



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**«Μελέτη φωτοβολταϊκών συστημάτων με μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας»
«Study of photovoltaic systems combined with electric energy storage units»**

Υπό
ΑΓΟΡΙΤΣΑ ΕΛΕΝΗ

Πτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Πτυχίου του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας

Λάρισα, 2024

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνω ότι ο κάτωθι υπογράφων είμαι συγγραφέας της παρούσης πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντας καθηγητή μου, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνω πως κάθε πηγή που χρησιμοποίησα (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της ερευνάς μου, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και, επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς-παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πινάκων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμένα.

ΕΠΩΝΥΜΟ	ΑΓΟΡΙΤΣΑ
ΟΝΟΜΑ	ΕΛΕΝΗ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ	2919141
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	2/7/2024
ΥΠΟΓΡΑΦΗ	ΑΓΟΡΙΤΣΑ ΕΛΕΝΗ

© 2024. ΑΓΟΡΙΤΣΑ ΕΛΕΝΗ

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Μοσχάκης Μάριος

(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή
Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Λεκίδης Αλέξιος

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή
Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Παπαγεωργίου Ελπινίκη

Καθηγήτρια, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Μοσχάκη Μάριο, για την βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας μου.

Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο καθηγητή κύριο Λεκίδη Αλέξιο και Καθηγήτρια κυρία Παπαγεωργίου Ελπινίκη για τις πολύτιμες υποδείξεις τους.

Ευχαριστώ τις φίλες μου για την ηθική υποστήριξή τους και για την κατανόησή τους, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών της προσπάθειάς μου.

Τέλος, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Εύη και Αλέκο, αλλά και στον αδερφό μου Θέμη και στην αδερφή μου Μαρία για την ολόψυχη αγάπη, εμπιστοσύνη, κατανόηση και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	4
Κατάλογος Εικόνων/Φωτογραφίες.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract.....	7
1 Εισαγωγή.....	8
1.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	8
2 Εξαρτήματα Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης.....	13
2.1 Φωτοβολταϊκά πάνελ.....	13
2.2 Μπαταρίες.....	15
2.3 Αντιστροφέας (Inverter).....	20
2.4 Ρυθμιστής φόρτισης (Charge Controller).....	25
3 Πρόγραμμα Φωτοβολταϊκά στη στέγη.....	28
3.1 Διαδικασία συμμετοχής.....	31
4 Λογισμικό για την μελέτη Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης.....	33
4.1 PVGiS.....	33
4.2 Πρόγραμμα σε Python.....	39
5 Μελέτη Εγκατάστασης 10kW.....	49
5.1 Φυσικά μεγέθη περιοχής.....	49
5.2 Διαστασιολόγηση του Inverter.....	58
5.3 Σύστημα αποθήκευσης.....	61
6 Μελέτη Εγκατάστασης 5kW.....	62
6.1 Φυσικά μεγέθη περιοχής.....	62
6.2 Διαστασιολόγηση του Inverter.....	67
6.3 Σύστημα αποθήκευσης.....	68
7 Συμπεράσματα.....	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	72

Κατάλογος Εικόνων/Φωτογραφίες

Εικόνα 2.1 Μονοκρυσταλλικό Φωτοβολταϊκό πάνελ [32].....	14
Εικόνα 2.2 Μπαταρίες Φωτοβολταϊκών συστημάτων [33].....	16
Εικόνα 2.3 Inverter για χρήση σε αυτόνομα ΦΒ συστήματα [34].....	21
Εικόνα 2.4 Ρυθμιστής φόρτισης με θύρες USB [35].....	26
Εικόνα 4.1 Παράδειγμα χρήσης GiS [36].....	35
Εικόνα 5.1 Τοποθεσία εγκατάστασης.....	49
Εικόνα 5.2 Ετήσια μεταβολή της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας.....	50
Εικόνα 5.3 Γωνίες πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας.....	51
Εικόνα 5.4 Εξωγήινη ακτινοβολία ανα τον χρόνο.....	52
Εικόνα 5.5 Παρουσίαση της αέριας μάζας για την εβδομάδα του θερινού ηλιοστασίου.....	53
Εικόνα 5.6 Διάχυτη ακτινοβολία του Plane Of Array.....	53
Εικόνα 5.7 Διάχυση του εδάφους.....	54
Εικόνα 5.8 Γωνία πρόσπτωσης για την εβδομάδα του θερινού ηλιοστασίου.....	54
Εικόνα 5.9 Συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.....	55
Εικόνα 5.10 Θερμοκρασία κυψελών.....	56
Εικόνα 5.11 ΦΒ πάνελ.....	56
Εικόνα 5.12 Έξοδος ισχύος από ένα πάνελ.....	57
Εικόνα 5.14 Έξοδος συστοιχίας ανά ημέρα του χρόνου.....	58
Εικόνα 5.15 Αντιστροφείας εγκατάστασης.....	60
Εικόνα 5.16 Έξοδος συστήματος σε AC.....	61
Εικόνα 5.17 Μπαταρία που θα χρησιμοποιηθεί.....	61
Εικόνα 6.1 Τοποθεσία εγκατάστασης.....	62
Εικόνα 6.2 Η Ετήσια μεταβολή της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας (GHI) σε γράφημα.....	63
Εικόνα 6.3 Ηλιακή θέση για όλες τις ώρες για την εβδομάδα του θερινού ηλιοστασίου.....	63
Εικόνα 6.4 Εξωγήινη ακτινοβολία (DNI ET).....	64
Εικόνα 6.5 Συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Total POA).....	64
Εικόνα 6.6 Θερμοκρασία ΦΒ κυψελών (Cell Temperature).....	65
Εικόνα 6.7 Ισχύος στην έξοδο μιας ΦΒ μονάδας.....	66
Εικόνα 6.8 Ετήσια Φ/Β παραγωγή της συστοιχίας.....	67
Εικόνα 6.9 αντιστροφείας εγκατάστασης.....	68
Εικόνα 6.10 Έξοδος εγκατάστασης AC ανά ημέρα.....	68
Εικόνα 6.11 Μπαταρία Mitsuba D200.....	69

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία παρουσιάζει τα φωτοβολταϊκά συστήματα, αναλύοντας τα βασικά εξαρτήματα, τη χρήση λογισμικού για τη μελέτη τέτοιων εγκαταστάσεων, καθώς παρουσιάζει και μια πρακτική εφαρμογή δύο διαφορετικών εγκαταστάσεων, μίας 10kW και μίας 5kW στην περιοχή της Κρήτης, με το πρώτο κεφάλαιο να αποτελεί μια εισαγωγή στο θέμα, ενώ ακολουθεί η βιβλιογραφική ανασκόπηση, παρουσιάζοντας τη σύγχρονη κατάσταση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, με το δεύτερο κεφάλαιο να παρουσιάζει τα εξαρτήματα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ, οι μπαταρίες, ο αντιστροφέας και ο ρυθμιστής φόρτισης. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρόγραμμα/επιδότηση φωτοβολταϊκά στην στέγη, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το λογισμικό για τη μελέτη των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, με έμφαση στο PVGIS και ένα πρόγραμμα που αναπτύχθηκε σε Python. Τέλος, το πέμπτο και το έκτο κεφάλαιο παρουσιάζουν τη μελέτη εγκατάστασης δύο διαφορετικών συστημάτων, μεγέθους 10kW και 5kW, αντίστοιχα, με λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής, τα καιρικά φαινόμενα, τον αριθμό των πάνελ, τη διαστασιολόγηση του αντιστροφέα και τη χρήση συστημάτων αποθήκευσης μπαταριών, ενώ στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη και γίνεται μια περίληψη των κυρίων στοιχείων της εργασίας.

Λέξεις-κλειδιά: Φωτοβολταϊκά, PVGIS, Ρυθμιστής φόρτισης, Αντιστροφέας, Μπαταρίες, Πρόγραμμα σε Python, Μελέτη εγκατάστασης, Αποθήκευση ενέργειας, Παραγωγή ενέργειας, Προσομοίωση, Αποτελέσματα, Αποδοτικότητα, Οικονομική ανάλυση, Συστήματα φωτοβολταϊκών, Εφαρμογή, Πρακτική χρήση, Συμπεράσματα.

Abstract

The thesis presents the photovoltaic systems, analyzing the basic components, the use of software for the study of such installations, as well as presents a practical application of two different installations, one 10kW and one 5kW in the Crete region, with the first chapter being an introduction to the topic, followed by a literature review, presenting the current state of photovoltaic installations, with the second chapter presenting the components of a photovoltaic installation, such as the photovoltaic panels, the photovoltaic module, the photovoltaic system, the photovoltaic system and the photovoltaic system itself. The third chapter presents the rooftop PV program/support, while the fourth chapter presents the software for the study of PV installations, with a focus on PVGIS and a program developed in Python. The fifth and sixth chapters present the installation study of two different systems, 10kW and 5kW in size, respectively, with detailed information on the physical characteristics of the area, weather conditions, number of panels, inverter sizing and the use of battery storage systems, while the seventh and last chapter presents the conclusions drawn from the study and a summary of the main elements of the work.

Key-words: *Photovoltaic, PVGIS, Charge controller, Inverter, Batteries, Program in Python, Installation study, Energy storage, Energy production, Simulation, Results, Efficiency, Economic analysis, Photovoltaic systems, Application, Practical use, Conclusions.*

1 Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική σκοπό έχει την μελέτη των φωτοβολταϊκών συστημάτων με μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, εξετάζοντας την αποτελεσματικότητα, τις τεχνικές προδιαγραφές και τις δυνατότητες εφαρμογής των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε συνδυασμό με μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον, μελετάται η αποτελεσματικότητα και η βιωσιμότητα διαφόρων μεγεθών συστημάτων, και πιο συγκεκριμένα συστήματα των 5kW και 10kW για ιδανικές κατοικίες,, προτείνοντας πρακτικές και τεχνολογικές επιλογές που βελτιώνουν την απόδοση και την οικονομική αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ως αποτέλεσμα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε.

Ο βασικός σκοπός είναι η παρουσίαση των εξαρτημάτων που αποτελούν τα ΦΒ συστήματα αλλά και η μελέτη της αποτελεσματικότητας και της οικονομικής βιωσιμότητα αυτών [1] με μονάδα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, με τελικό στόχο την κατανόηση των τεχνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών στοιχείων.

Πιο αναλυτικά οι στόχοι της διπλωματικής είναι οι παρακάτω:

1. Η αξιολόγηση της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας των φωτοβολταϊκών συστημάτων με μονάδα αποθήκευσης ενέργειας σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας και περιβαλλοντικές συνθήκες.
2. Η παρουσίαση των στοιχείων των συστημάτων φωτοβολταϊκής ενέργειας.
3. Η μελέτη δύο εγκαταστάσεων ΦΒ συστημάτων στην περιοχή της Κρήτης.

1.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η ανάλυση των ΦΒ συστημάτων και της τεχνολογίας ξεκινάει αρχικά από τις παραμέτρους που επηρεάζουν την απόδοση των συστημάτων αυτών, με την γεωγραφική τοποθεσία και τις κλιματολογικές συνθήκες να επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς οι διαφορές στην ηλιοφάνεια, τη θερμοκρασία, την υγρασία και άλλες μετεωρολογικές συνθήκες μεταξύ διαφορετικών περιοχών επηρεάζουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Πιο συγκεκριμένα,

η ηλιοφάνεια είναι μάλλον ο σημαντικότερος παράγοντας της παραγόμενης ενέργειας, καθώς επηρεάζει την ποσότητα της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας που μπορεί να απορροφηθεί από τα φωτοβολταϊκά συστήματα, ενώ από την άλλη μεριά, οι υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών κυψελών, ενώ η υγρασία [2] μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και φυσικά την αξιοπιστία του ηλεκτρικού εξοπλισμού, καθιστώντας την κατανόηση των κλιματολογικών συνθηκών και την προσαρμογή του σχεδιασμού και της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε αυτές τις συνθήκες πολύ σημαντική για την επίτευξη υψηλής απόδοσης και αποτελεσματικότητας.

Ο δεύτερος παράγοντας της αποτελεσματικότητας των ΦΒ συστημάτων είναι η ανάπτυξη τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, με τους ερευνητές να εξετάζουν ποικίλες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων αρχικά των μπαταριών ιόντων λιθίου [3] οι οποίες είναι μια από τις πιο δημοφιλείς τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας κάποιων χαρακτηριστικών. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι διαθέτουν υψηλή απόδοση, καθώς μετατρέπουν μεγάλο ποσοστό της εισερχόμενης ενέργειας σε αποθηκευμένη ενέργεια, παρουσιάζουν μεγάλη διάρκεια ζωής, διατηρώντας την απόδοσή τους σε μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς σημαντική απώλεια απόδοσης ενώ ταυτόχρονα απαιτούν χαμηλή συντήρηση, καθώς δεν απαιτούν συχνές εργασίες συντήρησης σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες μπαταριών, όπως οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως [4], καθιστώντας τις την πρωτεύουσα επιλογή για την αποθήκευση ενέργειας σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ακολούθως, οι τεχνολογίες αποθήκευσης θερμικής ενέργειας είναι άλλος ένας τρόπος αποθήκευσης ενέργειας, βασιζόμενες σε θερμικές διαδικασίες για την αποθήκευση και την απελευθέρωση ενέργειας, με κυριότερη την θερμική αποθήκευση μέσω αποθηκευτών θερμότητας [5], με την θερμική ενέργεια να αποθηκεύεται ως θερμότητα σε ειδικούς αποθηκευτές, όπως θερμικοί ρυπαντές ή θερμικά αποθηκευτικά υλικά, διατηρώντας τη θερμότητα για αρκετό διάστημα πριν απελευθερωθεί και χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή άλλες εφαρμογές, προσφέροντας επιπλέον ευελιξία και αποδοτικότητα στην αποθήκευση ενέργειας, ειδικά όταν η θερμική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί με ευκολία σε μπαταρίες ή άλλες συμβατικές μορφές αποθήκευσης.

Μια άλλη μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας είναι τα υδροδυναμικά [6] συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, τα οποία είναι μια προηγμένη τεχνολογία που βασίζεται στη χρήση υδραυλικών διαδικασιών για την αποθήκευση και απελευθέρωση ενέργειας μέσω της κίνησης του νερού. Στα υδροδυναμικά συστήματα αποθήκευσης, η ενέργεια αποθηκεύεται και απελευθερώνεται μέσω της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε κινητική ενέργεια του νερού, με την διαδικασία να περιλαμβάνει την ανύψωση νερού σε υψηλότερα επίπεδα όταν η ενέργεια είναι διαθέσιμη και την απελευθέρωση όπου η κινητική του ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής ζήτησης. Οι υδροδυναμικοί αποθηκευτές ενέργειας προσφέρουν σημαντικά οφέλη στο σύστημα ενέργειας, όπως η δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας για μεγάλα χρονικά διαστήματα και η απόκριση σε απαιτήσεις αιχμής ζήτησης, χωρίς να επιβαρύνει συνήθως το περιβάλλον με περιβαλλοντικά απόβλητα ή εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σε μεγάλη κλίμακα λόγω της περίπλοκης διαδικασίας, και μεγάλων κατασκευών με αντλίες και φράγματα, συνεπώς δεν είναι δόκιμη σε οικιακά συστήματα. Κάθε τεχνολογία έχει τα πλεονεκτήματά της και τις περιορισμένες της εφαρμογές, και οι ερευνητές μελετούν πώς η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και την οικονομική βιωσιμότητα του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Η διαδικασία σχεδίασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων με μονάδα αποθήκευσης ενέργειας επηρεάζει την απόδοση και την αποτελεσματικότητα του συστήματος σε μεγάλο βαθμό, και κατά τη σχεδίαση τους πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία και την απόδοσή τους με τις μεθοδολογίες σχεδίασης να περιλαμβάνουν την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του συστήματος, την κατάλληλη διάταξη και εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πάνελ, καθώς και την επιλογή και τον συνδυασμό των συστατικών μερών του συστήματος, όπως ο αντιστροφέας και οι μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας. Επιπλέον, η σχεδίαση πρέπει να λάβει υπόψη τις κλιματολογικές [7] συνθήκες της περιοχής, τις ενεργειακές ανάγκες του χρήστη, καθώς και τις νομικές διατάξεις και απαιτήσεις που επηρεάζουν την εγκατάσταση και τη λειτουργία των συστημάτων. Η καλή σχεδίαση εξασφαλίζει τη μέγιστη απόδοση και διάρκεια ζωής του συστήματος, καθώς και την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης.

Η οικονομική βιωσιμότητα και η απόδοση επενδύσεων [8] μελετά το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος σε σχέση με τα οφέλη που παρέχει στον χρήστη. Συνήθως, η οικονομική αξία των φωτοβολταϊκών συστημάτων με μονάδα αποθήκευσης ενέργειας αξιολογείται μέσω της ανάλυσης του κόστους-οφέλους (cost-benefit analysis) και της εκτίμησης του χρόνου επιστροφής της επένδυσης (payback period), περιλαμβάνοντας το κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων, των μπαταριών αποθήκευσης, του εξοπλισμού και των εργασιών εγκατάστασης, καθώς και των αναμενόμενων οφελών σε μορφή εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης των λογαριασμών ενέργειας. Επιπλέον, η ανάλυση της απόδοσης επενδύσεων εστιάζει στον υπολογισμό του εκτιμώμενου κέρδους που προκύπτει από τη λειτουργία του συστήματος σε σχέση με το κόστος της επένδυσης, περιλαμβάνοντας τον υπολογισμό της ετήσιας εξοικονόμησης σε ενέργεια και τον υπολογισμό της αποτίμησης της αύξησης της αξίας του ακινήτου λόγω της εγκατάστασης του συστήματος σε περίπτωση μελλοντικής πώλησης, μετατρέποντας την εγκατάσταση σε επένδυση.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα με μονάδα αποθήκευσης ενέργειας παρέχουν σημαντικά οικονομικά οφέλη [9] με τη μείωση του κόστους ενέργειας και τη βελτίωση της αυτονομίας ενέργειας του χρήστη, καθιστώντας την επένδυσή τους ελκυστική από οικονομική άποψη. Ως αποτέλεσμα, η έρευνα πάνω σε νέες τεχνολογίες και υλικά στον τομέα των φωτοβολταϊκών συστημάτων με μονάδα αποθήκευσης ενέργειας έχει επικεντρωθεί στην αναζήτηση λύσεων που μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητά τους, οδηγώντας στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και υλικών που μπορούν να ενισχύσουν την απόδοση των συστημάτων.

Ένα παράδειγμα νέας τεχνολογίας είναι οι βελτιωμένες φωτοβολταϊκές κυψέλες [10], οι οποίες χρησιμοποιούν προηγμένα υλικά και δομές για να αυξήσουν την απορρόφηση του ηλιακού φωτός και την μετατροπή του σε ηλεκτρική ενέργεια. Παράλληλα, η έρευνα στον τομέα των μπαταριών αποθήκευσης ενέργειας επικεντρώνεται στην ανάπτυξη νέων υλικών μεγάλης απόδοσης και μακράς διάρκειας ζωής, όπως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου ενώ παράλληλα νέες τεχνολογίες όπως τα εύκαμπτα και ανθεκτικά υλικά, καθώς και οι εξελιγμένοι αλγόριθμοι ελέγχου και διαχείρισης, έχουν ως αποτέλεσμα την βελτίωση της

αξιοπιστίας και της απόδοσης των συστημάτων κατά την παραγωγή, την αποθήκευση και τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.

2 Εξαρτήματα Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης

Η ενότητα των εξαρτημάτων φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι απαραίτητη για την σωστή κατανόηση της λειτουργίας και της δομής μιας φωτοβολταϊκής συσκευής, με κάθε εξάρτημα να συμβάλλει στη συνολική απόδοση και αξιοπιστία του συστήματος, με κάθε ένα να διαδραματίζει τον δικό του ξεχωριστό ρόλο. Στο παρόν κεφάλαιο, θα εξεταστούν και θα αναλυθούν τα κύρια εξαρτήματα που απαιτούνται για την εγκατάσταση μιας φωτοβολταϊκής συσκευής, με κάθε ένα από αυτά τα εξαρτήματα να έχει τη δική του σημασία και λειτουργία, και η κατανόηση της λειτουργίας τους να χρειάζεται για τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση ενός αποτελεσματικού φωτοβολταϊκού συστήματος.

2.1 Φωτοβολταϊκά πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η κυριότερη τεχνολογία για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια, με την βασική τους λειτουργία να βασίζεται στο φαινόμενο της φωτοηλεκτρικής αντίδρασης, όπου η ηλιακή ακτινοβολία ενεργοποιεί ηλεκτρόνια σε ένα ηλιακό κύτταρο, προκαλώντας τη ροή τους πάνω στον αγωγό, δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα [11]. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν ευρεία εφαρμογή σε διάφορους τομείς, όπως η οικιακή και επαγγελματική χρήση, οι αγροτικές εκμεταλλεύσεις, οι βιομηχανικές εγκαταστάσεις και οι αστικές υποδομές, με την συνεχή ανάπτυξη και την βελτίωση της τεχνολογίας φωτοβολταϊκών κυττάρων να έχει οδηγήσει σε αυξημένη απόδοση και μειωμένο κόστος, καθιστώντας τα ολοένα και πιο ανταγωνιστικά σε σχέση με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας.



Εικόνα 2.1 Μονοκρυσταλλικό Φωτοβολταϊκό πάνελ [32]

Οι αρχές λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων βασίζονται στο φαινόμενο της φωτοηλεκτρικής αντίδρασης, το οποίο είναι η δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας και συμβαίνει στα φωτοβολταϊκά κύτταρα, τα οποία αποτελούνται από ημιαγωγικά υλικά και περιέχουν επικαλυμμένες στρώσεις ημιαγωγών υλικών, συνήθως πυριτίου (silicon), που δημιουργούν μια διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλευρών τους. Κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, η ενέργεια των φωτονίων απορροφάται από τα ημιαγωγικά υλικά, με αποτέλεσμα να προκαλείται η απελευθέρωση ηλεκτρονίων, με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να δημιουργούν ένα ρεύμα ηλεκτρονίων, το οποίο μπορεί να απορροφηθεί από ένα κύκλωμα και να προκαλέσει ηλεκτρική τάση, παράγοντας την ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει ηλεκτρικές συσκευές ή να αποθηκευτεί για μετέπειτα χρήση [12].

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούν το βασικό στοιχείο των φωτοβολταϊκών συστημάτων και συνδέονται άμεσα με την απόδοση και την αξιοπιστία του συστήματος, με τα υλικά και την δομή των φωτοβολταϊκών πλαισίων να είναι σημαντικά για την αποτελεσματική λειτουργία τους και την αντοχή τους στις κλιματολογικές συνθήκες. Αρχικά είναι κατασκευασμένα από διάφορα υλικά, και ακολουθούν διαφορετική δομή.

1. Υλικά:

- Αλουμίνιο που συχνά χρησιμοποιείται για την κατασκευή του πλαισίου λόγω της ανθεκτικότητάς του στη διάβρωση και τη σχετικά ελαφριά του βάρους.
- Ανοξείδωτο χάλυβα, παρέχει αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περισσότερα ανθεκτικά συστήματα.
- Γαλβανιζέ χάλυβα, με τον φθοριούχο γαλβανισμό του χάλυβα προσφέρει προστασία από τη διάβρωση και την καταστροφή από τα στοιχεία της φύσης.
- Πολυκαρβονικό (PC) ή άλλα πλαστικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την προστασία των φωτοβολταϊκών κυττάρων και των συστημάτων από την επιβλαβή επίδραση των στοιχείων.

2. Δομή:

- Πλαίσιο, το οποίο είναι και ο σκελετός του πλαισίου συνδέει και υποστηρίζει τα φωτοβολταϊκά κύτταρα και τα υπόλοιπα εξαρτήματα του συστήματος.
- Κρύσταλλο προστασίας το οποίο τοποθετείται πάνω από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα για προστασία από τις καιρικές συνθήκες και τη φθορά.
- Συνδετήρες που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των φωτοβολταϊκών κυττάρων μεταξύ τους και με τον αντιστροφέα.

Η επιλογή των κατάλληλων υλικών και της κατάλληλης δομής επηρεάζει την μακροπρόθεσμη απόδοση και αξιοπιστία του φωτοβολταϊκού συστήματος.

2.2 Μπαταρίες

Οι μπαταρίες παρέχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για μετέπειτα χρήση, καθιστώντας τις πολύ σημαντικές, καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς συλλέκτες εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία διακυμαίνεται ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την εποχή

και τις καιρικές συνθήκες. Με τη χρήση μπαταριών, η ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να αποθηκευτεί και να χρησιμοποιηθεί κατά τις περιόδους που δεν υπάρχει αρκετός ήλιος, όπως τη νύχτα ή κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων ημερών, βοηθώντας στην εξασφάλιση σταθερής παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και εξασφαλίζει τη λειτουργία του συστήματος ακόμη και όταν οι συνθήκες φωτοβολταϊκής παραγωγής δεν είναι ιδανικές [13].

Επιπλέον, η χρήση μπαταριών συμβάλλει στη μείωση του κόστους ενέργειας, καθώς επιτρέπει την αποθήκευση ενέργειας κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης και τη χρήση της κατά τις περιόδους αιχμής ζήτησης, κατά τις οποίες οι τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλές, επιτρέποντας στους ιδιοκτήτες να εκμεταλλευτούν την αποθηκευμένη ενέργεια και να μειώσουν το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο [14].



Εικόνα 2.2 Μπαταρίες Φωτοβολταϊκών συστημάτων [33]

Οι δύο κύριοι τύποι μπαταριών που συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος και οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, με τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος να είναι παραδοσιακές και οικονομικές, προσφέροντας αξιόπιστη αποθήκευση ενέργειας και είναι κατάλληλες για εφαρμογές μεσαίου έως χαμηλού κόστους. Αντίθετα, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου διαθέτουν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, ενώ είναι ελαφρύτερες και πιο αποδοτικές στη φόρτιση και εκφόρτιση. Εκτός από τους παραπάνω, υπάρχουν και άλλοι τύποι μπαταριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου (NiCd) [15] και νικελίου-μεταλλικού υδριδίου (NiMH) [16], με κάθε μια να προσφέρει τα δικά της πλεονεκτήματα και χαρακτηριστικά, με την τελική επιλογή του τύπου μπαταρίας να εξαρτάται από τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές κάθε συγκεκριμένης εφαρμογής.

Η απόδοση και η διάρκεια ζωής των μπαταριών επηρεάζουν την αποτελεσματική λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος, και κατά την ανάλυση της απόδοσης και της διάρκειας ζωής των διαφόρων τύπων μπαταριών, λαμβάνονται υπόψη πολλοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του συστήματος. Καταρχάς, η απόδοση των μπαταριών διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας [17] και τις συνθήκες λειτουργίας, με παράδειγμα τις μπαταρίες ιόντων λιθίου που είναι γνωστές για την υψηλή τους απόδοση και μεγάλη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών, όπως οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Επιπλέον, οι συνθήκες λειτουργίας επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση των μπαταριών με παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η συχνότητα εκφόρτισης να μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση και τη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας. Τέλος, η ανάλυση της απόδοσης και της διάρκειας ζωής των μπαταριών πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις τεχνικές προδιαγραφές και τις κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς η επιλογή της κατάλληλης μπαταρίας επηρεάζει σημαντικά τη συνολική απόδοση και αποδοτικότητα του συστήματος

Υπάρχουν πολλά κριτήρια τα οποία πρέπει να μελετηθούν για την σωστή επιλογή των μπαταριών με σκοπό την εξασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης και αξιοπιστίας του συστήματος με ορισμένα από τα κύρια κριτήρια να περιλαμβάνουν τα παρακάτω. Αρχικό μέλημα είναι η επιλογή του κατάλληλου τύπου μπαταρίας που εξαρτάται από τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του φωτοβολταϊκού συστήματος, με δημοφιλείς τύποι μπαταριών να περιλαμβάνουν τις μπαταρίες μολύβδου-οξέος και τις μπαταρίες ιόντων λιθίου. Επόμενη επιλογή είναι η χωρητικότητα της μπαταρίας, η οποία πρέπει να είναι επαρκής για να καλύψει τις ανάγκες ενέργειας του συστήματος κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Επόμενο μέλημα είναι η αναμενόμενη διάρκεια ζωής της μπαταρίας που είναι σημαντική για τη μακροπρόθεσμη απόδοση και την οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος, συνεπώς πρέπει να ληφθεί υπόψη η αναμενόμενη διάρκεια ζωής και ο κύκλος φόρτισης/εκφόρτισης της μπαταρίας. Τελικό κριτήριο για την επιλογή της σωστής μπαταρίας, είναι η απόδοση της μπαταρίας κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση που πρέπει να είναι αρκετά υψηλή για να εξασφαλίσει την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος. Όσον αφορά τη διασύνδεση των μπαταριών, είναι σημαντικό να τονιστεί η σωστή εγκατάσταση και σύνδεση τους με το

φωτοβολταϊκό σύστημα και τον αντιστροφέα, το οποίο περιλαμβάνει την κατάλληλη επιλογή και τοποθέτηση των καλωδίων, καθώς και τη διαμόρφωση ενός ασφαλούς και αποτελεσματικού συστήματος διασύνδεσης που θα εξασφαλίζει τη σταθερή λειτουργία του συστήματος και τη μακροζωία των μπαταριών.

Η σωστή συντήρηση των μπαταριών είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της απόδοσής τους σε υψηλά επίπεδα κατά την χρήση με τα χρόνια καθώς και τη μακροζωία τους, με ορισμένες οδηγίες για τη συντήρηση να παρουσιάζονται ακολούθως, ξεκινώντας με την παρακολούθηση της φόρτισης των μπαταριών να διασφαλίζει ότι οι μπαταρίες φορτίζονται στο σωστό επίπεδο, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις οδηγίες του κατασκευαστή, με τις υπερφορτίσεις και τις υποφορτίσεις να πρέπει να αποφεύγονται, καθώς οδηγούν σε πρόωρη φθορά της μπαταρίας και μειώνουν την απόδοσή της. Η παρακολούθηση της φόρτισης μπορεί να πραγματοποιείται μέσω ειδικών μέτρησης και ελέγχου που ενσωματώνονται στο σύστημα, με την χρήση αυτόματων συστημάτων ελέγχου φόρτισης να εξασφαλίζει ότι οι μπαταρίες φορτίζονται με ακρίβεια και ασφάλεια.

Ο καθαρισμός των πόλων των μπαταριών αποτελεί σημαντικό βήμα για τη διατήρηση της απόδοσης και της διάρκειας ζωής τους σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, με τη σκόνη, τη βρωμιά να επηρεάσουν την ικανότητα φόρτισης και εκφόρτισης των μπαταριών, μειώνοντας έτσι την απόδοσή τους. Για να διατηρηθεί η καλή κατάσταση των μπαταριών, είναι σημαντικό να καθαρίζονται τακτικά με κατάλληλα μέσα, με χρήση ηπίου καθαριστικού και νερού για την απομάκρυνση της σκόνης και της βρωμιάς από τις επιφάνειες των μπαταριών, επιτρέποντας έτσι την αποτελεσματική λειτουργία τους, με την επαναλαμβανόμενη επιθεώρηση των μπαταριών για την ανίχνευση ενδεχόμενων σημείων φθοράς ή διαρροής να είναι σημαντική για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της απόδοσής τους.

Η παρακολούθηση των επιπέδων υγρού στις μπαταρίες ιδιαίτερα στην περίπτωση των μπαταριών μολύβδου-οξέος, αποτελεί ουσιώδη διαδικασία, διότι η έλλειψη υγρού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική ζημιά και μείωση της απόδοσης. Κατά την επίσκεψη για συντήρηση, απαιτείται ο τακτικός έλεγχος των επιπέδων υγρού στις μπαταρίες και η προσθήκη νερού όταν κριθεί απαραίτητο, πάντα με προσοχή ώστε να μην υπερβεί το επίπεδο του υγρού, συμβάλλοντας στη διατήρηση της απόδοσης των μπαταριών και

αποτρέπει προβλήματα φόρτισης και εκφόρτισης, ενώ παράλληλα η παρακολούθηση των επιπέδων υγρού μπορεί να υποδείξει πιθανά προβλήματα με το σύστημα φόρτισης ή με τις ίδιες τις μπαταρίες, επιτρέποντας έτσι την άμεση αντίδραση για την αντιμετώπισή τους και τη διατήρηση της καλής λειτουργίας του συστήματος.

Επόμενο σημαντικό βήμα είναι ο έλεγχος των συνδέσεων των μπαταριών και πρέπει να πραγματοποιείται τακτικά για την πιθανή ανίχνευση φθορών ή διαρροών, με στόχο τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ομαλής λειτουργίας του συστήματος. Εάν παρουσιαστεί οποιαδήποτε δυσλειτουργία ή ένδειξη προβλήματος στις συνδέσεις, πρέπει να πραγματοποιείται άμεση επισκευή ή αντικατάσταση των ελαττωματικών σημείων, προκειμένου να διατηρηθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος και να αποφευχθούν πιθανοί κίνδυνοι ασφάλειας ή περαιτέρω ζημιές. Με τη συνεχή και σωστή παρακολούθηση και την τήρηση των οδηγιών συντήρησης, οι μπαταρίες διατηρούν την απόδοσή τους και έχουν μια μακρά διάρκεια ζωής, εξασφαλίζοντας τη σταθερή λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Επόμενος παράγοντας είναι η ασφάλεια και αποτελεί απαραίτητη ενέργεια για την σωστή χρήση και αποθήκευση των μπαταριών σε φωτοβολταϊκά συστήματα, ενώ είναι σημαντικό να ληφθούν συγκεκριμένα μέτρα για τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας και την προστασία από ενδεχόμενους κινδύνους, και μερικά από τα κύρια μέτρα ασφαλείας παρουσιάζονται παρακάτω.

Η εγκατάσταση συστημάτων ασφαλείας περιλαμβάνουν διάφορους αισθητήρες και ανιχνευτές που μπορούν να ανιχνεύσουν ενδεχόμενες απειλές, όπως η παρουσία καπνού, αερίων ή πυρκαγιάς, με τους αισθητήρες καπνού να ανιχνεύουν την παρουσία καπνού στον αέρα, ενώ οι ανιχνευτές αερίου ανιχνεύουν την παρουσία επικίνδυνων αερίων όπως το μεθάνιο, και οι πυρανιχνευτές είναι σχεδιασμένοι να ανιχνεύουν την παρουσία φωτιάς ή θερμότητας. Η έγκαιρη ανίχνευση των προβλημάτων μπορεί να επιτρέψει την άμεση αντίδραση και τη λήψη απαραίτητων μέτρων προστασίας, όπως η εκκένωση του χώρου ή η κλήση πυροσβεστικών υπηρεσιών ή υπηρεσιών ασφαλείας, με την πρόληψη πυρκαγιών να είναι ιδιαίτερα σημαντική σε φωτοβολταϊκά συστήματα, διότι η φωτιά μπορεί να προκληθεί από διάφορους παράγοντες, όπως βραχυκυκλώματα ή υπερθέρμανση των μπαταριών.

Τέλος, η κατάλληλη τοποθέτηση των μπαταριών είναι απαραίτητη για την ασφάλειά τους και την πρόληψη πυρκαγιών, με τις μπαταρίες να πρέπει να τοποθετούνται σε χώρους με επαρκή αερισμό, προκειμένου να αποφευχθεί η ενδεχόμενη συγκέντρωση εύφλεκτων αερίων, όπως το υδρογόνο, το οποίο είναι ικανό να οδηγήσει σε έκρηξη, ενώ ταυτόχρονα οι μπαταρίες πρέπει να τοποθετούνται σε ασφαλή απόσταση από εύφλεκτα υλικά και άλλες πηγές θερμότητας, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Είναι απαραίτητο να υπάρχει σεβασμός και συμμόρφωση στις προδιαγραφές και τις οδηγίες του κατασκευαστή κατά την εγκατάσταση και την τοποθέτηση των μπαταριών, για την διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας τους και την προστασία από πιθανούς κινδύνους. Με τη σωστή εφαρμογή των παραπάνω μέτρων, επιτυγχάνεται η ασφαλής χρήση και αποθήκευση των μπαταριών, προστατεύοντας το σύστημα και τους χρήστες από ενδεχόμενους κινδύνους.

2.3 Αντιστροφέας (Inverter)

Ο αντιστροφέας αποτελεί ένα βασικό συστατικό σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα [18], καθώς αναλαμβάνει τον ρόλο της μετατροπής της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ από συνεχές ρεύμα (DC) που παράγεται μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου, σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από το σπίτι ή να διανεμηθεί στο δίκτυο. Ο αντιστροφέας λαμβάνει την ενέργεια σε μορφή DC ρεύματος από τα φωτοβολταϊκά πάνελ και τη μετατρέπει σε εναλλασσόμενο ρεύμα, που είναι συμβατό με τις ανάγκες του ηλεκτρικού δικτύου ή των ηλεκτρικών φορτίων του ακινήτου. Το AC ρεύμα που παράγεται από τον αντιστροφέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας από τα συστήματα φωτισμού, τις συσκευές και τα ηλεκτρικά φορτία του κτιρίου, ή να διανεμηθεί στο δίκτυο του δημόσιου ηλεκτρικού δικτύου, επιτρέποντας την αποτελεσματική χρήση της ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αντιστροφέων που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα, με τους μετατροπείς συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα (DC/AC) να είναι απαραίτητοι σε κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα λόγω της λειτουργίας τους. Οι μετατροπείς DC/AC αποτελούνται από κύκλωμα διόδων, και transistors, και πρώτα δέχονται το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ και στη συνέχεια το

μετατρέπουν σε εναλλασσόμενο ρεύμα, ρυθμισμένο σε κατάλληλη τάση και συχνότητα πριν αποσταλεί στο κύκλωμα του κτιρίου ή στο δίκτυο [19]. Οι μετατροπείς DC/AC συχνά περιλαμβάνουν επιπλέον λειτουργίες όπως η παρακολούθηση και ο έλεγχος της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πάνελ, η προστασία από υπερτάσεις και υποτάσεις, καθώς και η επικοινωνία με συστήματα ελέγχου και παρακολούθησης, συμβάλλοντας στην αποτελεσματική λειτουργία και παρακολούθηση του φωτοβολταϊκού συστήματος.



Εικόνα 2.3 Inverter για χρήση σε αυτόνομα ΦΒ συστήματα [34]

Οι συνολικοί αντιστροφεείς συνήθως διαθέτουν προηγμένες λειτουργίες που επιτρέπουν την αποτελεσματική λειτουργία και παρακολούθηση του φωτοβολταϊκού συστήματος, με μερικές από τις κύριες λειτουργίες που προσφέρουν οι συνολικοί αντιστροφεείς να παρουσιάζονται ακολούθως.

1. Υπάρχει επικοινωνία δικτύου, με τους αντιστροφεείς να είναι σε θέση να επικοινωνούν με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας την αποτελεσματική παραγωγή και διανομή ενέργειας.
2. Υπάρχει παρακολούθηση απόδοσης, με τους αντιστροφεείς συχνά να παρέχουν λειτουργίες παρακολούθησης της απόδοσης του συστήματος, επιτρέποντας στους

χρήστες να παρακολουθούν την παραγωγή ενέργειας και την απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ.

3. Μπορεί να πραγματοποιηθεί σύνδεση με άλλες ηλιακές πηγές ενέργειας, καθώς ορισμένοι αντιστροφείς είναι σχεδιασμένοι για τη σύνδεση με άλλες ηλιακές πηγές ενέργειας, όπως ηλιακούς θερμοσίφωνες, επιτρέποντας την ολοκλήρωση και την αποτελεσματική λειτουργία διαφορετικών ηλιακών συστημάτων.

Μια ακόμα κατηγορία αντιστροφέων είναι οι micro-αντιστροφείς [20] που αποτελούν μια επιλογή για μικρές κλίμακες εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών, όπως οικιακά συστήματα, και αν και είναι μικρότεροι σε μέγεθος και πιο οικονομικοί σε σύγκριση με τους συνολικούς αντιστροφείς, παρέχουν τις βασικές λειτουργίες μετατροπής της ενέργειας από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι βασικές λειτουργίες που παρέχουν οι micro-αντιστροφείς περιλαμβάνουν τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ σε εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο είναι κατάλληλο για χρήση από τις ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού, ενώ ταυτόχρονα, παρέχουν και βασικές λειτουργίες ελέγχου και προστασίας, όπως προστασία από υπερφόρτιση και υποφόρτιση, καθώς και προστασία από βραχυκυκλώματα και υπερθέρμανση. Τέλος, η μικρή τους διάσταση και βάρος τους, τους καθιστούν κατάλληλους για εγκατάσταση σε μικρούς χώρους, όπως σε οικιακά περιβάλλοντα, χωρίς να απαιτούν μεγάλους χώρους για την τοποθέτησή τους, και αποτελούν μια οικονομική και αποτελεσματική επιλογή για οικιακές εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών, παρέχοντας τις απαραίτητες λειτουργίες μετατροπής ενέργειας με αξιοπιστία και αποδοτικότητα.

Η απόδοση και η αποτελεσματικότητα των αντιστροφέων μετριέται συνήθως ως η σχέση μεταξύ της ενέργειας που εξάγεται στο δίκτυο και της ενέργειας που εισέρχεται στον αντιστροφέα από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, με την αποτελεσματικότητα να εκφράζει το ποσοστό της εισερχόμενης ενέργειας που μετατρέπεται σε ενέργεια εξόδου, με τους υψηλής ποιότητας αντιστροφείς συνήθως να έχουν απόδοση πάνω από 95% και αποτελεσματικότητα άνω του 98%, από το οποίο μόνο ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας χάνεται κατά τη μετατροπή από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Ωστόσο, παρότι οι αντιστροφείς έχουν υψηλή απόδοση και αποτελεσματικότητα, είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπόψη η ποιότητα του εξοπλισμού και η συντήρησή τους για τη διατήρηση

αυτών των επιπέδων απόδοσης στο μακροπρόθεσμο, με τους υψηλής ποιότητας αντιστροφείς να είναι απαραίτητη για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας του φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς μειώνουν τις απώλειες ενέργειας και εξασφαλίζουν την αποτελεσματική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια.

Η σχεδίαση και η εγκατάσταση των αντιστροφών απαιτεί να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες, όπως η ισχύς των φωτοβολταϊκών πάνελ που θα συνδεθούν, η απόσταση από τον ηλεκτρικό πίνακα ή το δίκτυο, και οι απαιτήσεις σύνδεσης με άλλα στοιχεία του συστήματος. Όσον αφορά την εγκατάσταση, οι αντιστροφείς πρέπει να τοποθετούνται σε κατάλληλο περιβάλλον που να παρέχει επαρκή ψύξη και αερισμό, προκειμένου να διασφαλιστεί η βέλτιστη λειτουργία τους, ενώ παράλληλα, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απαιτήσεις ασφάλειας και προστασίας από καιρικές συνθήκες και άλλους παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τη λειτουργία των αντιστροφών. Επίσης, πολύ σημαντική είναι η σωστή σύνδεση των αντιστροφών με τα φωτοβολταϊκά πάνελ και το ηλεκτρικό δίκτυο, με γνώση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών προδιαγραφών του εξοπλισμού, καθιστώντας την σωστή τοποθέτηση και σύνδεση των αντιστροφών για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και της αξιοπιστίας του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Η απρόσκοπτη λειτουργία τους και η μακροζωία των αντιστροφών απαιτεί την σωστή συντήρηση [21], με αρχικά τον καθαρισμό των αντιστροφών, ο οποίος πρέπει να γίνεται τακτικά για την απομάκρυνση της σκόνης και της βρωμιάς που μπορεί να επηρεάσει την απόδοσή τους, με εξαρτήματα όπως οι ανεμιστήρες και οι εναλλάκτες θερμότητας πρέπει επίσης να ελέγχονται για να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος ψύξης. Επιπλέον, οι συνδέσεις των καλωδίων πρέπει να ελέγχονται προσεκτικά για ενδεχόμενες διαρροές ή σπασίματα, ενώ η ενημέρωση του λογισμικού πρέπει να γίνεται τακτικά εάν υπάρχουν διαθέσιμες ενημερώσεις για τη βελτίωση της απόδοσης και της ασφάλειας. Επιπλέον, σε περίπτωση προβλημάτων λειτουργίας, η αποσφαλμάτωση πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό για τη διάγνωση και την επισκευή των προβλημάτων και την αποφυγή περαιτέρω προβλημάτων, συμβάλλοντας στην αύξηση της αξιοπιστίας και της διάρκειας ζωής των αντιστροφών, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Η τεχνολογία των αντιστροφών έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με στόχο κυρίως την απόδοση, την αξιοπιστία και την ευκολία χρήσης, με την κυριότερη τάση να είναι η αύξηση της απόδοσης των αντιστροφών μέσω της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών μετατροπής, η οποία οδηγεί σε μεγαλύτερη απόδοση και αποτελεσματικότητα, ενώ παράλληλα η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη αντιστροφών με προηγμένες λειτουργίες, όπως η δυνατότητα παρακολούθησης και ελέγχου μέσω διαδικτύου, επιτρέποντας στους χρήστες να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται την απόδοση του συστήματος από απόσταση, ενώ, η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση βελτιώνει την απόδοση και την αξιοπιστία των αντιστροφών, καθιστώντας τα πιο αποτελεσματικά και προσαρμοστικά στις μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας. Τέλος, έχουν αναπτυχθεί micro-αντιστροφείς, επιτρέποντας την ευρύτερη εφαρμογή της τεχνολογίας σε μικρές κλίμακες εγκαταστάσεις, όπως οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα, προσφέροντας πιο οικονομικές και απλές λύσεις για τους καταναλωτές. Η συνεχόμενη εξέλιξη όλων των παραπάνω αναμένεται να συνεχίσει να διαμορφώνουν τον τομέα των αντιστροφών, προωθώντας την περαιτέρω αύξηση της απόδοσης και της αποτελεσματικότητάς τους.

Η οικονομική ανάλυση [22] είναι το σημαντικό τελευταίο βήμα στην λήψη αποφάσεων σχετικά με την επένδυση στην τεχνολογία των αντιστροφών, με αρχικό ερώτημα το κόστος αγοράς των αντιστροφών, συμπεριλαμβανομένων της εγκατάστασης και των απαραίτητων πρόσθετων εξοπλισμών. Στη συνέχεια, πρέπει να αναλυθούν οι παραγόμενες εξοικονομήσεις ενέργειας που προκύπτουν από τη χρήση των αντιστροφών, οι οποίες προκύπτουν από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα και τη χρήση αυτής της ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου ή του δικτύου, και παράλληλα εκτιμάται η δυνατότητα της επιστροφής του κεφαλαίου (ROI), το οποίο σχετίζεται με τον υπολογισμό του χρόνου αποπληρωμής της επένδυσης και του κέρδους που προκύπτει από τη μείωση των λογαριασμών ενέργειας λόγω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, άλλοι παράγοντες όπως οι φορολογικές ενισχύσεις ή επιδοτήσεις για τις ανανεώσιμες ενέργειες, οι μελλοντικές αυξήσεις του κόστους ενέργειας και οι πιθανές απαιτήσεις για πιστοποιήσεις ή πρότυπα ποιότητας. Όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να εξεταστούν

προσεκτικά προκειμένου να αξιολογηθεί η οικονομική βιωσιμότητα και αποτελεσματικότητα της επένδυσης για την επιλογή του κατάλληλου αντιστροφέα, τόσο σε δυνατότητες όσο και τεχνολογία.

2.4 Ρυθμιστής φόρτισης (Charge Controller)

Ο ρυθμιστής φόρτισης διαχειρίζεται τη φόρτιση των μπαταριών, ενώ παράλληλα εξασφαλίζει την μακροζωία τους, με πρωταρχικό σκοπό του να ελέγχει το ρεύμα που ρέει από τα φωτοβολταϊκά πάνελ προς τις μπαταρίες, ρυθμίζοντας τη φόρτιση ώστε να αποφεύγονται προβλήματα υπερφόρτισης ή υποφόρτισης [23]. Ο ρυθμιστής φόρτισης λειτουργεί παρακολουθώντας την τάση και το ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, καθώς και την κατάσταση φόρτισης των μπαταριών, και με βάση αυτές, ρυθμίζεται το ρεύμα φόρτισης προς τις μπαταρίες, εξασφαλίζοντας ότι αυτές φορτίζονται στον κατάλληλο ρυθμό και ότι δεν υπερφορτίζονται.

Επιπλέον, ο ρυθμιστής φόρτισης προστατεύει από βραχυκυκλώματα και αντιστροφή της ροής ρεύματος από τις μπαταρίες προς τα φωτοβολταϊκά πάνελ, προστατεύοντας έτσι το σύστημα από πιθανά προβλήματα, με προηγμένα μοντέλα ρυθμιστών φόρτισης να μπορούν να προσφέρουν επιπλέον λειτουργίες, όπως παρακολούθηση και επικοινωνία μέσω δικτύου, γεγονός που επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και διαχείριση του φωτοβολταϊκού συστήματος, συμβάλλοντας στη βελτίωση της απόδοσης και της μακροζωίας του φωτοβολταϊκού συστήματος.



Εικόνα 2.4 Ρυθμιστής φόρτισης με θύρες USB [35]

Οι ρυθμιστές φόρτισης χαρακτηρίζονται από διάφορους τύπους, με δύο από τους πιο δημοφιλείς να είναι οι PWM (Pulse Width Modulation) και οι MPPT (Maximum Power Point

Tracking) [24], με τους ρυθμιστές PWM να λειτουργούν με τον έλεγχο του πλάτους του παλμού του ρεύματος που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, παρέχοντας σταθερή τάση εξόδου και ρυθμίζοντας το ρεύμα φόρτισης στις μπαταρίες με βάση την τάση τους. Οι ρυθμιστές PWM είναι απλοί στη λειτουργία τους και συνήθως πιο οικονομικοί σε σύγκριση με τους MPPT, αλλά έχουν χαμηλότερη απόδοση σε συνθήκες με άσχημο καιρό ή μερική σκίαση, καθώς δεν είναι σε θέση να εκμεταλλευτούν πλήρως τη διαθέσιμη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, σε αντίθεση με τους ρυθμιστές MPPT που είναι σχεδιασμένοι να εντοπίζουν το σημείο μέγιστης ισχύος των φωτοβολταϊκών πάνελ και να ρυθμίζουν το ρεύμα φόρτισης ανάλογα, με σκοπό να εξασφαλίσουν τη μέγιστη απόδοση ενέργειας, καθιστώντας τους πιο αποτελεσματικούς από τους PWM, ειδικά σε συνθήκες όπου υπάρχει μεταβαλλόμενη φωτεινότητα ή σκίαση, και μπορούν να προσφέρουν αυξημένη απόδοση και εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά συνήθως είναι πιο ακριβοί σε σύγκριση με τους PWM. Οι διαφορές μεταξύ των δύο τύπων ρυθμιστών βρίσκονται στην τεχνολογία και την απόδοσή τους, καθώς και στην τιμή και την καταλληλότητά τους για συγκεκριμένες εφαρμογές και συνθήκες λειτουργίας.

Ο περιορισμός του ρεύματος φόρτισης χαρακτηριστική λειτουργία των ρυθμιστών φόρτισης σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, καθώς διαχειρίζονται το ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ και καθορίζουν πόσο από αυτό το ρεύμα θα πάει στη φόρτιση των μπαταριών, με τον ρυθμιστή να μπορεί να προσαρμόσει το ρεύμα φόρτισης σύμφωνα με διάφορους παράγοντες, όπως η τρέχουσα κατάσταση των μπαταριών, η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια και άλλες συνθήκες λειτουργίας του συστήματος, επιτρέποντας την αποτελεσματική φόρτιση των μπαταριών, προσφέροντας τους τον απαιτούμενο ρυθμό φόρτισης χωρίς να τις υπερφορτίζει ή να προκαλεί ζημιά, ενώ παράλληλα ο περιορισμός αυτός προστατεύει το σύστημα από υπερφόρτιση σε περιπτώσεις όπου η παραγωγή ενέργειας είναι υψηλή, εξασφαλίζοντας ότι η φόρτιση θα γίνει με βάση τις ανάγκες των μπαταριών, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση και τη διάρκεια ζωής τους.

Μια άλλη σημαντική λειτουργία των ρυθμιστών φόρτισης είναι η αυτόματη προσαρμογή της τάσης που παρέχεται από ορισμένους ρυθμιστές φόρτισης στο πλαίσιο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, επιτρέποντας την αυτόματη προσαρμογή της τάσης

φόρτισης σύμφωνα με τις συνθήκες λειτουργίας και τις απαιτήσεις των μπαταριών [25]. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι συνθήκες φόρτισης μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την ηλιοφάνεια, τη θερμοκρασία και άλλους παράγοντες, ενώ οι ίδιες οι μπαταρίες μπορεί να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις φόρτισης ανάλογα με τον τύπο τους και την κατάστασή τους. Μέσω της αυτόματης προσαρμογής της τάσης φόρτισης, ο ρυθμιστής προσαρμόζει δυναμικά την τάση φόρτισης ώστε να εξασφαλίσει την αποτελεσματική και ασφαλή φόρτιση των μπαταριών, βελτιστοποιώντας τη φόρτιση των μπαταριών ανάλογα με τις συνθήκες, προσφέροντας έτσι βέλτιστη απόδοση και μακροζωία του συστήματος.

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα επικοινωνίας και παρακολούθησης μέσω δικτύου από μερικούς ρυθμιστές φόρτισης, δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να επικοινωνεί με το σύστημα φόρτισης από απόσταση και να παρακολουθεί τη λειτουργία του μέσω κινητού τηλεφώνου ή υπολογιστή. Από την επικοινωνία μέσω δικτύου, ο χρήστης λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος, την κατάσταση των μπαταριών και τη λειτουργία του ρυθμιστή φόρτισης ενώ ακόμα υπάρχει δυνατότητα προγραμματισμού λειτουργιών όπως η ρύθμιση της τάσης φόρτισης, η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση του συστήματος φόρτισης και η διάγνωση πιθανών προβλημάτων. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί την απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος από οπουδήποτε βρίσκεται, να προβαίνει σε ρυθμίσεις και να λαμβάνει άμεσα μέτρα σε περίπτωση προβλημάτων, διευκολύνοντας έτσι τη διαχείριση του συστήματος.

3 Πρόγραμμα Φωτοβολταϊκά στη στέγη

Το πρόγραμμα "Φωτοβολταϊκά στη στέγη" αποτελεί μια σημαντική πρωτοβουλία για την προώθηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε οικιακό επίπεδο. Στόχος του προγράμματος είναι να ενθαρρύνει τους ιδιοκτήτες κατοικιών και μικρών επιχειρήσεων να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά συστήματα στις στέγες τους, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση του ενεργειακού τους κόστους και στην προώθηση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Με την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, το πρόγραμμα όχι μόνο βοηθά στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αλλά προσφέρει και οικονομικά οφέλη στους συμμετέχοντες μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας και της δυνατότητας πώλησης της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο. Το πρόγραμμα "Φωτοβολταϊκά στη στέγη" ανταποκρίνεται στις αυξανόμενες ανάγκες για καθαρή ενέργεια και αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την επίτευξη των εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων για την ενεργειακή μετάβαση και την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής.

Το πρόγραμμα "Φωτοβολταϊκά στη στέγη" είναι μια πρωτοβουλία που αποσκοπεί στην προώθηση της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε οικιακές και μικρές επαγγελματικές στέγες. Το πρόγραμμα υποστηρίζεται από κρατικές επιδοτήσεις και οικονομικά κίνητρα για να ενθαρρύνει τους πολίτες να επενδύσουν στην ηλιακή ενέργεια. Η δομή και ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος περιλαμβάνουν τα εξής βασικά στοιχεία:

1. Αρχικά παρουσιάζονται τα κριτήρια επιλεξιμότητας

- Οι αιτούντες πρέπει να είναι ιδιοκτήτες κατοικιών ή μικρών επιχειρήσεων με διαθέσιμη στέγη κατάλληλη για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος.
- Η στέγη πρέπει να έχει κατάλληλο προσανατολισμό και κλίση για τη βέλτιστη λήψη ηλιακής ακτινοβολίας.
- Απαιτείται να μην υπάρχουν σημαντικές σκιάσεις από δέντρα ή άλλες κατασκευές που θα μειώσουν την αποδοτικότητα του συστήματος.

2. Επόμενο βήμα είναι η διαδικασία εγγραφής

- Υποβολή αίτησης: Οι ενδιαφερόμενοι υποβάλλουν αίτηση μέσω της επίσημης ιστοσελίδας του προγράμματος ή μέσω ειδικά εξουσιοδοτημένων φορέων.
- Αξιολόγηση αιτήσεων: Οι αιτήσεις αξιολογούνται βάσει των κριτηρίων επιλεξιμότητας και εγκρίνονται εφόσον πληρούν τις απαιτούμενες προϋποθέσεις.
- Εγκατάσταση συστήματος: Μετά την έγκριση, ο αιτών συνεργάζεται με πιστοποιημένους εγκαταστάτες για την τοποθέτηση του φωτοβολταϊκού συστήματος.
- Επιθεώρηση και σύνδεση: Το εγκατεστημένο σύστημα επιθεωρείται για να διασφαλιστεί ότι πληροί τα τεχνικά πρότυπα, και στη συνέχεια συνδέεται με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

3. Ακολούθως παρουσιάζονται τα οικονομικά κίνητρα

- Το πρόγραμμα προσφέρει επιδοτήσεις που καλύπτουν μέρος του κόστους εγκατάστασης.
- Παρέχονται επίσης φορολογικά οφέλη και δυνατότητα πώλησης της πλεονάζουσας παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο.

4. Συμβουλευτική υποστήριξη

- Οι συμμετέχοντες λαμβάνουν συμβουλευτική υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, από την αίτηση μέχρι την εγκατάσταση και τη λειτουργία του συστήματος.
- Παρέχονται εκπαιδευτικά σεμινάρια και οδηγίες για την ορθή χρήση και συντήρηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Το πρόγραμμα "Φωτοβολταϊκά στη στέγη" έχει σχεδιαστεί για να είναι προσβάσιμο και να παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία και υποστήριξη στους πολίτες, με σκοπό να προωθήσει

τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να συμβάλλει στη μείωση του ενεργειακού αποτυπώματος της χώρας.

Οικονομικά οφέλη

Πρώτον, η συμμετοχή στο πρόγραμμα οδηγεί σε μείωση του λογαριασμού της ηλεκτρικής ενέργειας, με τους συμμετέχοντες να μπορούν να παράγουν τη δική τους ηλεκτρική ενέργεια, μειώνοντας σημαντικά ή ακόμα και μηδενίζοντας τον μηνιαίο λογαριασμό τους, και παράλληλα με το πρόγραμμα να παρέχει οικονομική υποστήριξη μέσω επιδοτήσεων καλύπτοντας μέρος του κόστους εγκατάστασης, καθώς και φορολογικές εκπτώσεις που μειώνουν το αρχικό κόστος επένδυσης. Επίσης, οι συμμετέχοντες έχουν τη δυνατότητα να πωλούν την πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια πίσω στο δίκτυο, δημιουργώντας μια επιπλέον πηγή εισοδήματος, με την αρχική επένδυση σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα να μπορεί να αποσβεστεί μέσα σε λίγα χρόνια λόγω της εξοικονόμησης στο κόστος ενέργειας και των εισοδημάτων από την πώληση της πλεονάζουσας ενέργειας.

Περιβαλλοντικά οφέλη

Η χρήση ανανεώσιμης ηλιακής ενέργειας μειώνει την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, συμβάλλοντας στη μείωση των εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η συμμετοχή στο πρόγραμμα συμβάλλει στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και στη μετάβαση σε καθαρότερες μορφές ενέργειας, υποστηρίζοντας τους εθνικούς και διεθνείς στόχους για την κλιματική αλλαγή. Τέλος, με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, οι συμμετέχοντες μειώνουν το ενεργειακό τους αποτύπωμα και ενισχύουν την ενεργειακή αυτάρκεια της χώρας.

Συνολικά, το πρόγραμμα "Φωτοβολταϊκά στη στέγη" προσφέρει μια μοναδική ευκαιρία στους συμμετέχοντες να επωφεληθούν από οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα, ενθαρρύνοντας παράλληλα τη χρήση καθαρών, ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμβάλλοντας στη μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

3.1 Διαδικασία συμμετοχής

Η διαδικασία συμμετοχής στο πρόγραμμα "Φωτοβολταϊκά στη στέγη" περιλαμβάνει διάφορα βήματα, που είναι σχεδιασμένα να διασφαλίσουν την ορθή εφαρμογή και αξιοποίηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, και παρακάτω θα παρουσιαστούν τα βήματα, με την συμμετοχή στο πρόγραμμα "Φωτοβολταϊκά στη στέγη" να είναι μια οργανωμένη διαδικασία που διασφαλίζει την επιτυχή εγκατάσταση και λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων, προσφέροντας οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη στους συμμετέχοντες.

1. Ο ενδιαφερόμενος πρέπει αρχικά να υποβάλει μια αίτηση συμμετοχής στο πρόγραμμα, η οποία περιλαμβάνει προσωπικά στοιχεία, πληροφορίες σχετικά με την ιδιοκτησία και τις τρέχουσες ενεργειακές ανάγκες, και συχνά υπάρχει η απαίτηση να συμπεριληφθούν και τεχνικά στοιχεία σχετικά με τη στέγη ή την επιφάνεια όπου θα εγκατασταθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ.
2. Μετά την υποβολή της αίτησης, ακολουθεί η διαδικασία αξιολόγησης, με τους αρμόδιους φορείς να εξετάζουν τις αιτήσεις για να διασφαλίσουν ότι πληρούν τα κριτήρια επιλεξιμότητας του προγράμματος, τα οποία περιλαμβάνουν την καταλληλότητα της τοποθεσίας, τη δομική επάρκεια της στέγης και άλλες τεχνικές παραμέτρους.
3. Αν η αίτηση εγκριθεί, διεξάγεται μια λεπτομερής τεχνική μελέτη της εγκατάστασης, περιλαμβάνοντας την ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται στην περιοχή, τον προσδιορισμό του βέλτιστου μεγέθους και τύπου των φωτοβολταϊκών πάνελ και την εκτίμηση της προβλεπόμενης παραγωγής ενέργειας, καθορίζοντας επίσης τη δομική καταλληλότητα της στέγης και την ασφάλεια της εγκατάστασης.
4. Με βάση την τεχνική μελέτη, επιλέγεται ο κατάλληλος εξοπλισμός, τα φωτοβολταϊκά πάνελ, τον αντιστροφέα, το σύστημα στήριξης και τα λοιπά εξαρτήματα, με τους συμμετέχοντες να λαμβάνουν προτάσεις από εγκεκριμένους προμηθευτές ή να επιλέξουν τους δικούς τους.
5. Η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος πραγματοποιείται από εξειδικευμένο και πιστοποιημένο συνεργείο, με την τοποθέτηση των πάνελ, τη

σύνδεση του αντιστροφέα και την ενσωμάτωση του συστήματος στο υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο της κατοικίας, ενώ κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, γίνονται όλοι οι απαραίτητοι έλεγχοι για να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η λειτουργικότητα του συστήματος.

6. Μετά την εγκατάσταση, το σύστημα ενεργοποιείται και αρχίζει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τον χρήστη να παρακολουθεί την απόδοση του συστήματος μέσω των διαθέσιμων εργαλείων παρακολούθησης, που συχνά παρέχονται από τον κατασκευαστή ή τον προμηθευτή του εξοπλισμού.
7. Τέλος, οι συμμετέχοντες στο πρόγραμμα λαμβάνουν οδηγίες για τη συντήρηση του συστήματος και την αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων, με τα φωτοβολταϊκά συστήματα να απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, αλλά είναι σημαντικό να γίνονται τακτικοί έλεγχοι για να διασφαλιστεί η βέλτιστη απόδοσή τους.

4 Λογισμικό για την μελέτη Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης

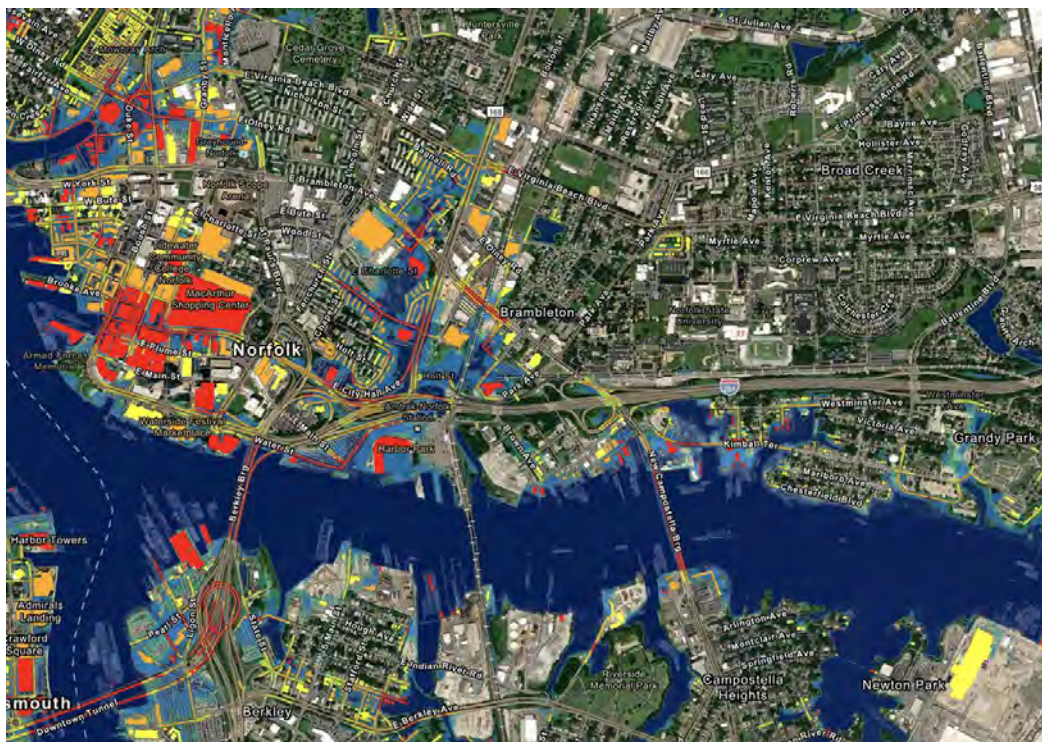
4.1 PVGIS

Το Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [26] είναι ένα εργαλείο που παρέχει πληροφορίες σχετικά με το δυναμικό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα σε διάφορες περιοχές του κόσμου και αναπτύχθηκε από το Κέντρο Ενέργειας (JRC) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ενώ είναι και θα παραμείνει διαθέσιμο δωρεάν στο διαδίκτυο. Παρέχει διάφορα εργαλεία και λειτουργίες που επιτρέπουν στους χρήστες να υπολογίζουν την προβλεπόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα, περιλαμβάνοντας χάρτες ηλιακής ακτινοβολίας, προβλέψεις παραγωγής ενέργειας για διάφορες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών, καθώς και εκτιμήσεις της ετήσιας και μηνιαίας παραγωγής ενέργειας. Με βάση τη γεωγραφική θέση και τα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού συστήματος, το PVGIS παρέχει εκτιμήσεις για την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή, την παραγωγή ενέργειας που αναμένεται από το σύστημα, και άλλες σχετικές πληροφορίες, χρήσιμες για τον προγραμματισμό, το σχεδιασμό και την αξιολόγηση φωτοβολταϊκών έργων.

Τα κύρια χαρακτηριστικά λειτουργίας και οι ρόλοι του PVGIS είναι ποικίλοι και παρακάτω θα γίνει μια παρουσίαση αυτών, με αρχικά τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι απαραίτητος για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, με το PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) να προσφέρει πληροφορίες για την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει σε κάθε περιοχή, βασιζόμενο σε δεδομένα από δορυφορικές μετρήσεις και μετεωρολογικά μοντέλα, λαμβάνοντας υπόψη πολλούς παράγοντες, όπως η γεωγραφική θέση, το κλίμα και η τοπογραφία της περιοχής. Η γεωγραφική θέση επηρεάζει τη γωνία του ηλίου και, συνεπώς, την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος, ενώ το κλίμα και η τοπογραφία επηρεάζουν αντίστοιχα τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις φυσικές σκιάσεις, που εμποδίζουν ή βοηθούν τη διανομή της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι πληροφορίες που παρέχονται από το PVGIS είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων,

καθώς βοηθούν τους χρήστες να λάβουν αποφάσεις σχετικά με την τοποθεσία και την απόδοση των συστημάτων τους στην φάση του σχεδιασμού.

Μέσω του PVGIS πραγματοποιείται εκτίμηση της παραγωγής ενέργειας [27], που είναι απαραίτητο κατά τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση φωτοβολταϊκών συστημάτων, με τους χρήστες να μπορούν να υπολογίσουν την προβλεπόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα σε διάφορες συνθήκες, βάσει των πληροφοριών που παρέχονται για την ηλιακή ακτινοβολία και τις μετεωρολογικές συνθήκες σε κάθε περιοχή. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, υπάρχει δυνατότητα για την προσομοίωση της αναμενόμενης παραγωγής ενέργειας για διάφορες περιόδους του έτους, λαμβάνοντας υπόψη τις εποχιακές μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία και τις μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό και τον προϋπολογισμό των φωτοβολταϊκών έργων, καθώς επιτρέπουν στους χρήστες να προβλέψουν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα του συστήματός τους σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας.



Εικόνα 4.1 Παράδειγμα χρήσης PVGIS [36]

Μια ακόμα δυνατότητα του PVGIS είναι η παροχή γεωγραφικών πληροφοριών, με τους χρήστες να έχουν πρόσβαση σε διάφορους χάρτες και πληροφορίες σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία και την προβλεπόμενη παραγωγή ενέργειας, το οποίο είναι αναγκαίο για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των φωτοβολταϊκών έργων. Οι χάρτες ηλιακής ακτινοβολίας παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε διάφορες περιοχές και την εποχιακή της μεταβολή, ιδιαίτερα χρήσιμο για την επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για φωτοβολταϊκά έργα, καθώς και για τον υπολογισμό της αναμενόμενης παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, οι πληροφορίες προβλεψιμότητας παραγωγής ενέργειας παρέχουν δεδομένα σχετικά με την προβλεπόμενη παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας, καθοριστικές για την αξιολόγηση της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε διάφορες περιοχές και για τον σχεδιασμό της εγκατάστασής τους.

Το PVGIS επίσης παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα να διαμορφώσουν σχέδια για την εγκατάσταση και τον σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων με μέγιστη αποδοτικότητα, βασιζόμενοι στις πληροφορίες που παρέχονται, επιτρέποντάς τους να

δημιουργήσουν σχέδια που λαμβάνουν υπόψη την ηλιακή ακτινοβολία, την προβλεπόμενη παραγωγή ενέργειας και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος. Με βάση τις πληροφορίες που παρέχονται από το PVGIS, οι χρήστες εκτιμούν την κατάλληλη τοποθεσία για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων τους, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωγραφική θέση, την τοπική κλιματολογία και άλλους παράγοντες, ενώ παράλληλα έχουν την δυνατότητα να προσομοιώσουν την προβλεπόμενη παραγωγή ενέργειας και να προσαρμόσουν το μέγεθος και τη διάταξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων προκειμένου να επιτύχουν τον βέλτιστο σχεδιασμό, δημιουργώντας αποτελεσματικά σχέδια για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων που θα εξασφαλίσουν τη μέγιστη απόδοση και αποτελεσματικότητα.

Η οικονομική ανάλυση [28] που παρέχεται μέσω του PVGIS επιτρέπει στους χρήστες να πραγματοποιήσουν διεξοδική οικονομική ανάλυση της επένδυσής τους σε φωτοβολταϊκά συστήματα, εκτιμώντας το κόστος εγκατάστασης του συστήματος, τις αναμενόμενες εξοικονομήσεις ενέργειας και το χρόνο επιστροφής του κεφαλαίου, πολύ σημαντικό για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την επένδυση σε φωτοβολταϊκά συστήματα και την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου. Η οικονομική ανάλυση περιλαμβάνει επίσης τον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) και του εσωτερικού ρυθμού απόδοσης (IRR), τα οποία αξιολογούν την απόδοση της επένδυσης σε σχέση με το κόστος του κεφαλαίου και τις μελλοντικές εξοικονομήσεις ενέργειας, δίνοντας την δυνατότητα στους χρήστες να λάβουν ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις οικονομικές παραμέτρους και την αναμενόμενη απόδοση της επένδυσής τους.

Τέλος, όσον αφορά τα μετεωρολογικά δεδομένα, η εφαρμογή του PVGIS στα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχει στους χρήστες πολύτιμες πληροφορίες και εργαλεία που τους επιτρέπουν να λάβουν ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με την εφαρμογή της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών, μέσω του υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε κάθε περιοχή, βασιζόμενος σε δεδομένα από δορυφορικές μετρήσεις και μετεωρολογικά μοντέλα, επιτρέποντας την εκτίμηση της ποσότητας της ηλιακής ενέργειας που είναι διαθέσιμη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή. Επιπλέον, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το PVGIS για να εκτιμήσουν την προβλεπόμενη

παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα σε διάφορες συνθήκες, βοηθώντας στην κατανόηση της απόδοσης των συστημάτων σε διαφορετικά σενάρια και τον προγραμματισμό ανάλογα των εγκαταστάσεων τους. Τέλος, οι γεωγραφικές πληροφορίες που παρέχονται από το PVGIS επιτρέπουν στους χρήστες να προβάλουν χάρτες ηλιακής ακτινοβολίας και προβλεψιμότητας παραγωγής ενέργειας, χρήσιμο για το σχεδιασμό και την αξιολόγηση των φωτοβολταϊκών έργων, καθώς επιτρέπει την επιλογή των κατάλληλων τοποθεσιών και την πρόβλεψη της απόδοσης των εγκαταστάσεων.

Πιο επιγραμματικά η πρακτική χρήση του PVGIS προσφέρει στους χρήστες πολλές δυνατότητες και εφαρμογές, αρκεί να ακολουθηθούν κάποιες οδηγίες που παρουσιάζονται παρακάτω.

1. Δίνεται η δυνατότητα για σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων, με τους χρήστες να μπορούν να χρησιμοποιήσουν το PVGIS για τον σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων σε διάφορες τοποθεσίες, και ανάλογα με τις γεωγραφικές πληροφορίες και την ηλιακή ακτινοβολία, αξιολογείται η απόδοση και η επικείμενη παραγωγή ενέργειας.
2. Είναι δυνατή η εκτίμηση απόδοσης συστημάτων, με τους επαγγελματίες του φωτοβολταϊκού κλάδου να χρησιμοποιούν το PVGIS για την εκτίμηση της απόδοσης φωτοβολταϊκών συστημάτων πριν από την εγκατάστασή τους, συμβάλλοντας στην κατανόηση της αναμενόμενης παραγωγής ενέργειας και στην ανάπτυξη βιώσιμων επιχειρηματικών σχεδίων.
3. Υπάρχει αξιολόγηση ηλιοφάνειας για εγκαταστάσεις, με τους εγκαταστάτες να μπορούν να χρησιμοποιούν το PVGIS για να αξιολογήσουν την ηλιοφάνεια σε διάφορες τοποθεσίες πριν από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, βοηθώντας στην επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας.
4. Τέλος, γίνεται σχεδιασμός εγκαταστάσεων και έργων, με τους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς να χρησιμοποιούν το PVGIS για το σχεδιασμό φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων σε κτίρια και σε μεγάλης κλίμακας έργα, με τις γεωγραφικές

πληροφορίες και τα δεδομένα για την ηλιακή ακτινοβολία να βοηθούν στην αποτελεσματική οργάνωση και σχεδιασμό των έργων.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν επιγραμματικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του PVGIS, με σκοπό την καθοδήγηση των χρηστών για τα δυνατά και αδύνατα σημεία του προγράμματος.

Πλεονεκτήματα του PVGIS

1. Το PVGIS παρέχει δωρεάν πρόσβαση σε δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και παραγωγής ενέργειας, καθιστώντας το ένα πολύτιμο εργαλείο για επαγγελματίες και ερευνητές στον τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας.
2. Τα δεδομένα που παρέχει το PVGIS είναι αξιόπιστα και ενημερωμένα, καθώς βασίζονται σε εκτεταμένες δορυφορικές μετρήσεις και μετεωρολογικά μοντέλα.
3. Καλύπτει μεγάλο εύρος γεωγραφικών περιοχών, επιτρέποντας στους χρήστες από διάφορα μέρη του κόσμου να αξιολογήσουν την ηλιακή δυναμική της περιοχής τους.

Μειονεκτήματα του PVGIS

1. Υπάρχει περιορισμένη Ευαισθησία στην Τοπική Ατμόσφαιρα, με το PVGIS να μπορεί να παρουσιάσει περιορισμένη ακρίβεια σε περιοχές με πολύπλοκη τοπική ατμόσφαιρα ή ανωμαλίες στη γεωμορφολογία.
2. Περιορισμένη Διαθεσιμότητα Δεδομένων Ιστορικού, με τις πληροφορίες του PVGIS να μην είναι πάντα διαθέσιμες για ιστορικές περιόδους, κάτι που μπορεί να περιορίσει την ακρίβεια των αναλύσεων για παλαιότερα δεδομένα.
3. Τέλος, ενώ το PVGIS παρέχει προβλέψεις με υψηλή ακρίβεια, είναι σημαντικό να επιβεβαιώνονται τα δεδομένα με τοπικές μετρήσεις και παρατηρήσεις για τη συγκεκριμένη περιοχή.

4.2 Πρόγραμμα σε Python

Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε σε Python αξιοποιεί την API (Application Programming Interface) του PVGIS για να αντλήσει δεδομένα σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία και την παραγωγή ενέργειας σε συγκεκριμένες γεωγραφικές τοποθεσίες, και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό και τον σχεδιασμό φωτοβολταϊκών συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η γεωγραφική θέση, οι μετεωρολογικές συνθήκες και οι τεχνικές προδιαγραφές του συστήματος.

Το πρόγραμμα παράγει δεδομένα και γραφήματα που αναπαριστούν την προβλεπόμενη παραγωγή ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα, λαμβάνοντας υπόψη την ηλιακή ακτινοβολία και άλλους παράγοντες, ενώ επιπλέον παρέχει αριθμητικές τιμές που αφορούν την παραγωγή ενέργειας, την απόδοση του συστήματος και άλλες σχετικές πληροφορίες που είναι χρήσιμες για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

```

# built-in python modules
import os
import inspect

# scientific python add-ons
import numpy as np
import pandas as pd

# plotting stuff
# first line makes the plots appear in the notebook
%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib as mpl

# we import the pvlib library
import pvlib
import pvlib.pvsystem as pvsystem

# finally adding API libraries for PVGIS mining
import urllib.request, urllib.parse, urllib.error
# Αρχικά Δεδομένα
lati = 35.511093
long = 24.144419
tizo = "Europe/Athens"
name = "Sternes Chania"
surface_tilt = 30
surface_azimuth = 180 # Η pvlib χρησιμοποιεί 0=North, 90=East, 180=South,
270=West κατά συνθήκη.
albedo = 0.25
year = '2023-01-01'
# We generate an hourly datetime index for the current year
y = pd.date_range(year, periods=8760, freq='60T')

# We connect to PVGIS API and download the relevant data
time.UTC, T2m, RH, GHI, DNI, DHI, IR_h, WS10m, WD10m, SP = ([ for i in
range(10))
fhand =
urllib.request.urlopen(f'https://re.jrc.ec.europa.eu/api/tmy?lat={lati}&lon={long}')
for line in fhand:
    line = line.decode()
    if line.startswith("Elevation"):
        e = line.split(':')
        elevation = float(e[1])
    if line.startswith("20"):

```

```

        words = line.split(',')
        time.UTC.append(words[0])
        T2m.append(float(words[1]))
        RH.append(float(words[2]))
        GHI.append(float(words[3]))
        DNI.append(float(words[4]))
        DHI.append(float(words[5]))
        IR_h.append(float(words[6]))
        WS10m.append(float(words[7]))
        WD10m.append(float(words[8]))
        SP.append(float(words[9]))
dic = {"time.UTC": time.UTC, "T2m": T2m, "RH": RH, "GHI": GHI, "DNI": DNI,
"DHI": DHI, "IR_h": IR_h, "WS10m": WS10m,
      "WD10m": WD10m, "SP": SP}

# We create TMY dataframe
df_tmy = pd.DataFrame.from_dict(dic)

# We bind the datetime index to the TMY dataframe
df_tmy.index = pd.to_datetime(y, utc='True', format="%Y%m%d:%H%M")
df_tmy.index.name = 'dt'

# create pvlib Location object based on meta data
sand_point = pvlib.location.Location(lati, long, tz= tizo, altitude=
elevation, name= name.replace("'",''))
print(sand_point)
df_tmy['GHI'].plot()
plt.rcParams['figure.figsize'] = [15, 10]
plt.ylabel('Irradiance (W/m**2)')
plt.title('GHI');

# Solar Position calculation
solpos = pvlib.solarposition.get_solarposition(df_tmy.index,
sand_point.latitude, sand_point.longitude)

# Graph of Solar position variation in one week
solpos.loc[year[:4]+ '-06-22':year[:4]+ '-06-28'].plot()
plt.ylabel('Degrees')
plt.title('Solar Position Angles');

# the extraradiation function returns a simple numpy array
# instead of a nice pandas series. We will change this
# in a future version

```

```

dni_extra = pvlib.irradiance.get_extra_radiation(df_tmy.index)
dni_extra = pd.Series(dni_extra, index=df_tmy.index)

dni_extra.plot()
plt.ylabel('Irradiance in W / m^2')
plt.title('Extra terrestrial radiation');
# Airmass calculation
airmass = pvlib.atmosphere.get_relative_airmass(solpos['apparent_zenith'])
# Weekly Air Mass Change
airmass.loc[year[:4]+ '-06-22':year[:4]+ '-06-28'].plot();
plt.ylabel('Units')
plt.title('Airmass');
poa_sky_diffuse = pvlib.irradiance.haydavies(surface_tilt, surface_azimuth,
                                             df_tmy['DHI'], df_tmy['DNI'],
                                             dni_extra,
                                             solpos['apparent_zenith'],
                                             solpos['azimuth'])

poa_sky_diffuse.plot()
plt.ylabel('Irradiance (W/m**2)')
plt.title('POA sky diffuse');
poa_ground_diffuse = pvlib.irradiance.get_ground_diffuse(surface_tilt,
                                                         df_tmy['GHI'], albedo=albedo)

poa_ground_diffuse.plot()
plt.title('POA ground diffuse')
plt.ylabel('Irradiance (W/m**2)');
# Angle of incident calculation
aoi = pvlib.irradiance.aoi(surface_tilt, surface_azimuth,
                           solpos['apparent_zenith'], solpos['azimuth'])
# AOI variation graph for one week
aoi.loc[year[:4]+ '-06-22':year[:4]+ '-06-28'].plot()
plt.title('AOI')
plt.ylabel('Angle of incidence (deg)');
poa_irrad = pvlib.irradiance.poa_components(aoi, df_tmy['DNI'],
                                             poa_sky_diffuse, poa_ground_diffuse)

# Annual Total POA Variation graph
poa_irrad.plot()
plt.ylabel('Irradiance in W/m^2')

```

```

plt.title('Total POA');
# Total POA variation in a Week
dtstart = year[:4]+ '-12-21'
dtend = year[:4]+ '-12-23'
poa_irrad.loc[dtstart:dtend].plot()
plt.ylabel('Irradiance in W/m^2')
plt.title('Total POA from ' + dtstart + ' to ' + dtend);
thermal_params =
pvlib.temperature.TEMPERATURE_MODEL_PARAMETERS['sapm']['open_rack_glass_po
lymer'] # For PV roof 'close_mount_glass_glass'
pvtemps = pvlib.temperature.sapm_cell(poa_irrad['poa_global'],
df_tmy['T2m'], df_tmy['WS10m'], **thermal_params)

# Annual PV Cell Temperature Variation Graph
pvtemps.plot(color='red')
dtstart = year[:4]+ '-12-21'
dtend = year[:4]+ '-12-23'
plt.title('PV Cell Temperature')
plt.ylabel('Temperature (C)');
print('Η χαμηλότερη θερμοκρασία των Φ/Β κυψελών εκτιμούμε ότι θα φτάσει',
round(pvtemps.min(), 2), '°C')
print('Η υψηλότερη θερμοκρασία των Φ/Β κυψελών εκτιμούμε ότι θα φτάσει',
round(pvtemps.max(), 2), '°C')
# Sharp NU-JC375 Photovoltaic Module characteristics
myModule = pd.Series({'BIPV': 'N',
                      'Date': '1/3/2021',
                      'T_NOCT': 42.5,
                      'A_c': 1.85,
                      'N_s': 60,
                      'N_p': 2,
                      'I_sc_ref': 11.62,
                      'V_oc_ref': 41.08,
                      'I_mp_ref': 10.83,
                      'V_mp_ref': 34.63,
                      'alpha_sc': 0.057, # The short-circuit current temp
coef of pvmod in units of %/C
                      'beta_oc': -0.263, # The open-circuit voltage temp
coef of pvmod in units of %/C

```

```

        'a_ref': 1.56588277884409, # From *** or SAM, The
product of the usual diode ideality factor(unitless) number of cells in
series (Ns), and cell thermal voltage at ref condi, in V.
        'I_L_ref': 11.63415102775451, # From *** or SAM, The
light-generated current (or photocurrent) at reference conditions, in
amperes.
        'I_o_ref': 0.0000000000456235, # From *** or SAM, The
dark or diode reverse saturation current at reference conditions, in
amperes.
        'R_s': 0.14482947966706, # From *** or SAM, The series
resistance at reference conditions, in ohms.
        'R_sh_ref': 118.92552601952126, # From *** or SAM,
The shunt resistance at reference conditions, in ohms.
        'Adjust': 15.24483516970799, # From *** or SAM,
        'gamma_r': -0.347,
        'Version': 'NRELv1',
        'PTC': 'nan',
        'Technology': 'Mono-c-Si',
        'Name': 'SHARP_NU_JC375'}}

# *** W. De Soto, S.A. Klein, W.A. Beckman, Improvement and validation of
a model for photovoltaic array performance, Solar Energy, Volume 80, Issue
1, 2006, Pages 78-88, ISSN 0038-092X,
https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.06.010.
# Εξάγουμε τις πέντε παραμέτρους σε πρότυπες συνθήκες...
d = {k: myModule[k] for k in ['a_ref', 'I_L_ref', 'I_o_ref', 'R_sh_ref',
'R_s']}

# ... και τις εισάγουμε στο μοντέλο DeSoto ώστε να υπολογίσουμε τις πέντε
παραμέτρους για κάθε ώρα του TMY
photocurrent, saturation_current, resistance_series, resistance_shunt,
nNsVth = (
    pvlib.pvsystem.calcp_params_desoto(poa_irrad.poa_global,
                                       pvtemps,
                                       myModule['alpha_sc'],
                                       EgRef=1.121,
                                       dEgdT=-0.0002677, **d))

```

```

single_diode_out      =      pvlib.pvsystem.singlediode(photocurrent,
saturation_current,
                                resistance_series,
resistance_shunt, nNsVth)
# Annaul Variation of the PV power output from a single PV module
single_diode_out[['p_mp']].plot()
plt.title('DC Power Output from a single PV module')
plt.ylabel('DC Power (W)');
# Variation of the PV power output from a single PV module for one Week
dtstart = year[:4]+ '-05-22'
dtend = year[:4]+ '-05-28'
single_diode_out[['p_mp']].loc[dtstart:dtend].plot()
plt.title('DC Power Output from a single PV module from '+ dtstart + ' to
' + dtend)
plt.ylabel('DC Power (W)');
cases = [(1000, 25), (800, 25), (600, 25), (400, 25), (200, 25)]

conditions = pd.DataFrame(cases, columns=['Geff', 'Tcell'])

# adjust the reference parameters according to the operating
# conditions using the De Soto model:
IL, I0, Rs, Rsh, nNsVth = pvsystem.calcparams_desoto(
    conditions['Geff'],
    conditions['Tcell'],
    alpha_sc= myModule['alpha_sc'],
    a_ref= myModule['a_ref'],
    I_L_ref= myModule['I_L_ref'],
    I_o_ref= myModule['I_o_ref'],
    R_sh_ref= myModule['R_sh_ref'],
    R_s= myModule['R_s'],
    EgRef= 1.121,
    dEgdT= -0.0002677
)
# plug the parameters into the SDE and solve for IV curves:
curve_info = pvsystem.singlediode(
    photocurrent=IL,
    saturation_current=I0,
    resistance_series=Rs,
    resistance_shunt=Rsh,
    nNsVth=nNsVth,

```

```

        ivcurve_pnts=100,
        method='lambertw'
    )
    # plot the calculated curves:
    plt.figure()
    for i, case in conditions.iterrows():
        label = (
            "$G_{eff}$ " + f"{case['Geff']} $W/m^2$\n"
            "$T_{cell}$ " + f"{case['Tcell']} $C$"
        )
        plt.plot(curve_info['v'][i], curve_info['i'][i], label=label)
        v_mp = curve_info['v_mp'][i]
        i_mp = curve_info['i_mp'][i]
        # mark the MPP
        plt.plot([v_mp], [i_mp], ls='', marker='o', c='k')

    plt.legend(loc=(1.0, 0))
    plt.xlabel('Module voltage [V]')
    plt.ylabel('Module current [A]')
    plt.title(myModule['Name']);

    # Υπολογισμός συνολικής ισχύος της ΦΒ συστοιχίας πριν από τον Inverter
    sdo = single_diode_out

    sdo['Total_Loss'] = 0.03    # <--- Εδώ ορίζουμε το ποσοστό των συνολικών
    απωλειών (e.g. soiling, glass reflection etc.)

    sdo['PVArray_Module_Count'] = 14    # <--- Εδώ ορίζουμε τον συνολικό αριθμό
    ΦΒ μονάδων της συστοιχίας

    # Calculation of total PV array power
    sdo['PVArray_Power_Output'] = np.round(sdo['PVArray_Module_Count'] *
    sdo['p_mp'] * (1.0 - sdo['Total_Loss']), 3)
    # Descriptive Statistics
    print("Τα περιληπτικά στατιστικά της ετήσιας Φ/Β παραγωγής (χρονοσειρά)
    είναι:")
    sdo['PVArray_Power_Output'].describe()
    # Ετήσια Χρονοσειρά Φ/Β παραγωγής πριν τον Αντιστροφέα, σε kW ανά ώρα.
    pv_output = np.round(sdo['PVArray_Power_Output']/1000, 3)

```

```

print("Η ετήσια Φ/Β παραγωγή της συστοιχίας εκτιμούμε ότι θα φτάσει",
np.round(pv_output.sum(), 3), "kWh")
print('Η υψηλότερη στιγμιαία Φ/Β Ισχύς εκτιμούμε ότι θα φτάσει',
np.round(pv_output.max(), 3), 'kW')
pv_output.plot()
plt.title('Estimation of the DC Power Output from a PV Array for the '+
year[:4])
plt.ylabel('PV Array Power (kW)');
# Δοκιμάζουμε μια Τιμή Ονομαστικής Ενεργής Ισχύος του Αντιστροφέα με βάση
την
# συνολική εγκατεστημένη ισχύ της Φ/Β εγκατάστασης. Π.χ. Ppvarray = 16 *
375 = 6000 Wp

inv_power = 6000.0    # <--- Εδώ δοκιμάζουμε την ισχύ του αντιστροφέα

inverted =
np.round(sdo['PVArray_Power_Output'][sdo['PVArray_Power_Output']
inv_power].sum()/1000, 3)

clipped = np.round(sdo['PVArray_Power_Output'][sdo['PVArray_Power_Output']
> inv_power].sum()/1000, 3)

percent = np.round(100 * clipped / (clipped + inverted), 2)

print("Ο Αντιστροφέας μετέτρεψε από DC σε AC", inverted, "kWh και Απέρριψε",
clipped, "kWh")
print("")
print("Το ποσοστό της συνολικής παραγωγής που δεν πέρασε από τον Αντιστροφέα
είναι", percent, "%")

sapm_inverters = pvlib.pvsystem.retrieve_sam('sandiainverter')
for i in sapm_inverters.columns:
    print(i)
# Επιλογή κατάλληλου αντιστροφέα από την παραπάνω βάση δεδομένων
sapm_inverter =
sapm_inverters['AEG_Power_Solutions__Protect_MPV_060_01__480V_']

# Υπολογισμός της συνολικής ισχύος στην έξοδο του Αντιστροφέα
p_acs = pd.DataFrame()

```

```

p_acs['sd'] = pvlib.inverter.sandia(sdo.v_mp, sdo['PVArray_Power_Output'],
sapm_inverter)

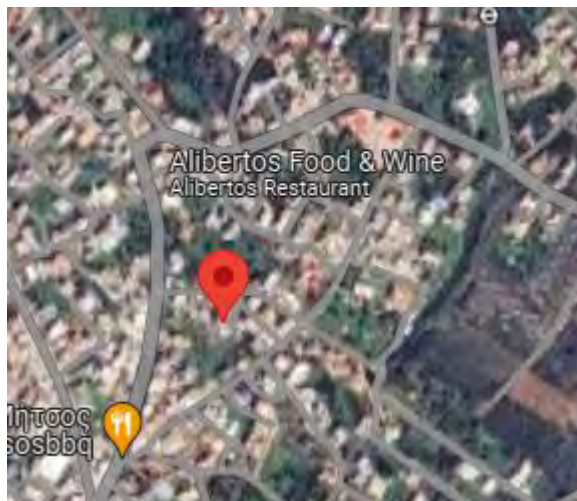
p_acs.plot(color='orange')
plt.title("AC Power Output in a year")
plt.ylabel('AC Power (W)');
# Variation of the PV power output from a single PV module for one Week
dtstart = year[:4] + '-05-22'
dtend = year[:4] + '-05-28'

plt.plot(sdo['PVArray_Power_Output'].loc[dtstart:dtend], label="DC
Inverter Input")
plt.plot(p_acs.loc[dtstart:dtend], label="AC Inveret Output")
plt.title('DC Inverter Input & AC Inverter Output from ' + dtstart + ' to '
+ dtend)
plt.legend()
plt.ylabel('Power (W)');
sdo['Inverter_Output'] = p_acs['sd']
sdo.to_csv(r'C:\Users\Andreas\pv_simulation5kW.csv')

```

5 Μελέτη Εγκατάστασης 10kW

Για την τοποθεσία της πρώτης εγκατάστασης επιλέχθηκαν τα Κουνουπιδιανά στον Νομό Χανίων με συντεταγμένες latitude (γ.π.): 35.53402151000515 και longitude (γ.μ.): 24.077904158103088, με προσανατολισμό ανατολικό.

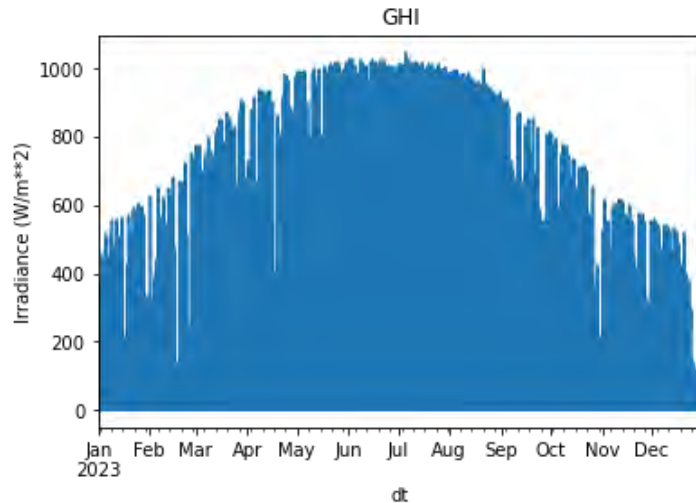


Εικόνα 5.1 Τοποθεσία εγκατάστασης

Η περιοχή επιλέχθηκε για την φυσική ομορφιά της αλλά κυρίως για την ηλιοφάνεια που έχει τις περισσότερες μέρες του χρόνου. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι μετρήσεις που πάρθηκαν για την περιοχή και τον προσανατολισμό της εγκατάστασης.

5.1 Φυσικά μεγέθη περιοχής

Από το PVGIS εισάγουμε στο σημειωματάριο, μέσω API, τα τυπικά μετεωρολογικά δεδομένα ενός έτους, της περιοχής εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος. Η ετήσια μεταβολή της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας για έναν χρόνο παρουσιάζεται παρακάτω.

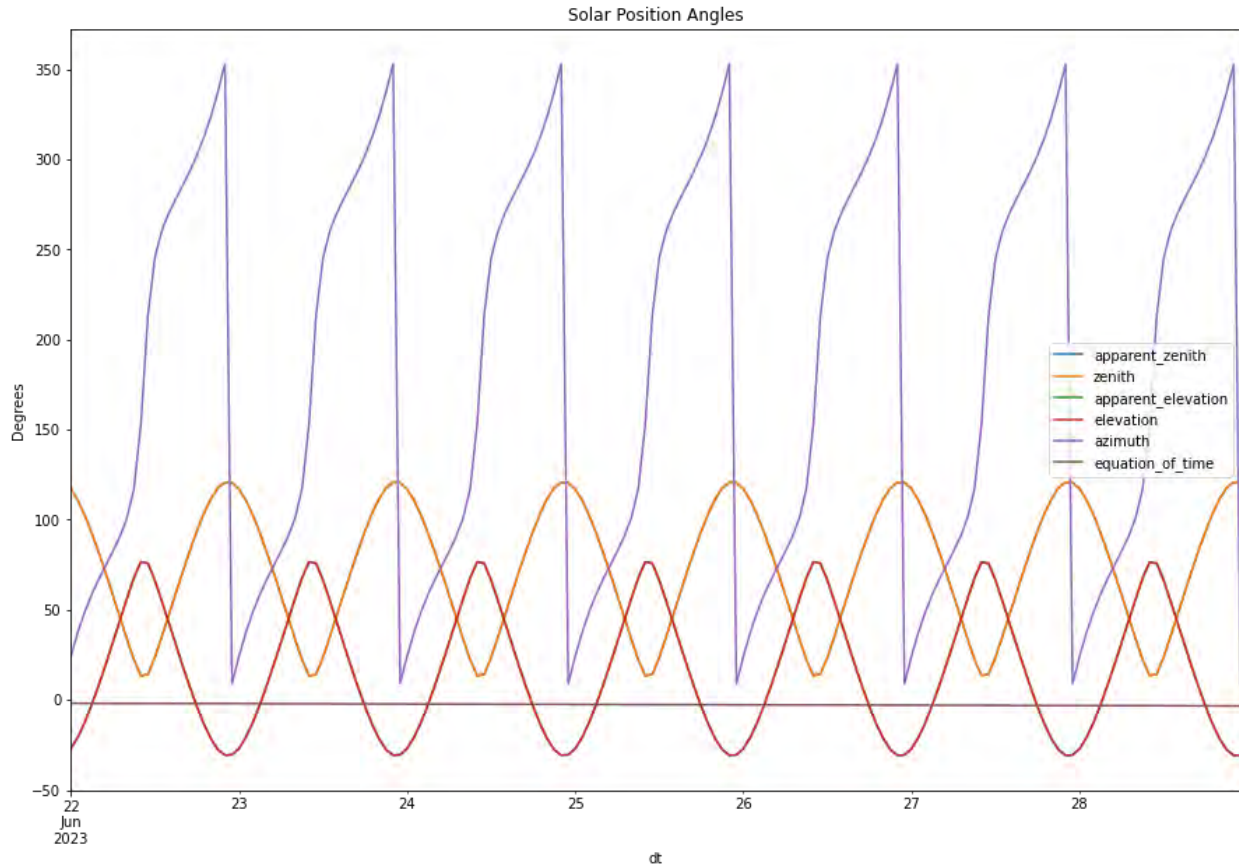


Εικόνα 5.2 Ετήσια μεταβολή της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας

Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την ισχύ για όλες τις ώρες, θα χρειαστεί να υπολογίσουμε τα παρακάτω:

- την Ηλιακή θέση (Solar Position)
- την Εξωγήινη ακτινοβολία (DNI ET) [29]
- την Αέρια μάζα (Airmass) [30]
- την Διάχυτη ακτινοβολία ουρανού και εδάφους (POA Sky & Ground Diffuse) [31]
- την Γωνία πρόσπτωσης (AOI)
- την Συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Total POA)
- την Θερμοκρασία ΦΒ κυψελών (Cell Temperature)

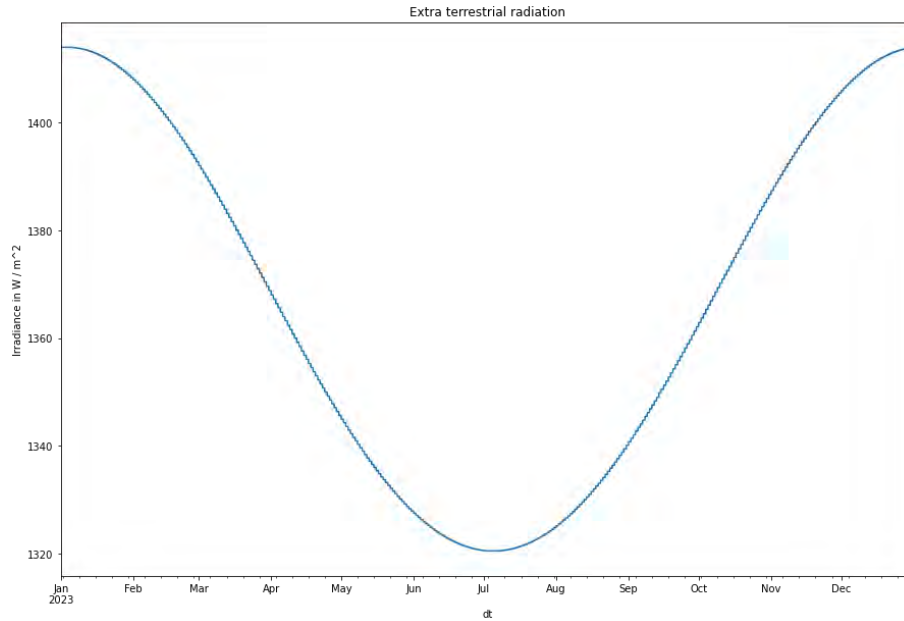
Υπολογίζουμε την Ηλιακή θέση για όλες τις ώρες της εβδομάδας, και παρουσιάζουμε το ηλιοστάσιο του καλοκαιριού, με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται να βασίζεται σε δημοσίευση των Reda and Andreas (2004).



Εικόνα 5.3 Γωνίες πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας

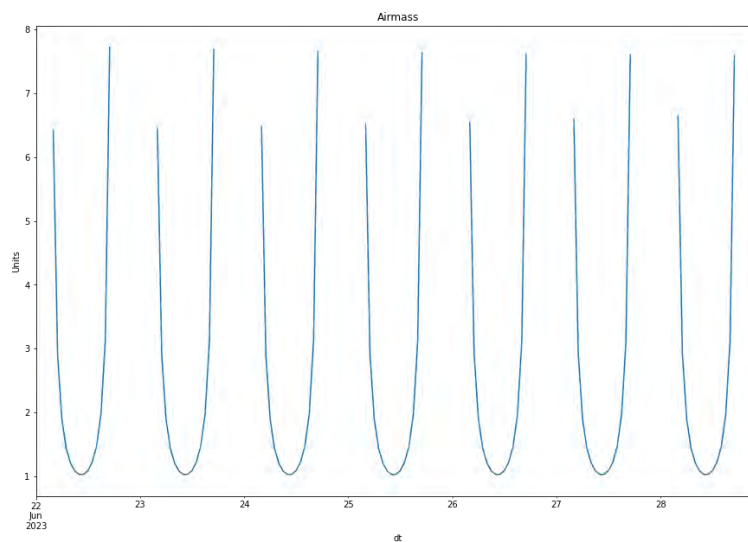
Παρακάτω υπολογίζουμε την εξωγήινη ακτινοβολία, η οποία απαιτείται σε πολλά μοντέλα διάχυτης ακτινοβολίας επιπέδου-συστοιχίας (POA).

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει έξω από την ατμόσφαιρα της γης ονομάζεται εξωγήινη ακτινοβολία. Κατά μέσο όρο η εξωγήινη ακτινοβολία είναι $1361 \text{ Watt/meter}^2$ (W/m^2). Αυτή η τιμή ποικίλλει κατά $\pm 3\%$ καθώς η γη περιφέρεται γύρω από τον ήλιο. Η πλησιέστερη προσέγγιση της γης στον ήλιο συμβαίνει γύρω στις 4 Ιανουαρίου και είναι πιο μακριά από τον ήλιο γύρω στις 5 Ιουλίου.



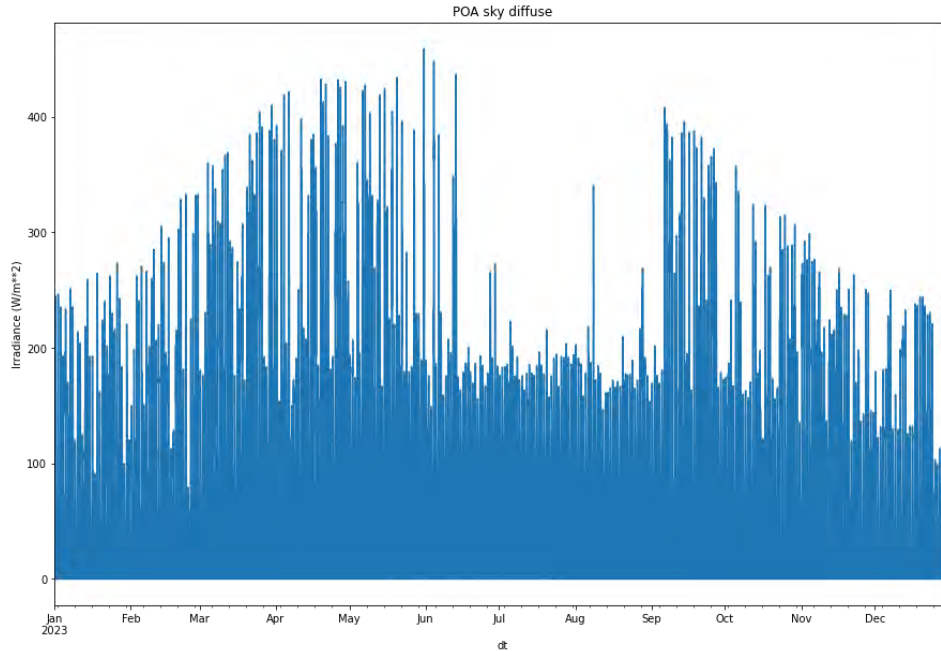
Εικόνα 5.4 Εξωγήινη ακτινοβολία ανά τον χρόνο

Παρακάτω πραγματοποιείται ο υπολογισμός της Αέριας Μάζας για κάθε στιγμή του ΤΜΥ. Η μάζα του αέρα είναι ένα σχετικό μέτρο του οπτικού μήκους της ατμόσφαιρας. Στο επίπεδο της θάλασσας, όταν ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς από πάνω (γωνία ζενίθ = 0), η μάζα του αέρα είναι ίση με 1. Καθώς η γωνία ζενίθ γίνεται μεγαλύτερη, η διαδρομή του άμεσου ηλιακού φωτός μέσω της ατμόσφαιρας μεγαλώνει και η μάζα του αέρα αυξάνεται. Αντίθετα, καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, το πάχος της ατμόσφαιρας μειώνεται και η μάζα του αέρα μειώνεται.



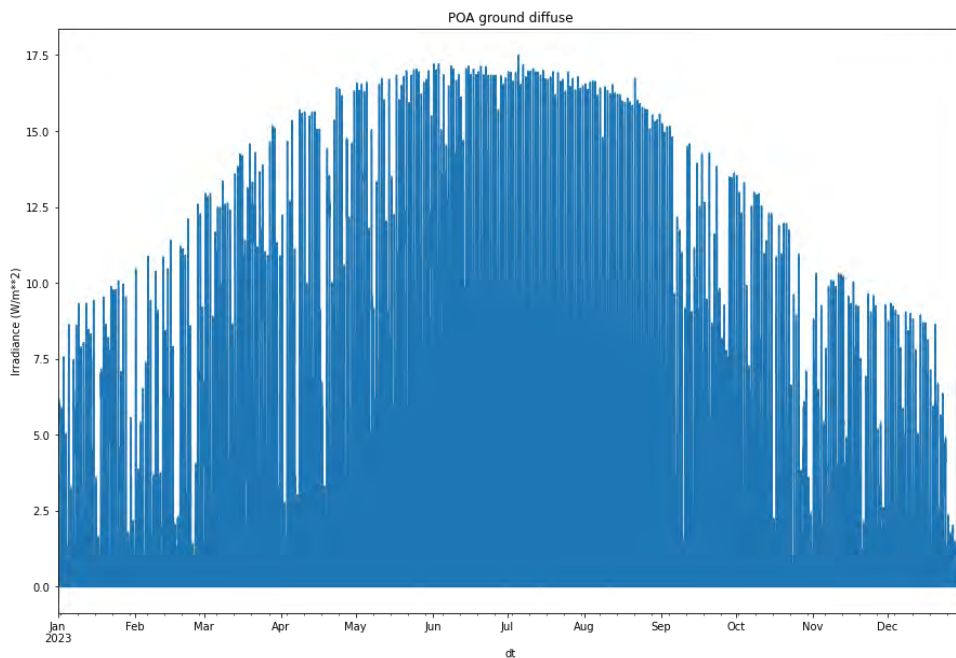
Εικόνα 5.5 Παρουσίαση της αέριας μάζας για την εβδομάδα του θερινού ηλιοστασίου.

Για να υπολογίσουμε τη διάχυτη ακτινοβολία του Plane Of Array χρησιμοποιούμε το μοντέλο Hay-Davies



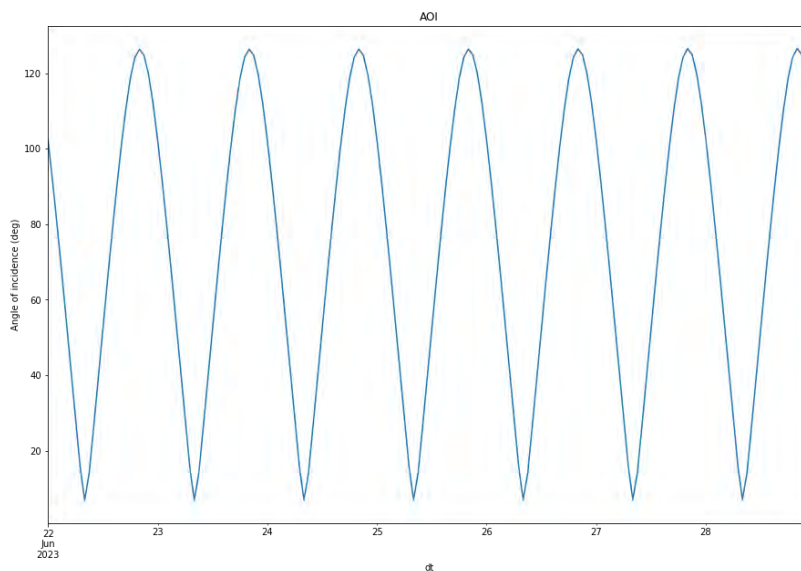
Εικόνα 5.6 Διάχυτη ακτινοβολία του Plane Of Array

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της διάχυσης του εδάφους.



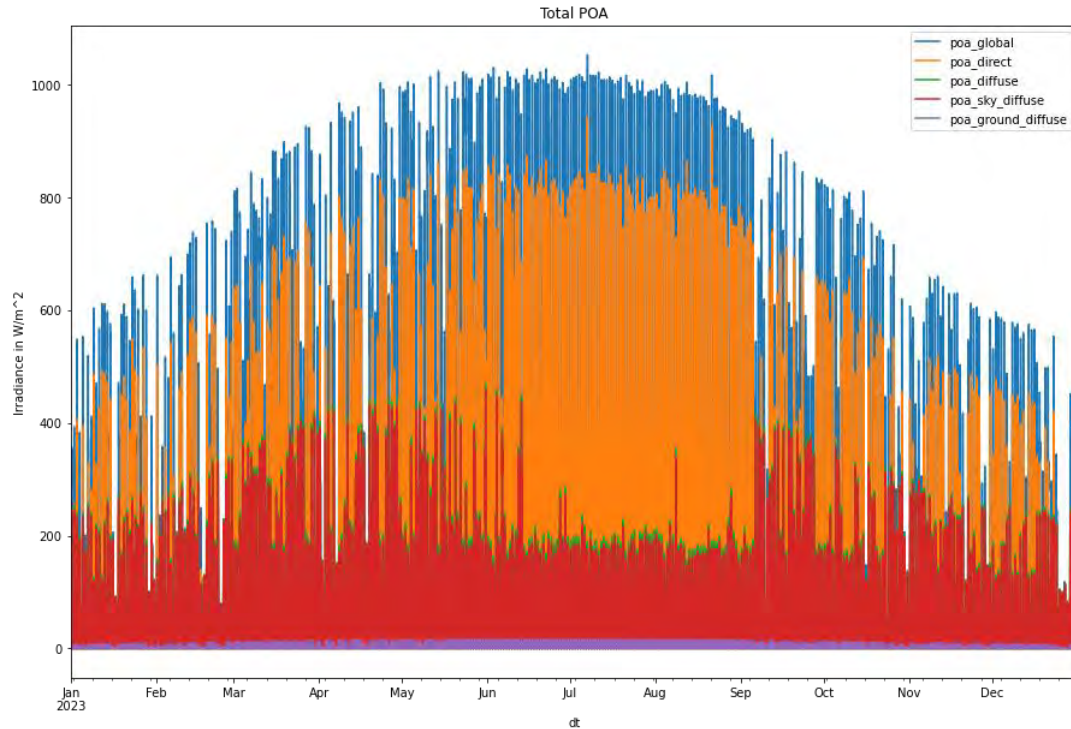
Εικόνα 5.7 Διάχυση του εδάφους

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην ΦΒ συστοιχία, για κάθε ώρα του χρόνου. Σημειώνεται ότι η γωνία πρόσπτωσης παίρνει και τιμές μεγαλύτερες από 90 μοίρες.



Εικόνα 5.8 Γωνία πρόσπτωσης για την εβδομάδα του θερινού ηλιοστασίου

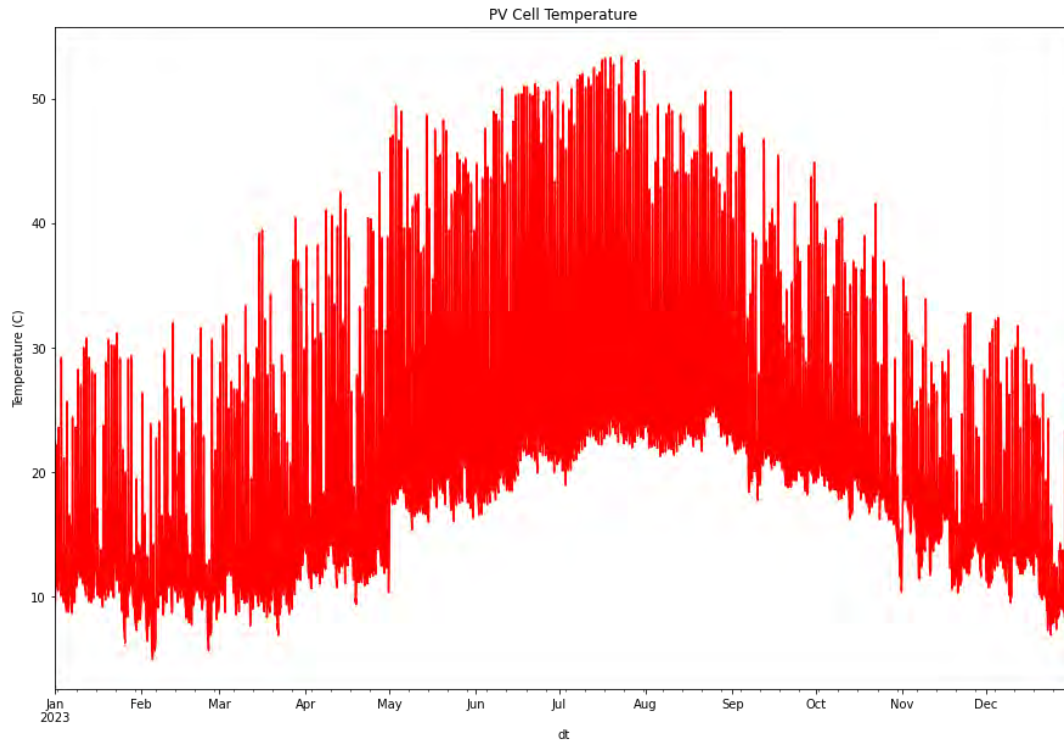
Ακολουθεί ο υπολογισμός της συνολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολία POA που φτάνει στην ΦΒ συστοιχία.



Εικόνα 5.9 Συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

Με την χρήση του Sandia PV Array Performance Model (SAPM) υπολογίζουμε την θερμοκρασία των Φ/Β κυψελών χρησιμοποιώντας την προσπίπτουσα ακτινοβολία, την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και την οριζόντια ταχύτητα ανέμου ως είσοδοι. Τα τοπικά ακρότατα χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των μέγιστων ηλεκτρικών τάσεων της υπό σχεδίαση Φ/Β στοιχειοσειράς.

- Η χαμηλότερη θερμοκρασία των Φ/Β κυψελών εκτιμούμε ότι θα φτάσει 5.01 °C
- Η υψηλότερη θερμοκρασία των Φ/Β κυψελών εκτιμούμε ότι θα φτάσει 53.35 °C



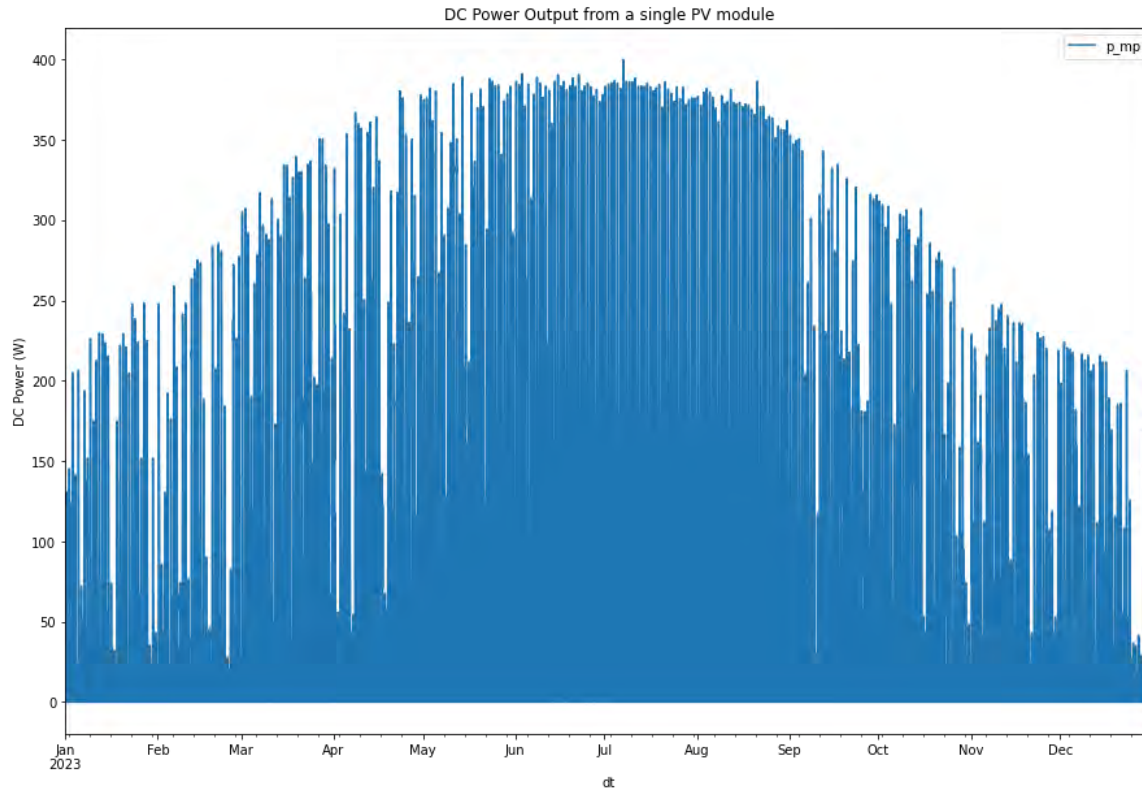
Εικόνα 5.10 Θερμοκρασία κυψελών

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ που επιλέγονται είναι τα **Sharp NU-JC375 Photovoltaic Module** κυρίως για την αξιοπιστία τους, την απόδοση, σε συνδυασμό με την προσιτή τιμή τους και το περιορισμένο μέγεθός τους.



Εικόνα 5.11 ΦΒ πάνελ

Με την χρήση του προγράμματος μας, υπολογίζουμε την ισχύ εξόδου ανά μέρα για κάθε φωτοβολταϊκή μονάδα.



Εικόνα 5.12 Έξοδος ισχύος από ένα πάνελ

Για να υπολογίσουμε την ισχύ στην έξοδο της ΦΒ συστοιχίας θα χρειαστεί να κάνουμε τα παρακάτω:

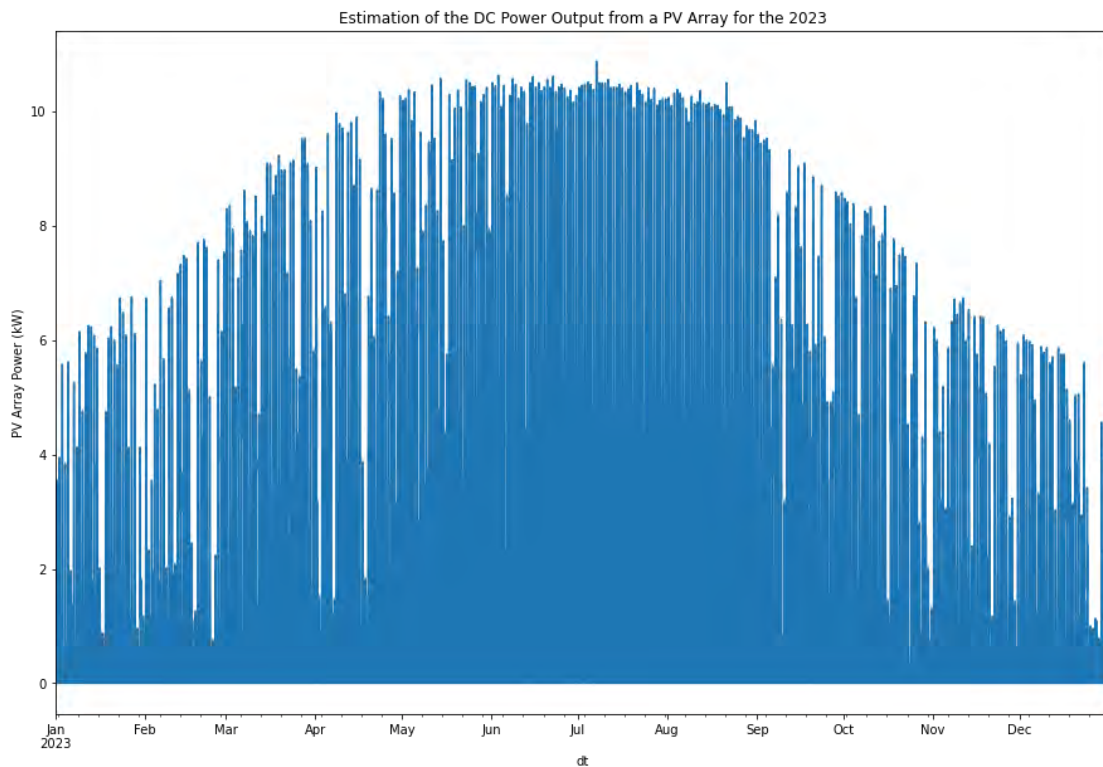
- Ορίζουμε ποσοστό απωλειών και αριθμό Φ/Β πλαισίων ανά συστοιχία.
- Πολλαπλασιάζουμε την ισχύ ενός Φ/Β πλαισίου επί τον συνολικό αριθμό Φ/Β πλαισίων της συστοιχίας και προκύπτει η ισχύς στην έξοδο της ΦΒ συστοιχίας, πριν τον αντιστροφέα. Διορθώνουμε το αποτέλεσμα πολλαπλασιάζοντας περαιτέρω με έναν συντελεστή απωλειών.
- Υπενθυμίζεται ότι η κάθε Φ/Β συστοιχία σχηματίζεται από την παράλληλη σύνδεση μιας ή περισσότερων Φ/Β στοιχειοσειρών και ότι δύναται να εδράζει σε μια ή περισσότερες βάσεις στήριξης.

Επιλέγονται 28 πάνελ, για να έχουμε μέγιστη παραγωγή λίγο πάνω από 10kW, με τα περιληπτικά στατιστικά της ετήσιας Φ/Β παραγωγής (χρονοσειρά) να παρουσιάζονται παρακάτω:

- count 8760.000000
- mean 1981.512869
- std 3053.838667
- 75% 3179.500500
- max 10864.672000

Ακολούθως παρουσιάζεται η συνολική ετήσια παραγωγή για την φωτοβολταϊκή συστοιχία.

- Η ετήσια Φ/Β παραγωγή της συστοιχίας εκτιμούμε ότι θα φτάσει 17358.064 kWh
- Η υψηλότερη στιγμιαία Φ/Β Ισχύς εκτιμούμε ότι θα φτάσει 10.865 kW



Εικόνα 5.14 Έξοδος συστοιχίας ανά ημέρα του χρόνου

5.2 Διαστασιολόγηση του Inverter

Συνήθως σε περιοχές με περιορισμένο ηλιακό δυναμικό, ως ονομαστική μέγιστη ισχύς στην έξοδο του αντιστροφέα (Rated Inverter Power) ορίζεται περίπου το 80-85 % της ονομαστικής ενεργής ισχύος της ΦΒ συστοιχίας. Για παράδειγμα, όταν η εγκατεστημένη

ισχύς μιας ΦΒ συστοιχίας είναι 10000Wp τότε χρησιμοποιείται inverter με ισχύ 8000W, διότι η προσπίπτουσα στη ΦΒ συστοιχία ακτινοβολία, ελάχιστες φορές μέσα σε ένα έτος πλησιάζει ή ξεπερνά τα 1000W/m². Ωστόσο σε περιοχές με πλούσιο ηλιακό δυναμικό δεν ισχύει πάντα το ίδιο. Σε αυτές τις περιπτώσεις εξετάζουμε διαθέσιμους αντιστροφείς ανάλογης ισχύος με την εγκατεστημένη ισχύ της ΦΒ συστοιχίας, εκτιμώντας το ποσοστό της απορριπτόμενης ισχύος από τον αντιστροφέα. Επιλέγουμε τελικά τον αντιστροφέα με το χαμηλότερο ποσοστό απόρριψης, συνυπολογίζοντας και το κόστος του, ενώ στην περίπτωση μας επιλέξαμε τον ελάχιστο αντιστροφέα που δεν παρουσιάζει απόρριψη.

Η ελάχιστη ισχύς που δεν απέρριπτε καθόλου ισχύ στην περίπτωση μας είναι 11.000W.

Ο Αντιστροφέας μετέτρεψε από DC σε AC 17358.053 kWh και Απέρριψε 0.0 kWh

Για την επιλογή τώρα συγκεκριμένου αντιστροφέα θα μελετήσουμε λίστες με διαθέσιμα μοντέλα και φυσικά αναζητούμε στο διαδίκτυο το αντίστοιχο φύλλο δεδομένων του κατασκευαστή.

Προσέχουμε τα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της εγκατάστασής μας, ελέγχοντας από το φύλλο δεδομένων τα παρακάτω.

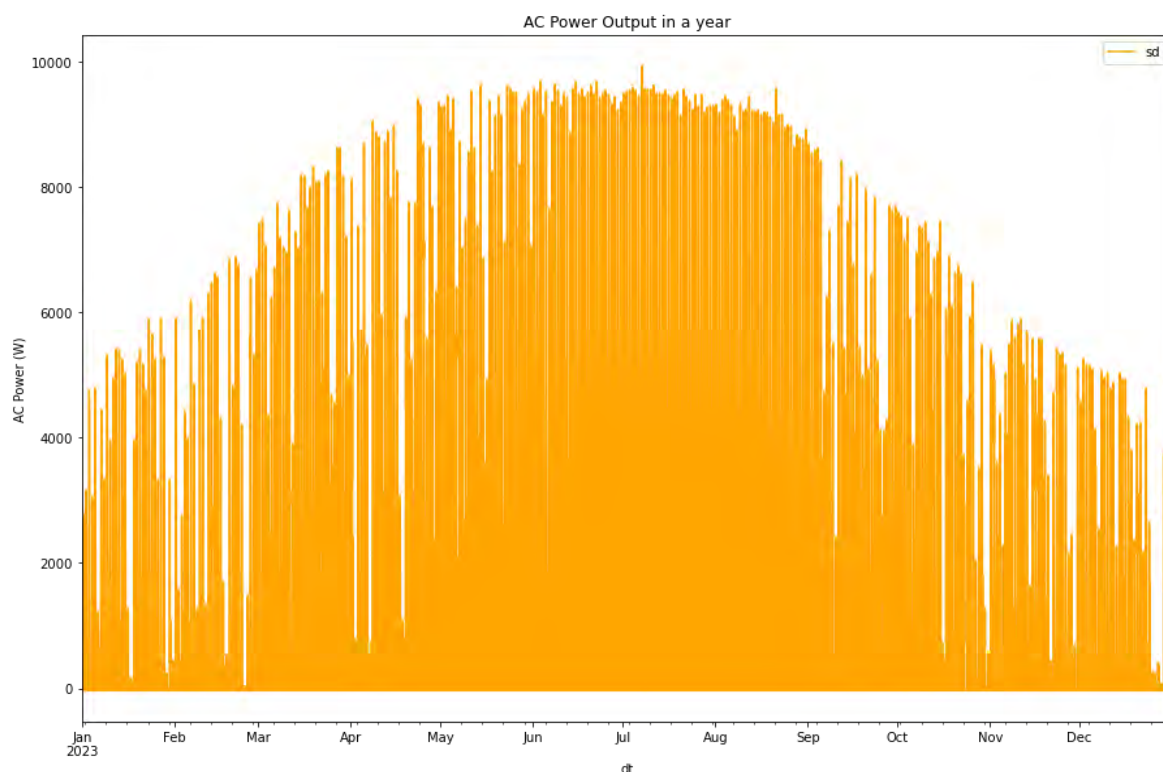
- Αν ο Αντιστροφέας είναι τριφασικός ή μονοφασικός
- Αν η ενεργός ισχύς στην AC έξοδο του Αντιστροφέα είναι ανάλογη του μέγιστης στιγμιαίας ισχύος της Φ/Β συστοιχίας
- Να μην υπερβαίνουν τα επιτρεπτά όρια Τάσεων (V) και Εντάσεων (A) των υποδοχών εισόδου (DC) του Αντιστροφέα

Επιλέγεται ο αντιστροφέας **AEG Power Solutions Protect MPV 12kW 480V**



Εικόνα 5.15 Αντιστροφέας εγκατάστασης

Τέλος παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή ανά ημέρα της συνολικής εγκατάστασης.



Εικόνα 5.16 Έξοδος συστήματος σε AC

Παράλληλα όμως θα γίνει και επιλογή μπαταριών και charge controller για να μπορεί να γίνει αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας και χρήση αυτής κάποια άλλη στιγμή.

5.3 Σύστημα αποθήκευσης

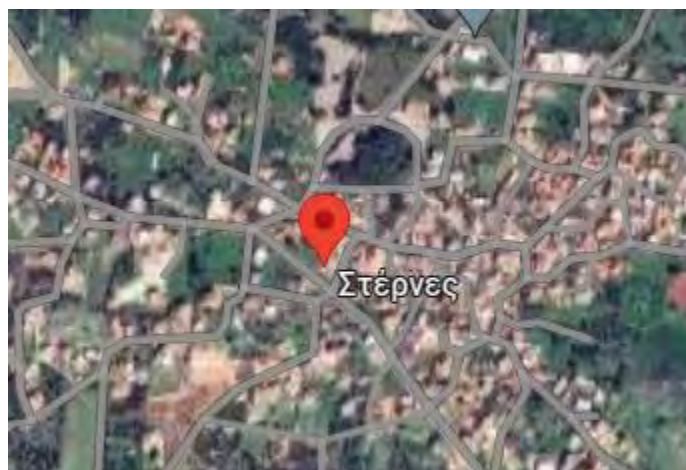
Ο ρυθμιστής φόρτισης που επιλέχθηκε είναι ο **Victron Energy BlueSolar MPPT 100/50**, 24V 50A. Φορτίζει 8 μπαταρίες **Mitsuba D200 12V 200Ah C100** ανά δύο συνδεδεμένες σε σειρά, δίνοντάς στην εγκατάσταση χωρητικότητα 800Ah στα 24V ή καλύτερα 400Ah με επίπεδο εκφόρτισης 50% για βέλτιστη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 5.17 Μπαταρία που θα χρησιμοποιηθεί

6 Μελέτη Εγκατάστασης 5kW

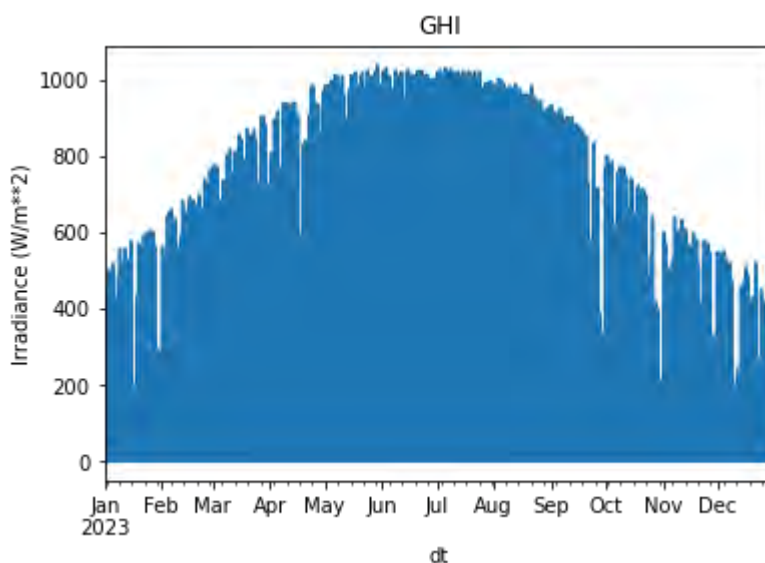
Για την τοποθεσία της δεύτερης εγκατάστασης επιλέχθηκαν οι Στέρνες στον Νομό Χανίων με συντεταγμένες latitude (γ.π.): 35.511093 και longitude (γ.μ.): 24.144419, με προσανατολισμό νότιο.



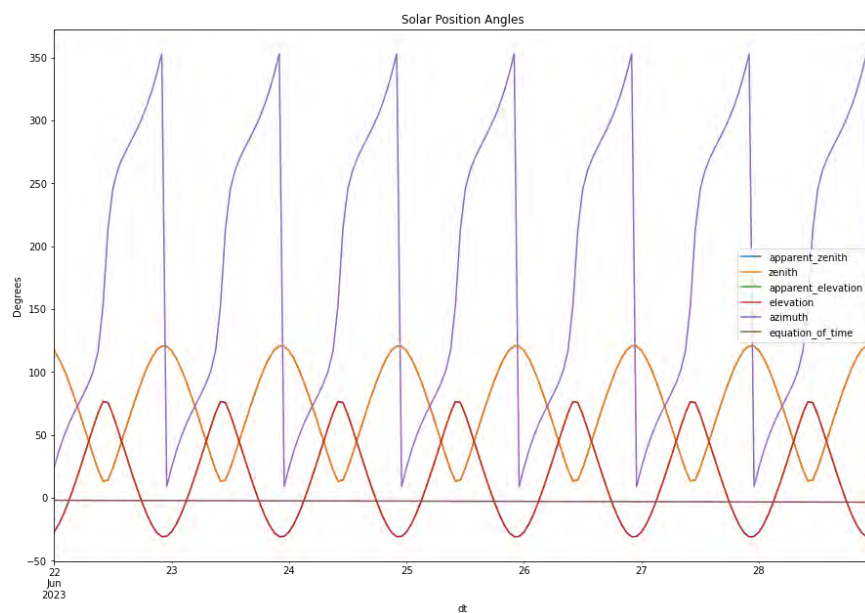
Εικόνα 6.1 Τοποθεσία εγκατάστασης

Εισάγουμε και σε αυτή την περίπτωση τα μετεωρολογικά δεδομένα με API από το PVGiS.

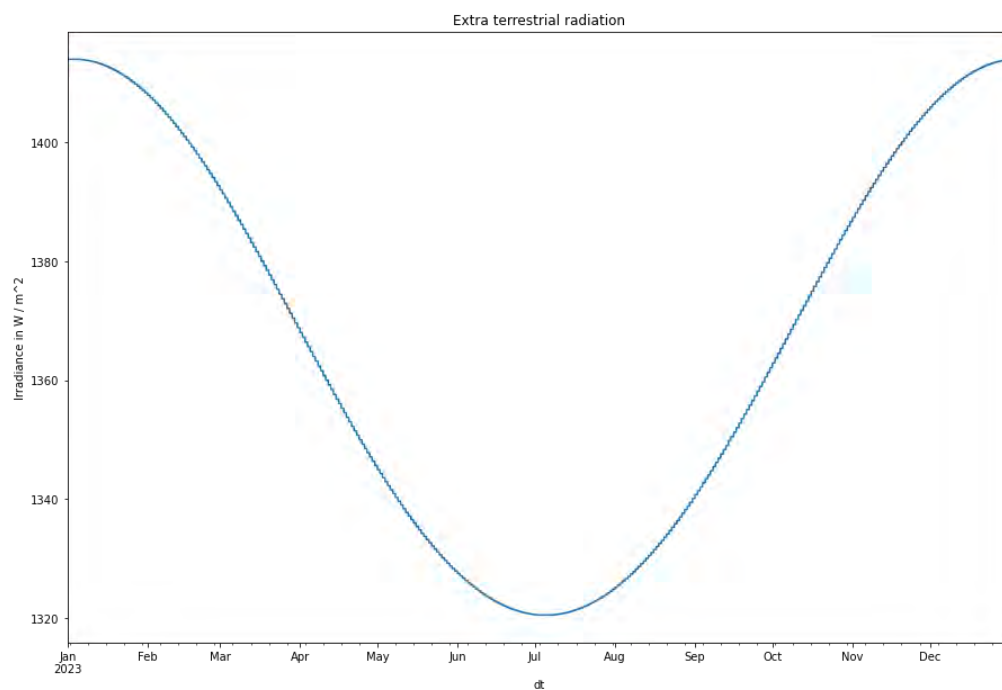
6.1 Φυσικά μεγέθη περιοχής



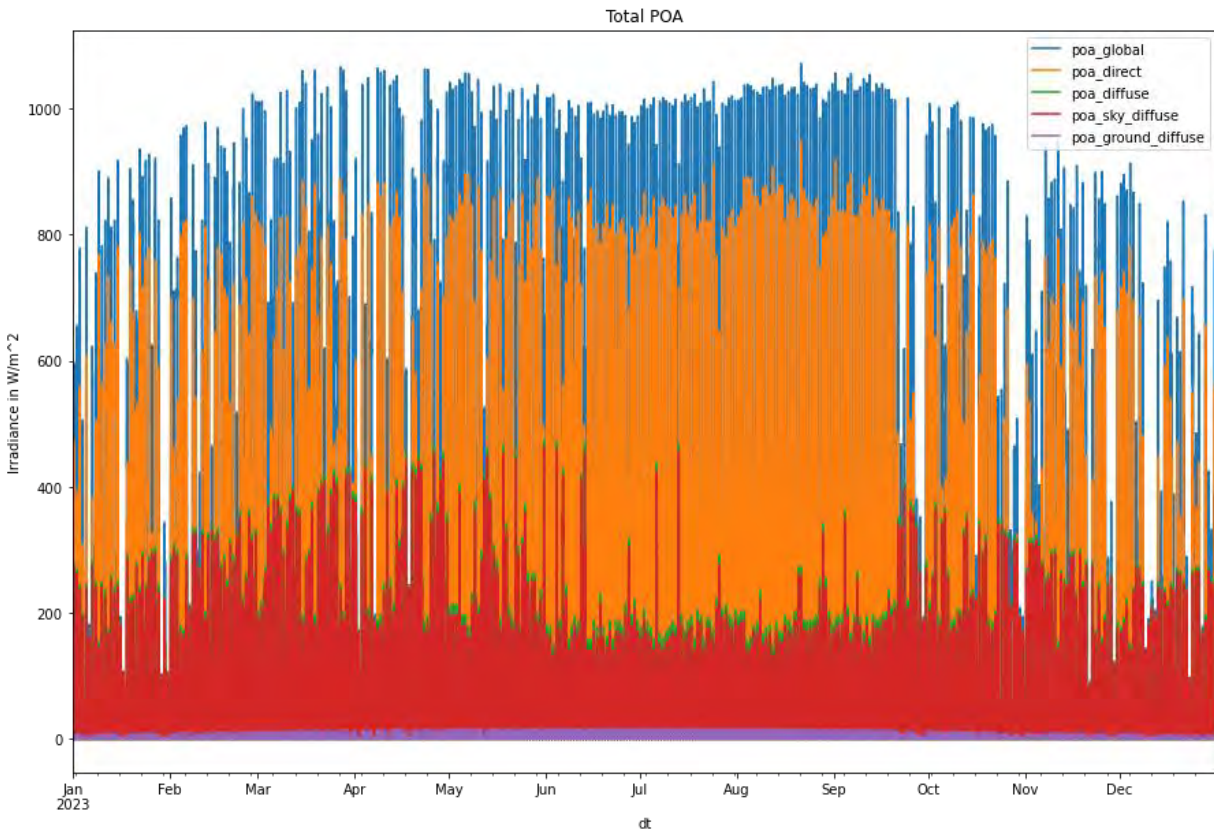
Εικόνα 6.2 Η Ετήσια μεταβολή της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας (GHI) σε γράφημα



Εικόνα 6.3 Ηλιακή θέση για όλες τις ώρες για την εβδομάδα του θερινού ηλιοστασίου



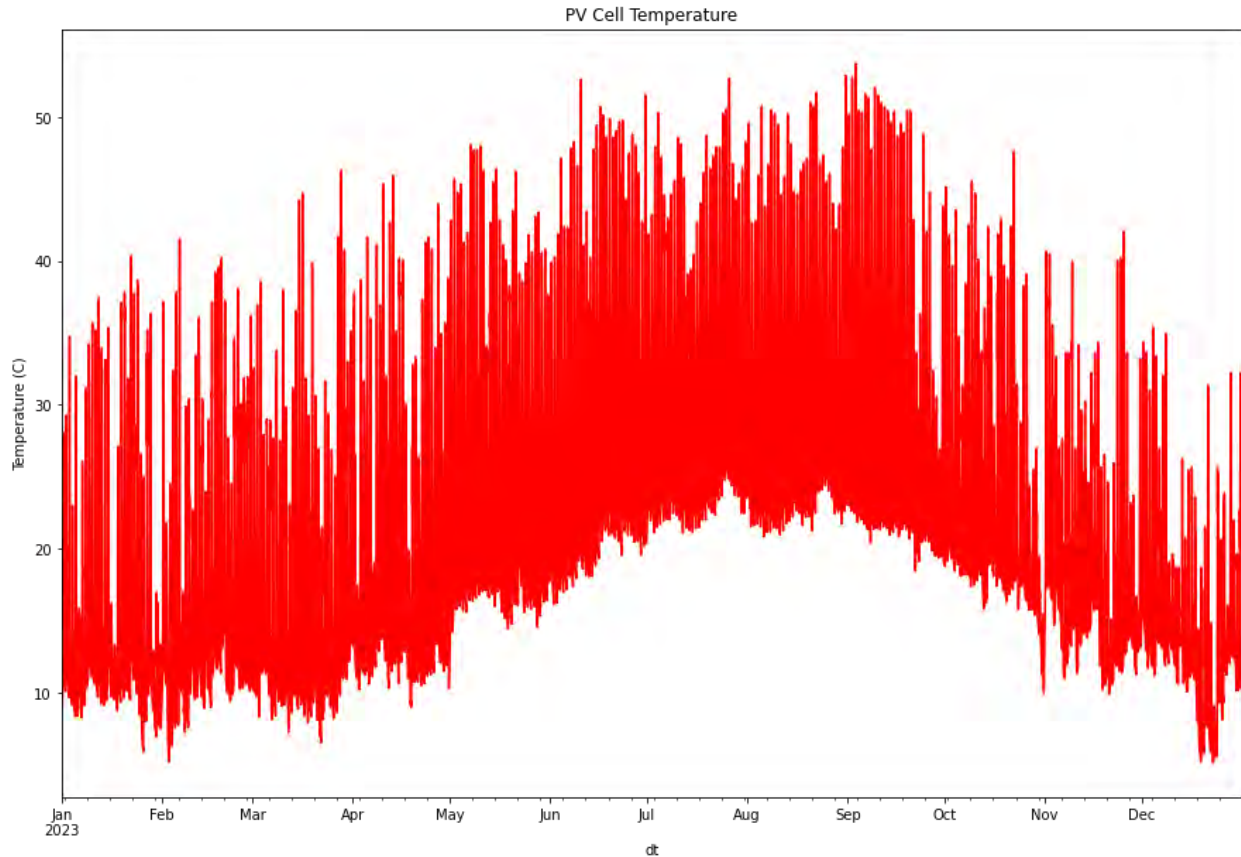
Εικόνα 6.4 Εξωγήινη ακτινοβολία (DNI ET)



Εικόνα 6.5 Συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Total POA)

Ακολουθώντας υπολογίζουμε την θερμοκρασία των κυψελών για κάθε μέρα του χρόνου. Λόγω της γεωγραφικής εγγύτητας με την άλλη εγκατάσταση, η θερμοκρασίες είναι αρκετά κοντά.

- Η χαμηλότερη θερμοκρασία των Φ/Β κυψελών εκτιμούμε ότι θα φτάσει 5.14 °C
- Η υψηλότερη θερμοκρασία των Φ/Β κυψελών εκτιμούμε ότι θα φτάσει 53.7 °C

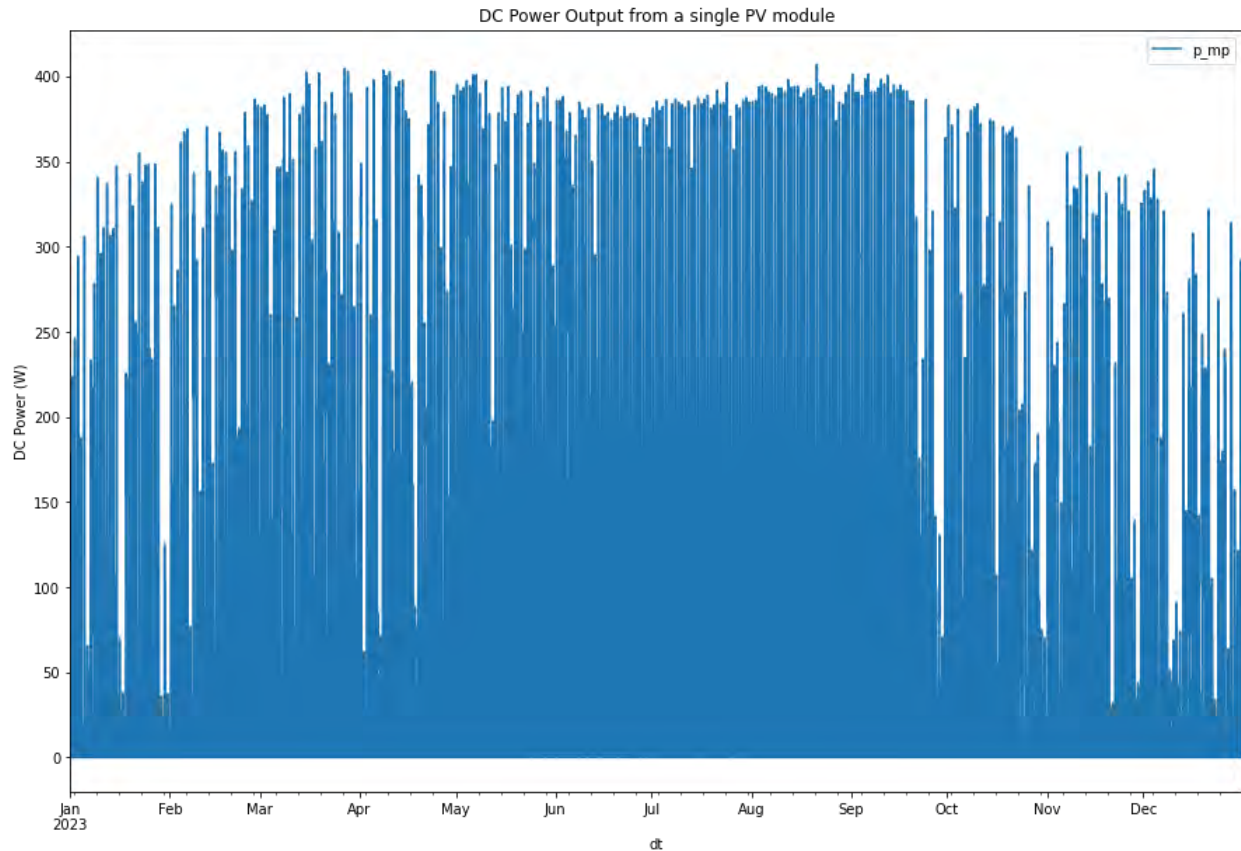


Εικόνα 6.6 Θερμοκρασία ΦΒ κυψελών (Cell Temperature)

Θα χρησιμοποιήσουμε ξανά το πάνελ **Sharp NU-JC375**

Τα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα.

- Μέγιστη ισχύς $P_{\max}$ 375 Wp
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} 41.08 V
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} 11.62 A
- Τάση μέγιστης ισχύος V_{mpp} 34.63 V
- Ρεύμα μέγιστης ισχύος I_{mpp} 10.83 A
- Απόδοση μονάδας η_m 20.27 %
- NU-JC375 Μέγιστη ισχύς $P_{\max}$ 281.15 Wp
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} 38.93 V
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} 9.42 A
- Τάση μέγιστης ισχύος V_{mpp} 32.28 V
- Ρεύμα μέγιστης ισχύος I_{mpp} 8.71 A



Εικόνα 6.7 Ισχύος στην έξοδο μιας ΦΒ μονάδας

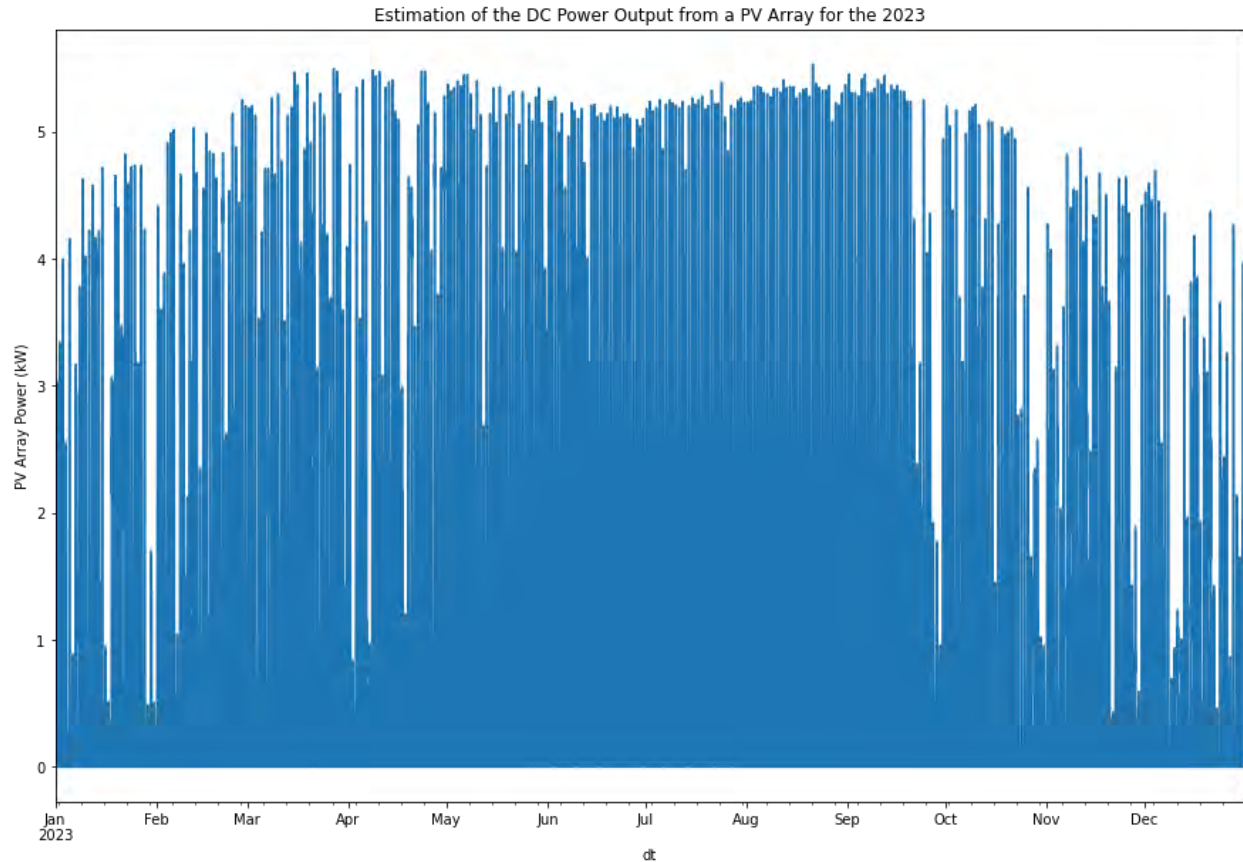
Επιλέγονται 14 πάνελ, για να έχουμε μέγιστη παραγωγή λίγο πάνω από 5kW, με τα περιληπτικά στατιστικά της ετήσιας Φ/Β παραγωγής (χρονοσειρά) να παρουσιάζονται παρακάτω:

Τα περιληπτικά στατιστικά της ετήσιας Φ/Β παραγωγής (χρονοσειρά) είναι:

- count 8760.000000
- mean 1185.496563
- std 1718.597353
- 75% 2103.025750
- max 5527.767000

Η ετήσια Φ/Β παραγωγή της συστοιχίας εκτιμούμε ότι θα φτάσει 10384.942 kWh

Η υψηλότερη στιγμιαία Φ/Β Ισχύς εκτιμούμε ότι θα φτάσει 5.528 kW



Εικόνα 6.8 Ετήσια Φ/Β παραγωγή της συστοιχίας

6.2 Διαστασιολόγηση του Inverter

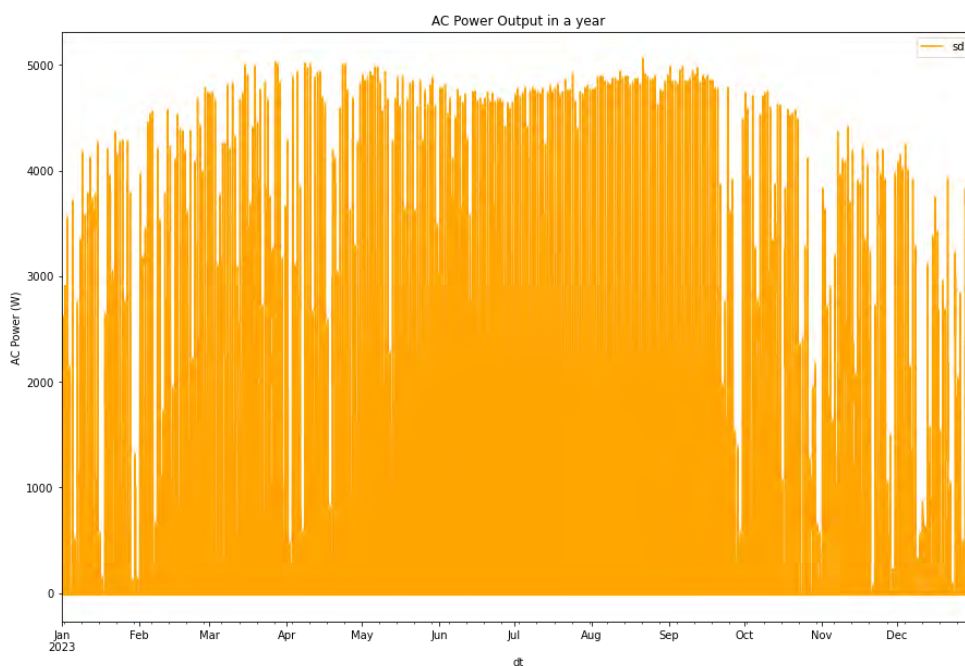
Ακολουθώντας με δοκιμές βρίσκουμε τον μικρότερο αντιστροφέα που δεν απορρίπτει καθόλου ισχύ. Ο μικρότερος δυνατός αντιστροφέας που μας καλύπτει είναι 6000.

- Ο Αντιστροφέας μετέτρεψε από DC σε AC 10384.95 kWh και Απέρριψε 0.0 kWh
- Το ποσοστό της συνολικής παραγωγής που δεν πέρασε από τον Αντιστροφέα είναι 0.0 %

Ο αντιστροφέας που επιλέχθηκε είναι ο **AEG Power Solutions Protect MPV 6000 480V**



Εικόνα 6.9 Αντιστροφείας εγκατάστασης



Εικόνα 6.10 Έξοδος εγκατάστασης AC ανά ημέρα

6.3 Σύστημα αποθήκευσης

Ο ρυθμιστής φόρτισης που επιλέχθηκε είναι ο **Victron Energy BlueSolar MPPT 100/30**, 24V 30A. Φορτίζει 4 μπαταρίες **Mitsuba D200 12V 200Ah C100** ανά δύο συνδεδεμένες

σε σειρά, δίνοντάς στην εγκατάσταση χωρητικότητα 400Ah στα 24V ή καλύτερα 200Ah με επίπεδο εκφόρτισης 50% για βέλτιστη διάρκεια ζωής.



Εικόνα 6.11 Μπαταρία Mitsuba D200

7 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία παρουσίασε και ανέλυσε τις διαδικασίες που σχετίζονται με τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα για την επιλογή, εγκατάσταση, και συντήρηση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Πρώτον, περιγράφηκε η λειτουργία και ο ρόλος των εξαρτημάτων των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ, οι μπαταρίες, οι αντιστροφείς και οι ρυθμιστές φόρτισης, με την επιλογή των κατάλληλων εξαρτημάτων και την σωστή διασύνδεσή τους είναι θεμελιώδης για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης και μακροζωίας του συστήματος. Κάθε εξάρτημα πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά για να διασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Δεύτερον, το πρόγραμμα "Φωτοβολταϊκά στη στέγη" προσφέρει μια αξιόπιστη λύση για την παραγωγή καθαρής ενέργειας και τη μείωση του ενεργειακού κόστους για τα νοικοκυριά. Η διαδικασία συμμετοχής στο πρόγραμμα είναι σαφώς καθορισμένη και περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα βήματα από την υποβολή αίτησης έως την εγκατάσταση και συντήρηση των συστημάτων, με τα οφέλη για τους συμμετέχοντες περιλαμβάνουν οικονομικά κίνητρα, ενεργειακή ανεξαρτησία και συμβολή στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καθιστώντας το πρόγραμμα ελκυστικό για πολλούς καταναλωτές.

Τρίτον, το λογισμικό για τη μελέτη φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, όπως το PVGiS, είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα, με το PVGiS να παρέχει σημαντικές πληροφορίες που είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση φωτοβολταϊκών έργων. Επιπλέον, το πρόγραμμα Python που αναπτύχθηκε διευκολύνει την αυτοματοποίηση των υπολογισμών και την απεικόνιση των αποτελεσμάτων, καθιστώντας τη διαδικασία σχεδιασμού πιο ακριβή και αποδοτική.

Τέταρτον, οι μελέτες εγκατάστασης 10kW και 5kW ανέδειξαν τη σημασία της σωστής διαστασιολόγησης και επιλογής εξαρτημάτων για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης, με την ανάλυση των φυσικών μεγεθών της περιοχής και την διαστασιολόγηση του inverter και του συστήματος αποθήκευσης να είναι σημαντικά για την επιτυχή υλοποίηση των έργων.

Τα παραδείγματα έδειξαν πώς οι διαφορετικές παράμετροι μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση και την οικονομικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για μελλοντικές εγκαταστάσεις.

Η εργασία τονίζει την ανάγκη της σωστής σχεδίασης, επιλογής εξαρτημάτων και χρήσης λογισμικών εργαλείων για την αποδοτική αξιοποίηση φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Οι συμμετέχοντες σε προγράμματα όπως τα "Φωτοβολταϊκά στη στέγη" μπορούν να επωφεληθούν σημαντικά, ενώ η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών και των εργαλείων σχεδίασης προσφέρει νέες δυνατότητες για τη βελτιστοποίηση και τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Tejero-Gómez, J.A.; Bayod-Rújula, Á.A. Analysis of Photovoltaic Plants with Battery Energy Storage Systems (PV-BESS) for Monthly Constant Power Operation. *Energies* 2023, 16, 4909. <https://doi.org/10.3390/en16134909>
2. Sher, A.A.; Ahmad, N.; Sattar, M.; Ghafoor, U.; Shah, U.H. Effect of Various Dusts and Humidity on the Performance of Renewable Energy Modules. *Energies* 2023, 16, 4857. <https://doi.org/10.3390/en16134857>
3. Rahimi, M. Lithium-Ion Batteries: Latest Advances and Prospects. *Batteries* 2021, 7, 8. <https://doi.org/10.3390/batteries7010008>
4. Oliveri, R.L.; Insinga, M.G.; Pisana, S.; Patella, B.; Aiello, G.; Inguanta, R. High-Performance Lead-Acid Batteries Enabled by Pb and PbO₂ Nanostructured Electrodes: Effect of Operating Temperature. *Appl. Sci.* 2021, 11, 6357. <https://doi.org/10.3390/app11146357>
5. Dreißigacker, V. Thermal Battery for Electric Vehicles: High-Temperature Heating System for Solid Media Based Thermal Energy Storages. *Appl. Sci.* 2021, 11, 10500. <https://doi.org/10.3390/app112110500>
6. Saha, S.; Maniam, K.K.; Paul, S.; Patnaikuni, V.S. Hydrodynamic and Electrochemical Analysis of Compression and Flow Field Designs in Vanadium Redox Flow Batteries. *Energies* 2023, 16, 6311. <https://doi.org/10.3390/en16176311>
7. Bošnjaković, M.; Stojkov, M.; Katinić, M.; Lacković, I. Effects of Extreme Weather Conditions on PV Systems. *Sustainability* 2023, 15, 16044. <https://doi.org/10.3390/su152216044>
8. Giannini, E.; Moropoulou, A.; Maroulis, Z.; Siouti, G. Penetration of Photovoltaics in Greece. *Energies* 2015, 8, 6497-6508. <https://doi.org/10.3390/en8076497>

9. Cui, Y.; Tian, S.; Zhu, J.; Zoras, S.; Shao, Y. Energy and Stochastic Economic Assessments of Photovoltaic Systems in the East Midlands. *Energies* 2023, 16, 6723. <https://doi.org/10.3390/en16186723>
10. Al-Ezzi, A.S.; Ansari, M.N.M. Photovoltaic Solar Cells: A Review. *Appl. Syst. Innov.* 2022, 5, 67. <https://doi.org/10.3390/asi5040067>
11. Ziemba, P. Selection of Photovoltaic Panels Based on Ranges of Criteria Weights and Balanced Assessment Criteria. *Energies* 2023, 16, 6382. <https://doi.org/10.3390/en16176382>
12. Vodapally, S.N.; Ali, M.H. A Comprehensive Review of Solar Photovoltaic (PV) Technologies, Architecture, and Its Applications to Improved Efficiency. *Energies* 2023, 16, 319. <https://doi.org/10.3390/en16010319>
13. Sepúlveda, F.J.; Montero, I.; Barrena, F.; Miranda, M.T.; Arranz, J.I. Design and Energy Analysis of Photovoltaic-Battery Prototype Considering Different Voltage Levels. *Batteries* 2023, 9, 16. <https://doi.org/10.3390/batteries9010016>
14. Munzke, N.; Büchle, F.; Smith, A.; Hiller, M. Influence of Efficiency, Aging and Charging Strategy on the Economic Viability and Dimensioning of Photovoltaic Home Storage Systems. *Energies* 2021, 14, 7673. <https://doi.org/10.3390/en14227673>
15. Xu, H.; Yu, T.; Chen, C.; Wu, X. State-of-Charge Prediction Model for Ni-Cd Batteries Considering Temperature and Noise. *Appl. Sci.* 2023, 13, 6494. <https://doi.org/10.3390/app13116494>
16. Young, K.-H. Research in Nickel/Metal Hydride Batteries 2016. *Batteries* 2016, 2, 31. <https://doi.org/10.3390/batteries2040031>
17. Itani, K.; De Bernardinis, A. Review on New-Generation Batteries Technologies: Trends and Future Directions. *Energies* 2023, 16, 7530. <https://doi.org/10.3390/en16227530>

18. S. Pilehvar, M.; Mirafzal, B. Frequency and Voltage Supports by Battery-Fed Smart Inverters in Mixed-Inertia Microgrids. *Electronics* 2020, 9, 1755. <https://doi.org/10.3390/electronics9111755>
19. Abdel-Aziz, A.; Elgenedy, M.A.; Williams, B. A Comparative Review of Three Different Power Inverters for DC–AC Applications. *Energies* 2023, 16, 7254. <https://doi.org/10.3390/en16217254>
20. Rojas, D.; Muñoz, J.; Rivera, M.; Rohten, J. Review of Control Techniques in Microinverters. *Sensors* 2021, 21, 6486. <https://doi.org/10.3390/s21196486>
21. Orosz, T.; Rassölkin, A.; Arsénio, P.; Poór, P.; Valme, D.; Sleisz, Á. Current Challenges in Operation, Performance, and Maintenance of Photovoltaic Panels. *Energies* 2024, 17, 1306. <https://doi.org/10.3390/en17061306>
22. Łowczowski, K.; Roman, J. Techno-Economic Analysis of Alternative PV Orientations in Poland by Rescaling Real PV Profiles. *Energies* 2023, 16, 6277. <https://doi.org/10.3390/en16176277>
23. Rokonzaman, M.; Shakeri, M.; Hamid, F.A.; Mishu, M.K.; Pasupuleti, J.; Rahman, K.S.; Tiong, S.K.; Amin, N. IoT-Enabled High Efficiency Smart Solar Charge Controller with Maximum Power Point Tracking—Design, Hardware Implementation and Performance Testing. *Electronics* 2020, 9, 1267. <https://doi.org/10.3390/electronics9081267>
24. Pamuk, N. Performance Analysis of Different Optimization Algorithms for MPPT Control Techniques under Complex Partial Shading Conditions in PV Systems. *Energies* 2023, 16, 3358. <https://doi.org/10.3390/en16083358>
25. Srilakshmi, K.; Sujatha, C.N.; Balachandran, P.K.; Mihet-Popa, L.; Kumar, N.U. Optimal Design of an Artificial Intelligence Controller for Solar-Battery Integrated UPQC in Three Phase Distribution Networks. *Sustainability* 2022, 14, 13992. <https://doi.org/10.3390/su142113992>

26. Kulesza, K.; Martinez, A.; Taylor, N. Assessment of Typical Meteorological Year Data in Photovoltaic Geographical Information System 5.2, Based on Reanalysis and Ground Station Data from 147 European Weather Stations. *Atmosphere* 2023, 14, 1803. <https://doi.org/10.3390/atmos14121803>
27. Anselmo, S.; Ferrara, M. Trends and Evolution of the GIS-Based Photovoltaic Potential Calculation. *Energies* 2023, 16, 7760. <https://doi.org/10.3390/en16237760>
28. Bouhorma, N.; Martín, H.; de la Hoz, J.; Coronas, S. A Comprehensive Methodology for the Statistical Characterization of Solar Irradiation: Application to the Case of Morocco. *Appl. Sci.* 2023, 13, 3365. <https://doi.org/10.3390/app13053365>
29. Ayaz, A.; Ahmad, F.; Irfan, M.A.A.; Rehman, Z.; Rajski, K.; Danielewicz, J. Comparison of Ground-Based Global Horizontal Irradiance and Direct Normal Irradiance with Satellite-Based SUNY Model. *Energies* 2022, 15, 2528. <https://doi.org/10.3390/en15072528>
30. Papakitsos, E.; Alexakis, D.E.; Mavraklis, A. Air Mass Trajectories regarding Hydro Meteorological Disasters in Greece Registered in the EM-DAT Database. *Environ. Sci. Proc.* 2023, 26, 95. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2023026095>
31. Pinna, A.; Massidda, L. A Procedure for Complete Census Estimation of Rooftop Photovoltaic Potential in Urban Areas. *Smart Cities* 2020, 3, 873-893. <https://doi.org/10.3390/smartcities3030045>
32. <https://solarvet.co.ke/product-tag/all-weather-monocrystalline-solar-panels/>, accessed 6/24
33. <https://www.batterien48.ch/shop/versorgungsbatterien/intact-solar-power/intact-sp125-solar-power-125ah-12v-versorgungsbatterie/> accessed 6/24
34. <https://redsunpv.com/blog>, accessed 6/24

35. <https://www.kalemisbros.gr/studioequipment/iliaki-energeia/solar-charger-inverters/solar-charge-controller-setsail-pwm50-50amp-12v-24v-dual-usb-5v-2.5a/?sl=en>, accessed 6/24
36. <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>, accessed 6/24