



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**Πλήρης αυτονομία οικιακής κατοικίας
μέσω φωτοβολταϊκού συστήματος**



**Φοιτητής: Πακίος Λουκάς
ΑΜ: 51204311**

Επιβλέπων Καθηγητής

**Καραϊσάς Πέτρος
Αναπληρωτής καθηγητής**

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, Νοέμβριος 2019



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Full autonomy of a household through a photovoltaic system



Student: Pakios Loukas
Registration Number: 51204311

Supervisor

Karaisas Petros
Associate Professor

ATHENS-EGALEO, November 2019

ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

ΚΑΡΑΙΣΑΣ ΠΕΤΡΟΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΚΑΛΚΑΝΗΣ ΚΩΣΤΑΣ ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΣΥΓΓΕΡΙΔΟΥ ΟΛΥΜΠΙΑΔΑ ΛΕΚΤΟΡΑΣ
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

COPYRIGHT © Πακίος Λουκάς 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Πακίος Λουκάς του Στυλιανού, με αριθμό μητρώου 51204311 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή».

Ο Δηλών

Πακίος Λουκάς



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θέλω να ευχαριστήσω όλους εκείνους που βοήθησαν, ο καθένας με τον τρόπο του για την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Περισσότερο από όλους, θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου αλλά και επιβλέποντα στην διπλωματική μου εργασία κύριο Καραϊσά Πέτρο, ο οποίος όχι μόνο με τίμησε με την εμπιστοσύνη του αλλά μου προσέφερε και την πολύτιμη καθοδήγησή του ώστε αυτή η διπλωματική εργασία να ολοκληρωθεί επιτυχώς.

Θέλω επίσης να εκφράσω την μεγάλη μου ευγνωμοσύνη και αγάπη στην όμορφη οικογένειά μου και συγκεκριμένα στη σύζυγό μου αλλά και μητέρα των παιδιών μας Έφη, στα παιδιά μου Στέλιο και Αλεξάνδρα-Ζωή αλλά στην πεθερά μου Αλεξάνδρα, για τη μεγάλη της βοήθεια. Αυτοί με βοήθησαν και ήταν κοντά μου, σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, υποστηρίζοντάς με τόσο αποτελεσματικά ώστε παρόλο το μεγάλο της ηλικίας μου να καταφέρω να ολοκληρώσω τις σπουδές μου εντός του επιθυμητού χρονικού διαστήματος.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μελέτη πραγματεύεται ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα το οποίο θα τροφοδοτεί με ρεύμα μία κατοικία χτισμένη σε έναν οικισμό μεταξύ των Δήμων Σαρωνικού και Λαυρεωτικής του Νομού Αττικής, αρκετά μακριά από την πόλη. Η κατοικία έχει εμβαδόν 150 τ.μ. Η αναγκαιότητα εγκατάστασης ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος οφείλεται στο γεγονός ότι στον οικισμό στον οποίο βρίσκεται η κατοικία δεν υπάρχει εγκατεστημένο δίκτυο ηλεκτροδότησης και συνεπώς η τροφοδότηση αυτής από τη ΔΕΗ απαιτεί μεγάλο κόστος, είναι δηλαδή οικονομικά ασύμφορη. Εκτός του ανωτέρω αναφερόμενου φωτοβολταϊκού συστήματος, θα εγκατασταθούν επίσης συσσωρευτές ώστε να αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια αλλά και μία εφεδρική πηγή ενέργειας ήτοι μία ντιζελογεννήτρια. Ο ρόλος εγκατάστασης της ντιζελογεννήτριας είναι αφενός για να καλύπτονται οι πιθανές αιχμές φορτίου που ενδεχομένως να εμφανίζονται στο σύστημα αλλά και η φόρτιση των συσσωρευτών. Πιο αναλυτικά:

Το πρώτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στο τι συμβαίνει με την ηλιακή ακτινοβολία, πως αυτή διακυμαίνεται όπως επίσης πως χρησιμοποιούμε αυτή την ακτινοβολία όσον αφορά τους συλλέκτες της ηλιακής ενέργειας (ηλιακοί συλλέκτες) και συγκεκριμένα ποιος είναι ο βέλτιστος προσανατολισμός αλλά και η καλύτερη κλίση που αυτοί πρέπει να έχουν ώστε να υπάρχει μέγιστη απόδοση αυτών. Ακολουθεί η ανάλυση τόσο του φωτοβολταϊκού φαινομένου όσο και των φωτοβολταϊκών στοιχείων συγκριτικά με τα διάφορα υλικά αλλά και τις ποικίλες τεχνολογίες που διατίθενται προκειμένου να μπορούν αυτά να κατασκευαστούν. Επιπρόσθετα, αναλύονται τόσο τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών στοιχείων όσο και των πλαισίων.

Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται αποκλειστικά με τις διαδικασίες που πρέπει να προηγηθούν ώστε να ακολουθήσει η αδειοδότηση σχετικά με την εγκατάσταση στην κατοικία των απαραίτητων φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία αδειοδότησης διαφοροποιείται ανάλογα με την ισχύ των φωτοβολταϊκών στοιχείων που πρόκειται να εγκατασταθούν. Για τη συγκεκριμένη κατοικία θα εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά, η μέγιστη ισχύς των οποίων θα είναι μέχρι 10 κιλοβάτ (kWpeak). Η εγκατάσταση αυτή πρέπει να γίνει σε κτίριο που έχει δομηθεί με άδεια οικοδομής και θα λάβει χώρα ή στη στέγη ή στο δώμα αυτού. Αφορά είτε καταναλωτές οι οποίοι θέλουν να εγκαταστήσουν ιδιωτικά φωτοβολταϊκά ισχύος στο οίκημά τους ή πολύ μικρές επιχειρήσεις.

Το τρίτο κεφάλαιο πραγματεύεται τα ηλεκτρονικά στοιχεία των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τέτοια στοιχεία είναι ο ανιχνευτής (μέγιστου φορτίου) ισχύος, ο μετατροπέας τάσης (συνεχές (DC) ρεύμα – εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα) καθώς και ο ελεγκτής τάσης φόρτισης. Επίσης, στα στοιχεία αυτά περιλαμβάνονται και οι

αντιστροφείς (inverters), οι καλωδιώσεις, τα μέτρα προστασίας από υπερτάσεις αλλά και τα μέτρα αντικεραυνικής προστασίας και τέλος τα μέτρα προστασίας του εγκαταστάτη από ηλεκτροπληξία κατά την τοποθέτησή τους.

Το επόμενο κεφάλαιο, το τέταρτο στη σειρά, ασχολείται με τη μέθοδο υπολογισμού των μετεωρολογικών συνθηκών μέσω μίας εφαρμογής PVGIS. Ο υπολογισμός των καταναλώσεων της οικίας, η εύρεση των φωτοβολταϊκών πάνελ, η επιλογή του συσσωρευτή, του ρυθμιστή φόρτισης και των αντιστροφέων (inverters), η επιλογή ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους καθώς και ο καταμερισμός ισχύος ζήτησης γίνονται με τη χρήση αυτής της εφαρμογής. Τέλος, υπολογίζεται το κοστολόγιο για όλα τα υλικά και τις εργασίες του υπό μελέτη συστήματος καθώς και το κόστος συντήρησης και αντικατάστασης εξοπλισμού για μία περίοδο 25 ετών.

Τελευταίος είναι ο επίλογος ο οποίος περιλαμβάνει τα συμπεράσματα της μελέτης όπως και η βιβλιογραφία με τις πηγές που με βοήθησαν για να ολοκληρώσω την διπλωματική μου εργασία.

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλιακή ενέργεια, Ηλιακή ακτινοβολία, Φωτοβολταϊκό φαινόμενο, Φωτοβολταϊκά στοιχεία, Φωτοβολταϊκό σύστημα, Πρόγραμμα PVGIS, Γεννήτρια

ABSTRACT

The present study deals with a hybrid photovoltaic system that will supply power to a residence built in a settlement between the municipalities of Saronikos and Lavreotiki in the Prefecture of Attica, far away from the city. The house has an area of 150 sq.m. The necessity of installing a hybrid photovoltaic system is due to the fact that in the settlement where the residence is located there is no installed electricity supply network and therefore the supply from DEI requires high costs, i.e. it is economically unviable. Apart from the above mentioned photovoltaic system, batteries will also be installed to store the electricity and a backup energy source, i.e. a diesel generator. The role of installing the diesel generator is to cover possible load peaks that may occur in the system and to charge the batteries. In more detail:

The first chapter is dedicated to what happens with solar radiation, how it varies and how we use this radiation in terms of solar energy collectors (solar panels) and specifically what is the optimal orientation and the best slope that they should have in order to have maximum efficiency. This is followed by an analysis of both the photovoltaic phenomenon and the photovoltaic cells in comparison with the various materials and the various technologies available in order to be able to manufacture them. In addition, both the characteristics of the electrical elements and the chassis are analysed.

The second chapter deals exclusively with the procedures that need to be followed in order to follow the licensing regarding the installation of the necessary photovoltaic elements in the house. It is worth noting that the licensing process varies depending on the power of the photovoltaic elements to be installed. For this particular house, photovoltaic systems will be installed, the maximum power of which will be up to 10 kilowatts (kW_{peak}). This installation must take place in a building that has been built with a building permit and will take place either on the roof or in the attic of the building. It concerns either consumers who want to install private photovoltaic power in their homes or very small businesses.

The third chapter deals with the electronic components of photovoltaic systems. Such components are the power (maximum load) detector, the voltage converter (DC to AC) and the charge voltage controller. Also included in these elements are inverters, wiring, surge protection measures, lightning protection measures and, finally, measures to protect the installer from electric shock during installation.

The next chapter, the fourth in the series, deals with the method of calculating meteorological conditions through a PVGIS application. The calculation of the consumption of the house, the finding of the photovoltaic panels, the selection of the accumulator, the charge regulator and the inverters, the selection of the generating pair and the distribution of power demand are done using this

application. Finally, the cost of all materials and works of the system under study is calculated, as well as the cost of maintenance and replacement of equipment for a period of 25 years.

Last is the epilogue which includes the conclusions of the study as well as the bibliography with the sources that helped me to complete my diploma thesis.

KEYWORDS

Solar energy, Solar radiation, Photovoltaic effect, Photovoltaic cells, Photovoltaic system, PVGIS program, Generator

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ & ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	16
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
1.2 ΣΧΕΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΓΗΣ ΚΑΙ ΗΛΙΟΥ (ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ)	17
1.3 ΜΕ ΠΟΙΟΥΣ ΤΡΟΠΟΥΣ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΟΥΝ ΟΙ ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ ΕΠΑΝΩ ΣΤΗ ΓΗ	18
1.4 ΠΩΣ ΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΗΛΙΑΚΕΣ ΓΩΝΙΕΣ	19
1.5 ΠΩΣ ΟΡΙΖΕΤΑΙ Η ΗΛΙΑΚΗ ΩΡΑ	21
1.6 ΜΕ ΠΟΙΟΝ ΤΡΟΠΟ ΡΕΕΙ ΚΑΙ ΠΩΣ ΔΙΑΚΥΜΑΙΝΕΤΑΙ Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	22
1.7 Η ΗΛΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ	23
1.8 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	24
1.9 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	25
1.10 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	28
1.11 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	29
1.12 ΑΡΝΗΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΜΟ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	30
1.13 ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	32
1.14 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΔΙΟΔΩΝ ΠΑΡΑΚΑΜΨΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΝΟΜΟΙ, ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΙΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	34
2.1 ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	34
2.2 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΣΤΕΓΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕΧΡΙ 10kW _{peak}	34
2.3 ΟΙΚΙΑΚΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	36
2.4 ΜΙΚΡΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ	36

2.5	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ	37
2.6	ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΤΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ	38
2.7	ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	39
2.8	ΠΟΙΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ		42
3.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	42
3.2	ΟΙ ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	42
3.3	ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΣΕ ΕΝΑΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ DC-AC	44
3.4	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	46
3.5	ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	47
3.6	ΑΣΦΑΛΕΙΑ	49
3.7	ΓΕΙΩΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΤΑΣΗΣ (Volt DC)	49
3.8	ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	52
3.8.1	ΠΛΕΥΡΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	52
3.8.2	ΠΛΕΥΡΑ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	54
3.8.3	ΣΗΜΑΝΣΕΙΣ ΣΕ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	55
3.9	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΑΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΓΙΑ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ	55
3.10	ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	59
3.11	ΜΕΤΡΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΘΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΝΕΛ	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ		62
--	--	-----------

4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	62
4.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ PVGIS	62
4.3	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	65
4.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	69
4.5	ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	73
4.6	ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	74
4.7	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΤΑΣΕΩΣ DC / AC (INVERTER)	76
4.8	ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ (ΕΦΕΔΡΙΚΗ ΠΗΓΗ)	77
4.9	ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	80
4.10	ΚΟΣΤΟΛΟΓΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	84
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ	87
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ & ΠΙΝΑΚΩΝ

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1	Ο Ήλιος	16
Εικόνα 1.2	Ο τρόπος με τον οποίο η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο	17
Εικόνα 1.3	Σύστημα Συντεταγμένων	19
Εικόνα 1.4	Είδη γωνιών επιφανειών όπως διαμορφώνονται από τις διάφορες θέσεις του Ήλιου ως προς τη Γη	20
Εικόνα 1.5	Αναπαράσταση του ηλιακού ρολογιού	22
Εικόνα 1.6	Πως διαμορφώνεται η μέση ηλιακή ακτινοβολία για διάφορες γωνίες γ κατά τη διάρκεια ενός έτους	23
Εικόνα 1.7	Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από κρυσταλλικό πυρίτιο	26
Εικόνα 1.8	Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	27
Εικόνα 1.9	Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από άμορφο πυρίτιο ..	28
Εικόνα 1.10	Χαρακτηριστική τάσης και έντασης φωτοβολταϊκού στοιχείου	28
Εικόνα 1.11	Χαρακτηριστική ισχύος για διάφορες ακτινοβολίες ανά μήκος κύματος	31
Εικόνα 1.12	Χαρακτηριστική τάσης και έντασης για διάφορες θερμοκρασίες ..	31
Εικόνα 3.1	Πως αυτορυθμίζεται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα	43
Εικόνα 3.2	Ρυθμιστής τάσης μέσα σε φωτοβολταϊκό σύστημα	43
Εικόνα 3.3	Αντιστροφέας μέσα σε φωτοβολταϊκό σύστημα	44
Εικόνα 3.4	Κύκλωμα ανορθωτικής διάταξης	45
Εικόνα 3.5	Τάση εξόδου αντιστροφέα	45
Εικόνα 3.6	Κανονικό ημίτονο σε σύγκριση με τετραγωνικό παλμό	46
Εικόνα 3.7	Ανάλυση σφάλματος	48
Εικόνα 3.8.α	Σωστοί τρόποι γείωσης των συνδεδεμένων κτιριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων	50
Εικόνα 3.8.β	Σωστοί τρόποι γείωσης των συνδεδεμένων κτιριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων	51
Εικόνα 3.8.γ	Σωστοί τρόποι γείωσης των συνδεδεμένων κτιριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων	51
Εικόνα 3.9	Σχήμα σύνδεσης συστημάτων γείωσης και προστασίας εγκατάστασης από υπέρταση	56
Εικόνα 3.10	Ενδείξεις της τάσης που επάγεται σε βρόχο επιφάνειας 1 τετραγωνικού μέτρου σε συνάρτηση με την απόσταση από τον κεραυνό πλήγματος	57
Εικόνα 3.11	Συνολικά η ηλεκτρική εγκατάσταση ενός συνδεδεμένου σε οικία φωτοβολταϊκού συστήματος για παραγωγή ενέργειας σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 60364-7-712	59

Εικόνα 4.1	Δίνεται η τοποθεσία της οικίας με τα μηνιαία στοιχεία μέσω του PVGIS	63
Εικόνα 4.2.α	Δίνονται οι μηνιαίες μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του PVGIS	63
Εικόνα 4.2.β	Δίνεται η μηνιαία θερμοκρασία μέσω του PVGIS	64
Εικόνα 4.3	Δίνεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία	64
Εικόνα 4.4	Φωτοβολταϊκά πάνελ χώρας προέλευσης Γερμανίας Luxor Eco Line 60 / 225Wp	71
Εικόνα 4.5	Προτεινόμενη μπαταρία	74
Εικόνα 4.6	GS-300D PV ρυθμιστής φόρτισης	76
Εικόνα 4.7	Αντιστροφέας Sunny Island 5048	77
Εικόνα 4.8	Γεννήτρια AY1500-22CL της εταιρείας AYERBE	79
Εικόνα 4.9	Φωτοβολταϊκό σύστημα αυτόνομης οικίας με ηλεκτρικές μπαταρίες και με γεννήτρια	80
Εικόνα 4.10	Καμπύλη μέγιστης παραγόμενης ισχύος μιας ηλιακής εγκατάστασης φωτοβολταϊκών για μια τυχαία ημέρα του πρώτου μήνα του χειμώνα για εικοσιτέσσερες ώρες	81
Εικόνα 4.11	Ιστόγραμμα που συγκρίνει την παραγόμενη ισχύ των φωτοβολταϊκών και την κατανάλωση ισχύος φορτίων της οικίας για κάθε ώρα μίας ημέρας του Δεκεμβρίου	82
Εικόνα 4.12	Καμπύλη της μέγιστης παραγόμενης ισχύος μιας ηλιακής συστοιχίας μία ημέρα του καλοκαιριού όλο το 24ωρο	82
Εικόνα 4.13	Ιστόγραμμα που συγκρίνει την παραγόμενη ισχύ φωτοβολταϊκών και την κατανάλωση ισχύος φορτίων της οικίας για κάθε ώρα μίας ημέρας του Αυγούστου	83

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1	Δικαιολογητικά στον κτιριακό τομέα	37
Πίνακας 4.1	Μέσος όρος ηλιακής ακτινοβολίας για κλίση 30° και μηνιαία και ημερήσια μέση θερμοκρασία αέρα (°C) για τοποθεσία στην Ανατολική Αττική (αποτέλεσμα μέσω προγράμματος PVGIS)	64
Πίνακας 4.2	Δεκέμβριος – Ένας μήνας με πολύ μικρή ηλιοφάνεια. Παρουσιάζεται η ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών, ο χρόνος λειτουργίας τους και η 24ωρη ενεργειακή κατανάλωσή τους, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους καθώς και η ολική κατανάλωση της οικίας	66
Πίνακας 4.3	Αύγουστος – Ένας μήνας με πολύ μεγάλη ηλιοφάνεια. Παρουσιάζεται η ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών, ο χρόνος λειτουργίας τους και η 24ωρη ενεργειακή κατανάλωσή τους, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους καθώς και η ολική κατανάλωση της οικίας	68
Πίνακας 4.4	Ποια είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πάνελ Luxor LX 225-P ...	71
Πίνακας 4.5	Απεικόνιση της μέσης ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας (kWh) ..	72

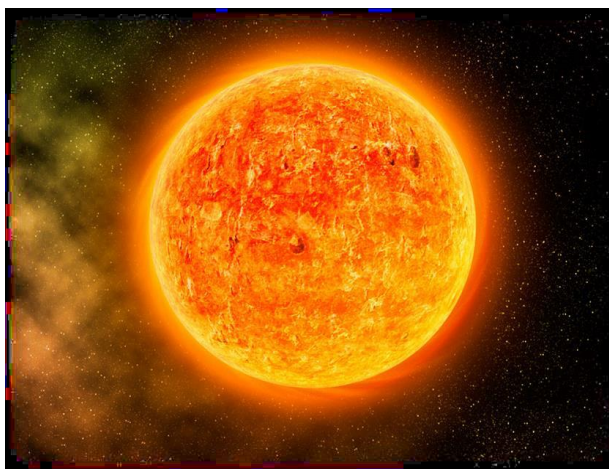
Πίνακας 4.6	Αντιστροφέας Sunny Island 5048 – Τεχνικά χαρακτηριστικά	77
Πίνακας 4.7	Τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους AY1500-22CL	79
Πίνακας 4.8	Ισχύς φορτίου ζήτησης για όλο το εικοσιτετράωρο για μία τυχαία ημέρα του χειμώνα (μήνας Δεκέμβριος) και μία τυχαία ημέρα του καλοκαιριού (μήνας Αύγουστος)	84
Πίνακας 4.9	Κοστολόγιο για όλα τα υλικά και τις εργασίες του υπό μελέτη συστήματος	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ – ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ & ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.1 Εισαγωγή

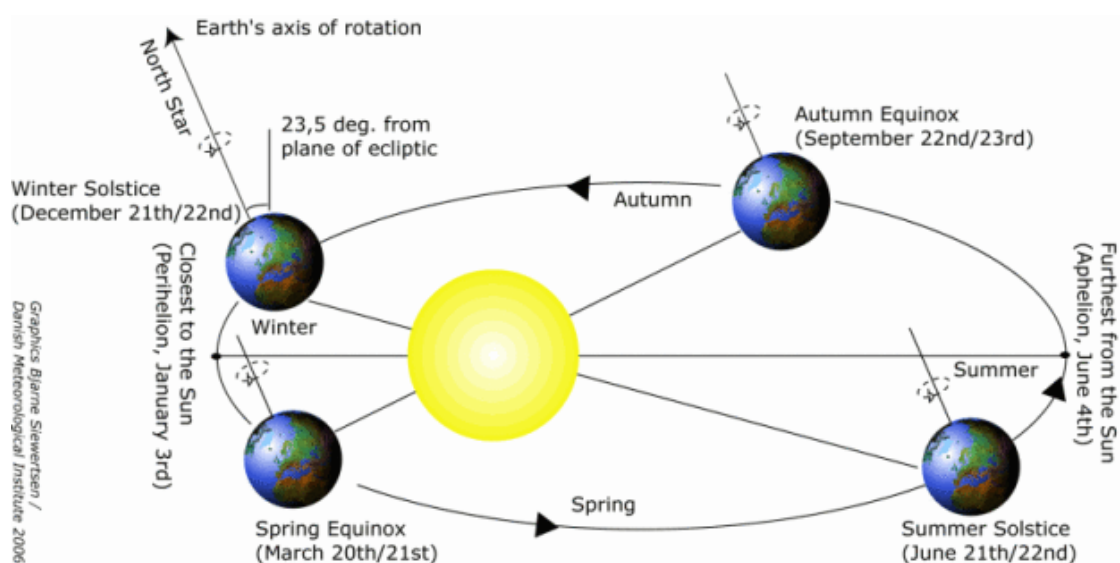
Η πηγή ζωής για τον πλανήτη μας είναι ο Ήλιος. Είναι ένα άστρο, το πιο κοντινό στη Γη, σε απόσταση περίπου 149.504.312 χιλιομέτρων. Έχει σφαιρικό σχήμα και αποτελείται από αέρια, κυρίως υδρογόνο σε ποσοστό 74%, ήλιο σε ποσοστό 25% και διάφορα άλλα στοιχεία στο εναπομείναν ποσοστό του 1%. Η διάμετρος του Ήλιου είναι περίπου 142x106 χιλιόμετρα. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στον ήλιο μπορεί να φτάσει στην επιφάνειά του τους 5.777 °K, ενώ στο εσωτερικό του αυτή γιγαντώνεται και μπορεί να φτάσει τους 15.000.000 °K. Στο κέντρο αυτού του άστρου λαμβάνουν συνεχώς χώρα θερμοπυρηνικές αντιδράσεις. Από αυτές δημιουργείται η ηλιακή ενέργεια. Πιο συγκεκριμένα, για να σχηματιστεί ένας πυρήνας ηλίου πρέπει να προηγηθεί η σύντηξη τεσσάρων πυρήνων υδρογόνου. Κατά την ανωτέρω μετατροπή λαμβάνει χώρα μία μικρή ελάττωση μάζας. Αυτή μετατρέπεται σε ενέργεια. Στη συνέχεια η ενέργεια αυτή μεταφέρεται στην επιφάνεια του Ήλιου από το εσωτερικό του και τελικά εκπέμπεται στο διάστημα ως ηλεκτρομαγνητική και σωματιδιακή ακτινοβολία. Η εκπομπή αυτής της ενέργειας γίνεται ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις, συνεπώς μόνο ένα μέρος αυτής της ενέργειας καταλήγει τελικά στη Γη. Τα παραγόμενα από τον Ήλιο κύματα, τα λεγόμενα ηλεκτρομαγνητικά, «ταξιδεύουν» τόσο γρήγορα όσο το φως και καταλήγουν στη Γη στον απίστευτο χρόνο των 8,3 λεπτών. Τα μήκη κύματος αυτής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διακυμαίνονται από 10-14 μέτρα και μπορεί να φτάσουν ακόμα και τα 1.010 μέτρα. Το **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα** αποτελείται από το σύνολο αυτών των ηλεκτρομαγνητικών μηκών κύματος.



Εικόνα 1.1: Ο Ήλιος

1.2 Σχετική κίνηση Γης και Ήλιου (Ηλιακή Γεωμετρία)

Η ηλιακή ακτινοβολία δεν έχει πάντα την ίδια ισχύ. Για παράδειγμα, οι άνθρωποι αισθάνονται την ηλιακή θερμότητα με διαφορετικό τρόπο κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους. Συνεπώς, ο τρόπος με τον οποίο ο καθένας από εμάς αντιλαμβάνεται την ηλιακή θερμότητα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως τις εποχές, τις καιρικές συνθήκες, την παρουσία υγρασίας, την ώρα της ημέρας, κ.λπ. Η «Ηλιακή Γεωμετρία» όμως, δηλαδή η θέση του Ήλιου σε σύγκριση με ένα άλλο συγκεκριμένο σημείο, σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, είναι η σημαντικότερη παράμετρος που καθορίζει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας. Η Ηλιακή Γεωμετρία καθορίζεται εξίσου από το χρονικό διάστημα της περιστροφής της Γης γύρω από τον Ήλιο (ένα έτος) και από την περιστροφή της (ένα εικοσιτετράωρο) γύρω από τον εαυτό της. Η εικόνα 1.2 απεικονίζει την περιστροφή διάρκειας 365 ημερών του πλανήτη μας γύρω από τον Ήλιο (ελλειπτική τροχιά). Εξαιτίας αυτής της ελλειπτικής τροχιάς, η απόσταση μεταξύ των κέντρων των δύο πλανητών μεταβάλλεται. Το φαινόμενο του «περιηλίου» εμφανίζεται όταν η Γη βρίσκεται κοντά στον Ήλιο στην τροχιά της γύρω από αυτόν. Αντίθετα, το «αφήλιο» είναι η μεγαλύτερη δυνατή απόσταση μεταξύ Γης και Ήλιου.



Εικόνα 1.2: Ο τρόπος με τον οποίο η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο

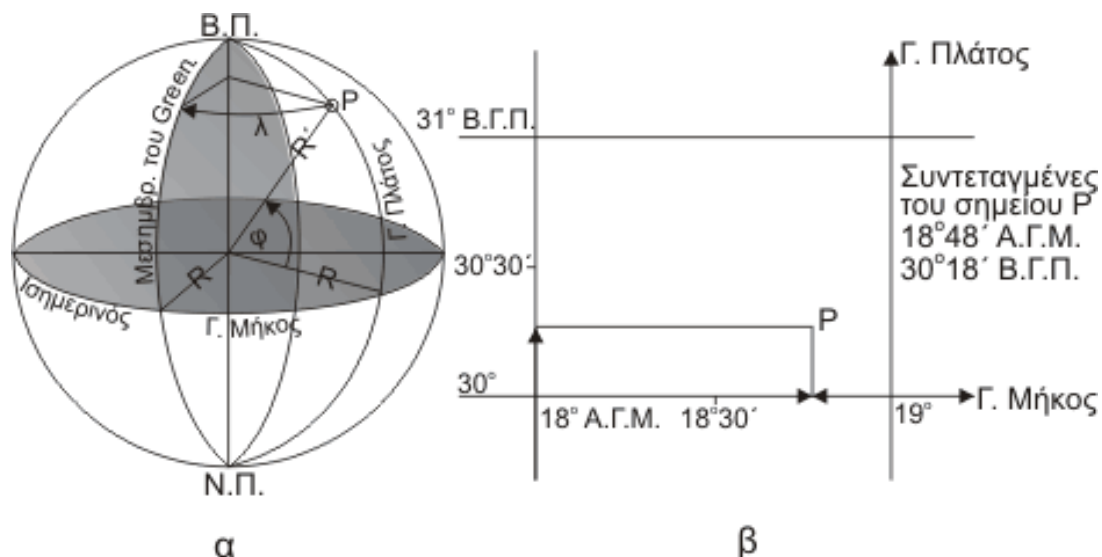
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η Γη κάνει μία περιστροφή γύρω από τον εαυτό της. Για να κατανοήσουμε αυτή την κίνηση, υποθέτουμε ότι ένας άξονας, γνωστός και σαν πολικός άξονας, εκτείνεται από τον Βόρειο στον Νότιο Πόλο. Ο πολικός άξονας είναι κάθετος στον οριζόντιο άξονα που διατρέχει τον Ισημερινό. Η περιστροφή της Γης γύρω από τον εαυτό της διαρκεί ένα εικοσιτετράωρο. Κατά την περιστροφή αυτή σχηματίζεται πάντα οξεία γωνία $23,45^\circ$ ως προς τον πολικό άξονα, μεταξύ του ουράνιου ισημερινού και του επιπέδου της γραμμής («Εκλειπτική») που σχηματίζει η Γη περιστρεφόμενη γύρω από τον Ήλιο. Παρ' όλα αυτά, για τον υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας που συγκεντρώνει ένας ηλιακός συλλέκτης,

είθισται, για πιο πρακτικούς υπολογισμούς, να κάνουμε την υπόθεση ότι σταθερή είναι η Γη και ότι γύρω της κινείται ο Ήλιος, κινούμενος σε τροχιά ελλειπτική, πάνω στην εκλειπτική γραμμή. Σε αυτή την περίπτωση υποθέτουμε ότι ο πολικός άξονας είναι κάθετος στον ουράνιο ισημερινό.

1.3 Με ποιους τρόπους μπορούν να προσδιοριστούν οι τοποθεσίες επάνω στη Γη

Τα μέρη στη Γη ορίζονται με ακριβή τρόπο με τη βοήθεια των συντεταγμένων. Έτσι, κάθε σημείο υπολογίζεται με βάση το γεωγραφικό του πλάτος και μήκος. Για να υπολογίσουμε το γεωγραφικό πλάτος μίας συγκεκριμένης τοποθεσίας πρέπει να φανταστούμε δύο άξονες: έναν κατακόρυφο πολικό άξονα και έναν κάθετο σε αυτόν οριζόντιο άξονα που διασχίζει τον Ισημερινό. Μεταξύ των δύο αυτών φανταστικών αξόνων σχηματίζεται ορθή γωνία αφού τέμνονται κάθετα. Στη συνέχεια, σκεφτόμαστε μία νοητή γραμμή που ενώνει το μέρος του οποίου θέλουμε να υπολογίσουμε το γεωγραφικό πλάτος με το κέντρο της τομής των δύο αξόνων. Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του οριζόντιου άξονα που διασχίζει τον Ισημερινό και του σημείου που θέλουμε να προσδιορίσουμε ορίζει το γεωγραφικό του πλάτος. Εάν λοιπόν σκεφτούμε παράλληλους με τον οριζόντιο άξονα που διασχίζει τον Ισημερινό κύκλους, όλα τα σημεία της επιφάνειας της Γης που βρίσκονται επάνω σε αυτούς θα έχουν το ίδιο γεωγραφικό πλάτος. Η μόνη διαφοροποίησή τους είναι σχετικά με το εάν τα σημεία αυτά βρίσκονται στο Βόρειο ή στο Νότιο ημισφαίριο. Έτσι, θετικά γεωγραφικά πλάτη είναι εκείνα που βρίσκονται πάνω από τον Ισημερινό και πλησιάζουν τον Βόρειο Πόλο, ενώ εκείνα που βρίσκονται κάτω από τον Ισημερινό και πλησιάζουν τον Νότιο Πόλο σημαίνονται με αρνητικά πρόσημο.

Όσον αφορά το γεωγραφικό μήκος ενός σημείου επάνω στη γη, αυτό υπολογίζεται σχεδιάζοντας κύκλους που έχουν ως διάμετρο τον κατακόρυφο πολικό άξονα. Οι κύκλοι αυτοί τέμνουν κάθετα τον οριζόντιο κύκλο του Ισημερινού. Τα ημικύκλια αυτά που σχηματίζονται από τον Βόρειο έως τον Νότιο Πόλο και τον κατακόρυφο πολικό άξονα είναι γνωστά ως «μεσημβρινοί». Το ημικύκλιο που διέρχεται από το Γκρίνουιτς της Μεγάλης Βρετανίας ορίζει το γεωγραφικό μήκος μηδέν. Με αυτή την παραδοχή και με δεδομένο πόσο απέχει από αυτό το σημείο κάθε τοποθεσία επάνω στη Γη προκύπτουν τα γεωγραφικά μήκη των διαφόρων τοποθεσιών. Οι μεσημβρινοί που βρίσκονται στα δυτικά του Γκρίνουιτς θεωρούνται θετικοί, ενώ εκείνοι που βρίσκονται στα ανατολικά του Γκρίνουιτς θεωρούνται αρνητικοί.



Εικόνα 1.3: Σύστημα Συντεταγμένων

1.4 Πως ορίζονται οι ηλιακές γωνίες

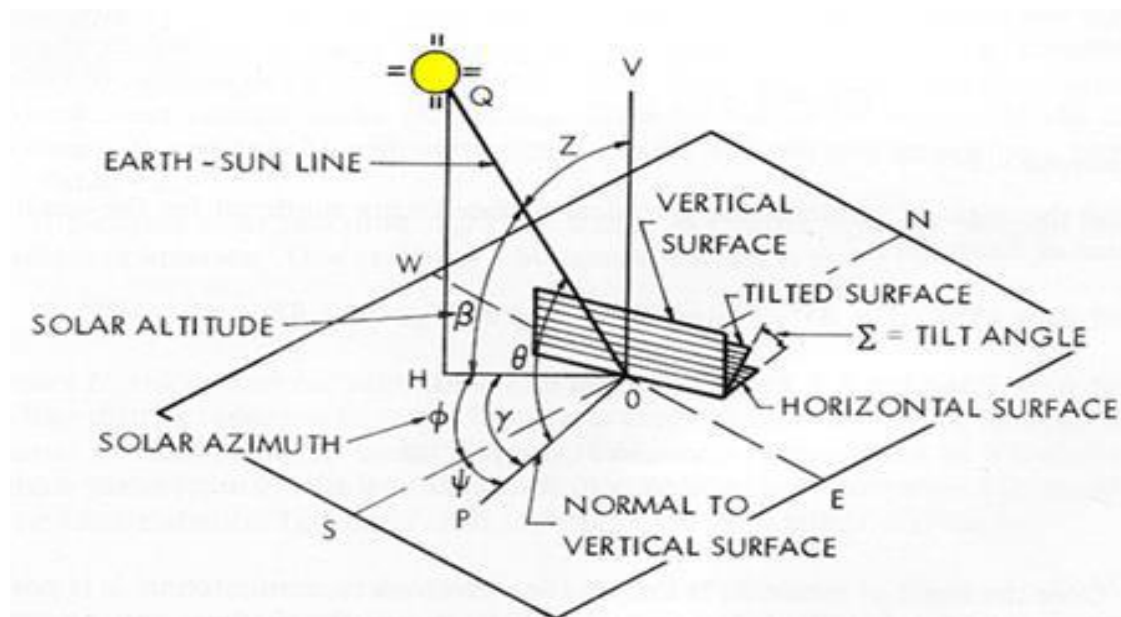
Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ ενός σημείου επάνω στη Γη και της θέσης του Ήλιου τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ονομάζεται ηλιακή γωνία. Με τη βοήθεια της ηλιακής γωνίας μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τη θέση του σημείου επάνω στην Γη. Υπάρχουν τα εξής κύρια είδη ηλιακών γωνιών: η ωριαία γωνία h και η γωνία απόκλισης του Ήλιου δ . Η ωριαία γωνία h σχηματίζεται μεταξύ του σημείου, της θέσης του ήλιου τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή και του επιπέδου που είναι κάθετο στην επιφάνεια της Γης (μεσημβρινό επίπεδο) και έχει κατεύθυνση από το Βόρειο προς τον Νότιο Πόλο. Με τη γωνία αυτή υπολογίζουμε την ώρα της ημέρας συγκριτικά με το ηλιακό μεσημέρι. Ως γωνία απόκλισης του Ήλιου δ ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των ακτίνων του Ήλιου είτε βόρεια είτε νότια του Ισημερινού. Όταν οι ακτίνες είναι βόρεια του Ισημερινού, η απόκλιση είναι θετική ενώ όταν βρίσκονται νότια του Ισημερινού, η απόκλιση είναι αρνητική. Κατά το θερινό ηλιοστάσιο, οι ακτίνες του Ήλιου σχηματίζουν οξεία γωνία $23,45^\circ$ βόρεια του Ισημερινού της Γης, ενώ η απόκλιση είναι μηδέν όταν έχουμε ισημερία.

Γωνία απόκλισης του Ήλιου δ (υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο):

$$\delta = 23,45^\circ * \eta\mu[360/365 * (284 + n)]$$

Ο αριθμός 284 ισούται με το σύνολο των ημερών, οι οποίες θα ακολουθήσουν μέχρι την εαρινή ισημερία. Τότε η θέση του σταθερού Ήλιου συμπίπτει με την αρχή του ημερολογιακού έτους. Έτερος τύπος που χρησιμοποιείται είναι ο κάτωθι:

$$\delta = 23,45^\circ * \eta\mu[360/365 * (n - 81)]$$



Εικόνα 1.4: Είδη γωνιών επιφανειών όπως διαμορφώνονται από τις διάφορες θέσεις του Ήλιου ως προς τη Γη

Ο αριθμός 81 αντιστοιχεί στο σύνολο των ημερών από την αρχή του έτους μέχρι την πρώτη εαρινή ισημερία. Η θέση του Ήλιου υπολογίζεται και από άλλες δύο γωνίες, το ύψος και το αζιμούθιο.

Η γωνία που εμφανίζεται μεταξύ μίας γωνίας και της κάθετης προβολής της ονομάζεται ύψος β και λογαριάζεται ως ακολούθως:

$$\eta\mu\beta = \eta\mu\delta * \eta\mu L + \sigma\upsilon\nu\delta * \sigma\upsilon\nu L * \sigma\upsilon\nu\eta$$

Στην ανωτέρω εξίσωση, το L συμβολίζει το γεωγραφικό πλάτος. Αντί του ύψους β υπολογίζουμε συχνά τη ζενιθιακή γωνία του Ήλιου ή ζενιθιακή γωνία. Αυτή είναι η γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης του Ήλιου και της κατακόρυφου και είναι συμπληρωματική γωνία του ύψους β.. Τέλος, η γωνία που σχεδιάζεται μεταξύ της διεύθυνσης που λαμβάνεται ως αφετηρία και της κάθετης προβολής της ακτίνας και της διεύθυνσης ονομάζεται Αζιμούθιο Z. Το αζιμούθιο Z μετράται με αφετηρία το Βορρά ή το Νότο δεξιόστροφα στο οριζόντιο επίπεδο και υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\sigma\upsilon\nu Z = \eta\mu\beta * \eta\mu L - \eta\mu\delta * \sigma\upsilon\nu\beta * \sigma\upsilon\nu L$$

Για να ισχύει ο τύπος προσδιορισμού του αζιμούθιου πρέπει η ωριαία γωνία h να είναι μικρότερη ή ίση του μηδενός ($h \leq 0$). Εάν η ωριαία γωνία h είναι μεγαλύτερη του μηδενός από τον τύπο προκύπτει το $-\sigma\upsilon\nu Z$. Συνολικά οι γωνίες έχουν ως μονάδα μέτρησης τις μοίρες.

1.5 Πως ορίζεται η ηλιακή ώρα

Η ηλιακή ώρα δεν ταυτίζεται με την τοπική ώρα. Έχει ως αναφορά τον Ήλιο και προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$LST = CT + (Lstd - Lloc) 15 + E - DT$$

Στην ανωτέρω εξίσωση όπου:

- LST είναι η ηλιακή ώρα σε ηλιακή θέση για δεδομένη ημέρα
- CT είναι η τοπική ώρα
- $Lstd$ είναι ο κεντρικός μεσημβρινός της συγκεκριμένης ώρας τοπικής ζώνης
- $Lloc$ είναι το γεωγραφικό μήκος της τοποθεσίας για την οποία θέλουμε να υπολογίσουμε την ηλιακή ώρα
- E είναι από τον τύπο της εξίσωσης χρόνου
- DT είναι για τη διόρθωση που χρειάζεται η θερινή ώρα (γνωρίζουμε για θερινή ώρα $DT = 0$)

$$Lst = 15^{\circ}/h * \Delta TGMT$$

Στην ανωτέρω εξίσωση όπου:

- Lst είναι ο μεσημβρινός αναφοράς με τον οποίο καθορίζουμε την τοπική ώρα
- $\Delta TGMT$ είναι αυτό που διαφέρει μεταξύ της τοπικής ώρας και της ώρας του Γκρίνουιτς
- $15^{\circ}/h$ είναι οι $360^{\circ} / 24$ ώρες

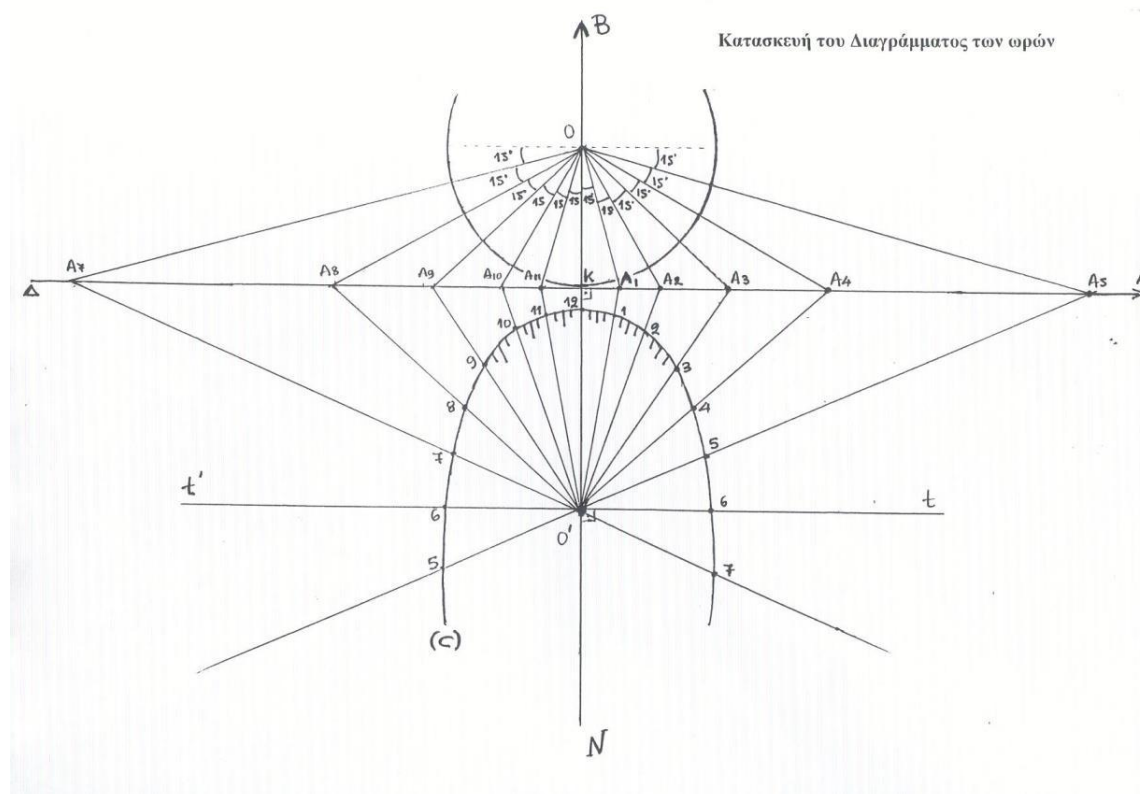
Για την εξίσωση χρόνου ισχύει ότι:

$$E = 0,167 * \eta\mu 2B - 0,125 * \sigma\upsilon\nu B - 0,023 * \eta\mu B$$

Για τη γωνία B ημερησίως ισχύει ότι:

$$B = 360 * (n - 81) / 364$$

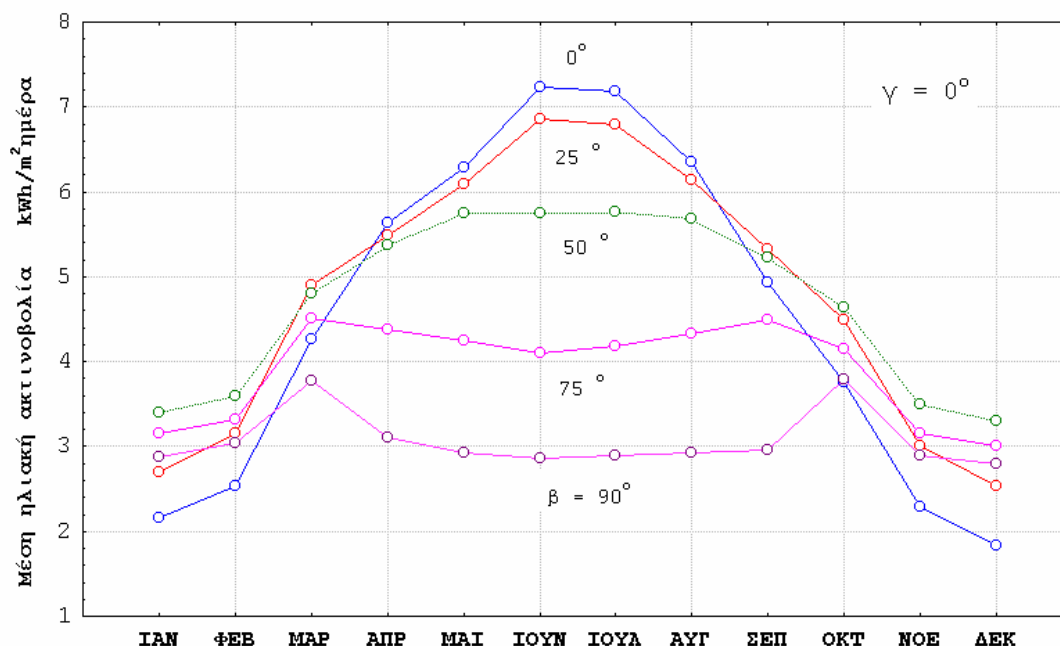
όπου n είναι η ημέρα του ενός έτους



Εικόνα 1.5: Αναπαράσταση του ηλιακού ρολογιού

1.6 Με ποιόν τρόπο ρέει και πως διακυμαίνεται η ηλιακή ακτινοβολία

Το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά από μία μονάδα του εμβαδού μίας επιφάνειας σχεδιασμένης οριζόντια στη διεύθυνση του φωτός στη μονάδα του χρόνου ονομάζεται ροή της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μονάδα μέτρησής της είναι kW/m^2 . Ως αναλύθηκε ανωτέρω, η ακτινοβολία του Ήλιου παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές, οι οποίες επηρεάζονται από την ροή της ημέρας, την εποχή, το κλίμα και την υγρασία της ατμόσφαιρας, τους ρύπους αυτής αλλά και από άλλα διάφορα αιωρούμενα σωματίδια. Το παρακάτω γράφημα απεικονίζει τη μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα συγκεκριμένο μέρος κατά τη διάρκεια ενός έτους.



Εικόνα 1.6: Πως διαμορφώνεται η μέση ηλιακή ακτινοβολία για διάφορες γωνίες γ κατά τη διάρκεια ενός έτους

Η ηλιακή ακτινοβολία μίας τοποθεσίας υπολογίζεται κατά την κορύφωσή της, η οποία λαμβάνει χώρα το ηλιακό μεσημέρι, και αντιστοιχεί στη μέγιστη ένταση αυτής. Για να συμβεί αυτό πρέπει η γωνία που σχηματίστηκε από την ηλιακή ακτίνα σε μία επιφάνεια να είναι όσο το δυνατόν πιο κάθετη στην επιφάνεια. Άλλος παράγοντας που έχει μεγάλη σημασία για τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το κατά πόσο ο ουρανός είναι καθαρός ή έχει σύννεφα. Έτσι, εάν κατά τη διεξαγωγή μετρήσεων της ηλιακής ακτινοβολίας ένα σμήνος πουλιών ή ένα σύννεφο περάσει από την περιοχή της μέτρησης, θα παρατηρήσουμε απότομη πτώση στην έντασή της. Σύμφωνα με μετρήσεις που έγιναν, όσον αφορά το Βόρειο ημισφαίριο, η πιο μεγάλη ηλιακή ακτινοβολία εμφανίζεται κατά το θερινό ηλιοστάσιο, δηλαδή στις 21 Ιουνίου και η πιο μικρή κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, δηλαδή στις 21 Δεκεμβρίου με την προϋπόθεση οι επιφάνειες να είναι τοποθετημένες οριζόντια. Ωστόσο, εάν αυτές βρίσκονται σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, εμφανίζεται η μέγιστη ακτινοβολία κατά το ηλιακό μεσημέρι των ισημεριών, δηλαδή στις 21 Μαρτίου και στις 21 Σεπτεμβρίου, επειδή τότε οι ακτίνες του Ήλιου είναι κάθετες στις επιφάνειες αυτές.

1.7 Η ηλιακή σταθερά

Ηλιακή σταθερά αποκαλούμε την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που περιλαμβάνει και το μέγεθος της θερμότητας που απορροφά μία επιφάνεια στη μονάδα του χρόνου. Η τιμή της σταθεράς αυτής δίνεται:

$$I_{sc}' = 1.368 \text{ W/m}^2$$

Αξίζει να επισημανθεί ότι, επειδή η απόσταση του Ήλιου με τη Γη μεταβάλλεται ανά χρονικά διαστήματα μέσα στο έτος, η ηλιακή σταθερά μεταβάλλεται και αυτή. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται μία άλλη σχέση που υπολογίζει τη διαχρονική μεταβολή που έχει η ηλιακή σταθερά.

$$I_{sc} = I_{sc}' * (1 + 0.033 * \sin(360 * n / 365))$$

1.8 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Γνωρίζουμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στα ηλιακά στοιχεία μέσα σε ένα φωτοβολταϊκό απορροφάται από τις διόδους ημιαγωγού που έχουν σχήμα κυκλικό και βρίσκονται η μία δίπλα στην άλλη. Έτσι, καταλαβαίνουμε ότι μέσα σε αυτούς τους κύκλους γίνονται ενώσεις ημιαγωγών p και n . Τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχονται μέσα στο στοιχείο έχουν ενέργεια που μπορεί να είναι ίση ή ακόμα και πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο του συγκεκριμένου ημιαγωγού. Σε αυτό υπάρχει η δυνατότητα, με την απορρόφηση ενός χημικού δεσμού, κάθε φορά που γίνεται αυτό, να ελευθερώνεται και ένα ηλεκτρόνιο. Έτσι, κατά τη διάρκεια της ακτινοβολίας από τον Ήλιο, περίσσια ελεύθερα ηλεκτρόνια αλλά και οπές δημιουργούνται από ζεύγη φορέων. Αυτοί οι φορείς που κινούνται μέσα στο στερεό και αφού δεν έχουν κάνει επανασυνδέσεις με άλλους φορείς αντίθετου φορτίου ξεχωριστά από την συνθήκη ισορροπίας αλλά βρίσκονται στο χώρο που γίνεται η ένωση του p ημιαγωγού και του n , εκεί τότε δέχονται μία ενέργεια που περιλαμβάνει το ηλεκτροστατικό πεδίο που έχει δημιουργηθεί. Στη συνέχεια, η μπροστινή πλευρά του φωτοβολταϊκού συγκεντρώνει τα φωτόνια που προέρχονται από την ηλιακή ακτινοβολία, για παράδειγμα του τύπου n , και αυτά πολλαπλασιάζονται και αναπαράγουν ζεύγη φορέων, δηλαδή οπές και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Ένα μέρος των ελεύθερων ηλεκτρονίων e αρνητικό ξεχωρίζονται από αυτούς τους φορείς και τελικά συνέρχονται σε ένα άλλο ενιαίο σώμα πεδίου μέσα στη δίοδο και αποκτούν κατεύθυνση με κίνηση προς τα εμπρός. Κίνηση προς την πίσω κατεύθυνση έχουμε όταν οι οπές είναι h θετικές. Τότε, δημιουργείται μία καινούρια διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλευρών του στοιχείου. Οι φορείς που απέμειναν κάνουν εκ νέου σύνδεση και απομακρύνονται. Είναι άξιο να σημειωθεί ότι, μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που δεν μπορεί να απορροφήσει το στοιχείο από την επιφάνειά του, πριν απομακρυνθεί, συναντά το ηλεκτρόδιο που βρίσκεται στο πίσω μέρος και έτσι μπορεί να απορροφηθεί. Όταν τα ηλεκτρόνια που είναι ελεύθερα έχουν πορεία προς το μέρος του τύπου n ημιαγωγού και οι οπές έχουν κατεύθυνση και πορεία τύπου p ημιαγωγού, τότε δημιουργείται μία διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο αγωγών της ίδιας διόδου. Έτσι, για όσο διάστημα η ηλιακή ακτινοβολία

πέφτει και απορροφάται από το σύνολο της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού στοιχείου, υπάρχει η δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν διακοπεί η ηλιακή ακτινοβολία πάνω από την επιφάνεια συλλογής του φωτός, τότε σταματά να υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα. Όσο υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο αγωγών στην ίδια δίοδο, δηλαδή υπάρχει απορρόφηση ηλιακού φωτός, αυτό συνεπάγεται ότι έχει γίνει ορθή πόλωση στη δίοδο. Αυτό το φαινόμενο που γίνεται μέσα στη δίοδο το αποκαλούμε φωτοβολταϊκό.

Το φαινόμενο που αναλύθηκε παραπάνω εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος για να μπορεί να παράξει ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Έτσι, μετά την ανάμειξη των δύο ουσιών από ημιαγωγούς τύπου p και ημιαγωγούς τύπου n, έχουμε μία ομοένωση του ίδιου ημιαγωγού. Αυτή περιλαμβάνει το ηλεκτροστατικό πεδίο που είναι αναγκαίο για να επιτευχθεί και να εφαρμοστεί στην πράξη ένα ηλιακό στοιχείο. Το ίδιο ισχύει για κάθε φωτοβολταϊκή διάταξη που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. Επίσης, ηλεκτροστατικά πεδία μπορούν να προκύψουν και από άλλου είδους διόδους, για παράδειγμα διόδους Schottky, όταν ακουμπήσει ο ημιαγωγός σε ένα κομμάτι μέταλλο. Συνοψίζοντας, με την σύμπραξη αυτών των δύο παραγόντων που περιγράφηκαν παραπάνω, έχουμε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ αυτών των δύο καθώς ήρθαν σε επαφή με τα φωτοαγωγίμα υλικά. Στη σύμπραξη αυτή προσθέτουμε την ακτινοβολία του φωτός και έτσι ορίζεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Επαφή από τα υλικά + Ακτινοβολία φωτός = Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

1.9 Η τεχνολογία και τα υλικά που έχουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία

Έτσι ονομάζουμε τις τεχνικές εφαρμογές που γνωρίζουμε στη θεωρία για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και κάνουμε χρήση για την κατασκευή τους. Οι κυρίαρχες τεχνικές για την παραγωγή των συστημάτων αυτών είναι:

- Παραγωγή ημιαγωγίμων υλικών με κρυσταλλική σύσταση, με κυρίαρχο στοιχείο το πυρίτιο.
- Εφαρμογή λεπτών υμένων (λεπτά σαν φιλμ, τα οποία ορίζονται έτσι καθώς τα στοιχεία τους έχουν πάχος πολύ μικρό (με μονάδα τα μm)).
- Άλλες μέθοδοι που στοχεύουν στη λιγότερη χρήση ενέργειας για την παραγωγή του καθαρού πυριτίου. Με αυτές ελαχιστοποιούμε το κόστος καθώς δεν γίνεται χρήση του ακριβού πυριτίου. Τέτοιες μέθοδοι είναι η μέθοδος EFG και η μέθοδος String Process. Οι κρύσταλλοι των στοιχείων αυτών σε σχέση με εκείνους που έχουν εμφάνιση λεπτού φιλμ διαφοροποιούνται όχι μόνον όσον αφορά την ποσότητα του φωτός που απορροφούν αλλά και κατά τη τροποποίηση (από μία μορφή ενέργειας σε μία

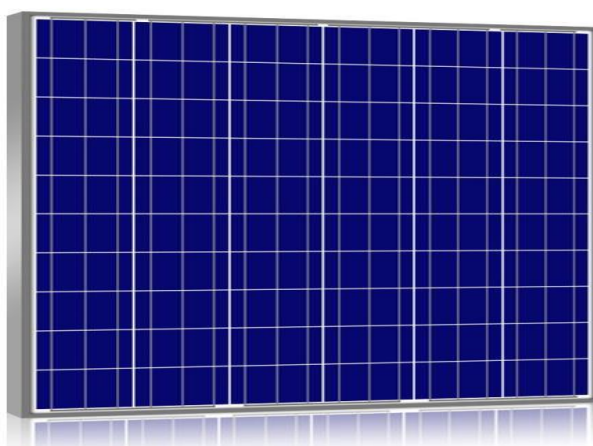
άλλη μορφή ενέργειας μικρότερης απόδοσης). Επίσης, διαφοροποιούνται και από την τεχνολογία εφαρμογής της κατασκευής αλλά και το κόστος χρημάτων που απαιτούνται για την κατασκευή τους.

Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από πυρίτιο

Στη βιομηχανία, για τη δημιουργία των ηλιακών κυψελών χρησιμοποιείται ευρύτατα ως υλικό το πυρίτιο (Si). Το πυρίτιο το συναντούμε στην άμμο, ως οξείδιο του πυριτίου (SiO₂). Η τελευταία έκδοση του προϊόντος που θα πάρουμε θα έχει την υψηλότερη καθαρότητα (ποσοστό 99,99 τοις εκατό). Τα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά που είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες αντίστοιχα. Μεγάλη σημασία δίνεται στο κύριο υλικό κατασκευής του στοιχείου αλλά και στον ακριβή τρόπο κατασκευής και σχήματος του κάθε υλικού. Οι τύποι αυτοί διακρίνονται ως εξής:

A) Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από κρυσταλλικό πυρίτιο

Το κύριο υλικό που χρησιμοποιούμε είναι το μονό-κρυσταλλικό. Όσον αφορά τις διαστάσεις του υλικού, είναι γενικά μεγαλύτερο και πιο παχύ (Wafer περίπου ίσο με 300μm). Στη λειτουργία των στοιχείων τύπου κυψελίδας έχουμε ποσοστό απόδοσης περίπου στο 21% που κυμαίνεται μέχρι και 24%, ενώ για τη λειτουργία τύπου φωτοβολταϊκών πλαισίων η απόδοσή τους κυμαίνεται περίπου από 13% και μπορεί να φτάσει έως και 16%/ Το χαρακτηριστικό τους είναι ότι έχουν πολύ μεγάλο κόστος για την κατασκευή τους με χρώμα παραγωγής το σκούρο μπλε.



Εικόνα 1.7: Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από κρυσταλλικό πυρίτιο

B) Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Σε αυτή την κατηγορία φωτοβολταϊκών έχουμε τη δυνατότητα κάλυψης για πολύ μεγάλες επιφάνειες. Η όψη και το σχήμα των στοιχείων είναι τετράγωνη. Αυτά τα στοιχεία απαρτίζονται από πολύ λεπτά επιστρώματα επικάλυψης που έχουν πάχος,

σε κάθε στρώση, από 10 έως και 50μm. Κάθε επιφάνεια από την κυψελίδα χωρίζεται σε ξεχωριστές μονοκρυσταλλικές ζώνες. Τα όρια αντοχής τους δημιουργούν θέσεις και εκεί παγιδεύονται οι φορείς. Έτσι, προσπαθούμε συνολικά τα όρια των περιοχών να είναι πολύ μικρά μέσα στα φωτοβολταϊκά στοιχεία, γιατί έτσι θα έχουμε μεγαλύτερη απόδοση ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Σε ένα λοιπόν φωτοβολταϊκό στοιχείο με μεγάλες αναλογίες των μονοκρυσταλλικών ζωνών του πολυκρυσταλλικού στοιχείου, έχουμε τη μέγιστη απόδοση που είναι από 17% έως και περίπου 20%. Όταν η κυψελίδα του στοιχείου έχει βιομηχανική όψη κυμαίνεται από 10% έως 14%. Έχουν ως χαρακτηριστικό την πολύ μεγάλη χρονική συνοχή. Η χρηματική αξία για την κατασκευή κυψελών φωτοβολταϊκών στοιχείων από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο είναι πολύ χαμηλότερη σε σύγκριση με την κατασκευή κυψελών από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Κατασκευαστικό χρώμα είναι το γαλάζιο.



Εικόνα 1.8: Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Γ) Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από άμορφο πυρίτιο

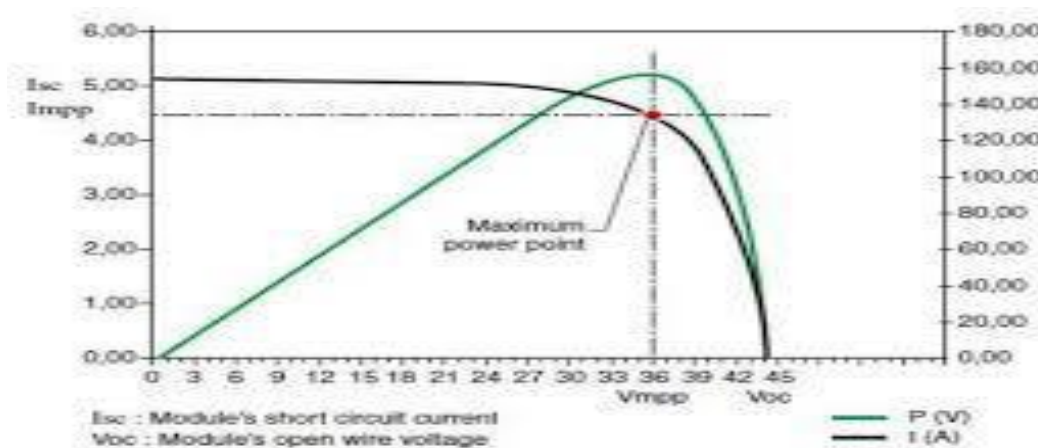
Σε αυτή την κατηγορία το υλικό επικάλυψης που διαθέτουν έχει πολύ λεπτό επίστρωμα ή υμένα (φιλμ). Στη θεωρία, έχουν πολύ μικρότερη χρηματική αξία επειδή στην παραγωγή τους παρουσιάζεται με πολύ μικρή μάζα το υλικό τους. Η επικάλυψη αυτού του λεπτού υποστρώματος διαμορφώνεται πάνω σε ένα άλλο υποστηρικτικό υπόστρωμα που έχει και μικρή χρηματική αξία. Έτσι, χαμηλώνει και άλλο το κόστος κατασκευής τους. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία στην αρχή της κατασκευής τους, στην πράξη είχαν πολύ μικρή απόδοση που κυμαινόταν από 6% μέχρι 8%, δηλαδή είχαν πολύ μικρή απορρόφηση φωτός. Με τη βοήθεια της τεχνολογίας στις μέρες μας, η κατασκευή τους γίνεται πιο σύνθετη καθώς έχουν περισσότερες συνδέσεις μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται δύο ή ακόμα και τρία στρώματα που έχουν διαφορετική ενεργειακή απόκλιση με στόχο την καλύτερη αξιοποίηση των μεγαλύτερων τμημάτων του ηλιακού φάσματος.



Εικόνα 1.9: Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από άμορφο πυρίτιο

1.10 Χαρακτηριστική τάσης και έντασης φωτοβολταϊκού στοιχείου

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, χρησιμοποιούμε το στοιχείο ως πηγή, η οποία όμως δεν έχει σταθερή τάση. Η συμπεριφορά του μεταβάλλεται ανάλογα με το φως, σε αντίθεση με τις συνήθεις ηλεκτρικές πηγές που παρουσιάζονται με πιο μεγάλη συνέπεια στην τάση στην κανονική τους λειτουργία. Η τάση που προσφέρει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο αλλάζει συνεχώς, ολοκληρωτικά, με συνέπεια η ένταση του ρεύματος που παίρνουμε από το κύκλωμα να είναι μη γραμμική, παρόλο που μπορεί εκείνη τη στιγμή η ηλιακή ακτινοβολία να παραμένει σε σταθερό επίπεδο. Στο παρακάτω γράφημα εικονίζονται το ρεύμα εξόδου (I) και η τάση εξόδου (V) όπως μετρήθηκαν σε ένα ηλιακό κύτταρο και ονομάστηκαν I-V χαρακτηριστική.



Εικόνα 1.10: Χαρακτηριστική τάσης και έντασης φωτοβολταϊκού στοιχείου

Τη χρονική στιγμή που στο σύνολό της η ακτινοβολία αλλά και η θερμότητα παρουσιάζουν σταθερή τιμή έχουμε καλές τιμές, όταν όμως παρουσιάζεται αστάθεια στις τιμές της αντίστασης μέσα στο κύκλωμα, απαραίτητης για τη

λειτουργία του ηλιακού κυττάρου, τότε η ένταση του ρεύματος αλλά και της τάσης του κυττάρου, έχοντας πάρει ακραίες τιμές, αυτές ισοδυναμούν με μηδενική αντίσταση (δηλαδή βρίσκονται σε βραχυκυκλωμένη θέση με μέγιστο ρεύμα και μηδενική τάση στοιχείου). Στην άλλη περίπτωση έχουμε άπειρη αντίσταση στο στοιχείο (ή αλλιώς ανοιχτοκυκλωμένη θέση), με τιμή ρεύματος πάλι μηδενική αλλά παίρνουμε από την τάση τη μέγιστη τιμή της. Επομένως, η βασική κατευθυντήρια καμπύλη απεικονίζει από τη μία το ηλεκτρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}) με τάση μηδενική ($V=0$) και εάν εξετάσουμε την αντίσταση R_s πολύ ελάχιστη, τότε έχουμε ίδιο φωτορεύμα I_L .

1.11 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η εξίσωση που δίνει τον μέγιστο βαθμό απόδοσης του ηλεκτρικού κυττάρου είναι:

$$n = \frac{V_{oc} * I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} * I_{sc}ff}{P_{in}}$$

Ονομάζουμε P_{in} την συνολική ισχύ της δέσμης του φωτός πάνω στο κύτταρο ακτινοβολίας.

Στο εμπόριο, τα ηλιακά κύτταρα μέσα σε ένα πλαίσιο έχουν βαθμό απόδοσης που κυμαίνεται από 12 έως 14 τοις εκατό. Έχουν πετύχει και μεγαλύτερες τιμές απόδοσης αλλά μόνο σε πειραματικά μοντέλα πλαισίων. Στην θεωρία θέλουμε να πάρουμε τις μέγιστες αποδόσεις από την παραπάνω σχέση, δηλαδή τις μεγαλύτερες τιμές από τα στοιχεία V_{oc} , I_{sc} , αλλά και το ff . Βασικά, πιο σημαντικά είναι τα V_{oc} και I_{sc} , γιατί για παράδειγμα γνωρίζουμε για η μεγαλύτερη τιμή του ff εξαρτάται από το μέγεθος του V_{oc} . Η μεγαλύτερη τιμή του V_{oc} για υλικό από πυρίτιο είναι 100 mV. Αντίστοιχα, η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει το ff είναι 0,84. Με την τιμή αυτή μπορούμε ακόμα να υπολογίσουμε ποια είναι η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο βαθμός απόδοσης. Έχουμε μία λογική απόδοση στη μικρότερη τιμή του I_0 από αυτή σε αλληλοεξάρτηση με το ενεργειακό χάσμα, που είναι:

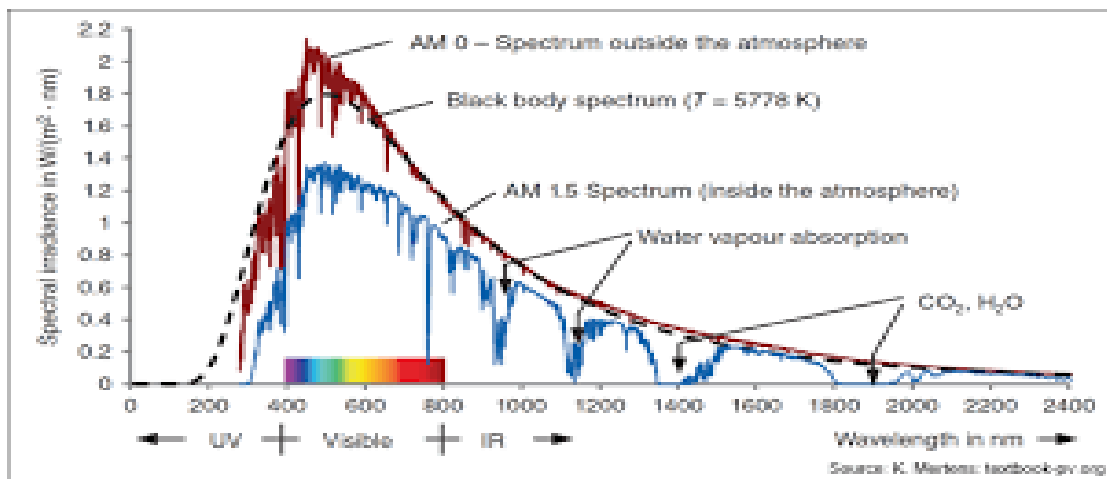
$$I_0 = 1,5 * 10^5 e^{-\frac{E_g}{kT}}$$

Από τον τύπο μπορούμε να καταλάβουμε ότι όταν παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή του το V_{oc} μικραίνει και το ενεργειακό χάσμα. Τότε η τάση του είναι αντιστρόφως ανάλογη με το ρεύμα I_{sc} . Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παίρνουμε καλύτερη τιμή του ενεργειακού χάσματος. Έτσι παίρνουμε το μέγιστο βαθμό απόδοσης. Για τον μέγιστο βαθμό απόδοσης, το ενεργειακό χάσμα κυμαίνεται μεταξύ 1,4 έως 1,6eV. Έχει χαμηλότερη τιμή το ενεργειακό χάσμα από πυρίτιο (1,1 eV) σε σχέση με το βέλτιστο, όμως θεωρητικά έχει τη μεγαλύτερη απόδοση, καθώς το GaAs έχει εκτός από ελάχιστες περιπτώσεις μέγιστο ενεργειακό χάσμα 1,4 eV.

1.12 Αρνητικοί παράγοντες σε σχέση με το βαθμό απόδοσης

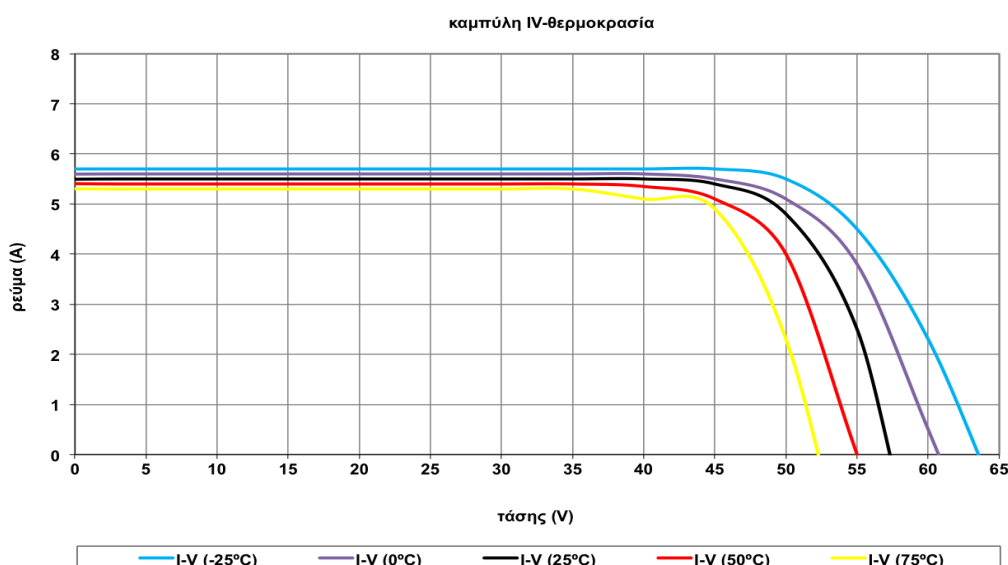
Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό και ευθύνονται για τη χαμηλή τιμή του βαθμού απόδοσης στην θεωρία αλλά και στην πράξη είναι:

- Ανάκλαση επιφάνειας κυττάρου. Η επιφάνεια του ακατέργαστου πυριτίου ανακλά μεγάλα ποσοστά δέσμης ακτινοβολίας (κοντά στο 30 τοις εκατό). Με τη βοήθεια χημικών μέσων πάνω στην επιφάνεια αλλά και με υλικά που βοηθούν στην απορρόφηση δραστικά, μειώνουμε την ανάκλαση κοντά στο 3%.
- Σκίαση που δημιουργείται στις επαφές. Υπάρχει η ανάγκη κατασκευής ηλεκτροδίων σε μεγάλες ποσότητες (το υλικό που χρησιμοποιούμε είναι το πυρίτιο τύπου p και τύπου n) πάνω στις επιφάνειες των κυττάρων. Αυτό έχει ως συνέπεια, την ανάγκη χρήσης ενός μεταλλικού πλέγματος πάνω από τις επαφές, δηλαδή στην επιφάνεια του κυττάρου που είναι εκτεθειμένη στο ηλιακό φως. Κατά συνέπεια, η αντίσταση που έχει η επιφανειακή κίνηση από τους φορείς που βρίσκονται πάνω στο επιφανειακό στρώμα του κυττάρου είναι πολύ μεγάλη. Έτσι δημιουργούμε κατάλληλα σημεία απαγωγής στις ηλεκτρικές επαφές, δηλαδή στους φορείς με σκοπό την ελαχιστοποίηση της αντίστασης από τα ωμικά φαινόμενα. Τα ηλεκτρόδια που έχει το μεταλλικό πλέγμα πάνω στην επιφάνεια του κυττάρου δημιουργούν μία δυσκολία στην απορρόφηση ποσότητας ακτινοβολίας που κυμαίνεται σε ποσοστό από 5 έως 15 τοις εκατό.
- Περιορισμένη εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων. Γνωρίζουμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία που έρχεται προς το έδαφος παρουσιάζει διαφορές στην έντασή της ανά διαστήματα. Στο μεγάλο φάσμα μήκους των κυμάτων της και πιο συγκεκριμένα στον κρύσταλλο, τα φωτόνια προσπίπτουν και αναπτύσσουν ένα μεγάλο φάσμα τιμών ενέργειας. Μέρος του φωτός θα διαπεράσει το κύτταρο ή απορροφώντας το, οπότε και θα παράγει μόνο θερμότητα που έχει τη μορφή ταλάντωσης των ατόμων ή δημιουργώντας ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών οπότε και η υπόλοιπη ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτοί οι μηχανισμοί που προαναφέραμε παραπάνω περιορίζουν τη μέγιστη εν δυνάμει απόδοση κοντά στο 44 τοις εκατό.



Εικόνα 1.11: Χαρακτηριστική ισχύος για διάφορες ακτινοβολίες ανά μήκος κύματος

- Επανασύνδεση-Βραχυκύκλωμα. Αυτή μπορεί να εμφανιστεί με διαφορετικούς μηχανισμούς στον μεγάλο όγκο του ημιαγωγού, της επιφάνειας, ακόμα και από ελάττωμα του υλικού του ημιαγωγού.
- Αντίσταση. Δεν έχουμε τόσο ικανοποιητικές τιμές αντίστασης R_s τόσο στη χρήση εν σειρά όσο και στην παράλληλη R_{sh} γιατί έχουν την τάση να μειώνουν τον συντελεστή ff . Ακόμα, σε σπάνιες περιπτώσεις, όταν το I_{sc} και το V_{oc} είναι χαμηλά, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης.
- Θερμοκρασία υλικού. Μελετώντας τους φυσικούς μηχανισμούς που προσδιορίζουν τη σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και τον βαθμό απόδοσης, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι αυτοί είναι αρκετά σύνθετοι και δυσνόητοι. Όμως, παρόλα αυτά, όταν έχουμε πολύ υψηλές θερμοκρασίες αλλά και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν αισθητά το βαθμό απόδοσης.



Εικόνα 1.12: Χαρακτηριστική τάσης και έντασης για διάφορες θερμοκρασίες

- Γήρανση φωτοβολταϊκού. Η γήρανση είναι ένας από τους σημαντικότερους λόγους της μείωσης της απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου. Περιλαμβάνει και τη μέγιστη ισχύ. Γενικά, έχουμε τη φθορά του φωτοβολταϊκού κυττάρου ως ενιαίο τμήμα. Η γήρανση παρουσιάζεται στα υλικά του φωτοβολταϊκού στοιχείου όπως στην αφαίρεση του χρώματος των κυττάρων, όπου δημιουργούνται σχισμές πάνω στο γυαλί κάλυψης. Επίσης, παρατηρείται η απομάκρυνση από την πίσω μεριά του ειδικού πλαστικού που έχει το φωτοβολταϊκό για μόνωση από την υγρασία. Ακόμα, λόγω της γήρανσης παρατηρείται πολλές φορές κακή λειτουργία των αγωγών σύνδεσης αλλά και κακή λειτουργία των κιβωτίων σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Σε μετρήσεις που έγιναν σε μακροχρόνιες εγκαταστάσεις σε πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου, έχουμε μείωση της απόδοσής του. Έτσι, σύμφωνα με τις πρότυπες συνθήκες, κατά έτος χρήσης, ο ρυθμός γήρανσης είναι περίπου στο 1 τοις εκατό.

1.13 Ισχύς αιχμής μέσα στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Σε πολλές περιπτώσεις, δεν γνωρίζουμε όλες τα κατασκευαστικά δεδομένα αλλά και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που έχουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, δηλαδή το συντελεστή κάλυψης, τις διαστάσεις και βασικά το συντελεστή απόδοσης των ηλιακών στοιχείων. Αυτό που δίνεται πάντα είναι η ενδεικτική τιμή της ισχύς αιχμής, δηλαδή η P_a που είναι ανάλογη με τη μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ όταν δέχεται το ηλιακό πλαίσιο ηλιακή ακτινοβολία που έχει πυκνότητα ισχύος ενός ήλιου, δηλαδή 1 kW/m^2 . Συνολικά, για να εκφράσουμε μία μονάδα ισχύος αιχμής ενός ηλιακού πλαισίου ή μίας ολόκληρης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, χρησιμοποιούμε τα βατ αιχμής ή Watt peak (Wp). Με άλλα λόγια χρησιμοποιούμε τον ίδιο όρο αλλά και συμβολισμό για την ισχύ ενός στοιχείου. Παρακάτω δίνεται η σχέση της ισχύς αιχμής:

$$P_a(\text{kWp}) = P (\text{kW} / \text{m}^2) * S(\text{m}^2) * \eta_{\pi}$$

Σε περίπτωση που ξέρουμε μονάχα την ισχύ αιχμής P_a , για να υπολογίσουμε το μέσο όρο σε μία ημέρα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που παίρνουμε από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, δεν χρησιμοποιούμε την παραπάνω σχέση, αλλά έχουμε μία άλλη που είναι ισοδύναμη σχέση:

$$E \left(\frac{\text{kWh}}{d} \right) = \Pi \frac{\left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * d \right) * P_a(\text{kWp})}{1 \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right)} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho}$$

1.14 Η λειτουργία των διόδων παράκαμψης του φωτοβολταϊκού πλαισίου

Όταν έχουμε ένα κύτταρο ή ένα μπλοκ κυττάρων σε μία αλυσίδα κυττάρων που βρίσκονται σε σκιά, μπορούμε να ελαττώσουμε τις απώλειες ισχύος, εάν βάλουμε κύτταρα που έχουν τάση κατάρρευσης πολύ μικρή στην ανάστροφη πόλωση. Έτσι, συμπεραίνουμε ότι αυτή η ιδέα οδήγησε στο να δημιουργήσουμε τεχνικά χαμηλή τάση κατάρρευσης στην ανάστροφη πόλωση. Ουσιαστικά, με την ύπαρξη της διόδου παράκαμψης θέτουμε όρια στην τάση που έχει στα άκρα ένα κύτταρο ανάστροφα πολωμένο που είναι στα 0,7 V. Με τον τρόπο αυτό θα έχουμε και λιγότερη ισχύ. Παράλληλα, συνδέονται μεταξύ τους οι διόδοι παράκαμψης στα ηλιακά κύτταρα ή σε μπλοκ ηλιακών κυττάρων ή σε αλυσίδες από μπλοκ κυττάρων. Να διευκρινίσουμε ότι όταν ένα κύτταρο είναι πλήρως φωτισμένο, η διάδος παράκαμψής του έχει και αυτή πολωθεί ανάστροφα και δεν έχει καμία επίδραση στο κύκλωμα. Στην περίπτωση όμως που για κάποιο λόγο το κάτω κύτταρο βρεθεί στη σκιά, δηλαδή ανοιχτοκυκλωθεί ή αλλιώς πολωθεί ανάστροφα, αυτόματα, επειδή έχει παράλληλα συνδεδεμένη τη διάδο παράκαμψης, έτσι θα πολωθεί ορθά. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει στη ροή του ηλεκτρικού ρεύμα να κινηθεί από το φωτιζόμενο κύτταρο του πλαισίου προς τους ζυγούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΝΟΜΟΙ, ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΙΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

2.1 Αδειοδότηση για τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Σε αυτό το στάδιο, θα συζητηθούν οι πιο κρίσιμες πτυχές της διαδικασίας αδειοδότησης. Η πολιτεία έχει θέσει στόχο κάλυψης 40% από τις λεγόμενες ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) μέχρι το 2020. Μέχρι φέτος, η αξιοποίηση των ηλιακών συστημάτων για την επίτευξη της αναγραφόμενης αναλογίας αναμενόταν να είναι 2.200 MW_{peak}. Πρέπει να τονιστεί ότι ο κοινοτικός νόμος επιτρέπει την αναθεώρηση των προαναφερθέντων στόχων μετά από εξέταση κάθε δύο χρόνια ή και νωρίτερα.

Οι διαδικασίες εγκατάστασης και σύνδεσης δεν επιδοτούν πλέον το κόστος των ηλιακών συστημάτων. Ο επενδυτής πρέπει να έχει κάνει τη δική του μελέτη για τη διαδικασία αδειοδότησης, καθώς και για το κόστος της επένδυσης και για οικονομική υποστήριξη από την τράπεζα ή από ίδια κεφάλαια.

Οι ακόλουθες κατηγορίες αδειών ισχύουν με βάση τη θέση εγκατάστασης και την ισχύ ενός ηλιακού συστήματος:

- Φωτοβολταϊκά συστήματα ισχύος μέχρι 10 kW_{peak} εγκατεστημένα σε οροφές και βεράντες κτιρίων.
- Βιομηχανικά φωτοβολταϊκά συστήματα για οροφές κτιρίων και ακάλυπτους χώρους.
- Φωτοβολταϊκά συστήματα για αγροτεμάχια.

2.2 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε στέγες κτιρίων μέχρι 10kW_{peak}

Η εγκατάσταση μικροσκοπικών φωτοβολταϊκών στο σπίτι έφτασε σε οριακή στιγμή την 1η Ιουλίου 2009. Το εξειδικευμένο πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα, με μία μορφή οικονομικής ενίσχυσης για την παραγόμενη «ηλιακή κιλοβατώρα», στον οικιακό χρήστη να κάνει απόσβεση της επένδυσης και να κερδίζει χρήματα ετησίως. Απευθύνεται σε οικιακούς παραγωγούς και μικρομεσαίες επιχειρήσεις που θέλουν να τοποθετήσουν φωτοβολταϊκά με μέγιστη ισχύ 10 κιλοβάτ (kW_{peak}) στη στέγη τους ή σε νόμιμο κτίριο ή σε βεράντες, προσόψεις και τέντες. Στο πρόγραμμα περιλαμβάνονται επίσης αποθήκες και θέσεις στάθμευσης. Οι μικρές επιχειρήσεις

θα πρέπει να απασχολούν έως και δέκα άτομα και να έχουν ετήσια έσοδα που δεν υπερβαίνουν τα 2 εκατομμύρια ευρώ. Περαιτέρω, ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να είναι κάτοχος του τόπου εγκατάστασης του συστήματος. Το πρόγραμμα επεκτάθηκε συνολικά για όλη την Ελλάδα από την 1^η Σεπτεμβρίου 2010.

Η μέγιστη δυνατή ισχύς των ηλιακών συστημάτων που περιλαμβάνονται στο σχέδιο έχει καθοριστεί ως 10 kWpeak για την ηπειρωτική χώρα αλλά και τα κοντινά νησιά που συνδέονται με το σύστημα όπως και την Κρήτη ενώ στα 5 kWpeak ορίζεται για όλα τα άλλα νησιά.

Σύμφωνα με τον κανονισμό για πολυκατοικίες, ο ενδιαφερόμενος πρέπει να εγκαταστήσει τα ηλιακά πάνελ μετά από έγγραφη έγκριση των άλλων ιδιοκτητών ή το φωτοβολταϊκό που θα τοποθετηθεί πρέπει να είναι στο όνομα όλων των ιδιοκτητών της πολυκατοικίας ή στου διαχειριστή της πολυκατοικίας ως εκπρόσωπο των ιδιοκτητών. Σε ό,τι αφορά την άδεια εγκατάστασης, κάθε κτίριο, όπως μια πολυκατοικία, μπορεί να έχει μόνο ένα ηλιακό σύστημα εγκατεστημένο. Σε περίπτωση κοινοτικής βεράντας ή στέγης, ενδέχεται να παρέχουν το δικαίωμα χρήσης του κύριου διαμερίσματος, το οποίο δεν έχει καμία αξίωση για τον συγκεκριμένο χώρο. Επειδή το διαμέρισμα ανήκει σε έναν μόνο ιδιοκτήτη ή οικογένεια, υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης περισσότερων του ενός συστημάτων σε μία ταράτσα.

Η ηλιακή ενέργεια τερματίζεται στο δίκτυο της ΔΕΗ και ο οικογενειακός μικροπαραγωγός αναμένεται να αποζημιωθεί με 55 λεπτά του ευρώ ανά κιλοβατώρα (0,55 € / kWh). Αυτή η πληρωμή υποστηρίζεται από 25ετή εγγύηση. Η ΔΕΗ συνεχίζει να παρέχει ρεύμα στον οικιακό μικρό παραγωγό ενέργειας. Το ρεύμα πληρώνεται σε 10-12 λεπτά ανά κιλοβατώρα σήμερα. Οι ειδικοί της ΔΕΗ εγκαθιστούν νέο μετρητή για να υπολογίσουν την τιμολόγηση. Για παράδειγμα, εάν η ηλιακή ενέργεια αξίας 300 € παράγεται σε δύο μήνες αλλά η πραγματική χρήση αξίζει 100 €, ο μικρός παραγωγός θα λάβει πιστωτικό λογαριασμό 200€.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε ένα σπίτι δεν απαιτεί άδεια. Εξαιρέσεις περιλαμβάνουν διατηρητέες και παραδοσιακές κοινότητες, για τις οποίες απαιτείται η σύμφωνη γνώμη από την Επιτροπή Πολεοδομίας και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (ΕΠΑΕ). Δεν απαιτείται πλέον άδεια για μικρές εργασίες από την Πολεοδομία, σύμφωνα με την Απόφαση Α36720 / 25-8-2010, καθώς όσον αφορά την έγκριση ειδικών όρων δεν χρειάζεται πλέον έγκριση για την τοποθέτηση ηλιακών πάνελ για οικίες, πολύ μικρές επιχειρήσεις και οικοπέδα που βρίσκονται εντός σχεδίου (χρήση άδειας). Η Απόφαση αυτή δημοσιεύτηκε στο υπ' αριθμ. 376 ΦΕΚ της 6-9-2010. Η μόνη υποχρέωση του ενδιαφερόμενου είναι όταν δώσει τον φάκελο για τη σύνδεση του καινούριου φωτοβολταϊκού συστήματος στην ΔΕΗ, να δηλώσει και την έναρξη εργασιών.

2.3 Οικιακοί παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας

Για την ένταξη στο πρόγραμμα απαιτούνται τα εξής:

- α. Ο μετρητής που έχει τοποθετήσει η ΔΕΗ να είναι στο όνομα του επενδυτή ή εάν πρόκειται για συλλογική εγκατάσταση πολυκατοικίας, να υπάρχει κοινόχρηστος λογαριασμός.
- β. Πρέπει να χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παροχή κάλυψης ζεστού νερού (για παράδειγμα, να γίνεται χρήση ηλιακού θερμοσίφωνα, καύση βιομάζας, αντλίας θερμότητας γεωθερμικής).

Περαιτέρω, επειδή ο μικροπαραγωγός δεν θεωρείται ελεύθερος επαγγελματίας, η αρμόδια Δημόσια Οικονομική Υπηρεσία (ΔΟΥ) παρέχει απαλλαγή. Σύμφωνα με το σχετικό κοινό υπουργικό ψήφισμα, «ο ιδιοκτήτης του ηλιακού συστήματος δεν έχει φόρους για τη διανομή αυτής της ενέργειας στο δίκτυο».

2.4 Μικρές επιχειρήσεις

Η ένταξη των πολύ μικρών επιχειρήσεων στο πρόγραμμα προϋποθέτει ότι δεν έχουν προηγουμένως παρασχεθεί πρόσθετες επιδοτήσεις ηλιακής ενέργειας από εθνικές ή κοινοτικές πρωτοβουλίες.

Για να μην φορολογούνται οι μικρές επιχειρήσεις, η επιχείρηση θα πρέπει να δημιουργήσει ξεχωριστό λογαριασμό αποθεματικού στον οποίο θα τοποθετηθούν τα έσοδα. Εάν είναι διασκορπισμένα ή κεφαλαιοποιημένα, ισχύει ο υφιστάμενος φόρος επί των διανεμόμενων κερδών.

Διάφοροι νόμοι ρυθμίζουν την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών με ισχύ άνω των 10 kWpeak σε εμποροβιομηχανικές στέγες και άλλα κίνητρα ισχύουν για αυτά τα συστήματα.

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΔΙΚΑΙΟΛΟΓΗΤΙΚΑ	ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
<ul style="list-style-type: none"> • Παρουσίαση προσφοράς όρων σύνδεσης με τη Δ.Ε.Η. ή άλλο πάροχο. • Υπογραφή για συμφωνία συμψηφισμού με τη Δ.Ε.Η. ή άλλο πάροχο. • Γνωστοποίηση προς τη Δ.Ε.Η. ή άλλο πάροχο για την έναρξη τοποθέτησης. 	<10 kW _{peak}
<ul style="list-style-type: none"> • Παρουσίαση προσφοράς όρων σύνδεσης με τη Δ.Ε.Η. ή άλλο πάροχο. • Υπογραφή συμβολαίου για αγοραπωλησία με Λ.ΑΓ.Η.Ε. • Ενημέρωση προς Δ.Ε.Η. ή άλλο πάροχο για την έναρξη τοποθέτησης. 	10 – 100 kW _{peak}
<ul style="list-style-type: none"> • Άδεια εργασίας χαμηλής κλίμακας από την Πολεοδομία. • Προσφορά όρων σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η. • Υπογραφή αγοραπωλησίας με τη Λ.ΑΓ.Η.Ε. 	100 – 100 kW _{peak}
<ul style="list-style-type: none"> • Έγκριση αδείας παραγωγής από τη Ρ.Α.Ε. • Άδειας λειτουργίας από την αρμόδια Περιφέρεια. • Άδεια εργασιών χαμηλής κλίμακας από την Πολεοδομία. • Παρουσίαση προσφοράς όρων σύνδεσης από τη Δ.Ε.Η. • Συμβόλαιο αγοραπωλησίας με τη Λ.ΑΓ.Η.Ε. 	>1 MW

2.5 Διαδικασία αδειοδότησης

Πίνακας 2.1: Δικαιολογητικά στον κτιριακό τομέα

Ο νόμος 3851/2010 θεσπίζει το διοικητικό πλαίσιο για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος και προσδιορίζει τα καθήκοντα του επενδυτή και των φορέων, καθώς και τις άδειες που πρέπει να ληφθούν. Αναλυτικά, αυτές είναι οι αδειοδοτήσεις:

- Άδεια Παραγωγής: Δεν απαιτείται πλέον άδεια παραγωγής για ηλιακά συστήματα με ισχύ κάτω του 1 MW. Αντίθετα, για συστήματα ισχύος μεγαλύτερης των 10 MW απαιτείται χωριστή άδεια που χορηγείται από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).
- Άδειες Εγκατάστασης και Λειτουργίας: Για συστήματα όπου εκδίδεται η άδεια παραγωγής, η Περιφέρεια πρέπει να εκδώσει και τις άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας.
- Έγκριση για οικοδομική άδεια για μικρή κλίμακα εργασιών: Δεν χορηγείται οικοδομική άδεια για φωτοβολταϊκά συστήματα, ωστόσο η Διεύθυνση Πολεοδομίας πρέπει να εγκρίνει δραστηριότητες μικρής κλίμακας. Εκτός βασικής ειδοποίησης από τη ΔΕΗ για την πρόθεση εγκατάστασης, δεν απαιτείται άδεια εργασιών για συστήματα έως 100 KWh. Αυτή η νομοθεσία ισχύει κυρίως για κατοικίες καθώς και για οικοδομικές εγκαταστάσεις μέχρι τα μεσαία συστήματα.
- Χρονικά περιθώρια: Καθορίζονται χρονικά πλαίσια για όλες τις διαδικασίες αδειοδότησης, καθώς και χρονοδιάγραμμα τόσο για τις γραφειοκρατικές λειτουργίες όσο και για την εγκατάσταση του συστήματος. Απαιτείται η δημοσιοποίηση των αποφάσεων αδειών στον ιστότοπο του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής.
- Συγκεκριμένες διατάξεις για την θέση των οικοπέδων: Για το λεκανοπέδιο της Αττικής και τις γύρω περιοχές δεν δίνεται άδεια για παραγωγή για φωτοβολταϊκές μονάδες (ενέργεια) σε οικοπέδα που είναι χαρακτηρισμένη σαν γη πολύ μεγάλης παραγωγικότητας και γενικά συγκεκριμένες τοποθεσίες περιοχών που έχουν χαρακτηριστεί ως εγκεκριμένες από αρμόδιους φορείς όπως Σχέδια – Γενικές Πολεοδομικές (Γ.ΠΣ.) ή Χωρική Οικιστική Οργάνωση Ανοιχτής μεγάλης Πόλης - Σχέδια (Σ.Χ.ΟΑ.Π.) όπως επίσης και για όσες έχουν καθοριστεί ως Ζώνες για Οικιστικό Έλεγχο (Ζ.Ο.Ε.).

2.6 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστημάτων με τα πρότυπα και τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε φωτοβολταϊκά πάνελ σε μία εγκατάσταση απαιτείται να πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές από την Ευρωπαϊκή Ένωση, περνώντας από τις ακόλουθες δοκιμασίες:

- 1) Θερμικών κύκλων, όπου εξετάζεται η ικανότητα αντοχής σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.
- 2) Αυτό-θραύση, δηλαδή η ικανότητα να ανταπεξέρχεται το γυαλί στο θερμικό σοκ.
- 3) Αντοχή τόσο στην ψύξη όσο και στην υγρασία.
- 4) Έλεγχο και καταλληλότητα ηλεκτρικής μόνωσης.
- 5) Κρούση κάθε είδους (για παράδειγμα μεγάλης ποσότητας χαλαζόπτωσης).
- 6) Αντοχή μηχανική αλλά και αντοχή στρέψης.
- 7) Αντοχή στην έκθεση σε περιβάλλον άλμης.
- 8) Έκθεσης του συλλέκτη στο νερό αλλά και διαφόρων ειδών ακτινοβολίες.
- 9) Κατά πόσο επηρεάζεται από τη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου.

Με τη στοχοθέτηση και τους ισχύοντες σήμερα κανόνες και διατάξεις, τα πολύ αυστηρά χρονοδιαγράμματα ουσιαστικά δίνουν εγγύηση για τη λειτουργία και την ασφάλεια. Προς την ίδια κατεύθυνση κινείται και η Κοινοτική Οδηγία 2001/77 «Για την προώθηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας».

2.7 Προϋπολογισμός φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και λειτουργίας

Οι παραδοσιακές λογιστικές προσεγγίσεις χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του μέσου μοναδιαίου κόστους ενέργειας. Η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια, επί του παρόντος, δεν είναι σε θέση να ανταγωνιστεί τις αποδοτικές συμβατικές εγκαταστάσεις ηλεκτρικής ενέργειας. Μέχρι στιγμής, το μεγαλύτερο μέρος των ηλιακών συστημάτων έχει χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές σχετικά χαμηλής ισχύος σε μέρη χωρίς απευθείας σύνδεση στο δίκτυο. Τα φωτοβολταϊκά επιλέχθηκαν γιατί θεωρούνται ασφαλείς και αξιόπιστες πηγές ενέργειας. Επιπλέον, η επιλογή τους βασίζεται στο φθινό κόστος. Ολόκληρη η τιμή αγοράς ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, όπως και κάθε άλλου παρόμοιου προϊόντος, υπολογίζεται από όλα τα εγγενή έξοδα δημιουργίας, αποστολής και εγκατάστασης των διαφορετικών εξαρτημάτων. Άλλες δαπάνες που ενδέχεται να προκύψουν περιλαμβάνουν το σχεδιασμό, την τεχνική έρευνα του συστήματος ή την απόκτηση γης, ιδιαίτερα σε έργα μεγάλης κλίμακας. Ως αποτέλεσμα, ο προσδιορισμός της τιμής είναι δύσκολος, καθώς αλλάζει με βάση την εφαρμογή, το μέγεθος του συστήματος και την τοποθεσία εγκατάστασης. Το κόστος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, από την

άλλη πλευρά, αποτελεί βασικό στοιχείο, καθώς αντιπροσωπεύει το 30-50 τοις εκατό του συνολικού κόστους.

2.8 Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το κόστος μίας φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα προσφέρουν δύο πλεονεκτήματα: αποτελούν ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και δίνουν μελλοντικά οικονομικά οφέλη στον επενδυτή.

Πριν κάνει κάποιος μια επιλογή εκκίνησης στα φωτοβολταϊκά, όπως και σε κάθε άλλη επένδυση, πρέπει να λάβει υπόψη μια σειρά από κριτήρια που επηρεάζουν πρωτίστως την ανάληψη κινδύνου οποιουδήποτε εγχειρήματος.

Για να πάρουμε τη σωστή απόφαση για επένδυση φωτοβολταϊκών συστημάτων πρέπει να γνωρίζουμε:

- Πόσο διαρκεί το συμβόλαιο αγοραπωλησίας
- Ποια είναι η αξία στην οποία θα γίνει η πώληση
- Ποια είναι η διακύμανση τιμής πώλησης
- Ποια είναι η οικονομική ενίσχυση από το τραπεζικό κατάστημα
- Ποιο είναι το θεσμικό πλαίσιο
- Πόσα είναι τα έτη απόσβεσης της επένδυσης
- Ποιος είναι ο φόρος των κερδών

Το κόστος της επένδυσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος έχει υπολογιστεί σε ευρώ και αποδίδεται σε εγκατεστημένο KW. Για να είναι βιώσιμη η επένδυση πρέπει επίσης να αξιολογηθεί:

- Ποια τεχνολογία φωτοβολταϊκών πάνελ θα χρησιμοποιηθεί (για παράδειγμα φωτοβολταϊκά άμορφου πυριτίου, τα οποία είναι φθηνότερα αλλά χρειάζονται σχεδόν διπλάσια επιφάνεια για την ίδια απόδοση).
- Η προέλευση των φωτοβολταϊκών και άλλων εξαρτημάτων του υπόλοιπου εξοπλισμού.
- Το μέγεθος της εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος (όσο χαμηλότερη είναι η ισχύς παραγωγής, τόσο μεγαλύτερη είναι η αξία σε ευρώ ανά εγκατεστημένου KW).
- Η δυσκολία εγκατάστασης, δηλαδή οι περιοχές που δεν είναι προσβάσιμες εύκολα ή υπάρχει ειδική μορφολογία στο έδαφος και χρειάζεται ειδική εγκατάσταση. Αυτές αυξάνουν πολύ το κόστος.
- Η απόσταση της εγκατάστασης από τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά έως το δίκτυο της ΔΕΗ (στην περίπτωση που είναι μακριά υπολογίζεται το κόστος για την επέκταση του δικτύου στα έξοδα).

Το σημερινό κόστος για αγορά και τοποθέτηση μίας εγκατεστημένης μονάδας φωτοβολταϊκού (KW) έχει τιμή από περίπου 4.500 ευρώ (για χώρο διαμορφωμένο και περιφραγμένο για ασφάλεια) και κυμαίνεται έως περίπου 5.500 ευρώ (για τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πολυκρυσταλλικού πυριτίου) για τοποθετήσεις με

πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με πλήρη διάπλαση χώρου τοποθέτησης και με τοποθέτηση φράκτη για την ασφάλειά του συστήματος. Ο μέσος όρος για έναν επενδυτή για να λογαριάσει είναι 5.000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.1 Εισαγωγή

Το φωτοβολταϊκό πάνελ δημιουργεί ισχύ συνεχούς ρεύματος (DC). Για τη λειτουργία οικιακών συσκευών, το συνεχές ρεύμα πρέπει να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Για αυτό χρησιμοποιείται μετατροπέας DC-AC.

Η απόδοση του μετατροπέα είναι συνήθως καλύτερη από 90% όταν λειτουργεί σε περισσότερο από 10%, δηλαδή στη μέγιστη τιμή παραγωγής που φθάνει έως και το 96 τοις εκατό. Οι απευθείας συνδεδεμένοι ηλιακοί μετατροπείς διαθέτουν ηλεκτρονικό ανιχνευτή σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT), που προσαρμόζει συνέχεια την σύνθετη αντίσταση του φορτίου του, προκειμένου ο μετατροπέας ισχύος να έχει πάντα τη μεγαλύτερη ισχύ μέσα στο σύστημα.

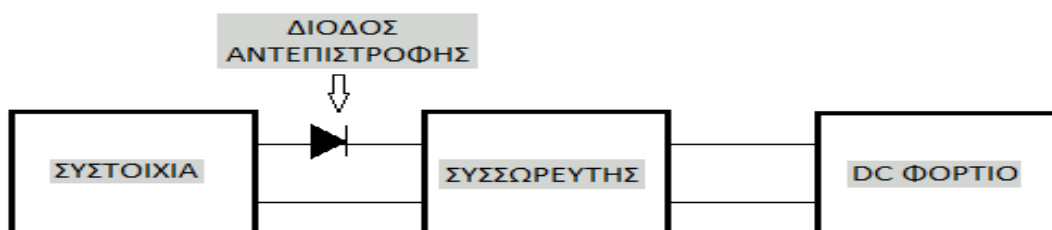
Σήμερα, οι μετατροπείς ισχύος ταξινομούνται σε δύο τύπους: αυτοσυγχρονιζόμενους και σύγχρονους, ανάλογα με τη σύνδεση. Το πρώτο εμπλέκεται από την πηγή ενέργειας, δηλαδή όταν τα φωτοβολταϊκά παράγουν ισχύ. Η δεύτερη ομάδα μετατροπέων ενεργοποιείται και ελέγχεται από το δίκτυο. Αυτή η διαδικασία απαιτείται για να διατηρήσουμε το δίκτυό μας σε αμετάβλητη ποιότητα ισχύος, με απώτερο σκοπό την αποφυγή τυχόν ατυχημάτων. Όταν παρουσιαστεί δυσλειτουργία, οι εναπομείναντες μετατροπείς στα συνεργεία της ΔΕΗ κλείνουν για αποφυγή ηλεκτροπληξίας.

Συνήθως, χρησιμοποιείται μόνο ένας μετατροπέας για μικρής ισχύος συστοιχία. Εάν η ισχύς που προσφέρει είναι υψηλή, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ξεχωριστούς μετατροπείς για τις υπόλοιπες συστοιχίες. Αυτή η προσέγγιση διασφαλίζει την αξιοπιστία γιατί εάν παρουσιαστεί πρόβλημα σε μία μονάδα, ο μετατροπέας απομονώνεται χωρίς να διακόπτεται η υπόλοιπη παραγωγή του συστήματος.

3.2 Οι μονάδες μετατροπής της ισχύος

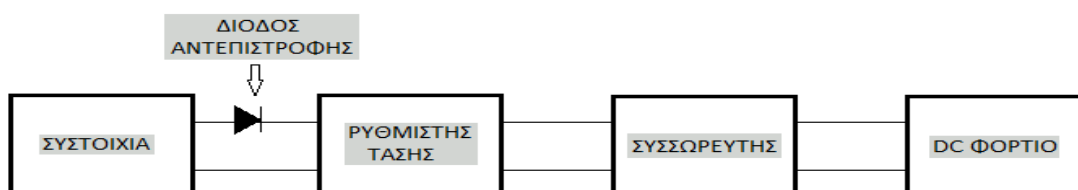
Αυτά είναι τα εξαρτήματα που εκτελούν την προσαρμογή της μπαταρίας, του συσσωρευτή, του φορτίου και της εφεδρικής πηγής ισχύος (εάν αυτή διατίθεται) κάνοντας μετατροπή την «ακατέργαστη» ισχύ από την έξοδο DC από την ηλιακή μπαταρία σε ισχύ που είναι «αποδεκτής ποιότητας» και σύμφωνα με τις ανάγκες του φορτίου εκείνης της στιγμής.

Ένα φωτοβολταϊκό, από μία συστοιχία, μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος που έχει διακυμάνσεις στην τάση 30%. Εάν το φορτίο απαιτεί μόνο ισχύ συνεχούς ρεύματος (για παράδειγμα φώτα, κινητήρες συνεχούς ρεύματος ή άλλα ωμικά φορτία), ο ευκολότερος συνδυασμός είναι να συνδέσετε την μπαταρία απευθείας σε μια μπαταρία και μετά στο φορτίο μέσω μιας διόδου αντεπιστροφής. Εάν η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας μειωθεί δραστικά, η δίοδος αντεπιστροφής εμποδίζει την εξάντληση των μπαταριών μέσω της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Η λειτουργία αυτής της διάταξης είναι αναγκαίο να γίνεται μόνο όταν το ρεύμα της μπαταρίας έχει χαμηλότερη τιμή από 5% της χωρητικότητας της μπαταρίας.



Εικόνα 3.1: Πως αυτορυθμίζεται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

Πολλά συστήματα συνεχούς ρεύματος προσαρμόζονται για τις διακυμάνσεις τάσης που προκαλούνται από τις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες και την υποβάθμιση των χαρακτηριστικών κυψελών τους λόγω της γήρανσης, διαχειρίζονται την τάση της συστοιχίας χρησιμοποιώντας ρυθμιστές τάσης. Ως αποτέλεσμα, παρέχεται σταθερή ισχύς τάσης για την προστασία της μπαταρίας και του φορτίου από υπερβολικές τιμές τάσης και τις σχετικές επιπτώσεις τους.

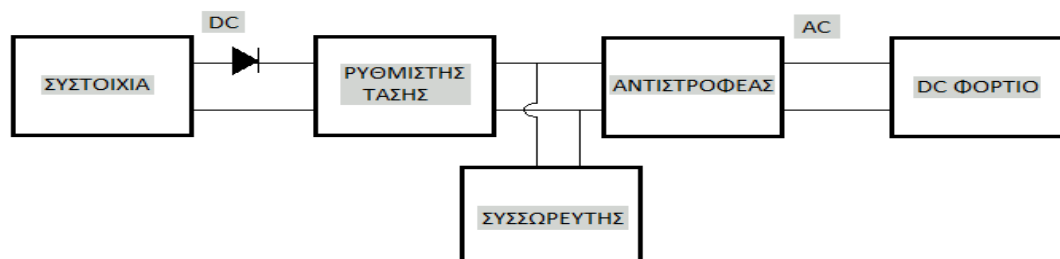


Εικόνα 3.2: Ρυθμιστής τάσης μέσα σε φωτοβολταϊκό σύστημα

Στο συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό σύστημα, στοχεύουμε στην εξαγωγή της μεγαλύτερης ποσότητας ενέργειας από την μπαταρία, πράγμα που σημαίνει ότι το σημείο λειτουργίας αντιστοιχεί στην υψηλότερη ισχύ σε κάθε χρονικό σημείο. Εάν το σύστημα είναι αυτόνομο και περιέχει μπαταρίες, η ποσότητα των μπαταριών που συνδέονται σε σειρά πρέπει να υπολογιστεί με σωστό τρόπο, ώστε η τάση της μπαταρίας να πλησιάζει την τάση που χρειαζόμαστε στη μέγιστη τιμή ισχύος της μπαταρίας, καθ' όλη τη διάρκεια της χρήσης τους. Στην περίπτωση αυτή, μία τέτοια ρύθμιση δεν πραγματοποιείται ως συνέπεια αλλαγών στην ακτινοβολία, τη θερμοκρασία, το επίπεδο φόρτισης της μπαταρίας (SOC) ή τον ρυθμό φόρτισης/εκφόρτισης της μπαταρίας, με αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής

απόδοσης. Το Maximum Power Point Tracker χρησιμοποιείται για αυτό το σκοπό και εκτελεί την απαιτούμενη προσαρμογή υιοθετώντας μία κατάλληλη προσέγγιση ανίχνευσης σημείου μέγιστης ισχύος.

Εάν το φορτίο απαιτεί εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας για τη μετατροπή DC σε εναλλασσόμενο ρεύμα.

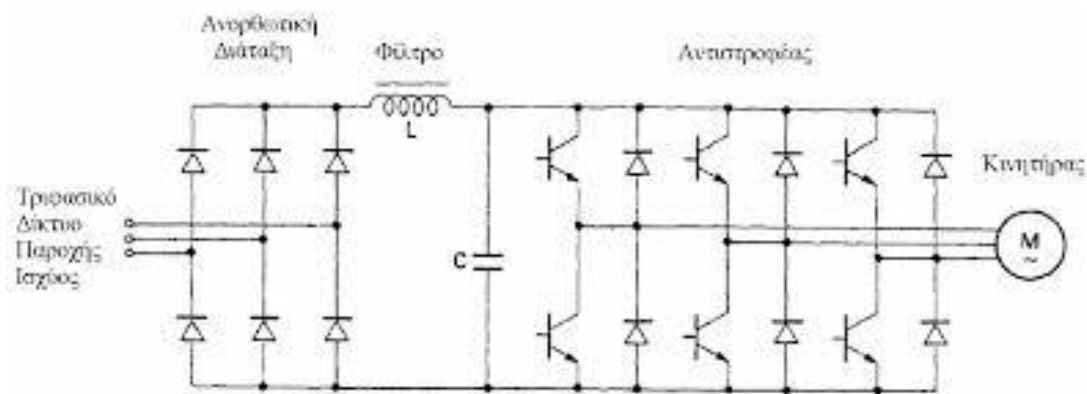


Εικόνα 3.3: Αντιστροφέας μέσα σε φωτοβολταϊκό σύστημα

Στις παραπάνω μονάδες μετατροπής ισχύος περιλαμβάνονται επίσης ο έλεγχος του συστήματος από μονάδες οι οποίες περιέχουν αυτόματη ενεργοποίηση συστήματος αλλά και απενεργοποίηση, μέτρηση κατάστασης μπαταρίας (Soc), διακόπτη για θέση ενεργοποίησης εφεδρικής πηγής ενέργειας, τροφοδοσία και διανομή φορτίων, πολλά συστήματα προστασίας, παρακολούθηση και καταγραφή λειτουργίας συστήματος, έλεγχο γείωσης και ούτω καθεξής.

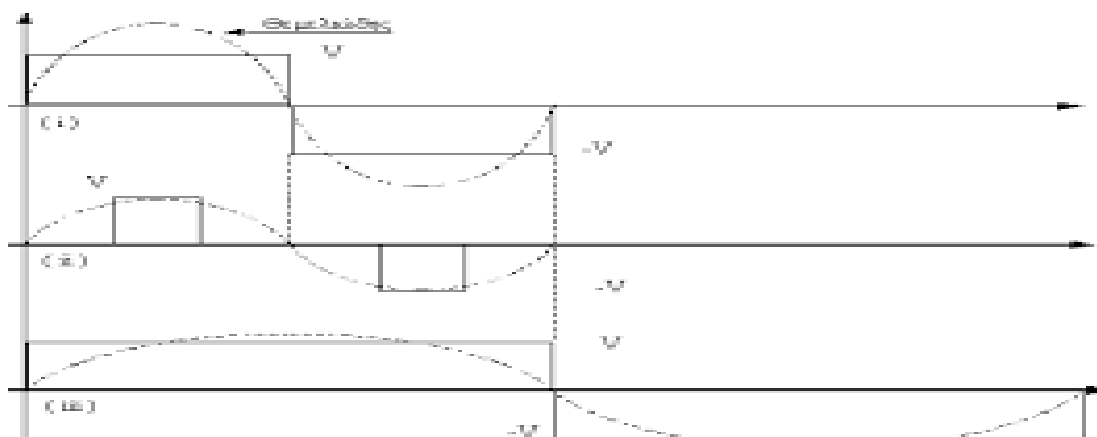
3.3 Μετατροπέας συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα DC-AC

Είναι μία συσκευή που μεταβάλλει την ηλεκτρική ενέργεια της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη τάση (ο μετατροπέας μπορεί να είναι μονοφασικός ή τριφασικός). Γίνεται χρήση σε περιπτώσεις όπου υπάρχει άμεση παροχή ενέργειας στο σπίτι και καταναλωτές εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως σε οικιακά ηλιακά συστήματα. Τα πιο σημαντικά τεχνολογικά εξαρτήματα είναι διάφοροι τύποι ηλεκτρικών διακοπών (διπολικά τρανζίστορ ισχύος, MOSFET, θυρίστορ, κ.λπ.), οι οποίοι όταν συνδέονται παράγουν μία ακολουθία τετραγωνικών παλμών που είναι προοδευτικά ευθύγραμμοι και ανεστραμμένοι.



Εικόνα 3.4: Κύκλωμα ανορθωτικής διάταξης

Το ακόλουθο σχεδιάγραμμα αποτυπώνει εξελιγμένη έκδοση αντιστροφέα.



Εικόνα 3.5: Τάση εξόδου αντιστροφέα

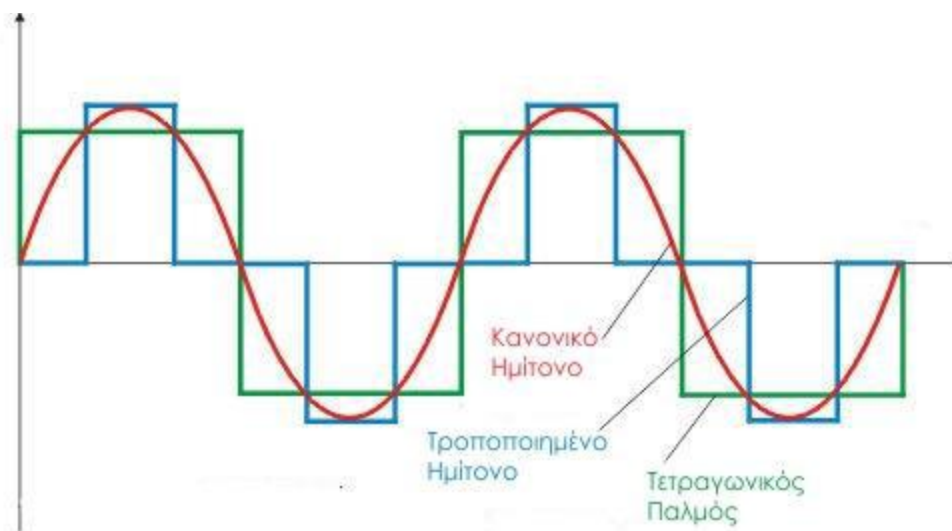
Όταν ρυθμίζονται οι διάρκειες κλεισίματος-ανοίγματος των διακοπών, δημιουργείται μια ελαφρά μεταβολή της κυματομορφής εξόδου, που ορίζεται από το γεγονός ότι ο τετραγωνικός αρνητικός παλμός μετακινείται σε κάποια χρονική στιγμή σε σχέση με το θετικό κατά $T/6$ της συνολικής περιόδου της κυματομορφής. Όπως βλέπουμε, το $T/3$ είναι το χρονικό εύρος των τετραγωνικών μερών. Αυτή η τετράγωνη κυματομορφή με μοτίβο, έχει το πλεονέκτημα ότι μειώνει σημαντικά την παραμόρφωση του σήματος.

Σε περίπτωση που έχουμε μετατόπιση ίση με $T/6$ μεταξύ των ανεστραμμένων παλμών έχουμε πολύ μικρή παραμόρφωση που προκαλείται από υψηλότερες αρμονικές που βρίσκονται στο βασικό σήμα. Αυτός ο τύπος μετατροπέα χρησιμοποιείται συνήθως, καθώς δεν προκαλεί προβλήματα στις συσκευές τις οποίες τροφοδοτεί με ηλεκτρισμό και έχει υψηλή απόδοση (έως και 96 τοις εκατό σε πλήρες φορτίο).

Γενικά, η απόδοση του μετατροπέα είναι σχετικά καλή ανάλογα με την αναλογία του μέγιστου φορτίου που παρέχεται. Η μέγιστη απόδοση είναι απαραίτητη όχι

μόνο λόγω του φορτίου που παρουσιάζει πλήρη χωρητικότητα (100%) αλλά και όταν χαμηλώνει.

Μια κρίσιμη απαίτηση ενός μετατροπέα είναι να επιτυγχάνει να έχει πολύ υψηλή απόδοση (μεγαλύτερη του 90%) ακόμα και στην περίπτωση που το φορτίο είναι γεμάτο μόνο κατά 10%. Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι η λειτουργία των μετατροπέων ακολουθείται από τη δημιουργία σημαντικού αριθμού αρμονικών υψηλής συχνότητας (κατά βάση με τον βασικό τετραγωνικό παλμό), οι οποίες περιορίζονται από εξελιγμένα φίλτρα (ηλεκτρονικά).



Εικόνα 3.6: Κανονικό ημίτονο σε σύγκριση με τετραγωνικό παλμό

3.4 Εγκατάσταση συστήματος

Για την αποφυγή περιστάσεων που μπορεί να βάλουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές ή ακόμα και να δημιουργήσουν υλικές ζημιές, χρειάζεται να τηρούνται τα πρότυπα και οι κανόνες της παγκόσμιας εμπειρίας αλλά και οι ισχύουσες απαιτήσεις σωστής λειτουργίας προκειμένου η μονάδα παραγωγής να λειτουργεί σωστά. Πιο συγκεκριμένα, οι απαιτήσεις που προκύπτουν από το HD384 πρέπει να τηρούνται για την ολοκλήρωση και εφαρμογή της εγκατάστασης από την πλευρά που χρησιμοποιείται το εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτό το πρόγραμμα, από την άλλη, δεν αντιμετωπίζει κανόνες για την εγκατάσταση της πλευράς του συνεχούς ρεύματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένα φωτοβολταϊκό σύστημα δεν έχει τις ίδιες ιδιότητες με τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας. Το είδος των δομικών υλικών των φωτοβολταϊκών καθορίζει τα χαρακτηριστικά τους. Ως αποτέλεσμα, οι τεχνικοί που θα τα εγκαταστήσουν πρέπει να λάβουν υπόψη αυτή τη διακύμανση προκειμένου το φωτοβολταϊκό σύστημα να είναι σωστά κατασκευασμένο και να λειτουργεί καλά.

Πιο συγκεκριμένα:

- α) Με βάση τη μοναδικότητα των φωτοβολταϊκών εξαρτημάτων, συμπεραίνουμε ότι τα φωτοβολταϊκά πάνελ λειτουργούν ως πηγές ισχύος ελεγχόμενης από τάση. Στην πραγματικότητα, η μέγιστη τιμή ρεύματος ενός ηλιακού πάνελ είναι κάπως υψηλότερη από την ονομαστική του τιμή ρεύματος. Ως αποτέλεσμα, η χρήση ασφαλειών δεν εξασφαλίζει την αστοχία μέσα στο σύστημα σε περίπτωση βλάβης (βραχυκύκλωμα εσωτερικά του πλαισίου). Έτσι, έως ότου το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει περισσότερες από τρεις παράλληλες σειρές, δεν εξουδετερώνεται ένα βραχυκύκλωμα στην πλευρά DC, ανεξάρτητα από τη χρήση ασφαλειών. Η ασφάλεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτό το είδος κατασκευής ηλιακού συστήματος για να μειώσει τις πιθανότητες βλάβης οποιουδήποτε μεμονωμένου εξαρτήματος.
- β) Σε αντίθεση με άλλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η παροχή ρεύματος μπορεί να διακοπεί χρησιμοποιώντας μια τυπική μέθοδο αποσύνδεσης, τα φωτοβολταϊκά πάνελ δημιουργούν τάση στους ακροδέκτες τους μόλις έρθουν σε επαφή με το φυσικό φως του ήλιου. Ως αποτέλεσμα, η εγκατάσταση ηλιακού συστήματος γίνεται υπό συνθήκες τάσης στο πλάι των πάνελ.

Ενδέχεται να προκύψουν δυσάρεστες καταστάσεις κατά την ηλεκτρική εγκατάσταση συνεχούς ρεύματος εάν δεν προσέξουμε τα ακόλουθα:

- α) Οι συνδέσεις είναι λανθασμένες - χαλαρές, ακατάλληλες συνδέσεις (αποφυγή δημιουργίας τόξου).
- β) Η εγκατάσταση γείωσης είναι εσφαλμένη (χαλασμένη μόνωση καλωδίων ή ενεργός αγωγός να έρθει σε επαφή με γειωμένο μεταλλικό περίβλημα φωτοβολταϊκού).
- γ) Υπάρχει βραχυκύκλωμα ή συμβεί σφάλμα (εσφαλμένη μόνωση και επαφή ενεργών καλωδίων).

3.5 Ανάλυση σφαλμάτων

Το παρακάτω γράφημα αναπαράγει μια εγκατάσταση με τον αρνητικό πόλο των ηλιακών συστοιχιών γειωμένο βάσει σχεδιασμού, προκειμένου να μελετηθεί μια πιθανή κακή κατάσταση που προκαλείται από μια αστοχία.



Εικόνα 3.7: Ανάλυση σφάλματος

Γενικά θεωρούμε γειωμένο τον αρνητικό πόλο. Αυτό συμβαίνει ως αποτέλεσμα του σχεδιασμού του συστήματος, όπως ένα σύστημα με γείωση ή κάνοντας χρήση μετατροπέα χωρίς να έχει απομόνωση.

Εάν παρουσιαστεί μία βλάβη γείωσης σε παράλληλο κλάδο, η ενέργεια από τους άλλους κλάδους θα παρέχεται στο σφάλμα, με αποτέλεσμα να υπάρχει αντίστροφο ρεύμα μέσα στον ελαττωματικό κλάδο.

Το ίδιο συμβαίνει όταν αναπτύσσεται βραχυκύκλωμα στον κλάδο που είναι παράλληλος ή όταν γειωθεί ο αρνητικός πόλος κατά λάθος, λόγω ενός πρώτου σφάλματος γείωσης που ακολουθείται από ένα δεύτερο σφάλμα γείωσης. Τα φωτοβολταϊκά παρέχουν το ρεύμα από το σφάλμα, το οποίο μπορεί να συνεχιστεί ακόμα και όταν το ηλιακό σύστημα αποσυνδεθεί από πάνω από τον μετατροπέα ισχύος, χωρίς να διαταραχθεί ο βρόχος από το ρεύμα που δημιούργησε το σφάλμα. Οι διακοπές ρεύματος μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στο καλώδιο και στο ηλιακό πάνελ.

Αντιμετώπιση προβλημάτων κυκλωμάτων:

- α) Χωρίς να υπολογίζουμε τους αγωγούς κάθε παράλληλης σειράς του κλάδου ώστε να έχουν αντοχή στο ρεύμα παράλληλων κλάδων $N-1$, με δεδομένο ότι αυτό το ρεύμα είναι μικρότερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο αντίστροφο ρεύμα του ηλιακού πάνελ. Το μέγιστο επιτρεπόμενο αντίστροφο ρεύμα για όλους τους εμπορικούς ηλιακούς συλλέκτες είναι μία τιμή ρεύματος που είναι τουλάχιστον τριπλάσια της τιμής του ρεύματος βραχυκυκλώματος.
- β) Αντιμετωπίζεται με τοποθέτηση ασφαλειών σε όλους τους κλάδους, σε θετική ή αρνητική ταυτόχρονα, ανάλογα με τις προδιαγραφές του μετατροπέα. Υπάρχει επίσης η επιλογή χρήσης διόδων αντεπιστροφής για την αντιμετώπιση του προαναφερθέντος προβλήματος, ωστόσο αυτό μειώνει την

απόδοση της ενέργειας στη μονάδα ισχύος λόγω πιθανών απωλειών που έχει σε ισχύ.

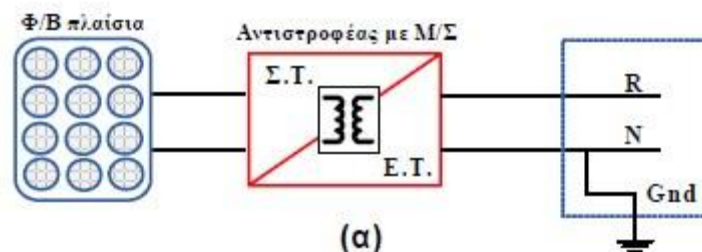
3.6 Ασφάλεια

Λόγω των χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών, δεν υπάρχει αυτόματη διακοπή ρεύματος και δεν είναι εφαρμόσιμη για λόγους προστασίας και ασφάλειας. Για προστασία από άμεση και έμμεση επαφή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολύ χαμηλή τάση (συστήματα SELV ή PELV). Όταν έχουμε τάση ανοιχτοκυκλωμένη υπό συμβατικές συνθήκες δοκιμής που δεν ξεπερνά τα 120 VDC, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ταξινομείται ως σύστημα πολύ μικρής τάσης. Αυτή η κατάσταση, ωστόσο, είναι μοναδική και περιορισμένης σημασίας, επειδή τα περισσότερα πράγματα στην αγορά ακολουθούν υψηλότερες τάσεις. Επειδή οι ηλιακοί συλλέκτες που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν μόνωση Κλάσης II (σύμφωνα με το πρότυπο EN 61730, για το σύνολο των εφαρμογών [Κλάση εφαρμογής A] για την συνεχή τάση (VDC) της λειτουργίας του συστήματος να είναι μεγαλύτερη από 120 V), απαιτείται μόνωση Κλάσης II που είναι συγκεκριμένη για τα φωτοβολταϊκά πάνελ αυτής της κατηγορίας. Εκτός από τη χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ κατηγορίας II και υλικών εγκατάστασης και τεχνικών που παρέχουν προστασία Κλάσης II ή παρόμοια («εγκατάσταση με προστασία από σφάλματα γείωσης και βραχυκύκλωμα»), η προτεινόμενη προσέγγιση για προστασία από έμμεση επαφή είναι η μείωση του κινδύνου βλαβών. Η προστασία με χρήση υλικού Κλάσης II, δηλαδή με ενισχυμένη μόνωση, χρησιμοποιεί ως βάση ότι η μόνωση είναι τόσο στιβαρή που η καταστροφή της είναι σχεδόν αδύνατη. Το μοντέλο IEC (EN 61730) χωρίζεται σε δύο ενότητες. Η πρώτη ενότητα αφορά λιγότερες παραμέτρους για καλή κατασκευή ηλιακών πάνελ, συμπεριλαμβάνει την ηλεκτρική μόνωση, για εγκαταστάσεις όπου η μεγαλύτερη συνεχής τάση ρεύματος φτάνει περίπου μέχρι 1.000V (από πλευράς μόνωσης πρέπει να πληρούνται οι απαιτήσεις της Κλάσης II). Η δεύτερη ενότητα του μοντέλου IEC EN 61730 αντιμετωπίζει τις απαραίτητες δοκιμές ηλιακών πάνελ.

3.7 Γείωση του μετατροπέα τάσης (Volt DC)

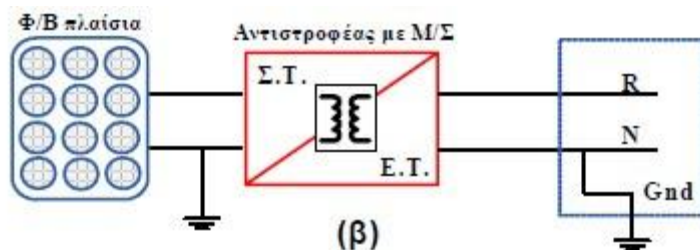
Η γείωση του συστήματος (μπορεί να είναι άμεση ή ουδέτερη, κατάλληλη για την τοποθεσία) προορίζεται κατά πρώτο λόγο για την προστασία των βιομηχανικών συνολικά εγκαταστάσεων και της ασφάλειας των ανθρώπων και πάντα οφείλει να γίνεται σύμφωνα με την ισχύουσες κανόνες του HD384. Το ακόλουθο σχήμα 3.8.α απεικονίζει διάφορες μεθόδους για τη γείωση των συνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων κτιρίου. Αξίζει να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο ότι, σε αντίθεση με τις Ηνωμένες Πολιτείες, η γείωση ενός από τους ακροδέκτες του μετατροπέα στην πλευρά DC δεν απαιτείται στις ευρωπαϊκές χώρες.

Υπογραμμίζεται ότι η ύπαρξη ή όχι γείωσης στην πλευρά DC καθορίζεται με την τεχνολογική εξέλιξη των ηλιακών συλλεκτών και την αρχιτεκτονική του μετατροπέα. Οι ηλιακές συστοιχίες παράγονται από συγκεκριμένους τύπους πάνελ (λεπτές επιστρώσεις, οπίσθια επαφή) και γειώνονται σύμφωνα με τη σύσταση του κατασκευαστή για να επιτρέψουν την ομαλή λειτουργία και τη βελτίωση της απόδοσης. Λόγω της τεχνολογίας κατασκευής τους (τεχνολογία υπερστρώματος), τα φωτοβολταϊκά πάνελ λεπτής μεμβράνης αποτελούνται άλλα από υλικά όπως είναι το άμορφο πυρίτιο και άλλα από διαφορετικά υλικά όπως το τελλουριούχο κάδμιο. Τα ανωτέρω τυπικά παρουσιάζουν υψηλό κίνδυνο διάβρωσης του T.C.O. (Transparent Conductive Oxide), που έχει καταστροφικά αποτελέσματα στα κουφώματα. Για να το παρακάμψετε, γειώστε τον αρνητικό ακροδέκτη μιας φωτοβολταϊκής πηγής. Σύμφωνα με υπάρχουσες έρευνες, αυτό το φαινόμενο δεν εμφανίζεται σε ηλιακούς συλλέκτες λεπτής μεμβράνης κατασκευασμένους από άλλα υλικά (π.χ. CIS). Για να βελτιωθεί η απόδοση σε συστήματα με φωτοβολταϊκά πάνελ οπίσθιας επαφής, είναι απαραίτητο (από τον κατασκευαστή) να γειωθεί ο θετικός ακροδέκτης στην πλευρά DC. Σε αυτό το σενάριο, η γείωση μπορεί να επιτευχθεί με υψηλή αντίσταση. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται ένας μετατροπέας με μετασχηματιστή απομόνωσης, εκτός εάν ο κατασκευαστής επιβεβαιώσει ότι το συγκεκριμένο είδος μετατροπέα (δηλαδή χωρίς να έχει μετασχηματιστή) είναι κατάλληλο για εφαρμογή με τα πλαίσια που επιλέξαμε. Οι κατασκευαστές δεν έχουν θέσει πρόσθετα κριτήρια σχετικά με το εάν οι πλευρικές συνδέσεις DC είναι γειωμένες ή όχι με i και h τυπικά κρυστάλλινα πλαίσια. Σε αυτές τις περιπτώσεις, εάν κανένα ενεργό στοιχείο δεν είναι γειωμένο στην πλευρά DC, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μετατροπέας που δεν έχει μετασχηματιστή απομόνωσης. Σε κάθε κατασκευή του συστήματος, ο σχεδιαστής τηρεί τις υποδείξεις του κατασκευαστή για τις μοναδικές ανάγκες που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της τεχνολογίας ηλιακών πάνελ. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, οι κατασκευαστές μετατροπέων συστήνουν συχνά, για σωστή τοποθέτηση, εξοπλισμό ανάλογα με το είδος του πάνελ. Επισημαίνεται ότι η πλευρά DC δεν είναι γειωμένη εάν ο μετατροπέας δεν διαθέτει μετασχηματιστή απομόνωσης. Σε άλλη περίπτωση, όλα τα απροστάτευτα μεταλλικά υλικά του φωτοβολταϊκού συστήματος (π.χ. οι βάσεις που στηρίζουν τα πάνελ και άλλα τμήματα ηλιακού του πάνελ) πρέπει να είναι γειωμένα. Οι ακόλουθες ενότητες εξετάζουν διάφορες προκλήσεις που απαιτούν μοναδική εξέταση με βάση τον τρόπο που γειώνεται ο αντιστροφέας.



Εικόνα 3.8.α: Σωστοί τρόποι γείωσης των συνδεδεμένων κτιριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων

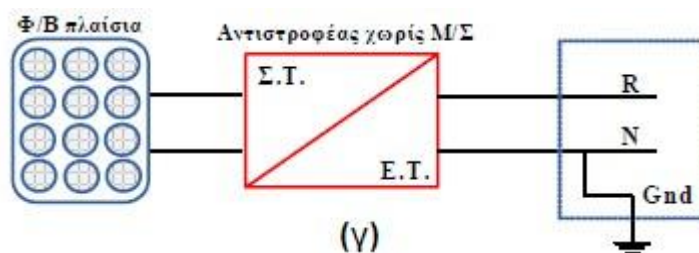
Το ανωτέρω σχήμα 3.8.α απεικονίζει ένα ηλιακό σύστημα με έναν μετατροπέα με έναν μετασχηματιστή που είναι γειωμένος στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος. Μια αστοχία μεταξύ ενός από τους δύο αγωγούς DC και της γείωσης σε ένα τέτοιο σύστημα δεν οδηγεί σε ροή ρεύματος. Στην περίπτωση που ένας άνθρωπος (που έρθει σε επαφή με τη γη) έρχεται σε επαφή με έναν από τους ενεργούς αγωγούς DC, συμβαίνει το ίδιο. Φυσικά, εάν τα κουφώματα είναι γειωμένα και ανεπαρκώς μονωμένα, η παρασιτική ικανότητα των κουφωμάτων μπορεί να απελευθερωθεί στο έδαφος μέσω ανθρώπου (ρεύμα διαρροής). Ως αποτέλεσμα, απαιτούνται κουφώματα που ανήκουν στην ομάδα με μόνωση «Κλάση II» (μοντέλο IEC EN 61730). Τέλος, για να ελαχιστοποιηθούν οι βλάβες που προκαλούνται από σκόπιμη ή ακούσια γείωση της πλευράς DC, αυτά τα συστήματα απαιτούν τη χρήση συγκεκριμένων συστημάτων παρακολούθησης σφαλμάτων γείωσης και συστημάτων αποσύνδεσης μετατροπέα (στην πλευρά DC).



Εικόνα 3.8.β: Σωστοί τρόποι γείωσης των συνδεδεμένων κτιριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων

Το ανωτέρω σχήμα 3.8.β απεικονίζει ένα ηλιακό σύστημα με έναν μετατροπέα με έναν μετασχηματιστή που είναι γειωμένος και στις δύο πλευρές DC και AC. Σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο, η εισαγωγή ενός βραχυκυκλώματος μεταξύ του αγωγού DC που είναι αγείωτος και του αγώγιμου τμήματος της γης προκαλεί τη δημιουργία ρευμάτων. Το ίδιο συμβαίνει όταν ένα άτομο το οποίο έχει ακουμπήσει τη γη, έρθει σε επαφή με καλώδιο συνεχούς ρεύματος. Σε περίπτωση σφάλματος, η μόνη μέθοδος για να σταματήσετε τη ροή του ρεύματος προς τη γείωση είναι να αποσυνδέσετε το τμήμα DC από αυτό. Η χρήση μιας συσκευής που ανιχνεύει το ρεύμα που ρέει στη γείωση από τον σκόπιμο γειωμένο αγωγό είναι απαραίτητη για την ασφάλεια των ανθρώπων, ενώ τα ρεύματα σε περίπτωση διαρροής λόγω της

ικανότητας που έχει το κούφωμα (παρασιτικής χωρητικότητας) μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την αξιοπιστία της σύνδεσης που αναφέραμε προηγουμένως.



Εικόνα 3.8.γ: Σωστοί τρόποι γείωσης των συνδεδεμένων κτιριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων

Το ανωτέρω σχήμα 3.8.γ απεικονίζει ένα ηλιακό σύστημα με έναν μετατροπέα που δεν απαιτεί μετασχηματιστή και είναι γειωμένος στην πλευρά AC. Αν και η πλευρά DC δεν είναι απευθείας γειωμένη, η πλευρά AC γίνεται «ορατή» στην πλευρά DC σε συγκεκριμένες περιπτώσεις (έχουν σχέση με την αρχιτεκτονική του μετατροπέα). Αν υποθέσουμε ότι τα κούφωματα έχουν γειωθεί αλλά δεν έχουν όμως επαρκή μόνωση και συμβεί ακούσια επαφή με την γείωση λόγω λάθους, η παρασιτική χωρητικότητα των κούφωμάτων εκκενώνεται στη γη μέσω του μετατροπέα (ρεύμα διαρροής). Η χρήση ανιχνευτή ρεύματος διαρροής είναι απαραίτητη για την ασφάλεια των ανθρώπων. Φυσικά, το όριο ενεργοποίησης της προαναφερθείσας συσκευής πρέπει να ρυθμιστεί με προσοχή (ρύθμιση άνω και κάτω ορίου, όχι απότομες αλλαγές).

Δεδομένου ότι η τάση στα άκρα μίας φωτοβολταϊκής ενεργής συστοιχίας μπορεί να είναι πολύ μεγάλη (στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται υποχρεωτικά η λήψη αυστηρών μέτρων για την προστασία του χρήστη αλλά και του τεχνικού σύμφωνα με το πρότυπο IEC 364-4-41), αλλά και ότι η έξοδος του μετατροπέα είναι συνδεδεμένη σε δίκτυο μικρής τάσης, υποθέτουμε ότι η τάση σε κάποια εξαρτήματα του μετατροπέα είναι δύο ή περισσότερες φορές υψηλότερη από την ονομαστική τάση που έχει το δίκτυο. Ως αποτέλεσμα, υποδεικνύεται η απαίτηση γείωσης σε όλα τα μεταλλικά μέρη του περιβλήματος του μετατροπέα, με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος για ηλεκτροπληξία. Με τον τρόπο αυτό, η διακοπή του κυκλώματος ισχύος σε γειτονικό ηλεκτρικό εξοπλισμό μειώνει την πιθανότητα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών.

Τέλος, θέλουμε να τονίσουμε για την γείωση του ηλιακού πάνελ ότι ο εξοπλισμός μπορεί να προκαλέσει μεγάλη βλάβη εάν η μόνωση του πάνελ δεν είναι σε κατάσταση σωστής λειτουργίας. Ωστόσο, κάνοντας χρήση αγωγίμων ηλιακών πάνελ μειώνεται ο προαναφερθέντας κίνδυνος και αυξάνεται η πιθανότητα βλάβης του πίνακα σε περίπτωση κεραυνού. Ο κατασκευαστής μπορεί να επιβάλλει τη γείωση των πλαισίων σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.

3.8 Καλωδίωση συστημάτων

3.8.1 Πλευρά συνεχούς ρεύματος συστημάτων

Από την πλευρά των φωτοβολταϊκών, οι αγωγοί που θα εγκατασταθούν στο σύστημα θα πρέπει πρώτα να έχουν σχεδιαστεί και εφαρμοστεί ώστε να προσφέρουν προστασία με βαθμό μόνωσης Κλάσης II.

Η καλωδίωση περιλαμβάνει όλες τις συνδέσεις που χρειάζονται σε μία εγκατάσταση μεταξύ των ηλιακών συλλεκτών που είναι εν σειρά μεταξύ τους, συνδέσεις που γίνονται ανάμεσα στα άκρα κάθε κλάδου και όλοι οι κλάδοι μεταξύ τους παράλληλα σε άλλο κιβώτιο. Έτσι συνδέονται, γενικά, όλες οι συνδέσεις μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας, από το παράλληλο κουτί μέχρι τον μετατροπέα.

Όλοι οι αγωγοί σύνδεσης που είναι εκτεθειμένοι σε επαφή με το ηλιακό φως πρέπει να είναι ακόμα πιο ανθεκτικοί στην υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου (εξαιρουμένων των κοινών αγωγών με μόνωση PVC).

Εάν δεν υπάρχει κυκλοφορία ανοιχτού αέρα, οι αγωγοί που θα χρησιμοποιήσουμε για τη σύνδεση του πλαισίου και αυτοί πρέπει να έχουν μόνωση που να αντέχει σε θερμοκρασία τουλάχιστον 75°C ή ακόμα μεγαλύτερη.

Επίσης η σωστή επιλογή του κατάλληλου τύπου αγωγών είναι καίριας σημασίας γιατί αφορά την προστασία, την ασφάλεια αλλά και την μακροζωία της εγκατάστασης και υποχρεωτικά πρέπει να γίνεται τήρηση των κριτηρίων μόνωσης που έχουμε στην κατηγορία II.

Οι εύκαμπτες συνδέσεις με ενισχυμένη μόνωση χρησιμοποιούνται συχνά για συνδέσεις μεταξύ κουφωμάτων που πληρούν τουλάχιστον τις προαναφερθείσες προδιαγραφές. Αυτό το σύνολο απαιτήσεων είναι δύσκολο να επιτευχθεί με κανονικά καλώδια, για αυτό χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα πλαστικά σε συνδυασμό για σωστή μόνωση αλλά και για ασφάλεια.

Οι αγωγοί μπορεί να έχουν διαδρομή μέσω του αέρα, έτσι επιβάλλεται να στηριχτούν για να μην καταπονούνται και φθείρονται οι συνδέσεις. Το στήριγμα είναι κατασκευασμένο από υλικά που είναι ειδικά για χρήση στην υπεριώδη ακτινοβολία, στην υγρασία, στις πολύ μεγάλες θερμοκρασίες και στη διάβρωση.

Για να μειωθούν οι επιπτώσεις της σκιάς, τα φωτοβολταϊκά πάνελ θα πρέπει να περιέχουν διόδους παράκαμψης. Συνιστάται η σύνδεση των καλωδίων χρησιμοποιώντας τους απαραίτητους ειδικούς γρήγορους συνδέσμους. Όσον αφορά τα προεγκατεστημένα καλώδια των ηλιακών συλλεκτών, σε περίπτωση αντικατάστασης, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται αγωγοί με διαφορετική διατομή ή άλλου είδους.

Η δρομολόγηση των αγωγών από το παράλληλο κουτί στον μετατροπέα πρέπει να παρέχει προστασία Κλάσης II. Συνιστώνται μονοπολικά σύρματα με ειδική ή πολύ ενισχυμένη μόνωση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, χρησιμοποιούμε για τους αγωγούς διαφορετική όδευση στα κανάλια.

Για τη σύνδεση αγωγών σε κουτιά που έχουν αρνητικά ή θετικά άκρα, πρέπει να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά τμήματα με μονωτικό διαχωριστή στα κουτιά διακλάδωσης. Σωστότερος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά κουτιά διακλάδωσης για τα θετικά και τα αρνητικά καλώδια.

Τα χρησιμοποιημένα κουτιά πρέπει να μονώνονται και να ανοίγονται με συγκεκριμένο κλειδί ή εργαλείο.

Το υψηλότερο προβλεπόμενο ρεύμα σε έναν κλάδο καθορίζει τη διατομή του καλωδίου. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας, η οποία μπορεί να ξεπεράσει τους 75°C για καλώδια κοντά σε ηλιακούς συλλέκτες, θα πρέπει να λαμβάνεται τουλάχιστον υπόψη. Στους 75°C, ο συντελεστής διόρθωσης για καλώδια με μόνωση ανθεκτική στους 91°C είναι 0,58. Σε αυτήν την περίπτωση, η επιλογή διατομής του αγωγού πρέπει να διαμορφωθεί με βάση το υψηλότερο προβλεπόμενο ρεύμα (δηλαδή $1,72 = (1 / 0,58)$), έτσι θα αποφευχθεί η υπέρβαση των περιορισμών αντίστασης μόνωσης.

Πρέπει πάντα να λαμβάνουμε υπόψη τον παράγοντα της απώλειας ισχύος του συστήματος από τους αγωγούς σύνδεσης. Ανάλογα με το μέγεθος των αγωγών σχετίζεται και η απώλεια ρεύματος. Υπό ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας, θεωρείται συνήθως ότι η συνολική απώλεια Ρ_α ισχύος σε όλο το μήκος των αγωγών συνεχούς ρεύματος δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1% της μέγιστης ισχύος του ηλιακού συστήματος. Το γεγονός αυτό έχει γενικά ως αποτέλεσμα την επιλογή μεγαλύτερης διατομής.

Για να διαχωριστεί ο μετατροπέας από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια, θα πρέπει να τοποθετηθεί ένας διακόπτης (αν δεν είναι ενσωματωμένος στον μετατροπέα) στην πλευρά DC. Υπό φορτίο, ο διακόπτης απαιτείται να μπορεί να ασφαλίσει τον μετατροπέα (επομένως οι μεγάλες συνδέσεις δεν πληρούν αυτήν την απαίτηση ως μέσο προστασίας). Ο γενικός διακόπτης απαιτείται να είναι κατασκευασμένος για το συνεχές ρεύμα και πρέπει να μπορεί να βγάζει εκτός και τους δύο αγωγούς (σύστημα λειτουργίας γείωσης).

3.8.2 Πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος

Από την πλευρά AC, οι τυπικές διαδικασίες HD384 θα πρέπει να ακολουθούνται γενικά.

Η έξοδος του μετατροπέα πρέπει να συνδεθεί με έναν διαφορετικό ηλεκτρικό πίνακα, στον οποίο στεγάζονται οι μηχανισμοί προστασίας και ελέγχου. Η παροχή ρεύματος στον ηλεκτρικό πίνακα θα πρέπει να έχει όδευση απευθείας στην τροφοδοσία του διαχειριστή δικτύου στο κτίριο.

Το σύστημα μετατροπής πρέπει να μπορεί να απομονώσει την έξοδο του εναλλασσόμενου ρεύματος του δικτύου.

Η εγκατάσταση του ρελέ διαρροής στην έξοδο του μετατροπέα (μεριά AC) γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο HD384. Εάν ο μετατροπέας δεν διαθέτει γαλβανική μόνωση ή ενσωματώνει μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας, η προστασία πρέπει να γίνεται από ρελέ διαρροής τύπου B (μοντέλο IEC 364-7-712). Αυτή η χρήση πρέπει να διατίθεται στον επιλεγμένο μετατροπέα χωρίς την απαίτηση για επιπλέον ηλεκτρικό εξοπλισμό. Οι μετατροπείς σε αυτές τις κατηγορίες μπορούν να εγκριθούν για μετρήσεις μη συνεχούς ρεύματος, επιτρέποντας την εγκατάσταση ρελέ διαρροής τύπου A. Στην τυπική λειτουργία ενός συστήματος με μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστές, υπάρχει ρεύμα διαρροής του οποίου η τιμή δεν μπορεί να προβλεφθεί σωστά (ανάλογα με το μοντέλο του πάνελ, του μετατροπέα αλλά και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν). Σε αυτές τις περιπτώσεις, η χρήση ενός ρελέ διαρροής με ρεύμα ευαισθησίας 30 mA μπορεί να δημιουργήσει όχι επιθυμητές διακοπές στην απόδοση του ηλιακού συστήματος. Συνεπώς, συνιστάται στον σχεδιαστή να ακολουθεί ακριβώς τις οδηγίες που έχει από τον κατασκευαστή του μετατροπέα για την επιλογή του καταλληλότερου ρελέ διαρροής.

Υπογραμμίζεται ότι πρέπει να χρησιμοποιούμε την μικρότερη για την χρήση αγωγών διαδρομή και για τις δύο πλευρές DC και AC αυτό γίνεται για να ελαχιστοποιήσουμε τις ηλεκτρικές απώλειες του κυκλώματος.

3.8.3 Σημάνσεις σε υλικά και ηλεκτρικές συσκευές

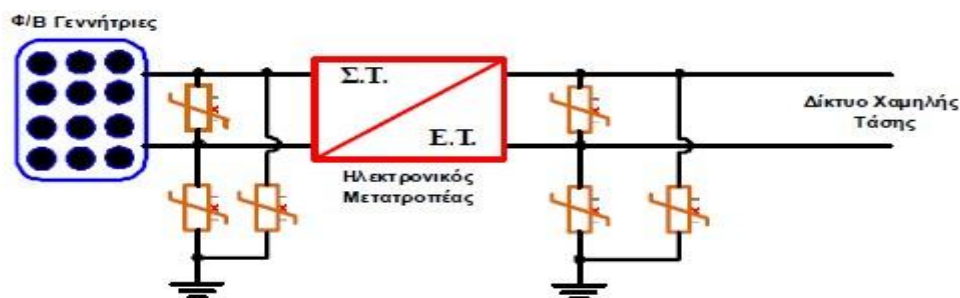
Συνολικά πρέπει όλα τα κουτιά διακλάδωσης απαραίτητα να περιλαμβάνουν μια προειδοποίηση κινδύνου και αυτό θα υποδεικνύει ότι τα ενεργά τμήματα μέσα στα κουτιά συνεχίζουν να είναι ενεργά ακόμη και όταν είναι αποσυνδεδεμένα από τον μετατροπέα (τα ηλιακά πλαίσια) .Οι προειδοποιήσεις κινδύνου πρέπει να είναι ανθεκτικές στις καιρικές συνθήκες και ανθεκτικές στο περιβάλλον στο οποίο έχουν τοποθετηθεί.

3.9 Προστασία των κτιριακών φωτοβολταϊκών για υπερτάσεις στο σύστημα και προστασία από τους κεραυνούς

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα πάνω σε κτίριο πρέπει οπωσδήποτε να έχει προστασία στο κύκλωμά του για ενδεχόμενη πτώση κεραυνού στο σύστημα. Σκοπός μας είναι να προστατεύσουμε τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά κυρίως να υπάρχει ασφάλεια για τον άνθρωπο. Η εγκατάσταση των συστημάτων προστασίας πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα αλλά και τους ισχύοντες κανονισμούς (από εθνικά Ε.Λ.Ο.Τ., ευρωπαϊκά Ε.Ν. και διεθνή Ι.Ε.Σ.).

Η προστασία πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τα άρθρα 3 έως 6 του ΦΕΚ 470 (5 Μαρτίου 2004). Έτσι, η εμφάνιση υπερτάσεων κατά την αρχική επιθεώρηση (σε μία καινούρια ηλεκτρική εγκατάσταση ή μεγάλη τροποποίηση παλιάς) θα πρέπει να αντιμετωπίζεται σύμφωνα με τα πρότυπα της χώρας που θα τοποθετηθούν αλλά και τα εθνικά πρότυπα, που είναι τα πρότυπα ΕΛΟΤ (EN 61643). Ως αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από το αν υπάρχει ή σχεδιάζεται εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, πλέον είναι υποχρεωτική η προστασία από υπερτάσεις.

Με την επιφύλαξη της υπάρχουσας εμπειρίας χιλιάδων τοποθετήσεων φωτοβολταϊκών συστημάτων ισχύος κάτω των 10 kW_{peak} που είναι εγκατεστημένα σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, δεν πρέπει να προεξέχουν πολύ από το εξωτερικό περίγραμμα του κτιρίου, όπως προβλέπουν και οι Υπουργικές Αποφάσεις, ο κίνδυνος απευθείας κεραυνού θεωρείται αμετάβλητος. Ωστόσο, για λόγους ασφάλειας των ανθρώπων και προστασίας του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και των συσκευών κτιρίων προτείνεται η αξιολόγηση των κεραυνών και των υπερτάσεων που μπορεί να προκληθούν (ΕΛΟΤ EN 62305).



Εικόνα 3.9: Σχήμα σύνδεσης συστημάτων γείωσης και προστασίας εγκατάστασης από υπέρταση

Στην εικόνα 3.9 απεικονίζεται μια συνιστώμενη τοποθέτηση συσκευών προστασίας για τις υπερτάσεις αποκλειστικά του ηλιακού συστήματος. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να προστατεύεται η τρέχουσα ηλεκτρική υποδομή του κτιρίου (για παράδειγμα να υπάρχει προστασία του γενικού πίνακα αλλά και των υπόλοιπων υποπινάκων συνολικά).

Η εικόνα ΕΛΟΤ (EN 62305) και η σειρά ΕΛΟΤ (EN 50164) είναι τα ισχύοντα πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας. Επίσης η σειρά ΕΛΟΤ (EN 62305) παρέχει τις απαιτήσεις ασφαλείας ενός συστήματος για χρήση αντικεραυνικής προστασίας, ενώ η σειρά ΕΛΟΤ EN 50164 καλύπτει τις απαιτήσεις προστασίας δοκιμών. Στα σχετικά

πρότυπα για την προστασία από υπερτάσεις είναι και η σειρά ΕΛΟΤ (EN 61643). Όλα έχουν την δυνατότητα να σκιαγραφούν τα κριτήρια δοκιμής και εγκατάστασης συσκευών που προστατεύουν από υπερτάσεις τόσο τους αγωγούς ρεύματος όσο και τις επικοινωνίες.

Το πρότυπο ΕΛΟΤ (EN 62305-2) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της αναγκαιότητας ενός εξωτερικού συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Το πρότυπο αξιολογεί τον κίνδυνο που μπορεί να παρουσιαστεί, αν σε ένα υπάρχον κτίριο χτυπηθεί άμεσα ή έμμεσα από κεραυνό, ανεξάρτητα από το αν υπάρχει προστασία στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Εάν κριθεί απαραίτητη η εγκατάσταση συστήματος αντικεραυνικής προστασίας, το σύστημα πρέπει απαραίτητα να έχει σχεδιαστεί σύμφωνα με το ΕΛΟΤ (EN 62305-3).

Εάν το κτίριο έχει ήδη σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, αυτό θα πρέπει ξανά να αξιολογηθεί κατά πόσο ανταποκρίνεται στα πρότυπα του ΕΛΟΤ και αν μπορεί να προστατεύει τα ηλιακά συστήματα πλήρως. Διαφορετικά, θα πρέπει να παρθούν τυχόν πρόσθετα μέτρα που απαιτούνται για την προσαρμογή του τρέχοντος συστήματος αντικεραυνικής προστασίας στα νέα κριτήρια (για παράδειγμα η εγκατάσταση πρόσθετων ακίδων, καλωδίων σύνδεσης συλλεκτών, καλωδίων καθόδου, η εφαρμογή ισοδύναμων συνδέσεων στο κύκλωμα, ακόμα η χρήση ηλεκτροδίων γείωσης, κ.α.).

Εάν χρησιμοποιείται σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, είναι απαραίτητη η προστασία όλου του ηλεκτρικού αλλά και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού καθώς και των ατόμων που θα έρχονται σε επαφή μαζί τους, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ (EN 62305-3). Στην επιλογή και εγκατάσταση των προστατευτικών διατάξεων θα πρέπει να τηρείται το πρότυπο ΕΛΟΤ (EN 62305-4).

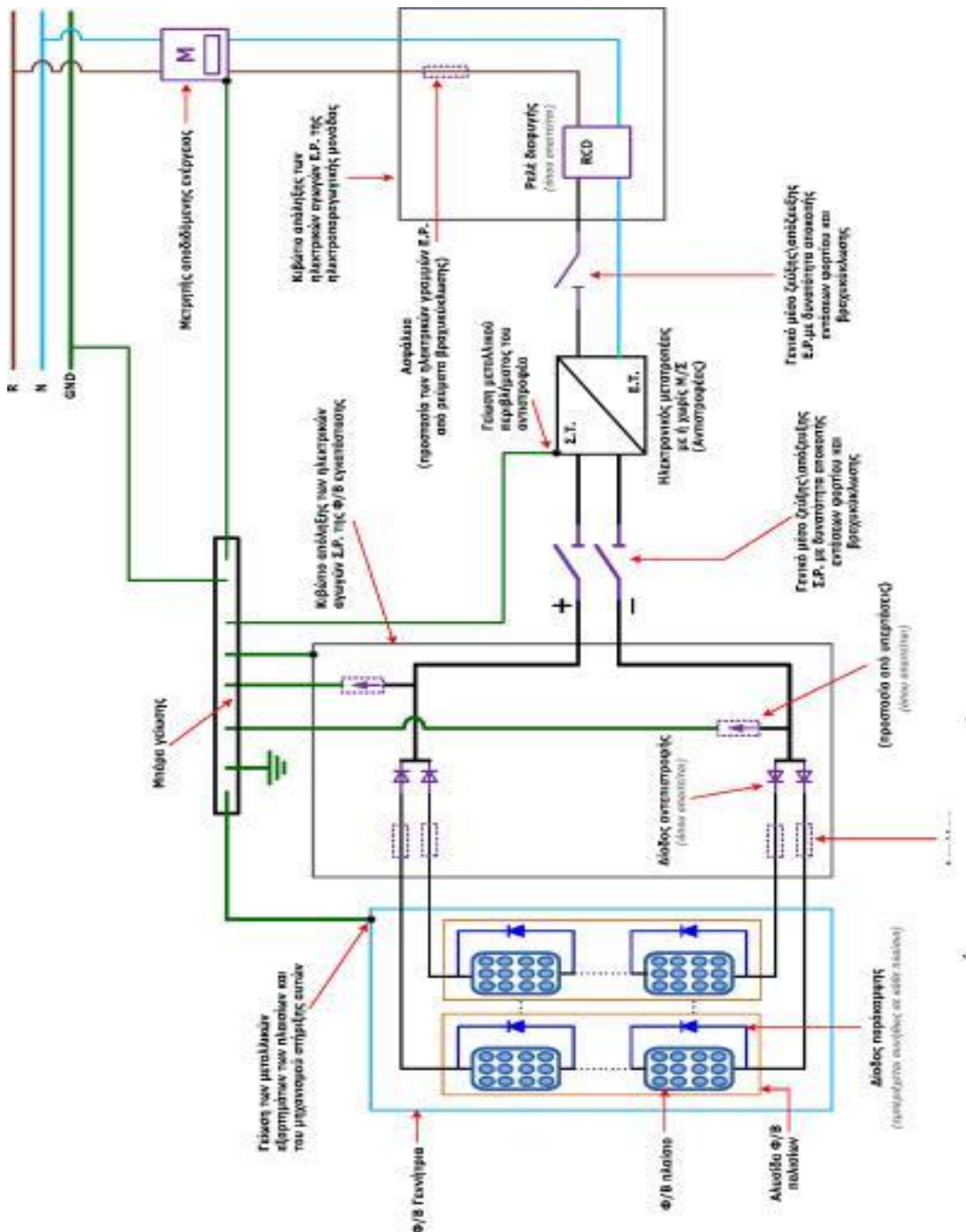
Οι τεχνίτες της εγκατάστασης θα πρέπει να μην κάνουν συνδέσεις τεράστιων βρόχων ρεύματος, καθώς ένας κεραυνός μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές επαγωγικές τάσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.10.



Εικόνα 3.10: Ενδείξεις της τάσης που επάγεται σε βρόχο επιφάνειας 1 τετραγωνικού μέτρου σε συνάρτηση με την απόσταση από τον κεραυνό πλήγματος

Εάν ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα που είναι εγκατεστημένο σε μία τοποθεσία και διαθέτει ήδη σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (ΣΑΠ) διατηρηθεί σε μικρή απόσταση ασφαλείας περίπου (0,5-1 μέτρο) ανάμεσα στο ηλιακό σύστημα και στους συλλέκτες για τη συλλογή ρεύματος από τον κεραυνό, το ηλιακό σύστημα θεωρούμε ότι βρίσκεται εντός του χώρου αντικεραυνικής προστασίας και δεν απαιτείται να συνδέεται αγώγιμα με το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας (εάν είναι ενσωματωμένο σε υπάρχοντα κτίρια). Εάν αυτή η απόσταση δεν μπορεί να διατηρηθεί, πρέπει να κατασκευαστεί ξανά μια καινούργια αγώγιμη σύνδεση με τα καλώδια του συστήματος προστασίας για τους κεραυνούς.

3.10 Σύστημα εγκατάστασης ηλεκτρικής ενέργειας συνδεδεμένου οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος



Εικόνα 3.11: Συνολικά η ηλεκτρική εγκατάσταση ενός συνδεδεμένου σε οικία φωτοβολταϊκού συστήματος για παραγωγή ενέργειας σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 60364-7-712

3.11 Μέτρα για τον περιορισμό του κινδύνου από ηλεκτροπληξία κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης ενός φωτοβολταϊκού πάνελ

Κατά την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών, ο τεχνικός έρχεται σε επαφή με τους ακροδέκτες του πάνελ, οι οποίοι έχουν σταθερή τάση. Σύμφωνα με τον κανόνα IEC 364-4-41, αυτή η τιμή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια ασφάλειας συνεχούς επαφής. Οι υποδεικνυόμενες τιμές των τάσεων του εμπορικού πλαισίου ποικίλλουν (από 17V μέχρι 100V) και εξαρτώνται από την τεχνολογία και το σύνολο των κυττάρων. Ωστόσο, επειδή οι ηλιακοί μετατροπείς απαιτούν συχνά περισσότερα από δύο πάνελ για να συνδεθούν σε σειρά, η τάση στοιχειοσειράς συχνά υπερβαίνει τους περιορισμούς ασφαλείας. Η τάση συμβολοσειράς υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των διαδοχικών πλαισίων με τη μέγιστη τάση του ενός. Ως αποτέλεσμα, το σύστημα πρέπει να εγκατασταθεί από εξειδικευμένους ειδικούς και σύμφωνα με τις ακόλουθες οδηγίες:

- **Μεθοδολογία εγκατάστασης:**

Πριν από την εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών μπορεί να ολοκληρωθεί ένα σημαντικό μέρος της καλωδίωσης. Ξεκινάμε εγκαθιστώντας τις γενικές μεθόδους πλευρικής αποσύνδεσης DC και κουτιά διακλάδωσης. Στη συνέχεια, χωρίς να υλοποιήσουμε τις ενδιάμεσες συνδέσεις των πλαισίων, συνδέουμε τους θετικούς και αρνητικούς πόλους ολόκληρης της συστοιχίας με τον τοπικό γενικό διακόπτη αποσύνδεσης. Ακολούθως, τα πλαίσια στοιχειοσειρών συνδέονται διαδοχικά και τελευταίο αφήνουμε τον γενικό διακόπτη αποσύνδεσης όλου του συστήματος πριν την είσοδο του ηλεκτρονικού μετατροπέα. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την αποφυγή δυνητικών και επικίνδυνων τάσεων κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης.

- **Τοποθέτηση χωρίς ηλιακό φως:**

Για να αποφύγουμε υπερβολικές τάσεις, το σύστημα αυτό μπορεί να κατασκευαστεί απογευματινές ώρες καλύπτοντας εξ ολοκλήρου όλη την εγκατάσταση ή, σε περίπτωση που το επιτρέπει η τοποθεσία, να γίνει κατά τη διάρκεια της νύχτας. Συνιστάται επίσης να χρησιμοποιούνται προστατευτικά γάντια καθώς και μονωμένος εξοπλισμός.

- **Προειδοποιητικό σήμα:**

Κατά την εγκατάσταση του ηλιακού συστήματος πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικά σήματα για να προειδοποιούν για ενεργούς αγωγούς και σημεία με τάση για την αποφυγή κινδύνου ηλεκτροπληξίας.

- **Μόνωση αγωγών και κουτιού διακλάδωσης:**

Η χρήση αγωγών και κουτιών διακλάδωσης με διπλή μόνωση μειώνει τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Ως αποτέλεσμα, πρέπει να γίνεται χρήση δομικών υλικών και

κουφωμάτων Κλάσης II. Πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή επειδή το είδος των υλικών αλλά και των ηλιακών πάνελ μπορεί να μην είναι σαφές (τεχνικά χαρακτηριστικά, οδηγίες χρήσης, πινακίδα σήμανσης, κ.ά.). Ο τεχνικός εγκατάστασης πρέπει να συμβουλευτεί τον κατασκευαστή ή κάποιους εκπρόσωπους των συστημάτων εγκατάστασης ζητώντας διευκρινίσεις.

- **Η επιλογή κατάλληλων φωτοβολταϊκών πάνελ για προεγκατεστημένο σύστημα αγωγών σύνδεσης:**

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ με απομονωμένους ακροδέκτες για τη σύνδεση μειώνουν το ενδεχόμενο έκθεσης του τεχνικού σε μη ασφαλείς τιμές τάσης κατά την εγκατάσταση. Αυτή η επιλογή απαιτείται εάν η τοποθέτηση πραγματοποιείται από μη εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό.

- **Κατά την εγκατάσταση, πρέπει να αποφευχθεί με κάθε τρόπο η γείωση συνεχούς ρεύματος:**

Σε σύγκριση με ένα γειωμένο σύστημα, ένα σύστημα χωρίς κανένα πόλο γειωμένο παρουσιάζει μικρότερους κινδύνους, καθώς ο αριθμός των εναλλακτικών αγωγών σύνδεσης για ηλεκτροπληξία είναι μειωμένος. Για παράδειγμα, εάν ο εγκαταστάτης ενός συστήματος με τον αρνητικό πόλο γειωμένο κάνει επαφή με οποιοδήποτε τμήμα ενεργού αγωγού και αυτός είναι γειωμένος με το έδαφος, εμφανίζεται μια καινούργια διαδρομή μέσω αυτού και του εδάφους. Η τάση η οποία θα περάσει μέσα από τον τεχνικό εγκατάστασης, σε αυτήν την περίπτωση, είναι ίση με το σύνολο των τάσεων των συνδεδεμένων σε σειρά πάνελ, όσο βρίσκεται ανάμεσα στο σημείο επαφής, και του αρνητικού πόλου όλης της σειράς των πλαισίων.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Πρέπει να τονιστεί εδώ ότι η μέθοδος που αναφέραμε και προσεγγίσαμε δεν έχει την ικανότητα να μειώσει απόλυτα τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει το σπίτι, το οποίο θα τροφοδοτείται από ένα αυτόνομο ηλιακό σύστημα. Επιπλέον, θα περιγραφούν οι συνθήκες στο συγκεκριμένο μέρος.

Το ακίνητο βρίσκεται σε φυσική τοποθεσία σε μια μικρή πόλη του Νομού Αττικής, πολύ μακριά από το κέντρο της πόλης, μεταξύ των δήμων Σαρωνικού και Λαυρεωτικής. Αποτελείται από κατοικία 150 τετραγωνικών μέτρων. Η εγκατάσταση απαιτήθηκε λόγω της απομακρυσμένης θέσης του σπιτιού από το δίκτυο της ΔΕΗ. Ως αποτέλεσμα, οποιαδήποτε προσπάθεια ρευματοδότησης θα ήταν οικονομικά αναποτελεσματική.

Οι ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις του σπιτιού είναι κατάλληλα κατασκευασμένες για να χρησιμοποιούν μικροσκοπικές ποσότητες ενέργειας. Χρησιμοποιούμε επίσης συσκευές υψηλής ενεργειακής απόδοσης, τα οποία καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια. Έτσι, το σπίτι διαθέτει κουζίνα με ηλεκτρική κουζίνα και φούρνο αερίου, καθώς και καυστήρα αερίου που χρησιμοποιείται τόσο για θέρμανση καλοριφέρ όσο και για θέρμανση νερού λέβητα. Τέλος, ενσωματώνει ηλιακό θερμοσίφωνα για καλοκαιρινή παράδοση ζεστού νερού. Εκτός από τα ηλιακά συστήματα και τους χώρους αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες) θα χρησιμοποιηθεί γεννήτρια ντίζελ που θα μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια στην κατοικία. Η γεννήτρια ντίζελ είναι χρήσιμη γιατί μπορεί να καλύψει τις απαιτήσεις αιχμής εάν το ηλιακό σύστημα και οι συσσωρευτές είναι ανεπαρκείς. Όταν το ηλιακό σύστημα δεν μπορεί να φορτίσει τις μπαταρίες κάτω από ακραίες συνθήκες, η γεννήτρια ντίζελ μπορεί να παρέμβει.

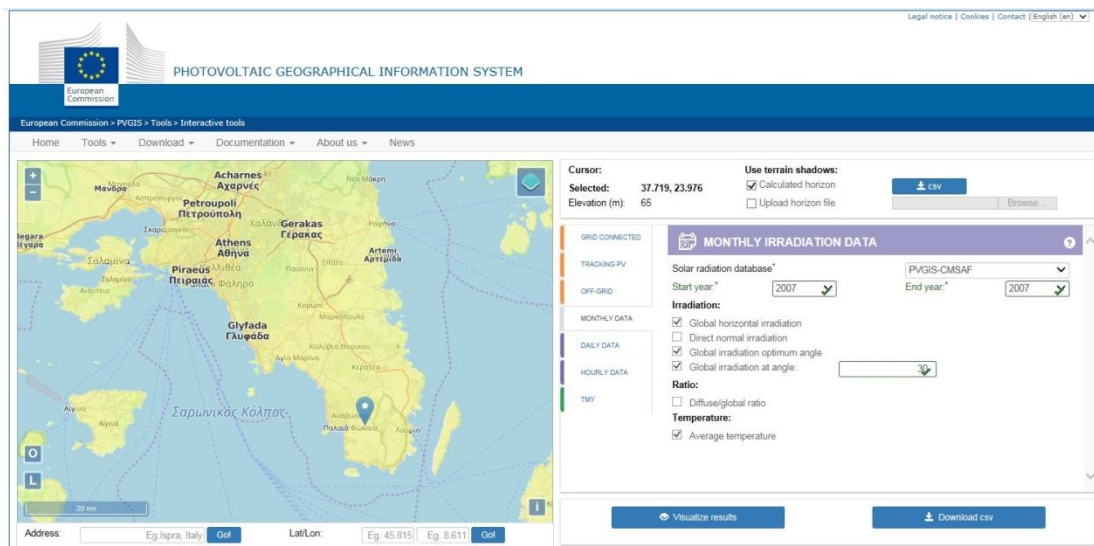
4.2 Υπολογισμός μετεωρολογικών δεδομένων με την εφαρμογή PVGIS

Το σύστημα PVGIS (Φωτοβολταϊκό Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών) μας βοήθησε στην επιλογή των μηνών του έτους για να εξετάσουμε την εγκατάσταση [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html].

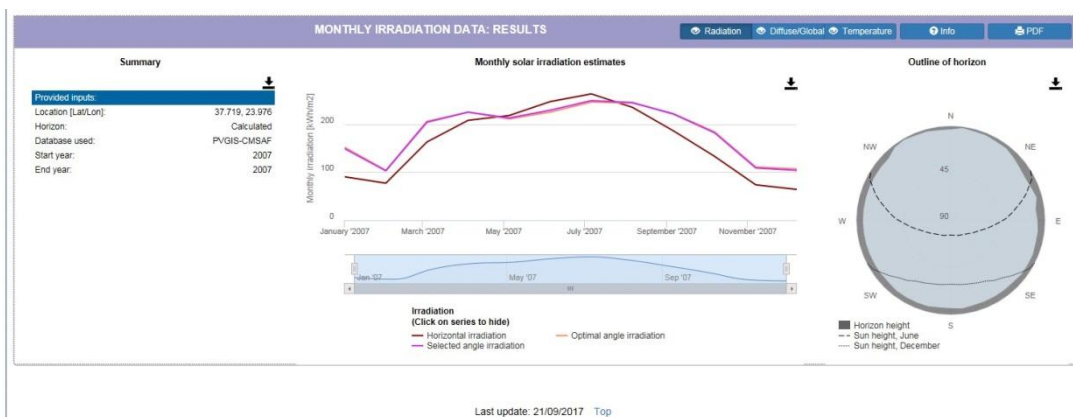
Αφού εκτελέσαμε αρκετά πειράματα στο λογισμικό (βλ. Σχήματα 4.1, 4.2.α, 4.2.β και 4.3 για μηνιαία δεδομένα PVGIS), αποφασίσαμε μία κλίση 30° για την ηλιακή συστοιχία, καθώς παράγει τα μεγαλύτερα αποτελέσματα το χειμώνα (όταν έχουν τη

μικρότερη ποσότητα ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά πάνελ). Επειδή η Ελλάδα βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο, επιλέξαμε νότιο προσανατολισμό (γωνία αζιμούθιου 0 μοίρες).

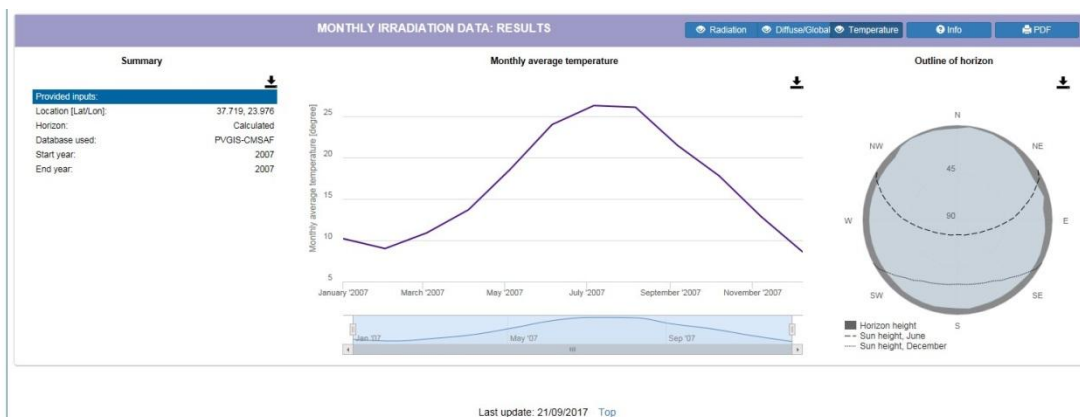
Εισάγουμε τα οικιακά δεδομένα (εμβαδόν, γεωγραφικό πλάτος και μήκος) στην εφαρμογή PVGIS και παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:



Εικόνα 4.1: Δίνεται η τοποθεσία της οικίας με τα μηνιαία στοιχεία μέσω του PVGIS



Εικόνα 4.2.α: Δίνονται οι μηνιαίες μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του PVGIS



Εικόνα 4.2.β: Δίνεται η μηνιαία θερμοκρασία μέσω του PVGIS



Εικόνα 4.3: Δίνεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία

Στον πίνακα της εικόνας 4.1 βλέπουμε την ηλιακή ακτινοβολία για όλους τους μήνες του έτους αναλυτικά ($Wh/m^2/day$) και τη μέση θερμοκρασία για συγκεκριμένη τοποθεσία και μέτρηση για όλο το εικοσιτετράωρο ($^{\circ}C$).

Μήνας του έτους	Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (Wh/m^2)	Μέση θερμοκρασία
Ιανουάριος	2.410	10,2
Φεβρουάριος	2.900	9,0
Μάρτιος	3.890	10,9

Απρίλιος	4.890	13,7
Μάιος	5.150	18,6
Ιούνιος	5.450	24,0
Ιούλιος	5.480	26,3
Αύγουστος	5.080	26,1
Σεπτέμβριος	3.910	21,5
Οκτώβριος	2.630	17,8
Νοέμβριος	2.020	12,9
Δεκέμβριος	4.110	8,6

Πίνακας 4.1: Μέσος όρος ηλιακής ακτινοβολίας για κλίση 30° και μηνιαία και ημερήσια μέση θερμοκρασία αέρα (°C) για τοποθεσία στην Ανατολική Αττική (αποτέλεσμα μέσω προγράμματος PVGIS)

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, διακρίνουμε ποιος μήνας έχει τη μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία (στο πλαίσιο έχουμε κλίση 30 μοίρες). Στον πίνακα διακρίνουμε επίσης ότι ο μήνας Δεκέμβριος έχει την πιο μικρή ηλιοφάνεια ενώ τον Αύγουστο έχουμε τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια.

4.3 Εκτίμηση της οικιακής κατανάλωσης

Για να υπολογίσουμε τη συνολική ισχύ της κατανάλωσης της οικίας χρησιμοποιούμε τις παρακάτω διαδικασίες:

- Διαδικασία 1: Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές υπολογίστηκαν συνολικά για την ισχύ τους αλλά και τον πιθανό χρόνο λειτουργίας τους ανά είκοσι τέσσερις ώρες.
- Διαδικασία 2: Προσδιορίζουμε την ποσότητα ενέργειας που καταναλώνεται κάθε ημέρα. Μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλεκτρική κατανάλωση κάθε συσκευής πολλαπλασιάζοντας την ηλεκτρική ισχύ της με το χρόνο εργασίας της ($EC = PK \cdot T$). Η συνολική κατανάλωση είναι το αποτέλεσμα της ημερήσιας κατανάλωσης ρεύματος της εγκατάστασης EC.
- Διαδικασία 3: Υπολογίζουμε τη μέγιστη ισχύ στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή καταγράφουμε την πιθανότητα λειτουργίας όλων των συσκευών ταυτόχρονα και υπολογίζουμε τη μέγιστη απαραίτητη ηλεκτρική ισχύ.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το αυτόνομο οικιακό σύστημα που περιγράψαμε παραπάνω έχει σχεδιαστεί για να ταιριάζει στις απαιτήσεις μιας κατοικίας 150 τετραγωνικών μέτρων. Θα ακολουθήσουμε ορισμένες θεμελιώδεις οδηγίες για να κάνουμε το σύστημα να έχει χαμηλότερη ισχύ κατανάλωσης γιατί είναι λογικό να έχει υψηλές απαιτήσεις ένα τόσο μεγάλο σπίτι:

1. Η χρήση ενός οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδοσία οικιακών ενεργοβόρων ηλεκτρικών συσκευών με υψηλή σε θερμότητα ζήτηση είναι οικονομικά μη παραγωγική (ηλεκτρικές κουζίνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ, ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες). Θεωρείται απαραίτητο να καλυφθούν αυτές οι απαιτήσεις χρησιμοποιώντας εναλλακτικές πηγές ενέργειας όπως για παράδειγμα την αντλία θερμότητας, τον ηλιακό θερμοσίφωνα, το υγραέριο, κ.λπ. Σε αυτό το σπίτι χρησιμοποιήσαμε έναν καυστήρα αερίου για τη θέρμανση των καλοριφέρ και του θερμοσίφωνα του λέβητα, έναν ηλιακό θερμοσίφωνα για την παροχή ζεστού νερού το καλοκαίρι και μια κουζίνα με εστίες και φούρνο αερίου.
2. Χρησιμοποιούμε μία γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος για να καλύψουμε τη ζήτηση αιχμής, στοχεύοντας στη συνολική ικανοποίηση της ημερήσιας κατανάλωσης με την αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες, οι οποίες έχουν χαρακτηριστικό ότι είναι πολύ βαριές και έχουν μεγάλο κόστος. Με την οικιακή γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιούμε μπαταρίες μικρότερης χωρητικότητας και ηλιακή συστοιχία χαμηλότερης ισχύος.
3. Χρησιμοποιήσαμε ηλεκτρικές συσκευές με μεγάλη ενεργειακή απόδοση, οι οποίες καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια (για παράδειγμα ανεμιστήρες οροφής για να αποφύγουμε τη χρήση κλιματιστικών).

Κάναμε μία καταγραφή φορτίων για τον μήνα Δεκέμβριο και αλλά και για τον Αύγουστο. Στους παρακάτω πίνακες αναφέρονται όλα τα ηλεκτρικά φορτία της οικίας (η ενέργεια κατανάλωσης μετράται σε Watt) αλλά και ο ενδεχόμενος χρόνος λειτουργίας τους σε διάστημα 24 ωρών. Τέλος, ακολουθεί στο σύνολο όλη η εγκατεστημένη ισχύς των λειτουργικών συσκευών, καθώς και η προβλεπόμενη κατανάλωση του εικοσιτετράωρου σε ενέργεια κάθε συσκευής αλλά και ολόκληρου του σπιτιού.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	ΠΟΣΗ ΙΣΧΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΑΝ (kW)	ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕ ΩΡΕΣ	ΠΟΙΑ ΗΤΑΝ Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh)
Οικιακός καυστήρας υγραερίου	0,25	5	1,25
Πλυντήριο για τα πιάτα	1	0,8	0,8
Πλυντήριο για τα ρούχα	2	0,8	1,6
Απορροφητήρας	0,25	0,5	0,125

Ανεμιστήρες για την ψύξη (6)	0	0	0
DVD Player	0,03	2	0,06
Ραδιόφωνο – CD	0,08	1	0,08
Σίδερο για τα ρούχα	1	0,6	0,6
Σκούπα ηλεκτρική	0,8	0,6	0,48
Σεσουάρ	0,4	0,3	0,12
Στερεοφωνικό συγκρότημα	0,15	1,5	0,225
Τηλεοράσεις (2)	0,2	6	1,2
Ηλεκτρονικός υπολογιστής	0,1	1,5	0,15
Εκτυπωτής για τον υπολογιστή	0,05	0,1	0,005
Φούρνος Μικροκυμάτων	1,5	0,15	0,225
Συσκευή για τoστ	1	0,3	0,3
Μίξερ	0,2	0,15	0,03
Ψυγείο	0,4	24	9,6
Καφετιέρα	0,7	0,3	0,21
Εσωτερικός φωτισμός οικίας 1	0,3	6	1,8
Εσωτερικός φωτισμός οικίας 2	0,2	3	0,6
Εξωτερικός φωτισμός οικίας 1	0,3	1	0,3
Φόρτιση κινητού τηλεφώνου	0,012	1	0,012
Σύνολο	11,172		19,722

Πίνακας 4.2: Δεκέμβριος – Ένας μήνας με πολύ μικρή ηλιοφάνεια. Παρουσιάζεται η ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών, ο χρόνος λειτουργίας τους και η 24ωρη ενεργειακή κατανάλωσή τους, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους καθώς και η ολική κατανάλωση της οικίας

Οι έξι ανεμιστήρες που υπάρχουν στην οροφή με συνολική ισχύ 0,5 kW δεν λειτουργούν τον πρώτο μήνα του χειμώνα. Ο καυστήρας υγραερίου ισχύος 0,25kW χρησιμοποιείται μόνο για θέρμανση και ζεστό νερό λόγω του χειμώνα. Τα φώτα σίγουρα λειτουργούν για περισσότερες ώρες λόγω της μείωσης των ωρών της ημέρας. Τον Αύγουστο, ωστόσο, η χρήση των προαναφερθέντων συσκευών αντιστρέφεται.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	ΠΟΣΗ ΙΣΧΥ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΑΝ (kW)	ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΕ ΩΡΕΣ	ΠΟΙΑ ΗΤΑΝ Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh)
Οικιακός καυστήρας υγραερίου	0,25	0	0
Πλυντήριο για τα πιάτα	1	0,8	0,8
Πλυντήριο για τα ρούχα	2	0,8	1,6
Απορροφητήρας	0,25	0,5	0,125
Ανεμιστήρες για την ψύξη (6)	0,5	18	9
DVD Player	0,03	2	0,06
Ραδιόφωνο – CD	0,08	1	0,08
Σίδερο για τα ρούχα	1	0,6	0,6
Σκούπα ηλεκτρική	0,8	0,6	0,48
Σεσουάρ	0,4	0,3	0,12
Στερεοφωνικό συγκρότημα	0,15	1,5	0,225
Τηλεοράσεις (2)	0,2	6	1,2
Ηλεκτρονικός υπολογιστής	0,1	1,5	0,15
Εκτυπωτής για τον υπολογιστή	0,05	0,1	0,005
Φούρνος Μικροκυμάτων	1,5	0,15	0,225
Συσκευή για τoστ	1	0,3	0,3
Μίξερ	0,2	0,15	0,225

Ψυγείο	0,4	24	9,6
Καφετιέρα	0,7	0,3	0,21
Εσωτερικός φωτισμός οικίας 1	0,3	3	0,9
Εσωτερικός φωτισμός οικίας 2	0,2	2	0,4
Εξωτερικός φωτισμός οικίας 1	0,3	2	0,6
Φόρτιση κινητού τηλεφώνου	0,012	1	0,012
Σύνολο	11,172		26,722

Πίνακας 4.3: *Αύγουστος – Ένας μήνας με πολύ μεγάλη ηλιοφάνεια. Παρουσιάζεται η ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών, ο χρόνος λειτουργίας τους και η 24ωρη ενεργειακή κατανάλωσή τους, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους καθώς και η ολική κατανάλωση της οικίας*

Επειδή οι έξι ανεμιστήρες λειτουργούν το καλοκαίρι λόγω της ζέστης, η εγκατεστημένη ισχύς είναι ελαφρώς μεγαλύτερη εκείνη τη στιγμή. Ωστόσο, η διαφορά που υπάρχει είναι πολύ μικρή (περίπου 0,25 kW) και δεν δείχνει να επηρεάζει τη ζήτηση αιχμής. Στην ουσία αυτό συμβαίνει γιατί δεν γίνεται χρήση κλιματιστικών.

Η ολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το χειμώνα είναι 19.772 kWh ενέργειας ενώ είναι 26.722 kWh το καλοκαίρι. Αυτή η διαφορά σχετίζεται με τις απαιτήσεις ψύξης της οικίας για περισσότερες ώρες. Σύμφωνα με τον προηγούμενο Πίνακα 4.1, η σημαντική ηλιακή ακτινοβολία παρέχει πλήρη κάλυψη της απόκλισης (καλύτερη λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος). Γι' αυτό τον τελευταίο μήνα του χρόνου αποφασίσαμε να διερευνήσουμε την υβριδική εγκατάσταση (όπου επικρατούν οι χειρότερες καιρικές συνθήκες).

4.4 Υπολογισμός φωτοβολταϊκού συστήματος

Στο προηγούμενο μέρος (4.2), ορίσαμε κλίση 30 μοίρες για τους ηλιακούς συλλέκτες και νότιο προσανατολισμό χρησιμοποιώντας την εφαρμογή PVGIS. Ακόμα, είδαμε ότι η χαμηλότερη μέση ημερήσια ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Αττικής που βρίσκεται η οικία είναι:

$$E_{HA} = 2.02 \text{ kWh/m}^2/\text{day} \text{ (για το μήνα Δεκέμβριο)}$$

Η ισχύς αιχμής $P_{p\Sigma}$ σε μία φωτοβολταϊκή συστοιχία περιλαμβάνει τις ενεργειακές ανάγκες μίας ημέρας:

$$P_{p\Sigma} = \frac{E_K \times P_{STC} \times N}{E_{HA} \times \sigma_{AS} \times \sigma_{\mu} \times (N - n)} \quad \text{σχέση (4.1)}$$

όπου,

$P_{STC} = 1 \text{ kW/m}^2$, η ισχύς συνολικής δέσμης φωτός ηλιακής ακτινοβολίας που παρουσιάζεται από τις πρότυπες συνθήκες STC.

$E_K = 19,772 \text{ kWh}$, η εικοσιτετράωρη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας το χειμώνα.

$E_{HA} = 2,02 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$, η ημερήσια ενέργεια δέσμης φωτός ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Δεκέμβριο.

$\sigma_{AS} = 0,8 \times \sigma_{\theta}$, ο συντελεστής απωλειών για τις συστοιχίες και για πάνελ ελαφρώς σκονισμένα.

Ο συντελεστής θερμοκρασίας περιβάλλοντος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\sigma_{\theta} = 1 - [(t_{\alpha} + 30) - 25] \times 0,004 = 0,94 \text{ με}$$

$t_{\alpha} = 10,3^{\circ}\text{C}$, η μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος για το μήνα Δεκέμβριο (Πίνακας 4.1).

$\sigma_{\mu} = 0,9$, ο συντελεστής μεταφοράς της απώλειας ενέργειας του συστήματος που περιέχει ηλεκτρικό συσσωρευτή, ελεγκτή φόρτισης και αντιστροφή.

$N = 31$ ημέρες (χρονική περίοδος συνολικά).

$n = 1$ ημέρα (χρονική περίοδος αυτονομίας).

Μετά τους υπολογισμούς που αναφέραμε, η ισχύς φορτίων καταναλώσεων προκύπτει (4.1):

$$P_{p\Sigma} = \mathbf{14,944 \text{ kWp}}$$

Επομένως, η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών πάνελ θα πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη από την τιμή των καταναλώσεων των ενεργειακών μας αναγκών τους χειμερινούς μήνες.

Όσον αφορά τους καλοκαιρινούς μήνες (όπως ο Ιούλιος στον Πίνακα 4.1) έχουμε:

$$\sigma_{\theta} = 0,88 \text{ (με } t_{\alpha} = 25,3^{\circ}\text{C)}.$$

$E_K = 26,722 \text{ kWh}$ (ηλεκτρική κατανάλωση καλοκαιρινών μηνών).

$E_{HA} = 5,48 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ (ενέργεια ανά τετραγωνικό ανά ημέρα).

Η απαραίτητη ισχύς αιχμής του φωτοβολταϊκού συστήματος για το καλοκαίρι είναι η εξής:

$$P_{p\sigma} = 7,95\text{kWp}$$

Επομένως, η κάλυψη των αναγκών μας για τον πρώτο χειμερινό μήνα καλύπτει τις ανάγκες μας και τους υπόλοιπους μήνες του έτους.

Συνεχίζοντας, για να υπολογίσουμε το ακριβές μοντέλο του πάνελ χρήσης, πόσα τεμάχια πάνελ θα χρησιμοποιηθούν αλλά και την συνδεσμολογία των φωτοβολταϊκών πάνελ πρέπει να ορίσουμε τη μέγιστη τάση ($V_{m\sigma}$) της φωτοβολταϊκής συστοιχίας που θα χρειαστεί, οπότε έχουμε:

$$V_{m\sigma} > 57.6 \text{ V} \quad \text{σχέση (4.2)}$$

έτσι έχουμε,

$V_B = 48\text{V}$ που είναι η ονομαστική τάση της επιλογής του ηλεκτρικού συσσωρευτή.

Οπότε,

$$V_{m\sigma} > 57,6 \text{ V}$$

Η επιλογή φωτοβολταϊκών πάνελ με χώρα προέλευσης τη Γερμανία είναι τα Luxor Eco Line 60 / 225Wp (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4: Φωτοβολταϊκά πάνελ χώρας προέλευσης Γερμανίας Luxor Eco Line 60 / 225Wp

Ηλεκτρικά δεδομένα οικίας	LX 225-P
Ονομαστική τιμή ισχύος 225 Wp	225
Ονομαστική τιμή ρεύματος (I mpp)	7,62
Ονομαστική τιμή τάσεως (V mpp)	29,6
Τιμή ρεύματος βραχυκυκλώσεως (A)	8,14
Τιμή τάσεως χωρίς φορτίο (V)	37
Βαθμός Απόδοσης (STC)	13,83%

Πίνακας 4.4: Ποια είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πάνελ Luxor LX 225-P

Για να βρούμε τον αριθμό των πάνελ που απαιτούνται για την εγκατάσταση χρησιμοποιούμε την ακόλουθη σχέση:

$$N = \frac{P_{p\Sigma}}{P_{p\Pi}} \quad \text{τύπος (4.3)}$$

οπότε,

$$P_{p\Pi} = 225\text{W} \text{ και } P_{p\Sigma} = 14,9\text{kWp}$$

και συνεπώς έχουμε,

$$N = 66 \text{ φωτοβολταϊκά πάνελ}$$

Άρα, για να καλύψουμε τη ζητούμενη τάση που καθορίσαμε προηγουμένως, επιλέγουμε να κάνουμε 22 παράλληλους κλάδους στο κάθε ένα, με τρία πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι 14,85 kWp όταν χρησιμοποιούνται 66 πλαίσια 225 Wp.

Χρησιμοποιώντας το εργαλείο PVGIS, η μέση ημερήσια ενεργειακή απόδοση της ηλιακής συστοιχίας προσδιορίζεται στον Πίνακα (4.4) σε κλίση 30 μοιρών.

Μήνας του έτους	Τιμή μέσης ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας (kWh)
Ιανουάριος	29,3
Φεβρουάριος	34,6
Μάρτιος	45,7
Απρίλιος	55,7
Μάιος	57,8
Ιούνιος	60,0
Ιούλιος	59,8

Αύγουστος	60,3
Σεπτέμβριος	56,8
Οκτώβριος	44,7
Νοέμβριος	31,0
Δεκέμβριος	46,7

Πίνακας 4.5: Απεικόνιση της μέσης ημερήσιας παραγόμενης ενέργειας (kWh)

Οι πίνακες 4.2 και 4.3 δείχνουν ότι η διαδικασία εγκατάστασης παρέχει αρκετή ενέργεια για ολόκληρο το έτος. Ως αποτέλεσμα, η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (H/Z), η οποία θα τοποθετηθεί αργότερα, επιδιώκει να εκπληρώσει αιχμές ζήτησης όχι μόνο τις ημέρες με λίγη ηλιοφάνεια αλλά και τις ημέρες με μεγάλη ζήτηση. Ακόμα, η γεννήτρια μπορεί να αναλάβει ολόκληρο το φορτίο ζήτησης κατανάλωσης σε περίπτωση βλάβης του φωτοβολταϊκού συστήματος.

4.5 Επιλογές μπαταρίας

Η ονομαστική τάση των μπαταριών στους πόλους της, αντιπροσωπεύεται με τον όρο της ηλεκτροκινητικής δύναμης (ADF). Η ονομαστική τάση αλλά και η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι οι παράγοντες που διέπουν τις δυνατότητες ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή. Όταν η μπαταρία δεν είναι συνδεδεμένη με έναν καταναλωτή, η ηλεκτροκινητική δύναμη μετράται σε Volt και ισούται με την πολικότητα της μπαταρίας.

Οι ηλεκτροκινητικές δυνάμεις πολλών μπαταριών (Pb-H₂SO₄, NiCd, Ni-Fe, Ni-Zn, Νάτριο-Θείο, Ψευδάργυρος-Βρώμιο, Ψευδάργυρος-Χλωριούχο, Λίθιο-Μέταλλο Θείο, Νικέλιο-Υδρογόνο) κυμαίνονται από 1V έως 4V ανά στοιχείο. Πανομοιότυπα ηλεκτρικά εξαρτήματα συνδέονται εν σειρά μεταξύ τους για να δημιουργήσουν μία συσκευή συσσώρευσης με πολύ μεγαλύτερη ηλεκτροκινητική δύναμη. Μία μπαταρία μολύβδου-οξέος έχει ονομαστική τάση 2,25 V. Γενικά, οι ονομαστικές τάσεις των μπαταριών μολύβδου-οξέος στην κανονική τους εμπορική μορφή είναι με 6V, με 12V, με 24V και με 48V.

Η χωρητικότητα C μιας μπαταρίας είναι η ποσότητα ισχύος που αποθηκεύει ή αποδίδει. Συνήθως, ορίζουμε έτσι τη χωρητικότητα μίας γεννήτριας για συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης.

Η τυπική μονάδα μέτρησης για τη χωρητικότητα της μπαταρίας είναι η Αμπέρ-ώρα (Ah) και ο ρυθμός εκφόρτισης δίνεται με ποσοστό της χωρητικότητας C διαιρεμένης με τον χρόνο της εκφόρτισης που είναι σε ώρες.

Για να επιλέξουμε μία μπαταρία, πρέπει πρώτα να προσδιορίσουμε τη χωρητικότητά της C. Η παρακάτω σχέση χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της χωρητικότητας μιας ηλεκτρικής μπαταρίας:

$$C = \frac{n \times E_{\kappa}}{\sigma_{\gamma B} \times \sigma_{\varepsilon K} \times \beta_{\varepsilon K} \times V_B} \quad \text{σχέση (4.4)}$$

όπου,

$E_{\kappa} = 19,772 \text{ kWh/day}$, η εικοσιτετράωρη ηλεκτρική κατανάλωση κατοικίας (για τους χειμερινούς μήνες).

$\sigma_{\gamma B} = 0,8$, ο συντελεστής γήρανσης μπαταριών.

$\sigma_{\varepsilon K} = 0,91$, ο συντελεστής ενέργειας στο κύκλωμα μεταφοράς της εκφόρτισης.

$B_{\varepsilon K} = 0,4$, το βάθος εκφόρτισης μπαταριών από 1 έως 3 ημέρες αυτονομίας φορτίου.

$V_B = 12 \text{ V}$, η ονομαστική τάση της ηλεκτρικής μπαταρίας που επιλέξαμε.

Από τον τύπο (4.4) λογαριάζουμε τη χωρητικότητα του συσσωρευτή $C = 353,5 \text{ Ah}$.

Για μεγαλύτερη ασφάλεια χρησιμοποιούμε συσσωρευτές PVX – 2120L μοντέλο της SUN – XTENDER τάσης 12V και με χωρητικότητα 253Ah (βλέπε εικόνα 4.5)



Εικόνα 4.5: Προτεινόμενη μπαταρία

Η συστοιχία μπαταριών θα αποτελείται από δύο παράλληλους κλάδους με τέσσερις μπαταρίες συνδεδεμένες σε σειρά, για συνολικά οκτώ μπαταρίες. Η ονομαστική τάση ($B V = 4 \times 12 = 48V$) προσδιορίζεται από τη σύνδεση σειράς, ενώ η ονομαστική χωρητικότητα ($C = 2 \times 253 = 506Ah$) προσδιορίζεται από την παράλληλη σύνδεση.

4.6 Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών

Αυτή είναι μια συσκευή γνωστή ως «αυτόματος / κόφτης / σταθεροποιητής». Χρησιμοποιείται για την προστασία των μπαταριών από υπερφόρτιση ή υποφόρτιση. Βρίσκεται ανάμεσα στον ηλιακό συλλέκτη και τη μπαταρία.

Αυτή η λειτουργία τερματίζεται αμέσως σε περίπτωση υπερβολικής φόρτισης συσσωρευτών για λόγους ασφαλείας και καλής λειτουργίας τους.

Τα ηλεκτρικά αντικείμενα προστατεύονται παρόμοια. Όταν ο ρυθμιστής φόρτισης είναι συνδεδεμένος στην έξοδο του δικτύου για φόρτιση, η τάση της μπαταρίας πρέπει να διατηρείται σε τυπικά επίπεδα για να αποφευχθεί η βλάβη των εξαρτημάτων του. Ο «ρυθμιστής φόρτισης» μειώνει την ηλεκτρική ενέργεια φόρτισης των συσσωρευτών από μεγαλύτερες τάσεις ενώ παράλληλα προστατεύει τους συσσωρευτές.

Υπάρχουν δύο είδη ρυθμιστών που διαφοροποιούνται όσον αφορά την τεχνολογία τους και αυτοί είναι ο PWM (απλός) και ο προηγμένος (MPPT) φορτιστής.

Ως αποτέλεσμα, πρέπει να τοποθετηθεί ο κατάλληλος ρυθμιστής. Η τάση του επιτηρητή τάσης φόρτισης πρέπει να είναι ισοδύναμη με την ονομαστική τάση της μπαταρίας, η οποία είναι 48 V.

Ο ελεγκτής έχει μέγιστο ρεύμα εισόδου 1,5 IMS και το IMS είναι το μέγιστο ρεύμα της ηλιακής συστοιχίας.

Ισχύει ότι:

$$I_{m\Sigma} = I_{m\Pi} \times N_{\Pi} = 167,64 \text{ A} \quad \text{σχέση (4.5)}$$

όπου,

$I_{m\Pi} = 7,62 \text{ A}$, η υψηλότερη τιμή έντασης ρεύματος φωτοβολταϊκού πάνελ.

$N_{\Pi} = 22$, το σύνολο των παράλληλων κλάδων της φωτοβολταϊκής συστοιχίας.

Όσον αφορά τον υπολογισμό του μέγιστου ρεύματος στην είσοδο του ρυθμιστή φόρτισης έχουμε $1,5 \times I_m = 251,46 \text{ A}$.

Το ηλεκτρικό ρεύμα στην έξοδο του ελεγκτή φόρτισης πρέπει να είναι ικανό να καλύψει τη μέγιστη τιμή του ρεύματος φόρτισης.

Ας υποθέσουμε ότι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς των καταναλώσεων για τη λειτουργία όλων των συσκευών ταυτόχρονα έχει τιμή $P = 8 \text{ kW}$ και η τάση κατανάλωσης έχει τιμή $V_k = 230 \text{ V}$. Ως αποτέλεσμα, το ρεύμα εξόδου θα είναι περίπου $P / V = 34,7 \text{ A}$.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιλέξουμε ελεγκτή φόρτισης τύπου 48V / 252 A / 35A.

Επιλέχθηκε ως ελεγκτής φόρτισης ο PV GS-300D εταιρείας Guyana Power Equipment Co (Εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.6: GS-300D PV ρυθμιστής φόρτισης

4.7 Επιλογή απαιτούμενου μετατροπέα τάσεως DC / AC (inverter)

Για τη συνέχεια της εγκατάστασης, τοποθετείται ο απαιτούμενος μετατροπέας τάσης συνεχούς-εναλασσόμενης τάσης. Αυτός ο αντιστροφέας πρέπει να πληροί τα ακόλουθα:

- Η ονομαστική τάση εισόδου πρέπει να είναι ισοδύναμη με την ονομαστική τάση της μπαταρίας (δηλαδή 48V).
- Η ισχύς προς τα φορτία στην έξοδο του αντιστροφέα πρέπει τουλάχιστον να είναι ίση με τη μέγιστη ισχύ P των συσκευών που λειτουργούν συγχρόνως (οπότε 8 kW, όπως εξετάσαμε προηγουμένως).
- Η μέγιστη ισχύς του αντιστροφέα πρέπει να είναι τουλάχιστον ισοδύναμη με ολόκληρη την διασυνδεδεμένη κατανάλωση ισχύος (οπότε 12 kW, όπως αναφέραμε στον Πίνακα 4.2).
- Η τάση του μετατροπέα στην έξοδο πρέπει να είναι ισοδύναμη με την τάση των συσκευών που είναι συνδεδεμένα στο κύκλωμα εκείνη τη στιγμή, οπότε 230 V.

Το σπίτι έχει πολλά φορτία και για αυτόν τον λόγο αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν δύο τριφασικοί μετατροπείς που θα μοιράζονται όλα τα φορτία και θα έχουν ισχύ εξόδου ίδια και οι δύο 4 kW και μέγιστη ισχύ αιχμής 6 kW.

Ως αποτέλεσμα, έχουν εγκατασταθεί δύο μετατροπείς SMA Sunny Island 5048 (Εικόνα 4.7). Τα συγκεκριμένα εργαλεία χειρίζονται πλήρως το αυτόνομο σύστημα με πολύ μεγάλο βαθμό απόδοσης, έχουν ευφυή διαχείριση μπαταρίας για πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής και ηλεκτρονική φόρτιση μπαταρίας. Ο Πίνακας 4.6 δείχνει τις τεχνικές προδιαγραφές των μετατροπέων.



Εικόνα 4.7: Αντιστροφέας Sunny Island 5048

Έξοδος AC (καταναλωτές)	Τιμές
Ονομαστική τιμή τάσης εξόδου AC	230V (202V - 253V)
Τιμή συχνότητας δικτύου AC	50 - 60Hz
Τιμή συνεχούς ισχύος AC στους 25°C / 45°C	5000W / 4000W
Τιμή ισχύς AC στους 25°C για 30 λεπτά	6500W
Εύρος τιμής DC τάσης Συσσωρευτή	48V (41V - 63V)
Ποσοστό μέγιστου βαθμού απόδοσης	95%
Διαστάσεις (Π / Υ / Β) σε mm	467 / 612 / 235

Πίνακας 4.6: Αντιστροφέας Sunny Island 5048 – Τεχνικά χαρακτηριστικά

4.8 Επιλογή γεννήτριας (εφεδρική πηγή)

Το κόστος μίας αυτόνομης γεννήτριας ντίζελ είναι πολύ σημαντικό. Οι τιμές του αργού πετρελαίου αυξάνονται συνεχώς. Τα τελευταία δέκα χρόνια η τιμή του πετρελαίου έχει ανέβει κατά 400% και προβλέπεται να ανέβει ακόμα περισσότερο.

Από την άλλη, το κόστος μίας γεννήτριας ντίζελ δεν είναι μεγάλο. Ωστόσο, έχει σημαντικά έξοδα λειτουργίας και συντήρησης. Επίσης, μολύνει το περιβάλλον γενικά λόγω των αναθυμιάσεων που δημιουργούνται από την καύση του πετρελαίου. Η γεννήτρια ντίζελ χρησιμοποιεί περίπου το 30 τοις εκατό του πετρελαίου που θα χρειαζόταν με μέγιστο φορτίο όταν λειτουργεί με χαμηλό, σχεδόν μηδενικό φορτίο. Τα έξοδα λειτουργίας και η ατμοσφαιρική

αποσυμφόρηση επιτυγχάνονται με συνδυασμό ηλιακής εγκατάστασης, γεννήτριας ντίζελ και μπαταριών.

Κατόπιν αυτού, επιλέγεται το κατάλληλο ζεύγος παραγωγής (H/Z). Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε ότι σε περιπτώσεις εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων πρέπει για την κάλυψη των αναγκών του συνόλου των φορτίων να υπάρχει σχεδιασμός για την αυτονομία του. Έτσι, επιλέγουμε το ζεύγος ηλεκτροπαραγωγής ώστε να καλύπτει τις ανάγκες πέρα από την περίοδο αυτονομίας. Τα ακόλουθα κριτήρια επηρεάζουν την επιλογή του κατάλληλου ζεύγους παραγωγής:

1. Όταν το ηλιακό σύστημα είναι ανεπαρκές για να καλύψει την επιπλέον ζήτηση ενέργειας, το ζεύγος παραγωγής διασφαλίζει τη λειτουργία της εγκατάστασης.
2. Το ζεύγος παραγωγής πρέπει να φορτίσει την αποστραγγισμένη μπαταρία σε πλήρη χωρητικότητα.

Ο ακόλουθος τύπος καθορίζει τον χρόνο φόρτισης t της μπαταρίας από το ζεύγος παραγωγής:

$$t_{\varphi} = \frac{\beta_{εκ} \times C}{n_q \times I_{\varphi}} h \quad \text{τύπος (4.6)}$$

Στην ανωτέρω σχέση έχουμε:

$\beta_{εκ} = 0,4$, το βάθος εκφόρτισης των μπαταριών για 1 έως 3 ημέρες αυτονομίας.

$C = 506Ah$, η ονομαστική χωρητικότητα των μπαταριών.

n_q , ο βαθμός απόδοσης μέγιστου φορτίου (ενδεικτική τιμή 0,9).

I_{φ} , το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή (επιλέγεται συνήθως $< C/10$). Εμείς επιλέξαμε $I_{\varphi} = C/12$.

Έτσι, από τον τύπο (4.6) έχουμε $t_{\varphi} = 5,33h$. Άρα, το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος θα έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί συνεχόμενα για τουλάχιστον 6 ώρες.

Η **ηλεκτρική ισχύς** P_{φ} της γεννήτριας για φόρτιση των μπαταριών δίνεται από τον τύπο:

$$P_{\varphi} = I_{\varphi} \times V_{HZ} \quad \text{τύπος (4.7)}$$

και έχουμε,

$V_{HZ} = 1,25V_B$, η τάση εξόδου της γεννήτριας προς την μπαταρία και V_B η τάση της μπαταρίας (48V).

Στη συνέχεια, από τον τύπο (4.7), για την ηλεκτρική ισχύ της γεννήτριας προκύπτει ότι $P_{\phi} = 3,8\text{kW}$.

Συνολικά, η απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς P_{HZ} της γεννήτριας φαίνεται στην επόμενη παράσταση:

$$P_{HZ} \geq P_{\kappa} + P_{\phi} \quad \text{σχέση (4.8)}$$

έτσι,

$P_{\kappa} = 11,172\text{kW}$, η συνολική ηλεκτρική ισχύς φορτίων και

$P_{\phi} = 3,8\text{kW}$, η ηλεκτρική ισχύς για τη φόρτιση της μπαταρίας.

Επομένως, ο τύπος (4.8) έχει προκύψει ως αποτέλεσμα $P_{HZ} > 14,9\text{kW}$. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όσον αφορά την αγορά και εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, αυτό πρέπει να έχει ισχύ τουλάχιστον 15kW .

Επιλέγουμε το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος της εταιρείας AYERBE AY1500-22CL (εικόνα 4.8), του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον πίνακα 4.7.



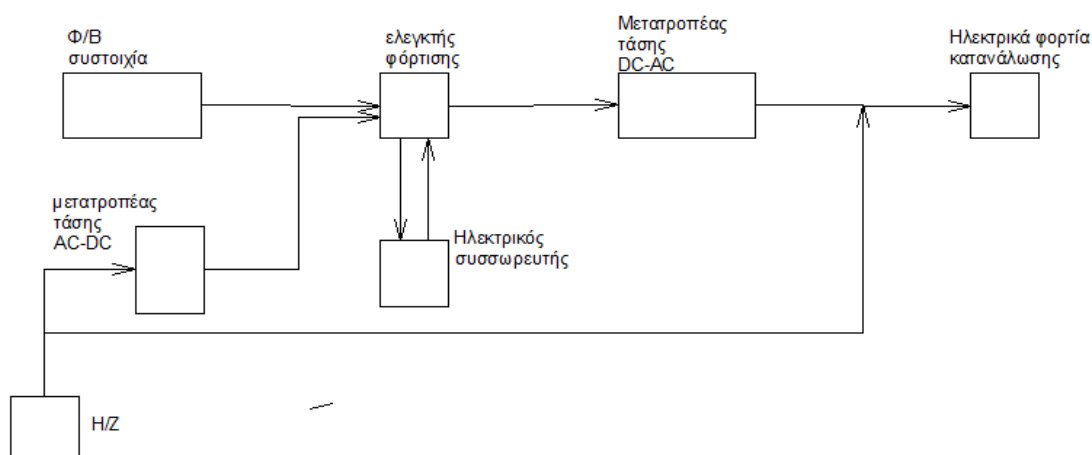
Εικόνα 4.8: Γεννήτρια AY1500-22CL της εταιρείας AYERBE

Χρησιμοποιώντας το παραπάνω ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος διασφαλίζεται σωστή λειτουργία του αυτόνομου συστήματος, ακόμα και όταν υπάρχει συννεφιά για πολλές ημέρες.

Μέγιστη Απόδοση (VA)	25
Ισχύς (kW)	18
Στροφές (rpm)	1500
Χρόνος Συνεχούς Λειτουργίας (h)	7

Πίνακας 4.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους AY1500-22CL

Η εικόνα 4.9 δείχνει συνολικά ένα φωτοβολταϊκό σύστημα:

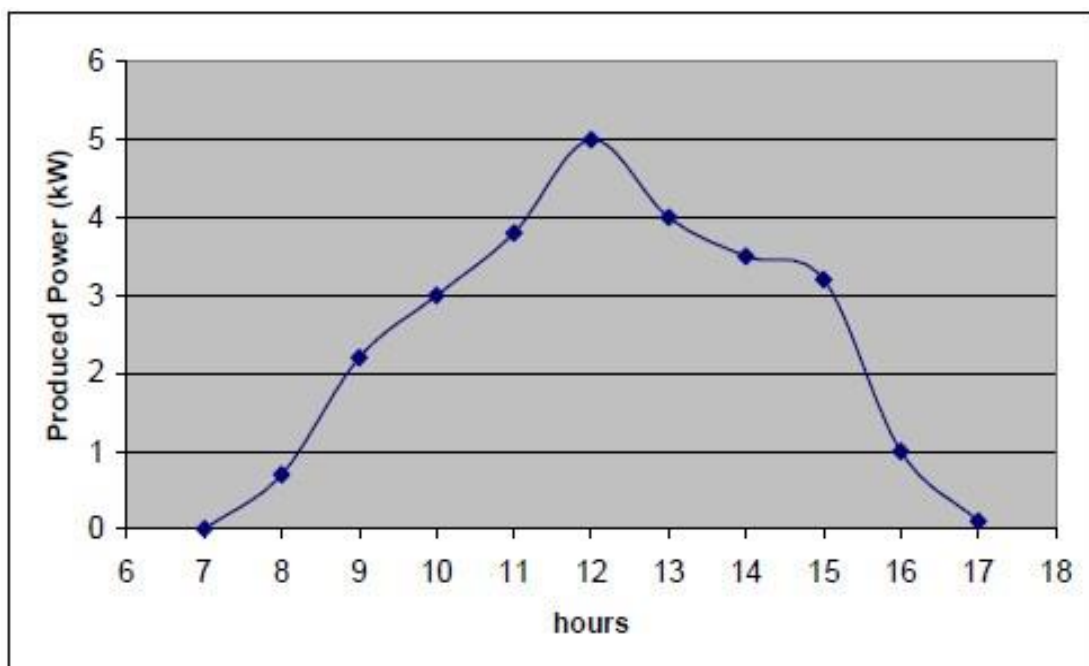


Εικόνα 4.9: Φωτοβολταϊκό σύστημα αυτόνομης οικίας με ηλεκτρικές μπαταρίες και με γεννήτρια

4.9 Καταμερισμός της ισχύος ζήτησης

Η ισχύς φορτίου (ζήτησης) ενός σπιτιού είναι φυσικό να διαφέρει κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά και ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Δηλαδή, υπάρχει διαφορά μεταξύ χειμερινής και καλοκαιρινής ημέρας. Εδώ, θα προσπαθήσουμε να εξάγουμε τη διανομή ισχύος ζήτησης κατά τη διάρκεια μίας ημέρας (καλοκαιρινής και χειμερινής), με απώτερο στόχο να ανιχνεύσουμε πότε θα υπάρξει η αιχμή της ισχύος ζήτησης, δηλαδή πότε θα ενεργοποιηθεί η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ξεκινώντας, διαλέξαμε για τη μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας μία κρύα χειμωνιάτικη ημέρα. Με βάση τα ευρήματα του λογισμικού PVGIS, κατασκευάσαμε (χρησιμοποιώντας πρόγραμμα) την καμπύλη που παρουσιάζει τη μέγιστη ισχύ των ηλιακών πλαισίων για μία τυχαία ημέρα του πρώτου μήνα του χειμώνα.

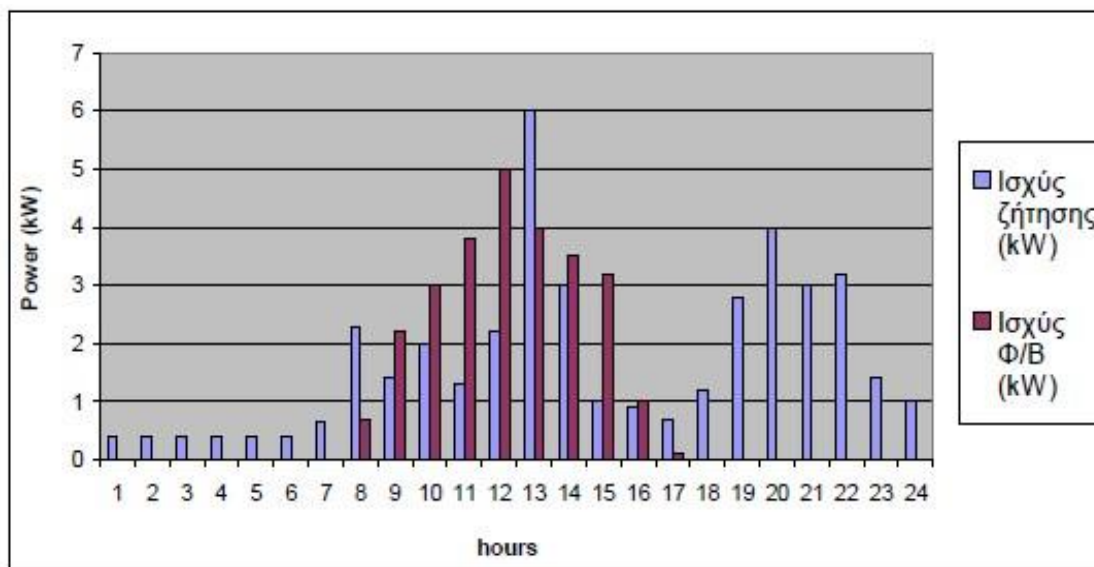


Εικόνα 4.10: Καμπύλη μέγιστης παραγόμενης ισχύος μιας ηλιακής εγκατάστασης φωτοβολταϊκών για μια τυχαία ημέρα του πρώτου μήνα του χειμώνα για εικοσιτέσσερις ώρες

Η κατανάλωση της οικίας στη συνέχεια υπολογίστηκε για κάθε ώρα του εικοσιτετράωρου χρησιμοποιώντας τις δικές μας εκτιμήσεις και αναλύσεις. Η λειτουργία του ψυγείου, για παράδειγμα, εξετάζεται το βράδυ ενώ τα μέλη του νοικοκυριού κοιμούνται. Υπάρχει μια αύξηση της ζήτησης μετά το μεσημέρι, όταν ολόκληρη η οικογένεια είναι κανονικά στο σπίτι. Ο Πίνακας 4.8 δείχνει την αναμενόμενη κατανάλωση για κάθε ώρα της ημέρας.

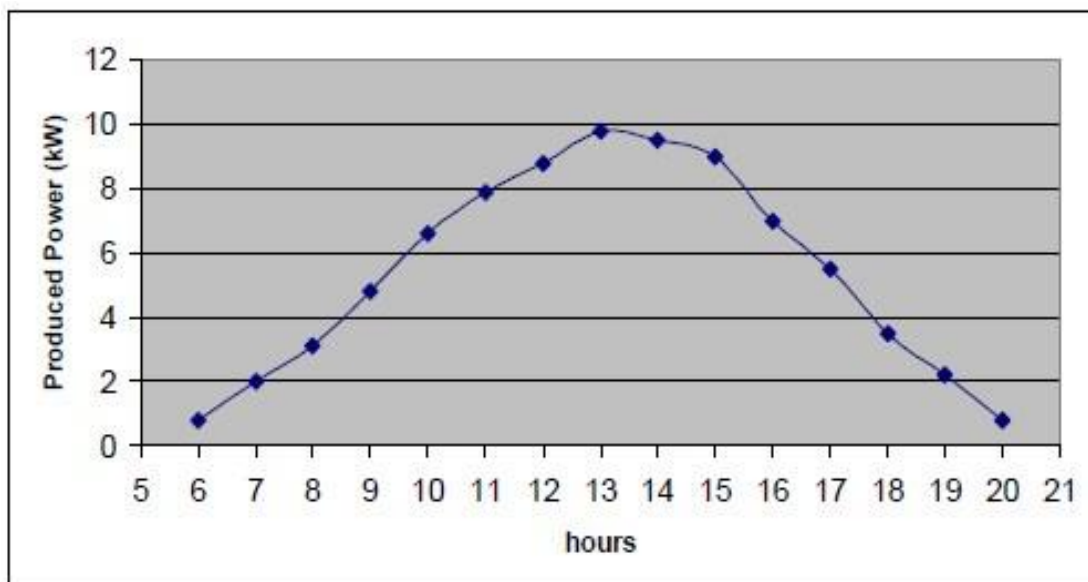
Με αυτόν τον τρόπο κατασκευάζεται ένα ιστόγραμμα σύγκρισης (εικόνα 4.11) που εμφανίζει την κατανάλωση ανά πάσα στιγμή της ημέρας καθώς και την ισχύ που παρέχουν οι ηλιακοί συλλέκτες.

Η μπλε γραμμή απεικονίζει τη ζήτηση ενέργειας για κάθε ώρα. Το κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ ανά ώρα. Η ζήτηση φαίνεται να ικανοποιείται πλήρως από τις μπαταρίες, ενώ σε περίπτωση που αυτές το βράδυ εξαντληθούν τίθεται σε λειτουργία το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Κατά τη διάρκεια της ημέρας υπάρχουν αιχμές στη ζήτηση μεταξύ των ωρών 8 π.μ. και 1 μ.μ. που δεν καλύπτονται από το ηλιακό σύστημα. Σε αυτό το διάστημα, το ζεύγος παραγωγής ενεργοποιείται, ικανοποιώντας την αυξημένη ζήτηση. Κατά τη θέση αυτού σε λειτουργία φορτίζονται και οι μπαταρίες.



Εικόνα 4.11: Ιστόγραμμα που συγκρίνει την παραγόμενη ισχύ των φωτοβολταϊκών και την κατανάλωση ισχύος φορτίων της οικίας για κάθε ώρα μίας ημέρας του Δεκεμβρίου

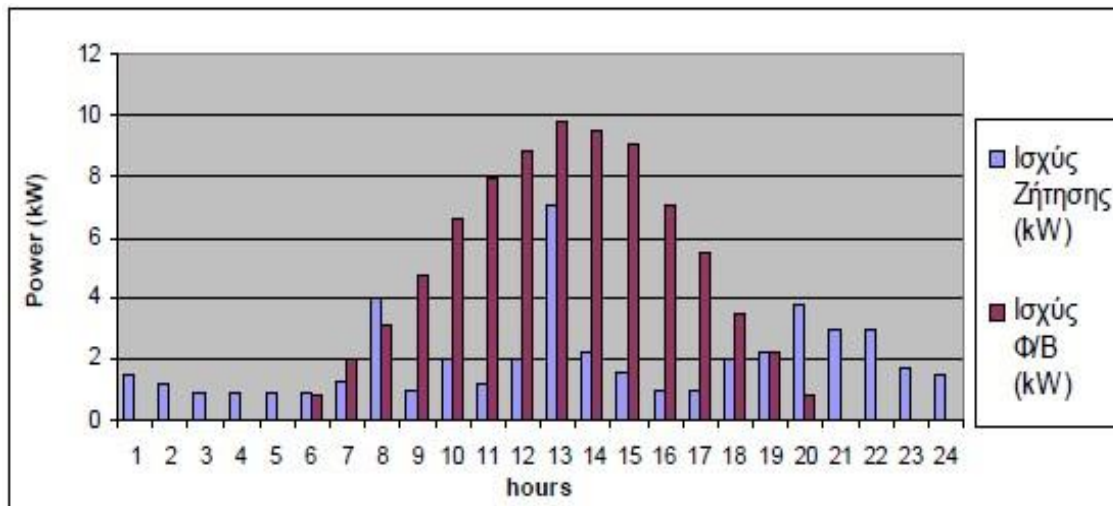
Επαναλαμβάνουμε πάλι τις ίδιες μετρήσεις για μία ημέρα, αυτή τη φορά του καλοκαιριού. Πραγματοποιήσαμε 24ωρη μέτρηση. Με βάση τα ευρήματα του λογισμικού PVGIS, καταφέραμε να δημιουργήσουμε και πάλι μία καμπύλη που παρουσιάζει τη μέγιστη παραγωγή ισχύος της ηλιακής εγκατάστασης φωτοβολταϊκών και διαλέγουμε πάλι στην τύχη μία ημέρα του καλοκαιριού.



Εικόνα 4.12: Καμπύλη της μέγιστης παραγόμενης ισχύος μιας ηλιακής συστοιχίας μία ημέρα του καλοκαιριού όλο το 24ωρο

Η εκτίμησή μας για την κατανάλωση στο σπίτι υπολογίστηκε για κάθε ώρα της ημέρας. Για παράδειγμα, όταν μια οικογένεια συνηθίζει να αποσύρεται στο κρεβάτι για ύπνο, η κατανάλωση ενέργειας συνδέεται με τη λειτουργία του ψυγείου (που

δεν αποσυνδέουμε) και ορισμένων συσκευών, όπως οι ανεμιστήρες οροφής. Υπάρχει άνοδος της ζήτησης το μεσημέρι και το απόγευμα, όταν η οικογένεια συγκεντρώνεται κανονικά στο σπίτι. Ο Πίνακας 4.8. δείχνει την κατανάλωση ανά ώρα. Τα δεδομένα απεικονίζονται στο ιστόγραμμα παρακάτω (Εικόνα 4.13).



Εικόνα 4.13: Ιστόγραμμα που συγκρίνει την παραγόμενη ισχύ φωτοβολταϊκών και την κατανάλωση ισχύος φορτίων της οικίας για κάθε ώρα μιας ημέρας του Αυγούστου

Το παραπάνω γράφημα απεικονίζει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα ηλιακά πάνελ κάθε 24 ώρες, η οποία είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται. Ως αποτέλεσμα, το ζεύγος παραγωγής δεν χρησιμοποιείται. Ακόμα και αν υπάρχει μεγαλύτερη ζήτηση το πρωί (για παράδειγμα, στις 8 π.μ.) ή το βράδυ, οι μπαταρίες φορτίζονται για να ικανοποιήσουν τις ενεργειακές απαιτήσεις εκείνων των ωρών.

ΩΡΑ ΤΟΥ 24ΩΡΟΥ	ΙΣΧΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΖΗΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ (kW)	ΙΣΧΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΖΗΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΗΜΕΡΑ ΤΟΥ ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ (kW)
1	0,4	1,5
2	0,4	1,2
3	0,4	0,9
4	0,4	0,9
5	0,4	0,9
6	0,4	0,9
7	0,65	1,3
8	2,3	4,0
9	1,4	1,0
10	2,0	2,0
11	1,3	1,2
12	2,2	2,0
13	6,0	7,0
14	3,0	2,2
15	1,0	1,6
16	0,9	1,0
17	0,7	1,0
18	1,2	2,0
19	2,8	2,2
20	4,0	3,8
21	3,0	3,0
22	3,2	3,0
23	1,4	1,7
24	1,0	1,5

Πίνακας 4.8: Ισχύς φορτίου ζήτησης για όλο το εικοσιτετράωρο για μία τυχαία ημέρα του χειμώνα (μήνας Δεκέμβριος) και μία τυχαία ημέρα του καλοκαιριού (μήνας Αύγουστος)

4.10 Κοστολόγιο συστήματος

Παρακάτω παρουσιάζεται το κοστολόγιο για όλα τα υλικά και τις εργασίες του υπό μελέτη συστήματος.

Αιτία κόστους	Κόστος/Τεμάχιο (€)	Τεμάχια	Συνολικό κόστος (€)
Φ/Β πλαίσια Luxor Eco Line 60 / 225Wr	165	66	10890
Βάσεις στήριξης Φ/Β πλαισίων	10	29	290
Καλωδίωση Φ/Β πλαισίων	300	---	300
Μεταφορά βάσεων στήριξης και Φ/Β πλαισίων	100	---	100
Εργασίες εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων	400	---	400
Συνολικό κόστος Φ/Β (€)			11980
Συσσωρευτές SUN – XTENDER PVX – 2120L	380	8	3040
Βάσεις στήριξης συσσωρευτών	10	8	80
Καλωδίωση συσσωρευτών	50	---	50
Μεταφορά συσσωρευτών	150	---	150
Συνολικό κόστος συσσωρευτών (€)			3320
Γεννήτρια AYERBE AY1500-22CL	1253	1	1253
Μεταφοράς γεννήτριας	100	---	100
Εργασίες εγκατάστασης γεννήτριας	50	---	50
Συνολικό κόστος Η/Ζ (€)			1403
Ελεγκτής Guyana Power Equipment Co. GS-300D PV controller	549	1	549
Καλωδίωση ελεγκτή	80	---	80
Μεταφορά ελεγκτή	50	---	50
Εργασίες εγκατάστασης ελεγκτή	100	---	100
Συνολικό κόστος ελεγκτή (€)			779
Μετατροπείς SMA Sunny Island 5048	2400	2	4800
Καλωδίωση μετατροπέων	80	---	80
Μεταφοράς μετατροπέων	50	---	50
Εργασίες εγκατάστασης μετατροπέων	100	---	100
Συνολικό κόστος μετατροπέων (€)			5030
Συνολικό κόστος συστήματος (€)			22512

Πίνακας 4.9: Κοστολόγιο για όλα τα υλικά και τις εργασίες του υπό μελέτη συστήματος

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, έχουν υπολογιστεί τα κόστη για κάθε τμήμα της εγκατάστασης, τα οποία είναι:

- Συνολικό κόστος Φ/Β = 11.980 (€)
- Συνολικό κόστος συσσωρευτών = 3.320 (€)
- Συνολικό κόστος Η/Ζ = 1.403 (€)
- Συνολικό κόστος ελεγκτή = 779 (€)
- Συνολικό κόστος μετατροπέων = 5.030 (€)

Επιπλέον καθορίζεται και το συνολικό κόστος της εγκατάστασης αθροίζοντας τα επιμέρους κόστη για κάθε τμήμα της εγκατάστασης, το οποίο είναι:

Συνολικό κόστος συστήματος = 22.512 (€)

Το τρέχον σύστημα μελετήθηκε με την υπόθεση ότι η συνολική διάρκεια ζωής του είναι 25 χρόνια. Εκτός από το συνολικό κόστος που αναφέρεται παραπάνω, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη τυχόν ζημιά και συντήρηση του εξοπλισμού κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 25 ετών.

Ως αποτέλεσμα, εάν το ετήσιο κόστος συντήρησης είναι 80 €, το συνολικό κόστος συντήρησης μετά από 25 χρόνια θα είναι 2.000 €. Στη συνέχεια, πρέπει να ληφθεί υπόψη η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, η οποία σύμφωνα με τον κατασκευαστή είναι 12 χρόνια. Ως αποτέλεσμα, οι μπαταρίες πρέπει να αντικατασταθούν τουλάχιστον μία φορά, με κόστος 3.190 €. Στη συνέχεια, πρέπει να ληφθεί υπόψη η διάρκεια ζωής των μετατροπέων και του ελεγκτή. Ο εξοπλισμός αναμένεται να αλλάξει τουλάχιστον μία φορά, με συνολικό κόστος 5.549 €. Τέλος, πρέπει να συνυπολογιστεί το κόστος καυσίμων του ζευγαριού παραγωγής, με ετήσιο κόστος 300 €, για σύνολο 7.500 € κατά τη διάρκεια της 25ετίας.

Έτσι, το συνολικό κόστος συντήρησης και αντικατάστασης εξοπλισμού για μια περίοδο 25 ετών είναι 18.239 (€) και το συνολικό κόστος του πλήρους συστήματος για μία περίοδο 25 ετών είναι 40.751 (€).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Μετά από έρευνα και μελέτη της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης στο κτίριο, 150m², και εφεδρεία γεννήτριας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συμπεράναμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Αρχικά, η ιδανική κλίση εγκατάστασης της ηλιακής συστοιχίας υπολογίστηκε με χρήση του λογισμικού PVGIS. Αποφασίσαμε ότι ο χειμώνας, και ειδικότερα ο μήνας Δεκέμβριος, θα ήταν η καλύτερη περίοδος για να υπολογίσουμε την απόδοση της υβριδικής εγκατάστασης γιατί είναι ο μήνας με την μικρότερη ηλιοφάνεια.

Η συνολική ισχύς των ηλεκτρικών συσκευών που άνοιξαν τον τελευταίο μήνα του έτους προβλεπόταν να είναι 10,922 kW και 11,172 kW για τον τελευταίο μήνα του καλοκαιριού. Η χρήση κατά τη χειμερινή περίοδο υπολογίστηκε σε 19,772 kWh, ενώ υπολογίστηκε για την καλοκαιρινή περίοδο να είναι 26,722 kWh.

Η μέγιστη ισχύς μιας ηλιακής συστοιχίας Pvs για να μπορέσει να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις ενός 24ώρου αυτονομίας είναι 14,944 kWp το χειμώνα και 7,95 kWp το καλοκαίρι.

Υπολογίσαμε ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν 66 πάνελ που έχουν ισχύ το καθένα 225 Wpeak. Ως αποτέλεσμα, η συνολική ισχύς είναι 14,85 kWp. Με 30 μοίρες προσδιορίστηκε η κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Υπολογίσαμε το σύνολο αλλά και την τάση των μπαταριών για την εγκατάσταση με αυτόν τον τρόπο και έχουν χωρητικότητα 353 Ah. Οι μπαταρίες 253 Ah έδειξαν ότι για τις συνδέσεις θα πρέπει να υπάρχουν δύο παράλληλοι κλάδοι φωτοβολταϊκών, ο καθένας με τέσσερις μπαταρίες στη σειρά, για συνολικά οκτώ μπαταρίες.

Το επόμενο βήμα ήταν να επιλέξουμε έναν ελεγκτή φόρτισης με προδιαγραφές 48V / 252A / 35A.

Με τη μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος P των καταναλώσεων που λειτουργούν ταυτόχρονα να υπολογίζεται στα 8kW και την υπάρχουσα ισχύ στα 12kW, χρησιμοποιήθηκαν δύο τριφασικοί μετατροπείς με εκτιμώμενη ισχύ εξόδου 4kW και μέγιστη ισχύ 6kW.

Όσον αφορά τη γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ο χρόνος που χρειάζεται για τη φόρτιση του συσσωρευτή από την γεννήτρια υπολογίστηκε σε 5,33 ώρες. Η ηλεκτρική ισχύς Pφορτίου που απαιτείται από τη γεννήτρια για τη διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας εκτιμήθηκε ότι είναι 3,8 kW. Τέλος, με βάση τους καταγραφείς, η ηλεκτρική ισχύς της γεννήτριας P (H/Z) εκτιμήθηκε ότι είναι μεγαλύτερη από 14,9 kW. Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω πληροφορίες, επιλέχθηκε μια γεννήτρια ντίζελ 18 kW με χρόνο φόρτισης μπαταριών 6 ώρες.

Ο σχεδιασμός της εγκατάστασης ολοκληρώνεται με μετρήσεις και υπολογισμούς που απεικονίζουν με καμπύλες σε γραφήματα τη μέγιστη ισχύ της ηλιακής εγκατάστασης μία τυχαία ημέρα του Δεκεμβρίου και μία τυχαία ημέρα του Αυγούστου. Επιπλέον, δόθηκαν συγκριτικά ιστογράμματα της παραγόμενης ισχύος του φωτοβολταϊκού πλαισίου και της ισχύος που χρησιμοποιείται από τις οικιακές συσκευές για κάθε ώρα της ημέρας, όλο το έτος.

Έγινε τεχνικοοικονομική μελέτη, αρχικά με το κοστολόγιο κάθε συστήματος μετά των υλικών σύνδεσης, επίσης των συστημάτων μετατροπής αλλά και της μόνωσης του συστήματος. Κόστος ακόμα υπήρχε στη χρήση υλικών για την προστασία του συστήματος αλλά και των μέτρων προστασίας για τον άνθρωπο. Τέλος, προστέθηκε και το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Έτσι, συνολικά υπολογίστηκε το κόστος της επένδυσης αυτής.

Το συνολικό κόστος του συστήματος είναι 40.751 ευρώ και η διάρκεια ζωής του συστήματος είναι 25 έτη.

Η έρευνα για την συνολική εγκατάσταση του συστήματος της εν λόγω τεχνολογίας θεωρείται περίπλοκη. Πριν αποφασίσουμε για τις μονάδες της εγκατάστασης αλλά και το εύρος της εγκατάστασης, το τεχνικοοικονομικό κομμάτι πρέπει να γίνει από έναν επαγγελματία μηχανικό, ο οποίος πρέπει να λάβει υπόψη έναν αριθμό παραγόντων. Η απαιτούμενη αξιοπιστία του εν λόγω συστήματος είναι ο βασικός παράγοντας στις αποφάσεις για την επένδυση. Ωστόσο, το υψηλό κόστος των μονάδων και συσκευών που είναι απαραίτητες για την σωστή λειτουργία και ασφάλεια του συστήματος αλλά και του ανθρώπου δυσκολεύει την απόφαση για την σωστή επιλογή της επένδυσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Ι. Φραγκιαδάκης, εκδόσεις Ζήτη, 2007
- [2] «Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία», Κ. Καγκαράκη, εκδόσεις Συμμετρία, 1992
- [3] «Ήπιες Μορφές Ενέργειας Ι», Θωμάς Ζαχαρίας, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006
- [4] «Ήπιες Μορφές Ενέργειας ΙΙ», Θωμάς Ζαχαρίας, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2007
- [5] «Φυσική των φ/β στοιχείων», Βασιλική Περράκη, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2008
- [6] «Νέες τεχνολογίες των φ/β στοιχείων», Βασιλική Περράκη, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2008
- [7] «Ένας πρακτικός οδηγός για τα φωτοβολταϊκά», Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών
- [8] «Σύγχρονες εξελίξεις σε φ/β συστήματα για διεσπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας», Ι. Κομπούγιας, Α. Κυρίτσης, Α. Νανάκος, Ε. Τατάκης
- [9] «Σημειώσεις ΑΠΕ», Π. Αξαόπουλος
- [10] «Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Νεοκλέους-Κωνσταντινίδη, Ίων, 1991
- [11] «Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις», Σ. Περδίας, Τεχνική εκδοτική, 2011
- [12] «Επενδύσεις Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα», Α. Ζαχαρίου, ΤΕΕ, 2010
- [13] «Τεχνικο-οικονομική Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στα κτίρια του Ξενία», διατριβή μεταπτυχιακού διπλώματος ειδίκευσης της Αικατερίνης Πολυχρονιάδου, τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
- [14] «Παραμετρική Μελέτη Μηδενισμού Σκίασης Ηλιακών Συλλεκτών-Κώδικας-Εφαρμογές», διπλωματική εργασία του Σταμάτιου Καλάκιου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010
- [15] «Διαχείριση Δεδομένων Μέτρησης της Ηλιακής Ακτινοβολίας», διπλωματική εργασία του Παναγιώτη Κεραμιτζή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010
- [16] «Τεχνοοικονομική Μελέτη και Σύγκριση Υβριδικών Συστημάτων. Εφαρμογή σε Αυτόνομη Κατοικία», διπλωματική εργασία των Δ. Σαραφιανού και Μ. Σειραγάκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009

- [17] «Σχεδιασμός Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος για την Τροφοδότηση Αγροικίας», διπλωματική εργασία της Φ. Μπουγιούκου, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2010
- [18] http://www.selasenergy.gr/fv_systems_main.php
- [19] <https://www.dei.gr/Default.aspx>
- [20] <https://www.scribd.com/document/54868111/%CE%9C%CE%97%CE%A7%CE%91%CE%9D%CE%95%CE%A3-%CE%95%CE%A3%CE%A9%CE%A4%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3-%CE%9A%CE%91%CE%A5%CE%A3%CE%97%CE%A3>
- [21] <https://www.solarsystemshellas.com/>
- [22] <http://e-fotovoltaiika.blogspot.com>
- [23] http://lyk-vatheos.eyv.sch.gr/Ergasies/2006-2007/tech_plir_A/EnalPE07.htm
- [24] http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pn_systimatou.pdf
- [25] Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων (Πόρισμα Ομάδας Εργασίας του ΤΕΕ/ΤΚΜ όπως εγκρίθηκε με την απόφαση Α159/Σ9/11.04.2011 της Διοικούσας Επιτροπής)
- http://tkm.tee.gr/wp-content/uploads/2018/02/fwtovoltaiika_ergwn.pdf