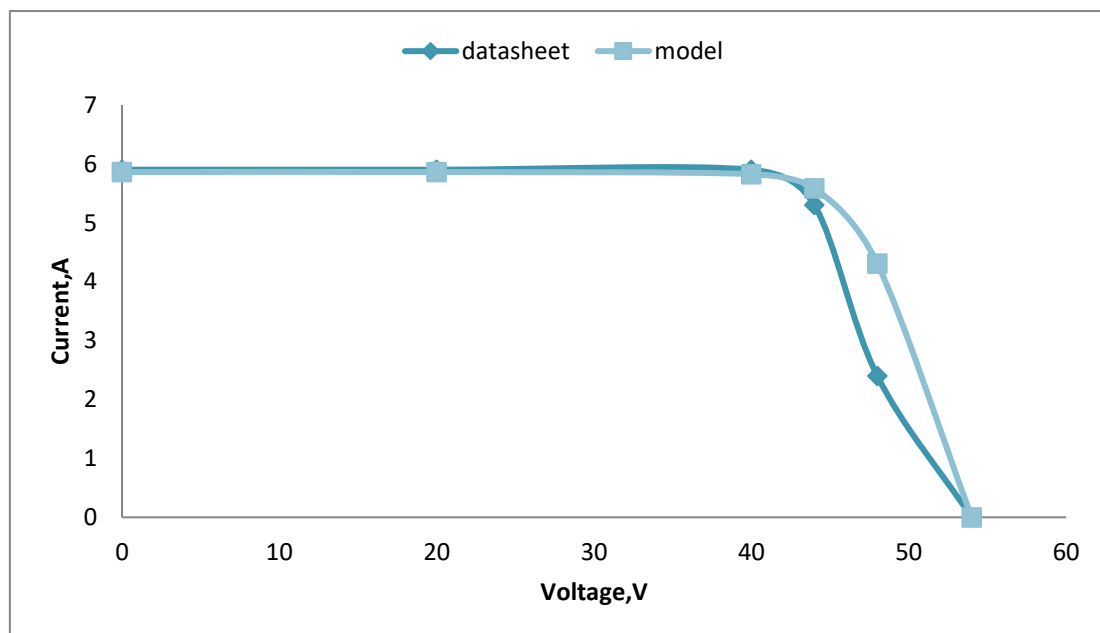
Αυτό που καταγράφεται είναι πως η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας με $GT=1000W/m^2$ και η διατήρηση της θερμοκρασίας στους $25^\circ C$ συντελούν στην αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος του φωτοβολταϊκού πάνελ ισχύος 280W.

2.2 Σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών τιμών για τους 4 διαφορετικούς τύπους πλαισίων

Η αξιολόγηση του προτεινόμενου μαθηματικού μοντέλου, διενεργείται μέσω σύγκρισης θεωρητικών και πειραματικών τιμών για τα φωτοβολταϊκά πάνελ με τα πειραματικά δεδομένα να αποτελούν τις κατασκευαστικές πληροφορίες που δίδονται στα εγχειρίδια που συνοδεύουν τα συστήματα αυτά και αφορούν το ρεύμα και την τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (I_{mp} , V_{mp}).

Panel 1 Panasonic 245W

Διενεργείται σύγκριση μεταξύ των πειραματικών και θεωρητικών τιμών του πάνελ ισχύος 245W με δεδομένα την θερμοκρασία $T_c=298K$ και 2 διαφορετικές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας $GT=1000W/m^2$ και $GT=800W/m^2$.

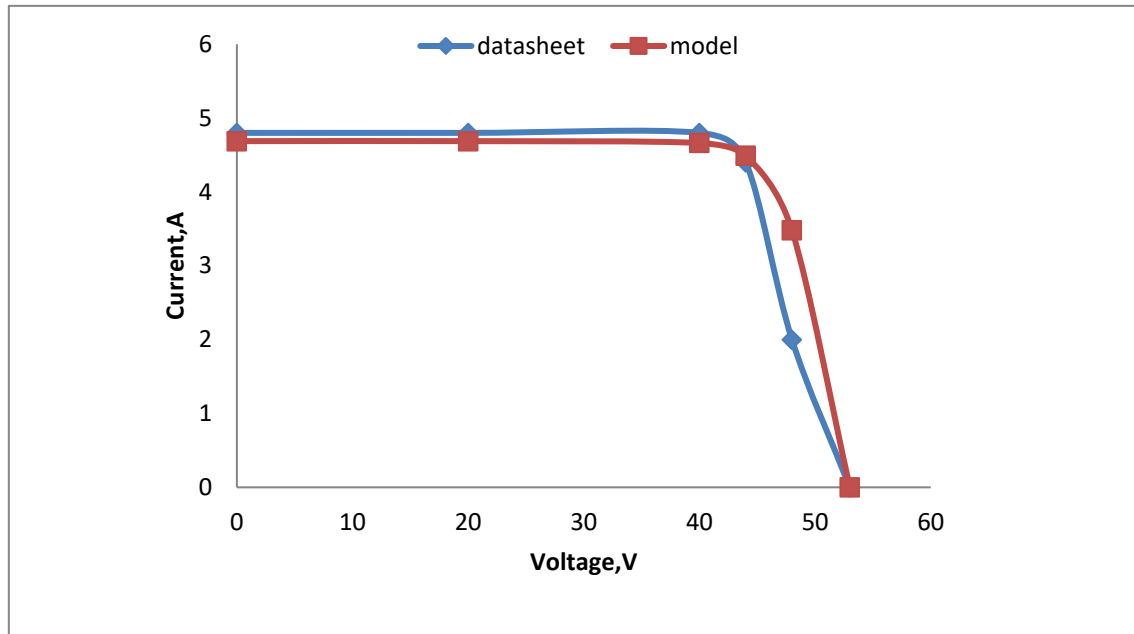


Διάγραμμα 2.2.1 Σύγκριση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V για φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος 245W και $T_c=298K, GT=1000W/m^2$

Όπως διακρίνεται η συμφωνία μεταξύ πειραματικών-θεωρητικών τιμών τους είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική καταγράφοντας ένα μικρό σχετικό σφάλμα της τάξεως του 0.34% το οποίο προκύπτει από τον εξής τύπο:

$$\frac{|\text{άθροισμα πειραματικών τιμών} - \text{άθροισμα θεωρητικών τιμών}|}{\text{σύνολο θεωρητικών τιμών}} \%$$

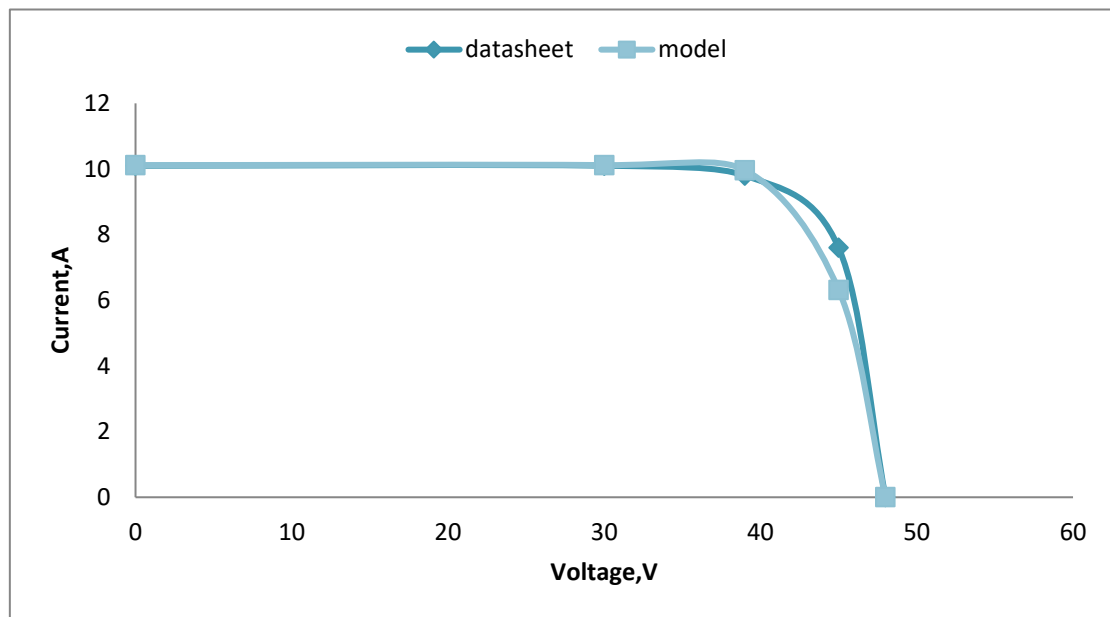
δηλαδή η απόλυτη τιμή της διαφοράς του αθροίσματος των πειραματικών τιμών με το άθροισμα των θεωρητικών τιμών διαιρεμένη με τον σύνολο των θεωρητικών τιμών .



Διάγραμμα 2.2.2 Σύγκριση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V για φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος 245W και $T_c=298K, G=800W/m^2$

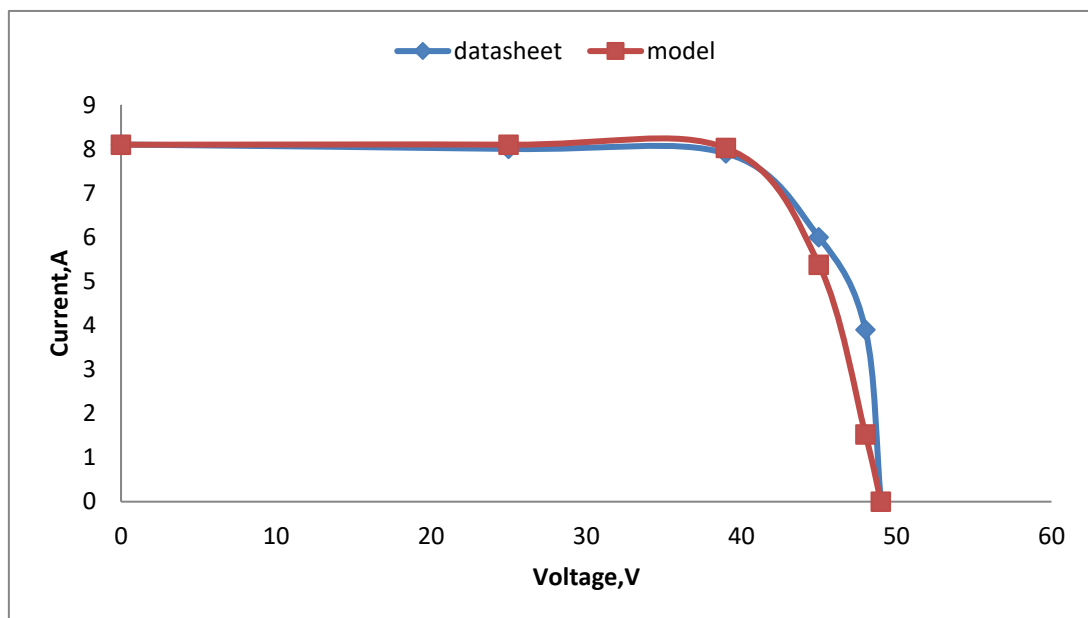
Όπως διακρίνεται η συμφωνία μεταξύ πειραματικών-θεωρητικών τιμών τους για $T_c=298K$ -σταθερό και $G=800W/m^2$ είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική καταγράφοντας ένα μικρό σχετικό σφάλμα της τάξεως του 0,2%.

Panel 2 Cheetah 390W



Διάγραμμα 2.2.3 Σύγκριση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V για φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος 390W και $T_c=298K, GT=1000W/m^2$

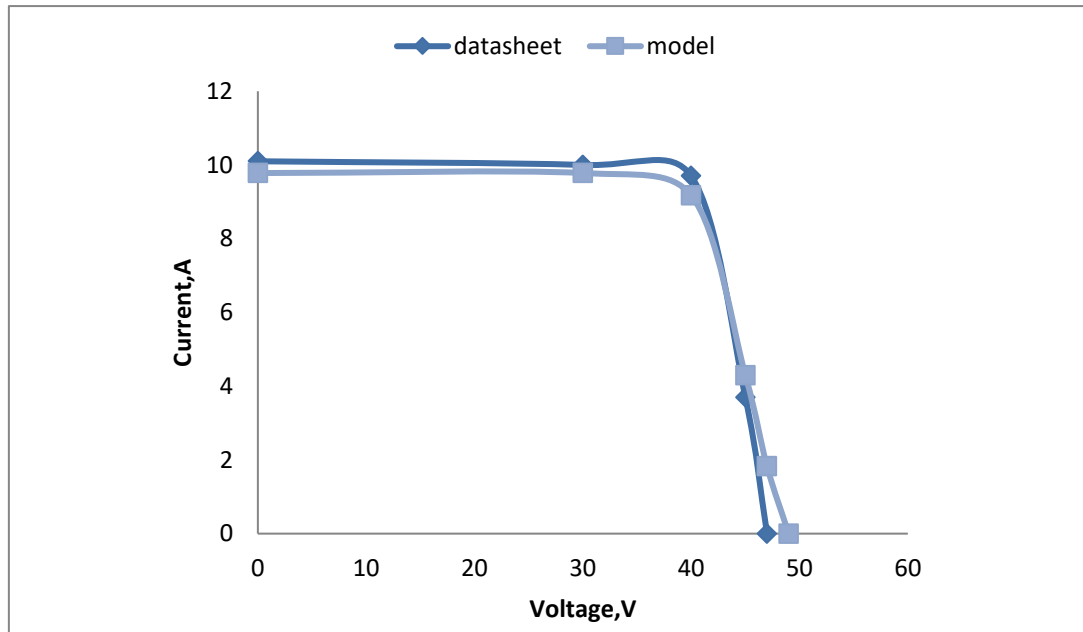
Το σφάλμα μεταξύ πειραματικών και θεωρητικών τιμών για $T_c=298K$ και $GT=1000W/m^2$ είναι 0,22%.



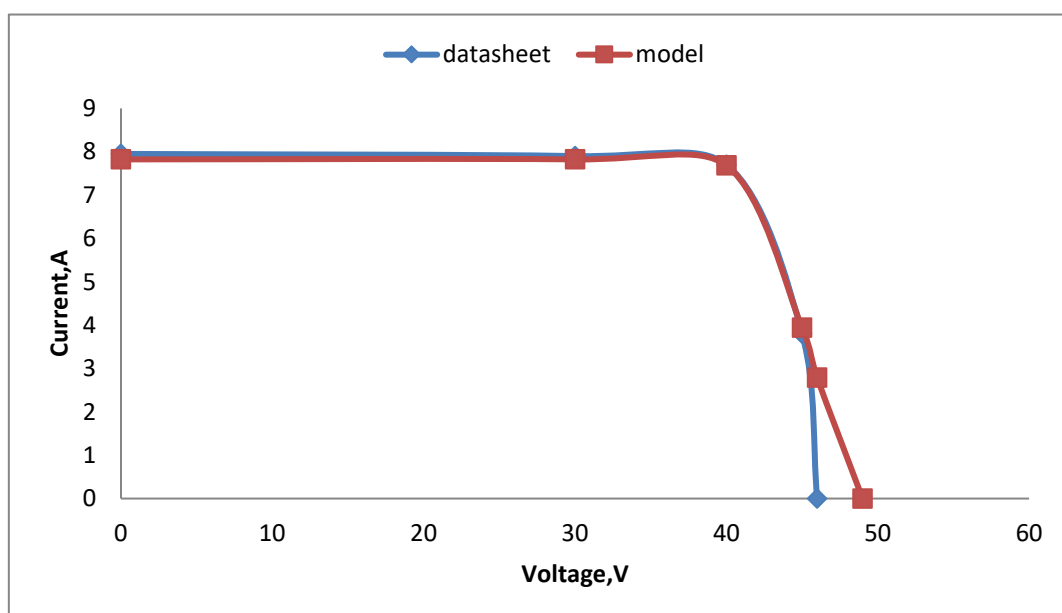
Διάγραμμα 2.2.4 Σύγκριση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V για φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος 390W και $T_c=298K, GT=800W/m^2$

Όπως διακρίνεται η συμφωνία μεταξύ πειραματικών-θεωρητικών τιμών τους για $T_c=298K$ -σταθερό και $GT=800W/m^2$ είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική καταγράφοντας ένα μικρό σχετικό σφάλμα της τάξεως του 0,46%.

Panel 3 Citizen Solar 370W



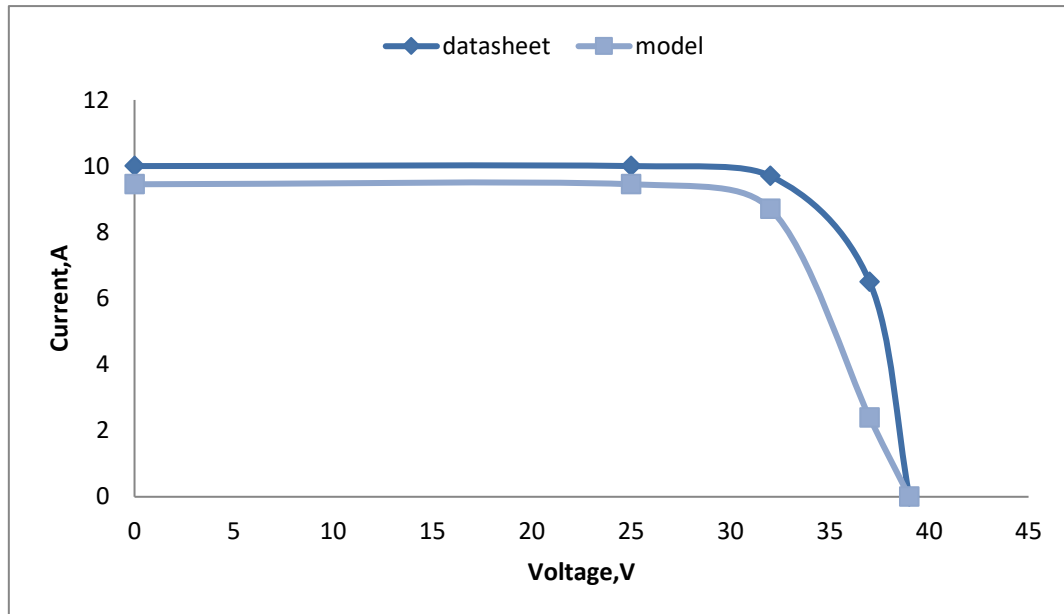
Διάγραμμα 2.2.5 Σύγκριση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V για φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος 370W και $T_c=298K, GT=1000W/m^2$



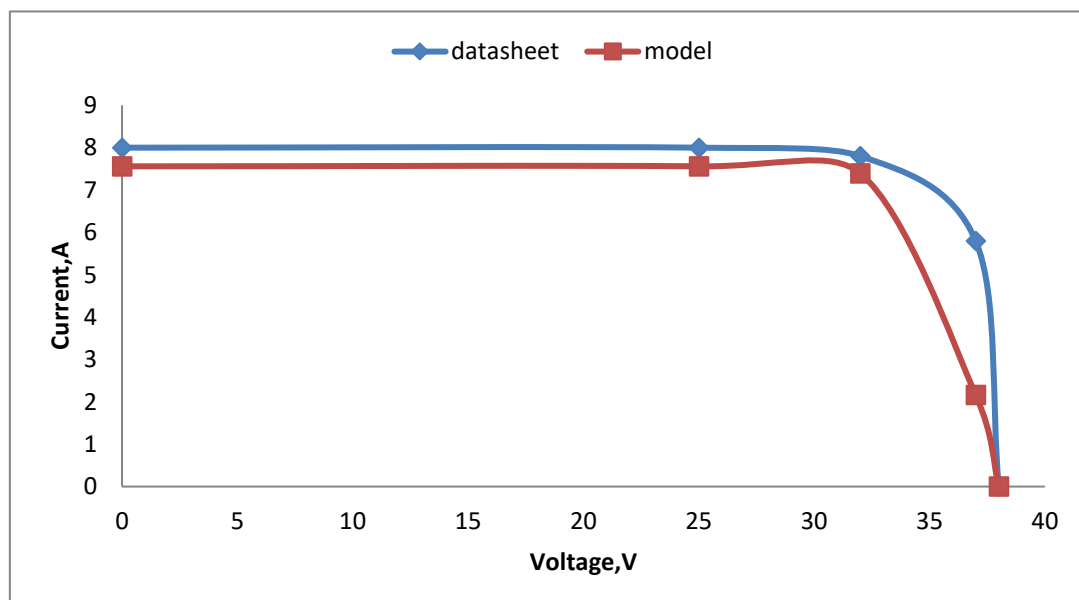
Διάγραμμα 2.2.6 Σύγκριση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V για φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος 370W και $T_c=298K, GT=800W/m^2$

Όπως διακρίνεται η συμφωνία μεταξύ πειραματικών-θεωρητικών τιμών τους για $T_c=298K$ -σταθερό και $GT=1000W/m^2$ ή $GT=800W/m^2$ είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική καταγράφοντας ένα μικρό σχετικό σφάλμα της τάξεως του 0,89% και 0,46% αντίστοιχα.

Panel 4 Lepton Solar 280W



Διάγραμμα 2.2.7 Σύγκριση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V για φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος 280W και $T_c=298K, GT=1000W/m^2$



Διάγραμμα 2.2.8 Σύγκριση χαρακτηριστικής καμπύλης I-V για φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος 280W και $T_c=298K, GT=800W/m^2$

Όπως διακρίνεται η συμφωνία μεταξύ πειραματικών-θεωρητικών τιμών τους για $T_c=298K$ -σταθερό και $GT=1000W/m^2$ ή $GT=800W/m^2$ είναι της τάξεως του 1% και για τις δύο περιπτώσεις.

Πίνακας 2.2 Συγκεντρωτικός Πίνακας τιμών MAX_PV και σφάλματος για κάθε πλαίσιο

	MAX_PV			ΣΦΑΛΜΑ	
	$T_c=298K$ $GT=1000W/m^2$	$T_c=308K$ $GT=1000W/m^2$	$T_c=298K$ $GT=800W/m^2$	$T_c=298K$ $GT=1000W/m^2$	$T_c=298K$ $GT=800W/m^2$
PANEL 1 PANASONIC 245W	245,66W	307,2W	197,54W	0,34%	0,2%
PANEL 2 CHEETAH 390W	392,43W	380,75W	318,91W	0,22%	0,46%
PANEL 3 CITIZEN SOLAR 370W	372,87W	349,42W	307,34W	0,89%	0,46%
PANEL 4 LEAPTON SOLAR 280W	286,48W	276,94W	236,53W	1,24%	0,99%

Κεφάλαιο 3^οΒελτιστοποίηση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μεθοδολογία εύρεσης του βέλτιστου αριθμού φωτοβολταϊκών πλαισίων για κάθε πάνελ που μελετήθηκε ,ώστε η μέση παραγόμενη ενέργεια και η μέση αναγκαία ζήτηση τροφοδότησης συγκεκριμένων ενεργειακών προφίλ , να παρουσιάζουν μικρή διαφορά , καθώς αυτό είναι το ζητούμενο για την σύναψη ενεργειακού συμψηφισμού-net metering- με τον ΔΕΔΔΗΕ(Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας).

Το net metering είναι ένας μηχανισμός χρέωσης κοινής ωφέλειας που επιτρέπει στους πελάτες που παράγουν οποιοδήποτε ποσό της δικής τους ενέργειας να λαμβάνουν πίστωση για την ηλεκτρική ενέργεια που συνεισφέρουν στο δίκτυο. Δεδομένου ότι δεν έχει σημασία πότε παράγεται ή χρησιμοποιείται η ισχύς, η επίδραση των παραγόμενων κιλοβατώραν (kWh) είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τη διάρκεια της ημέρας.

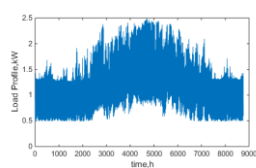
Τα βήματα που ακολουθεί η συγκεκριμένη διπλωματική σε ότι αφορά την διαστασιολόγηση και προσομοίωση φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι τα εξής :

- ⇒ Ανάλυση ενεργειακών προφίλ με στόχο τον καθορισμό των αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια
- ⇒ Ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων που αφορούν την τοποθεσία στην οποία πρόκειται να πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού
- ⇒ Σύγκριση και επιλογή φωτοβολταϊκών πλαισίων με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά ώστε να υποστηρίζουν τα ανάλογα ενεργειακά προφίλ
- ⇒ Βελτιστοποίηση του προβλήματος με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού ,ο οποίος θα παράγει την ενέργεια που απαιτεί κάθε ενεργειακό προφίλ με το ελάχιστο κόστος και την μέγιστη δυνατή απόδοση

3.1 Δεδομένα Εισαγωγής

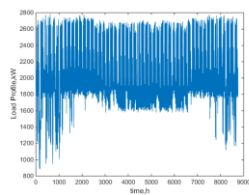
Συγκεκριμένα , λαμβάνονται ως δεδομένα:

Οι ενεργειακές ανάγκες ενός σπιτιού σε kW για κάθε ώρα της ημέρας για ένα έτος



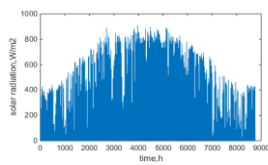
Διάγραμμα 3.1.1 Ενεργειακό Προφίλ Σπιτιού

Οι ενεργειακές ανάγκες ενός νοσοκομείου σε kW για κάθε ώρα της ημέρας για ένα έτος

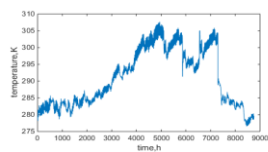


Διάγραμμα 3.1.2 Ενεργειακό Προφίλ Νοσοκομείου

Η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία για κάθε ώρα ενός έτους στην τοποθεσία όπου βρίσκεται η οικία και το νοσοκομείο



Διάγραμμα 3.1.3 Ηλιακή Ακτινοβολία στη διάρκεια ενός έτους



Διάγραμμα 3.1.4 Θερμοκρασία στη διάρκεια ενός έτους

Πίνακας 3.1 Μέσος όρος ενεργειακών αναγκών σπιτιού, νοσοκομείου, θερμοκρασίας, και ηλιακής ακτινοβολίας

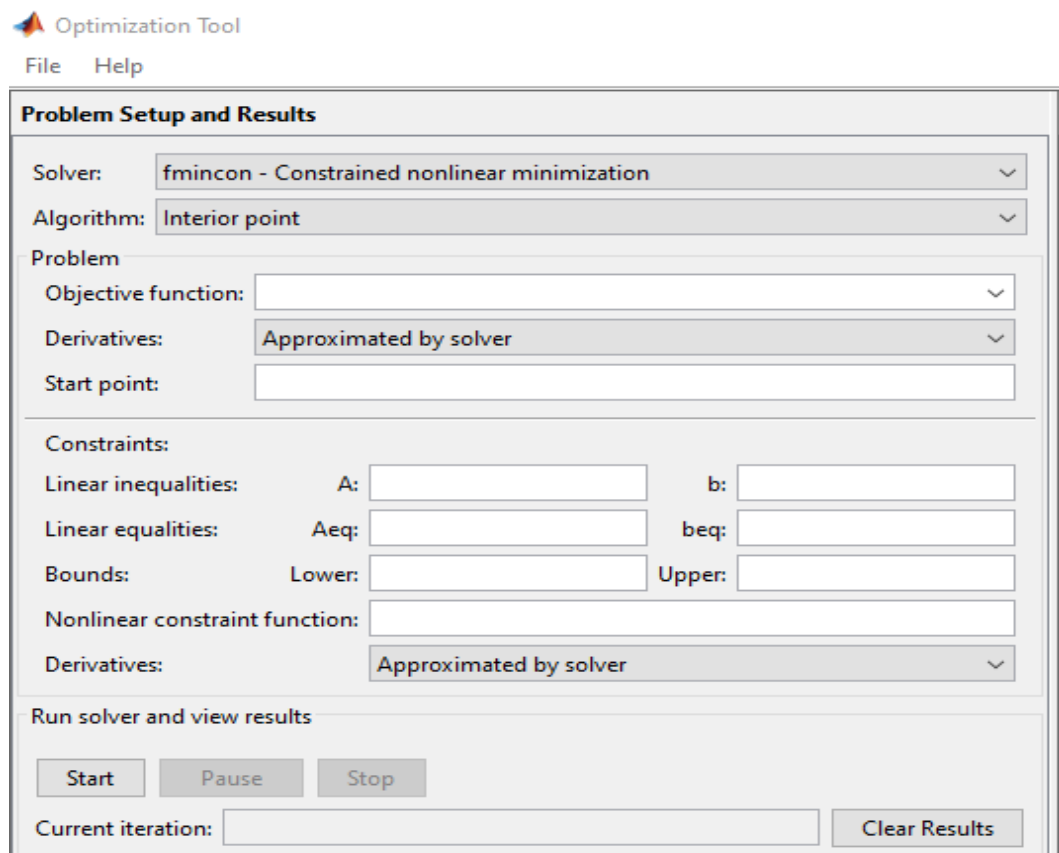
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΟΙΚΙΑΣ ΑΝΑ ΩΡΑ(kW/h)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΑΝΑ ΩΡΑ (MW/h)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (W/m ²)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (Κ)
1,09	2,1	149,8	290,9

3.2 Παρουσίαση Κώδικα Βελτιστοποίησης

Με τον όρο βελτιστοποίηση, αναφερόμαστε στην επίτευξη συγκεκριμένου στόχου έχοντας συνήθως περιορισμό στους οικονομικούς πόρους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η βελτιστοποίηση μπορεί να αναφέρεται όχι μόνο στην μεγιστοποίηση του κέρδους αλλά και στην ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής. Για να υπάρχει αποτελεσματικότητα, δηλαδή να αξιοποιούνται οι υπάρχοντες πόροι κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο, πρέπει να γίνει επιλογή εκείνης της λύσης που μεγιστοποιεί ή ελαχιστοποιεί το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα.

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο Optimtool στην Matlab, υπολογίζεται ο βέλτιστος αριθμός πλαισίων που απαιτούνται για την παραγωγή της ανάλογης ενέργειας με την μέγιστη απόδοση.

Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζεται το περιβάλλον του Optimtool :



Εικόνα 3.1 Περιβάλλον Optimization tool

Στο πεδίο Solver μπορεί ο χρήστης να επιλέξει την μέθοδο βελτιστοποίησης που θέλει να χρησιμοποιήσει. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, έχει επιλεγεί η μέθοδος constrained nonlinear minimization ή fmincon. Παρακάτω στο πεδίο Objective function ο χρήστης καλείται να επιλέξει την αντικειμενική συνάρτηση που χρειάζεται να μεγιστοποιήσει ή να ελαχιστοποιήσει. Τέλος, εισάγονται τα όρια του αποτελέσματος στο πεδίο Bounds, τα οποία δεν μπορούν να είναι μικρότερα του ένα διότι θέλουμε τουλάχιστον ένα πλαίσιο καθώς και ο αριθμός ένα στο start point. Για το πρόβλημα της διαστασιολόγησης ενός φωτοβολταϊκού σταθμού, η αντικειμενική συνάρτηση θα είναι η διαφορά της συνολικής ανάγκης σε ενέργεια (Pload) με την ενεργειακή παραγωγή των πλαισίων (Pwt) για την διάρκεια ενός έτους.

Ελαχιστοποιώντας λοιπόν την παράμετρο αυτή θα βρεθεί ο κατάλληλος αριθμός πλαισίων ώστε να μην υπάρχει μεγάλο πλεόνασμα ή μεγάλη έλλειψη τα οποία αυξάνουν το κόστος επένδυσης του έργου.

Βάση της ισχύος κάθε πλαισίου και της ζήτησης κατά τη διάρκεια ενός έτους, υπολογίζεται και παρουσιάζεται διαγραμματικά η μεταβλητή Pnet που αφορά την διαφορά αυτών των δύο. Πρόκειται για το σφάλμα που προκύπτει από την έλλειψη ή το πλεόνασμα της ενέργειας, το οποίο θα ελαχιστοποιηθεί στην συγκεκριμένη περίπτωση.

$$P_{net} = P_{wt} - P_{load}$$

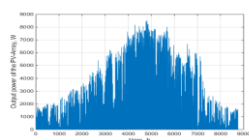
Όπου Pwt είναι η ισχύς που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε W, Pload η ενεργειακή ζήτηση σε W και Pnet σε W η διαφορά τους.

3.3 Βελτιστοποίηση για κάθε τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου για ενεργειακό προφίλ σπιτιού

Παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση για κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο ώστε να εγκατασταθεί το αποδοτικότερο και αποτελεσματικότερο σύστημα για την μέγιστη δυνατή κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοικοκυριού.

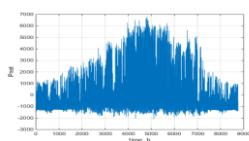
Βελτιστοποίηση Panel 1 Panasonic 245W

Βάσει του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, ο βέλτιστος αριθμός πλαισίων ισχύος 245W που πρέπει να εγκατασταθεί είναι 38 τεμάχια, άρα το πλάνο του φωτοβολταϊκού σταθμού θα φτάνει τα $(38 \times 245W)$ 9,31kW



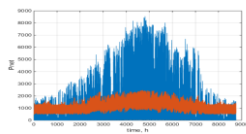
Διάγραμμα 3.3.1 Παραγόμενο φορτίο για συστοιχία πάνελ 245W (σύνολο δυναμικότητας 9.31kW)

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 38 πλαισίων ισχύος 245W για κάθε ώρα της ημέρας επί ένα έτος. Παρατηρείται πως η μέγιστη παραγωγή φθάνει τα 8500W τον μήνα Ιούλιο.



Διάγραμμα 3.3.2 Διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας πάνελ 245W

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού σταθμού 38 πλαίσίων 245W.



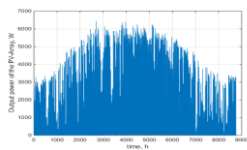
Διάγραμμα 3.3.3 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 245W

Στο διάγραμμα 3.3.3 απεικονίζεται με μπλε χρώμα η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τον φωτοβολταϊκό σταθμό και με πορτοκαλί χρώμα η ενεργειακή ζήτηση του νοικοκυριού. Η ενέργεια που βρίσκεται κάτω από το πορτοκαλί χρώμα είναι η πρόσθετη ενέργεια που χρειάζεται ετησίως το σπίτι (πρόκειται για έλλειψη), ενώ η ενέργεια που βρίσκεται πάνω από την πορτοκαλί γραμμή είναι η περίσσια ενέργεια που παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πλεόνασμα). Παρόλο που η διαφορά φαίνεται μεγάλη, στην πραγματικότητα είναι μηδενική, δηλαδή όση ενέργεια απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας, άλλη τόση παράγεται από τα πλαίσια.

Αυτό αποδεικνύεται από την τιμή $\text{Sum_Pnet} = -239,4587\text{W}$ που βρίσκεται πολύ κοντά στο μηδέν και αφορά την ισχύ που θα έπρεπε να προστεθεί στο σύστημα ώστε να πραγματοποιείται το ιδανικό αποτέλεσμα.

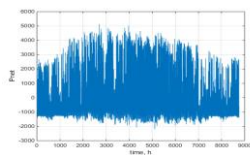
Βελτιστοποίηση Panel 2 Cheetah 390W

Βάσει του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, ο βέλτιστος αριθμός πλαισίων ισχύος 390W που πρέπει να εγκατασταθεί είναι 20 τεμάχια, άρα το πλάνο του φωτοβολταϊκού σταθμού θα φτάνει τα $(20 \times 390\text{W}) 7,8\text{kW}$



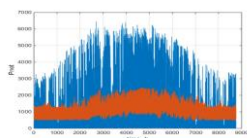
Διάγραμμα 3.3.4 Παραγόμενο φορτίο για συστοιχία πάνελ 390W (σύνολο δυναμικότητας 7.8kW)

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 20 πλαισίων ισχύος 390W για κάθε ώρα της ημέρας επί ένα έτος. Παρατηρείται πως ολόκληρο το χρόνο η παραγωγή βρίσκεται πάνω από 3000W με ελάχιστες πτώσεις (συννεφιά) ενώ τους μήνες του καλοκαιριού φθάνει τα 6000-6300W.



Διάγραμμα 3.3.5 Διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας πάνελ 390W

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού σταθμού 20 πλαισίων 390W.



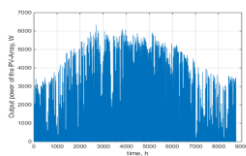
Διάγραμμα 3.3.6 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 390W

Στο διάγραμμα 3.3.6 απεικονίζεται με μπλε χρώμα η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τον φωτοβολταϊκό σταθμό και με πορτοκαλί χρώμα η ενεργειακή ζήτηση του νοικοκυριού.

Η διαφορά και πάλι είναι πολύ μικρή καθώς η τιμή $\text{Sum_Pnet} = -446,1578\text{W}$ είναι πολύ κοντά στο μηδέν.

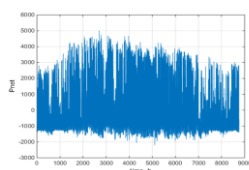
Βελτιστοποίηση PANEL 3 Citizen Solar 370W

Βάσει του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, ο βέλτιστος αριθμός πλαισίων ισχύος 370W που πρέπει να εγκατασταθεί είναι 20 τεμάχια, άρα το πλάνο του φωτοβολταϊκού σταθμού θα φτάνει τα $(20 \times 370\text{W}) 7,4\text{kW}$



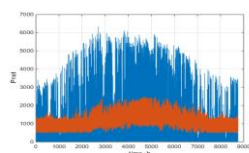
Διάγραμμα 3.3.7 Παραγόμενο φορτίο για συστοιχία πάνελ 370W (σύνολο δυναμικότητας 7.4kW)

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 20 πλαισίων ισχύος 370W για κάθε ώρα της ημέρας επί ένα έτος. Παρατηρείται πως ολόκληρο το χρόνο η παραγωγή βρίσκεται πάνω από 3000W με ελάχιστες πτώσεις (συννεφιά) και τους μήνες του καλοκαιριού φθάνει τα 5000-6300W.



Διάγραμμα 3.3.8 Διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας πάνελ 370W

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού σταθμού 20 πλαισίων 370W



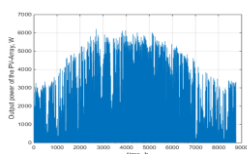
Διάγραμμα 3.3.9 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 370W

Στο διάγραμμα 3.3.9 απεικονίζεται με μπλε χρώμα η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τον φωτοβολταϊκό σταθμό και με πορτοκαλί χρώμα η ενεργειακή ζήτηση του νοικοκυριού.

Καθώς η τιμή Sum_Pnet ισούται με $1.6764e+03 = 1,7kW$ η διαφορά είναι πολύ κοντά στο μηδέν.

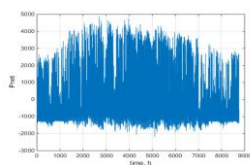
Βελτιστοποίηση Panel 4 Leapton Solar 280W

Βάσει του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, ο βέλτιστος αριθμός πλαισίων ισχύος 280W που πρέπει να εγκατασταθεί είναι 26 τεμάχια, άρα το πλάνο του φωτοβολταϊκού σταθμού θα φτάνει τα $(26 \times 280W) 7,28kW$



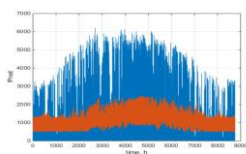
Διάγραμμα 3.3.10 Παραγόμενο φορτίο για συστοιχία πάνελ 280W (σύνολο δυναμικότητας 7.28kW)

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 26 πλαισίων ισχύος 280W για κάθε ώρα της ημέρας επί ένα έτος. Παρατηρείται πως ολόκληρο το χρόνο η παραγωγή βρίσκεται πάνω από 3000W με ελάχιστες πτώσεις (συννεφιά) και τους μήνες του καλοκαιριού φθάνει τα 5000-6200W.



Διάγραμμα 3.3.11 Διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας πάνελ 280W

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού σταθμού 26 πλαισίων 280W



Διάγραμμα 3.3.12 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 280W

Στο διάγραμμα 3.3.12 απεικονίζεται με μπλε χρώμα η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τον φωτοβολταϊκό σταθμό και με πορτοκαλί χρώμα η ενεργειακή ζήτηση του νοικοκυριού.

Η τιμή $\text{Sum_Pnet} = -3.4652 \times 10^3 = -3.465,2\text{W}$ είναι σχετικά μικρή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 Πίνακας Βέλτιστων Αποτελεσμάτων Διαστασιολόγησης

	PANEL 1 PANASONIC 245W	PANEL 2 CHEETAH 390W	PANEL 3 CITIZEN SOLAR 370W	PANEL 4 LEAPTON SOLAR 280W
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΝΕΛ(ΤΕΜΑΧΙΑ)	38	20	20	26
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΝΕΛ(kW)	9,31	7,8	7,4	7,28
Pnet(kW)	0,24	0,45	1,7	3,47

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων σύμφωνα με το ενεργειακό προφίλ του σπιτιού με μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ημερησίως $1,09\text{kW}\times 24\text{h} = 26,16\text{kWh/ ημέρα}$.

Αναλύοντας τα χαρακτηριστικά και την απόδοση του πάνελ ισχύος 245W συμπεραίνεται ότι για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας , απαιτούνται 38 πλαίσια των 245W με συνολική ισχύ $9,31\text{kW}$ και ελλειμματική ισχύ $0,24\text{kW}$. Όσο αφορά το πάνελ ισχύος 390W,απαιτούνται 20 τεμάχια 390W με συνολική ισχύ $7,8\text{kW}$ και ελλειμματική ισχύ $0,45\text{kW}$. Για το πάνελ 370W είναι απαραίτητη η τοποθέτηση 20 τεμαχίων 370W με συνολική ισχύ $7,4\text{kW}$ και πλεονάζουσα ενέργεια $1,7\text{kW}$ και για το πάνελ 280W χρειάζεται εγκατάσταση 26 τεμαχίων 280W με συνολική ισχύ $7,28\text{kW}$ και ελλειμματική ενέργεια $3,47\text{kW}$.

Συμπεραίνεται πως το πάνελ ισχύος 245W είναι λιγότερο αποδοτικό σε σχέση με τα πάνελ ισχύος 390W, 370W, 280W, καθώς για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του σπιτιού απαιτείται η τοποθέτηση πολύ μεγαλύτερου αριθμού πλαισίων και κατά συνέπεια μεγαλύτερης συνολικής ισχύος συγκριτικά με τα υπόλοιπα τρία πάνελ.

Σύμφωνα με τα τεχνικά φυλλάδια κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου, τις διαστάσεις τους και τον συνολικό αριθμό που απαιτούνται σε κάθε περίπτωση, υπολογίζεται η επιφάνεια που απαιτείται για την τοποθέτηση τους επί της κεραμοσκεπής του κτιρίου.



Εικόνα 3.3 Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων σε κεραμοσκεπή

Πηγή : Βάση Κεραμοσκεπής- COCOON ECOCLIMA[5]

Panel 1 Panasonic 245W

$1580\text{mm}\times 798\text{mm}\times 38\text{TMX}=47,9\text{m}^2$

Panel 2 Cheetah 390W

$1979\text{mm}\times 1002\text{mm}\times 20\text{TMX}=39,66\text{m}^2$

Panel 3 Citizen Solar 370W

$1960\text{mm}\times 990\text{mm}\times 20\text{TMX}=38,8\text{ m}^2$

Panel 4 Leapton Solar 280W

$1684\text{mm}\times 1002\text{mm}\times 26\text{TMX}=43,87\text{ m}^2$

Δεδομένου ότι η τιμή αγοράς σε €/W είναι 0,35 , υπολογίζεται το κόστος για τον συνολικό αριθμό πλαισίων για κάθε ένα από τα πάνελ που μελετώνται:

Panel 1 Panasonic 245W

245WX0,35€/WX 38 TMX=3.258,50€

Panel 2 Cheetah 390W

390WX 0,35€/WX 20 TMX =2.730,00€

Panel 3 Citizen Solar 370W

370WX 0,35€/WX 20 TMX =2.590,00€

Panel 4 Leapton Solar 280W

280WX 0,35€/WX 26 TMX =2.548,00€

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 Πίνακας σύγκρισης φωτοβολταϊκών πλαισίων

	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ(mm)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ (TMX)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ(m²)	ΚΟΣΤΟΣ(€)
PANEL 1 PANASONIC 245W	1580X798X35	38	47,9	3.258,50
PANEL 2 CHEETAH 390W	1979X1002X40	20	39,66	2.730,00
PANEL 3 CITIZEN SOLAR 370W	1960X990X35	20	38,8	2.590,00
PANEL 4 LEAPTON SOLAR 280W	1684X1002X35	26	43,87	2.548,00

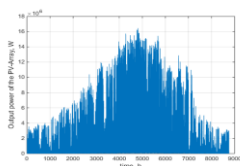
Συγκρίνοντας τις διαστάσεις των πλαισίων αλλά και το κόστος αγοράς σε €/W συμπεραίνεται ότι ο ιδιοκτήτης του σπιτιού θα πρέπει να επιλέξει το **πάνελ ισχύος 370W** καθώς για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού στην οροφή του σπιτιού του απαιτείται μικρότερη επιφάνεια και μικρή δαπάνη χρημάτων σε σχέση τα άλλα τρία πάνελ.

3.4Βελτιστοποίηση για κάθε τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου για ενεργειακό προφίλ νοσοκομείου

Παρουσιάζεται η διαστασιολόγηση για κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο ώστε να εγκατασταθεί το αποδοτικότερο και αποτελεσματικότερο σύστημα για την μέγιστη δυνατή κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοσοκομείου.

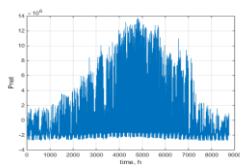
Βελτιστοποίηση Panel 1 Panasonic 245W

Βάσει του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, ο βέλτιστος αριθμός πλαισίων ισχύος 245W που πρέπει να εγκατασταθεί είναι 73.927 τεμάχια, άρα το πλάνο του φωτοβολταϊκού σταθμού θα φτάνει τα $(73.927 \times 245W)$ 18,11 MW



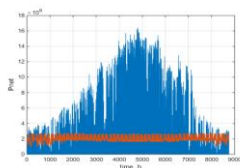
Διάγραμμα 3.4.1 Παραγόμενο φορτίο για συστοιχία πάνελ 245W (σύνολο δυναμικότητας 18,11MW)

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 73.927 πλαισίων ισχύος 245W για κάθε ώρα της ημέρας επί ένα έτος. Παρατηρείται πως η μέγιστη παραγωγή φθάνει τα 16MW τον μήνα Ιούλιο.



Διάγραμμα 3.4.2 Διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας πάνελ 245W

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού σταθμού 73.927 πλασίων 245W.



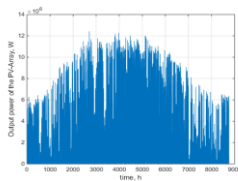
Διάγραμμα 3.4.3 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 245W

Στο διάγραμμα 3.4.3 απεικονίζεται με μπλε χρώμα η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τον φωτοβολταϊκό σταθμό και με πορτοκαλί χρώμα η ενεργειακή ζήτηση του νοσοκομείου. Η ενέργεια που βρίσκεται κάτω από το πορτοκαλί χρώμα είναι η πρόσθετη ενέργεια που χρειάζεται ετησίως το νοσοκομείο (πρόκειται για έλλειψη), ενώ η ενέργεια που βρίσκεται πάνω από την πορτοκαλί γραμμή είναι η πρόσθετη ενέργεια που παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πλεόνασμα). Παρόλο που η διαφορά φαίνεται μεγάλη, στην πραγματικότητα είναι μηδενική, δηλαδή όση ενέργεια απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοσοκομείου, άλλη τόση παράγεται από τα πλαίσια.

Αυτό αποδεικνύεται από την τιμή $\text{Sum_Pnet} = -1.2167\text{e}+05 = -121,67\text{kW} = 0,12\text{MW}$ που είναι αρκετά μικρή διαφορά για ένα σύστημα 18,11 MW.

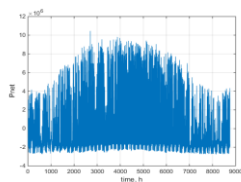
Βελτιστοποίηση Panel 2 Cheetah 390W

Βάσει του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, ο βέλτιστος αριθμός πλαισίων ισχύος 390W που πρέπει να εγκατασταθεί είναι 37.935 τεμάχια, άρα το πλάνο του φωτοβολταϊκού σταθμού θα φτάνει τα $(37.935 \times 390\text{W})$ 14,8MW



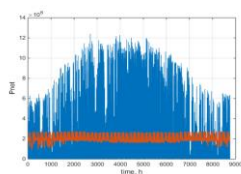
Διάγραμμα 3.4.4 Παραγόμενο φορτίο για συστοιχία πάνελ 390W (σύνολο δυναμικότητας 14.8MW)

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 37.935 πλαισίων ισχύος 390W για κάθε ώρα της ημέρας επί ένα έτος. Παρατηρείται πως ολόκληρο το χρόνο η παραγωγή βρίσκεται πάνω από 6MW με ελάχιστες πτώσεις (συννεφιά) και τους μήνες του καλοκαιριού φθάνει έως και τα 12MW.



Διάγραμμα 3.4.5 Διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας πάνελ 390W

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού σταθμού 37.935 πλαισίων 390W.



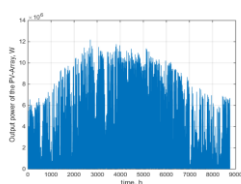
Διάγραμμα 3.4.6 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 390W

Στο διάγραμμα 3.4.6 απεικονίζεται με μπλε χρώμα η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τον φωτοβολταϊκό σταθμό και με πορτοκαλί χρώμα η ενεργειακή ζήτηση του νοσοκομείου.

Η διαφορά και πάλι είναι πολύ μικρή με τιμή $\text{Sum_Pnet} = -2.5380\text{e}+05 = -253,8\text{kW}=0,25\text{MW}$.

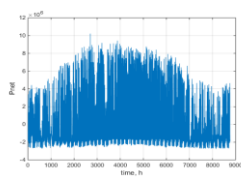
Βελτιστοποίηση PANEL 3 CITIZENSOLAR 370W

Βάσει του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, ο βέλτιστος αριθμός πλαισίων ισχύος 370W που πρέπει να εγκατασταθεί είναι 37.658 τεμάχια, άρα το πλάνο του φωτοβολταϊκού σταθμού θα φτάνει τα $(37.658 \times 370\text{W})$ 13,9MW



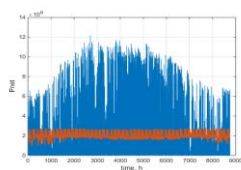
Διάγραμμα 3.4.7 Παραγόμενο φορτίο για συστοιχία πάνελ 370W (σύνολο δυναμικότητας 13,9MW)

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 37.658 πλαισίων ισχύος 370W για κάθε ώρα της ημέρας επί ένα έτος. Παρατηρείται πως ολόκληρο το χρόνο η παραγωγή βρίσκεται πάνω από 6MW με ελάχιστες πτώσεις (συννεφιά) και τους μήνες του καλοκαιριού φθάνει τα 12MW.



Διάγραμμα 3.4.8 Διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας πάνελ 370W

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού σταθμού 37.658 πλαισίων 370W



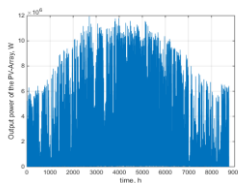
Διάγραμμα 3.4.9 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 370W

Στο διάγραμμα 3.4.9 απεικονίζεται με μπλε χρώμα η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τον φωτοβολταϊκό σταθμό και με πορτοκαλί χρώμα η ενεργειακή ζήτηση του νοσοκομείου.

Η διαφορά είναι πολύ μικρή καθώς η τιμή $\text{Sum_Pnet} = 7.7052\text{e}+03 = 7,7\text{kW}=0,008\text{MW}$ είναι πολύ κοντά στο μηδέν.

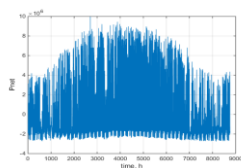
Βελτιστοποίηση Panel 4 Learton Solar 280W

Βάσει του αλγορίθμου βελτιστοποίησης, ο βέλτιστος αριθμός πλαισίων ισχύος 280W που πρέπει να εγκατασταθεί είναι 49.680 τεμάχια, άρα το πλάνο του φωτοβολταϊκού σταθμού θα φτάνει τα $(49.680 \times 280\text{W})$ 13,9MW



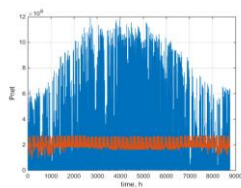
Διάγραμμα 3.4.10 Παραγόμενο φορτίο για συστοιχία πάνελ 280W (σύνολο δυναμικότητας 13,9MW)

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 49.680 πλαισίων ισχύος 280W για κάθε ώρα της ημέρας επί ένα έτος.



Διάγραμμα 3.4.11 Διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας πάνελ 280W

Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζεται η διαφορά ζήτησης και παροχής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού σταθμού 49.680 πλασίων 280W



Διάγραμμα 3.4.12 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 280W

Στο διάγραμμα 3.4.12 απεικονίζεται με μπλε χρώμα η ετήσια παραγωγή ενέργειας από τον φωτοβολταϊκό σταθμό και με πορτοκαλί χρώμα η ενεργειακή ζήτηση του νοσοκομείου.

Η διαφορά είναι πολύ μικρή καθώς η τιμή $\text{Sum_Pnet} = 4.6070\text{e}+04 = 46\text{kW} = 0,046\text{MW}$ είναι πολύ κοντά στο μηδέν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4 Πίνακας Βέλτιστων Αποτελεσμάτων Διαστασιολόγησης

	PANEL 1 PANASONIC 245W	PANEL 2 CHEETAH 390W	PANEL 3 CITIZEN SOLAR 370W	PANEL 4 LEAPTON SOLAR 280W
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΝΕΛ(ΤΕΜΑΧΙΑ)	73.927	37.935	37.658	49.680
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΝΕΛ(MW)	18,11	14,8	13,9	13,9
Pnet(MW)	0,12	0,25	0,008	0,046

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαστασιολόγησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων σύμφωνα με το ενεργειακό προφίλ του νοσοκομείου με μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ημερησίως $2.100\text{kW} \times 24\text{h} = 50.400\text{kWh/ημέρα}$.

Αναλύοντας τα χαρακτηριστικά και την απόδοση του πάνελ ισχύος 245W συμπεραίνεται ότι για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοσοκομείου, απαιτούνται 73.927 πλαίσια των 245W με συνολική ισχύ 18,11MW και ισχύ σε έλλειψη 0,12MW. Όσο αφορά το πάνελ ισχύος 390W, απαιτούνται 37.935 τεμάχια 390W με συνολική ισχύ 14,8MW και ελλειμματική ισχύ 0,25MW. Για το πάνελ 370W είναι απαραίτητη η τοποθέτηση 37.658 τεμαχίων 370W με συνολική ισχύ 13,9MW και πλεονάζουσα ενέργεια 0,008MW και για το πάνελ 280W χρειάζεται εγκατάσταση 49.680 τεμαχίων 280W με συνολική ισχύ 13,91MW και πλεονάζουσα ενέργεια 0,046MW.

Συμπεραίνεται πως το πάνελ ισχύος 245W είναι λιγότερο αποδοτικό σε σχέση με τα πάνελ ισχύος 390W, 370W, 280W, καθώς για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του νοσοκομείου απαιτείται η τοποθέτηση πολύ μεγαλύτερου αριθμού πλαισίων και κατά συνέπεια μεγαλύτερης συνολικής ισχύος συγκριτικά με τα υπόλοιπα τρία πάνελ.

Σύμφωνα με τα τεχνικά φυλλάδια κάθε φωτοβολταϊκού πλαισίου, τις διαστάσεις τους και τον συνολικό αριθμό που απαιτούνται σε κάθε περίπτωση, υπολογίζεται η επιφάνεια που χρειάζεται για την τοποθέτηση τους σε κεκλιμένες βάσεις στήριξης διπλής σειράς με κλίση 35° από το έδαφος.



Εικόνα 3.4.1 Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων επί εδάφους

Πηγή : Βάση επί Εδάφους- ALUMIL[6]

Σύμφωνα με τον τύπο : $\text{συν}\phi = \frac{\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά}}{\text{υποτείνουσα}}$, υπολογίζεται η επιφάνεια που απαιτείται για την τοποθέτηση διπλής σειράς πλαισίων στο έδαφος με **γωνία $\phi = 35^\circ$** , **υποτείνουσα** = άθροισμα του ύψους 2 πλαισίων + 20mm(απόσταση μεταξύ 2 πλαισίων).

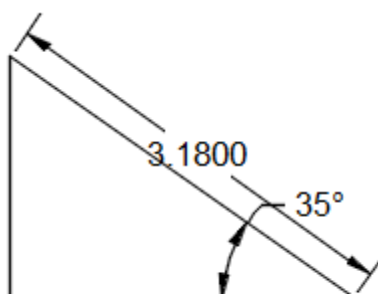
Επίσης, η απόσταση μεταξύ 2 στηλών θα είναι 20mm ,άρα θεωρούμε **πλάτος του πάνελ** =πλάτος πάνελ + 20mm

Panel 1 Panasonic 245W

$$\text{συν}\phi = \frac{\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά}}{\text{υποτείνουσα}} \Rightarrow \text{συν}35^\circ = \frac{\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά}}{(1580 \cdot 2) + 20} \Rightarrow$$

$$\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά} = 0,82 \times 3180 = 2608\text{mm}$$

$$\text{πλάτος πάνελ} = \text{πλάτος πάνελ} + 20 = 798 + 20 = 818\text{mm}$$



Εικόνα 3.4.2Υπολογισμός προσκείμενης κάθετης πλευράς κεκλιμένης βάσης στήριξης για πάνελ Panasonic 245W

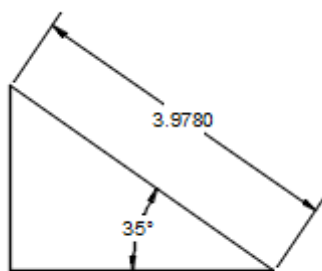
Η επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού είναι:
 $2608\text{mm} \times 818\text{mm} \times 73.927\text{TM} = 157.712\text{m}^2$

Panel 2 Cheetah 390W

$$\text{συνφ} = \frac{\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά}}{\text{υποτείνουσα}} \Rightarrow \text{συν}35^\circ = \frac{\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά}}{(1979*2)+20} \Rightarrow$$

$$\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά} = 0,82 \times 3978 = 3262\text{mm}$$

$$\text{πλάτος πάνελ} = \text{πλάτος πάνελ} + 20 = 1002 + 20 = 1022\text{mm}$$



Εικόνα 3.4.3 Υπολογισμός προσκείμενης κάθετης πλευράς κεκλιμένης βάσης στήριξης για πάνελ Cheetah 390W

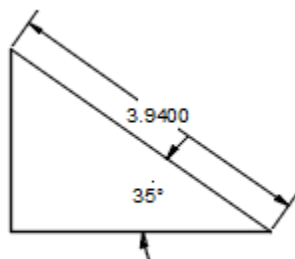
Η επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού είναι: 3262mmX1022mmX37.935 TMX=126.466m²

Panel 3 Citizen Solar 370W

$$\text{συνφ} = \frac{\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά}}{\text{υποτείνουσα}} \Rightarrow \text{συν}35^\circ = \frac{\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά}}{(1960*2)+20} \Rightarrow$$

$$\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά} = 0,82 \times 3940 = 3231\text{mm}$$

$$\text{πλάτος πάνελ} = \text{πλάτος πάνελ} + 20 = 990 + 20 = 1010\text{mm}$$



Εικόνα 3.4.4 Υπολογισμός προσκείμενης κάθετης πλευράς κεκλιμένης βάσης στήριξης για πάνελ Citizen Solar 370W

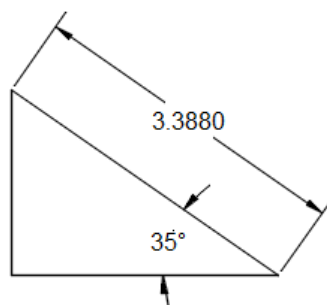
Η επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού είναι:
 $3231\text{mm} \times 1010\text{mm} \times 37.658\text{TMX} = 122.890\text{m}^2$

Panel 4 Leapton Solar 280W

$$\text{συνφ} = \frac{\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά}}{\text{υποτείνουσα}} \Rightarrow \text{συν}35^\circ = \frac{\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά}}{(1684 \times 2) + 20} \Rightarrow$$

$$\text{προσκείμενη κάθετη πλευρά} = 0,82 \times 3388 = 2778\text{mm}$$

$$\text{πλάτος πάνελ} = \text{πλάτος πάνελ} + 20 = 1002 + 20 = 1022\text{mm}$$



Εικόνα 3.4.5 Υπολογισμός προσκείμενης κάθετης πλευράς κεκλιμένης βάσης στήριξης για πάνελ Leapton Solar 280W

Η επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού είναι:
 $2778\text{mm} \times 1022\text{mm} \times 49.680\text{TMX} = 141.047\text{m}^2$

Δεδομένου ότι η τιμή αγοράς σε €/W είναι 0,35 , υπολογίζεται το κόστος για τον συνολικό αριθμό πλαισίων για κάθε ένα από τα πάνελ που μελετώνται

Panel 1 Panasonic 245W

$$245\text{W} \times 0,35\text{€/W} \times 73.927\text{TMX} = 6.339.240,25\text{€}$$

Panel 2 Cheetah 390W

$$390\text{W} \times 0,35\text{€/W} \times 37.935\text{TMX} = 5.178.127,50\text{€}$$

Panel 3 Citizen Solar 370W

$$370\text{W} \times 0,35\text{€/W} \times 37.658\text{TMX} = 4.876.711,00\text{€}$$

Panel 4 Leapton Solar 280W

$$280\text{W} \times 0,35\text{€/W} \times 49.680\text{TMX} = 4.868.640,00\text{€}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5 Πίνακας σύγκρισης φωτοβολταϊκών πλαισίων

	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ(mm)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ (ΤΜΧ)	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ(m²)	ΚΟΣΤΟΣ(€)
PANEL 1 PANASONIC 245W	1580X798X35	73.927	157.712	6.339.240,25
PANEL 2 CHEETAH 390W	1979X1002X40	37.935	126.466	5.178.127,50
PANEL 3 CITIZEN SOLAR 370W	1960X990X35	37.658	122.890	4.876.711,00
PANEL 4 LEAPTON SOLAR 280W	1684X1002X35	49.680	141.047	4.868.640,00

Συγκρίνοντας τις διαστάσεις των πλαισίων αλλά και το κόστος αγοράς σε €/W συμπεραίνεται ότι θα πρέπει να επιλεγεί το πάνελ ισχύος 370W καθώς για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού επί εδάφους, απαιτείται μικρότερη επιφάνεια και λιγότερη δαπάνη χρημάτων σε σχέση με τα άλλα τρία πάνελ.

Κεφάλαιο 4^ο Συμπεράσματα

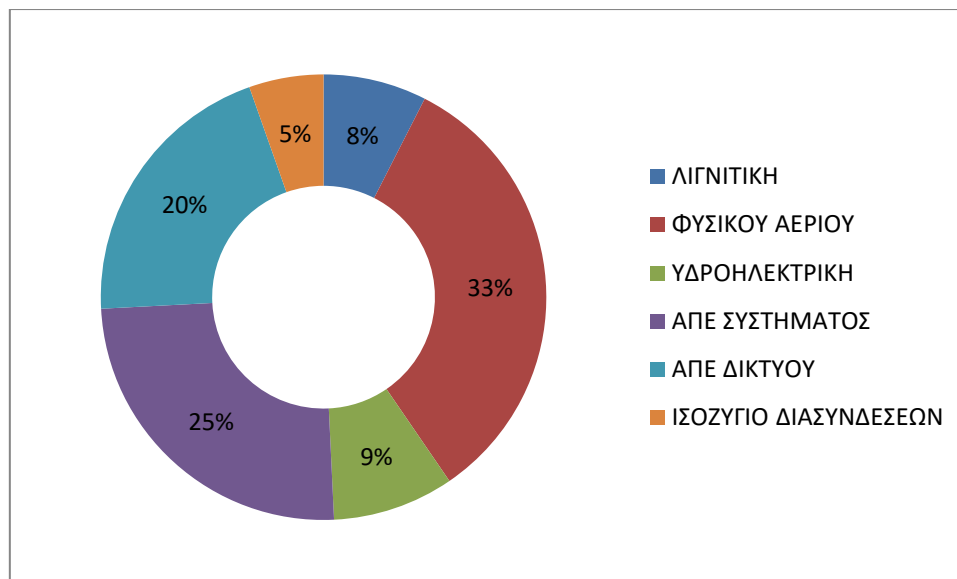
Συμπεράσματα

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι κατασκευασμένο από πυρίτιο (Si) το οποίο είναι ίσως το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο και είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια του ηλιακού φωτός προσπίπτουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο κάποια ανακλώνται, κάποια άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του φωτοβολταϊκού. Αποτέλεσμα της διεργασίας αυτής είναι η απόδραση των ηλεκτρονίων από τις αρχικές τους θέσεις και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Ως ενεργειακός συμψηφισμός νοείται ο συμψηφισμός της εγγεόμενης στο δίκτυο ενέργειας από τον σταθμό παραγωγής με την απορροφώμενη ενέργεια στην εγκατάσταση κατανάλωσης του αυτοπαραγωγού. Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής είναι η εύρεση του βέλτιστου αριθμού φωτοβολταϊκών πλαισίων που καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες για διαφορετικά ενεργειακά προφίλ ώστε η διαφορά των παραπάνω να βρίσκεται κοντά στο μηδέν δίνοντας τη δυνατότητα στον καταναλωτή να εξοικονομήσει χρήματα και ενέργεια.

Έπειτα από την προσομοίωση 4 φωτοβολταϊκών πάνελ με διαφορετική ισχύ το καθένα, παρατηρήθηκε πως η παραγωγή ρεύματος εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία (G_T) αλλά και την θερμοκρασία του αέρα (T_c) στην περιοχή όπου πρόκειται να εγκατασταθεί ο σταθμός. Η βέλτιστη απόδοση παρουσιάζεται στις περιπτώσεις όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι κοντά στα 1000W/m^2 ενώ η θερμοκρασία βρίσκεται στους 25°C . Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και μειώνεται η ακτινοβολία, η παραγωγή ενέργειας ελαττώνεται. Επίσης, επισημαίνεται πως σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε πλαισίου, η μέγιστη δημιουργία ρεύματος παρουσιάζεται όσο η τάση του φωτοβολταϊκού βρίσκεται χαμηλότερα από την μέγιστη τάση ισχύος (V_{mp_ref}) ενώ η αποδιδόμενη ισχύς μεγιστοποιείται όταν η τάση του φωτοβολταϊκού αγγίζει την μέγιστη τάση ισχύος (V_{mp_ref}). Στην περίπτωση που η τάση ξεπεράσει την μέγιστη τάση ισχύος, τόσο η ένταση του ρεύματος όσο και η αποδιδόμενη ισχύς ξεκινούν να μειώνονται.

Βάσει της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε, όσο αφορά το ενεργειακό προφίλ ενός **νοικοκυριού** που βρίσκεται στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, ο ιδιοκτήτης του σπιτιού θα πρέπει να επιλέξει το πάνελ ισχύος **370W** καθώς για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού στην οροφή του σπιτιού του απαιτείται λιγότερη επιφάνεια και μικρή δαπάνη χρημάτων σε σχέση τα άλλα τρία πάνελ. Επίσης, η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός **νοσοκομείου** που βρίσκεται στην ίδια περιοχή, πραγματοποιείται με την χρήση του ηλιακού στοιχείου ισχύος **370W** καθώς για την εγκατάσταση του σταθμού επί εδάφους, απαιτείται λιγότερη επιφάνεια και μικρότερη δαπάνη χρημάτων σε σχέση τα άλλα τρία πάνελ.



Διάγραμμα 4.1 Εκτίμηση Συνολικής Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα και Δίκτυο τον Αύγουστο 2023

Πηγή: Monthly Energy Report-Independent Power Transmission Operator S.A (IPTO) [7]

Τέλος, σύμφωνα με τα στοιχεία του ΑΔΜΗΕ(Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας), τον μήνα Αύγουστο του 2023 οι ΑΠΕ συμμετείχαν κατά 45% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στα ίδια στοιχεία που δημοσιεύει ο Διαχειριστής παρουσιάζεται η χαμηλή συμμετοχή του λιγνίτη ο οποίος συνεισέφερε με ποσοστό 8%. Το ορυκτό καύσιμο αποτελεί λύση ανάγκης από τους Διαχειριστές σε περιπτώσεις υψηλής ζήτησης ή ακραίων υψηλών τιμών. Συνεπώς ,η Ελλάδα πλέον βρίσκεται μεταξύ των χωρών με την μεγαλύτερη συμμετοχή των ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα .

Προβλέψεις ηλιακής ενέργειας για τα επόμενα 10 χρόνια

Η ηλιακή ενέργεια είναι μία ταχέως αναπτυσσόμενη βιομηχανία και η χρήση της αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται τα επόμενα χρόνια. Μερικές προβλέψεις για το μέλλον της ηλιακής ενέργειας περιλαμβάνουν τα εξής:

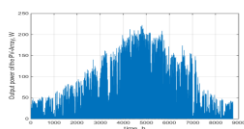
- ✓ Η τιμή των ηλιακών συλλεκτών θα συνεχίσει να μειώνεται, καθιστώντας πιο προσιτή για ιδιώτες και επιχειρήσεις την εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων
- ✓ Η ηλιακή ενέργεια θα γίνει ολοένα και πιο σημαντική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου μπορεί να συμβάλει στη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και στην βελτίωση της πρόσβασης στην ηλεκτρική ενέργεια
- ✓ Η χρήση της ηλιακής ενέργειας θα συνεχίσει να αυξάνεται στον τομέα των μεταφορών με την ανάπτυξη οχημάτων με ηλιακή ενέργεια και τη χρήση ηλιακών συλλεκτών για ηλεκτροκίνητα οχήματα
- ✓ Η χρήση της ηλιακής ενέργειας θα γίνει πιο διαδεδομένη στα κτίρια με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως τα διαφανή πάνελ που μπορούν να ενσωματωθούν σε παράθυρα και άλλα δομικά υλικά

- ✓ Η χρήση της ηλιακής ενέργειας θα συνεχίσει να επεκτείνεται στον βιομηχανικό τομέα με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών όπως η παραγωγή ηλιακού ατμού και η ηλιακή θερμική αποθήκευση
- ✓ Συνολικά , είναι πιθανό η ηλιακή ενέργεια να διαδραματίσει ολοένα και πιο σημαντικό ρόλο στο παγκόσμιο ενεργειακό μείγμα τα επόμενα χρόνια, καθώς οι προσπάθειες για μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και καταπολέμησης της κλιματικής αλλαγής επιταχύνονται.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

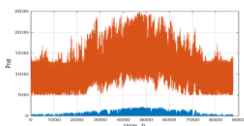
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

Panel 1 Panasonic 245W



Διάγραμμα Π1 Ετήσια ισχύς εξόδου φωτοβολταϊκού πάνελ 245W

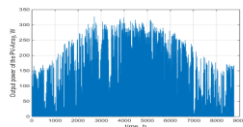
Η μέγιστη ισχύς εξόδου του φωτοβολταϊκού πάνελ 220W ανά ώρα από τον Απρίλιο έως τον Ιούλιο κυμαίνεται από 150W έως 225W με ελάχιστες πτώσεις λόγω έλλειψης ηλιοφάνειας ή πολύ υψηλών θερμοκρασιών.



Διάγραμμα Π2 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού πάνελ 245W

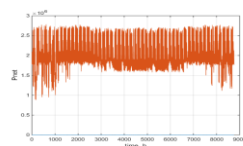
Διαγραμματικά απεικονίζεται η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας του σπιτιού για κάθε ώρα ενός έτους και η παραγωγή ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού πάνελ 245W. Όπως φαίνεται υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ τους.

Panel 2 Cheetah 390W



Διάγραμμα Π3Ετήσια ισχύς εξόδου φωτοβολταϊκού πάνελ 390W

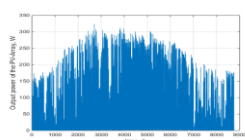
Τους μήνες Μάρτιο έως Νοέμβριο η παραγωγή ενέργειας τις περισσότερες ημέρες βρίσκεται πάνω από τα 250W.



Διάγραμμα Π4Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού πάνελ 390W

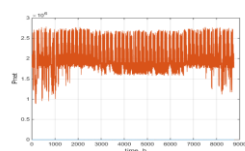
Η ενεργειακή ζήτηση είναι πολύ μεγαλύτερη από την παραγόμενη ενέργεια με αποτέλεσμα να μην καλύπτονται οι ανάγκες της κατοικίας.

Panel 3 Citizen Solar 370W



Διάγραμμα Π5Ετήσια ισχύς εξόδου φωτοβολταϊκού πάνελ 370W

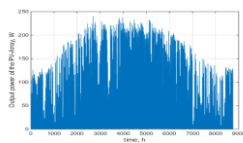
Στο διάγραμμα παρουσιάζεται μία αρκετά ομοιόμορφη πορεία με την ισχύ εξόδου του φωτοβολταϊκού πάνελ 370W να βρίσκεται πάνω από τα 200W τους περισσότερους μήνες του έτους.



Διάγραμμα Π6Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού πάνελ 370W

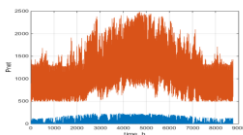
Η ενεργειακή ζήτηση είναι πολύ μεγαλύτερη από την παραγόμενη ενέργεια με αποτέλεσμα να μην καλύπτονται οι ανάγκες της κατοικίας.

Panel 4 Lepton Solar 280W



Διάγραμμα Π7 Ετήσια ισχύς εξόδου φωτοβολταϊκού πάνελ 280W

Στο διάγραμμα παρουσιάζεται η παραγόμενη ενέργεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου 280W με την μέγιστη ισχύ να φθάνει στα 240W κάποιες μέρες τους μήνες Απρίλιο έως Αύγουστο και στη διάρκεια των επόμενων μηνών να μειώνεται.

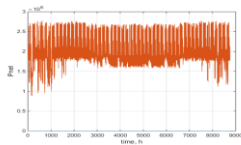


Διάγραμμα Π8 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας φωτοβολταϊκού πάνελ 280W

Η ενεργειακή ζήτηση είναι πολύ μεγαλύτερη από την παραγόμενη ενέργεια με αποτέλεσμα να μην καλύπτονται οι ανάγκες της κατοικίας.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ

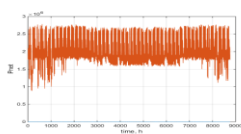
Panel 1 Panasonic 245W



Διάγραμμα Π10 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 245W

Η ενεργειακή ζήτηση είναι πολύ μεγαλύτερη από την παραγόμενη ενέργεια με αποτέλεσμα να μην καλύπτονται οι ανάγκες του νοσοκομείου.

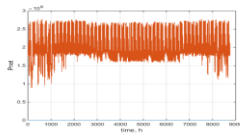
Panel 2 Cheetah 390W



Διάγραμμα Π11 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 390W

Η ενεργειακή ζήτηση είναι πολύ μεγαλύτερη από την παραγόμενη ενέργεια με αποτέλεσμα να μην καλύπτονται οι ανάγκες του νοσοκομείου.

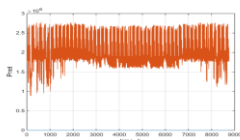
Panel 3 Citizen Solar 370W



Διάγραμμα Π12 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 370W

Η ενεργειακή ζήτηση είναι πολύ μεγαλύτερη από την παραγόμενη ενέργεια με αποτέλεσμα να μην καλύπτονται οι ανάγκες του νοσοκομείου.

Panel 4 Leapton Solar 280W



Διάγραμμα Π13 Ενεργειακή ζήτηση και παραγωγή ενέργειας πάνελ 280W

Η ενεργειακή ζήτηση είναι πολύ μεγαλύτερη από την παραγόμενη ενέργεια με αποτέλεσμα να μην καλύπτονται οι ανάγκες του νοσοκομείου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/27071893/17-03-11-11-04-35-dt5-libre.pdf?1390871586=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPower_management_strategies_for_a_stand.pdf&Expires=1708453814&Signature=gy8XnbMilB5gCgbkaHbVqvLrjN9glX6XoJ3pofbjLtueWfxyONVCiqnfgkUDrqPbthHWITjJZzpdflydA2mfLA1tqgGAq8NJ-LXpUGoxTaap4RE0CViOTh9JoKahcJEBPzIFgCrMRSGvWZXFcO2-YuRaD2qQ25oT5A61Anc6wfxJvoMumJS5bd8x5X1zSjZWJe3agYU-EdrTIOYrRf7voTJNrq7utNYOK62AFEd1NXak-PSg~lCZCxYE2K9F-cigjB8oIKVTScg3imAMuOgT8xZDbczHYclWJ31XWOXYoHA3E7wM9UZahkeTcVwWIkGSb4K4aNP09Nb3G0ACITM66g_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- [2]<https://www.engieimpact.com/insights/net-metering-becoming-controversial>
- [3]<https://www.reporter.gr/Eidhseis/Oikonomia/261042-Fwtoboltaika-Ti-na-prosexete-meto-net-metering>
- [5]<https://cocoon.gr/product/vasi-keramoskepis-gia-1-fotovoltaiko-p-2/>
- [6]<https://www.allagikoufomaton.gr/fotovoltaika.html>
- [7]<https://www.admie.gr/en/market/reports/mont>
- [4]<https://www.oknow.gr/online-store/fotovoltaika/aftonoma-fotovoltaika-paketa/autonomo-1-leptomeries.htmlhly-energy-balance>
- [8]<https://www.iinkosolar.com/uploads/5e68b53d/c4.pdf>
- [9]<https://www.ihkingstar.com/upfile/proimage/pdf/2020714/20207149154158807.pdf>
- [10]<https://cdn.enfsolar.com/z/pp/mj635jeq66x/PERC-MONO-72-CELL-SERIES-360-375-WP-MONO-CRYSTALLINE-PERC-MOD.pdf>
- [11] https://netsolar.files.wordpress.com/2018/02/vbhn240_245sj25_en.pdf
- [12] <https://deddie.gr/media/3485/%CF%83%CF%85%CF%87%CE%BD%CE%AD%CF%82-%CE%B5%CF%81%CF%89%CF%84%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%B1%CF%80%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AE-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CF%8D-%CF%83%CF%85%CE%BC%CF%88%CE%B7%CF%86%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%8D-%CE%B1%CF%80%CF%8C->

[%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%BF%CF%8D%CF%82-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B8%CE%B5%CF%8E%CF%81%CE%B7%CF%83%CE%B7-31052019.pdf](#)

[13] https://helapco.gr/pdf/PV_Guide_Aug_2013.pdf

[13] https://ikee.lib.auth.gr/record/290819/files/YPOLOGISMOS_SYNTELESTI_EKPOMPWN_TIS_YPOKATHISTAMENIS_ENERGEIAS_SE_4_EYRWPAIKES_XWRES.pdf

[14] <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.06.051>

[15] <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.02.179>

[16] <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100048>

[17] <https://doi.org/10.1109/ICIT.2017.7913260>

[18] <https://arka360.com/ros/future-of-solar-energy-predictions/>