



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
UNIVERSITY of the PELOPONNESE



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ
ΓΕΩΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**



ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

ΠΟΝΤΙΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Α.Μ. 7655)

ΚΑΣΤΕΛΙΑΝΑΚΗΣ ΟΔΥΣΣΕΑΣ (Α.Μ. 7736)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΑΔΑΚΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2024

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στη μοντελοποίηση των επιδόσεων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων με τη χρήση δυναμικών γεωχωρικών δεδομένων και σύγκριση φωτοβολταϊκών πλαισίων διάφορων κατασκευαστών και περιοχών στον Ελλαδικό χώρο.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας, Δρ. Γιανναδάκη Αθανάσιο, για την καθοδήγηση και τη συνολική του συνεισφορά στην εκπόνηση της πτυχιακής μας εργασίας.

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Φοιτητές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι Φοιτητές

(Ποντικός Γιώργος)

(Καστελιανάκης Οδυσσέας)

.....

(Υπογραφή)

.....

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τον υπολογισμό της επιρροής της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις για περιοχές εντός του Ελλαδικού χώρου από τις διάφορες κλιματικές συνθήκες των περιοχών αυτών. Επίσης σκοπός της είναι η μοντελοποίηση υπολογισμών μέσω της χρήση δυναμικών γεωχωρικών δεδομένων αλλά και συγκεκριμένων μοντέλων φωτοβολταϊκών πλαισίων του εμπορίου.

Στην αρχή της εργασίας αναλύθηκε η ανάγκη για τη χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας, εστιάζοντας στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Εξετάστηκαν τα είδη και ο εξοπλισμός των συστημάτων, καθώς και οι απώλειες που μπορεί να προκύψουν. Αναφορά έγινε στην απόδοση των πλαισίων και των υπόλοιπων τμημάτων, με έμφαση στις επιδράσεις του κλίματος και της θερμοκρασίας. Εξετάστηκε η σημασία της γεωγραφικής συσχέτισης με διάφορους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών πλαισίων, επιλέγοντας περιοχές από διάφορες κλιματικές ζώνες. Επίσης, παρουσιάστηκαν και επιλέχθηκαν κατασκευαστές με διαφορετικές τεχνικές προδιαγραφές. Χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων του PV.G.I.S. και σχέσεις από τη βιβλιογραφία, πραγματοποιήθηκε η μελέτη για την παραγωγή ισχύος και ενέργειας, συγκρίνοντας δύο μοντέλα υπολογισμού.

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν, συγκρίνοντας τα με τα δεδομένα του PV.G.I.S. για την παραγόμενη ισχύ. Παρουσιάστηκαν διαφορές λόγω γεωγραφικών συνθηκών και των χαρακτηριστικών των πάνελ. Δόθηκε επιπλέον σημασία στον συντελεστή θερμοκρασίας, ο οποίος φάνηκε να επηρέασε σημαντικά τα αποτελέσματα, εμφανίζοντας ποικίλες επιδράσεις στην παραγόμενη ισχύ. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί για τα απαραίτητα μέρη της εγκατάστασης και στη συνέχεια, συγκρίθηκαν τέσσερις αναστροφείς αγοράς για πλήρη αξιοποίηση της ενέργειας. Εκτιμήθηκε η οικονομική βιωσιμότητα με λεπτομερή έρευνα αγοράς και βελτιστοποίηση της σχέσης ποιότητας-τιμής.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκε η ισχύς μετά τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, και διεξήχθη μελέτη για την οικονομική βελτιστοποίηση του έργου. Υπολογίστηκαν τα οικονομικά μεγέθη, όπως τα έσοδα και τα έξοδα τόσο σε ετήσια βάση όσο και στο σύνολο της διάρκειας ζωής του πιθανού έργου και ο χρόνος απόσβεσής του για κάθε περίπτωση. Επιπροσθέτως, υλοποιήθηκε πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού Python για τη μοντελοποίηση και αναπαράσταση των δεδομένων. Επίσης, πραγματοποιήθηκε περιβαλλοντική ανάλυση, αποδεικνύοντας ότι η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα προκαλεί λιγότερη ρύπανση από την παραγωγή ενέργειας μέσω καύσης οργανικών υλικών.

Τέλος, επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα μπορεί να επηρεαστούν από μελλοντικές κλιματικές μεταβολές, ενώ προτείνονται τρόποι ψύξης για την αντιμετώπιση του θερμοκρασιακού προβλήματος.

Λέξεις Κλειδιά: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Φωτοβολταϊκά Συστήματα και Εγκαταστάσεις, Μοντελοποίηση, Οικονομοτεχνική Μελέτη, Γεωχωρικά Δεδομένα, Python, Ρεαλιστικές Συγκρίσεις, Φωτοβολταϊκό Πάρκο, Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση 1 MW , Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα, Σύγκριση Μοντέλων

ABSTRACT

This paper focuses on the calculation of the influence of the electricity produced in photovoltaic installations for regions within Greece by the different climatic conditions of these regions. It also aims to model calculations through the use of dynamic geospatial data and specific models of commercial photovoltaic panels.

At the beginning of the paper the need for the use of alternative energy sources was analyzed, focusing on photovoltaic systems. The types and equipment of the systems were examined, as well as the losses that can occur. Reference was made to the performance of the panels and other components, with emphasis on the effects of climate and temperature. The importance of geographical correlation with different PV panel manufacturers was examined, selecting regions from different climate zones. Also, manufacturers with different technical specifications were presented and selected. Using the PV.G.I.S. database and relationships from the literature, the study on power and energy production was conducted, comparing two calculation models.

The results were analyzed, comparing them with PV.G.I.S. data for the generated power. Differences due to geographical conditions and panel characteristics were presented. Additional attention was paid to the temperature coefficient, which appeared to have a significant influence on the results, showing varying effects on the power generated. In addition, calculations were made for the necessary parts of the installation and then four market inverters were compared for full energy utilisation. Economic viability was assessed by detailed market research and value for money optimization.

Then, the power after converting DC to AC was calculated and a study was conducted for the economic optimization of the project. The economic figures, such as revenues and costs both on an annual basis and over the entire lifetime of the potential project and the payback period for each case were calculated. In addition, a program in Python programming language was implemented to model and represent the data. An environmental analysis was also carried out, demonstrating that energy production from photovoltaic systems causes less pollution than energy production through the combustion of organic materials.

Finally, it is pointed out that the results may be affected by future climate changes, and cooling methods are proposed to address the temperature problem.

Keywords: Renewable Energy Sources, Photovoltaic Systems and Installations, Modelling, Technical and Economic Study, Geospatial Data, Python, Realistic Comparisons, Photovoltaic Park, Photovoltaic Installation 1 MW, Grid Connected Photovoltaic System, Comparison of Models

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1. Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ	10
2. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	11
3. ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥΣ.....	12
2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	14
2.1 ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	14
2.1.1 Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα	15
2.1.2 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα	15
2.1.3 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα	16
2.1.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα έκτακτης ανάγκης	17
2.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	17
2.2.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Πάνελ)	17
2.2.2 Φωτοβολταϊκά Δομοστοιχεία Πυριτίου.....	17
2.2.3 Δομοστοιχεία με Thin-Film.....	18
2.2.4 Οργανικά Φωτοβολταϊκά Δομοστοιχεία (OPV).....	18
2.2.5 Δομοστοιχεία Τύπου Quantum Dots.....	18
2.2.6 Πολυστρωματικά Δομοστοιχεία	18
2.2.7 Αναστροφέας (Inverter)	19
2.2.8 Συσσωρευτής (Μπαταρία).....	19
2.2.9 Ρυθμιστής Φόρτισης.....	21
2.2.10 Ηλεκτρολογικοί Πίνακες	22
2.2.11 Καλώδια	22
2.2.12 Βάσεις Στήριξης Φ/Β Πλαισίων	22
2.3 Απώλειες Ισχύος στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα	23
3. Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΙ ΕΠΗΡΕΑΖΕΤΑΙ	25

3.1	Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	25
3.1.1	Απόδοση Φωτοβολταϊκού Πάνελ	26
3.1.2	Απόδοση Αναστροφέα (Inverter).....	27
3.1.3	Απόδοση Συσσωρευτή (Μπαταρίας).....	27
3.1.4	Ρυθμιστής Φόρτισης.....	28
3.1.5	Ηλεκτρολογικός Πίνακας και Υπόλοιπος Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός ...	29
3.2	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	30
3.2.1	Θερμοκρασία και Φωτοβολταϊκοί Συλλέκτες.....	30
3.2.2	Θερμοκρασία και Αναστροφείς.....	32
3.2.3	Θερμοκρασία και Μπαταρίες.....	32
3.2.4	Θερμοκρασία και Ρυθμιστές Φόρτισης.....	33
3.2.5	Θερμοκρασία και Ηλεκτρολογικό Υλικό.....	34
3.3	ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΥΕΡΝΑΣ ΕΝΟΣ Φ/Β ΠΑΝΕΛ	35
3.3.1	Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{OC}).....	35
3.3.2	Ένταση Ρεύματος Βραχυκύκλωσης (I_{SC})	35
3.3.3	Μέγιστη Ισχύς (P_{max}).....	35
3.3.4	Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MP}).....	36
3.3.5	Ένταση Ρεύματος Μέγιστης Ισχύος (I_{MP})	36
3.3.6	Συντελεστής Κάλυψης (FF).....	36
3.3.7	Σημείο Μέγιστης Ισχύος (MPP)	37
3.3.8	Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας G_T	38
3.3.9	Ισχύς Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	38
3.3.10	Απόδοση Φωτοβολταϊκού Πάνελ (eff%).....	39
3.3.11	Πρότυπες Συνθήκες Ελέγχου (S.T.C.).....	39
3.3.12	Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.)	39
3.3.13	Συντελεστής θερμοκρασίας (T.C.)	40
4.	ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΑΝΕΛ	42
4.1	Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΜΕ ΣΥΓΚΡΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΑΝΕΛ.....	42
4.2	ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ	43
4.3	ΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΠΑΝΕΛ	44
5.	ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Φ/Β ΠΑΝΕΛ ΓΙΑ ΤΕΣΣΕΡΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ.....	50
5.1	ΛΗΨΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	50

5.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΜΕΓΕΘΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	51
5.2.1 Θερμοκρασία Φωτοβολταϊκού Πάνελ (T_{PV}).....	51
5.2.2 Σχετική Απόδοση (Eff_{rel})	51
5.2.3 Μεταβολή στην Ισχύ Εξόδου Λόγω Θερμοκρασίας και Ακτινοβολίας	52
5.2.4 Μεταβολή στην Ισχύ Εξόδου Λόγω της Γωνίας Πρόσπτωσης	53
5.2.5 Μεταβολή στην Ισχύ Εξόδου Λόγω Μεταβολών του Ηλιακού Φάσματος..	55
5.2.6 Συνολικές Απώλειες Φωτοβολταϊκού Πάνελ	56
5.3 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	57
5.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	65
6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ, ΛΗΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ONLINE ΕΡΓΑΛΕΙΟ PV.G.I.S.	69
6.1 ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ PV.G.I.S.....	69
6.2 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	70
6.3 ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ	78
6.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ	83
7. ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	85
7.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	85
7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	87
7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΥΠΟΛΟΙΠΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	91
7.4 ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	99
8. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΩΝ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	100
8.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ.....	100
8.2 ΥΠΟΛΟΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	101
8.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.....	103
8.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	114
9. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΚΑΣΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ	115
9.1 ΣΤΟΧΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΩΔΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ	115
9.2 ΚΥΡΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	120
9.3 ΤΕΛΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	123
10. ΑΛΛΟΙ ΛΟΓΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	128
10.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	128

10.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	129
10.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ.....	130
11. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	132
11.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ Η ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΣΤΑ ΦΩΡΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ	132
11.2 ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	134
12. ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ	138
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	142
ΕΙΚΟΝΕΣ	147

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ

Η ενέργεια αποτελεί τον θεμέλιο λίθο για τη λειτουργία κάθε πτυχής της σύγχρονης κοινωνίας. Από τις οικιακές ανάγκες μέχρι τις βιομηχανικές διεργασίες και τις μεταφορές, η ενέργεια είναι παρούσα σε κάθε τομέα της ζωής μας. Ωστόσο, η εξάντληση των συμβατικών πηγών ενέργειας και οι αρνητικές επιπτώσεις τους στο περιβάλλον έχουν αναδείξει την ανάγκη για την αναζήτηση εναλλακτικών, βιώσιμων λύσεων.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν την μέλλουσα ενεργειακή πολιτική. Αναδύονται ως η βιώσιμη εναλλακτική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία εκτός από την εξάντληση, εκπέμπουν αέρια του θερμοκηπίου που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή. Οι ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια, βασίζονται στην ανανεώσιμη φύση τους και δεν απειλούν τις μελλοντικές γενιές.

Η τεχνολογική πρόοδος παίζει ζωτικό ρόλο στην ανάπτυξη και διάδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη έχουν οδηγήσει στην αύξηση της απόδοσης και τη μείωση του κόστους παραγωγής. Ακόμη, η εξέλιξη των αποθηκευτικών τεχνολογιών επιτρέπει την σταθεροποίηση της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές, ακόμα και όταν οι φυσικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές.

Επιπροσθέτως, η μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επιφέρει οικονομικά οφέλη σε πολλά επίπεδα. Η δημιουργία θέσεων εργασίας στον τομέα των ανανεώσιμων ενεργειών και η μείωση των εξωτερικών εξόδων σε υγειονομική και περιβαλλοντική προστασία είναι αξιοσημείωτα οφέλη. Επιπλέον, η μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα ενισχύει την οικονομική ανεξαρτησία και ασφάλεια των χωρών.

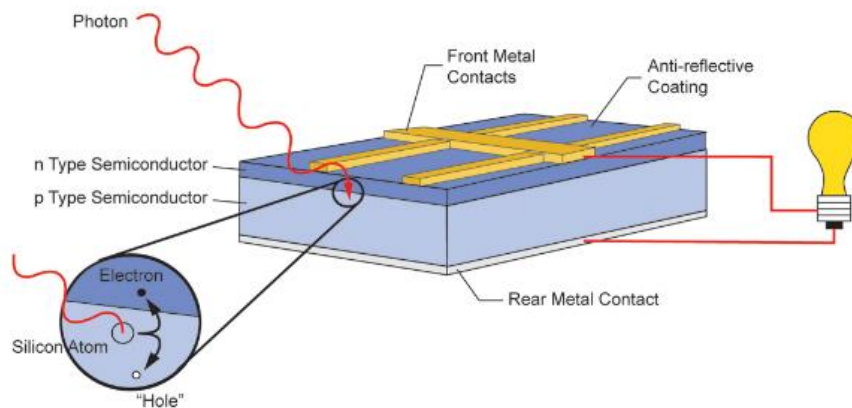
Τέλος, αφού αναδείξαμε τη σπουδαιότητα της ενέργειας στην σύγχρονη κοινωνία και την επιτακτική ανάγκη για την εξερεύνηση και αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρακάτω, θα επικεντρωθούμε στην Ηλιακή Ενέργεια και το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το οποίο αποτελεί μια από τις πιο υποσχόμενες τεχνολογίες στον χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Η Ηλιακή Ενέργεια αποτελεί μια από τις πλέον υποσχόμενες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας στον σύγχρονο κόσμο. Με την αυξανόμενη εξάντληση των συμβατικών πηγών ενέργειας και τις ανησυχίες για τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και του φωτοβολταϊκού φαινομένου αναδεικνύονται ως κρίσιμα στοιχεία στην ανάπτυξη μιας βιώσιμης ενεργειακής πολιτικής.

Η Ηλιακή Ενέργεια απορρέει από τον ήλιο, έναν αστέρα μεγαλύτερο από τη Γη, ο οποίος εκπέμπει τεράστιες ποσότητες ακτινοβολίας καθημερινά. Αυτή η ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμότητας μέσω διάφορων τεχνολογιών. Μια από τις πιο καινοτόμες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν την Ηλιακή Ενέργεια είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα, το οποίο λειτουργεί χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκό φαινόμενο με τη χρήση φωτοβολταϊκών δομοστοιχείων.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αποτελεί μια σημαντική επιστημονική ανακάλυψη που επιτρέπει τη μετατροπή της φωτεινής ενέργειας που παρέχεται από τον ήλιο, απευθείας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό το φαινόμενο βασίζεται στις ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες των ημιαγωγικών υλικών.



Εικόνα 1.1: Φωτοβολταϊκό Δομοστοιχείο και Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο [2]

Κάθε φωτοβολταϊκό δομοστοιχείο αποτελείται από δύο ημιαγωγούς, συνήθως από πυριτικό κράμα, όπως φαίνεται και στην εικόνα (1.1). Όταν φωτεινή ενέργεια φτάνει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, η ενέργεια αυτή μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια των ατόμων του υλικού. Αυτή η ενέργεια επιτρέπει σε κάποια από τα ηλεκτρόνια να "αποκολληθούν" από τα άτομα και να κινηθούν ελεύθερα, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό ρεύμα.

Αυτό το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί στη συνέχεια να συλλεγεί και να χρησιμοποιηθεί για διάφορες ενεργειακές εφαρμογές. Ενδεικτικά, φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να τροφοδοτήσουν ηλεκτρικές συσκευές στα νοικοκυριά, να λειτουργήσουν εγκαταστάσεις φωτισμού και ακόμα και να συνεισφέρουν ενέργεια στο δίκτυο διανομής..

Συνολικά, η Ηλιακή Ενέργεια και το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αντιπροσωπεύουν μια κρίσιμη καμπή στην ενεργειακή μας μετάβαση προς την βιωσιμότητα. Με την ανάπτυξη και την προσαρμογή της τεχνολογίας αυτής, μπορούμε να επιτύχουμε ένα πιο ποιοτικό και ενεργειακά πράσινο μέλλον για όλους.

3. ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥΣ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν έναν σημαντικό πυλώνα στον χώρο της ανανεώσιμης ενέργειας. Βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ένα φυσικό φαινόμενο που πρώτο-εντοπίστηκε από τον φυσικό Alexandre-Edmond Becquerel το 1839. Η αξιοποίηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου έχει ανοίξει νέους δρόμους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (εικόνα 1.2) αποτελούνται από φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία, τα οποία αντλούν την ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία. Τα δομοστοιχεία αυτά είναι ενωμένα εντός μεγάλων μεταλλικών συνήθως πλαισίων (πάνελ). Τα φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγωγικά υλικά, όπως το πυρίτιο, που έχουν την ιδιότητα να απελευθερώνουν ηλεκτρόνια όταν φωτίζονται. Αυτό το φαινόμενο δημιουργεί μια ηλεκτρική τάση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η αποτελεσματικότητά τους. Καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για καύσιμα ή άλλες πρώτες ύλες, η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά είναι καθαρή και δεν προκαλεί εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η συντήρηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι σχετικά απλή και απαιτεί λιγότερα κόστη συντήρησης σε σχέση με άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας.

Το δεύτερο σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ανεξαρτησία από τις παγκόσμιες ενεργειακές αγορές και τις τιμές των ορυκτών καυσίμων. Η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη δωρεάν και σε μεγάλες εντάσεις στις περισσότερες περιοχές του κόσμου. Αυτό μειώνει την εξάρτηση από εισαγωγές ενέργειας και δημιουργεί περισσότερη οικονομική ανεξαρτησία για τις χώρες.



Εικόνα 1.2: Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση [3]

Εν κατακλείδι, τα φωτοβολταϊκά συστήματα αντιπροσωπεύουν μια τεχνολογία μεγάλης σημασίας στην προσπάθεια να μεταβούμε σε μια πιο βιώσιμη ενεργειακή παραγωγή. Ο συνδυασμός της αποδοτικότητας, της χαμηλής συντήρησης και της

ανεξαρτησίας από τις παγκόσμιες αγορές ενέργειας καθιστά τα φωτοβολταϊκά συστήματα μια ζωτική επιλογή για τον ενεργειακό μας μέλλον.

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σχετίζεται άμεσα με την ποιότητα των υλικών και την τεχνολογία κατασκευής. Επιπλέον, οι συνθήκες φωτεινότητας και η θερμοκρασία επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών δομοστοιχείων.

2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

2.1 ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα, εκτός από τη χρήση κυψελίδων εντός των φωτοβολταϊκών πλαισίων (πάνελ) χρειάζεται και η λειτουργία άλλων συσκευών, οι οποίες σε σωστή διάταξη επιτρέπουν την καλή και πλέον αποδοτική παροχή της οικίας σε ρεύμα.

Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα από το ηλιακό πάνελ είναι σε μορφή συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.) και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για να λειτουργήσουν συσκευές που λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (Ε.Ρ.) ή για να συνδεθεί απευθείας στο δίκτυο Ε.Ρ. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται συσκευές, γνωστές ως Αναστροφείς, που μετατρέπουν το παραγόμενο συνεχές ρεύμα, σε εναλλασσόμενο ρεύμα.

Κατά τη διάρκεια της νύχτας ή όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι χαμηλή, το ηλιακό πάνελ δεν παράγει ενέργεια. Επομένως, είναι αναγκαίο να αποθηκεύεται η περίσσεια παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλιακό πάνελ κατά τη διάρκεια ημερών με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία ή όταν δεν υπάρχει ζήτηση. Αυτή η αποθήκευση γίνεται σε ηλεκτρικές συσκευές που ονομάζονται Συσσωρευτές ηλεκτρικής ενέργειας ή Μπαταρίες.

Ακόμη, λόγω των διακυμάνσεων στην ένταση της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας, η τάση εξόδου ενός ηλιακού πάνελ δεν είναι σταθερή. Επομένως, για τη φόρτιση των μπαταριών, απαιτούνται ηλεκτρονικές συσκευές που λειτουργούν ως σταθεροποιητές της τάσης ενός ηλιακού πάνελ. Αυτές οι συσκευές ονομάζονται Ρυθμιστές Φόρτισης.

Επιπροσθέτως, η σύνδεση όλων των ηλεκτρικών συσκευών σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα γίνεται μέσω ηλεκτρολογικών καλωδίων και ηλεκτρολογικών πινάκων, που σχεδιάζονται ειδικά για τις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Στη συνέχεια, θα αναλύσουμε τις αρχές λειτουργίας κάθε συσκευής ξεχωριστά, καθώς και άλλων επιμέρους συσκευών που απαιτούνται για την εγκατάσταση και λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

Τα είδη των φωτοβολταϊκών συστημάτων:

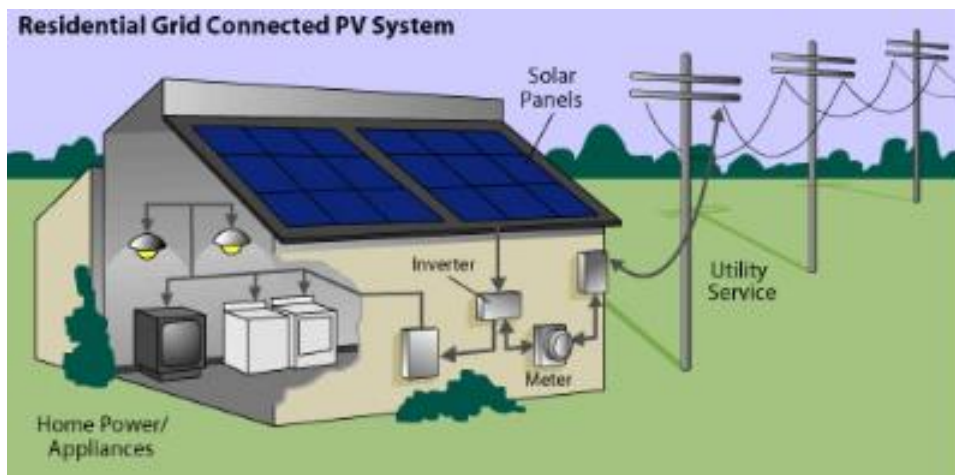
Ανάλογα με την ανάγκη του πελάτη και την περίπτωση εφαρμογής τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται σε:

- Διασυνδεδεμένα
 - Διασυνδεδεμένα Ανεξάρτητου Παραγωγού
 - Διασυνδεδεμένα Αυτοπαραγωγού
- Αυτόνομα

- Υβριδικά
- Έκτακτης ανάγκης

2.1.1 Διασυνδεδεμένα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

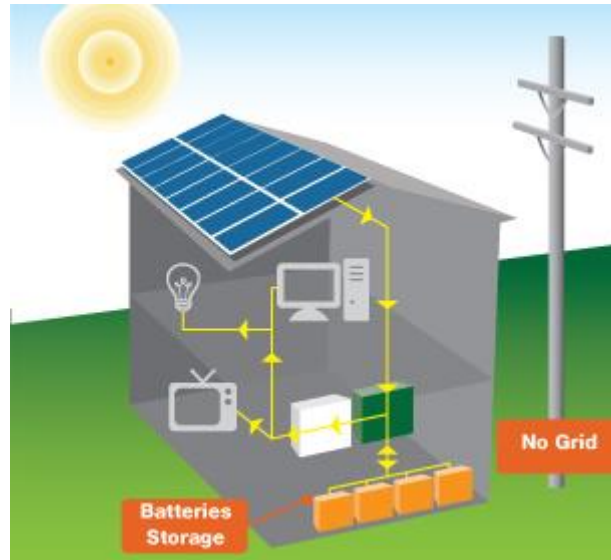
Διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα αναφέρονται σε αυτά που συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο (ΔΕΗ) και λειτουργούν παράλληλα με αυτό, όπως φαίνεται και στην εικόνα (2.1). Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είτε τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία είτε διοχετεύεται στο δίκτυο, εξαρτώμενη από την παραγωγή. Δεν απαιτούν συσσωρευτές (μπαταρίες), μειώνοντας το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Ωστόσο, δεν παρέχουν αυτονομία κατά τη διακοπή ρεύματος. Ακόμη, σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία, υπάρχουν δύο τεχνικοί όροι για τα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα: Ανεξάρτητος Παραγωγός (όπου όλη η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο) και Αυτοπαραγωγός (όπου μέρος της παραγόμενης ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο και το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για ιδιοκατανάλωση).



Εικόνα 2.1: Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα [4]

2.1.2 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

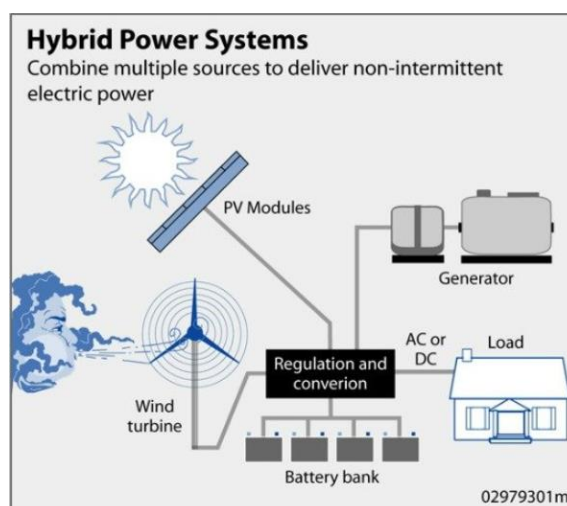
Τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα δεν είναι συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο, όπως προδίδει και η εικόνα (2.2). Η ηλεκτρική ενέργεια από την Φ/Β γεννήτρια αποθηκεύεται σε μπαταρίες για χρήση όταν απαιτείται. Το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης είναι υψηλότερο από ένα διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα προτείνονται για οικίες χωρίς ηλεκτρικό δίκτυο. Η αυτονομία εξασφαλίζεται από ειδικές μπαταρίες για Φ/Β εφαρμογές. Ο σχεδιασμός εξαρτάται από τα ηλεκτρικά φορτία και την χρήση της οικίας. Συνήθως περιλαμβάνουν φωτισμό, ψύξη, κουζίνα, τηλεόραση κ.λπ.



Εικόνα 2.2: Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα [4]

2.1.3 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Ως υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών (εικόνα 2.3) αναφέρονται σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα με την προσθήκη μιας επιπλέον πηγής ενέργειας. Όπως και στα αυτόνομα συστήματα, χρησιμοποιούνται μπαταρίες για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να χρησιμοποιηθεί όταν απαιτηθεί. Η διαφορά από τα αυτόνομα συστήματα είναι ότι σε αυτά ενσωματώνεται μια δεύτερη πηγή ενέργειας, όπως για παράδειγμα μια ηλεκτρογεννήτρια. Αυτή η πηγή, μέσω ενός ανορθωτή τάσης, φορτίζει τις μπαταρίες που τροφοδοτούν τα φορτία Σ.Ρ., και μέσω αναστροφέα, τροφοδοτεί τα φορτία Ε.Ρ. Έτσι, η οικία διαθέτει μεγαλύτερη αυτονομία ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους που η Φ/Β γεννήτρια δεν παράγει.



Εικόνα 2.3: Υβριδικό Φωτοβολταϊκό Σύστημα [5]

2.1.4 Φωτοβολταϊκά συστήματα έκτακτης ανάγκης

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα ανάγκης αποτελούν συστήματα που ενσωματώνουν τόσο ένα αυτόνομο όσο και ένα συνδεδεμένο σύστημα. Σε περίπτωση διακοπής της τροφοδοσίας από το δίκτυο, τα φορτία εξακολουθούν να τροφοδοτούνται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Οι εταιρίες εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορούν να προσφέρουν διάφορες λύσεις, καθώς η τεχνολογία και οι τεχνικές διαχείρισης ενέργειας συνεχώς βελτιώνονται.

2.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.2.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Πάνελ)

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ αποτελούν τον πυρήνα των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτά λειτουργούν βασισμένα στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το οποίο είναι μια φυσική διαδικασία κατά την οποία η ηλιακή ενέργεια από τα φωτόνια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Την «καρδιά» αυτών των πάνελ αποτελούν φωτοβολταϊκά ημιαγωγικά δομοστοιχεία (Photovoltaic cells), συνήθως κατασκευασμένα από υλικά όπως το πυρίτιο (Si). Η ατομική δομή του πυριτίου επιτρέπει την απορρόφηση των ηλιακών φωτονίων, δημιουργώντας φωτοηλεκτρικό ρεύμα. Το πυρίτιο είναι επίσης ηλεκτρικά φορτισμένο, δημιουργώντας ένα ηλεκτρικό πεδίο που καθοδηγεί τα ηλεκτρόνια που προκαλούνται από την φωτονική απορρόφηση.

Όταν εκπέμπεται φως σε ένα φωτοβολταϊκό δομοστοιχείο αυτό το φως μπορεί να ανακλαστεί, να απορροφηθεί, ή να περάσει απευθείας μέσα από το δομοστοιχείο. Το φωτοβολταϊκό δομοστοιχείο αποτελείται από ημιαγωγικό υλικό. Το "ημί" σημαίνει ότι μπορεί να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα καλύτερα από ένα μονωτή, αλλά όχι τόσο καλά όσο ένα καλό αγωγό όπως το μέταλλο. Χρησιμοποιούνται διάφορα ημιαγωγικά υλικά στα φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία.

Κάθε φωτοβολταϊκό πάνελ αποτελείται από φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία, συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα. Αυτός ο διασυνδεδεμένος σχηματισμός επιτρέπει τη συλλογή και τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από κάθε φωτονική απορρόφηση. Επιπροσθέτως, σημαντικό ρόλο παίζει το υλικό του φωτοβολταϊκού δομοστοιχείου. Υπάρχουν πολλά είδη δομοστοιχείων, όπως πυριτίου (μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά), thin-film, οργανικά, quantum dot, πολυστρωματικά και κ.α.

2.2.2 Φωτοβολταϊκά Δομοστοιχεία Πυριτίου

Το πυρίτιο είναι, μακράν, το πιο κοινό ημιαγωγικό υλικό που χρησιμοποιείται σε φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 95% των δομοστοιχείων που πωλούνται σήμερα. Είναι επίσης το δεύτερο πιο διαδεδομένο υλικό στη Γη (μετά το οξυγόνο) και το πιο συνηθισμένο ημιαγωγικό υλικό που χρησιμοποιείται σε τσιπ υπολογιστών.

Τα φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία που κατασκευάζονται από πυρίτιο παρέχουν αυτήν τη στιγμή μια συνδυασμένη υψηλή αποδοτικότητα, χαμηλό κόστος και μακρά

διάρκεια ζωής. Ακόμη, τέτοιου είδους δομοστοιχεία αναμένεται να έχουν διάρκεια ζωής τα 25 χρόνια ή περισσότερο, παράγοντας ακόμη περισσότερο από το 80% της αρχικής τους ισχύος μετά από αυτήν την περίοδο.

2.2.3 Δομοστοιχεία με Thin-Film

Ένα δομοστοιχείο τύπου thin-fil αποτελείται από λεπτά στρώματα PV υλικού επάνω σε υποστηρικτικό υλικό όπως γυαλί, πλαστικό ή μέταλλο. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ημιαγωγών thin-film PV στην αγορά σήμερα: Cadmium Telluride (CdTe) και Copper Indium Gallium Diselenide (CIGS). Και τα δύο υλικά μπορούν να κατατεθούν απευθείας είτε στην εμπρός είτε στην πίσω επιφάνεια του φωτοβολταϊκού δομοστοιχείου. Το CdTe, δεύτερο σε χρήση μετά το πυρίτιο, είναι μια πιο οικονομική επιλογή αν και με χαμηλότερη απόδοση από το πυρίτιο. Τα δομοστοιχεία CIGS έχουν υψηλή απόδοση στο εργαστήριο, αλλά η παραγωγή τους είναι πολύ πιο δύσκολη. Και τα δύο απαιτούν πολύ περισσότερη προστασία από το πυρίτιο για μακροχρόνια λειτουργία. Τύπου thin-film είναι και τα δομοστοιχεία Perovskite. Τα δομοστοιχεία αυτά έχουν προηγμένη απόδοση στο εργαστήριο, αλλά δυστυχώς σε σχέση με άλλα είδη δομοστοιχείων έχουν πολύ χαμηλότερη διάρκεια ζωής.

2.2.4 Οργανικά Φωτοβολταϊκά Δομοστοιχεία (OPV)

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά, ή OPV, δομοστοιχεία αποτελούνται από πλούσιες σε άνθρακα (οργανικές) ενώσεις και μπορούν να προσαρμοστούν για να βελτιωθεί μια συγκεκριμένη λειτουργία του φωτοβολταϊκού δομοστοιχείου, όπως η ζώνη ενέργειας, η διαφάνεια ή το χρώμα. Τα δομοστοιχεία OPV αυτή τη στιγμή είναι περίπου το μισό τόσο αποδοτικά όσο τα δομοστοιχεία κρυσταλλικής πυριτίου και έχουν μικρότερο χρόνο ζωής λειτουργίας, αλλά μπορεί να είναι λιγότερο δαπανηρά για την κατασκευή τους σε μεγάλες ποσότητες.

2.2.5 Δομοστοιχεία Τύπου Quantum Dots

Τα φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία τύπου quantum dots διευθύνουν το ηλεκτρικό ρεύμα μέσω μικρών σωματιδίων από διάφορα ημιαγωγικά υλικά, μεγέθους λίγων νανομέτρων, που ονομάζονται Quantum Dots. Ωστόσο, καθώς είναι δύσκολο να δημιουργηθεί μια ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους, αυτή τη στιγμή δεν είναι πολύ αποδοτικά, παρόλο που είναι εύκολο να δημιουργηθούν. Κάτι ακόμη σημαντικό είναι πως τα φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία τύπου quantum dots έχουν διάφορα μεγέθη και η ζώνη ενέργειάς τους είναι προσαρμόσιμη, επιτρέποντάς τους να συλλέγουν φωτόνια, των οποίων οι συχνότητες είναι σε πιο διευρυμένο φάσμα από πολλά άλλα είδη φωτοβολταϊκών δομοστοιχείων.

2.2.6 Πολυστρωματικά Δομοστοιχεία

Μια άλλη στρατηγική για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών δομοστοιχείων είναι η στρώση πολλών ημιαγωγών για την κατασκευή πολυεπίπεδων ηλιακών δομοστοιχείων. Αυτά τα δομοστοιχεία αποτελούνται ουσιαστικά από πολλά επίπεδα διαφορετικών ημιαγωγικών υλικών, αντί για τα μονοεπίπεδα δομοστοιχεία που έχουν μόνο ένα ημιαγωγικό υλικό. Κάθε στρώμα έχει διαφορετική ζώνη ενέργειας

και έτσι απορροφά διαφορετικό μέρος του ηλιακού φάσματος, εκμεταλλευόμενο καλύτερα το ηλιακό φως από τα μονοεπίπεδα δομοστοιχεία. Τα πολυεπίπεδα φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία μπορούν να επιτύχουν ρεκόρ επίπεδα αποδοτικότητας, διότι το φως που δεν απορροφάται από το πρώτο στρώμα ημιαγωγού αιχμαλωτίζεται από ένα στρώμα κάτω από αυτό.

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού δομοστοιχείου απλά αναφέρεται στην ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που εξάγεται από το δομοστοιχείο σε σύγκριση με την ηλιακή ενέργεια των φωτονίων που προσκρούουν σε αυτό. Αυτή η σύγκριση υποδεικνύει πόσο αποτελεσματικό είναι το δομοστοιχείο στο να καταφέρει να κάνει αυτή την ενεργειακή αλλαγή. Μια σημαντική ιδιότητα των ημιαγωγών φωτοβολταϊκών υλικών είναι η "ζώνη ενέργειας", η οποία υποδεικνύει ποια μήκη κύματος του φωτός το υλικό μπορεί να απορροφήσει και να μετατρέψει σε ηλεκτρική ενέργεια.

2.2.7 Αναστροφέας (Inverter)

Ο αναστροφέας αποτελεί κρίσιμο εξάρτημα σε κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα, με την αρμοδιότητα να μετατρέπει τη συγκεντρωτική τάση και ρεύμα που παράγονται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) που είναι συμβατό με το δίκτυο τροφοδοσίας. Οι αναστροφείς εξασφαλίζουν τη μεγιστοποίηση της ενεργοποίησης του συστήματος, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Η τεχνολογία των αναστροφέων εξελίσσεται συνεχώς, με τη χρήση υψηλής συχνότητας PWM (Pulse Width Modulation) και την εφαρμογή σύνθετων αλγορίθμων ελέγχου, που οδηγούν σε υψηλότερη απόδοση και ακρίβεια. Επίσης, οι σύγχρονοι αναστροφείς ενσωματώνουν προηγμένες τεχνολογίες όπως οι MPPT (Maximum Power Point Tracking) αλγόριθμοι, που επιτρέπουν την εύρεση του σημείου λειτουργίας με τη μέγιστη απόδοση για τα φωτοβολταϊκά πάνελ, αυξάνοντας την παραγωγή ενέργειας.

Επιπλέον, οι αναστροφείς διαθέτουν προηγμένα συστήματα προστασίας, συμπεριλαμβανομένων των προστασιών υπερφόρτωσης, υποφόρτωσης, βραχυκυκλώματος και αντίστροφης πολικότητας, εξασφαλίζοντας τη μακροζωία του συστήματος.

Συνοψίζοντας, ο αναστροφέας αποτελεί ζωτικό συστατικό σε κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα, επιτρέποντας την αποτελεσματική μετατροπή της παραγόμενης ενέργειας σε μορφή χρήσιμη για το δίκτυο. Οι συνεχείς καινοτομίες στην τεχνολογία των αναστροφέων ανοίγουν νέους δρόμους για την ανάπτυξη της αποδοτικότερης εκμετάλλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων.

2.2.8 Συσσωρευτής (Μπαταρία)

Λόγω των διακυμάνσεων στην ένταση της ακτινοβολίας, υπάρχει ανάγκη αποθήκευσης της ενέργειας. Ο ρόλος των συσσωρευτών είναι να λύσουν αυτόν το πρόβλημα. Οι βασικές λειτουργίες των συσσωρευτών στα Φ/Β συστήματα είναι η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β και η παροχή στα ηλεκτρικά φορτία κατά την ανάγκη, η παροχή σταθερής ισχύος στα ηλεκτρικά φορτία, διορθώνοντας πιθανές ανωμαλίες του Φ/Β συστήματος, καθώς και η παροχή υπερτασικού ρεύματος ή ρεύματος αιχμής σε ηλεκτρικά φορτία ή συσκευές. Ένα σύστημα που χρησιμοποιεί μπαταρία εμφανίζεται στην εικόνα (2.4).

Συνήθως, χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικοί τύποι μπαταρίας. Οι μπαταρίες Μολύβδου-Οξειδίου (Lead-acid ή Pb) και οι μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (Ni-Cd). Για αυτόνομα Φ/Β συστήματα, προτιμώνται μπαταρίες που αντέχουν βαθιά εκφόρτιση χωρίς να μειώνεται η χωρητικότητά τους ή η διάρκεια ζωής τους. Ειδικά σε περιπτώσεις που η διαθεσιμότητα ηλιακής ενέργειας μπορεί να ποικίλει, είναι απαραίτητες μπαταρίες μεγάλης χωρητικότητας και ανθεκτικές σε βαθιά εκφόρτιση, που να προσφέρουν καλή αναλογία ανάμεσα σε κόστος και διάρκεια ζωής.

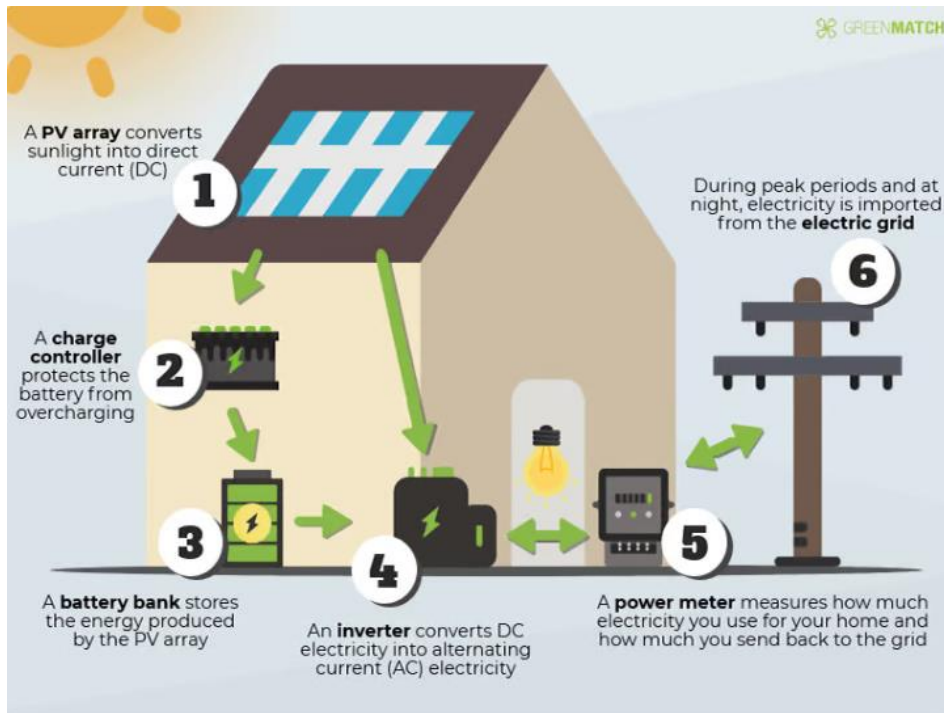
Η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι η αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια, εξαρτώμενη από παράγοντες όπως πυκνότητα ηλεκτρολύτη και σχεδιασμός πλακών. Ο ρυθμός εκφόρτισης, το βάθος εκφόρτισης και η θερμοκρασία επηρεάζουν την χωρητικότητα. Μετρείται σε αμπερώρια (Ah) και αναφέρεται σε C10, C20 και C100 για διαφορετικούς ρυθμούς εκφόρτισης.

Το βάθος εκφόρτισης (DOD) είναι το ποσοστό της χωρητικότητας που μπορεί να αποδοθεί από τη μπαταρία, συνήθως 15% έως 80%. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την διατήρηση αυτονομίας. Η αυτό-εκφόρτιση είναι η αυθόρμητη μείωση του SOC, και ο ρυθμός αυτού είναι σημαντικός για τη μακροζωία της μπαταρίας.

Η φόρτιση είναι η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στη μπαταρία, ενώ η έκλυση αερίων είναι αναπόφευκτη και επηρεάζεται από το ρεύμα φόρτισης και τη θερμοκρασία. Ο ρυθμός φόρτισης επηρεάζει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, ενώ η θερμοκρασία επηρεάζει τη χωρητικότητα και την τάση εκλύσεως αερίων.

Οι μέθοδοι φόρτισης διαφέρουν ανάλογα την εφαρμογή, αλλά δεν περιορίζουν το ρεύμα φόρτισης, εκτός αν υπερβεί την τάση αερίων. Η έκλυση αερίων συμβαίνει κατά τη φόρτιση και μετά την υπέρβαση της τάσης αερίων. Η θερμοκρασία επηρεάζει τη χωρητικότητα και την τάση αερίων. Ο χρόνος διάρκειας ζωής εξαρτάται από το βάθος εκφόρτισης.

Επιλέγοντας μπαταρίες, πρέπει να λάβουμε υπόψη δύο κρίσιμα στοιχεία. Πρώτον, τον κατάλληλο τύπο μπαταρίας, ο οποίος εξαρτάται από τη χρήση, το μέγεθος του συστήματος και την ασφάλεια τροφοδοσίας. Δεύτερον, την καθορισμένη αποθηκευτική χωρητικότητα και τάση. Η χωρητικότητα εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ανάγκες, το βάθος εκφόρτισης και το πλάνο φόρτισης. Η τελική τάση εκφόρτισης συνήθως ορίζεται από τον κατασκευαστή σε 1.8 V/κυψέλη, αντιστοιχώντας σε 10.8 V για μπαταρία 12 V με ρεύμα εκφόρτισης 10%.



Εικόνα 2.4: Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με αποθήκευση σε μπαταρία [6]

2.2.9 Ρυθμιστής Φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης διασφαλίζει τη μέγιστη φόρτιση των μπαταριών, προφυλάσσοντάς τες από υπερφόρτιση και βαθιά εκφόρτιση. Αποτελείται από ηλεκτρονικά στοιχεία, όπως προστασίες και διακόπτες, και πρέπει να επιλέγεται με προσοχή όταν είναι απαραίτητος ο περιορισμός του κόστους. Οι βασικές λειτουργίες περιλαμβάνουν προστασία από υπερφόρτιση και βαθιά εκφόρτιση, καθώς και έλεγχο της διαδικασίας φόρτισης. Ο περιορισμός του ρεύματος φόρτισης επιτυγχάνεται μέσω ρυθμιστή δύο σημείων ή μέσω ρυθμιστή με διαμόρφωση του εύρους παλμού (PWM).

Στον εν σειρά ρυθμιστή φόρτισης, υπάρχει ένας διακόπτης που συνδέεται σε σειρά ανάμεσα στην Φ/Β γεννήτρια και την μπαταρία. Αυτοί οι ρυθμιστές είναι συνήθως απλοί στην κατασκευή τους και οικονομικοί. Για να περιοριστεί το ρεύμα φόρτισης, ο ρυθμιστής προσαρμόζει την αντίσταση του τρανζίστορ ανάλογα με την τάση των μπαταριών. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ρελέ ως ηλεκτρομηχανικοί διακόπτες.

Στον παράλληλο ρυθμιστή φόρτισης, ένας διακόπτης συνδέεται παράλληλα με την Φ/Β γεννήτρια και διακόπτει την τροφοδοσία όταν η μπαταρία φορτίζεται. Αυτό εξασφαλίζει ότι η μπαταρία δεν υπερφορτίζεται. Κατά την πλήρη φόρτιση, ο διακόπτης κλείνει, προκαλώντας βραχυκύκλωμα στην Φ/Β γεννήτρια. Έτσι, η μπαταρία δεν δέχεται περαιτέρω φόρτιση. Ακόμη, η μπαταρία προστατεύεται, καθώς το ρεύμα του ανοικτού κυκλώματος της Φ/Β γεννήτριας είναι ελαφρώς υψηλότερο στο σημείο ισχύος αιχμής, χωρίς να προκαλεί ζημιά.

2.2.10 Ηλεκτρολογικοί Πίνακες

Οι ηλεκτρολογικοί πίνακες ενός φωτοβολταϊκού συστήματος αποτελούνται από μικρο-αυτόματους διακόπτες, απαγωγείς υπερτάσεων, διακόπτες φορτίων D.C. και A.C. διακόπτες διαρροής, καθώς και μετρητές.

Οι μικρό-αυτόματοι διακόπτες για κυκλώματα DC αποτελούν απαραίτητο εξοπλισμό για την προστασία του ηλεκτρικού συστήματος από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα. Μπορούν να ανταποκριθούν σε απαιτήσεις έως 1.000 VDC. Οι αυτόματοι διακόπτες με ηλεκτρονικές μονάδες προστασίας προσφέρουν κάλυψη από 800 A έως 5.000 A.

Οι απαγωγείς υπερτάσεων DC προστατεύουν τον εξοπλισμό από παροδικές υπερτάσεις και περιορίζουν την υπέρταση σε αποδεκτά επίπεδα. Διατίθενται για τάσεις έως 600 VDC, για ρεύμα έως 25 A και για τάσεις 1.000 VDC για ρεύμα >25 A.

Οι διακόπτες φορτίου DC απομονώνουν το κύκλωμα υπό πλήρες φορτίο και συνήθως καλύπτουν εύρος από 32 A έως 1.600 A σε ονομαστική τάση έως 1.100 VDC. Από την άλλη, οι διακόπτες AC εξασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Έχουν ονομαστικές εντάσεις από 16 A έως 3.200 A.

Οι διακόπτες διαρροής προστατεύουν από ηλεκτροπληξία και πυρκαγιά, ανιχνεύοντας διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος προς τη γη. Επιπλέον, επιτρέπουν την αποτελεσματική σύνδεση του συστήματος με το δίκτυο.

Οι μετρητές καταγράφουν την παραγόμενη ενέργεια από το ηλιακό σύστημα, διασφαλίζοντας αξιόπιστη μέτρηση και επικοινωνία δεδομένων. Οι μετρητές αυτοί είναι συμβατοί με δίκτυα 1, 2 ή 3 φάσεων.

2.2.11 Καλώδια

Κατά την ανάπτυξη των τεχνολογιών Φωτοβολταϊκών (Φ/Β), δημιουργήθηκαν διάφορα συστήματα συνδεσμολογίας. Τα καλώδια χωρίζονται σε κατηγορίες όπως καλώδια Φ/Β πλαισίων, καλώδια Φ/Β στοιχειοσειράς, καλώδια πλευράς ΣΡ (DC) και πλευράς ΕΡ (AC).

Αξιοσημείωτο είναι πως οι συνδέσεις είναι εκτεθειμένες σε καιρικές συνθήκες και πρέπει να παρέχουν αξιοπιστία για τουλάχιστον 20 έτη. Έτσι, τα υλικά συνδεσμολογίας Φ/Β θα πρέπει να είναι εγκεκριμένα για ρεύματα 15 – 40 A και τάση έως 1800 V, με αναμενόμενες εξόδους ισχύος 30 – 80 kW. Η αντίσταση επαφής για τους αγωγούς συνήθως κυμαίνεται από 0.1- 0.3 mΩ, προκαλώντας απώλειες ισχύος 80 – 240 mW στα 20 A.

2.2.12 Βάσεις Στήριξης Φ/Β Πλαισίων

Οι υποδομές των Φ/Β συστημάτων υφίστανται φορτία λόγω των τοπικών ανεμών και του χιονιού, όπως καθορίζονται από το πρότυπο 'DIN 1055'. Το πρότυπο αυτό παρέχει χάρτη που κατηγοριοποιεί αυτές τις ζώνες. Από το 2007, οι τοπικές ζώνες έχουν αντικαταστήσει τις παγκόσμιες.

Συνεπώς, οι εγκαταστάτες πρέπει να επιλέγουν βάσεις στήριξης σύμφωνα με τις ανάγκες των πιέσεων που προκαλούνται από τον αέρα και το χιόνι. Η βιομηχανία παρέχει αντίστοιχα υλικά με πληροφορίες και πιστοποιημένα υλικά από την TÜV.

Για τον υπολογισμό των πιέσεων και φορτίων, οι εταιρίες παραγωγής βάσεων προσφέρουν προγράμματα υπολογισμού. Επίσης, οι εγκαταστάτες πρέπει να

αφαιρούν το χιόνι για να προστατεύσουν το σύστημα σε περιοχές με υψηλή χιονόπτωση.

Ενώ το βάρος των υλικών είναι συνήθως αμελητέο, η εγκατάσταση πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη γραμμική θερμική διαστολή των καλωδίων, καθώς οι θερμοκρασίες μπορεί να ποικίλουν. Ακόμη, οι δυνάμεις αναρρόφησης από τον αέρα είναι ισχυρότερες στις άκρες της οροφής, και οι συνδέσεις πρέπει να είναι αξιόπιστες.

Τέλος στην περίπτωση περιοχών με χιονόπτωση, η μέθοδος τοποθέτησης πρέπει να προσαρμόζεται σύμφωνα με τις πιέσεις από τους άνεμους και το χιόνι. Οι γάντζοι οροφής πρέπει να είναι αξιόπιστοι και ενισχυμένοι.

2.3 Απώλειες Ισχύος στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

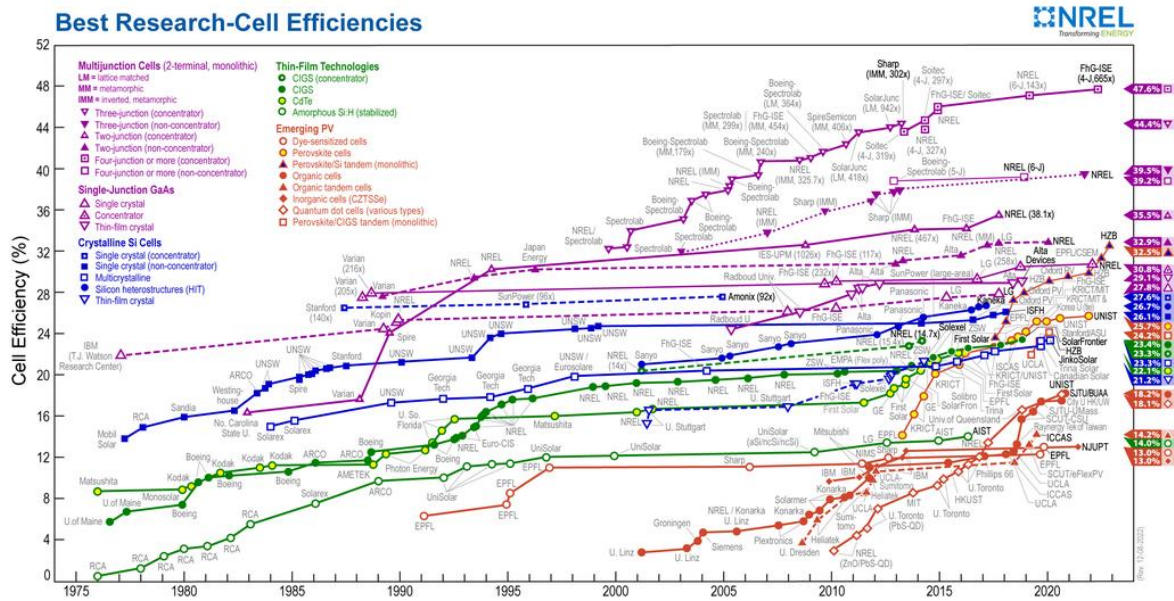
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο και ευρέως διαδεδομένο σύστημα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, κατά τη μετατροπή αυτή, υπάρχουν απώλειες που συμβαίνουν σε διάφορα στάδια της διαδικασίας.

Οι απώλειες αυτές μπορούν να συμβαίνουν σε διάφορα σημεία της διαδικασίας. Το πρώτο επίπεδο απώλειας σχετίζεται με την απορρόφηση και τη διάχυση του ηλιακού φωτός στα υλικά του φωτοβολταϊκού δομοστοιχείου. Καθώς το φως διασχίζει την επιφάνεια και αλληλεπιδρά με τα ημιαγωγικά υλικά, μέρος της ενέργειας απορροφάται ή ανακλάται, και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες ενέργειας πριν από τη μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Σημαντική συνεισφορά στις απώλειες παρέχει ο αναστροφέας, που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά σε σταθερό ρεύμα (DC) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σπίτι ή να ενσωματωθεί στο δίκτυο. Κατά τη διαδικασία αυτή, υπάρχουν απώλειες λόγω της διαφοράς τάσης, των απωλειών στη μετατροπή και της απώλειας ισχύος κατά την αλλαγή του τύπου ρεύματος.

Επιπλέον, απώλειες μπορούν να προκύψουν από τα υπόλοιπα εξαρτήματα του συστήματος, όπως μπαταρίες και ρυθμιστές φόρτισης, καθώς και από τις απώλειες στο καλώδιο μεταφοράς ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, οι μπαταρίες υπόκεινται σε διάφορες μορφές απωλειών ενέργειας, όπως απώλειες θερμότητας κατά την φόρτιση και την εκφόρτιση, ενεργειακές απώλειες λόγω της εσωτερικής αντίστασης του κυκλώματος και απώλειες στη μεταφορά της ενέργειας. Επίσης, η διάβρωση και η αποδόμηση των υλικών στον χρόνο μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση της απόδοσης.

Πέραν από τις τεχνικές απώλειες, οι συνθήκες περιβάλλοντος όπως η θερμοκρασία, η σκιά, και η σκόνη μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ωστόσο, αξιοσημείωτη είναι η τεχνολογική εξέλιξη και η επιστημονική πρόοδος που γίνεται για την βελτιστοποίηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων με την πάροδο του χρόνου, όπως φαίνεται και στην εικόνα (2.5).



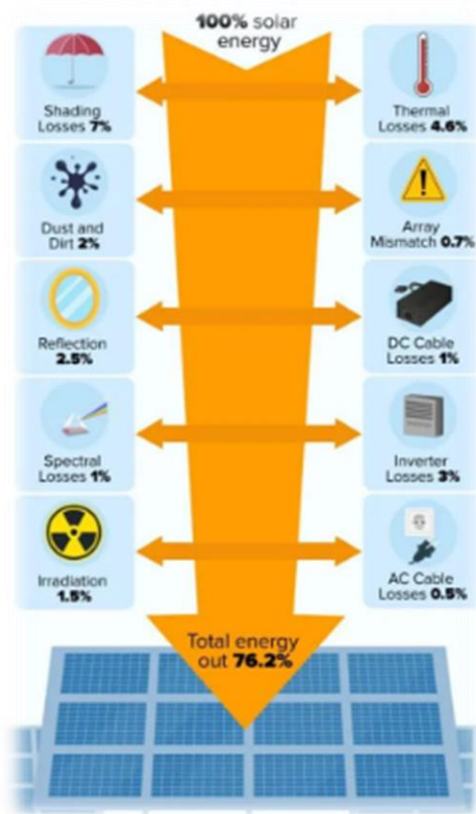
Εικόνα 2.5: Διάφορες αποδόσεις φωτοβολταϊκών δομοστοιχείων ανάλογα με το είδος τους με την πάροδο των ετών [7]

Συνολικά, η αντιμετώπιση των απωλειών και η βελτίωση της απόδοσης αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την αποτελεσματική λειτουργία των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Τέλος, σημαντικό ρόλο στα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων, πλέον, παίζει η μείωση του κόστους τους σε σχέση με την τεχνολογική τους εξέλιξη, κάνοντάς τα ένα από τους θεμελιώδεις τρόπους εκμετάλλευσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.).

3. Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΙ ΕΠΗΡΕΑΖΕΤΑΙ

3.1 Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε, όλα τα εξαρτήματα που απαρτίζουν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα υφίστανται απώλειες κατά την λειτουργία τους όπως φαίνεται και στην εικόνα (3.1), επηρεάζοντας την συνολική απόδοση του συστήματος. Παρακάτω, θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά στις διάφορες πηγές απωλειών που παρουσιάζονται στα εξαρτήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και επηρεάζουν σημαντικά την επιμέρους απόδοση αυτών, αλλά και συνολική απόδοσή τους.



Εικόνα 3.1: Είδη απωλειών ενός Φ/Β Συστήματος [8]

3.1.1 Απόδοση Φωτοβολταϊκού Πάνελ

Η απόδοση μετατροπής ενός φωτοβολταϊκού (PV) δομοστοιχείου, είναι το ποσοστό της ισχύος των φωτονίων που προσκρούουν στο δομοστοιχείο η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύς. Η βελτίωση αυτής της απόδοσης αποτελεί έναν βασικό στόχο ερευνών και βοηθά στο να καθιστά τις τεχνολογίες PV ανταγωνιστικές σε κόστος με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ, συχνά υπολογίζεται με τη χρήση της παρακάτω σχέσης (3.1):

$$\eta = \frac{P_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}}}{P_{\text{ΗΛΙΑΚΗ}}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Πράγματι, η πλειονότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Πολλοί παράγοντες στον σχεδιασμό των ηλιακών δομοστοιχείων διαδραματίζουν ρόλο στον περιορισμό της ικανότητας ενός δομοστοιχείου να μετατρέπει το φως που λαμβάνει σε ηλεκτρισμό.

Το φως αποτελείται από φωτόνια - ή πακέτα ενέργειας - που έχουν μια ευρεία ποικιλία μήκους κύματος και ενέργειας. Το ηλιακό φως που φτάνει στην επιφάνεια της γης έχει μήκη κύματος από υπεριώδη, μέσα στο ορατό φάσμα, μέχρι υπέρυθρα. Όταν το φως χτυπά την επιφάνεια ενός φωτοβολταϊκού δομοστοιχείου, κάποια φωτόνια ανακλώνται, ενώ άλλα περνούν απευθείας. Μερικά από τα απορροφημένα φωτόνια μετατρέπονται σε θερμότητα. Τα υπόλοιπα έχουν τη σωστή ποσότητα ενέργειας για να διαχωρίσουν τα ηλεκτρόνια από τα ατομικά τους δεσμά για την παραγωγή φορέων φορτίου και ηλεκτρικού ρεύματος.

Ένας ακόμη λόγος απωλειών και μείωσης στην απόδοση είναι το ευρέως γνωστό "Photovoltaic Recombination", κατά το οποίο η μετατροπή της ενέργειας των φωτονίων σε ηλεκτρισμό λειτουργεί αντιστρόφως, δηλαδή εκπέμπεται ένα φωτόνιο ή άλλου είδους ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, μετά από επιστροφή του ηλεκτρονίου πίσω στο πάνελ. Αποτελεί έναν από τους θεμελιώδεις παράγοντες που περιορίζουν την απόδοση. Επιπλέον, το "Indirect Recombination" είναι μια διαδικασία κατά την οποία τα ηλεκτρόνια συναντούν έναν ρύπο, ένα ελάττωμα στην κρυσταλλική δομή ή μια διασύνδεση που καθιστά πιο εύκολο για αυτά να συνδυαστούν και να απελευθερώσουν την ενέργειά τους ως θερμότητα, μειώνοντας κι άλλο τον βαθμό απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πάνελ.

Τα φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία λειτουργούν γενικά καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες προκαλούν μετατόπιση στις ημιαγωγικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα μια μικρή αύξηση στο ρεύμα, αλλά μια πολύ μεγαλύτερη μείωση στην τάση. Η έντονη αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί επίσης να προκαλέσει βλάβη στο δομοστοιχείο και σε άλλα υλικά του πάνελ, με αποτέλεσμα μειωμένη διάρκεια ζωής λειτουργίας. Δεδομένου ότι μεγάλο μέρος του φωτός που πέφτει πάνω στα δομοστοιχεία μετατρέπεται σε θερμότητα, η σωστή διαχείριση της θερμότητας βελτιώνει τόσο την απόδοση όσο και τη διάρκεια ζωής.

Επιπλέον, η απόδοση ενός δομοστοιχείου μπορεί να μειωθεί ανάλογα με τη μείωση της ανάκλασης του φωτός στην επιφάνεια του δομοστοιχείου. Για παράδειγμα, το ατύπωτο πυρίτιο αντανακλά πάνω από 30% του φωτός που πέφτει πάνω του. Επικαλυπτικά υλικά κατά των ανακλάσεων και υφές επιφάνειας βοηθούν στη μείωση των ανακλάσεων. Συνήθως, ένα υψηλής απόδοσης δομοστοιχείο θα φαίνεται σκούρο μπλε ή μαύρο.

3.1.2 Απόδοση Αναστροφέα (Inverter)

Οι αναστροφείς που ενσωματώνουν μετασχηματιστές στην κυκλωματική τους διάταξη παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια όσον αφορά την ηλεκτρική λειτουργία. Ωστόσο, παρουσιάζουν χαμηλότερη απόδοση σε σχέση με αναστροφείς που δεν περιλαμβάνουν μετασχηματιστές. Ο βαθμός απόδοσης των αναστροφέων χωρίς μετασχηματιστές μπορεί να φτάσει ακόμα και το 98% στην περίπτωση των μεγάλων αναστροφέων.

Ο βαθμός απόδοσης στα συστήματα μετατροπής ενέργειας, όπως στην περίπτωση των αναστροφέων που μετατρέπουν τα ηλεκτρικά μεγέθη των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε κατάλληλη μορφή για την τροφοδότηση του εναλλασσόμενου ηλεκτρικού δικτύου, ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που παράγεται στην έξοδο σε σχέση με την ενέργεια που παρέχεται στην είσοδο ή της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου, όπως φαίνεται στην σχέση (3.2). Συνεπώς, ο βαθμός απόδοσης ενός μετασχηματιστή προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$\eta = \frac{W_{ΕΞΟΔΟΥ}}{W_{ΕΙΣΟΔΟΥ}} \quad \text{ή} \quad \eta = \frac{P_{ΕΞΟΔΟΥ}}{P_{ΕΙΣΟΔΟΥ}} \quad (3.2)$$

Αλλιώς ο ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο (3.3):

$$\eta_{euro} = 0,03 \times \eta_{5\%} + 0,06 \times \eta_{10\%} + 0,13 \times \eta_{20\%} + 0,10 \times \eta_{30\%} + 0,48 \times \eta_{50\%} + 0,2 * \eta_{100\%} \quad (3.3)$$

Οι εταιρείες κατασκευής υπολογίζουν τον μέγιστο βαθμό απόδοσης των αναστροφέων, συμβολιζόμενο ως η_{max} , βάσει της παραπάνω εξίσωσης. Ωστόσο, ο μέγιστος βαθμός απόδοσης αποτελεί μια τιμή που επιτυγχάνεται υπό εργαστηριακές συνθήκες, για συγκεκριμένες τιμές τάσης εισόδου, κατά την λειτουργία υπό ονομαστικό φορτίο και για θερμοκρασία λειτουργίας 25°C.

Στην πραγματικότητα, οι αναστροφείς λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα φορτίου, από συνθήκες μερικής φόρτισης έως υπερφόρτιση. Ως αποτέλεσμα, ο βαθμός απόδοσης δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται από μια ελάχιστη έως μια μέγιστη τιμή, η οποία μπορεί να υπερβαίνει ακόμα και το 98%. Επιπλέον, ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται σημαντικά από την κυκλωματική διάταξη του αναστροφέα.

Για την ακριβέστερη προσέγγιση του βαθμού απόδοσης κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, συνήθως, χρησιμοποιείται ο Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης (βάσει του τύπου (3.3), η_{eu}). Το ανωτέρω υπογραμμίζει ότι η αξιολόγηση ενός αναστροφέα βάσει της τιμής του η_{eu} συνιστά πιο ακριβή προσέγγιση, καθώς αντικατοπτρίζει τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και παρέχει λιγότερες αποκρύψεις πληροφοριών. Επιπλέον, όπως περιγράφεται και τον τύπο από πάνω, ο ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης υπολογίζεται με βάση το άθροισμα των επιμέρους βαθμών απόδοσης του αναστροφέα, λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές βαρύτητας.

3.1.3 Απόδοση Συσσωρευτή (Μπαταρίας)

Ο παράγοντας που περιγράφει τη φόρτιση μιας μπαταρίας μετριέται σε Αμπερώρια (Ah), γνωστός ως συντελεστής φόρτισης. Η απόδοση της φόρτισης αναφέρεται στην αναλογία μεταξύ του εισερχόμενου και εξερχόμενου φορτίου,

μετρημένου σε βατώρες (Wh). Ο συντελεστής φόρτισης σε αμπερώρια Ah υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο (3.4):

$$\text{Συντελεστής Φόρτισης} = \frac{\text{Εισερχόμενη Ποσότητα Ah}}{\text{Εξερχόμενη Ποσότητα Ah}} \quad (3.4)$$

Για τις αξιόπιστες μπαταρίες, η απόδοσή τους κυμαίνεται συνήθως από 85% έως 95% σε αμπερώρια, και από 75% έως 85% σε βατώρες. Ακόμη, ο βαθμός απόδοσης της μπαταρίας υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο (3.5):

$$\text{Απόδοση} = \frac{\text{Εξερχόμενη Ενέργεια (Wh)}}{\text{Εισερχόμενη Ενέργεια (Wh)}} \quad (3.5)$$

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η απόδοση σε βατ-ώρες Wh είναι πάντα χαμηλότερη από τον συντελεστή φόρτισης σε αμπέρ-ώρες Ah, λόγω της διαφοράς στην τάση μεταξύ της φάσης της φόρτισης και της φάσης της εκφόρτισης.

3.1.4 Ρυθμιστής Φόρτισης

Οι ρυθμιστές φόρτισης μπαταριών με φωτοβολταϊκά γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς ως ένας βιώσιμος και αποδοτικός τρόπος να τροφοδοτούμε τις συσκευές μας. Ένας από τους κύριους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή ενός φορτιστή μπαταρίας με φωτοβολταϊκά είναι η αποτελεσματικότητα και η απόδοσή του. Η αποτελεσματικότητα ενός φορτιστή αναφέρεται στο πόσο αποτελεσματικά μπορεί να μετατραπεί το φως του ηλίου σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ η απόδοση αφορά το πόσο καλά μπορεί να φορτίσει μπαταρίες υπό διάφορες συνθήκες. Ένας φορτιστής υψηλής αποτελεσματικότητας θα εξασφαλίσει την αξιοποίηση του διαθέσιμου φωτός του ηλίου στο έπακρο, ενώ ένας φορτιστής με καλή απόδοση θα είναι σε θέση να φορτίσει γρήγορα και αποτελεσματικά τις μπαταρίες.

Πολλοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα των φορτιστών μπαταριών με φωτοβολταϊκά. Η κατανόηση αυτών των παραγόντων μπορεί να βοηθήσει τους χρήστες να βελτιστοποιήσουν τη διαδικασία φόρτισης και να μεγιστοποιήσουν τον μετασχηματισμό της ενέργειας.

Για παράδειγμα, η ταχύτητα φόρτισης, με την οποία ένας ρυθμιστής φόρτισης μπορεί να φορτίσει μια μπαταρία εξαρτάται από την ισχύ εξόδου του. Οι φορτιστές με υψηλή ισχύ εξόδου μπορούν να φορτίσουν μπαταρίες πιο γρήγορα, καθιστώντας τους πιο αποδοτικούς για χρήστες που χρειάζονται γρήγορη φόρτιση.

Για την ακρίβεια, ο τύπος που περιγράφει την αξιοπιστία ενός ρυθμιστή φόρτισης είναι αυτός που εμφανίζεται στη σχέση (3.6):

$$R = e^{-(\lambda_{12})t}, \quad (3.6)$$

όπου ο Ολικός Ρυθμός Σφαλμάτων ($\frac{\text{Σφάλματα}}{\text{Ωρες Λειτουργείας}}$) των εξαρτημάτων του ρυθμιστή

φόρτισης στον τύπο (3.5) είναι εκείνος που εμφανίζεται στη σχέση (3.7),

$$\lambda_{12} = \sum (\lambda_Q + \lambda_D + \lambda_L + \lambda_C), \quad (3.7)$$

Και όπου λ_Q , λ_D , λ_L , λ_C τα σφάλματα των M.O.S.F.E.T. (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), διόδων, πηνίων και πυκνωτών αντίστοιχα. Τα σφάλματα (λ) των εξαρτημάτων αυτών επηρεάζονται κυρίως από παράγοντες όπως είναι ο παράγοντας της θερμοκρασίας, ο παράγοντας της εφαρμογής, ο παράγοντας των περιβαλλοντικών συνθηκών, ο παράγοντας ποιότητας, ο παράγοντας ηλεκτρικής τάσης, κ.α.

Επιπλέον, η απόδοση υπό υψηλή τροφοδοσία δίνεται με την εφαρμογή του τύπου (3.8):

$$\eta_H (\%) = \frac{P_B + P_0}{P_B + P_0 + P_{\text{ΑΠΩΛ.-ΔΙΟΔΩΝ}} + P_{\text{ΑΠΩΛ.-Μ.Ο.Σ.Φ.Ε.Τ.}}}, \quad (3.8)$$

όπου P_B , P_0 , $P_{\text{ΑΠΩΛ.-ΔΙΟΔΩΝ}}$, $P_{\text{ΑΠΩΛ.-Μ.Ο.Σ.Φ.Ε.Τ.}}$, η ισχύς της μπαταρίας, η ισχύς εξόδου, οι απώλειες ισχύος των διόδων και οι απώλειες ισχύος των ημιαγωγών M.O.S.F.E.T., αντίστοιχα.

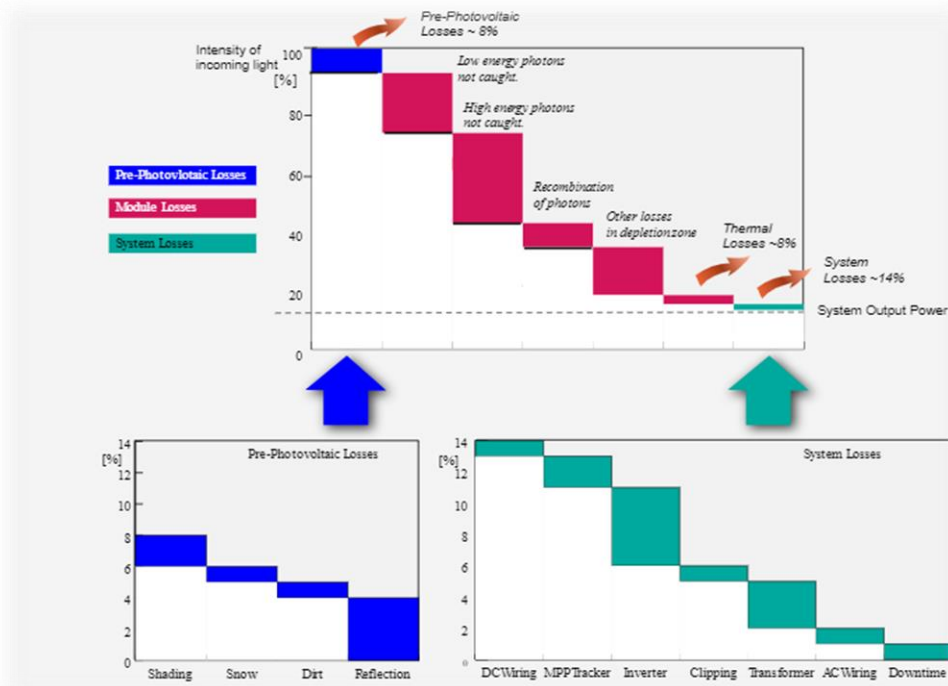
Ακόμη, όπως φαίνεται και παραπάνω, η ποσότητα του φωτός του ηλίου που είναι διαθέσιμη και οι συνθήκες περιβάλλοντος, όπως η θερμοκρασία και η σκίαση, μπορεί να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα των ρυθμιστών φόρτισης των φωτοβολταϊκών συστημάτων και άρα την συνολική απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

3.1.5 Ηλεκτρολογικός Πίνακας και Υπόλοιπος Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελείται από τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, ο οποίος και συμπεριλαμβάνεται στην εικόνα (3.2), περιλαμβανομένων των καλωδίων και του ηλεκτρολογικού πίνακα. Ο εν λόγω εξοπλισμός, παρόλο που σχεδιάζεται για υψηλή απόδοση, υφίσταται απώλειες κατά τη μεταφορά και τη διανομή της παραγόμενης ενέργειας.

Οι απώλειες στα καλώδια συνήθως συμβαίνουν λόγω της αντίστασης που παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό προκαλεί μια διαφορά τάσης, γνωστή ως "απώλεια τάσης", η οποία επηρεάζει την τελική ποσότητα ενέργειας που φθάνει στον προορισμό της χρήσης.

Επίσης, ο ηλεκτρολογικός πίνακας, όπου συνδέονται και διαχειρίζονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μπορεί να παρουσιάσει απώλειες λόγω της θερμοκρασίας. Καθώς και επειδή οι υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν την αντίσταση των υλικών, μπορεί να προκύψουν απώλειες ισχύος.



Εικόνα 3.2: Είδη απωλειών ενός φ/β συστήματος [9]

Συνεχίζοντας, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η θερμοκρασία παίζει έναν ζωτικό ρόλο σε όλα τα εξαρτήματα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία έχουν μειωμένη απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες, ομοίως και ο εξοπλισμός, όπως οι αναστροφείς και οι συσσωρευτές, μπορεί να απαιτήσει υψηλότερη ψύξη για να διατηρήσει την απόδοσή τους. Επιπλέον, ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός αποτελεί ζωτικό μέρος των φωτοβολταϊκών συστημάτων, αλλά υπόκειται σε απώλειες λόγω αντίστασης και θερμοκρασίας. Η αντιμετώπιση και η βελτίωση αυτών των παραγόντων είναι ζωτικής σημασίας για τη μέγιστη απόδοση του συστήματος.

3.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Όπως παρατηρήθηκε και πιο πάνω, η θερμοκρασία αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την απόδοση και την λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων και του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Καθένα από αυτά τα στοιχεία ανταποκρίνεται διαφορετικά στις αλλαγές της θερμοκρασίας.

3.2.1 Θερμοκρασία και Φωτοβολταϊκοί Συλλέκτες

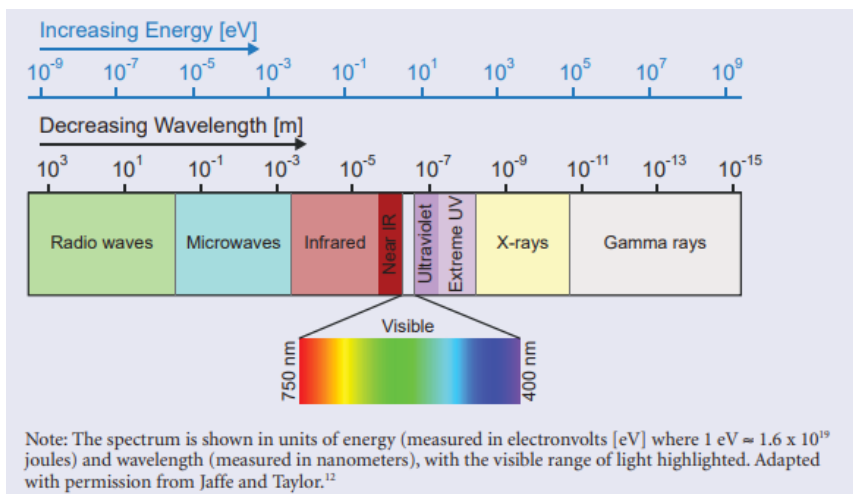
Όπως περιγράφεται και παραπάνω, όταν τα φωτόνια, τα οποία καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα μήκους κύματος και ενέργειας από υπεριώδες έως υπέρυθρο, προσκρούουν στην επιφάνεια ενός φωτοβολταϊκού δομοστοιχείου, κάποια από αυτά

ανακλώνται, ενώ άλλα διαπερνούν απευθείας. Η ενέργεια που φέρει ένα φωτόνιο υπολογίζεται από τον τύπο (3.9):

$$E = \frac{h \times c}{\lambda} = h \times \nu, \quad (3.9)$$

όπου, E η ενέργεια του φωτονίου η οποία φαίνεται και στην εικόνα (3.3), h είναι η σταθερά του Planck (ίση με περίπου $6,6 \times 10^{-34}$ joule-seconds), c η ταχύτητα του φωτός (ίση με περίπου $3,0 \times 10^8$ m/s) , λ το μήκος κύματος του φωτονίου και ν είναι η συχνότητα του φωτονίου.

Μερικά από τα απορροφημένα φωτόνια έχουν ακριβώς την απαραίτητη ενέργεια για να αποδεσμεύσουν τα ηλεκτρόνια από τις ατομικές τους δεσμεύσεις στο ημιαγωγικό υλικό ($1,1 \text{ eV} = 1,76 \times 10^{-19}$ Joule για το κρυσταλλικό πυρίτιο). Παρ' όλα αυτά, τμήμα των φωτονίων, επειδή δεν φέρουν αρκετή ενέργεια ή φέρουν παραπάνω από αυτή που χρειάζονται τα ηλεκτρόνια για να αποδεσμευτούν, μετατρέπονται σε θερμότητα.



Εικόνα 3.3: Ταξινόμηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ανάλογα με το μήκος κύματος και την ενέργεια που φέρει [10]

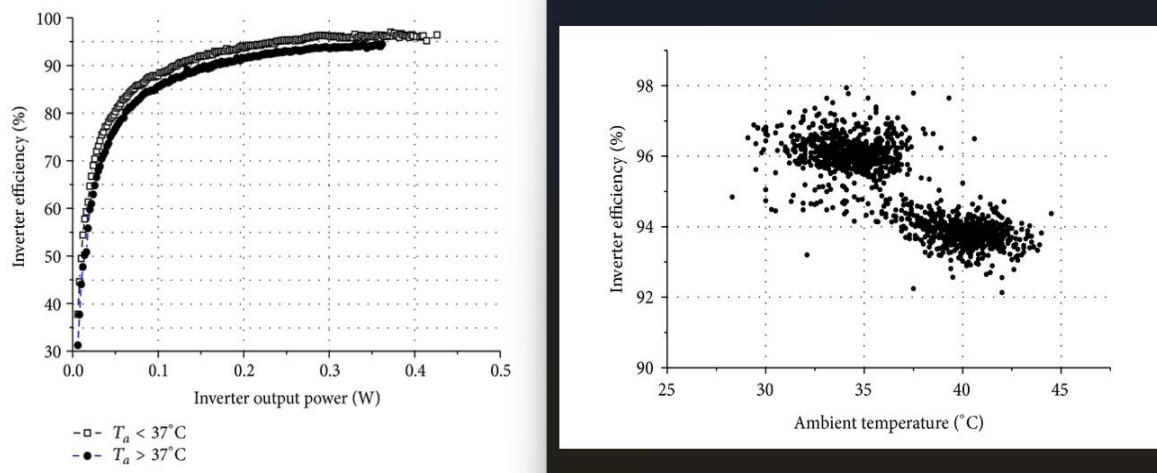
Αρχικά, με την θερμότητα που προκύπτει εξαιτίας του παραπάνω φαινομένου, αυξάνεται η θερμοκρασία και έτσι προκαλείται μεταβολή στις ημιαγωγικές ιδιότητες του φωτοβολταϊκού δομοστοιχείου, οδηγώντας σε μια μικρή αύξηση του ρεύματος, αλλά σε πολύ μεγαλύτερη πτώση της τάσης.

Ακόμη ένας λόγος αύξησης της θερμοκρασίας, είναι η ύπαρξη του φαινομένου “hotspot”, κατά το οποίο, η ανακατεύθυνση στη ροή του ρεύματος από τις φωτιζόμενες κυψέλες ενός φωτοβολταϊκού πάνελ, προς τις σκιασμένες, οι οποίες λειτουργούν ως αποδέκτες του φορτίου. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στην υπερθέρμανση των υπό σκιά κυψελών.

Η έντονη αύξηση της θερμοκρασίας ενδέχεται να προκαλέσει ζημιά στο δομοστοιχείο και σε άλλα υλικά του πάνελ, με αποτέλεσμα να μειωθεί η διάρκεια ζωής της λειτουργίας του. Δεδομένου ότι μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται μετατρέπεται σε θερμότητα, η αποτελεσματική διαχείριση της θερμότητας βελτιώνει τόσο την απόδοση όσο και τη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά δομοστοιχεία εμφανίζουν γενικά βελτιωμένη λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο για περιοχές που έχουν ικανοποιητικά επίπεδα ηλιοφάνειας και χαμηλές θερμοκρασίες.

3.2.2 Θερμοκρασία και Αναστροφείς

Η θερμοκρασία επηρεάζει την απόδοση των inverter, όπως φαίνεται και στην εικόνα (3.4), καθώς στις υψηλές θερμοκρασίες η απόδοση των αναστροφένων μειώνεται. Αυτό είναι κάτι λογικό να συμβαίνει αφού επηρεάζει τα περισσότερα ηλεκτρονικά εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται ο αναστροφέας. Εξ άλλου, η υψηλότερη δυνατή απόδοση των inverter αφορά πειραματικές συνθήκες, υπό συγκεκριμένες παραμέτρους όπως θερμοκρασία λειτουργίας 25°C και συγκεκριμένη τάση εισόδου υπό το ονομαστικό φορτίο.



Εικόνα 3.4: Απόδοση αναστροφέα συναρτήσει της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου [11]

3.2.3 Θερμοκρασία και Μπαταρίες

Γενικά, η θερμοκρασία επηρεάζει την απόδοση των μπαταριών, αφού σε συνθήκες λειτουργίας με υψηλές θερμοκρασίες, μπορούν να μειώσουν την αποδοτικότητα της φόρτισής τους. Ακόμη, στις υψηλές θερμοκρασίες, μπορεί να μειωθεί ο χρόνος ζωής τους και να δημιουργηθούν απώλειες υγρών ηλεκτρολυτών, των οποίων και δεν υπάρχει η δυνατότητα αναπλήρωσης.

Επιπλέον, η θερμοκρασία μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στη μεταβολή της χωρητικότητας της μπαταρίας. Για παράδειγμα, στις μπαταρίες μολύβδου, η υψηλότερη θερμοκρασία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποθηκευτικής τους ικανότητας, ενώ υπό χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρείται μείωση αυτής. Παρ' όλα αυτά, σε χαμηλές θερμοκρασίες, απαιτείται η λήψη μέτρων κατά τη φόρτιση, προκειμένου να αποφεύγεται η δυνητική εξάτμιση του ηλεκτρολύτη.

3.2.4 Θερμοκρασία και Ρυθμιστές Φόρτισης

Οι ρυθμιστές φόρτισης αποτελούν σημαντικό στοιχείο των διάφορων διατάξεων των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ελέγχοντας τη φόρτιση των μπαταριών. Όπως φάνηκε και προηγουμένως, οι τύποι (3.6) και (3.7) περιγράφουν την αξιοπιστία ενός ρυθμιστή φόρτισης. Ωστόσο, τα λ_Q , λ_D , λ_L , τα οποία εφαρμόζονται στον τύπο (3.7) προκύπτουν από τους εξής τύπους:

$$\lambda_Q = \lambda_b \times \pi_T \times \pi_A \times \pi_E \times \pi_Q \quad (3.10)$$

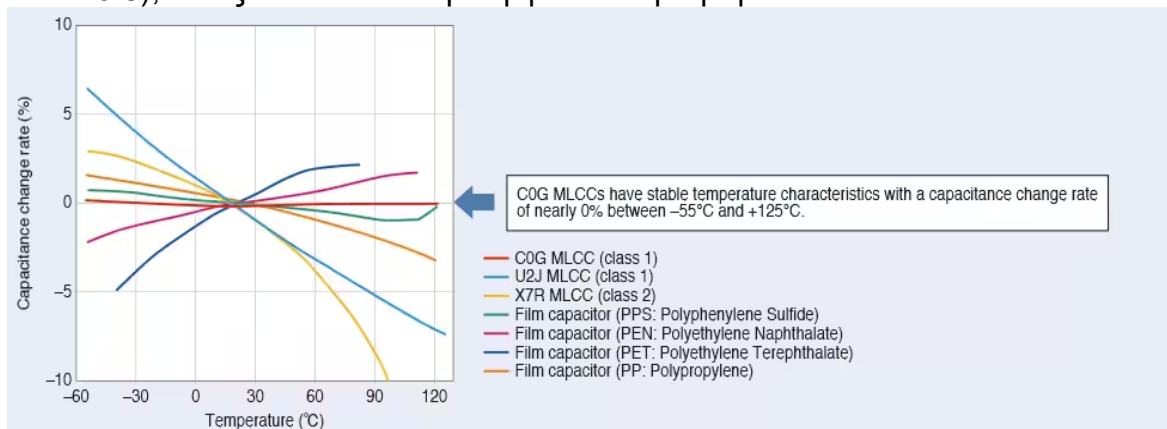
$$\lambda_D = \lambda_b \times \pi_T \times \pi_S \times \pi_E \times \pi_Q \times \pi_C \quad (3.11)$$

$$\lambda_L = \lambda_b \times \pi_T \times \pi_E \times \pi_Q \quad (3.12)$$

Όπου,

- λ_Q : Ο αριθμός των σφαλμάτων ανά 10^6 ώρες
- λ_b : Ο βασικός ρυθμός σφάλματος
- π_T : Ο συντελεστής θερμοκρασίας
- π_A : Ο συντελεστής εφαρμογής
- π_E : Ο συντελεστής περιβάλλοντος
- π_Q : Ο συντελεστής ποιότητας
- π_S : Ο συντελεστής καταπόνησης
- π_C : Ο συντελεστής κατασκευής των επαφών.

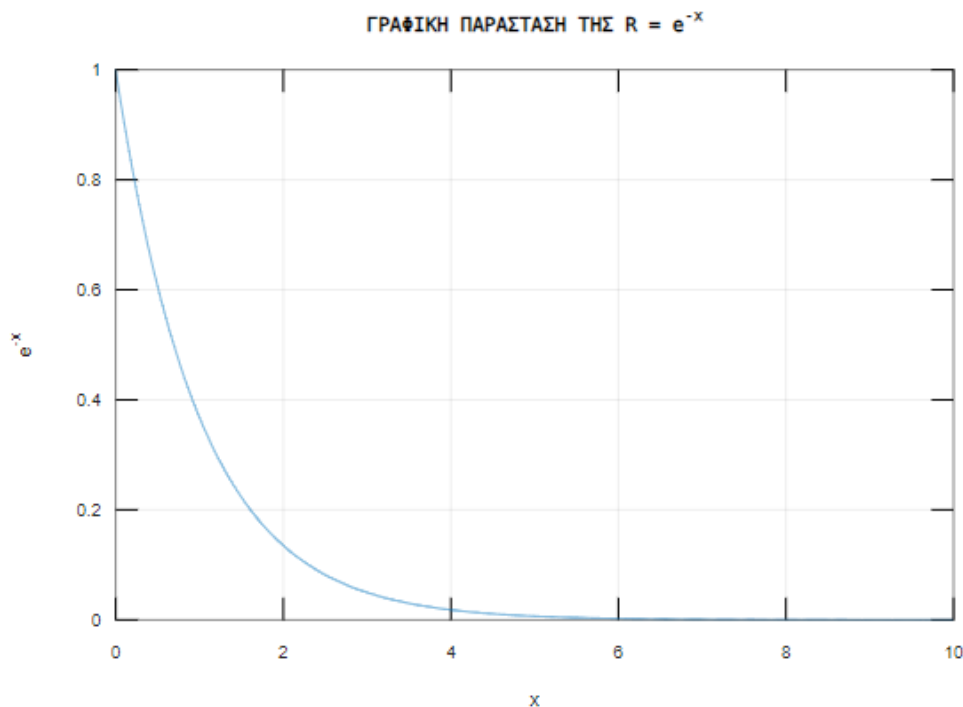
Παρατηρείται λοιπόν ότι η θερμοκρασία συντελεί σημαντικό ρόλο και στις 3 εξισώσεις (3.10), (3.11), (3.12) οι οποίες αποτελούν τους 3 από τους 4 παράγοντες που επηρεάζουν τον τύπο (3.7) και άρα την αξιοπιστία του ρυθμιστή φόρτισης. Ακόμη, ο τέταρτος παράγοντας που επηρεάζει τον τύπο (3.7) είναι ο “ λ_C ” ο οποίος αποτυπώνει τα σφάλματα του πυκνωτή. Επιπλέον, συνήθως, η χωρητικότητα των περισσότερων πυκνωτών επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και τις μεταβολές της (εικόνα 3.5), εκτός από πολύ συγκεκριμένα είδη κεραμικών πυκνωτών.



Εικόνα 3.5: Μεταβολή της χωρητικότητας διάφορων ειδών πυκνωτών ως συνάρτηση της θερμοκρασίας [12]

Συνεπώς, επειδή η θερμοκρασία επηρεάζει τους συντελεστές του τύπου (3.7), σημαίνει ότι αποτελεί και σημαντικό ρόλο για την αξιοπιστία του ρυθμιστή φώτισης εξ ολοκλήρου.

Τέλος, αφού η σχέση (3.6) είναι της μορφής “ e^{-x} ”, αυτό σημαίνει ότι η αξιοπιστία του ρυθμιστή φόρτισης δεν μεταβάλλεται γραμμικά, αλλά εκθετικά ανάλογα με τις μεταβολές του συντελεστή λ_{12} , όπως εμφανίζεται και στο σχήμα (3.1).



Σχήμα 3.1: Γραφική παράσταση της εξίσωσης $R = e^{-x}$

3.2.5 Θερμοκρασία και Ηλεκτρολογικό Υλικό

Η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει το ηλεκτρολογικό υλικό και τα καλώδια στο σύστημα. Υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν σε απώλειες ισχύος και απόδοσης στα καλώδια και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.

Όταν τα ηλεκτρολογικά εξαρτήματα και μέρη υπόκεινται σε θερμοκρασίες εκτός του συνήθους λειτουργικού εύρους τους, υπάρχει πιθανότητα για αλλαγές στις ηλεκτρικές τους ιδιότητες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε παραμορφώσεις σήματος και σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμα και σε πλήρη αναίρεση του επηρεαζόμενου τμήματος.

Όσον αφορά τα καλώδια, οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν συχνά να τους προκαλέσουν υπερθέρμανση. Συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την αντίσταση του καλωδίου, καθιστώντας δυσκολότερη τη ροή του ρεύματος μέσω τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη απόδοση του ηλεκτρικού καλωδίου, μέχρι το σημείο που ενδέχεται να σταματήσει να λειτουργεί.

Επιπλέον, η μόνωση του καλωδίου μπορεί να υποστεί ζημιές, μέχρι το να λιώσει και να προκαλέσει ηλεκτροπληξία και πυρκαγιές. Κατά τις πολύ ζεστές καλοκαιρινές ημέρες, υπάρχει κίνδυνος να συμβεί αυτό, εάν το καλώδιο δεν διαθέτει κατάλληλη

αντοχή στη θερμοκρασία. Τέλος, σε ακραίες περιπτώσεις, μόνο τα καλώδια με ειδικό τύπο μόνωσης που αντέχει τις ακραίες θερμοκρασίες θα λειτουργήσουν αποτελεσματικά.

Συνοψίζοντας, η θερμοκρασία αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την απόδοση και την αποτελεσματικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων και του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη αυτές οι επιδράσεις κατά τον σχεδιασμό και την λειτουργία των συστημάτων φωτοβολταϊκών.

3.3 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΥΕΡΝΑΣ ΕΝΟΣ Φ/Β ΠΑΝΕΛ

Η αποτελεσματική λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού πάνελ εξαρτάται από πολλές βασικές μεταβλητές που χαρακτηρίζουν την απόδοσή του. Η κατανόηση και η ανάλυση αυτών των μεταβλητών είναι απαραίτητη για την σχεδίαση και την βελτιστοποίηση της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Παρακάτω, αναλύονται οι βασικές και πλέον χρήσιμες μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των χαρακτηριστικών ενός φωτοβολταϊκού πάνελ.

3.3.1 Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{oc})

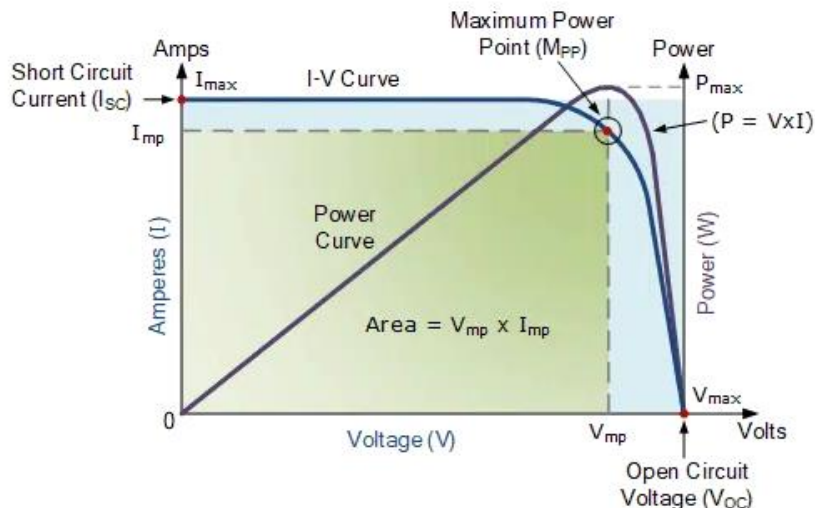
Η τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}) αναφέρεται στη μέγιστη τάση που μπορεί να προκληθεί στους ακροδέκτες του πάνελ όταν δεν υπάρχει ροή ρεύματος. Συνεπώς, αυτή η τάση μετριέται με το κύκλωμα του φωτοβολταϊκού πάνελ να είναι ανοικτό. Επιπλέον, η τιμή αυτή είναι σημαντική για τον υπολογισμό και άλλων χρήσιμων παραμέτρων, όπως του Συντελεστή Κάλυψης (FF).

3.3.2 Ένταση Ρεύματος Βραχυκύκλωσης (I_{sc})

Η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sc}) αναφέρεται στο μέγιστο ρεύμα που μπορεί να προκληθεί όταν αυτό παίρνει τη μέγιστη τιμή του. Η ένταση αυτή μετριέται όταν οι ακροδέκτες του πάνελ συνδέονται απευθείας μεταξύ τους, άρα το κύκλωμα του φωτοβολταϊκού πάνελ είναι κλειστό, χωρίς φορτίο, δηλαδή βραχυκυκλωμένο. Ακόμη, όπως και η τάση ανοικτού κυκλώματος, η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι σημαντική για τον υπολογισμό και άλλων χρήσιμων παραμέτρων, όπως του Συντελεστή Κάλυψης (FF).

3.3.3 Μέγιστη Ισχύς (P_{max})

Η μέγιστη ισχύς (P_{max}) αναφέρεται στη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παράγει το φωτοβολταϊκό πάνελ υπό συγκεκριμένες εργαστηριακές συνθήκες ελέγχου (S.T.C.) εκθέτοντας το σε έντονο φωτισμό. Η παράμετρος αυτή όπως και οι προηγούμενες είναι σημαντικές για τον υπολογισμό άλλων σημαντικών μεταβλητών. Επιπλέον, η χαρακτηριστική καμπύλη της μέγιστης ισχύος κατασκευάζεται με μέτρηση του ρεύματος του πάνελ με σεβασμό στην τάση του.



Εικόνα 3.6: Γραφική απεικόνιση του σημείου μέγιστης ισχύος [13]

3.3.4 Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MP})

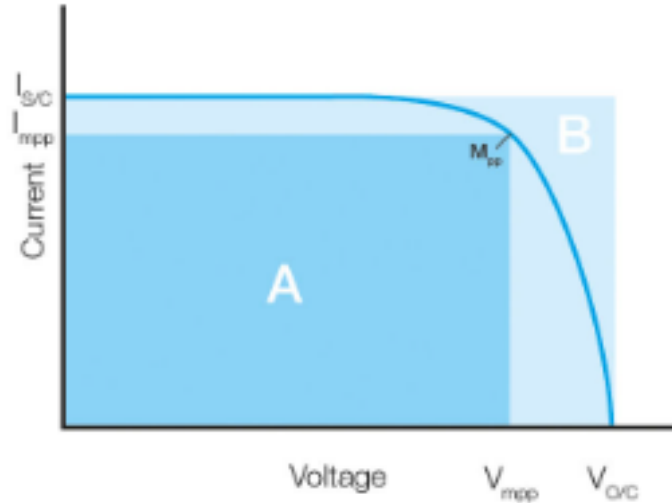
Η τάση μέγιστης ισχύος (V_{mp}) αναφέρεται στην τάση που πρέπει να εφαρμοστεί στο πάνελ για να παραχθεί η μέγιστη ισχύς, που εκτιμήθηκε κατά της εργαστηριακές συνθήκες και μετρήσεις (Εικ. 3.6). Ακόμη, τόσο το ελάχιστο V_{MP} όσο και το μέγιστο V_{OC} καθορίζουν το "εύρος τάσης" μέσα στο οποίο μπορεί να λειτουργήσει ο ρυθμιστής φόρτισης (ή ο αναστροφέας).

3.3.5 Ένταση Ρεύματος Μέγιστης Ισχύος (I_{MP})

Η ένταση του ρεύματος μέγιστης ισχύος (I_{mp}) αναφέρεται στο ρεύμα που κυκλοφορεί στο κύκλωμα του πάνελ όταν εφαρμόζεται η τάση V_{mp} . Συνεπώς, η τάση μέγιστης ισχύος σε συνδυασμό με το ρεύμα μέγιστης ισχύος μας δίνουν τη μέγιστη ισχύ λειτουργίας του πάνελ (MPP).

3.3.6 Συντελεστής Κάλυψης (FF)

Ο συντελεστής γεμίματος αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ της μέγιστης ισχύος που το πάνελ μπορεί πραγματικά να παρέχει υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας και του γινομένου της τάσης ανοικτού κυκλώματος πολλαπλασιασμένου με το ρεύμα βραχυκυκλώματος, ($V_{oc} \times I_{sc}$). Αυτή η τιμή του συντελεστή γεμίματος δίνει μια ιδέα για την ποιότητα του πάνελ και όσο πιο κοντά είναι ο συντελεστής γεμίματος στο 1, τόσο περισσότερη ισχύ μπορεί να παρέχει το πάνελ.



Εικόνα 3.7: Γραφική απεικόνιση του συντελεστή κάλυψης στο A [14]

Οι τυπικές τιμές συντελεστών κάλυψης κυμαίνονται μεταξύ 0,7 και 0,8. Η σχέση που δίνει τον συντελεστή κάλυψης (FF) είναι η (3.13):

$$FF = \frac{P_{MP}}{V_{OC} \times I_{SC}} = \frac{V_{MP} \times I_{MP}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (3.13)$$

Γραφικά, ο συντελεστής κάλυψης παρουσιάζεται στην Εικόνα (3.7) χρησιμοποιώντας τη σχέση (3.14):

$$FF = \frac{\text{Επιφάνεια A}}{\text{Επιφάνεια B}} \quad (3.14)$$

Επιπλέον, η σχέση (3.13) βοηθάει και στον υπολογισμό της P_{MP} , εάν λύσουμε την εξίσωση ως προς αυτόν το όρο και έτσι προκύπτει η σχέση (3.15):

$$P_{MP} = V_{OC} \times I_{SC} \times FF \quad (3.15)$$

3.3.7 Σημείο Μέγιστης Ισχύος (MPP)

Το σημείο μέγιστης ισχύος είναι το σημείο στο οποίο η ισχύς που παρέχεται από το πάνελ που συνδέεται με το φορτίο (μπαταρίες, αναστροφείς) είναι στη μέγιστη τιμή της. Το σημείο μέγιστης ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου μετριέται σε Watt (W) ή peak Watt (Wp). Η σχέση που δίνει το MPP είναι η (3.16):

$$MPP = V_{MP} \times I_{MP} \quad (3.16)$$

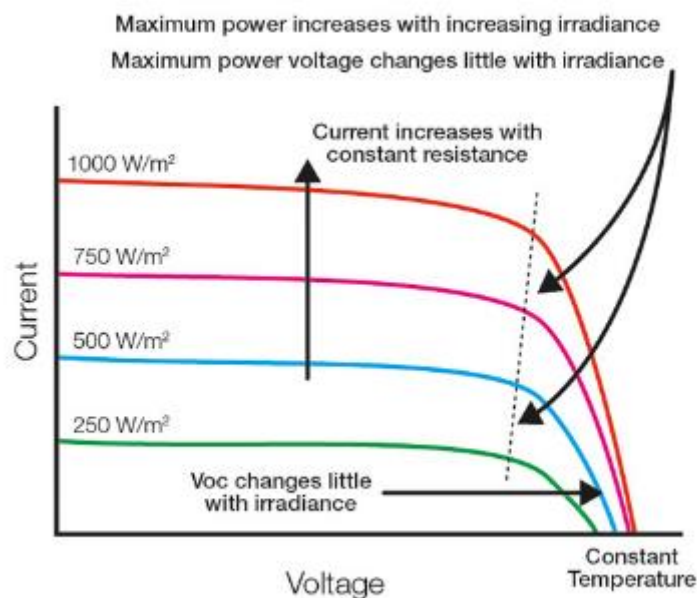
Επιπλέον, έχουν σχεδιαστεί αναστροφείς που μπορούν να προσαρμόζουν την αντίσταση και να εντοπίζουν συνεχώς το νέο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) σε ένα κύκλωμα. Αυτό ονομάζεται παρακολούθηση σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT).

3.3.8 Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας G_T

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης χωρίς να διαχέεται ονομάζεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία (DNI). Το άθροισμα της διαχεόμενης ακτινοβολίας (DHI) και της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας ονομάζεται συνολική ηλιακή ακτινοβολία (GHI). Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορούν να μειώσουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία κατά 10% τις αίθριες, ξηρές μέρες και κατά 100% κατά τις πολύ συννεφιασμένες μέρες.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αναφέρεται στην ποσότητα της ενέργειας που φτάνει σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια ανά ενεργειακή μονάδα (w/m^2). Επηρεάζεται από παράγοντες όπως η γεωγραφική θέση, η ώρα της ημέρας, οι εποχές και οι κλιματολογικές συνθήκες.

Η γνώση και η λεπτομερής μέτρηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι απαραίτητη για την σωστή σχεδίαση και λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων όπως γίνεται και εμφανές στην εικόνα (3.8). Αυτό εξασφαλίζει την μέγιστη απόδοση και αποτελεσματικότητα της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.



Εικόνα 3.8: Μεταβολή των της έντασης και της τάσης ανάλογα με την μεταβολή της ακτινοβολίας [15]

Εν κατακλείδι, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την απόδοση των φωτοβολταϊκών πάνελ. Η σωστή κατανόηση και εφαρμογή αυτής της παραμέτρου αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επίτευξη υψηλών επιπέδων απόδοσης και βιωσιμότητας στον τομέα των φωτοβολταϊκών.

3.3.9 Ισχύς Ηλιακής Ακτινοβολίας

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται στην έξοδο ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, εξαρτάται εκτός άλλων και από την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δίνεται ως ισχύς εισόδου στο φωτοβολταϊκό σύστημα. Με τη βοήθεια αυτής πάντα υπολογίζεται και η απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ αλλά και του συστήματος ολόκληρου.

Πιο συγκεκριμένα η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται από τον τύπο :

$$P_{\text{ΗΛΙΑΚΗ}} = G_T \times A \quad (3.17)$$

Όπου, G_T η ένταση της προσπίπτουσας, στο πάνελ, ηλιακής ακτινοβολίας και A η επιφάνειά του.

3.3.10 Απόδοση Φωτοβολταϊκού Πάνελ (eff%)

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου αναφέρεται στον λόγο μεταξύ της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να παράγει το πάνελ υπό φυσιολογικές συνθήκες λειτουργίας, σε σχέση με την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσκρούει τον πλαισίου. Η απόδοση ενός τυπικού φωτοβολταϊκού πάνελ, όπως έχει ήδη αναφερθεί, προκύπτει από τη σχέση (3.1) η οποία, σε συνδυασμό με τις σχέσεις (3.15) και (3.17) δίνει τον τύπο:

$$\eta = \frac{P_{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ}}}{P_{\text{ΗΛΙΑΚΗ}}} \times 100\% = \frac{V_{OC} \times I_{SC} \times FF}{G_T \times A} \times 100\% \quad (3.18)$$

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, είναι ένα από τους σημαντικότερους παράγοντες στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις και επηρεάζεται από πολλές και διάφορες μεταβλητές. Μια από τις κύριες αυτές μεταβλητές που μπορούν να μεταβάλλουν τα αποτελέσματα της σχέσης (3.18) είναι η θερμοκρασία.

3.3.11 Πρότυπες Συνθήκες Ελέγχου (S.T.C.)

Οι Προδιαγραφές Πρότυπων Συνθηκών Ελέγχου, γνωστές και ως STC (Standard Test Conditions), αναφέρονται σε συγκεκριμένες συνθήκες υπό τις οποίες πραγματοποιούνται οι μετρήσεις και οι αξιολογήσεις απόδοσης συστημάτων φωτοβολταϊκών. Συνήθως, αναφέρονται σε θερμοκρασία 25°C, ηλιακή ένταση 1000W/m², πλήρους ηλιακού μεσημβρινού φωτός και μάζα αέρα 1,5.

Είναι προφανές ότι οι πρότυπες συνθήκες ελέγχου που χρησιμοποιούν οι κατασκευαστές βρίσκονται σε εργαστήρια ή στις εσωτερικές γραμμές συναρμολόγησής τους και ως όπως είναι λογικό, διαφέρουν από τις ρεαλιστικές συνθήκες που θα υποστούν τα πάνελ στην κορυφή ενός κτιρίου ή στο πλαίσιο στήριξης.

Οι εξωτερικές μετρήσεις σε φωτοβολταϊκά πάνελ (ή ολόκληρα συστήματα) πρέπει να πραγματοποιούνται στις πραγματικές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας στο σημείο όπου θα χρησιμοποιηθούν. Αλλά πρέπει να υπάρχει κάτι που ο σχεδιαστής ή ο ιδιοκτήτης μπορεί να χρησιμοποιήσει κατά την επιλογή ενός συγκεκριμένου πάνελ ή ενότητας.

3.3.12 Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.)

Οι ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού πάνελ είναι ένα σύνολο κοινών αναφορικών συνθηκών που σχεδιάστηκαν για να προσομοιωθεί η χρήση του πάνελ σε πραγματικές μετρήσεις στον εξωτερικό χώρο.

Προσπαθούν να συνδυάσουν το επίπεδο ακτινοβολίας μιας καθαρής ημέρας του καλοκαιριού, με τη θερμοκρασία του πάνελ σε μια αντίστοιχα καθαρή χειμερινή

ημέρα και το φάσμα του φωτός μιας επίσης καθαρής ημέρας της άνοιξης. Αυτές οι συνθήκες υποθέτουν μια ηλιακή ακτινοβολία 800 W/m^2 , θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C και ταχύτητα ανέμου $1,0 \text{ m/s}$ στο επίπεδο της θάλασσας.

Αυτό δεν σημαίνει ότι οι προδιαγραφές τάσης εξόδου, ρεύματος και ισχύος STC ενός συγκεκριμένου κατασκευαστή δεν είναι ακριβείς. Οι προδιαγραφές STC του πλαισίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συγκριθούν διάφορα φωτοβολταϊκά πλαίσια από διάφορους κατασκευαστές. Παρ' όλα αυτά, αποτελεί μόνο έναν αριθμό αναφοράς και δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να χρησιμοποιηθεί για να χαρακτηρίσει την έξοδο ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ή συστήματος. Κατανοώντας λοιπόν ότι η απόδοση μιας εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να διαφέρει από τις αναμενόμενες τιμές, έχουν κατασκευαστεί άλλοι ρυθμιστικοί παράγοντες που βοηθούν στην διαχείριση ακριβέστερων υπολογισμών και αποτελεσμάτων. Ένας τέτοιος παράγοντας είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας.

3.3.13 Συντελεστής θερμοκρασίας (T.C.)

Ο συντελεστής θερμοκρασίας αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για τον χαρακτηρισμό της θερμοκρασιακής εξάρτησης των παραμέτρων απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Εκφράζεται συνήθως σε ποσοστό επί της $V_{OC} \text{ } \%/^\circ\text{C}$ είτε σε $\text{V}/^\circ\text{C}$ όταν αναφερόμαστε στην τάση, είτε σε $\text{A}/^\circ\text{C}$ όταν αναφέρεται στο ρεύμα και αφορά τις διάφορες θερμοκρασιακές αποκλίσεις από τους 25°C . Πιο συγκεκριμένα, είναι η αναλογία της αλλαγής της ηλεκτρικής απόδοσης όταν η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πάνελ αυξάνεται ή μειώνεται κατά πολλαπλάσια του 1°C , σε σχέση με την αναφερόμενη θερμοκρασία αναφοράς STC των 25°C .

Αυτός ο συντελεστής διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στο να παρέχει το ρυθμό μεταβολής για τις παραμέτρους απόδοσης των φωτοβολταϊκών, όπως την ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{SC}), την τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{OC}), την μέγιστη ισχύ (P_{MAX}), και άλλων σε σχέση με τις μεταβολές της θερμοκρασίας.

Ενώ τα καθιερωμένα πρότυπα επικεντρώνονται σε συντελεστές όπως τα I_{SC} , I_{MP} , V_{OC} και P_{MAX} , οι αξιολογήσεις σε εξωτερικούς φυσικούς χώρους, υπογραμμίζουν την ανάγκη συμπερίληψης του συντελεστή θερμοκρασίας για την ακριβή προσομοίωση της ηλεκτρικής απόδοσης σε ένα ευρύ θερμοκρασιακό φάσμα λειτουργίας

Παρ' όλα αυτά, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι συντελεστές θερμοκρασίας της τάσης ανοιχτού κυκλώματος και της μέγιστης ισχύος που παρέχονται σε φύλλα δεδομένων ενδέχεται να μην ισχύουν υπό συνθήκες συννεφιάς, με χαμηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας. Η εξάρτηση από αυτούς τους συντελεστές σε τέτοιες συνθήκες μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερο ακριβή αποτελέσματα.

Τέλος, αξιοσημείωτη είναι η συμβολή των συντελεστών θερμοκρασίας στους συνολικούς υπολογισμούς μια φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, καθώς υπάρχει η πιθανότητα, σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά χαμηλές θερμοκρασίες, η παραγόμενη τάση μέγιστης ισχύος (V_{MP}) να είναι αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη που υπολογίστηκε στις S.T.C. συνθήκες στους 25°C . Αυτό σημαίνει ότι κανονικά, θα πρέπει να έχει μελετηθεί η απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ με δεδομένη την ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας του. Αυτό είναι σημαντικό να συμβεί, έτσι ώστε να επιλεγούν σωστά και τα υπόλοιπα στοιχεία του φωτοβολταϊκού συστήματος τα οποία στη συστοιχία βρίσκονται αμέσως μετά το πάνελ, όπως είναι ο ρυθμιστής φόρτισης, η μπαταρία ή ο αναστροφέας. Ομοίως, για τον ίδιο λόγο, πρέπει να γίνει η μελέτη και με γνώμονα την μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του

φωτοβολταϊκού, ώστε να διαπιστωθεί το κάτω όριο λειτουργίας των υπόλοιπων εξαρτημάτων αντίστοιχα.

4. ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΑΝΕΛ

4.1 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΜΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΑΝΕΛ

Η αναπτυξιακή προοπτική της φωτοβολταϊκής ενέργειας στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα ελπιδοφόρα, λαμβάνοντας υπόψη την ηλιόλουστη φύση της χώρας. Ωστόσο, η βέλτιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται ουσιαστικά από την ορθή επιλογή των φωτοβολταϊκών πάνελ, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφοροποιήσεις στους συντελεστές θερμοκρασίας τους σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες της χώρας.

Η Ελλάδα παρουσιάζει μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών ζωνών, από τις ηπειρωτικές περιοχές του βορρά με χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα, μέχρι τα νησιωτικά τμήματα με ήπιο μεσογειακό κλίμα. Σε κάθε μία από αυτές τις περιοχές, οι συνθήκες για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας διαφοροποιούνται. Οι διάφοροι κατασκευαστές προσφέρουν πάνελ που είναι προσαρμοσμένα σε αυτές τις συνθήκες. Εν προκειμένω, η εφαρμογή της στρατηγικής του συνδυασμού πάνελ διάφορων κατασκευαστών σε κατάλληλες κλιματικές ζώνες μπορεί να οδηγήσει σε μια συνολικά βελτιωμένη επίδοση του συστήματος.

Ορισμένα πάνελ διατηρούν υψηλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ άλλα είναι πιο αποδοτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, σε περιοχές της Ελλάδας με υψηλές θερμοκρασίες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, θα μπορούσε να γίνει επιλογή πάνελ με χαμηλό συντελεστή θερμοκρασίας, ο οποίος ελαχιστοποιεί την απώλεια απόδοσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Αντιθέτως, σε περιοχές της Ελλάδας με χαμηλές θερμοκρασίες το χειμώνα, θα μπορούσε να επιλεγεί πάνελ με υψηλό συντελεστή θερμοκρασίας, που επιτρέπει την αποτελεσματική λειτουργία των πάνελ ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Ο συνδυασμός φωτοβολταϊκών πάνελ διάφορων κατασκευαστών, προσαρμοσμένων στις διάφορες κλιματικές ζώνες της Ελλάδας, αποτελεί μια κρίσιμη στρατηγική για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης στην αξιοποίηση της φωτοβολταϊκής ενέργειας σε εθνικό επίπεδο.

4.2 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

Η διαίρεση μιας χώρας σε διάφορες κλιματικές ζώνες αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την κατανόηση και την αποτελεσματική διαχείριση των φυσικών πόρων της. Στην περίπτωση της Ελλάδας (Εικ. 4.1), η ποικιλομορφία της γεωγραφίας και των κλιματικών συνθηκών δικαιολογεί την ανάγκη για μια τέτοια διαίρεση σε τουλάχιστον τέσσερις διακριτικές κλιματικές ζώνες.

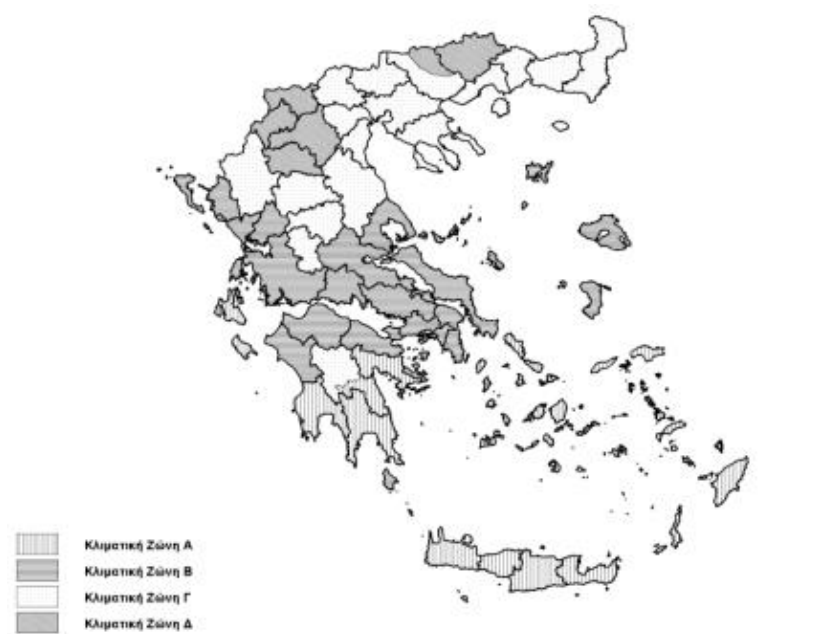
Η ανάγκη για αυτήν τη διαίρεση αυτή, έχει επισημανθεί και από το Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδας, επιβεβαιώνοντας την σημασία και την αξία αυτής της προσέγγισης που δημοσίευσε ο Κ.Εν.Α.Κ. Γι' αυτό στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, θα ακολουθηθεί ο διαχωρισμός που έχει γίνει από το Τεχνικό Επιμελητήριο σε 4 κλιματικές ζώνες. Πιο συγκεκριμένα:

Η πρώτη κλιματική ζώνη (Α), περιλαμβάνει τους νομούς: Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας, Ιθάκης. Ακόμη συμπεριλαμβάνει τα Κύθηρα και τα νησιά Σαρωνικού καθώς και την πεδινή Αρκαδία.

Στη δεύτερη κλιματική ζώνη (Β), αντιστοιχούν οι νομοί: Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας και Άρτας.

Η τρίτη κλιματική ζώνη (Γ), περιλαμβάνει τους νομούς: Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης και Έβρου.

Τέλος, στην τέταρτη κλιματική ζώνη (Δ) υπάγονται οι νομοί: Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα) και Δράμας.



Εικόνα 4.1: Κλιματικές ζώνες Ελλαδικού χώρου [16]

Στην ουσία ο διαχωρισμός αυτός εφαρμόζεται βάσει συγκεκριμένων χαρακτηριστικών όπως είναι η θερμοκρασία, το υψόμετρο και οι καιρικές συνθήκες, μια στοιχειώδη κατηγοριοποίηση των διάφορων περιοχών και νομών. Επιπλέον, μια ακόμη ενδιαφέρουσα και χρήσιμη πληροφορία είναι πως σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 500 μέτρων, εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν σύμφωνα με την σχετική τεχνική οδηγία.

4.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΠΑΝΕΛ

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ηλιακών πάνελ μπορεί να διαφέρουν αρκετά ανάλογα τον κατασκευαστή. Μερικά απ' αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η απόδοση, το temperature coefficient, η αντοχή και άλλα.

Οι διαφορές αυτές οφείλονται σε μια σειρά παραγόντων. Οι κυριότεροι εξ' αυτών είναι:

- Υλικά κατασκευής: Οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν διαφορετικά υλικά για την κατασκευή των κυψελών και των πάνελ, επηρεάζοντας έτσι τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πάνελ
- Έρευνα και ανάπτυξη: Κάθε κατασκευαστής αναπτύσσει τη δική του τεχνολογία και μεθόδους κατασκευής. Μεγαλύτερες επενδύσεις στην έρευνα και ανάπτυξη επιτρέπουν στις εταιρείες να βελτιώνουν την απόδοση και την ποιότητα των πάνελ τους σε σχέση με τον ανταγωνισμό.
- Εξελίξεις στην τεχνολογία: Η τεχνολογία των ηλιακών πάνελ εξελίσσεται συνεχώς. Ορισμένοι κατασκευαστές ενδέχεται να υιοθετούν νέες τεχνολογίες πιο γρήγορα από άλλους, επηρεάζοντας την απόδοση των προϊόντων τους.
- Κλιματικές συνθήκες και περιβαλλοντικοί παράγοντες: Μερικές φορές ενδέχεται οι διαφορές αυτές να είναι εσκεμμένες από τους κατασκευαστές, θέλοντας να σχεδιάσουν τα πάνελ τους για να αποδίδουν καλύτερα σε συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες, όπως υψηλές θερμοκρασίες ή υψηλή υγρασία.

Είναι λοιπόν κατανοητό ότι υπάρχουν πολλές παράμετροι που οδηγούν σε αυτές τις διαφορές. Γι' αυτό λοιπόν, οι καταναλωτές πρέπει να επιλέγουν τα ηλιακά πάνελ με βάση τις ανάγκες τους και τις τοπικές συνθήκες για να επιτύχουν την καλύτερη απόδοση και αντοχή.

Μερικά παραδείγματα αυτών των διαφορών ανάλογα τον κατασκευαστή εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες 4.1 έως 4.9.

4.3.1 Μονοκρυσταλλικά Πάνελ

Πίνακας 4.1

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (S.T.C.)
Μέγιστη Ισχύς (P_{max})	[W]	360
Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MPP})	[V]	36,5
Ένταση Μέγιστης Ισχύος (I_{MPP})	[A]	9,87
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{OC})	[V]	42,7
Ένταση Βραχυκύκλωσης (I_{SC})	[A]	10,79
Απόδοση	[%]	20,8
Θερμοκρασία Λειτουργίας	[°C]	-40 ~ +80
Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.T.)	[°C]	44 ± 3
Συντελεστής Θερμοκρασίας Ισχύος (P_{max})	[%/°C]	-0,30
Συντελεστής Θερμοκρασίας Τάσης (V_{OC})	[%/°C]	-0,24
Συντελεστής Θερμοκρασίας Έντασης (I_{SC})	[%/°C]	0,04

Πίνακας 4.2

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 2	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (S.T.C.)
Μέγιστη Ισχύς (P_{max})	[W]	335
Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MPP})	[V]	54,7
Ένταση Μέγιστης Ισχύος (I_{MPP})	[A]	6,13
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{OC})	[V]	64,8
Ένταση Βραχυκύκλωσης (I_{SC})	[A]	6,62
Απόδοση	[%]	20,60
Θερμοκρασία Λειτουργίας	[°C]	-40 ~ +80
Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.T.)	[°C]	45 ± 2
Συντελεστής Θερμοκρασίας Ισχύος (P_{max})	[%/°C]	-0,33
Συντελεστής Θερμοκρασίας Τάσης (V_{OC})	[%/°C]	-0,26
Συντελεστής Θερμοκρασίας Έντασης (I_{SC})	[%/°C]	0,05

Πίνακας 4.3

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 3	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (S.T.C.)
Μέγιστη Ισχύς (P_{max})	[W]	300
Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MPP})	[V]	31,71
Ένταση Μέγιστης Ισχύος (I_{MPP})	[A]	9,53
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{OC})	[V]	38,60
Ένταση Βραχυκύκλωσης	[A]	10,03
Απόδοση	[%]	17,97
Θερμοκρασία Λειτουργίας	[°C]	-40 ~ +85
Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.T.)	[°C]	45 ± 2
Συντελεστής Θερμοκρασίας Ισχύος (P_{max})	[%/°C]	-0,39
Συντελεστής Θερμοκρασίας Τάσης (V_{OC})	[%/°C]	-0,30
Συντελεστής Θερμοκρασίας Έντασης (I_{sc})	[%/°C]	0,06

Πίνακας 4.4

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 4	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (S.T.C.)
Μέγιστη Ισχύς (P_{max})	[W]	305
Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MPP})	[V]	32,5
Ένταση Μέγιστης Ισχύος (I_{MPP})	[A]	9,38
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{OC})	[V]	39,7
Ένταση Βραχυκύκλωσης (I_{sc})	[A]	10,27
Απόδοση	[%]	18,75
Θερμοκρασία Λειτουργίας	[°C]	-40 ~ +85
Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.T.)	[°C]	45 ± 2
Συντελεστής Θερμοκρασίας Ισχύος (P_{max})	[%/°C]	-0,45
Συντελεστής Θερμοκρασίας Τάσης (V_{OC})	[%/°C]	-0,35
Συντελεστής Θερμοκρασίας Έντασης (I_{sc})	[%/°C]	0,04

Πίνακας 4.5

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 5	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (S.T.C.)
Μέγιστη Ισχύς (P_{max})	[W]	550
Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MPP})	[V]	41,8
Ένταση Μέγιστης Ισχύος (I_{MPP})	[A]	13,16
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{OC})	[V]	50,0
Ένταση Βραχυκύκλωσης (I_{SC})	[A]	13,94
Απόδοση	[%]	21,28
Θερμοκρασία Λειτουργίας	[°C]	-40 ~ +85
Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.T.)	[°C]	42°C +/-2
Συντελεστής Θερμοκρασίας Ισχύος (P_{max})	[%/°C]	-0,36
Συντελεστής Θερμοκρασίας Τάσης (V_{OC})	[%/°C]	-0,28
Συντελεστής Θερμοκρασίας Έντασης (I_{SC})	[%/°C]	0,05

Πολυκρυσταλλικά Πάνελ

Πίνακας 4.6

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 6	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (S.T.C.)
Μέγιστη Ισχύς (P_{max})	[W]	280
Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MPP})	[V]	31,73
Ένταση Μέγιστης Ισχύος (I_{MPP})	[A]	8,83
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{OC})	[V]	38,68
Ένταση Βραχυκύκλωσης (I_{SC})	[A]	9,32
Απόδοση	[%]	17,21
Θερμοκρασία Λειτουργίας	[°C]	-40 ~ +85
Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.T.)	[°C]	45°C +/-2
Συντελεστής Θερμοκρασίας Ισχύος (P_{max})	[%/°C]	-0,40
Συντελεστής Θερμοκρασίας Τάσης (V_{OC})	[%/°C]	-0,30
Συντελεστής Θερμοκρασίας Έντασης (I_{SC})	[%/°C]	0,04

Πίνακας 4.7

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (S.T.C.)
Μέγιστη Ισχύς (P_{max})	[W]	250
Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MPP})	[V]	30
Ένταση Μέγιστης Ισχύος (I_{MPP})	[A]	8,33
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{OC})	[V]	35,7
Ένταση Βραχυκύκλωσης (I_{SC})	[A]	9,71
Απόδοση	[%]	18,2
Θερμοκρασία Λειτουργίας	[°C]	-40 ~ +90
Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.T.)	[°C]	45°C +/-2
Συντελεστής Θερμοκρασίας Ισχύος (P_{max})	[%/°C]	-0,5
Συντελεστής Θερμοκρασίας Τάσης (V_{OC})	[%/°C]	-0,34
Συντελεστής Θερμοκρασίας Έντασης (I_{SC})	[%/°C]	0,05

Πίνακας 4.8

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 8	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (S.T.C.)
Μέγιστη Ισχύς (P_{max})	[W]	200
Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MPP})	[V]	35,6
Ένταση Μέγιστης Ισχύος (I_{MPP})	[A]	5,62
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{OC})	[V]	44,6
Ένταση Βραχυκύκλωσης (I_{SC})	[A]	6,07
Απόδοση	[%]	15,7
Θερμοκρασία Λειτουργίας	[°C]	-40 ~ +85
Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.T.)	[°C]	45°C +/-2
Συντελεστής Θερμοκρασίας Ισχύος (P_{max})	[%/°C]	-0,430
Συντελεστής Θερμοκρασίας Τάσης (V_{OC})	[%/°C]	-0,310
Συντελεστής Θερμοκρασίας Έντασης (I_{SC})	[%/°C]	0,044

Πίνακας 4.9

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 9	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ (S.T.C.)
Μέγιστη Ισχύς (P_{max})	[W]	350
Τάση Μέγιστης Ισχύος (V_{MPP})	[V]	39,20
Ένταση Μέγιστης Ισχύος (I_{MPP})	[A]	8,94
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος (V_{OC})	[V]	46,60
Ένταση Βραχυκύκλωσης (I_{SC})	[A]	9,51
Απόδοση	[%]	17,64
Θερμοκρασία Λειτουργίας	[°C]	-40 ~ +85
Ονομαστικές Συνθήκες Λειτουργίας (N.O.C.T.)	[°C]	43°C +/-2
Συντελεστής Θερμοκρασίας Ισχύος (P_{max})	[%/°C]	-0,38
Συντελεστής Θερμοκρασίας Τάσης (V_{OC})	[%/°C]	-0,29
Συντελεστής Θερμοκρασίας Έντασης (I_{SC})	[%/°C]	0,05

Λαμβάνοντας υπόψιν τους πίνακες αυτούς, συμπεραίνεται ότι η σωστή επιλογή του είδους του πάνελ και του κατασκευαστή, ανάλογα με τις ανάγκες, αλλά και τις κλιματικές συνθήκες της κάθε περιοχής είναι πολύ σημαντική για την βέλτιστη και μακροχρόνια απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Φ/Β ΠΑΝΕΛ ΓΙΑ ΤΕΣΣΕΡΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ

5.1 ΛΗΨΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Για τον θεωρητικό υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, στην έξοδο των φωτοβολταϊκών πάνελ, είναι απαραίτητη η συλλογή διάφορων τύπων δεδομένων σε βάθος ετών, όπως η ακτινοβολία, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου, η ταχύτητα του ανέμου, κ.α.

Ακόμη, για τον προσδιορισμό των διάφορων μεγεθών που επηρεάζουν την τελική παραγόμενη ενέργεια, (όπως η σχετική απόδοση, η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού, η γωνία πρόσπτωσης, κ.α.) έχουν δημιουργηθεί διάφορα μοντέλα, τα οποία προσεγγίζουν θεωρητικά, με αρκετή ακρίβεια το τελικά παραγόμενο αποτέλεσμα.

Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων του ψηφιακού εργαλείου Photovoltaic Geographical Information System (PV.G.I.S.) για τη λήψη δεδομένων όπως είναι η ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου σε ύψος 2 μέτρων, το ύψος του ηλίου και η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 μέτρων. Τα δεδομένα αυτά έχουν ληφθεί και επεξεργαστεί από το σύστημα δορυφόρων «METEOSAT», το οποίο καλύπτει την Ευρώπη, την Αφρική και το μεγαλύτερο μέρος της Ασίας. Η λήψη καθώς και η επεξεργασία/υπολογισμοί των δεδομένων και αποτελεσμάτων έγινε σε ωριαίο επίπεδο και για το μεγάλο χρονικό διάστημα των 16 ετών (2005 έως και 2020).

Επιπλέον, στην παρούσα μελέτη, έχουν επιλεγεί 10 διαφορετικοί κατασκευαστές πολυκρυσταλλικών αλλά και μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών πάνελ. Τα διάφορα αυτά πάνελ, μεταξύ τους, χαρακτηρίζονται από ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών στοιχείων, όπως η μέγιστη ισχύς (W_{peak}), η απόδοση, το εμβαδό, ο συντελεστής θερμοκρασίας, το κόστος και άλλα. Ο υπολογισμός των διάφορων μεγεθών καθώς και αποτελεσμάτων έχει γίνει με σκοπό την μελέτη για εγκατάσταση ισχύος 1000 kW (1 MW). Ακόμη, έχουν επιλεγεί 6 διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές στην Ελλάδα, οι οποίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και γι' αυτό βρίσκονται σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Οι περιοχές αυτές είναι με αλφαβητική σειρά, η Αθήνα, το Ηράκλειο Κρήτης, τα Ιωάννινα, η Πάτρα, η Ρόδος και η Φλώρινα. Όπως είναι εμφανές, έχει επιλεγεί μια πληθώρα περιοχών και ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών θερμοκρασιών, ακτινοβολιών και άλλων παραμέτρων (ταχύτητα ανέμου, γεωγραφική θέση).

Τέλος, για τον υπολογισμό των διάφορων μεγεθών, καθώς και της τελικής παραγόμενης ενέργειας έχουν χρησιμοποιηθεί δύο διαφορετικές βασικές μέθοδοι. Η μέθοδος υπολογισμών κατά το PV.G.I.S. η οποία εκτός από βάσεις δεδομένων

αποτελεί και ένα αρκετά ακριβές ψηφιακό, δωρεάν εργαλείο για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και ένα υβριδικό μοντέλο το οποίο βασίζεται στους τύπους του PV.G.I.S. αλλά και τους γνωστούς κατά τη βιβλιογραφία τύπους και μοντέλα. Οι βασικές αυτές μέθοδοι περιγράφονται παρακάτω αναλυτικότερα.

5.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΜΕΓΕΘΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

5.2.1 Θερμοκρασία Φωτοβολταϊκού Πάνελ (T_{PV})

Για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού πάνελ έχουν δημιουργηθεί και προταθεί αρκετά μοντέλα. Η βασικότερη διαφορά τους είναι οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται, καθώς πολλές φορές δεν υπάρχει πρόσβαση σε πολλών ειδών δεδομένα. Για παράδειγμα εάν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για την ταχύτητα του ανέμου, ένα αρκετά αποδοτικό μοντέλο για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού είναι το αυτό που περιγράφεται στον τύπο (5.1).

$$T_{PV} = T_{amb} + G_T \times k_t \quad (5.1)$$

Όπου, T_{PV} η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πάνελ, T_{amb} η θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου, G_T η ακτινοβολία και k_t ο συντελεστή Ross, ο οποίος παίρνει συνήθως τιμές από 0,02–0,04 ($^{\circ}\text{C} \times \text{m}^2 / \text{W}$), ανάλογα με το είδος της στήριξης του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Ωστόσο, από τη στιγμή που διαθέτουμε τα δεδομένα για την ταχύτητα του ανέμου στα 10 μέτρα, και συνήθως η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών (κυρίως για τόσο μεγάλες εγκαταστάσεις) γίνονται σε πολύ χαμηλότερο υψόμετρο, έχει επιλεγεί το ύψος των 2 μέτρων και ο τύπος (5.2) για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου στα 2 μέτρα, ώστε να μπορέσει να υπολογιστεί, εν τέλει, η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πάνελ με μεγαλύτερη ακρίβεια.

$$WS_{2m} = WS_{10m} \times \left(\frac{2}{10}\right)^{0,2} \quad (5.2)$$

Όπου, WS_{2m} και WS_{10m} η ταχύτητα του ανέμου στα 2 μέτρα και στα 10 μέτρα αντίστοιχα.

Τελικά, η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πάνελ καθορίζεται με βάση την σχέση (5.3), όπως δόθηκε από τον D. Faiman (2008), η οποία είναι και η σχέση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη.

$$T_{PV} = T_{amb} + \frac{G_T}{26,9 + WS_{2m} \times 6,2} \quad (5.3)$$

5.2.2 Σχετική Απόδοση (Eff_{rel})

Καθώς η απόδοση που δίνει ο κατασκευαστής των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι υπολογισμένη υπό συνθήκες S.T.C., η απόδοση αυτή των φ/β πάνελ υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας είναι διαφορετική από αυτή των S.T.C. Αυτό συμβαίνει κυρίως

λόγω διαφορών της ακτινοβολίας και θερμοκρασίας από τα 1000 W/m^2 και $25 \text{ }^\circ\text{C}$ όπου γίνονται οι μετρήσεις που αποτυπώνονται στα χαρακτηριστικά του πάνελ. Συνεπώς, το βασικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη για τον υπολογισμό της σχετικής απόδοσης, μετά την μεταβολή της ακτινοβολίας και θερμοκρασίας από τις S.T.C., αποτυπώνεται στη σχέση (5.4). Το μοντέλο αυτό αποτελεί τη σχέση που χρησιμοποιεί το PV.G.I.S. για τους υπολογισμούς της, καθώς και παραλλαγή του μοντέλου που αναπτύχθηκε από τον D. L. King.

$$Eff_{rel}(G', T'_m) = 1 + k_1 \times \ln(G') + k_2 \times \ln(G')^2 + k_3 \times T'_m + k_4 \times T'_m \times \ln(G') + k_5 \times T'_m \times \ln(G')^2 + k_6 \times T'^2_m \quad (5.4)$$

Όπου,

- $Eff_{rel}(G', T'_m)$ η σχετική απόδοση
- $G' = \frac{G}{1000}$
- $T'_m = T_{PV} - 25$
- G η ακτινοβολία
- T_{PV} η θερμοκρασία του πάνελ

και για φωτοβολταϊκά τεχνολογίας τύπου c-Si:

- $k_1 = -0.017237$
- $k_2 = -0.040465$
- $k_3 = -0.004702$
- $k_4 = 0.000149$
- $k_5 = 0.000170$
- $k_6 = 0.000005$

Ακόμη, είναι γνωστό ότι ο συντελεστής k_3 είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας του πάνελ.

5.2.3 Μεταβολή στην Ισχύ Εξόδου Λόγω Θερμοκρασίας και Ακτινοβολίας

Για τον υπολογισμό της ισχύος εξόδου έκαστου φωτοβολταϊκού πάνελ από τα 10 προς μελέτη, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος (5.4), με δύο διαφορετικούς τρόπους. Πιο συγκεκριμένα, και για τους δύο τρόπους υπολογισμού, οι οποίοι αφορούν την παραγόμενη ισχύ σε οριζόντια τοποθετημένα πάνελ, υπολογίστηκε για κάθε ώρα, κάθε έτος από το 2005 έως και το 2020, για κάθε μια από τις 6 περιοχές η ισχύς εξόδου για έκαστο κατασκευαστή. Στον πρώτο τρόπο υπολογισμού χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις (5.2), (5.3) και (5.4) ως έχουν και έπειτα υπολογίστηκε η τελική παραγόμενη ισχύς μετά την αλλαγή της απόδοσης λόγω ακτινοβολίας και θερμοκρασίας μέσω της σχέσης (5.5).

$$P_{1,OUT} = G_T \times A \times \eta \times Eff_{rel} \quad (5.5)$$

Όπου, $P_{1,OUT}$ η τελική παραγόμενη ισχύς μετά την αλλαγή της απόδοσης λόγω ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, G_T η ακτινοβολία, A το εμβαδόν του πάνελ, « η » η απόδοση του κατασκευαστή και Eff_{rel} η σχετική απόδοση μετά την αλλαγή ακτινοβολίας και θερμοκρασίας από τις S.T.C. συνθήκες.

Ομοίως, στην δεύτερη μέθοδο υπολογισμού, υπολογίστηκαν οι τύποι (5.2) και (5.3) καθώς και ο τύπος (5.4) όμως με τη διαφορά ότι η θερμοκρασία T_{PV} θεωρήθηκε ίση με 25. Έτσι υπολογίστηκε η σχετική απόδοση μόνο μετά την αλλαγή της ακτινοβολίας και όχι και της θερμοκρασίας. Έπειτα, χρησιμοποιήθηκε η κλασική

σχέση υπολογισμού της ισχύος εξόδου με βάση τη θερμοκρασία, η οποία φαίνεται και παρακάτω (σχέση (5.6)).

$$P_{2,OUT} = G_T \times A \times \eta \times Eff_{rel} \times [1 - \gamma_P \times (T_{PV} - 25)] \quad (5.6)$$

Όπου, $P_{2,OUT}$ η τελική παραγόμενη ισχύς μετά την αλλαγή της απόδοσης λόγω ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, G_T η ακτινοβολία, A το εμβαδόν του πάνελ, « η » η απόδοση του κατασκευαστή, Eff_{rel} η σχετική απόδοση μετά την αλλαγή μόνο της ακτινοβολίας από τις S.T.C. συνθήκες, « γ_P » ο συντελεστής θερμοκρασίας της ισχύος και T_{PV} η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πάνελ.

Για τον υπολογισμό της (%) μεταβολής της ισχύος εξόδου λόγω θερμοκρασίας και ακτινοβολίας, υπολογίστηκε η μέγιστη δυνατή ισχύς P_{MAX} με βάση τα δεδομένα μονάχα της ακτινοβολίας και της απόδοσης του κατασκευαστή βάσει της σχέσης (5.7), σαν αυτή να μην άλλαζε από τις μεταβολές στην απόδοση. Από την οποία και υπολογίστηκε η (%) μεταβολή της ισχύος εξόδου λόγω θερμοκρασίας και ακτινοβολίας.

$$P_{MAX} = G_T \times A \times \eta \quad (5.7)$$

Για το υπολογισμό της ισχύος εξόδου και με τους δύο τρόπους, αντικαταστάθηκε ο συντελεστής k_3 με τον συντελεστή θερμοκρασίας της ισχύος έκαστου πάνελ. Ομοίως και με την απόδοση και το εμβαδόν έκαστου κατασκευαστή. Τέλος, όπως και στο PV.G.I.S. δεν λήφθηκαν υπόψιν οι τιμές για οποιαδήποτε ακτινοβολία μικρότερη των 50 W/m².

5.2.4 Μεταβολή στην Ισχύ Εξόδου Λόγω της Γωνίας Πρόσπτωσης

Η γωνία πρόσπτωσης αναφέρεται στη γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης της ακτινοβολίας και του κάθετου προς την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο ουσιαστικά είναι το άθροισμα της διάχυτης και της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, την οποία και επηρεάζει η μεταβολή της γωνίας πρόσπτωσης. Ο υπολογισμός της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας φαίνεται και στη σχέση (5.8).

$$G_T = G_b + G_d \quad (5.8)$$

Όπου, G_T , G_b και G_d η ολική, η άμεση και η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο αντίστοιχα. Καθώς η θέση του ηλίου μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και του χρόνου, η γωνία πρόσπτωσης μεταβάλλεται και αυτή. Η γωνία αυτή είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό της τελικής παραγόμενης ισχύος, καθώς δεν απορροφάται η ηλιακή ενέργεια σαν να ήταν κάθετη στο φωτοβολταϊκό, οπότε ένα τμήμα της ανακλάται. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη για τον υπολογισμό της (%) μεταβολής στην ισχύ εξόδου λόγω της γωνίας πρόσπτωσης είναι το μοντέλο των Martin και Ruiz. Η σχέση που δίνει το μοντέλο αυτό είναι αυτό που περιγράφεται στη σχέση (5.9).

$$AL(\theta_{AOI}) = 1 - \frac{\bar{T}(\theta_{AOI})}{\bar{T}(0)} = 1 - \left[\frac{1 - \exp\left(-\frac{\cos(\theta_{AOI})}{a_r}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{1}{a_r}\right)} \right] \cong 1 - \frac{1 - \bar{R}(\theta_{AOI})}{1 - \bar{R}(0)}, \quad (5.9)$$

Όπου $AL(\theta_{AOI})$ οι απώλειες στη γωνία πρόσπτωσης, θ_{AOI} η γωνία πρόσπτωσης, $\bar{T}(x)$ η διαπερατότητα στη γωνία «x», $\bar{R}(x)$ η ανακλαστικότητα στη γωνία x, και α_r ο συντελεστής της γωνίας πρόσπτωσης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα $R(0)$ και α_r για διάφορες διατάξεις.

Πίνακας 5.1: Δεδομένα ανακλαστικότητας και συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης για διάφορα υλικά [2]

ΔΙΑΤΑΞΗ	R(0)	α_r
ΑΕΡΑΣ/ΓΥΑΛΙ	0,043	0,173
ΑΕΡΑΣ/ΓΥΑΛΙ/Si	0,0025	0,157
ΑΕΡΑΣ/ΓΥΑΛΙ/SiO ₂ /Si	0,260	0,155
ΑΕΡΑΣ/ΓΥΑΛΙ/ΤΡΙΠΛΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗ/Si	0,113	0,179
ΑΕΡΑΣ/ΓΥΑΛΙ/ZnS/Si	0,085	0,168
ΑΕΡΑΣ/ΓΥΑΛΙ/a-Si:H/Ag	0,358	0,136
ΑΕΡΑΣ/ΓΥΑΛΙ/ΙΤΟ(d1)/a-Si:H/Ag	0,267	0,138
ΑΕΡΑΣ/ΓΥΑΛΙ/ΙΤΟ(d2)/a-Si:H/Ag	0,203	0,163

Ακόμη, για τον υπολογισμό του συντελεστή πρόσπτωσης δίνεται η παρακάτω σχέση (5.10):

$$f_{1a} = \frac{I_{SC}(\theta_{AOI})}{I_{SC}(0) \times \cos(\theta_{AOI})} \cong \frac{1 - \bar{R}(\theta_{AOI})}{1 - \bar{R}(0)} \quad (5.10)$$

Επιπλέον, για τον υπολογισμό τις γωνίας πρόσπτωσης είναι απαραίτητοι άλλοι υπολογισμοί, όπως είναι η ωριαία γωνία, η ηλιακή απόκλιση, η ζενίθια γωνία. Για οριζόντια τοποθετημένες επιφάνειες, η γωνία πρόσπτωσης είναι η ζενίθια γωνία. Πιο συγκεκριμένα, ο υπολογισμός της ωριαίας γωνίας γίνεται από τη σχέση (5.11).

$$\omega = 15^\circ \times (LST - 12) \quad (5.11)$$

Όπου, «ω» η ωριαία γωνία και LST η τοπική ηλιακή ώρα, η οποία με τη σειρά της υπολογίζεται με τους κάτωθι τύπους (5.12), (5.13), (5.14) και (5.15).

$$\gamma = \frac{2 \times \pi}{365} \times \left(H.E. - 1 + \frac{\Omega.H. - 12}{24} \right) \quad (5.12)$$

$$eqtime = 229,18 \times (0,000075 + 0,001868 \times \cos(\gamma) - 0,032077 \times \sin(\gamma) - 0,014615 \times \cos(2\gamma) - 0,040846 \times \sin(2\gamma)) \quad (5.13)$$

$$t_{offset} = eqtime + 4 \times (Γ.M. - 15 \times \Delta TZ) \quad (5.14)$$

$$LST = \Omega.H. + \frac{t_{offset}}{60} \quad (5.15)$$

Όπου, Η.Ε. η ημέρα του έτους, Ω.Η. η ώρα της ημέρας, Γ.Μ. το γεωγραφικό μήκος και ΔΤΖ η διαφορά της ώρα από την UTC. Η ηλιακή απόκλιση ή γωνία «δ» υπολογίζεται από το μοντέλο του Cooper (5.16).

$$\delta = 23,45^\circ \times \sin\left(360 \times \frac{284+n}{365}\right) \quad (5.16)$$

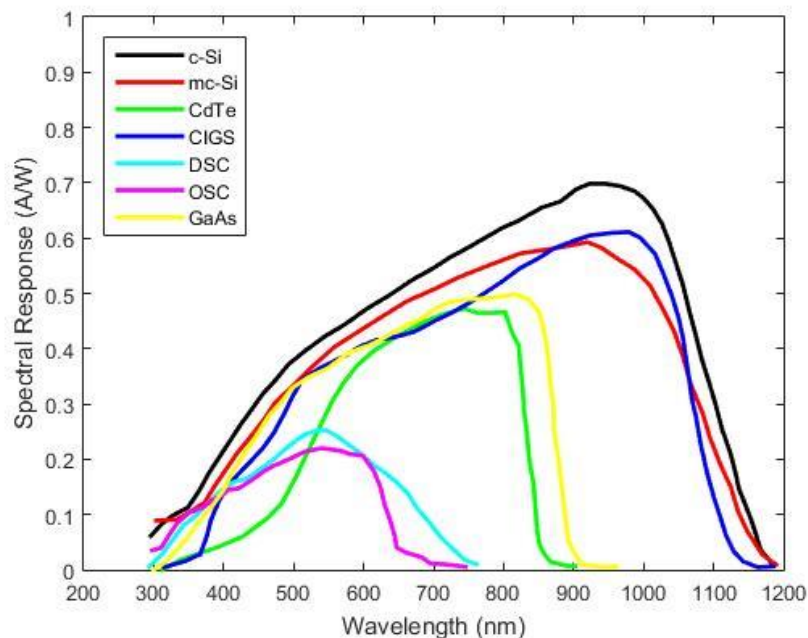
Όπου, «n» η ημέρα του έτους, και η ζενίθια γωνία προκύπτει από τη σχέση (5.17). Όπου «φ» το γεωγραφικό πλάτος.

$$\cos(\theta_z) = \cos(\varphi) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) + \sin(\varphi) \times \sin(\delta) \quad (5.17)$$

Έτσι υπολογίζονται οι απώλειες λόγω της γωνίας πρόσπτωσης ώστε να μπορέσουν σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες απώλειες να βοηθήσουν στο τελικό υπολογισμό της παραγόμενης ισχύος και ενέργειας.

5.2.5 Μεταβολή στην Ισχύ Εξόδου Λόγω Μεταβολών του Ηλιακού Φάσματος

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό, είναι πως κάθε φωτοβολταϊκό πάνελ μπορεί να μετασχηματίσει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, μόνο εντός ενός συγκεκριμένου εύρους μηκών κύματος, το οποίο αυτό εύρος εξαρτάται από τον τύπο του πάνελ. Για την αναγνώριση του εύρους αυτού για κάθε πάνελ, έχει κατασκευαστεί ένα γράφημα, το οποίο ονομάζεται καμπύλη ευαισθησίας του φ/β πάνελ, το οποίο είναι γνωστό ως φασματική απόκριση. Στην εικόνα (5.1) παρουσιάζονται οι καμπύλες φασματικής απόκρισης για διάφορες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες.



Εικόνα 5.1: Φασματική απόκριση ως συνάρτηση του μήκους κύματος για διάφορες τεχνολογίες δομοστοιχείων [17]

Ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την εποχή, καθώς και τις μετεωρολογικές συνθήκες, το φάσμα του ηλιακού φωτός αλλάζει. Για παράδειγμα, το ηλιακό φως είναι πιο κόκκινο κοντά στην ανατολή και τη δύση του ήλιου.

Η επίδραση των μεταβολών του ηλιακού φάσματος στο ρεύμα βραχυκύκλωσης, είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την απόκριση του φωτοβολταϊκού πάνελ. Όπως φαίνεται στην εξίσωση (5.18), για ένα δεδομένο μήκος κύματος «λ», το I_{sc} είναι ανάλογο της φασματικής απόκρισης και της έντασης του φωτός στο συγκεκριμένο μήκος κύματος

$$I_{sc} = k \times \int [S_r(\lambda) \times R(\lambda)] d\lambda \quad (5.18)$$

Όπου, S_r η φασματική απόκριση, $R(\lambda)$ είναι η φασματική ένταση του φωτός και «k» μια σταθερά αναλογικότητας ειδική για έκαστο πάνελ.

Ωστόσο, η ισχύς του πάνελ δεν είναι ανάλογη του I_{sc} , καθώς εξαρτάται επίσης από την τάση του. Ωστόσο, για μικρές μεταβολές στην ισχύ, η μεταβολή της τάσης είναι μικρή και τελικά η ισχύς θα είναι περίπου ανάλογη της I_{sc} . Επιπλέον, ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό της μεταβολής της τελικά παραγόμενης ενέργειας με βάση την αλλαγή του ηλιακού φάσματος είναι ο συντελεστής αναντιστοιχίας, ο οποίος και υπολογίζεται στην σχέση (5.19).

$$MM = \frac{\int [S_r(\lambda) \times R(\lambda)] d\lambda}{\int [S_r(\lambda) \times R_{STC}(\lambda)] d\lambda} \times \frac{G_{STC}}{G_{POA}} = \frac{I_{sc}}{I_{sc,STC}} \quad (5.19)$$

Όπου,

- R_{STC} είναι το φάσμα που ορίζεται στις συνθήκες STC
- G_{STC} είναι 1000 W/m^2
- $G_{POA} = \int R(\lambda) d\lambda$ και είναι η ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη

Ο συντελεστής αναντιστοιχίας MM χρησιμοποιείται για τον ορισμό μιας αποτελεσματικής ακτινοβολίας, G_{eff} , σε συνδυασμό με τη λαμβανόμενη ακτινοβολία G_{POA} , όπως φαίνεται στην σχέση (5.20).

$$G_{eff} = MM \times G_{POA} \quad (5.20)$$

Ακόμη, η αποτελεσματική ακτινοβολία G_{eff} χρησιμοποιείται μέσω των σχέσεων (5.4) και (5.5)/(5.6) για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ισχύος στην έξοδο του πάνελ, καθώς η ισχύς συσχετίζεται με την ακτινοβολία με μη γραμμικό τρόπο.

5.2.6 Συνολικές Απώλειες Φωτοβολταϊκού Πάνελ

Μετά τον υπολογισμό των επιμέρους απωλειών είναι απαραίτητη η συνολική χρήση αυτών ώστε να υπολογιστεί η τελική παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πάνελ. Η σχέση η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των συνολικών απωλειών φαίνεται και στη σχέση (5.21)

$$\Sigma.A. = 100 \times [1 - (1 - AP_{\theta/A}) \times (1 - AP_{\Gamma.Π.}) \times (1 + AP_{\Phi.Η.Φ.})] \quad (5.21)$$

Όπου, $\Sigma.A.$ οι (%) συνολικές απώλειες, $AP_{\theta/A}$ οι απώλειες λόγω θερμοκρασίας και ακτινοβολίας, $AP_{\Gamma.Π.}$ οι απώλειες λόγω της γωνίας πρόσπτωσης και $AP_{\Phi.Η.Φ.}$ οι απώλειες λόγω διαφορών του φάσματος του ηλιακού φωτός. Μετά τον υπολογισμό των συνολικών απωλειών, είναι απαραίτητη η ένταξή τους στη σχέση (5.7) της

συνολικής παραγόμενης ισχύς, ώστε να μπορέσει να υπολογίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια, καθώς αυτοί οι αστάθμητοι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν αρκετά τα τελικά αποτελέσματα. Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της τελικής παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος είναι αυτή που παρουσιάζεται στη σχέση (5.22).

$$P_{OUT} = G \times A \times \eta \times \left(1 - \frac{\Sigma A_i}{100}\right) \quad (5.22)$$

Όπως προαναφέρθηκε, οι υπολογισμοί έγιναν σε ωριαία βάση για όλα τα έτη από το 2005 έως και το 2020 για έκαστο κατασκευαστή και περιοχή και με τις δύο μεθόδους που αναφέρθηκαν, καθώς και έγινε η μετατροπή τους για εγκατάσταση 1000 kWp (1 MW). Έπειτα, υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι για έκαστο μήνα και τέλος για το έτος. Παρακάτω φαίνονται και οι πίνακες με τα αποτελέσματα της μελέτης.

5.3 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Παρακάτω βρίσκονται οι πίνακες των αποτελεσμάτων της μελέτης. Για λόγους διάταξης και χώρου, παρακάτω θα αναγραφούν οι δύο κατασκευαστές με τις σημαντικότερες διαφορές χαρακτηριστικών για τις δύο περιοχές με τις σημαντικότερες διαφορές θερμοκρασίας και ακτινοβολίας (Φλώρινα και Ηράκλειο). Οι υπόλοιποι πίνακες των αποτελεσμάτων για τους άλλους κατασκευαστές και τις άλλες περιοχές δεν έχουν συμπεριληφθεί στο παρόν αρχείο για λόγους όγκου δεδομένων.

Για την Περιοχή της Φλώρινας:

Πίνακας 5.2: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για τον κατασκευαστή 1 (360W) στη Φλώρινα για την ισχύ $P_{1,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_1						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_{max} (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_1 (kWh)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΟΓΩ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ Σ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙ ΑΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ S.T.C (%)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	21,08	20,34	3,47	9,15	19,14	53166,24
ΦΕΒ.	25,82	24,96	3,32	7,00	24,01	66680,87
ΜΑΡ.	42,27	40,79	3,51	6,39	39,55	109871,29
ΑΠΡ.	55,02	52,67	4,27	7,47	50,89	141368,29
ΜΑΙΟΣ	67,09	63,15	5,87	8,45	61,40	170558,01
ΙΟΥΝ.	74,09	69,01	6,86	9,94	66,71	185312,80
ΙΟΥΛ.	81,06	74,82	7,70	10,60	72,45	201248,40
ΑΥΓ.	72,39	66,68	7,88	10,96	64,44	178990,11
ΣΕΠ.	51,43	48,11	6,47	9,76	46,40	128899,98
ΟΚΤ.	36,28	34,29	5,49	8,58	33,15	92093,56
ΝΟΕΜ.	23,46	22,31	4,90	8,78	21,39	59419,16
ΔΕΚ.	19,12	18,26	4,53	9,96	17,21	47808,91
ΣΥΝ.	569,10	535,38	5,93	11,33	516,75	1435417,60

Πίνακας 5.3: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για τον κατασκευαστή 1 (360W) στη Φλώρινα για την ισχύ $P_{2,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_2						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_{max} (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_2 (kWh)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΟΓΩ ΑΚΤ/ΛΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜ/ΣΙΑΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ S.T.C. (%)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	21,08	20,32	3,59	9,27	19,12	53101,33
ΦΕΒ.	25,82	24,94	3,40	7,07	23,99	66628,44
ΜΑΡ.	42,27	40,77	3,55	6,44	39,54	109823,20
ΑΠΡ.	55,02	52,64	4,32	7,52	50,86	141282,99
ΜΑΙΟΣ	67,09	63,07	5,98	8,56	61,33	170358,44
ΙΟΥΝ.	74,09	68,87	7,06	10,13	66,58	184930,71
ΙΟΥΛ.	81,06	74,61	7,95	10,85	72,25	200695,74
ΑΥΓ.	72,39	66,51	8,12	11,19	64,27	178529,86
ΣΕΠ.	51,43	48,05	6,58	9,86	46,35	128750,69
ΟΚΤ.	36,28	34,27	5,52	8,61	33,14	92064,14
ΝΟΕΜ.	23,46	22,30	4,94	8,81	21,38	59397,47
ΔΕΚ.	19,12	18,24	4,63	10,05	17,19	47759,80
ΣΥΝ.	569,10	534,60	6,06	11,46	516,00	1433322,80

Πίνακας 5.4: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για το πάνελ του κατασκευαστή 7 (250W) στη Φλώρινα για την ισχύ $P_{1,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_1						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_{max} (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_1 (kWh)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΟΓΩ ΑΚΤ/ΛΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜ/ΣΙΑΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ S.T.C. (%)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	14,64	14,43	1,41	7,22	13,55	54180,85
ΦΕΒ.	17,93	17,56	2,07	5,80	16,85	67391,75
ΜΑΡ.	29,35	28,26	3,72	6,60	27,35	109385,70
ΑΠΡ.	38,20	35,96	5,87	9,02	34,67	138694,48
ΜΑΙΟΣ	46,58	42,56	8,64	11,14	41,30	165184,03
ΙΟΥΝ.	51,44	45,91	10,76	13,71	44,29	177173,96
ΙΟΥΛ.	56,28	49,33	12,35	15,10	47,67	190692,51
ΑΥΓ.	50,25	43,99	12,47	15,40	42,42	169693,94
ΣΕΠ.	35,71	32,30	9,54	12,72	31,10	124394,72
ΟΚΤ.	25,19	23,49	6,74	9,79	22,67	90677,91
ΝΟΕΜ.	16,29	15,58	4,36	8,26	14,91	59623,88
ΔΕΚ.	13,28	12,93	2,63	8,17	12,16	48651,51
ΣΥΝ.	395,15	362,29	8,31	13,58	348,94	1395745,25

Πίνακας 5.5: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για το πάνελ του κατασκευαστή 7 (250W) στη Φλώρινα για την ισχύ $P_{2,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_2						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_{max} (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_2 (kWh)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΟΓΩ ΑΚΤ/ΛΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜ/ΣΙΑΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ S.T.C. (%)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	14,64	14,39	1,70	7,49	13,51	54021,25
ΦΕΒ.	17,93	17,52	2,27	5,99	16,81	67254,22
ΜΑΡ.	29,35	28,23	3,83	6,70	27,32	109267,71
ΑΠΡ.	38,20	35,93	5,96	9,10	34,64	138568,45
ΜΑΙΟΣ	46,58	42,50	8,76	11,26	41,24	164964,00
ΙΟΥΝ.	51,44	45,81	10,95	13,89	44,20	176792,48
ΙΟΥΛ.	56,28	49,19	12,60	15,34	47,54	190154,13
ΑΥΓ.	50,25	43,87	12,70	15,62	42,31	169250,96
ΣΕΠ.	35,71	32,26	9,65	12,82	31,06	124242,62
ΟΚΤ.	25,19	23,48	6,79	9,84	22,66	90621,63
ΝΟΕΜ.	16,29	15,56	4,49	8,38	14,89	59545,08
ΔΕΚ.	13,28	12,89	2,90	8,43	12,13	48516,94
ΣΥΝ.	395,15	361,63	8,48	13,74	348,30	1393199,45

Για την Περιοχή του Ηρακλείου:

Πίνακας 5.6: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για τον κατασκευαστή 1 (360W) στο Ηράκλειο Κρήτης για την ισχύ $P_{1,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_1						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_{max} (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_1 (kWh)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΟΓΩ ΑΚΤ/ΛΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜ/ΣΙΑΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ S.T.C. (%)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	25,29	23,94	5,30	9,74	22,82	63375,20
ΦΕΒ.	30,52	29,13	4,55	6,76	28,45	79025,38
ΜΑΡ.	50,08	47,88	4,39	6,57	46,77	129925,05
ΑΠΡ.	64,73	61,11	5,59	8,17	59,42	165052,30
ΜΑΙΟΣ	76,42	71,35	6,64	8,73	69,73	193706,23
ΙΟΥΝ.	84,73	78,31	7,58	10,17	76,09	211370,22
ΙΟΥΛ.	89,90	83,01	7,66	10,09	80,80	224455,62
ΑΥΓ.	81,86	75,64	7,60	10,22	73,48	204105,64
ΣΕΠ.	61,74	57,55	6,79	9,59	55,80	155001,39
ΟΚΤ.	44,59	41,80	6,27	8,76	40,67	112981,72
ΝΟΕΜ.	29,51	27,88	5,54	8,63	26,96	74884,93
ΔΕΚ.	23,11	21,69	6,14	10,64	20,64	57344,98
ΣΥΝ.	662,47	619,29	6,52	11,89	601,64	1671228,64

Πίνακας 5.7: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για τον κατασκευαστή 1 (360W) στο Ηράκλειο Κρήτης για την ισχύ $P_{2,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_2						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_{max} (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_2 (kWh)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΟΓΩ ΑΚΤ/ΛΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜ/ΣΙΑΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ S.T.C. (%)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	25,29	23,94	5,32	9,76	22,81	63363,48
ΦΕΒ.	30,52	29,13	4,57	6,78	28,44	79010,59
ΜΑΡ.	50,08	47,86	4,43	6,61	46,75	129872,30
ΑΠΡ.	64,73	61,04	5,70	8,28	59,35	164857,69
ΜΑΙΟΣ	76,42	71,20	6,83	8,92	69,59	193299,65
ΙΟΥΝ.	84,73	78,08	7,84	10,43	75,87	210761,00
ΙΟΥΛ.	89,90	82,77	7,93	10,36	80,56	223788,10
ΑΥΓ.	81,86	75,44	7,85	10,46	73,28	203552,13
ΣΕΠ.	61,74	57,44	6,95	9,75	55,70	154730,00
ΟΚΤ.	44,59	41,77	6,33	8,82	40,65	112908,15
ΝΟΕΜ.	29,51	27,87	5,55	8,63	26,96	74877,78
ΔΕΚ.	23,11	21,69	6,15	10,65	20,64	57339,13
ΣΥΝ.	662,47	618,23	6,68	12,04	600,61	1668360,01

Πίνακας 5.8: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για το πάνελ του κατασκευαστή 7 (250W) στο Ηράκλειο Κρήτης για την ισχύ $P_{1,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_1						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_{max} (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_1 (kWh)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΟΓΩ ΑΚΤ/ΛΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜ/ΣΙΑΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ S.T.C. (%)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	17,56	16,52	5,89	10,30	15,71	62844,78
ΦΕΒ.	21,20	20,15	4,95	7,15	19,63	78525,66
ΜΑΡ.	34,77	32,72	5,91	8,05	31,89	127576,28
ΑΠΡ.	44,94	41,17	8,40	10,91	39,95	159788,88
ΜΑΙΟΣ	53,06	47,45	10,56	12,56	46,29	185154,11
ΙΟΥΝ.	58,82	51,60	12,28	14,74	50,04	200174,20
ΙΟΥΛ.	62,41	54,62	12,49	14,80	53,06	212250,41
ΑΥΓ.	56,83	49,84	12,31	14,80	48,32	193265,25
ΣΕΠ.	42,86	38,27	10,71	13,39	37,04	148159,49
ΟΚΤ.	30,96	28,23	8,82	11,25	27,42	109665,01
ΝΟΕΜ.	20,49	19,13	6,67	9,72	18,46	73825,69
ΔΕΚ.	16,05	15,06	6,16	10,65	14,30	57208,30
ΣΥΝ.	459,96	414,75	9,83	15,01	402,11	1608438,05

Πίνακας 5.9: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για το πάνελ του κατασκευαστή 7 (250W) στο Ηράκλειο Κρήτης για την ισχύ $P_{2,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_2						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_{max} (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_2 (kWh)	ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΛΟΓΩ ΑΚΤ/ΛΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜ/ΣΙΑΣ (%)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ Σ.Τ.Σ. (%)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	17,56	16,51	5,97	10,38	15,70	62790,43
ΦΕΒ.	21,20	20,13	5,01	7,21	19,62	78471,60
ΜΑΡ.	34,77	32,70	5,97	8,11	31,87	127493,66
ΑΠΡ.	44,94	41,11	8,52	11,02	39,89	159579,69
ΜΑΙΟΣ	53,06	47,35	10,76	12,76	46,19	184748,14
ΙΟΥΝ.	58,82	51,44	12,54	14,99	49,89	199577,33
ΙΟΥΛ.	62,41	54,45	12,76	15,06	52,90	211597,48
ΑΥΓ.	56,83	49,70	12,56	15,04	48,18	192726,54
ΣΕΠ.	42,86	38,21	10,86	13,54	36,97	147899,59
ΟΚΤ.	30,96	28,21	8,88	11,31	27,40	109594,67
ΝΟΕΜ.	20,49	19,12	6,70	9,74	18,45	73806,18
ΔΕΚ.	16,05	15,05	6,23	10,72	14,29	57164,26
ΣΥΝ.	459,96	413,98	10,00	15,16	401,36	1605449,60

5.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με βάση του παραπάνω πίνακες, μπορούν να γίνουν αρκετές παρατηρήσεις και να προκύψουν πολλά συμπεράσματα. Αρχικά, παρατηρώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν στους πίνακες 5.2 - 5.3, 5.4 - 5.5, 5.6 - 5.7 και 5.8 - 5.9, φαίνεται πως με τις δύο μεθόδους υπολογισμού $P_{1,out}$ και $P_{2,out}$ που παρουσιάστηκαν παραπάνω προκύπτουν αποτελέσματα τα οποία είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους, τόσο μηνιαία όσο

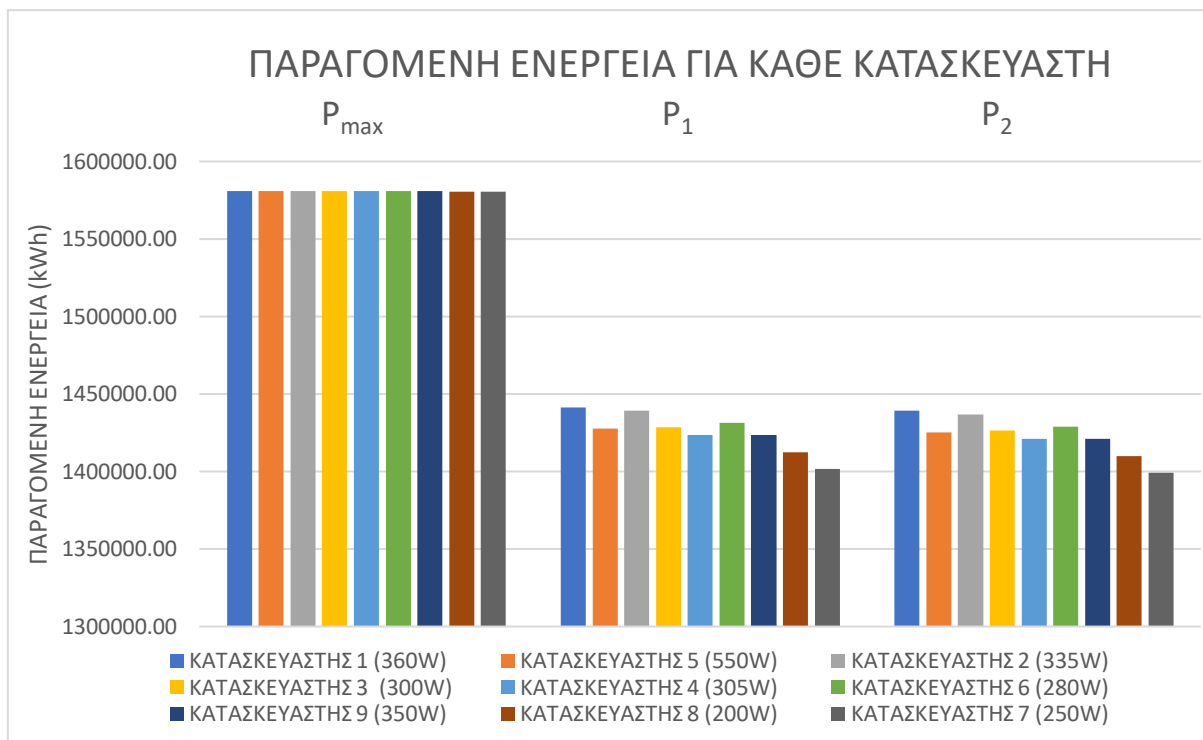
και ετησίως. Ακόμη, ένα σημαντικό αλλά αναμενόμενο συμπέρασμα είναι ότι το πάνελ του κατασκευαστή 1 παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα από εκείνο του κατασκευαστή 7 ασχέτως της διαφορετικής τους ισχύς. Αυτό μπορεί πολύ πιο εύκολα να παρατηρηθεί μέσω του παρακάτω υπολογισμού στην εξίσωση (5.23).

$$P_{LG,250W} = \frac{250 \times P_{LG,360W}}{360} = \frac{250 \times 535,38}{360} = 371,79 \text{ W} > 362,29 \text{ W} \quad (5.23)$$

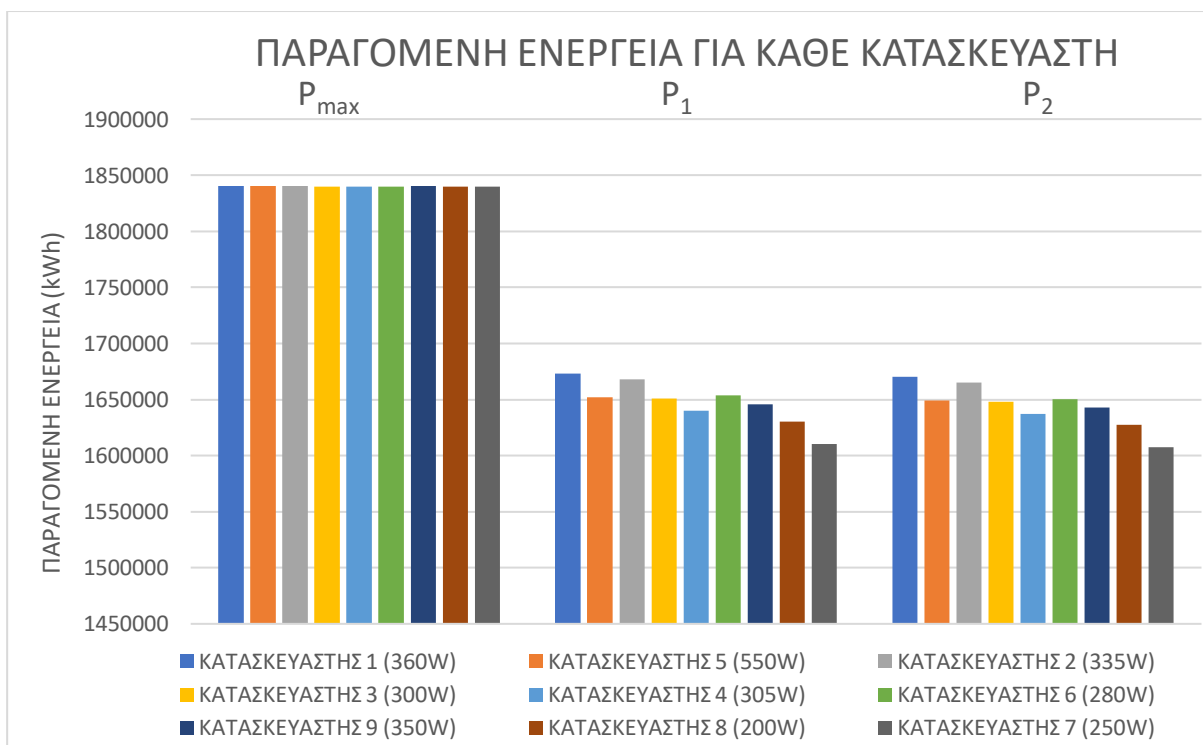
Όπου, $P_{\text{ΚΑΤ.1,250W}}$ η ισχύς που θα προέκυπτε εάν το πάνελ του κατασκευαστή 1 ήταν 250 Watt και $P_{\text{ΚΑΤ.1,360W}}$ η ισχύς που προέκυψε για το πάνελ του κατασκευαστή 1. Το συμπέρασμα αυτό είναι λογικό, καθώς παρόλο που η σύγκριση γίνεται για την ίδια περιοχή, το πάνελ του κατασκευαστή 1 έχει καλύτερη απόδοση αλλά και μικρότερο συντελεστή θερμοκρασίας. Αντίστοιχο αποτέλεσμα θα προέκυπτε και με την σύγκριση των υπόλοιπων πάνελ. Επιπλέον, ακόμη ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα είναι αυτό που προκύπτει από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων για τη Φλώρινα και το Ηράκλειο (πίνακες 5.2 και 5.6), όπου παρόλο που στο Ηράκλειο έχει πολύ μεγαλύτερες θερμοκρασίες από τη Φλώρινα, το αποτέλεσμα είναι μεγαλύτερο λόγω πολύ μεγαλύτερων τιμών ακτινοβολίας στην περιοχή του Ηρακλείου. Όμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για την μέθοδο του $P_{2,\text{OUT}}$ με της αντίστοιχες συγκρίσεις των υπόλοιπων πινάκων (5.3, 5.4, 5.5 και 5.9), αλλά και για της υπόλοιπους κατασκευαστές και περιοχές.

Πιο συγκεκριμένα για τις περιοχές και τους κατασκευαστές που μελετήθηκαν, οι αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν ανάμεσα στα αποτελέσματα των υπολογισμών με βάση τη μέθοδο 1 σε σχέση με τη μέθοδο 2 ήταν το πολύ έως $\pm 0,19\%$. Κάτι που σημαίνει ότι φαίνεται και εμπράκτως και επιβεβαιώνεται η ισχύς και αξία της εφαρμογής της μεθόδου υπολογισμού 2 λόγω της μικρής αυτής απόκλισης. Ωστόσο για την πλήρη αποδοχή της αποτελεσματικότητάς της χρήζει ελέγχου πειραματικών μετρήσεων και ως κατ' επέκταση συγκρίσεων.

Ακόμη, απ' ότι φαίνεται και από της παραπάνω πίνακες αλλά και τα σχήματα (5.1) και (5.2), η προσθήκη των απωλειών της υπολογισμούς διαδραμάτισε καθοριστικό ρόλο για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων. Αυτό παρατηρείται αφού η τιμή P_{max} είναι σχεδόν ίδια για όλους της κατασκευαστές στην ίδια περιοχή για την εγκατάσταση του 1 MW, ενώ στην παραγόμενη ενέργεια, μετά την προσθήκη των απωλειών (P_1 και P_2) μπορεί να παρατηρηθεί η διαφοροποίηση τόσο του κάθε πάνελ μεταξύ του, όσο και των δύο μεθόδων. Η απουσία των απωλειών από τα αποτελέσματα των υπολογισμών, θα αποτελούσε πηγή λανθασμένων αποτελεσμάτων καθώς και προβλέψεων για την τελική παραγωγή αλλά και της συνολικές επιδόσεις του έργου.



Σχήμα 5.1: Γραφική παράσταση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας P_{max} , $P_{1,out}$ και $P_{2,out}$ για την περιοχή της Φλώρινας



Σχήμα 5.2 Γραφική παράσταση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας P_{max} , $P_{1,out}$ και $P_{2,out}$ για την περιοχή του Ηρακλείου

Τέλος, πολύ σημαντική για τη σύγκριση είναι η μετατροπή της εγκατάστασης από μονάδα της πάνελ σε μονάδα όσων πάνελ αντιστοιχούν σε εγκατάσταση 1000 kWp (1 MW), ώστε να υπάρχει ένα κοινό σημείο αναφοράς για όλους της κατασκευαστές για έκαστη περιοχή.

6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ, ΛΗΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ONLINE ΕΡΓΑΛΕΙΟ PV.G.I.S.

6.1 ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ PV.G.I.S.

Το PV.G.I.S. (Photovoltaic Geographical Information System) αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο για τον υπολογισμό και την αξιολόγηση της απόδοσης φωτοβολταϊκών συστημάτων σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Αναπτύχθηκε από το Joint Research Centre της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και προσφέρει αξιόπιστες πληροφορίες για την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία, τα φωτοβολταϊκά συστήματα, και της σχετικές παραμέτρους που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

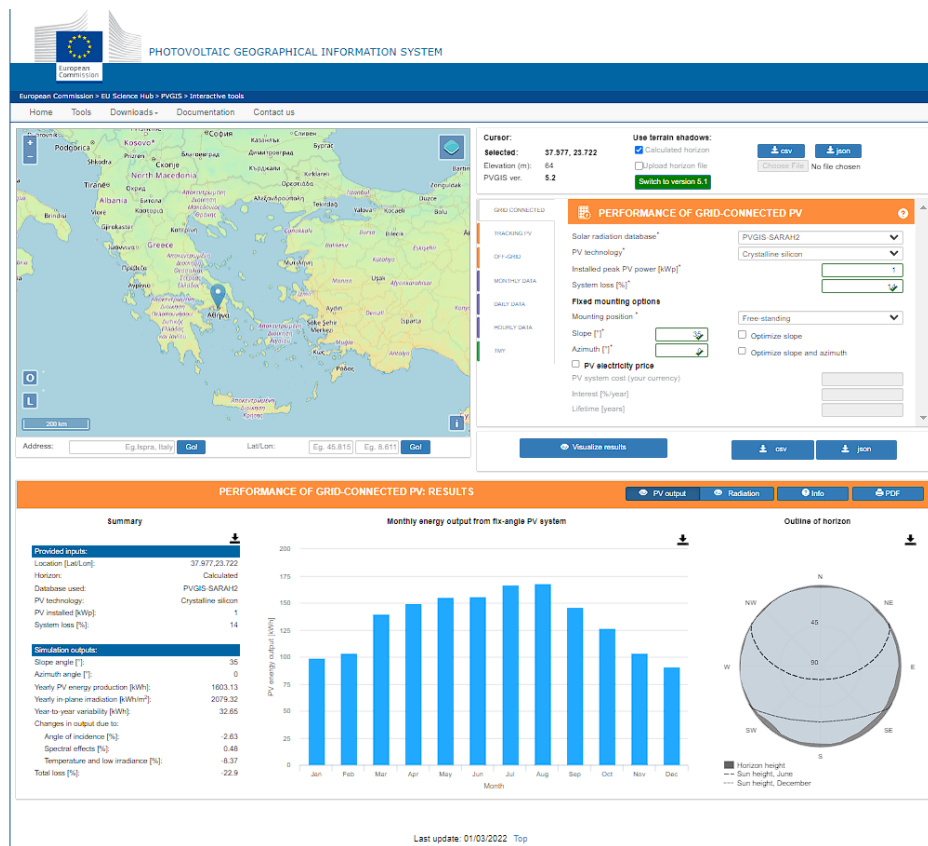
Ένα από τα χρησιμότερα εργαλεία που παρέχει το PV.G.I.S. είναι το «Performance of Grid-Connected PV», (Εικ. 20) το οποίο επιτρέπει της χρήστες να αξιολογήσουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό το εργαλείο παρέχει λεπτομερείς υπολογισμούς και γραφήματα που βοηθούν της χρήστες να κατανοήσουν πώς λειτουργεί η κάθε εγκατάσταση, την απόδοση της αλλά και τυχόν απώλειες που μπορεί να υπάρξουν ανάλογα την περιοχή εγκατάστασης. Επιπλέον, παρέχει εκτιμήσεις για την παραγωγή ενέργειας σε διάφορα χρονικά διαστήματα, της ωριαία, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια.

Το περιβάλλον χρήσης είναι ιδιαίτερα εύχρηστο και με πληθώρα επιλογών. Στην περίπτωση του “Grid Connected PV”, αρχικά ο χρήστης επιλέγει την περιοχή της εγκατάστασης είτε πάνω στον χάρτη, είτε εισάγοντας της συντεταγμένες. Το PV.G.I.S. χρησιμοποιεί τη βάση δεδομένων “SARAH2”, την πιο πρόσφατη και έγκυρη βάση δεδομένων της, αλλά έχουμε τη δυνατότητα να εισάγουμε όποια εμείς επιθυμούμε. Στη συνέχεια, μπορεί να επιλεγεί το είδος του πάνελ, την μέγιστη ισχύ εγκατάστασης και της απώλειες του συστήματος που προκύπτουν για διάφορους λόγους της σκόνη, απώλειες στα καλώδια και στον αναστροφέα κ.α. Το PV.G.I.S. προτείνει το 14% για της απώλειες αυτές, αλλά έχουμε τη δυνατότητα να το αλλάξουμε. Άλλα δεδομένα που έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε είναι η θέση εγκατάστασης των panel (free standing/Roof added), η κλίση της και η αζημούθια γωνία.

Αφού εισάγουμε τα δεδομένα της, γίνονται οι υπολογισμοί και της παρουσιάζονται τα εξής αποτελέσματα:

- Η εκτιμώμενη ετήσια παραγόμενη ισχύς της εγκατάστασης αλλά και η μηνιαία σε γράφημα.
- Η εκτιμώμενη ετήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο αλλά και η μηνιαία σε γράφημα.

- Οι απώλειες λόγω γωνίας πρόσπτωσης, μεταβολών του ηλιακού φάσματος και θερμοκρασίας και χαμηλής ακτινοβολίας.



Εικόνα 6.1: Δεδομένα και αποτελέσματα του εργαλείου της PV.G.I.S. [18]

Επιπλέον, τα αποτελέσματα αυτά μπορούμε να τα εξάγουμε για περαιτέρω έρευνα και μελέτη, σε ωριαία, ημερήσια, μηνιαία και ετήσια βάση. Για την παρούσα μελέτη, λήφθηκαν τα ωριαία αποτελέσματα της ισχύς εξόδου για τα έτη 2005 έως και 2020, για τις ίδιες περιοχές που χρησιμοποιήθηκαν και προηγουμένως (κεφάλαιο 5). Τα αποτελέσματα ελήφθησαν με βάση την μέγιστη ισχύ εξόδου κατά τον κατασκευαστή (W_{peak}), για τους ίδιους όλους κατασκευαστές για τους οποίους έγινε και η μελέτη (κεφάλαιο 5). Σκοπός της λήψης των αποτελεσμάτων ήταν η σύγκρισή τους με τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 5. Παρακάτω υπάρχουν οι σχετικοί πίνακες σύγκρισης με τα αντίστοιχα γραφήματα όπως αυτά προέκυψαν. Οι συγκρίσεις έχουν γίνει και για εγκατάσταση 1000 kWp (1 MW).

6.2 ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Παρακάτω βρίσκονται οι πίνακες των αποτελεσμάτων της μελέτης. Για λόγους διάταξης και χώρου, παρακάτω θα αναγραφούν οι δύο κατασκευαστές με τις σημαντικότερες διαφορές χαρακτηριστικών για τις δύο περιοχές με τις σημαντικότερες διαφορές θερμοκρασίας και ακτινοβολίας (Φλώρινα και Ηράκλειο). Έχουν υπολογιστεί οι μέσοι όροι των ετών και μηνών με βάση τα δεδομένα που λήφθηκαν και για τις δύο

μεθόδους υπολογισμού. Όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, οι πίνακες για τις υπόλοιπες περιοχές και τους υπόλοιπους κατασκευαστές δεν έχουν συμπεριληφθεί στο παρόν αρχείο για λόγους όγκου.

Για την Περιοχή της Φλώρινας:

Πίνακας 6.1: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για τον κατασκευαστή 1 (360W) στη Φλώρινα για την ισχύ $P_{1,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_1						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_1 (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ PV.G.I.S. (%)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡ/ΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	19,14	53166,24	19,37	53800,94	-1,19	-634,70
ΦΕΒ.	24,01	66680,87	24,13	67026,27	-0,52	-345,40
ΜΑΡ.	39,55	109871,29	39,40	109438,59	0,39	432,70
ΑΠΡ.	50,89	141368,29	50,49	140261,21	0,78	1107,08
ΜΑΙΟΣ	61,40	170558,01	60,18	167160,47	1,99	3397,55
ΙΟΥΝ.	66,71	185312,80	64,99	180539,71	2,58	4773,08
ΙΟΥΛ.	72,45	201248,40	69,98	194384,97	3,41	6863,42
ΑΥΓ.	64,44	178990,11	62,43	173404,22	3,12	5585,89
ΣΕΠ.	46,40	128899,98	45,37	126021,28	2,23	2878,70
ΟΚΤ.	33,15	92093,56	32,59	90514,31	1,71	1579,25
ΝΟΕΜ.	21,39	59419,16	21,14	58731,93	1,16	687,23
ΔΕΚ.	17,21	47808,91	17,21	47805,46	0,01	3,45
ΣΥΝ.	516,75	1435417,60	507,27	1409089,36	1,83	26328,24

Πίνακας 6.2: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για τον κατασκευαστή 1 (360W) στη Φλώρινα για την ισχύ $P_{2,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_2						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_2 (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ PV.G.I.S. (%)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡ/ΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	19,12	53101,33	19,37	53800,94	-1,32	-699,61
ΦΕΒ.	23,99	66628,44	24,13	67026,27	-0,60	-397,83
ΜΑΡ.	39,54	109823,20	39,40	109438,59	0,35	384,61
ΑΠΡ.	50,86	141282,99	50,49	140261,21	0,72	1021,78
ΜΑΙΟΣ	61,33	170358,44	60,18	167160,47	1,88	3197,97
ΙΟΥΝ.	66,58	184930,71	64,99	180539,71	2,37	4391,00
ΙΟΥΛ.	72,25	200695,74	69,98	194384,97	3,14	6310,77
ΑΥΓ.	64,27	178529,86	62,43	173404,22	2,87	5125,64
ΣΕΠ.	46,35	128750,69	45,37	126021,28	2,12	2729,41
ΟΚΤ.	33,14	92064,14	32,59	90514,31	1,68	1549,83
ΝΟΕΜ.	21,38	59397,47	21,14	58731,93	1,12	665,53
ΔΕΚ.	17,19	47759,80	17,21	47805,46	-0,10	-45,66
ΣΥΝ.	516,00	1433322,80	507,27	1409089,36	1,69	24233,44

Πίνακας 6.3: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για το πάνελ του κατασκευαστή 7 (250W) στη Φλώρινα για την ισχύ $P_{1,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_1						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_1 (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ PV.G.I.S. (%)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡ/ΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	13,55	54180,85	13,45	53800,94	0,70	379,91
ΦΕΒ.	16,85	67391,75	16,76	67026,27	0,54	365,49
ΜΑΡ.	27,35	109385,70	27,36	109438,59	-0,05	-52,89
ΑΠΡ.	34,67	138694,48	35,07	140261,21	-1,13	-1566,73
ΜΑΙΟΣ	41,30	165184,03	41,79	167160,47	-1,20	-1976,43
ΙΟΥΝ.	44,29	177173,96	45,13	180539,71	-1,90	-3365,75
ΙΟΥΛ.	47,67	190692,51	48,60	194384,97	-1,94	-3692,47
ΑΥΓ.	42,42	169693,94	43,35	173404,22	-2,19	-3710,27
ΣΕΠ.	31,10	124394,72	31,51	126021,28	-1,31	-1626,56
ΟΚΤ.	22,67	90677,91	22,63	90514,31	0,18	163,60
ΝΟΕΜ.	14,91	59623,88	14,68	58731,93	1,50	891,95
ΔΕΚ.	12,16	48651,51	11,95	47805,46	1,74	846,05
ΣΥΝ.	348,94	1395745,25	352,27	1409089,36	-0,96	-13344,11

Πίνακας 6.4: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για το πάνελ του κατασκευαστή 7 (250W) στη Φλώρινα για την ισχύ $P_{2,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_2						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_2 (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ PV.G.I.S. (%)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡ/ΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	13,51	54021,25	13,45	53800,94	0,41	220,30
ΦΕΒ.	16,81	67254,22	16,76	67026,27	0,34	227,95
ΜΑΡ.	27,32	109267,71	27,36	109438,59	-0,16	-170,88
ΑΠΡ.	34,64	138568,45	35,07	140261,21	-1,22	-1692,76
ΜΑΙΟΣ	41,24	164964,00	41,79	167160,47	-1,33	-2196,47
ΙΟΥΝ.	44,20	176792,48	45,13	180539,71	-2,12	-3747,23
ΙΟΥΛ.	47,54	190154,13	48,60	194384,97	-2,22	-4230,84
ΑΥΓ.	42,31	169250,96	43,35	173404,22	-2,45	-4153,26
ΣΕΠ.	31,06	124242,62	31,51	126021,28	-1,43	-1778,65
ΟΚΤ.	22,66	90621,63	22,63	90514,31	0,12	107,32
ΝΟΕΜ.	14,89	59545,08	14,68	58731,93	1,37	813,14
ΔΕΚ.	12,13	48516,94	11,95	47805,46	1,47	711,48
ΣΥΝ.	348,30	1393199,45	352,27	1409089,36	-1,14	-15889,90

Για την Περιοχή του Ηρακλείου:

Πίνακας 6.5: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για τον κατασκευαστή 1 (360W) στο Ηράκλειο Κρήτης για την ισχύ $P_{1,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_1						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡΑΓ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_1 (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ PV.G.I.S. (%)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡ/ΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	22,82	63375,20	22,98	63825,92	-0,71	-450,72
ΦΕΒ.	28,45	79025,38	28,08	78013,62	1,28	1011,76
ΜΑΡ.	46,77	129925,05	45,96	127664,00	1,74	2261,05
ΑΠΡ.	59,42	165052,30	58,34	162054,90	1,82	2997,39
ΜΑΙΟΣ	69,73	193706,23	67,33	187014,12	3,45	6692,11
ΙΟΥΝ.	76,09	211370,22	73,60	204431,28	3,28	6938,94
ΙΟΥΛ.	80,80	224455,62	77,96	216542,29	3,53	7913,33
ΑΥΓ.	73,48	204105,64	71,05	197368,76	3,30	6736,88
ΣΕΠ.	55,80	155001,39	54,16	150436,72	2,94	4564,67
ΟΚΤ.	40,67	112981,72	39,60	110001,47	2,64	2980,25
ΝΟΕΜ.	26,96	74884,93	26,46	73505,91	1,84	1379,03
ΔΕΚ.	20,64	57344,98	20,65	57365,39	-0,04	-20,41
ΣΥΝ.	601,64	1671228,64	586,16	1628224,36	2,57	43004,28

Πίνακας 6.6: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για τον κατασκευαστή 1 (360W) στο Ηράκλειο Κρήτης για την ισχύ $P_{2,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_2						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_2 (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ PV.G.I.S. (%)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡ/ΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	22,81	63363,48	22,98	63825,92	-0,73	-462,43
ΦΕΒ.	28,44	79010,59	28,08	78013,62	1,26	996,97
ΜΑΡ.	46,75	129872,30	45,96	127664,00	1,70	2208,30
ΑΠΡ.	59,35	164857,69	58,34	162054,90	1,70	2802,78
ΜΑΙΟΣ	69,59	193299,65	67,33	187014,12	3,25	6285,53
ΙΟΥΝ.	75,87	210761,00	73,60	204431,28	3,00	6329,73
ΙΟΥΛ.	80,56	223788,10	77,96	216542,29	3,24	7245,81
ΑΥΓ.	73,28	203552,13	71,05	197368,76	3,04	6183,37
ΣΕΠ.	55,70	154730,00	54,16	150436,72	2,77	4293,28
ΟΚΤ.	40,65	112908,15	39,60	110001,47	2,57	2906,69
ΝΟΕΜ.	26,96	74877,78	26,46	73505,91	1,83	1371,88
ΔΕΚ.	20,64	57339,13	20,65	57365,39	-0,05	-26,26
ΣΥΝ.	600,61	1668360,01	586,16	1628224,36	2,41	40135,65

Πίνακας 6.7: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για το πάνελ του κατασκευαστή 7 (250W) στο Ηράκλειο Κρήτης για την ισχύ $P_{1,out}$

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_1						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_1 (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ PV.G.I.S. (%)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡ/ΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	15,71	62844,78	15,96	63825,92	-1,56	-981,14
ΦΕΒ.	19,63	78525,66	19,50	78013,62	0,65	512,04
ΜΑΡ.	31,89	127576,28	31,92	127664,00	-0,07	-87,72
ΑΠΡ.	39,95	159788,88	40,51	162054,90	-1,42	-2266,03
ΜΑΙΟΣ	46,29	185154,11	46,75	187014,12	-1,00	-1860,01
ΙΟΥΝ.	50,04	200174,20	51,11	204431,28	-2,13	-4257,08
ΙΟΥΛ.	53,06	212250,41	54,14	216542,29	-2,02	-4291,88
ΑΥΓ.	48,32	193265,25	49,34	197368,76	-2,12	-4103,52
ΣΕΠ.	37,04	148159,49	37,61	150436,72	-1,54	-2277,23
ΟΚΤ.	27,42	109665,01	27,50	110001,47	-0,31	-336,46
ΝΟΕΜ.	18,46	73825,69	18,38	73505,91	0,43	319,78
ΔΕΚ.	14,30	57208,30	14,34	57365,39	-0,27	-157,08
ΣΥΝ.	402,11	1608438,05	407,06	1628224,36	-1,23	-19786,31

Πίνακας 6.8: Μέση μηνιαία και ετήσια παραγόμενη ενέργεια για το πάνελ του κατασκευαστή 7 (250W) στο Ηράκλειο Κρήτης για την ισχύ $P_{2,out}$

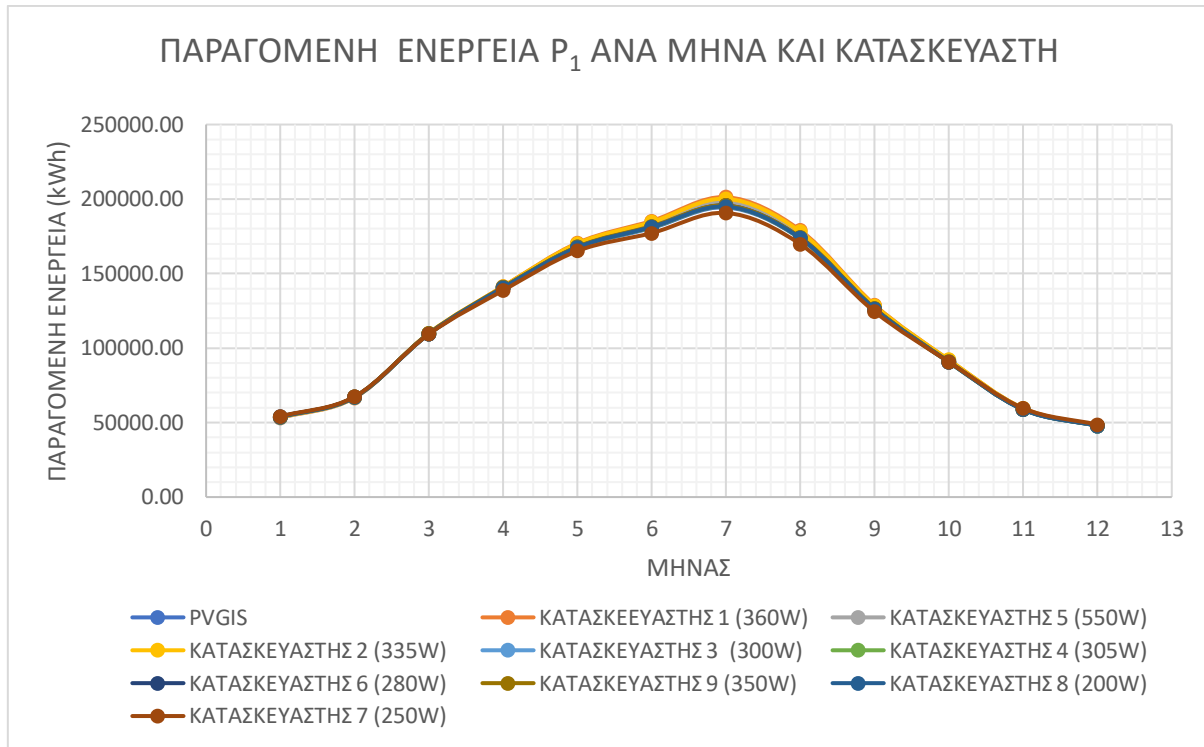
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)						
ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΙΣΧΥ P_2						
ΜΗΝΑΣ	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ P_2 (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΠΑΡ/ΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW ΑΠΟ PV.G.I.S. (kWh)	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ PV.G.I.S. (%)	ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡ/ΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW (kWh)
ΙΑΝ.	15,70	62790,43	15,96	63825,92	-1,65	-1035,48
ΦΕΒ.	19,62	78471,60	19,50	78013,62	0,58	457,98
ΜΑΡ.	31,87	127493,66	31,92	127664,00	-0,13	-170,34
ΑΠΡ.	39,89	159579,69	40,51	162054,90	-1,55	-2475,21
ΜΑΙΟΣ	46,19	184748,14	46,75	187014,12	-1,23	-2265,98
ΙΟΥΝ.	49,89	199577,33	51,11	204431,28	-2,43	-4853,94
ΙΟΥΛ.	52,90	211597,48	54,14	216542,29	-2,34	-4944,81
ΑΥΓ.	48,18	192726,54	49,34	197368,76	-2,41	-4642,22
ΣΕΠ.	36,97	147899,59	37,61	150436,72	-1,72	-2537,12
ΟΚΤ.	27,40	109594,67	27,50	110001,47	-0,37	-406,79
ΝΟΕΜ.	18,45	73806,18	18,38	73505,91	0,41	300,28
ΔΕΚ.	14,29	57164,26	14,34	57365,39	-0,35	-201,13
ΣΥΝ.	401,36	1605449,60	407,06	1628224,36	-1,42	-22774,77

6.3 ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ

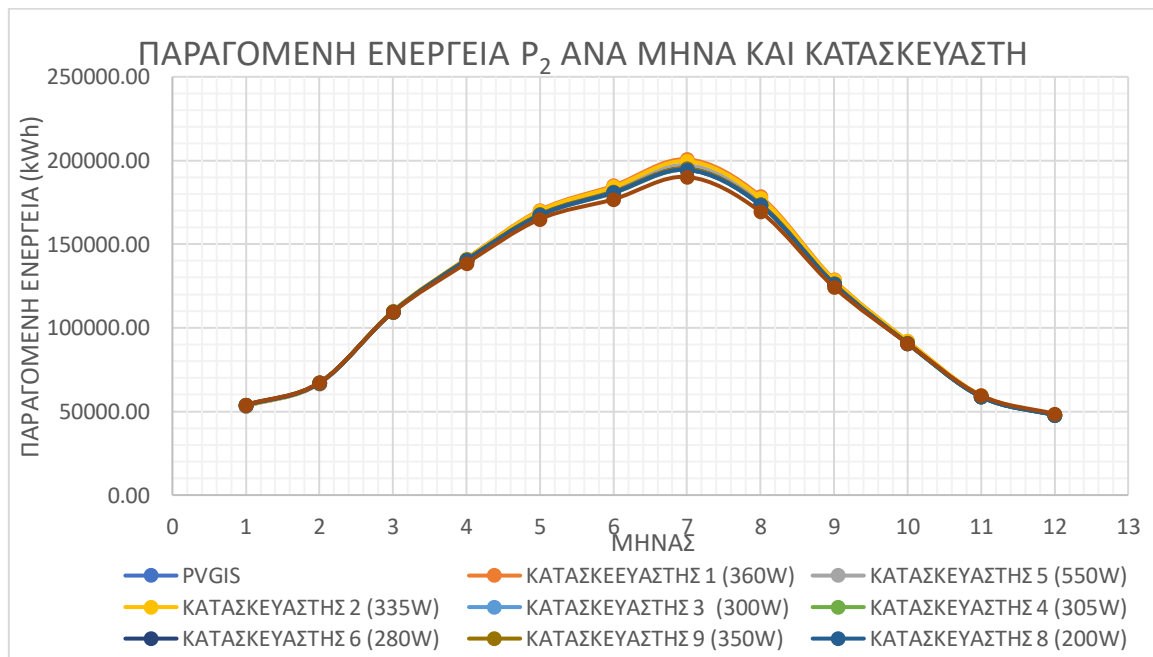
Παρακάτω βρίσκονται οι γραφικές παραστάσεις των αποτελεσμάτων της μελέτης. Όπως και στις προηγούμενες αναφορές, για λόγους διάταξης και χώρου, θα αποτυπωθούν οι γραφικές παραστάσεις για τις δύο περιοχές με τις σημαντικότερες διαφορές θερμοκρασίας και ακτινοβολίας (Φλώρινα και Ηράκλειο), όμως συνδυάζοντας όλους τους κατασκευαστές αλλά και τα αποτελέσματα του PV.G.I.S. και για τις δύο μεθόδους υπολογισμού. Έχουν υπολογιστεί οι μέσοι όροι των ετών και μηνών με βάση τα δεδομένα που λήφθηκαν και για τις δύο μεθόδους υπολογισμού.

Μηνιαία Παραγόμενη Ενέργεια:

Για τη Φλώρινα:

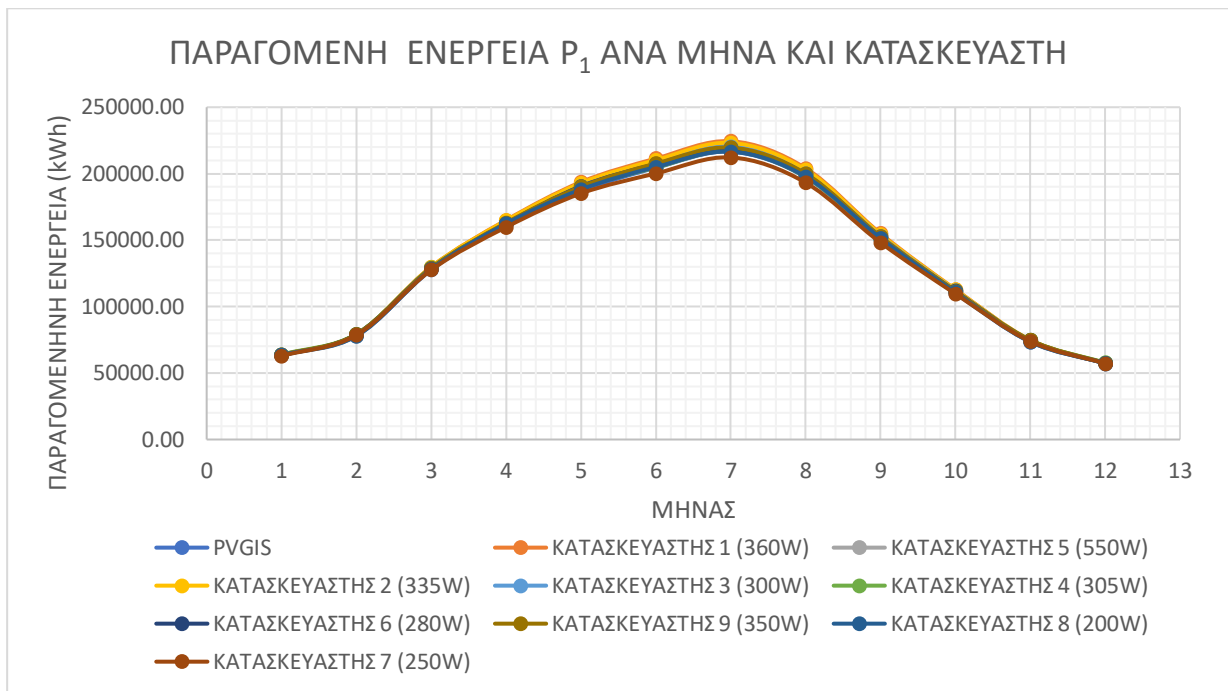


Σχήμα 6.1: Γραφική παράσταση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τη μέθοδο P_{1,out} στην περιοχή της Φλώρινας

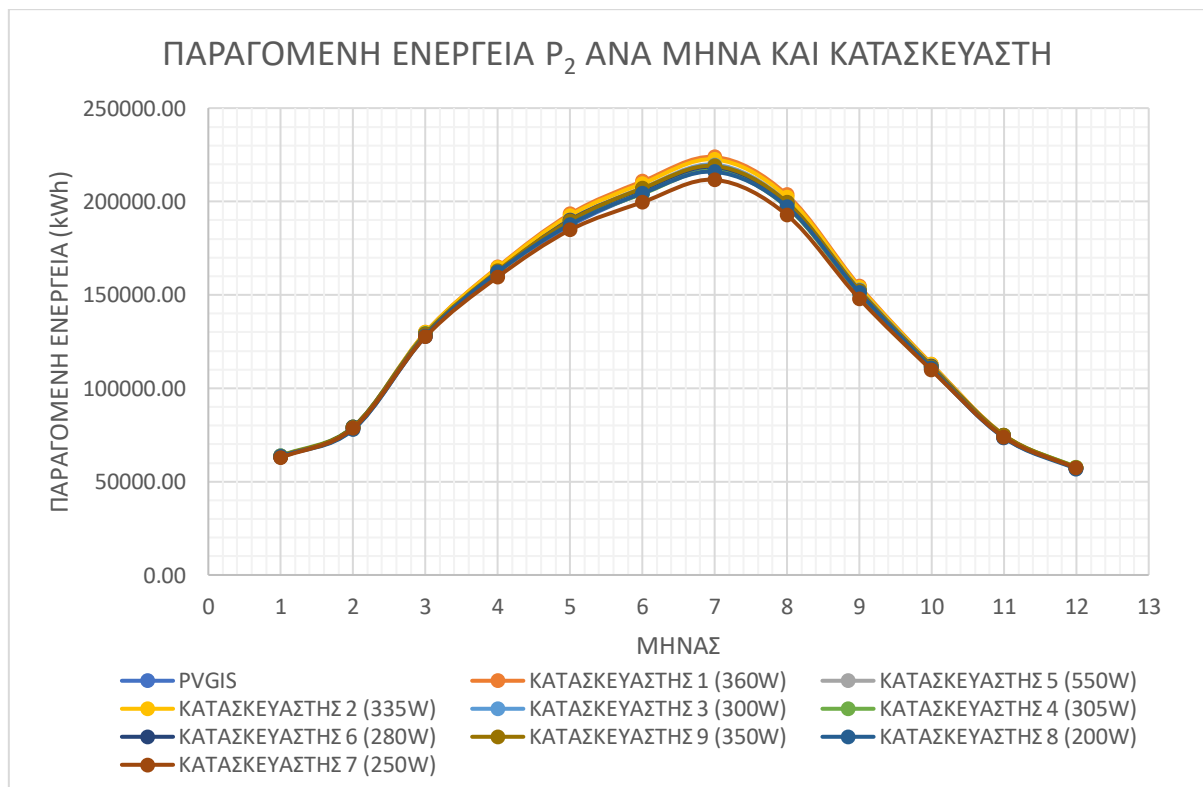


Σχήμα 6.2: Γραφική παράσταση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τη μέθοδο P_{2,out} στην περιοχή της Φλώρινας

Για το Ηράκλειο:



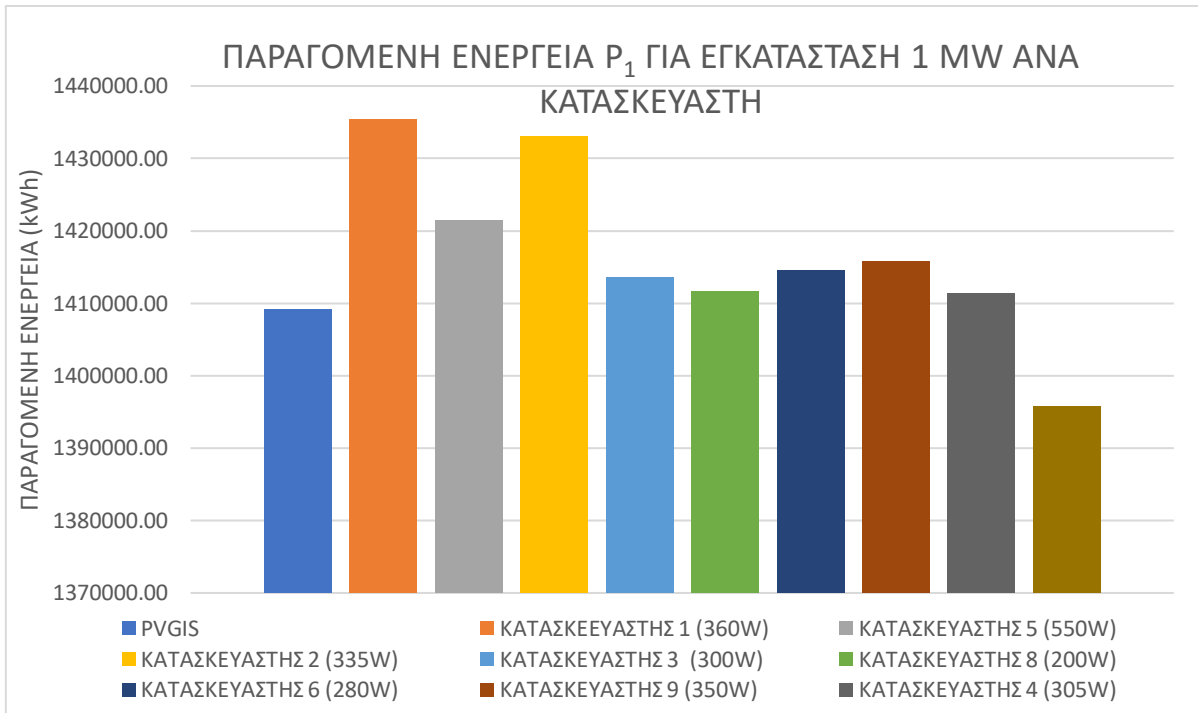
Σχήμα 6.3: Γραφική παράσταση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τη μέθοδο $P_{1,out}$ στην περιοχή του Ηρακλείου



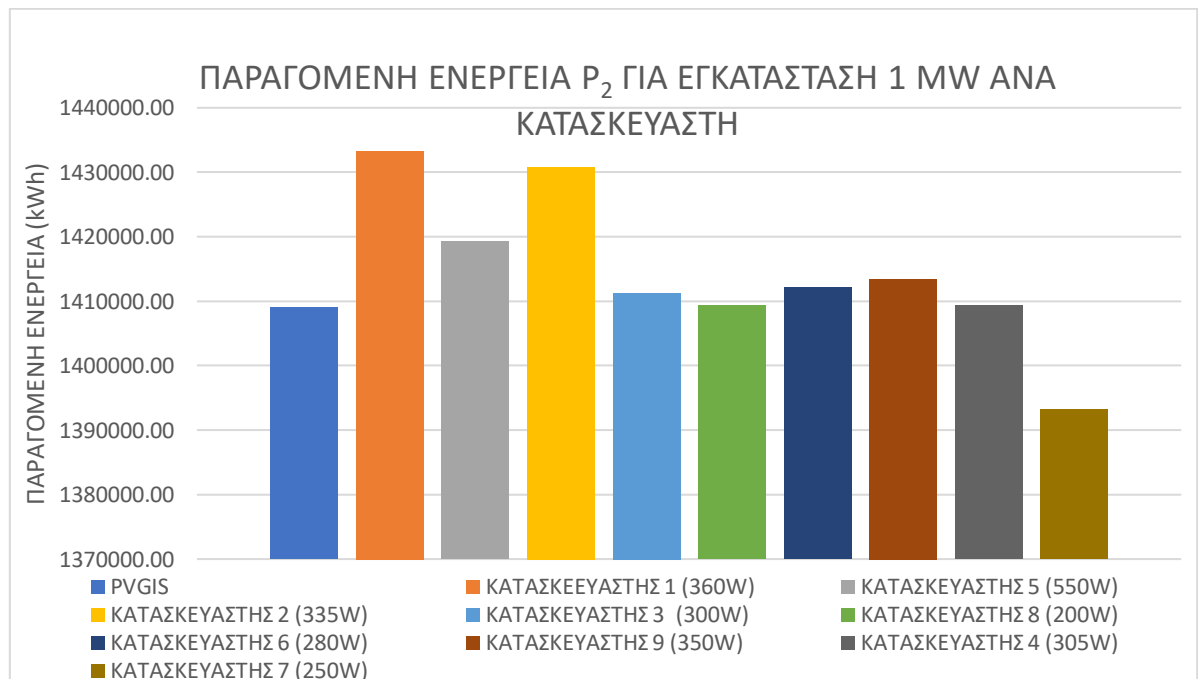
Σχήμα 6.4: Γραφική παράσταση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τη μέθοδο $P_{2,out}$ στην περιοχή του Ηρακλείου

Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια:

Για τη Φλώρινα:

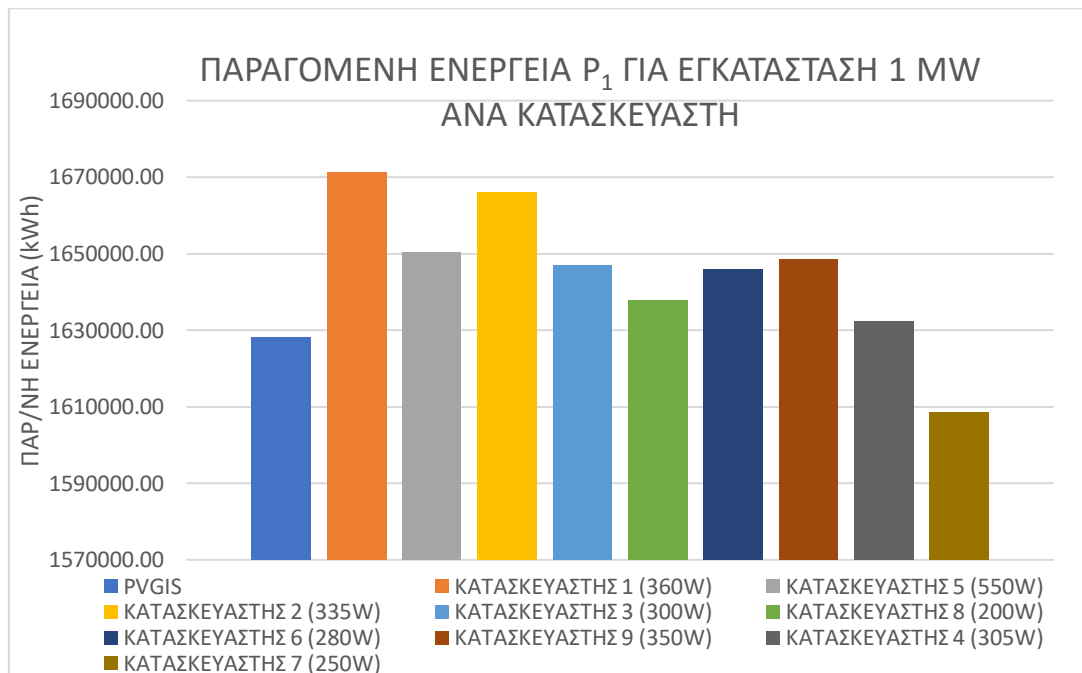


Σχήμα 6.5: Γραφική παράσταση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για εγκατάσταση 1 MW για την $P_{1,out}$ στην περιοχή της Φλώρινας

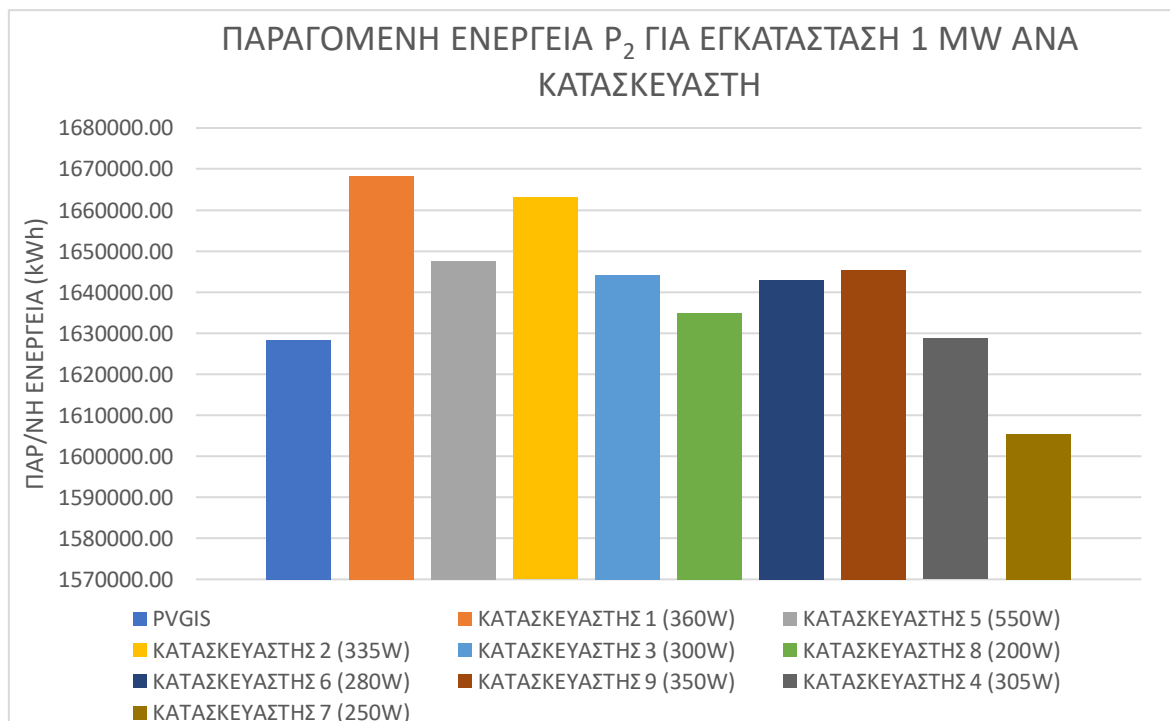


Σχήμα 6.6: Γραφική παράσταση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για εγκατάσταση 1 MW για την $P_{2,out}$ στην περιοχή της Φλώρινας

Για το Ηράκλειο:



Σχήμα 6.7: Γραφική παράσταση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για εγκατάσταση 1 MW για την $P_{1,out}$ στην περιοχή του Ηρακλείου



Σχήμα 6.8: Γραφική παράσταση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για εγκατάσταση 1 MW για την $P_{2,out}$ στην περιοχή του Ηρακλείου

6.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

Όπως και στην υποενότητα 5.4, παρατηρείται αρκετά μικρή απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων. Αυτό παρατηρείται και στους παραπάνω πίνακες, όπου οι αποκλίσεις έκαστης μεθόδου μεταξύ τους από τα αποτελέσματα του PV.G.I.S. είναι αρκετά κοντά.

Επιπλέον, οι αποκλίσεις αυτές που προκύπτουν ανάμεσα στα αποτελέσματα για έκαστο πάνελ με το PV.G.I.S., υπάρχουν λόγω της διαφοράς του συντελεστή θερμοκρασίας. Το PV.G.I.S. δεν δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει το συντελεστή θερμοκρασίας που εκείνος επιθυμεί και εξ' ορισμού θεωρεί το συντελεστή θερμοκρασίας της ισχύος ίσο με $-0,47 \text{ }^\circ\text{C}$. Αυτό σημαίνει πως για κατασκευαστές με μικρότερο συντελεστή θερμοκρασίας της ισχύος, σε περιοχές με υψηλότερες θερμοκρασίες θα περιμέναμε μεγαλύτερες τιμές παραγόμενης ισχύος από το PV.G.I.S., κάτι που παρατηρείται και από τις γραφικές παραστάσεις 6.3, 6.4 αλλά κυρίως 6.7 και 6.8, όπου όπως αναμέναμε, η μοναδική περίπτωση λιγότερης παραγόμενης ενέργειας είναι από το πάνελ του κατασκευαστή 7 του οποίου ο συντελεστής θερμοκρασίας είναι $-0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($-0,03 \text{ }^\circ\text{C}$ μεγαλύτερος από του PV.G.I.S.). Ωστόσο, παρατηρούνται αντίστοιχα αποτελέσματα και στη Φλώρινα, παρόλο που η θερμοκρασία στην περιοχή εκείνη είναι σημαντικά μικρότερη. Αυτό συμβαίνει επειδή η μέση ετήσια θερμοκρασία του πάνελ είναι μεγαλύτερη από τους $25 \text{ }^\circ\text{C}$ στο σύνολό της.

Παρ' όλα αυτά, το φαινόμενο αυτό παρατηρείται με μεγαλύτερη ακρίβεια στους πίνακες 6.1-6.8, όπου όντως για την περιοχή του Ηρακλείου, για το πάνελ του κατασκευαστή 1, τους θερινούς μήνες φαίνεται πολύ μεγαλύτερη παραγωγή από αυτή που παρουσιάζει το PV.G.I.S. σε σχέση με τους χειμερινούς. Αντιθέτως, στην περιοχή της Φλώρινας παρόλο που συνολικά παράγεται περισσότερη ενέργεια από το πάνελ του κατασκευαστή 1, τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται μειωμένη παραγωγή ενέργειας σε σχέση με τις τιμές του PV.G.I.S. Από την άλλη, παρατηρούνται αντίθετα αποτελέσματα για τη σύγκριση με το πάνελ του κατασκευαστή 7, όπου λόγω ακόμα μικρότερου συντελεστή θερμοκρασίας, τους χειμερινούς μήνες παρατηρείται μεγαλύτερη παραγωγή από το PV.G.I.S. στην περιοχή της Φλώρινας, ενώ μειώνεται η απόκλιση που έχει τους μήνες του καλοκαιριού από το PV.G.I.S. σε σχέση εκείνους του χειμώνα. Με άλλα λόγια, όσον αφορά τους κατασκευαστές, τη σχέση που φαίνεται να έχει το PV.G.I.S. από τους κατασκευαστές με συντελεστές γ_p μεγαλύτερους του $-0,47\% / \text{ }^\circ\text{C}$, φαίνεται να έχουν και οι κατασκευαστές με συντελεστές γ_p μικρότερους του $-0,47\% / \text{ }^\circ\text{C}$ με του PV.G.I.S., σαν να «αντιστρέφονται οι ρόλοι». Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρούνται και επιβεβαιώνεται και από τους πίνακες για τους υπόλοιπους συνδυασμούς κατασκευαστών και περιοχών.

Εν ολίγη, οι ετήσιες αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν ανάμεσα στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων και σε αυτά που υπολογίζει το PV.G.I.S. είναι της τάξης του $0 \pm 3\%$, ενώ οι μηνιαίες είναι της τάξης του $0 \pm 4\%$ για τους συγκεκριμένους κατασκευαστές και περιοχές που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Ποσοστό λιγότερο σημαντικό για κάποιους συνδυασμούς κατασκευαστών-περιοχών για κάποιες περιοχές και περισσότερο για άλλες. Σίγουρα όμως για εγκαταστάσεις της τάξης των 1000 kW_p είναι σημαντική απόκλιση. Αυτό φαίνεται και σε μορφή απόκλισης σε kWh στην τελευταία στήλη των πινάκων 6.1-6.8, εκτός από την μορφή του ποσοστού, όπου παρατηρούνται ετήσιες αποκλίσεις από $0 \pm 43.500 \text{ kWh}$, ενώ μηνιαίες $0 \pm 8.000 \text{ kWh}$ (για την εγκατάσταση του 1 MW).

Αντίστοιχα, για τις περιοχές και τους κατασκευαστές που μελετήθηκαν, οι αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν ανάμεσα στα αποτελέσματα των υπολογισμών με

βάση τη βέθοδο 2 σε σχέση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το PV.G.I.S. σε ετήσια βάση ήταν της τάξης του $\pm 2,6$ %. Ακόμη μικρότερες δηλαδή από εκείνες που προέκυψαν μέσω της μεθόδου υπολογισμού 1. Επίσης ένα ενδιαφέρον συμπέρασμα ήταν ότι οι μέγιστες αυτές αποκλίσεις, και για τις δύο μεθόδους προέκυψαν για το συνδιασμό της περιοχής του Ηρακλείου Κρήτης και των τεχνικών χαρακτηριστικών του κατασκευαστή 1.

Τέλος, όπως είναι εμφανές, το σημαντικότερο στοιχείο για την διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στα αποτελέσματα για κάθε κατασκευαστή, είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας. Δηλαδή, όντως η μετατροπή των αποτελεσμάτων σε εγκατάσταση 1 MW, βοήθησε στην απόκτηση μιας συνολικής εικόνας για το τι συμβαίνει ασχέτως της εγκατεστημένης ισχύος και όπως ήταν αναμενόμενο, για την ίδια περιοχή, οι κατασκευαστές με μεγαλύτερους συντελεστές θερμοκρασίας (π.χ. $-0,3$ %/°C) καταλήγουν σε ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγαλύτερη από εκείνους με τους μικρότερους (π.χ. $-0,5$ %/°C). Αυτό ισχύει βέβαια για το σύνολο του έτους και εάν αναλογιστούμε τι συμβαίνει για την περίοδο των χειμερινών μηνών μονάχα, ή για περιοχές πιο βόρεια της Ελλάδας, όπου η μέση ετήσια θερμοκρασία του πάνελ είναι κάτω των 25 °C, θα παρατηρήσουμε τελικά πως τα πάνελ με χαμηλότερο συντελεστή θερμοκρασίας αποτελούν καλύτερη λύση αφού επιτρέπουν την παραγωγή περισσότερης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω αυτού του χαρακτηριστικού τους. Σε τέτοια περίπτωση, φυσικά, θα πρέπει στη μελέτη της εγκατάστασης, να ληφθεί υπόψιν το ποσό της πλεονάζουσας ενέργειας από την εγκατεστημένη ισχύ, ώστε να μπορέσουν και τα υπόλοιπα μέρη της εγκατάστασης (inverter, καλώδια, ασφάλειες, ρυθμιστές φόρτισης, μπαταρίες, κτλ.) να διαχειριστούν ολόκληρο το ποσό της παραγόμενης ενέργειας.

7. ΥΠΟΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

7.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε εκτενώς και σε προηγούμενα κεφάλαια, για μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, εκτός από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που αποτελούν τη θεμέλια λίθο μιας εγκατάστασης, απαιτείται κι άλλος εξοπλισμός για να μπορέσει να γίνει σωστή εκμετάλλευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιος εξοπλισμός είναι ο αναστροφέας, οι μπαταρίες, ο ρυθμιστής φόρτισης, κ.α.

Στην παρούσα μελέτη, έγινε σύγκριση 2 διαφορετικών αναστροφέων, για την εύρεση του καλύτερου για κάθε πάνελ και περιοχή, συνδυασμού. Επιπροσθέτως, και τα 2 inverter, είναι ήδη εφοδιασμένα με Maximum Power Point Tracker (MPPT), για την εύρεση της βέλτιστης δυνατής ισχύος και συνολικής απόδοσης και επίδοσης της εγκατάστασης.

Επιπλέον, με βάση την ελάχιστη τάση εκκίνησης του αναστροφέα, έγινε έλεγχος για την ανάγκη συσσωρευτών, με βάση την ελάχιστη τάση έκαστου πάνελ ώστε να συμπληρωθεί αθροιστικά από τα εν σειρά πάνελ η απαραίτητη τάση για να μπορέσει να εκκινήσει ο αναστροφέας. Συνήθως, ανάλογα με την μεταβολή της ακτινοβολίας οι μεγαλύτερες μεταβολές εμφανίζονται για τις τιμές της έντασης και όχι της τάσης, όμως για λόγους εκπλήρωσης ολοκληρωμένης έρευνας έγινε κι αυτή η μελέτη. Στον πίνακα (7.1) φαίνεται η ελάχιστη τάση που απαιτείται από έκαστο πάνελ στη σειρά για να μπορέσει να συμπληρωθεί η ελάχιστη τάση λειτουργίας του inverter. Έπειτα, ερευνήθηκε το πόσο συχνά καθ' όλη τη διάρκεια το έτους, για κάθε κατασκευαστή και περιοχή, εμφανίζονται τάσεις μικρότερες του ελάχιστου αυτού αριθμού που εμφανίζεται στον πίνακα (7.1).

Πίνακας 7.1: Ελάχιστη τάση για έκαστο κατασκευαστή και περιοχή για την δυνατότητα εκκίνησης το αναστροφέα

ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΑΣΗ ΓΙΑ ΕΚΑΣΤΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑ (V)						
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	ΑΘΗΝΑ	ΠΑΤΡΑ	ΡΟΔΟΣ	ΦΛΩΡΙΝΑ
1	15.71	15.71	15.71	15.71	15.71	15.71
2	22.00	21.15	22.00	22.00	22.00	18.97
3	13.10	12.22	13.10	13.10	13.10	12.22
4	12.22	11.96	12.79	12.22	11.70	12.22
5	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74	17.74
6	13.41	13.41	13.41	13.41	13.41	13.41
7	12.79	12.79	12.79	12.79	12.79	12.79
8	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28	15.28
9	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67	16.67

Παρατηρήθηκε πως παρόλο που εμφανίστηκαν παραγόμενες τάσεις μικρότερες των τιμών του ελάχιστου αυτού αριθμού που εμφανίζεται στον πίνακα (7.1), εμφανίστηκαν αυτές οι τιμές συνολικά λιγότερο από μία φορά ετησίως (π.χ. για το πάνελ του κατασκευαστή 1 στην περιοχή του Ηρακλείου εμφανίστηκε μόνο μια ώρα στο σύνολο των 16 ετών της μελέτης). Συνεπώς, δεν υπάρχει λόγος ένταξης συσσωρευτή και ως κατ' επέκταση ρυθμιστή φόρτισης στην παρούσα μελέτη.

Αφού επιλέχθηκαν τα κατάλληλα inverter, έγινε διαστασιολόγηση των ηλεκτρολογικών υποπινάκων DC και AC που τοποθετούνται αντίστοιχα πριν και μετά τον αναστροφέα. Για την ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης, πρέπει να προσεχθεί η μέγιστη ονομαστική τάση και το μέγιστο ονομαστικό ρεύμα δεν υπερβαίνει τα ανώτατα όρια των υποπινάκων και των εξαρτημάτων τους.

Έγιναν, λοιπόν, υπολογισμοί για την εύρεση του πλήθους, καθώς και των απαραίτητων τεχνικών προδιαγραφών των απαραίτητων ηλεκτρολογικών στοιχείων της εγκατάστασης, όπως είναι μικροαυτόματοι και αυτόματοι διακόπτες συνεχούς ρεύματος, απαγωγείς υπερτάσεων, διακόπτες διαρροής, συσκευές μέτρησης και άλλων ειδών διακόπτες.

Ένας χώρος αποθήκευσης για τον παραπάνω ηλεκτρολογικό εξοπλισμό είναι απαραίτητος για την προστασία του από φθορές και καιρικά φαινόμενα. Ο χώρος επιλέχθηκε ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν οι υποπίνακες και οι αναστροφείς. Ο σκελετός κατασκευάζεται από προ-γαλβανισμένη λαμαρίνα ηλεκτροστατικά βαμμένη, διαθέτει αδιάβροχο πάτωμα και μόνωση υψηλής ποιότητας. Έχει γίνει ηλεκτρολογική εγκατάσταση και το εμβαδόν του είναι 30τ.μ.

Από την εγκατάσταση δε θα μπορούσαν να λείπουν φυσικά οι βάσεις στις οποίες θα τοποθετηθούν τα πάνελ. Αφού λοιπόν υπολογιστεί ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων, είναι αναγκαία η σωστή επιλογή βάσεων γι' αυτά. Κατά την επιλογή των βάσεων αυτών, ελέγχουμε την χωρητικότητά τους ανάλογα με τις διαστάσεις των πλαισίων, αλλά και να πιστοποιούνται κατά το πρότυπο 'DIN 1055'.

Ακόμη, υπολογίστηκαν οι απαραίτητες διατομές των καλωδίων μεταφοράς του ρεύματος, όπως επίσης και οι απαραίτητες προδιαγραφές τους, καθώς οι καλωδιώσεις και τα βύσματα σύνδεσης των καλωδίων είναι εκτεθειμένα σε ακραία καιρικά φαινόμενα, ενώ όμως θα πρέπει και να παρέχουν αξιοπιστία στις επαφές για τουλάχιστον 20 έτη.

Τέλος, υπολογίστηκε η τελική ισχύς εξόδου με βάση τις απώλειες λόγω μεταφοράς της ηλεκτρικής ισχύος αλλά και της κατανομής της, όπως επίσης και λόγω της απόδοσης του MPPT-Inverter. Παρακάτω, αναλύονται και περεταίρω οι υπολογισμοί και οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή της μελέτης.

7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΧΕΣΕΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

Αρχικά, υπολογίστηκε για κάθε ώρα από την 01/01/2005 έως και τις 31/12/2020, για κάθε περιοχή και κατασκευαστή η ένταση που θεωρητικά πάντα θα παραγόταν στην έξοδο των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Αυτή υπολογίστηκε μέσω της σχέσης (7.1) όπως παρουσιάζεται και από τον R. P. Kenney.

$$I_m = \frac{G_i}{G_0} \times [I_{m,STC} + a_{I_m} \times (T - T_0)] \quad (7.1)$$

Όπου, I_m η ένταση εξόδου, G_i η ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη, G_0 η ακτινοβολία στις S.T.C. συνθήκες, $I_{m,STC}$ η ένταση στις S.T.C. συνθήκες που δίνει ο κατασκευαστής, a_{I_m} ο συντελεστής θερμοκρασίας της έντασης, T η θερμοκρασία του πάνελ και T_0 η θερμοκρασία των S.T.C. συνθηκών.

Επιπλέον, υπολογίστηκε για τα ίδια δεδομένα και η τάση εξόδου των φωτοβολταϊκών πάνελ μέσω της σχέσης (7.2), ώστε να μπορέσει να εμφανιστεί τόσο η μέγιστη ένταση, όσο και η μέγιστη τάση που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια του έτους.

$$V_m = V_{m,STC} + 1.15 \times \ln\left(\frac{G_i}{G_0}\right) - 0.32 \times \ln^2\left(\frac{G_i}{G_0}\right) + \beta_{V_m} \times (T - T_0) \quad (7.2)$$

Όπου, V_m η τάση εξόδου, $V_{m,STC}$ η τάση στις S.T.C. συνθήκες που δίνει ο κατασκευαστής και β_{V_m} ο συντελεστής θερμοκρασίας της τάσης.

Έπειτα, αφού βρέθηκαν οι μέγιστες τιμές των I_m και V_m για την περίοδο των 16 ετών, όπως φαίνεται στους πίνακες (7.2) και (7.3) παρόλο που δεν εμφανίζονταν πάρα πολλές φορές κατά τη διάρκεια του έτους, προστέθηκε σε αυτές τις τιμές μια προσαύξηση ασφαλείας της τάξης του 15%. Αυτό έγινε σαν μετατροπή ασφαλείας αλλά και λόγω την κλιματικής αλλαγής η οποία μπορεί να ευθύνεται για τη αύξηση της τάσης αλλά κυρίως της έντασης. Επιπλέον, βρέθηκε και η μέγιστη τιμή της ισχύος η οποία και πολλαπλασιάστηκε με $(1,15)^2$ αφού στην σχέση της ισχύος πολλαπλασιάζονται η τάση με την ένταση, για την οποία θα έπρεπε να πάρει προσαύξηση 15% έκαστη. Τα αποτελέσματα και μεγέθη αυτά είναι κρίσιμα για την επιλογή του κατάλληλου αναστροφέα.

Πίνακας 7.2: Μέγιστα υπολογισμένα μεγέθη για κάθε κατασκευαστή στη Φλώρινα

ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	V_{MAX}	I_{MAX}	P_{MAX}
1	36.47	10.15	347.43
2	43.73	6.29	322.59
3	28.67	9.8	287.04
4	28.95	9.65	290.49
5	41.76	13.54	526.79
6	31.69	9.08	268.04
7	29.95	8.56	235.74
8	35.56	5.77	189.91
9	39.16	9.19	334.42

Πίνακας 7.3: Μέγιστα υπολογισμένα μεγέθη για κάθε κατασκευαστή στο Ηράκλειο

ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	V_{MAX}	I_{MAX}	P_{MAX}
1	36.51	10.53	358.60
2	51.98	6.53	331.70
3	30.84	10.19	292.00
4	28.38	10.02	294.06
5	41.80	14.04	539.58
6	31.73	9.42	273.12
7	29.90	8.88	237.04
8	35.60	5.99	192.60
9	39.20	9.53	341.66

Αφού επιλέχθηκαν οι 2 μεγάλων τιμών αναστροφείς για τους οποίους και διεξήχθη η σύγκριση, έγινε ο υπολογισμός των πάνελ που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε σειρά και παράλληλα, βάσει της μέγιστης δυνατής τάσης και έντασης

του κάθε inverter όπως φαίνεται και στον πίνακα (7.3). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο αναστροφένων που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στους πίνακες 7.4 και 7.5.

Πίνακας 7.4: Τεχνικές Προδιαγραφές Αναστοφέα 1

ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑΣ 1	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΤΙΜΗ
Μέγιστη Ισχύς Εισόδου (P_{MAX})	[kW]	250
Μέγιστη Τάση Εισόδου (V_{MAX})	[V]	1500
Μέγιστη Ένταση Εισόδου ανά MPPT (I_{MAX})	[A]	30
Ελάχιστη Τάση Λειτουργίας (V_{MIN})	[V]	500
Πλήθος Ανεξάρτητων MPPT Εισόδων		12
Μέγιστη Απόδοση	[%]	99,00
Ευρωπαϊκή Απόδοση	[%]	98,80

Πίνακας 7.5: Τεχνικές Προδιαγραφές Αναστοφέα 2

ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑΣ 2	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΤΙΜΗ
Μέγιστη Ισχύς Εισόδου (P_{MAX})	[kW]	250
Μέγιστη Τάση Εισόδου (V_{MAX})	[V]	1500
Μέγιστη Ένταση Εισόδου ανά MPPT (I_{MAX})	[A]	26
Ελάχιστη Τάση Λειτουργίας (V_{MIN})	[V]	550
Πλήθος Ανεξάρτητων MPPT Εισόδων		12
Μέγιστη Απόδοση	[%]	99,00
Ευρωπαϊκή Απόδοση	[%]	98,60

Για τη σωστή ανάλυση και μελέτη, όπως είναι λογικό, μετά τον υπολογισμό των σε σειρά και σε παραλληλία πάνελ, έγινε στρογγυλοποίηση στον ακέραιο πάντα προς τα λιγότερα.

Έπειτα, υπολογίστηκε το επιτρεπόμενο πλήθος των πάνελ με βάση την ελάχιστη τιμή, συγκρίνοντας και τον συνδυασμό των σε σειρά επί παράλληλα όπως υπολογίστηκε προηγουμένως αλλά και της ισχύος με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές των κατασκευαστών, όπως φαίνεται και στον πίνακα (7.3). Έτσι, μπόρεσε και να υπολογιστεί ο αριθμός των χωρίων (string), συνεπώς και ο αριθμός των inverter, όπως φαίνεται και στους πίνακες (7.8), (7.9), (7.10) και (7.11).

Παρ' όλα αυτά, για τη συντριπτική πλειοψηφία, περισσεύαν πάνελ, τα οποία δεν μπορούσαν να κατανεμηθούν σε κανένα από τα υπάρχοντα inverter αλλά ούτε άξιζε να προστεθεί ένας ακόμη αναστοφέας τόσο μεγάλης ισχύος. Αυτό βέβαια είναι κάτι που θα φανεί καλύτερα και στο κεφάλαιο της οικονομοτεχνικής μελέτης. Οπότε, αφού

υπολογίστηκε για κάθε περίπτωση το πλήθος των πάνελ εκτελέστηκε μια επιπλέον μελέτη η οποία συμπεριλάμβανε δύο αναστροφείς για την εξυπηρέτηση των υπόλοιπων πάνελ που δεν είχαν αξιοποιηθεί. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά και των δύο αυτών αναστροφών φαίνονται στους πίνακες 7.6 και 7.7.

Πίνακας 7.6: Τεχνικές Προδιαγραφές Αναστοφέα 3

ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑΣ 3	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΤΙΜΗ
Μέγιστη Ισχύς Εισόδου (P_{MAX})	[kW]	180
Μέγιστη Τάση Εισόδου (V_{MAX})	[V]	1100
Μέγιστη Ένταση Εισόδου ανά MPPT (I_{MAX})	[A]	30
Ελάχιστη Τάση Λειτουργίας (V_{MIN})	[V]	200
Πλήθος Ανεξάρτητων MPPT Εισόδων		12
Μέγιστη Απόδοση	[%]	98,60
Ευρωπαϊκή Απόδοση	[%]	98,30

Πίνακας 7.7: Τεχνικές Προδιαγραφές Αναστοφέα 4

ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑΣ 4	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΤΙΜΗ
Μέγιστη Ισχύς Εισόδου (P_{MAX})	[kW]	80
Μέγιστη Τάση Εισόδου (V_{MAX})	[V]	1100
Μέγιστη Ένταση Εισόδου ανά MPPT (I_{MAX})	[A]	33
Ελάχιστη Τάση Λειτουργίας (V_{MIN})	[V]	200
Πλήθος Ανεξάρτητων MPPT Εισόδων		4
Μέγιστη Απόδοση	[%]	98,80
Ευρωπαϊκή Απόδοση	[%]	98,30

Οι αναστροφείς αυτοί ήταν δύο αναστροφείς με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ο αναστροφέας 4, μελετήθηκε για τις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούταν κάτω του 80% του αναστροφέα 3, δηλαδή για περιπτώσεις που ο αναστροφέας 3 πιθανόν να ήταν υπερβολικά ισχυρός και άρα ίσος κοστοβόρος σε σχέση με την περίσσεια των πάνελ.

Όλοι οι αναστροφείς που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα μελέτη διαθέτουν ενσωματωμένα συστήματα MPPT, για την εύρεση του βέλτιστου σημείου λειτουργίας. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις δύο περιοχές με τις μεγαλύτερες διαφορές και όλους τους κατασκευαστές, εμφανίζονται στους πίνακες (7.12), (7.13), (7.14) και (7.15).

Αφού επιλέχθηκαν τα κατάλληλα inverter, έγινε διαστασιολόγηση των ηλεκτρολογικών υποπινάκων DC και AC που τοποθετούνται αντίστοιχα πριν και μετά τον αναστροφέα. Για την ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης, πρέπει να προσεχθεί εάν η μέγιστη ονομαστική τάση και το μέγιστο ονομαστικό ρεύμα δεν υπερβαίνει τα ανώτατα όρια των υποπινάκων και των εξαρτημάτων τους.

Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για την ασφαλή λειτουργία της DC πλευράς του κυκλώματος είναι οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος που είναι κατάλληλοι για την προστασία από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα, απαγωγείς υπερτάσεων DC όπου προστατεύουν τα πλαίσια και τους αναστροφείς από μεταβατικές υπερτάσεις και κρουστικά ρεύματα που μπορεί να δημιουργηθούν από κεραυνούς. Αφού υπολογίστηκε το πλήθος έκαστου εξαρτήματος από αυτά, πάντα με βάση τις απαραίτητες προδιαγραφές, τοποθετήθηκε στους πίνακες (7.16), (7.17) οι οποίοι εμφανίζονται και παρακάτω.

Ένα ακόμα πολύ σημαντικό μέρος της εγκατάστασης είναι οι βάσεις των πάνελ. Αφού υπολογιστεί ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων, είναι αναγκαία η σωστή επιλογή βάσεων γι' αυτά. Κατά την επιλογή των βάσεων αυτών, ελέγχουμε την χωρητικότητά τους ανάλογα με τις διαστάσεις των πλαισίων, αλλά και να πιστοποιούνται κατά το πρότυπο "DIN 1055".

Τελικά, συμπεριλήφθηκε στην παραγόμενη ενέργεια έκαστου κατασκευαστή και περιοχής η απόδοση των inverter, όπως επίσης και η απώλειες, 4% για την κατανομή της ηλεκτρικής ισχύος και 2% για την μεταφορά της μέσω των αγωγών.

7.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΜΩΝ ΥΠΟΛΟΙΠΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η μελέτη για τους αναστροφείς, διεξήχθη για εγκατάσταση 1 MW, για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς κατασκευαστών πάνελ και περιοχών που χρησιμοποιήθηκαν και προηγουμένως. Στις περιπτώσεις υπήρχαν πάνω από ένας συνδυασμοί πάνελ που έδιναν τη βέλτιστη έξοδο ισχύος, επιλέχθηκαν οι περιπτώσεις με τα περισσότερα εν σειρά πάνελ, ώστε να βοηθηθεί εκ των προτέρων όσο είναι εφικτό το τμήμα της οικονομικής ανάλυσης αλλά και χωρικής διάταξης στο τμήμα των καλωδίων. Συνεπώς, για την ελαχιστοποίηση της έντασης εξόδου από τα πάνελ και άρα της διατομής των καλωδίων, στους παρακάτω πίνακες που αφορούν αναστροφείς, έχουν επιλεγθεί οι συνδυασμοί με τα περισσότερα εν σειρά πάνελ.

Πίνακας 7.8: Βέλτιστη διάταξη πάνελ και πλήθος αναστροφών για την περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης για τον αναστροφέα 1

ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑΣ 1						
ΗΡΑΚΛΕΙΟ						
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ INVERTER (%)	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΑΝΑ STRING	ΠΛΗΘΟΣ INVERTER
1	249,13	99,65	14	35	490	5,67
2	249,14	99,65	37	15	555	5,38
3	249,36	99,75	15	40	600	5,56
4	249,34	99,74	17	39	663	4,95
5	249,92	99,97	14	23	322	5,65
6	249,03	99,61	18	35	630	5,67
7	247,20	98,88	22	32	704	5,68
8	249,30	99,72	26	34	884	5,66
9	249,99	100,00	22	23	506	5,65

Πίνακας 7.9: Βέλτιστη διάταξη πάνελ και πλήθος αναστροφών για την περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης για τον αναστροφέα 2

ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑΣ 2						
ΗΡΑΚΛΕΙΟ						
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ INVERTER (%)	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΑΝΑ STRING	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ INVERTER
1	249,13	99,65	14	35	490	5,67
2	249,14	99,65	37	15	555	5,38
3	249,36	99,75	15	40	600	5,56
4	249,34	99,74	17	39	663	4,95
5	249,92	99,97	14	23	322	5,65
6	249,03	99,61	18	35	630	5,67
7	247,20	98,88	22	32	704	5,68
8	249,30	99,72	26	34	884	5,66
9	249,99	100,00	22	23	506	5,65

Πίνακας 7.10: Βέλτιστη διάταξη πάνελ και πλήθος αναστροφένων για την περιοχή της Φλώρινας για τον αναστροφέα 1

ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑΣ 1						
ΦΛΩΡΙΝΑ						
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ INVERTER (%)	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΑΝΑ STRING	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ INVERTER
1	249,67	99,87	15	34	510	5,45
2	248,82	99,53	36	19	684	4,36
3	249,70	99,88	16	42	672	4,96
4	249,76	99,90	26	26	676	4,85
5	246,77	98,71	11	30	330	5,51
6	249,64	99,85	16	41	656	5,44
7	249,54	99,82	23	32	736	5,43
8	249,64	99,86	40	23	920	5,43
9	249,87	99,95	21	25	525	5,44

Πίνακας 7.11: Βέλτιστη διάταξη πάνελ και πλήθος αναστροφένων για την περιοχή της Φλώρινας για τον αναστροφέα 2

ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΑΣ 2						
ΦΛΩΡΙΝΑ						
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ INVERTER (%)	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ ΑΝΑ STRING	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ INVERTER
1	249,67	99,87	15	34	510	5,45
2	248,82	99,53	36	19	684	4,36
3	249,70	99,88	16	42	672	4,96
4	249,76	99,90	26	26	676	4,85
5	246,77	98,71	11	30	330	5,51
6	249,64	99,85	16	41	656	5,44
7	249,54	99,82	23	32	736	5,43
8	249,64	99,86	40	23	920	5,43
9	249,87	99,95	21	25	525	5,44

Τα αποτελέσματα για τα πάνελ, τα οποία περισσεύουν για έκαστη περίπτωση παρουσιάζονται παρακάτω, Επιπλέον, εμφανίζονται και τα αποτελέσματα για τις περιπτώσεις που το 180 kW inverter δεν χρησιμοποιούταν πάνω από 80% και άρα ελέγχθηκε το 80 kW.

Πίνακας 7.12: Βέλτιστη διάταξη πάνελ και πλήθος αναστροφών για την περιοχή του Ηρακλείου για τον αναστροφέα 3

ΗΡΑΚΛΕΙΟ							
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΕΡΙΣ/ΜΕΝΩΝ ΠΑΝΕΛ	ΠΑΝΕΛ ΠΑΡ/ΛΑ	ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ	ΠΛΗΘΟΣ INVERTER ΑΝ/ΦΕΑ 3	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΛΥΨΗ ΚΑΘΕ INVERTER (%)
1	328	16	23	368	1	179,37	99,65
2	211	22	63	1386	1	179,54	99,74
3	334	15	22	330	1	177,89	98,83
4	627	29	12	348	2	179,85	99,92
5	209	12	35	420	1	179,37	99,65
6	422	17	24	408	1	177,90	98,83
7	481	17	28	476	1	178,88	99,38
8	581	29	23	667	1	179,65	99,81
9	328	20	31	620	1	179,72	99,85

Πίνακας 7.13: Μελέτη με τη χρήση του αναστροφέα 4 για την περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης

ΗΡΑΚΛΕΙΟ							
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΠΑΝΕΛ ΠΑΡ/ΛΑ	ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ	ΠΛΗΘΟΣ INVERTER ΑΝ/ΦΕΑ 4	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΛΥΨΗ ΚΑΘΕ INVERTER	INVERTER ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ
1	-	-	-	-	-	-	-
2	11	56	616	1	79,80	99,74	0,34
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	6	31	186	2	79,43	99,29	1,12
6	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	11	25	275	2	79,72	99,65	1,19

Πίνακας 7.14: Βέλτιστη διάταξη πάνελ και πλήθος αναστροφέων για την περιοχή της Φλώρινας για τον αναστροφέα 3

ΦΛΩΡΙΝΑ							
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΠΛΗΘΟΣ ΠΕΡΙΣ/ΜΕΝΩΝ ΠΑΝΕΛ	ΠΑΝΕΛ ΠΑΡ/ΛΑ	ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ	ΠΛΗΘΟΣ INVERTER ΑΝ/ΦΕΑ 3	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΛΥΨΗ ΚΑΘΕ INVERTER (%)
1	228	13	28	364	1	178,20	99,00
2	250	19	26	494	1	179,70	99,83
3	646	11	44	484	2	179,84	99,91
4	575	18	27	486	2	179,56	99,76
5	169	8	30	240	1	179,47	99,70
6	292	12	39	468	1	178,09	98,94
7	321	23	23	529	1	179,36	99,64
8	401	39	17	663	1	179,91	99,95
9	233	14	27	378	1	179,91	99,95

Πίνακας 7.15: Βέλτιστη διάταξη πάνελ και πλήθος αναστροφέων για την περιοχή της Φλώρινας για τον αναστροφέα 4

ΦΛΩΡΙΝΑ							
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΠΑΝΕΛ ΠΑΡ/ΛΑ	ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΣΕΙΡΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΛΗΘΟΣ ΠΑΝΕΛ	ΠΛΗΘΟΣ INVERTER ΑΝ/ΦΕΑ 4	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΤΗ ΙΣΧΥΣ (kW)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΛΥΨΗ ΚΑΘΕ INVERTER	INVERTER ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ
1	-	-	-	-	-	-	-
2	8	27	216	2	78,57	98,22	1,16
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	5	21	105	2	78,51	98,15	1,61
6	6	35	210	2	79,91	99,89	1,39
7	6	39	234	2	79,34	99,17	1,37
8	14	21	294	2	79,78	99,72	1,36
9	6	28	168	2	79,96	99,95	1,39

Πίνακας 7.16: Απαιτούμενη ποσότητα ηλεκτρολογικών στοιχείων για την ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης ανά κατασκευαστή στο Ηράκλειο

ΗΡΑΚΛΕΙΟ								
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ DC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΙΣΧΥΩΣ DC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΑΓΟΓΩΝ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ DC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ DC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ AC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΠΙΤΗΡΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ AC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
1	32	32	32	48	64	64	16	16
2	44	44	44	66	88	88	22	22
3	30	30	30	45	60	60	15	15
4	58	58	58	87	116	116	29	29
5	24	24	24	36	48	48	12	12
6	34	34	34	51	68	68	17	17
7	34	34	34	51	68	68	17	17
8	40	40	40	60	80	80	20	20
9	58	58	58	87	116	116	29	29

Πίνακας 7.17: Απαιτούμενη ποσότητα ηλεκτρολογικών στοιχείων για την ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης ανά κατασκευαστή στη Φλώρινα

ΦΛΩΡΙΝΑ								
ΚΑΤ/ΣΤΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ DC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΙΣΧΥΩΣ DC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΑΓΟΓΩΝ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ DC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ DC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ ΦΟΡΤΙΟΥ AC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΕΠΙΤΗΡΗΤΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ AC	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
1	26	26	26	39	52	52	13	13
2	38	38	38	57	76	76	19	19
3	22	22	22	33	44	44	11	11
4	36	36	36	54	72	72	18	18
5	16	16	16	24	32	32	8	8
6	24	24	24	36	48	48	12	12
7	46	46	46	69	92	92	23	23
8	78	78	78	117	156	156	39	39
9	28	28	28	42	56	56	14	14

Τέλος, για τη σωστή οικονομοτεχνική ανάλυση των εγκαταστάσεων, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν κάποιες απώλειες στο σύστημά οι οποίες θα επηρεάσουν την τελική ισχύ που θα φτάσει στο δίκτυο σε σχέση με αυτή που υπολογίστηκε στην ενότητα 5. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, οι απώλειες αυτές εμφανίζονται κυρίως λόγω της καλωδίωσης των πάνελ, των καλωδίων διανομής, των inverter αλλά και τις απώλειες στην απόδοση των πάνελ από έτος σε έτος ανάλογα τον κατασκευαστή.

Οι απώλειες των καλωδίων είναι περίπου 0,4%, οι αποδώσεις των αναστροφέων που επιλέχθηκαν κυμαίνονται μεταξύ 98,30% και 99,00% ενώ ο κατασκευαστής 1 και 7 δίνουν απώλειες 0,4% και 0,5% αντίστοιχα από έτος σε έτος.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν αυτά τα δεδομένα υπολογίστηκε την πραγματική ισχύ που φτάνει τελικά στο δίκτυο για τη χρονική διάρκεια εγγύησης των πάνελ, ήτοι 25 χρόνια και καταγράφηκε στον πίνακα 7.18 όπως αυτός φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 7.18: Τελική ισχύς που φτάνει στο δίκτυο για την περιοχή του Ηρακλείου και της Φλώρινας

ΗΡΑΚΛΕΙΟ			ΦΛΩΡΙΝΑ	
ΕΤΟΣ	ΙΣΧΥΣ ΠΟΥ ΦΤΑΝΕΙ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1) kWh	ΙΣΧΥΣ ΠΟΥ ΦΤΑΝΕΙ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7) kWh	ΙΣΧΥΣ ΠΟΥ ΦΤΑΝΕΙ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1) kWh	ΙΣΧΥΣ ΠΟΥ ΦΤΑΝΕΙ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ (ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7) kWh
1	1584689,34	1523190,84	1365065,93	1321770,75
2	1578350,59	1515574,88	1359605,67	1315161,90
3	1572037,18	1507997,01	1354167,24	1308586,09
4	1565749,04	1500457,02	1348750,58	1302043,16
5	1559486,04	1492954,74	1343355,57	1295532,94
6	1553248,09	1485489,97	1337982,15	1289055,28
7	1547035,10	1478062,52	1332630,22	1282610,00
8	1540846,96	1470672,20	1327299,70	1276196,95
9	1534683,57	1463318,84	1321990,50	1269815,97
10	1528544,84	1456002,25	1316702,54	1263466,89
11	1522430,66	1448722,24	1311435,73	1257149,55
12	1516340,94	1441478,63	1306189,99	1250863,81
13	1510275,57	1434271,23	1300965,23	1244609,49
14	1504234,47	1427099,88	1295761,37	1238386,44
15	1498217,53	1419964,38	1290578,32	1232194,51
16	1492224,66	1412864,56	1285416,01	1226033,53
17	1486255,77	1405800,23	1280274,34	1219903,37
18	1480310,74	1398771,23	1275153,25	1213803,85
19	1474389,50	1391777,38	1270052,63	1207734,83
20	1468491,94	1384818,49	1264972,42	1201696,16
21	1462617,97	1377894,40	1259912,53	1195687,68
22	1456767,50	1371004,92	1254872,88	1189709,24
23	1450940,43	1364149,90	1249853,39	1183760,69
24	1445136,67	1357329,15	1244853,98	1177841,89
25	1439356,12	1350542,50	1239874,56	1171952,68

Όσον αφορά τα οικονομικά στοιχεία και συμπεράσματα, τα τελικά έσοδα θα προκύψουν από την πώληση της ισχύος αυτής στο δίκτυο.

7.4 ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως παρατηρείται, οι αναστροφείς που επιλέχθηκαν για την παρούσα μελέτη είναι τύπου grid-tie. Τέτοιου είδους αναστροφείς είναι ιδανικοί για τον συγκεκριμένο σκοπό, δηλαδή για την έγχυση της παραγόμενης ισχύος στο δίκτυο. Αυτό συμβαίνει καθώς φροντίζουν γιατί διαθέτουν συστήματα ανίχνευσης της κυματομορφή του δικτύου του εναλλασσόμενου ρεύματος κάθε στιγμή και εξάγουν την τάση που αντιστοιχεί στο δίκτυο.

Ακόμη, πολύ σημαντική προσθήκη στους υπολογισμούς αποτελεί η προσθήκη και σύγκριση αναστροφέων μικρότερων προδιαγραφών για τα ονομαστικά μεγέθη. Ουσιαστικά, αυτό έγινε σε συνδυασμό με την εμφάνιση του θεωρητικού αριθμού των αναστροφέων ως δεκαδικού αριθμού. Δηλαδή, αυτός ο έλεγχος αφορά τα πάνελ, στην εγκατάσταση του 1 MW τα οποία «περίσσευαν» και δηλαδή αποτελούν το δεκαδικό τμήμα του αριθμού και δεν ήταν γνωστό εάν άξιζε η αγορά ενός ακόμη «μεγάλου» αναστροφέα για την κάλυψή τους, για λόγους οικονομοτεχνικούς. Οι οικονομικές πτυχές του εγχειρήματος αυτού θα εμφανιστούν αναλυτικότερα παρακάτω, όπου και θα φανεί, εν τέλει, εάν η ένταξη αυτών των αναστροφέων στη μελέτη άξιζε.

Συμπεραίνοντας, το πλήθος των «μεγάλων» αναστροφέων που είναι απαραίτητο για τη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση του ενός MW είναι 4-6, ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης αλλά και την περιοχή. Επιπλέον, όσον αφορά τον υπολογισμό των μικρότερων σε ισχύ αναστροφέων, παρατηρείται πως σε πλήθος για την κάλυψη των «περισσευόμενων» πάνελ θα χρειαστούν 1-3 αναστροφείς για την περίπτωση αυτή των 180 kW και 1-3 από εκείνους των 80 kW για την κάλυψη των ποσοστών του 0% - 80% των 180 kW.

Τέλος, ο υπολογισμός του πλήθους του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και των καλωδίων μεταφοράς της ισχύος αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο μιας μελέτης, καθώς αυτά τα στοιχεία πρέπει να υπολογιστούν τόσο για τεχνικούς όσο και για οικονομικούς σκοπούς. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα οικονομικά στοιχεία της μελέτης εμφανίζονται στο παρακάτω κεφάλαιο.

8. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΩΝ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΞΙΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

8.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ

Οι εγκαταστάσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και κυρίως των φωτοβολταϊκών, αποτελούν μια διαρκώς αυξανόμενη επιλογή, τόσο σε κρατικό όσο και σε ιδιωτικό επίπεδο, πηγή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται στη διαρκή μείωση του κόστους της εγκατάστασης, των υλικών και της συντήρησης όπως επίσης και στη διαρκή βελτίωση των επιδόσεων αυτών των συστημάτων. Μετά από σχετική μελέτη του Γερμανικού Ινστιτούτου Fraunhofer, υπολογίστηκαν τα κόστη για την παραγωγή ανά MWh, για διάφορες περιοχές της Γερμανίας, όπως και απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα (8.1), ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης.

Πίνακας 8.1: Κόστη παραγωγής 1 MWh ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης

ΕΙΔΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (€/MWh)
ΛΙΓΝΙΤΗ	103,8 – 153,4
ΛΙΘΑΝΘΡΑΚΑ	110,3 – 200,4
ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ	77,9 – 130,6
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΤΕΡΙΑΣ	39,4 – 82,9
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΘΑΛΑΣΣΗΣ	72,3 – 121,3
ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	72,2 – 172,6
ΦΩΤΟΒΟΛΑΤΙΚΗ ΣΤΕΓΗΣ (ΜΙΚΡΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ < 1 MWp)	46,3 – 110,1
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΣΤΕΓΗΣ (ΜΙΚΡΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ < 1 MWp) ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ	~ 65 – 197,2
ΦΩΤΟΒΟΛΑΤΙΚΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ≥ 1 MWp	31,2 – 57,0
ΦΩΤΟΒΟΛΑΤΙΚΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ≥ 1 MWp	52,4 – 99,2

Όπως είναι εμφανές και από τον πίνακα (8.1), τα φωτοβολταϊκά συστήματα ανά αποτελούν έναν πολύ πιο οικονομικό και άρα επιθυμητό τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό βέβαια και σε συνάρτηση της μέσης χρονικής διάρκειας «ζωής» των πάνελ, η οποία κυμαίνεται στα 30-35 χρόνια. Ωστόσο, αυτές οι τιμές είναι ενδεικτικές, καθώς αποτελούν μελέτη που διεξήχθη με βάση τη Γερμανία, παρ' όλα αυτά, το κόστος ανά παραγόμενη ενέργεια (€/MWh) για την περίπτωση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, είναι και ανάλογο της ακτινοβολίας στο επίπεδο της εγκατάστασης. Αυτό σημαίνει πως επειδή για την περίπτωση της Ελλάδας, όπου η μέση τιμή της ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο είναι αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη της Γερμανίας, θα επηρεάζεται και αρκετά η μείωση του κόστους εξ' αιτίας της ακτινοβολίας.

Μετά την ολοκλήρωση της μελέτης της παραγόμενης ενέργειας για κάθε κατασκευαστή και περιοχή, είναι σημαντική η σύγκριση των αποτελεσμάτων του κόστους έκαστου κατασκευαστή ως συνάρτηση του πλήθους των πάνελ που απαιτούνται από κάθε έναν για εγκατάσταση 1 MW και πάντα σε σχέση με την τελική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια της κάθε εγκατάστασης. Για να μπορέσει να γίνει αυτή η σύγκριση, πολλοί παράγοντες θα παίξουν ουσιώδη ρόλο, όπως το κόστος του πάνελ σε τιμή χονδρικής, το πλήθος των πάνελ, το κόστος διανομής/μεταφοράς τους, το εμβαδόν του χώρου τοποθέτησής τους σε περίπτωση που δεν υπάρχει ήδη διαθέσιμος χώρος, η διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, η μεταβολή της απόδοσης έκαστου πάνελ στη διάρκεια ζωής του, και άλλα πολλά.

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές σχέσεις, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα εργασία για των υπολογισμό των διάφορων μεγεθών και αποτελεσμάτων. Επίσης, θα αποτυπωθούν και τα αποτελέσματα της μελέτης για να μπορέσει τελικά να διαπιστωθεί ποια εγκατάσταση είναι πλέον οικονομικά συμφέρουσα για κάθε περιοχή.

8.2 ΥΠΟΛΟΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Το μεγαλύτερο κόστος μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης τέτοιου μεγέθους είναι συνήθως τα πάνελ μαζί με τις αντίστοιχες βάσεις. Αρχικά υπολογίστηκε η ποσότητα των πλαισίων που χρειάζονται για κάθε κατασκευαστή, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ισχύς του ενός MW. Αφού υπολογιστεί η ποσότητα αυτή, γίνεται έρευνα για την αγορά βάσεων σωστών διαστάσεων. Η κλίση των βάσεων που επιλέχθηκαν μπορεί να ρυθμιστεί, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθούν τα πάνελ και οριζόντια, όπως δηλαδή έγινε η μελέτη για την παραγόμενη ισχύ τους. Το κόστος τόσο των φωτοβολταϊκών πλαισίων όσο και των βάσεων τους παρουσιάζεται στους πίνακες του κεφαλαίου 8.3.

Το δεύτερο πιο δαπανηρό στοιχείο της εγκατάστασης, όπως μαρτυρούν και οι πίνακες (8.2) και (8.3) είναι οι αναστροφείς. Γι' αυτό το λόγο έγινε λεπτομερής ανάλυση και έρευνα αγοράς, ώστε να καταλήξουμε στην πλέον συμφέρουσα οικονομικά λύση για κάθε περιοχή και κατασκευαστή, όπως είδαμε και στους πίνακες (7.1) έως και (7.15). Έγινε λοιπόν έρευνα αγοράς και σύγκριση μεταξύ πολλών διαφορετικών κατασκευαστών inverter, πριν καταλήξουμε στους 3 προαναφερόμενους.

Μετά από περαιτέρω σύγκριση μεταξύ των 3 αυτών κατασκευαστών, καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως οικονομικά καλύτερη επιλογή, είναι η χρήση ενός μεγαλύτερου inverter, αντί για 2 μικρότερων. Για την κάλυψη, δηλαδή, ισχύος 200 kW,

είναι προτιμότερο να χρησιμοποιήσουμε τον αναστροφέα των 250kW, παρά 2 των 180kW, ακόμα κι αν φαίνεται ότι μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης θα έχουμε με την δεύτερη επιλογή.

Ουσιαστικά, οι πιο συμφέρουσες αναλογίες, ήταν ανά δύο αναστροφείς της τάξης των 180 kW να επιλεγθεί ένας 250 kW, ανά δύο αναστροφείς 80 kW να επιλεγθεί ένα αναστροφέας 180 kW και ανα τρεις αναστροφείς 80 kW να επιλεγθεί ένας 250 kW. Σε κάθε άλλη περίπτωση το κόστος υπερέβαινε το ελάχιστο δυνατό, χωρίς αυτό να χρειάζεται.

Το εργατικό κόστος εγκατάστασης είναι κάτι που πρέπει επίσης να λάβουμε σοβαρά υπόψη καθώς μια μεγάλη εγκατάσταση μπορεί να αποδειχθεί χρονοβόρα για τους εργάτες, άρα και κοστοβόρα. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποίησε το National Renewable Energy Laboratory (N.R.E.L.), κρατικό εργαστήριο της Αμερικής για την έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας, ένας μέσος εργάτης χρειάζεται 1 ώρα για να εγκαταστήσει περίπου 3,7 πάνελ. Έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε το σύνολο των ημερών που απαιτούνται για κάθε εγκατάσταση μέσω της σχέσης (8.1):

$$\text{Ημέρες Εγκατάστασης} = \frac{N}{3,7 \times 8} \quad (8.1)$$

Όπου, N είναι ο συνολικός αριθμός των πάνελ για κάθε εγκατάσταση, 3,7 είναι ο αριθμός των πάνελ που μπορεί να κάνει εγκατάσταση ο εργάτης ανά ώρα και 8 είναι οι ώρες εργασίας ανά μέρα. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο ημερήσιος μισθός ενός εργάτη στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή είναι 34,84€, υπολογίζουμε εύκολα το συνολικό εργατικό κόστος αθροίζοντας τις απαιτούμενες ημέρες εγκατάστασης με το ημερομίσθιο.

Επιπλέον, όσον αφορά τον υπολογισμό των απαιτούμενων μέτρων καλωδίωσης χρησιμοποιήθηκε ο εξής τύπος (8.2):

$$L = 2 \times \sqrt{E} \quad (8.2)$$

Όπου, L είναι το μήκος των καλωδίων και E το εμβαδόν των φωτοβολταϊκών σε τετραγωνικά μέτρα. Έπειτα βρίσκουμε το συνολικό κόστος προσθέτοντας σε αυτό των καλωδίων, το κόστος των συνδετήρων που χρειαζόμαστε ανάλογα με το πλήθος των πλαισίων της κάθε εγκατάστασης.

Τέλος, με βάση τους πίνακες (7.12) και (7.13), υπολογίστηκε το κόστος των ηλεκτρολογικών στοιχείων των υποπινάκων DC και AC αντίστοιχα. Προσθέτοντας, λοιπόν, όλα τα παραπάνω κόστη, υπολογίστηκε το συνολικό κόστος της εγκατάστασης.

Για να γίνει σωστή ανάλυση και σύγκριση των εγκαταστάσεων χρειάζονται επιπλέον δεδομένα πέρα από τα κόστη. Πρέπει αρχικά να υπολογιστούν τα ετήσια έσοδα που θα έχει η εγκατάσταση. Τα έσοδα αυτά προκύπτουν από το άθροισμα της τελικής ισχύος που φτάνει στο δίκτυο, όπως είδαμε στον πίνακα (7.14), με την τιμή πώλησης της στη Δ.Ε.Η που αυτή τη στιγμή βρίσκεται στα 0,06574€ ανά kWh για φωτοβολταϊκά πάγκα ισχύος μεγαλύτερη ή ίσης του ενός MW.

Πέρα από ετήσια έσοδα, όμως, τα φωτοβολταϊκά πάγκα έχουν και ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης. Σύμφωνα με σχετική έρευνα που έγινε από την N.R.E.L. τα έξοδα αυτά είναι περίπου 15,73€ ανά kW, δηλαδή οι εγκαταστάσεις μας θα έχουν ετήσια έξοδα για τη λειτουργία και συντήρησή τους περίπου 15.730,00€

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, τα καθαρά ετήσια έσοδα υπολογίζονται από την αφαίρεση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης από τα έσοδα αυτά. τα δύο πιο σημαντικά στοιχεία για την σύγκριση και την οικονομική μελέτη των εγκαταστάσεων είναι το έτος απόσβεσης αλλά και το Return of Investment (R.O.I.). Το έτος απόσβεσης μας κατατοπίζει για το πότε περίπου θα κερδίσουμε πίσω τα χρήματα που επενδύσαμε για την υλοποίηση της εγκατάστασης, ενώ το R.O.I. μας βοηθά να υπολογίσουμε την ποιότητα/απόδοση της επένδυσής μας. Αυτό υπολογίζεται μέσω της σχέσης (8.3).

$$R. O. I. = \frac{\text{Ετήσια Έσοδα}}{\text{Συνολικό κόστος εγκατάστασης}} \times 100\% \quad (8.3)$$

Για τα φωτοβολταϊκά πάρκα, το ποσοστό αυτό κυμαίνεται μεταξύ 8% και 20%

Τέλος, υπολογίζονται τα κέρδη των εγκαταστάσεων στα 25 χρόνια, δηλαδή το έτος μέχρι το οποίο οι περισσότεροι κατασκευαστές εγγυώνται την καλή απόδοση και λειτουργία των πλαισίων τους, αλλά και στα 35 χρόνια, τον μέσο χρόνο ζωής των φωτοβολταϊκών πάρκων.

8.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΜΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα όλων των προαναφερόμενων σχέσεων και υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν αλλά και συνολικά των στοιχείων της εγκατάστασης για τις περιοχές που μελετάμε. Επιπλέον, σε όλες τις συγκρίσεις, λόγω κόστους, ο αναστροφέας που εν τέλει επιλέχθηκε είναι ο αναστοφέας 2.

Πίνακας 8.2: Οικονομοτεχνική ανάλυση για τα πλαίσια του κατασκευαστή 1 στο Ηράκλειο

ΗΡΑΚΛΕΙΟ					
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)					
ΠΛΗΘΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ 1 MW	2778	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ	281,00	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW	780.555,56 €
ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑ kWh	0,06574	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΧΩΡΟΣ (m ²)	4805,56	ΧΡΟΝΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	94
ΚΟΣΤΟΣ ΗΜΕΡΟΜΙΣΘΙΟΥ	34,84 €	ΕΡΓΑΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ	3.269,52€	ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	21.784,16 €
ΚΟΣΤΟΣ INVERTER 180 kW	6.447,00 €	ΑΡΙΘΜΟΣ INVERTER 180 kW ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	1	ΚΟΣΤΟΣ INVERTER 250kW	9.650,00 €
ΑΡΙΘΜΟΣ INVERTER 250 kW ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	5	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ INVERTER	54.697,00 €	ΚΟΣΤΟΣ ΒΑΣΕΩΝ	173.611,11 €
ΚΟΣΤΟΣ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ 30 m ²	11.160,00 €	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ	3.881,72 €	ROI (%)	8.23
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ	1.048.959,07 €	ΈΤΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	13		

Πίνακας 8.3: Ετήσια έσοδα και έξοδα για τον κατασκευαστή 1 στο Ηράκλειο

ΗΡΑΚΛΕΙΟ				
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)				
ΈΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΚΑΘΑΡΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΕΡΔΟΣ	ΑΠΟΣΒΕΣΗ
1	104.177,48 €	15.730,00 €	88.447,48 €	-960.511,59 €
2	103.760,77 €	15.730,00 €	88.030,77 €	- 872.480,83 €
3	103.345,72 €	15.730,00 €	87.615,72 €	- 784.865,10 €
4	102.932,34 €	15.730,00 €	87.202,34 €	- 697.662,76 €
5	102.520,61 €	15.730,00 €	86.790,61 €	- 610.872,15 €
6	102.110,53 €	15.730,00 €	86.380,53 €	-524.491,62 €
7	101.702,09 €	15.730,00 €	85.972,09 €	-438.519,53 €
8	101.295,28 €	15.730,00 €	85.565,28 €	-352.954,25 €
9	100.890,10 €	15.730,00 €	85.160,10 €	- 267.794,15 €
10	100.486,54 €	15.730,00 €	84.756,54 €	-183.037,61 €
11	100.084,59 €	15.730,00 €	84.354,59 €	- 98.683,02 €
12	99.684,25 €	15.730,00 €	83.954,25 €	- 14.728,77 €
13	99.285,52 €	15.730,00 €	83.555,52 €	68.826,75 €
14	98.888,37 €	15.730,00 €	83.158,37 €	151.985,12 €
15	98.492,82 €	15.730,00 €	82.762,82 €	234.747,94 €
16	98.098,85 €	15.730,00 €	82.368,85 €	317.116,79 €
17	97.706,45 €	15.730,00 €	81.976,45 €	399.093,24 €
18	97.315,63 €	15.730,00 €	81.585,63 €	480.678,87 €
19	96.926,37 €	15.730,00 €	81.196,37 €	561.875,24 €
20	96.538,66 €	15.730,00 €	80.808,66 €	642.683,90 €
21	96.152,51 €	15.730,00 €	80.422,51 €	723.106,40 €
22	95.767,90 €	15.730,00 €	80.037,90 €	803.144,30 €
23	95.384,82 €	15.730,00 €	79.654,82 €	882.799,12 €
24	95.003,28 €	15.730,00 €	79.273,28 €	962.072,41 €
25	94.623,27 €	15.730,00 €	78.893,27 €	1.040.965,68 €
Σύνολο	2.483.174,75 €		2.089.924,75 €	
Συνολικό καθαρό κέρδος στα 25 έτη	1.040.965,68 €	Συνολικό καθαρό κέρδος στα 35 έτη	1.809.329,09 €	

Πίνακας 8.4: Οικονομοτεχνική ανάλυση για τα πλαίσια του κατασκευαστή 7 στο Ηράκλειο

ΗΡΑΚΛΕΙΟ					
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)					
ΠΛΗΘΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΩΣ 1 MW	4000	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ	80,00	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW	320.000,00 €
ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑ kWh	0,06574	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΧΩΡΟΣ (m²)	5480,00	ΧΡΟΝΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	135
ΚΟΣΤΟΣ ΗΜΕΡΟΜΙΣΘΙΟΥ	34,84 €	ΕΡΓΑΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ	4.708,11 €	ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	23.125,67 €
ΚΟΣΤΟΣ INVERTER 250KW	9.650,00 €	ΚΟΣΤΟΣ INVERTER 180KW	6.447,00 €	ΑΡΙΘΜΟΣ INVERTER 250 KW ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	5
ΑΡΙΘΜΟΣ INVERTER 180 kW ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	1	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ INVERTER	54.697,00 €	ΚΟΣΤΟΣ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ 30 m²	11.160,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ	5.311,40 €	ΚΟΣΤΟΣ ΒΑΣΕΩΝ	250.000,00 €	ROI (%)	12,24
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ	669.002,18 €	ΈΤΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	9		

Πίνακας 8.5: Ετήσια έσοδα και έξοδα για τον κατασκευαστή 7 Στο Ηράκλειο Κρήτης

ΗΡΑΚΛΕΙΟ				
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)				
ΈΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΚΑΘΑΡΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΕΡΔΟΣ	ΑΠΟΣΒΕΣΗ
1	100.134,57 €	15.730,00 €	84.404,57 €	-584.597,61 €
2	99.633,89 €	15.730,00 €	83.903,89 €	-500.693,72 €
3	99.135,72 €	15.730,00 €	83.405,72 €	-417.288,00 €
4	98.640,04 €	15.730,00 €	82.910,04 €	-334.377,95 €
5	98.146,84 €	15.730,00 €	82.416,84 €	-251.961,11 €
6	97.656,11 €	15.730,00 €	81.926,11 €	-170.035,00 €
7	97.167,83 €	15.730,00 €	81.437,83 €	-88.597,17 €
8	96.681,99 €	15.730,00 €	80.951,99 €	-7.645,18 €
9	96.198,58 €	15.730,00 €	80.468,58 €	72.823,40 €
10	95.717,59 €	15.730,00 €	79.987,59 €	152.810,99 €
11	95.239,00 €	15.730,00 €	79.509,00 €	232.319,99 €
12	94.762,80 €	15.730,00 €	79.032,80 €	311.352,79 €
13	94.288,99 €	15.730,00 €	78.558,99 €	389.911,79 €
14	93.817,55 €	15.730,00 €	78.087,55 €	467.999,33 €
15	93.348,46 €	15.730,00 €	77.618,46 €	545.617,79 €
16	92.881,72 €	15.730,00 €	77.151,72 €	622.769,51 €
17	92.417,31 €	15.730,00 €	76.687,31 €	699.456,81 €
18	91.955,22 €	15.730,00 €	76.225,22 €	775.682,03 €
19	91.495,44 €	15.730,00 €	75.765,44 €	851.447,48 €
20	91.037,97 €	15.730,00 €	75.307,97 €	926.755,45 €
21	90.582,78 €	15.730,00 €	74.852,78 €	1.001.608,22 €
22	90.129,86 €	15.730,00 €	74.399,86 €	1.076.008,09 €
23	89.679,21 €	15.730,00 €	73.949,21 €	1.149.957,30 €
24	89.230,82 €	15.730,00 €	73.500,82 €	1.223.458,12 €
25	88.784,66 €	15.730,00 €	73.054,66 €	1.296.512,78 €
Σύνολο	2.358.764,96 €		1.965.514,96 €	
Συνολικό καθαρό κέρδος στα 25 έτη	1.296.512,78 €	Συνολικό καθαρό κέρδος στα 35 έτη		2.003.006,24 €

Πίνακας 8.6: Οικονομοτεχνική ανάλυση για τα πλαίσια του κατασκευαστή 1 στη Φλώρινα

ΦΛΩΡΙΝΑ					
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)					
ΠΛΗΘΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΩΣ 1 MW	2778	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ	281,00	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW	780.555,56 €
ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑ kWh	0,06574	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΧΩΡΟΣ (m ²)	4805,56	ΧΡΟΝΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	94
ΚΟΣΤΟΣ ΗΜΕΡΟΜΙΣΘΙΟΥ	34,84 €	ΕΡΓΑΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ	3.269,52 €	ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	27.482,56 €
ΚΟΣΤΟΣ INVERTER 180 kW	6.447,00 €	ΑΡΙΘΜΟΣ INVERTER 180 kW ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	1	ΚΟΣΤΟΣ INVERTER 250 kW	9.650,00 €
ΑΡΙΘΜΟΣ INVERTER 2 ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	5	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ INVERTER	54.697,00 €	ΚΟΣΤΟΣ ΒΑΣΕΩΝ	173.611,11 €
ΚΟΣΤΟΣ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ 30 m ²	11.160,00 €	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ	3.881,72 €	ROI (%)	6.88
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ	1.048.959,07 €	ΈΤΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	15		

Πίνακας 8.7: Ετήσια έσοδα και έξοδα για τον κατασκευαστή 1 στη Φλώρινα

ΦΛΩΡΙΝΑ				
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1 (360 W)				
ΈΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΚΑΘΑΡΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΕΡΔΟΣ	ΑΠΟΣΒΕΣΗ
1	89.739,43 €	15.730,00 €	74.009,43 €	-974.949,64 €
2	89.380,48 €	15.730,00 €	73.650,48 €	-901.299,16 €
3	89.022,95 €	15.730,00 €	73.292,95 €	-828.006,20 €
4	88.666,86 €	15.730,00 €	72.936,86 €	-755.069,34 €
5	88.312,20 €	15.730,00 €	72.582,20 €	- 682.487,15 €
6	87.958,95 €	15.730,00 €	72.228,95 €	-610.258,20 €
7	87.607,11 €	15.730,00 €	71.877,11 €	-538.381,09 €
8	87.256,68 €	15.730,00 €	71.526,68 €	-466.854,41 €
9	86.907,66 €	15.730,00 €	71.177,66 €	-395.676,75 €
10	86.560,03 €	15.730,00 €	70.830,03 €	-324.846,73 €
11	86.213,78 €	15.730,00 €	70.483,78 €	-254.362,94 €
12	85.868,93 €	15.730,00 €	70.138,93 €	-184.224,01 €
13	85.525,45 €	15.730,00 €	69.795,45 €	- 114.428,56 €
14	85.183,35 €	15.730,00 €	69.453,35 €	- 44.975,21 €
15	84.842,62 €	15.730,00 €	69.112,62 €	24.137,41 €
16	84.503,25 €	15.730,00 €	68.773,25 €	92.910,66 €
17	84.165,24 €	15.730,00 €	68.435,24 €	161.345,90 €
18	83.828,57 €	15.730,00 €	68.098,57 €	229.444,47 €
19	83.493,26 €	15.730,00 €	67.763,26 €	297.207,73 €
20	83.159,29 €	15.730,00 €	67.429,29 €	364.637,02 €
21	82.826,65 €	15.730,00 €	67.096,65 €	431.733,67 €
22	82.495,34 €	15.730,00 €	66.765,34 €	498.499,01 €
23	82.165,36 €	15.730,00 €	66.435,36 €	564.934,37 €
24	81.836,70 €	15.730,00 €	66.106,70 €	631.041,07 €
25	81.509,35 €	15.730,00 €	65.779,35 €	696.820,43 €
Σύνολο	2.139.029,50 €		1.745.779,50 €	
Συνολικό καθαρό κέρδος στα 25 έτη	696.820,43 €	Συνολικό καθαρό κέρδος στα 35 έτη	1.336.893.38€	

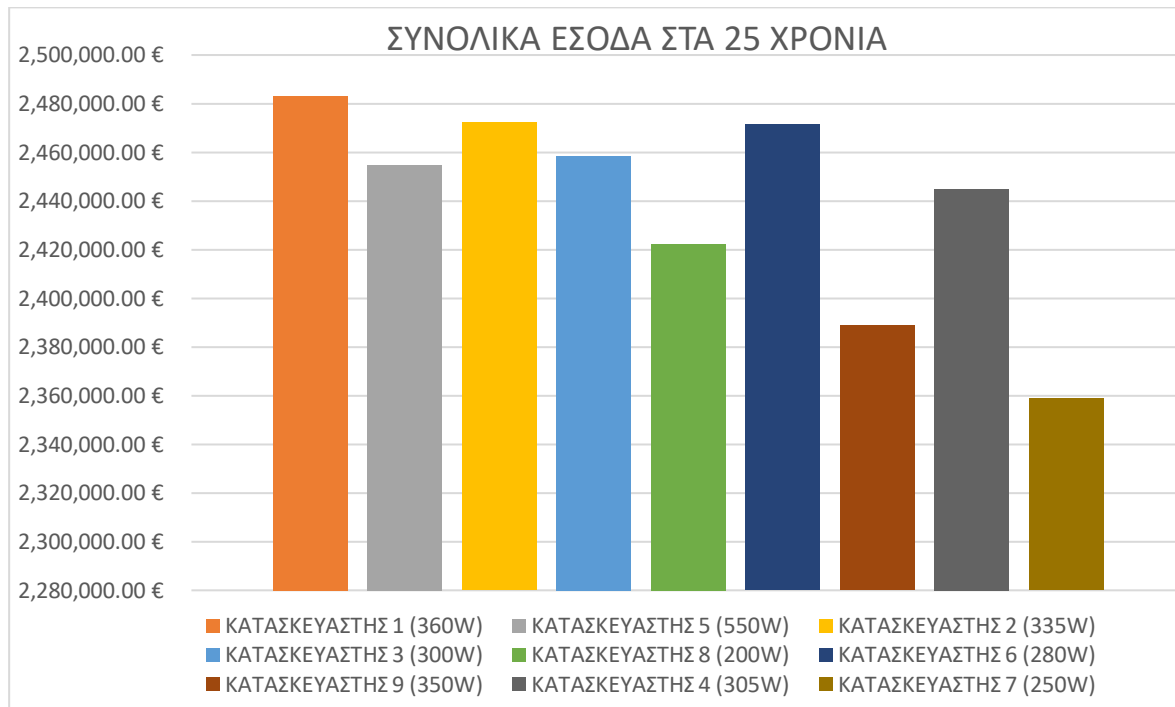
Πίνακας 8.8: Οικονομοτεχνική ανάλυση για τα πλαίσια του κατασκευαστή 7 στη Φλώρινα

ΦΛΩΡΙΝΑ					
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)					
ΠΛΗΘΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΣΧΥΟΣ 1 MW	4000	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ	80,00	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΤΙΜΗ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤ/ΣΗ 1 MW	320.000,00 €
ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΑΝΑ kWh	0,06574	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΧΩΡΟΣ (m²)	5480,00	ΧΡΟΝΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ (ΗΜΕΡΕΣ)	135
ΚΟΣΤΟΣ ΗΜΕΡΟΜΙΣΘΙΟΥ	34,84 €	ΕΡΓΑΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ	4.708,11 €	ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	29.822,61 €
ΚΟΣΤΟΣ INVERTER 250 kW	9.650,00 €	ΚΟΣΤΟΣ INVERTER 180 kW	6.447,00 €	ΑΡΙΘΜΟΣ INVERTER 250 kW ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	5
ΑΡΙΘΜΟΣ INVERTER 180 kW ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ	1	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ INVERTER	54.697,00 €	ΚΟΣΤΟΣ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ 30 m²	11.160,00 €
ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ	5.311,40 €	ΚΟΣΤΟΣ ΒΑΣΕΩΝ	250.000,00 €	ROI (%)	10,23
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤ/ΣΗΣ	674.013,68 €	ΈΤΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	10		

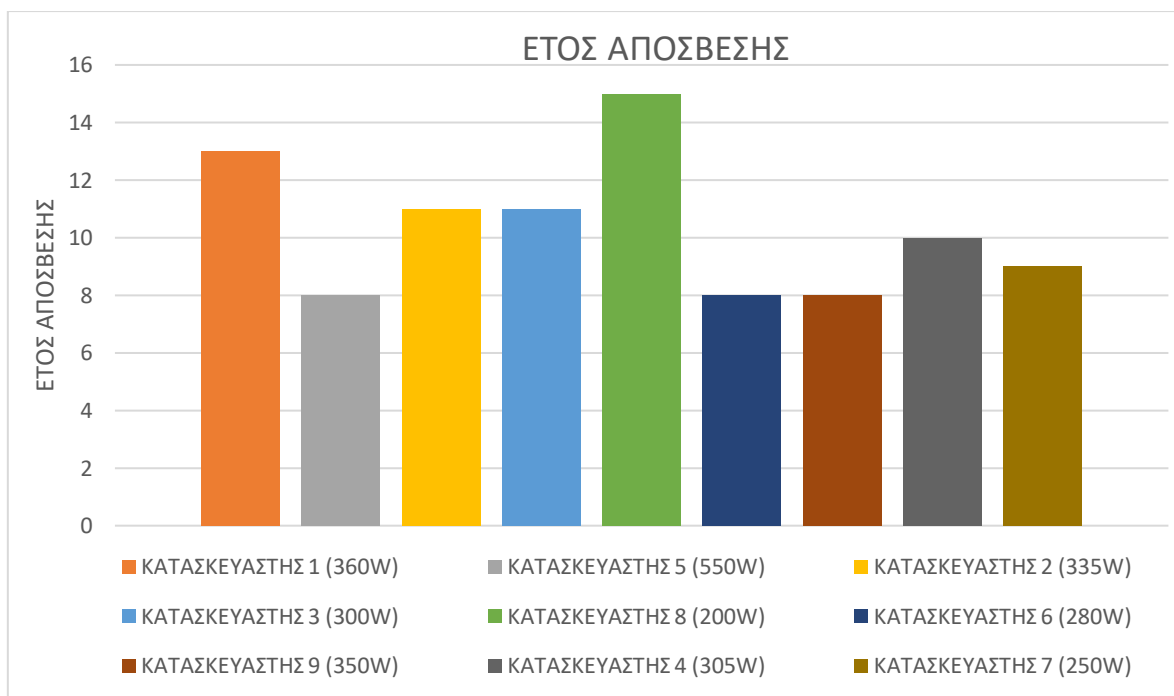
Πίνακας 8.9: Ετήσια έσοδα και έξοδα για τον κατασκευαστή 7 στη Φλώρινα

ΦΛΩΡΙΝΑ				
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7 (250 W)				
ΈΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΣΟΔΑ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΔΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΚΑΘΑΡΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΕΡΔΟΣ	ΑΠΟΣΒΕΣΗ
1	86.893,21 €	15.730,00 €	71.163,21 €	-602.850,47 €
2	86.458,74 €	15.730,00 €	70.728,74 €	-532.121,73 €
3	86.026,45 €	15.730,00 €	70.296,45 €	-461.825,28 €
4	85.596,32 €	15.730,00 €	69.866,32 €	-391.958,96 €
5	85.168,34 €	15.730,00 €	69.438,34 €	-322.520,63 €
6	84.742,49 €	15.730,00 €	69.012,49 €	-253.508,13 €
7	84.318,78 €	15.730,00 €	68.588,78 €	-184.919,35 €
8	83.897,19 €	15.730,00 €	68.167,19 €	-116.752,16 €
9	83.477,70 €	15.730,00 €	67.747,70 €	-49.004,46 €
10	83.060,31 €	15.730,00 €	67.330,31 €	18.325,85 €
11	82.645,01 €	15.730,00 €	66.915,01 €	85.240,86 €
12	82.231,79 €	15.730,00 €	66.501,79 €	151.742,65 €
13	81.820,63 €	15.730,00 €	66.090,63 €	217.833,28 €
14	81.411,52 €	15.730,00 €	65.681,52 €	283.514,80 €
15	81.004,47 €	15.730,00 €	65.274,47 €	348.789,27 €
16	80.599,44 €	15.730,00 €	64.869,44 €	413.658,71 €
17	80.196,45 €	15.730,00 €	64.466,45 €	478.125,16 €
18	79.795,47 €	15.730,00 €	64.065,47 €	542.190,63 €
19	79.396,49 €	15.730,00 €	63.666,49 €	605.857,11 €
20	78.999,51 €	15.730,00 €	63.269,51 €	669.126,62 €
21	78.604,51 €	15.730,00 €	62.874,51 €	732.001,13 €
22	78.211,49 €	15.730,00 €	62.481,49 €	794.482,61 €
23	77.820,43 €	15.730,00 €	62.090,43 €	856.573,04 €
24	77.431,33 €	15.730,00 €	61.701,33 €	918.274,37 €
25	77.044,17 €	15.730,00 €	61.314,17 €	979.588,53 €
Σύνολο	2.046.852,22 €		1.653.602,22 €	
Συνολικό καθαρό κέρδος στα 25 έτη	979.588,53 €	Συνολικό καθαρό κέρδος στα 35 έτη	1.571.857,73 €	

ΗΡΑΚΛΕΙΟ:

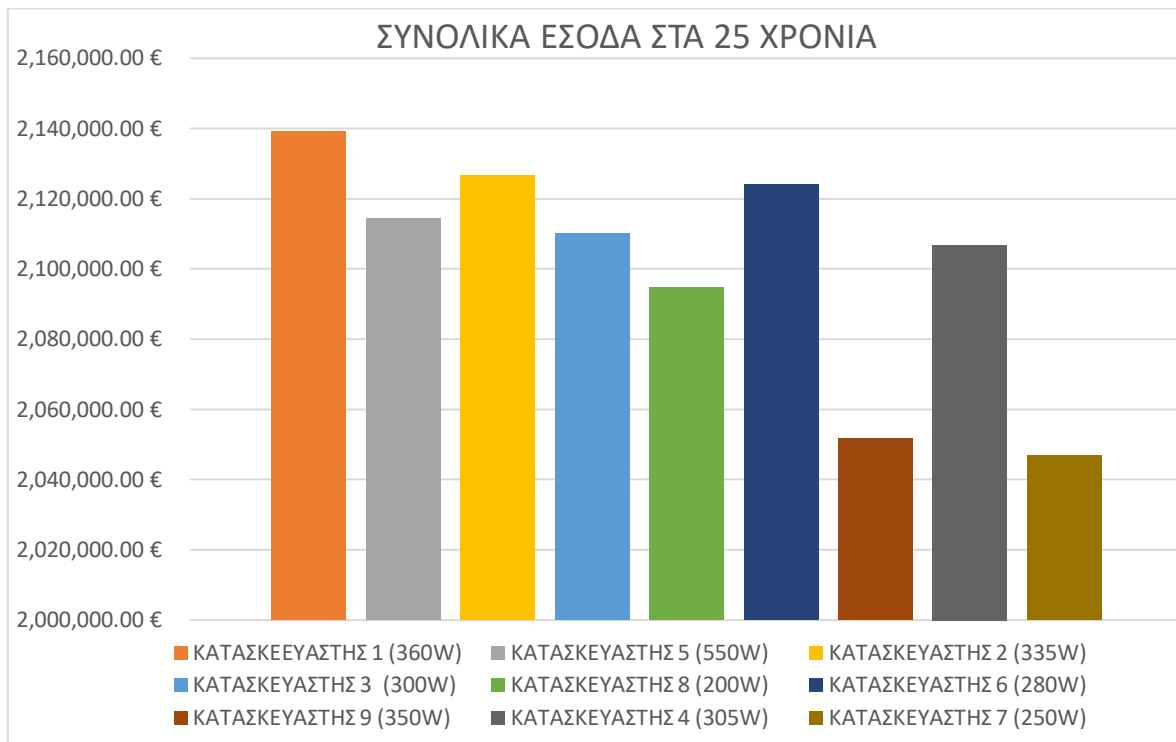


Σχήμα 8.1: Γραφική παράσταση συνολικών εσόδων στα 25 έτη για κάθε κατασκευαστή στο Ηράκλειο

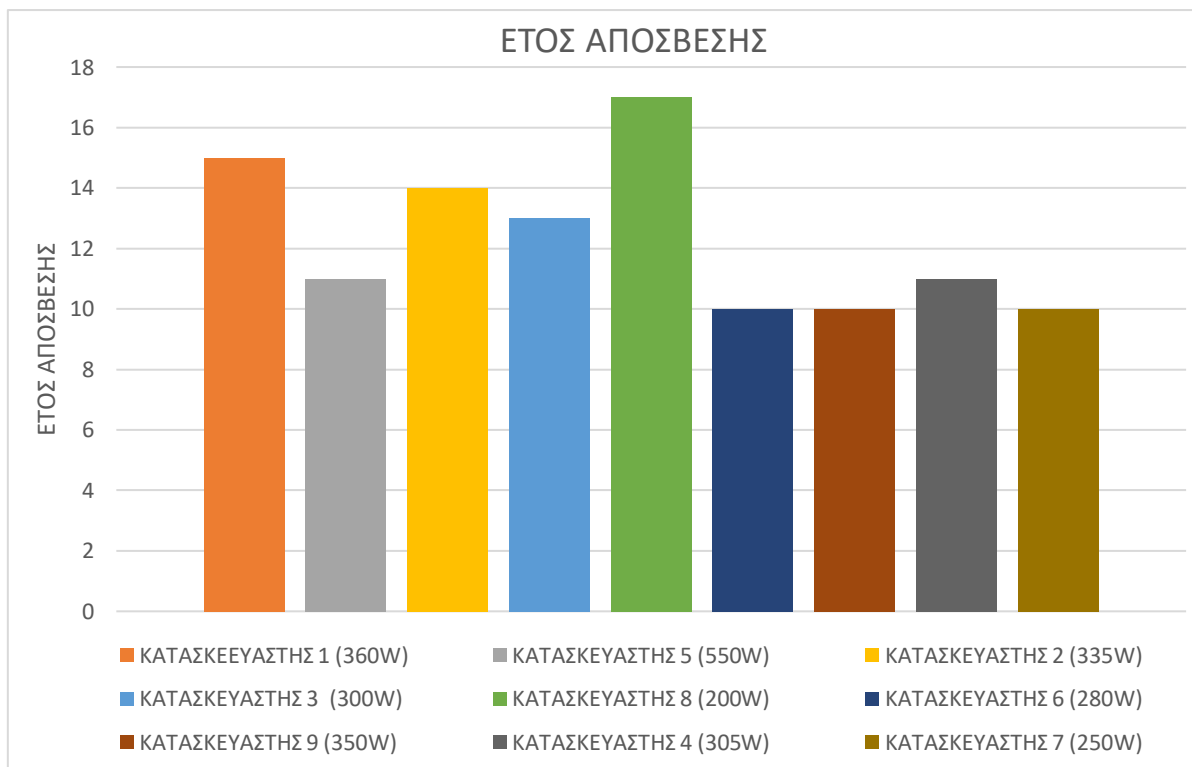


Σχήμα 8.2: Γραφική παράσταση έτους απόσβεσης για κάθε κατασκευαστή στο Ηράκλειο

ΦΛΩΡΙΝΑ:



Σχήμα 8.3: Γραφική παράσταση συνολικών εσόδων στα 25 έτη για κάθε κατασκευαστή στη Φλώρινα



Σχήμα 8.4: Γραφική παράσταση άτους απόσβεσης για κάθε κατασκευαστή στη Φλώρινα

Είναι αναγκαίο να σημειωθεί πως τα παραπάνω αποτελέσματα δεν είναι ενδεικτικά για τον σχεδιασμό πραγματικών φωτοβολταϊκών πάρκων, αφού η μελέτη έγινε για την οριζόντια τοποθέτηση των πάνελ. Η τοποθέτησή τους με βέλτιστη κλίση θα διαφοροποιούσε αρκετά τα αποτελέσματα και θα έδινε μεγαλύτερη απόδοση και συνολικά κέρδη στην επένδυση. Παρόλα αυτά, εξυπηρετούν τον σκοπό της μελέτης και δίνουν τη δυνατότητα να συγκριθεί η αποτελεσματικότητα των κατασκευαστών αυτών με βάση τα χαρακτηριστικά τους, την επιρροή από τις κλιματικές συνθήκες, αλλά και τη σχέση απόδοσης-τιμής.

8.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Οι πίνακες (8.2) έως και (8.9) και τα γραφήματα (8.1-8.4) του προηγούμενου υποκεφαλαίου μας βοηθούν να καταλήξουμε σε κάποια πολύ κρίσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την πλέον οικονομικά συμφέρουσα οικονομοτεχνικά επιλογή των πλαισίων μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Αρχικά, αν συγκρίνουμε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια των πινάκων 01 έως 09, καταλαβαίνουμε ότι το πάνελ με τα καλύτερα χαρακτηριστικά είναι αυτό του κατασκευαστή 1. Πράγματι, τόσο στη Φλώρινα, πόσο μάλλον στο Ηράκλειο, όπου η θερμοκρασία, άρα και η επιρροή του συντελεστή θερμοκρασίας είναι αισθητά μεγαλύτερη, η ετήσια παραγωγή ενέργειας και τα έσοδα είναι περισσότερα σε σχέση με τους υπόλοιπους κατασκευαστές. Αυτό όμως, δε σημαίνει ότι είναι και η βέλτιστη οικονομικά επιλογή. Με βάση τη σύγκριση που έγινε με το φαινομενικά χειρότερο σε τεχνικά χαρακτηριστικά πάνελ (κατασκευαστής 7), ναι μεν τα ετήσια έσοδα είναι περισσότερα, αλλά το κόστος εγκατάστασης είναι τόσο μεγαλύτερο, που δεν υπερκαλύπτεται από την διαφορά των εσόδων μέσα σε 35 χρόνια. Τα συνολικά έσοδα στα 35 χρόνια για την εγκατάσταση με τα πλαίσια του κατασκευαστή 1 στο Ηράκλειο είναι 1.809.329,09 € και το έτος που θα γίνει απόσβεση είναι το 13^ο, ενώ του κατασκευαστή 7 είναι 2.003.006,24 € και 9 έτη, αντίστοιχα.

Επίσης, εκτός από το κόστος της εγκατάστασης, πρέπει να προσέχουμε και την πτώση της απόδοσης που δίνει ο κάθε κατασκευαστής για τα πάνελ του, καθώς μπορεί με μεγάλο συντελεστή ετήσιων απωλειών, η πτώση των εσόδων να είναι μεγαλύτερη από την αποδεκτή. Για παράδειγμα, όπως βλέπουμε και στα παραπάνω γραφήματα, μπορεί το πάνελ του κατασκευαστή 2 να είναι καλύτερο όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά από αυτό του κατασκευαστή 6 και να έχει μικρότερο συντελεστή θερμοκρασίας, όμως τα έσοδα σε βάθος 25ετίας είναι σχεδόν τα ίδια, αφού οι απώλειες απόδοσης από έτος σε έτος του κατασκευαστή 6 είναι χαμηλότερες από αυτές του κατασκευαστή 2.

Τέλος, σημαντικός παράγοντας στη μείωση του κόστους εγκατάστασης είναι η βέλτιστη τοποθέτηση των πλαισίων σε σειρά και παράλληλα, ώστε να εξοικονομήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερα χρήματα, χρησιμοποιώντας λιγότερα inverter, καλώδια και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι για την σωστή επιλογή των φωτοβολταϊκών πλαισίων, πρέπει να ελέγξουμε εκτός από τα χαρακτηριστικά ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, το κόστος των πλαισίων αυτών, ώστε να βεβαιωθούμε ότι η καλύτερη ποιότητα μεταφράζεται και σε μεγαλύτερο κέρδος.

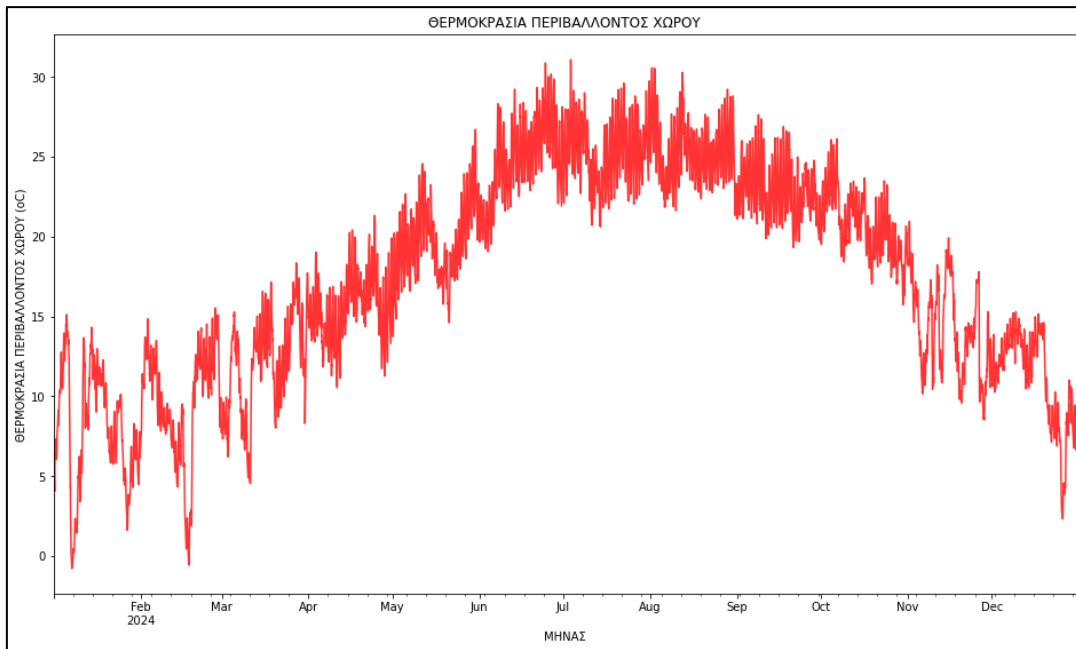
9. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΚΑΣΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ

9.1 ΣΤΟΧΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΩΔΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΕΙΣ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ

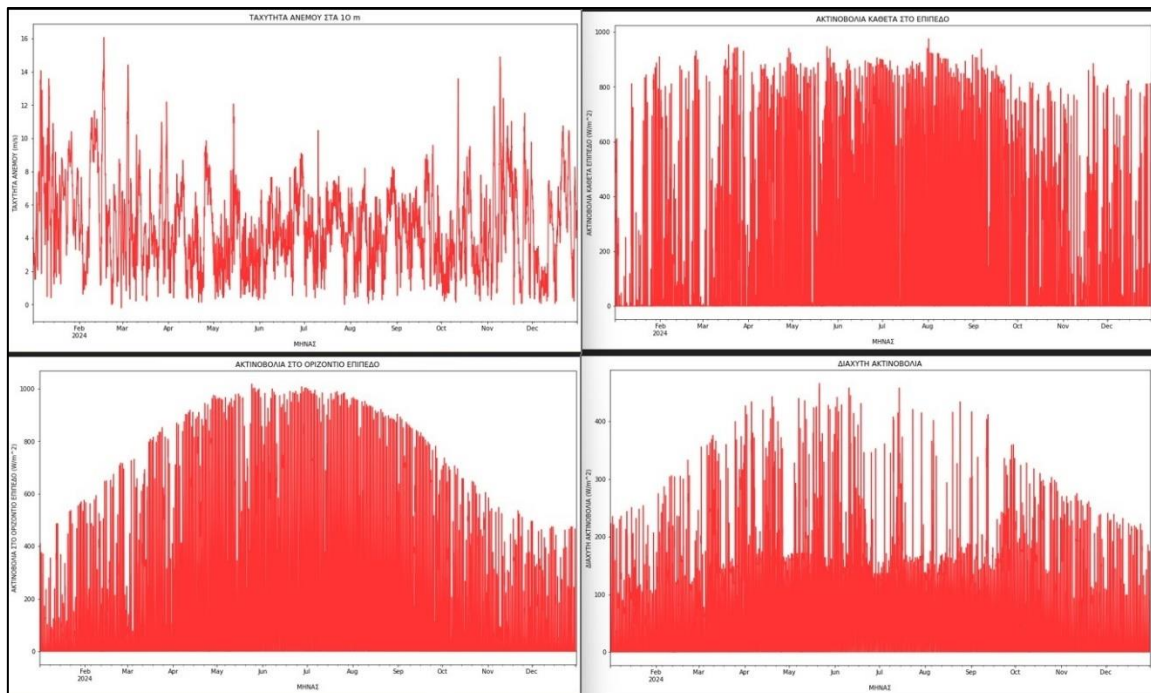
Για την μοντελοποίηση των υπολογισμών με βάση τις τεχνικές προδιαγραφές κάθε κατασκευαστή, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα σε γλώσσα Python. Ο σκοπός του προγράμματος είναι ο υπολογισμός της ισχύος συνεχούς ρεύματος εξόδου από τα φωτοβολταϊκά, της ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος μετά τον αναστροφή, της παραγόμενης ετήσιας ενέργεια για όλους του κατασκευαστές αλλά και η σύγκριση των διάφορων μοντέλων πάνελ με τη χρήση γεωχωρικών δεδομένων.

Οι βασικότερες γραφικές παραστάσεις που εκτυπώνονται στο πρόγραμμα, αφορούν τα αποτελέσματα της ισχύς εξόδου, της ετήσιας ενέργειας και διάφορων παραγόντων οι οποίοι κάνουν εμφανή τη διαφοροποίηση βάσει των γεωχωρικών δεδομένων. Επιπροσθέτως, εκτυπώνονται οι γραφικές παραστάσεις για τις τιμές των διάφορων μεγεθών που συλλέχθηκαν για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων αλλά και άλλων που χρησιμοποιήθηκαν στους υπολογισμούς.

Πιο συγκεκριμένα, με βάση τα χαρακτηριστικά που συλλέχθηκαν για τους υπολογισμούς, εκτυπώνονται σε μορφή γραφικής παράστασης, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο, η κάθετη στο επίπεδο του συλλέκτη ακτινοβολία, η διάχυτη ακτινοβολία και η ταχύτητα του ανέμου στα 10 μέτρα (Σχήμα 9.1 και εικόνα 9.1).

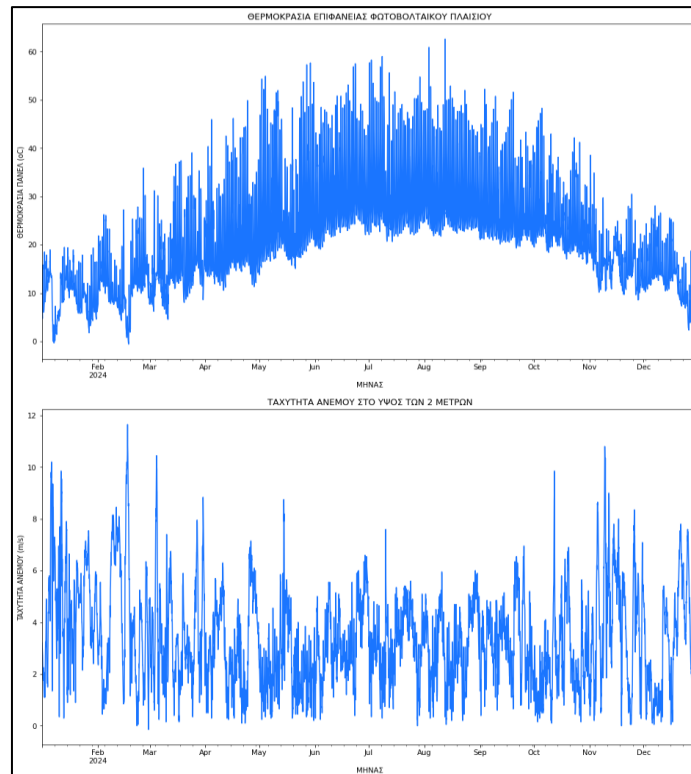


ΣΧΗΜΑ 9.1 Γράφημα θερμοκρασίας περιβάλλοντος χώρου



ΕΙΚΟΝΑ 9.1: Γραφήματα υπόλοιπων συλλεχθέντων από το Τ.Μ.Υ.. δεδομένων

Επιπλέον, μετά από τους υπολογισμούς για έκαστο μέγεθος εκτυπώνονται η θερμοκρασία της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου και η ταχύτητα του ανέμου στα 2 μέτρα (Εικ. 9.2).



ΕΙΚΟΝΑ 9.2: Θερμοκρασία στην επιφάνεια του πάνελ και ταχύτητα αέρα στα δύο μέτρα

Αρχικά, το πρόγραμμα ζητάει από τον χρήστη να εισάγει το νούμερο του κατασκευαστή για τον οποίο επιθυμεί να γίνουν οι περισσότεροι υπολογισμοί, εάν πρόκειται για κατασκευαστή που βρίσκεται στην παρούσα εργασία. Αλλιώς δίνεται και η δυνατότητα να συμπληρωθεί άλλος κατασκευαστής, πληκτρολογώντας πρώτα τη φράση «OTHER». Έπειτα, ζητάτε από τον χρήστη η εισαγωγή του γεωγραφικού μήκους και πλάτους ώστε να συλλεχθούν σε μορφή «json» τα δεδομένα των διάφορων μεγεθών από το PV.G.I.S. για να μπορέσουν να αξιοποιηθούν στον υπολογισμό των θεμιτών αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα που συλλέγονται για τη δοθείσα γεωγραφική περιοχή, από το PV.G.I.S., βασίζονται στο τυπικό μετεωρολογικό έτος (T.M.Y.) και λαμβάνονται από την τελευταία έκδοση του συστήματος (v5.2) από τη βάση δεδομένων SARAH2.

Το αρχείο του τυπικού μετεωρολογικού έτους έχει διαμορφωθεί από το PV.G.I.S. μέσω της συλλογής ωριαίων δεδομένων για τα έτη 2005-2020 για την έκδοση 5.2 και 2005-2016 για την έκδοση 5.1. Ουσιαστικά, στο αρχείο αυτό βρίσκονται, με βάση το πρότυπο ISO 15924-4 οι χαρακτηριστικά πιο τυπικοί μήνες για κάθε περιοχή. Για παράδειγμα, για την περιοχή του Ηρακλείου, ο Δεκέμβρης του 2014 αποτελεί τον τυπικό μήνα ως ενδείξεις για τα ωριαία δεδομένα, του οποίου οι τιμές είναι πιο συνήθης να εμφανιστούν από κάθε άλλο Δεκέμβρη ανάμεσα στα διαθέσιμα έτη.

Στη συνέχεια, όπως φαίνεται και στο παράδειγμα για την περιοχή της Μυτιλήνης, στην εικόνα (9.3), κατά τη λειτουργία του προγράμματος, ζητάτε από το χρήστη να εισάγει ένα όνομα για το προς μελέτη Project

```
dc_pv watts" ]/1
m(result["dc_h
["dc_pvgis" ]/1
```

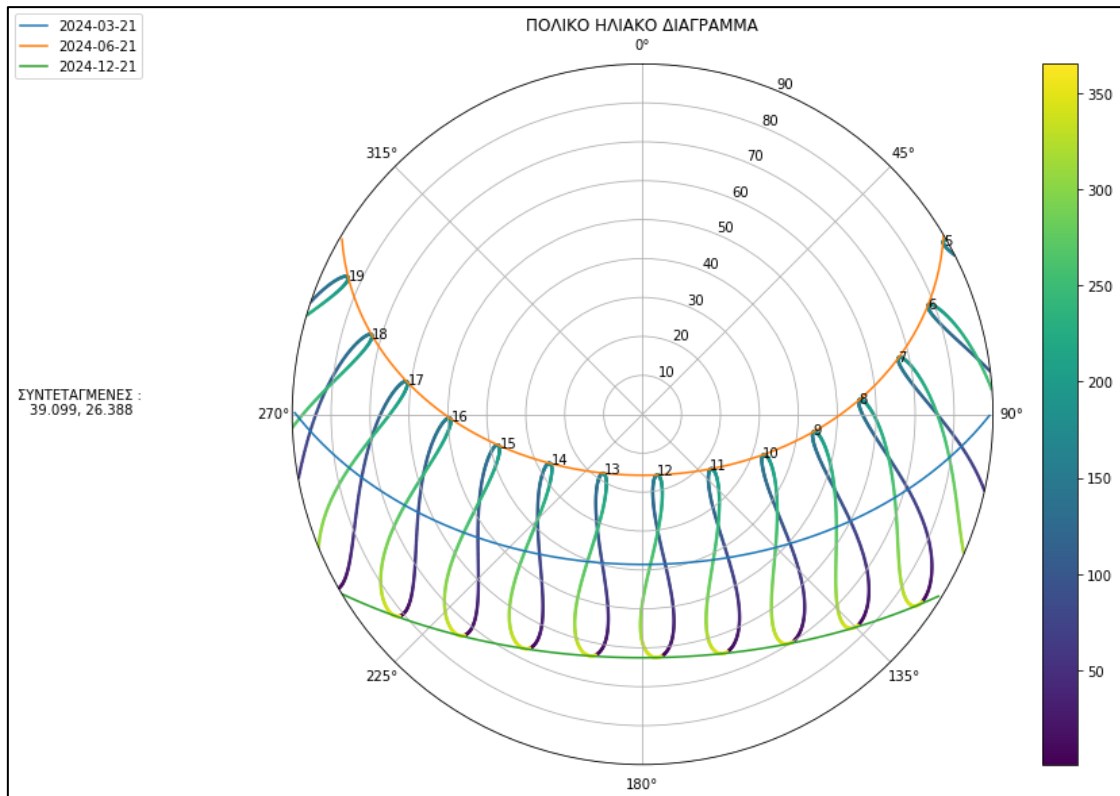
```
Console 1/A x
-ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ : 1
-ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ: 39.099
-ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ: 26.388
-ΟΝΟΜΑ PROJECT: ΜΥΤΙΛΗΝΗ
```

ΕΙΚΟΝΑ 9.3: Αρχική λειτουργία του προγράμματος και πλητρολόγηση δεδομένων

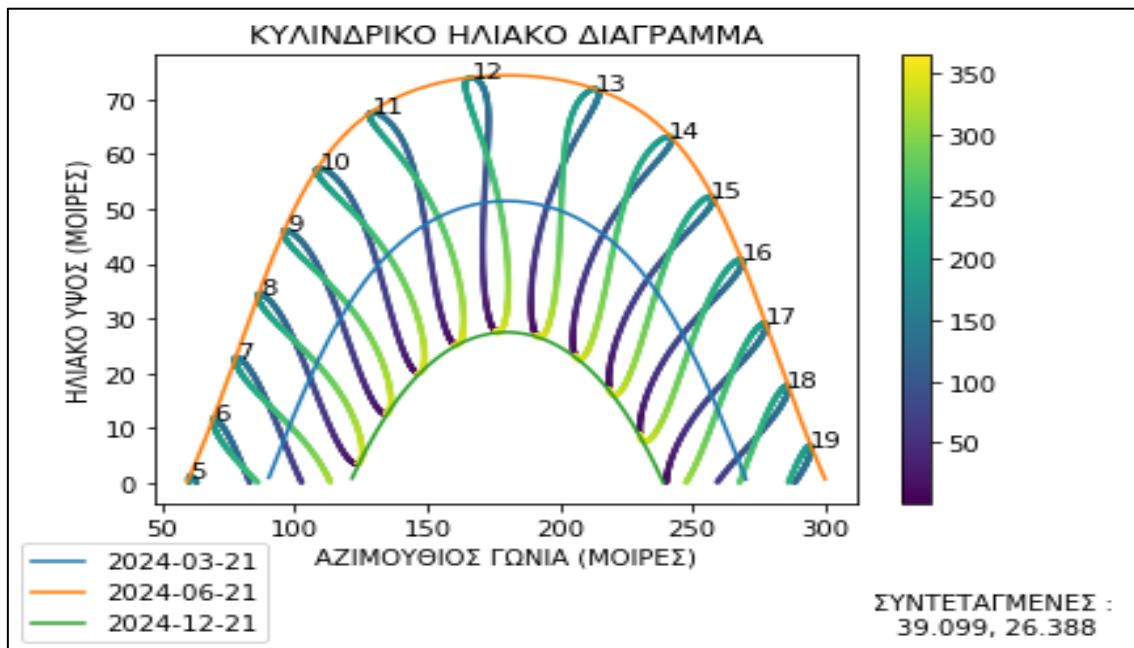
Έπειτα, στο πρόγραμμα, αναθέτονται οι στήλες που χρειάζονται για τους υπολογισμούς και κανονικοποιεί τις ημέρες και ώρες των δεδομένων, σαν να επρόκειτο για το έτος 2024 και όχι για το συνδυασμό τυπικών μηνών. Υπολογίζει την ταχύτητα του ανέμου στα 2 μέτρα καθώς επίσης, τη θερμοκρασία της επιφάνειας των πάνελ, χρησιμοποιώντας το μοντέλο του Faïman και σημειώνει τα αποτελέσματα έκαστης στήλης στο αρχείο, όπως αυτό γίνεται και προηγουμένως στην παρούσα μελέτη όπως επίσης και την ακτινοβολία μετά τις απώλειες λόγω της γωνίας πρόσπτωσης στο επίπεδο του συλλέκτη.

Στη συνέχεια, αφού εμφανιστούν τα γραφήματα του σχήματος και των εικόνων 9.1 και 9.1 - 9.2, αντίστοιχα, από το χρήστη, ζητάται να επιλέξει εάν θέλει να υπολογιστούν οι απώλειες που προκύπτουν από φαινόμενα όπως η σκίαση, η ύπαρξη σκόνης, καλωδίων, κ.α. Στην περίπτωση που ο χρήστης απαντήσει θετικά, συμπληρώνεται και αντίστοιχη στήλη στο αρχείο.

Αμέσως μετά, εμφανίζεται ένα πολικό καθώς και ένα κυλινδρικό ηλιακό διάγραμμα, όπως φαίνονται και στα σχήματα 9.2 και 9.3.



ΣΧΗΜΑ 9.2: Πολικό Ηλιακό Διάγραμμα



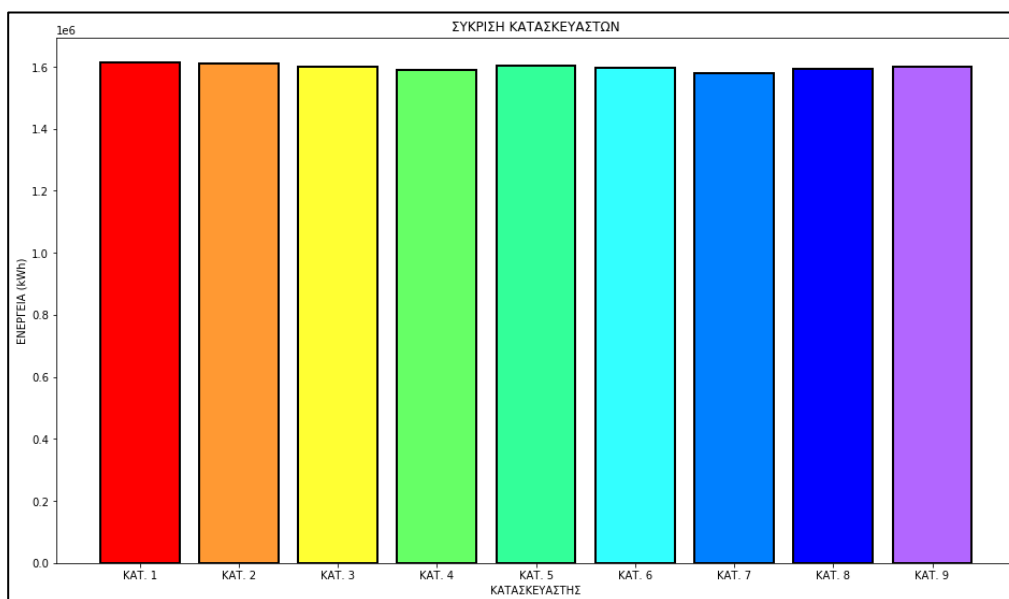
ΣΧΗΜΑ 9.3: Κυλινδρικό Ηλιακό Διάγραμμα

Από εκείνο το σημείο και μετά, το πρόγραμμα χωρίζεται σε δύο μέρη. Τα οποία και θα αναλυθούν παρακάτω, στο κύριο μέρος του προγράμματος.

9.2 ΚΥΡΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Κατά την κύρια λειτουργία του προγράμματος, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει ως δεδομένα είτε τη διάταξη των πάνελ, είτε την εγκατεστημένη ισχύ.

Στην περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει να δώσει ως δεδομένη την εγκατεστημένη ισχύ, υπολογίζεται η ετήσια παραγόμενη ενέργεια για όλους του κατασκευαστές και αποτυπώνεται σε γράφημα, όπως αυτό που εμφανίζεται στο σχήμα 9.4 για εγκατάσταση 1 MW. Οι παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την τελική διαφορά είναι το πλήθος των πάνελ, καθώς πρέπει να είναι ακέραιος αριθμός (όλα στρογγυλοποιήθηκαν προς τα πάνω) και ο συντελεστής θερμοκρασίας έκαστου μοτέλου σε συνδιασμό με τα γεωχωρικά δεδομένα. Αυτοί οι παράγοντες καθιστούν αυτό το γράφημα και κατάλληλο για τη σύγκριση των τελικών αποτελεσμάτων.



ΣΧΗΜΑ 9.4: Ετήσια παραγόμενη ενέργεια για έκαστο κατασκευαστή στην περίπτωση της κοινής εγκατεστημένης ισχύος

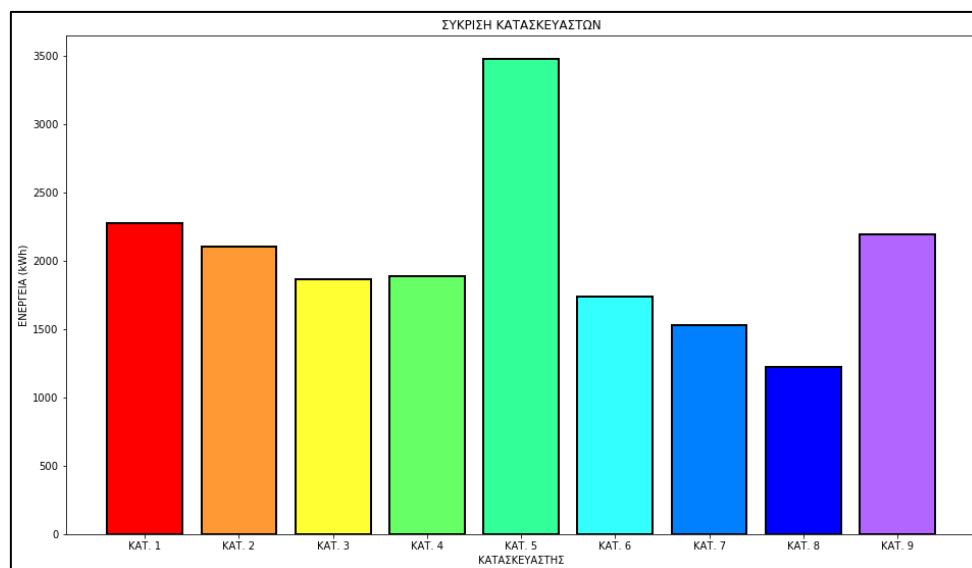
Ωστόσο, επειδή οι διαφορές πολλές φορές μπορεί να μην είναι εμφανείς, τα αριθμητικά αποτελέσματα εκτυπώνονται και στο περιβάλλον, όπως φαίνεται στην εικόνα 9.4.

```
- ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΛ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ 1: 1613962.72 kWh
- ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΛ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ 2: 1609261.13 kWh
- ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΛ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ 3: 1598939.73 kWh
- ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΛ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ 4: 1588628.5 kWh
- ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΛ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ 5: 1604412.87 kWh
- ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΛ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ 6: 1597185.11 kWh
- ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΛ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ 7: 1580025.59 kWh
- ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΛ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ 8: 1591858.4 kWh
- ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΑΝΕΛ ΤΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ 9: 1600790.5 kWh
```

ΕΙΚΟΝΑ 9.4: Αριθμητικά αποτελέσματα ετήσιας παραγόμενης ενέργειας για έκαστο κατασκευαστή

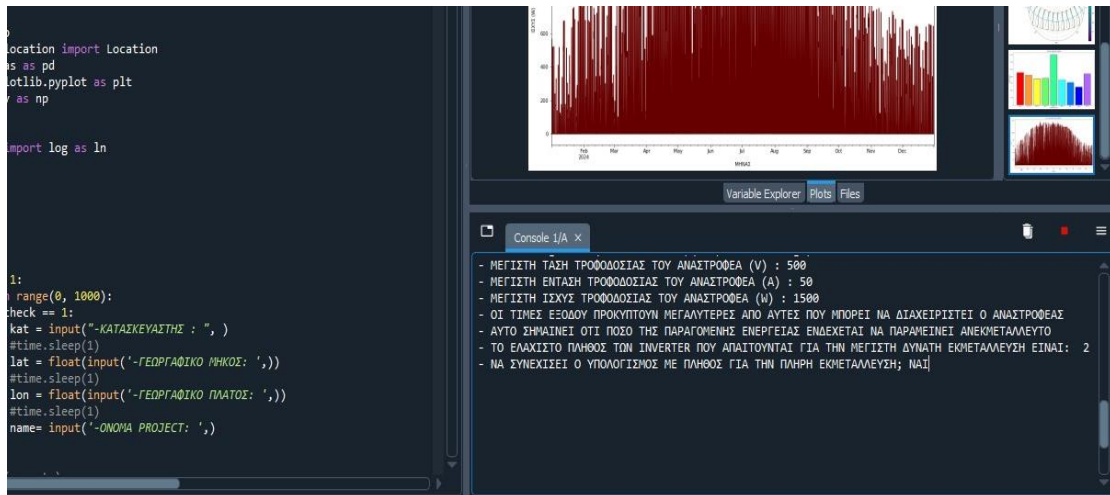
Στη συνέχεια, υπολογίζεται η ωριαία ισχύς εξόδου για το μοντέλο του κατασκευαστή που επιλέχθηκε στην αρχή της λειτουργίας του προγράμματος. Η ωριαία ισχύς υπολογίζεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Μέσω της σχέσης που χρησιμοποιεί το National Renewable Energy Laboratory (N.R.E.L.) στο δικό του αντίστοιχο προσομοιωτή, ο οποίος ονομάζεται «PVWatts», μέσω του υβριδικού τρόπου που προτάθηκε σε προηγούμενο μέρος της μελέτης και μέσω των σχέσεων που χρησιμοποιεί το PV.G.I.S. Τα αποτελέσματα συμπληρώνονται στο αρχείο σε ωριαία βάση, εκτυπώνεται στο περιβάλλον της ρυθμιζόμενης τιμής της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας για κάθε τρόπο υπολογισμού όπως επίσης και εκτυπώνονται τα γραφήματα της ωριαίας παραγόμενης ενέργειας για κάθε μια από τις τρεις μεθόδους υπολογισμού.

Στην άλλη περίπτωση, που ο χρήστης επιλέξει να δώσει ως δεδομένα τη διάταξη και το πλήθος των πάνελ, στο πρόγραμμα πάλι υπολογίζεται για όλα τα μοντέλα η ετήσια παραγόμενη ενέργεια και εκτυπώνεται ως γράφημα. Ωστόσο, είναι λογικό να έχει καλύτερα αποτελέσματα ο κατασκευαστής με την μεγαλύτερη μέγιστη ισχύ (P_{peak}), δηλαδή ο κατασκευαστής 5, όπως φαίνεται και στο σχήμα 9.5.



ΣΧΗΜΑ 9.5: Ετήσια παραγόμενη ισχύς για κάθε κατασκευαστή στην περίπτωση του ίδιου πλήθους πάνελ

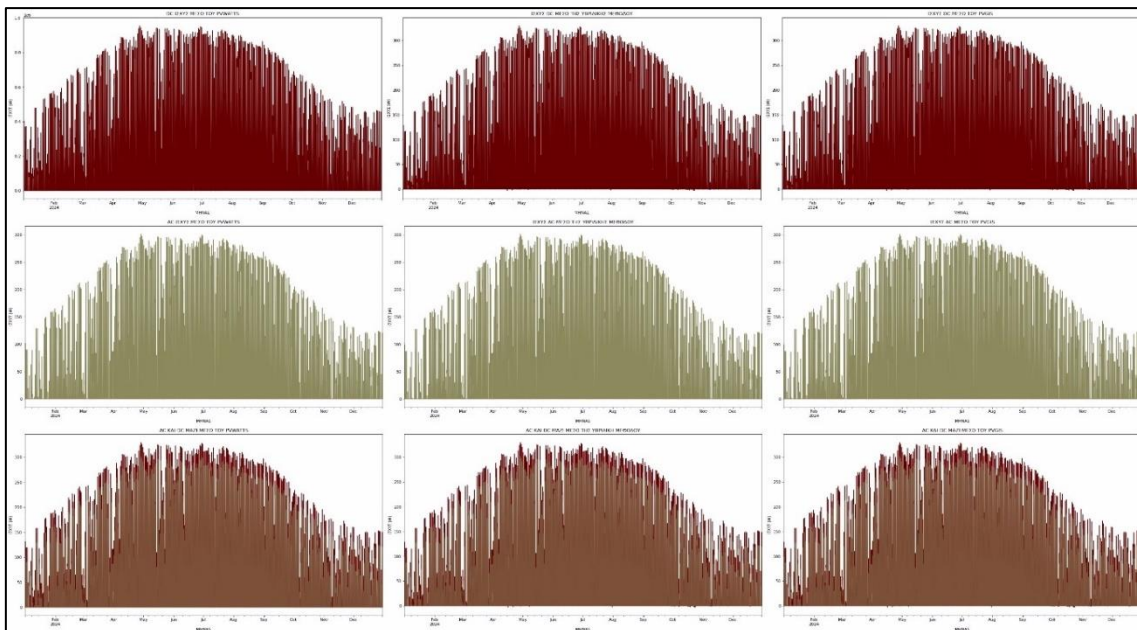
Έπειτα, ξεκινάει ο υπολογισμός της ωριαίας παραγόμενης εξόδου και για τις τρεις μεθόδους που αναφέρθηκαν και παραπάνω. Επιπλέον, ρωτάται για το εάν θα επιθυμούσε να γίνει και υπολογισμός της ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος στην έξοδο του αναστροφέα, όπου και εάν απαντήσει θετικά του ζητάτε να τοποθετήσει την ονομαστική ισχύ λειτουργίας του αναστροφέα που θα χρησιμοποιήσει αλλά και την απόδοσή του. Στην περίπτωση που απαιτούνται περισσότεροι αναστροφέες για την πλήρη κάλυψη της παραγόμενης ισχύος, αυτό αναφέρεται, μαζί και το πλήθος που απαιτείται όπως φαίνεται και στην εικόνα 9.5.



ΕΙΚΟΝΑ 9.5: Ζήτηση δεδομένων και εμφάνιση πλήθους απαραίτητων αναστροφών για την πλήρη κάλυψη της παραγόμενης ισχύος

Προτού να προλάβει να πληκτρολογήσει ο χρήστης ΝΑΙ ή ΟΧΙ στην ερώτηση που του γίνεται περί εμφάνισης των αποτελεσμάτων της ισχύος εξόδου από τον αναστροφέα, έχει ήδη εμφανιστεί δύο γραφήματα όπως φαίνεται και στην εικόνα (). Τα αποτελέσματα που εμφανίζονται, αφενός εμπεριέχουν ή όχι τις απώλειες, ανάλογα με την επιλογή του χρήστη και αφετέρου προστίθενται στο αρχείο των αποτελεσμάτων.

Εν τέλει, υπολογίζεται και η ωριαία D.C. ισχύς εξόδου για κάθε μέθοδο, όπως επίσης και η A.C. εάν έχει ζητηθεί από τον χρήστη. Τα αποτελέσματα σημειώνονται στο αρχείο excel αλλά και εκτυπώνονται μεμονωμένα οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις, για έκαστη μέθοδο, για την D.C. και A.C. ισχύ ξεχωριστά, όπως επίσης και ένα γράφημα για έκαστη μέθοδο στο οποίο συμπεριλαμβάνεται και τα D.C. και τα A.C. αποτελέσματα έκαστης μεθόδου, με στόχο τη σύγκρισή του. Τα μεμονωμένα αυτά γραφήματα παρουσιάζονται όλα μαζί συγκεντρωμένα στην εικόνα 9.6.



ΕΙΚΟΝΑ 9.6: Γραφήματα ωριαίας παραγόμενης ισχύος για έκαστη μέθοδο με βάση το πλήθος και την διάταξη των πάνελ

Αρκετά ενδιαφέροντα φαίνεται η εμφάνιση του άνω τμήματος των συγκεντρωτικών γραφημάτων της D.C. και A.C. ισχύος, καθώς εμφανίζεται (ανάλογα και με την απόδοση του αναστροφέα) το τμήμα των απωλειών, το οποίο και «χάνεται» από τα τελικά κέρδη.

Τελικά, εκτός του ότι και αυτά τα αποτελέσματα σημειώνονται αυτομάτως στο αρχείο, εμφανίζονται και στο παράθυρο οι ετήσιες τιμές για την παραγόμενη ενέργεια από έκαστη μέθοδο υπολογισμού τόσο για την περίπτωση του συνεσχούς ρεύματος όσο και για του εναλλασσόμενου.

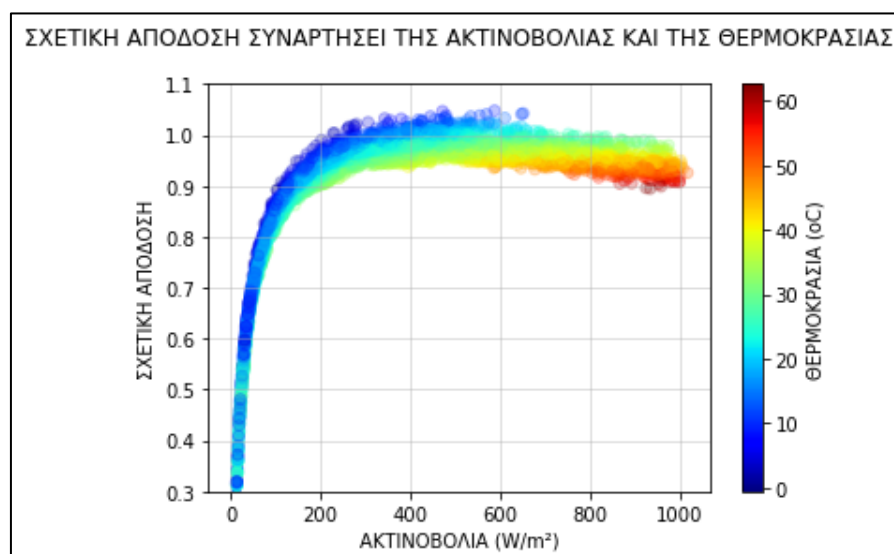
Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι διαφορές και αποκλίσεις είναι πιθανόν να υπάρξουν στα αποτελέσματα λόγω χρήσης του τυπικού μετεωρολογικού έτους, το οποίο δεν είναι αποτέλεσμα μέσων όρων για έκαστη ώρα έκαστου έτους, λόγω διαφορετικών χαρακτηριστικών για έκαστο κατασκευαστή, όπως επίσης και λόγω της διαφοράς της θέσης του ηλίου για κάθε έτος, καθώς η θέση του ηλίου δεν παραμένει ακριβώς ίδια κάθε έτος.

Παρακάτω εμφανίζονται οι τελικές λειτουργίες του προγράμματος πριν να φτάσει στη λήξη του.

9.3 ΤΕΛΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

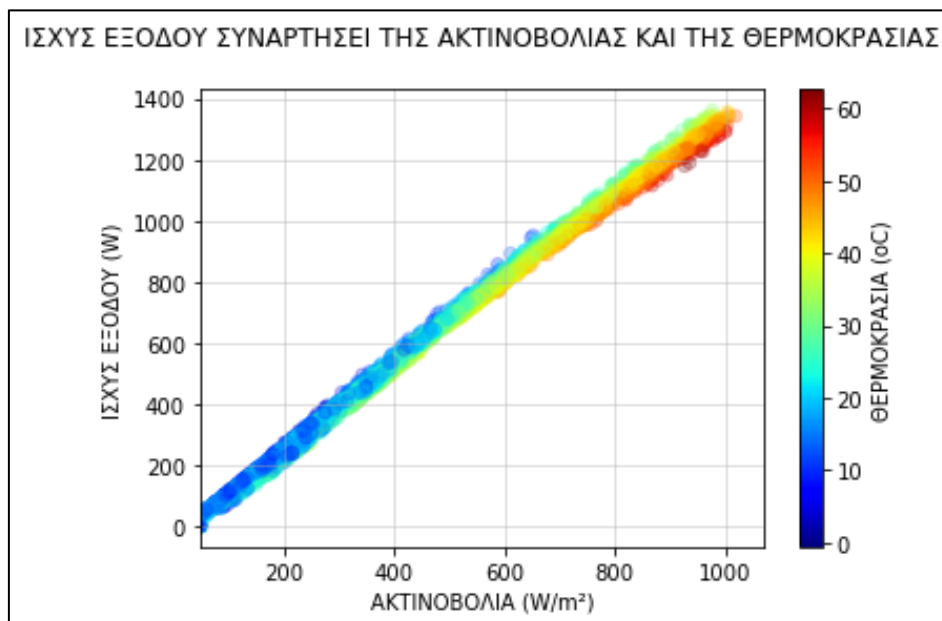
Μετά την λειτουργία του κυρίως τμήματος του προγράμματος, είτε για την περίπτωση της εισόδου του πλήθους των πάνελ είτε της εγκατεστημένης ισχύος και πριν το πρόγραμμα φτάσει στο τέλος του, εκτυπώνονται δύο ακόμη γραφήματα για την πλήρη γραφική παρατήρηση των επιπτώσεων των γεωχωρικών δεδομένων στις τελικές επιδόσεις του πάνελ. Και τα δύο γραφήματα χαρακτηρίζονται από τρεις παράγοντες, εκ των οποίων οι δύο είναι η ακτινοβολία και η θερμοκρασία.

Το ένα γράφημα που δημιουργείται είναι η σχετική απόδοση συναρτήσεως των δύο παραγόντων που προαναφέρθηκαν. Το γράφημα αυτό έχει τη μορφή του σχήματος 9.6 που εμφανίζεται παρακάτω.



ΣΧΗΜΑ 9.6: Γράφημα σχετικής απόδοσης συναρτήσεως της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας για τη δοθείσα περιοχή και κατασκευαστή

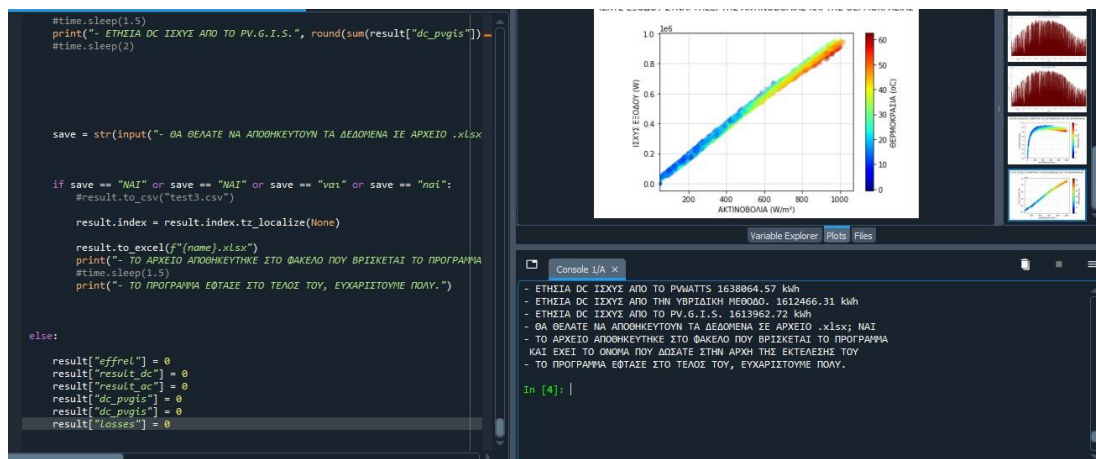
Επιπλέον, το άλλο γράφημα είναι η ισχύς εξόδου, επίσης για την δοθείσα περιοχή και κατασκευαστή. Το γράφημα αυτό έχει τη μορφή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (9.7).



ΣΧΗΜΑ 9.7: Γράφημα ισχύος εξόδου D.C. συναρτήσεως της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας για τη δοθείσα περιοχή και κατασκευαστή

Από τα γραφήματα αυτά, μπορεί πολύ πιο εύκολα να οπτικοποιηθεί η επιρροή και η συμβολή των γεωχωρικών δεδομένων στους υπολογισμούς και στα τελικά αποτελέσματα. Επιπλέον, γίνεται πιο εύκολο να κατανοηθεί και η αιτία των διαφορών που προκύπτουν ανάμεσα στα διάφορα μοντέλα κατασκευαστών, καθώς για διαφορετικούς συντελεστές θερμοκρασίας, και τα δύο γραφήματα διαφέρουν από τα αντίστοιχα των άλλων κατασκευαστών.

Στη συνέχεια, ο χρήστης ερωτάται για το εάν θα ήθελε να αποθηκευτεί το αρχείο που έχει δημιουργηθεί μετά από όλους αυτούς τους υπολογισμούς, σε ορφή .xlsx και στην περίπτωση που απαντήσει θετικά εμφανίζεται και το μήνυμα λήξης του προγράμματος. Η συνολική εικόνα του προγράμματος κατά τη λήξη του είναι αυτή που εμφανίζεται παρακάτω στην εικόνα 9.7.



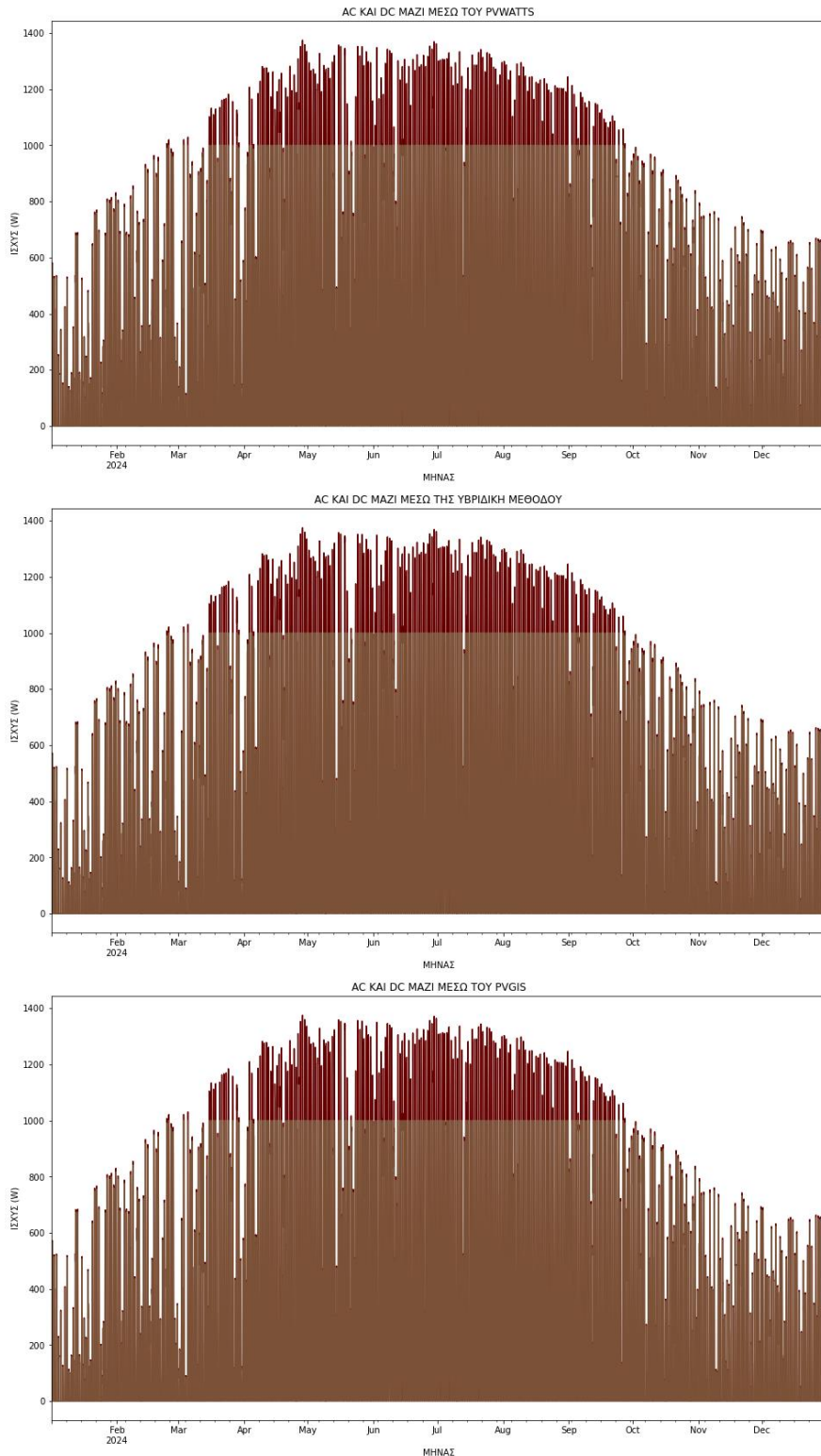
ΕΙΚΟΝΑ 9.7: Λήξη προγράμματος

Τελικά, το αρχείο xlsx αφού αποθηκευτεί (στην περίπτωση όπου απαντήσει θετικά ο χρήστης) έχει τα προηγουμένως υπολογισθέντα στοιχεία, καθώς επίσης και τη μορφή που φαίνεται στην εικόνα 9.8.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1		temp_air	relative_humidity	ghi	dni	dhi	IR(h)	wind_speed	wind_direction	pressure	w2m	temp_cell	Geff	G*	losses	dc_pvwatts	ac_pvwatts	dc_hybrid	ac_hybrid	dc_pvgis	ac_pvgis	
2	2024-01-01 02:00:00	6.34	43.11	0	0	0	18.04	4.43	41	98897	3.21077	6.34	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
3	2024-01-01 03:00:00	6.01	49.23	0	0	0	19.44	4.33	47	98887	3.1383	6.01	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
4	2024-01-01 04:00:00	5.69	55.35	0	0	0	20.84	4.24	51	98868	3.07307	5.69	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
5	2024-01-01 05:00:00	5.36	61.47	0	0	0	22.24	4.14	54	98829	3.00059	5.36	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
6	2024-01-01 06:00:00	5.04	67.59	0	0	0	23.63	4.04	58	98839	2.92811	5.04	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
7	2024-01-01 07:00:00	4.71	73.71	0	0	0	25.03	3.95	63	98829	2.86288	4.71	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
8	2024-01-01 08:00:00	4.39	79.83	33	0	33	26.43	3.85	64	98858	2.7904	5.1186964	33	0.033	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
9	2024-01-01 09:00:00	4.06	85.95	208	535	79	27.83	3.76	58	98877	2.72517	8.6986975	175.37	0.208	14.0757	250.80703	233.88356	231.549015	214.562753	232.02	215.035	
10	2024-01-01 10:00:00	5.61	66.1	313	486.6	138	-5.6	3.52	52	98916	2.55122	12.780614	292.8	0.313	14.0757	423.01118	406.467506	407.899414	391.335489	408.459	391.895	
11	2024-01-01 11:00:00	6	63.8	411	606.7	146	-4.6	3.31	46	98916	2.39902	15.645781	393.14	0.411	14.0757	567.93787	551.460577	558.238317	541.763807	558.741	542.266	
12	2024-01-01 12:00:00	6.44	64.05	365	303.8	223	-3.6	3.03	43	98800	2.19608	15.294666	357.54	0.365	14.0757	515.7683	499.293772	503.194575	486.716231	503.68	487.202	
13	2024-01-01 13:00:00	6.75	61.8	363	349.4	206	-3.6	2.76	40	98771	2.00039	15.851695	354.2	0.363	14.0757	509.97432	499.498249	497.352222	480.871511	497.793	481.312	
14	2024-01-01 14:00:00	7	60.15	214	80.75	183	15.4	2.62	31	98713	1.89892	12.460767	211.48	0.214	14.0757	301.91677	285.140126	279.919582	263.083273	280.291	263.455	
15	2024-01-01 15:00:00	7.27	58.7	140	61.71	123	-12.8	2.55	22	98694	1.84819	10.874382	137.37	0.14	14.0757	192.12114	174.993573	166.855514	149.628393	167.062	149.836	
16	2024-01-01 16:00:00	7.34	57.45	35	0	35	4.8	2.55	16	98684	1.84819	8.2410956	35	0.035	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
17	2024-01-01 17:00:00	7.16	60.45	0	0	0	2.2	2.48	13	98684	1.79745	7.16	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
18	2024-01-01 18:00:00	6.85	61.65	0	0	0	-3.6	2.69	10	98704	1.94966	6.85	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
19	2024-01-01 19:00:00	6.41	62.85	0	0	0	1.35	2.9	7	98704	2.10186	6.41	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
20	2024-01-01 20:00:00	6.27	62.35	0	0	0	-1.0	3.1	5	98713	2.24682	6.27	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
21	2024-01-01 21:00:00	6.33	61.75	0	0	0	-12.8	3.1	6	98742	2.24682	6.33	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
22	2024-01-01 22:00:00	6.23	61.05	0	0	0	1.15	3.03	3	98704	2.19608	6.23	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
23	2024-01-01 23:00:00	6.27	60.1	0	0	0	10.4	3.1	358	98752	2.24682	6.27	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0
24	2024-01-02 00:00:00	6.05	59.8	0	0	0	-6.2	2.41	4	98675	1.74672	6.05	0	0	14.0757	0	0	0	0	0	0	0

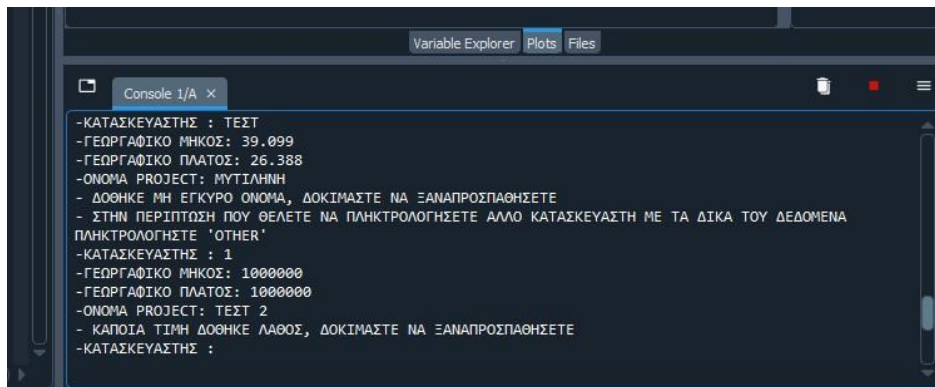
ΕΙΚΟΝΑ 9.8: Τελικό αρχείο μορφής .xlsx με τα υπολογισμένα μεγέθη σε ωριαία βάση

Επιπροσθέτως, υπάρχουν κάποια επιπλέον ενδιαφέροντα στοιχεία στο πρόγραμμα. Ένα τέτοιο στοιχείο είναι πως εάν τελικά χρειάζεται παραπάνω από ένας αναστροφέας και ο χρήστης επιλέξει να τον υπολογισμό μόνο για έναν αναστροφέα, επηρεάζονται τόσο τα αποτελέσματα των υπολογισμών όσο και οι γραφικές παραστάσεις που εμφανίζονται, όπως εμφανίζεται και στην εικόνα 9.9.



ΕΙΚΟΝΑ 9.9: Παραγόμενη ισχύς και για τις τρεις μεθόδους υπολογισμού στην περίπτωση μη πλήρους κάλυψης λόγω χρήσης ενός μόνο αναστροφέα σε σύστημα που χρειάζεται παραπάνω

Ένα ακόμη πρόσθετο στοιχείο είναι πως το πρόγραμμα ενημερώνει τον χρήστη εάν πληκτρολογήσει ως δεδομένα μη έγκυρες τιμές, όπως λάθος όνομα κατασκευαστή ή λάθος τιμές για γεωγραφικό μήκος ή πλάτος, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 9.10.



```
Variable Explorer Plots Files
Console 1/A x
-KΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ : ΤΕΣΤ
-ΓΕΩΡΓΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ: 39.099
-ΓΕΩΡΓΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ: 26.388
-ΟΝΟΜΑ PROJECT: ΜΥΤΙΛΗΝΗ
- ΔΟΘΗΚΕ ΜΗ ΕΓΚΥΡΟ ΟΝΟΜΑ, ΔΟΚΙΜΑΣΤΕ ΝΑ ΞΑΝΑΠΡΟΣΠΑΘΗΣΤΕ
- ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΟΥ ΘΕΛΕΤΕ ΝΑ ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΗΣΤΕ ΑΛΛΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ ΜΕ ΤΑ ΔΙΚΑ ΤΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΑ
ΠΛΗΚΤΡΟΛΟΓΗΣΤΕ 'OTHER'
-KΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ : 1
-ΓΕΩΡΓΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ: 1000000
-ΓΕΩΡΓΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ: 1000000
-ΟΝΟΜΑ PROJECT: ΤΕΣΤ 2
- ΚΑΠΟΙΑ ΤΙΜΗ ΔΟΘΗΚΕ ΛΑΘΟΣ, ΔΟΚΙΜΑΣΤΕ ΝΑ ΞΑΝΑΠΡΟΣΠΑΘΗΣΤΕ
-KΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ :
```

ΕΙΚΟΝΑ 9.10: Τοποθέτηση μη έγκυρων στοιχείων ως δεδομένα

Τέλος, μια πολύ χρήσιμη λειτουργία, εμφανίζεται με την αφαίρεση του συμβόλου «#» στα κατάλληλα σημεία, όπου δύνει τη δυνατότητα να εμφανιστεί τμήμα του τελικού αρχείου και στο IDE της rython αλλά και να ληφθεί το αρχείο (και) σε μορφή Comma-Separated Values (C.S.V.), πάλι με όνομα το όνομα που δόθηκε στην αρχή.

10. ΑΛΛΟΙ ΛΟΓΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

10.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Όπως εύκολα παρατηρήθηκε και στα κεφάλαια 6 και 7 (παραπάνω), η δημιουργία μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης μπορεί να είναι μια ιδιαίτερα συμφέρουσα επιλογή. Ωστόσο, όπως είναι λογικό, οι λόγοι για τους οποίους μπορεί να γίνει η επιλογή του επιμέρους εξοπλισμού μπορεί να ποικίλουν. Για παράδειγμα, ένας επενδυτής θα μπορούσε να επιλέξει τον εξοπλισμό της εγκατάστασής του με σκοπό την μέγιστή δυνατή παραγόμενη ισχύ ασχέτως αρχικού κεφαλαίου επένδυσης, σκοπεύοντας στην αγορά πιο αποδοτικών και ανθεκτικών συσκευών. Σε άλλη περίπτωση, θα μπορούσε να επιλεγεί ο φθηνότερος δυνατός εξοπλισμός ασχέτων ποιότητας και ανθεκτικότητας των συσκευών. Παρ' όλα αυτά, κυρίως όταν πρόκειται για μια τόσο οικονομικά ογκώδη επένδυση, όπως φαίνεται και στο κεφάλαιο 7, η συσχέτιση των δύο αυτών βασικών παραγόντων (ποιότητας-κόστους) είναι «μονόδρομος» και είναι αυτό που εκ των πραγμάτων επιλέγεται από επενδυτές του χώρου, είτε πρόκειται για ιδιώτες, είτε για ολόκληρα κράτη.

Όποιος όμως και να είναι ο λόγος δημιουργίας μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, είτε για την ίδια χρήση της παραγόμενης ενέργειας του επενδυτή, είτε για την περαιτέρω πώλησή της ως πάροχος, σε κάθε περίπτωση, υπάρχουν και άλλοι είδους λόγοι για τους οποίους μπορεί ο επενδυτής εν τέλει να αποφασίσει να προβεί στην εκτέλεση του έργου. Ένας εκ των κυριότερων αυτών λόγων είναι το περιβαλλοντικό αντίκτυπο και αποτύπωμα που έχει ένα τέτοιου είδους έργο στην βελτίωση της ζωής του πλανήτη. Με την αύξηση τέτοιου είδους έργων, γίνεται ολοφάνερα μια μεταβολή στην παγκόσμια θερμοκρασιακή κρίση και κλιματική αλλαγή. Αυτό συμβαίνει λόγω της δραματικής μείωσης της έκκρισης αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία οφείλονται για τη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το περισσότερο σε ποσότητα έκκρισης από αυτά τα αέρια είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

Όπως αναφέρει και το Joint Research Centre, η καύση ορυκτών καυσίμων είναι ο μεγαλύτερος μεμονωμένος παράγοντας που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επιπλέον, στην Ευρωπαϊκή ένωση, η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, οι μεταφορές καθώς και οι βιομηχανίες και η οικιακή θέρμανση, προκαλούν το ένα τρίτο των συνολικών εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) έκαστη, λόγω της καύσης ορυκτών καυσίμων.

Παρακάτω εμφανίζονται εκτενέστερα οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για την μελέτη της έκκρισης του διοξειδίου του άνθρακα, των οποίων τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν και με τις αντίστοιχες εκκρίσεις που θα υπήρχαν για την

παραγωγή αυτής της ποσότητας ηλεκτρική ενέργεια από την καύση ορυκτών καυσίμων.

10.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΚΚΡΙΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Όπως διατυπώνει το ινστιτούτο Fraunhofer, σε γενικές γραμμές, οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες της συμβατικής παραγωγής ενέργειας με τη χρήση, για παράδειγμα, άνθρακα, αλλά υπάρχουν και διαφορές στις μονάδες λόγω του σχεδιασμού των μονάδων, αλλά κυρίως λόγω του τόπου παραγωγής (Κίνα, Γερμανία ή Ευρωπαϊκή Ένωση).

Για τον υπολογισμό της έκκρισης του CO₂ χρησιμοποιήθηκαν οι παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μετά τον υπολογισμό της μελέτης που διεξήχθη παραπάνω και το ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂e), όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση (10.1).

$$E_{CO_2} = E_y * CO_2e \quad (10.1)$$

Όπου, E_{CO₂} η έκκριση του διοξειδίου του άνθρακα, E_y η ετήσια παραγόμενη ενέργεια από την εγκατάσταση του 1 MWp και CO₂e το ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι, μπορεί να υπολογιστεί η έκκριση του διοξειδίου, για ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα με βάση το είδος της εγκατάστασης παραγωγής. Για παράδειγμα, όπως συμπληρώνει το Ινστιτούτο Fraunhofer σε σχετική του αναφορά το 2022, για μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, οι εκπομπές του διοξειδίου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, εάν εξαιρέσουμε το ισοζύγιο του συστήματος (BoS), κυμαίνονται ανάμεσα σε 13-30 gCO₂e/kWh, ανάλογα με τη θέση παραγωγής και την απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας των πάνελ.

Τέλος, όσον αφορά το πόσο μεγαλύτερη έκκριση kg CO₂e είναι αυτή που υπάρχει από την καύση οργανικών υλικών για την παραγωγή του ίδιου ποσού ενέργειας σε σχέση με αυτών που θα είχε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, τότε, απλά εφαρμόζοντας την σχέση (10.1) και για τις δύο περιπτώσεις και διαιρώντας κατά μέλη, προκύπτει η σχέση (10.2), η οποία και φαίνεται παρακάτω.

$$\frac{E_{CO_2}^C}{E_{CO_2}^{PV}} = \frac{E_y * CO_2^C e}{E_y * CO_2^{PV} e} = \frac{0.34382}{0.03} = 11,46 \quad (10.2)$$

Όπου E^C_{CO₂} και E^{PV}_{CO₂} η έκκριση του διοξειδίου για την εγκατάσταση του άνθρακα και των φωτοβολταϊκών αντίστοιχα, E_y η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια και CO₂^Ce και CO₂^{PV}e το ισοδύναμο του διοξειδίου του άνθρακα για την εγκατάσταση καύσης οργανικών υλικών και των φωτοβολταϊκών αντίστοιχα. Από αυτή τη σχέση παρατηρούμε πως η έκκριση CO₂ είναι 11,46 φορές μεγαλύτερη για την καύση οργανικών υλικών σε σχέση με μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.

10.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

Παρακάτω, στον πίνακα 10.1 εμφανίζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών καθώς και της σύγκρισης της έκκρισης CO₂e για τις ίδιες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας για έκαστη εγκατάσταση (κατασκευαστή-περιοχής).

Πίνακας 10.1: Αποτελέσματα και σύγκριση εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής μέσω φωτοβολταϊκών και οργανικών υλικών

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 1			ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 2			ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 5		
	PV (tn CO ₂ e)	COAL (tn CO ₂ e)	ΔΙΑΦΟΡΑ tn CO ₂ e	PV (tn CO ₂ e)	COAL (tn CO ₂ e)	ΔΙΑΦΟΡΑ tn CO ₂ e	PV (tn CO ₂ e)	COAL (tn CO ₂ e)	ΔΙΑΦΟΡΑ tn CO ₂ e
ΠΑΤΡΑ	49,52	567,58	518,06	49,68	569,33	519,65	49,23	564,18	514,95
ΡΟΔΟΣ	52,55	602,30	549,75	52,49	601,59	549,10	52,05	596,53	544,48
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	44,76	513,03	468,26	44,65	511,76	467,11	44,28	507,52	463,23
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	50,14	574,60	524,46	50,05	573,55	523,51	49,57	568,08	518,51
ΑΘΗΝΑ	49,01	561,70	512,69	48,68	557,88	509,20	48,44	555,10	506,67
ΦΛΩΡΙΝΑ	43,06	493,53	450,46	43,17	494,79	451,61	42,82	490,80	447,97
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 4			ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 6			ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 9		
	PV (tn CO ₂ e)	COAL (tn CO ₂ e)	ΔΙΑΦΟΡΑ tn CO ₂ e	PV (tn CO ₂ e)	COAL (tn CO ₂ e)	ΔΙΑΦΟΡΑ tn CO ₂ e	PV (tn CO ₂ e)	COAL (tn CO ₂ e)	ΔΙΑΦΟΡΑ tn CO ₂ e
ΠΑΤΡΑ	48,94	560,86	511,92	49,29	564,95	515,65	49,05	562,17	513,12
ΡΟΔΟΣ	51,84	594,16	542,31	52,16	597,84	545,68	51,89	594,66	542,77
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	44,12	505,70	461,57	44,39	508,73	464,34	44,15	505,97	461,82
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	49,20	563,90	514,70	49,60	568,49	518,88	49,38	565,88	516,50
ΑΘΗΝΑ	48,14	551,69	503,55	48,50	555,79	507,30	48,26	553,10	504,84
ΦΛΩΡΙΝΑ	42,70	489,38	446,68	42,94	492,12	449,18	42,70	489,38	446,68
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 8			ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 3			ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ 7		
	PV (tn CO ₂ e)	COAL (tn CO ₂ e)	ΔΙΑΦΟΡΑ tn CO ₂ e	PV (tn CO ₂ e)	COAL (tn CO ₂ e)	ΔΙΑΦΟΡΑ tn CO ₂ e	PV (tn CO ₂ e)	COAL (tn CO ₂ e)	ΔΙΑΦΟΡΑ tn CO ₂ e
ΠΑΤΡΑ	48,86	560,02	511,16	49,22	564,06	514,84	47,83	548,21	500,38
ΡΟΔΟΣ	51,64	591,78	540,15	52,07	596,78	544,70	51,01	584,55	533,55
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	43,79	501,89	458,10	44,31	507,79	463,49	43,45	497,95	454,50
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	48,92	560,60	511,69	49,53	567,68	518,15	48,25	553,01	504,76
ΑΘΗΝΑ	47,80	547,86	500,06	48,42	554,94	506,51	47,31	542,22	494,91
ΦΛΩΡΙΝΑ	42,37	485,62	443,25	42,86	491,18	448,32	41,87	479,89	438,01

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης, εμφανίζουν ξεκάθαρες και μεγάλες διαφορές ανάμεσα στα δύο συγκρίσιμα μεγέθη οι οποίες και φαίνονται καλύτερα στην τρίτη στήλη έκαστου κατασκευαστή (ΔΙΑΦΟΡΑ τη CO₂e), όπου και εμφανίζονται οι διαφορές ανάμεσα στις δύο εγκαταστάσεις. Η διαίρεση των μεγεθών δε θα είχε καμία διαφορά, καθώς όπως αποδείχθηκε και στο υποκεφάλαιο 10.2, το αποτέλεσμα θα ήταν για όλες τις περιπτώσεις 11,46 φορές.

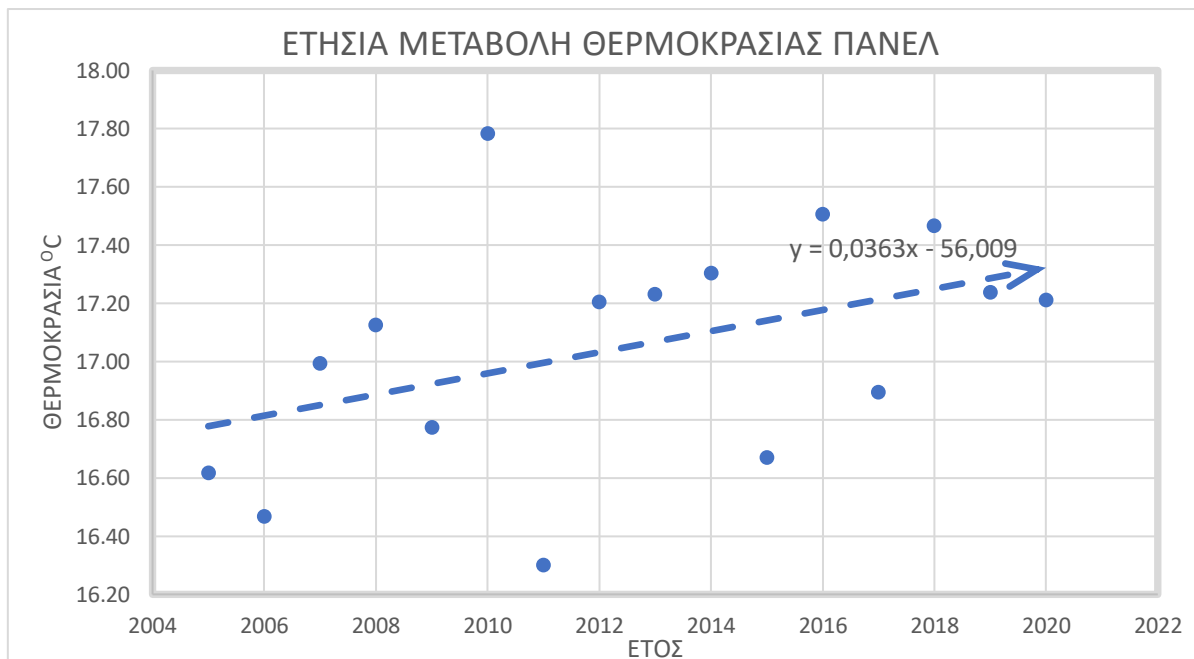
Τέλος, μπορεί εύκολα να αποδειχθεί πως μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, εκτός από ένα οικονομικό όφελος μπορεί να έχει και ένα περιβαλλοντικό. Έτσι, τα φωτοβολταϊκά καθίστανται ως μια ιδανική λύση τόσο για την αύξηση των εσόδων ιδιωτικών και δημόσιων φορέων όσο και για την επίλυση των περιβαλλοντικο-κοινωνικών προβλημάτων που μαστίζουν την κοινωνία μας.

11. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

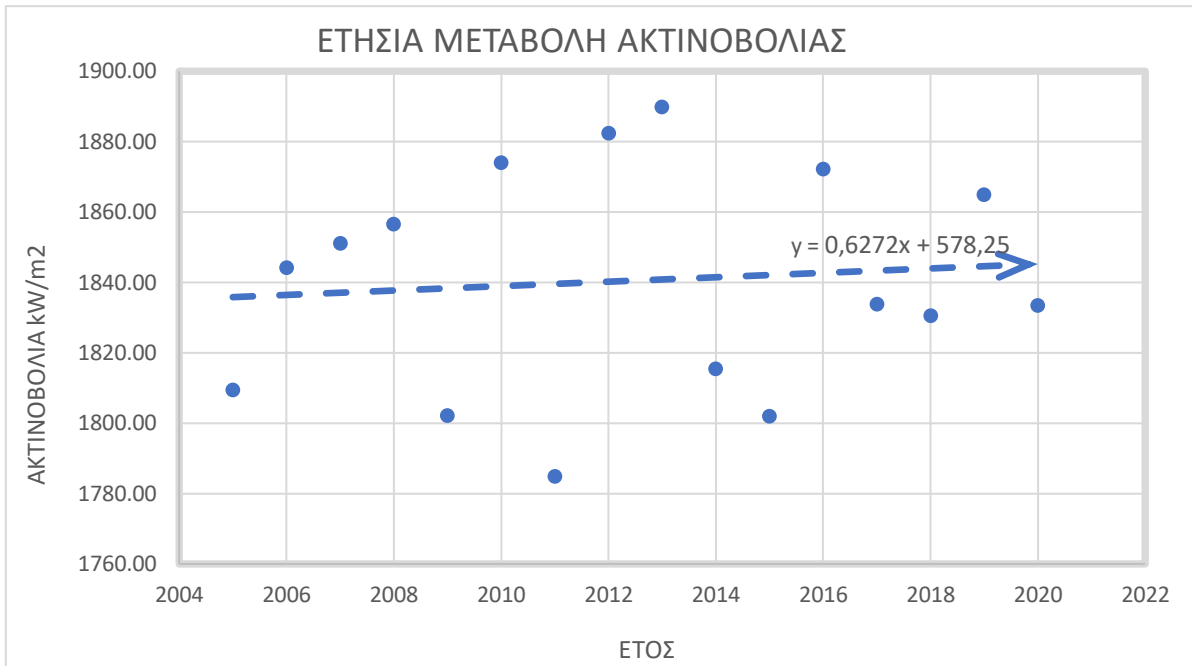
11.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ Η ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τον πλανήτη μας, με αρνητικές επιπτώσεις σε πολλούς τομείς. Φυσικά, η παραγωγή ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων δε μπορεί να αποτελεί εξαίρεση.

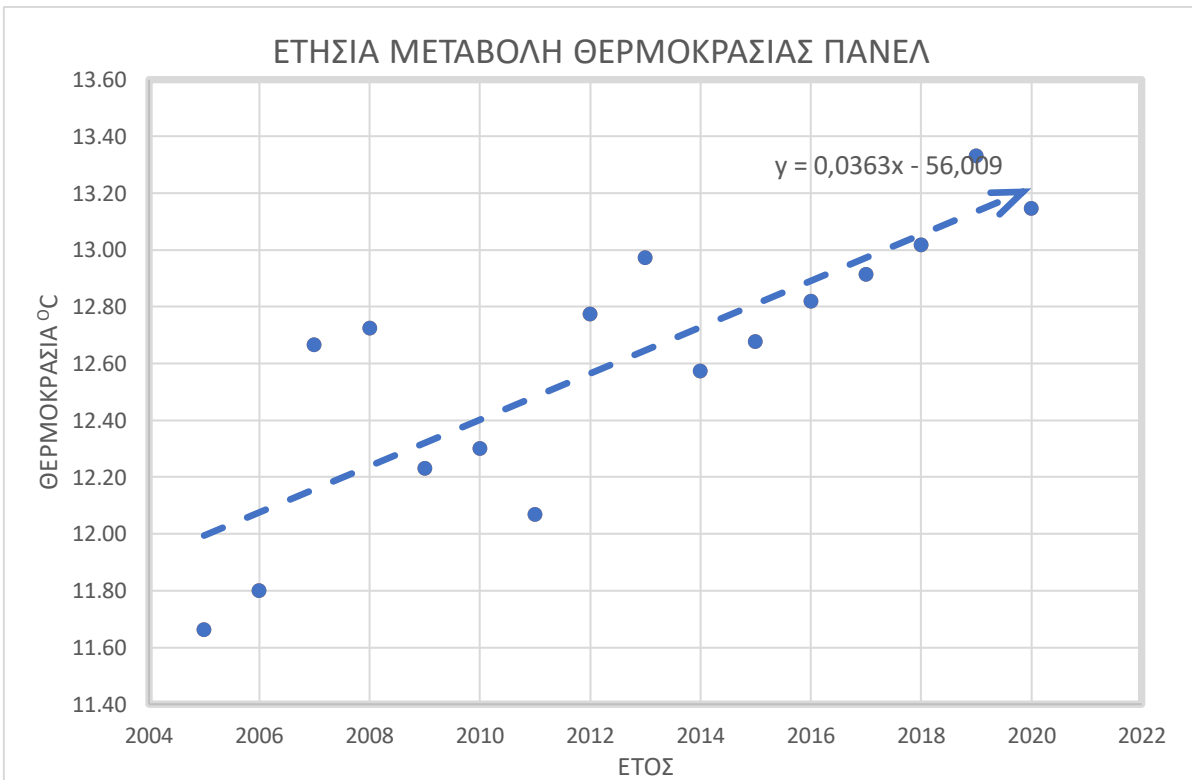
Γνωρίζουμε ότι η απόδοση και η παραγόμενη ισχύς των φωτοβολταϊκών πλαισίων επηρεάζεται από την θερμοκρασία του και την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό.



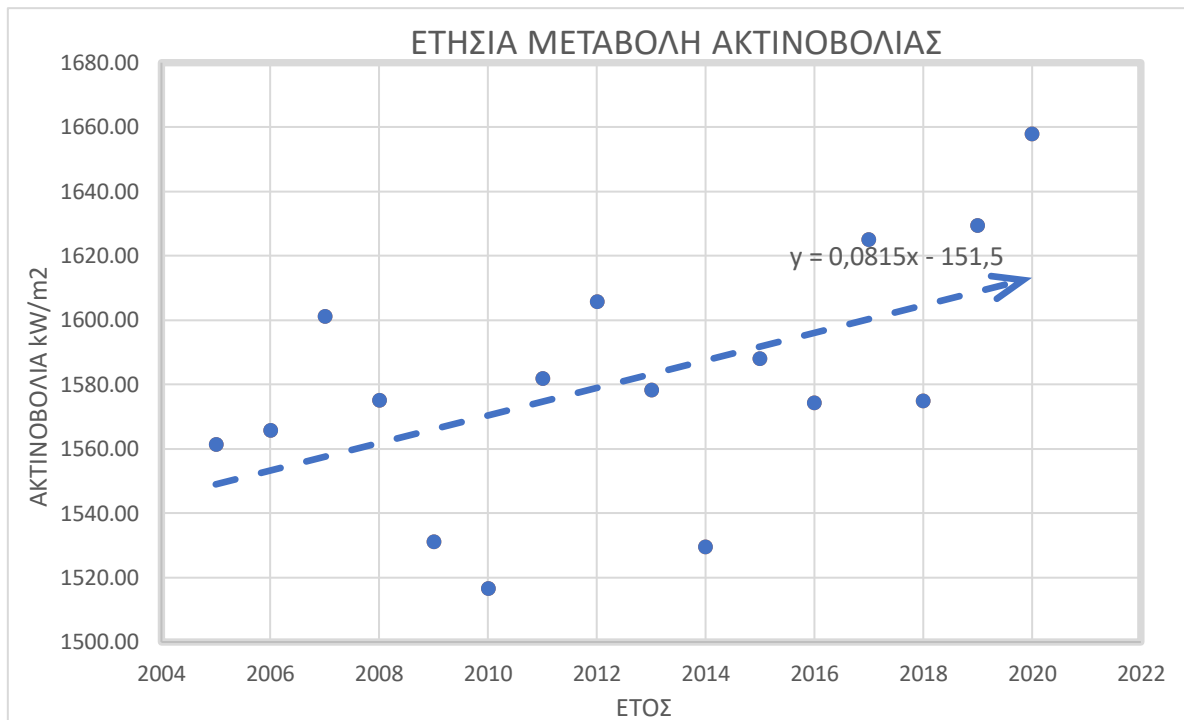
Σχήμα 11.1: Γραφική παράσταση ετήσιας μεταβολής της θερμοκρασίας της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού στο Ηράκλειο



Σχήμα 11.2: Γραφική παράσταση ετήσιας μεταβολής της ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο στο Ηράκλειο



Σχήμα 11.3: Γραφική παράσταση ετήσιας μεταβολής της θερμοκρασίας της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού στη Φλώρινα



Σχήμα 11.4: Γραφική παράσταση ετήσιας μεταβολής της ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο στη Φλώρινα

Όπως βλέπουμε στις παραπάνω γραφικές παραστάσεις (11.1)-(11.4), τόσο η θερμοκρασία, όσο και η ακτινοβολία, έχουν μια αυξητική τάση τα τελευταία χρόνια, και το φαινόμενο αυτό προβλέπεται να ενισχυθεί, αν δεν αλλάξει κάτι δραματικά.

Μπορεί η αύξηση της ακτινοβολίας να λειτουργεί υπέρ της παραγωγής ενέργειας, όμως την αύξηση αυτή δε μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε στο έπακρο, όσο έχουμε και αύξηση του μέσου όρου θερμοκρασίας των πάνελ.

Η ανάγκη για ψύξη, λοιπόν, των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ίσως αποδειχθεί απαραίτητη τα επόμενα χρόνια, ιδίως τους θερμότερους μήνες.

11.2 ΨΥΞΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Με βάση τα παραπάνω, καταλαβαίνουμε ότι η μείωση της θερμοκρασίας των πάνελ μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αύξηση της απόδοσης μιας εγκατάστασης, άρα και στην τελική παραγόμενη ισχύ. Τη μείωση της θερμοκρασίας αυτής μπορούμε να την πετύχουμε με διάφορους τρόπους:

Αύξηση του ύψους εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πάνελ

Όπως φάνηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια η ταχύτητα του αέρα, επηρεάζει άμεσα την θερμοκρασία της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πάνελ. Επιπλέον, το ύψος των εγκατεστημένων μονάδων τόσο από την επιφάνεια στήριξης όσο και στο συνολικό ύψος επηρεάζει ριζικά και το αποτέλεσμα του αερισμού των πάνελ. Για την ακρίβεια, δεν αρκεί μονάχα η εγκατάσταση των μονάδων να γίνεται σε ψηλό σημείο αλλά και να έχει απόσταση από την επιφάνεια στήριξης των βάσεων. Γι' αυτό το λόγο

οι εγκαταστάσεις οι οποίες πραγματοποιούνται επάνω σε σκεπές επηρεάζονται περισσότερο από την θερμοκρασία από αυτές που είναι ελεύθερα τοποθετημένες, παρόλο που μπορεί να βρίσκονται πιο υψηλά εγκατεστημένες.

Τεχνική ψύξης μέσω αέρα

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να ψύχονται με φυσική ή εξαναγκασμένη ροή αέρα (παθητική ή ενεργητική ψύξη). Η παθητική ψύξη πραγματοποιείται με τη φυσική ροή του αέρα στη θερμή επιφάνεια του πάνελ, ενώ η ενεργή ψύξη εκτελείται από την εξαναγκασμένη ροή αέρα στα κανάλια. Οι ψύκτρες και τα πτερύγια συνδέονται στην πίσω πλευρά του πάνελ. Αυτή η μέθοδος θεωρείται ότι έχει το μικρότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Το κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η ογκώδης ψύκτρα που απαιτείται να εγκατασταθεί για τη βελτιστοποίηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του πάνελ όπως φαίνεται και στην εικόνα (11.1).



Εικόνα 11.1: Παθητική και ενεργητική ψύξη [19]

Τεχνική ψύξης με νερό

Σε αυτή τη τεχνική ο ρυθμός απαγωγής θερμότητας είναι πιο αποτελεσματικός από αυτόν της ψύξης μέσω αέρα. Αποτελείται από έναν συλλέκτη νερού, στον οποίο προστέθηκαν σωλήνες και πτερύγια ώστε να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα και ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας. Το αρνητικό αυτής της μεθόδου είναι πως ανεβάζει πολύ το κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Επίσης, είναι απαραίτητη η προσαρμογή του ρυθμού ροής του νερού για κάθε πάνελ ώστε να διατηρηθεί η βέλτιστη θερμοκρασία λειτουργίας.

Τεχνική ψύξης με ροή νερού πάνω από το πάνελ/ Ψεκασμός νερού

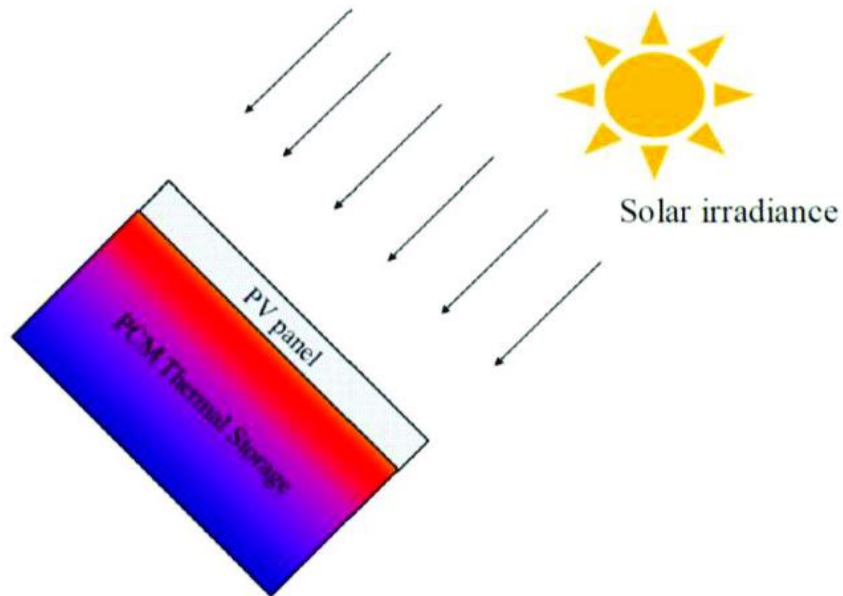
Αυτή η τεχνική έχει 3 βασικά πλεονεκτήματα. Πέρα από την μείωση της θερμοκρασίας του πάνελ, άρα και την αύξηση της απόδοσης, καθαρίζει την επιφάνεια του αυτόματα μειώνοντας τις απώλειες από σκόνη (Εικ.11.2), αλλά και αποτρέπει την μετατόπιση του εδάφους. Τα βασικά μειονεκτήματα είναι η σπατάλη νερού που γίνεται μιας και μεγάλο μέρος εξατμίζεται ή χάνεται στη γη, αλλά και η ενέργεια που απαιτεί το σύστημα ψεκασμού για να λειτουργήσει, αυξάνοντας έτσι τον χρόνο απόσβεσης



Εικόνα 11.2: Ψύξη πάνελ μέσω νερού [20]

Τεχνική ψύξης PCM

Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί ένα υλικό αλλαγής φάσης (PCM) που είναι ενσωματωμένο στο πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού πάνελ (Εικ. 11.3). Το PCM άγει τη θερμότητα από το φωτοβολταϊκό και την αποθηκεύει χωρίς να αυξάνει τη θερμοκρασία του. Παρέχει ομοιόμορφη ψύξη του πάνελ και μπορεί να επαναχρησιμοποιήσει τη θερμότητα για άλλες εφαρμογές. Το αρνητικό είναι ότι τα υλικά αυτά διαβρώνονται με τον καιρό και χάνουν την αποτελεσματικότητά τους στην ψύξη.



Εικόνα 11.3: Ψύξη πάνελ μέσω υλικών αλλαγής φάσης [21]

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι η κάθε τεχνική ψύξης έχει και τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Άλλες έχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, άλλες είναι πιο οικονομικές Κ.Ο.Κ. Γι' αυτόν τον λόγο είναι αναγκαία η μελέτη και οικονομοτεχνική ανάλυση πριν την τοποθέτηση κάποιου μηχανισμού ψύξης, ώστε να είμαστε σίγουροι ότι η εγκατάσταση αυτή είναι προς όφελός μας.

12. ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο βασικός στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εξάρτηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις για περιοχές εντός του Ελλαδικού χώρου από την περιοχή που είναι η εγκατάσταση. Επιπλέον, σκοπός της είναι η μοντελοποίηση υπολογισμών μέσω της χρήση δυναμικών γεωχωρικών δεδομένων αλλά και συγκεκριμένων μοντέλων φωτοβολταϊκών πλαισίων του εμπορίου.

Στην αρχή της εργασίας αναλύθηκε η ανάγκη για την χρήση εναλλακτικών πηγών ενέργειας ως μέσο για την γεωργικών παραγωγή της και ειδικότερα τα οφέλη της παραγωγής της από φωτοβολταϊκά συστήματα. Έπειτα, αναλύθηκαν τα είδη και ο εξοπλισμός των φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπως επίσης και οι απώλειες που μπορεί να προκύψουν σε τέτοιου είδους συστήματα.

Στη συνέχεια, έγινε αναφορά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των υπόλοιπων τμημάτων μιας εγκατάστασης, όπως επίσης και από τι εξαρτάται αυτή. Επιπλέον σημασία δόθηκε στις μεταβολές τις απόδοσης μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης λόγω κλιματικών συνθηκών και ιδιαίτερα λόγω της συμβολής της θερμοκρασίας.

Ακόμη, αφού αναφέρθηκε η σημασία της συσχέτισης γεωγραφικών περιοχών με διάφορους κατασκευαστές, έγινε και η επιλογή τους. Οι περιοχές αυτές επιλέχθηκαν σκοπίμως, ώστε να ανήκουν σε διαφορετικές κλιματικές ζώνες εντός του Ελλαδικών συνόρων. Ομοίως, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια των κατασκευαστών που επιλέχθηκαν, χαρακτηρίζονται από διαφορετικές τεχνικές προδιαγραφές, όπως η ισχύς, η απόδοση και οι συντελεστές θερμοκρασίας των διάφορων μεγεθών. Εκεί, έγινε και συγκεκριμένη αναφορά στις περιοχές, τους κατασκευαστές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Έπειτα, κατά τη διεξαγωγή της μελέτης, για τη λήψη των απαραίτητων στοιχείων, χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων του Photovoltaic Geographical Information System (PV.G.I.S.), όπως επίσης και οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι βασικότερες σχέσης της βιβλιογραφίας και του ίδιου του συστήματος PV.G.I.S. Τα μοντέλα αυτά, αναλύθηκαν πλήρως και εν τέλει αποτυπώθηκαν τα αποτελέσματα, οι γραφικές παραστάσεις και τα συμπεράσματα που προέκυψαν. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν σχέσεις υπολογισμού της θερμοκρασίας της επιφάνειας των πάνελ, της ταχύτητας του αέρα σε ύψος δύο μέτρων, της μεταβολής της απόδοσης των πάνελ λόγω θερμοκρασίας και ακτινοβολίας για κάθε περιοχή, και άλλες πολλές. Ακόμη, τα μοντέλα υπολογισμού των αποτελεσμάτων ήταν δύο. Το ένα μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το μοντέλο που χρησιμοποιεί για τους υπολογισμούς του το PV.G.I.S. ενώ το δεύτερο προτεινόμενο μοντέλο αφορούσε το συνδυασμό των μοντέλων του PV.G.I.S. και της βιβλιογραφίας, υβριδικά. Τα αποτελέσματα που αποτυπώθηκαν αφορούσαν τις δύο περιοχές με τις σημαντικότερες διαφορές και τους δύο κατασκευαστές με τις πιο ακραίες τιμές χαρακτηριστικών, και για τις δύο μεθόδους υπολογισμού. Η μελέτη διεξήχθη τόσο για το πλήθος του ενός πάνελ ξεχωριστά όσο

και ολόκληρη εγκατάσταση ενός MW για έκαστο κατασκευαστή. Από τους πίνακες και τα γραφήματα που προέκυψαν, φαίνεται ξεκάθαρα μεγάλη διαφορά στα αποτελέσματα αφού συμπεριλήφθηκαν οι απώλειες έκαστου συστήματος στη θεωρητική τιμή της ισχύος εξόδου, σε σχέση με αυτή που θα προέκυπτε εάν λαμβάνονταν υπόψιν μονάχα τα χαρακτηριστικά στις συνθήκες S.T.C.

Μετά τη διεξαγωγή της μελέτης για τον υπολογισμό τόσο της ισχύος εξόδου από τα πάνελ όσο και της παραγόμενης ενέργειας ετησίως, τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με εκείνα που προέκυψαν από το PV.G.I.S. αφού εξηγήθηκαν πρώτα οι βασικές του λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα, έγινε σύγκριση με βάση ωριαία δεδομένα που έχουν συλλεχθεί σε βάθος 16 ετών (2005-2020) για όλους τους κατασκευαστές, όλες τις περιοχές για την εγκατάσταση του ενός πάνελ αλλά και του ενός MW και για τις δύο μεθόδους υπολογισμού. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, διαπιστώθηκαν διαφορές των αποτελεσμάτων στην παραγόμενη ισχύ, λόγω γεωχωρικών δεδομένων, ετησίως, από 0% έως $\pm 3\%$ και αντίστοιχα μηνιαία 0% έως $\pm 4\%$ σε σχέση με αυτά που προκύπτουν από το PV.G.I.S. Τα αποτελέσματα, αποτυπώθηκαν και σε γραφικές παραστάσεις εκτός από πίνακες, για την προβολή μιας σφαιρικότερης εικόνας τους, συνολικά. Αυτό επίσης έγινε και για λόγους σύγκρισης της παραγόμενης ενέργειας ανάμεσα στα διάφορα πάνελ. Με απλά λόγια, ο συντελεστής θερμοκρασίας ήταν ο κύριος παράγοντας για την πρόκληση της απόκλισης αυτής. Δηλαδή, παρατηρείται ξεκάθαρα ότι η παραγόμενη ισχύς ήταν μεγαλύτερη για τα πάνελ με μικρότερους συντελεστές θερμοκρασίας και χαμηλότερη για εκείνα με τους μεγαλύτερους συντελεστές. Ωστόσο, παρόλο που θα ήταν αναμενόμενες υψηλότερες τιμές για την παραγόμενη ισχύ από πάνελ με μεγαλύτερους συντελεστές θερμοκρασίας στις περιοχές με συνολικά χαμηλότερες θερμοκρασίες (Φλώρινα και Ιωάννινα), αυτό δεν παρατηρήθηκε στο σύνολο τους έτους, καθώς εν τέλει η μέση ετήσια θερμοκρασία των πάνελ παρέμεινε άνω των 25 °C. Από την άλλη το αναμενόμενο αυτό αποτέλεσμα εμφανίστηκε, μεμονωμένα, στους πιο ψυχρούς σχετικά μήνες.

Στη συνέχεια, έγιναν υπολογισμοί για τα υπόλοιπα απαραίτητα μέρη της φ/β εγκατάστασης. Συνολικά, έγινε σύγκριση ανάμεσα σε 4 αναστροφείς της αγοράς, για λόγους πλήρους αξιοποίησης της διαθέσιμης ενέργειας αλλά και για να διατηρηθεί πάντα η εγκατάσταση οικονομικά βιώσιμη. Επιπλέον, με βάση την βέλτιστη διάταξη πάνελ εν σειρά και παράλληλα, έγινε υπολογισμός του πλήθους των αναστροφέων, των ηλεκτρολογικών στοιχείων και του υπόλοιπου απαραίτητου εξοπλισμού για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία της εγκατάστασης. Εν τέλει υπολογίστηκε και η ισχύς μετά τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο από τον αναστροφέα, δηλαδή η ισχύς που καταλήγει να εγχυθεί στο δίκτυο.

Έπειτα, βάσει των υπολογισθέντων στοιχείων και του πλήθους τους, διεξάγει μελέτη για την οικονομική βελτιστοποίησή του. Για την ακρίβεια, έγινε λεπτομερής έρευνα αγοράς αλλά και βελτιστοποίησης τη σχέση ποιότητας-τιμής για όλα τα στοιχεία της εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν τα κόστη των πάνελ, το βέλτιστο πλήθος των αναστροφέων με βάση το κόστος τους, τα κόστη του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας, συντήρησης και φύλαξης του ευαίσθητου από καιρικά φαινόμενα ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Επιπροσθέτως, έγινε υπολογισμός και πλήρης ανάλυση των ετησίων εσόδων, των ετησίων εξόδων και του καθαρού ετήσιου κέρδους που θα επιφέρει το έργο όπως επίσης και του χρόνου απόσβεσής του. Από τα αποτελέσματα προέκυψε πως τα συνολικά έσοδα σε βάθος 25 ετών είναι περισσότερα από 2.000.000 €, τα συνολικά έξοδα της δημιουργίας, λειτουργίας και συντήρησης είναι γύρω στο 1.000.000 € ανάλογα το πάνελ και την περιοχή της εγκατάστασης και τα έτη απόσβεσης απόσβεση 8 έως 17, με μέσο όρο στα 11,33 έτη. Ωστόσο, είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί ότι

οι υπολογισμοί τόσο της παραγόμενης ενέργειας όσο και των οικονομικών συμπερασμάτων όπως τα έσοδα και ο χρόνος απόσβεσης θα αλλάξουν δραματικά προς το συμφέρον του επενδυτή σε πραγματικές συνθήκες, καθώς τα αποτελέσματα που έχουν υπολογιστεί αφορούν διάταξη πάνελ οριζόντια τοποθετημένη. Τέλος, εκτός από τον υπολογισμό των οικονομικών μεγεθών σε βάθος 25 ετών, δηλαδή το χρόνο εγγύησης των πάνελ, έγινε και υπολογισμός στο μέσο χρόνο διάρκειας ζωής τους, δηλαδή στα 35 έτη.

Όσον αφορά την μοντελοποίηση των υπολογισμών, δημιουργήθηκε κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού python, στο οποίο ζητούνται από τον χρήστη πληροφορίες όπως οι επιθυμητές συντεταγμένες της εγκατάστασης, το όνομα του κατασκευαστή και άλλες σημαντικές λεπτομέρειες. Σκοπός του προγράμματος αυτού είναι η γραφική αναπαράσταση των περιβαλλοντικών συνθηκών στον επιλεγμένο χώρο και των αποτελεσμάτων τόσο της παραγόμενης ισχύος από τα πάνελ όσο και της εξερχόμενης από τον αναστροφέα, ισχύος. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται με βάση δύο μεθόδους, η μια μέθοδος είναι η μέθοδος υπολογισμών του υπολογιστικού εργαλείου PVWatts και η άλλη του PV.G.I.S. Επιπλέον, το πρόγραμμα αυτό δίνει στο χρήστη εκτός από την πλήρη γραφική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων, και την εκτύπωσή αλλά και αποθήκευσή τους ωριαία σε μορφή .xlsx. Για την ακρίβεια, λεπτομερής ανάλυση των δυνατοτήτων του προγράμματος αναφέρεται στο κεφάλαιο 9.

Ακόμη, αναφέρθηκαν οι περιβαλλοντικοί λόγοι υλοποίησης ενός τέτοιου έργου, καθώς μόνο από την έκκριση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) προέκυψε η παραγωγή ρύπων πάνω από 11 φορές μικρότερη σε σχέση με του ρύπους που θα προκαλούνταν από την παραγωγή του ίδιου ποσού ενέργειας μέσω καύσης οργανικών υλικών. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε κατασκευαστή και περιοχή διατυπώθηκαν σε πίνακες για την πλήρη σύγκριση του περιβαλλοντικού οφέλους.

Τέλος, αναφέρθηκε ότι τα υπολογισθέντα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν μελλοντικά για λόγους κλιματικών μεταβολών τόσο σε επίπεδο θερμοκρασίας όσο και ακτινοβολίας. Με βάση τα γραφήματα που προέκυψαν παρόλο που γραφικά η μεταβολή της θερμοκρασίας φαίνεται μεγαλύτερη, η ακτινοβολία είναι η σημαντικότερη αλλαγή, κάτι που διαπιστώνεται και από τις κλίσεις των γραμμών τάσης. Ωστόσο, όπως αποδείχθηκε καθ' όλη την υπόλοιπη μελέτη η θερμοκρασία διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική απόδοση μιας φ/β εγκατάστασης και γι' αυτό προτάθηκαν τρόποι ψύξης και καταπολέμησης του φαινομένου αυτού. Η εφαρμογή αλλά οικονομοτεχνική μελέτη του τρόπου αυτού για την επίλυση του θερμοκρασιακού προβλήματος που παρουσιάζεται, δεν αποτελεί μέρος αυτής της εργασίας αλλά θα άξιζε σε άλλη μελέτη η περεταίρω ανάλυση και σύγκρισή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία (ή Μεταφρασμένη):

- Διονύσης Κ. Ασημακόπουλος, Γεώργιος Κ. Αραμπατζής, Αθανάσιος Αγγελής, Αβραάμ Καρταλίδης, Γεώργιος Τσιλιγκιρίδης, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, 2015, ISBN 9789606706769
- Καλδελλης Κ. Ιωαννης, Καβαδιας Α. Κοσµας, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, 2011, ISBN 9789603513452
- Masters M. Gilbert, ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, 2016, ISBN 9789605467432

Ξένη Βιβλιογραφία:

- Ana Maria Gracia Amillo , Thomas Huld, Paraskevi Vourlioti, Richard Müller and Matthew Norton. Application of Satellite-Based Spectrally-Resolved Solar Radiation Data to PV Performance Studies. Energies 2015, 8, 3455-3488; doi:10.3390/en8053455
- Barhdadi, Abdelfettah & Bennis, Mouncef. (2012). PV.G.I.S. approach for assessing the performances of the first PV grid-connected power plant in Morocco. The African Review of Physics 7:0038
- Bollmeyer, C., Keller, J.D., Ohlwein, C., Wahl, S., Crewell, S., Friederichs, P., Hense, A., Keune, J., Kneifel, S., Pscheidt, I., Redl, S. , Steinke, S.: Towards a high-resolution regional reanalysis for the European CORDEX system Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 2015, 141, 1-15
- Centre for Energy and Environment, 2013, Malaviya National Institute of Technology, Techno-economic analysis of solar photovoltaic power plant for garment zone of Jaipur city
- Christian Reichel et. al. 2022, Fraunhofer Institute, CO2 EMISSIONS OF SILICON PHOTOVOLTAIC MODULES – IMPACT OF MODULE DESIGN AND PRODUCTION LOCATION
- Christiana Honsberg & Stuart Bowden 01/11/2023, Fill Factor <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/fill-factor>

- Christoph Kost, Shivenes Shammugam, Verena Fluri, Dominik Peper, Aschkan Davoodi Memar, Thomas Schlegl, 2021, STROMGESTEHUNGSKOSTEN ERNEUERBARE ENERGIEN, Fraunhofer Intitute
- D. L. King, W. E. Boyson, J. A. Kratochvil, Sandia National Laboratories, Photovoltaic Array Performance Model, 2004
- D.L. King, J.A. Kratochvil, W.E. Boyson, W.I. Bower, Field experience with a new performance characterization procedure for photovoltaic arrays, in: Proceedings of the second World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna, 1998, pp. 1947–1952
- Faiman, D. Assessing the outdoor operating temperature of photovoltaic modules, 2008
- Gracia Amillo, A.M.; Huld, T. Performance comparison of different models for the estimation of global irradiance on inclined surfaces. Validation of the model implemented in PV.G.I.S.. JRC Technical Report EUR 26075 EN, JRC81902, ISBN 978-92-79-32507-6, ISSN 1831-9424, doi:10.2790/91554 2013
- Gracia Amillo, A.M.; Taylor, N; Martinez A.M.; Dunlop E.D.; Mavrogiorgios P.; Fahl F.; Arcaro G.; Pinedo I. Adapting PV.G.I.S. to Trends in Climate, Technology and User Needs. 38th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition (PVSEC), 2021, 907 - 911.
- Gracia Amillo, A.M; Huld, T.; Müller, R. A new database of global and direct solar radiation using the eastern meteosat satellite, models and validation. Remote Sens. 2014, 6, 8165–8189.
- Habte A., Sengupta M. and Lopez A. Evaluation of the National Solar Radiation Database (NSRDB): 1998–2015. National Renewable Energy Laboratory Technical Report NREL/TP-5D00-67722. 2017
- Huld T. and Gracia Amillo A. M. Estimating PV Module Performance over Large Geographical Regions: The Role of Irradiance, Air Temperature, Wind Speed and Solar Spectrum. Energies. 2015 8, 5159-5181.
- Huld T., Friesen G., Skoczek A., Kenny R.P., Sample T., Field M., Dunlop E.D. A power-rating model for crystalline silicon PV modules Solar Energy Materials & Solar Cells. 2011 95, 3359-3369.
- Huld T., Jäger-Waldau A., Ossenbrink H., Szábo S., Dunlop E. and Taylor N. Cost Maps for Unsubsidised Photovoltaic Electricity. JRC Report JRC 91937 2014
- Huld, T., Moner-Girona, M., and Kriston, A. (2017). Geospatial Analysis of Photovoltaic Mini-Grid System Performance. Energies 10, 218
- Huld, T.; Müller, R., Gambardella A. A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa Solar Energy 2012, 86, 1803-1815.
- Ian Tiseo, 03/07/2023, Carbon intensity of the power sector in Greece from 2000 to 2022, Statista

- Joint Research Centre, PV.G.I.S. Data sources & Calculation Methods, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-PV.G.I.S./getting-started-PV.G.I.S./PV.G.I.S.-data-sources-calculation-methods_en
- Jordan D.C. and Kurtz S. R. Photovoltaic Degradation Rates—an Analytical Review Prog. Photovolt. Res. Appl.2013, 21, 12-29
- Koehl, M., Heck, M., Wiesmeier, S., Wirth, J. Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering. Solar Energy Mater. Solar Cells 2011, 95, 1638–1646.
- M. Rastmanesh, E. El-Masry and K. El-Sankary, "An Efficient PV Battery Charger/Harvester for Low Power Applications, Suitable for Heavily Overcast Operations," in IEEE Open Journal of Power Electronics, vol. 3, pp. 290-302, 2022, doi: 10.1109/OJPEL.2022.3174445.
- M. Steen, GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM FOSSIL FUEL FIRED POWER GENERATION SYSTEMS, Joint Research Centre,
- Martin Chivelet, Nuria & Ruiz, J. (2004). Annual angular reflection losses in PV modules. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 13. 75 - 84. 10.1002/pip.585.
- Martin N. and Ruiz J. M. Calculation of the PV modules angular losses under field conditions by means of an analytical model. Solar Energy Materials & Solar Cells. 2001, 70, 25-38
- Martin N. and Ruiz J. M. Corrigendum to "Calculation of the PV modules angular losses under field conditions by means of an analytical model." Solar Energy Materials & Solar Cells. 2013, 110, p. 154
- Mehdi (Ashling) Leilaieoun, Arizona State University, Analysis and Basic Understanding in Silicon Hetero-junction Solar Cells, 2018
- Mevin Chandel, G.D. Agrawal, Sanjay Mathur, Anuj Mathur
- MIT. Massachusetts Institute of Technology, (2015) The Future of Solar Energy, An Interdisciplinary Mit Study. ISBN (978-0-928008-9-8).
- Mohammed Shoaib Sheik et.al. 2022, A comprehensive review on various cooling techniques to decrease an operating temperature of solar photovoltaic panels
- Monokroussos C., Gao Q., Zhang X., Lee E., Wang Y., Zou C., Rimmelspacher L., Castro J.B., Schweiger M., Herrmann W., Rear-side spectral irradiance at 1 sun and application to bifacial module power rating (2020) Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 28 (8), pp. 755 - 766, DOI: 10.1002/pip.3268
- Müller, R.; Behrendt, T.; Hammer, A.; Kemper, A. A new algorithm for the satellite-based retrieval of solar surface irradiance in spectral bands. Remote Sens. 2012, 4, 622–647.

- Müller, R.; Matsoukas, C.; Gratzki, A.; Behr, H.; Hollmann, R. The CM-SAF operational scheme for the satellite based retrieval of solar surface irradiance— A LUT based eigenvector hybrid approach. *Remote Sens. Environ.* 2009, 113, 1012–1024.
- Muneer, T., Solar radiation model for Europe. *Building Services Engineering Research and Technology* 1990, 11(4), 153-163.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Global Monitoring Division, General Solar Position Calculations , <https://gml.noaa.gov/grad/solcalc/solareqns.PDF>
- Office of Renewable Efficiency & Renewable Energy, “End-of-Life Management for Solar Photovoltaics”, 01/12/2023, <https://www.energy.gov/eere/solar/end-life-management-solar-photovoltaics>
- Office of Renewable Efficiency & Renewable Energy, “Solar Photovoltaic Cells Basics”, 01/11/2023, <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>
- PennState University, Temperature and PV Performance Optimization, 03/12/2023, <https://www.e-education.psu.edu/ae868/node/878>
- Pushpendu Dwivedi, et. al. 2020, Advanced cooling techniques of P.V. modules: A state of art
- Robert Patrick Kenny, Gabi Friesen, Domenico Chianese, Angelo Bernasconi, Ewan Dunlop. Energy rating of PV modules: comparison of methods and approach. Conference: Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of 3rd World Conference on. June 2003
- Sandia National Laboratories, 2013, pvlib, <https://pvlib-python.readthedocs.io/en/stable/index.html>
- Suri, Marcel & Huld, Thomas & Dunlop, Ewan & Albuissou, Michel & Wald, Lucien. (2006). Online data and tools for estimation of solar electricity in Africa: the PV.G.I.S. approach. 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition.
- Thomas Huld, Gabi Friesen, Artur Skoczek, Robert P. Kenny, Tony Sample, Michael Field, Ewan D. Dunlop, A power-rating model for crystalline silicon PV modules, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 95, Issue 12, 2011, Pages 3359-3369, ISSN 0927-0248, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.07.026>.
- Walker, Andy, Eric Lockhart, Jal Desai, Kristen Ardani, Geoff Klise, Olga Lavrova, Tom Tansy, Jessie Deot, Bob Fox, and Anil Pochiraju. 2020. Model of Operation-and Maintenance Costs for Photovoltaic Systems. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- Yanhua DengJiji, Wu, Qian Yang, Weizhen Chen, Penghan Li, Chenhao Huang Jinsong, Deng Biyong Ji, Lijian Xie. Life Cycle-Based Carbon Emission Reduction Benefit Assessment of Centralized Photovoltaic Power Plants in China *Sustainability* 2023, 15(23), 16323, <https://doi.org/10.3390/su152316323>

- Yordanov, Georgi. (2014). Relative efficiency revealed: Equations for k1-k6 of the PV.G.I.S. model. 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2014. 10.1109/PVSC.2014.6925178.

EIKONEΣ

EIKONA ΕΞΟΦΥΛΛΟΥ: <https://www.power-and-beyond.com/what-is-renewable-energy-definition-types-and-challenges-a-3f2d3aefba9075c4e055ac5fd52c4ffd/>

[2] <https://www.viridiansolar.co.uk/resources-4-1-photovoltaic-effect.html>

[3] <https://ceenergynews.com/renewables/the-largest-and-most-efficient-solar-power-parks-in-the-baltic-states-open-in-lithuania/>

[4] <https://solarenterprise.bg/en/off-grid-systems>

[5] <https://www.energy.gov/energysaver/hybrid-wind-and-solar-electric-systems>

[6] <https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/photovoltaics/photovoltaic-system>

[7] <https://www.nrel.gov/pv/interactive-cell-efficiency.html>

[8] <https://www.pinterest.com/pin/1018728378185672099/>

[9] https://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_energy_yield.php

[10] <https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2015/05/MITEI-The-Future-of-Solar-Energy.pdf>

[11] <https://www.hindawi.com/journals/ijp/2014/502628/>

[12] <https://product.tdk.com/en/techlibrary/solutionguide/mlcc04.html>

[13] <https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/temperature-coefficient.html>

[14] <https://www.seaward.com/gb/support/solar/faqs/31170-what-is-the-pv-fill-factor/>

[15] <https://www.seaward.com/gb/support/solar/faqs/00797-how-does-temperature-and-irradiance-affect-i-v-curves/>

[16] <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/03/TOTEE-3.pdf>

[17] <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-guide/2-dc-module-iv/effective-irradiance/spectral-response/>

[18] https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

[19] https://www.researchgate.net/figure/Hybrid-solar-Photovoltaic-Thermal-system-cooled-by-forced-air-circulation_fig5_352237554

[20] https://www.researchgate.net/figure/Creation-of-the-water-film-on-the-PV-module-by-a-line-of-nozzles_fig1_228404444

[21] https://www.researchgate.net/figure/Schematic-PV-coupled-with-PCMTS-PV-PCM-System_fig1_316371539