

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ & ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ



Αξιολόγηση της Απόδοσης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε
Πραγματικές Συνθήκες Λειτουργίας



ΡΟΥΜΠΑΚΙΑΣ ΗΛΙΑΣ ΔΙΠΛ.ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΤΑΜΑΤΕΛΛΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες στον Καθηγητή Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. κ. Αναστάσιο Σταματέλλο, επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, καθώς επίσης για τη συνολική καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την αξιολόγηση της απόδοσης ΦΒ συστημάτων και την ανάλυση μετρητικών δεδομένων ΦΒ πάρκων. Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση που παρουσιάζει την τεχνολογία των ΦΒ συστημάτων και τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μετρητικές διατάξεις των ΦΒφβ συστημάτων όπως αυτές περιγράφονται από πρότυπα και γίνεται και μια σύντομη περιγραφή μετρητικών συστημάτων της αγοράς. Στα επόμενα κεφάλαια ακολουθεί η παρουσίαση, η ανάλυση και ο ποιοτικός έλεγχος μετρητικών δεδομένων από 2 ΦΒ πάρκα, των οποίων ελέγχεται η απόδοση. Τέλος, γίνεται σχολιασμός των αποτελεσμάτων τόσο του ποιοτικού ελέγχου όσο και του ελέγχου της απόδοσης.



ABSTRACT

This study concerns the performance assessment of Photovoltaic Systems, based on performance monitoring data and design considerations. In the 1st chapter we start with a literature search on the current PV technology and the main factors affecting the performance of PV installations. In the following chapters we present the measurement systems applied in PV performance monitoring, as described in the respective standards and technical rules, along with a survey of measurement and monitoring systems in the market. Next follows a presentation of monitoring data, along with the quality control and analysis of the data sets, corresponding to the performance of the two PV installations studied. Finally, the analysis results are discussed and conclusions are drawn on the findings of the quality assurance and the performance assessment of the parks.



Περιεχόμενα

Πίνακας Εικόνων	7
1. Εισαγωγή	13
2. Βιβλιογραφική έρευνα – θεωρητικό μέρος	14
2.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα	14
2.1.1 Αυτόνομα συστήματα	14
2.1.2 Διασυνδεδεμένα με το σύστημα	14
2.2. Ηλιακή Ακτινοβολία	14
2.2.1 Μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας	16
2.3 Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Πλαισίων	17
2.3.1 Ημιαγωγοί	17
2.3.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	19
2.3.3 Τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων	19
2.3.4 Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών πλαισίων	22
2.4 Συστήματα στήριξης Φωτοβολταϊκών πλαισίων	25
2.4.1 Σταθερά συστήματα στήριξης	25
2.4.1 Κινούμενα συστήματα στήριξης	25
2.5 Ημερήσια και εποχιακή διακύμανση του φάσματος ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γής	28
2.5 Απόδοση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων διασυνδεδεμένα με το δίκτυο	29
2.5.1 Κλίση – Προσανατολισμός	29
2.5.2 Χαρακτηριστικά του Χώρου εγκατάστασης – Σκιάσεις	30
2.5.3 Χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ΦΒ πλαισίων	32
2.5.4 Διαστασιολόγηση εγκατάστασης	34
2.5.5 Επίδραση της σκόνης και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης	35
3. Τυπικές μετρητικές διατάξεις	36
3.1 Πρότυπες μετρητικές διατάξεις ΦΒ συστημάτων	36
3.2 Παραδείγματα συστημάτων τηλεμετρίας	39
3.3 Συστήματα τηλεμετρίας που υπάρχουν στην αγορά	40
4. Παρουσίαση δεδομένων από τις 2 μελέτες περιπτώσεων (case studies)	44
4.1 Case study 1 (Άργος 2 MWp)	44
4.1.1 Διαθέσιμα Τεχνικά Δεδομένα	44
4.1.2 Διαθέσιμα Μετρητικά Δεδομένα	44
4.1.3 Τιμές ακτινοβολίας και θερμοκρασίας ανά μήνα	44
4.2 Case study 1 (100 KWp Τρίκαλα)	69
5. Σχεδιασμός Φωτοβολταϊκού Πάρκου	77



5.1 Παραδοχές για το σχεδιασμό του Φωτοβολταϊκού Πάρκου στην Αργολίδα 2ΜWp	77
6. Ανάλυση Μετρητικών Δεδομένων.....	82
6.1 Έλεγχος Απόδοσης Φωτοβολταϊκού πάρκου	82
6.1.1 Μεθοδολογία Ανάλυσης -Υπολογισμοί	82
6.1.2 Casestudy1(2ΜWp)	84
6.2 Ποιοτικός έλεγχος των μέτρησεων.....	96
6.2.1 Casestudy 1 (2 ΜWp)	96
6.2.2 Ποιοτικός έλεγχος μετρήσεων Casestudy 2 (100 kW)	110
6.3 Σύγκριση δεδομένων των case studies 1,2	113
7. Συζήτηση αποτελεσμάτων – προδιαγραφή μεθοδολογίας αξιολόγησης	115
Επίδραση της ατμοσφαιρικής μάζας (Airmass)	117
8. Συμπεράσματα	121
Κατευθύνσεις για συνέχιση της έρευνας	121
9. Βιβλιογραφία.....	122



Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 2-1: Κατηγορίες ΦΒ συστημάτων[1]	14
Εικόνα 2-2: Φασματική απόκριση ηλιακής ακτινοβολίας[1]	15
Εικόνα 2-3:Τιμές AM[1]	15
Εικόνα 2-4: Απευθείας και διάχυτη ακτινοβολία [1].....	16
Εικόνα 2-5: Ενεργειακό διάκενο ημιαγωγών[1].....	17
Εικόνα 2-6: Δομή ημιαγωγών [1]	18
Εικόνα 2-7:Δομή ημιαγωγών με προσμείξεις[1]	18
Εικόνα 2-8: Δομή φβ κυψέλης [1]	19
Εικόνα 2-9: Κατηγορίες ΦΒ πλαισίων [1].....	20
Εικόνα 2-10:Δομή Φβ στοιχείων άμορφου πυριτίου a-si [1].....	20
Εικόνα 2-11: Δομή φβ στοιχείων Δισελληνιούχου χαλκού(CIS) [1].....	21
Εικόνα 2-12: Δομή φβ στοιχείων Τελουριούχου χαλκού [1].....	21
Εικόνα 2-13:Δομή υβριδικών φβ στοιχείων[2]	21
Εικόνα 2-14: Φασματικές αποκρίσεις διαφόρων φβ στοιχείων. Άμορφου πυριτίου, μικροκρυσταλλικού πυριτίου, Κρυσταλλικού πυριτίου, δισεληνιούχου χαλκού[3]	22
Εικόνα 2-15: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φβ κυψέλης. Χαρακτηριστική ρεύματος τάσης και καμπύλη ισχύος ρεύματος.[1]	23
Εικόνα 2-16: Παράδειγμα ηλεκτρικών χαρακτηριστικών ΦΒ κυψέλης όπως αυτά δίνονται από το κατασκευαστή [4].....	23
Εικόνα 2-17: Καμπύλη λειτουργίας του ΦΒ πλαισίου της εταιρείας Suntech ισχύος 280W(STP-280-24/Vd) (2011). Η καμπύλη δίνεται για διαφορετικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας[4].	24
Εικόνα 2-18: φασματική απόκριση διαφόρων φβ πλαισίων[1].....	24
Εικόνα 2-19 Επίδραση θερμοκρασίας στη χαρακτηριστική I-V ενός ΦΒ στοιχείου[1].....	25
Εικόνα 2-20: Στο σχήμα απεικονίζεται η σύγκριση διαφόρων συστημάτων που περιγράφηκαν παραπάνω. Υπάρχουν 6 συγκρίσεις και παρατηρείται πόση είναι η επιπλέον παραγόμενη ενέργεια του ενός συστήματος από το άλλο στη διάρκεια της 17 ^{ης} Ιουλίου 2001.[5]	27
Εικόνα 2-21: Παραγωγή ενέργειας στη διάρκεια μιας ημέρας από τα διαφορετικά συστήματα στήριξης[6].....	27
Εικόνα 2-22: Στο σχήμα απεικονίζεται η παραγόμενη ενέργεια 7 αντιπροσωπευτικών ημερών του έτους διαφόρων συστημάτων που περιγράφηκαν παραπάνω.[5]	28
Εικόνα 2-23: Φασματική κατανομή της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας, και φασματική απόκριση μιας ηλιακής κυψέλης πυριτίου [7].....	28
Εικόνα 2-24:Φασματική κατανομή του ηλιακού φάσματος για κάθε εποχή του έτους[8]	29
Εικόνα 2-25:Επίδραση της κλίσης και του προσανατολισμού στην απόδοση ενός ΦΒ συστήματος [9]	30
Εικόνα 2-26: Θερμοκρασία περιβάλλοντος και ταχύτητα ανέμου σε αστικό και υπαίθριο περιβάλλον στη διάρκεια του έτους. Παρατηρείται σημαντικά μεγαλύτερη θερμοκρασία σε κάποιες εποχές τους έτους και σημαντικά μικρότερη ταχύτητα ανέμου.[10]	30
Εικόνα 2-27: Ηλιακή ακτινοβολία και ισχύς εξόδου φβ συστήματος μια μέρα του Μάρτιου σε αστικό και υπαίθριο περιβάλλον.[10]	31
Εικόνα 2-28: Επίδραση μερικής σκίασης στη I-V χαρακτηριστική του φβ πλαισίου.[11]	31
Εικόνα 2-29: Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση των ΦΒ πλαισίων για διάφορους τύπους φβ στοιχείων.[12]	32
Εικόνα 2-30: Φασματική απόκριση φβ στοιχείων α-si,CdTe,GaAs. mono-si [13]	32



Εικόνα 2-31 Απόδοση, ισχύς, ηλιακή ακτινοβολία σε ΦΒ σύστημα που αποτελείται από ΦΒ στοιχεία άμορφου πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου και υβριδικού τύπου [14]	33
Εικόνα 2-32 Θερμοκρασία, ισχύς, ηλιακή ακτινοβολία σε ΦΒ σύστημα που αποτελείται από ΦΒ στοιχεία άμορφου πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου και υβριδικού τύπου [14]	33
Εικόνα 2-33 Τυπική Καμπύλη απόδοσης Inverter σε συνάρτηση με το φορτίο εισόδου [15]	34
Εικόνα 2-34: Συμπεριφορά φβ στοιχειοσειράς όταν υπολειτουργεί ένα απ τα συνδεδεμένα πλαίσια.[17]	35
Εικόνα 2-35: Επίδραση της σκόνης στη μείωση της απόδοσης[18]	35
Εικόνα 2-36: Επίδραση διαφόρων τύπων επικαθίσεων στην επιφάνεια των φβ πλαισίων στη μείωση της απόδοσης τους[19].....	36
Εικόνα 3-1 : Το παράδειγμα της διάταξης ανήκει στο NREL[21].....	39
Εικόνα 3-2: Μετρητικό- Καταγραφικό σύστημα φβ συστήματος ισχύος 142,5KWp [22]	40
Εικόνα 3-3: Εξοπλισμός μετρητικού συστήματος με τη χρήση του λογισμικού LABVIEW[23]	40
Εικόνα 3-4: Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος της FRONIUS	41
Εικόνα 3-5:Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας φβ κυψέλης της FRONIUS.....	41
Εικόνα 3-6:Αισθητήρας μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας και τρόπος στήριξης της.....	42
Εικόνα 3-7 :Αισθητήρας μέτρησης ταυτότητας ανέμου της FRONIUS	43
Εικόνα 3-8: Συνολική άποψη του μετρητικού – καταγραφικού συστήματος της FRONIUS[24]	43
Εικόνα 4-1: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	44
Εικόνα 4-2 : Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	45
Εικόνα 4-3: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα.	45
Εικόνα 4-4: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	47
Εικόνα 4-5: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	47
Εικόνα 4-6: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	47
Εικόνα 4-7: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	49
Εικόνα 4-8: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	49
Εικόνα 4-9: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	49
Εικόνα 4-10: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	51
Εικόνα 4-11: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	51
Εικόνα 4-12: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	51
Εικόνα 4-13: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	53
Εικόνα 4-14: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	53
Εικόνα 4-15: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	53
Εικόνα 4-16: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	55
Εικόνα 4-17: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	55
Εικόνα 4-18: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	55
Εικόνα 4-19: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	57
Εικόνα 4-20: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	57
Εικόνα 4-21: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	57
Εικόνα 4-22: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	59



Εικόνα 4-23: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	59
Εικόνα 4-24: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	59
Εικόνα 4-25: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	61
Εικόνα 4-26: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	61
Εικόνα 4-27: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	61
Εικόνα 4-28: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	63
Εικόνα 4-29: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	63
Εικόνα 4-30: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	63
Εικόνα 4-31: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	65
Εικόνα 4-32: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	65
Εικόνα 4-33: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	65
Εικόνα 4-34: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	67
Εικόνα 4-35: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	67
Εικόνα 4-36: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	67
Εικόνα 4-37: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	69
Εικόνα 4-38: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	69
Εικόνα 4-39: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	70
Εικόνα 4-40: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	71
Εικόνα 4-41: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	71
Εικόνα 4-42: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	71
Εικόνα 4-43: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	73
Εικόνα 4-44: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	73
Εικόνα 4-45: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	73
Εικόνα 4-46: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.	75
Εικόνα 4-47: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα	75
Εικόνα 4-48: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα	77
Εικόνα 5-1: Εκτύπωση από το λογισμικό Sunny Design για την συνδεσμολογία των 3393 panel τα 7254 συνολικά που έχουν ονομαστική ισχύ 270Wr και συνδέονται στους 87 από τους 186 συνολικά Inverters [25].....	78
Εικόνα 5-2: Εκτύπωση από το λογισμικό Sunny Design για την συνδεσμολογία των 3861 panel τα 7254 συνολικά που έχουν ονομαστική ισχύ 280Wr και συνδέονται στους 99 από τους 186 συνολικά Inverters[25].....	79
Εικόνα 5-3: Χαρακτηριστικές Θερμοκρασιακών Συντελεστών ΦΒ γεννητριών[4]	81
Εικόνα 6-1: Καμπύλη απόδοσης του inverter της εγκατάστασης σε συνάρτηση με το φορτίο [27].....	83
Εικόνα 6-2: Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 11,12,13,14 Φεβρουαρίου.....	84
Εικόνα 6-3: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²) για το μήνα Φεβρουάριο του 2010.....	85



Εικόνα 6-4 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 22,23,24,24 Μάρτιου.....	85
Εικόνα 6-5: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Μάρτιο του 2010.....	86
Εικόνα 6-6 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 15,16,17,18 Απριλίου.	86
Εικόνα 6-7: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Απρίλιο του 2010.	87
Εικόνα 6-8: Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 2,3,4,5 Μαΐου.....	87
Εικόνα 6-9: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Μάιο του 2010.	88
Εικόνα 6-10 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 21,22,23,24 Ιουνίου.....	88
Εικόνα 6-11: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Ιούνιο του 2010.....	89
Εικόνα 6-12 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 27,28,29,30 Ιουλίου.....	89
Εικόνα 6-13: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Ιούλιο του 2010.....	90
Εικόνα 6-14: Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 18,19,20,21 Αυγούστου.....	90
Εικόνα 6-15: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Αύγουστο του 2010.....	91
Εικόνα 6-16: Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 4,5,6,7 Σεπτεμβρίου.	91
Εικόνα 6-17: : Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Σεπτέμβριο του 2010.....	92
Εικόνα 6-18 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 16,17,18,19 Οκτωβρίου.	92
Εικόνα 6-19: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Οκτώβριο του 2010.	93
Εικόνα 6-20 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 5,6,7,8 Νοεμβρίου.	93
Εικόνα 6-21: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Νοέμβριο του 2010.	94
Εικόνα 6-22 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 16,17,18,19 Δεκεμβρίου.	94



Εικόνα 6-23: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²) για το μήνα Δεκέμβριο του 2010.	95
Εικόνα 6-24: Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 21,22,23 Ιανουαρίου.	95
Εικόνα 6-25: : Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²) για το μήνα Ιανουάριο του 2011.	96
Εικόνα 6-26: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος του φβ πάρκου μια ημέρα που παρατηρείται συντελεστής συσχέτισης 0,98	97
Εικόνα 6-27: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος και υπολογισμός ηλεκτρική ισχύος την 11/3/2010 όπου παρατηρείται συντελεστής συσχέτισης 0,98 που είναι ο χαμηλότερος του μήνα.....	98
Εικόνα 6-28: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος και υπολογισμός ηλεκτρική ισχύος την 17/4/2010 όπου παρατηρείται συντελεστής συσχέτισης 0,98.....	100
Εικόνα 6-29: Οι πέντε τελευταίες μέρες του Μάιου όπου η ηλεκτρική ισχύς καταγραφόταν κύαθε περίπου 2 ώρες, κάτι που οδήγησε στους πολύ χαμηλούς συντελεστές συσχέτισης.	101
Εικόνα 6-30: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 11 ^η Ιουνίου όπου παρατηρείται συσχέτισης 0,98.	102
Εικόνα 6-31: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά το διάστημα 19-21 Ιουνίου όπου παρατηρείται προφανώς κάποια διακοπή της παράγωγης του πάρκου	103
Εικόνα 6-32: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 10 ^η Ιουλίου όπου παρατηρείται συσχέτιση 0,95.....	104
Εικόνα 6-33: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 2 ^η ,9 ^η ,11 ^η Αυγούστου όπου παρατηρούνται συντελεστές συσχέτισης 0,69,1,0,81 αντίστοιχα.....	105
Εικόνα 6-34: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 10 ^η Ιουλίου όπου παρατηρείται συσχέτιση 0,89.....	106
Εικόνα 6-35: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 23 ^η ,24 ^η Νοεμβρίου όπου παρατηρούνται συντελεστές συσχέτισης 0,92, 0,78 αντίστοιχα.	108
Εικόνα 6-36: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 14 ^η ,Δεκεμβρίου όπου παρατηρούνται συντελεστές συσχέτισης 0,87 αντίστοιχα	109
Εικόνα 6-37: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 12 ^η Φεβρουαρίου όπου παρατηρούνται συντελεστής συσχέτισης 0,97	111
Εικόνα 6-38: : Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 22 ^η ,23 ^η , 24 ^η Μάρτιου όπου παρατηρούνται συντελεστής συσχέτισης 1.....	112
Εικόνα 6-39: Απόδοση (%) των δύο πάρκων για το μήνα Φεβρουάριο για τις κοινές μέρες του μήνα όπου υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία(W/m2)	113
Εικόνα 6-40: Απόδοση (%) των δύο πάρκων για το μήνα Μάιο για τις κοινές μέρες του μήνα όπου υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία (W/m2)	114
Εικόνα 6-41: Απόδοση (%) των δύο πάρκων για το μήνα Ιούνιο για τις κοινές μέρες του μήνα όπου υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία (W/m2)	114
Εικόνα 7-1: : Στο διάγραμμα απεικονίζονται η παραγόμενη ενέργεια όπως υπολογίστηκε θεωρητικά, όπως μετρήθηκε, και συγκριτικά η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, κατανεμημένα στα επιλεγέντα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας για ολόκληρο το έτος.	115
Εικόνα 7-2: Στο διάγραμμα απεικονίζονται η παραγόμενη ενέργεια όπως υπολογίστηκε θεωρητικά, όπως μετρήθηκε, και συγκριτικά η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, κατανεμημένα στα επιλεγέντα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Απρίλιο	116



Εικόνα 7-3: Στο διάγραμμα απεικονίζονται η παραγόμενη ενέργεια όπως υπολογίστηκε θεωρητικά, όπως μετρήθηκε, και συγκριτικά η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, κατανεμημένα στα επιλεγέντα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Ιούνιο	116
Εικόνα 7-4: Στο διάγραμμα απεικονίζονται η παραγόμενη ενέργεια όπως υπολογίστηκε θεωρητικά, όπως μετρήθηκε, και συγκριτικά η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, κατανεμημένα στα επιλεγέντα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Νοέμβριο	117
Εικόνα 7-5: Στο διάγραμμα απεικονίζονται η παραγόμενη ενέργεια όπως υπολογίστηκε θεωρητικά, όπως μετρήθηκε, και συγκριτικά η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, κατανεμημένα στα επιλεγέντα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Δεκέμβριο	117
Εικόνα 7-6: Επίδραση ηλιακού υψούς στην απόδοση ΦΒ στοιχείων (στοιχεία παραχωρηθέντα από [28] κατόπιν προσωπικής επικοινωνίας με τους συγγραφείς).	118
Εικόνα 7-7: Ισχύς της εγκατάστασης σε συνάρτηση με τη ηλιακή ακτινοβολία για όλη τη διάρκεια του χρόνου	119
Εικόνα 7-8: Απόδοση ΦΒ στοιχείων στη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους σε συνάρτηση με την ακτινοβολία	120
7-9 : Θερμοκρασία ΦΒ στοιχείων σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία για τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους.....	120



1. Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία δεδομένης της ρύπανσης του περιβάλλοντος και της αύξησης της ενεργειακής ζήτησης, παρατηρείται μία σαφής έχει επικρατήσει η τάση σταδιακής απεξάρτησης της παραγωγής ενέργειας από τα ορυκτά καύσιμα. Στην κατεύθυνση αυτή, παρατηρείται σημαντική εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τόσο σε ερευνητικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο διείσδυσης στην αγορά ενέργειας με την υλοποίησης σημαντικού μεγέθους έργων.

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμία, η βιομάζα και η ενέργεια των κυμάτων. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ηλιακή ενέργεια και συγκεκριμένα με τη Φωτοβολταϊκή τεχνολογία, η οποία γνωρίζει ιδιαίτερη εξέλιξη σε σχέση με τις υπόλοιπες πηγές.

Στην χώρα μας οι εγκαταστάσεις ΦΒ συστημάτων άρχισαν να αυξάνονται με σημαντικούς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Κάτι που σημαίνει πως δεν έχουν ακόμη ολοκληρώσει μεγάλο διάστημα λειτουργίας. Συνεπώς, ένα σημαντικό πεδίο διερεύνησης είναι ο έλεγχος της απόδοσης των συστημάτων με το πέρασμα του χρόνου. Επίσης, είναι πολύ σημαντική η βελτιστοποίηση του τρόπου παρακολούθησης των συστημάτων. Έτσι, ένα σημαντικό κομμάτι των εργοστασίων κατασκευής τους είναι η τηλεμετρία για τον έλεγχο τους αλλά και για τη συλλογή μετρητικών δεδομένων που θα μπορέσουν να δώσουν συμπεράσματα για την απόδοσή τους σε βάθος χρόνου.

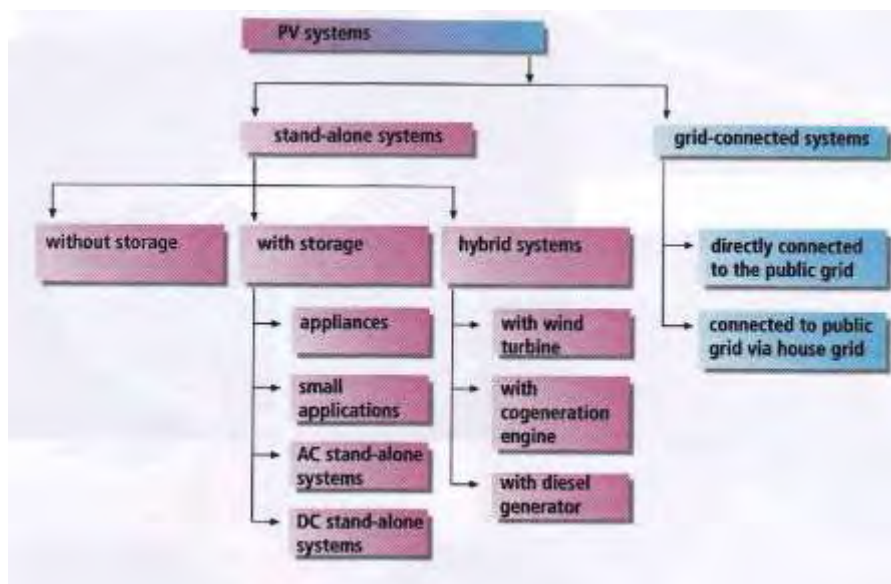
Στη παρούσα εργασία θα συνοψιστεί αρχικά η σύγχρονη τεχνολογία των εν χρήσει ΦΒ συστημάτων και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους και στη συνέχεια θα γίνει μια απόπειρα ελέγχου της απόδοσης ενός ΦΒ πάρκου με βάση δεδομένα ενός ολόκληρου έτους, ενώ παράλληλα θα γίνει και ποιοτικός έλεγχος των διαθέσιμων μετρητικών δεδομένων.



2. Βιβλιογραφική έρευνα – θεωρητικό μέρος

2.1 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να διαχωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες τα αυτόνομα και τα διασυνδεδεμένα με το σύστημα.



Εικόνα 2-1: Κατηγορίες ΦΒ συστημάτων[1]

2.1.1 Αυτόνομα συστήματα

Τα αυτόνομα συστήματα συνήθως συνοδεύονται και από κάποια τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας, ωστόσο υπάρχουν και συστήματα τα οποία καταναλώνουν απευθείας την παραγόμενη ενέργεια. Σε περιπτώσεις αυτονομίας κατοικιών ή μονάδων, χρησιμοποιείται και κάποια δεύτερη πηγή ενέργειας ως εφεδρεία όπως κάποια ανεμογεννήτρια ή ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος diesel. Ένα τυπικό αυτόνομο σύστημα με αποθήκευση ενέργειας αποτελείται από τις ΦΒ γεννήτριες, ένα αντιστροφείο ισχύος (inverter), ένα ρυθμιστή φόρτισης, μπαταρίες και ηλεκτρολογικό υλικό για ασφάλεια και χειρισμό.

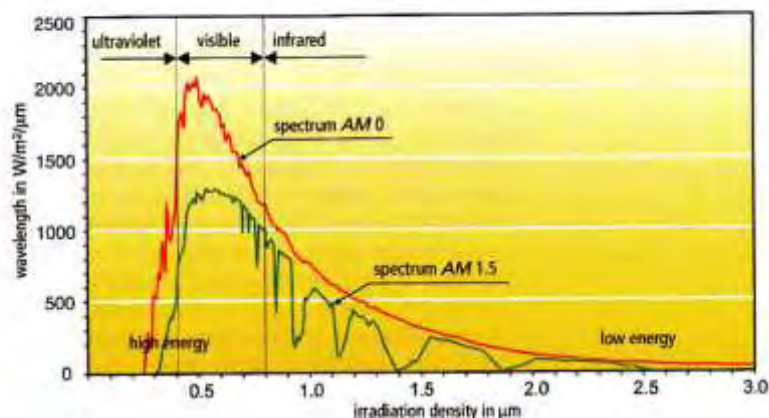
2.1.2 Διασυνδεδεμένα με το σύστημα

Τα διασυνδεδεμένα συστήματα λειτουργούν ως εργοστάσια παραγωγής ενέργειας τα οποία διοχετεύουν την παραγόμενη ενέργεια απευθείας στο δημόσιο δίκτυο. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα αποτελούνται από τις ΦΒ γεννήτριες διασυνδεδεμένες σε συστοιχίες, το σύστημα στήριξης κινούμενο ή σταθερό, τους αντιστροφείς ισχύος (inverter), το ηλεκτρολογικό υλικό και το σύστημα επιτήρησης και τηλεμετρίας.

2.2. Ηλιακή Ακτινοβολία

Η διαμόρφωση του φάσματος της ακτινοβολίας που εκπέμπει ο ήλιος, προσομοιώνεται συνήθως χάρη στην απλότητα με την ακτινοβολία ενός μέλανος σώματος θερμοκρασίας 5800K. Ωστόσο στην επιφάνεια της γης το ηλιακό φως αποκτά μια ανώμαλη φασματική κατανομή εξαιτίας εκλεκτικών απορροφήσεων και σκεδάσεων στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας.





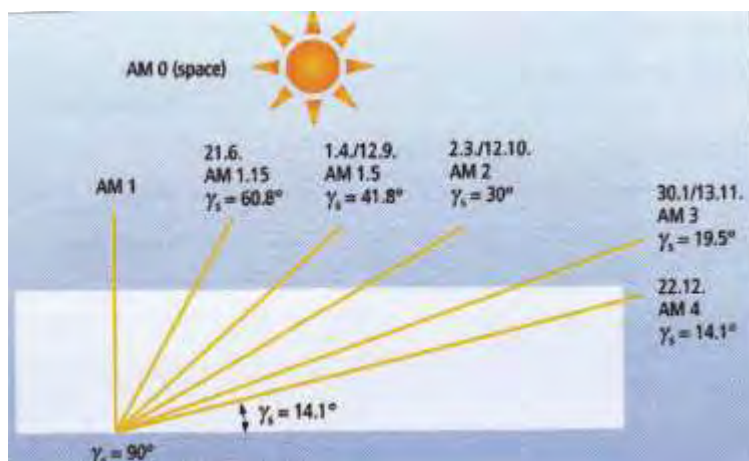
Εικόνα 2-2: Φασματική απόκριση ηλιακής ακτινοβολίας[1]

Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην ατμόσφαιρα της γής ονομάζεται ηλιακή σταθερά του πλανήτη και έχει μέση τιμή 1367W/m^2 στη διάρκεια του έτους. Η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταδίδεται με τη μορφή διακεκριμένων ποσοτήτων ενέργειας, που ονομάζονται φωτόνια.

Η τελική μορφή και η ενεργεία της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης εξαρτάται από το υψόμετρο, τη γεωγραφική θέση, την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα, τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες και την θέση του ήλιου στον ουρανό.

Το μήκος διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρά μέχρι το επίπεδο της θάλασσας, χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό που ονομάζεται αέρια μάζα και υπολογίζεται από τη σχέση

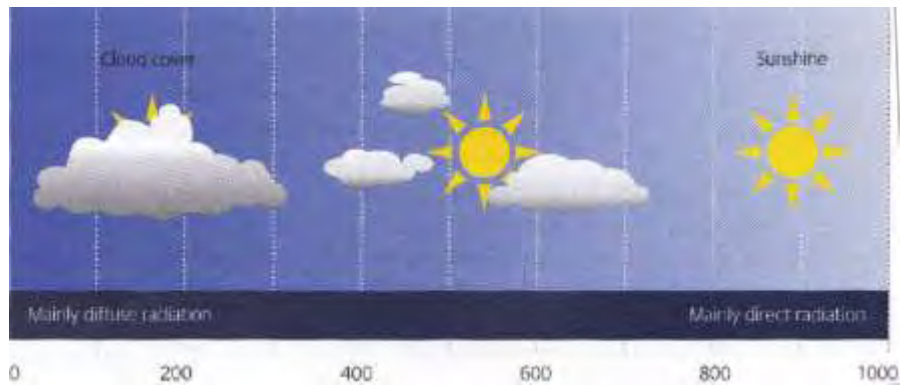
$$AM=1/\sin\gamma$$



Εικόνα 2-3:Τιμές AM[1]

Η ηλιακή ακτινοβολία χωρίζεται σε δύο συνιστώσες την απευθείας και τη διάχυτη ακτινοβολία. Η απευθείας προσπίπτει στην επιφάνεια της γης απευθείας (κατά τη διεύθυνση ήλιος – γή) ενώ η διάχυτη προέρχεται από ανακλάσεις και σκέδαση μέσα στη δομή της ατμόσφαιρας και δεν έχει συγκεκριμένη διεύθυνση πρόσπτωσης.





Εικόνα 2-4: Απευθείας και διάχυτη ακτινοβολία [1]

Η ολική οριζόντια ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια δίνεται από τη παρακάτω σχέση.

$$G=B\cos\gamma+D$$

G: ολική ακτινοβολία σε επιφάνεια (W/m^2)

B: απευθείας ακτινοβολία (W/m^2)

D: διάχυτη ακτινοβολία στην επιφάνεια (W/m^2)

γ : γωνία ζενίθ

2.1.1 Μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας

Τα τέσσερα σημαντικότερα όργανα για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το Πυρανόμετρο, ο πυροηλεκτρικός κρύσταλλος, το βολόμετρο και η φωτοδίοδος. Ωστόσο, μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να γίνει και με κάποια κατάλληλα βαθμονομημένα ΦΒ κυψέλη αναφοράς.

Πυρανόμετρο

Αποτελείται από δυο πλάκες και θερμοηλεκτρικά ζεύγη και μπορεί να μετρήσει ολική ακτινοβολία. Η πάνω πλάκα έχει μαύρο χρώμα και θερμαίνεται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία ενώ η κάτω πλάκα παραμένει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα θερμοηλεκτρικά ζεύγη συνδέονται σε σειρά και οι μισές επαφές τους είναι συνδεδεμένες στην πάνω πλάκα και οι υπόλοιπες στη κάτω. Έτσι, με βάση το θερμοηλεκτρικό φαινόμενο (seebeck –peltier) μπορεί να μετρηθεί μια τάση στα ίδια ελεύθερα άκρα των ζευγών η οποία με κατάλληλη βαθμονόμηση μετατρέπεται σε ηλιακή ακτινοβολία.

Πυροηλεκτρικός Κρύσταλλος

Η λειτουργία του βασίζεται στο πυροηλεκτρικό φαινόμενο κατά το οποίο έχουμε ηλεκτρίση με αύξηση της θερμοκρασίας ενός διηλεκτρικού. Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην προσπίπτουσα ακτινοβολία. Συνεπώς, με την βοήθεια ενός αμπερομέτρου μετράμε το παραγόμενο ρεύμα και με κατάλληλη βαθμονόμηση μετράμε την ηλιακή ακτινοβολία.



Βολόμετρο

Η λειτουργία του βασίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού όταν αυξάνεται η αντίσταση του από πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας

Φωτοδίοδος

Είναι μια δίοδος επαφής ημιαγωγών που όταν φωτιστεί στο εσωτερικό της παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο και μετράται με ένα αμπερόμετρο.

ΦΒ κυψέλη αναφοράς

Με τη έκθεση μια φβ κυψέλης στην ηλιακή ακτινοβολία μπορούμε να μετρήσουμε με ένα αμπερόμετρο το παραγόμενο ρεύμα και συνεπώς με κατάλληλη βαθμονόμηση μπορούμε να μετρήσουμε την ηλιακή ακτινοβολία.

2.3 Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

2.3.1 Ημιαγωγοί

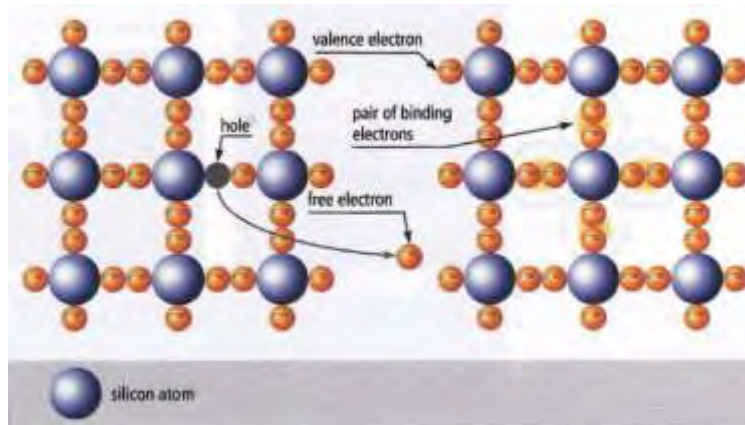
Κάθε στερεό σώμα αποτελείται από άτομα και κάθε άτομο αποτελείται από ένα πυρήνα και ένα αριθμό ηλεκτρονίων που περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα. Τα ηλεκτρόνια του ατόμου βρίσκονται σε διάφορες ενεργειακές στάθμες όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Έτσι, έχουμε τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων, τα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους και τα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας. Για να μεταπηδήσουν τα ηλεκτρόνια από την μια στάθμη στην άλλη απαιτείται ένα ποσό ενέργειας. Η απόστασή ανάμεσα στη ζώνη σθένους και αγωγιμότητας ονομάζεται ενεργειακό διάκενο E_g .



Εικόνα 2-5: Ενεργειακό διάκενο ημιαγωγών[1]

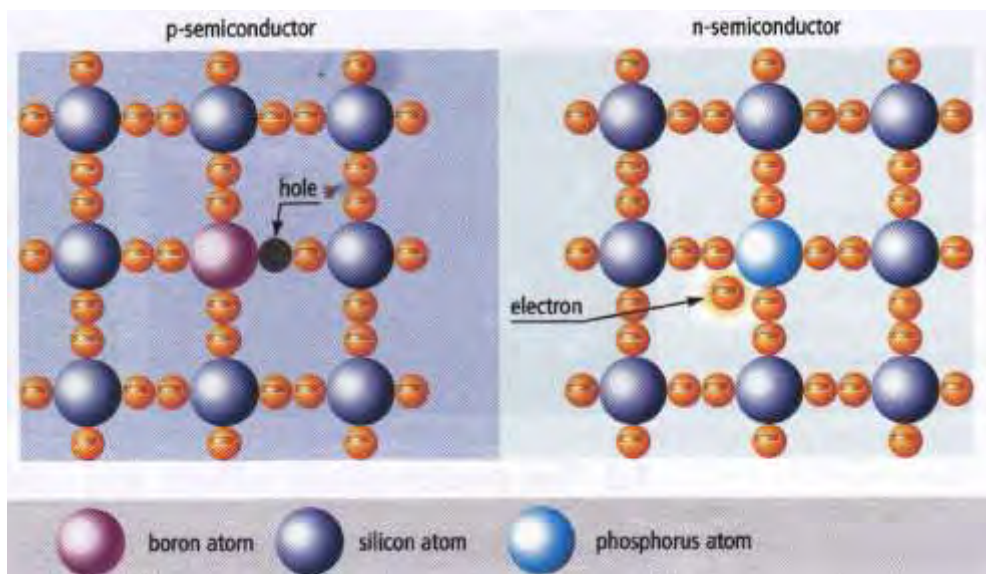
Ο διαχωρισμός των υλικών σε μέταλλα, ημιαγωγούς και σε μονωτές γίνεται με βάση αυτή την απόσταση. Συγκεκριμένα, στα μέταλλα είναι αμελητέα και στους μονωτές πολύ μεγάλη και καθίστα αδύνατη την μεταπήδηση ηλεκτρονίων. Στους ημιαγωγούς αυτή η απόσταση δεν είναι αμελητέα αλλά ούτε και απαγορευτική.





Εικόνα 2-6: Δομή ημιαγωγών [1]

Στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία χρησιμοποιούνται ημιαγωγοί με προσμίξεις. Οι ημιαγωγοί με προσμίξεις είναι ημιαγωγοί που μέσα στο κρυσταλλικό τους πλέγμα περιέχουν και άτομα από ένα επιλεγμένο διαφορετικό υλικό. Οι ημιαγωγοί χωρίζονται σε τύπου n και τύπου p. Οι ημιαγωγοί τύπου n εκτός από το καθαρό ημιαγωγό περιέχουν και άτομα άλλου υλικού μεγαλύτερου σθένους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η πρόσμειξη φωσφόρου στο πυρίτιο. Αντίθετα, στους ημιαγωγούς τύπου p εκτός από τον ημιαγωγό περιέχουν και άλλα άτομα μικρότερου σθένους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η πρόσμειξη στο βορίου στο πυρίτιο.



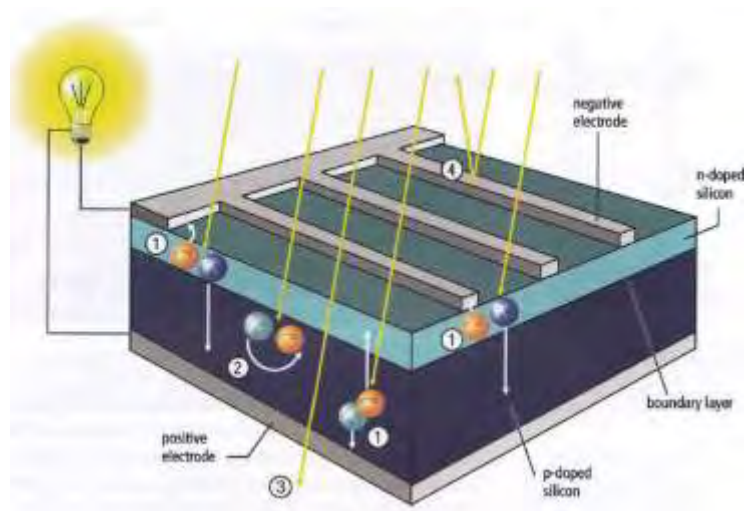
Εικόνα 2-7: Δομή ημιαγωγών με προσμίξεις [1]

Όταν έρθουν σε επαφή ένας ημιαγωγός τύπου p και ένας τύπου n, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τύπου n εισέρχονται στις οπές του τύπου p αφήνοντας πίσω τους οπές. Κατά αυτό τον τρόπο δημιουργούνται θετικά ιόντα στον ημιαγωγό τύπου n και αρνητικά στον τύπου p. Συνεπώς, δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού στην επαφή των δυο ημιαγωγών που εμποδίζει την επιπλέον διάχυση ηλεκτρονίων.



2.3.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Όταν μια επαφή δύο ημιαγωγών τύπου p και τύπου n εκτεθεί στην ηλιακή ακτινοβολία, τότε κάθε φωτόνιο με ενέργεια μεγαλύτερης ή ίσης του ενεργειακού διακένου μπορεί να σπάσει ένα χημικό δεσμό και να αφήσει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Συνεπώς, δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού στις δύο πλευρές της επαφής η οποία διατηρείται όσο και η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η διάταξη αυτή ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο και είναι πηγή ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο ονομάζεται φωτόρευμα και είναι ευθέως ανάλογο της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2).



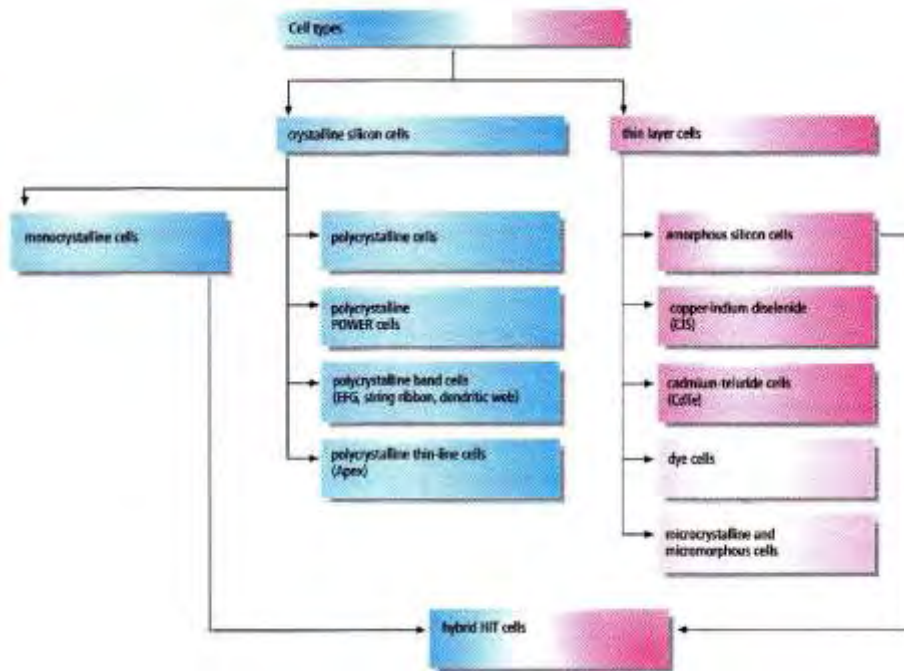
Εικόνα 2-8: Δομή φβ κυψέλης [1]

2.3.3 Τύποι φωτοβολταϊκών πλασίων

Ο σημαντικότερος ημιαγωγός που χρησιμοποιείται για την κατασκευή φβ πλασίων είναι το πυρίτιο το οποίο μετά το οξυγόνο είναι το δεύτερο σε αφθονία στοιχείο στη γη.

Οι δύο κυριότερες κατηγορίες ΦΒ στοιχείων είναι τα κρυσταλλικά και τα στοιχεία λεπτού υμενίου. Τα κρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία χωρίζονται σε μονοκρυσταλλικά (mono-si) και πολυκρυσταλλικά (poly-si). Ενώ στα στοιχεία λεπτού υμενίου περιλαμβάνονται τα στοιχεία άμορφου πυρίτιου (a-si), μικροάμορφου πυρίτιου (m-si), δισεληνιούχου χαλκού (CIS), τελλουριούχου καδμίου (CdTe) και οι ΦΒ βαφές. Μια τελευταία κατηγορία είναι τα υβριδικά στοιχεία που αποτελούνται από συνδυασμό των παραπάνω.





Εικόνα 2-9: Κατηγορίες ΦΒ πλασιών [1]

Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono-si)

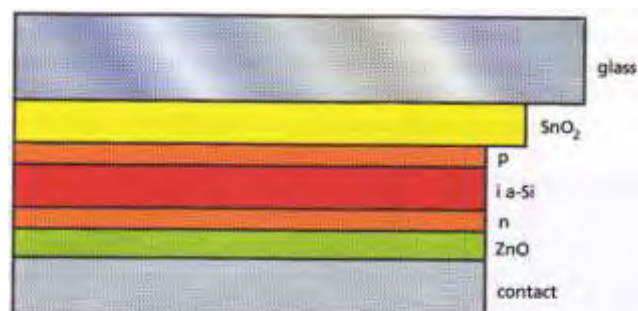
Οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν συνήθως απόδοση 15-18% και έχουν σχήμα τετράγωνο, κυκλικό και ημικυκλικό. Τα μεγέθη της κυψέλης είναι $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $12.5 \times 12.5 \text{ cm}^2$, $15 \times 15 \text{ cm}^2$ και έχουν πάχος 0.2 mm - 0.3 mm. Το χρώμα της κυψέλης είναι μαύρο ή σκούρο μπλε.

Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-si)

Οι κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου έχουν συνήθως 13-16% και έχουν σχήμα τετράγωνο σχήμα. Τα μεγέθη της κυψέλης είναι $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $12.5 \times 12.5 \text{ cm}^2$, $15 \times 15 \text{ cm}^2$, $15.6 \times 15.6 \text{ cm}^2$, $21 \times 21 \text{ cm}^2$, και έχουν πάχος 0.24-0.3mm. Το χρώμα της κυψέλης είναι μπλε.

Άμορφου πυριτίου (a-si)

Οι κυψέλες έχουν απόδοση 5-7% και οι τυπικές διαστάσεις του είναι $0,79 \times 2,44 \text{ m}^2$. Το πάχος τους είναι απο 1-3mm με περίπου 1μm επίχρισμα από τα οποία τα 0.3 μm είναι άμορφο πυρίτιο.

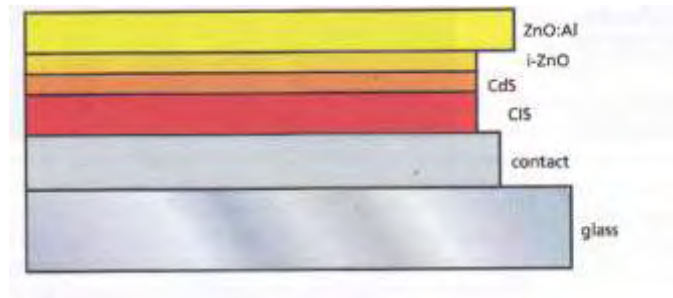


Εικόνα 2-10: Δόμη Φβ στοιχείων άμορφου πυριτίου a-si [1]

Δισεληνιούχου χαλκού (CIS)



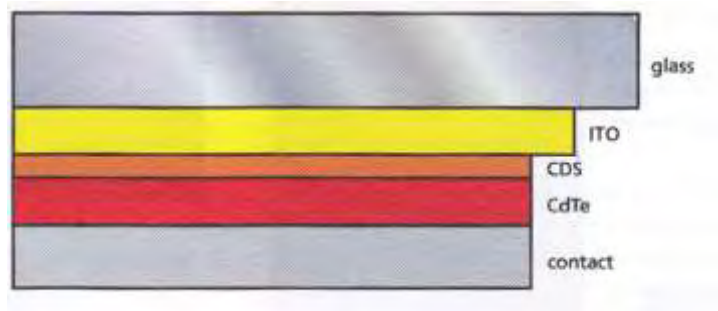
Η απόδοση τους συνήθως είναι 9-11% και οι διαστάσεις του πλαισίου είναι 1.2x0.6 m. Το πάχος τους είναι 2-4mm και το επίχρισμα τους είναι 3-4μm τα οποία τα 1-2μm είναι ο δισηληνιούχος χαλκός.



Εικόνα 2-11: Δομή φβ στοιχείων Δισεληνιούχου χαλκού (CIS) [1]

Τελλουριούχου καδμίου (CdTe)

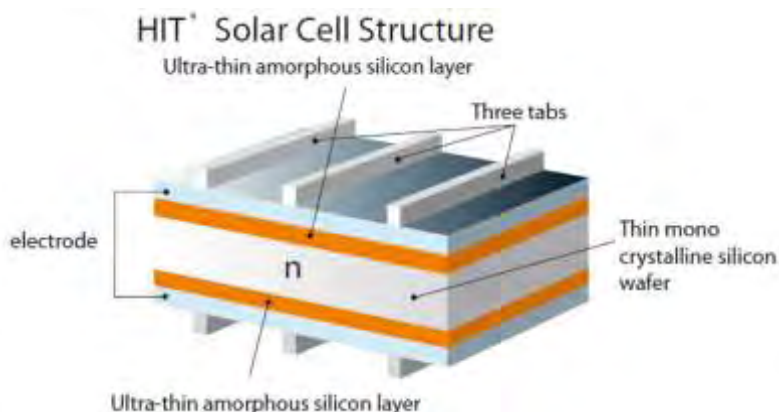
Η απόδοση τους είναι 7-8.5% και το τυπικό μέγεθος του πλαισίου είναι 1.2x0.6 και το πάχος τους 3mm.



Εικόνα 2-12: Δομή φβ στοιχείων Τελλουριούχου χαλκού [1]

Υβριδικά στοιχεία (HIT: heterojunction with intrinsic thin layer)

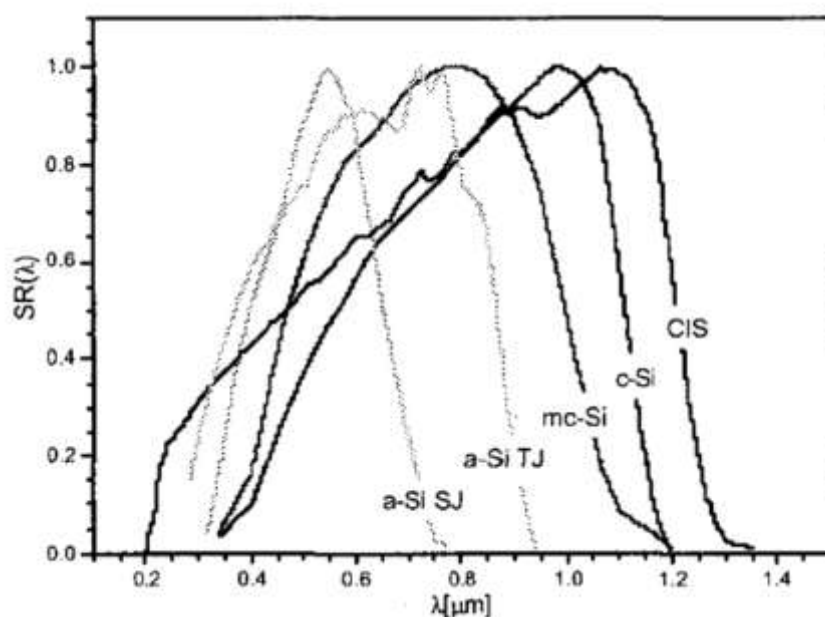
Τα υβριδικά φβ στοιχεία κατασκευάζονται αποκλειστικά από τη sanjo-ranasonic και είναι ένας συνδυασμός μονοκρυσταλλικών στοιχείων και άμορφου πυριτίου. Η τυπική απόδοση τους 18.5% και το σχήμα της κυψέλης είναι τετράγωνο με καμπύλες στις γωνίες. Το μέγεθος της κυψέλης είναι συνήθως 10.4x10.4cm και 12.5x12.5cm και το πάχος τους 2mm. Το χρώμα τους είναι σκούρο μπλε προς μαύρο.



Εικόνα 2-13: Δομή υβριδικών φβ στοιχείων [2]



Στην συνέχεια παρατίθεται ένα διάγραμμα με τις φασματικές αποκρίσεις κάποιων από το παραπάνω ΦΒ στοιχεία, όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε πως αποδίδουν τα στοιχεία στα διάφορα μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 2-14: Φασματικές αποκρίσεις διαφόρων φβ στοιχείων. Άμορφου πυριτίου, μικροκρυσταλλικού πυριτίου, Κρυσταλλικού πυριτίου, δισεληνιούχου χαλκού[3]

2.3.4 Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών πλαισίων

Τα χαρακτηριστικά ενός φβ πλαισίου είναι τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του, η απόκριση του στο ηλιακό φάσμα και η θερμοκρασιακή του συμπεριφορά. Για να είναι συγκρίσιμα τα χαρακτηριστικά των φβ όλα μετρούνται στις πρότυπες συνθήκες που έχουν θεσπιστεί (STC) και αφορούν σε:

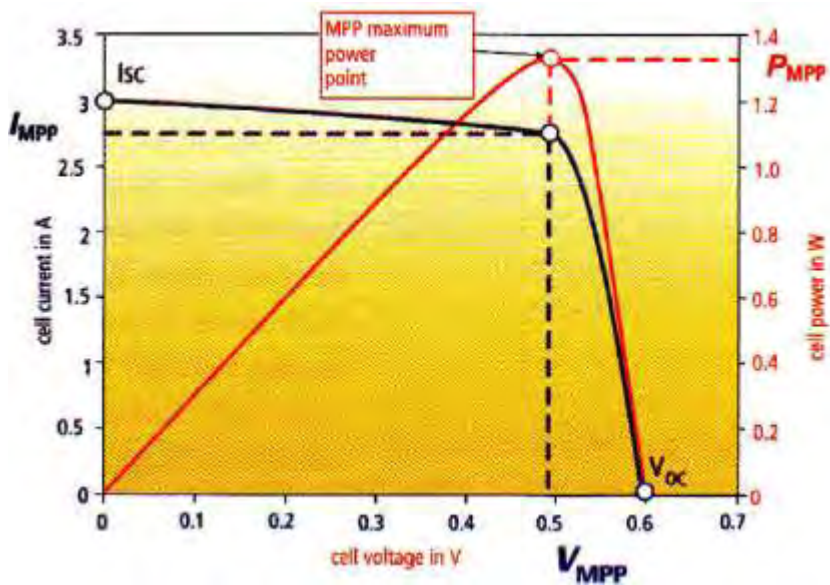
Προσπίπτουσα ακτινοβολία : $1000\text{W}/\text{m}^2$

Θερμοκρασία πλαισίου : 25°C

Ηλιακό φάσμα: AM1.5 σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60904-3

Τα κυριότερα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός ΦΒ πλαισίου είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης, τάση ανοικτού κυκλώματος, το μέγιστο ρεύμα και η μέγιστη τάση λειτουργίας και η ονομαστική του ισχύς.





Εικόνα 2-15: Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φβ κυψέλης. Χαρακτηριστική ρεύματος τάσης και καμπύλη ισχύος ρεύματος.[1]

Electrical Characteristics

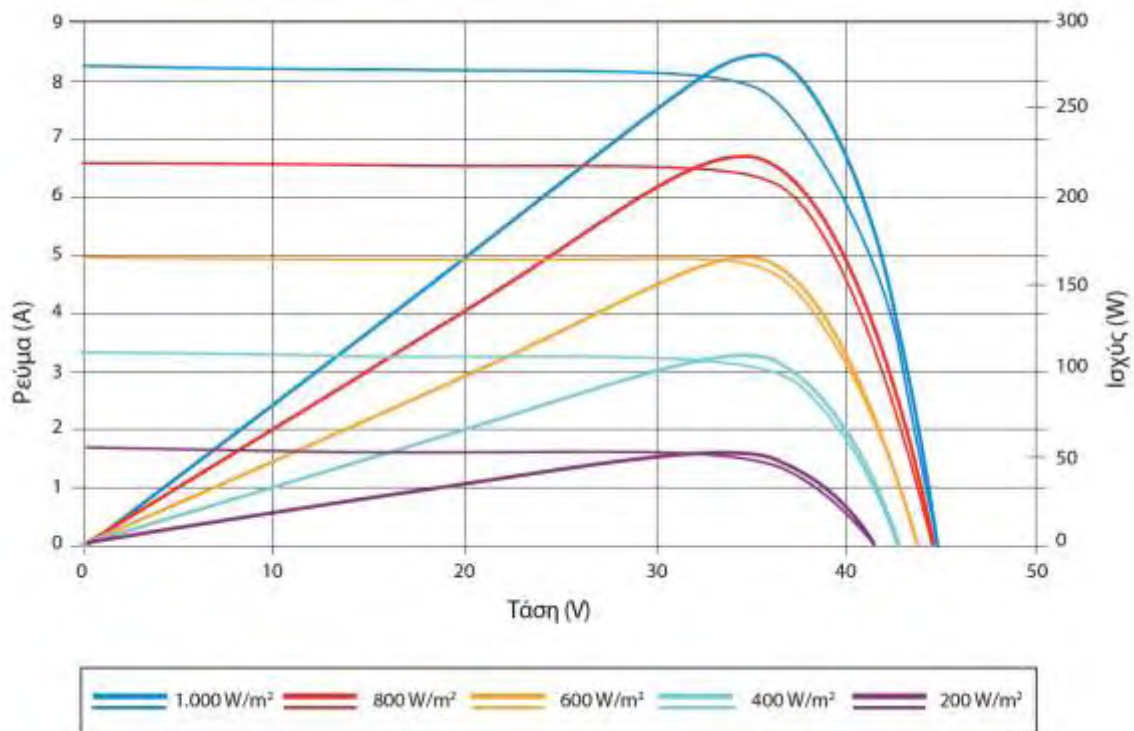
Characteristics	STP280-24/Vd	STP270-24/Vd	STP260-24/Vd
Open - Circuit Voltage (Voc)	44.8V	44.5V	44V
Optimum Operating Voltage (Vmp)	35.2V	35V	34.8V
Short - Circuit Current (Isc)	8.33A	8.2A	8.09A
Optimum Operating Current (Imp)	7.95A	7.71A	7.47A
Maximum Power at STC (Pmax)	280Wp	270Wp	260Wp
Operating Temperature	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC	1000V DC	1000V DC
Maximum Series Fuse Rating	20A	20A	20A
Power Tolerance	±3 %	±3 %	±3 %

STC: Irradiance 1000W/m², Module temperature 25°C, AM=1.5

Εικόνα 2-16: Παράδειγμα ηλεκτρικών χαρακτηριστικών ΦΒ κυψέλης όπως αυτά δίνονται από το κατασκευαστή [4].

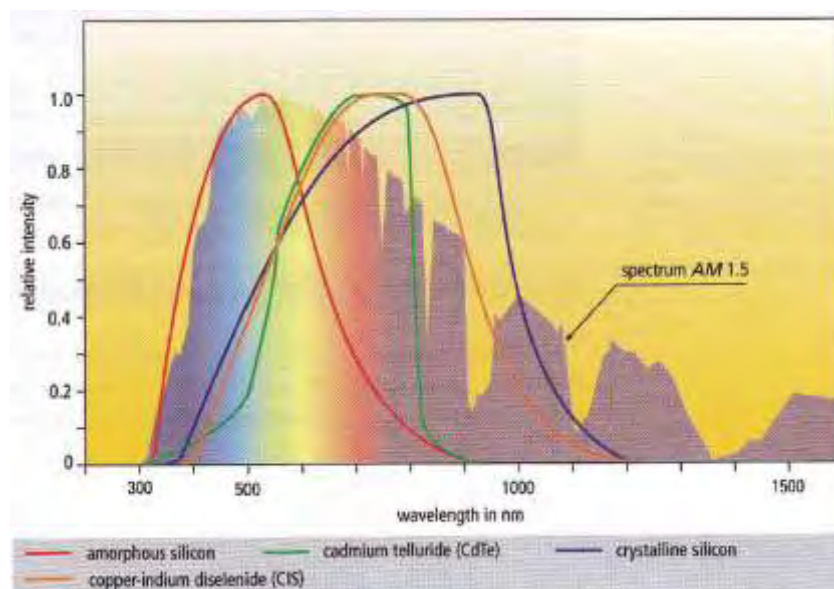
Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός ΦΒ πλαισίου είναι η συμπεριφορά του σε διάφορες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο συνήθως δίνεται από το κατασκευαστή του. Παρακάτω απεικονίζεται η συμπεριφορά ενός ΦΒ πλαισίου της εταιρείας suntech.





Εικόνα 2-17: Καμπύλη λειτουργίας του ΦΒ πλαισίου της εταιρείας Suntech ισχύος 280W(STP-280-24/Vd) (2011). Η καμπύλη δίνεται για διαφορετικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας[4].

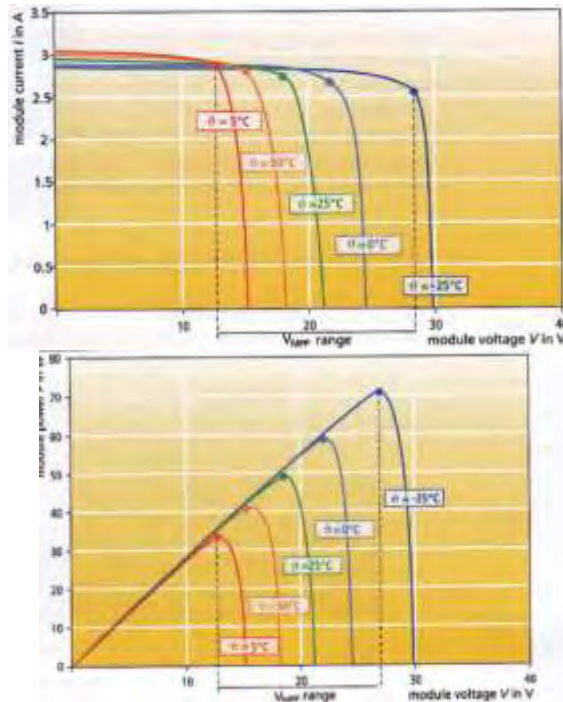
Ένας άλλος σημαντικός χαρακτηριστικό ενός ΦΒ πλαισίου είναι η φασματική του απόκριση στο ηλιακό φάσμα. Η φασματική απόκριση καθορίζεται από το υλικό και τη τεχνολογία της κατασκευής του.



Εικόνα 2-18: φασματική απόκριση διαφόρων φβ πλαισίων[1]

Το τελευταίο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός φβ πλαισίου είναι θερμοκρασιακή του συμπεριφορά. Η αύξηση της θερμοκρασίας του φβ κελιού επηρεάζει αρνητικά τη τάση λειτουργίας του και συνεπώς τη ισχύ του. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται πως επιδρά η θερμοκρασία στη καμπύλη λειτουργίας του φβ πλαισίου.





Εικόνα 2-19 Επίδραση θερμοκρασίας στη χαρακτηριστική I-V ενός ΦΒ στοιχείου[1]

2.4 Συστήματα στήριξης Φωτοβολταϊκών πλαισίων

Η στήριξη των φβ πλαισίων γίνεται συνήθως σε βάσεις αλουμινίου ή γαλβανισμένου σιδήρου και είναι είτε σταθερές είτε κινούμενες.

2.4.1 Σταθερά συστήματα στήριξης

Τα σταθερά συστήματα θεμελιώνονται σε βάσεις από σπλισμένο σκυρόδεμα, σε πασσάλους γαλβανισμένου σιδήρου ή σε βιδωτά θεμέλια. Τα δύο κυριότερα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την απόδοση των σταθερών συστημάτων είναι η κλίση τους και η αζιμούθια γωνία. Οι ιδανικές τιμές για τις δύο γωνίες είναι συνάρτηση της τοποθεσίας της εγκατάστασης. Η γωνία της κλίσης είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους και έτσι η βελτιστοποίηση της σχετίζεται με την τοποθεσία. Η βέλτιστη αζιμούθια γωνία για το βόρειο ημισφαίριο είναι μηδενική(νότιος προσανατολισμός) ενώ για το νότιο είναι 180 μοίρες (βόρειος προσανατολισμός). Σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων που δεν είναι εφικτή η τοποθέτηση του βέλτιστου προσανατολισμού τοποθετείται η εγκατάσταση με κάποιες απώλειες και σε άλλη γωνία κλίσης

2.4.1 Κινούμενα συστήματα στήριξης

Τα κινούμενα συστήματα στήριξης έχουν τη δυνατότητα να κινούνται σε ένα ή σε δύο άξονες. Τα συστήματα μονού άξονα μπορεί να κινούνται ως προ της αζιμούθια γωνία ή ως προς τη γωνία της κλίσης φβ πλαισίων. Τα πρώτα ουσιαστικά ακολουθούν τη τροχιά του ήλιου στη διάρκεια της ημέρας και επιτυγχάνουν αποδόσεις έως και 25% της παραγόμενης ενέργειας ενός σταθερού συστήματος στην ίδια τοποθεσία. Τα δεύτερα απλώς βελτιστοποιούν τη γωνία κλίσης κάποιες φορές το χρόνο.

Ωστόσο, μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνουν τα συστήματα δύο αξόνων δηλαδή κίνηση ως προς τη αζιμούθια γωνία και τη γωνία κλίσης. Ουσιαστικά αποτελούν συνδυασμό των συστημάτων μονού άξονα και επιτυγχάνουν αποδόσεις σιφωναί με του κατασκευαστές τους μέχρι και 40%.

Ο έλεγχος της κίνησης των κινούμενων συστημάτων γίνεται είτε με χρήση αστρονομικού αλγόριθμου που δίνει κάθε ώρα και ημέρα τη κίνηση του ήλιου και συνεπώς οδηγούν τις φβ συστοιχίες να



κινηθούν σύμφωνα με αυτή. Ωστόσο, υπάρχουν και συστήματα που διαθέτουν αισθητήρια συστήματα τα οποία λαμβάνοντας συνεχώς την ηλιακή ακτινοβολία εντοπίζουν τη βέλτιστη θέση που πρέπει να έχει η φβ συστοιχία και διορθώνουν συνεχώς τη θέση τους. Τα συστήματα που διαθέτουν αισθητήρια μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερες αποδόσεις διότι σε ημέρες με μεγάλη νέφωση μπορούν να στραφούν κατάλληλα και να αξιοποιήσουν καλύτερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Στη συνέχεια παρατίθεται ένα διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται η επιπλέον ενέργεια που παράγεται από διάφορους τύπους συστημάτων στήριξης. Συγκεκριμένα, πρόκειται για 7 διαφορετικούς τύπους συστημάτων.

FY: Σταθερό σύστημα με κλίση η οποία είναι βέλτιστη για όλη τη διάρκεια του χρόνου.

FS: Σταθερό σύστημα με κλίση η οποία είναι βέλτιστη σε μια εποχή του χρόνου.

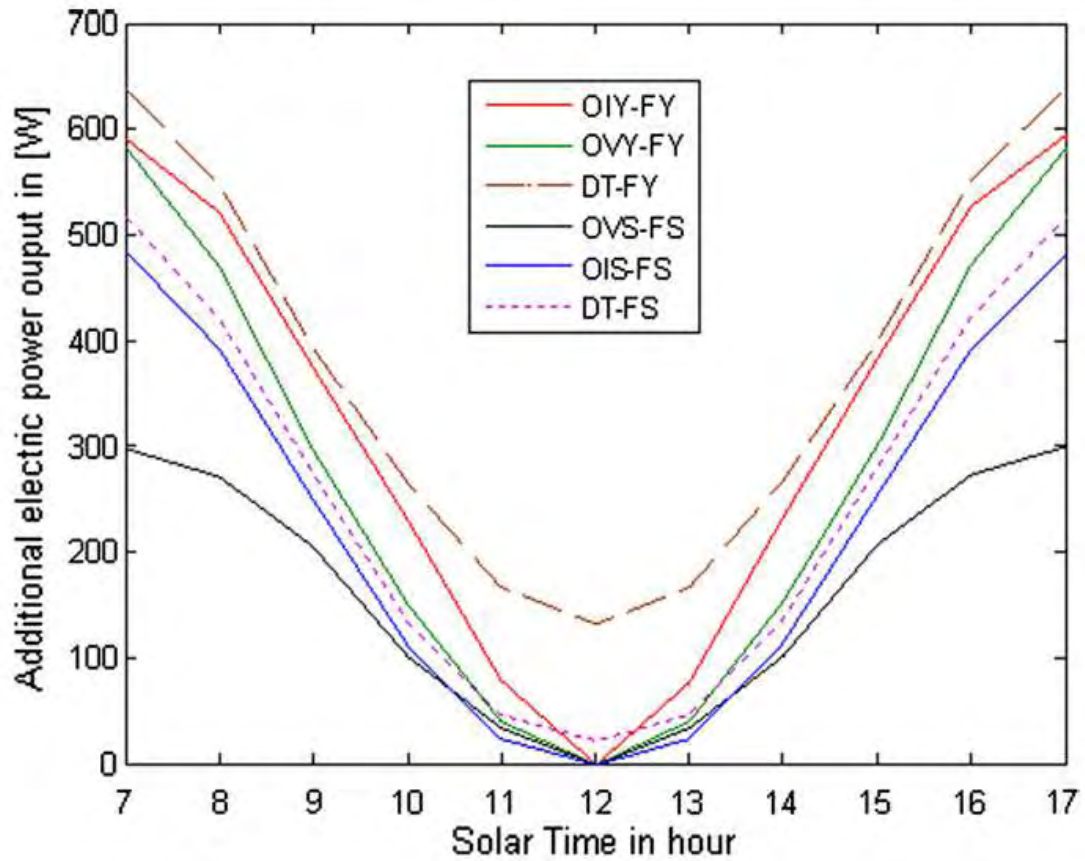
OVY: Κινούμενο σύστημα μονού κάθετου άξονα, στο οποίο η κλίση του πλαισίου είναι βέλτιστη για όλη τη διάρκεια του χρόνου.

OVS: Κινούμενο σύστημα μονού κάθετου άξονα, στον οποίο η κλίση του πλαισίου είναι βέλτιστη για συγκεκριμένη εποχή.

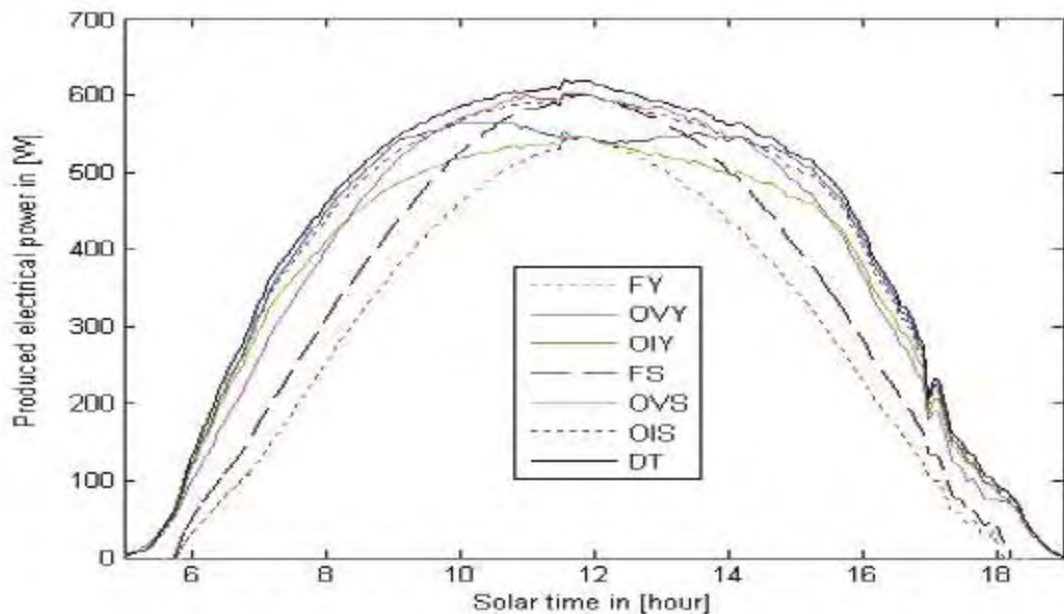
OIY: Κινούμενο σύστημα μονού επικλινή άξονα, στο οποίο η κλίση του πλαισίου είναι βέλτιστη για όλη τη διάρκεια του χρόνου.

OVS: Κινούμενο σύστημα μονού επικλινή άξονα, στο οποίο η κλίση του πλαισίου είναι βέλτιστη για συγκεκριμένη εποχή.





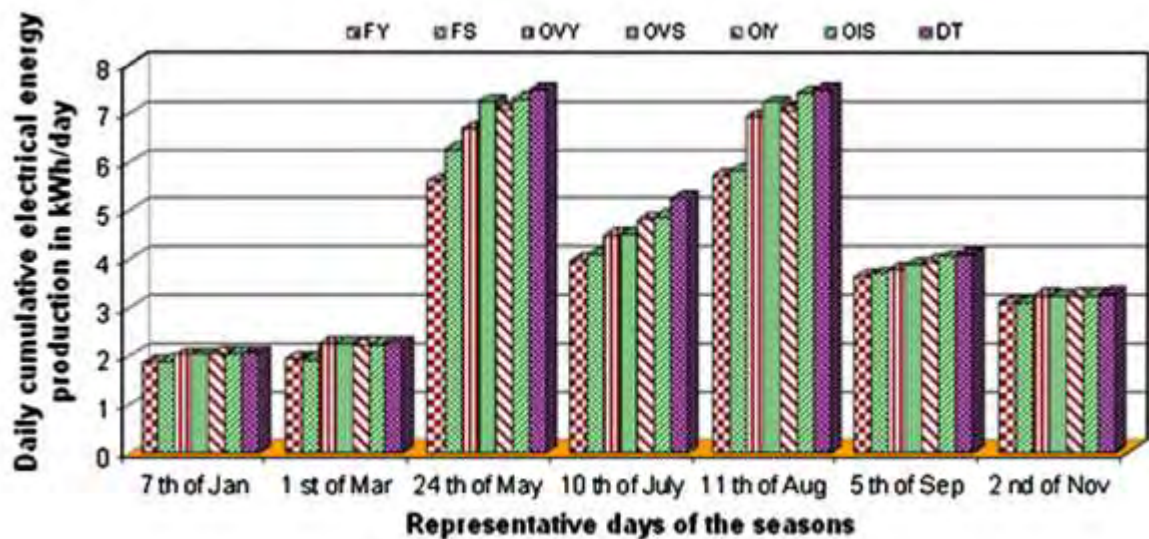
Εικόνα 2-20: Στο σχήμα απεικονίζεται η σύγκριση διαφόρων συστημάτων που περιγράφηκαν παραπάνω. Υπάρχουν 6 συγκρίσεις και παρατηρείται πόση είναι η επιπλέον παραγόμενη ενέργεια του ενός συστήματος από το άλλο στη διάρκεια της 17^{ης} Ιουλίου 2001.[5]



Εικόνα 2-21: Παραγωγή ενέργειας στη διάρκεια μιας ημέρας από τα διαφορετικά συστήματα στήριξης[6]



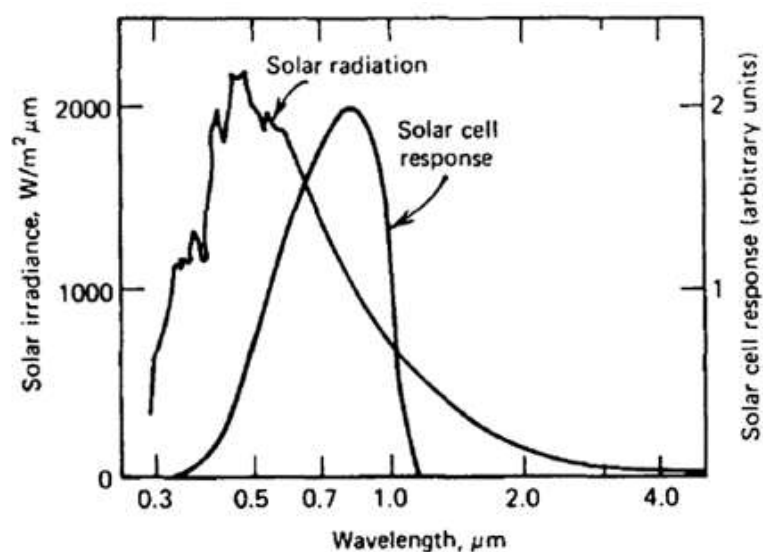
Η απόδοση των κινητών συστημάτων είναι σημαντική τις ημέρες που δεν υπάρχει καθόλου νέφωση, ενώ τις ημέρες που η νέφωση διαρκεί όλη την μέρα η απόδοση κινητών και σταθερών συστημάτων είναι στα ίδια σχεδόν επίπεδα.[6]



Εικόνα 2-22: Στο σχήμα απεικονίζεται η παραγόμενη ενέργεια 7 αντιπροσωπευτικών ημερών του έτους διαφόρων συστημάτων που περιγράφηκαν παραπάνω.[5]

2.5 Ημερήσια και εποχιακή διακύμανση του φάσματος ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γής

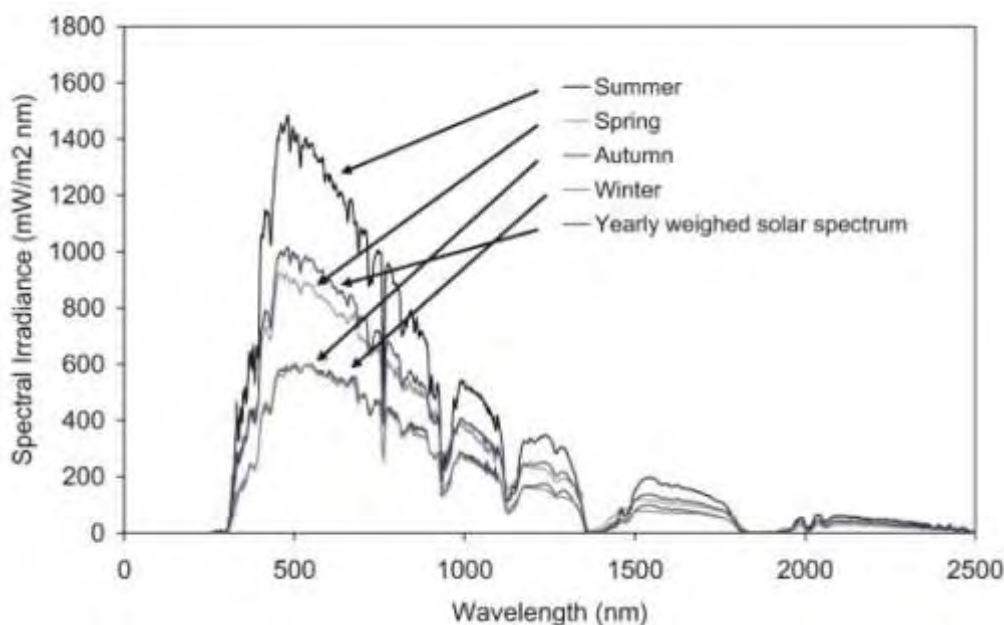
Όπως έχει παρατηρηθεί στην πράξη αλλά και από τους ερευνητές, το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γής σε συγκεκριμένη τοποθεσία (Γ.Π και Γ.Μ.) μεταβάλλεται αρκετά από την ενδεικτική μορφή της Εικόνας 2-18, ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους.



Εικόνα 2-23: Φασματική κατανομή της εξωγήινης ηλιακής ακτινοβολίας, και φασματική απόκριση μιας ηλιακής κυψέλης πυριτίου [7]



Από την άλλη μεριά, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2-23, ατή η μεταβολή αλληλεπιδρά με την καμπύλη φασματικής απόκρισης του Φ/Β στοιχείου.



Εικόνα 2-24:Φασματική κατανομή του ηλιακού φάσματος για κάθε εποχή του έτους[8]

Έτσι στην Εικόνα 2-24 φαίνεται μια τυπική εποχιακή διακύμανση της φασματικής κατανομής της προπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε μια τοποθεσία. Όμως η κατάσταση είναι σημαντικά πιο πολύπλοκη απ' ότi φαίνεται στην Εικόνα, αφού αυτή συγκρίνει συνθήκες clear sky και η κατάσταση μπορεί να διαφοροποιηθεί αρκετά όταν υπάρχει νέφωση αλλά και σωματίδια στον ουρανό.

2.5 Απόδοση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων διασυνδεδεμένα με το δίκτυο

Η απόδοση των ΦΒ συστημάτων που είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Ο σημαντικότερος παράγοντας είναι η τοποθεσία του συστήματος ωστόσο είναι ένας παράγοντας ο οποίος δεν επιδέχεται βελτιώσεις. Στη συνέχεια θα αναλυθούν μια σειρά από παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση μια φβ εγκατάστασης.

2.5.1 Κλίση – Προσανατολισμός

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φβ συστημάτων είναι η κλίση και ο προσανατολισμός του φβ πλαισίου ανάλογα με την τοποθεσία της εγκατάστασης. Στη συνέχεια παρατίθεται ένας πίνακας που δείχνει των συνδυασμό4 προσανατολισμών και 6 κλίσεων και πως μεταβάλλεται σ αυτές η απόδοση ενός ΦΒ συστήματος.

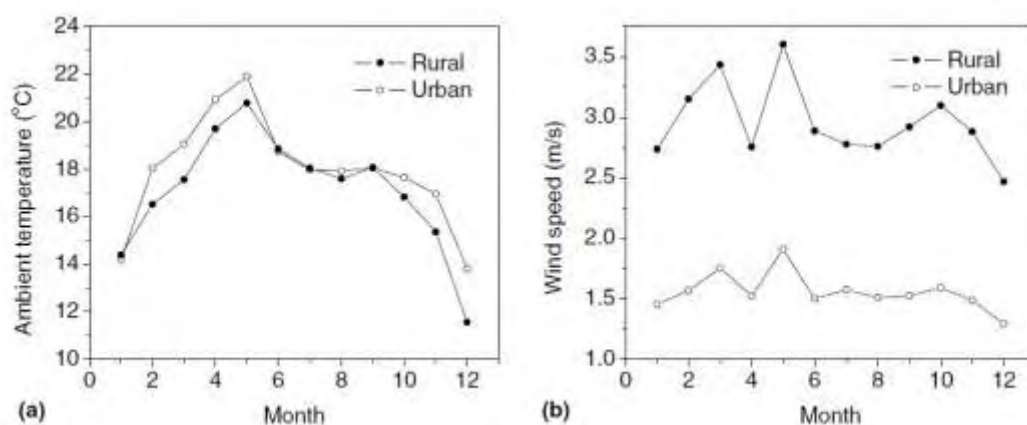


	Flat	4:12	7:12	12:12	21:12	Vertical
South	0.89	0.97	1.00	0.97	0.89	0.58
SSE,SSW	0.89	0.97	0.99	0.96	0.88	0.59
SE, SW	0.89	0.95	0.96	0.93	0.85	0.60
ESE,WSW	0.89	0.92	0.91	0.87	0.79	0.57
E, W	0.89	0.88	0.84	0.78	0.70	0.52

Εικόνα 2-25:Επίδραση της κλίσης και του προσανατολισμού στην απόδοση ενός ΦΒ συστήματος [9]

2.5.2 Χαρακτηριστικά του Χώρου εγκατάστασης - Σκιάσεις

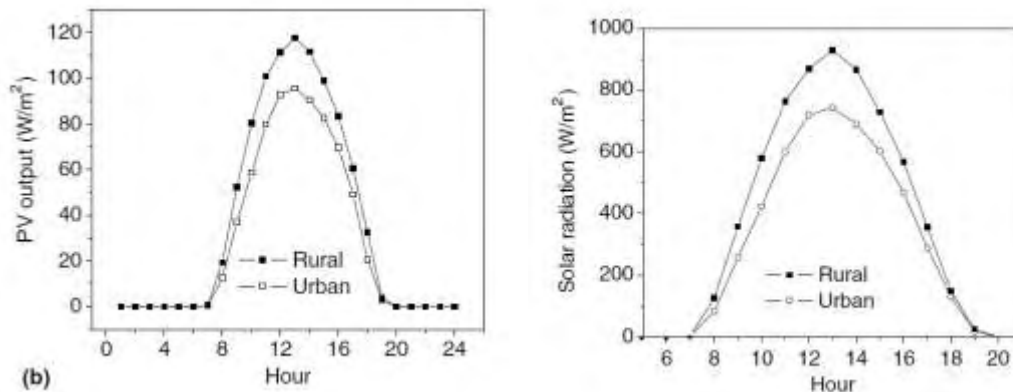
Καθοριστικό ρόλο στην απόδοση μιας ΦΒ εγκατάστασης διαδραματίζει το μικροκλίμα της περιοχής εγκατάστασης. Συγκεκριμένα, υπάρχουν σημαντικές διαφορές σε συστήματα που εγκαθίστανται σε αστικό περιβάλλον και σε αυτά που εγκαθίστανται στην ύπαιθρο. Στα συστήματα που εγκαθίστανται σε αστικό περιβάλλον παρατηρούνται μεγαλύτερες θερμοκρασίες αλλά και αυξημένη ρύπανσηκάτι που σημαίνει μείωση της απόδοσης των συστημάτων. [10]



Εικόνα 2-26: Θερμοκρασία περιβάλλοντος και ταχύτητα ανέμου σε αστικό και υπαίθριο περιβάλλον στη διάρκεια του έτους. Παρατηρείται σημαντικά μεγαλύτερη θερμοκρασία σε κάποιες εποχές τους έτους και σημαντικά μικρότερη ταχύτητα ανέμου.[10]

Εκτός των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος τη θερμοκρασία των φβ πλαισίων επηρεάζει και ο αέρας της περιοχής καθώς μπορεί να βοηθήσει στην απαγωγή θερμότητας από τα φβ πλαίσια. Παρατηρείται πως στις υπαίθριες περιοχές υπάρχουν σημαντικότερες ποσότητες αέρα από τις αστικές. Κάτι που επηρεάζει θετικά τις αποδόσεις των συστημάτων που εγκαθίστανται στην ύπαιθρο. Επίσης, έχουν παρατηρηθεί χαμηλότερες τιμές ακτινοβολίας σε αστικό περιβάλλον σε σχέση με την ύπαιθρο.

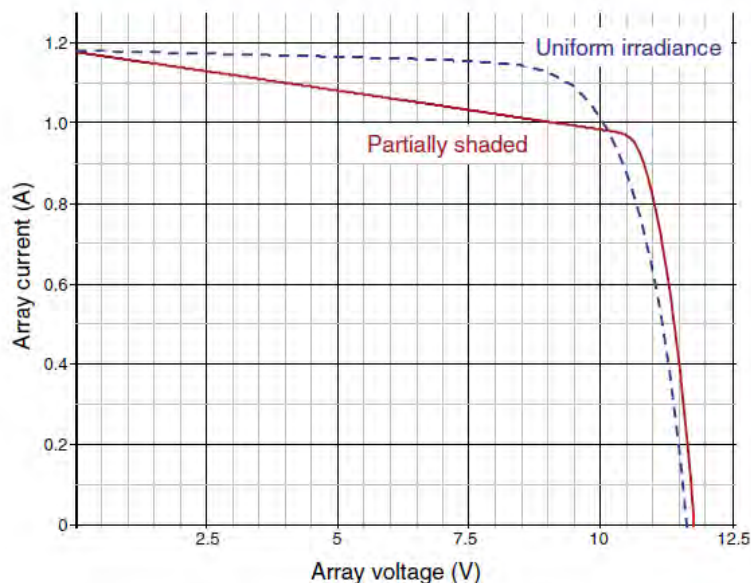




Εικόνα 2-27: Ηλιακή ακτινοβολία και ισχύς εξόδου φβ συστήματος μια μέρα του Μάρτιου σε αστικό και υπαίθριο περιβάλλον.[10]

Εκτός των μετεωρολογικών παραγόντων που επηρεάζουν την απόδοση συστημάτων που εγκαθίστανται σε αστικά περιβάλλοντα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και οι σκιάσεις που είναι πιο πιθανές. Οι σκιάσεις μπορούν να αποτελέσουν αρνητικό παράγοντα τόσο στην απόδοση ενός συστήματος αλλά και στη διάρκεια ζωής του.

Επειδή, οι κυψέλες των πλαισίων είναι συνδεδεμένες σε σειρά ο σκιασμός της μιας επηρεάζει και τις υπόλοιπες και έτσι να μειωθεί σημαντικά η απόδοση της εγκατάστασης. Επίσης, αν ένα σημείο σκιάζεται πολλές ώρες μπορεί να προκαλεί τοπική αύξηση της θερμοκρασίας και να δημιουργήσει hot spot κάτι που οδηγεί σε συντομότερη γήρανση του φβ πλαισίου. Ο σκιασμός ουσιαστικά αλλάζει τη χαρακτηριστική καμπύλη του πλαισίου, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, έτσι αυτό μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη λειτουργία του mppt tracker του inverter και να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση της εγκατάστασης.

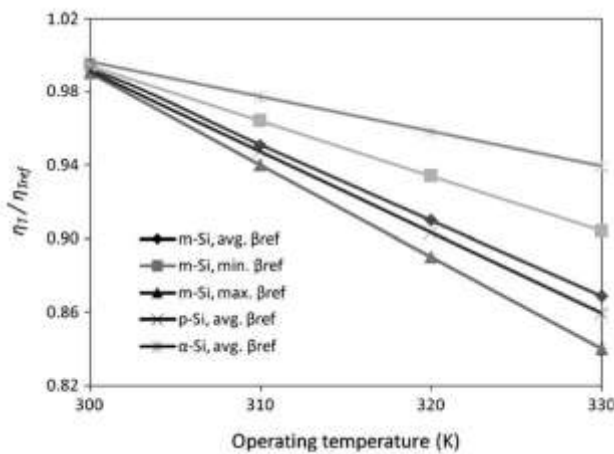


Εικόνα 2-28: Επίδραση μερικής σκίασης στη I-V χαρακτηριστική του φβ πλαισίου.[11]

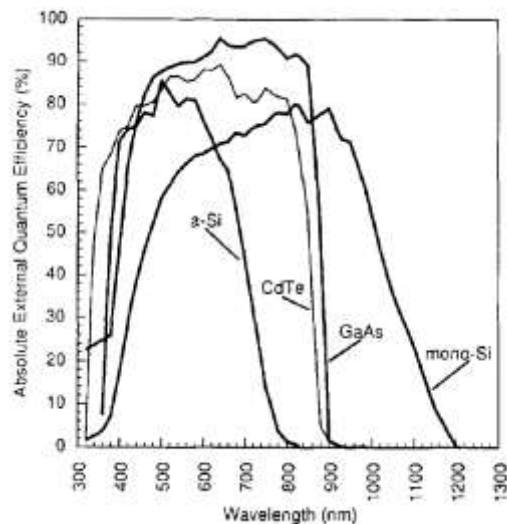


2.5.3 Χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ΦΒ πλαισίων

Σημαντικός παράγοντας στην απόδοση μιας ΦΒ εγκατάστασης είναι η επιλογή του τύπου των φβ πλαισίων που χρησιμοποιηθεί. Κάθε τύπος φβ πλαισίου έχει μια φασματική απόκριση και ένα θερμοκρασιακό συντελεστή τα οποία επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση της εγκατάστασης. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται πως επηρεάζεται η απόδοση των φβ πλαισίων όσο αφορά τη θερμοκρασία ανάλογα με τον τύπο τους. Παρατηρείται, πως καλύτερη συμπεριφορά έχουν τα στοιχεία άμορφου πυριτίου, στην συνέχεια τα μικροάμορφα στοιχεία και μετά ακολουθούν τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία. Συνεπώς, σε περιοχές με ιδιαίτερα θερμά κλίματα θα ήταν καλύτερη επιλογή η χρήση στοιχείων άμορφου πυριτίου.



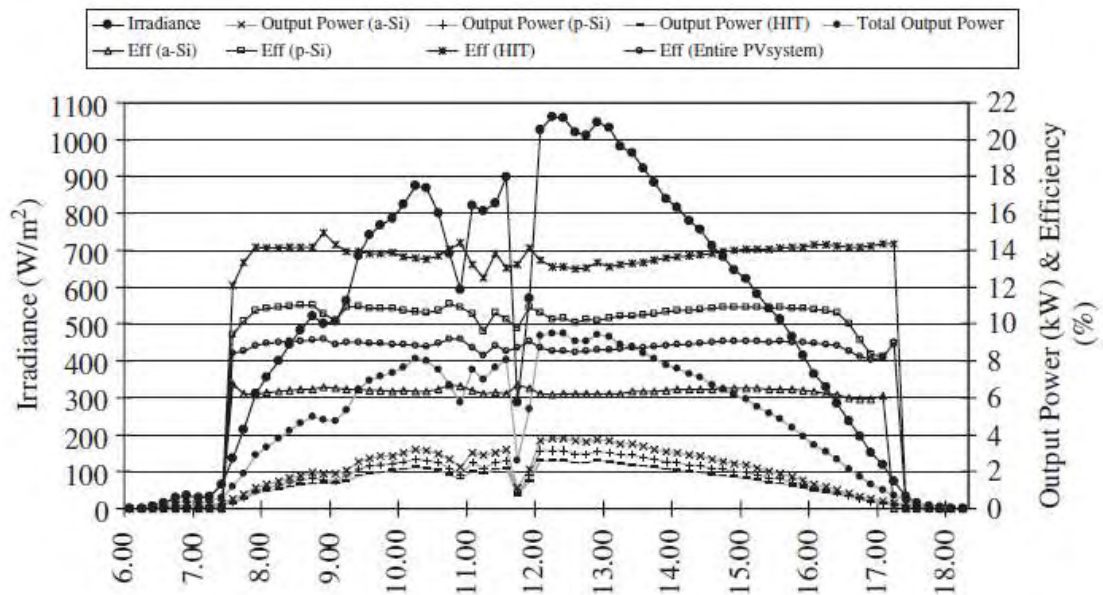
Εικόνα 2-29: Επίδραση θερμοκρασίας στην απόδοση των ΦΒ πλαισίων για διάφορους τύπους φβ στοιχείων.[12]



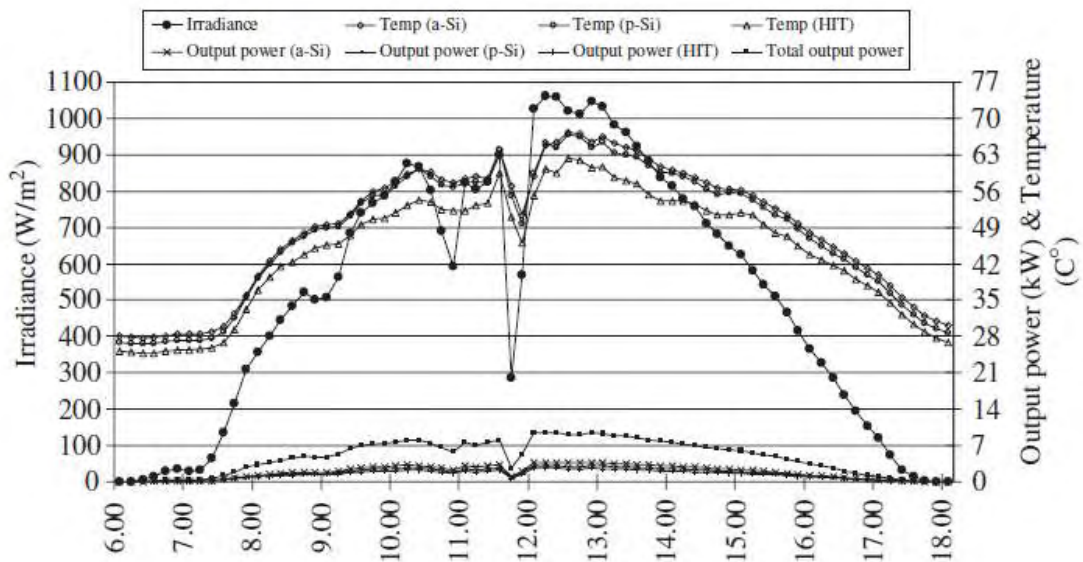
Εικόνα 2-30: Φασματική απόκριση φβ στοιχείων α-si, CdTe, GaAs. mono-si [13]



Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι μετρήσεις θερμοκρασίας, ισχύος ακτινοβολίας για ένα σύστημα 10kWp που χρησιμοποιεί 3 διαφορετικούς τύπους ΦΒ στοιχείων άμορφου πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου και υβριδικού τύπου.



Εικόνα 2-31 Απόδοση, ισχύς, ηλιακή ακτινοβολία σε ΦΒ σύστημα που αποτελείται από ΦΒ στοιχεία άμορφου πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου και υβριδικού τύπου [14]



Εικόνα 2-32 Θερμοκρασία, ισχύς, ηλιακή ακτινοβολία σε ΦΒ σύστημα που αποτελείται από ΦΒ στοιχεία άμορφου πυριτίου, πολυκρυσταλλικού πυριτίου και υβριδικού τύπου [14]

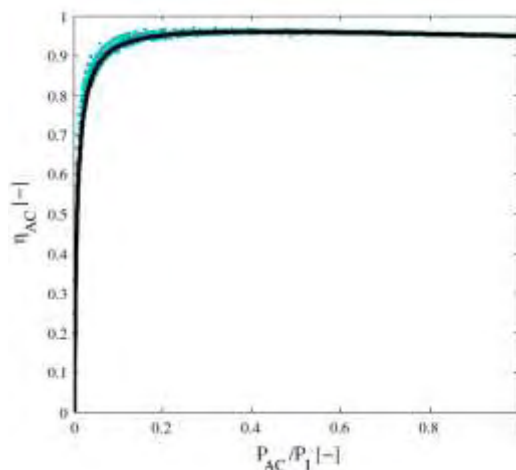
Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι πρώτα σε απόδοση ήταν τα στοιχεία του άμορφου πυριτίου, στη συνέχεια τα υβριδικού τύπου και τέλος τα πολυκρυσταλλικά. Επίσης, παρατηρήθηκε πως οι



θερμοκρασίες των πλαισίων ήταν ίδιες για άμορφα και πολυκρυσταλλικά και μικρότερες για τα υβριδικά. [14]

2.5.4 Διαστασιολόγηση εγκατάστασης

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην απόδοση μιας φβ εγκατάστασης παίζει η διαστασιολόγηση της. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να γίνει με προσοχή η επιλογή του inverter και το μέγεθος του. Στη συνέχεια, παρατίθεται μια τυπική καμπύλη της απόδοσης του inverter με την φόρτιση του.

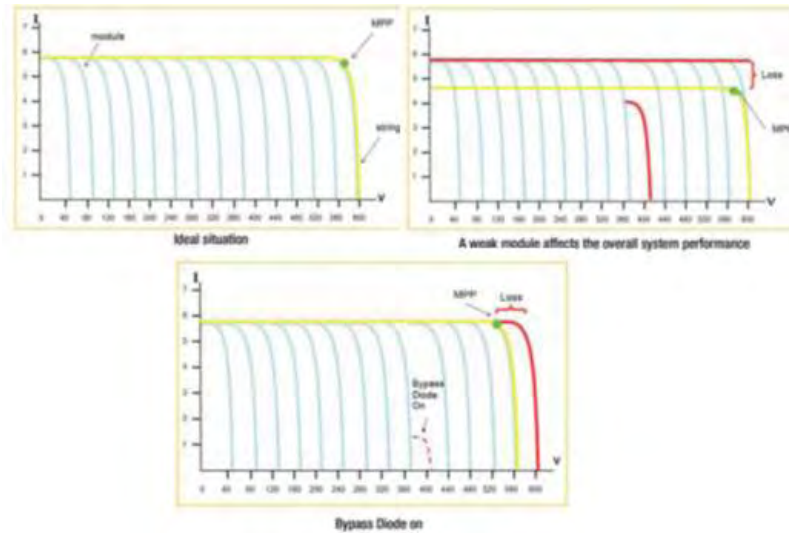


Εικόνα 2-33 Τυπική Καμπύλη απόδοσης Inverter σε συνάρτηση με το φορτίο εισόδου [15]

Σύμφωνα, με την καμπύλη και τις κλιματολογικές συνθήκες θα πρέπει να επιλεγθεί το μέγεθος του Inverter ώστε στη διάρκεια του έτους να επιτευχθεί μέγιστη απόδοση. Πολλές φορές εξαιτίας του επίπεδου ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας της περιοχής κρίνεται σκόπιμο μια μικρή υποδιαστασιολόγηση ή υπερδιαστασιολόγηση της ισχύος του inverter.

Κατά τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ανομοιομορφία των φβ πλαισίων που συνδέονται σε σειρά καθώς μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες μέχρι και 4% [16]. Για να βελτιωθεί το πρόβλημα της ανομοιομορφίας είναι δυνατό να γίνει ταξινόμηση των φβ στοιχείων με βάση το ρεύμα τους και κατά τη σύνδεση του σε στοιχειοσειρές να ομαδοποιηθούν με βάση την ταξινόμηση, ώστε να συνδέονται σε σειρά φβ πλαίσια που έχουν τις μικρότερες δυνατές αποκλίσεις στα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια παρατίθεται ένα διάγραμμα όπου φαίνεται πως θα συμπεριφερθεί η απόδοση μια ολόκληρης στοιχειοσειράς όταν ένα φβ πλαίσιο που είναι συνδεδεμένο σε αυτή θα επηρεάσει την απόδοση της είτε παρέμβει η δίοδος παράκαμψης του πλαισίου είτε όχι. Η προβληματική λειτουργία του πλαισίου μπορεί να οφείλεται σε σκίαση ή σε ελαττωματικό ή γερασμένο πλαίσιο.



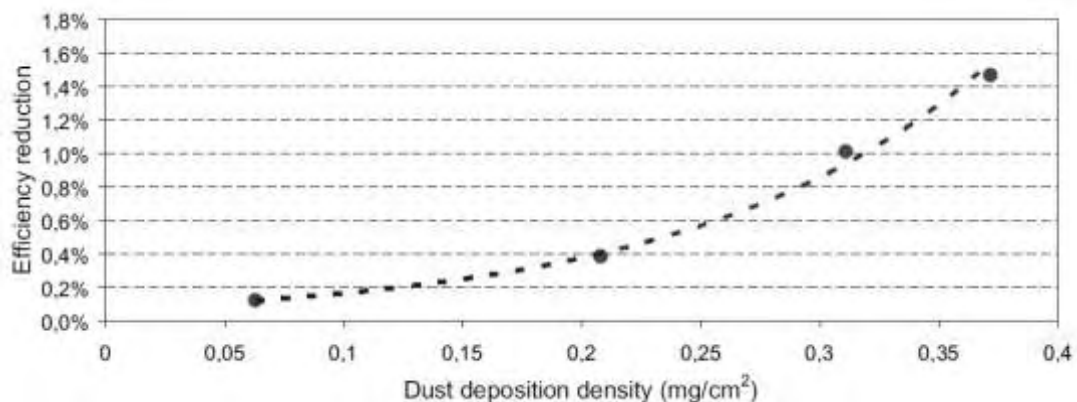


Εικόνα 2-34: Συμπεριφορά φβ στοιχειοσειράς όταν υπολειτουργεί ένα απ τα συνδεδεμένα πλαίσια.[17]

Το τελευταίο σημαντικό κομμάτι της διαστασιολόγησης περιλαμβάνει τη σωστή διαστασιολόγηση των καλωδίων σύνδεσης ώστε να υπάρχει πτώση τάσης μέχρι 1% ώστε να μην υπάρχουν σημαντικές ωμικές απώλειες .

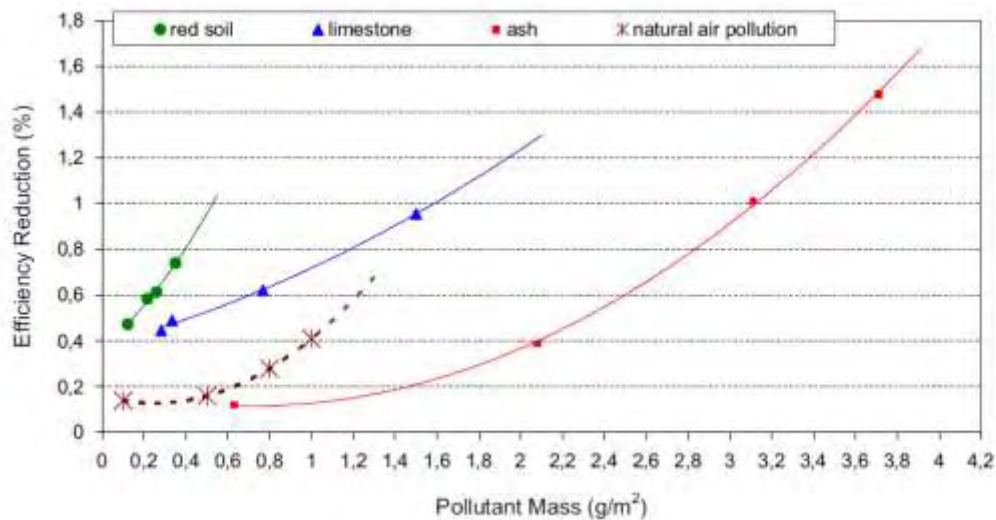
2.5.5 Επίδραση της σκόνης και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη απόδοση μιας ΦΒ εγκατάστασης είναι καθαρότητα των φβ πλαισίων. Τα φβ πλαίσια τα όποια δε καθαρίζονται έχουν ένα ποσοστό απωλειών ανάλογα με τη πυκνότητα των σωματιδίων που έχουν επικαθίσει στην επιφάνεια τους από σωματίδια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και σκόνης. Ο συσχετισμός αυτός φαίνεται στα παρακάτω διάγραμματα.



Εικόνα 2-35: Επίδραση της σκόνης στη μείωση της απόδοσης[18]





Εικόνα 2-36: Επίδραση διαφόρων τύπων επικαθίσεων στην επιφάνεια των φβ πλαισίων στη μείωση της απόδοσης τους[19]

Έχει παρατηρηθεί πως η ετήσια μείωση στην απόδοση ενός συστήματος μπορεί να φτάσει μέχρι και 6,5% , σε πείραμα που έγινε στην Αθήνα σε εγκατάσταση 10KWp [20].

3. Τυπικές μετρητικές διατάξεις

Μια τυπική μετρητική διάταξη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο καλής λειτουργίας ενός Φωτοβολταϊκού πάρκου περιλαμβάνει έναν αισθητήρα μέτρησης της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας (irradiance), ένα αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ένα αισθητήρα μέτρησης της θερμοκρασίας των Φβ πλαισίων και ένα αισθητήρα μέτρησής της ταχύτητας του ανέμου. Εκτός των αισθητηρίων μέτρησης των κλιματικών δεδομένων απαιτούνται και κάποια όργανα μέτρησης ηλεκτρικών δεδομένων όπως ηλεκτρικές τάσεις, ηλεκτρικά ρεύματα και ισχύος. Συνήθως, σημαντικές πληροφορίες μπορούν να ληφθούν από τους inverter της εγκατάστασης.

3.1 Πρότυπες μετρητικές διατάξεις ΦΒ συστημάτων

Οι προδιαγραφές για τη διεξαγωγή μετρήσεων σε ΦΒ στοιχεία και ΦΒ εγκαταστάσεις δίνονται από τα παρακάτω πρότυπα [21] :

- IEC 60904-1 “Photovoltaic devices – Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics”
- IEC 61724 “Photovoltaic System Performance Monitoring – Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis”
- IEC 61829 “Crystalline Silicon Photovoltaic array – On-site Measurement of I-V Characteristics”



- ASTM E1036 “Standard Test Methods for Electrical Performance of Nonconcentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays Using Reference Cells”
- ASTM E2527 “Standard Test Method for Electrical Performance of Concentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Systems Under Natural Sunlight”
- ASTM WK22009 “Reporting Photovoltaic Non-Concentrator System Performance “ Sources of Uncertainty NREL’s Approach

Γενικές Πληροφορίες για τα παραπάνω πρότυπα [21]

IEC 60904-1

- Μέτρηση τάσης ανοικτού κυκλώματος (V_{oc}) και ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{sc}) με απόκλιση $\pm 0.2\%$.
- Η προς εξέταση συσκευή και αναφοράς να είναι ομοεπίπεδες με απόκλιση $\pm 2^\circ$ και η απόκλιση τους από την καθετότητα στον ήλιο να είναι $\pm 5^\circ$.
- Η θερμοκρασία της κυψέλης αναφοράς και της προς εξέταση συσκευής να μετρούνται με απόκλιση $\pm 1C^\circ$.
- Προαιρετικά η συσκευή μέτρησης της θερμοκρασίας καθορίζεται ισοδύναμη μέθοδο του προτύπου IEC60904-5.
- Απαιτείται διόρθωση του φασματικού σφάλματος αν δεν χρησιμοποιείται κατάλληλη κυψέλη αναφοράς.
- Αν η θερμοκρασία του κελιού αναφοράς είναι μεγαλύτερη από $2^\circ C$ από τη θερμοκρασία βαθμονόμησης απαιτούνται διορθώσεις.

ASTME1036

- Μέτρηση ρεύματος και τάσης με απόκλιση $\pm 0.1\%$ και διακριτική ικανότητα 0.05% για την τάση ανοικτού κυκλώματος
- Η προς εξέταση συσκευή και αναφοράς να είναι ομοεπίπεδες με απόκλιση $\pm 2^\circ$ και η απόκλιση τους από την καθαρότητα στον ήλιο να είναι $\pm 10^\circ$
- Η θερμοκρασία της κυψέλης αναφοράς και της προς εξέταση συσκευής να μετρούνται με απόκλιση $\pm 1C^\circ$ και διακριτική ικανότητα $0.1 C^\circ$.
- Απαιτείται διόρθωση του φασματικού σφάλματος
- Απαιτείται διόρθωση της θερμοκρασίας και της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας ένα θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη και $2 C^\circ$ από την θερμοκρασία αναφοράς ή πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας μεγαλύτερη από 5% της αναφοράς. Η διόρθωση γίνεται με τη χρήση διγραμμικής μεθόδου.
- Να ληφθεί ο μέσος όρος της ταχύτητας του αέρα για 5 λεπτά πριν τη μέτρηση.

IEC61724

Μετρήσεις που υποδεικνύονται απο το πρότυπο:

Μετεωρολογικές μετρήσεις

- ολική πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας
- θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Ταχύτητα ανέμου



Μετρήσεις στις Φβ συστοιχίες

- Τάση εξόδου
- Ρεύμα εξόδου
- Ισχύς
- Θερμοκρασία φβ πλαισίου
- Χαρακτηριστικά συστήματος στήριξης-κίνησης

Μετρήσεις Φορτίου

- Τάση , ρεύμα, ισχύς φορτίου

Σύστημα αποθήκευσης ενέργειας

- τάση λειτουργίας
- ρεύμα προς και από αποθήκευση
- ισχύς προς και από αποθήκευση

Δίκτυο

- τάση λειτουργίας
- ρεύμα κάθε φάσης (παραγωγής και κατανάλωσης)
- ισχύς παραγωγής και κατανάλωσης

Εναλλακτικές πηγές ενέργειας

- τάση εξόδου
- ρεύμα εξόδου
- ισχύς εξόδου

Προδιαγραφές μετρήσεων

Ηλιακή ακτινοβολία

- μέτρηση στο επίπεδο της συστοιχίας
- απόκλιση μετρητικών οργάνων <5%
- απαιτείται πυρανόμετρο και φβ κυψέλη αναφοράς

Θερμοκρασία περιβάλλοντος

- η συστοιχία που γίνεται η μέτρηση να είναι αντιπροσωπευτική της εγκατάστασης
- απόκλιση μετρητικών οργάνων <1°C

Ταχύτητα ανέμου

- Το ύψος και η τοποθεσία που πραγματοποιείται η μέτρηση να είναι αντιπροσωπευτική για την εγκατάσταση
- Η απόκλιση του μετρητικού εξοπλισμού να είναι <0.5m/sγια ταχύτητες <5m/s και 10% της ένδειξης σε ταχύτητες >5m/s

Θερμοκρασία ΦΒ κελίου



- Μέτρηση στην πίσω πλευρά του φβ πλαισίου σε ένα ή περισσότερα πλαίσια τα όποια είναι αντιπροσωπευτικά για την εγκατάσταση.
- Η απόκλιση των οργάνων πρέπει να είναι $<1^{\circ}\text{C}$
- Ενδεικτικό σημείο μέτρησης είναι στο κέντρο της πίσω επιφάνειας του πλαισίου και στο κέντρο της φβ συστοιχίας.

Τάση και ρεύμα

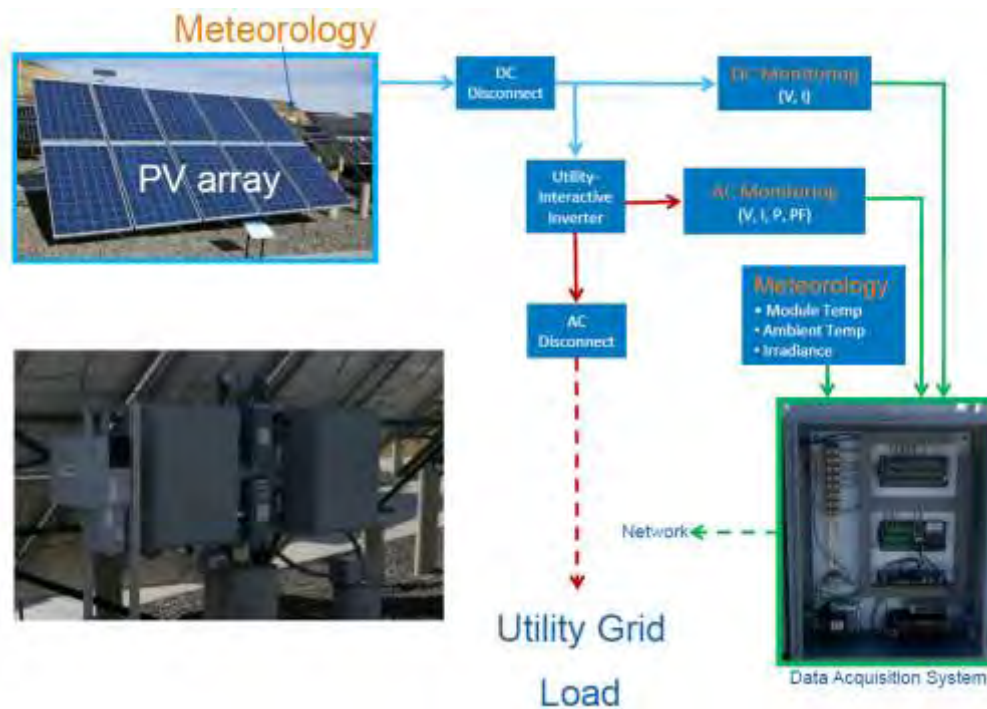
- Απαιτείται μέτρηση τόσο στο dc όσο και στο AC
- Η απόκλιση των οργάνων πρέπει να είναι $<1\%$

Ισχύς

- Η dc ισχύς πρέπει να βασίζεται σε στιγμιαίες μετρήσεις και όχι σε μέσους όρους των ενδείξεων
- Η ac ισχύς πρέπει να λαμβάνει υπόψη το συντελεστή ισχύος και την αρμονική παραμόρφωση
- Η απόκλιση των οργάνων πρέπει να είναι $<2\%$

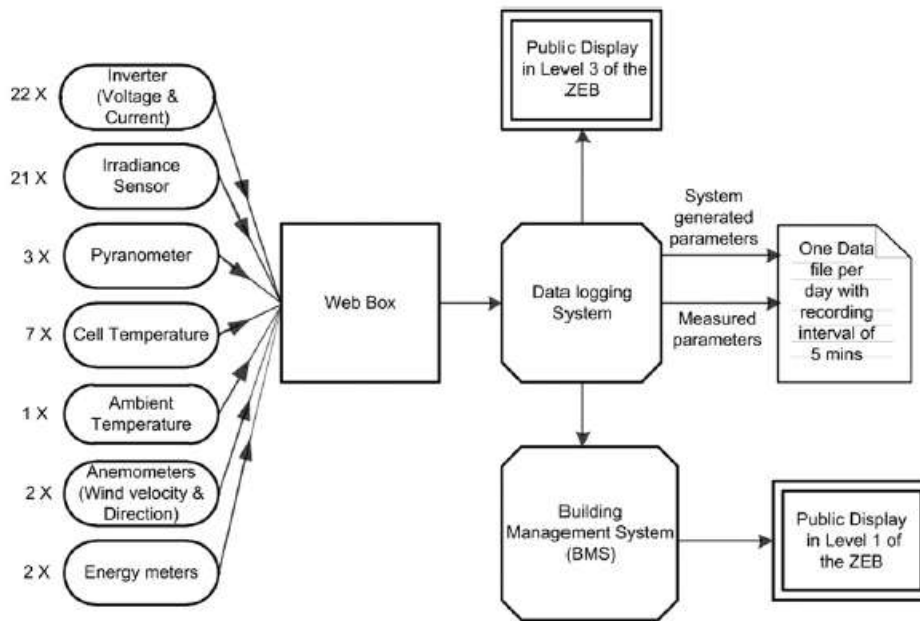
3.2 Παραδείγματα συστημάτων τηλεμετρίας

Στη συνέχεια παρουσιάζονται 3 διαφορετικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές και δείχνουν το μετρητικό εξοπλισμό και το σύστημα καταγραφής δεδομένων.

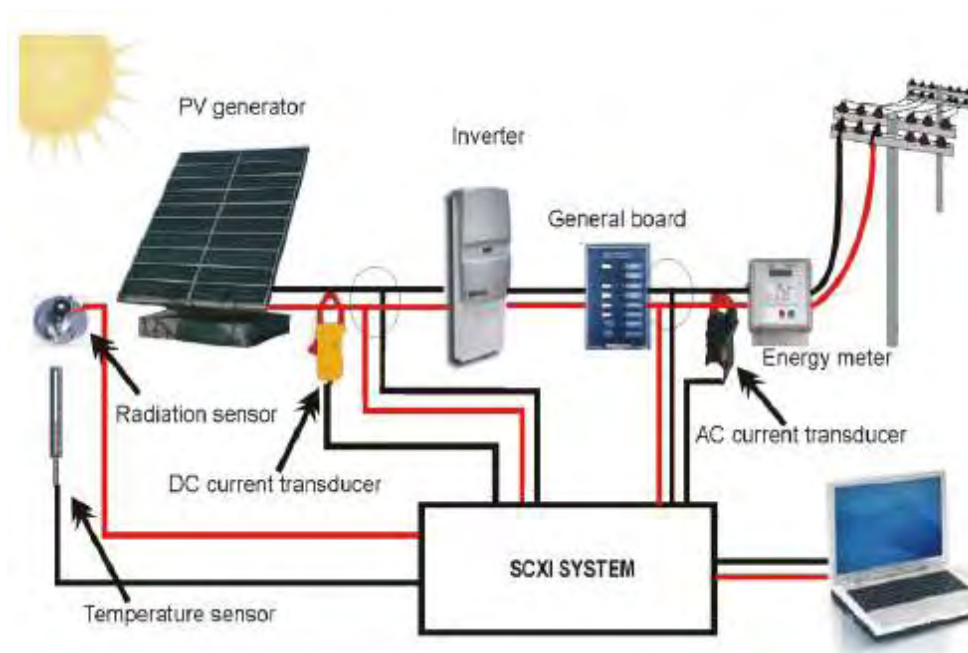


Εικόνα 3-1 : Το παράδειγμα της διάταξης ανήκει στο NREL[21]





Εικόνα 3-2: Μετρητικό- Καταγραφικό σύστημα φβ συστήματος ισχύος 142,5KWp [22]



Εικόνα 3-3: Εξοπλισμός μετρητικού συστήματος με τη χρήση του λογισμικού LABVIEW[23]

3.3 Συστήματα τηλεμετρίας που υπάρχουν στην αγορά

Τα τυπικά συστήματα που υπάρχουν στην αγορά συνήθως αποτελούνται από αισθητήρια που παρέχονται από τον κατασκευαστή των Inverter της εγκατάστασης και αποτελούνται από αισθητήρες ακτινοβολίας, θερμοκρασίας, ανέμου. Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί ο τυπικός εξοπλισμός της εταιρείας FRONIUS. Από την τηλεμετρία του Inverter παρέχονται διάφορα ηλεκτρικά δεδομένα όπως DC ηλεκτρικές τάσεις και ρεύματα και στο AC ηλεκτρικές τάσεις, ρεύματα, στιγμιαία ισχύς και συνολική παραγωγή ενέργειας. Για τη μέτρηση της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας παρέχεται ο εξής εξοπλισμός:



Αισθητήρας Μέτρησης Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος [24]

Πρόκειται για αισθητήρα που μπορεί να μετρήσει σε πολύ μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος κάτι που το καθιστά κατάλληλο για μετρήσεις θερμοκρασίας εξωτερικού χώρου.

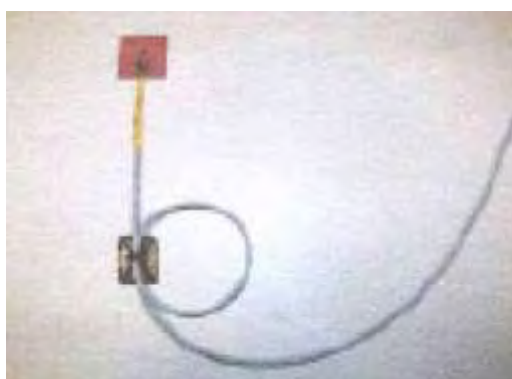


Εικόνα 3-4: Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος της FRONIUS

Αισθητήρας	PT1000
Εύρος μέτρησης	-40°C έως 180°C
Ακρίβεια	±0,8°C-(40°C έως 180°C)
Υλικό	Κυλινδρικό από ανοξείδωτο ατσάλι
Διαστάσεις	Μήκος 50mm, Διάμετρος 6mm
Καλώδιο	3m Cu,2x0,5mm,
Μέγιστο μήκος καλωδίου	20m

Αισθητήρας Μέτρησης Θερμοκρασίας ΦΒ πλαισίου [24]

Πρόκειται για ειδικό αισθητήρα που προσκολλάτε σε επιφάνειες με στόχο τη μέτρηση της θερμοκρασίας τους, συγκεκριμένα για τη μέτρηση θερμοκρασίας ΦΒ πλαισίου προσκολλάτε στη πίσω επιφάνεια του συλλέκτη .



Εικόνα 3-5:Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας φβ κυψέλης της FRONIUS

Αισθητήρας	PT1000
Εύρος μέτρησης	-4°F έως 302°F
Ακρίβεια	±0,81°F-(4°F έως 302°F)
Υλικό	Αυτοκόλλητη επιφάνεια



Διαστάσεις	32x32mm
Καλώδιο	5m Cu,
Μέγιστο μήκος καλωδίου	20m

Αισθητήρας πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας[24]

Πρόκειται για αισθητήρα που μέτρα την ηλιακή ακτινοβολία και τοποθετείται στην ίδια κλίση με την κλίση των ΦΒ πλαισίων. Ο αισθητήρας είναι μια μικρή μονοκρυσταλλική κυψέλη που στην έξοδό της δίνει μια ηλεκτρική τάση και με τη χρήση ενός συντελεστή βαθμονόμησης αποδίδει την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας .



Εικόνα 3-6:Αισθητήρας μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας και τρόπος στήριξης της

Αισθητήρας	Mono-si sensor
Τάση Αισθητήρα	75mV στα 1000W/m ²
Ακρίβεια	±5%
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	-40°C έως 85°C
Σχεδιασμός	Στηρίζεται σε προφίλ αλουμινίου σχήματος Z
Διαστάσεις	55x55x10mm
Καλώδιο	3m Cu,
Μέγιστο μήκος καλωδίου	30m

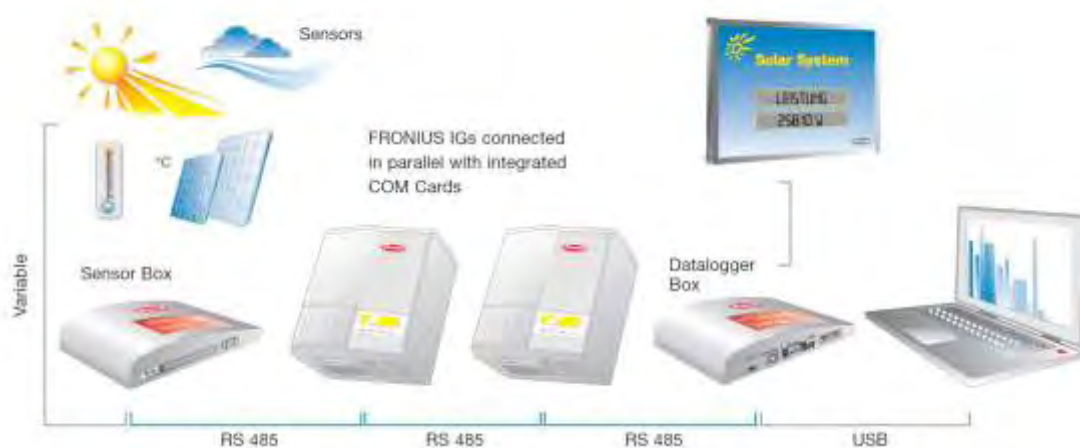


Αισθητήρας ταχύτητας αέρα[24]



Εικόνα 3-7 :Αισθητήρας μέτρησης ταυτότητας ανέμου της FRONIUS

Αισθητήρας	Cup anemometer
Σήμα εξόδου	Τετραγωνικό $\leq 0,5V \geq 3,5V$
Συντελεστής Βαθμονόμησης	5,22Hz=1Km/h 18.79Hz=1m/s
Κατώφλι Μέτρησης	2,5m/s
Ανάλυση	1m/s;1Km/h
Ακρίβεια	$\pm 5\%$ σε ταχύτητες $\geq 5m/s$
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος	-20°C έως 60°C
Διαστάσεις	85x93x115mm
Καλώδιο	2m Cu,
Μέγιστο μήκος καλωδίου	30m



Εικόνα 3-8: Συνολική άποψη του μετρητικού – καταγραφικού συστήματος της FRONIUS[24]



4. Παρουσίαση δεδομένων από τις 2 μελέτες περιπτώσεων (case studies)

4.1 Case study 1 (Άργος 2 MWp)

4.1.1 Διαθέσιμα Τεχνικά Δεδομένα

Το φωτοβολταϊκό πάρκο βρίσκεται σε υψόμετρο 700m. Το ΦΒ σύστημα αποτελείται 7.254 ΦΒ γεννήτριες της κινεζικής εταιρείας snitch, από τις οποίες οι 3.861 είναι ονομαστικής ισχύος 280 Wp και οι υπόλοιπες 3.393 ονομαστικής ισχύος 280 Wp. Για την ανόρθωση του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο κατάλληλης τάσης και συχνότητας χρησιμοποιούνται 186 αντιστροφείς ισχύος της γερμανικής εταιρείας SMA. Τέλος, η στήριξη των ΦΒ γεννητριών γίνεται σε σταθερές βάσεις κλίσης 30°.

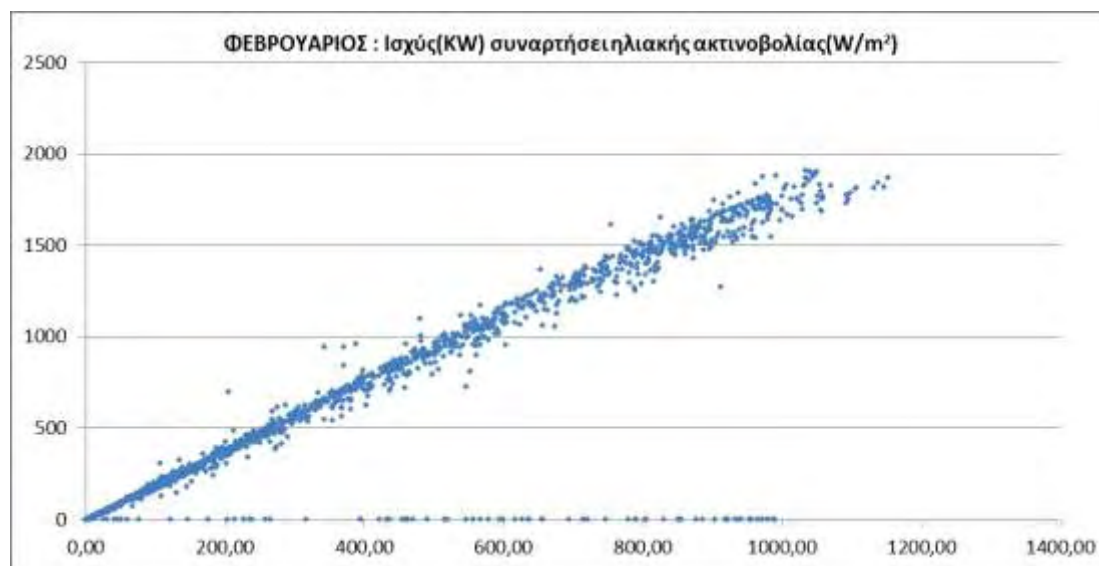
4.1.2 Διαθέσιμα Μετρητικά Δεδομένα

Τα μετρητικά δεδομένα που είναι διαθέσιμα αφορούν τη λειτουργία του πάρκου κατά τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους. Η καταγραφή των δεδομένων γίνεται κάθε 10 λεπτά. Τα μεγέθη που έχουμε διαθέσιμα είναι η στιγμιαία ισχύς του πάρκου πριν και μετά το μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης και στο σημείο σύνδεσης με τη ΔΕΗ. Επίσης, είναι διαθέσιμα η παραγωγή και η κατανάλωση του πάρκου σε KWh. Τέλος, γίνεται καταγραφή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και των θερμοκρασιών περιβάλλοντος και ΦΒ πλαισίων.

4.1.3 Τιμές ακτινοβολίας και θερμοκρασίας ανά μήνα

Σε αυτή τη παράγραφο ακολουθεί η παρουσίαση των μετρήσεων της ακτινοβολίας, της ισχύος και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που διοχετεύεται στο δίκτυο ανά μήνα.

Φεβρουάριος

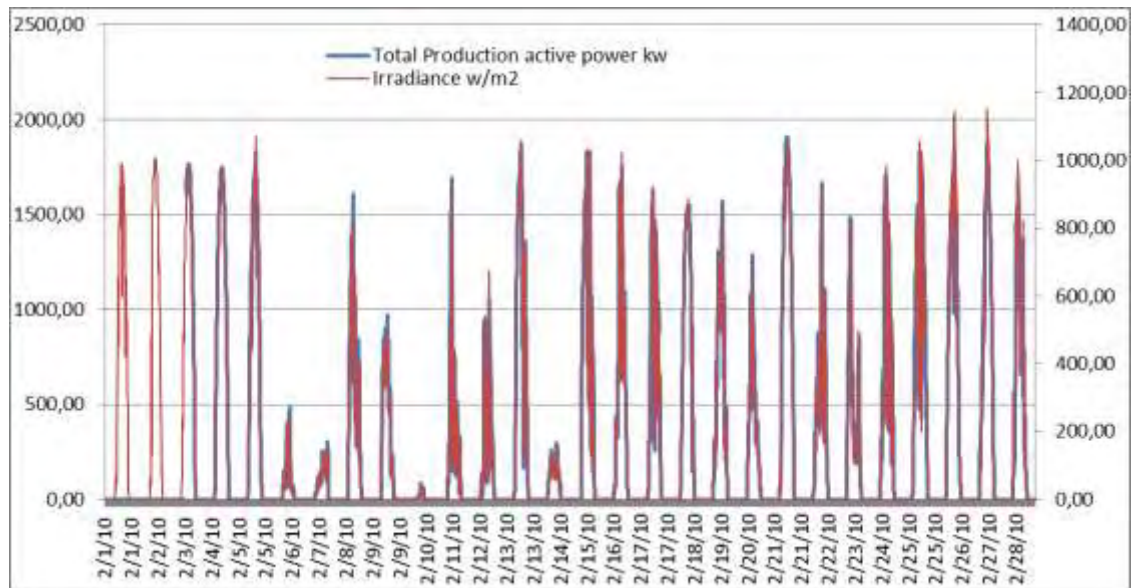


Εικόνα 4-1: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.

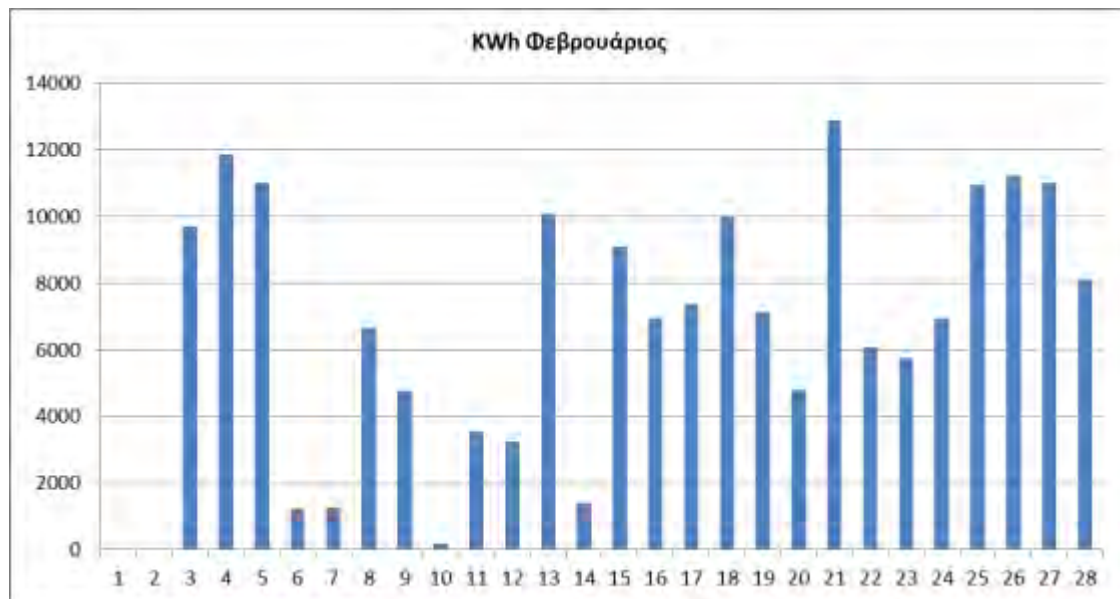
Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι, παρόλο το θόρυβο που υπάρχει λόγω μεγάλου αριθμού δεδομένων, η σχέση της παραγόμενης ισχύος και της ακτινοβολίας είναι γραμμική ωστόσο παρατηρούμε πως για ίδια τιμή της ακτινοβολίας δεν έχουμε πάντα την ίδια τιμή της παραγομενης



ισχύος. Το γεγονός μπορεί να οφείλεται είτε σε διαφορετική θερμοκρασία του φβ πλαισίου είτε σε διαφορετικό αirmass λόγω διαφορετικού ηλιακού ύψους. Μια άλλη παράμετρος είναι το μετρητικό σφάλμα που μπορεί να συμβαίνει σε κάποιο ζεύγος των τιμών των δεδομένων.



Εικόνα 4-2 : Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-3: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα.

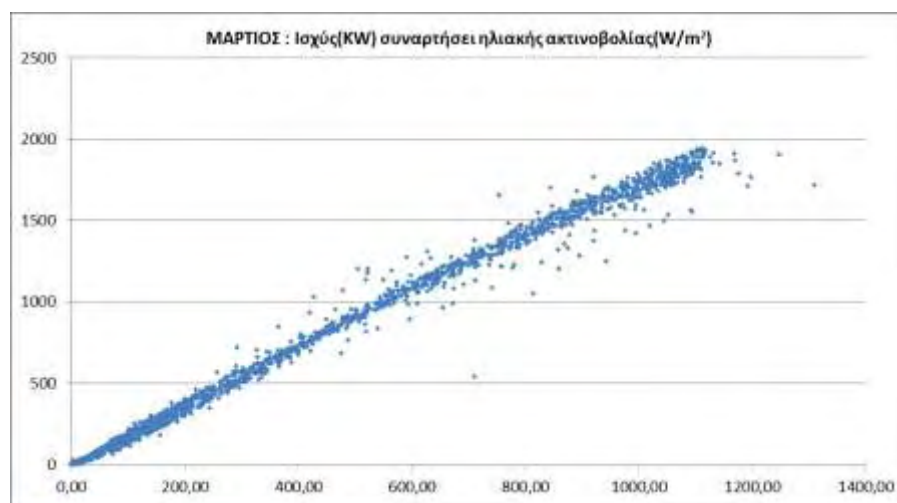


Πίνακας 4-1: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Φεβρουάριο του 2010

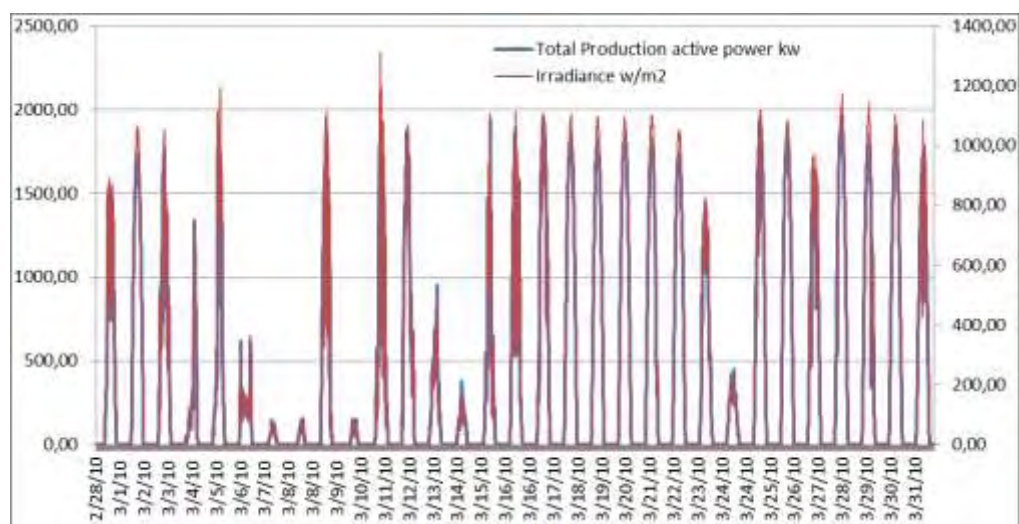
Φεβρουάριος	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς KW	
Ημερομηνία	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
1/2/2010	625,76	311,50	0,00	0,00
2/2/2010	0,00	0,00	0,00	0,00
3/2/2010	694,60	264,07	1013,46	743,79
4/2/2010	700,45	249,61	1278,41	447,62
5/2/2010	660,99	284,31	1192,41	494,73
6/2/2010	74,12	65,29	136,59	131,73
7/2/2010	67,00	35,96	124,74	74,13
8/2/2010	392,16	228,89	721,52	419,49
9/2/2010	272,31	148,07	519,05	289,57
10/2/2010	12,27	14,11	20,57	25,69
11/2/2010	205,20	205,35	384,85	391,30
12/2/2010	192,13	158,01	350,55	286,46
13/2/2010	604,94	320,84	1078,99	568,14
14/2/2010	81,50	30,74	152,08	62,41
15/2/2010	520,98	267,43	983,24	458,57
16/2/2010	408,02	269,76	748,07	482,40
17/2/2010	457,51	273,13	772,96	509,74
18/2/2010	600,70	261,28	1076,56	456,53
19/2/2010	414,11	225,53	760,97	414,38
20/2/2010	282,76	169,21	518,50	314,53
21/2/2010	744,67	256,69	1383,98	481,26
22/2/2010	344,30	204,57	641,55	367,51
23/2/2010	336,47	208,29	612,66	399,15
24/2/2010	418,17	291,36	741,41	513,10
25/2/2010	643,65	226,47	1153,93	383,96
26/2/2010	707,01	277,84	1206,14	432,78
27/2/2010	674,65	313,59	1158,83	506,44
28/2/2010	507,00	287,54	876,54	492,37



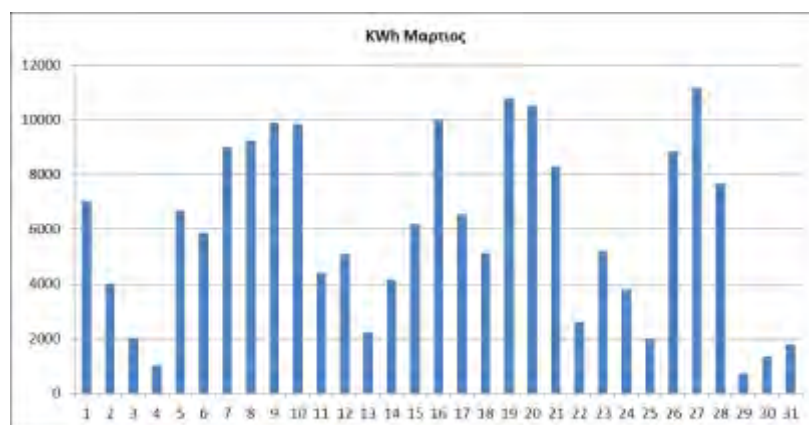
Μάρτιος



Εικόνα 4-4: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-5: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-6: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

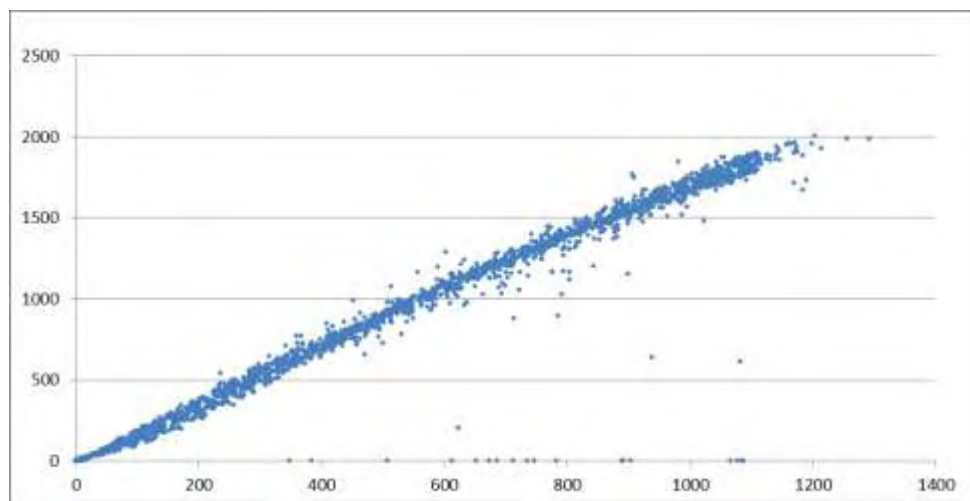


Πίνακας 4-2: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Μάρτιο του 2010

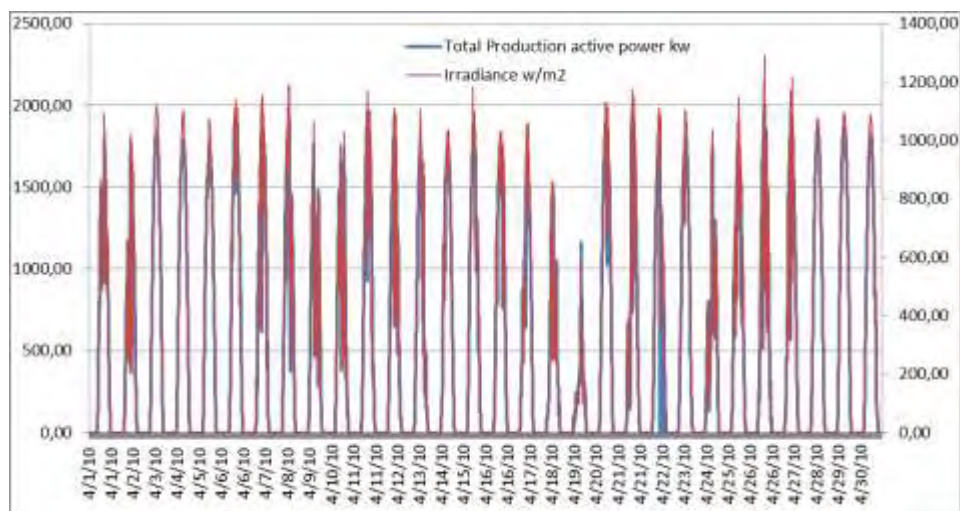
ΜΑΡΤΙΟΣ	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς (W)	
	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
1/3/2010	365,11	310,07	634,77	536,81
2/3/2010	564,71	387,92	961,16	650,81
3/3/2010	395,03	313,19	702,19	546,34
4/3/2010	158,99	209,82	277,31	372,72
5/3/2010	348,22	378,50	561,43	595,86
6/3/2010	117,53	78,93	203,69	143,11
7/3/2010	21,69	20,94	37,32	39,47
8/3/2010	24,49	29,29	43,07	53,69
9/3/2010	438,65	399,94	760,19	683,21
10/3/2010	24,70	26,11	44,32	49,80
11/3/2010	400,21	388,52	684,34	622,37
12/3/2010	471,26	363,54	838,22	651,46
13/3/2010	154,85	130,19	296,52	252,49
14/3/2010	54,67	46,80	104,65	96,25
15/3/2010	264,28	278,73	489,57	514,09
16/3/2010	406,85	332,62	709,89	576,03
17/3/2010	553,39	403,16	976,37	714,87
18/3/2010	595,10	392,52	1038,96	679,04
19/3/2010	590,10	393,74	1020,08	673,61
20/3/2010	594,24	391,17	1037,37	681,77
21/3/2010	583,21	397,03	998,38	674,24
22/3/2010	560,91	381,28	955,63	641,82
23/3/2010	379,05	283,18	672,09	498,66
24/3/2010	100,37	70,27	188,99	137,35
25/3/2010	575,11	394,31	1016,57	698,20
26/3/2010	589,70	383,53	1031,45	671,73
27/3/2010	489,92	330,43	854,64	574,98
28/3/2010	633,61	399,23	1088,89	701,19
29/3/2010	563,46	399,08	957,60	666,49
30/3/2010	600,03	382,09	1031,89	654,27
31/3/2010	502,51	315,69	876,21	544,92



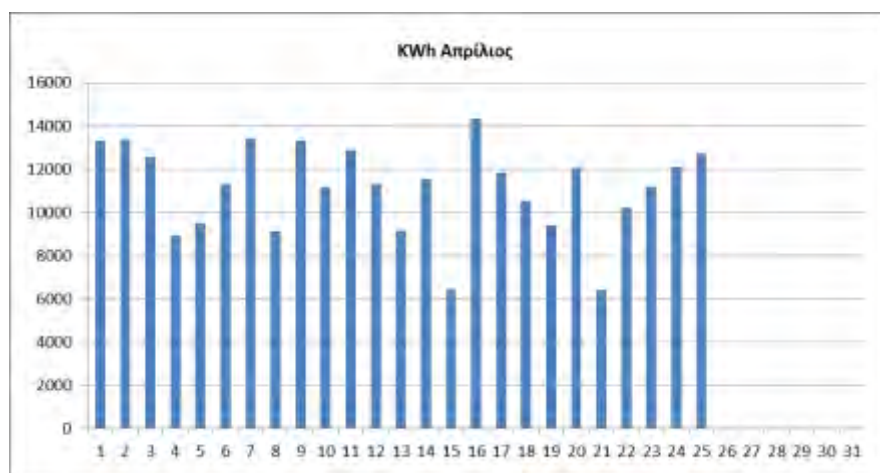
Απρίλιος



Εικόνα 4-7: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-8: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-9: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

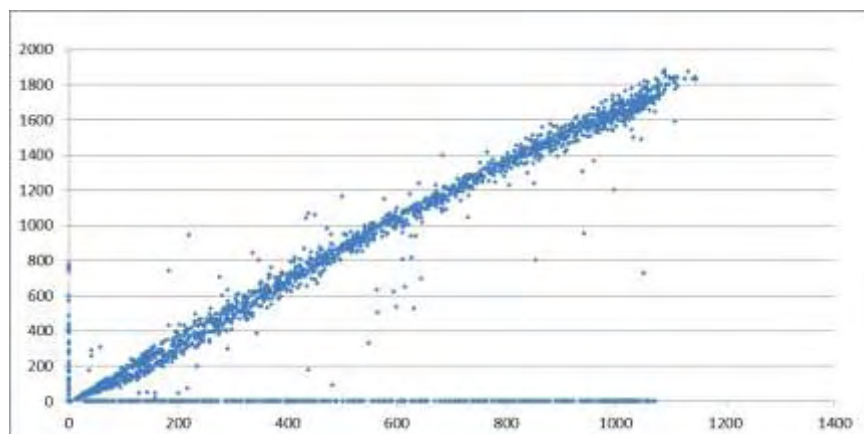


Πίνακας 4-3: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Απρίλιο του 2010

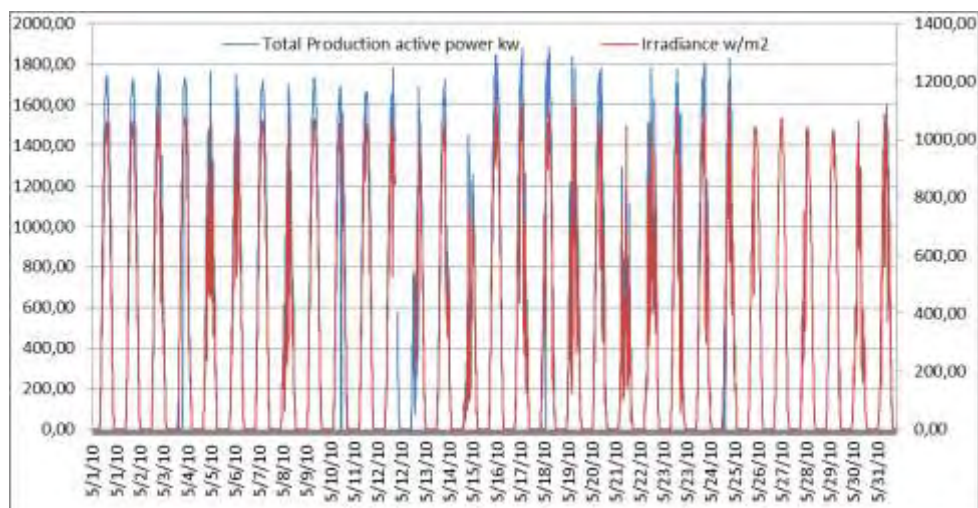
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς (KW)	
	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
1/4/2010	494,45	308,34	854,92	533,30
2/4/2010	413,67	301,73	723,89	522,04
3/4/2010	617,51	390,04	1052,91	663,67
4/4/2010	612,86	385,24	1027,76	645,25
5/4/2010	590,16	366,06	1000,83	621,40
6/4/2010	631,56	394,70	1086,33	685,49
7/4/2010	568,57	397,08	975,79	676,61
8/4/2010	548,11	379,98	923,08	626,02
9/4/2010	436,46	294,56	754,95	512,05
10/4/2010	377,36	268,12	680,42	479,27
11/4/2010	576,96	379,19	983,46	650,22
12/4/2010	472,86	335,45	816,71	571,02
13/4/2010	475,33	364,43	826,65	623,49
14/4/2010	553,78	362,67	942,60	621,18
15/4/2010	569,01	371,98	961,65	617,24
16/4/2010	558,83	355,26	954,98	606,55
17/4/2010	498,88	340,83	820,24	554,11
18/4/2010	272,21	214,14	480,17	373,30
19/4/2010	142,66	117,45	264,89	235,29
20/4/2010	622,94	359,37	1047,35	621,98
21/4/2010	466,51	364,83	793,75	623,73
22/4/2010	586,65	362,94	661,53	662,13
23/4/2010	598,48	381,12	1013,88	634,81
24/4/2010	334,19	228,29	594,69	404,48
25/4/2010	525,35	317,13	886,36	531,21
26/4/2010	509,48	364,03	889,00	624,92
27/4/2010	528,82	363,23	909,75	634,75
28/4/2010	625,15	363,17	1078,96	649,67
29/4/2010	639,38	369,37	1100,92	660,98
30/4/2010	620,77	365,67	1060,99	637,57



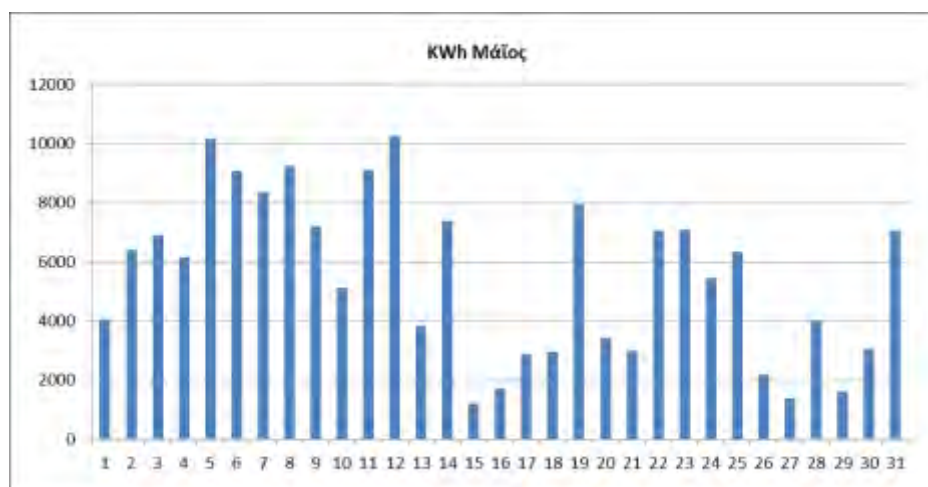
Μάιος



Εικόνα 4-10: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-11: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-12: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

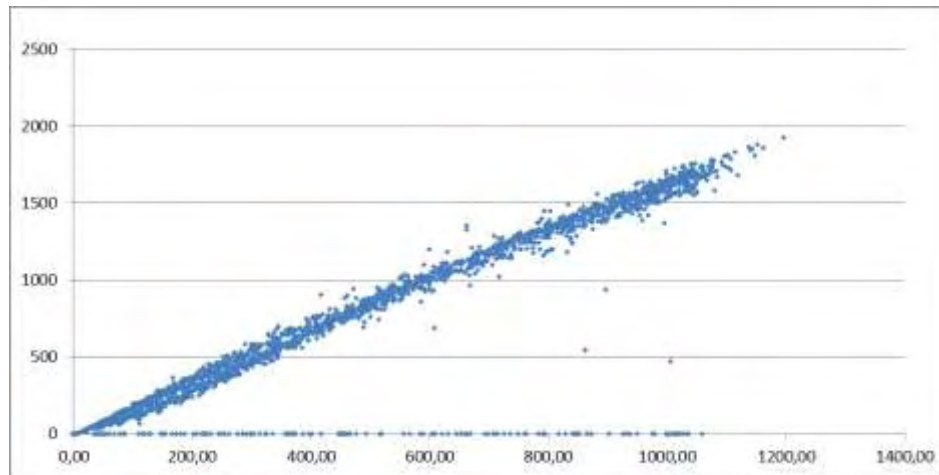


Πίνακας 4-4: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Μάιο του 2010

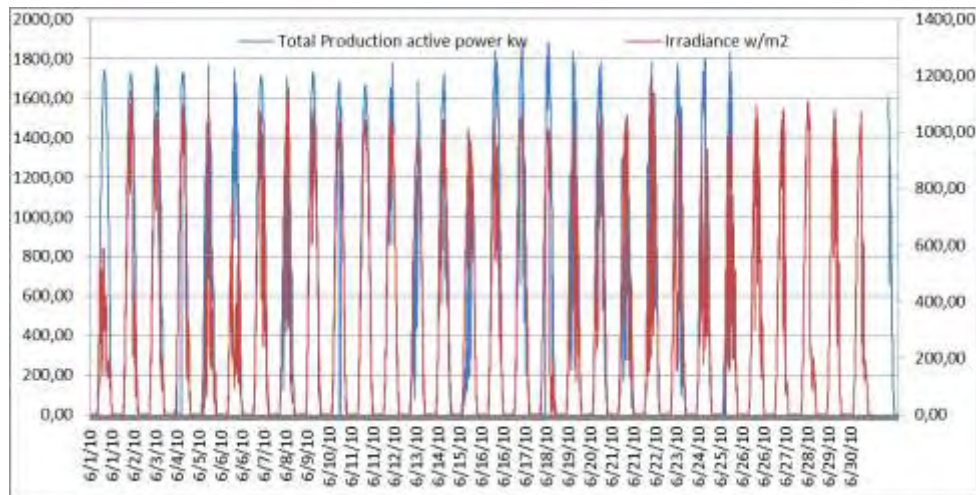
ΜΑΙΟΣ	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς (KW)	
	Ημερομηνία	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος
1/5/2010	608,62	355,03	1011,10	602,87
2/5/2010	609,70	356,62	1013,57	602,42
3/5/2010	572,48	344,14	953,94	567,77
4/5/2010	599,09	374,84	677,41	721,98
5/5/2010	418,77	265,16	722,18	451,89
6/5/2010	517,06	305,45	857,68	516,49
7/5/2010	620,58	351,86	1019,20	592,90
8/5/2010	399,42	271,04	691,49	460,79
9/5/2010	623,40	357,13	1010,22	593,33
10/5/2010	620,37	352,87	847,58	609,82
11/5/2010	603,34	346,97	978,67	571,61
12/5/2010	468,61	412,48	767,88	654,85
13/5/2010	352,17	356,88	694,84	512,60
14/5/2010	536,99	353,65	875,88	574,57
15/5/2010	281,16	233,59	490,11	410,02
16/5/2010	660,81	351,84	1088,16	608,41
17/5/2010	533,03	363,27	896,77	611,94
18/5/2010	608,68	365,74	798,80	782,02
19/5/2010	430,48	285,04	713,77	466,82
20/5/2010	534,40	345,83	914,15	595,08
21/5/2010	276,15	205,91	487,67	352,15
22/5/2010	448,61	267,94	774,40	466,43
23/5/2010	511,27	368,18	850,43	606,51
24/5/2010	543,40	334,84	917,89	564,36
25/5/2010	536,41	328,84	634,03	696,73
26/5/2010	613,26	343,41		
27/5/2010	626,92	351,45		
28/5/2010	536,72	334,61		
29/5/2010	603,38	341,23		
30/5/2010	400,09	307,15		
31/5/2010	537,16	341,87		



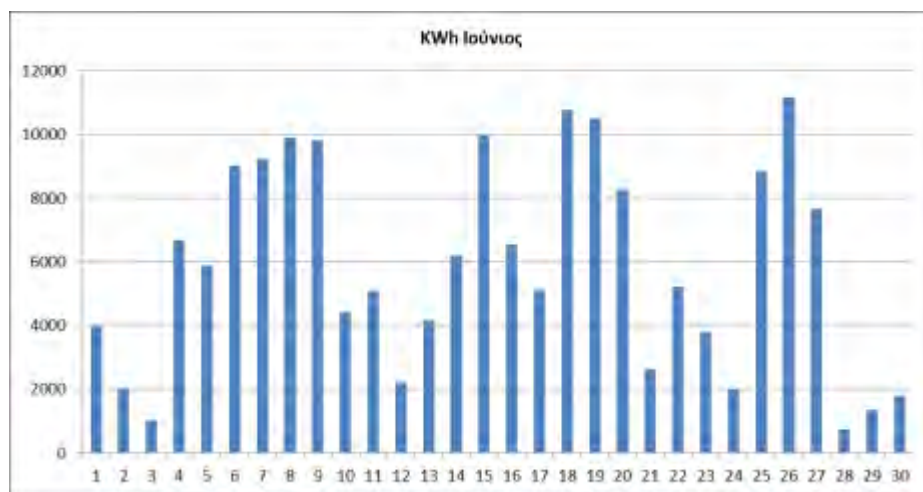
Ιούνιος



Εικόνα 4-13: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-14: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-15: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

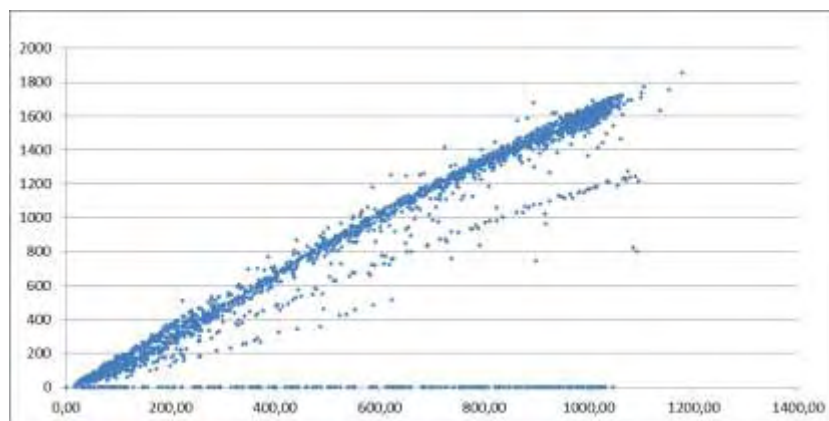


Πίνακας 4-5: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Ιούνιο του 2010

ΙΟΥΝΙΟΣ	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς (W)	
	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
1/6/2010	255,36	153,27	451,12	275,44
2/6/2010	536,26	376,50	883,01	622,32
3/6/2010	547,49	377,82	898,26	625,42
4/6/2010	565,30	372,16	931,80	621,93
5/6/2010	274,36	291,83	469,87	477,60
6/6/2010	273,99	186,13	464,07	323,63
7/6/2010	516,99	323,16	855,89	532,13
8/6/2010	481,45	387,21	782,94	623,94
9/6/2010	580,19	346,95	948,68	574,21
10/6/2010	607,12	343,08	998,51	581,34
11/6/2010	615,39	337,96	985,27	571,27
12/6/2010	603,28	332,56	973,51	558,92
13/6/2010	569,90	325,58	915,13	523,52
14/6/2010	551,90	310,92	881,65	498,53
15/6/2010	557,43	301,55	874,06	478,73
16/6/2010	517,31	296,24	815,99	472,15
17/6/2010	617,81	338,36	961,28	537,76
18/6/2010	459,62	394,42	733,44	633,78
19/6/2010	492,83	326,00	521,00	634,31
20/6/2010	566,95	336,31	0,00	0,00
21/6/2010	517,21	332,66	576,07	620,76
22/6/2010	513,22	343,82	844,20	578,16
23/6/2010	459,12	300,98	773,84	526,18
24/6/2010	392,14	231,29	649,83	388,90
25/6/2010	398,99	268,82	661,31	439,51
26/6/2010	561,38	338,20	923,91	563,27
27/6/2010	470,33	383,98	772,20	629,81
28/6/2010	488,82	395,41	804,86	636,59
29/6/2010	500,02	349,95	815,59	573,80
30/6/2010	443,55	352,32	729,20	566,78

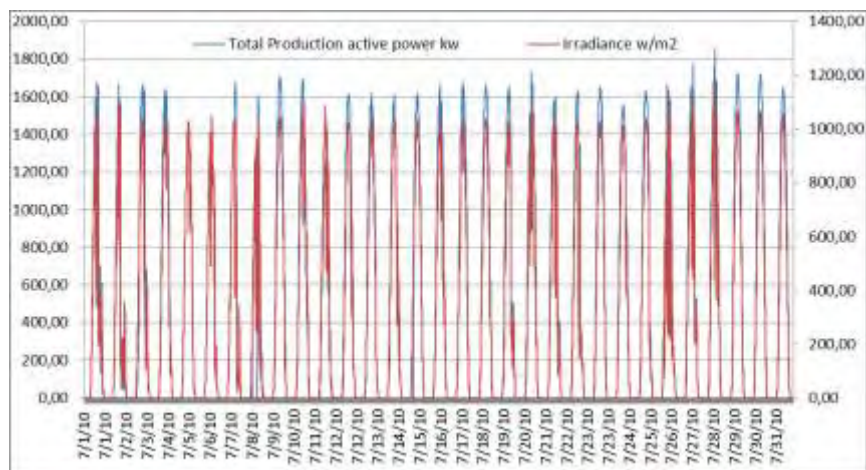


Ιούλιος

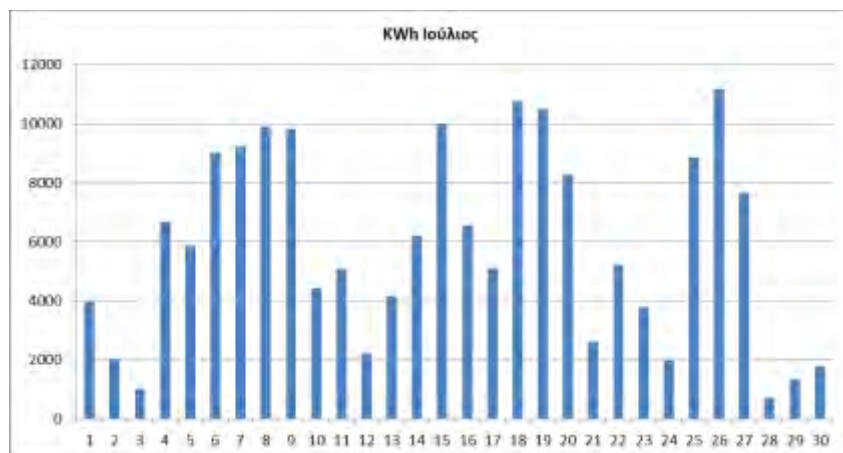


Εικόνα 4-16: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.

Στις μέτρησεις του Ιουλίου παρατηρούμε μια έντονη διαφοροποίηση σε τιμές της ισχύος για ίδιες τιμές της ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό πιθανώς οφείλεται στην απώλεια κάποιων inverter ή σε κάποιο λειτουργικό σφάλμα της εγκατάστασης.



Εικόνα 4-17: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-18: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

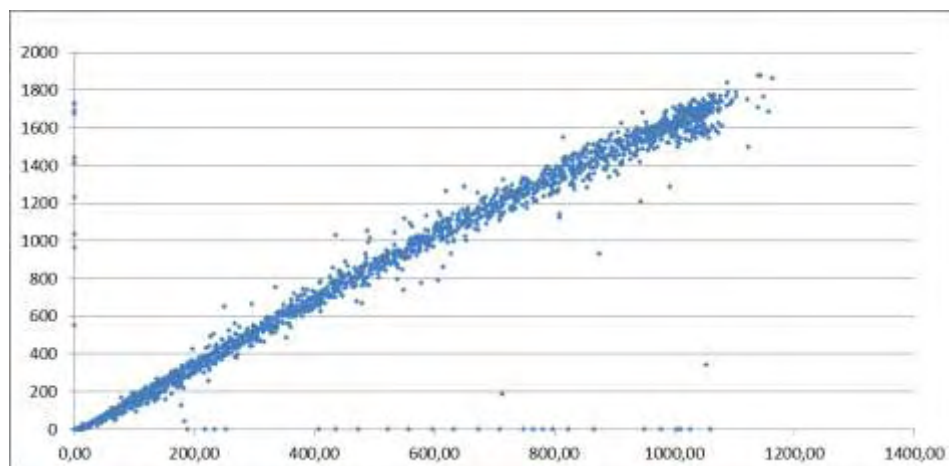


Πίνακας 4-6: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Ιούλιο του 2010

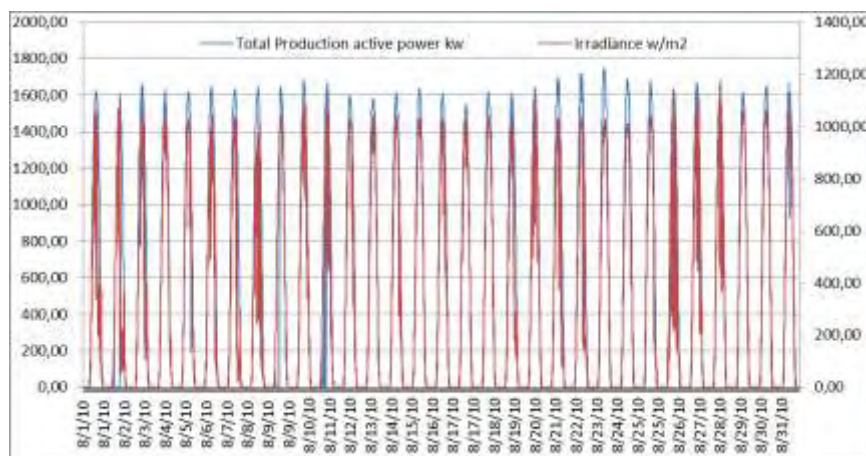
ΙΟΥΛΙΟΣ	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς (W)	
	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
1/7/2010	477,87	355,13	777,97	563,82
2/7/2010	416,99	350,88	584,42	562,13
3/7/2010	505,94	361,11	765,37	615,24
4/7/2010	579,72	349,14	939,10	570,67
5/7/2010	576,97	350,41	20,55	68,16
6/7/2010	521,19	351,58	0,00	0,00
7/7/2010	473,57	374,82	300,46	524,07
8/7/2010	417,76	312,22	256,31	438,59
9/7/2010	618,64	342,56	1019,09	580,90
10/7/2010	607,65	339,61	862,76	526,89
11/7/2010	545,95	357,15	643,46	426,95
12/7/2010	564,13	347,71	856,26	572,90
13/7/2010	584,84	349,98	932,05	558,11
14/7/2010	573,46	343,42	509,49	633,86
15/7/2010	601,86	335,97	866,36	630,36
16/7/2010	555,43	321,72	898,57	543,39
17/7/2010	597,14	331,37	971,97	569,13
18/7/2010	599,92	344,96	964,07	571,79
19/7/2010	499,50	362,75	812,36	613,38
20/7/2010	564,34	325,71	926,15	550,78
21/7/2010	503,64	349,43	809,29	559,73
22/7/2010	477,52	364,15	766,27	585,62
23/7/2010	600,92	338,78	966,38	569,75
24/7/2010	586,57	335,99	915,71	532,26
25/7/2010	571,03	378,80	906,27	611,79
26/7/2010	397,24	294,17	647,30	480,04
27/7/2010	540,14	343,13	865,37	559,24
28/7/2010	568,85	334,42	909,97	546,39
29/7/2010	620,74	352,39	1010,22	596,20
30/7/2010	621,66	353,11	1011,84	596,11
31/7/2010	610,05	349,85	976,15	568,74



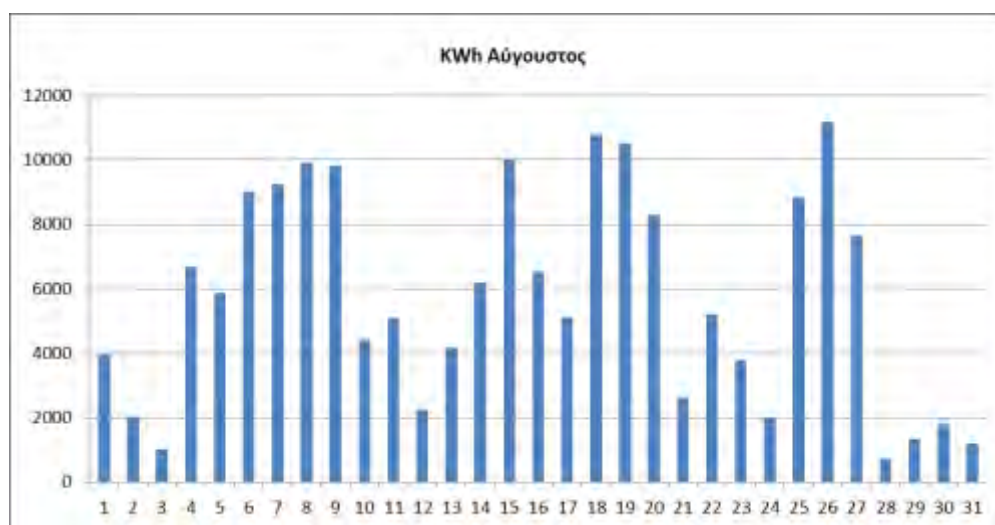
Αύγουστος



Εικόνα 4-19: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-20: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-21: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

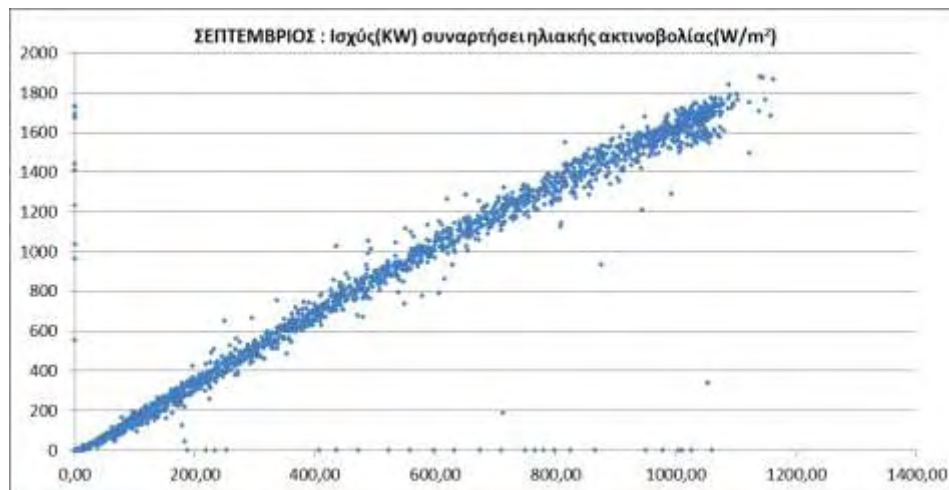


Πίνακας 4-7: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Αύγουστο του 2010

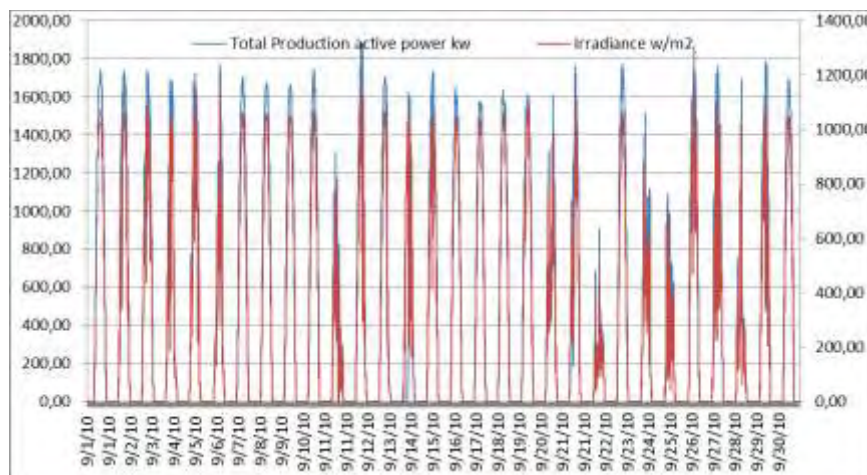
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς(W)	
	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
1/8/2010	609,97	347,60	973,47	566,61
2/8/2010	606,76	349,33	447,92	591,08
3/8/2010	574,76	334,78	920,98	544,62
4/8/2010	552,17	353,60	886,45	566,14
5/8/2010	508,84	373,90	821,74	600,39
6/8/2010	590,50	347,77	960,30	574,74
7/8/2010	599,12	347,65	958,28	568,10
8/8/2010	604,50	352,16	965,71	574,14
9/8/2010	598,86	356,26	632,43	677,12
10/8/2010	599,55	354,76	960,18	578,87
11/8/2010	601,78	356,40	755,03	667,25
12/8/2010	588,74	353,37	936,53	564,17
13/8/2010	597,59	349,99	937,05	558,83
14/8/2010	598,07	356,68	940,17	564,62
15/8/2010	591,46	348,83	944,88	576,16
16/8/2010	579,90	345,32	923,31	563,54
17/8/2010	568,86	339,81	902,07	545,17
18/8/2010	594,75	353,42	945,41	572,02
19/8/2010	588,81	356,65	922,44	560,33
20/8/2010	587,88	350,97	938,30	575,36
21/8/2010	585,32	361,64	965,16	610,41
22/8/2010	587,90	345,57	967,57	588,87
23/8/2010	609,96	360,97	1007,98	619,60
24/8/2010	607,46	363,96	978,35	600,72
25/8/2010	609,03	364,36	963,24	590,98
26/8/2010	590,14	355,34	939,24	581,69
27/8/2010	578,18	355,13	941,74	590,72
28/8/2010	581,15	359,14	924,80	572,74
29/8/2010	595,77	356,74	933,10	574,33
30/8/2010	585,06	363,38	946,44	595,06
31/8/2010	580,53	352,28	928,22	573,70



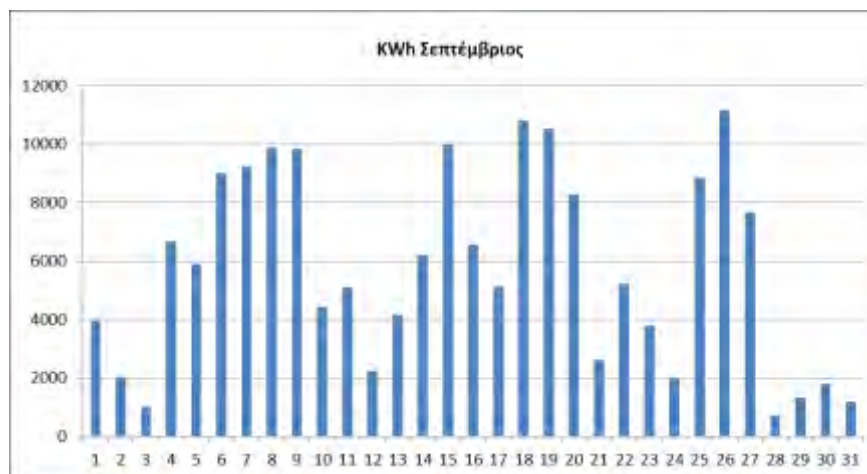
Σεπτέμβριος



Εικόνα 4-22: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-23: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-24: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

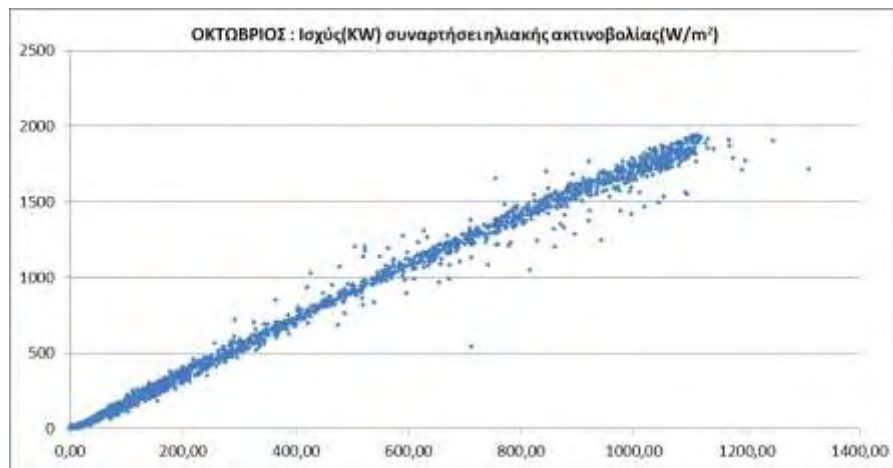


Πίνακας 4-8: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Σεπτέμβριο του 2010

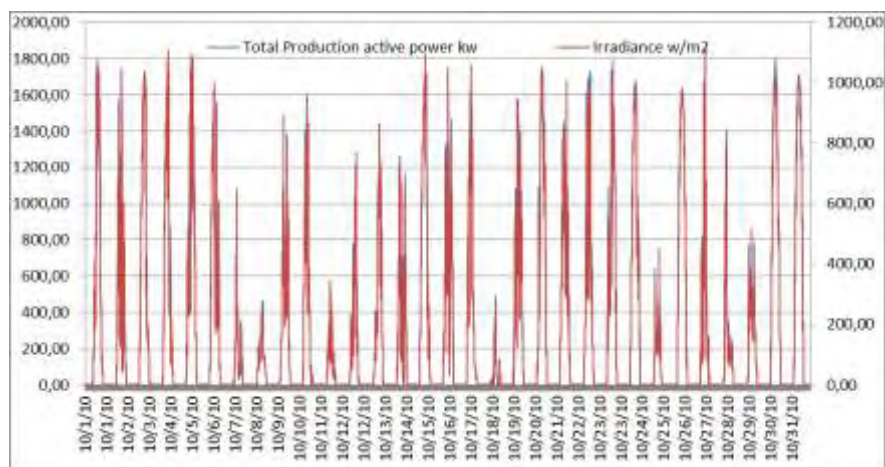
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς(W)	
	Ημερομηνία	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος
1/9/2010	569,70	372,58	976,39	623,57
2/9/2010	558,52	378,28	926,16	630,59
3/9/2010	536,45	375,20	872,18	606,56
4/9/2010	340,59	385,75	556,84	633,34
5/9/2010	442,46	403,83	724,47	664,37
6/9/2010	373,77	371,19	638,94	632,55
7/9/2010	561,22	376,72	918,84	613,43
8/9/2010	564,16	372,65	911,49	606,60
9/9/2010	562,57	370,56	904,07	598,54
10/9/2010	552,86	385,12	905,85	634,79
11/9/2010	93,55	91,31	153,25	164,57
12/9/2010	346,05	363,26	578,66	604,76
13/9/2010	358,09	426,17	584,10	689,77
14/9/2010	362,80	354,45	563,44	526,52
15/9/2010	529,74	368,63	869,01	607,82
16/9/2010	534,14	372,49	849,39	592,41
17/9/2010	531,44	368,45	834,93	580,18
18/9/2010	555,07	376,07	864,67	582,82
19/9/2010	551,69	385,05	860,91	601,76
20/9/2010	424,13	309,74	701,72	517,01
21/9/2010	470,77	386,46	795,24	656,04
22/9/2010	149,22	97,70	263,13	182,91
23/9/2010	511,05	389,64	872,33	668,72
24/9/2010	235,60	204,81	421,80	381,42
25/9/2010	142,07	130,81	247,96	236,69
26/9/2010	535,10	386,48	893,37	641,57
27/9/2010	469,32	335,41	779,00	552,90
28/9/2010	129,92	120,20	217,70	202,99
29/9/2010	431,56	370,38	723,99	616,65
30/9/2010	530,03	376,83	878,77	623,52



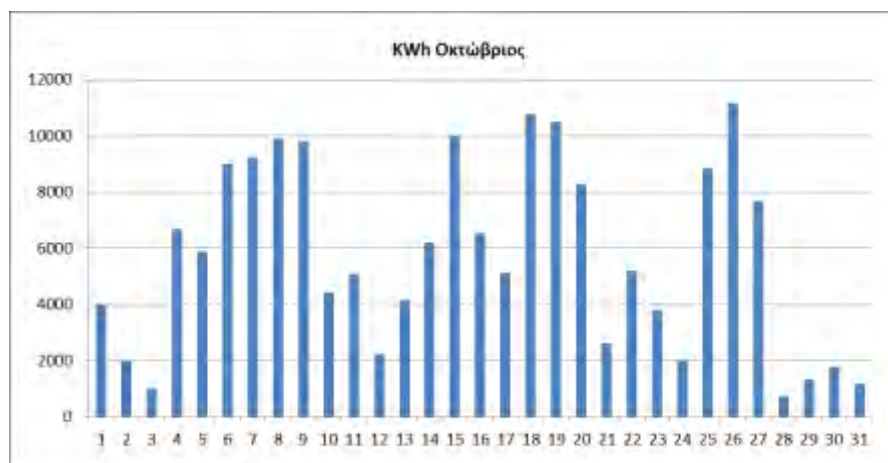
Οκτώβριος



Εικόνα 4-25: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-26: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-27: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

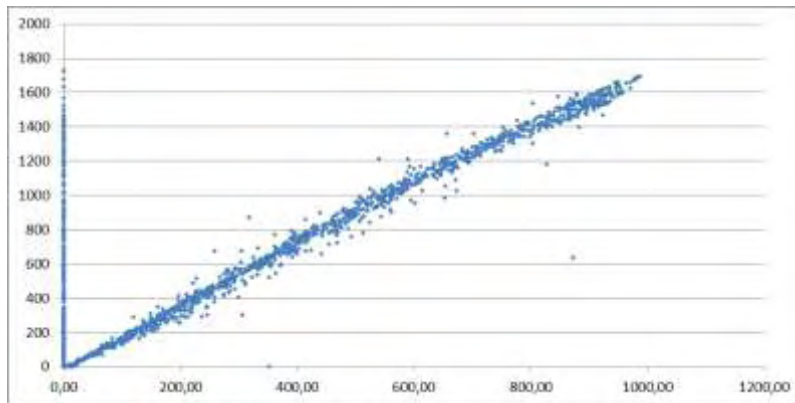


Πίνακας 4-9: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Οκτώβριο του 2010

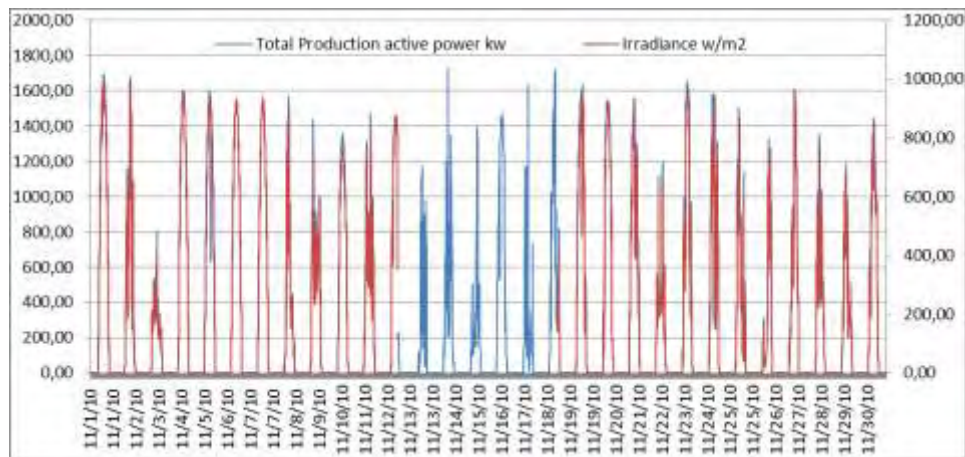
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	Ηλιακή Ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς(W)	
	Ημερομηνία	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος
1/10/2010	382,11	387,17	637,23	645,54
2/10/2010	226,47	256,36	386,80	445,91
3/10/2010	426,65	394,17	724,94	659,97
4/10/2010	393,95	384,98	662,88	635,12
5/10/2010	427,66	356,17	726,99	590,83
6/10/2010	383,29	325,11	658,44	554,63
7/10/2010	89,65	114,70	148,96	203,06
8/10/2010	75,10	67,02	131,52	126,98
9/10/2010	240,40	221,12	422,64	388,64
10/10/2010	253,68	276,77	439,46	482,53
11/10/2010	80,47	83,28	138,64	150,51
12/10/2010	157,16	196,55	268,03	347,48
13/10/2010	238,11	253,03	405,01	430,37
14/10/2010	210,21	219,56	374,16	391,05
15/10/2010	447,29	388,48	755,83	649,81
16/10/2010	310,31	261,39	547,76	466,82
17/10/2010	289,26	308,52	497,49	518,93
18/10/2010	32,34	53,59	52,90	100,94
19/10/2010	331,49	289,43	569,67	492,07
20/10/2010	425,50	376,77	736,39	649,13
21/10/2010	364,11	301,01	626,48	518,34
22/10/2010	335,22	322,17	591,78	564,44
23/10/2010	377,26	324,46	662,04	566,32
24/10/2010	458,41	364,29	798,34	627,53
25/10/2010	92,25	102,25	167,05	189,88
26/10/2010	491,15	375,41	846,42	643,00
27/10/2010	219,02	303,27	378,91	517,73
28/10/2010	164,15	208,25	291,13	379,98
29/10/2010	149,66	127,55	271,91	238,71
30/10/2010	499,17	379,11	886,83	673,30
31/10/2010	512,70	382,23	896,23	667,15



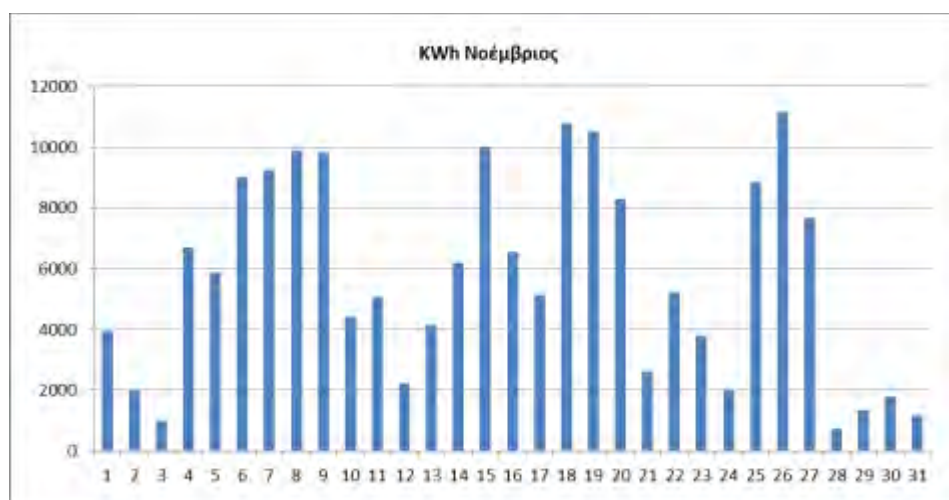
Νοέμβριος



Εικόνα 4-28: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-29: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-30: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

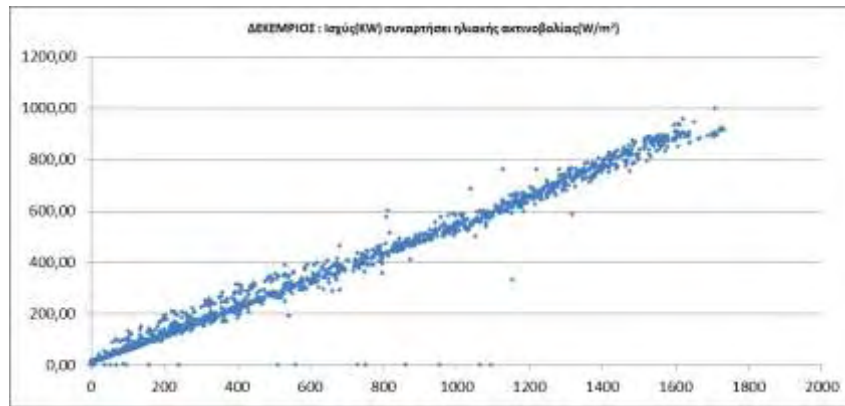


Πίνακας 4-10: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Νοέμβριο του 2010

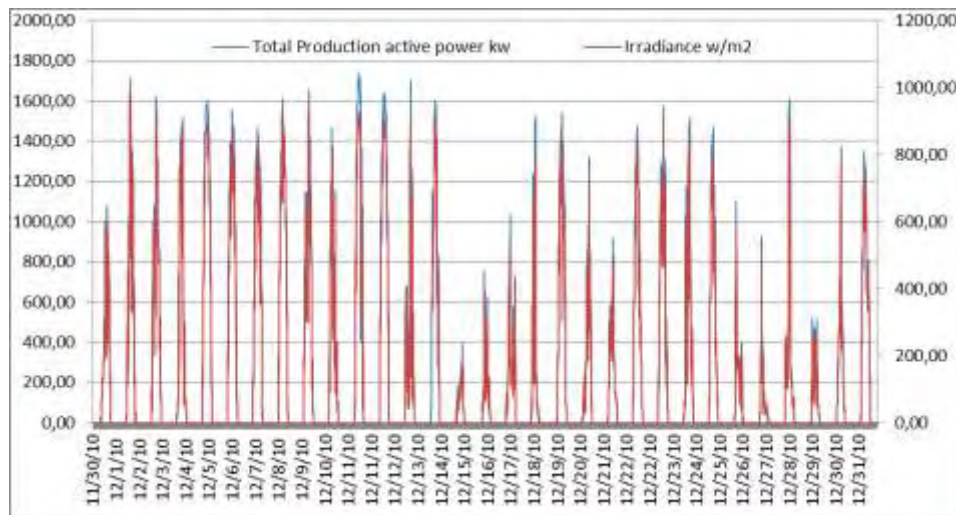
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	Ηλιακή ακτινοβολία(W/m ²)		Ισχύς(W)	
	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
1/11/2010	705,49	246,39	1246,10	417,09
2/11/2010	396,75	288,57	693,40	499,79
3/11/2010	186,18	77,48	339,06	152,00
4/11/2010	659,31	263,33	1143,14	438,84
5/11/2010	650,31	250,24	1120,33	433,15
6/11/2010	649,62	248,05	1112,65	410,56
7/11/2010	647,11	248,19	1106,73	412,16
8/11/2010	304,36	249,77	545,07	452,15
9/11/2010	372,34	146,85	671,16	277,50
10/11/2010	510,96	228,10	907,55	415,50
11/11/2010	383,64	174,10	674,87	314,43
12/11/2010	420,08	377,54	738,37	618,82
13/11/2010	0,00	0,00	396,40	363,49
14/11/2010	0,00	0,00	500,39	396,60
15/11/2010	0,00	0,00	323,52	277,45
16/11/2010	0,00	0,00	894,50	507,74
17/11/2010	0,00	0,00	375,75	383,17
18/11/2010	68,89	108,81	755,94	482,57
19/11/2010	584,59	289,87	1028,14	508,39
20/11/2010	576,77	309,12	1011,16	542,02
21/11/2010	535,10	238,55	943,04	436,96
22/11/2010	248,56	156,83	438,91	286,74
23/11/2010	482,56	329,96	901,12	566,92
24/11/2010	396,33	276,52	772,79	480,04
25/11/2010	328,30	254,38	581,24	467,57
26/11/2010	246,45	237,87	429,69	431,39
27/11/2010	421,61	281,46	715,02	492,25
28/11/2010	318,48	215,99	569,12	386,75
29/11/2010	289,57	183,64	497,79	326,90
30/11/2010	478,87	239,37	840,95	425,59



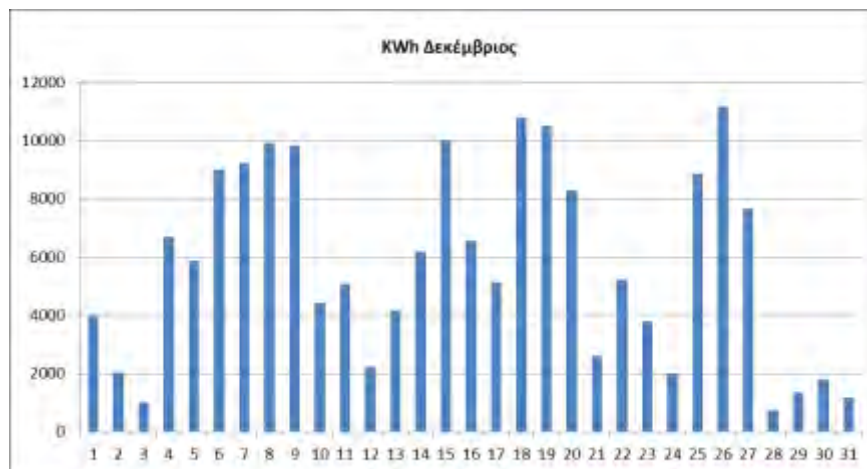
Δεκέμβριος



Εικόνα 4-31: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-32: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-33: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

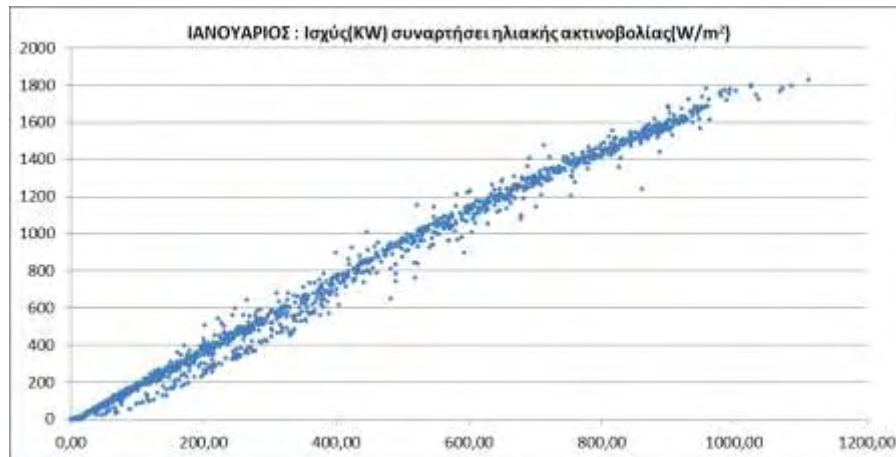


Πίνακας 4-11: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Δεκέμβριο του 2010

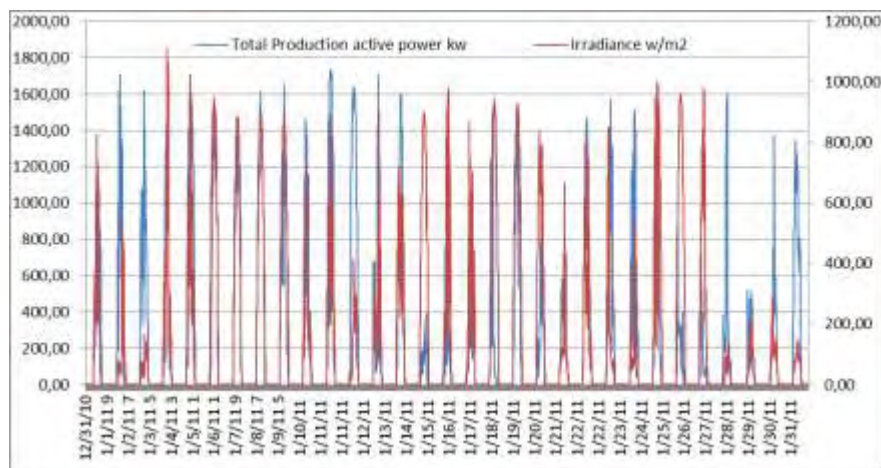
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	Ηλιακή ακτινοβολία(W/m2)		Ισχύς(W)	
	Ημερομηνία	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος
1/12/2011	251,71	158,44	440,70	288,78
2/12/2011	404,60	297,15	699,08	515,74
3/12/2011	429,61	234,89	752,25	428,90
4/12/2011	380,48	326,98	671,17	586,59
5/12/2011	619,21	248,23	1108,70	487,57
6/12/2011	551,57	238,19	989,69	455,67
7/12/2011	511,83	237,88	910,09	444,23
8/12/2011	580,37	244,40	1007,87	454,98
9/12/2011	445,36	243,48	786,54	447,06
10/12/2011	315,61	240,80	559,98	442,70
11/12/2011	542,20	319,51	993,08	632,79
12/12/2011	621,17	253,29	1119,43	505,32
13/12/2011	228,97	225,00	418,50	418,12
14/12/2011	370,38	339,53	805,96	533,37
15/12/2011	74,06	54,08	130,38	102,72
16/12/2011	102,42	94,60	186,34	187,69
17/12/2011	176,49	123,20	311,73	233,68
18/12/2011	177,52	219,95	322,13	426,13
19/12/2011	477,60	270,94	866,17	495,22
20/12/2011	211,68	168,36	375,35	316,17
21/12/2011	181,56	114,99	326,67	220,12
22/12/2011	430,40	260,29	770,04	473,05
23/12/2011	435,31	222,82	771,57	421,47
24/12/2011	337,68	272,16	595,59	491,62
25/12/2011	380,95	270,40	690,63	512,42
26/12/2011	135,00	129,74	236,75	247,24
27/12/2011	85,71	102,85	150,18	196,42
28/12/2011	248,60	284,82	437,31	520,59
29/12/2011	98,97	74,57	175,14	144,53
30/12/2011	185,28	163,34	333,12	301,12
31/12/2011	425,13	210,48	768,25	401,74



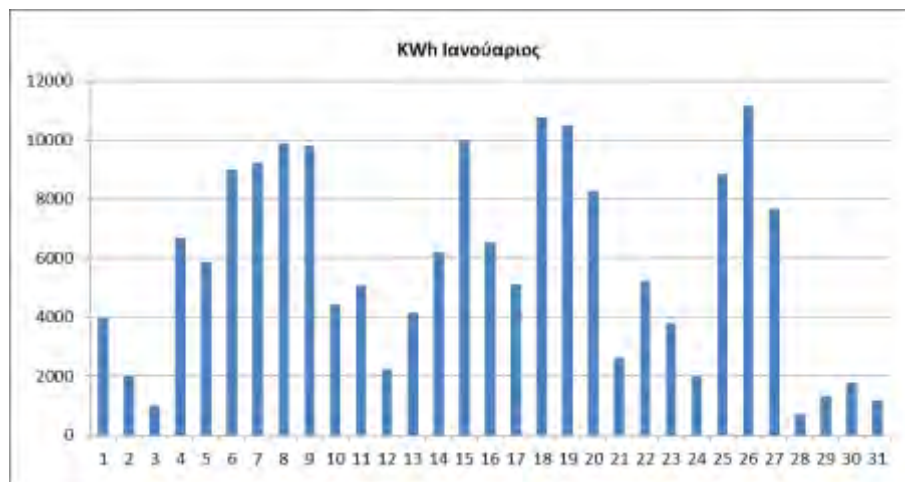
Ιανουάριος



Εικόνα 4-34: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-35: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Εικόνα 4-36: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα



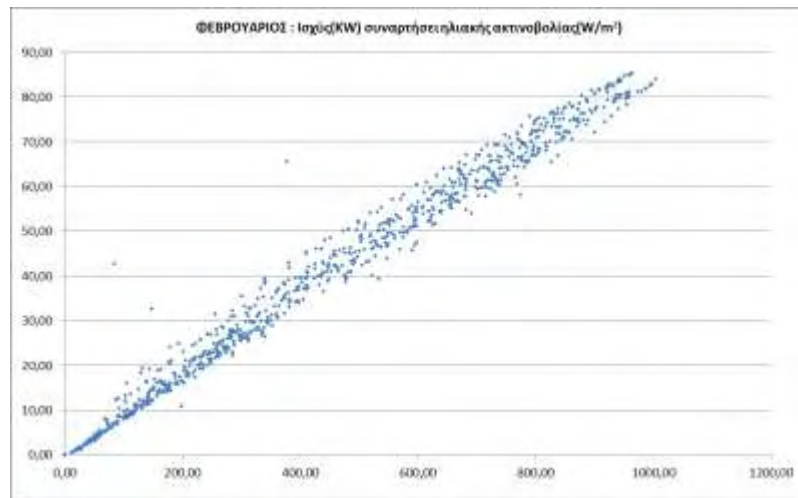
Πίνακας 4-12: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Ιανουάριο του 2011

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	Ηλιακή ακτινοβολία(W/m2)		Ισχύς(W)	
	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
1/1/2011	249,96	218,00	432,42	397,22
2/1/2011	122,13	132,71	221,39	253,03
3/1/2011	65,52	39,62	109,99	75,71
4/1/2011	417,71	347,62	729,58	603,18
5/1/2011	350,91	280,09	640,65	512,17
6/1/2011	559,05	351,14	983,50	614,57
7/1/2011	562,08	301,16	1007,33	561,55
8/1/2011	605,79	245,97	1079,34	476,03
9/1/2011	603,75	245,63	1070,67	473,68
10/1/2011	267,05	204,46	482,09	381,66
11/1/2011	310,86	235,96	554,74	424,08
12/1/2011	136,46	111,88	242,37	210,72
13/1/2011	255,16	196,13	453,34	353,76
14/1/2011	371,61	185,44	675,55	365,45
15/1/2011	617,69	243,37	1086,83	459,59
16/1/2011	391,97	302,09	713,87	564,10
17/1/2011	308,60	227,49	555,27	421,05
18/1/2011	656,41	250,82	1172,40	476,47
19/1/2011	650,20	248,49	1143,12	460,20
20/1/2011	501,10	233,58	901,91	432,66
21/1/2011	158,43	154,56	283,25	284,57
22/1/2011	314,62	226,16	566,55	425,21
23/1/2011	223,93	263,13	414,18	491,24
24/1/2011	121,21	128,02	219,06	247,45
25/1/2011	528,12	323,45	957,26	593,27
26/1/2011	673,28	255,73	1210,21	462,03
27/1/2011	461,05	308,79	835,81	567,81
28/1/2011	46,36	39,45	78,51	73,27
29/1/2011	83,30	57,23	146,05	110,98
30/1/2011	108,22	65,91	194,85	128,02
31/1/2011	74,56	36,00	129,12	70,24

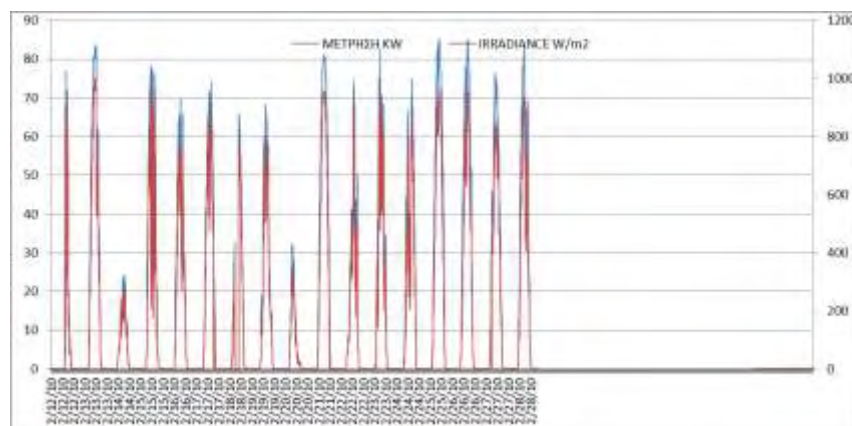


4.2 Case study 1 (100 KWp)

Φεβρουάριος



Εικόνα 4-37: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.

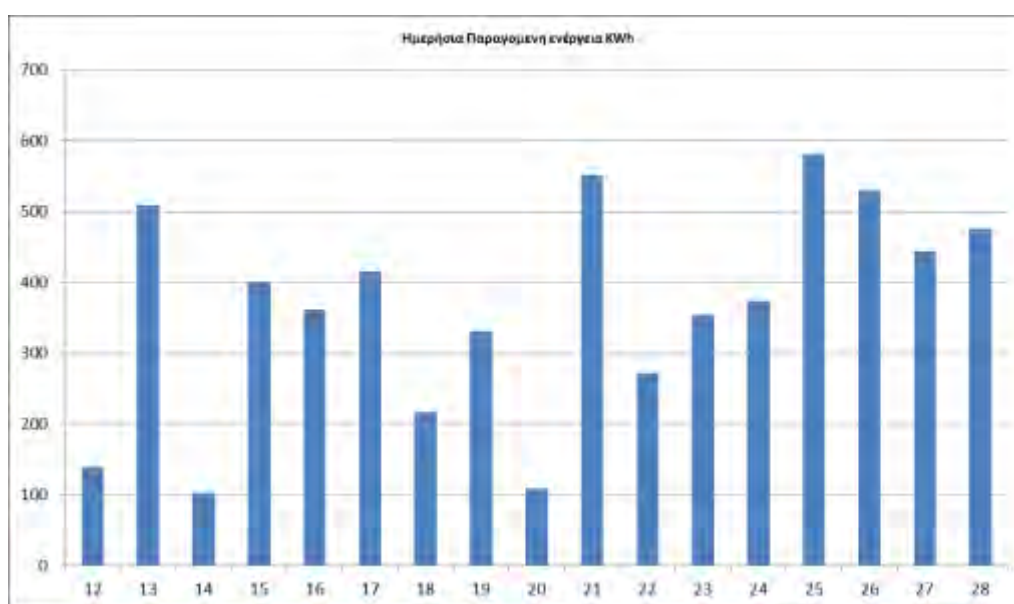


Εικόνα 4-38: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Πίνακας 4-13: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Φεβρουάριο του 2010

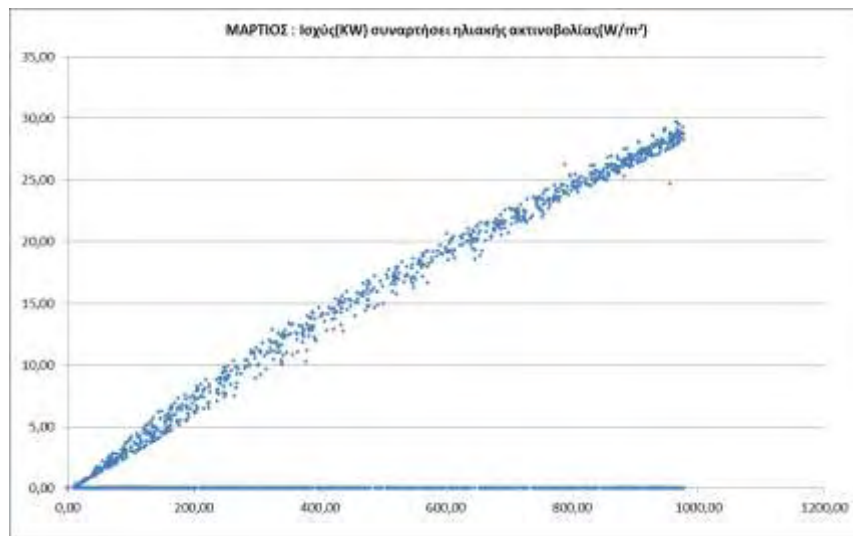
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς (W)	
	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
12/2/2010	176,00	15,18	15,18	21,90
13/2/2010	626,31	54,88	54,88	21,94
14/2/2010	134,63	11,12	11,12	6,38
15/2/2010	496,69	43,44	43,44	23,69
16/2/2010	435,39	39,21	39,21	17,55
17/2/2010	516,26	44,83	44,83	22,55
18/2/2010	253,93	23,18	23,18	23,67
19/2/2010	412,52	35,88	35,88	19,92
20/2/2010	131,01	11,84	11,84	10,09
21/2/2010	661,70	59,57	59,57	20,26
22/2/2010	342,39	29,39	29,39	20,34
23/2/2010	451,91	38,44	38,44	23,00
24/2/2010	455,82	40,04	40,04	20,03
25/2/2010	661,73	62,25	62,25	20,74
26/2/2010	599,04	57,08	57,08	21,02
27/2/2010	523,62	47,87	47,87	20,88
28/2/2010	549,01	51,58	51,58	21,68



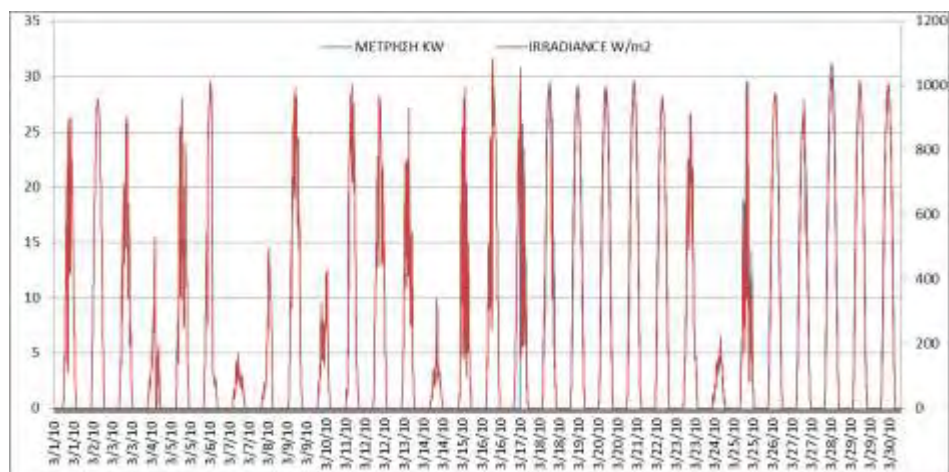
Εικόνα 4-39: Παραγόμενες kWh για κάθε μέρα του μήνα



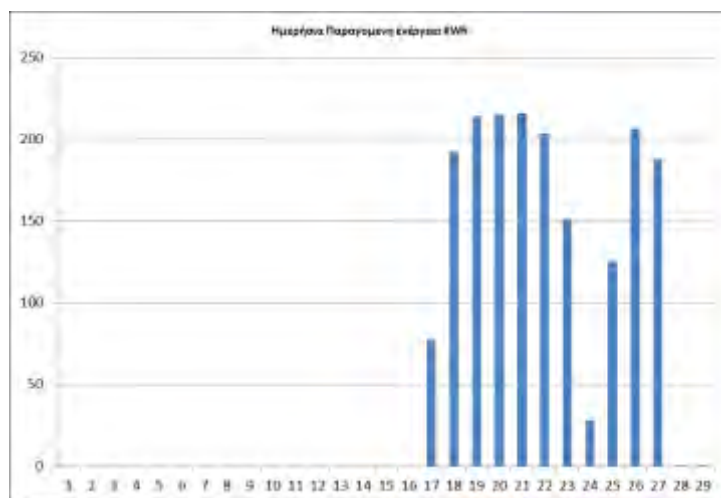
Μάρτιος



Εικόνα 4-40: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-41: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



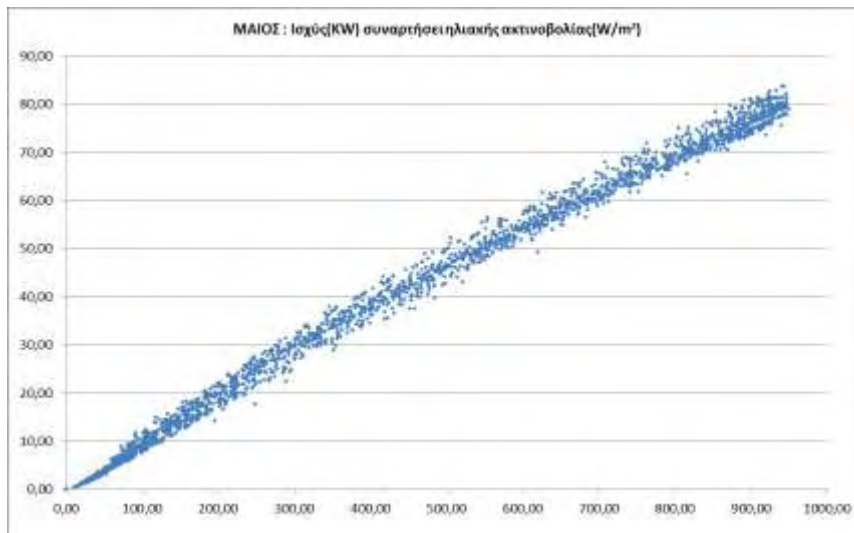
Εικόνα 4-42: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα



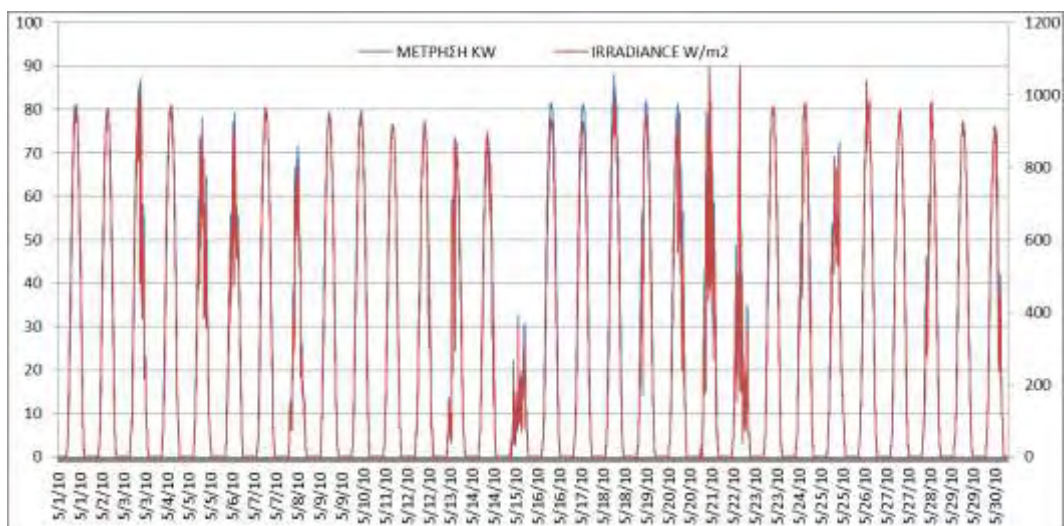
Πίνακας 4-14: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Μάρτιο του 2010

ΜΑΡΤΙΟΣ	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς (W)	
	Ημερομηνία	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος
1/3/2010	379,66	317,08	0,00	0,00
2/3/2010	484,74	358,66	0,00	0,00
3/3/2010	345,32	289,94	0,00	0,00
4/3/2010	110,97	117,48	0,00	0,00
5/3/2010	335,39	274,77	0,00	0,00
6/3/2010	366,89	378,55	0,00	0,00
7/3/2010	58,24	45,17	0,00	0,00
8/3/2010	138,37	153,80	0,00	0,00
9/3/2010	468,01	342,99	0,00	0,00
10/3/2010	140,28	119,95	0,00	0,00
11/3/2010	410,70	373,79	0,00	0,00
12/3/2010	423,49	315,17	0,00	0,00
13/3/2010	320,15	265,62	0,00	0,00
14/3/2010	72,94	71,08	0,00	0,00
15/3/2010	275,88	282,62	0,00	0,00
16/3/2010	452,76	353,02	0,00	0,00
17/3/2010	372,52	302,11	5,89	7,95
18/3/2010	467,77	368,63	14,61	11,04
19/3/2010	515,90	364,01	16,26	10,75
20/3/2010	520,10	363,90	16,33	10,73
21/3/2010	524,15	372,53	16,37	10,97
22/3/2010	507,27	352,52	15,45	10,16
23/3/2010	377,30	294,19	11,45	8,81
24/3/2010	77,58	59,70	2,13	1,74
25/3/2010	304,34	256,84	9,52	7,85
26/3/2010	511,01	354,27	15,67	10,27
27/3/2010	458,81	320,12	14,27	9,53
28/3/2010	550,52	375,88	17,52	11,38
29/3/2010	536,06	367,51	16,54	10,73
30/3/2010	538,69	366,32	16,55	10,61
31/3/2010	477,36	14,86	9,73	1,00

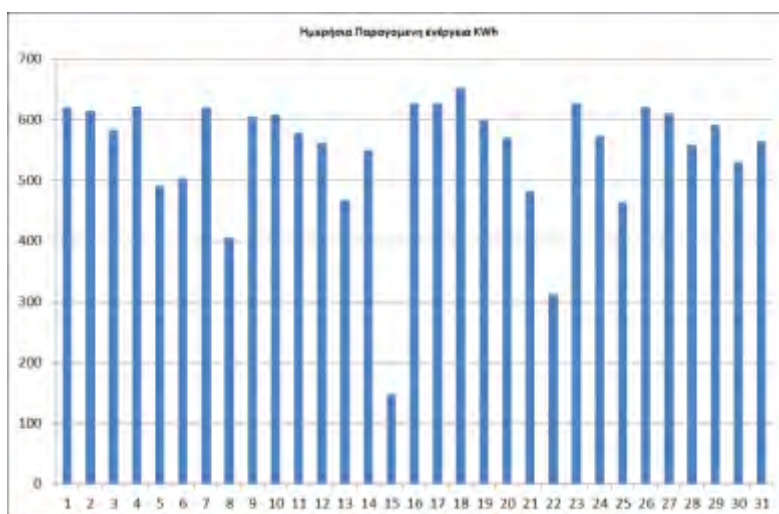




Εικόνα 4-43: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 4-44: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



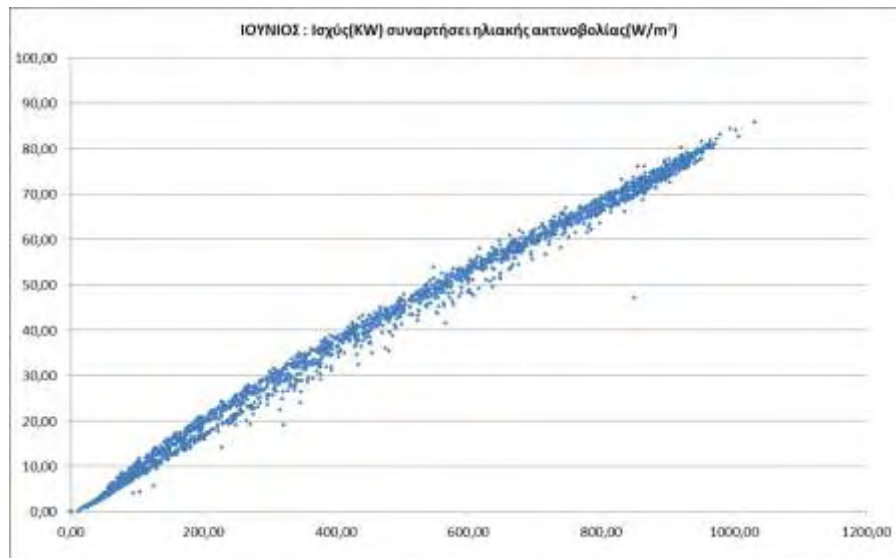
Εικόνα 4-45: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα



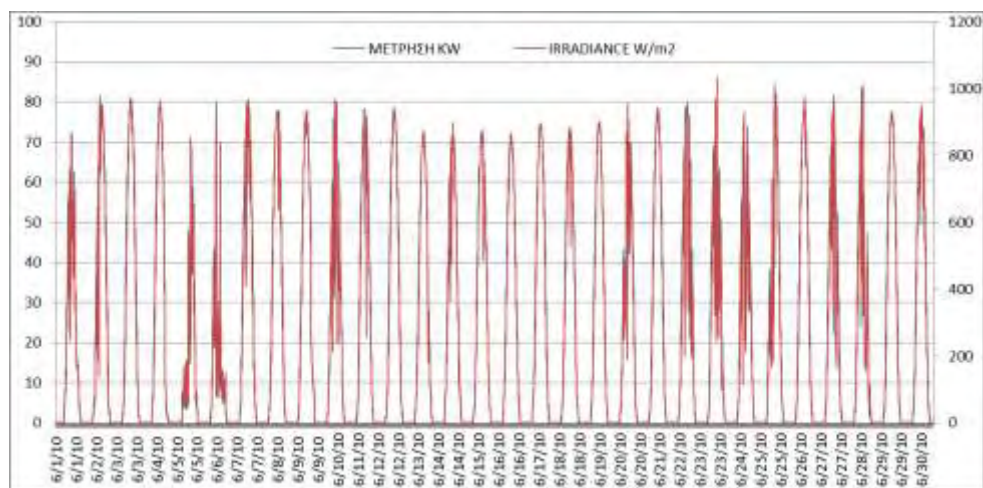
Πίνακας 4-15: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Μάιο του 2010

ΜΑΙΟΣ	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)		Ισχύς (W)	
	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση
1/5/2010	528,34	337,32	47,08	28,45
2/5/2010	528,32	335,47	46,70	28,01
3/5/2010	492,08	325,58	44,20	27,86
4/5/2010	534,40	338,92	47,27	28,38
5/5/2010	418,90	269,94	37,34	23,61
6/5/2010	427,72	254,53	38,23	22,24
7/5/2010	532,64	336,09	47,07	27,99
8/5/2010	336,26	251,10	30,82	22,58
9/5/2010	520,16	324,59	45,95	27,33
10/5/2010	522,98	327,64	46,24	27,57
11/5/2010	504,58	320,08	43,92	26,53
12/5/2010	485,51	313,00	42,65	26,29
13/5/2010	403,62	301,09	35,54	26,02
14/5/2010	479,69	304,58	41,79	25,41
15/5/2010	129,54	82,09	11,16	7,88
16/5/2010	511,28	324,73	47,62	28,36
17/5/2010	510,63	321,86	47,59	28,32
18/5/2010	530,69	334,31	49,55	29,56
19/5/2010	495,92	321,22	45,41	27,69
20/5/2010	465,30	295,00	43,28	25,93
21/5/2010	419,54	299,95	36,61	25,57
22/5/2010	269,22	222,90	23,66	19,25
23/5/2010	543,17	333,86	47,59	27,75
24/5/2010	500,00	322,13	43,47	26,71
25/5/2010	400,38	239,38	35,15	20,72
26/5/2010	545,13	332,08	47,10	27,14
27/5/2010	533,89	330,49	46,36	26,96
28/5/2010	484,07	312,54	42,30	25,68
29/5/2010	520,39	317,29	44,83	25,81
30/5/2010	468,58	306,97	40,18	25,25
31/5/2010	494,70	42,77	25,33	1,00





Εικόνα 4-46: Γραφική αναπαράσταση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος στο σημείο σύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο της ΔΕΗ σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία.



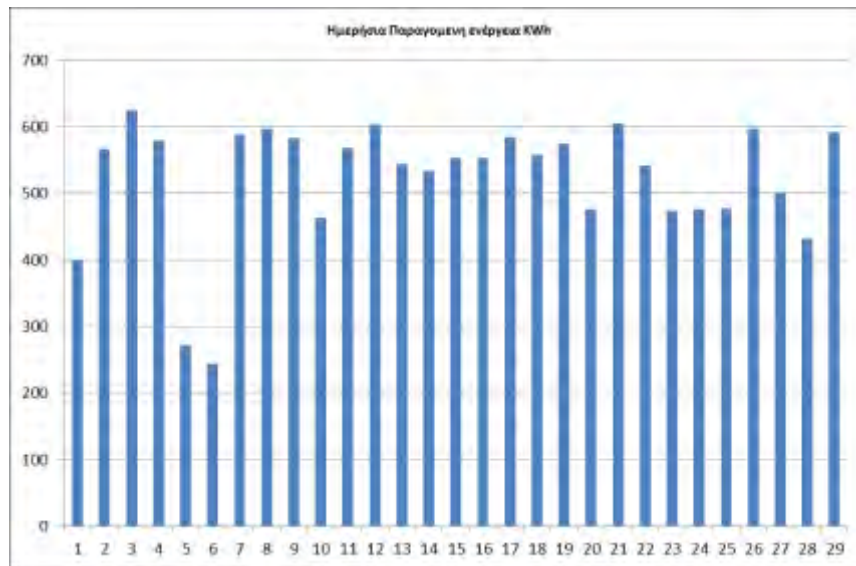
Εικόνα 4-47: Ηλιακή ακτινοβολία και παραγόμενη ισχύς για κάθε μέρα του μήνα



Πίνακας 4-16: Μέσος όρος και τυπική απόκλιση τιμών ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος για το μήνα Ιούνιο του 2010

ΙΟΥΝΙΟΣ	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m ²)		Ηλεκτρική Ισχύς (W)	
	Ημερομηνία	Μέσος όρος	Τυπική Απόκλιση	Μέσος όρος
1/6/2010	344,76	230,26	30,18	20,16
2/6/2010	488,94	321,55	42,96	26,75
3/6/2010	535,90	332,74	47,34	27,83
4/6/2010	504,95	351,46	43,99	29,76
5/6/2010	244,43	225,36	20,65	19,99
6/6/2010	213,15	181,62	18,52	16,13
7/6/2010	514,92	315,24	44,55	26,18
8/6/2010	523,16	316,95	45,29	26,05
9/6/2010	515,86	322,51	44,21	26,74
10/6/2010	402,87	248,13	35,10	20,98
11/6/2010	494,44	303,29	43,08	25,42
12/6/2010	524,21	322,53	45,78	26,92
13/6/2010	482,80	297,28	41,21	24,49
14/6/2010	476,26	279,77	40,42	23,01
15/6/2010	493,85	291,07	41,86	23,87
16/6/2010	490,94	290,18	41,92	23,81
17/6/2010	510,79	305,52	44,23	25,10
18/6/2010	492,75	292,92	42,25	24,16
19/6/2010	505,08	305,16	43,47	25,17
20/6/2010	415,96	274,58	36,01	22,56
21/6/2010	524,22	324,39	45,80	26,81
22/6/2010	467,72	303,91	41,07	25,44
23/6/2010	411,08	251,68	35,90	21,30
24/6/2010	413,25	263,24	36,04	22,09
25/6/2010	419,14	296,66	36,19	24,91
26/6/2010	520,37	321,75	45,28	26,61
27/6/2010	438,35	281,87	37,91	23,76
28/6/2010	382,10	271,43	32,73	23,05
29/6/2010	524,22	319,55	44,83	26,22
30/6/2010	506,62	307,09	43,27	25,07





Εικόνα 4-48: Παραγόμενες KWh για κάθε μέρα του μήνα

5. Σχεδιασμός Φωτοβολταϊκού Πάρκου

5.1 Παραδοχές για το σχεδιασμό του Φωτοβολταϊκού Πάρκου 2MWp

Ηλεκτρική Συνδεσμολογία Πάρκου

Για την εύρεση της πιθανότερης ηλεκτρικής συνδεσμολογίας του πάρκου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό διαστασιολόγησης της SMA η έκδοση SunnyDesign 2.20.1.R [25]. Αποδοτικότερη συνδεσμολογία για το συγκεκριμένο αριθμό πλαισίων και Inverter είναι η εξής:


Συνολική ισχύς 1997.19KWp → 186 inverter, 7254 ΦΒ panel

Ανάλυση σε στοιχειοσειρές (string) :

916.11 KWp → 3393 ΦΒ PANEL 270 Wp = 99 inverter x 3string x13panel 270Wp

1081.08 KWp → 3861 ΦΒ PANEL 280 Wp = 87 inverter x 3string x13panel 280Wp



System overview			
3393 x Suntech STP270-24/Vd (EU) (04/11) (PV-array 1)			
Azimuth angle: 0°, Inclination: 25°, Mounting type: Roof, PV peak power: 916.11 kWp			
 87 x SMC 11000TL			
Technical data			
Total number of PV modules:	3393	Performance ratio (approx.):*	84,1 %
PV peak power:	916.11 kWp	Spec. energy yield (approx.):*	1167 kWh/kWp
Number of inverters:	87	Line losses (in % of PV energy):	---
Nominal AC power:	957.00 kW	Unbalanced load:	957.00 kVA
Annual energy yield (approx.):*	1069.37 MWh	Self-consumption:	---
Energy usability factor:	100 %	Self-consumption quota:	---

Sunny Design 3.20.1.R

Project name: New project

Project number:

Project file:

Location: Greece / Salonika

Cell temperature:

Record Low Temperature: -10.00 °C

Average High Temperature: 50.00 °C





Record High Temperature: 70.00 °C

Part project 1

87 x SMC 11000TL	
PV peak power:	916.11 kWp
Total number of PV modules:	3393
Number of inverters:	87
Max. DC power:	11.40 kW
Max. AC power:	11.00 kW
Grid voltage:	230 V
Nominal power ratio:	108 % 



SMC 11000TL

Technical data			
Input A: PV-array 1			
39 x Suntech STP270-24/Vd (EU) (04/11), Azimuth angle: 0°, Inclination: 25°, Mounting type: Roof			
Number of strings:	Input A:		
PV modules per string:	3		
Peak power (input):	13		
	10.53 kWp		
Typical PV voltage:	407 V		
Min. PV voltage:	369 V		
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	333 V		
Max. PV voltage:	646 V		
Max. DC voltage (Inverter):	700 V		
Max. current of PV array:	23.1 A		
Max. DC current:	34.0 A		



Sunny Design 2.20.1.R

Εικόνα 5-1: Εκτύπωση από το λογισμικό Sunny Design για την συνδεσμολογία των 3393 panel τα 7254 συνολικά που έχουν ονομαστική ισχύ 270Wp και συνδέονται στους 87 από τους 186 συνολικά Inverters [25].



Project name: New project

Project number:

Project file:

Location: Greece / Salonika

Cell temperature:

Record Low Temperature: -10.00 °C

Average High Temperature: 50.00 °C

Record High Temperature: 70.00 °C

Part project 1

99 x SMC 11000TL

PV peak power:	1.08 MWp
Total number of PV modules:	3861
Number of inverters:	99
Max. DC power:	11.40 kW
Max. AC power:	11.00 kW
Grid voltage:	230 V
Nominal power ratio:	104 %



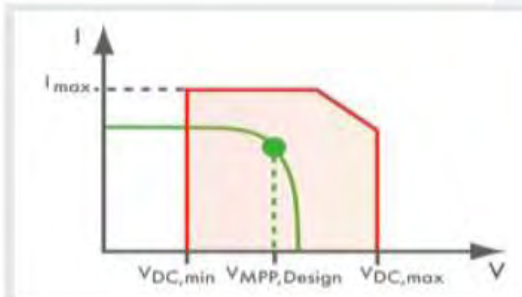
SMC 11000TL

Technical data

Input A: PV-array 1

39 x Suntech STP280-24/Vd, Azimuth angle: 0°, Inclination: 25°, Mounting type: Roof

	Input A:		
Number of strings:	3		
PV modules per string:	13		
Peak power (input):	10.92 kWp		
Typical PV voltage:	408 V	✓	
Min. PV voltage:	368 V	✓	
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	333 V		
Max. PV voltage:	652 V	✓	
Max. DC voltage (Inverter):	700 V		
Max. current of PV array:	23.9 A	✓	
Max. DC current:	34.0 A		



PV/Inverter compatible

Sunny Design 2.20.J.R

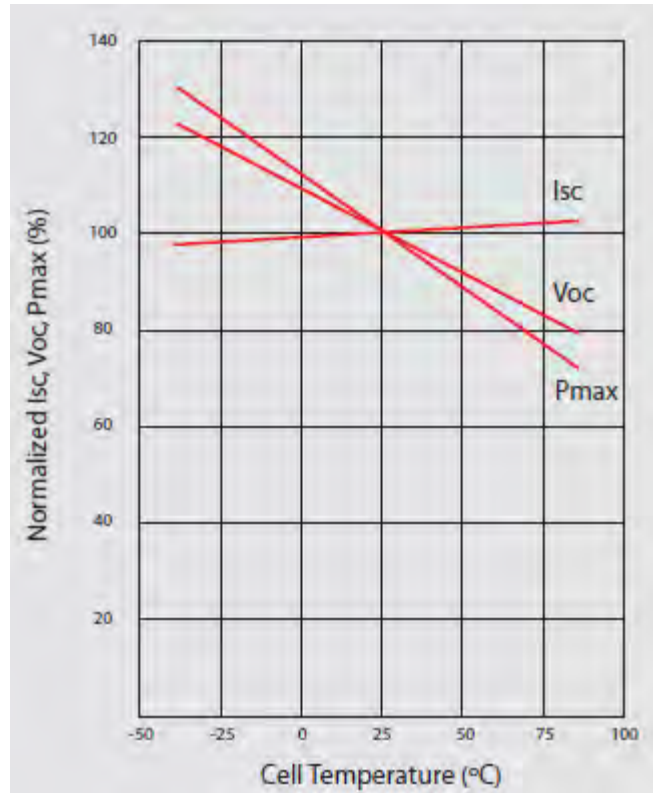
Εικόνα 5-2: Εκτίπωση από το λογισμικό Sunny Design για την συνδεσμολογία των 3861 panel τα 7254 συνολικά πού έχουν ονομαστική ισχύ 280Wp και συνδέονται στους 99 από τους 186 συνολικά Inverters[25].



Πίνακας 5-1: Τεχνικά Χαρακτηριστικά ΦΒ γεννητριών[4]

	SUNTECH STP280-24Vd	SUNTECH STP270-24Vd
Τάση Ανοικτού κυκλώματος V_{OC}	44,8V	44,5V
Τάση V_{MPP}	35,2V	35V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{SC}	8,33A	8,2A
Ρεύμα I_{MPP}	7,95A	7,71A
Μέγιστη ισχύς STC P_{MAX}	280W	270W
Μέγιστη Τάση Συστήματος	1000V	1000V
Όριο ανοχής ισχύος P_{MAX}	±3%	±3%
Θερμοκρασιακός Συντελεστής Μεγιστής ισχύος P_{MAX}	-0,47%/°C	-0,47%/°C
Θερμοκρασιακός Συντελεστής Τάσης ανοικτού κυκλώματος V_{OC}	-0,34%/°C	-0,34%/°C
Θερμοκρασιακός Συντελεστής Ρεύματος βραχυκυκλώματος I_{SC}	0,055%/°C	0,055%/°C
Αριθμός κυψελών	72(6x12)	72(6x12)
Διαστάσεις	1956x992x50mm	1956x992x50mm
Βάρος	27Kg	27Kg
Απόδοση STC	14,43%	13,91%





Εικόνα 5-3: Χαρακτηριστικές Θερμοκρασιακών Συντελεστών ΦΒ γεννητριών[4]

Πίνακας 5-2:Τεχνικά χαρακτηριστικά inverter Sunny Mini Central 11000TL[26]

	Sunny Mini Central 11000TL
Είσοδος (DC)	
Μέγιστη ισχύς DC (cosφ=1)	11.400 W
Μέγιστη τάση εισόδου	700 V
Εύρος Τάσης MPP/Ονομαστική Τάση εισόδου	333-500 V/ 350 V
Ελάχιστη τάση εισόδου/Αρχική τάση εισόδου	333V/400V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	34A
Μέγιστο ρεύμα εισόδου ανά στοιχειοσειρά	34A
Αριθμός ανεξάρτητων MPP/Στοιχειοσειρές αν είσοδοMPP	1/5
Είσοδος (AC)	



Ονομαστική ισχύς (230V,50Hz)	11.000W
Μεγιστή Φαινόμενη Ισχύς	11.000VA
Ονομαστική τάση /Εύρος	220V,230V,240V/180-265V
Συχνότητα Δικτύου /Εύρος	50Hz,60Hz/-6Hz...+5Hz
Ονομαστική Συχνότητα Δικτύου/Τάση Δικτύου	50Hz/230V
Ρυθμιζόμενος Συντελεστής Ισχύος σε Ονομαστική Ισχύ	1
Φάσεις Τροφοδοσίας /Σύνδεσης	1/1
Βαθμός Απόδοσης	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης/Ευρωπαϊκός βαθμός αποδοσης	98%/97,5%

6. Ανάλυση Μετρητικών Δεδομένων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ο έλεγχος της απόδοσης του ΦΒ πάρκου (casestudy 1) με βάση τη διαστασιολόγηση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο και τα διαθέσιμα μετρητικά δεδομένα. Στη συνέχεια θα γίνει ποιοτικός έλεγχος των μετρήσεων και για τα δυο case studies και τέλος θα γίνει σύγκριση των δεδομένων των δύο πάρκων για τις ημερομηνίες που είναι κοινές.

6.1 Έλεγχος Απόδοσης Φωτοβολταϊκού πάρκου

6.1.1 Μεθοδολογία Ανάλυσης -Υπολογισμοί

Σε αυτή τη φάση ανάλυσης θα υπολογισθεί ο συντελεστής απόδοσης του πάρκου για κάθε μέτρηση και μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας θα υπολογισθεί η θεωρητικά αναμενόμενη τιμή της παραγόμενης στιγμιαίας ισχύος. Στη συνέχεια, η θεωρητικά υπολογισμένη τιμή θα συγκριθεί με την μετρούμενη.

Αρχικά με βάση τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των πάνελ θα υπολογίσουμε την στιγμιαία DC ισχύ αιχμής. Ο υπολογισμός γίνεται σε επίπεδο φβ πλαισίου και στη συνέχεια σε επίπεδο ΦΒ συστοιχίας και στη συνέχεια ΦΒ πάρκου.

$$P(G,T) = P_{DC\ stc} \cdot G/1000 - P_{DC\ stc} \cdot a(T-25)$$

$P(G,T)$: Ισχύς σε συγκεκριμένη ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία(W)

$P_{DC\ stc}$: Ισχύς στις πρότυπες συνθήκες μέτρησης(W)

G : Πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας(W/m²)



T : Θερμοκρασία ΦΒ πλαισίου(°C)

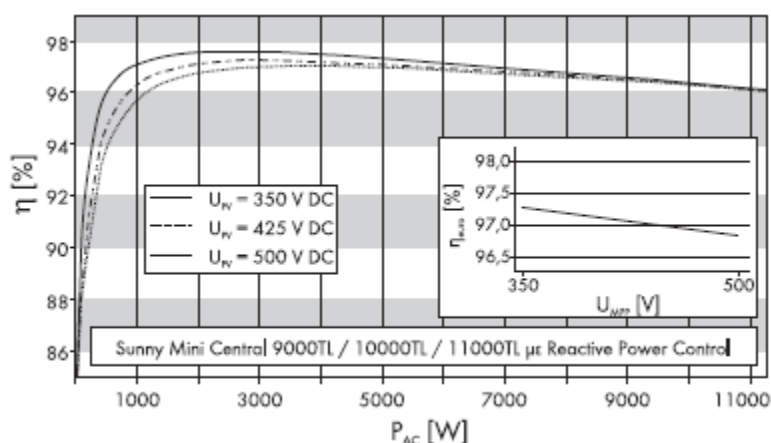
a: θερμοκρασιακός συντελεστής ΦΒ πλαισίου

Έχοντας υπολογίσει την στιγμιαία DC ισχύ μπορεί να υπολογισθεί η AC ισχύς στο σημείο σύνδεσης του ΦΒ πάρκου με τη ΔΕΗ θεωρώντας κάποιους συντελεστές απωλειών στα υπόλοιπα τμήματα της εγκατάστασης. Αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχουν μετρητικά διαθέσιμα δεδομένα για την DC ισχύ αλλά μόνο για την AC ολόκληρου του πάρκου.

Πίνακας 6-1: Συντελεστές απωλειών της εγκατάστασης

Συντελεστής απωλειών	Τιμή
Συντελεστής απωλειών λόγω ανομοιομορφίας panel	0.96
Συντελεστής Μ/Σ ισχύος	0.97
Συντελεστής απωλειών λόγω σκίασης	0
Συντελεστής απωλειών λόγω DC καλωδίωσης	0.99
Συντελεστής απωλειών λόγω AC καλωδίωσης	0.99
Συντελεστής απόδοσης Inverter	Υπολογίζεται για κάθε τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας
Συντελεστής απωλειών διόδων	0.99
Συντελεστής ρύπανσης για ελαφρώς σκονισμένα πλαίσια	0.95

Ο Συντελεστής απόδοσης του inverter προσδιορίζεται από τη καμπύλη λειτουργίας του και από το διαθέσιμο φορτίο κάθε στιγμή.



Εικόνα 6-1: Καμπύλη απόδοσης του inverter της εγκατάστασης σε συνάρτηση με το φορτίο [27]



Για να μπορέσει να γίνει μια εκτίμηση της απόδοσης του inverter για την κάθε μέτρηση της ακτινοβολίας θα προσημειωθεί η παραπάνω καμπύλη με γραμμικές εξισώσεις σε συγκεκριμένα διαστήματα.

Συγκεκριμένα, η εξίσωση που περιγράφει την καμπύλη είναι

$$0 < P < 250 \text{ W} : n(P) = 0,00032P + 0,84$$

$$250 < P < 1000 \text{ W} : n(P) = 0,0000007 P + 0,9$$

$$1000 < P < 2000 \text{ W} : n(P) = 0,000007 P + 0,966$$

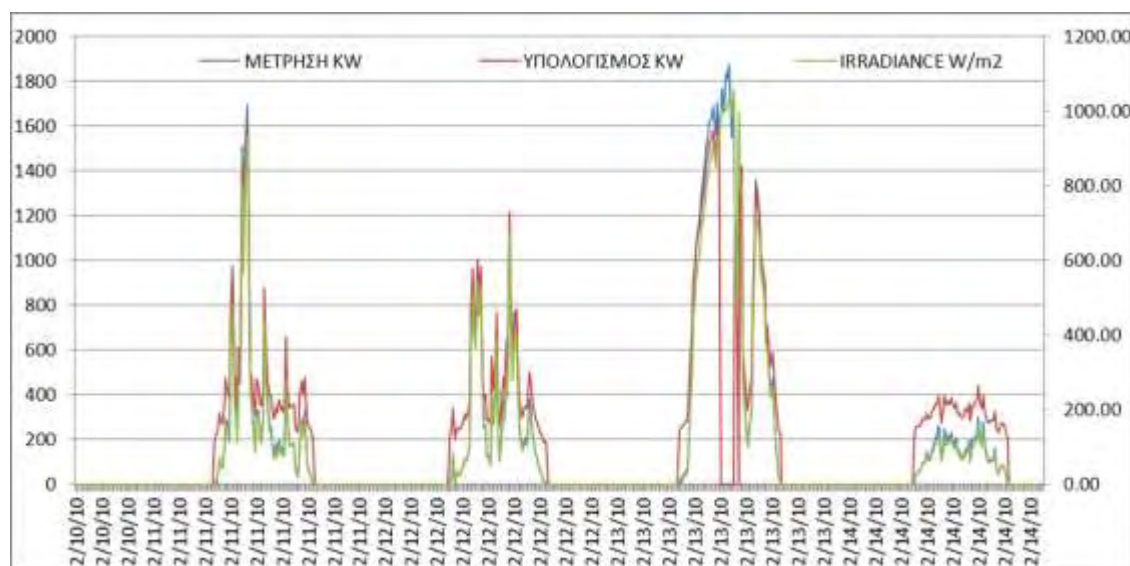
$$2000 < P < 4000 \text{ W} : n(P) = 0,98$$

$$4000 < P < 11000 \text{ W} : n(P) = -0,000001P + 0,982$$

6.1.2 Casestudy1(2MWp)

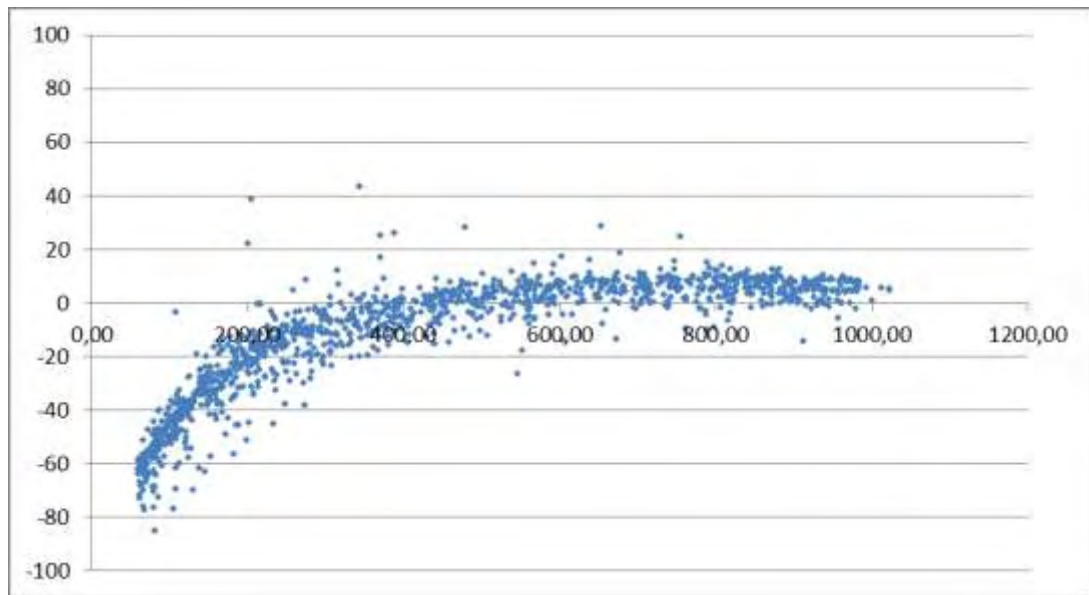
Από τους υπολογισμούς που έγιναν με τη βοήθεια του Microsoft office excel προέκυψαν δεδομένα για τη θεωρητικά αναμενόμενη απόδοση του πάρκου και τα οποία παρουσιάζονται σε ενδεικτικά διαγράμματα για κάθε μήνα. Επίσης, υπολογίστηκε για κάθε μηνά και κάθε τιμή το μετρητικό σφάλμα. Στη συνέχεια παρατίθενται τα διαγράμματα που δείχνουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

Φεβρουάριος 2010



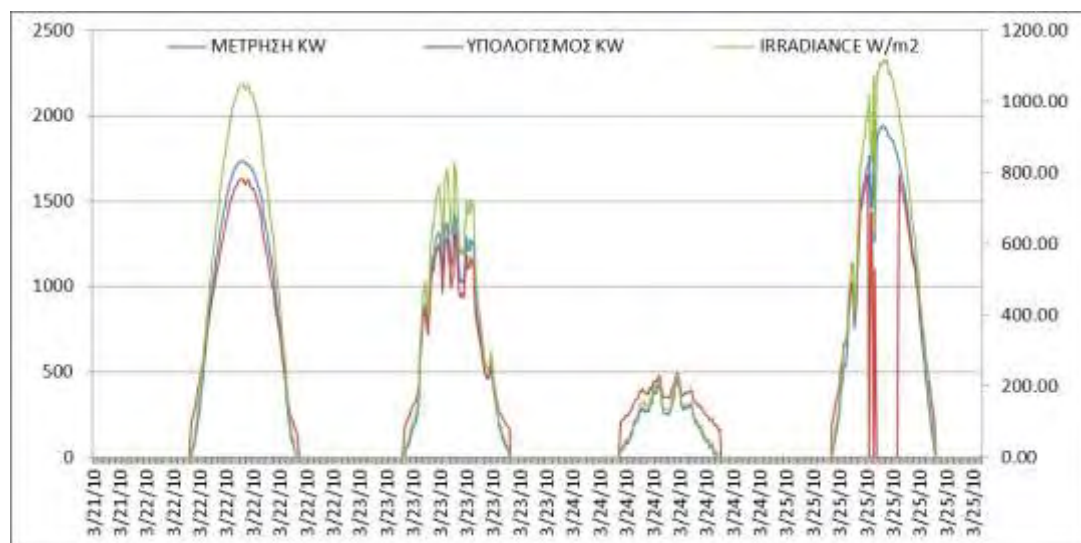
Εικόνα 6-2: Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 11,12,13,14 Φεβρουαρίου.





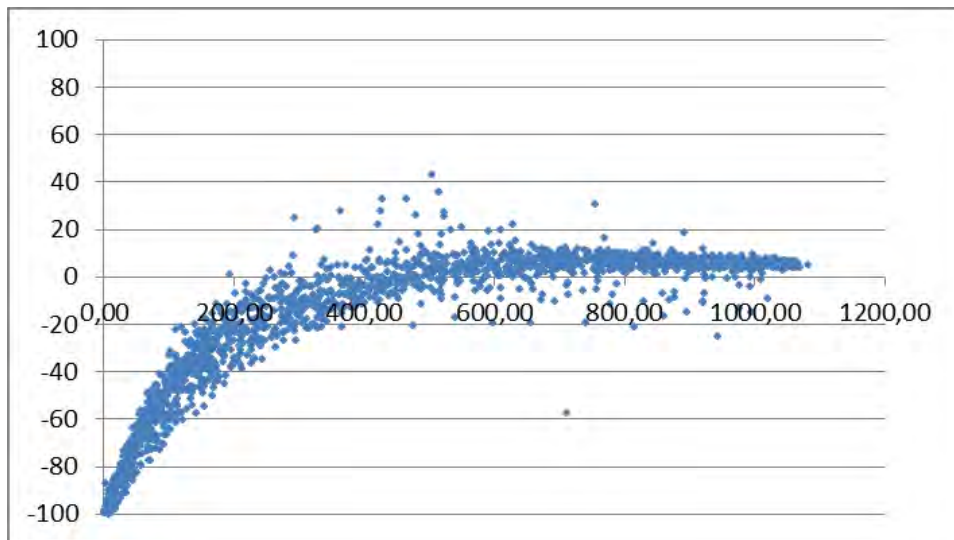
Εικόνα 6-3: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Φεβρουάριο του 2010.

Μάρτιος 2010



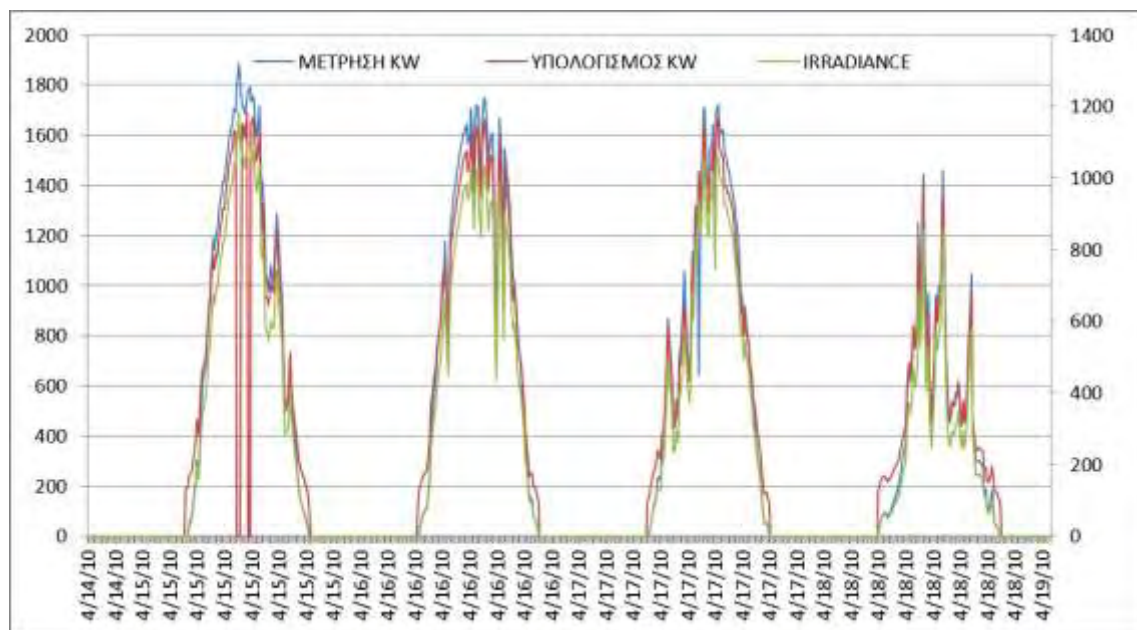
Εικόνα 6-4 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 22,23,24,24 Μάρτιου.





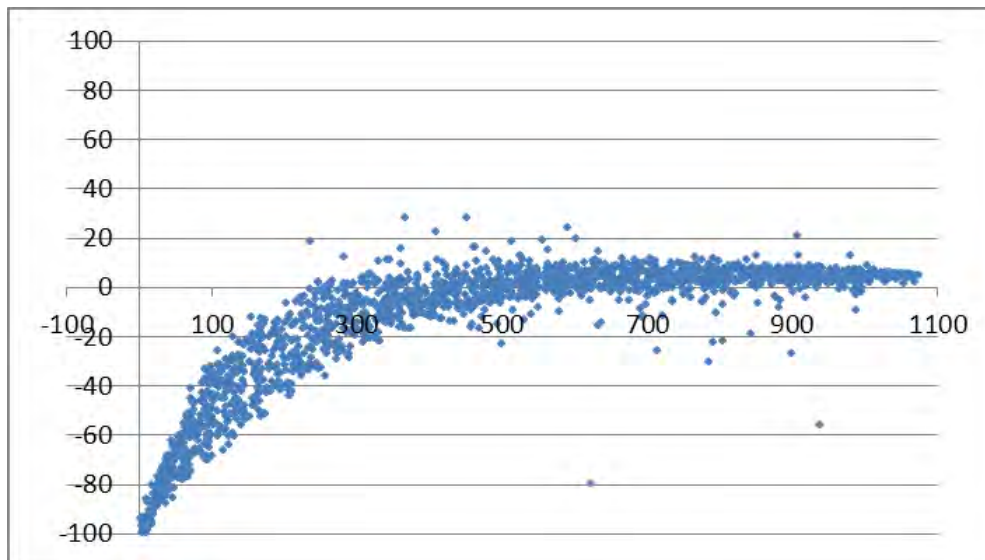
Εικόνα 6-5: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Μάρτιο του 2010.

Απρίλιος 2010



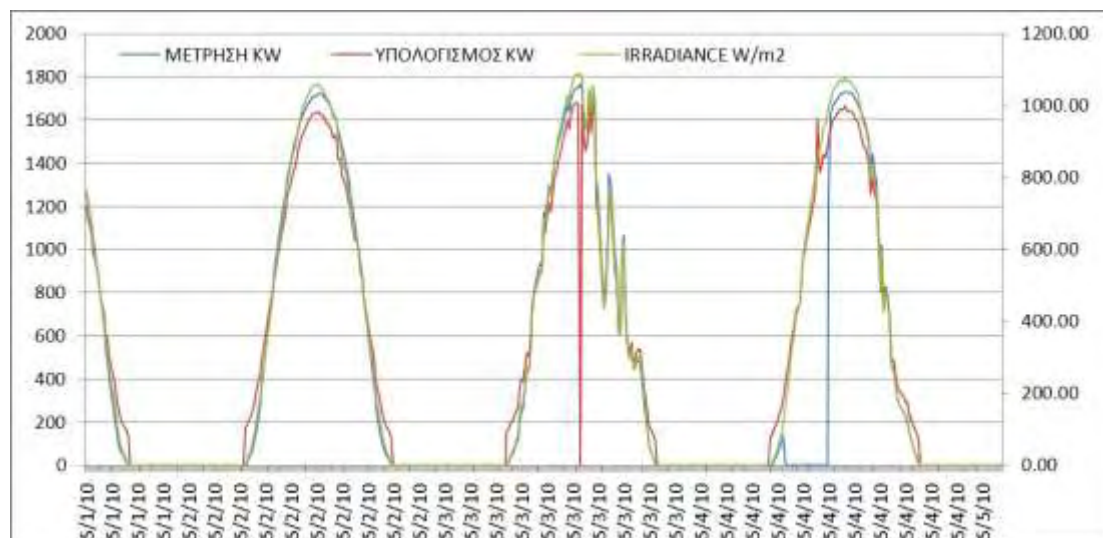
Εικόνα 6-6 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 15,16,17,18 Απριλίου.





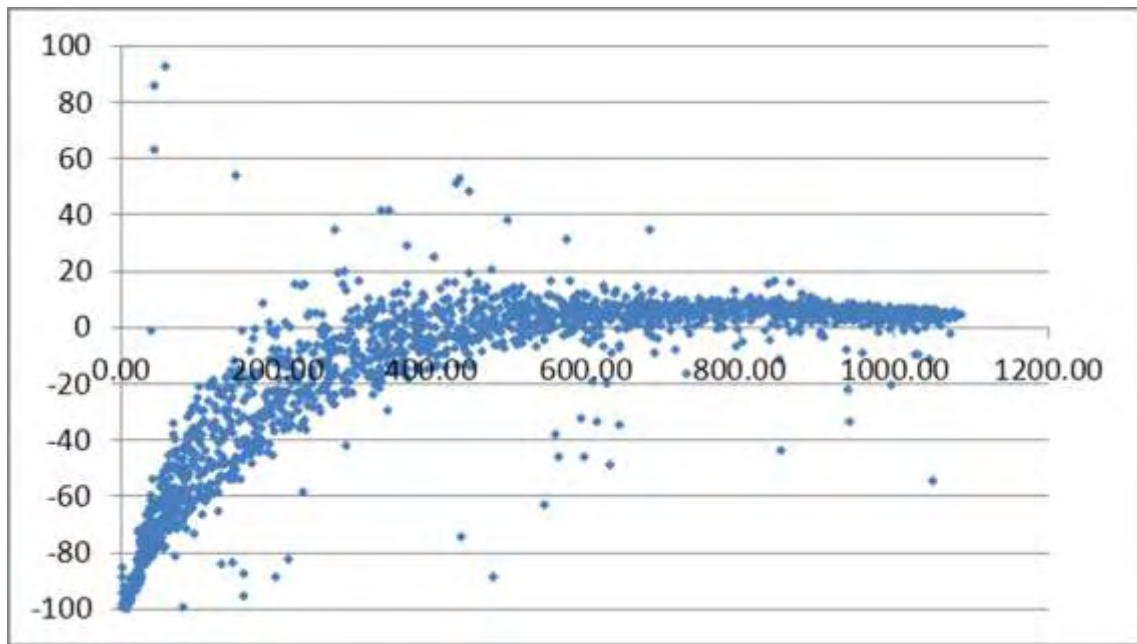
Εικόνα 6-7: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Απρίλιο του 2010.

Μάιος 2010



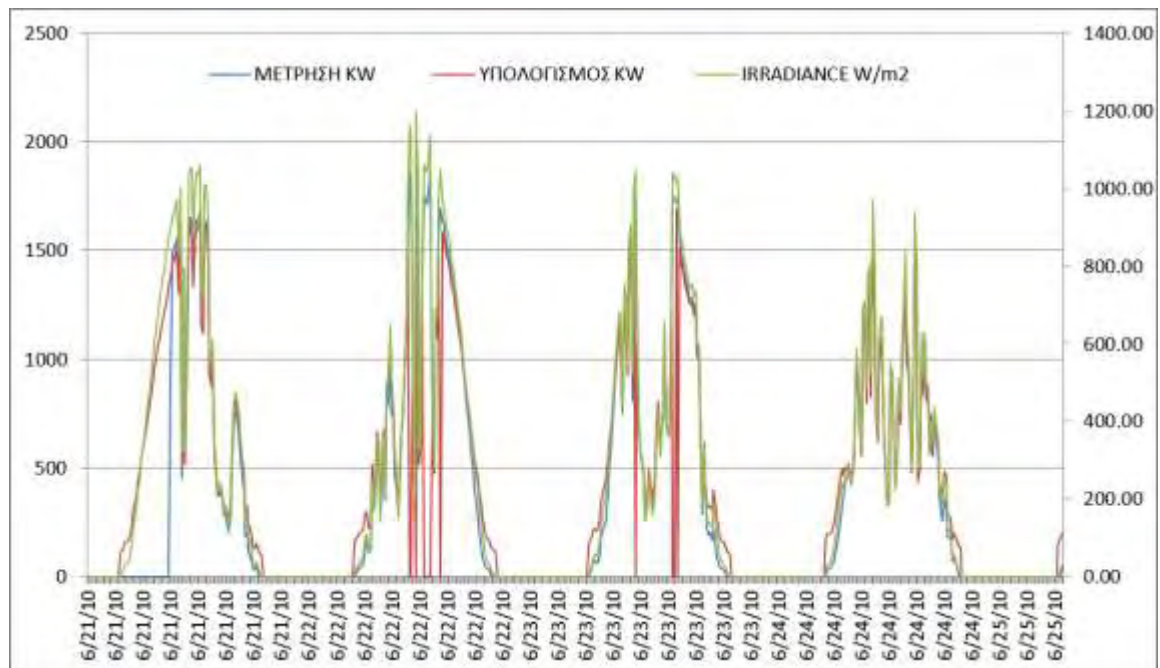
Εικόνα 6-8: Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 2,3,4,5 Μαΐου.





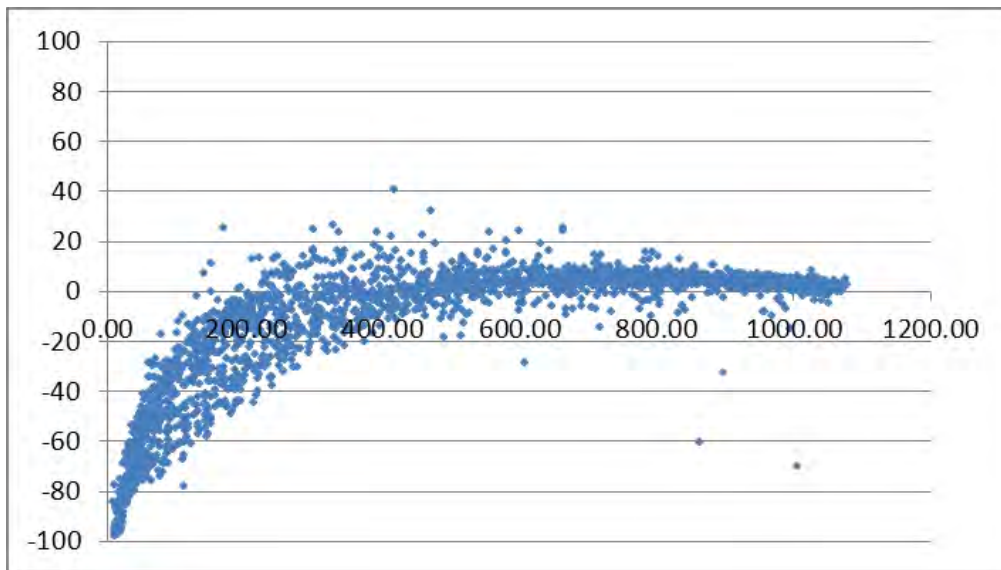
Εικόνα 6-9: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Μάιο του 2010.

Ιούνιος 2010



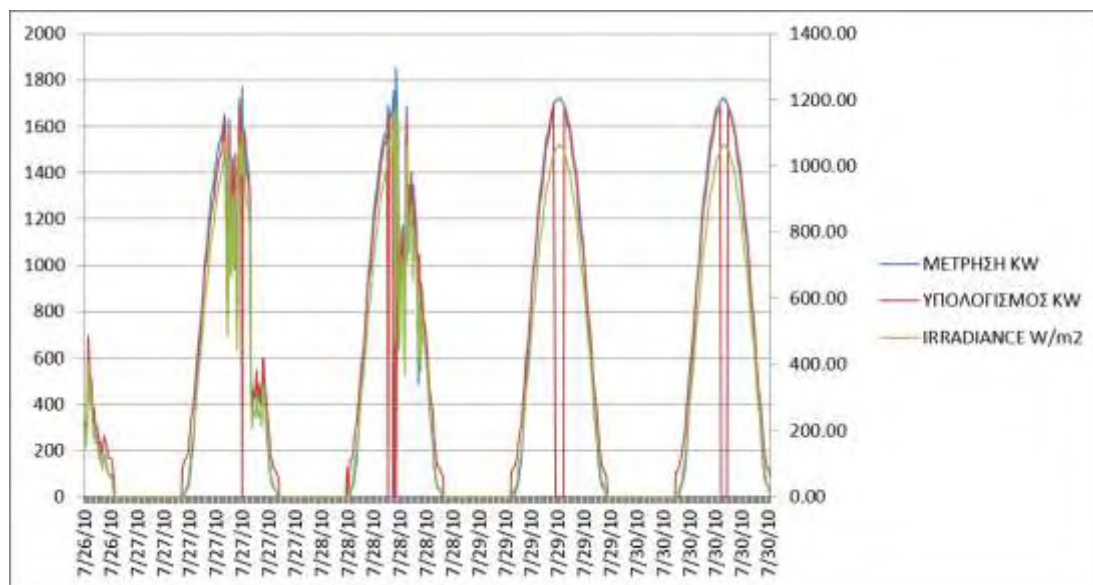
Εικόνα 6-10 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 21,22,23,24 Ιουνίου.





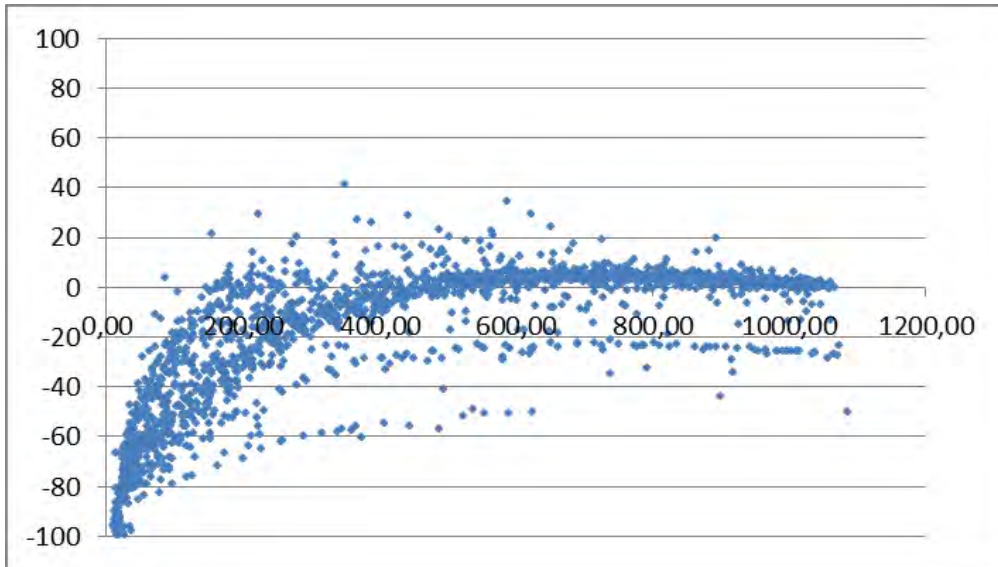
Εικόνα 6-11: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Ιούνιο του 2010.

Ιούλιος 2010



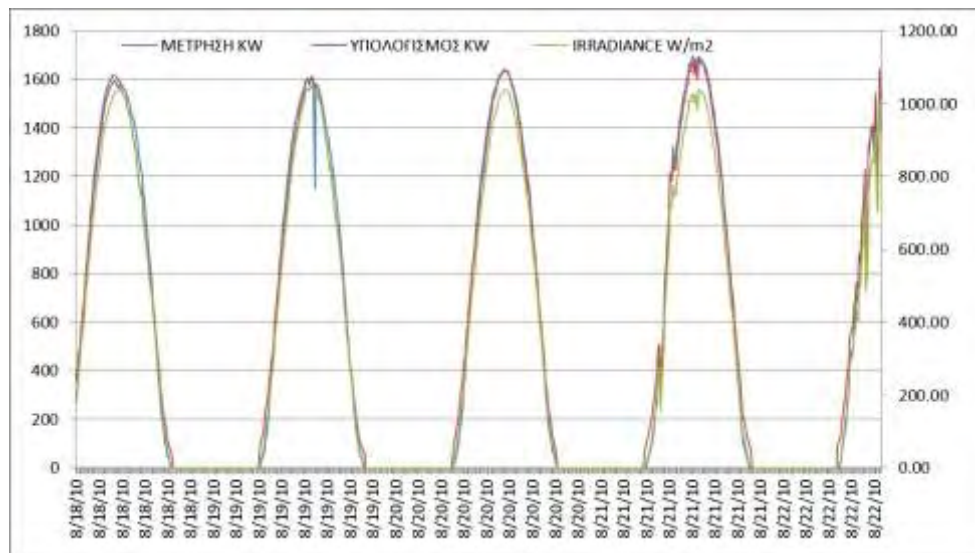
Εικόνα 6-12 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 27,28,29,30 Ιουλίου.





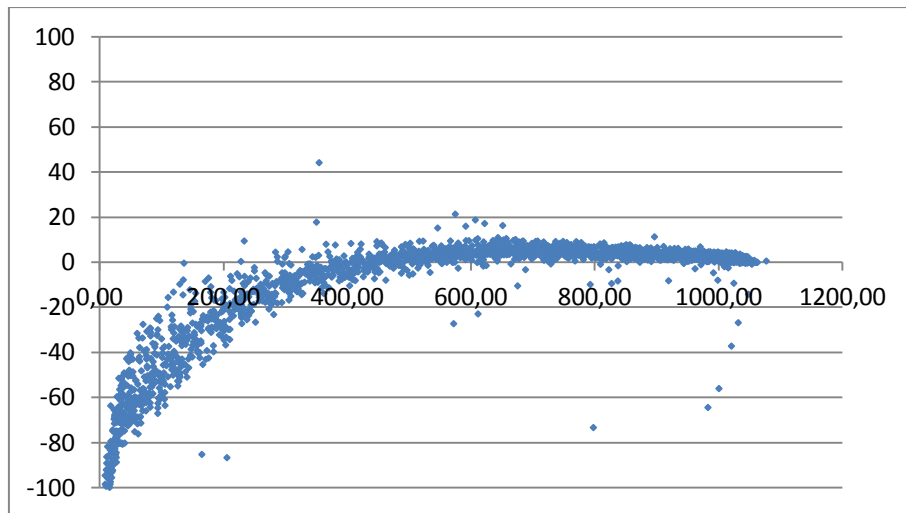
Εικόνα 6-13: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Ιούλιο του 2010.

Αύγουστος 2010



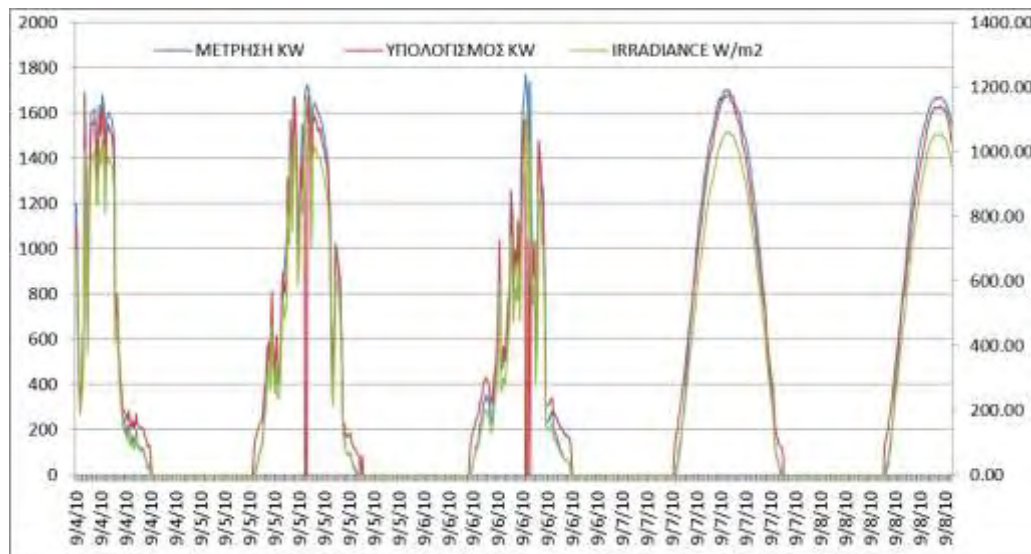
Εικόνα 6-14: Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 18,19,20,21 Αυγούστου.





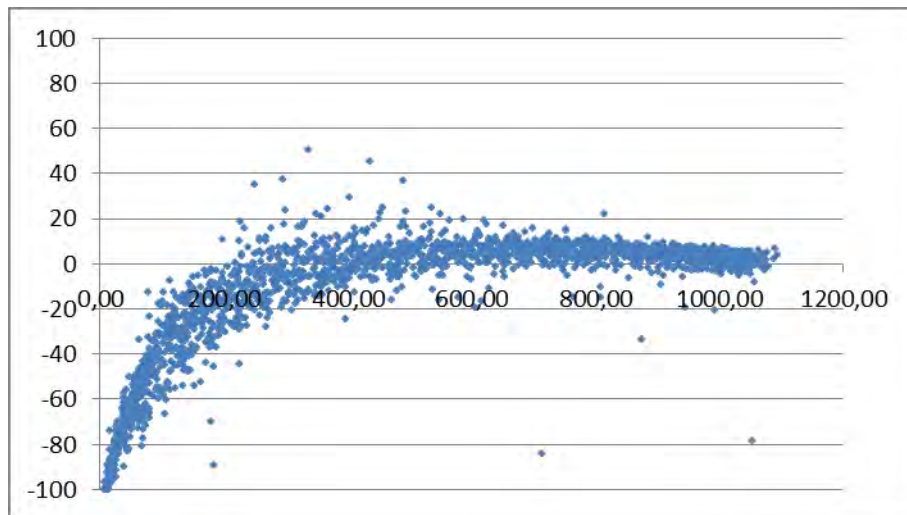
Εικόνα 6-15: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Αύγουστο του 2010.

Σεπτέμβριος 2010



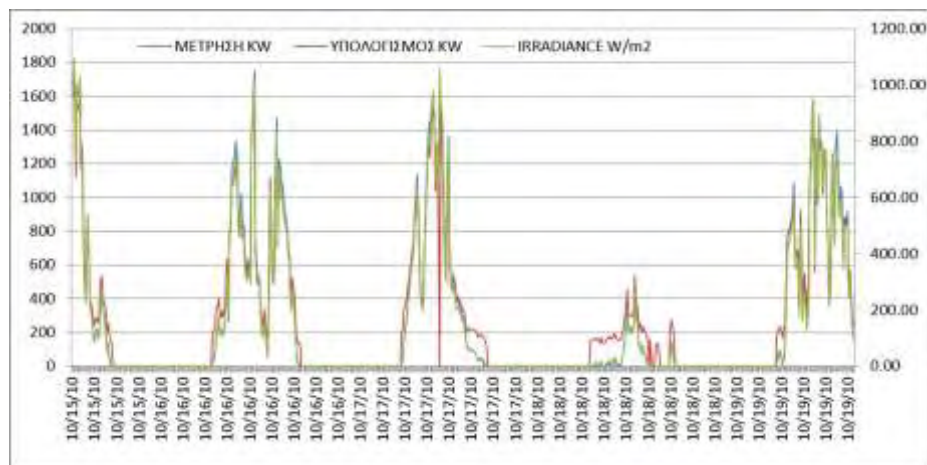
Εικόνα 6-16: Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 4,5,6,7 Σεπτεμβρίου.





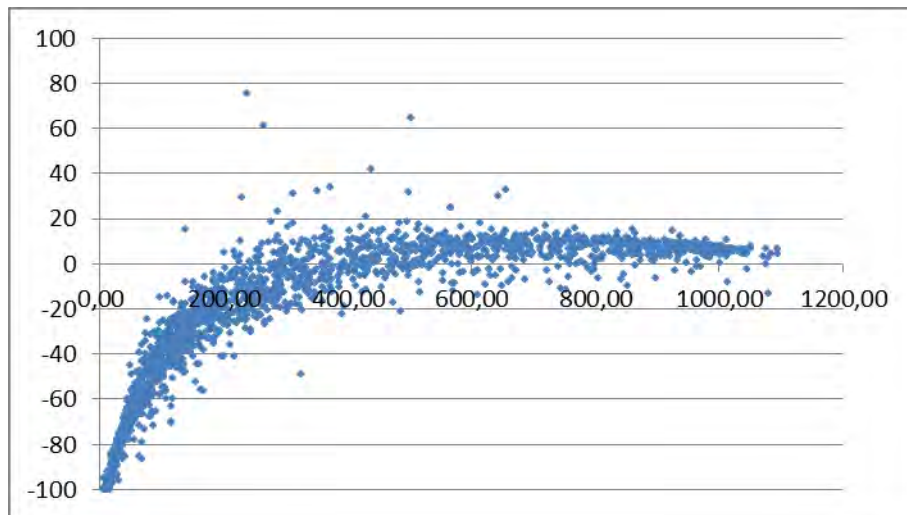
Εικόνα 6-17 : Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Σεπτέμβριο του 2010.

Οκτώβριος 2010



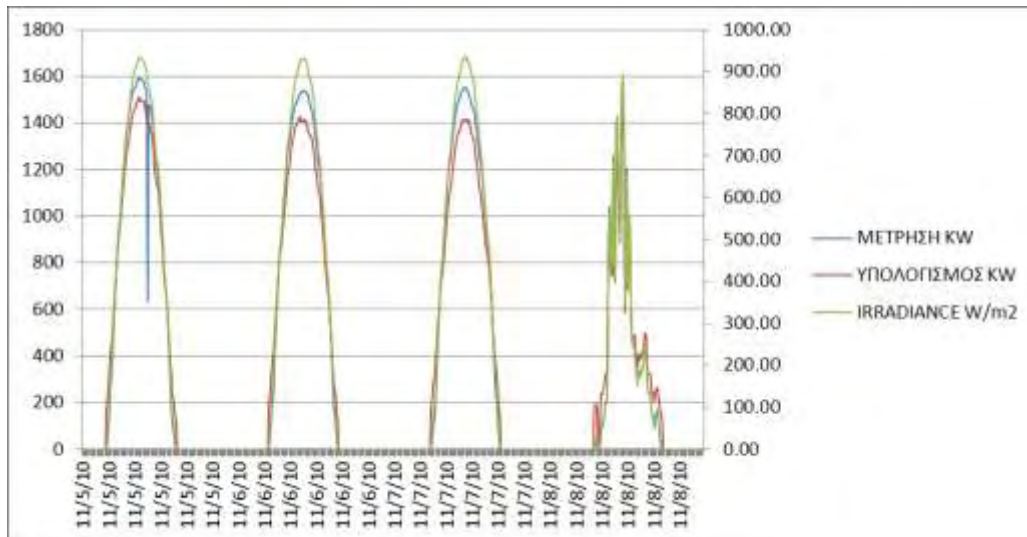
Εικόνα 6-18 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 16,17,18,19 Οκτωβρίου.





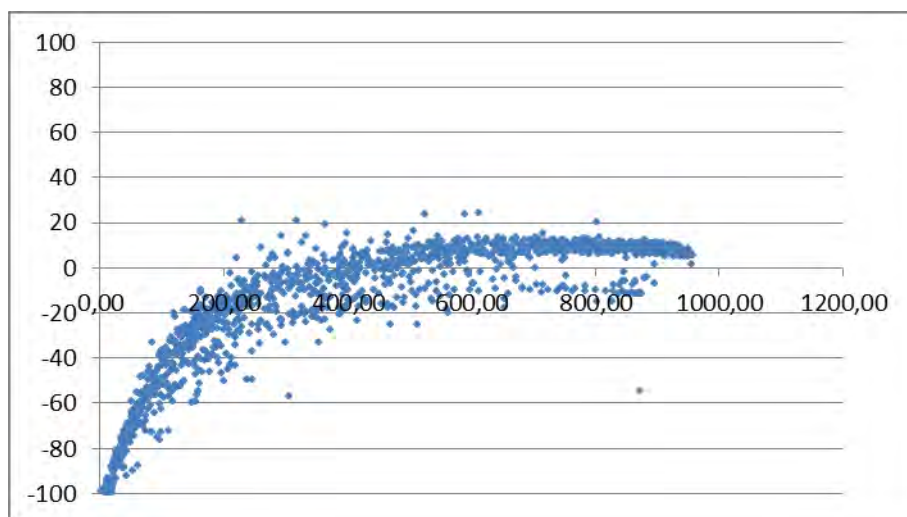
Εικόνα 6-19: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Οκτώβριο του 2010.

Νοέμβριος 2010



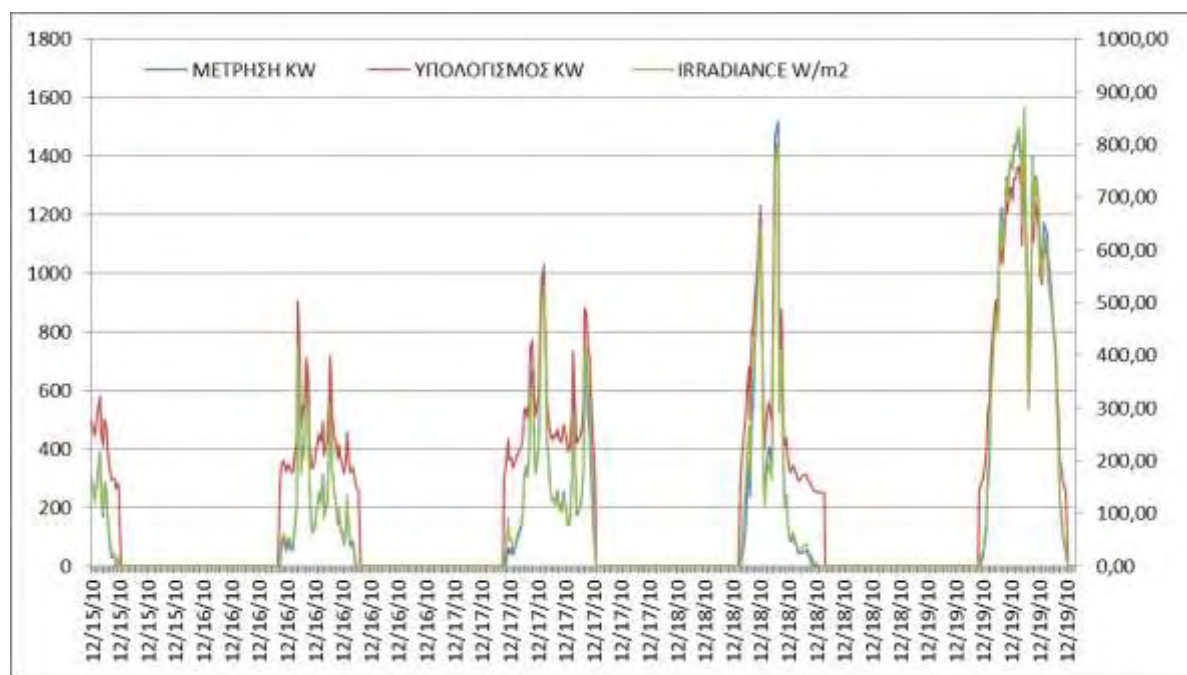
Εικόνα 6-20 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 5,6,7,8 Νοεμβρίου.





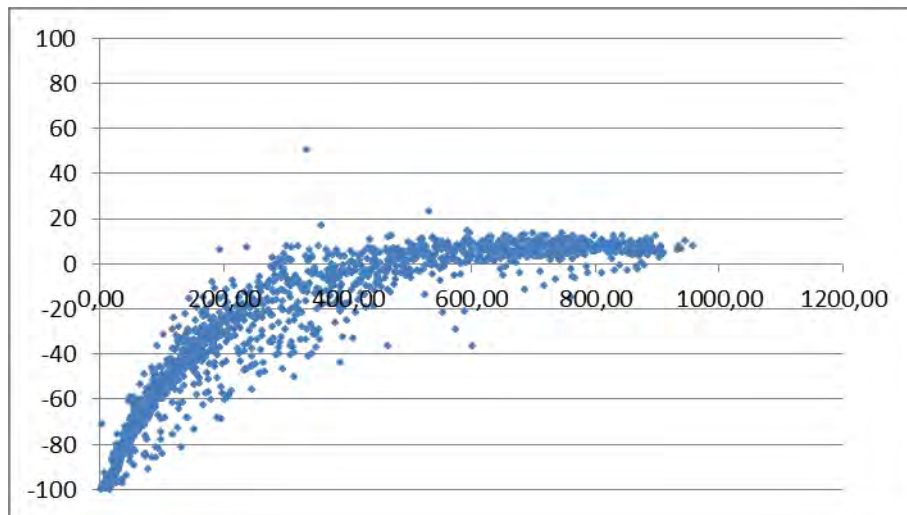
Εικόνα 6-21: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Νοέμβριο του 2010.

Δεκέμβριος 2010



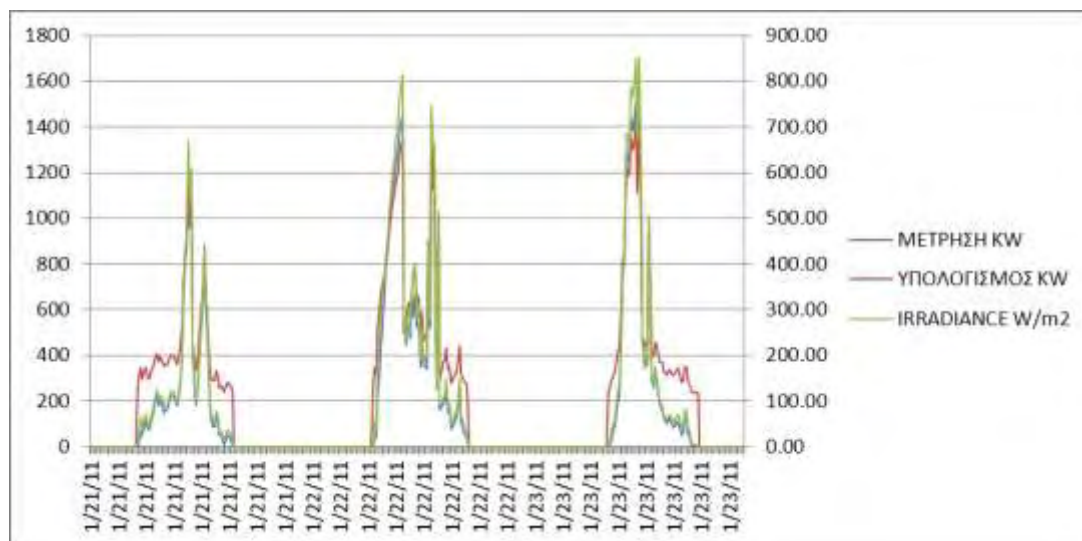
Εικόνα 6-22 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 16,17,18,19 Δεκεμβρίου.





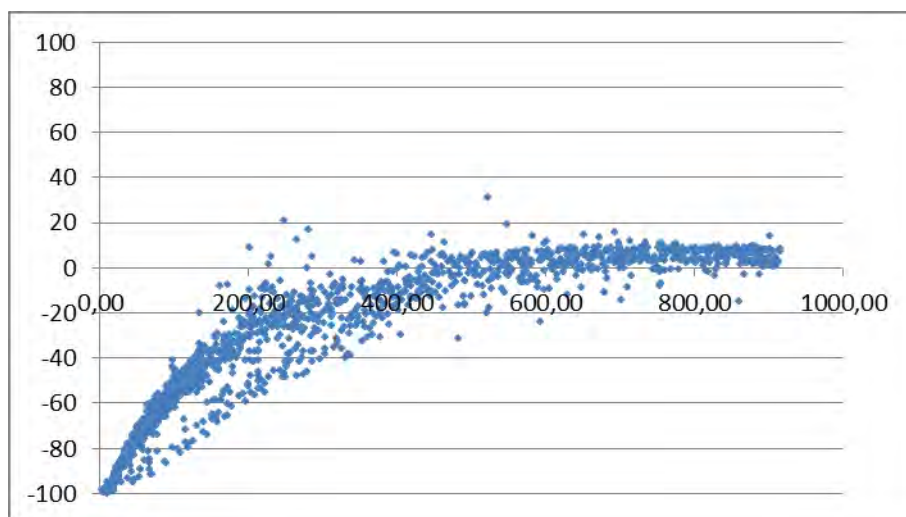
Εικόνα 6-23: Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Δεκέμβριο του 2010.

Ιανουάριος 2011



Εικόνα 6-24: Στο διάγραμμα απεικονίζεται η μέτρηση της ισχύος του πάρκου και ο θεωρητικός υπολογισμός της ισχύος του πάρκου για τις 21,22,23 Ιανουαρίου.





Εικόνα 6-25: : Στο σχήμα φαίνεται η απόκλιση (%) της μετρούμενης με την υπολογιζόμενη τιμή της ισχύος (KW) στο σημείο σύνδεσης του πάρκου σε συνάρτηση με την μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) για το μήνα Ιανουάριο του 2011.

6.2 Ποιοτικός έλεγχος των μέτρησεων

6.2.1 Casestudy 1 (2 MWp)

Φεβρουάριος

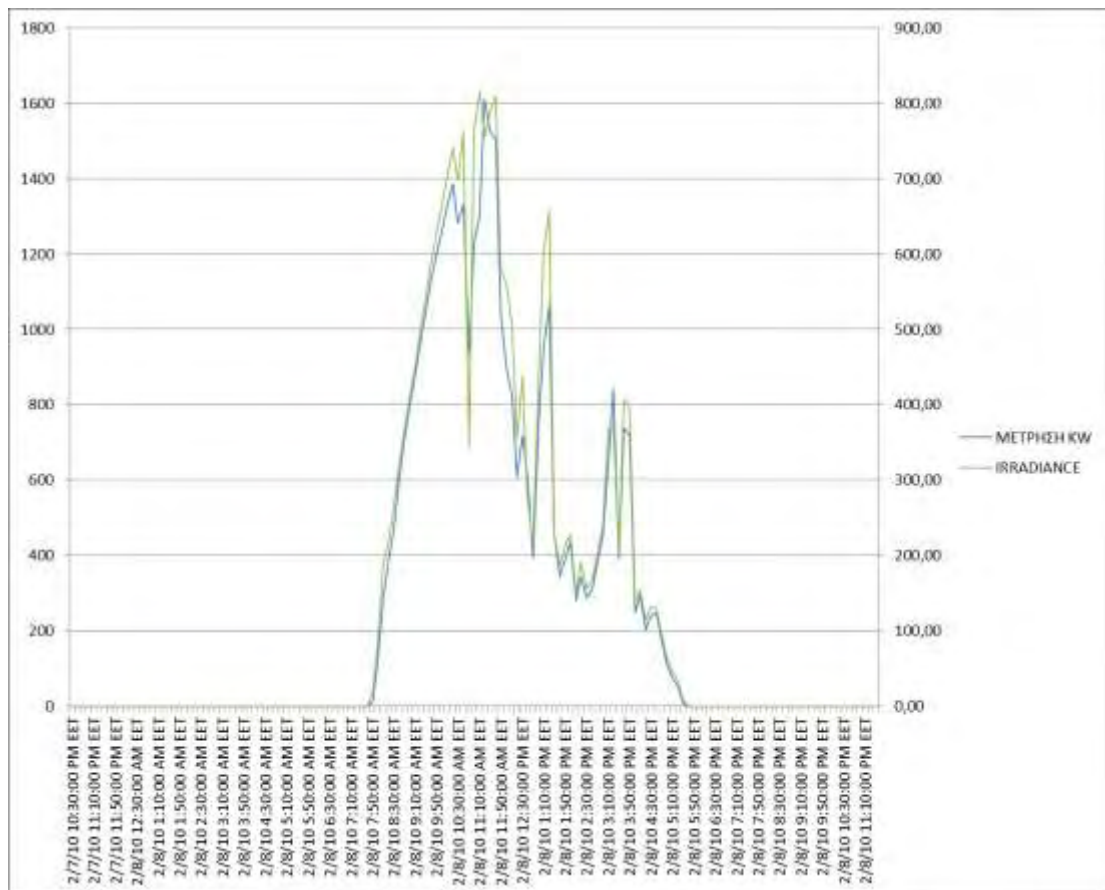
Πίνακας 6-2: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Φεβρουάριο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/2/2011		15/2/2011	0,99
2/2/2011		16/2/2011	1,00
3/2/2011	0,78	17/2/2011	0,96
4/2/2011	1,00	18/2/2011	1,00
5/2/2011	0,99	19/2/2011	1,00
6/2/2011	1,00	20/2/2011	1,00
7/2/2011	1,00	21/2/2011	1,00
8/2/2011	0,98	22/2/2011	1,00
9/2/2011	1,00	23/2/2011	0,99
10/2/2011	1,00	24/2/2011	1,00
11/2/2011	1,00	25/2/2011	0,97
12/2/2011	0,99	26/2/2011	0,99
13/2/2011	0,99	27/2/2011	1,00
14/2/2011	1,00	28/1/2011	1,00

Κατά το μήνα Φεβρουάριο σε γενικές γραμμές η συσχέτιση ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος είναι σε καλά επίπεδα. Παρατηρούνται 6 μέρες συντελεστές συσχέτισης 0,96-0,98 και μια μέρα πολύ χαμηλός 0,78. Ο πολύ χαμηλός συντελεστής συσχέτισης οφείλεται στην μηδενική



μέτρηση της ηλεκτρικής ισχύος για ένα διάστημα της ημέρας. Η μηδενική μέτρηση μπορεί να οφείλεται είτε σε κάποιο σφάλμα καταγραφής είτε σε κάποια διακοπή ρεύματος που σημαίνει απώλεια παραγωγής καθώς ο Inverter δε μπορεί να λειτουργήσει εάν δε βλέπει δίκτυο. Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι μετρήσεις μια ημέρας που ο συντελεστής συσχέτισης είναι 0,98. Εκείνη την ημέρα παρατηρείται περίπου στις 10 το πρωί η ηλεκτρική ισχύς του πάρκου να μην ακολουθεί την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό πιθανώς οφείλεται σε κάποια στιγμιαία αστοχία του mpp tracker σε κάποιους inverter. Ένα άλλο πιθανό σενάριο είναι να έχουν σκιαστεί κάποια από τα πλαίσια που είναι σε σειρά συνδεδεμένα στο ίδιο Inverter και έτσι ο mpp tracker του inverter να εντόπισε λάθος σημείο βέλτιστης λειτουργίας στην i-v καμπύλη κάποιας στοιχειοσειράς.



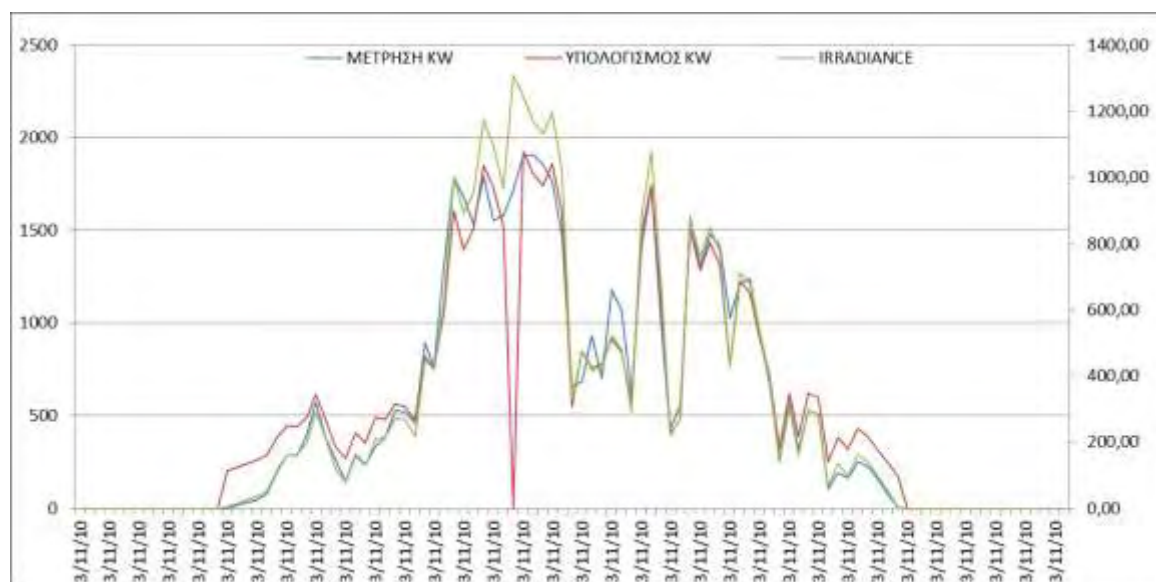
Εικόνα 6-26: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος του φβ πάρκου μια ημέρα που παρατηρείται συντελεστής συσχέτισης 0,98



Μάρτιος

Πίνακας 6-3: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Μάρτιο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/3/2010	1,00	17/3/2010	1,00
2/3/2010	1,00	18/3/2010	1,00
3/3/2010	1,00	19/3/2010	1,00
4/3/2010	1,00	20/3/2010	1,00
5/3/2010	0,99	21/3/2010	1,00
6/3/2010	0,99	22/3/2010	1,00
7/3/2010	1,00	23/3/2010	1,00
8/3/2010	1,00	24/3/2010	1,00
9/3/2010	0,99	25/3/2010	1,00
10/3/2010	1,00	26/3/2010	1,00
11/3/2010	0,98	27/3/2010	1,00
12/3/2010	1,00	28/3/2010	0,99
13/3/2010	1,00	29/3/2010	1,00
14/3/2010	1,00	30/3/2010	1,00
15/3/2010	0,99	31/3/2010	0,99
16/3/2010	0,99		



Εικόνα 6-27: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος και υπολογισμός ηλεκτρική ισχύος την 11/3/2010 όπου παρατηρείται συντελεστής συσχέτισης 0,98 που είναι ο χαμηλότερος του μήνα.

Το πρόβλημα εντοπίζεται όταν η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας κάνει μια πολύ μεγάλη αιχμή και ξεπερνά τα 1150W/m^2 , σε εκείνο το σημείο μπορούμε να παρατηρήσουμε πως η καμπύλη της



μετρούμενης ισχύος δεν ακολουθεί τη καμπύλη του ηλιακής ακτινοβολίας. Πρέπει να σημειώσουμε πως η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ασυνήθιστα μεγάλη για τα ηλιακά δεδομένα της χώρας. Επίσης, παρατηρείται και μηδενικός υπολογισμός της θεωρητικά αναμενόμενης ισχύος και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η φόρτιση του inverter είναι πολύ μεγάλη και στο μοντέλο υπολογισμού δε αναμενόταν τόσο μεγάλες φορτίσεις. Πιθανώς, πρόκειται για κάποιο μετρητικό σφάλμα του συστήματος μέτρησης-καταγραφής του φβ πάρκου.

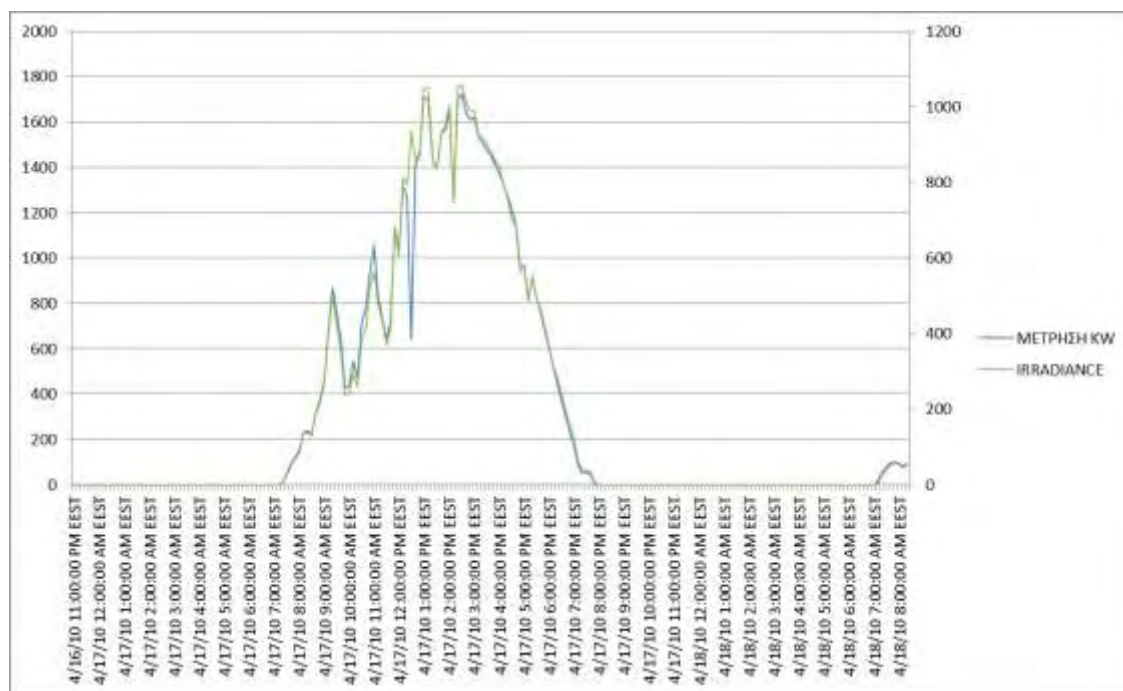
Απρίλιος

Πίνακας 6-4: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Απρίλιο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/4/2010	1,00	15/4/2010	1,00
2/4/2010	1,00	16/4/2010	1,00
3/4/2010	1,00	17/4/2010	0,98
4/4/2010	1,00	18/4/2010	0,99
5/4/2010	1,00	19/4/2010	1,00
6/4/2010	1,00	20/4/2010	1,00
7/4/2010	1,00	21/4/2010	1,00
8/4/2010	0,99	22/4/2010	0,58
9/4/2010	1,00	23/4/2010	1,00
10/4/2010	1,00	24/4/2010	1,00
11/4/2010	1,00	25/4/2010	1,00
12/4/2010	1,00	26/4/2010	0,99
13/4/2010	1,00	27/4/2010	0,99
14/4/2010	0,99	28/4/2010	1,00
15/4/2010	1,00	29/4/2010	1,00
		30/4/2010	1,00

Οι μετρήσεις του Απριλίου ήταν σε πολύ καλά επίπεδα όπως και του Μαρτίου με εξαίρεση την 22^α Απριλίου όπου παρατηρήθηκε ένα πολύ χαμηλός συντελεστής συσχέτισης 0,58 εξαιτίας μηδενικών μετρήσεων της ηλεκτρικής ισχύος που μπορεί να οφείλονται είτε σε σφάλμα είτε σε διακοπή ρεύματος όπως παρατηρήθηκε και τους προηγούμενους μήνες. Επίσης, μερικές μέρες παρατηρήθηκε συντελεστής συσχέτισης 0,98-0,99 που οφείλονται σε κάποιο διάστημα της ημέρας που λόγω νεφώσεων πιθανώς είχαμε σημαντική διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας.





Εικόνα 6-28: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ηλεκτρικής ισχύος και υπολογισμός ηλεκτρική ισχύος την 17/4/2010 όπου παρατηρείται συντελεστής συσχέτισης 0,98.

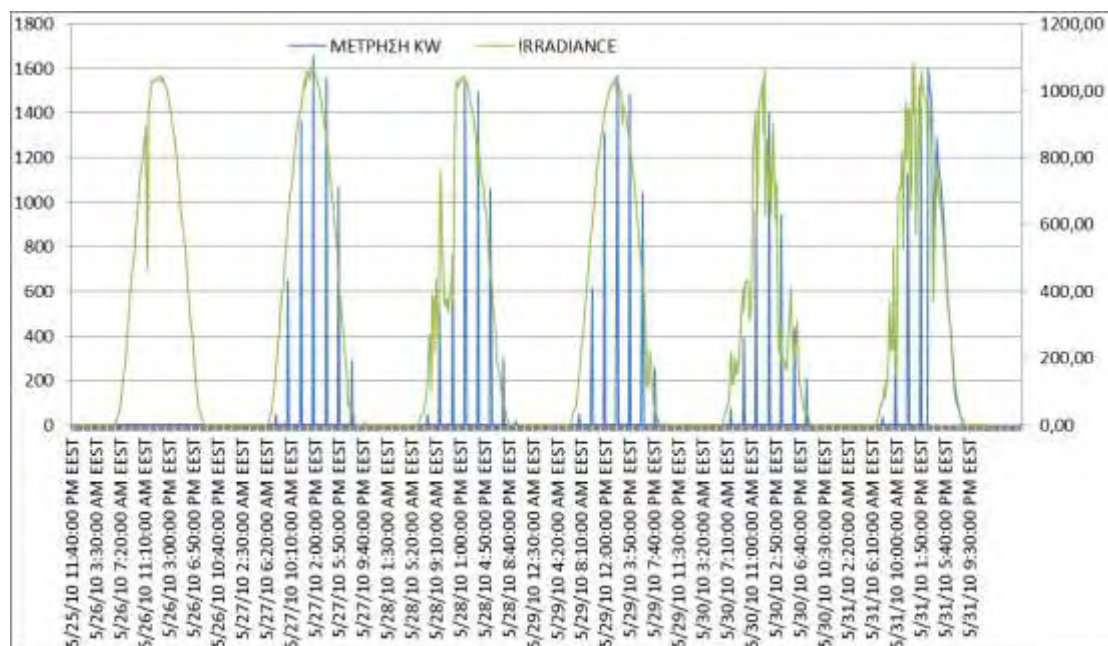
Μάιος

Πίνακας 6-5: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Μάιο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/5/2010	1,00	17/5/2010	0,99
2/5/2010	1,00	18/5/2010	0,85
3/5/2010	1,00	19/5/2010	0,99
4/5/2010	0,71	20/5/2010	1,00
5/5/2010	1,00	21/5/2010	0,98
6/5/2010	1,00	22/5/2010	0,99
7/5/2010	1,00	23/5/2010	1,00
8/5/2010	1,00	24/5/2010	1,00
9/5/2010	1,00	25/5/2010	0,89
10/5/2010	0,67	26/5/2010	
11/5/2010	1,00	27/5/2010	0,13
12/5/2010	0,94	28/5/2010	0,12
13/5/2010	0,93	29/5/2010	0,13
14/5/2010	1,00	30/5/2010	0,11
15/5/2010	1,00	31/5/2010	0,28
16/5/2010	1,00		



Το Μάιο η συσχέτιση της ηλιακής ακτινοβολίας και της ισχύος όπως παρατηρείται και στο πίνακα δεν ήταν καλά επίπεδα. Αυτό συμβαίνει διότι σε όλη τη διάρκεια του μήνα υπήρχαν πολλές μηδενικές μετρήσεις της ηλεκτρικής ισχύος σε ώρες όπου η ηλιακή ακτινοβολία ήταν σε σημαντικά επίπεδα. Παρατηρήθηκαν επίσης και μηδενικές μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ η ηλεκτρική ισχύς καταγραφόταν κανονικά. Πιθανώς δημιουργήθηκε κάποιο πρόβλημα στο μετρητικό-καταγραφικό σύστημα της εγκατάστασης. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα είναι οι πέντε τελευταίες μέρες του μήνα όπου η ηλεκτρική ισχύς καταγραφόταν κανονικά, η ηλεκτρική ισχύς καταγραφόταν κάθε μία η δύο ώρες.



Εικόνα 6-29: Οι πέντε τελευταίες μέρες του Μάιου όπου η ηλεκτρική ισχύς καταγραφόταν κύαθε περίπου 2 ώρες, κάτι που οδήγησε στους πολύ χαμηλούς συντελεστές συσχέτισης.

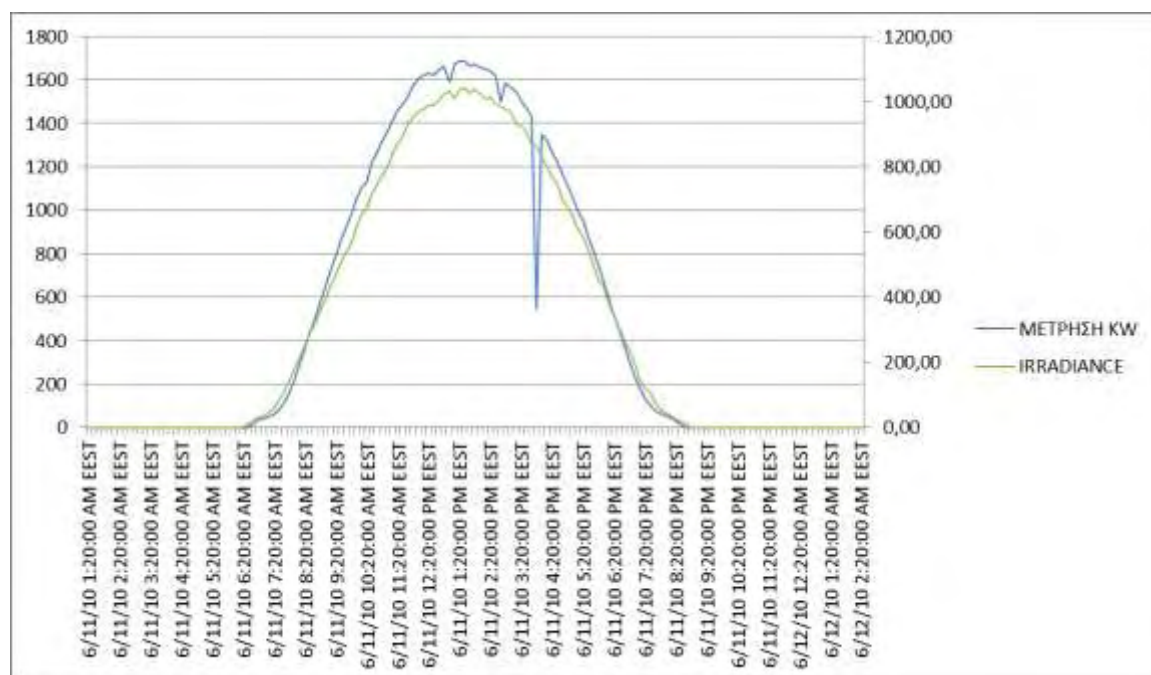


Ιούνιος

Πίνακας 6-6: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

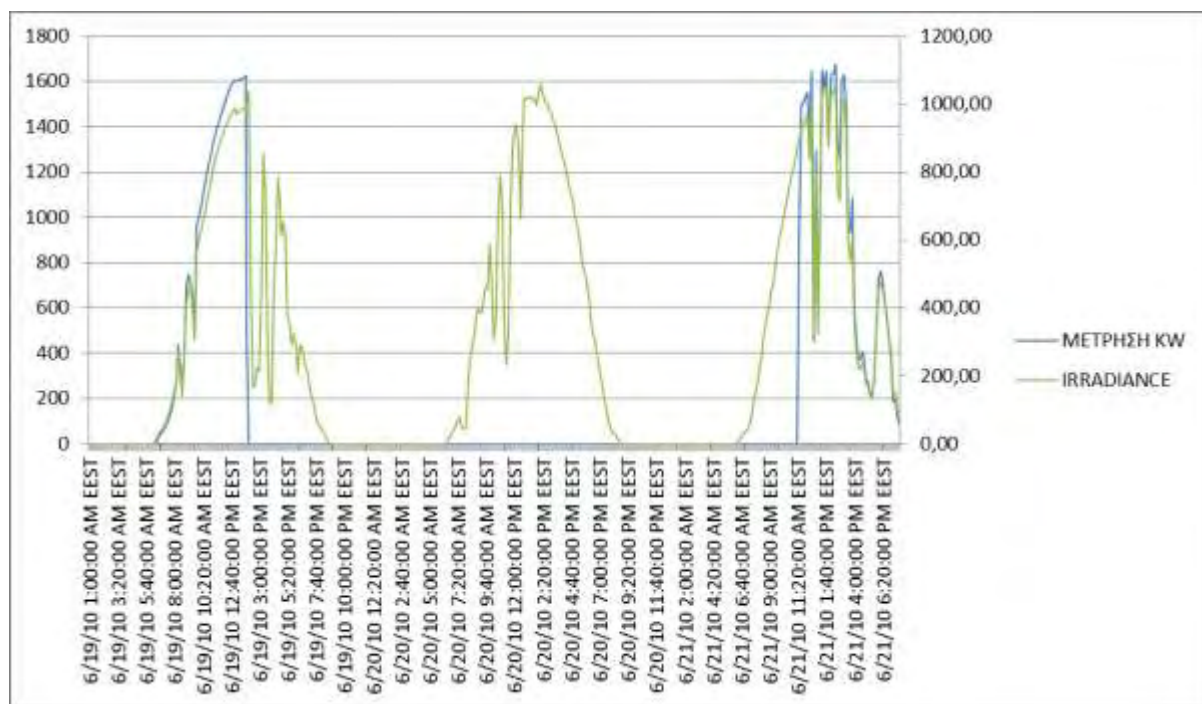
Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Ιούνιο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/6/2010	1,00	16/6/2010	1,00
2/6/2010	1,00	17/6/2010	1,00
3/6/2010	1,00	18/6/2010	1,00
4/6/2010	1,00	19/6/2010	0,76
5/6/2010	1,00	20/6/2010	
6/6/2010	0,99	21/6/2010	0,74
7/6/2010	0,99	22/6/2010	1,00
8/6/2010	1,00	23/6/2010	1,00
9/6/2010	1,00	24/6/2010	0,99
10/6/2010	1,00	25/6/2010	0,99
11/6/2010	0,98	26/6/2010	1,00
12/6/2010	1,00	27/6/2010	1,00
13/6/2010	1,00	28/6/2010	1,00
14/6/2010	1,00	29/6/2010	0,99

Τον Ιούνιο η συσχέτιση μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και της ισχύος του πάρκου ήταν σε πολύ καλά επίπεδα εκτός από την 11^η Ιουνίου όπου η ισχύς έχει μια βύθιση που δεν εξηγείται από την τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας και από το διάστημα 19-21 Ιουνίου όπου οι μετρήσεις της ισχύος είναι μηδενικές. Τα συμπεράσματα φαίνονται και στα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 6-30: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 11^η Ιουνίου όπου παρατηρείται συσχέτιση 0,98.





Εικόνα 6-31: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά το διάστημα 19-21 Ιουνίου όπου παρατηρείται προφανώς κάποια διακοπή της παράγωγης του πάρκου .

Ιούλιος

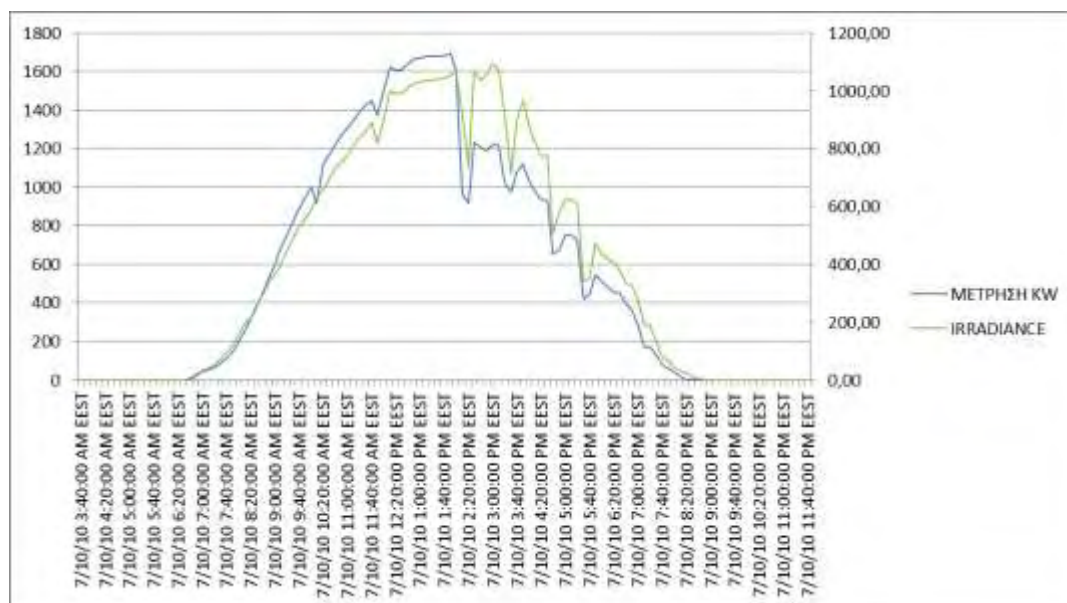
Πίνακας 6-7: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Ιούλιο			
1/7/2010	0,99	17/7/2010	1,00
2/7/2010	0,95	18/7/2010	1,00
3/7/2010	0,97	19/7/2010	0,99
4/7/2010	1,00	20/7/2010	0,99
5/7/2010		21/7/2010	1,00
6/7/2010		22/7/2010	1,00
7/7/2010		23/7/2010	1,00
8/7/2010	0,42	24/7/2010	1,00
9/7/2010	1,00	25/7/2010	1,00
10/7/2010	0,95	26/7/2010	
11/7/2010	1,00	27/7/2010	1,00
12/7/2010	0,99	28/7/2010	0,99
13/7/2010	1,00	29/7/2010	1,00
14/7/2010	0,55	30/7/2010	1,00
15/7/2010	0,96	31/7/2010	1,00
16/7/2010	1,00		

Τον Ιούλιο η συσχέτιση ήταν σε γενικές γραμμές σε καλά επίπεδα αν εξαιρεθούν οι μέρες των οποίων οι μετρήσεις της ισχύος ήταν μηδενικές δηλαδή 5-8, και 14-15 Ιουλίου. Παρατηρήθηκε και



την 10^η Ιουλίου που οι μετρήσεις ήταν κανονικές ένας συντελεστής συσχέτισης 0,95 και όπως φαίνεται στο διάγραμμα υπάρχει μια ασυμφωνία των καμπυλών το πρωί.



Εικόνα 6-32: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 10^η Ιουλίου όπου παρατηρείται συσχέτιση 0,95

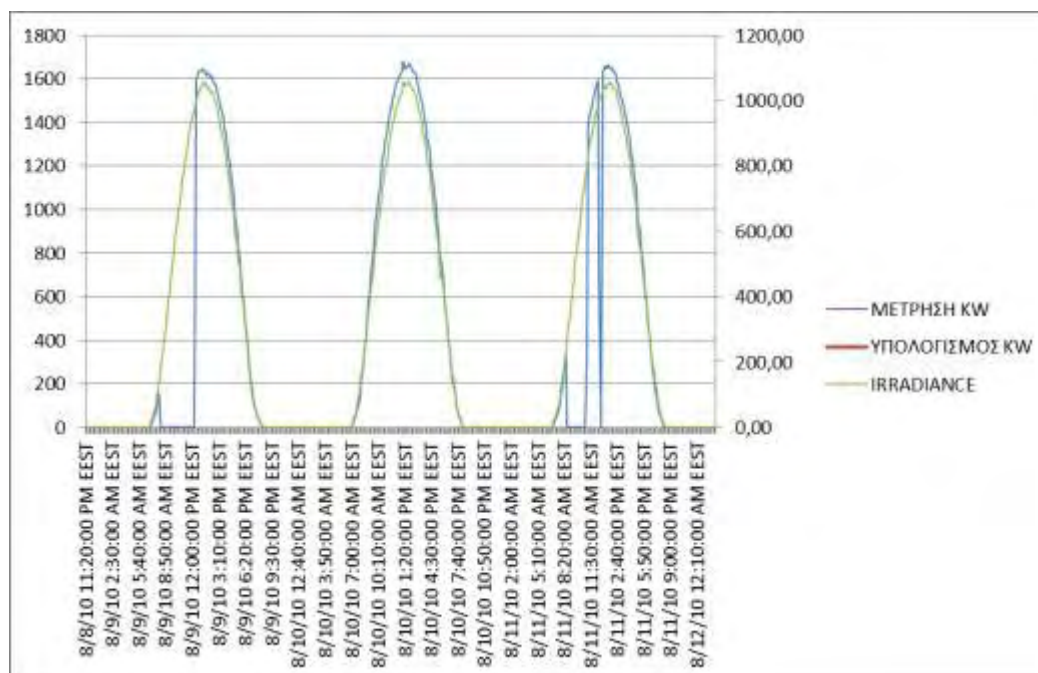
Αύγουστος

Πίνακας 6-8: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Αύγουστο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/8/2010	1,00	17/8/2010	1,00
2/8/2010	0,37	18/8/2010	1,00
3/8/2010	0,99	19/8/2010	0,99
4/8/2010	1,00	20/8/2010	1,00
5/8/2010	1,00	21/8/2010	1,00
6/8/2010	1,00	22/8/2010	1,00
7/8/2010	1,00	23/8/2010	1,00
8/8/2010	1,00	24/8/2010	1,00
9/8/2010	0,69	25/8/2010	1,00
10/8/2010	1,00	26/8/2010	1,00
11/8/2010	0,81	27/8/2010	1,00
12/8/2010	1,00	28/8/2010	1,00
13/8/2010	1,00	29/8/2010	1,00
14/8/2010	1,00	30/8/2010	1,00
15/8/2010	1,00	31/8/2010	0,99
16/8/2010	1,00		



Τον Αύγουστο η συσχέτιση της ηλιακής ακτινοβολίας και της ισχύος ήταν σε πολύ καλά επίπεδα εκτός κάποιων ημερών όπου υπήρχαν πάλι μηδενικές μετρήσεις της ισχύος κατά τις ημέρες 2 ,9 και 11 Αυγούστου.



Εικόνα 6-33: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 2^η, 9^η, 11^η Αυγούστου όπου παρατηρούνται συντελεστές συσχέτισης 0,69, 1, 0,81 αντίστοιχα.

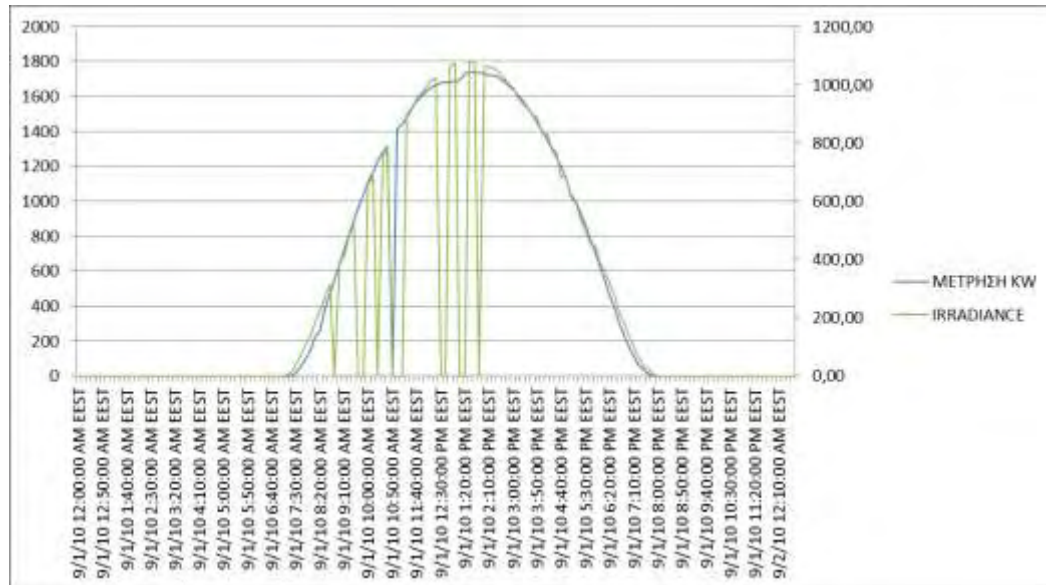
Σεπτέμβριος

Πίνακας 6-9: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Σεπτέμβριο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/9/2010	0,89	16/9/2010	1,00
2/9/2010	1,00	17/9/2010	1,00
3/9/2010	1,00	18/9/2010	1,00
4/9/2010	1,00	19/9/2010	1,00
5/9/2010	1,00	20/9/2010	1,00
6/9/2010	1,00	21/9/2010	1,00
7/9/2010	1,00	22/9/2010	1,00
8/9/2010	1,00	23/9/2010	1,00
9/9/2010	1,00	24/9/2010	0,99
10/9/2010	1,00	25/9/2010	1,00
11/9/2010	0,99	26/9/2010	1,00
12/9/2010	1,00	27/9/2010	1,00
13/9/2010	1,00	28/9/2010	1,00
14/9/2010	0,98	29/9/2010	1,00
15/9/2010	1,00	30/9/2010	1,00



Το Σεπτέμβριο η συσχέτιση ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος ήταν σε πολύ καλά επίπεδα εκτός της πρώτης μέρα όπου ενώ η ισχύς καταγράφηκε κανονικά η ηλιακή ακτινοβολία είχε κάποιες μηδενικές μετρήσεις, που προφανώς είναι μετρητικό σφάλμα καθώς σε εκείνα τα διαστήματα η παραγωγή του πάρκου γινόταν κανονικά. Πιθανώς πρόκειται για σφάλμα του αισθητηρίου της ακτινοβολίας ή για κάποιο εξωτερικό παράγοντα που προκαλούσε τη σκίαση του.



Εικόνα 6-34: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 10^η Ιουλίου όπου παρατηρείται συσχέτιση 0,89



Οκτώβριος

Πίνακας 6-10: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Οκτώβριο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/10/2010	1,00	17/10/2010	1,00
2/10/2010	1,00	18/10/2010	1,00
3/10/2010	1,00	19/10/2010	1,00
4/10/2010	1,00	20/10/2010	1,00
5/10/2010	0,99	21/10/2010	1,00
6/10/2010	1,00	22/10/2010	1,00
7/10/2010	1,00	23/10/2010	1,00
8/10/2010	1,00	24/10/2010	1,00
9/10/2010	0,99	25/10/2010	1,00
10/10/2010	1,00	26/10/2010	1,00
11/10/2010	0,99	27/10/2010	1,00
12/10/2010	1,00	28/10/2010	1,00
13/10/2010	1,00	29/10/2010	1,00
14/10/2010	1,00	30/10/2010	1,00
15/10/2010	1,00	31/10/2010	0,00
16/10/2010	1,00		

Τον Οκτώβριο η συσχέτιση ήταν σε πολύ υψηλή επίπεδα καθώς δεν έπεσε από 0,99 και δεν παρατηρείται κάποιο μετρητικό σφάλμα.

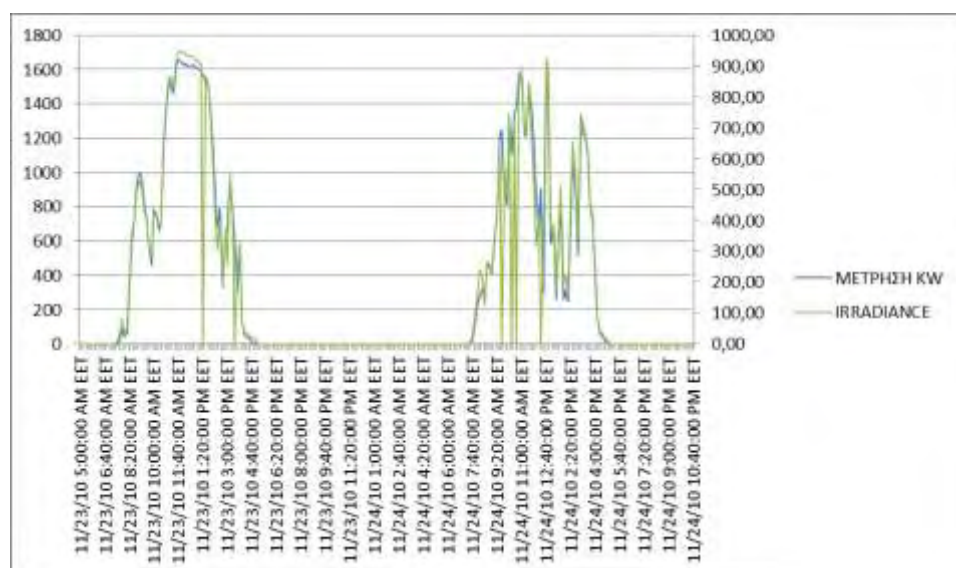


Νοέμβριος

Πίνακας 6-11: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Νοέμβριο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/11/2010	1,00	16/11/2010	0,00
2/11/2010	0,99	17/11/2010	0,00
3/11/2010	1,00	18/11/2010	0,00
4/11/2010	1,00	19/11/2010	1,00
5/11/2010	0,96	20/11/2010	1,00
6/11/2010	1,00	21/11/2010	1,00
7/11/2010	1,00	22/11/2010	0,99
8/11/2010	1,00	23/11/2010	0,92
9/11/2010	0,99	24/11/2010	0,78
10/11/2010	1,00	25/11/2010	1,00
11/11/2010	1,00	26/11/2010	1,00
12/11/2010	0,99	27/11/2010	1,00
13/11/2010	0,00	28/11/2010	0,99
14/11/2010	0,00	29/11/2010	1,00
15/11/2010	0,00	30/11/2010	1,00

Τον Νοέμβριο παρατηρείται ένα διάστημα 6 ημερών από 13-18 όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας έτσι δε μπορεί να υπάρξει συσχέτιση των 2 μεγεθών. Κατά τη διάρκεια του υπόλοιπου μήνα η συσχέτιση είναι πολύ καλά επίπεδα με εξαίρεση την 23^η και 24^η Νοεμβρίου, που είναι μέρες με έντονη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας και υπάρχουν κάποιες απότομες μεταβολές της. Από τις μετρήσεις της ακτινοβολίας, που καταγράφονται κάθε 10 λεπτά, παρατηρείται πως από πολύ μεγάλες τιμές 700 W/m² το επόμενο 10λέπτο είναι μηδενική.



Εικόνα 6-35: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 23^η, 24^η Νοεμβρίου όπου παρατηρούνται συντελεστές συσχέτισης 0,92, 0,78 αντίστοιχα.

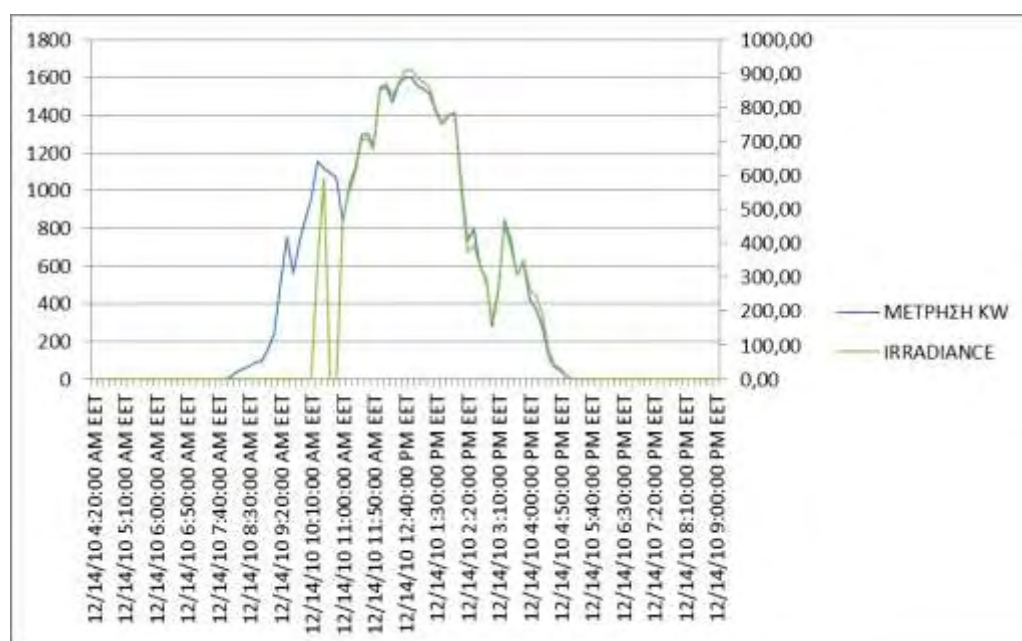


Δεκέμβριος

Πίνακας 6-12: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστές συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Δεκέμβριο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/12/2011	1,00	17/12/2011	0,99
2/12/2011	1,00	18/12/2011	0,99
3/12/2011	1,00	19/12/2011	1,00
4/12/2011	1,00	20/12/2011	1,00
5/12/2011	0,99	21/12/2011	1,00
6/12/2011	1,00	22/12/2011	1,00
7/12/2011	1,00	23/12/2011	1,00
8/12/2011	0,99	24/12/2011	1,00
9/12/2011	1,00	25/12/2011	1,00
10/12/2011	1,00	26/12/2011	1,00
11/12/2011	0,99	27/12/2011	1,00
12/12/2011	0,99	28/12/2011	1,00
13/12/2011	0,99	29/12/2011	1,00
14/12/2011	0,87	30/12/2011	1,00
15/12/2011	1,00	31/12/2011	1,00
16/12/2011	1,00		

Το Δεκέμβριο η συσχέτιση ήταν σε πολύ καλά επίπεδα εκτός από την 14^η όπου για κάποιο διάστημα το πρωί η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν μηδενική ενώ το πάρκο λειτουργούσε κανονικά με βάση την ηλεκτρική του ισχύ.



Εικόνα 6-36: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 14^η Δεκεμβρίου όπου παρατηρούνται συντελεστές συσχέτισης 0,87 αντίστοιχα.



Ιανουάριος

Πίνακας 6-13: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Ιανουάριο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/1/2011	0,99	17/1/2011	0,99
2/1/2011	1,00	18/1/2011	0,99
3/1/2011	1,00	19/1/2011	0,99
4/1/2011	0,99	20/1/2011	1,00
5/1/2011	1,00	21/1/2011	1,00
6/1/2011	1,00	22/1/2011	1,00
7/1/2011	1,00	23/1/2011	1,00
8/1/2011	0,99	24/1/2011	1,00
9/1/2011	1,00	25/1/2011	1,00
10/1/2011	0,99	26/1/2011	1,00
11/1/2011	0,99	27/1/2011	1,00
12/1/2011	1,00	28/1/2011	0,99
13/1/2011	1,00	29/1/2011	1,00
14/1/2011	1,00	30/1/2011	1,00
15/1/2011	0,99	31/1/2011	1,00
16/1/2011	1,00		

Τον Ιανουάριο η συσχέτιση ήταν σε πολύ υψηλά επίπεδα καθώς δεν έπεσε από 0,99 και δεν παρατηρείται κάποιο μετρητικό σφάλμα.

6.2.2 Ποιοτικός έλεγχος μετρήσεων Casestudy 2 (100 kW)

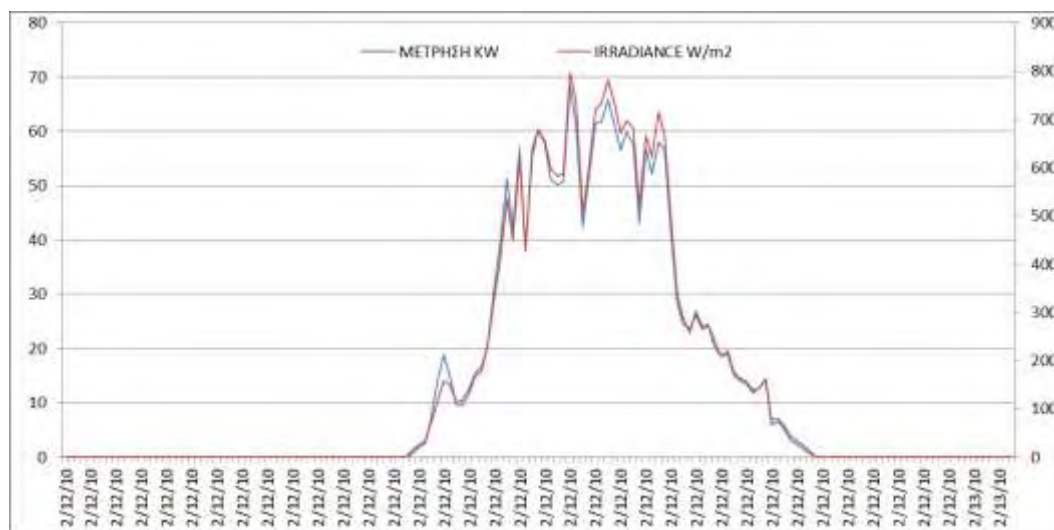
Φεβρουάριος

Πίνακας 6-14: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Φεβρουάριο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
12/2/2010	0,97	20/2/2010	1,00
13/2/2010	0,99	21/2/2010	1,00
14/2/2010	1,00	22/2/2010	1,00
15/2/2010	0,99	23/2/2010	1,00
16/2/2010	0,99	24/2/2010	0,99
17/2/2010	1,00	25/2/2010	1,00
18/2/2010	0,97	26/2/2010	0,99
19/2/2010	1,00	27/2/2010	1,00
		28/2/2010	0,99



Το Φεβρουάριο η συσχέτιση της ηλιακής ακτινοβολίας και της ισχύος ήταν σε καλά επίπεδα τις μέρες που υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις. Ο συντελεστής κυμαινόταν από 0,99-1 εκτός δύο ημερών όπου ήταν 0,97.



Εικόνα 6-37: Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 12^η Φεβρουαρίου όπου παρατηρούνται συντελεστής συσχέτισης 0,97

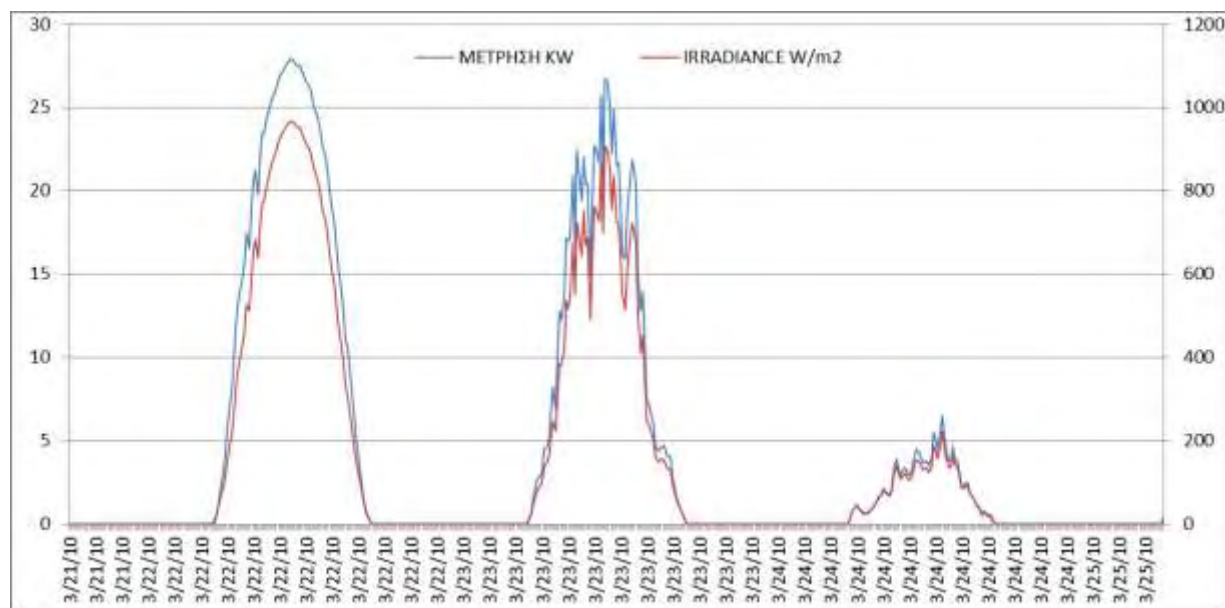
Μάρτιος

Πίνακας 6-15: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Μάρτιο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/3/2010	0,00	17/3/2010	0,40
2/3/2010	0,00	18/3/2010	1,00
3/3/2010	0,00	19/3/2010	1,00
4/3/2010	0,00	20/3/2010	1,00
5/3/2010	0,00	21/3/2010	1,00
6/3/2010	0,00	22/3/2010	1,00
7/3/2010	0,00	23/3/2010	1,00
8/3/2010	0,00	24/3/2010	1,00
9/3/2010	0,00	25/3/2010	1,00
10/3/2010	0,00	26/3/2010	1,00
11/3/2010	0,00	27/3/2010	1,00
12/3/2010	0,00	28/3/2010	1,00
13/3/2010	0,00	29/3/2010	1,00
14/3/2010	0,00	30/3/2010	1,00
15/3/2010	0,00	31/3/2010	
16/3/2010	0,00		



Το Μάρτιο η συσχέτιση τις ημέρες που υπήρχαν μετρήσεις ήταν σε πολύ καλά επίπεδα, ωστόσο όπως παρατηρείται στο παρακάτω σχήμα η ισχύς του είναι αισθητά χαμηλότερη από τους άλλους μήνες μέτρησης, κάτι που οδηγεί στον συμπέρασμα ότι δε λειτουργούσε το σύνολο του πάρκου.



Εικόνα 6-38: : Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος κατά την 22^η, 23^η, 24^η Μάρτιου όπου παρατηρούνται συντελεστής συσχέτισης 1.

Μάιος – Ιούνιος

Πίνακας 6-16: Συντελεστές συσχέτισης μετρούμενης ηλιακής ακτινοβολίας με την ηλεκτρική ισχύ του φβ πάρκου στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ

Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Μάιο				Συντελεστής συσχέτισης ισχύος -ηλιακής ακτινοβολίας (μετρήσεις) για το Ιούνιο			
Ημερομηνία		Ημερομηνία		Ημερομηνία		Ημερομηνία	
1/5/2010	1,00	17/5/2010	1,00	1/6/2010	1,00	16/6/2010	1,00
2/5/2010	1,00	18/5/2010	1,00	2/6/2010	1,00	17/6/2010	1,00
3/5/2010	1,00	19/5/2010	1,00	3/6/2010	1,00	18/6/2010	1,00
4/5/2010	1,00	20/5/2010	1,00	4/6/2010	1,00	19/6/2010	1,00
5/5/2010	1,00	21/5/2010	1,00	5/6/2010	1,00	20/6/2010	1,00
6/5/2010	1,00	22/5/2010	0,99	6/6/2010	0,99	21/6/2010	1,00
7/5/2010	1,00	23/5/2010	1,00	7/6/2010	1,00	22/6/2010	1,00
8/5/2010	1,00	24/5/2010	1,00	8/6/2010	1,00	23/6/2010	0,99
9/5/2010	1,00	25/5/2010	1,00	9/6/2010	1,00	24/6/2010	1,00
10/5/2010	1,00	26/5/2010	1,00	10/6/2010	0,99	25/6/2010	1,00
11/5/2010	1,00	27/5/2010	1,00	11/6/2010	0,99	26/6/2010	1,00
12/5/2010	1,00	28/5/2010	1,00	12/6/2010	1,00	27/6/2010	0,99
13/5/2010	1,00	29/5/2010	1,00	13/6/2010	1,00	28/6/2010	1,00
14/5/2010	1,00	30/5/2010	1,00	14/6/2010	1,00	29/6/2010	1,00
15/5/2010	1,00	31/5/2010	1,00	15/6/2010	1,00	30/6/2010	1,00
16/5/2010	1,00						



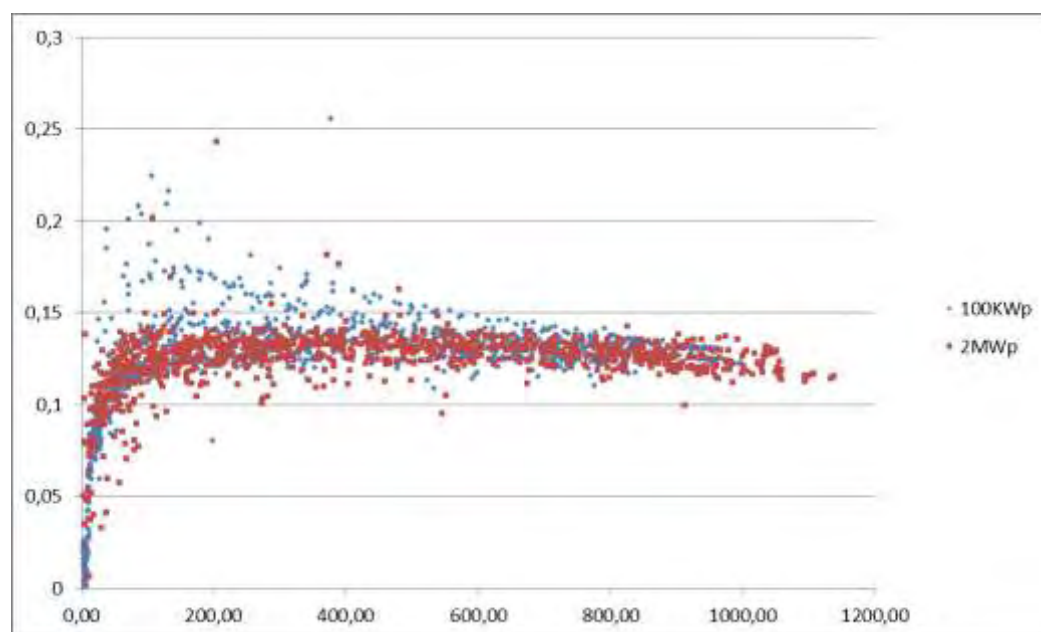
Τον Μάιο και τον Ιούνιο η συσχέτιση ηλιακής ακτινοβολίας και ισχύος ήταν σε πολύ καλά επίπεδα και από τα δεδομένα δεν παρατηρείται κάποιο μετρητικό σφάλμα.

6.3 Σύγκριση δεδομένων των case studies 1,2

Για τη σύγκριση των δύο πάρκων θα υπολογίσει η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στο επιφάνεια των φβ πλαισίων με βάση τη ηλιακή ακτινοβολία για το κάθε πάρκο και με βάση την επιφάνεια των Φβ πλαισίων.

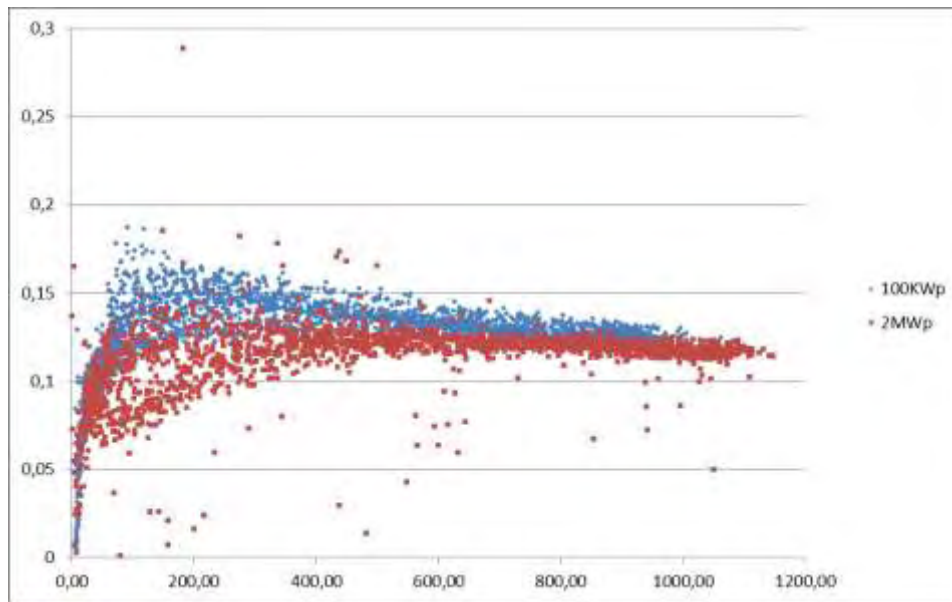
Για το πάρκο του Case study 1 γνωρίζουμε το αριθμό των φβ πλαισίων που έχουν εγκατασταθεί. Συνεπώς, για 7254 φβ πλαίσια επιφάνειας $1,93\text{m}^2$ προκύπτει συνολική επιφάνεια 14.047m^2 .

Για το φβ πάρκο του case study 2 στα Τρίκαλα δεν γνωρίζουμε κανένα στοιχείο, ούτε την ονομαστική ισχύ του πάρκου. Από τις μετρήσεις όμως μπορούμε να συμπεράνουμε πως η ονομαστική του ισχύς είναι 100Kip. Συνεπώς, αν έχει χρησιμοποιηθεί ένα αντίστοιχο πλαίσιο με του case study 1, θα πρέπει να έχουμε 416 Φβ γεννήτριες επιφάνειας $1,63\text{m}^2$ δηλαδή συνολική επιφάνεια 679m^2 . Με βάση τις παραπάνω παραδοχές προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα για του μήνες που υπάρχουν επαρκείς μετρήσεις.

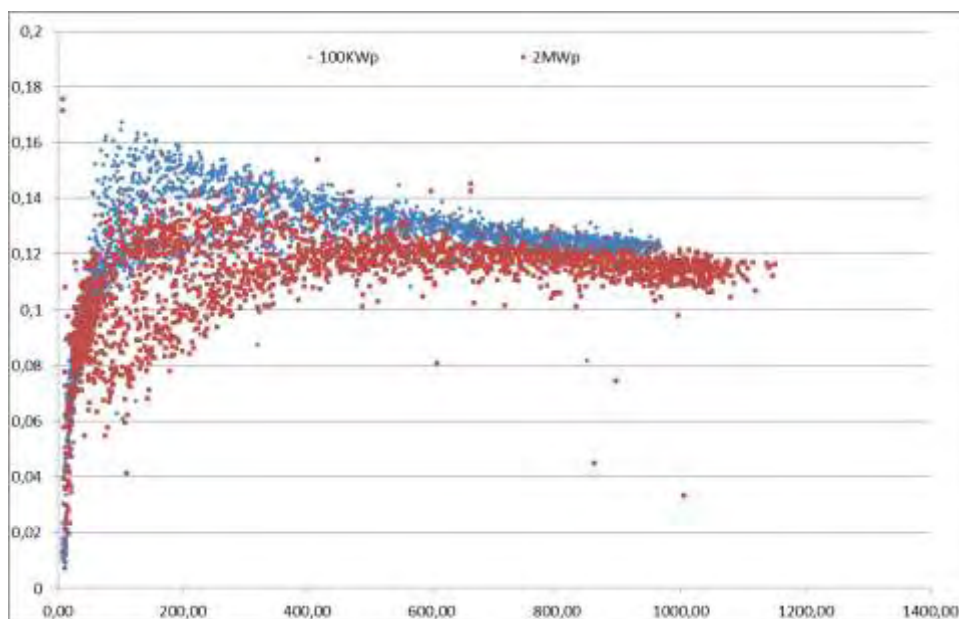


Εικόνα 6-39: Απόδοση (%) των δύο πάρκων για το μήνα Φεβρουάριο για τις κοινές μέρες του μήνα όπου υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία(W/m2)





Εικόνα 6-40: Απόδοση (%) των δύο πάρκων για το μήνα Μάιο για τις κοινές μέρες του μήνα όπου υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία (W/m²)



Εικόνα 6-41: Απόδοση (%) των δύο πάρκων για το μήνα Ιούνιο για τις κοινές μέρες του μήνα όπου υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία (W/m²)

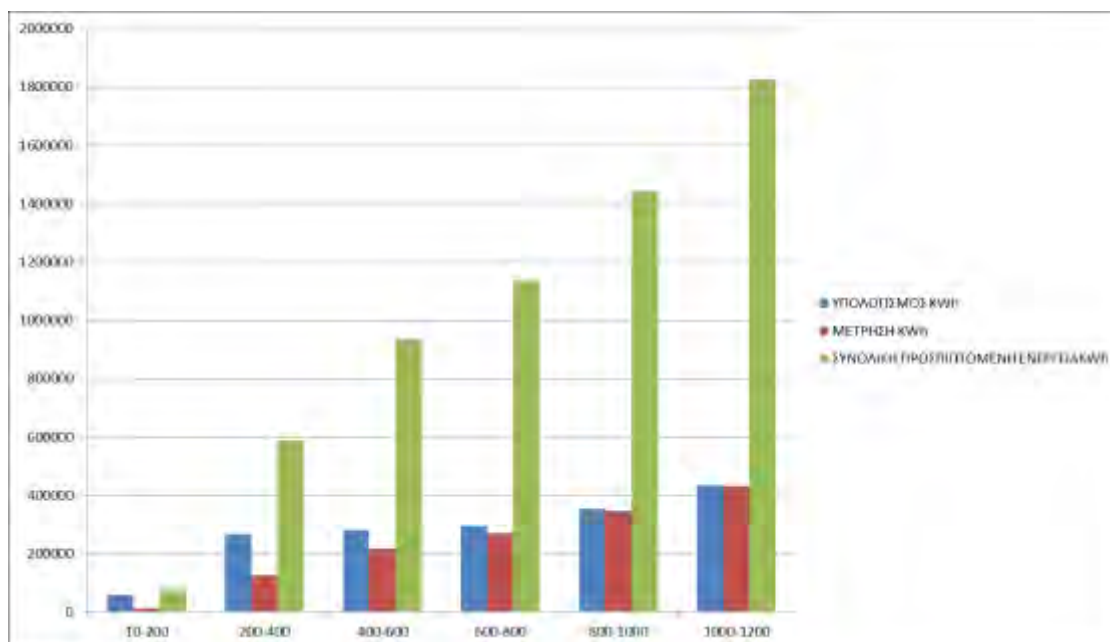
Σαν γενικό συμπέρασμα από τα διαγράμματα προκύπτει ότι το Φβ πάρκο στα Τρίκαλα εκμεταλλεύεται καλύτερα την ηλιακή ακτινοβολία και ιδιαίτερα στις τιμές της ακτινοβολίας από 100-400W/m². Ωστόσο το συμπέρασμα βασίζεται σε μια παραδοχή για την συνολική επιφάνεια του ενός παρκου, η οποία δεν μας ήταν γνωστή.



7. Συζήτηση αποτελεσμάτων – προδιαγραφή μεθοδολογίας αξιολόγησης

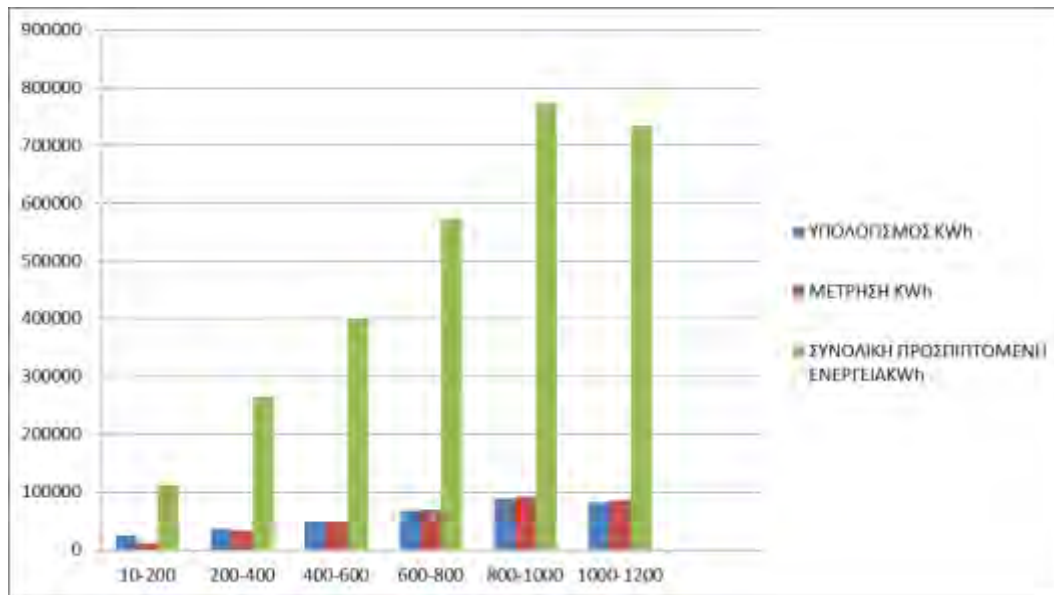
Κατά τον υπολογισμό της θεωρητικά αναμενόμενης ισχύος και στη σύγκριση της με την μετρούμενη παρατηρήθηκε πως είχαμε αποκλίσεις κυρίως στα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας 10-200 W/m² και 200-400 W/m². Σε αυτά τα διαστήματα παρατηρήθηκαν σημαντικές αποκλίσεις που δείχνουν ότι η απόδοση των φβ στοιχείων έχει απόκλιση από την ονομαστική και ότι το μοντέλο υπολογισμού έχει κάποιες ελλείψεις καθώς δεν υπήρχαν σημαντικές διαθέσιμες πληροφορίες. Συγκεκριμένα, στα δεδομένα δεν υπήρχαν μετρήσεις στο dc κομμάτι της εγκατάστασης και έτσι έπρεπε να γίνουν οι παραδοχές που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και έχουν να κάνουν με συντελεστές απωλειών, στο Inverter και στη καλωδίωση της εγκατάστασης.

Στα διαστήματα από 400W/m² και πάνω οι αποκλίσεις ήταν και πολύ μικρότερου μεγέθους, και επιπλέον ήταν και με θετικό και με αρνητικό πρόσημο. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα για τη παραγωγή ενέργειας για το συνολικό έτος, καθώς και για κάποιους ενδεικτικούς μήνες για την κάθε εποχή.

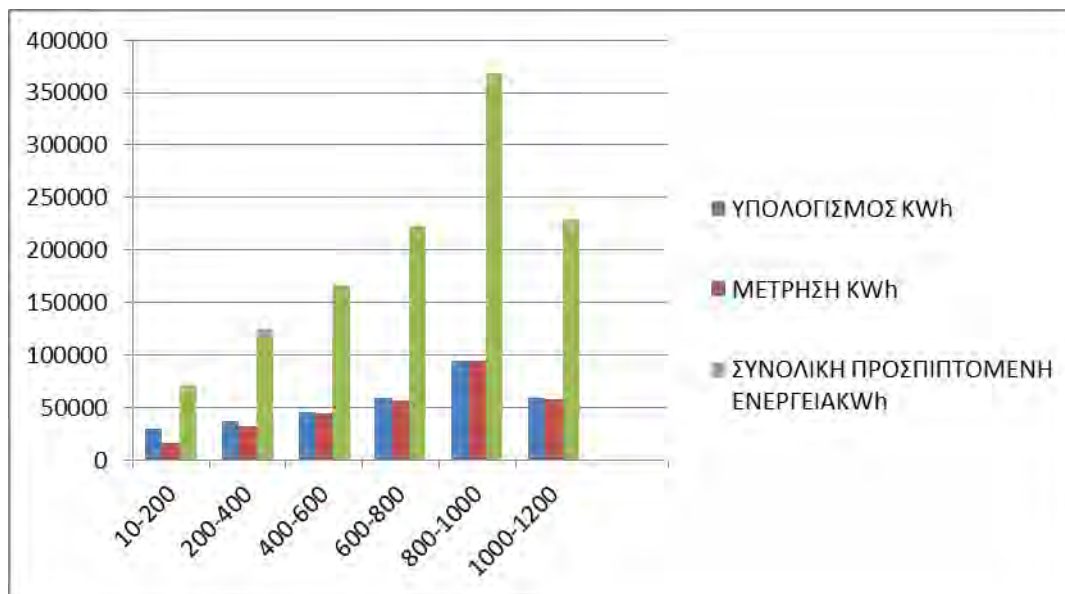


Εικόνα 7-1: : Στο διάγραμμα απεικονίζονται η παραγόμενη ενέργεια όπως υπολογίστηκε θεωρητικά, όπως μετρήθηκε, και συγκριτικά η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, κατανομημένα στα επιλεγμένα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας για ολόκληρο το έτος.



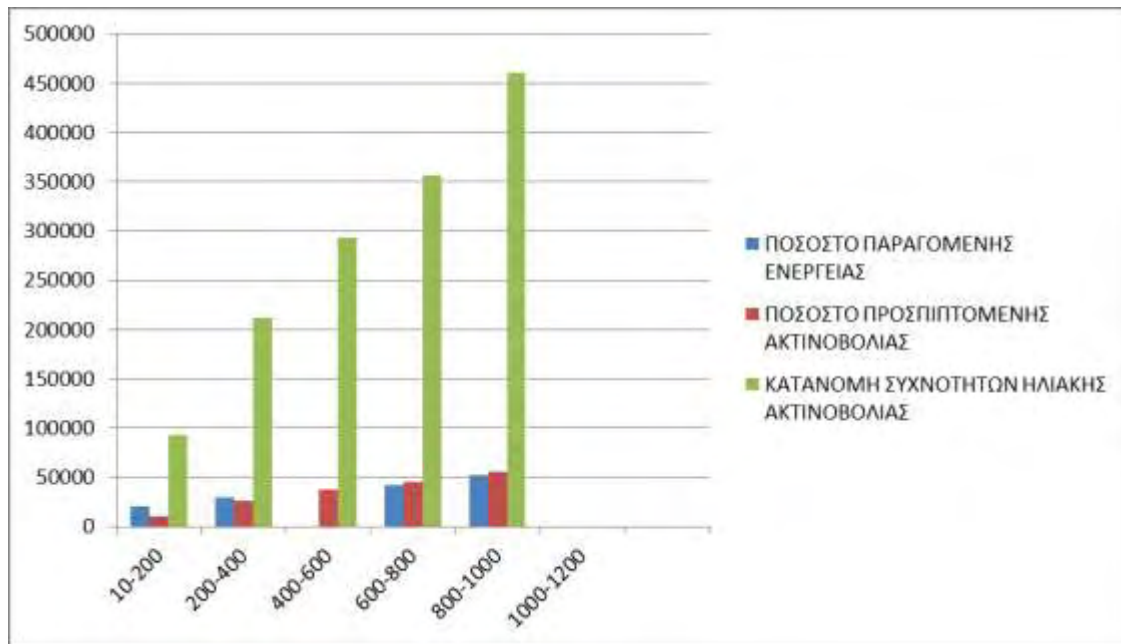


Εικόνα 7-2: Στο διάγραμμα απεικονίζονται η παραγόμενη ενέργεια όπως υπολογίστηκε θεωρητικά, όπως μετρήθηκε, και συγκριτικά η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, κατανομημένα στα επιλεγμένα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Απρίλιο

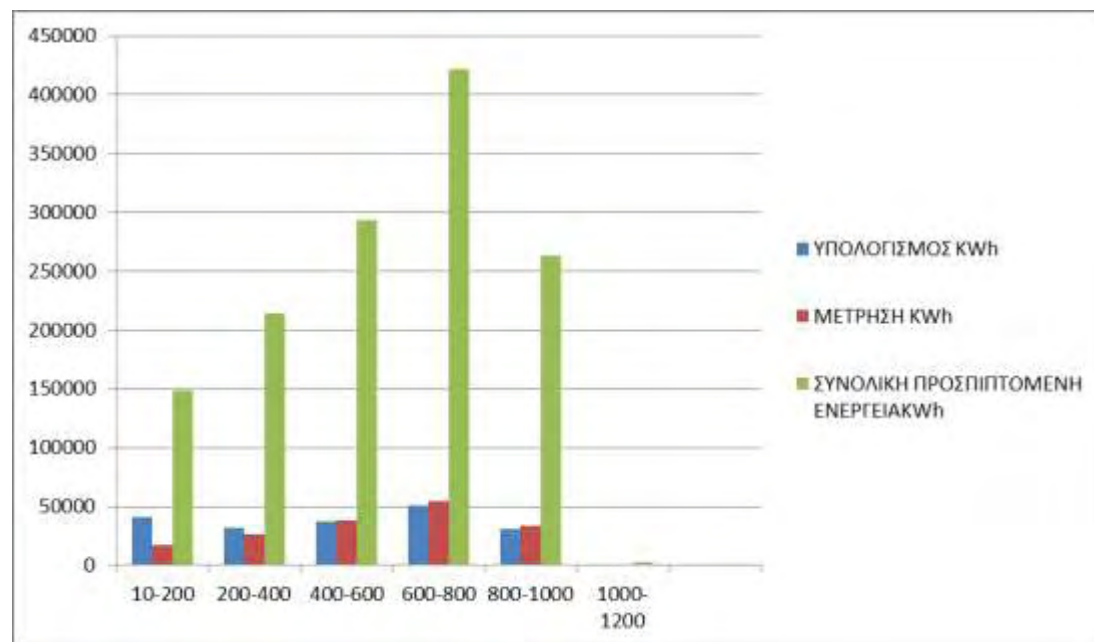


Εικόνα 7-3: Στο διάγραμμα απεικονίζονται η παραγόμενη ενέργεια όπως υπολογίστηκε θεωρητικά, όπως μετρήθηκε, και συγκριτικά η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, κατανομημένα στα επιλεγμένα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Ιούνιο





Εικόνα 7-4: Στο διάγραμμα απεικονίζονται η παραγόμενη ενέργεια όπως υπολογίστηκε θεωρητικά, όπως μετρήθηκε, και συγκριτικά η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, κατανεμημένα στα επιλεγμένα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Νοέμβριο



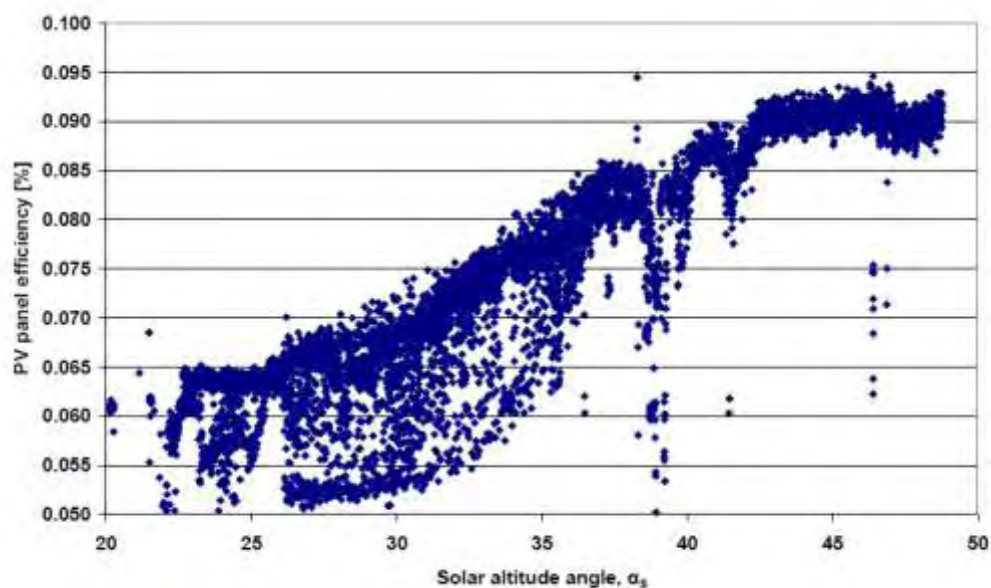
Εικόνα 7-5: Στο διάγραμμα απεικονίζονται η παραγόμενη ενέργεια όπως υπολογίστηκε θεωρητικά, όπως μετρήθηκε, και συγκριτικά η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια, κατανεμημένα στα επιλεγμένα διαστήματα της ηλιακής ακτινοβολίας για τον μήνα Δεκέμβριο

Επίδραση της ατμοσφαιρικής μάζας (Airmass)

Η παρατήρηση ότι στις τιμές ακτινοβολίας κάτω των 400 W/m^2 η απόκλιση της μετρούμενης από τη παραγόμενη ενέργεια ήταν μεγαλύτερη από ότι σε άλλα διαστήματα πιθανώς οφείλεται και στο airmass δηλαδή στην απορρόφηση και σκέδαση που υφίσταται η ηλιακή ακτινοβολία καθώς περνά μέσα από χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας ώστε να φτάσει στη γη. Εχει παρατηρηθεί και από



αλλους ερευνητές ότι η απόδοση των ΦΒ στοιχείων είναι χαμηλότερη σε ηλιακά ύψη χαμηλότερα όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.



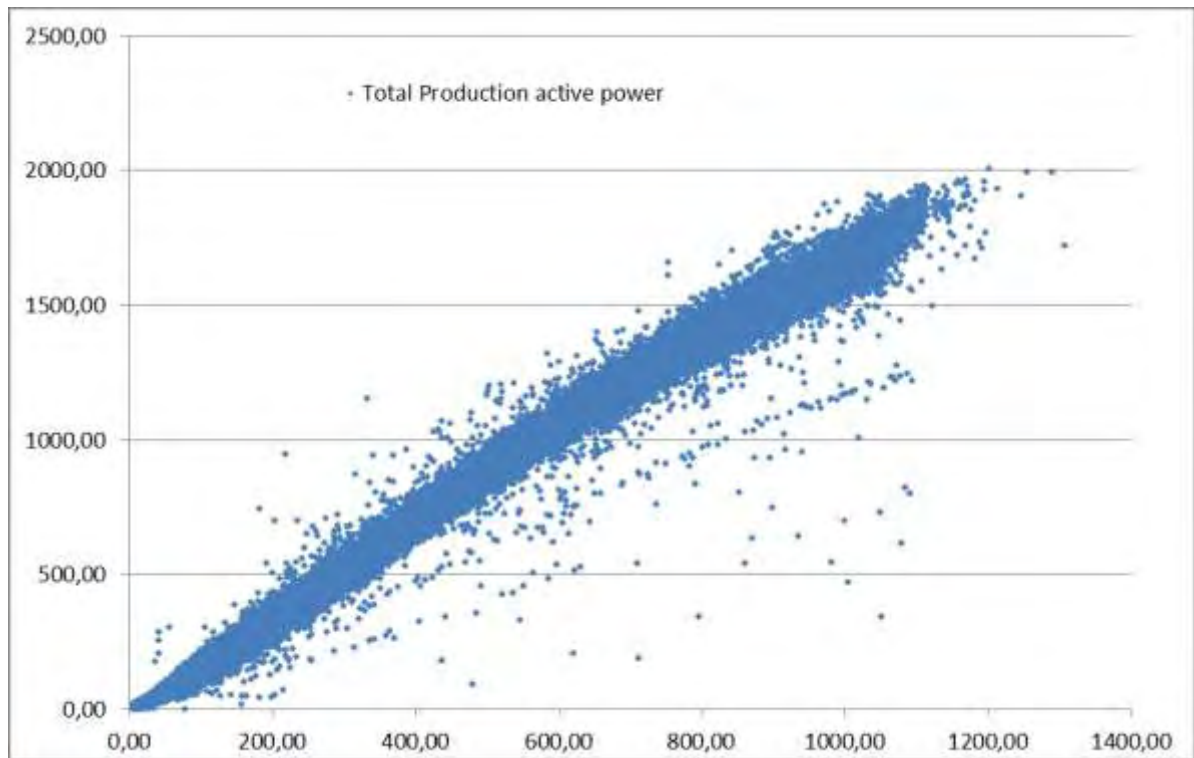
Εικόνα 7-6: Επίδραση ηλιακού υψούς στην απόδοση ΦΒ στοιχείων (στοιχεία παραχωρηθέντα από [28] κατόπιν προσωπικής επικοινωνίας με τους συγγραφείς).

Μια άλλη πιθανή αιτία για την συμπεριφορά της αποδοσης σε χαμηλές τιμές ακτινοβολίας είναι οι πιθανές απορροφήσεις και σκεδάσεις σε διάφορες περιοχές του φάσματος της ακτινοβολίας (συγκεκριμένα μήκη κύματος), από αιωρούμενα σωματίδια και άλλους ρύπους στην ατμόσφαιρα αλλά αυτό το συμπέρασμα απαιτεί μεγαλύτερη ερευνητική και πειραματική εμβάθυνση.

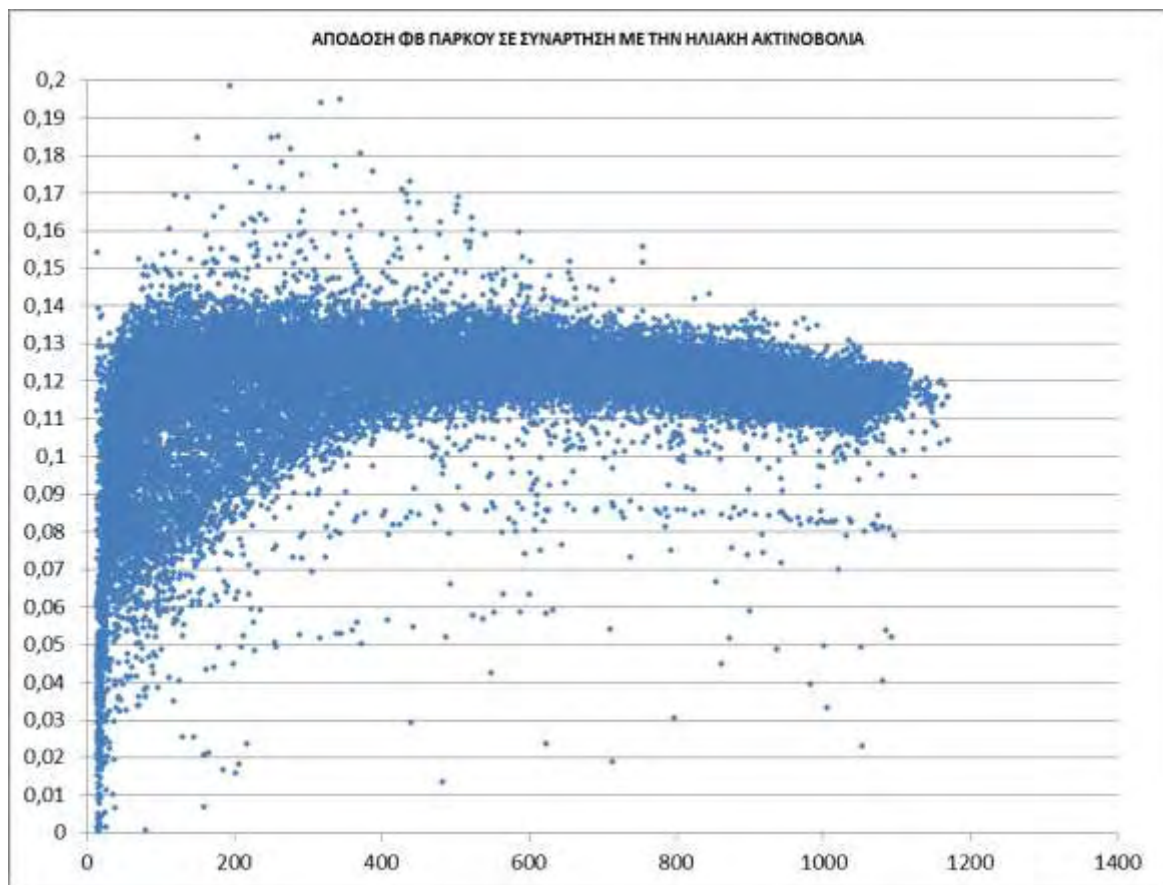
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τις μετρήσεις των βασικών χαρακτηριστικών που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2 και επηρεάζουν την απόδοση των ΦΒ συστημάτων. Τα διαγράμματα έχουν αρκετό θόρυβο λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων, ωστόσο δείχνουν την τάση και εξηγούν κάποια πράγματα για την απόδοση του φβ παρκού.

Παρατηρούμε πώς η θερμοκρασία του ΦΒ πλαισίου που επηρεάζει αρνητικά την ισχύ του είναι μεγαλύτερη στις τιμές της ακτινοβολίας που είναι υψηλότερες κάτι που συσχετίζεται με την καμπύλη της απόδοσης του πάρκου όπου στις υψηλές τιμές της ακτινοβολίας παρατηρείται μια πτωτική τάση. Επιπρόσθετα, από το διάγραμμα της απόδοσης του πάρκου παρατηρούμε πως για διάφορες τιμές της ακτινοβολίας υπάρχουν πολλές τιμές της απόδοσης κάτι που δείχνει ότι η απόδοση του παρκού εξαρτάται από πολλές παραμέτρους που σχολιάστηκαν στην ενότητα 2.5 και γι αυτό το λόγο ο έλεγχος της απόδοσης θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή.

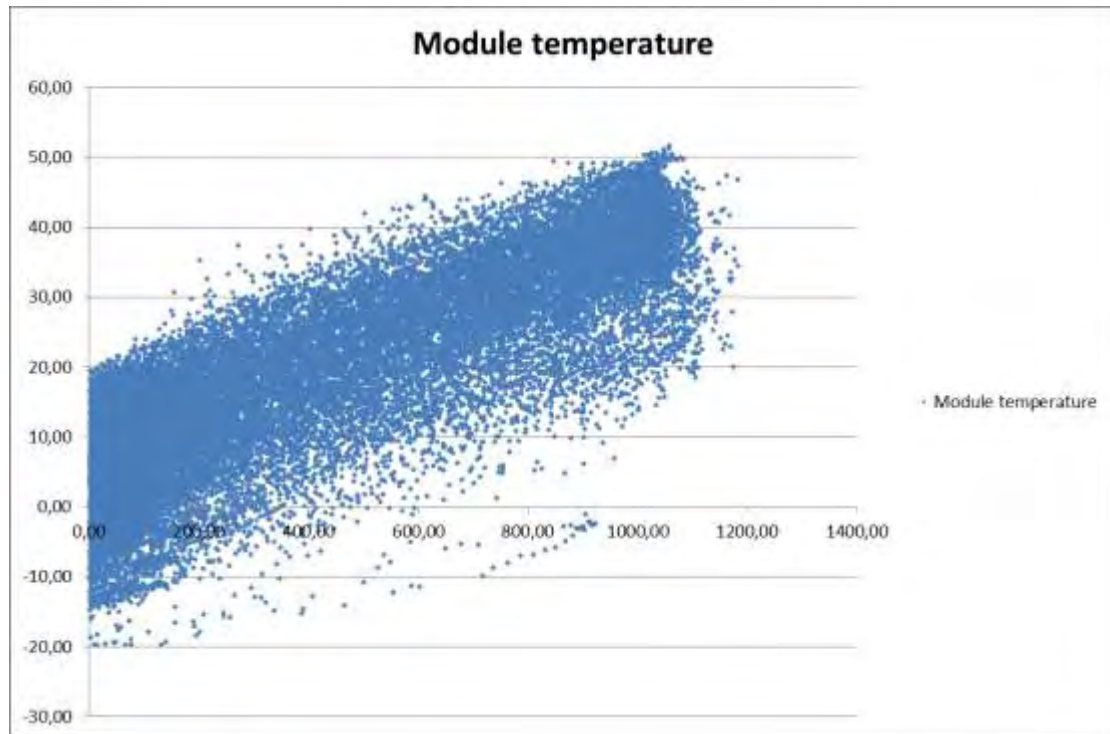




Εικόνα 7-7: Ισχύς της εγκατάστασης σε συνάρτηση με τη ηλιακή ακτινοβολία για όλη τη διάρκεια του χρόνου



Εικόνα 7-8: Απόδοση ΦΒ στοιχείων στη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους σε συνάρτηση με την ακτινοβολία



7-9 : Θερμοκρασία ΦΒ στοιχείων σε συνάρτηση με την ηλιακή ακτινοβολία για τη διάρκεια ενός ημερολογιακού έτους



8. Συμπεράσματα

- Η μελέτη της απόδοσης 2 Φ/Β πάρκων σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας μας επέτρεψε να κατανοήσουμε καλύτερα τη συμπεριφορά τους και τα προβλήματα ρύθμισης και παρακολούθησης της λειτουργίας τους.
- Έγινε προσπάθεια να εφαρμοστεί ποιοτικός έλεγχος στα μετρητικά δεδομένα, και αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την εξαγωγή κάποιων συμπερασμάτων για το μετρητικό και καταγραφικό σύστημα. Παρατηρήθηκε, πως έλειπαν αρκετές μετρήσεις τάσης ακτινοβολίας όσο και ηλεκτρικής ισχύος που υποδεικνύει πιθανώς κάποιο σφάλμα στο καταγραφικό σύστημα. Επίσης, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 6 υπήρχαν αρκετά τυχαία μετρητικά σφάλματα. Συνεπώς, κρίνεται σκόπιμο να διεξάγεται η παραπάνω διαδικασία καθώς μπορεί κατά την επεξεργασία τέτοιων δεδομένων να προκύψουν αναληθή συμπεράσματα για την απόδοση ενός ΦΒ συστήματος.
- Κατά τον έλεγχο των δεδομένων των ΦΒ συστημάτων παρατηρήθηκε συστηματική απόκλιση προς τα κάτω στον βαθμό απόδοσης των πλαισίων όταν η κάθετα προσπίπτουσα ακτινοβολία βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 0-400 W/m². Οι παρατηρούμενες – στοχαστικές - αποκλίσεις έγινε προσπάθεια να συσχετιστούν με την επίδραση της αέριας μάζας (air mass) σε χαμηλές τιμές ηλιακού ύψους όπου παρατηρούνται αυτά τα χαμηλά επίπεδα κάθετα προσπίπτουσας ακτινοβολίας, αλλά και με την απορρόφηση και σκέδαση από ατμοσφαιρικούς ρύπους.
- Η μέση απόκλιση κατά κανόνα χειροτερεύει όσο μειώνονται τα επίπεδα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, όταν συγκρίθηκε η ετησία παραγόμενη ενέργεια, σε θεωρητικό επίπεδο με βάση τα δεδομένα της ακτινοβολία και της θερμοκρασίας και τα ονομαστικά χαρακτηριστικά των ΦΒ πλαισίων, με την παραγόμενη ενέργεια που καταγράφηκε στο μετρητή της εγκατάστασης προέκυψε μια απόκλιση κατά 3% προς τα πάνω. Κάτι που μας δείχνει ότι τα ονομαστικά στοιχεία του κατασκευαστή πιθανώς οδηγούν σε υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων παραγωγής.

Κατευθύνσεις για συνέχιση της έρευνας

Η διαδικασία του έλεγχου της απόδοσης των ΦΒ στοιχείων θα μπορούσε να δώσει καλύτερα συμπεράσματα για τη συμπεριφορά των ΦΒ στοιχείων αν υπήρχαν διαθέσιμες μετρήσεις στο DC κομμάτι της εγκατάστασης ώστε η σύγκριση να έχει ως παραμέτρους επίδρασης μόνο τα μετεωρολογικά δεδομένα και όχι την απόδοση άλλων τμημάτων της εγκατάστασης όπως ο inverter.

Επίσης, χρήσιμη θα ήταν η δημιουργία λογισμικού που θα επεξεργάζεται τα μετρητικά δεδομένα τόσο για τον ποιοτικό έλεγχο τους όσο και τον έλεγχο της απόδοσης της εγκατάστασης.

Τέλος, ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και η επίδραση της ρύπανσης της ατμόσφαιρας στην απόδοση των ΦΒ στοιχείων.



9. Βιβλιογραφία

1. Jackson, F., *Planning & Installing Photovoltaic Systems*. 2007, London: earthscan.
2. SANYO, P., *DATASHEET HIT PANASONIC*.
3. Zdanowicz, T., T. Rodziewicz, and M.Z. Waclawek. *Effect of air mass factor on the performance of different type of PV modules*. in *Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of 3rd World Conference on*. 2003.
4. *suntech. PV Panel Technical Data*. 2012.
5. Koussa, M., et al., *Measured and modelled improvement in solar energy yield from flat plate photovoltaic systems utilizing different tracking systems and under a range of environmental conditions*. *Applied Energy*, 2011. **88**(5): p. 1756-1771.
6. Koussa, M., et al., *Sun Tracker Systems Effects on Flat Plate Photovoltaic PV Systems Performance for Different Sky States: A Case of an Arid and Hot Climate*. *Energy Procedia*, 2012. **18**(0): p. 839-850.
7. Coulson, *Solar and Terrestrial Radiation*. 1975, New York: Academic Press.
8. Pérez-López, J.J., F. Fabero, and F. Chenlo, *Experimental solar spectral irradiance until 2500 nm: results and influence on the PV conversion of different materials*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2007. **15**(4): p. 303-315.
9. Engineering, E., *A GUIDE TO PHOTOVOLTAIC (PV)SYSTEM DESIGN AND INSTALLATION*, RED, Editor. 2001: CALIFORNIA.
10. Tian, W., et al., *Effect of urban climate on building integrated photovoltaics performance*. *Energy Conversion and Management*, 2007. **48**(1): p. 1-8.
11. Sullivan, C.R., J.J. Awerbuch, and A.M. Latham, *Decrease in Photovoltaic Power Output from Ripple: Simple General Calculation and the Effect of Partial Shading*. *Power Electronics, IEEE Transactions on*, 2013. **28**(2): p. 740-747.
12. Skoplaki, E. and J.A. Palyvos, *On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations*. *Solar Energy*, 2009. **83**(5): p. 614-624.
13. Nann, S. and K. Emery, *Spectral effects on PV-device rating*. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 1992. **27**(3): p. 189-216.
14. Sasitharanuwat, A., et al., *Performance evaluation of a 10kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand*. *Renewable Energy*, 2007. **32**(8): p. 1288-1300.
15. Luoma, J., J. Kleissl, and K. Murray, *Optimal inverter sizing considering cloud enhancement*. *Solar Energy*, 2012. **86**(1): p. 421-429.
16. Saumell-Ocáriz, J., et al., *Computational Tool for the Efficiency Forecasting of Grid-Connected Photovoltaic Systems* *Advances in Mechanical and Electronic Engineering*, D. Jin and S. Lin, Editors. 2012, Springer Berlin Heidelberg. p. 53-59.
17. *TIGO ENERGY presents steps to maximize PV solar production over the system lifetime*. *Photovoltaics international*, 2008.
18. Kaldellis, J.K. and P. Fragos, *Ash deposition impact on the energy performance of photovoltaic generators*. *Journal of Cleaner Production*, 2011. **19**(4): p. 311-317.
19. Kaldellis, J.K. and M. Kapsali, *Simulating the dust effect on the energy performance of photovoltaic generators based on experimental measurements*. *Energy*, 2011. **36**(8): p. 5154-5161.
20. Kaldellis, J.K. and A. Kokala, *Quantifying the decrease of the photovoltaic panels' energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal*. *Energy*, 2010. **35**(12): p. 4862-4869.



21. Emery, K. and R. Smith, *Monitoring System Performance NREL/PR-5200-50643, in PV Module Reliability Workshop, NREL, Editor. 2011.*
22. Wittkopf, S., et al., *Analytical performance monitoring of a 142.5kWp grid-connected rooftop BIPV system in Singapore. Renewable Energy, 2012. 47(0): p. 9-20.*
23. Aristizabal, A.J., et al. *Development of Equipment for Monitoring PV Power Plants, using Virtual Instrumentation. in Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on. 2006.*
24. SENSORS FRONIUS IG-SERIES. 2011; Available from: http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-21886952-71C993B6/fronius_slovensko/SE_DS_Fronius_DATCOM_Sensors_EN_149710_snapshot.pdf.
25. Sunny design 2.10.1R. 2012, sma.
26. SMA, DATASHEET INVERTER. 2010.
27. SMA. ΒΑΘΜΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ DERATING. 2010; Available from: <http://files.sma.de/dl/1348/WirkungDerat-TB-el-30.pdf>.
28. Zogou, O., *Experimental and computational investigation of the thermal and electrical performance of a new building integrated photovoltaic concept, in PhD Thesis, Department of Mechanical Engineering. 2011, University of Thessaly: Volos.*

