

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	3
1.1. Σκοπός της Πτυχιακής Εργασίας.....	3
1.2. Περιγραφή Φωτοβολταϊκού Σταθμού.....	3
1.2.1 Βασικός Εξοπλισμός ΦΒ σταθμού	3
1.2.2 Λοιπός Εξοπλισμός.....	6
1.3 Αναγκαιότητα Μέτρησης PR.....	7
1.4 Συμβόλαια Συντήρησης και Εγγύησης PR	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟ PERFORMANCE RATIO (PR).....	10
2.1 Παράγοντας Απωλειών Λόγω Διακύμανσης του Ηλιακού Φάσματος (f1).....	10
2.2 Παράγοντας Απωλειών Λόγω Σκίασης (f2)	10
2.3 Παράγοντας λόγω Οπτικών Απωλειών (f3).....	12
2.4 Παράγοντας Απωλειών λόγω Χαμηλής Ακτινοβολίας (f4).....	12
2.5 Παράγοντας Απωλειών λόγω Υψηλής Θερμοκρασίας (f5).....	13
2.6 Παράγοντας Απωλειών λόγω Διαφορών στα χαρακτηριστικά των ΦΒ πλαισίων – mismatch (f6)	15
2.7 Παράγοντας Ηλεκτρικών Απωλειών της DC καλωδίωσης (f7).	16
2.7.1 Απώλειες αγωγού στο συνεχές ρεύμα στις καλωδιώσεις που χρησιμοποιούνται για την αναμεταξύ σύνδεση των ΦΒ πλαισίων (Απώλειες Ακροδεκτών).....	18
2.7.2 Απώλειες αγωγού στο συνεχές ρεύμα στις καλωδιώσεις-επέκταση που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση με τον αντιστροφέα.....	20
2.7.3 Συνολικές Απώλειες Αγωγού Στοιχειοσειράς στο συνεχές ρεύμα.	21
2.7.4 Συνολικές Απώλειες Αγωγού Στοιχειοσειράς στο συνεχές ρεύμα	23
2.8 Παράγοντας Απωλειών λόγω Λειτουργίας των Αντιστροφών σε Σημείο Διαφορετικό του Ακριβούς Σημείου Μέγιστης Ισχύος – MPP Tracking Losses (f8).	24
2.9 Παράγοντας Απόδοσης των αντιστροφών (f9).	26
2.10 Παράγοντας Απόδοσης Μετασχηματιστή του Σταθμού μετατροπών (f10). ..	26
2.11 Παράγοντας Απωλειών της AC καλωδίωσης (f11).	26
2.11.1 Απώλειες καλωδιώσεων στο εναλλασσόμενο ρεύμα από τους αντιστροφείς στο κεντρικό πίνακα.	26
2.11.2 Απώλειες καλωδιώσεων στο εναλλασσόμενο ρεύμα από τον κεντρικό πίνακα στο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας.	29
2.11.3 Συνολικές Απώλειες καλωδιώσεων στο εναλλασσόμενο ρεύμα.	29
2.11.4 Ευρωπαϊκές Απώλειες καλωδιώσεων στο εναλλασσόμενο ρεύμα.	30
2.12 Παράγοντας Απωλειών Λόγω επικάθησης Αιωρούμενων Σωματιδίων (f12).	30
2.13 Παράγοντας Απωλειών Λόγω ιδιοκαταναλώσεων των Σταθμών Μετατροπών των Μετασχηματιστών και των Οικίσκων Η/Μ Εξοπλισμού (f13).	31
2.14 Παράγοντας Απωλειών Λόγω Λοιπών Ιδιοκαταναλώσεων των Φ/Β σταθμών (f14).....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ PR.....	32
3.1 Θεωρητικός Υπολογισμός PR με τη μέθοδο Γινομένου των Συντελεστών Απωλειών	32

3.2 Θεωρητικός Υπολογισμός PR βασισμένος σε προσεγγιστικά μοντέλα προσομοίωσης ενεργειακής μελέτης.	33
3.2.1 Παράδειγμα.....	34
3.3 Μέθοδος μέτρησης PR λαμβάνοντας υπόψη τις διακοπές λειτουργίας του ΦΒ πάρκου	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΤΡΟΠΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ PERFORMANCE RATIO (PR)....	38
4.1 Βέλτιστος σχεδιασμός και εγκατάσταση	38
4.2 Ταξινόμηση ΦΒ πλαισίων (sorting).....	38
4.2.1 Τυχαία ταξινόμηση ΦΒ πλαισίων ανά στοιχειοσειρά (string).....	39
4.2.2 Χείριστη πιθανή επιλογή ΦΒ πλαισίων ανά στοιχειοσειρά (string).....	48
4.2.3 Βέλτιστη ταξινόμηση ΦΒ πλαισίων ανά στοιχειοσειρά	58
4.2.4 Συγκριτικά Συμπεράσματα	67
4.3 Επιλογή καλωδίων μεγαλύτερης διατομής.	68
4.4 Επιλογή εξοπλισμού καλύτερης απόδοσης.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ PERFORMANCE RATIO (PR).....	69
5.1 Τρόπος μέτρησης	69
5.2 Σχεδιασμός διάταξης μέτρησης	71
5.3 Παραδείγματα μέτρησης PR.....	74
5.4 Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις	92
5.4.1 Κλιματολογικές συνθήκες	92
5.4.2 Χρονικό διάστημα καταγραφής.....	96
5.4.3. Παραμένουσες ακαθαρσίες στο πυρανόμετρο.....	96
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	97
SUMMARY.....	97
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

1.1. Σκοπός της Πτυχιακής Εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η εξέταση και ανάπτυξη μεθοδολογιών θεωρητικού υπολογισμού και μέτρησης της απόδοσης PR (Performance Ratio) ενός Φωτοβολταϊκού Σταθμού, καθώς και η ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν το PR καθώς και οι τρόποι βελτίωσης του PR.

Αναλυτικότερα σε ένα δεδομένο Φωτοβολταϊκό Σταθμό ισχύος 100kW θα αναλυθεί τόσο ο σχεδιασμός του, όσο και ο επί μέρους ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός που τον απαρτίζει. Στη συνέχεια θα εξεταστεί η απόκριση του Φωτοβολταϊκού σταθμού σε διάφορες κλιματολογικές συνθήκες και θα γίνει ανάλυση των δεδομένων και υπολογισμός του PR του Φωτοβολταϊκού Σταθμού.

1.2. Περιγραφή Φωτοβολταϊκού Σταθμού

Ο Φωτοβολταϊκός Σταθμός όπως είναι γνωστό είναι ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που εκμεταλλεύεται την ενέργεια του ήλιου και την μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο εξοπλισμός του ΦΒ σταθμού θα μπορούσε να διακριθεί σε βασικό ή κύριο και σε λοιπό εξοπλισμό.

1.2.1 Βασικός Εξοπλισμός ΦΒ σταθμού

Φωτοβολταϊκά πλαίσια (PV modules)

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι τα στοιχεία όπου εξελίσσεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή η δέσμευση της ηλιακής ενέργειας και η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος (dc). Υπάρχουν διαφορετικές κατηγορίες και τεχνολογίες φωτοβολταϊκών πλαισίων που συνοψίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Τα μονοκρυσταλλικά (monocrystalline) ΦΒ πλαίσια, τα πολυκρυσταλλικά ΦΒ πλαίσια (polycrystalline) και τα άμορφα ΦΒ πλαίσια (thin film) με διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά και προδιαγραφές.

Με τον όρο απόδοση, στην γλώσσα των φωτοβολταϊκών νοείται η απόδοση ανά τετραγωνικό μέτρο. Δηλαδή σε έναν δεδομένο χώρο θα μπορούσαμε να εγκαταστήσουμε περισσότερη ισχύ.

Τα μονοκρυσταλλικά ΦΒ πλαίσια έχουν καλύτερη απόδοση αλλά χειρότερο θερμοκρασιακό συντελεστή. Ο βαθμός απόδοσης των μονοκρυσταλλικών πλαισίων είναι από 14,5% έως 18%. Ποιοτικά τα μονοκρυσταλλικά ΦΒ πλαίσια κατασκευάζονται από κυψέλες πυριτίου που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό

κρύσταλλο πυριτίου. Η κατασκευή τους είναι πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου, για αυτό το κόστος των μονοκρυσταλλικών πλαισίων είναι το μεγαλύτερο ανά Watt.

Τα πολυκρυσταλλικά ΦΒ πλαίσια έχουν αρκετά καλή απόδοση της τάξης 12,5% έως 14,5% και καλύτερο θερμοκρασιακό συντελεστή από τα μονοκρυσταλλικά. Ποιοτικά τα πολυκρυσταλλικά ΦΒ πλαίσια κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επικαλυπτόμενου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μικροκρυσταλλικών ΦΒ με αποτέλεσμα και φθηνότερο κόστος ανά Watt.

Τα ΦΒ πλαίσια άμορφου πυριτίου έχουν την μικρότερη απόδοση αλλά τον καλύτερο θερμοκρασιακό συντελεστή. Αποτελούνται από ένα στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόβαθρο. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερες σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ένα το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις όπως είπαμε έχουν την μικρότερη απόδοση.

Τέλος υπάρχουν και άλλοι τύποι ΦΒ πλαισίου όπως αυτά του Κάδμιου-Τελούριου (CdTe) ή του CIS που προέρχονται από προσμίξεις διαφόρων υλικών.

Αντιστροφείς

Οι αντιστροφείς αποτελούν σημαντικό μέρος του βασικού εξοπλισμού του ΦΒ πάρκου αφού μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα (dc) σε εναλλασσόμενο (ac), όμοιο με το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Οι αντιστροφείς που συναντάμε στους φωτοβολταϊκούς σταθμούς μπορεί να είναι είτε αντιστροφείς στοιχειοσειράς (string inverters) είτε κεντρικοί αντιστροφείς (central inverters). Τόσο οι αντιστροφείς στοιχειοσειράς όσο και οι κεντρικοί διακρίνονται σε εκείνους του τύπου S που χρησιμοποιούν μετασχηματιστή, όσο και σε εκείνους τύπου TL (transformerless) όπου η μετατροπή γίνεται με ηλεκτρονικές διατάξεις. Οι αντιστροφείς τύπου TL έχουν καλύτερη απόδοση από αυτούς του τύπου S γιατί δεν έχουν λιγότερες απώλειες χαλκού (Cu) και καθόλου απώλειες σιδήρου (Fe).

Οι αντιστροφείς στοιχειοσειράς συνδέουν μέρος του φωτοβολταϊκού σταθμού και είναι είτε μονοφασικοί είτε τριφασικοί. Συνήθως η ισχύς τους είναι μέχρι 20kWp και έχουν συνήθως ένα μέχρι τρεις MPPT (Maximum Power Point Tracker). Ο MPPT είναι ανιχνευτής του μέγιστου σημείου ισχύος της καμπύλης I-V μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Οι αντιστροφείς στοιχειοσειράς πλεονεκτούν σε σχέση με τους κεντρικούς σε περιπτώσεις μερικής σκιάς του ΦΒ σταθμού από κάποιο σύννεφο που σκιάζει μέρος του ΦΒ σταθμού και είναι πιο ευέλικτοι σε περιπτώσεις βλάβης αφού έχουμε γρήγορη αντικατάσταση τους και λιγότερα διαφυγόντα κέρδη αφού μένει εκτός μόνο κάποιο μέρος του ΦΒ σταθμού.

Οι κεντρικοί αντιστροφείς συνδέουν ολόκληρο τον φωτοβολταϊκό σταθμό ή μεγάλο μέρος του φωτοβολταϊκού σταθμού και η ισχύς τους είναι από 100kWp έως και 1MWp. Συνήθως έχουν έναν MPPT και το πλεονέκτημα τους έναντι των αντιστοφών στοιχειοσειράς είναι το χαμηλότερο κόστος.

Ένας αντιστροφέας για να συνδεθεί στο ελληνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης πρέπει να διαθέτει προστασία έναντι νησιδοποίησης κατά το πρότυπο DIN VDE 0126-1-1 ή παρεμφερής πιστοποιημένη μέθοδο μέτρησης.

Βάσεις Στήριξης

Οι βάσεις στήριξης των ΦΒ σταθμών διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις σταθερές βάσεις στήριξης και σε εκείνες που παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου. Οι βάσεις στήριξης που παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου ή κινητές βάσεις στήριξης συναντώνται σε υπαίθριες συνθήκες εγκαταστάσεις και αυξάνουν την παραγωγή του ΦΒ σταθμού κατά 30%

Οι σταθερές βάσεις στήριξης, ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους (καθαρό, ημιβραχώδες, βραχώδες) και τις ευρύτερες συνθήκες του εδάφους, μπορούν να είναι είτε με βιδωτά θεμέλια, είτε με πασαλόμπιξη, είτε με πάκτωση σε πέδιλα σκυροδέματος. Βέβαια υπάρχουν και οι περιπτώσεις εγκατάστασης σε βιομηχανική στέγη, σε κεραμοσκεπή ή σε δώμα όπου εκεί είναι ακόμα πιο απλή η εγκατάσταση.

Οι βάσεις είναι αρθρωτές και το υλικό που χρησιμοποιείται είναι γαλβανισμένος χάλυβας και αλουμίνιο.

Γείωση

Η γείωση στους υπαίθριους ΦΒ σταθμούς είναι σύμφωνα με το πρότυπο του ΕΛΟΤ HD384. Αναλυτικότερα πρόκειται για περιμετρική γείωση χάλκινης ταινίας με εγκάρσιες διελεύσεις ώστε να σχηματίζεται πλέγμα 20μ x 20μ.

Καλωδιώσεις και Οδεύσεις

Οι καλωδιώσεις στους ΦΒ σταθμούς διακρίνονται στις καλωδιώσεις στη πλευρά του συνεχούς ρεύματος (dc) και σε αυτές στην πλευρά του εναλλασσόμενου (ac).

Στην πλευρά του dc, τα καλώδια που χρησιμοποιούνται ειδικά solar καλώδια που έχουν διπλή μόνωση. Τα συνηθισμένα καλώδια είναι τύπου HO7RN και οι συνδέσεις μεταξύ των ΦΒ πλαισίων και των αντιστροφών γίνεται με ειδικά βύσματα MC4 (multicontact) ή TYPO. Στην πλευρά του dc άλλοτε χρησιμοποιούνται οδεύσεις για τις καλωδιώσεις και άλλοτε όχι γιατί ο σχεδιασμός του ΦΒ σταθμού γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε τα dc καλώδια να τρέχουν πάνω στις μεταλλικές βάσεις. Σε περιπτώσεις υπόγειων διελεύσεων επιβάλλονται οι οδεύσεις.

Στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος (ac) χρησιμοποιούνται πολυκλωνικά καλώδια τύπου JIVV.

Στις περιπτώσεις των ΦΒ σταθμών, βασικός στόχος είναι οι μικρότερες δυνατές απώλειες στις καλωδιώσεις για αυτό το λόγο η επιλογή των καλωδιώσεων γίνεται με γνώμονα την ελαχιστοποίηση των απωλειών σε αυτές. Έτσι συνήθως ο στόχος είναι απώλειες μικρότερες του 1%.

Πίνακας και Λοιπές Ασφαλιστικές Διατάξεις

Στο γενικό πίνακα του ΦΒ σταθμού βρίσκονται οι κατάλληλες ασφαλιστικές και διακοπτικές διατάξεις για την ασφάλεια της αναχώρησης των καλωδιώσεων και την δυνατότητα διακοπής του ΦΒ σταθμού αντίστοιχα. Επιπρόσθετα στον γενικό πίνακα μπορούν να τοποθετηθούν απαγωγοί κρουστικών και κεραυνικών υπερτάσεων για την προστασία της εγκατάστασης που προέρχονται είτε από απευθείας υπερτάσεις του δικτύου είτε και από επαγωγικές υπερτάσεις.

Ο γενικός πίνακας χρησιμοποιείται για τον παραλληλισμό των επί μέρους αντιστροφέων (inverters) και την σύνδεση των επί μέρους μονοφασικών παροχών σε τριφασική.

Παράλληλα σε ένα ΦΒ σταθμό συναντώνται και υποπίνακες ac και dc που προστατεύουν την αναχώρηση των καλωδιώσεων προς τον γενικό πίνακα και η προστασία των αντιστροφέων με απαγωγούς υπερτάσεων τόσο από την πλευρά του dc όσο και από την πλευρά του ac.

1.2.2 Λοιπός Εξοπλισμός

Απαγωγοί Κρουστικών και Κεραυνικών Υπερτάσεων

Οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από ηλεκτρονικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό ενώ ο χώρος εγκατάστασης απαιτείται να είναι ανεμπόδιστος για αποφυγή σκιάσεων. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την χρήση εκτεταμένων μεταλλικών κατασκευών διαμορφώνουν ένα ικανό συλλεκτήριο σύστημα για κεραυνικά και επαγωγικά πλήγματα αλλά και κρουστικές υπερτάσεις μέσω του δικτύου ηλεκτροδότησης.

Για τον λόγο αυτό συνιστάται η εγκατάσταση απαγωγών κρουστικών και κεραυνικών υπερτάσεων. Οι απαγωγοί συνδέονται παράλληλα με τη γραμμή από όπου θέλουμε να προστατευτούμε. Στη πραγματικότητα πρόκειται για μια συστοιχία βαρίστορ που σε περίπτωση υπέρτασης μειώνουν την αντίσταση τους προς τη γείωση και δημιουργούν καλύτερο αγωγίμο δρόμο προς τη γη και έτσι απορροφούν την υπέρταση προστατεύοντας τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό.

Συστήματα Ασφαλείας και Παρακολούθησης

Η θέση των ΦΒ σταθμών συνήθως είναι μακριά από κατοικημένες περιοχές και το κόστος του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού είναι αξιοσημείωτο. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται η εγκατάσταση συστημάτων ασφαλείας. Τα συστήματα ασφαλείας κατά κάποιο τρόπο επηρεάζουν το τελικό PR γιατί μειώνουν την τελική εξερχόμενη ενέργεια, αφού καταναλώνουν κάποια ποσότητα ενέργειας για την λειτουργία για παράδειγμα των beams, του συναγερμού, των καμερών και των λοιπών συσκευών που αποτελούν το σύστημα ασφαλείας.

Σύστημα Τηλεμετρίας (Monitoring Systems)

Τα συστήματα τηλεμετρίας συλλέγουν πληροφορίες και δεδομένα που αφορούν την παραγωγή και την περαιτέρω λειτουργία του ΦΒ σταθμού και μέσω διαδικτύου είναι διαθέσιμα στον εγκαταστάτη και στον παραγωγό. Τα συστήματα αυτά είναι χρήσιμα για την παρακολούθηση της λειτουργίας και τον εντοπισμό βλάβων και δυσλειτουργιών του ΦΒ σταθμού που μπορούν να επηρεάσουν το PR της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

1.3 Αναγκαιότητα Μέτρησης PR

Οι Εθνικοί Στόχοι που τέθηκαν με την Συνθήκη του Κιότο επέβαλαν τη συνεχή ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε) στη χώρα μας. Έτσι οι Α.Π.Ε κέντρισαν το ενδιαφέρον πολλών επενδυτών αφού προσφέρουν καλές αποδόσεις σχετικά μικρού ρίσκου.

Αφού η νομοθεσία εξασφαλίζει ένα πολύ καλό εισόδημα για τουλάχιστον είκοσι (20) χρόνια και σε άλλες περιπτώσεις έως είκοσι πέντε (25) χρόνια, πολλοί επενδυτές θέλουν να εξασφαλίσουν την καλή απόδοση των ΦΒ σταθμών και κατ' επέκταση της επένδυσής τους.

Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για την εγγύηση της καλής λειτουργίας του σταθμού από την πλευρά του εγκαταστάτη αφενός για εμπορικούς λόγους και αφετέρου για να διασφαλίσει και επενδυτής την επένδυσή του. Για τον λόγο αυτό, τέθηκαν τα θέματα εγγύησης της απόδοσης (PR), της διαθεσιμότητας του ΦΒ σταθμού και των συμβολαίων συντήρησης του ΦΒ σταθμού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύεται το μεγάλο κομμάτι της ανάλυσης των παραγόντων που επηρεάζουν το PR, του θεωρητικού υπολογισμού του, της μέτρησης και της εγγύησης του PR καθώς και της καταβολής των ρητρών και τέλος μιας ευρύτερης τεχνοοικονομικής ανάλυσης μεθόδων για την βελτίωση του PR. Τα συμβόλαια συντήρησης είναι απόρροια της εγγύησης του PR, που θέτει μια κατασκευάστρια εταιρία σαν προϋπόθεση ώστε να έχει τον πλήρη έλεγχο της λειτουργίας του ΦΒ πάρκου όσο χρονικό διάστημα εγγυάται το PR. Έτσι το PR ενός ΦΒ σταθμού είναι ένα σημαντικό ζήτημα που αποσχολεί τόσο τους εγκαταστάτες ώστε και τους επενδυτές. Από την μία οι εγκαταστάτες θέλουν να εγγυηθούν το PR

για να διασφαλίσουν τα συμβόλαια συντήρησης του ΦΒ πάρκου και από την άλλη οι επενδυτές θέλουν με κάθε τρόπο να διασφαλίσουν την απόδοση της επένδυσής τους.

Την διαθεσιμότητα του ΦΒ πάρκου την εγγυούνται οι εταιρίες που προμηθεύουν τον εξοπλισμό ή αυτές τον μετακυλύουν στις εταιρίες που κατασκευάζουν το ΦΒ πάρκο.

1.4 Συμβόλαια Συντήρησης και Εγγύησης PR

Τα συμβόλαια εγγύησης του PR προσφέρονται συνήθως από τις εταιρίες που εγκαθιστούν τον ΦΒ σταθμό. Σχεδόν πάντα ο φορέας που προσφέρει το συμβόλαιο PR στον ιδιοκτήτη του ΦΒ σταθμού, υπογράφει και συμβόλαιο συντήρησης ώστε να μπορεί να παρακολουθεί την λειτουργία του ΦΒ σταθμού για να μπορεί να επεμβαίνει είτε με τακτικές συντηρήσεις ή όποτε κρίνει ότι είναι απαραίτητο έτσι ώστε να πιάσει τον στόχο του PR.

Ο στόχος του PR μετριέται σε ποσοστιαίες μονάδες και οι περισσότερες εταιρίες σε όλη την υφήλιο δίνουν τιμή 78% με 80% για τον πρώτο χρόνο λειτουργίας. Το συμβόλαιο PR έχει συνήθως διάρκεια 5 έτη με μείωση του ποσοστού ανά περίπτωση κατά 1% για κάθε έτος λειτουργίας από το αρχικό.

Σε περίπτωση που ο στόχος του PR δεν επιτευχθεί τότε ο φορέας που το έχει εγγυηθεί πρέπει να πληρώσει ρήτρα, βάση της συμφωνίας που έχει υπογραφεί. Η ρήτρα συνήθως ισούται με την απώλεια εισοδήματος κατά την διάρκεια της περιόδου εγγύησης και υπολογίζεται ως εξής:

Έστω ότι PR1 είναι το εγγυόμενο και PR2 το πραγματικό PR σε χρονικό διάστημα ενός χρόνου. Αν το PR2 είναι μικρότερο του PR1 τότε ο εγκαταστάτης καλείται να πληρώσει ως ρήτρα το ποσό R που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R(\text{€}) = (PR_2 - PR_1) \times E_1 \times SV \text{ (Σχέση 1)}$$

Η

$$R(\text{€}) = \frac{(PR_2 - PR_1)}{PR_2} \times E_2 \times SV$$

Όπου E_1 η συνολική προσπίπτουσα ενέργεια που έχει καταγράψει το πυρανόμετρο, E_2 η παραγόμενη ενέργεια που έχει καταγράψει ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας και SV η υπογεγραμμένη τιμή πώλησης της kWh με τον διαχειριστή του δικτύου.

Για να κατανοηθεί ακόμα καλύτερα η αξία μέτρησης του PR θα αναφέρουμε ένα υποθετικό παράδειγμα.

Έστω ότι έχουμε δύο ΦΒ σταθμούς όπου έχουν υπογραφεί εγγύηση PR και ο στόχος είναι ίδιος, το 80%. Ο απολογισμός του πρώτου έτους για τον πρώτο ΦΒ σταθμό στην Αθήνα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν ήταν 165.000kWh και το μετρούμενο PR έχει τιμή 81%. Ο απολογισμός του πρώτου έτους για τον δεύτερο ΦΒ σταθμό στην Βοιωτία ήταν 168.000kWh αλλά το PR έχει τιμή 78,5%. Στη Δεύτερη περίπτωση ο φορέας που εγγυάται το PR οφείλει να πληρώσει ως ρήτρα ίσα με:

$$R(\text{€}) = \frac{(PR_2 - PR_1)}{PR_2} \times E_2 \times SV = \frac{(0,8 - 0,785)}{0,785} \times 168.000 \text{ kWh} \times 0,45 \text{ €/kWh} = 1.444,3 \text{ €}$$

Βλέπουμε λοιπόν ότι ανεξάρτητα αν ο δεύτερος σταθμός παρήγαγε περισσότερη ενέργεια από τον πρώτο αναγκάστηκε να πληρώσει ρήτρα. Τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για ΦΒ σταθμό ισχύος 100kWp και είναι απολύτως ρεαλιστικά. Οπότε γίνεται εύκολα κατανοήτο ότι για ΦΒ σταθμούς 1000kWp ή 10.000kWp τα ποσά θα είναι δεκαπλάσια και εκαντοταπλάσια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΟ PERFORMANCE RATIO (PR)

Το ποσοστό απόδοσης (performance ratio) είναι ένα μέγεθος για την ποιότητα μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ανεξάρτητα από το σημείο τοποθέτησης της και είναι ποιοτικός συντελεστής. Το ποσοστό απόδοσης δίνεται επί τοις εκατό και περιγράφει την αναλογία ανάμεσα σε πραγματική και την ιδανική απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζεται το ποσοστό της ενέργειας που είναι πραγματικά διαθέσιμο πριν την αφαίρεση των ενεργειακών απωλειών (π.χ λόγω απωλειών θερμότητας και απωλειών αγωγού) και της ιδιοκατανάλωσης για την λειτουργία.

Όσο πιο κοντά στο 100% βρίσκεται η τιμή του ποσοστού απόδοσης μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, τόσο πιο αποδοτικά δουλεύει η εγκατάσταση αυτή. Ωστόσο, μια τιμή της τάξης του 100% δεν είναι πραγματικά δυνατή, επειδή κατά την λειτουργία της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης υπάρχουν πάντα απώλειες που δεν μπορούν να αποφευχθούν και αναλύονται παρακάτω.

2.1 Παράγοντας Απωλειών Λόγω Διακύμανσης του Ηλιακού Φάσματος (f1)

Ας υποθέσουμε δύο ΦΒ πλαίσια να δέχονται την ίδια ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος, δεν συνεπάγεται ότι τα ΦΒ πλαίσια θα παράγουν την ίδια ποσότητα ενέργειας λόγω της διακύμανσης του ηλιακού φάσματος. Αυτό ποιοτικά εξηγείται από την διαφορετική επίδραση της κατανομής του μήκους κύματος της ακτινοβολίας. Δηλαδή δύο ΦΒ πλαίσια που δέχονται την ίδια ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας στις ίδιες ατμοσφαιρικές συνθήκες, είναι πιθανό να έχουμε διαφορετική απόκριση γιατί τα ΦΒ πλαίσια αποκρίνονται διαφορετικά ανάλογα με την κατανομή του μήκους κύματος του φάσματος της ακτινοβολίας.

Η τιμή του συντελεστή είναι συνήθως

$$f1=0,995$$

και εκφράζει την διακύμανση του ηλιακού φάσματος.

2.2 Παράγοντας Απωλειών Λόγω Σκίασης (f2)

Τα ΦΒ πλαίσια σε ένα ΦΒ πλάσιο τοποθετούνται σε γωνία β σε παράλληλες στοιχοσειρές που το χαμηλότερο σημείο της μιας από την άλλη απέχει απόσταση D . Σε μια στοιχειοσειρά τα ΦΒ πλαίσια τοποθετούνται σε οριζόντια διάταξη (landscape) ή κατακόρυφη διάταξη (portrait). Το μήκος L της διάταξης καθορίζεται από τον τύπο:

$$L = n \cdot l + 0.02 \cdot (n - 1) \quad (\text{Σχέση 2})$$

Όπου l το μήκος του ΦΒ πλαισίου (landscape ή portrait) και n ο αριθμός των ΦΒ πλαισίων, n οι σειρές των ΦΒ πλαισίων που τοποθετούνται ανά τραπέζι και $0,02$ είναι η απόσταση ανάμεσα στις n σειρές ΦΒ πλαισίων.

Ο συντελεστής σκίασης f_2 είναι ανάλογος της ηλιακής γωνίας ε , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζει το υψηλότερο σημείο της εμπρός στοιχοσειράς με το χαμηλότερο σημείο της αμέσως επόμενης στοιχοσειράς.

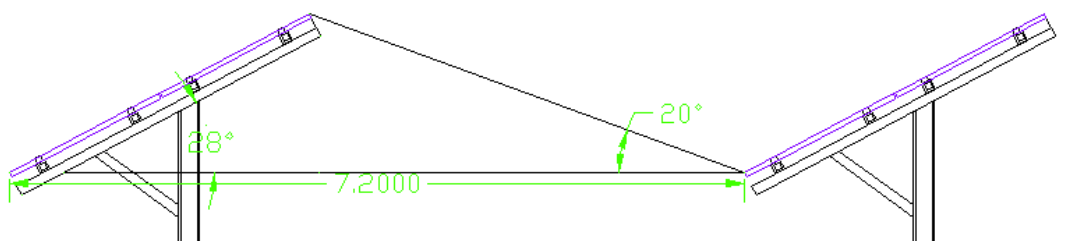
$$f_2 = (-7x10 - 5) \cdot \varepsilon^2 + 0,0015 \cdot \varepsilon + 0,973 \text{ (Σχέση 3)}$$

Η ηλιακή γωνία ε δίνεται από τον τύπο:

$$\varepsilon = \tan^{-1} \left(\frac{L \cdot \sin \beta}{D - L \cdot \cos \beta} \right) \text{ (Σχέση 4)}$$

Έτσι ο συντελεστής σκίασης εξαρτάται από την ηλιακή γωνία ε . Οσό μικραίνει η ηλιακή γωνία ε τόσο βελτιώνεται η ηλιακή γωνία ε .

Σχέδιο 1: Πλάγια όψη ΦΒ πάρκου



Θεωρώντας

$L=1,65 \cdot 2 + 0,02 = 3,32\text{m}$, όπου $1,65$ το μήκος του ΦΒ πλαισίου και έχουμε δύο σειρές με διάστημα ανάμεσα τους $0,02\text{m}$.

Η κλίση β των ΦΒ πλαισίων είναι 28° , η απόσταση D μεταξύ του χαμηλότερου σημείου μιας συστοιχίας και της συστοιχίας της επόμενης γειτονικής συστοιχίας είναι 6m .

$$\varepsilon = \tan^{-1} \left(\frac{L \cdot \sin \beta}{D - L \cdot \cos \beta} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{3,32 \cdot \sin (28)}{7,2 - 3,32 \cdot \cos (28)} \right) = 20,05^\circ$$

Στη συνέχεια τοποθετώ τον ε στον τύπο $f2$ για να βρώ τον συντελεστή σκίασης.

$$f2 = (-7 \times 10 - 5) \cdot \varepsilon^2 + 0,0015 \cdot \varepsilon + 0,973 = (-7 \times 10 - 5) \cdot 20,05^2 + 0,0015 \cdot 20,05 + 0,973$$

$$= 0,974923$$

$$f2 = 0,974923$$

2.3 Παράγοντας λόγω Οπτικών Απωλειών (f3)

Ο παράγοντας απωλειών λόγω οπτικών απωλειών οφείλεται σε αρκετούς παράγοντες όπου αναφέρονται παρακάτω.

α) Συγκεκριμένα υπάρχει διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας του ΦΒ πλαισίου με την αντίστοιχη σε εργασιακές συνθήκες ελέγχου.

β) Ενάς άλλος λόγος είναι καθαρότητα του τζαμιού του ΦΒ πλαισίου σε σχέση με την καθαρότητα του πυρανομέτρου.

γ) Τέλος η ανάκλαση που μπορεί να δεχθεί η επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου από το περιβάλλοντα χώρο. Για παράδειγμα διαφορετική είναι η ανάκλαση από ένα γήπεδο εγκατάστασης που έχει λευκό χαλίκι από ένα γήπεδο που έχει σκούρο χόμα ή φυτική γη.

Οι απώλειες αυτές είναι συνήθως της τάξης του 2%, οπότε ο συντελεστής $f3$ έχει την τιμή 0,98.

2.4 Παράγοντας Απωλειών λόγω Χαμηλής Ακτινοβολίας (f4)

Ο παράγοντας των απωλειών λόγω χαμηλής ακτινοβολίας δίνεται από τον κατασκευαστή του ΦΒ πλαισίου και υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο.

$$\text{low irradiation parameter} = \frac{\text{efficiency at low irradiation level (200/m}^2\text{)}}{\text{efficiency at STC}}$$

(Σχέση 5)

Ο συντελεστής $f4$ υπολογίζεται από τον παρακάτω αλγόριθμο (Σχέση 5).

$$f4 = (0,2773 \times \text{low irradiation parameter}) + 0,7199$$

Η παράμετρος low irradiation parameter (LIP) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$LIP = \frac{\text{eff}(200)}{\text{eff}(1000)} \quad (\text{Σχέση 6})$$

Λαμβάνοντας ως δεδομένο τις τιμές P_{max} που δίνει ο κατασκευαστής του ΦΒ πλαισίου υπολογίζεται από τους τύπους $eff(200)$ και $eff(1000)$.

$$eff(200) = \frac{P_{max}}{[area \times irradiation]} \quad (\text{Σχέση 7})$$

και

$$eff(1000) = \frac{P_{max}}{[area \times irradiation]} \quad (\text{Σχέση 8})$$

Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα υπολογισμού του συντελεστή απωλειών λόγω χαμηλής ακτινοβολίας.

Θεωρούμε ότι το ΦΒ πλαίσιο στις STC (Standard Test Conditions) έχει μέγιστη ισχύ $P_{max} = 235 \text{ Watt}$ και σε χαμηλή ακτινοβολία (200 W/m^2) έχει μέγιστη ισχύ $44,8 \text{ Watt}$.

Έτσι η $eff(200)$ και η $eff(1000)$ είναι ως εξής:

$$eff(200) = \frac{P_{max}}{[area \times irradiation]} = \frac{44,8}{[(1,65 \times 0,99) \times 200]} = 0,1371$$

και

$$eff(1000) = \frac{P_{max}}{[area \times irradiation]} = \frac{235}{[(1,65 \times 0,99) \times 1000]} = 0,1439$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το LIP από τη Σχέση 6:

$$LIP = \frac{eff(200)}{eff(1000)} = \frac{0,1371}{0,1439} = 0,9532$$

Τέλος υπολογίζεται και ο συντελεστής $f4$ από τον παρακάτω τύπο.

$$f4 = (0,2773 \times low \text{ irradiation parameter}) + 0,7199 \quad (\text{Σχέση 9})$$

$$f4 = (0,2773 \times 0,9532) + 0,7199 = 0,984$$

$$f4 = 0,984$$

Ποιοτικά αυτός ο συντελεστής δείχνει την διαφοροποίηση στις τιμές της αντίστασης διαρροής R_{sh} του ΦΒ πλαισίου που επιτυγχάνει ο κάθε κατασκευαστής και είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την απόκριση του ΦΒ πάρκου στη χαμηλή ακτινοβολία.

2.5 Παράγοντας Απωλειών λόγω Υψηλής Θερμοκρασίας ($f5$)

Οι κλιματολογικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο στη μέτρηση του PR και αυτό μπορούμε να το δούμε με την μέτρηση του PR στους διάφορους μήνες του χρόνου. Η θερμοκρασία, η ταχύτητα του αέρα μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση του ΦΒ σταθμού. Αυτό μπορούμε να το δούμε καλύτερα εάν εξετάσουμε την λειτουργία ενός ΦΒ σταθμού δύο συνεχόμενες μέρες όπου στη μια έχουμε ηλιακή ακτινοβολία και άπνοα και την επόμενη μέρα έχουμε ηλιακή ακτινοβολία και δυνατούς ανέμους. Στη δεύτερη περίπτωση το PR της ημέρας θα είναι σαφώς καλύτερο αφού ο άνεμος συντελεί στη ψύξη των ΦΒ μονάδων, Επίσης εάν έχουμε δύο διαφορετικούς ΦΒ σταθμούς που ο ένας είναι ακριβή αντιγραφή του άλλου, δηλαδή αποτελούνται από τον ίδιο εξοπλισμό και έχουν ακριβώς το ίδιο μήκος και διατομή καλωδίων και δέχονται ακριβώς την ίδια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας ανά μέρα αλλά ο ένας βρίσκεται σε διαφορετικό υψόμετρο από τον άλλον, τότε αυτός που βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο θα έχει καλύτερο PR από εκείνον που είναι χαμηλότερα μιας και στις περιοχές με υψηλότερο υψόμετρο έχουμε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Έχει παρατηρηθεί ότι ανά εκατό μέτρα η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μειώνεται κατά έναν βαθμό κελσίου.

Έτσι το βασικό χαρακτηριστικό που επηρεάζει μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι ο **θερμοκρασιακός συντελεστής**. Η ισχύς και η αποδοτικότητα μιας ηλιακής κυψέλης εξαρτάται μεταξύ άλλων και από την θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής μονάδας. Μια φωτοβολταϊκή μονάδα είναι ιδιαίτερα αποδοτική στις χαμηλές θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, σε περίπτωση συννεφιάς την χειμερινή περίοδο η φωτοβολταϊκή μονάδα είναι κρύα. Εάν κατά την διάρκεια αυτής της καλοκαιρίας το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας προσπέσει πάνω στην κρύα φωτοβολταϊκή μονάδα, τότε η μονάδα αυτή θα δουλεύσει με μεγαλύτερη αποδοτικότητα. Το γεγονός αυτό μπορεί να παρουσιάσει για σύντομο χρονικό διάστημα μια υψηλή τιμή ποσοστού απόδοσης. Ωστόσο μετά από μια συγκεκριμένη ώρα η φωτοβολταϊκή μονάδα ζεσταίνεται και η αποδοτικότητα πέφτει ξανά. Έτσι τα ΦΒ πάρα κατασκευασμένα με άμορφα ΦΒ πλαίσια έχουν συνήθως καλύτερο PR μιας και έχουν τον καλύτερο θερμοκρασιακό συντελεστή. Συγκεκριμένα ο θερμοκρασιακός συντελεστής για τα πολυκρυσταλλικά συναντάνται από -0,39%/C ως -0,47%/C όταν για τα άμορφα είναι από -0,12%/C ως -0,20%/C.

Χρησιμοποιώντας τις τιμές που δίνει ο κατασκευαστής υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$f5 = 1 - T_k(W_p) \times (T - T_{STC}) \quad (\text{Σχέση 10})$$

όπου ο $T_k(W_p)$ είναι ο θερμοκρασιακός συντελεστής των ΦΒ πλαισίων, T η μέση θερμοκρασία των ΦΒ πλαισίων στη περιοχή λειτουργίας σε ένα χρόνο και T_{STC} η θερμοκρασία αναφοράς.

$$f5 = 1 - 0,0045 \times (37 - 25)$$

$$f5 = 0,946$$

2.6 Παράγοντας Απωλειών λόγω Διαφορών στα χαρακτηριστικά των ΦΒ πλαισίων – mismatch (f6)

Τα ΦΒ πλαίσια είναι ένα βιομηχανικό προϊόν και όπως όλα τα βιομηχανικά προϊόντα δεν είναι απόλυτα ίδια μεταξύ τους. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αναγράφει ο κατασκευαστής των ΦΒ πλαισίων στα διαφημιστικά έντυπα και στις ταμπέλες των προϊόντων είναι απλά ο ενδεικτικός μέσος όρος. Άλλοστε την διαφοροποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών των προϊόντων και στη προκειμένη περίπτωση των ΦΒ πλαισίων την αναφέρει ο κατασκευαστής δίνοντας την ανοχή.

Στην περίπτωση του ΦΒ σταθμού μπορούμε να έχουμε μείωση της πραγματικής ισχύς λόγω τυχαίας συνδεσμολογίας των ΦΒ πλαισίων. Για να γίνει αυτό πιο κατανοητό θα καταφύγουμε σε ένα παράδειγμα.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε μια στοιχειοσειρά που αποτελείται από δεκατέσσερα (14) ΦΒ πλαίσια εν σειρά.

A/A	Serien Nr	PmppSTC	I MPP	V MPP
1	101932020051	230	7,732	30,191
2	101932020064	230	7,736	30,145
3	101932020091	230	7,715	30,247
4	101932020101	230	7,719	30,168
5	101932020102	230	7,717	30,151
6	101932020104	230	7,741	30,131
7	101932020137	230	7,719	30,203
8	101932020151	230	7,729	30,183
9	101932020212	230	7,71	30,122
10	101932020234	230	7,73	30,186
11	101932020236	230	7,75	30,229
12	101932020240	230	7,713	30,162
13	101932020241	230	7,71	30,254
14	101932020280	230	7,74	30,141
			Min=	7,71

Πίνακας 1: Απόσπασμα από flash report, όπου φαίνονται οι διαφορετικές τιμές των χαρακτηριστικών.

Από την 4^η στήλη βλέπουμε ότι η μέγιστη τιμή ρεύματος στις συνθήκες αναφοράς (STC) είναι 7,75 A και η ελάχιστη τιμή είναι 7,71. Το ηλεκτρικό ρεύμα όμως που θα διαρρέει την στοιχειοσειρά όμως θα είναι 7,71 A γιατί είναι αδύνατο να περάσει από το ΦΒ πλαίσιο που έχει μέγιστο ρεύμα 7,71 A, ηλεκτρικό ρεύμα μεγαλύτερο του 7,71 A. Αμέσως γίνεται κατανοητό ότι έχουμε πτώση της αρχικής ισχύος που χρησιμοποιείται στον τύπο υπολογισμού του PR, οπότε έχουμε και μείωση του PR.

Οι απώλειες λόγω διαφοροποίησης των τεχνικών χαρακτηριστικών μπορούν να περιοριστούν με την ταξινόμηση των ΦΒ πλαισίων βάση των τεχνικών τους χαρακτηριστικών και έτσι μπορεί να κερδηθεί ισχύς από 0,5% ως 3% ανάλογα με το μέγεθος του ΦΒ πάρκου και του εύρους ανοχής των ΦΒ πλαισίων. Παράλληλα και το PR μπορεί να βελτιωθεί από 0,4% ως και 2,4%.

Ο παράγοντας απωλειών λόγω διαφοροποίησης των τεχνικών χαρακτηριστικών δε δύναται να εξαληφθεί και κατόπιν ταξινόμησης των ΦΒ πλαισίων βάση των τεχνικών χαρακτηριστικών μπορεί να είναι περίπου 0,995.

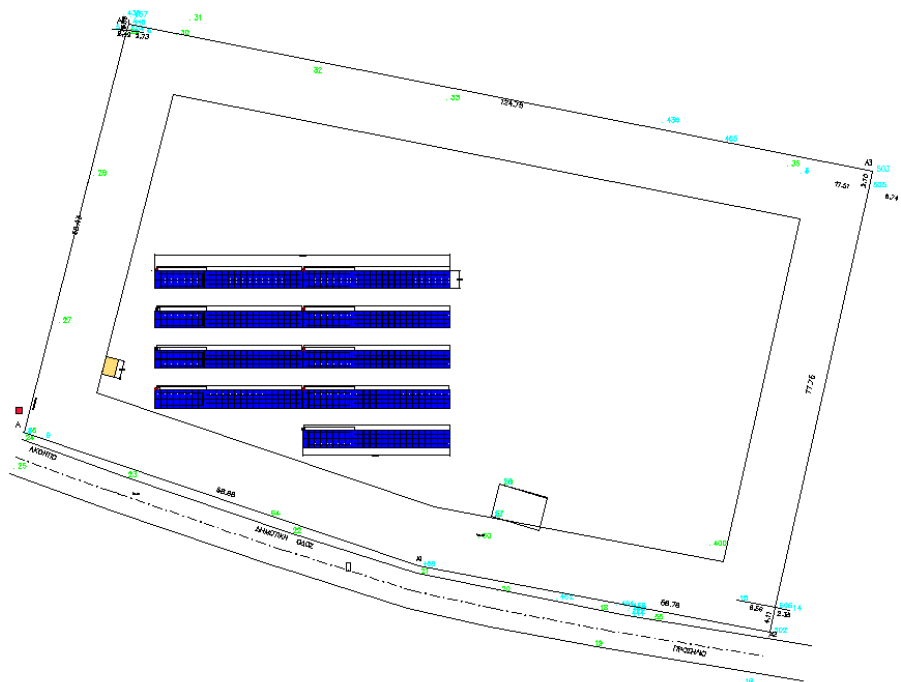
$$f_6 = 0,995$$

Παρακάτω στη παράγραφο 4.2 θα δούμε την αναγκαιότητα της ταξινόμησης και πόσο μπορεί να βελτιωθεί το PR.

2.7 Παράγοντας Ηλεκτρικών Απωλειών της DC καλωδίωσης (f_7).

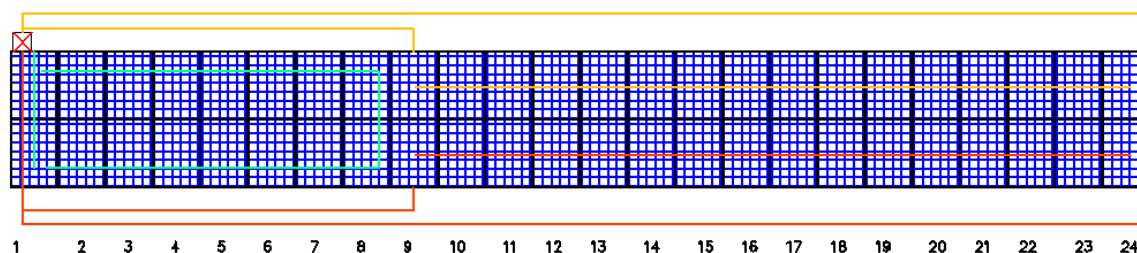
Κατά την μεταφορά της ενέργειας από τον μετατροπέα στο μετρητή τροφοδοσίας του φορέα εκμετάλλευσης δικτύου υπάρχουν απώλειες αγωγού εξαιτίας του είδους και του υλικού του χρησιμοποιημένου καλωδίου. Οι απώλειες αγωγού εκτός από το υλικό του αγωγού εξαρτάται από το μήκος και την διατομή των καλωδίων.

Στη παράγραφο αυτή θα μετρήσουμε πόσες είναι οι απώλειες στο συνεχές ρεύμα στην περίπτωση που θα χρησιμοποιήσουμε αντιστροφείς στοιχειοσειράς, που συνήθως εγκαθίστανται πλησίον των στοιχειοσειρών στο πίσω μέρος της βάσης. Για το λόγο αυτό θα θεωρήσουμε ότι έχουμε έναν δεδομένο ΦΒ σταθμό ονομαστικής ισχύος 99,36kWp, χωροθετημένο κατά το βέλτιστο τρόπο. Στο παρακάτω σχέδιο φαίνεται η χωροθέτηση του ΦΒ σταθμού.



Σχήμα 2: Χωροθέτηση ΦΒ σταθμού

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η συνδεσμολογία των ΦΒ πλαισίων ανά αντιστροφή και η σύνδεση των ΦΒ πλαισίων που απαρτίζουν την στοιχειοσειρά με των αντιστροφών. Στο συγκεκριμένο σχήμα φαίνεται η κάτοψη ενός τραπεζιού που αποτελείται από δύο σειρές των εικοσιτεσσέρων (24) ΦΒ πλαισίων. Από τα συνολικά σαράντα οκτώ (48) ΦΒ πλαίσια προκύπτουν τρεις (3) στοιχειοσειρές των δεκαέξι (16) ΦΒ πλαισίων. Οι στοιχειοσειρές απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα με τρία διαφορετικά χρώματα.

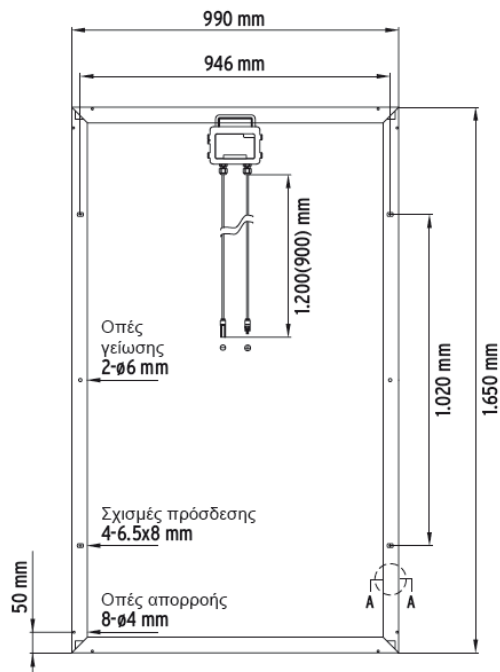


Σχήμα 3: Κάτοψη τοποθετημένων σε βάση ΦΒ πλαισίων και σχέδιο στοιχειοσειρών

Στις απώλειες αγωγού στο συνεχές ρεύμα θα συνοπολογιστούν οι απώλειες τόσο στις προεκτάσεις των στοιχειοσειρών που απαιτούνται για την σύνδεση τους στους αντιστροφείς όσο και οι απώλειες των καλωδιώσεων των ΦΒ πλαισίων που στη προκειμένη περίπτωση είναι 1,8 μέτρα ($2 \times 0,9\text{m}$) ανά ΦΒ πλαίσιο και χρησιμοποιούνται για την αναμεταξύ τους σύνδεση κατά την δημιουργία της στοιχειοσειράς.

Στη συνέχεια θα αθροίσουμε τις συνολικές απώλειες της στοιχειοσειράς και θα εξετάσουμε κατά πόσο μπορούμε να μειώσουμε τις απώλειες αγωγού αν αυξήσουμε την διατομή του καλωδίου από 4mm^2 σε 6mm^2 . Τέλος θα εξετάσουμε αν υπάρχει κάποια μεταβολή στα αποτελέσματα στην περίπτωση που ταξινομήσουμε τα ΦΒ πλαίσια (βλέπε παράγραφο 2.7)

2.7.1 Απώλειες αγωγού στο συνεχές ρεύμα στις καλωδιώσεις που χρησιμοποιούνται για την αναμεταξύ σύνδεση των ΦΒ πλαισίων (Απώλειες Ακροδεκτών).



Σχήμα 4: Σχέδιο και διαστάσεις ΦΒ πλαισίου

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα και όπως φαίνεται στο σχήμα 3, το μήκος κάθε καλωδίου είναι 900mm (0,9m) και κάθε ΦΒ πλαίσιο έχει δύο (2) καλώδια, ένα θετικό (+) και ένα αρνητικό (-). Το συνολικό μήκος του καλωδίου που χρησιμοποιείται για την αναμεταξύ σύνδεση των ΦΒ πλαισίων είναι (1,8m*16=28,8 m). Η ισχύς κάθε στοιχειοσειράς είναι (16*230Watt = 3680 Watt) και η συνολική τάση υπό φορτίο της στοιχειοσειράς είναι (16*30Volt= 480V). Η διατομή των καλωδίων που χρησιμοποιούν οι κατασκευάστριες εταιρίες για τους ακροδέκτες των ΦΒ πλαισίων είναι συνήθως είναι 4mm².

Έχω σαν δεδομένα λοιπόν ότι:

$$L = 28,8\text{m}$$

$$P = 3680\text{ Watt}$$

$$V = 480\text{ Volt}$$

$$A = 4\text{mm}^2$$

Από την σχέση 11 υπολογίζω την συνολική αντίσταση της στοιχειοσειράς

$$R = \rho \times \frac{L}{A} \quad (\text{Σχέση 11})$$

Από την σχέση 12 υπολογίζω την ένταση του ρεύματος που διαρρέει την στοιχειοσειρά στο μέγιστο φορτίο.

$$I = \frac{P}{V} \quad (\text{Σχέση 12})$$

Από την σχέση 13 υπολογίζω την πτώση τάσης λόγω ωμικής αντίστασης κατά μήκος της στοιχειοσειράς

$$dV = R(L_x) \times I(L_x) + R(N) + I(N) \quad (\text{Σχέση 13})$$

Από την σχέση 14 υπολογίζω την απώλεια ισχύος λόγω ωμικής αντίστασης στη στοιχειοσειρά.

$$P_{\text{strloss}} = dV \times I \quad (\text{Σχέση 14})$$

Με την βοήθεια των παραπάνω σχέσεων προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

		Μήκος (m)	Τάση String (V)	Διατομή (mm ²)	R (Ohm)	P (Watt)	I (A)	dV (Volt)	PV _{loss} (Watt)	(%) loss
INV 1	STRING 1	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 2	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 3	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
INV 2	STRING 4	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 5	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 6	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
INV 3	STRING 7	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 8	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 9	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
INV 4	STRING 10	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 11	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 12	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
INV 5	STRING 13	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 14	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 15	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
INV 6	STRING 16	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 17	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 18	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
INV 7	STRING 19	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 20	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 21	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
INV 8	STRING 22	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 23	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 24	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
INV 9	STRING 25	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 26	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%
	STRING 27	28,8	480	4	0,1296	3680	7,67	1,99	15,24	0,41%

Πίνακας 2: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών και απωλειών καλωδιώσεων για το 4mm² καλώδιο του ΦΒ πλαισίου.

Από ότι φαίνεται από τον πίνακα αυτό ισχύει και για τις είκοσι επτά στοιχειοσειρές (27) που απαρτίζουν τον ΦΒ σταθμό αφού όλες αποτελούνται από 16 πλαίσια ισχύος 230 Watt έκαστο και έχουν ακριβώς την ίδια διάταξη και συνδεσμολογία.

2.7.2 Απώλειες αγωγού στο συνεχές ρεύμα στις καλωδιώσεις-επέκταση που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση με τον αντιστροφέα.

Από ότι φαίνεται από το σχήμα 3 κάθε τραπέζι έχει τρεις στοιχειοσειρές ΦΒ πλαισίων και συνδέονται με τον αντιστροφέα που βρίσκεται στο πίσω μέρος του τραπέζιου αριστερά. Για να συνδεθούν αυτές οι στοιχειοσειρές χρειάζονται επιπλέον καλώδιο συνεχούς ρεύματος που χρησιμοποιείται σαν επέκταση. Η διατομή του καλωδίου που χρησιμοποιείται εξαρτάται από το μήκος των καλωδίων που χρησιμοποιούμε κάθε φορά και στόχος είναι οι απώλειες ισχύος να είναι κάτω από το 1%. Θα εξετάσουμε τις απώλειες ισχύος τόσο με καλώδιο dc 4mm² όσο και με καλώδιο dc 6mm² για να δούμε πόσο τοις εκατό μπορούμε να βελτιώσουμε το PR του ΦΒ σταθμού, επιλέγοντας την αμέσως μεγαλύτερη διατομή καλωδίου.

Από το σχήμα 2 προκύπτει ότι το μήκος των στοιχειοσειρών είναι 4m για την πρώτη, 34m για την δεύτερη και άλλα 34m για την τρίτη. Στη συνέχεια υπολογίζεται ο Πίνακας 3, όπως υπολογίστηκε ο πίνακας 2.

		Μήκος (m)	Τάση String (V)	Διατομή (mm ²)	R (Ohm)	P (Watt)	I (A)	dV (Volt)	P _{vloss} (Watt)	% _{maxloss} (Watt)
INV 1	STRING 1	4	480	4	0,018	3680	7,67	0,28	2,12	0,06%
	STRING 2	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
	STRING 3	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
INV 2	STRING 1	4	480	4	0,018	3680	7,67	0,28	2,12	0,06%
	STRING 2	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
	STRING 3	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
INV 3	STRING 1	4	480	4	0,018	3680	7,67	0,28	2,12	0,06%
	STRING 2	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
	STRING 3	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
INV 4	STRING 1	4	480	4	0,018	3680	7,67	0,28	2,12	0,06%
	STRING 2	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
	STRING 3	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
INV 5	STRING 1	4	480	4	0,018	3680	7,67	0,28	2,12	0,06%
	STRING 2	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
	STRING 3	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
INV 6	STRING 1	4	480	4	0,018	3680	7,67	0,28	2,12	0,06%
	STRING 2	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
	STRING 3	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
INV 7	STRING 1	4	480	4	0,018	3680	7,67	0,28	2,12	0,06%
	STRING 2	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
	STRING 3	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
INV 8	STRING 1	4	480	4	0,018	3680	7,67	0,28	2,12	0,06%
	STRING 2	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
	STRING 3	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
INV 9	STRING 1	4	480	4	0,018	3680	7,67	0,28	2,12	0,06%
	STRING 2	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%
	STRING 3	34	480	4	0,153	3680	7,67	2,35	17,99	0,49%

Πίνακας 3: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών και απωλειών καλωδιώσεων για 4mm² καλώδιο.

Στη συνέχεια υπολογίζεται ένας νέος πίνακας για διατομή καλωδίου 6mm^2 , χρησιμοποιώντας πάλι τις σχέσεις 11, 12, 13 και 14.

		Μήκος (m)	Τάση String (V)	Διατομή (mm^2)	R (Ohm)	P (Watt)	I (A)	dV (Volt)	P _{loss} (Watt)	P _{maxloss} (Watt)
INV 1	STRING 1	4	480	6	0,012	3680	7,67	0,18	1,41	0,04%
	STRING 2	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
	STRING 3	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
INV 2	STRING 1	4	480	6	0,012	3680	7,67	0,18	1,41	0,04%
	STRING 2	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
	STRING 3	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
INV 3	STRING 1	4	480	6	0,012	3680	7,67	0,18	1,41	0,04%
	STRING 2	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
	STRING 3	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
INV 4	STRING 1	4	480	6	0,012	3680	7,67	0,18	1,41	0,04%
	STRING 2	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
	STRING 3	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
INV 5	STRING 1	4	480	6	0,012	3680	7,67	0,18	1,41	0,04%
	STRING 2	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
	STRING 3	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
INV 6	STRING 1	4	480	6	0,012	3680	7,67	0,18	1,41	0,04%
	STRING 2	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
	STRING 3	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
INV 7	STRING 1	4	480	6	0,012	3680	7,67	0,18	1,41	0,04%
	STRING 2	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
	STRING 3	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
INV 8	STRING 1	4	480	6	0,012	3680	7,67	0,18	1,41	0,04%
	STRING 2	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
	STRING 3	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
INV 9	STRING 1	4	480	6	0,012	3680	7,67	0,18	1,41	0,04%
	STRING 2	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%
	STRING 3	34	480	6	0,102	3680	7,67	1,56	11,99	0,33%

Πίνακας 4: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών και απωλειών καλωδίσεων για 6mm^2 καλώδιο.

2.7.3 Συνολικές Απώλειες Αγωγού Στοιχειοσειράς στο συνεχές ρεύμα.

Προσθέτοντας τα επί μέρους αποτελέσματα του Πίνακα 2 και του Πίνακα 3 προκύπτει ένας νέος Πίνακας (Πίνακας 5) όπου φαίνονται οι συνολικές απώλειες της στοιχειοσειράς για διατομή καλωδίου 4mm^2 .

		Μήκος (m)	Τάση String (V)	Διατομή (mm^2)	P _{maxloss} CBL(Watt)	P _{maxloss} STR(Watt)	P _{maxloss} TOT(Watt)
--	--	-----------	-----------------	---------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

INV 1	STRING 1	4	480	4	0,06%	0,41%	0,47%
	STRING 2	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
	STRING 3	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
INV 2	STRING 1	4	480	4	0,06%	0,41%	0,47%
	STRING 2	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
	STRING 3	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
INV 3	STRING 1	4	480	4	0,06%	0,41%	0,47%
	STRING 2	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
	STRING 3	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
INV 4	STRING 1	4	480	4	0,06%	0,41%	0,47%
	STRING 2	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
	STRING 3	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
INV 5	STRING 1	4	480	4	0,06%	0,41%	0,47%
	STRING 2	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
	STRING 3	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
INV 6	STRING 1	4	480	4	0,06%	0,41%	0,47%
	STRING 2	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
	STRING 3	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
INV 7	STRING 1	4	480	4	0,06%	0,41%	0,47%
	STRING 2	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
	STRING 3	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
INV 8	STRING 1	4	480	4	0,06%	0,41%	0,47%
	STRING 2	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
	STRING 3	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
INV 9	STRING 1	4	480	4	0,06%	0,41%	0,47%
	STRING 2	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%
	STRING 3	34	480	4	0,49%	0,41%	0,90%

Πίνακας 5: Πίνακας συνολικών απωλειών των καλωδιώσεων για 4mm² καλώδιο.

Επίσης προσθέτοντας τα επί μέρους αποτελέσματα του Πίνακα 2 και του Πίνακα 4 προκύπτει ένας νέος Πίνακας (Πίνακας 6) όπου φαίνονται οι συνολικές απώλειες της στοιχειοσειράς για διατομή καλωδίου 6mm².

		Μήκος (m)	Τάση String (V)	Διατομή (mm ²)	P _{maxloss} CBL(Watt)	P _{maxloss} STR(Watt)	P _{maxloss} TOT(Watt)
INV 1	STRING 1	4	480	6	0,04%	0,41%	0,45%
	STRING 2	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
	STRING 3	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
INV 2	STRING 1	4	480	6	0,04%	0,41%	0,45%
	STRING 2	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
	STRING 3	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
INV 3	STRING 1	4	480	6	0,04%	0,41%	0,45%
	STRING 2	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
	STRING 3	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
INV 4	STRING 1	4	480	6	0,04%	0,41%	0,45%
	STRING 2	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
	STRING 3	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
INV 5	STRING 1	4	480	6	0,04%	0,41%	0,45%
	STRING 2	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%

	STRING 3	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
INV 6	STRING 1	4	480	6	0,04%	0,41%	0,45%
	STRING 2	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
	STRING 3	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
INV 7	STRING 1	4	480	6	0,04%	0,41%	0,45%
	STRING 2	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
	STRING 3	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
INV 8	STRING 1	4	480	6	0,04%	0,41%	0,45%
	STRING 2	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
	STRING 3	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
INV 9	STRING 1	4	480	6	0,04%	0,41%	0,45%
	STRING 2	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%
	STRING 3	34	480	6	0,33%	0,41%	0,74%

Πίνακας 6: Πίνακας συνολικών απωλειών των καλωδιώσεων για 6mm² καλώδιο.

2.7.4 Συνολικές Απώλειες Αγωγού Στοιχειοσειράς στο συνεχές ρεύμα

Είναι φανερό ότι οι υπολογισμοί των καλωδιώσεων έγιναν με στο μέγιστη ισχύ του ΦΒ σταθμού. Αλλά όπως είναι γνωστό η παραγωγόμενη ενέργεια ακολουθεί μια κατανομή που μοιάζει με την καμπύλη του Gauss. Έτσι κάνουμε μια διόρθωση στις απώλειες χαλκού αφού λαμβάνουμε με κάποιους συντελεστές την κατανομή της ισχύος από 5% ως 100%.

Στο παρακάτω πίνακα φαίνεται η απώλεια ισχύος στις καλωδιώσεις dc διατομής 4mm².

Καλώδιο Solar Cable 4mm ²				
P/Pnom	P	Ploss	factor	Ploss @
5%	5025,45	1,93	0,03	0,0579
10%	10050,9	7,72	0,06	0,4632
20%	20101,8	30,88	0,13	4,0144
30%	30152,7	69,48	0,10	6,948
50%	50254,5	193	0,48	92,64
100%	100509	772,01	0,20	154,402
			1,00	258,5255

Πίνακας 7: Ευρωπαϊκές Απώλειες euro-ETA για καλώδιο 4mm²

Έτσι ο παράγοντας απωλειών στις dc καλωδιώσεις δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$f7(4mm^2) = 100\% - \frac{P_{loss}}{P_{nom}} \times 100\% \quad (\text{Σχέση 15})$$

$$f7(4mm^2) = 100\% - \frac{258,5255}{99360} = 99,74\%$$

$$f7(4mm^2) = 0,9974$$

Στο παρακάτω πίνακα φαίνεται η απώλεια ισχύος στις καλωδιώσεις dc διατομής 6mm².

Καλώδιο Solar Cable 6mm ²				
P/Pnom	P	Ploss	factor	Ploss @
5%	4968	1,64	0,03	0,0492
10%	9936	6,55	0,06	0,393
20%	19872	26,2	0,13	3,406
30%	29808	58,95	0,10	5,895
50%	49680	163,75	0,48	78,6
100%	99360	654,98	0,20	130,996
			1,00	219,3392

Πίνακας 8: Ευρωπαϊκές Απώλειες euro-ETA για καλώδιο 6mm²

Έτσι ο παράγοντας απωλειών στις dc καλωδιώσεις δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$f7(6mm^2) = 100\% - \frac{P_{loss}}{P_{nom}} \times 100\% \quad (\text{Σχέση 15})$$

$$f7(6mm^2) = 100\% - \frac{219,3392}{99360} = 99,78\%$$

$$f7(6mm^2) = 0,9978$$

Στόχος στον σχεδιασμό των καλωδιώσεων είναι οι απώλειες τους να είναι μικρότερες του 1%. Στη προκειμένη περίπτωση έχουμε χρησιμοποιήσει αντιστροφείς στοιχειοσειράς (String Inverters) που εγκαθίστανται κοντά στις στοιχειοσειρές οπότε είναι λογικό να έχουμε τόσες μικρές απώλειες στη πλευρά του συνεχούς ρεύματος.

2.8 Παράγοντας Απωλειών λόγω Λειτουργίας των Αντιστροφέων σε Σημείο Διαφορετικό του Ακριβούς Σημείου Μέγιστης Ισχύος – MPP Tracking Losses (f8).

Ο παράγοντας αυτός εξαρτάται τόσο από τα ΦΒ πλαίσια όσο και από τον αντιστροφέα.

Τα ΦΒ πλαίσια έχουν κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά από τα οποία κάποια μπορούν να συνδιαστούν και να αποτελέσουν μέτρο σύγκρισης. Έτσι το κλάσμα του γινόμενου της τάσης λειτουργίας V_{mp} και του ρεύματος I_{mp} στο σημείο της μέγιστης ισχύος προς το γινόμενο της τάσης ανοικτού κυκλώματος και της έντασης βραχυκυκλώματος μας δίνουν τον συντελεστή FF (Fill Factor)

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (\text{Σχέση 16})$$

Από την άλλη ο αντιστροφέας διαθέτει έναν ή περισσότερους MPPT ώστε να ελέγχει την λειτουργία των πανέλων και να αποδίδει την μέγιστη ισχύ. Στην πραγματικότητα ο MPPT είναι ένας DC/DC Converter που αλλάζει το σημείο λειτουργίας του συστήματος ώστε να αποδίδει πάντα την μέγιστη ισχύ.

Έτσι όσο πιο μεγάλο είναι το FF τόσο πιο πολύ λειτουργεί ο αντιστροφέας στη μέγιστη ισχύ του, άρα ο αντιστροφέας λειτουργεί λιγότερο σε σημείο διαφορετικό του ακριβούς σημείου μέγιστης ισχύος. Έτσι έχουμε μικρότερες απώλειες του συντελεστή $f8$.

Εδώ αξίζει να αναφέρουμε ότι υπάρχουν τρεις MPPT αλγόριθμοι. Ο P&O αλγόριθμος (Perturb and Observe), ο αλγόριθμος σταδιακής αγωγιμότητας (Incremental conductance) και ο αλγόριθμος σταθερής τάσης (Constant Voltage).

Οι δύο πρώτες μέθοδοι συχνά αναφέρονται ως μέθοδοι αναρρίχηση λόφων, επειδή εξαρτώνται από το γεγονός ότι στην αριστερή πλευρά του ιχνηλάτη MPP, η καμπύλη αυξάνεται ($dP / dV > 0$), ενώ στη δεξιά πλευρά του ιχνηλάτη MPP η καμπύλη πέφτει ($dP / dV < 0$). Το ίδιο γίνεται και με τον αλγόριθμο σταδιακής αγωγιμότητας εξετάζοντας όμως τον λόγο di / dV .

Οι αλγόριθμοι είναι εύκολο να εφαρμοστούν, αλλά πολλές φορές παρουσιάζονται ταλαντώσεις γύρω από το MPP σε σταθερή κατάσταση λειτουργίας. Έχουν επίσης αργοί χρόνοι ανταπόκρισης και μπορεί ακόμη και να λειτουργούν σε λάθος κατεύθυνση υπό ταχέως μεταβαλλόμενες στις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Η Τρίτη μέθοδος κάνει χρήση του γεγονότος ότι ο λόγος της μέγιστης τάσης ρεύματος στο σημείο η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι συχνά κοντά σε μια σταθερή αξία, με 0,76 είναι μια κοινή εκτίμηση. Ένα πρόβλημα με τη μέθοδο αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι απαιτεί στιγμιαία ρύθμιση τις συστοιχίας των φωτοβολταϊκών σε ρεύμα ίσο με το μηδέν (0) για τη μέτρηση τάση ανοικτού κυκλώματος της συστοιχίας. Τάση λειτουργίας της συστοιχίας είναι τότε που (για παράδειγμα) το 76% αυτής της μετρούμενης τιμής. Αλλά κατά τη διάρκεια της αποσύνδεσης της συστοιχίας, η διαθέσιμη ενέργεια χάνεται. Έχει επίσης διαπιστωθεί ότι ενώ το 76% της τάσεως του ανοικτού κυκλώματος είναι συχνά μια πολύ καλή προσέγγιση, που δεν συμπίπτει πάντα με το μέγιστο σημείο ισχύος. Έτσι, η μέθοδος αυτή δεν είναι αποτελεσματική όσο οι άλλες, ειδικά αν οι συνθήκες είναι εξαιρετικά μεταβλητές ή τη φυσική συμπεριφορά του κυττάρου αποκλίνει από το προσδεκόμενο. Το κύριο πλεονέκτημά του είναι ότι είναι απλά εφαρμόσιμη και συνήθως λιγότερο δαπανηρή.

Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας που δείχνει την απόδοση των τριών αλγόριθμων που αναφέραμε καθώς και ένας τέταρτος που στην ουσία είναι η βελτίωση του πρώτου.

Καιρός	P&O	IncCond	CV	MP&O
Ηλιόλουστος	91.4%	94.6%	95.7%	99.6%
Συννεφιά	95.6%	94.9%	75.0%	99.5%

Πίνακας 9: Απόδοση ανά τύπο MPPT

Ο συντελεστής f_8 έχει τιμή σύνηθως 0,995.

2.9 Παράγοντας Απόδοσης των αντιστροφών (f_9).

Τα τελευταία χρόνια η απόδοσή των αντιστροφών έχει βελτιωθεί σημαντικά αφού η τεχνολογία των αντιστροφών με μετασχηματιστή αντικαταστάθηκε από τους αντιστροφείς χωρίς μετασχηματιστή που έκαναν την μετατροπή με γέφυρες ηλεκτρονικών διατάξεων. Με τον τρόπο αυτό απαλείφθηκαν οι απώλειες σιδήρου (Fe) που αναπτύσσονταν στο σιδηροπυρήνα του μετασχηματιστή.

Στα τεχνικά χαρακτηριστικά των αντιστροφών αναγράφεται η μέγιστη απόδοση των αντιστροφών καθώς και η ευρωπαϊκή απόδοση των αντιστροφών που στην ουσία προσομοιώνει την λειτουργία του ΦΒ σταθμού καθ'ολη την διάρκεια μιας ημέρας, για διαφορετικές τιμές του λόγου P/P_{max} . Η τιμή του συντελεστή f_9 θα πρέπει να λογίζεται αυτή της ευρωπαϊκής απόδοσης. Η τιμή του συντελεστή f_9 μπορεί να είναι 0,984, αφού η ευρωπαϊκή απόδοση σε πολλούς αντιστροφείς είναι 98,4%.

2.10 Παράγοντας Απόδοσης Μετασχηματιστή του Σταθμού μετατροπών (f_{10}).

Η μέτρηση του βαθμού απόδοσης της ΦΒ εγκατάστασης επηρεάζεται και από τον βαθμό απόδοσης του μετασχηματιστή (ΜΣ) ΧΤ/ΜΤ. Οι απώλειες στο μετασχηματιστή είναι τόσο απώλειες χαλκού (Cu) όσο και σιδήρου (Fe). Οι απώλειες χαλκού αναπτύσσονται στο χάλκινο τύλιγμα του ΜΣ και απώλειες σιδήρου στα δινορεύματα που αναπτύσσονται στον σιδηροπυρήνα.

2.11 Παράγοντας Απωλειών της AC καλωδίωσης (f_{11}).

Κατά την μεταφορά της ενέργειας από τον μετατροπέα στο κεντρικό πίνακα και στη συνέχεια στο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας έχουμε απώλειες αγωγού εξαιτίας του είδους και του υλικού του χρησιμοποιημένου καλωδίου. Οι απώλειες αγωγού εκτός από το υλικό του αγωγού εξαρτάται από το μήκος και την διατομή των καλωδίων.

2.11.1 Απώλειες καλωδίωσης στο εναλλασσόμενο ρεύμα από τους αντιστροφείς στο κεντρικό πίνακα.

Στη παράγραφο αυτή θα μετρήσουμε πόσες είναι οι απώλειες στο εναλλασσόμενο ρεύμα από τους αντιστροφείς στο κεντρικό πίνακα στην περίπτωση που θα χρησιμοποιήσουμε καλώδιο NYΥ διατομής 16mm^2 και 25mm^2 , χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές μεθόδους.

		P (Watt)	V (Volt)	I (A)	Μήκος L (m)	Διατομή A (mm ²)	R (Ω)	dV (Volt)	P _{loss} (Watt)	P _{loss} (%)
ΥΠ/ΠΙΝ 1	INV 1	11040	230	48	25	16	0,03	1,36	65,16	0,59%
	INV 2	11040	230	48	25	16	0,03	1,36	65,16	0,59%
	INV 3	11040	230	48	25	16	0,03	1,36	65,16	0,59%
		33120							195,48	0,59%
ΥΠ/ΠΙΝ 2	INV 4	11040	230	48	17	16	0,02	0,92	44,31	0,40%
	INV 5	11040	230	48	17	16	0,02	0,92	44,31	0,40%
	INV 6	11040	230	48	17	16	0,02	0,92	44,31	0,40%
		33120							132,93	0,40%
ΥΠ/ΠΙΝ 3	INV 7	11040	230	48	9	16	0,01	0,49	23,46	0,21%
	INV 8	11040	230	48	9	16	0,01	0,49	23,46	0,21%
	INV 9	11040	230	48	9	16	0,01	0,49	23,46	0,21%
		33120							70,37	0,21%
TOTAL	99360							TOTAL	398,78	0,40%

Πίνακας 10: Απώλειες καλωδιώσεων AC από τον αντιστροφέα στον κεντρικό πίνακα για καλώδιο διατομής 16mm².

Στο παρακάτω πίνακα (Πίνακα 10) φαίνονται οι απώλειες για διατομή αγωγού 25mm².

		P (Watt)	V (Volt)	I (A)	Μήκος L (m)	Διατομή A (mm ²)	R (Ω)	dV (Volt)	P _{loss} (Watt)	P _{loss} (%)
ΥΠ/ΠΙΝ 1	INV 1	11040	230	48	25	25	0,02	0,87	41,70	0,38%
	INV 2	11040	230	48	25	25	0,02	0,87	41,70	0,38%
	INV 3	11040	230	48	25	25	0,02	0,87	41,70	0,38%
		33120							125,11	0,38%
ΥΠ/ΠΙΝ 2	INV 4	11040	230	48	17	25	0,01	0,59	28,36	0,26%
	INV 5	11040	230	48	17	25	0,01	0,59	28,36	0,26%
	INV 6	11040	230	48	17	25	0,01	0,59	28,36	0,26%
		33120							85,07	0,26%
ΥΠ/ΠΙΝ 3	INV 7	11040	230	48	9	25	0,01	0,31	15,01	0,14%
	INV 8	11040	230	48	9	25	0,01	0,31	15,01	0,14%
	INV 9	11040	230	48	9	25	0,01	0,31	15,01	0,14%
		33120							45,04	0,14%
TOTAL	99360							TOTAL	255,22	0,26%

Πίνακας 11: Απώλειες καλωδιώσεων AC από τον αντιστροφέα στον κεντρικό πίνακα για καλώδιο διατομής 25mm².

Η αντίσταση του καλωδίου υπολογίζεται από τον τύπο.

$$R = \rho \frac{L}{A} \text{ (Σχέση 11)}$$

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος υπολογίζεται από τον τύπο.

$$I = \frac{P}{V} \text{ (Σχέση 12)}$$

Η πτώση τάσης σε κάθε φάση

$$dV_{L1} = I \times R \text{ (Σχέση 17)}$$

$$dV_{L2} = I \times R$$

$$dV_{L3} = I \times R$$

Οι απώλεια της ισχύος υπολογίζεται από τον τύπο.

$$P_{Loss AC} = P_{L1} + P_{L2} + P_{L3} = dV_{L1} \times I + dV_{L2} \times I + dV_{L3} \times I \text{ (Σχέση 18)}$$

Αντίστοιχα μπορεί να απολογιστούν οι απώλειες για διατομές 16mm² και 25mm² από τον παρακάτω τύπο που βασίζεται στο πρότυπο IEC 60364-7-712.

$$P_{Loss AC} = \frac{3 \times L \times I^2}{A \times k} \text{ (Σχέση 19)}$$

		P (Watt)	V (Volt)	I (A)	Μήκος L (m)	Διατομή A (mm ²)	k	dV (Volt)	P _{loss} (Watt)	P _{loss} (%)
ΥΠ/ΠΙΝ 1	INV 1	11040	230	48	25	16	55	1,36	65,45	0,59%
	INV 2	11040	230	48	25	16	55	1,36	65,45	0,59%
	INV 3	11040	230	48	25	16	55	1,36	65,45	0,59%
		33120							196,36	0,59%
ΥΠ/ΠΙΝ 2	INV 4	11040	230	48	17	16	55	0,93	44,51	0,40%
	INV 5	11040	230	48	17	16	55	0,93	44,51	0,40%
	INV 6	11040	230	48	17	16	55	0,93	44,51	0,40%
		33120							133,53	0,40%
ΥΠ/ΠΙΝ 3	INV 7	11040	230	48	9	16	55	0,49	23,56	0,21%
	INV 8	11040	230	48	9	16	55	0,49	23,56	0,21%
	INV 9	11040	230	48	9	16	55	0,49	23,56	0,21%
		33120							70,69	0,21%
TOTAL		99360							400,58	0,40%

Πίνακας 12: Απώλειες καλωδιώσεων AC από τον αντιστροφέα στον κεντρικό πίνακα για καλώδιο διατομής 16mm², βάση του προτύπου IEC 60364-7-712.

Ο παρακάτω πίνακας είναι για διατομή καλωδίου A 25mm².

		P (Watt)	V (Volt)	I (A)	Μήκος L (m)	Διατομή A (mm ²)	k	dV (Volt)	P _{loss} (Watt)	P _{loss} (%)
ΥΠ/ΠΙΝ 1	INV 1	11040	230	48	25	25	55	0,87	41,89	0,38%
	INV 2	11040	230	48	25	25	55	0,87	41,89	0,38%
	INV 3	11040	230	48	25	25	55	0,87	41,89	0,38%
		33120							125,67	0,38%
ΥΠ/ΠΙΝ 2	INV 4	11040	230	48	17	25	55	0,59	28,49	0,26%
	INV 5	11040	230	48	17	25	55	0,59	28,49	0,26%
	INV 6	11040	230	48	17	25	55	0,59	28,49	0,26%
		33120							85,46	0,26%
ΥΠ/ΠΙΝ 3	INV 7	11040	230	48	9	25	55	0,31	15,08	0,14%
	INV 8	11040	230	48	9	25	55	0,31	15,08	0,14%
	INV 9	11040	230	48	9	25	55	0,31	15,08	0,14%
		33120							45,24	0,14%

TOTAL	99360
-------	-------

TOTAL	256,37	0,26%
-------	--------	-------

Πίνακας 13: Απώλειες καλωδιώσεων AC από τον αντιστροφέα στον κεντρικό πίνακα για καλώδιο διατομής 16mm², βάση του προτύπου IEC 60364-7-712.

2.11.2 Απώλειες καλωδιώσεων στο εναλλασσόμενο ρεύμα από τον κεντρικό πίνακα στο μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας.

Από τον κεντρικό πίνακα στο μετρητή μεταφέρεται η ενέργεια με καλώδιο που προδιαγράφει η φορέας ηλεκτρικής ενέργειας.

	P (Watt)	V (Volt)	I (A)	Μήκος L (m)	Διατομή A (mm ²)	R	dV (Volt)	Ploss (Watt)	Ploss (%)
L1	33120	230	144	30	120	0,005	0,65	93,83	0,28%
L2	33120	230	144	30	120	0,005	0,65	93,83	0,28%
L3	33120	230	144	30	120	0,005	0,65	93,83	0,28%
	99360							281,49	0,28%

Πίνακας 14: Απώλειες καλωδιώσεων AC από τον αντιστροφέα στον κεντρικό πίνακα για καλώδιο διατομής 120mm²

Στη συνέχεια εφαρμόζοντας τη σχέση 19, βρίσκω τις απώλειες βάση του προτύπου IEC 60364-7-712.

$$P_{Loss AC} = \frac{3 \times L \times I^2}{A \times k} \quad (\text{Σχέση 19})$$

	P (Watt)	V (Volt)	I (A)	Μήκος L (m)	Διατομή A (mm ²)	k	dV (Volt)	Ploss (Watt)	Ploss (%)
L1	33120	230	144	30	120	55	0,65	94,25	0,28%
L2	33120	230	144	30	120	55	0,65	94,25	0,28%
L3	33120	230	144	30	120	55	0,65	94,25	0,28%
	99360							282,76	0,28%

Πίνακας 15: Απώλειες καλωδιώσεων AC από τον αντιστροφέα στον κεντρικό πίνακα για καλώδιο διατομής 120mm², βάση του προτύπου IEC 60364-7-712.

2.11.3 Συνολικές Απώλειες καλωδιώσεων στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των παραπάνω παραγράφων προκύπτει ο συγκεντρωτικός πίνακας.

	A (16mm ²)	A (25mm ²)
Inv - Con.Pan (Watt)	400,58	256,37
Con.Pan – Counter (Watt)	281,49	281,49

Total Losses (Watt)	682,07	537,86
Pn	99360	99360
n (%)	0,69%	0,54%
f11	0,99314	0,99459

Πίνακας 16: Συγκεντρωτικός Πίνακας Συνολικών Απωλειών Καλωδιώσεων AC για διατομές καλωδίων 16mm² και 25mm².

2.11.4 Ευρωπαϊκές Απώλειες καλωδιώσεων στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

Μέχρι στιγμής έχουμε υπολογίσει τις απώλειες για την μέγιστη ισχύ του ΦΒ σταθμού, γεγονός που δεν συνάγεται με την πραγματική λειτουργία του ΦΒ σταθμού. Οι Ευρωπαϊκές Απώλειες καλωδιώσεων δίνουν μια καλή προσέγγιση των απωλειών του ΦΒ σταθμού. Στους παρακάτω πίνακες υπολογίζονται οι απώλειες για διατομή καλωδίων 16mm² και 25mm² στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

16 mm ²				
P/Pnom	P	Ploss	Factor	Ploss ®
5%	4968	1,00	0,03	0,03
10%	9936	4,01	0,06	0,2406
20%	19872	16,02	0,13	2,0826
30%	29808	36,05	0,10	3,605
50%	49680	100,15	0,48	48,072
100%	99360	400,58	0,20	80,116
			1,00	134,1462

Πίνακας 17: Ευρωπαϊκές Απώλειες για καλώδιο διατομής 16mm².

25 mm ²				
P/Pnom	P	Ploss	Factor	Ploss ®
5%	4968	0,64	0,03	0,0192
10%	9936	2,56	0,06	0,1536
20%	19872	10,25	0,13	1,3325
30%	29808	23,07	0,10	2,307
50%	49680	64,09	0,48	30,7632
100%	99360	256,37	0,20	51,274
			1,00	85,8495

Πίνακας 18: Ευρωπαϊκές Απώλειες για καλώδιο διατομής 25mm².

Έτσι ο συντελεστής f11 αντίστοιχα γίνεται $f11_{\text{euro loss } 16\text{mm}^2} = 0,9986$ και $f11_{\text{euro loss } 25\text{mm}^2} = 0,9991$.

2.12 Παράγοντας Απωλειών Λόγω επικάθησης Αιωρούμενων Σωματιδίων (f12).

Οι ακαθαρσίες από σκόνη, γύρη, χιόνι κ.α μπορεί να προκαλέσει επίσης σκίαση των ΦΒ μονάδων με αποτέλεσμα την μείωση πάλι του ποσοστού απόδοσης (PR) της ΦΒ

εγκατάστασης. Μελέτες έχουν δείξει ότι η σκόνη στα ΦΒ πλαίσια μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των ΦΒ πλαισίων κατά 5%. Με συχνή παρακολούθηση της καθαρότητας των ΦΒ πλαισίων και άμεσους καθαρισμούς ο συντελεστής f12 μπορεί να πάρει και την τιμή 0,98.

2.13 Παράγοντας Απωλειών Λόγω ιδιοκαταναλώσεων των Σταθμών Μετατροπών των Μετασχηματιστών και των Οικίσκων Η/Μ Εξοπλισμού (f13).

Είναι γνωστό ότι οι αντιστροφείς για να λειτουργήσουν και με δεδομένο το σύστημα που διαθέτουν κατά της νησιδοποίησης χρειάζονται τροφοδοσία από το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Αυτό σημαίνει ότι για να λειτουργήσουν ξοδεύουν ένα πολύ μικρό ποσό ενέργειας σαν ιδιοκατανάλωση που συνιστάται στην λειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων (θυρίστορ, δίοδοι, οθόνες, LED). Έτσι για να αρχίσουν να παράγουν ενέργεια θα πρέπει η παραγόμενη ενέργεια να υπερκεράσει την ιδιοκατανάλωση. Έτσι τις πρωινές και βραδινές ώρες και ιδίως το χειμώνα, η παραγόμενη ισχύς πλησιάζει την τιμή της ισχύς απώλειων (διαφορά ανάμεσα στη προσλαμβάνουσα και την διδόμενη ισχύ) και όπως είναι φυσικό δεν έχουμε παραγωγή ενέργειας, ενώ το πυρανόμετρο έχει αρχίσει να καταγράφει την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια. Για το λόγο αυτό η τιμή του ποσοστού απόδοσης (PR) είναι μικρότερη από ότι συνήθως. Για αυτό το λόγο στις ΦΒ εγκαταστάσεις προτιμούνται αντιστροφείς με μικρή ιδιοκατανάλωση και άρα γρηγορότερη έναρξη το πρωί και αργότερη σβέση το βράδυ.

Ιδιοκαταναλώσεις υπάρχουν και στον λοιπό ηλεκτολογικό εξοπλισμό όπως Μ/Σ, σε στοιχεία πινάκων.

2.14 Παράγοντας Απωλειών Λόγω Λοιπών Ιδιοκαταναλώσεων των Φ/Β σταθμών (f14).

Στην περίπτωση των ΦΒ σταθμών έχουμε πάντα μια γραμμή τροφοδοσίας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας όπου την ημέρα κατά την λειτουργία του ΦΒ σταθμού προσφέρεται ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ το βράδυ ζητείται ενέργεια από το ηλεκτρικό δίκτυο για την λειτουργία των ιδιοκαταναλώσεων του ΦΒ σταθμού όπως των συστημάτων ασφαλείας και παρακολούθησης, καθώς και άλλων συσκευών, όπως Φωτισμού, λειτουργία router, αποσκληρωτών νερού και πιεστικών για τον καθαρισμό. Οι νέοι μετρητές της ΔΕΗ καταγράφουν την αμφίδρομη αυτή διαδρομή της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά αυτό δεν μπορεί να μετρηθεί την ημέρα παρά μόνο να υπολογιστεί προσεγγιστικά, αφού την ημέρα οι ιδιοκαταναλώσεις του ΦΒ σταθμού καλύπτονται από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του ΦΒ σταθμού.

Η κατανάλωση αυτή της ενέργειας εξαρτάται από τις συσκευές που διαθέτει ο κάθε ΦΒ σταθμός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ PR.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τις διάφορες μεθόδους θεωρητικού υπολογισμού του PR.

3.1 Θεωρητικός Υπολογισμός PR με τη μέθοδο Γινομένου των Συντελεστών Απωλειών

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος του θεωρητικού υπολογισμού του PR. Η φιλοσοφία της μεθόδου είναι να συγκεκριμενοποιήσει ποσοτικά τις ποιοτικές αιτίες των απωλειών, προσδιορίζοντας τους παράγοντες των απωλειών σε ένα ΦΒ σταθμό. Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε τους παράγοντες. Το γινόμενο των παραγόντων αυτών μας δίνει την θεωρητική (αναμενόμενη) τιμή του PR (σχέση 20).

$$PR = f1 * f2 * f3 * f4 * f5 * f6 * f7 * f8 * f9 * f10 * f11 * f12 * f13 * f14 \times 100\% \quad (\text{Σχέση 20})$$

Συντελεστές Απωλειών		Τιμή
f1	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Διακύμανσης του Ηλιακού Φάσματος	0,995
f2	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Σκίασης	0,974923
f3	Παράγοντας Οπτικών Απωλειών	0,982
f4	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Χαμηλής Ακτινοβολίας	0,98428
f5	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Υψηλής Θερμοκρασίας	0,946
f6	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Διαφόρων στα Χαρακτηριστικά των ΦΒ Πλαισίων	0,995
f7	Παράγοντας Ηλεκτρικών Απωλειών της DC Καλωδίωσης	0,9976
f8	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Λειτουργίας των Σταθμών Μετατροπών σε Σημείο Διαφορετικό του Ακριβούς Σημείου Μέγιστης Ισχύος	0,995
f9	Παράγοντας Απόδοσης των Σταθμών Αντιστροφών	0,984
f10	Παράγοντας Απόδοσης Μετασχηματιστή του Σταθμού Μετατροπών	0,989
f11	Παράγοντας Ηλεκτρικών Απωλειών της AC Καλωδίωσης	0,99
f12	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Επικάθησης Αιωρούμενων Σωματιδίων	0,98
f13	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Ιδιοκαταναλώσεων των Σταθμών Μετατροπών των Μετασχηματιστών και των Οικίσκων Η/Μ εξοπλισμού	0,99
f14	Παράγοντας Απωλειών Λόγω Λοιπών Ιδιοκαταναλώσεων των ΦΒ Σταθμών	0,998

PERFORMANCE RATIO (PR)	81,72%
-------------------------------	--------

Πίνακας 19: Πίνακας θεωρητικού υπολογισμού PR βάση των συντελεστών απωλειών.

3.2 Θεωρητικός Υπολογισμός PR βασισμένος σε προσεγγιστικά μοντέλα προσομοίωσης ενεργειακής μελέτης.

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού του PR μπορεί να γίνει παρακάμπτοντας τους παράγοντες που οφείλονται τις απώλειες σε ένα ΦΒ σταθμό και βασίζεται κυρίως σε μοντέλα προσομοίωσης ενεργειακής μελέτης.

Στην πραγματικότητα το PR είναι ο λόγος της πραγματικής παραγόμενης ενέργειας προς την συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία που πέφτει στην επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων.

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \text{ (Σχέση 21)}$$

Όπου P_{in} είναι η προσπίπτουσα ακτινοβολία που πέφτει στα ΦΒ πλαίσια σε χρονικό διάστημα ενός έτους. Για τον υπολογισμό του χρησιμοποιείται το μαθηματικό μοντέλο προσομοίωσης του Joint Research Center. Το JRC είναι ένα ινστιτούτο που έχει ιδρυθεί από την Ευρωπαϊκή Κομισιόν για να παρέχει πληροφορίες στους πολίτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το JRC χρησιμοποιεί μετεωρολογικά δεδομένα της τελευταίας δεκαετίας και με την χρήση μαθηματικών μοντέλων μπορεί να προσεγγίσει την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το JRC είναι διαθέσιμο στο διαδίκτυο και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την περιοχή για την οποία ενδιαφέρεται και να εισαγει δεδομένα όπως η κλίση των ΦΒ πλαισίων, ο προσανατολισμός τους (αζιμούθιο) και το ποσοστό των απωλειών του συστήματος (απώλειες αντιστροφών, απώλειες καλωδίων).

Οι απώλειες του συστήματος μπορούν να υπολογιστούν αφού είναι γνωστός ο βαθμός απόδοσης των αντιστροφών και μπορούν να υπολογιστούν οι απώλειες των καλωδιώσεων, σκίασης κτλ.

Το JRC επεξεργάζεται τα δεδομένα και εξάγει σαν αποτέλεσμα την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια H_d στο επίπεδο που έχουμε ορίσει με την κλίση των ΦΒ πλαισίων.

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της εγκατάστασης υπολογίζεται αν πολλαπλασιάσουμε την ολική προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια με την επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων TA επί τον βαθμό απόδοσης η των ΦΒ Πλαισίων.

$$E_{in} = H_d \times TA \times \eta \text{ (Σχέση 22)}$$

Όπου A είναι το εμβαδόν των ΦΒ πλαισίων και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$A = L \times W \text{ (Σχέση 23)}$$

όπου L είναι το μήκος του ΦΒ πλαισίου και W το μήκος του ΦΒ πλαισίου και δίνεται από τα τεχνικά ενχειρίδια του κατασκευαστή του ΦΒ πλαισίου

Όπου η είναι ο βαθμός απόδοσης του ΦΒ πλαισίου σε συγκεκριμένες συνθήκες (STC) και δίνεται επίσης από τον κατασκευαστή ή μπορεί να υπολογιστεί αν γνωρίζουμε τις διαστάσεις και την ισχύ των ΦΒ πλαισίων. Ο τύπος με τον οποίο υπολογίζεται ο βαθμός απόδοσης η είναι ο παρακάτω:

$$\eta = \frac{P}{4 \times 1000 \text{ W/m}^2} \times 100\% \quad (\text{Σχέση 24})$$

Τέλος το E_{out} είναι η ενέργεια που έχει διοχετεύσει ο ΦΒ σταθμός στο δίκτυο σε χρονικό διάστημα ενός χρόνου. Έτσι από την σχέση 21 υπολογίζουμε το PR για τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του ΦΒ σταθμού.

3.2.1 Παράδειγμα

Για να γίνει απολύτως κατανοητός ο τρόπος υπολογισμού ακολουθεί το παρακάτω παράδειγμα.

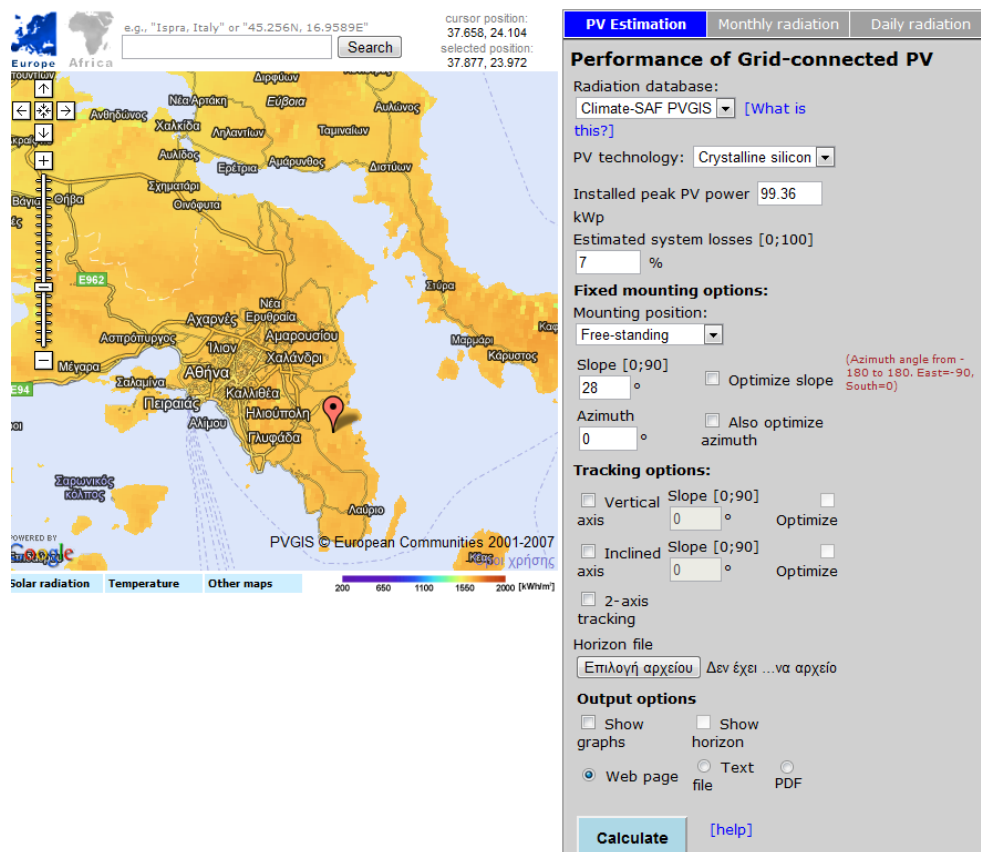
Έστω ότι έχουμε ένα ΦΒ σταθμό ισχύος 99,36kWp αποτελούμενος από 432 ΦΒ πλαίσια ισχύος 230Wp έκαστο στη Αττική κοντά στον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών. Οι διαστάσεις κάθε ΦΒ πλαισίου είναι 1650x990x50mm.

Στο ΦΒ πάρκο έχουν επιλεγθεί αντιστροφείς που η ευρωπαϊκή τους απόδοση είναι 98%, οπότε οι απώλειες τους είναι 2%. Ο σχεδιασμός των καλωδιώσεων γίνεται έτσι ώστε οι απώλειες να είναι 1% στο συνεχές και 1% στο εναλλασσόμενο. Επιπλέον υπολογίζονται οι απώλειες των ιδιοκαταναλώσεων και οι απώλειες λόγω σκίασης (όπως παράγραφος 2.2) που είναι περίπου 3%.

Έτσι οι συνολικές απώλειες του συστήματος είναι 7%.

Η γωνία κλίσης των ΦΒ πλαισίων είναι 28° και το αζιμούθιο είναι 0°.

Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο πρόγραμμα του JRC (PV GIS) που είναι διαθέσιμο στο διαδίκτυο και εξάγονται τα αποτελέσματα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του PR.



Σχήμα 5: Εισαγωγή δεδομένων στο PV GIS.

Πατώντας το κουμπί *Calculate* εξάγονται τα παρακάτω αποτελέσματα.

Η ιστοσελίδα του προγράμματος είναι η παρακάτω.

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Nominal power of the PV system: 99.4 kW (crystalline silicon)
 Estimated losses due to temperature: 10.4% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.4%
 Other losses (cables, inverter etc.): 7.0%
 Combined PV system losses: 18.6%

Fixed system: inclination=28°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	293.00	9070	3.40	105
Feb	350.00	9790	4.12	115
Mar	472.00	14600	5.64	175
Apr	535.00	16000	6.55	196
May	560.00	17400	7.02	218
Jun	608.00	18200	7.79	234
Jul	606.00	18800	7.86	244
Aug	599.00	18600	7.75	240
Sep	505.00	15200	6.40	192
Oct	436.00	13500	5.35	166
Nov	314.00	9410	3.74	112
Dec	250.00	7740	2.92	90.4
Yearly average	461	14000	5.72	174
Total for year		168000		2090

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)
 H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Σχήμα 6: Αποτελέσματα του PV GIS

Ένα από τα αποτελέσματα που εξάγεται είναι η ετήσια ηλιακή ενέργεια H_d που προσπίπτει σε μια επιφάνεια με κλίση ίση με την γωνία που επιλέχθηκε αναφερόμενη στην επιλεγμένη περιοχή.

Έτσι πολύ απλά υπάρχουν διαθέσιμα όλα τα δεδομένα που χρειάζονται για να υπολογιστεί το PR της ΦΒ εγκατάστασης. Εφαρμόζοντας τους προαναφερόμενους τύπους γίνεται ο υπολογισμός του PR.

Πρώτα υπολογίζεται το εμβαδόν του ΦΒ πλαισίου.

$$A = L \times W = 1,65 \times 0,99 = 1,6335m^2$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται το συνολικό εμβαδόν των ΦΒ πλαισίων του ΦΒ σταθμού.

$$TA = 1,6335m^2 \times 432 = 705,672m^2$$

Ο βαθμός απόδοσης η των ΦΒ πλαισίων σε συγκεκριμένες συνθήκες δίνεται από τον κατασκευαστή ή υπολογίζεται από τον παρακάτω σχέση (Σχέση 24).

$$\eta = \frac{P}{A \times 1000 \text{ W/m}^2} \times 100\% = \frac{230W}{1,6335m^2 \times 1000 \text{ W/m}^2} \times 100\% = \frac{230}{1633,5} = 14,08\%$$

Η θεωρητική προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια του ΦΒ σταθμού προκύπτει από τον παρακάτω τύπο.

$$E_{in} = H_d \times TA \times n = 2090 \text{ kWh/m}^2 \times 705,672 \text{ m}^2 \times 0.1408 = 207.660 \text{ kWh}$$

Παράλληλα το πρόγραμμα δίνει πληροφορίες για την εκτιμώμενη παραγόμενη ενέργεια του ΦΒ σταθμού που για λόγους ευκολίας στους υπολογισμούς θα την χρησιμοποιήσουμε σαν την πραγματική παραγόμενη ενέργεια E_{out} του ΦΒ σταθμού.

$$E_{out} = 168.000 \text{ kWh}$$

Τέλος το PR μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο.

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% = \frac{168.000}{207.660} \times 100\% = 80,9\%$$

3.3 Μέθοδος μέτρησης PR λαμβάνοντας υπόψη τις διακοπές λειτουργίας του ΦΒ πάρκου

Ο τύπος που θα αναλυθεί είναι ο εξής:

$$PR_R = \frac{\frac{E/P_{PV}}{G_{30}/G_{STC}} - \sum_n \frac{G_{30-down}}{G_{STC}}}{\sum_n \frac{E_{down}/P_{PV}}{G_{30-down}/G_{STC}}} \quad (\text{Σχέση 25})$$

όπου:

E = Συνολική «Παραγωγή του Φ/Β Σταθμού» σε kWh στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

P_{PV} = « Ονομαστική Ισχύς» του Φ/Β Σταθμού σε kW

G_{30} = ολική ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο των συλλεκτών σε kWh/m² στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

G_{STC} = η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε συνθήκες STC, δηλαδή 1 kW/m².

$E_{down} = P_{down} * T_{down}$ σε kWh.

P_{down} = Μη διαθέσιμη ισχύς του Φ/Β πάρκου σε KW.

T_{down} = Συνολικός χρόνος που υπάρχει συμβάν μη διαθέσιμης ισχύς στο Φ/Β πάρκο σε h στο διάστημα αυτό.

$G_{30-down}$ = ολική ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο των συλλεκτών σε kWh/m² στο χρονικό διάστημα που υπάρχει συμβάν Μη διαθέσιμης ισχύς στο Φ/Β πάρκο.

n = Αριθμός συμβάντων μη διαθέσιμης ισχύς του Φ/Β πάρκου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΤΡΟΠΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ PERFORMANCE RATIO (PR)

4.1 Βέλτιστος σχεδιασμός και εγκατάσταση

Ο σωστός σχεδιασμός και η εγκατάσταση του εξοπλισμού μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην βελτίωση του PR. Κατά τον σχεδιασμό δεν επιλέγεται μόνο η ποιότητα του εξοπλισμού όπως ΦΒ πλαίσια, μετασχηματιστής, αντιστροφείς, διατομές καλωδίων αλλά και η χωροθέτηση τους με τέτοιο τρόπο ώστε να μην προκαλούνται αλληλοσκιάσεις. Συγκεκριμένα θα πρέπει να μελετάται η σωστή χωροθέτηση των ΦΒ πλαισίων ώστε η στοιχειοσειρές τους να μην είναι σε τέτοια απόσταση και σκιάζονται μεταξύ τους ή από πυλώνες της ΔΕΗ, πυλώνες φωτισμού ή ιστούς όπου τοποθετούνται οι κάμερες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι εάν σκιαστεί ένα ΦΒ πλαίσιο επηρεάζει την λειτουργία όλων των ΦΒ πλαισίων που συνδέονται εν σειρά με το υποτιθέμενο σκιασμένο. Τα ΦΒ πλαίσια αποτελούνται από πολλές κυψέλες πυριτίου που συνδέονται σε σειρά. Το πυρίτιο είναι ημιαγωγικό υλικό και όταν σκιάζεται λειτουργεί σαν αντίσταση και έτσι έχουμε απώλειες ενέργειας με την μορφή θερμότητας. Η θερμότητα (hot spot) αυτή συντελεί στη ταχύτερη φθορά του ΦΒ πλαισίου. Επιπλέον οι αντιστροφείς για να επιτύχουν υψηλές αποδόσεις απαιτούν ένα συγκεκριμένο εύρος εισόδου τάσης, που οδηγεί την σύνδεση των πανέλων εν σειρά. Από την άλλη δεν θέλουμε μεγάλες αποστάσεις ανάμεσα στις στοιχειοσειρές γιατί αυξάνονται τα μήκη καλωδιώσεων με αποτέλεσμα άυξηση του κόστους.

Επιπλέον επιλέγουμε να τοποθετούμε τους αντιστροφείς σε σκιερό μέρος (πχ στο βορινό μέρος της στοιχειοσειράς) και έτσι επιτυγχάνουμε καλύτερη απόδοση του αντιστροφέα μιας και δουλεύει σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία των καλωδιώσεων παίζει και αυτή σημαντικό ρόλο για αυτό προτιμούνται οι υπόγειες διαδρομές καλωδίων μέσω υπόγειων οδεύσεων και φρεατίων.

4.2 Ταξινόμηση ΦΒ πλαισίων (sorting)

Ακόμα σημαντικό ρόλο παίζει και ο τρόπος με τον οποίο θα συνδεθούν τα ΦΒ πλαίσια σε κάθε στοιχειοσειρά ώστε να περιοριστεί η διαφοροποίηση στα τεχνικά χαρακτηριστικά των ΦΒ πλαισίων (mismatch). Η ταξινόμηση (sorting) των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση του ΦΒ σταθμού. Τα ΦΒ πλαίσια από κατασκευής τους έχουν διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά, τα οποία αποτυπώνονται στο flash report. Το flash report είναι η μέτρηση που παίρνεται από ένα ΦΒ πλαίσιο στο εργοστάσιο κατασκευής όπου μέσα σε έναν θάλαμο με ιδανικές συνθήκες (Standard Test Conditions) μετριέται η απόκριση του ΦΒ πλαισίου. Έτσι μπορούμε να έχουμε ΦΒ πλαίσια με ονομαστική ισχύ 230W άλλα με πραγματική ισχύ $-/+3\%$ της ονομαστικής ή $-/+5\%$ ανάλογα με το πόσο προσφέρει η κάθε κατασκευάστρια εταιρία. Επίσης μπορεί και το ρεύμα I_{mp} να είναι διαφορετικό από το ονομαστικό ή σε ένα ΦΒ πλαίσιο ίδιας ισχύος με ένα άλλο να έχουμε διαφοροποιήσεις στην τάση και στην ένταση. Έτσι ταξινομούμε τα ΦΒ πλαίσια με τέτοιο τρόπο ώστε τα ΦΒ πλαίσια που συνδέονται σε μια σειρά να

έχουν όσο πιο πλησιέστερες τιμές ρεύματος, αφού η στοιχειοσειρά θα διαρρέεται από το ρεύμα του ΦΒ πλαισίου που παράγει το μικρότερο ρεύμα. Με την ταξινόμηση των ΦΒ πλαισίων ομαδοποιούμε τα αδύναμα ΦΒ πλαίσια ώστε να μένουν αξιοποιήσιμα τα πιο δυνατά ΦΒ πλαίσια. Στη συνέχεια προσθέτουμε τις τάσεις των στοιχειοσειρών που έχουμε δημιουργήσει και επιλέγουμε να εγκατασταθούν έτσι ώστε ο κάθε αντιστροφέας να έχει στοιχειοσειρές με όσο το δυνατόν πλησιέστερες τιμές τάσης.

Παρακάτω θα μελετηθεί τι ισχύς μπορεί να αποδώσει μια ΦΒ εγκατάσταση αποτελούμενη από τετρακόσια τριάντα δύο (432) ΦΒ πλαίσια με ονομαστική ισχύ 230Wr έκαστο και με ανοχή ισχύος $\pm 3\%$ σε τρεις περιπτώσεις. Στη πρώτη περίπτωση θα δημιουργήσουμε υποθετικά στοιχειοσειρές από ΦΒ πλαίσια έτσι όπως εμφανίζονται τυχαία στη λίστα του flash report, που είναι ταξινομημένα ανά παλέτα. Επειδή στο χώρο της εγκατάστασης οι παλέτες είναι σχεδόν αδύνατον να αξιοποιηθούν με την σειρά που εμφανίζονται στο flash report, θα κάνουμε τους ίδιους υπολογισμούς για την χειρότερη περίπτωση και τέλος θα κάνουμε τους υπολογισμούς στη περίπτωση που έχουμε κάνει σωστή ταξινόμηση (sorting).

4.2.1 Τυχαία ταξινόμηση ΦΒ πλαισίων ανά στοιχειοσειρά (string)

Παρακάτω εμφανίζεται το flash report ταξινομημένο ανά αριθμό παλέτας. Υποθέτουμε τώρα ότι οι είκοσι επτά (27) στοιχειοσειρές των δεκαέξι (16) ΦΒ πλαισίων σχηματίζονται σύμφωνα με τον αύξοντα αριθμό των παλετών.

A/A	Serien Nr	Box Nr	PmppSTC	StromMPP	SpannungMPP
1	101932020051	S1031100910P0200003	230	7,732	30,191
2	101932020064	S1031100910P0200003	230	7,736	30,145
3	101932020091	S1031100910P0200003	230	7,715	30,247
4	101932020101	S1031100910P0200003	230	7,719	30,168
5	101932020102	S1031100910P0200003	230	7,717	30,151
6	101932020104	S1031100910P0200003	230	7,741	30,131
7	101932020137	S1031100910P0200003	230	7,719	30,203
8	101932020151	S1031100910P0200003	230	7,729	30,183
9	101932020212	S1031100910P0200003	230	7,71	30,122
10	101932020234	S1031100910P0200003	230	7,73	30,186
11	101932020236	S1031100910P0200003	230	7,75	30,229
12	101932020240	S1031100910P0200003	230	7,713	30,162
13	101932020241	S1031100910P0200003	230	7,71	30,254
14	101932020280	S1031100910P0200003	230	7,74	30,141
15	101932020313	S1031100910P0200003	230	7,733	30,209
16	101932020314	S1031100910P0200003	230	7,734	30,12
17	101932020323	S1031100910P0200003	230	7,734	30,173
18	101932020326	S1031100910P0200003	230	7,723	30,133
19	101932020337	S1031100910P0200003	230	7,729	30,153
20	101932020338	S1031100910P0200003	230	7,739	30,033
21	101932020031	S1031100910P0200007	230	7,732	30,139
22	101932020054	S1031100910P0200007	230	7,725	30,121
23	101932020106	S1031100910P0200007	230	7,707	30,117

24	101932020110	S1031100910P0200007	230	7,702	30,123
25	101932020121	S1031100910P0200007	230	7,752	30,14
26	101932020135	S1031100910P0200007	230	7,733	30,192
27	101932020154	S1031100910P0200007	230	7,732	30,201
28	101932020259	S1031100910P0200007	230	7,728	30,251
29	101932020281	S1031100910P0200007	230	7,736	30,18
30	101932020286	S1031100910P0200007	230	7,74	30,22
31	101932020287	S1031100910P0200007	230	7,735	30,148
32	101932020289	S1031100910P0200007	230	7,734	30,157
33	101932020306	S1031100910P0200007	230	7,721	30,139
34	101932020307	S1031100910P0200007	230	7,723	30,099
35	101932020309	S1031100910P0200007	230	7,727	30,043
36	101932020310	S1031100910P0200007	230	7,717	30,176
37	101932020311	S1031100910P0200007	230	7,745	30,174
38	101932020315	S1031100910P0200007	230	7,743	30,151
39	101932020317	S1031100910P0200007	230	7,705	30,115
40	101932020325	S1031100910P0200007	230	7,724	30,223
41	101932020053	S1031100910P0200020	230	7,734	30,121
42	101932020058	S1031100910P0200020	230	7,745	30,08
43	101932020063	S1031100910P0200020	230	7,727	30,162
44	101932020065	S1031100910P0200020	230	7,743	30,199
45	101932020067	S1031100910P0200020	230	7,746	30,236
46	101932020076	S1031100910P0200020	230	7,737	30,219
47	101932020077	S1031100910P0200020	230	7,726	30,221
48	101932020094	S1031100910P0200020	230	7,736	30,235
49	101932020097	S1031100910P0200020	230	7,734	30,111
50	101932020115	S1031100910P0200020	230	7,732	30,142
51	101932020116	S1031100910P0200020	230	7,756	30,153
52	101932020117	S1031100910P0200020	230	7,731	30,12
53	101932020118	S1031100910P0200020	230	7,743	30,159
54	101932020226	S1031100910P0200020	230	7,729	30,041
55	101932020269	S1031100910P0200020	230	7,736	30,172
56	101932020270	S1031100910P0200020	230	7,734	30,14
57	101932020274	S1031100910P0200020	230	7,718	30,172
58	101932020296	S1031100910P0200020	230	7,728	30,091
59	101932020370	S1031100910P0200020	230	7,727	30,168
60	101932020395	S1031100910P0200020	230	7,73	30,195
61	101932020057	S1031100910P0200033	230	7,766	30,077
62	101932020066	S1031100910P0200033	230	7,778	29,976
63	101932020073	S1031100910P0200033	230	7,787	29,957
64	101932020086	S1031100910P0200033	230	7,808	29,87
65	101932020146	S1031100910P0200033	230	7,779	30,01
66	101932020159	S1031100910P0200033	230	7,78	30,031
67	101932020171	S1031100910P0200033	230	7,779	30,009
68	101932020182	S1031100910P0200033	230	7,772	29,956
69	101932020183	S1031100910P0200033	230	7,775	29,977
70	101932020203	S1031100910P0200033	230	7,789	29,965
71	101932020208	S1031100910P0200033	230	7,803	29,812
72	101932020251	S1031100910P0200033	230	7,792	29,947
73	101932020256	S1031100910P0200033	230	7,799	29,982
74	101932020264	S1031100910P0200033	230	7,814	29,967
75	101932020271	S1031100910P0200033	230	7,765	29,981

76	101932020278	S1031100910P0200033	230	7,776	29,871
77	101932020316	S1031100910P0200033	230	7,789	29,97
78	101932020352	S1031100910P0200033	230	7,775	30,019
79	101932020376	S1031100910P0200033	230	7,766	30,061
80	101932020981	S1031100910P0200033	230	7,746	29,861
81	101932020217	S1031100910P0200037	230	7,778	29,912
82	101932020218	S1031100910P0200037	230	7,789	29,995
83	101932020228	S1031100910P0200037	230	7,794	29,899
84	101932020328	S1031100910P0200037	230	7,776	29,974
85	101932020362	S1031100910P0200037	230	7,781	29,995
86	101932020367	S1031100910P0200037	230	7,795	29,971
87	101932020465	S1031100910P0200037	230	7,775	29,807
88	101932020466	S1031100910P0200037	230	7,757	29,925
89	101932020537	S1031100910P0200037	230	7,792	29,966
90	101932020541	S1031100910P0200037	230	7,802	29,933
91	101932020542	S1031100910P0200037	230	7,736	29,89
92	101932020551	S1031100910P0200037	230	7,793	29,926
93	101932020603	S1031100910P0200037	230	7,766	29,876
94	101932020644	S1031100910P0200037	230	7,77	29,79
95	101932020716	S1031100910P0200037	230	7,782	29,911
96	101932020721	S1031100910P0200037	230	7,809	29,961
97	101932020736	S1031100910P0200037	230	7,778	29,939
98	101932020741	S1031100910P0200037	230	7,768	29,92
99	101932020742	S1031100910P0200037	230	7,719	29,842
100	101932020750	S1031100910P0200037	230	7,788	29,989
101	101932020755	S1031100910P0200038	230	7,816	29,927
102	101932020775	S1031100910P0200038	230	7,77	29,983
103	101932020804	S1031100910P0200038	230	7,763	29,925
104	101932020807	S1031100910P0200038	230	7,726	29,908
105	101932020809	S1031100910P0200038	230	7,763	29,881
106	101932020812	S1031100910P0200038	230	7,732	29,968
107	101932020824	S1031100910P0200038	230	7,789	29,823
108	101932020825	S1031100910P0200038	230	7,738	29,907
109	101932020991	S1031100910P0200038	230	7,734	29,886
110	101932021019	S1031100910P0200038	230	7,795	29,957
111	101932021020	S1031100910P0200038	230	7,748	29,914
112	101932021026	S1031100910P0200038	230	7,766	29,887
113	101932021031	S1031100910P0200038	230	7,759	29,831
114	101932021032	S1031100910P0200038	230	7,781	29,876
115	101932021038	S1031100910P0200038	230	7,73	29,905
116	101932021043	S1031100910P0200038	230	7,793	29,853
117	101932021044	S1031100910P0200038	230	7,764	29,956
118	101932021046	S1031100910P0200038	230	7,729	29,851
119	101932021050	S1031100910P0200038	230	7,773	29,858
120	101932021052	S1031100910P0200038	230	7,766	29,852
121	101932020808	S1031100910P0200044	230	7,768	29,912
122	101932020833	S1031100910P0200044	230	7,816	29,887
123	101932020842	S1031100910P0200044	230	7,784	29,887
124	101932020871	S1031100910P0200044	230	7,833	29,765
125	101932020877	S1031100910P0200044	230	7,79	29,814
126	101932020879	S1031100910P0200044	230	7,809	29,915
127	101932020883	S1031100910P0200044	230	7,777	29,864

128	101932020888	S1031100910P0200044	230	7,783	29,826
129	101932020893	S1031100910P0200044	230	7,795	29,843
130	101932021064	S1031100910P0200044	230	7,787	29,819
131	101932021067	S1031100910P0200044	230	7,815	29,899
132	101932021069	S1031100910P0200044	230	7,782	29,92
133	101932021104	S1031100910P0200044	230	7,837	29,845
134	101932021106	S1031100910P0200044	230	7,793	29,872
135	101932021109	S1031100910P0200044	230	7,755	29,961
136	101932021111	S1031100910P0200044	230	7,785	29,942
137	101932021114	S1031100910P0200044	230	7,776	29,89
138	101932021123	S1031100910P0200044	230	7,771	29,882
139	101932021125	S1031100910P0200044	230	7,789	29,834
140	101932021128	S1031100910P0200044	230	7,767	29,841
141	101932020780	S1031100910P0200046	230	7,735	29,93
142	101932020866	S1031100910P0200046	230	7,734	30,072
143	101932020876	S1031100910P0200046	230	7,714	30,018
144	101932020878	S1031100910P0200046	230	7,734	30,048
145	101932020882	S1031100910P0200046	230	7,728	30,061
146	101932020886	S1031100910P0200046	230	7,721	30,115
147	101932020887	S1031100910P0200046	230	7,725	30,018
148	101932020889	S1031100910P0200046	230	7,745	30,016
149	101932020891	S1031100910P0200046	230	7,736	30,068
150	101932020892	S1031100910P0200046	230	7,728	30,035
151	101932020910	S1031100910P0200046	230	7,74	29,929
152	101932020917	S1031100910P0200046	230	7,779	30,019
153	101932021100	S1031100910P0200046	230	7,738	30,064
154	101932021103	S1031100910P0200046	230	7,714	30,032
155	101932021121	S1031100910P0200046	230	7,737	30,032
156	101932021122	S1031100910P0200046	230	7,728	29,951
157	101932021126	S1031100910P0200046	230	7,749	29,865
158	101932021129	S1031100910P0200046	230	7,758	30,037
159	101932021130	S1031100910P0200046	230	7,747	30,099
160	101932021140	S1031100910P0200046	230	7,78	29,999
161	101932020776	S1031100910P0200047	230	7,794	29,818
162	101932020777	S1031100910P0200047	230	7,815	29,897
163	101932020857	S1031100910P0200047	230	7,816	29,78
164	101932020869	S1031100910P0200047	230	7,783	29,926
165	101932020872	S1031100910P0200047	230	7,814	29,885
166	101932020873	S1031100910P0200047	230	7,808	29,908
167	101932020875	S1031100910P0200047	230	7,774	29,944
168	101932020894	S1031100910P0200047	230	7,779	29,79
169	101932020901	S1031100910P0200047	230	7,775	29,859
170	101932020905	S1031100910P0200047	230	7,802	29,826
171	101932020906	S1031100910P0200047	230	7,8	29,875
172	101932020908	S1031100910P0200047	230	7,798	29,839
173	101932020913	S1031100910P0200047	230	7,798	29,856
174	101932020918	S1031100910P0200047	230	7,756	29,767
175	101932020933	S1031100910P0200047	230	7,805	29,815
176	101932021108	S1031100910P0200047	230	7,79	29,85
177	101932021112	S1031100910P0200047	230	7,776	29,876
178	101932021113	S1031100910P0200047	230	7,792	29,845
179	101932021131	S1031100910P0200047	230	7,788	29,918

180	101932021170	S1031100910P0200047	230	7,789	29,85
181	101932020823	S1031100910P0200048	230	7,822	29,951
182	101932020827	S1031100910P0200048	230	7,802	29,81
183	101932020830	S1031100910P0200048	230	7,771	30,009
184	101932020840	S1031100910P0200048	230	7,783	29,903
185	101932020841	S1031100910P0200048	230	7,791	29,842
186	101932020843	S1031100910P0200048	230	7,822	29,908
187	101932020844	S1031100910P0200048	230	7,801	29,908
188	101932020845	S1031100910P0200048	230	7,799	29,893
189	101932020847	S1031100910P0200048	230	7,769	29,909
190	101932020849	S1031100910P0200048	230	7,771	29,903
191	101932020855	S1031100910P0200048	230	7,796	29,886
192	101932021065	S1031100910P0200048	230	7,783	29,879
193	101932021066	S1031100910P0200048	230	7,791	29,919
194	101932021072	S1031100910P0200048	230	7,775	29,948
195	101932021081	S1031100910P0200048	230	7,817	29,905
196	101932021083	S1031100910P0200048	230	7,78	29,956
197	101932021084	S1031100910P0200048	230	7,798	29,91
198	101932021086	S1031100910P0200048	230	7,809	29,878
199	101932021087	S1031100910P0200048	230	7,797	29,85
200	101932021095	S1031100910P0200048	230	7,762	29,919
201	101932020964	S1031100910P0200049	230	7,731	30,049
202	101932021160	S1031100910P0200059	230	7,762	30,062
203	101932021161	S1031100910P0200059	230	7,735	30,076
204	101932021183	S1031100910P0200059	230	7,752	30,068
205	101932021206	S1031100910P0200059	230	7,765	29,997
206	101932021222	S1031100910P0200059	230	7,715	30,065
207	101932021241	S1031100910P0200059	230	7,731	29,93
208	101932021242	S1031100910P0200059	230	7,726	29,957
209	101932021246	S1031100910P0200059	230	7,737	29,865
210	101932021248	S1031100910P0200059	230	7,701	30,041
211	101932021249	S1031100910P0200059	230	7,75	29,952
212	101932021395	S1031100910P0200059	230	7,737	30,032
213	101932021398	S1031100910P0200059	230	7,83	30,082
214	101932021402	S1031100910P0200059	230	7,775	30,006
215	101932021421	S1031100910P0200059	230	7,795	30,029
216	101932021426	S1031100910P0200059	230	7,75	30,061
217	101932021428	S1031100910P0200059	230	7,724	30,001
218	101932021429	S1031100910P0200059	230	7,8	29,992
219	101932021436	S1031100910P0200059	230	7,769	29,98
220	101932021437	S1031100910P0200059	230	7,74	30,056
221	101932021442	S1031100910P0200059	230	7,762	30,072
222	101932020687	S1031100910P0200061	230	7,704	29,88
223	101932020697	S1031100910P0200061	230	7,739	30,015
224	101932020838	S1031100910P0200061	230	7,741	29,979
225	101932020885	S1031100910P0200061	230	7,75	29,964
226	101932020895	S1031100910P0200061	230	7,743	30,034
227	101932020902	S1031100910P0200061	230	7,75	29,987
228	101932020953	S1031100910P0200061	230	7,723	29,979
229	101932020957	S1031100910P0200061	230	7,744	29,914
230	101932020959	S1031100910P0200061	230	7,747	29,908
231	101932020961	S1031100910P0200061	230	7,741	30,033

232	101932021117	S1031100910P0200061	230	7,751	30,028
233	101932021124	S1031100910P0200061	230	7,727	29,987
234	101932021135	S1031100910P0200061	230	7,727	29,956
235	101932021141	S1031100910P0200061	230	7,75	30,031
236	101932021142	S1031100910P0200061	230	7,707	30,034
237	101932021145	S1031100910P0200061	230	7,739	29,994
238	101932021150	S1031100910P0200061	230	7,708	29,987
239	101932021153	S1031100910P0200061	230	7,74	29,927
240	101932021155	S1031100910P0200061	230	7,743	29,919
241	101932021162	S1031100910P0200061	230	7,746	29,988
242	101932021205	S1031100910P0200062	230	7,782	29,987
243	101932021229	S1031100910P0200062	230	7,712	30,001
244	101932021232	S1031100910P0200062	230	7,695	30,139
245	101932021266	S1031100910P0200062	230	7,699	30,075
246	101932021394	S1031100910P0200062	230	7,753	30,075
247	101932021397	S1031100910P0200062	230	7,772	30,052
248	101932021401	S1031100910P0200062	230	7,766	29,995
249	101932021403	S1031100910P0200062	230	7,758	30,085
250	101932021405	S1031100910P0200062	230	7,774	30,011
251	101932021455	S1031100910P0200062	230	7,753	30,04
252	101932021462	S1031100910P0200062	230	7,728	30,033
253	101932021463	S1031100910P0200062	230	7,713	30,034
254	101932021464	S1031100910P0200062	230	7,741	30,096
255	101932021466	S1031100910P0200062	230	7,753	30,014
256	101932021473	S1031100910P0200062	230	7,707	30,103
257	101932021474	S1031100910P0200062	230	7,774	29,982
258	101932021479	S1031100910P0200062	230	7,715	29,975
259	101932021480	S1031100910P0200062	230	7,764	29,948
260	101932021485	S1031100910P0200062	230	7,747	29,896
261	101932021487	S1031100910P0200062	230	7,756	29,918
262	101932021191	S1031100910P0200063	230	7,7	29,947
263	101932021215	S1031100910P0200063	230	7,734	29,883
264	101932021341	S1031100910P0200063	230	7,722	29,825
265	101932021345	S1031100910P0200063	230	7,728	29,948
266	101932021347	S1031100910P0200063	230	7,732	29,911
267	101932021357	S1031100910P0200063	230	7,757	29,945
268	101932021434	S1031100910P0200063	230	7,726	29,98
269	101932021470	S1031100910P0200063	230	7,724	30,028
270	101932021493	S1031100910P0200063	230	7,723	30,011
271	101932021494	S1031100910P0200063	230	7,716	29,954
272	101932021507	S1031100910P0200063	230	7,766	29,993
273	101932021572	S1031100910P0200063	230	7,838	30,088
274	101932021580	S1031100910P0200063	230	7,791	30,048
275	101932021607	S1031100910P0200063	230	7,78	30,003
276	101932021767	S1031100910P0200063	230	7,75	29,868
277	101932021787	S1031100910P0200063	230	7,787	30,134
278	101932021795	S1031100910P0200063	230	7,789	30,066
279	101932021807	S1031100910P0200063	230	7,777	30,086
280	101932021808	S1031100910P0200063	230	7,835	30,113
281	101932021814	S1031100910P0200063	230	7,795	30,163
282	101932021312	S1031100910P0200064	230	7,738	29,866
283	101932021360	S1031100910P0200064	230	7,802	30,181

284	101932021527	S1031100910P0200064	230	7,729	29,951
285	101932021575	S1031100910P0200064	230	7,782	30,138
286	101932021582	S1031100910P0200064	230	7,733	30,017
287	101932021585	S1031100910P0200064	230	7,813	30,144
288	101932021586	S1031100910P0200064	230	7,81	30,166
289	101932021597	S1031100910P0200064	230	7,792	30,067
290	101932021599	S1031100910P0200064	230	7,806	30,083
291	101932021600	S1031100910P0200064	230	7,793	30,117
292	101932021601	S1031100910P0200064	230	7,773	30,124
293	101932021609	S1031100910P0200064	230	7,809	30,13
294	101932021610	S1031100910P0200064	230	7,804	30,075
295	101932021776	S1031100910P0200064	230	7,795	30,156
296	101932021780	S1031100910P0200064	230	7,781	30,145
297	101932021792	S1031100910P0200064	230	7,786	30,131
298	101932021797	S1031100910P0200064	230	7,762	30,197
299	101932021800	S1031100910P0200064	230	7,785	30,105
300	101932021804	S1031100910P0200064	230	7,8	30,078
301	101932021811	S1031100910P0200064	230	7,81	30,085
302	101932021223	S1031100910P0200065	230	7,716	30,061
303	101932021252	S1031100910P0200065	230	7,732	29,954
304	101932021310	S1031100910P0200065	230	7,731	29,997
305	101932021324	S1031100910P0200065	230	7,738	29,925
306	101932021337	S1031100910P0200065	230	7,71	30,058
307	101932021342	S1031100910P0200065	230	7,766	30,078
308	101932021348	S1031100910P0200065	230	7,753	29,952
309	101932021349	S1031100910P0200065	230	7,7	30,116
310	101932021356	S1031100910P0200065	230	7,727	29,971
311	101932021358	S1031100910P0200065	230	7,787	30,023
312	101932021374	S1031100910P0200065	230	7,74	29,992
313	101932021413	S1031100910P0200065	230	7,775	30,144
314	101932021432	S1031100910P0200065	230	7,769	30,049
315	101932021440	S1031100910P0200065	230	7,775	30,016
316	101932021441	S1031100910P0200065	230	7,75	30,087
317	101932021443	S1031100910P0200065	230	7,713	30,056
318	101932021447	S1031100910P0200065	230	7,732	30,039
319	101932021448	S1031100910P0200065	230	7,75	30,048
320	101932021552	S1031100910P0200065	230	7,762	29,942
321	101932021562	S1031100910P0200065	230	7,733	29,958
322	101932021274	S1031100910P0200066	230	7,716	29,979
323	101932021299	S1031100910P0200066	230	7,728	29,946
324	101932021308	S1031100910P0200066	230	7,74	30,174
325	101932021326	S1031100910P0200066	230	7,747	29,874
326	101932021340	S1031100910P0200066	230	7,764	30,016
327	101932021352	S1031100910P0200066	230	7,759	30,007
328	101932021359	S1031100910P0200066	230	7,834	30,243
329	101932021361	S1031100910P0200066	230	7,801	30,22
330	101932021362	S1031100910P0200066	230	7,819	30,219
331	101932021366	S1031100910P0200066	230	7,726	30,073
332	101932021491	S1031100910P0200066	230	7,713	30,081
333	101932021495	S1031100910P0200066	230	7,711	29,916
334	101932021536	S1031100910P0200066	230	7,759	29,941
335	101932021581	S1031100910P0200066	230	7,675	30,008

336	101932021588	S1031100910P0200066	230	7,792	30,318
337	101932021768	S1031100910P0200066	230	7,813	30,208
338	101932021777	S1031100910P0200066	230	7,806	30,182
339	101932021782	S1031100910P0200066	230	7,791	30,195
340	101932021784	S1031100910P0200066	230	7,764	30,283
341	101932021785	S1031100910P0200066	230	7,721	30,033
342	101932021244	S1031100910P0200067	230	7,728	30,09
343	101932021247	S1031100910P0200067	230	7,761	30,054
344	101932021254	S1031100910P0200067	230	7,705	29,948
345	101932021268	S1031100910P0200067	230	7,715	29,958
346	101932021278	S1031100910P0200067	230	7,733	30,041
347	101932021279	S1031100910P0200067	230	7,762	29,893
348	101932021280	S1031100910P0200067	230	7,765	29,989
349	101932021286	S1031100910P0200067	230	7,724	29,966
350	101932021288	S1031100910P0200067	230	7,704	30,037
351	101932021289	S1031100910P0200067	230	7,708	30,122
352	101932021290	S1031100910P0200067	230	7,699	30,087
353	101932021293	S1031100910P0200067	230	7,681	30,088
354	101932021294	S1031100910P0200067	230	7,682	30,098
355	101932021295	S1031100910P0200067	230	7,673	30,024
356	101932021301	S1031100910P0200067	230	7,737	29,921
357	101932021492	S1031100910P0200067	230	7,7	30,13
358	101932021506	S1031100910P0200067	230	7,753	30
359	101932021509	S1031100910P0200067	230	7,741	30,026
360	101932021512	S1031100910P0200067	230	7,744	29,967
361	101932021517	S1031100910P0200067	230	7,748	29,961
362	101932021364	S1031100910P0200068	230	7,818	30,106
363	101932021367	S1031100910P0200068	230	7,739	29,995
364	101932021369	S1031100910P0200068	230	7,766	29,955
365	101932021375	S1031100910P0200068	230	7,722	29,82
366	101932021501	S1031100910P0200068	230	7,754	29,995
367	101932021530	S1031100910P0200068	230	7,728	29,923
368	101932021533	S1031100910P0200068	230	7,691	29,885
369	101932021573	S1031100910P0200068	230	7,812	30,091
370	101932021576	S1031100910P0200068	230	7,806	30,172
371	101932021583	S1031100910P0200068	230	7,814	30,186
372	101932021587	S1031100910P0200068	230	7,811	30,148
373	101932021765	S1031100910P0200068	230	7,725	29,927
374	101932021769	S1031100910P0200068	230	7,775	30,17
375	101932021770	S1031100910P0200068	230	7,823	30,135
376	101932021773	S1031100910P0200068	230	7,8	30,146
377	101932021774	S1031100910P0200068	230	7,774	30,173
378	101932021775	S1031100910P0200068	230	7,772	30,121
379	101932021781	S1031100910P0200068	230	7,806	30,173
380	101932021788	S1031100910P0200068	230	7,809	30,151
381	101932021789	S1031100910P0200068	230	7,81	30,149
382	101932021188	S1031100910P0200069	230	7,742	30,171
383	101932021210	S1031100910P0200069	230	7,78	30,132
384	101932021224	S1031100910P0200069	230	7,712	29,997
385	101932021225	S1031100910P0200069	230	7,792	30,055
386	101932021231	S1031100910P0200069	230	7,768	30,141
387	101932021234	S1031100910P0200069	230	7,724	29,916

388	101932021236	S1031100910P0200069	230	7,725	30,029
389	101932021237	S1031100910P0200069	230	7,735	30,063
390	101932021245	S1031100910P0200069	230	7,724	29,999
391	101932021272	S1031100910P0200069	230	7,742	30,015
392	101932021276	S1031100910P0200069	230	7,737	29,962
393	101932021303	S1031100910P0200069	230	7,722	29,956
394	101932021407	S1031100910P0200069	230	7,778	30,04
395	101932021410	S1031100910P0200069	230	7,756	30,108
396	101932021422	S1031100910P0200069	230	7,747	29,981
397	101932021444	S1031100910P0200069	230	7,753	30,057
398	101932021489	S1031100910P0200069	230	7,756	30,051
399	101932021490	S1031100910P0200069	230	7,734	29,995
400	101932021503	S1031100910P0200069	230	7,707	30,022
401	101932021504	S1031100910P0200069	230	7,741	29,898
402	101932021233	S1031100910P0200070	230	7,709	29,945
403	101932021240	S1031100910P0200070	230	7,746	29,983
404	101932021243	S1031100910P0200070	230	7,729	29,829
405	101932021251	S1031100910P0200070	230	7,723	29,949
406	101932021260	S1031100910P0200070	230	7,71	29,956
407	101932021263	S1031100910P0200070	230	7,72	29,93
408	101932021400	S1031100910P0200070	230	7,755	30,026
409	101932021424	S1031100910P0200070	230	7,751	30,009
410	101932021425	S1031100910P0200070	230	7,762	29,942
411	101932021427	S1031100910P0200070	230	7,752	29,989
412	101932021433	S1031100910P0200070	230	7,75	29,975
413	101932021452	S1031100910P0200070	230	7,744	29,974
414	101932021453	S1031100910P0200070	230	7,738	29,968
415	101932021454	S1031100910P0200070	230	7,707	29,889
416	101932021457	S1031100910P0200070	230	7,719	29,922
417	101932021458	S1031100910P0200070	230	7,733	29,918
418	101932021459	S1031100910P0200070	230	7,738	29,956
419	101932021461	S1031100910P0200070	230	7,725	29,975
420	101932021468	S1031100910P0200070	230	7,758	29,934
421	101932021471	S1031100910P0200070	230	7,75	29,986
422	101932021271	S1031100910P0200071	230	7,722	29,961
423	101932021305	S1031100910P0200071	230	7,75	30,001
424	101932021323	S1031100910P0200071	230	7,712	29,929
425	101932021325	S1031100910P0200071	230	7,714	29,979
426	101932021334	S1031100910P0200071	230	7,726	29,95
427	101932021338	S1031100910P0200071	230	7,695	30,084
428	101932021343	S1031100910P0200071	230	7,764	30,133
429	101932021354	S1031100910P0200071	230	7,745	29,913
430	101932021539	S1031100910P0200071	230	7,74	30,019
431	101932021558	S1031100910P0200071	230	7,742	30,061
432	101932021560	S1031100910P0200071	230	7,71	29,965

Πίνακας 19: Πίνακας σειριακών αριθμών και τεχνικών χαρακτηριστικών των πλαισίων που εγκαταστάθηκαν τυχαία στο ΦΒ σταθμό.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι ελάχιστες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος I_{mprr} που διαρρέουν την κάθε στοιχειοσειρά και η συνολική τάση κάθε

στοιχειοσειράς καθώς και η συνολική ισχύς που προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις:

$$P_{mpp} = I_{mpp} \cdot V_{mpp}$$

$$V_{mpp} = V_{s1} + V_{s2} + \dots + V_{s16}$$

		Impp (min)	Vmpp (tot)	Pmpp (Watt)
Inv 1	string 1	7,71	482,8	3722,71
	string 2	7,702	482,5	3716,07
	string 3	7,705	482,6	3718,38
Inv 2	string 4	7,718	481,5	3716,56
	string 5	7,746	479,4	3713,58
	string 6	7,736	478,7	3703,46
Inv 3	string 7	7,719	478,7	3694,75
	string 8	7,729	477,9	3693,32
	string 9	7,714	478,6	3692,04
Inv 4	string 10	7,714	480,3	3705,34
	string 11	7,756	477,6	3704,54
	string 12	7,769	478,3	3715,84
Inv 5	string 13	7,715	479,5	3699,26
	string 14	7,701	480,0	3696,81
	string 15	7,707	479,7	3696,91
Inv 6	string 16	7,695	480,7	3699,20
	string 17	7,7	479,1	3689,41
	string 18	7,729	481,0	3717,90
Inv 7	string 19	7,716	481,5	3715,29
	string 20	7,7	480,5	3699,82
	string 21	7,675	481,0	3691,47
Inv 8	string 22	7,699	481,1	3703,88
	string 23	7,673	479,9	3682,23
	string 24	7,712	482,0	3717,51
Inv 9	string 25	7,707	480,4	3702,37
	string 26	7,707	479,2	3693,07
	string 27	7,695	479,8	3691,78
			TOTAL	99993,48

Πίνακας 20: Πίνακας των μέγιστων ρευμάτων Impp που μπορούν να διαρέουν κάθε στοιχειοσειρά (String), που συμπίπτει με το ελάχιστο ρεύμα Impp κάθε στοιχειοσειράς.

4.2.2 Χερίστη πιθανή επιλογή ΦΒ πλαισίων ανά στοιχειοσειρά (string)

Στη συνέχεια εξετάζεται η χερίστη περίπτωση εγκατάστασης των ΦΒ πλαισίων, δηλαδή η κάθε μια από τις είκοσι-επτά (27) στοιχειοσειρές να εμπεριέχει ένα από τα είκοσι-επτά (27) ΦΒ πλαίσια της παρτίδας των τετρακόσια τριάντα δύο πλαισίων (432) με το χαμηλότερο ρεύμα Impp.

A/A	<u>Serien Nr</u>	<u>Box Nr</u>	<u>PmppSTC</u>	<u>StromMPP</u>	<u>SpannungMPP</u>
355	101932021295	S1031100910P0200067	230	7,673	30,024
307	101932021342	S1031100910P0200065	230	7,766	30,078
302	101932021223	S1031100910P0200065	230	7,716	30,061
422	101932021271	S1031100910P0200071	230	7,722	29,961
419	101932021461	S1031100910P0200070	230	7,725	29,975
150	101932020892	S1031100910P0200046	230	7,728	30,035
52	101932020117	S1031100910P0200020	230	7,731	30,12
346	101932021278	S1031100910P0200067	230	7,733	30,041
389	101932021237	S1031100910P0200069	230	7,735	30,063
305	101932021324	S1031100910P0200065	230	7,738	29,925
224	101932020838	S1031100910P0200061	230	7,741	29,979
37	101932020311	S1031100910P0200007	230	7,745	30,174
11	101932020236	S1031100910P0200003	230	7,75	30,229
411	101932021427	S1031100910P0200070	230	7,752	29,989
267	101932021357	S1031100910P0200063	230	7,757	29,945
105	101932020809	S1031100910P0200038	230	7,763	29,881
333	101932021495	S1031100910P0200066	230	7,711	29,916
378	101932021775	S1031100910P0200068	230	7,772	30,121
76	101932020278	S1031100910P0200033	230	7,776	29,871
196	101932021083	S1031100910P0200048	230	7,78	29,956
299	101932021800	S1031100910P0200064	230	7,785	30,105
176	101932021108	S1031100910P0200047	230	7,79	29,85
161	101932020776	S1031100910P0200047	230	7,794	29,818
300	101932021804	S1031100910P0200064	230	7,8	30,078
166	101932020873	S1031100910P0200047	230	7,808	29,908
131	101932021067	S1031100910P0200044	230	7,815	29,899
273	101932021572	S1031100910P0200063	230	7,838	30,088
13	101932020241	S1031100910P0200003	230	7,71	30,254
306	101932021337	S1031100910P0200065	230	7,71	30,058
406	101932021260	S1031100910P0200070	230	7,71	29,956
432	101932021560	S1031100910P0200071	230	7,71	29,965
335	101932021581	S1031100910P0200066	230	7,675	30,008
243	101932021229	S1031100910P0200062	230	7,712	30,001
384	101932021224	S1031100910P0200069	230	7,712	29,997
424	101932021323	S1031100910P0200071	230	7,712	29,929
12	101932020240	S1031100910P0200003	230	7,713	30,162
253	101932021463	S1031100910P0200062	230	7,713	30,034
317	101932021443	S1031100910P0200065	230	7,713	30,056
332	101932021491	S1031100910P0200066	230	7,713	30,081
143	101932020876	S1031100910P0200046	230	7,714	30,018
154	101932021103	S1031100910P0200046	230	7,714	30,032
425	101932021325	S1031100910P0200071	230	7,714	29,979
3	101932020091	S1031100910P0200003	230	7,715	30,247
206	101932021222	S1031100910P0200059	230	7,715	30,065
258	101932021479	S1031100910P0200062	230	7,715	29,975
345	101932021268	S1031100910P0200067	230	7,715	29,958
271	101932021494	S1031100910P0200063	230	7,716	29,954
354	101932021294	S1031100910P0200067	230	7,682	30,098
322	101932021274	S1031100910P0200066	230	7,716	29,979

5	101932020102	S1031100910P0200003	230	7,717	30,151
36	101932020310	S1031100910P0200007	230	7,717	30,176
57	101932020274	S1031100910P0200020	230	7,718	30,172
4	101932020101	S1031100910P0200003	230	7,719	30,168
7	101932020137	S1031100910P0200003	230	7,719	30,203
99	101932020742	S1031100910P0200037	230	7,719	29,842
416	101932021457	S1031100910P0200070	230	7,719	29,922
407	101932021263	S1031100910P0200070	230	7,72	29,93
33	101932020306	S1031100910P0200007	230	7,721	30,139
146	101932020886	S1031100910P0200046	230	7,721	30,115
341	101932021785	S1031100910P0200066	230	7,721	30,033
264	101932021341	S1031100910P0200063	230	7,722	29,825
365	101932021375	S1031100910P0200068	230	7,722	29,82
393	101932021303	S1031100910P0200069	230	7,722	29,956
368	101932021533	S1031100910P0200068	230	7,691	29,885
18	101932020326	S1031100910P0200003	230	7,723	30,133
34	101932020307	S1031100910P0200007	230	7,723	30,099
228	101932020953	S1031100910P0200061	230	7,723	29,979
270	101932021493	S1031100910P0200063	230	7,723	30,011
405	101932021251	S1031100910P0200070	230	7,723	29,949
40	101932020325	S1031100910P0200007	230	7,724	30,223
217	101932021428	S1031100910P0200059	230	7,724	30,001
269	101932021470	S1031100910P0200063	230	7,724	30,028
349	101932021286	S1031100910P0200067	230	7,724	29,966
387	101932021234	S1031100910P0200069	230	7,724	29,916
390	101932021245	S1031100910P0200069	230	7,724	29,999
22	101932020054	S1031100910P0200007	230	7,725	30,121
147	101932020887	S1031100910P0200046	230	7,725	30,018
373	101932021765	S1031100910P0200068	230	7,725	29,927
388	101932021236	S1031100910P0200069	230	7,725	30,029
244	101932021232	S1031100910P0200062	230	7,695	30,139
47	101932020077	S1031100910P0200020	230	7,726	30,221
104	101932020807	S1031100910P0200038	230	7,726	29,908
208	101932021242	S1031100910P0200059	230	7,726	29,957
268	101932021434	S1031100910P0200063	230	7,726	29,98
331	101932021366	S1031100910P0200066	230	7,726	30,073
426	101932021334	S1031100910P0200071	230	7,726	29,95
35	101932020309	S1031100910P0200007	230	7,727	30,043
43	101932020063	S1031100910P0200020	230	7,727	30,162
59	101932020370	S1031100910P0200020	230	7,727	30,168
233	101932021124	S1031100910P0200061	230	7,727	29,987
234	101932021135	S1031100910P0200061	230	7,727	29,956
310	101932021356	S1031100910P0200065	230	7,727	29,971
28	101932020259	S1031100910P0200007	230	7,728	30,251
58	101932020296	S1031100910P0200020	230	7,728	30,091
145	101932020882	S1031100910P0200046	230	7,728	30,061
427	101932021338	S1031100910P0200071	230	7,695	30,084
156	101932021122	S1031100910P0200046	230	7,728	29,951
252	101932021462	S1031100910P0200062	230	7,728	30,033
265	101932021345	S1031100910P0200063	230	7,728	29,948
323	101932021299	S1031100910P0200066	230	7,728	29,946
342	101932021244	S1031100910P0200067	230	7,728	30,09

367	101932021530	S1031100910P0200068	230	7,728	29,923
8	101932020151	S1031100910P0200003	230	7,729	30,183
19	101932020337	S1031100910P0200003	230	7,729	30,153
54	101932020226	S1031100910P0200020	230	7,729	30,041
118	101932021046	S1031100910P0200038	230	7,729	29,851
284	101932021527	S1031100910P0200064	230	7,729	29,951
404	101932021243	S1031100910P0200070	230	7,729	29,829
10	101932020234	S1031100910P0200003	230	7,73	30,186
60	101932020395	S1031100910P0200020	230	7,73	30,195
115	101932021038	S1031100910P0200038	230	7,73	29,905
245	101932021266	S1031100910P0200062	230	7,699	30,075
201	101932020964	S1031100910P0200049	230	7,731	30,049
207	101932021241	S1031100910P0200059	230	7,731	29,93
304	101932021310	S1031100910P0200065	230	7,731	29,997
1	101932020051	S1031100910P0200003	230	7,732	30,191
21	101932020031	S1031100910P0200007	230	7,732	30,139
27	101932020154	S1031100910P0200007	230	7,732	30,201
50	101932020115	S1031100910P0200020	230	7,732	30,142
106	101932020812	S1031100910P0200038	230	7,732	29,968
266	101932021347	S1031100910P0200063	230	7,732	29,911
303	101932021252	S1031100910P0200065	230	7,732	29,954
318	101932021447	S1031100910P0200065	230	7,732	30,039
15	101932020313	S1031100910P0200003	230	7,733	30,209
26	101932020135	S1031100910P0200007	230	7,733	30,192
286	101932021582	S1031100910P0200064	230	7,733	30,017
321	101932021562	S1031100910P0200065	230	7,733	29,958
352	101932021290	S1031100910P0200067	230	7,699	30,087
417	101932021458	S1031100910P0200070	230	7,733	29,918
16	101932020314	S1031100910P0200003	230	7,734	30,12
17	101932020323	S1031100910P0200003	230	7,734	30,173
32	101932020289	S1031100910P0200007	230	7,734	30,157
41	101932020053	S1031100910P0200020	230	7,734	30,121
49	101932020097	S1031100910P0200020	230	7,734	30,111
56	101932020270	S1031100910P0200020	230	7,734	30,14
109	101932020991	S1031100910P0200038	230	7,734	29,886
142	101932020866	S1031100910P0200046	230	7,734	30,072
144	101932020878	S1031100910P0200046	230	7,734	30,048
263	101932021215	S1031100910P0200063	230	7,734	29,883
399	101932021490	S1031100910P0200069	230	7,734	29,995
31	101932020287	S1031100910P0200007	230	7,735	30,148
141	101932020780	S1031100910P0200046	230	7,735	29,93
203	101932021161	S1031100910P0200059	230	7,735	30,076
262	101932021191	S1031100910P0200063	230	7,7	29,947
2	101932020064	S1031100910P0200003	230	7,736	30,145
29	101932020281	S1031100910P0200007	230	7,736	30,18
48	101932020094	S1031100910P0200020	230	7,736	30,235
55	101932020269	S1031100910P0200020	230	7,736	30,172
91	101932020542	S1031100910P0200037	230	7,736	29,89
149	101932020891	S1031100910P0200046	230	7,736	30,068
46	101932020076	S1031100910P0200020	230	7,737	30,219
155	101932021121	S1031100910P0200046	230	7,737	30,032
209	101932021246	S1031100910P0200059	230	7,737	29,865

212	101932021395	S1031100910P0200059	230	7,737	30,032
356	101932021301	S1031100910P0200067	230	7,737	29,921
392	101932021276	S1031100910P0200069	230	7,737	29,962
108	101932020825	S1031100910P0200038	230	7,738	29,907
153	101932021100	S1031100910P0200046	230	7,738	30,064
282	101932021312	S1031100910P0200064	230	7,738	29,866
309	101932021349	S1031100910P0200065	230	7,7	30,116
414	101932021453	S1031100910P0200070	230	7,738	29,968
418	101932021459	S1031100910P0200070	230	7,738	29,956
20	101932020338	S1031100910P0200003	230	7,739	30,033
223	101932020697	S1031100910P0200061	230	7,739	30,015
237	101932021145	S1031100910P0200061	230	7,739	29,994
363	101932021367	S1031100910P0200068	230	7,739	29,995
14	101932020280	S1031100910P0200003	230	7,74	30,141
30	101932020286	S1031100910P0200007	230	7,74	30,22
151	101932020910	S1031100910P0200046	230	7,74	29,929
220	101932021437	S1031100910P0200059	230	7,74	30,056
239	101932021153	S1031100910P0200061	230	7,74	29,927
312	101932021374	S1031100910P0200065	230	7,74	29,992
324	101932021308	S1031100910P0200066	230	7,74	30,174
430	101932021539	S1031100910P0200071	230	7,74	30,019
6	101932020104	S1031100910P0200003	230	7,741	30,131
357	101932021492	S1031100910P0200067	230	7,7	30,13
231	101932020961	S1031100910P0200061	230	7,741	30,033
254	101932021464	S1031100910P0200062	230	7,741	30,096
359	101932021509	S1031100910P0200067	230	7,741	30,026
401	101932021504	S1031100910P0200069	230	7,741	29,898
382	101932021188	S1031100910P0200069	230	7,742	30,171
391	101932021272	S1031100910P0200069	230	7,742	30,015
431	101932021558	S1031100910P0200071	230	7,742	30,061
38	101932020315	S1031100910P0200007	230	7,743	30,151
44	101932020065	S1031100910P0200020	230	7,743	30,199
53	101932020118	S1031100910P0200020	230	7,743	30,159
226	101932020895	S1031100910P0200061	230	7,743	30,034
240	101932021155	S1031100910P0200061	230	7,743	29,919
229	101932020957	S1031100910P0200061	230	7,744	29,914
360	101932021512	S1031100910P0200067	230	7,744	29,967
413	101932021452	S1031100910P0200070	230	7,744	29,974
210	101932021248	S1031100910P0200059	230	7,701	30,041
42	101932020058	S1031100910P0200020	230	7,745	30,08
148	101932020889	S1031100910P0200046	230	7,745	30,016
429	101932021354	S1031100910P0200071	230	7,745	29,913
45	101932020067	S1031100910P0200020	230	7,746	30,236
80	101932020981	S1031100910P0200033	230	7,746	29,861
241	101932021162	S1031100910P0200061	230	7,746	29,988
403	101932021240	S1031100910P0200070	230	7,746	29,983
159	101932021130	S1031100910P0200046	230	7,747	30,099
230	101932020959	S1031100910P0200061	230	7,747	29,908
260	101932021485	S1031100910P0200062	230	7,747	29,896
325	101932021326	S1031100910P0200066	230	7,747	29,874
396	101932021422	S1031100910P0200069	230	7,747	29,981
111	101932021020	S1031100910P0200038	230	7,748	29,914

361	101932021517	S1031100910P0200067	230	7,748	29,961
157	101932021126	S1031100910P0200046	230	7,749	29,865
24	101932020110	S1031100910P0200007	230	7,702	30,123
211	101932021249	S1031100910P0200059	230	7,75	29,952
216	101932021426	S1031100910P0200059	230	7,75	30,061
225	101932020885	S1031100910P0200061	230	7,75	29,964
227	101932020902	S1031100910P0200061	230	7,75	29,987
235	101932021141	S1031100910P0200061	230	7,75	30,031
276	101932021767	S1031100910P0200063	230	7,75	29,868
316	101932021441	S1031100910P0200065	230	7,75	30,087
319	101932021448	S1031100910P0200065	230	7,75	30,048
412	101932021433	S1031100910P0200070	230	7,75	29,975
421	101932021471	S1031100910P0200070	230	7,75	29,986
423	101932021305	S1031100910P0200071	230	7,75	30,001
232	101932021117	S1031100910P0200061	230	7,751	30,028
409	101932021424	S1031100910P0200070	230	7,751	30,009
25	101932020121	S1031100910P0200007	230	7,752	30,14
204	101932021183	S1031100910P0200059	230	7,752	30,068
222	101932020687	S1031100910P0200061	230	7,704	29,88
246	101932021394	S1031100910P0200062	230	7,753	30,075
251	101932021455	S1031100910P0200062	230	7,753	30,04
255	101932021466	S1031100910P0200062	230	7,753	30,014
308	101932021348	S1031100910P0200065	230	7,753	29,952
358	101932021506	S1031100910P0200067	230	7,753	30
397	101932021444	S1031100910P0200069	230	7,753	30,057
366	101932021501	S1031100910P0200068	230	7,754	29,995
135	101932021109	S1031100910P0200044	230	7,755	29,961
408	101932021400	S1031100910P0200070	230	7,755	30,026
51	101932020116	S1031100910P0200020	230	7,756	30,153
174	101932020918	S1031100910P0200047	230	7,756	29,767
261	101932021487	S1031100910P0200062	230	7,756	29,918
395	101932021410	S1031100910P0200069	230	7,756	30,108
398	101932021489	S1031100910P0200069	230	7,756	30,051
88	101932020466	S1031100910P0200037	230	7,757	29,925
350	101932021288	S1031100910P0200067	230	7,704	30,037
158	101932021129	S1031100910P0200046	230	7,758	30,037
249	101932021403	S1031100910P0200062	230	7,758	30,085
420	101932021468	S1031100910P0200070	230	7,758	29,934
113	101932021031	S1031100910P0200038	230	7,759	29,831
327	101932021352	S1031100910P0200066	230	7,759	30,007
334	101932021536	S1031100910P0200066	230	7,759	29,941
343	101932021247	S1031100910P0200067	230	7,761	30,054
200	101932021095	S1031100910P0200048	230	7,762	29,919
202	101932021160	S1031100910P0200059	230	7,762	30,062
221	101932021442	S1031100910P0200059	230	7,762	30,072
298	101932021797	S1031100910P0200064	230	7,762	30,197
320	101932021552	S1031100910P0200065	230	7,762	29,942
347	101932021279	S1031100910P0200067	230	7,762	29,893
410	101932021425	S1031100910P0200070	230	7,762	29,942
103	101932020804	S1031100910P0200038	230	7,763	29,925
39	101932020317	S1031100910P0200007	230	7,705	30,115
117	101932021044	S1031100910P0200038	230	7,764	29,956

259	101932021480	S1031100910P0200062	230	7,764	29,948
326	101932021340	S1031100910P0200066	230	7,764	30,016
340	101932021784	S1031100910P0200066	230	7,764	30,283
428	101932021343	S1031100910P0200071	230	7,764	30,133
75	101932020271	S1031100910P0200033	230	7,765	29,981
205	101932021206	S1031100910P0200059	230	7,765	29,997
348	101932021280	S1031100910P0200067	230	7,765	29,989
61	101932020057	S1031100910P0200033	230	7,766	30,077
79	101932020376	S1031100910P0200033	230	7,766	30,061
93	101932020603	S1031100910P0200037	230	7,766	29,876
112	101932021026	S1031100910P0200038	230	7,766	29,887
120	101932021052	S1031100910P0200038	230	7,766	29,852
248	101932021401	S1031100910P0200062	230	7,766	29,995
272	101932021507	S1031100910P0200063	230	7,766	29,993
344	101932021254	S1031100910P0200067	230	7,705	29,948
364	101932021369	S1031100910P0200068	230	7,766	29,955
140	101932021128	S1031100910P0200044	230	7,767	29,841
98	101932020741	S1031100910P0200037	230	7,768	29,92
121	101932020808	S1031100910P0200044	230	7,768	29,912
386	101932021231	S1031100910P0200069	230	7,768	30,141
189	101932020847	S1031100910P0200048	230	7,769	29,909
219	101932021436	S1031100910P0200059	230	7,769	29,98
314	101932021432	S1031100910P0200065	230	7,769	30,049
94	101932020644	S1031100910P0200037	230	7,77	29,79
102	101932020775	S1031100910P0200038	230	7,77	29,983
138	101932021123	S1031100910P0200044	230	7,771	29,882
183	101932020830	S1031100910P0200048	230	7,771	30,009
190	101932020849	S1031100910P0200048	230	7,771	29,903
68	101932020182	S1031100910P0200033	230	7,772	29,956
247	101932021397	S1031100910P0200062	230	7,772	30,052
23	101932020106	S1031100910P0200007	230	7,707	30,117
119	101932021050	S1031100910P0200038	230	7,773	29,858
292	101932021601	S1031100910P0200064	230	7,773	30,124
167	101932020875	S1031100910P0200047	230	7,774	29,944
250	101932021405	S1031100910P0200062	230	7,774	30,011
257	101932021474	S1031100910P0200062	230	7,774	29,982
377	101932021774	S1031100910P0200068	230	7,774	30,173
69	101932020183	S1031100910P0200033	230	7,775	29,977
78	101932020352	S1031100910P0200033	230	7,775	30,019
87	101932020465	S1031100910P0200037	230	7,775	29,807
169	101932020901	S1031100910P0200047	230	7,775	29,859
194	101932021072	S1031100910P0200048	230	7,775	29,948
214	101932021402	S1031100910P0200059	230	7,775	30,006
313	101932021413	S1031100910P0200065	230	7,775	30,144
315	101932021440	S1031100910P0200065	230	7,775	30,016
374	101932021769	S1031100910P0200068	230	7,775	30,17
236	101932021142	S1031100910P0200061	230	7,707	30,034
84	101932020328	S1031100910P0200037	230	7,776	29,974
137	101932021114	S1031100910P0200044	230	7,776	29,89
177	101932021112	S1031100910P0200047	230	7,776	29,876
127	101932020883	S1031100910P0200044	230	7,777	29,864
279	101932021807	S1031100910P0200063	230	7,777	30,086

62	101932020066	S1031100910P0200033	230	7,778	29,976
81	101932020217	S1031100910P0200037	230	7,778	29,912
97	101932020736	S1031100910P0200037	230	7,778	29,939
394	101932021407	S1031100910P0200069	230	7,778	30,04
65	101932020146	S1031100910P0200033	230	7,779	30,01
67	101932020171	S1031100910P0200033	230	7,779	30,009
152	101932020917	S1031100910P0200046	230	7,779	30,019
168	101932020894	S1031100910P0200047	230	7,779	29,79
66	101932020159	S1031100910P0200033	230	7,78	30,031
160	101932021140	S1031100910P0200046	230	7,78	29,999
256	101932021473	S1031100910P0200062	230	7,707	30,103
275	101932021607	S1031100910P0200063	230	7,78	30,003
383	101932021210	S1031100910P0200069	230	7,78	30,132
85	101932020362	S1031100910P0200037	230	7,781	29,995
114	101932021032	S1031100910P0200038	230	7,781	29,876
296	101932021780	S1031100910P0200064	230	7,781	30,145
95	101932020716	S1031100910P0200037	230	7,782	29,911
132	101932021069	S1031100910P0200044	230	7,782	29,92
242	101932021205	S1031100910P0200062	230	7,782	29,987
285	101932021575	S1031100910P0200064	230	7,782	30,138
128	101932020888	S1031100910P0200044	230	7,783	29,826
164	101932020869	S1031100910P0200047	230	7,783	29,926
184	101932020840	S1031100910P0200048	230	7,783	29,903
192	101932021065	S1031100910P0200048	230	7,783	29,879
123	101932020842	S1031100910P0200044	230	7,784	29,887
136	101932021111	S1031100910P0200044	230	7,785	29,942
400	101932021503	S1031100910P0200069	230	7,707	30,022
297	101932021792	S1031100910P0200064	230	7,786	30,131
63	101932020073	S1031100910P0200033	230	7,787	29,957
130	101932021064	S1031100910P0200044	230	7,787	29,819
277	101932021787	S1031100910P0200063	230	7,787	30,134
311	101932021358	S1031100910P0200065	230	7,787	30,023
100	101932020750	S1031100910P0200037	230	7,788	29,989
179	101932021131	S1031100910P0200047	230	7,788	29,918
70	101932020203	S1031100910P0200033	230	7,789	29,965
77	101932020316	S1031100910P0200033	230	7,789	29,97
82	101932020218	S1031100910P0200037	230	7,789	29,995
107	101932020824	S1031100910P0200038	230	7,789	29,823
139	101932021125	S1031100910P0200044	230	7,789	29,834
180	101932021170	S1031100910P0200047	230	7,789	29,85
278	101932021795	S1031100910P0200063	230	7,789	30,066
125	101932020877	S1031100910P0200044	230	7,79	29,814
415	101932021454	S1031100910P0200070	230	7,707	29,889
185	101932020841	S1031100910P0200048	230	7,791	29,842
193	101932021066	S1031100910P0200048	230	7,791	29,919
274	101932021580	S1031100910P0200063	230	7,791	30,048
339	101932021782	S1031100910P0200066	230	7,791	30,195
72	101932020251	S1031100910P0200033	230	7,792	29,947
89	101932020537	S1031100910P0200037	230	7,792	29,966
178	101932021113	S1031100910P0200047	230	7,792	29,845
289	101932021597	S1031100910P0200064	230	7,792	30,067
336	101932021588	S1031100910P0200066	230	7,792	30,318

385	101932021225	S1031100910P0200069	230	7,792	30,055
92	101932020551	S1031100910P0200037	230	7,793	29,926
116	101932021043	S1031100910P0200038	230	7,793	29,853
134	101932021106	S1031100910P0200044	230	7,793	29,872
291	101932021600	S1031100910P0200064	230	7,793	30,117
83	101932020228	S1031100910P0200037	230	7,794	29,899
238	101932021150	S1031100910P0200061	230	7,708	29,987
86	101932020367	S1031100910P0200037	230	7,795	29,971
110	101932021019	S1031100910P0200038	230	7,795	29,957
129	101932020893	S1031100910P0200044	230	7,795	29,843
215	101932021421	S1031100910P0200059	230	7,795	30,029
281	101932021814	S1031100910P0200063	230	7,795	30,163
295	101932021776	S1031100910P0200064	230	7,795	30,156
191	101932020855	S1031100910P0200048	230	7,796	29,886
199	101932021087	S1031100910P0200048	230	7,797	29,85
172	101932020908	S1031100910P0200047	230	7,798	29,839
173	101932020913	S1031100910P0200047	230	7,798	29,856
197	101932021084	S1031100910P0200048	230	7,798	29,91
73	101932020256	S1031100910P0200033	230	7,799	29,982
188	101932020845	S1031100910P0200048	230	7,799	29,893
171	101932020906	S1031100910P0200047	230	7,8	29,875
218	101932021429	S1031100910P0200059	230	7,8	29,992
351	101932021289	S1031100910P0200067	230	7,708	30,122
376	101932021773	S1031100910P0200068	230	7,8	30,146
187	101932020844	S1031100910P0200048	230	7,801	29,908
329	101932021361	S1031100910P0200066	230	7,801	30,22
90	101932020541	S1031100910P0200037	230	7,802	29,933
170	101932020905	S1031100910P0200047	230	7,802	29,826
182	101932020827	S1031100910P0200048	230	7,802	29,81
283	101932021360	S1031100910P0200064	230	7,802	30,181
71	101932020208	S1031100910P0200033	230	7,803	29,812
294	101932021610	S1031100910P0200064	230	7,804	30,075
175	101932020933	S1031100910P0200047	230	7,805	29,815
290	101932021599	S1031100910P0200064	230	7,806	30,083
338	101932021777	S1031100910P0200066	230	7,806	30,182
370	101932021576	S1031100910P0200068	230	7,806	30,172
379	101932021781	S1031100910P0200068	230	7,806	30,173
64	101932020086	S1031100910P0200033	230	7,808	29,87
402	101932021233	S1031100910P0200070	230	7,709	29,945
96	101932020721	S1031100910P0200037	230	7,809	29,961
126	101932020879	S1031100910P0200044	230	7,809	29,915
198	101932021086	S1031100910P0200048	230	7,809	29,878
293	101932021609	S1031100910P0200064	230	7,809	30,13
380	101932021788	S1031100910P0200068	230	7,809	30,151
288	101932021586	S1031100910P0200064	230	7,81	30,166
301	101932021811	S1031100910P0200064	230	7,81	30,085
381	101932021789	S1031100910P0200068	230	7,81	30,149
372	101932021587	S1031100910P0200068	230	7,811	30,148
369	101932021573	S1031100910P0200068	230	7,812	30,091
287	101932021585	S1031100910P0200064	230	7,813	30,144
337	101932021768	S1031100910P0200066	230	7,813	30,208
74	101932020264	S1031100910P0200033	230	7,814	29,967

165	101932020872	S1031100910P0200047	230	7,814	29,885
371	101932021583	S1031100910P0200068	230	7,814	30,186
9	101932020212	S1031100910P0200003	230	7,71	30,122
162	101932020777	S1031100910P0200047	230	7,815	29,897
101	101932020755	S1031100910P0200038	230	7,816	29,927
122	101932020833	S1031100910P0200044	230	7,816	29,887
163	101932020857	S1031100910P0200047	230	7,816	29,78
195	101932021081	S1031100910P0200048	230	7,817	29,905
362	101932021364	S1031100910P0200068	230	7,818	30,106
330	101932021362	S1031100910P0200066	230	7,819	30,219
181	101932020823	S1031100910P0200048	230	7,822	29,951
186	101932020843	S1031100910P0200048	230	7,822	29,908
375	101932021770	S1031100910P0200068	230	7,823	30,135
213	101932021398	S1031100910P0200059	230	7,83	30,082
124	101932020871	S1031100910P0200044	230	7,833	29,765
328	101932021359	S1031100910P0200066	230	7,834	30,243
280	101932021808	S1031100910P0200063	230	7,835	30,113
133	101932021104	S1031100910P0200044	230	7,837	29,845
353	101932021293	S1031100910P0200067	230	7,681	30,088

Πίνακας 21: Πίνακας σειριακών αριθμών και τεχνικών χαρακτηριστικών των πλαισίων που εγκαταστάθηκαν κατά το χειρίστο δυνατό τρόπο στο ΦΒ σταθμό.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι ελάχιστες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος I_{mpp} που διαρρέουν την κάθε στοιχειοσειρά και η συνολική τάση κάθε στοιχειοσειράς καθώς και η συνολική ισχύς που προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις:

$$P_{mpp} = I_{mpp} \cdot V_{mpp}$$

$$V_{mpp} = V_{s1} + V_{s2} + \dots + V_{s16}$$

		I_{mpp} (min)	V_{mpp} (tot)	P_{mpp} (Watt)
Inv 1	string 1	7,673	480,48	3686,72304
	string 2	7,675	479,851	3682,856425
	string 3	7,682	480,586	3691,861652
Inv 2	string 4	7,691	480,316	3694,110356
	string 5	7,695	480,538	3697,73991
	string 6	7,695	480,863	3700,240785
Inv 3	string 7	7,699	480,26	3697,52174
	string 8	7,699	480,984	3703,095816
	string 9	7,7	480,725	3701,5825
Inv 4	string 10	7,7	480,674	3701,1898
	string 11	7,7	480,68	3701,236
	string 12	7,701	480,658	3701,547258
Inv 5	string 13	7,702	479,698	3694,633996
	string 14	7,704	480,085	3698,57484
	string 15	7,704	480,079	3698,528616

Inv 6	string 16	7,705	479,956	3698,06098
	string 17	7,705	479,992	3698,33836
	string 18	7,707	479,399	3694,728093
Inv 7	string 19	7,707	480,072	3699,914904
	string 20	7,707	479,518	3695,645226
	string 21	7,707	479,492	3695,444844
Inv 8	string 22	7,707	479,177	3693,017139
	string 23	7,708	479,856	3698,730048
	string 24	7,708	479,324	3694,629392
Inv 9	string 25	7,709	480,151	3701,484059
	string 26	7,71	481,186	3709,94406
	string 27	7,681	479,851	3685,735531
TOTAL			99817,11537	

Πίνακας 22: Πίνακας των μέγιστων ρευμάτων I_{mp} που μπορούν να διαρέουν κάθε στοιχειοσειρά (String), που συμπίπτει με το ελάχιστο ρεύμα I_{mp} κάθε στοιχειοσειράς.

4.2.3 Βέλτιστη ταξινόμηση ΦΒ πλαισίων ανά στοιχειοσειρά

Στο παρακάτω πίνακα φαίνεται η βέλτιστη ταξινόμηση των ΦΒ πλαισίων, έτσι ώστε η κάθε μια από τις είκοσι-επτά (27) στοιχειοσειρές να έχουν το μέγιστο δυνατό ρεύμα.

A/A	<u>Serien Nr</u>	<u>Box Nr</u>	<u>PmppSTC</u>	<u>StromMPP</u>	<u>SpannungMPP</u>
355	101932021295	S1031100910P0200067	230	7,673	30,024
335	101932021581	S1031100910P0200066	230	7,675	30,008
353	101932021293	S1031100910P0200067	230	7,681	30,088
354	101932021294	S1031100910P0200067	230	7,682	30,098
368	101932021533	S1031100910P0200068	230	7,691	29,885
244	101932021232	S1031100910P0200062	230	7,695	30,139
427	101932021338	S1031100910P0200071	230	7,695	30,084
245	101932021266	S1031100910P0200062	230	7,699	30,075
352	101932021290	S1031100910P0200067	230	7,699	30,087
262	101932021191	S1031100910P0200063	230	7,7	29,947
309	101932021349	S1031100910P0200065	230	7,7	30,116
357	101932021492	S1031100910P0200067	230	7,7	30,13
210	101932021248	S1031100910P0200059	230	7,701	30,041
24	101932020110	S1031100910P0200007	230	7,702	30,123
222	101932020687	S1031100910P0200061	230	7,704	29,88
350	101932021288	S1031100910P0200067	230	7,704	30,037
39	101932020317	S1031100910P0200007	230	7,705	30,115
344	101932021254	S1031100910P0200067	230	7,705	29,948
23	101932020106	S1031100910P0200007	230	7,707	30,117
236	101932021142	S1031100910P0200061	230	7,707	30,034
256	101932021473	S1031100910P0200062	230	7,707	30,103
400	101932021503	S1031100910P0200069	230	7,707	30,022
415	101932021454	S1031100910P0200070	230	7,707	29,889
238	101932021150	S1031100910P0200061	230	7,708	29,987
351	101932021289	S1031100910P0200067	230	7,708	30,122

402	101932021233	S1031100910P0200070	230	7,709	29,945
9	101932020212	S1031100910P0200003	230	7,71	30,122
13	101932020241	S1031100910P0200003	230	7,71	30,254
306	101932021337	S1031100910P0200065	230	7,71	30,058
406	101932021260	S1031100910P0200070	230	7,71	29,956
432	101932021560	S1031100910P0200071	230	7,71	29,965
333	101932021495	S1031100910P0200066	230	7,711	29,916
243	101932021229	S1031100910P0200062	230	7,712	30,001
384	101932021224	S1031100910P0200069	230	7,712	29,997
424	101932021323	S1031100910P0200071	230	7,712	29,929
12	101932020240	S1031100910P0200003	230	7,713	30,162
253	101932021463	S1031100910P0200062	230	7,713	30,034
317	101932021443	S1031100910P0200065	230	7,713	30,056
332	101932021491	S1031100910P0200066	230	7,713	30,081
143	101932020876	S1031100910P0200046	230	7,714	30,018
154	101932021103	S1031100910P0200046	230	7,714	30,032
425	101932021325	S1031100910P0200071	230	7,714	29,979
3	101932020091	S1031100910P0200003	230	7,715	30,247
206	101932021222	S1031100910P0200059	230	7,715	30,065
258	101932021479	S1031100910P0200062	230	7,715	29,975
345	101932021268	S1031100910P0200067	230	7,715	29,958
271	101932021494	S1031100910P0200063	230	7,716	29,954
302	101932021223	S1031100910P0200065	230	7,716	30,061
322	101932021274	S1031100910P0200066	230	7,716	29,979
5	101932020102	S1031100910P0200003	230	7,717	30,151
36	101932020310	S1031100910P0200007	230	7,717	30,176
57	101932020274	S1031100910P0200020	230	7,718	30,172
4	101932020101	S1031100910P0200003	230	7,719	30,168
7	101932020137	S1031100910P0200003	230	7,719	30,203
99	101932020742	S1031100910P0200037	230	7,719	29,842
416	101932021457	S1031100910P0200070	230	7,719	29,922
407	101932021263	S1031100910P0200070	230	7,72	29,93
33	101932020306	S1031100910P0200007	230	7,721	30,139
146	101932020886	S1031100910P0200046	230	7,721	30,115
341	101932021785	S1031100910P0200066	230	7,721	30,033
264	101932021341	S1031100910P0200063	230	7,722	29,825
365	101932021375	S1031100910P0200068	230	7,722	29,82
393	101932021303	S1031100910P0200069	230	7,722	29,956
422	101932021271	S1031100910P0200071	230	7,722	29,961
18	101932020326	S1031100910P0200003	230	7,723	30,133
34	101932020307	S1031100910P0200007	230	7,723	30,099
228	101932020953	S1031100910P0200061	230	7,723	29,979
270	101932021493	S1031100910P0200063	230	7,723	30,011
405	101932021251	S1031100910P0200070	230	7,723	29,949
40	101932020325	S1031100910P0200007	230	7,724	30,223
217	101932021428	S1031100910P0200059	230	7,724	30,001
269	101932021470	S1031100910P0200063	230	7,724	30,028
349	101932021286	S1031100910P0200067	230	7,724	29,966
387	101932021234	S1031100910P0200069	230	7,724	29,916
390	101932021245	S1031100910P0200069	230	7,724	29,999
22	101932020054	S1031100910P0200007	230	7,725	30,121
147	101932020887	S1031100910P0200046	230	7,725	30,018

373	101932021765	S1031100910P0200068	230	7,725	29,927
388	101932021236	S1031100910P0200069	230	7,725	30,029
419	101932021461	S1031100910P0200070	230	7,725	29,975
47	101932020077	S1031100910P0200020	230	7,726	30,221
104	101932020807	S1031100910P0200038	230	7,726	29,908
208	101932021242	S1031100910P0200059	230	7,726	29,957
268	101932021434	S1031100910P0200063	230	7,726	29,98
331	101932021366	S1031100910P0200066	230	7,726	30,073
426	101932021334	S1031100910P0200071	230	7,726	29,95
35	101932020309	S1031100910P0200007	230	7,727	30,043
43	101932020063	S1031100910P0200020	230	7,727	30,162
59	101932020370	S1031100910P0200020	230	7,727	30,168
233	101932021124	S1031100910P0200061	230	7,727	29,987
234	101932021135	S1031100910P0200061	230	7,727	29,956
310	101932021356	S1031100910P0200065	230	7,727	29,971
28	101932020259	S1031100910P0200007	230	7,728	30,251
58	101932020296	S1031100910P0200020	230	7,728	30,091
145	101932020882	S1031100910P0200046	230	7,728	30,061
150	101932020892	S1031100910P0200046	230	7,728	30,035
156	101932021122	S1031100910P0200046	230	7,728	29,951
252	101932021462	S1031100910P0200062	230	7,728	30,033
265	101932021345	S1031100910P0200063	230	7,728	29,948
323	101932021299	S1031100910P0200066	230	7,728	29,946
342	101932021244	S1031100910P0200067	230	7,728	30,09
367	101932021530	S1031100910P0200068	230	7,728	29,923
8	101932020151	S1031100910P0200003	230	7,729	30,183
19	101932020337	S1031100910P0200003	230	7,729	30,153
54	101932020226	S1031100910P0200020	230	7,729	30,041
118	101932021046	S1031100910P0200038	230	7,729	29,851
284	101932021527	S1031100910P0200064	230	7,729	29,951
404	101932021243	S1031100910P0200070	230	7,729	29,829
10	101932020234	S1031100910P0200003	230	7,73	30,186
60	101932020395	S1031100910P0200020	230	7,73	30,195
115	101932021038	S1031100910P0200038	230	7,73	29,905
52	101932020117	S1031100910P0200020	230	7,731	30,12
201	101932020964	S1031100910P0200049	230	7,731	30,049
207	101932021241	S1031100910P0200059	230	7,731	29,93
304	101932021310	S1031100910P0200065	230	7,731	29,997
1	101932020051	S1031100910P0200003	230	7,732	30,191
21	101932020031	S1031100910P0200007	230	7,732	30,139
27	101932020154	S1031100910P0200007	230	7,732	30,201
50	101932020115	S1031100910P0200020	230	7,732	30,142
106	101932020812	S1031100910P0200038	230	7,732	29,968
266	101932021347	S1031100910P0200063	230	7,732	29,911
303	101932021252	S1031100910P0200065	230	7,732	29,954
318	101932021447	S1031100910P0200065	230	7,732	30,039
15	101932020313	S1031100910P0200003	230	7,733	30,209
26	101932020135	S1031100910P0200007	230	7,733	30,192
286	101932021582	S1031100910P0200064	230	7,733	30,017
321	101932021562	S1031100910P0200065	230	7,733	29,958
346	101932021278	S1031100910P0200067	230	7,733	30,041
417	101932021458	S1031100910P0200070	230	7,733	29,918

16	101932020314	S1031100910P0200003	230	7,734	30,12
17	101932020323	S1031100910P0200003	230	7,734	30,173
32	101932020289	S1031100910P0200007	230	7,734	30,157
41	101932020053	S1031100910P0200020	230	7,734	30,121
49	101932020097	S1031100910P0200020	230	7,734	30,111
56	101932020270	S1031100910P0200020	230	7,734	30,14
109	101932020991	S1031100910P0200038	230	7,734	29,886
142	101932020866	S1031100910P0200046	230	7,734	30,072
144	101932020878	S1031100910P0200046	230	7,734	30,048
263	101932021215	S1031100910P0200063	230	7,734	29,883
399	101932021490	S1031100910P0200069	230	7,734	29,995
31	101932020287	S1031100910P0200007	230	7,735	30,148
141	101932020780	S1031100910P0200046	230	7,735	29,93
203	101932021161	S1031100910P0200059	230	7,735	30,076
389	101932021237	S1031100910P0200069	230	7,735	30,063
2	101932020064	S1031100910P0200003	230	7,736	30,145
29	101932020281	S1031100910P0200007	230	7,736	30,18
48	101932020094	S1031100910P0200020	230	7,736	30,235
55	101932020269	S1031100910P0200020	230	7,736	30,172
91	101932020542	S1031100910P0200037	230	7,736	29,89
149	101932020891	S1031100910P0200046	230	7,736	30,068
46	101932020076	S1031100910P0200020	230	7,737	30,219
155	101932021121	S1031100910P0200046	230	7,737	30,032
209	101932021246	S1031100910P0200059	230	7,737	29,865
212	101932021395	S1031100910P0200059	230	7,737	30,032
356	101932021301	S1031100910P0200067	230	7,737	29,921
392	101932021276	S1031100910P0200069	230	7,737	29,962
108	101932020825	S1031100910P0200038	230	7,738	29,907
153	101932021100	S1031100910P0200046	230	7,738	30,064
282	101932021312	S1031100910P0200064	230	7,738	29,866
305	101932021324	S1031100910P0200065	230	7,738	29,925
414	101932021453	S1031100910P0200070	230	7,738	29,968
418	101932021459	S1031100910P0200070	230	7,738	29,956
20	101932020338	S1031100910P0200003	230	7,739	30,033
223	101932020697	S1031100910P0200061	230	7,739	30,015
237	101932021145	S1031100910P0200061	230	7,739	29,994
363	101932021367	S1031100910P0200068	230	7,739	29,995
14	101932020280	S1031100910P0200003	230	7,74	30,141
30	101932020286	S1031100910P0200007	230	7,74	30,22
151	101932020910	S1031100910P0200046	230	7,74	29,929
220	101932021437	S1031100910P0200059	230	7,74	30,056
239	101932021153	S1031100910P0200061	230	7,74	29,927
312	101932021374	S1031100910P0200065	230	7,74	29,992
324	101932021308	S1031100910P0200066	230	7,74	30,174
430	101932021539	S1031100910P0200071	230	7,74	30,019
6	101932020104	S1031100910P0200003	230	7,741	30,131
224	101932020838	S1031100910P0200061	230	7,741	29,979
231	101932020961	S1031100910P0200061	230	7,741	30,033
254	101932021464	S1031100910P0200062	230	7,741	30,096
359	101932021509	S1031100910P0200067	230	7,741	30,026
401	101932021504	S1031100910P0200069	230	7,741	29,898
382	101932021188	S1031100910P0200069	230	7,742	30,171

391	101932021272	S1031100910P0200069	230	7,742	30,015
431	101932021558	S1031100910P0200071	230	7,742	30,061
38	101932020315	S1031100910P0200007	230	7,743	30,151
44	101932020065	S1031100910P0200020	230	7,743	30,199
53	101932020118	S1031100910P0200020	230	7,743	30,159
226	101932020895	S1031100910P0200061	230	7,743	30,034
240	101932021155	S1031100910P0200061	230	7,743	29,919
229	101932020957	S1031100910P0200061	230	7,744	29,914
360	101932021512	S1031100910P0200067	230	7,744	29,967
413	101932021452	S1031100910P0200070	230	7,744	29,974
37	101932020311	S1031100910P0200007	230	7,745	30,174
42	101932020058	S1031100910P0200020	230	7,745	30,08
148	101932020889	S1031100910P0200046	230	7,745	30,016
429	101932021354	S1031100910P0200071	230	7,745	29,913
45	101932020067	S1031100910P0200020	230	7,746	30,236
80	101932020981	S1031100910P0200033	230	7,746	29,861
241	101932021162	S1031100910P0200061	230	7,746	29,988
403	101932021240	S1031100910P0200070	230	7,746	29,983
159	101932021130	S1031100910P0200046	230	7,747	30,099
230	101932020959	S1031100910P0200061	230	7,747	29,908
260	101932021485	S1031100910P0200062	230	7,747	29,896
325	101932021326	S1031100910P0200066	230	7,747	29,874
396	101932021422	S1031100910P0200069	230	7,747	29,981
111	101932021020	S1031100910P0200038	230	7,748	29,914
361	101932021517	S1031100910P0200067	230	7,748	29,961
157	101932021126	S1031100910P0200046	230	7,749	29,865
11	101932020236	S1031100910P0200003	230	7,75	30,229
211	101932021249	S1031100910P0200059	230	7,75	29,952
216	101932021426	S1031100910P0200059	230	7,75	30,061
225	101932020885	S1031100910P0200061	230	7,75	29,964
227	101932020902	S1031100910P0200061	230	7,75	29,987
235	101932021141	S1031100910P0200061	230	7,75	30,031
276	101932021767	S1031100910P0200063	230	7,75	29,868
316	101932021441	S1031100910P0200065	230	7,75	30,087
319	101932021448	S1031100910P0200065	230	7,75	30,048
412	101932021433	S1031100910P0200070	230	7,75	29,975
421	101932021471	S1031100910P0200070	230	7,75	29,986
423	101932021305	S1031100910P0200071	230	7,75	30,001
232	101932021117	S1031100910P0200061	230	7,751	30,028
409	101932021424	S1031100910P0200070	230	7,751	30,009
25	101932020121	S1031100910P0200007	230	7,752	30,14
204	101932021183	S1031100910P0200059	230	7,752	30,068
411	101932021427	S1031100910P0200070	230	7,752	29,989
246	101932021394	S1031100910P0200062	230	7,753	30,075
251	101932021455	S1031100910P0200062	230	7,753	30,04
255	101932021466	S1031100910P0200062	230	7,753	30,014
308	101932021348	S1031100910P0200065	230	7,753	29,952
358	101932021506	S1031100910P0200067	230	7,753	30
397	101932021444	S1031100910P0200069	230	7,753	30,057
366	101932021501	S1031100910P0200068	230	7,754	29,995
135	101932021109	S1031100910P0200044	230	7,755	29,961
408	101932021400	S1031100910P0200070	230	7,755	30,026

51	101932020116	S1031100910P0200020	230	7,756	30,153
174	101932020918	S1031100910P0200047	230	7,756	29,767
261	101932021487	S1031100910P0200062	230	7,756	29,918
395	101932021410	S1031100910P0200069	230	7,756	30,108
398	101932021489	S1031100910P0200069	230	7,756	30,051
88	101932020466	S1031100910P0200037	230	7,757	29,925
267	101932021357	S1031100910P0200063	230	7,757	29,945
158	101932021129	S1031100910P0200046	230	7,758	30,037
249	101932021403	S1031100910P0200062	230	7,758	30,085
420	101932021468	S1031100910P0200070	230	7,758	29,934
113	101932021031	S1031100910P0200038	230	7,759	29,831
327	101932021352	S1031100910P0200066	230	7,759	30,007
334	101932021536	S1031100910P0200066	230	7,759	29,941
343	101932021247	S1031100910P0200067	230	7,761	30,054
200	101932021095	S1031100910P0200048	230	7,762	29,919
202	101932021160	S1031100910P0200059	230	7,762	30,062
221	101932021442	S1031100910P0200059	230	7,762	30,072
298	101932021797	S1031100910P0200064	230	7,762	30,197
320	101932021552	S1031100910P0200065	230	7,762	29,942
347	101932021279	S1031100910P0200067	230	7,762	29,893
410	101932021425	S1031100910P0200070	230	7,762	29,942
103	101932020804	S1031100910P0200038	230	7,763	29,925
105	101932020809	S1031100910P0200038	230	7,763	29,881
117	101932021044	S1031100910P0200038	230	7,764	29,956
259	101932021480	S1031100910P0200062	230	7,764	29,948
326	101932021340	S1031100910P0200066	230	7,764	30,016
340	101932021784	S1031100910P0200066	230	7,764	30,283
428	101932021343	S1031100910P0200071	230	7,764	30,133
75	101932020271	S1031100910P0200033	230	7,765	29,981
205	101932021206	S1031100910P0200059	230	7,765	29,997
348	101932021280	S1031100910P0200067	230	7,765	29,989
61	101932020057	S1031100910P0200033	230	7,766	30,077
79	101932020376	S1031100910P0200033	230	7,766	30,061
93	101932020603	S1031100910P0200037	230	7,766	29,876
112	101932021026	S1031100910P0200038	230	7,766	29,887
120	101932021052	S1031100910P0200038	230	7,766	29,852
248	101932021401	S1031100910P0200062	230	7,766	29,995
272	101932021507	S1031100910P0200063	230	7,766	29,993
307	101932021342	S1031100910P0200065	230	7,766	30,078
364	101932021369	S1031100910P0200068	230	7,766	29,955
140	101932021128	S1031100910P0200044	230	7,767	29,841
98	101932020741	S1031100910P0200037	230	7,768	29,92
121	101932020808	S1031100910P0200044	230	7,768	29,912
386	101932021231	S1031100910P0200069	230	7,768	30,141
189	101932020847	S1031100910P0200048	230	7,769	29,909
219	101932021436	S1031100910P0200059	230	7,769	29,98
314	101932021432	S1031100910P0200065	230	7,769	30,049
94	101932020644	S1031100910P0200037	230	7,77	29,79
102	101932020775	S1031100910P0200038	230	7,77	29,983
138	101932021123	S1031100910P0200044	230	7,771	29,882
183	101932020830	S1031100910P0200048	230	7,771	30,009
190	101932020849	S1031100910P0200048	230	7,771	29,903

68	101932020182	S1031100910P0200033	230	7,772	29,956
247	101932021397	S1031100910P0200062	230	7,772	30,052
378	101932021775	S1031100910P0200068	230	7,772	30,121
119	101932021050	S1031100910P0200038	230	7,773	29,858
292	101932021601	S1031100910P0200064	230	7,773	30,124
167	101932020875	S1031100910P0200047	230	7,774	29,944
250	101932021405	S1031100910P0200062	230	7,774	30,011
257	101932021474	S1031100910P0200062	230	7,774	29,982
377	101932021774	S1031100910P0200068	230	7,774	30,173
69	101932020183	S1031100910P0200033	230	7,775	29,977
78	101932020352	S1031100910P0200033	230	7,775	30,019
87	101932020465	S1031100910P0200037	230	7,775	29,807
169	101932020901	S1031100910P0200047	230	7,775	29,859
194	101932021072	S1031100910P0200048	230	7,775	29,948
214	101932021402	S1031100910P0200059	230	7,775	30,006
313	101932021413	S1031100910P0200065	230	7,775	30,144
315	101932021440	S1031100910P0200065	230	7,775	30,016
374	101932021769	S1031100910P0200068	230	7,775	30,17
76	101932020278	S1031100910P0200033	230	7,776	29,871
84	101932020328	S1031100910P0200037	230	7,776	29,974
137	101932021114	S1031100910P0200044	230	7,776	29,89
177	101932021112	S1031100910P0200047	230	7,776	29,876
127	101932020883	S1031100910P0200044	230	7,777	29,864
279	101932021807	S1031100910P0200063	230	7,777	30,086
62	101932020066	S1031100910P0200033	230	7,778	29,976
81	101932020217	S1031100910P0200037	230	7,778	29,912
97	101932020736	S1031100910P0200037	230	7,778	29,939
394	101932021407	S1031100910P0200069	230	7,778	30,04
65	101932020146	S1031100910P0200033	230	7,779	30,01
67	101932020171	S1031100910P0200033	230	7,779	30,009
152	101932020917	S1031100910P0200046	230	7,779	30,019
168	101932020894	S1031100910P0200047	230	7,779	29,79
66	101932020159	S1031100910P0200033	230	7,78	30,031
160	101932021140	S1031100910P0200046	230	7,78	29,999
196	101932021083	S1031100910P0200048	230	7,78	29,956
275	101932021607	S1031100910P0200063	230	7,78	30,003
383	101932021210	S1031100910P0200069	230	7,78	30,132
85	101932020362	S1031100910P0200037	230	7,781	29,995
114	101932021032	S1031100910P0200038	230	7,781	29,876
296	101932021780	S1031100910P0200064	230	7,781	30,145
95	101932020716	S1031100910P0200037	230	7,782	29,911
132	101932021069	S1031100910P0200044	230	7,782	29,92
242	101932021205	S1031100910P0200062	230	7,782	29,987
285	101932021575	S1031100910P0200064	230	7,782	30,138
128	101932020888	S1031100910P0200044	230	7,783	29,826
164	101932020869	S1031100910P0200047	230	7,783	29,926
184	101932020840	S1031100910P0200048	230	7,783	29,903
192	101932021065	S1031100910P0200048	230	7,783	29,879
123	101932020842	S1031100910P0200044	230	7,784	29,887
136	101932021111	S1031100910P0200044	230	7,785	29,942
299	101932021800	S1031100910P0200064	230	7,785	30,105
297	101932021792	S1031100910P0200064	230	7,786	30,131

63	101932020073	S1031100910P0200033	230	7,787	29,957
130	101932021064	S1031100910P0200044	230	7,787	29,819
277	101932021787	S1031100910P0200063	230	7,787	30,134
311	101932021358	S1031100910P0200065	230	7,787	30,023
100	101932020750	S1031100910P0200037	230	7,788	29,989
179	101932021131	S1031100910P0200047	230	7,788	29,918
70	101932020203	S1031100910P0200033	230	7,789	29,965
77	101932020316	S1031100910P0200033	230	7,789	29,97
82	101932020218	S1031100910P0200037	230	7,789	29,995
107	101932020824	S1031100910P0200038	230	7,789	29,823
139	101932021125	S1031100910P0200044	230	7,789	29,834
180	101932021170	S1031100910P0200047	230	7,789	29,85
278	101932021795	S1031100910P0200063	230	7,789	30,066
125	101932020877	S1031100910P0200044	230	7,79	29,814
176	101932021108	S1031100910P0200047	230	7,79	29,85
185	101932020841	S1031100910P0200048	230	7,791	29,842
193	101932021066	S1031100910P0200048	230	7,791	29,919
274	101932021580	S1031100910P0200063	230	7,791	30,048
339	101932021782	S1031100910P0200066	230	7,791	30,195
72	101932020251	S1031100910P0200033	230	7,792	29,947
89	101932020537	S1031100910P0200037	230	7,792	29,966
178	101932021113	S1031100910P0200047	230	7,792	29,845
289	101932021597	S1031100910P0200064	230	7,792	30,067
336	101932021588	S1031100910P0200066	230	7,792	30,318
385	101932021225	S1031100910P0200069	230	7,792	30,055
92	101932020551	S1031100910P0200037	230	7,793	29,926
116	101932021043	S1031100910P0200038	230	7,793	29,853
134	101932021106	S1031100910P0200044	230	7,793	29,872
291	101932021600	S1031100910P0200064	230	7,793	30,117
83	101932020228	S1031100910P0200037	230	7,794	29,899
161	101932020776	S1031100910P0200047	230	7,794	29,818
86	101932020367	S1031100910P0200037	230	7,795	29,971
110	101932021019	S1031100910P0200038	230	7,795	29,957
129	101932020893	S1031100910P0200044	230	7,795	29,843
215	101932021421	S1031100910P0200059	230	7,795	30,029
281	101932021814	S1031100910P0200063	230	7,795	30,163
295	101932021776	S1031100910P0200064	230	7,795	30,156
191	101932020855	S1031100910P0200048	230	7,796	29,886
199	101932021087	S1031100910P0200048	230	7,797	29,85
172	101932020908	S1031100910P0200047	230	7,798	29,839
173	101932020913	S1031100910P0200047	230	7,798	29,856
197	101932021084	S1031100910P0200048	230	7,798	29,91
73	101932020256	S1031100910P0200033	230	7,799	29,982
188	101932020845	S1031100910P0200048	230	7,799	29,893
171	101932020906	S1031100910P0200047	230	7,8	29,875
218	101932021429	S1031100910P0200059	230	7,8	29,992
300	101932021804	S1031100910P0200064	230	7,8	30,078
376	101932021773	S1031100910P0200068	230	7,8	30,146
187	101932020844	S1031100910P0200048	230	7,801	29,908
329	101932021361	S1031100910P0200066	230	7,801	30,22
90	101932020541	S1031100910P0200037	230	7,802	29,933
170	101932020905	S1031100910P0200047	230	7,802	29,826

182	101932020827	S1031100910P0200048	230	7,802	29,81
283	101932021360	S1031100910P0200064	230	7,802	30,181
71	101932020208	S1031100910P0200033	230	7,803	29,812
294	101932021610	S1031100910P0200064	230	7,804	30,075
175	101932020933	S1031100910P0200047	230	7,805	29,815
290	101932021599	S1031100910P0200064	230	7,806	30,083
338	101932021777	S1031100910P0200066	230	7,806	30,182
370	101932021576	S1031100910P0200068	230	7,806	30,172
379	101932021781	S1031100910P0200068	230	7,806	30,173
64	101932020086	S1031100910P0200033	230	7,808	29,87
166	101932020873	S1031100910P0200047	230	7,808	29,908
96	101932020721	S1031100910P0200037	230	7,809	29,961
126	101932020879	S1031100910P0200044	230	7,809	29,915
198	101932021086	S1031100910P0200048	230	7,809	29,878
293	101932021609	S1031100910P0200064	230	7,809	30,13
380	101932021788	S1031100910P0200068	230	7,809	30,151
288	101932021586	S1031100910P0200064	230	7,81	30,166
301	101932021811	S1031100910P0200064	230	7,81	30,085
381	101932021789	S1031100910P0200068	230	7,81	30,149
372	101932021587	S1031100910P0200068	230	7,811	30,148
369	101932021573	S1031100910P0200068	230	7,812	30,091
287	101932021585	S1031100910P0200064	230	7,813	30,144
337	101932021768	S1031100910P0200066	230	7,813	30,208
74	101932020264	S1031100910P0200033	230	7,814	29,967
165	101932020872	S1031100910P0200047	230	7,814	29,885
371	101932021583	S1031100910P0200068	230	7,814	30,186
131	101932021067	S1031100910P0200044	230	7,815	29,899
162	101932020777	S1031100910P0200047	230	7,815	29,897
101	101932020755	S1031100910P0200038	230	7,816	29,927
122	101932020833	S1031100910P0200044	230	7,816	29,887
163	101932020857	S1031100910P0200047	230	7,816	29,78
195	101932021081	S1031100910P0200048	230	7,817	29,905
362	101932021364	S1031100910P0200068	230	7,818	30,106
330	101932021362	S1031100910P0200066	230	7,819	30,219
181	101932020823	S1031100910P0200048	230	7,822	29,951
186	101932020843	S1031100910P0200048	230	7,822	29,908
375	101932021770	S1031100910P0200068	230	7,823	30,135
213	101932021398	S1031100910P0200059	230	7,83	30,082
124	101932020871	S1031100910P0200044	230	7,833	29,765
328	101932021359	S1031100910P0200066	230	7,834	30,243
280	101932021808	S1031100910P0200063	230	7,835	30,113
133	101932021104	S1031100910P0200044	230	7,837	29,845
273	101932021572	S1031100910P0200063	230	7,838	30,088

Πίνακας 23: Πίνακας σειριακών αριθμών και τεχνικών χαρακτηριστικών των πλαισίων που εγκαταστάθηκαν κατά το βέλτιστο τρόπο στο ΦΒ σταθμό.

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι ελάχιστες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος I_{mprr} που διαρρέουν την κάθε στοιχειοσειρά και η συνολική τάση κάθε στοιχειοσειράς καθώς και η συνολική ισχύς που προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις:

$$P_{mpp} = I_{mpp} \cdot V_{mpp}$$

$$V_{mpp} = V_{s1} + V_{s2} + \dots + V_{s16}$$

		Impp (min)	Vmpp (tot)	Pmpp
Inv 1	string 1	7,673	480,8	3688,886826
	string 2	7,705	480,6	3702,660865
	string 3	7,712	480,5	3705,993888
Inv 2	string 4	7,716	480,4	3706,704672
	string 5	7,723	480,4	3709,928402
	string 6	7,726	480,8	3714,768964
Inv 3	string 7	7,728	480,3	3711,79704
	string 8	7,731	480,9	3718,131678
	string 9	7,733	480,8	3718,343453
Inv 4	string 10	7,736	480,5	3717,016488
	string 11	7,738	480,5	3718,333402
	string 12	7,741	480,8	3721,803131
Inv 5	string 13	7,745	479,8	3716,08198
	string 14	7,75	480,2	3721,5035
	string 15	7,753	480,0	3721,339211
Inv 6	string 16	7,758	479,7	3721,683276
	string 17	7,764	480,1	3727,667208
	string 18	7,766	479,4	3723,043698
Inv 7	string 19	7,773	479,9	3730,332657
	string 20	7,776	479,4	3727,588896
	string 21	7,78	479,6	3731,0935
Inv 8	string 22	7,786	479,1	3730,568468
	string 23	7,791	479,7	3737,241417
	string 24	7,795	479,3	3735,9876
Inv 9	string 25	7,8	480,1	3744,8892
	string 26	7,809	481,0	3755,840067
	string 27	7,815	479,9	3750,035565
TOTAL				100509,2651

Πίνακας 24: Πίνακας των μέγιστων ρευμάτων Impp που μπορούν να διαρέουν κάθε στοιχειοσειρά (String), που συμπίπτει με το ελάχιστο ρεύμα Impp κάθε στοιχειοσειράς

4.2.4 Συγκριτικά Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των τριών (3) παραπάνω περιπτώσεων στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε ότι με το sorting βελτιώνεται η συνολική απόδοση της ΦΒ εγκατάστασης κατά 0,5% με 0,7%. Οι τιμές των flash report είναι σε μετρήσεις που έγιναν σε STC συνθήκες (Standard Test Conditions) δηλαδή στους 25° C, με ακτινοβολία 1000W/m² και A.M 1,5.

P _{mpp} (Watt)		
Χείριστη	99817,12	-0,69%
Τυχαία	99993,48	-0,52%
Βέλτιστη	100509,27	

4.3 Επιλογή καλωδίων μεγαλύτερης διατομής.

Ένας τρόπος για να βελτιώσουμε το PR της εγκατάστασης είναι να βάλουμε καλώδια μεγαλύτερης διατομής. Στο κεφάλαιο 2 είδαμε ότι αν αυξήσουμε τις διατομές των καλωδίων κατά μια βαθμίδα μπορούμε να αυξήσουμε την απόδοση κατά 0,04% στο dc και κατά 0,05% στο AC. Δηλαδή συνολικά θα αυξηθεί η απόδοση κατά 0,09%.

4.4 Επιλογή εξοπλισμού καλύτερης απόδοσης

Ο εγκαταστάτης συνήθως προτείνει και πουλάει τον εξοπλισμό στον επενδυτή. Εφόσον όμως θέλει να είναι σίγουρος για την εγγύηση και την ανεπιθύμητη καταβολή ρήτρων θα πρέπει να επιλέγει εξοπλισμό καλύτερης απόδοσης. Ας πούμε οι επιλογή αντιστροφών Euro-eta απόδοσης 97,8% από άλλους που έχουν Euro-eta απόδοση 97,2% μπορεί να βελτιώσει το PR κατά 0,6%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ PERFORMANCE RATIO (PR)

5.1 Τρόπος μέτρησης

Για να μετρηθεί το PR σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων και την παραγωγή ενέργειας σε αυτή το χρονικό διάστημα. Στο τρίτο κεφάλαιο (παράγραφος 3.2) είδαμε τους τύπους.

$$E_{in} = H_d \times TA \times n \text{ (Σχέση 21)}$$

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% \text{ (Σχέση 22)}$$

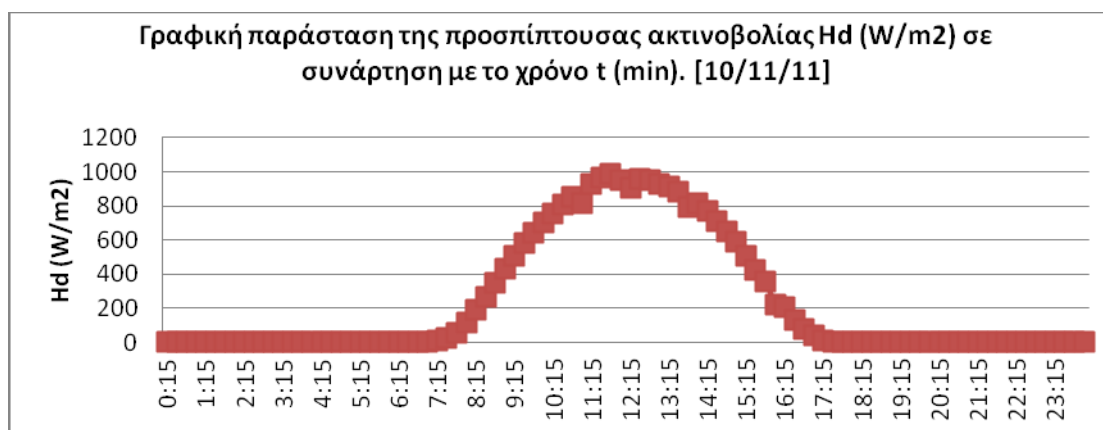
Τους ίδιους τύπους μπορούμε να τους χρησιμοποιήσουμε για να μετρήσουμε το PR ενός ΦΒ σταθμού σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα. Στα συμβόλαια συντήρησης που αναφέραμε στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η εκαθάριση του PR στο τέλος του πρώτου χρόνου λειτουργίας.

Με την ίδια λογική το PR δύναται να μετράται σε πιο τακτά διαστήματα και εκεί φαίνεται και η διακύμανση που έχει στις διάφορες κλιματολογικές συνθήκες.

Από τους παραπάνω τύπους όλα τα δεδομένα είναι γνωστά εκτός από την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια H_d . Το πυρανόμετρο είναι ένα όργανο που μετράει την στιγμιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

Αν δημιουργήσουμε μια καμπύλη που αποτυπώνει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μια ηλιόλουστη ημέρα αυτή θα έχει μια καμπύλη παρόμοια με την καμπύλη Gauss. Το ολοκλήρωμα αυτής της καμπύλης θα μας δίνει την ηλιακή ενέργεια H_d .

Αρκεί λοιπόν μια διάταξη που να πέρνει πληροφορίες από ένα πιστοποιημένο, βαθμονομημένο μεγάλης ακρίβειας πυρανόμετρο σε τακτά χρονικά διαστήματα και να τα αποτυπώνει σε ένα καρτεσιανό διάγραμμα. Όπου στον άξονα x θα είναι ο χρόνος (t) και στον άξονα y η ηλιακή ακτινοβολία σε W/m^2 .



Σχήμα 7: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Hd (W/m²) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min)

Το χρονικό διάστημα κατά το οποίο γίνεται η μέτρηση ορίζεται από τον κατασκευαστή της διάταξης, ανάλογα με τις δυνατότητες που υπάρχουν και την ακρίβεια που θέλει να της προσδώσει.

Επειδή πρόκειται για αόριστη συνάρτηση, ο υπολογισμός του εμβαδού θα γίνει με την Μέθοδο **Newton – Raphson**. Η μέθοδος αυτή επιμερίζει την καμπύλη σε τραπέζια, όπου είναι γνωστά όλα τα στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό του εμβαδού τους.

Ο τύπος υπολογισμού του εμβαδού του τραπεζίου είναι:

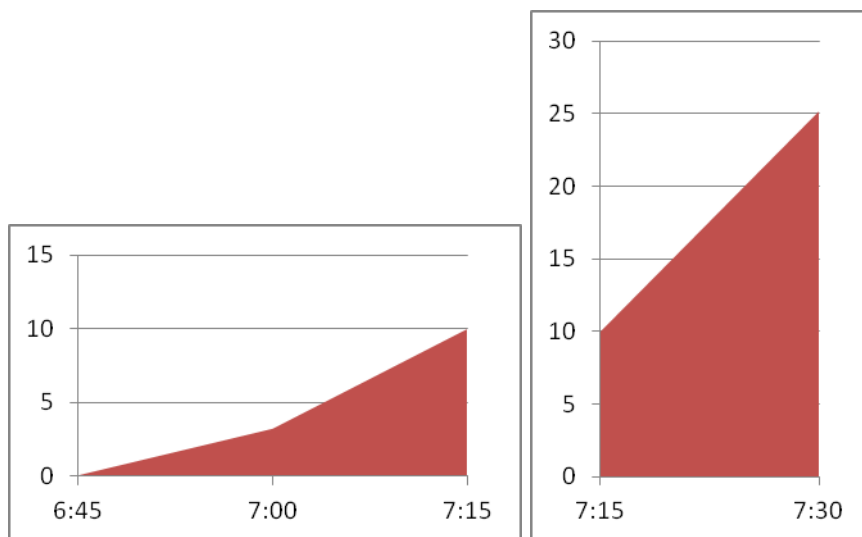
$$E = \frac{(B + \beta) \times h}{2}$$

Το B και το β εκφράζουν την ηλιακή ακτινοβολία (W/m²) ενώ το ύψος τον χρόνο t (h), οπότε το γινόμενο τους την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια Hd (Wh/m²).

Προσθέτοντας όλα τα εμβαδά υπολογίζουμε την ημερίσια προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια. Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να υπολογίσουμε την μηνιαία και την ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια. Παρακάτω ακολουθούν ενδεικτικός πίνακας των μετρήσεων και κάποιες ενδεικτικές παραστάσεις των τραπεζίων που προκύπτουν.

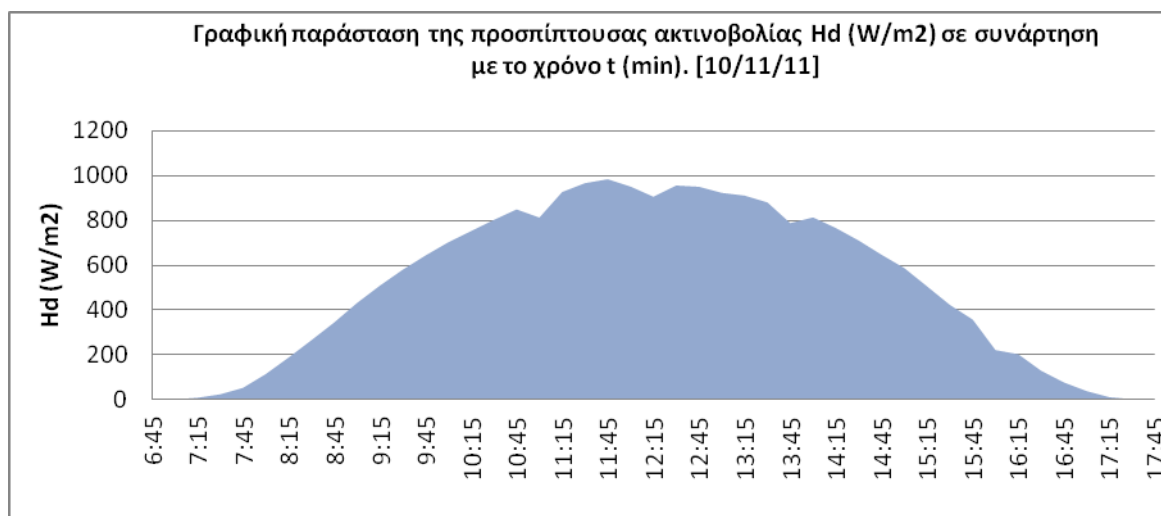
Time	Hd (W/m ²)	E (Wh/m ²)
6:45	0	0
7:00	3,1842	0,398025
7:15	9,9918	1,647
7:30	25,1442	4,392

Πίνακας 25:



Σχήμα 8:

Η συνολική προσπίπτουσα ενέργεια E_{in} υπολογίζεται από το Εμβαδό της καμπύλης.



Σχήμα 9: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Hd (W/m2) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min)

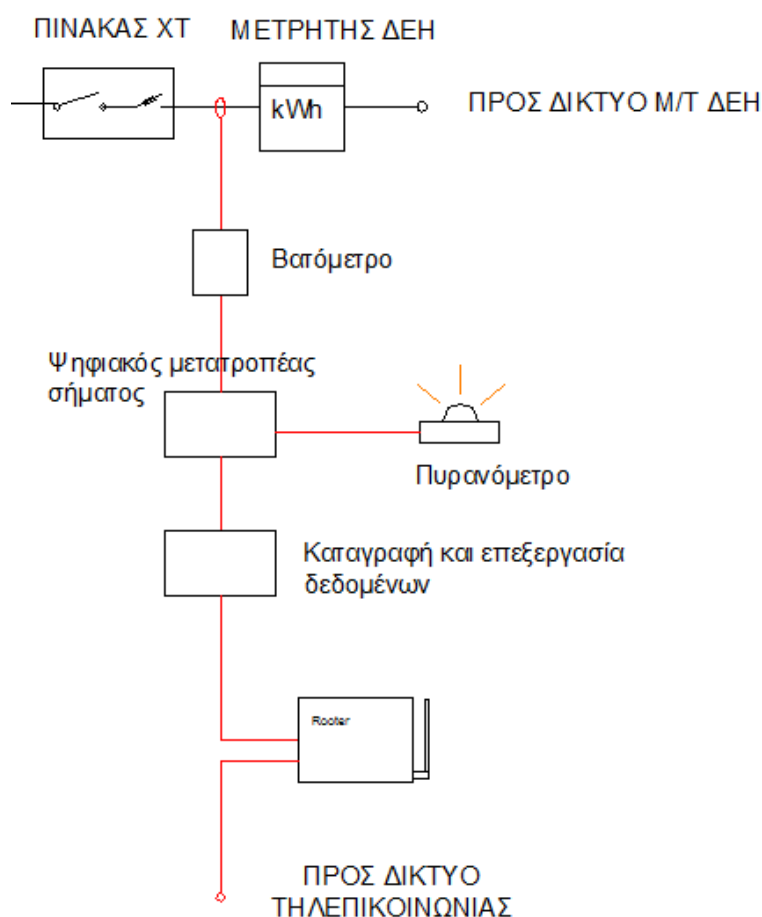
5.2 Σχεδιασμός διάταξης μέτρησης

Παρόλο που η μέτρηση του PR είναι επιτακτική ανάγκη στο εμπόριο δεν υπάρχει διαθέσιμη συσκευή που να καταγράφει και να επεξεργάζεται τα δεδομένα μέτρησης και να εξάγει ημερήσιες, μηνιαίες και ετήσιες τιμές PR.

Μια τέτοια διάταξη θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- Ένα βατόμετρο για την μέτρηση της παραγόμενης ενέργειας.
- Ένα πυρανόμετρο τοποθετημένο σε κλίση όμοια με την κίση των ΦΒ πλαισίων για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Ένα ψηφιακό μετατροπέα σήματος για την μετατροπή των δεδομένων
- Ένα καταγραφικό με επεξεργαστή των δεδομένων σύμφωνα με τον τύπο υπολογισμού που έχουμε επιλέξει και εξαγωγή των δεδομένων σε πρωτοκόλλο RS 485.
- Τέλος ένα ρούτερ για την μεταφορά του σήματος σε απομακρυσμένο χρήστη.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια τέτοια διάταξη.



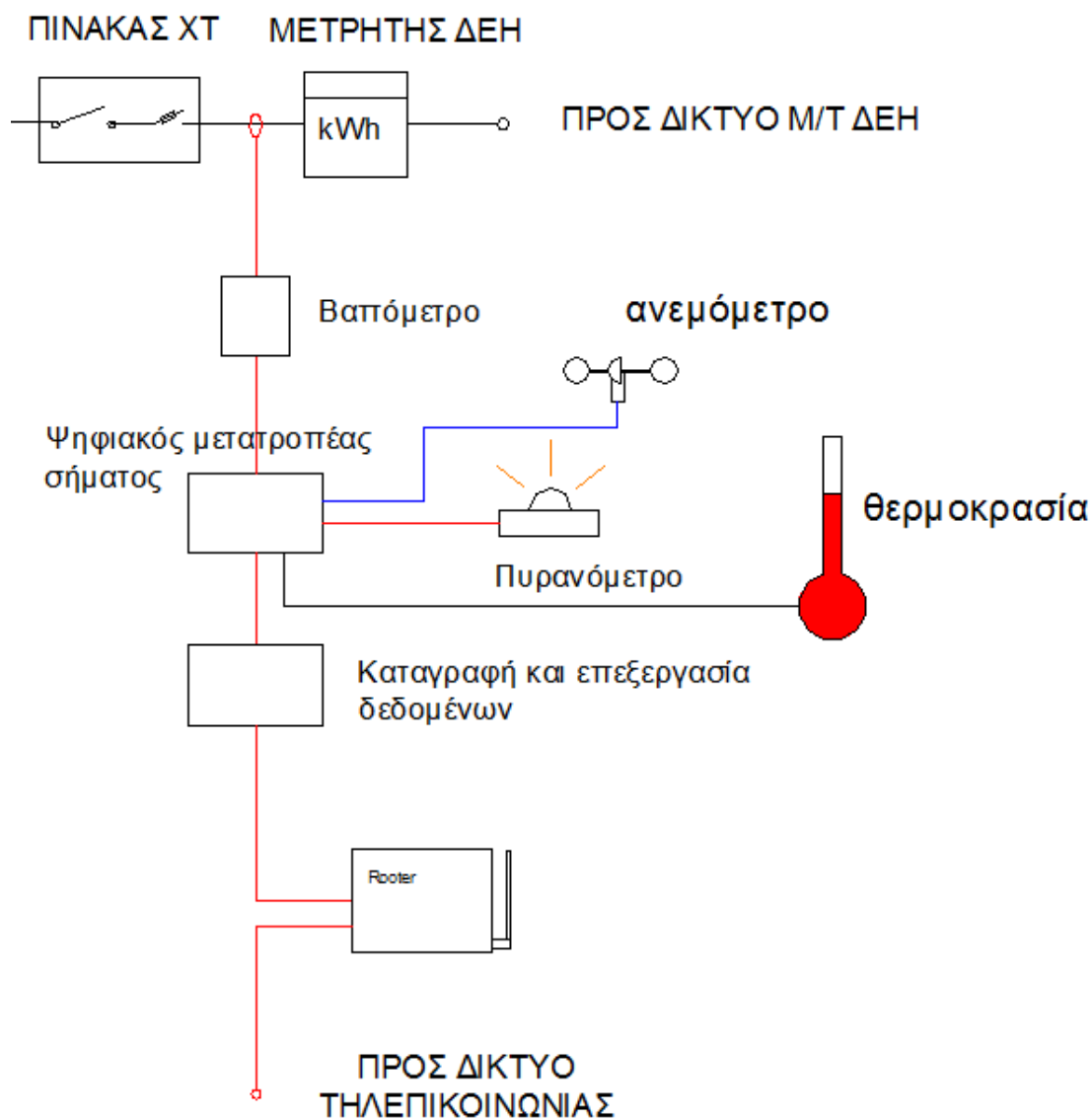
Σχήμα 9: Μπλοκ διάγραμμα της διάταξης μέτρησης

Από τα παραδείγματα που εξετάστηκαν πάρα κάτω φαίνονται έντονες διακυμάνσεις στο PR ακόμα και σε δύο συνεχόμενες ημέρες. Αυτό οφείλεται κυρίως στις κλιματολογικές συνθήκες, κυρίως θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία. Για αυτό το λόγο θεωρείται ότι είναι αναγκαίο για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της ηλιακή ακτινοβολίας. Η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να ελεγχθεί από τις τιμές του πυρανομέτρου. Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας

χρησιμοποιούνται θερμομέτρα μέτρησης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της θερμοκρασίας κυψέλης.

Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιήσουμε και ένα ανεμόμετρο για να δούμε πως επιδρά στη μείωση της θερμοκρασίας των ΦΒ πλαισίων, η ταχύτητα του ανέμου.

Έτσι μια ολοκληρωμένη διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 10: Μπλοκ διάγραμμα της διάταξης μέτρησης του PR με επιπλέον βοηθητικούς αισθητήρες που βοηθούν στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

5.3 Παραδείγματα μέτρησης PR

Σε αυτή την παράγραφο θα δούμε πως αξιολογώντας τα δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό και το καταγραφικό ενός ΦΒ πάρκου. Το σύστημα διαχείρισης και μεταφοράς δεδομένων μπορεί να μας παρέχει δεδομένα όπως η ηλιακή προσπίπτουσα ακτινοβολία και την ημερίσια παραγωγή. Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας γίνονται ανά πεντάλεπτο, αλλά για πρακτικούς λόγους θα χρησιμοποιήσουμε αυτές που είναι δεκαπεντάλεπτο.

	10/7/2010		5/7/2010		4/7/2011	
Time	Hd (W/m ²)	Wh/m ²	Hd (W/m ²)	Wh/m ²	Hd (W/m ²)	Wh/m ²
0:15	0,00		0,00		0,00	
0:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:15	0,40	0,05	0,61	0,08	0,61	0,08
5:30	0,61	0,13	0,40	0,13	0,54	0,14
5:45	0,95	0,20	0,88	0,16	1,09	0,20
6:00	1,62	0,32	1,49	0,30	1,35	0,31
6:15	5,47	0,89	5,51	0,88	4,01	0,67
6:30	13,24	2,34	13,77	2,41	11,85	1,98

6:45	26,38	4,95	26,24	5,00	24,58	4,55
7:00	41,27	8,46	38,98	8,15	36,93	7,69
7:15	56,84	12,26	51,09	11,26	47,70	10,58
7:30	71,15	16,00	64,66	14,47	60,39	13,51
7:45	91,26	20,30	80,37	18,13	75,97	17,04
8:00	113,58	25,60	105,37	23,22	98,22	21,77
8:15	148,63	32,78	144,34	31,21	132,24	28,81
8:30	194,69	42,92	183,60	40,99	176,09	38,54
8:45	250,22	55,61	236,20	52,48	229,38	50,68
9:00	313,33	70,44	297,74	66,74	288,48	64,73
9:15	378,14	86,43	361,64	82,42	353,89	80,30
9:30	444,10	102,78	428,51	98,77	421,35	96,90
9:45	515,23	119,92	491,48	115,00	484,71	113,26
10:00	579,00	136,78	553,97	130,68	550,73	129,43
10:15	653,18	154,02	614,94	146,11	613,99	145,59
10:30	677,12	166,29	673,35	161,04	677,22	161,40
10:45	365,82	130,37	726,73	175,01	732,31	176,19
11:00	384,96	93,85	778,57	188,16	776,46	188,60
11:15	247,66	79,08	827,14	200,71	839,38	201,98
11:30	708,70	119,54	869,77	212,11	889,83	216,15
11:45	787,17	186,98	915,93	223,21	924,58	226,80
12:00	958,59	218,22	955,02	233,87	963,29	235,98
12:15	903,15	232,72	989,82	243,10	994,24	244,69
12:30	558,35	182,69	1007,31	249,64	1022,42	252,08
12:45	855,01	176,67	1026,83	254,27	1035,49	257,24
13:00	1054,98	238,75	1034,27	257,64	1057,74	261,65
13:15	427,15	185,27	1045,60	259,98	1056,29	264,25
13:30	512,90	117,51	1048,79	261,80	1073,21	266,19
13:45	405,19	114,76	1057,80	263,32	1081,91	269,39
14:00	773,66	147,36	1057,45	264,41	1077,82	269,97
14:15	931,53	213,15	1057,62	264,38	1076,33	269,27
14:30	803,96	216,94	1033,25	261,36	1053,99	266,29
14:45	919,88	215,48	1005,68	254,87	1034,58	261,07
15:00	623,15	192,88	990,40	249,51	1010,67	255,66
15:15	792,34	176,94	955,02	243,18	989,32	250,00
15:30	921,48	214,23	935,72	236,34	962,58	243,99
15:45	850,28	221,47	906,09	230,23	929,86	236,55
16:00	701,09	193,92	846,29	219,05	883,32	226,65
16:15	272,99	121,76	809,76	207,01	831,75	214,38
16:30	356,06	78,63	757,77	195,94	786,84	202,32
16:45	552,98	113,63	708,70	183,31	737,28	190,52
17:00	441,02	124,25	652,72	170,18	669,82	175,89

17:15	417,36	107,30	601,96	156,84	615,83	160,71
17:30	372,19	98,69	530,55	141,56	551,98	145,98
17:45	437,36	101,19	483,24	126,72	487,19	129,90
18:00	449,37	110,84	414,03	112,16	414,30	112,69
18:15	376,00	103,17	347,70	95,22	350,58	95,61
18:30	303,33	84,92	278,99	78,34	280,99	78,95
18:45	234,70	67,25	221,48	62,56	210,24	61,40
19:00	176,07	51,35	174,94	49,55	159,20	46,18
19:15	109,62	35,71	137,57	39,06	116,91	34,51
19:30	76,98	23,32	106,43	30,50	82,40	24,91
19:45	73,08	18,76	81,80	23,53	58,78	17,65
20:00	56,51	16,20	61,02	17,85	46,03	13,10
20:15	38,59	11,89	48,51	13,69	36,03	10,26
20:30	25,64	8,03	34,66	10,40	25,23	7,66
20:45	11,37	4,63	17,64	6,54	13,60	4,85
21:00	4,79	2,02	5,03	2,83	4,33	2,24
21:15	2,17	0,87	1,92	0,87	0,71	0,63
21:30	0,00	0,27	0,00	0,24	0,00	0,09
21:45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Tot. Hd	6212,524	Tot. Hd	7980,301	Tot. Hd	8058,818

Πίνακας 26: Πίνακας της καταγραφόμενης ηλιακής ακτινοβολίας Hd ανά δεκαπέντε λεπτά.

Το εμβαδόν κάθε ΦΒ πλαισίου είναι Α.
 $A=1,6335\text{m}^2$

Ο αριθμός των ΦΒ πλαισίων του ΦΒ πάρκου είναι:
 $\text{Num.PV}=432$

Η συνολική επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων που απαρτίζουν το ΦΒ πάρκο είναι:
 $\text{Tot.A}= 705,672 \text{ m}^2$

Η απόδοση των ΦΒ πλαισίων είναι 14,08% και υπολογίζεται:

$$n = \frac{P(\text{Watt})}{A(\text{m}^2) \times 1000(\text{Watt}/\text{m}^2)} \times 100\% = \frac{230}{1,6335 \times 1000} \times 100\% = 14,08\%$$

Στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε το PR για τις 04/07/2010 για τις 05/07/2010 και για τις 10/7/2011.

Από τον τύπο υπολογίζω την εισερχόμενη προσπίπτουσα ενέργεια.

$$E_{in} = Tot.Hd \times TA \times n$$

Για τις 10/07/2010

$$E_{in} = Tot.Hd \times TA \times n = 6,212524 \times 705,672 \times 0,1408 = 617,2763 \text{ kWh}$$

Για τις 05/07/2010

$$E_{in} = Tot.Hd \times TA \times n = 7,980301 \times 705,672 \times 0,1408 = 792,9227 \text{ kWh}$$

Για τις 04/07/2011

$$E_{in} = Tot.Hd \times TA \times n = 8,058818 \times 705,672 \times 0,1408 = 800,7242 \text{ kWh}$$

Απο την βάση δεδομένων του συστήματος καταγραφής δεδομένων προκύπτει ότι

Για τις 10/07/2010 η παραγωγή E_{out} ήταν: 464,63 kWh

Για τις 05/07/2010 η παραγωγή E_{out} ήταν: 609,77 kWh

Για τις 04/07/2011 η παραγωγή E_{out} ήταν: 628,84 kWh

Ετσι το PR για τις 10/07/2010

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% = \frac{464,63}{617,2763} = 75,27\%$$

Ετσι το PR για τις 05/07/2010

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% = \frac{609,77}{792,9227} = 76,90\%$$

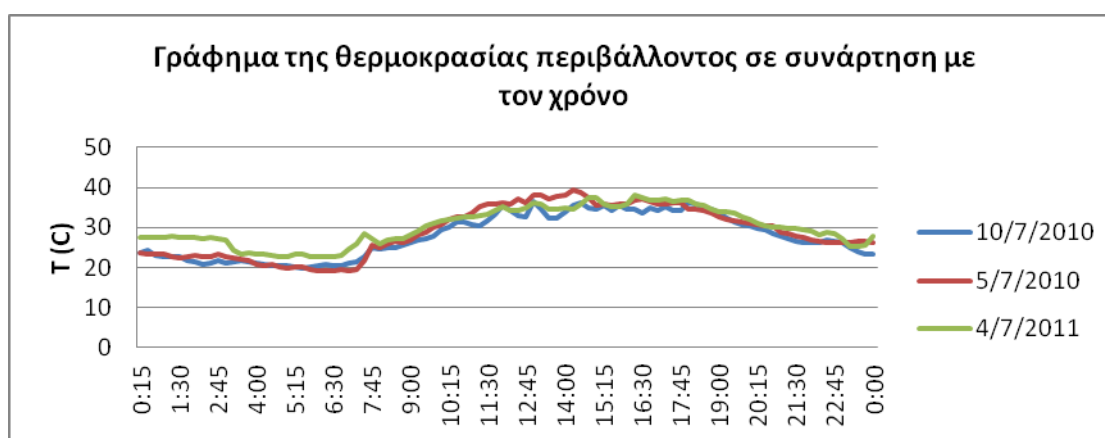
Ετσι το PR για τις 04/07/2011

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% = \frac{628,84}{800,7242} = 78,53\%$$

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας συναρτήση του χρόνου t για τις εν λόγω ημερομηνίες.

Παρατηρήσεις

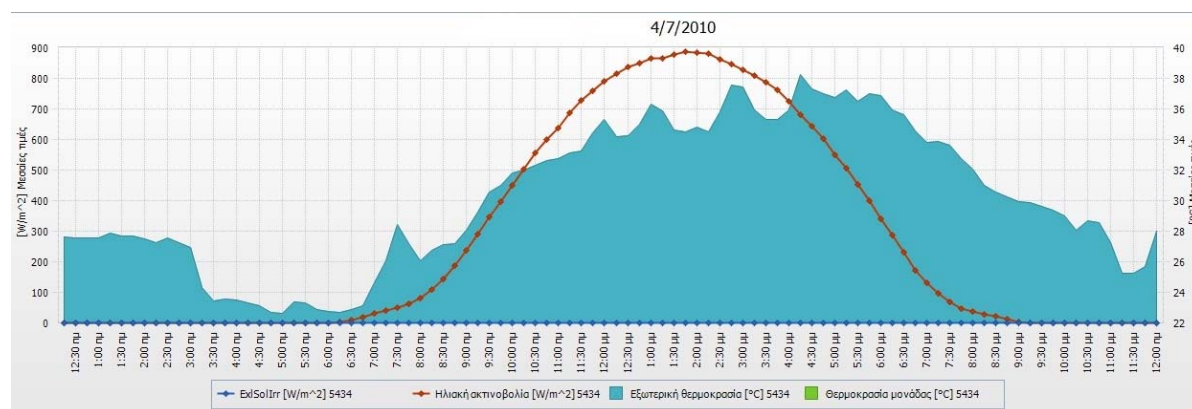
Συγκρίνοντας τις γραφικές παραστάσεις και τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις 04/07/2010 και για τις 05/07/2010 βλέπουμε ότι το PR είναι αντίστοιχα 78,53% και 76,90%. Η διαφορά είναι αξιοσημείωτη αλλά όχι μεγάλη και έγκειται στο γεγονός ότι είχαμε διαφορετικές θερμοκρασίες. Στις 10/7/2011 έχουμε διαφορετική ηλιακή ακτινοβολία παρόλα αυτά δεν έχουμε ιδιαίτερη πτώση στο PR, πέρα από την φυσιολογική λόγω γύρασης των ΦΒ πλαισίων και αυτό συμβαίνει γιατί το ποσοστό της ηλιακή ακτινοβολίας επηρεάζει το ίδιο τους δύο παράγοντες του PR (E_{in} , E_{out}). Για να παρατηρούνται σφάλματα σε περιπτώσεις μεταβολής της ηλιακή ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας απαραίτητη προϋπόθεση είναι η κεψέλη του πυρανόμετρου και των ΦΒ πλαισίων είναι ίδιας τεχνολογίας.



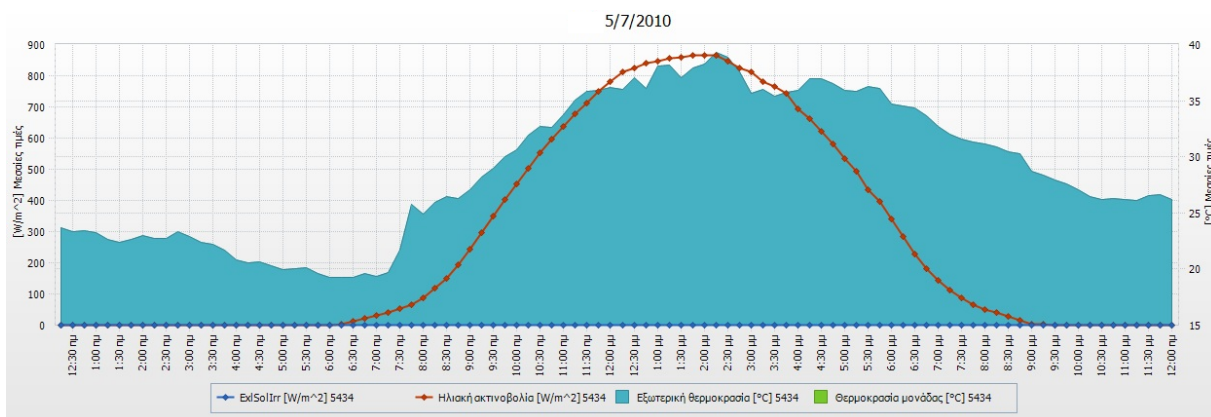
Σχήμα 11:

	10/7/2010	5/7/2010	4/7/2011
Max	36,58	39,31	38,26
Average	27,88	28,92	30,21
Min	19,85	19,23	22,61
PR	78,53%	76,90%	75,27%

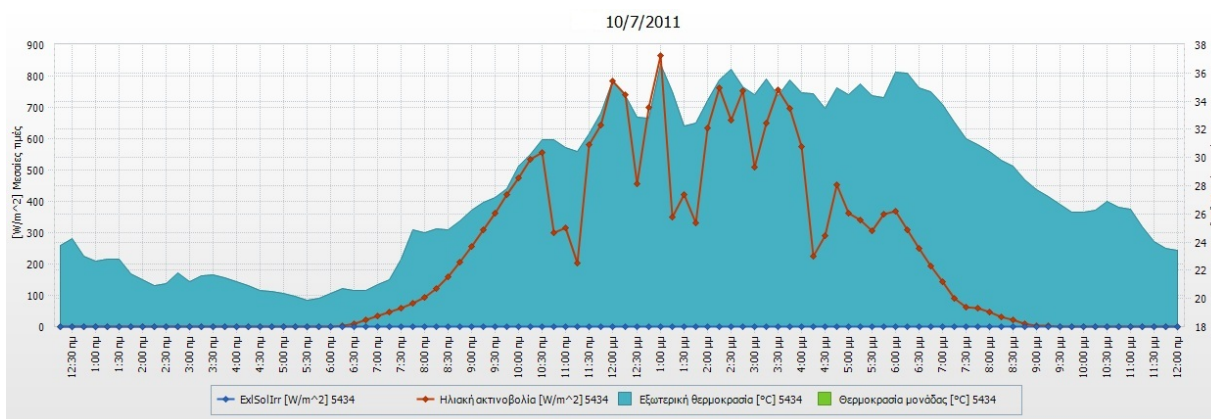
Πίνακας 27: Συσχετισμός Μέγιστης, Ελάχιστης και Μέσης Θερμοκρασίας με το PR.



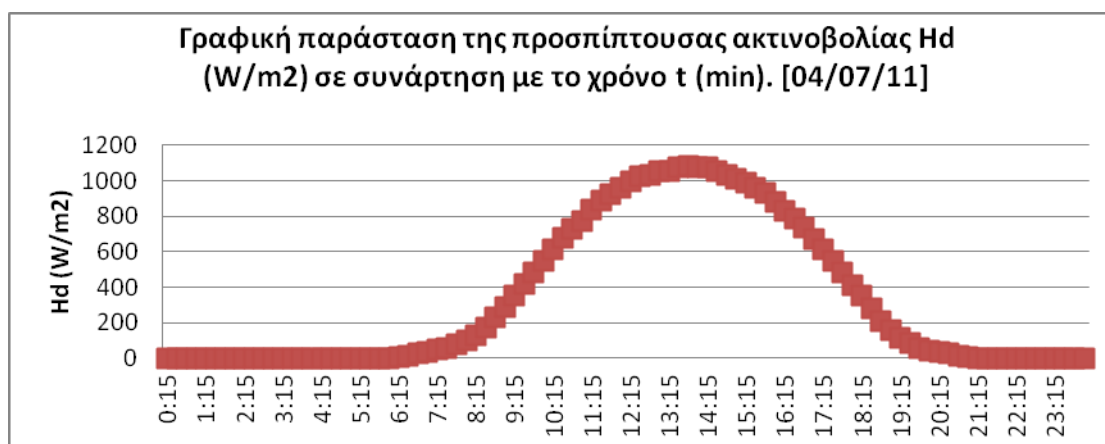
Σχήμα 12:



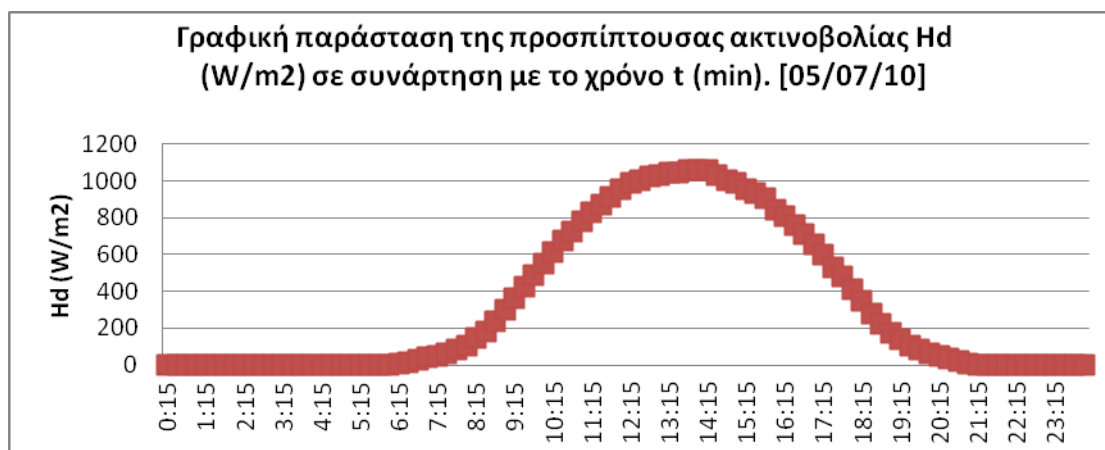
Σχήμα 13:



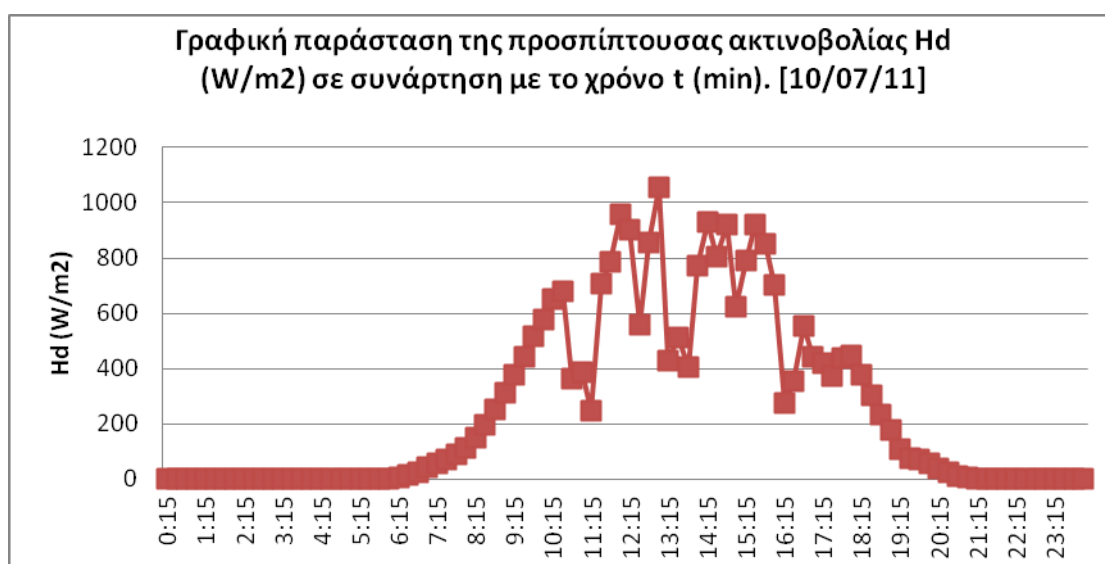
Σχήμα 14:



Σχήμα 15: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας H_d (W/m^2) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min)



Σχήμα 16: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Hd (W/m2) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min)



Σχήμα 17: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Hd (W/m2) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min)

Όμοιος θα εξετάσουμε το PR για δύο ανοιξιάτικες μέρες. Παρακατώ ακολουθεί ο πίνακας καταγραφής των δεδομένων την ηλιακής ακτινοβολίας.

Time	9/4/2011		10/4/2011	
	Hd (W/m2)	Wh/m2	Hd (W/m2)	Wh/m2
0:15	0		0,00	
0:30	0	0	0,00	0,00
0:45	0	0	0,00	0,00
1:00	0	0	0,00	0,00
1:15	0	0	0,00	0,00

1:30	0	0	0,00	0,00
1:45	0	0	0,00	0,00
2:00	0	0	0,00	0,00
2:15	0	0	0,00	0,00
2:30	0	0	0,00	0,00
2:45	0	0	0,00	0,00
3:00	0	0	0,00	0,00
3:15	0	0	0,00	0,00
3:30	0	0	0,00	0,00
3:45	0	0	0,00	0,00
4:00	0	0	0,00	0,00
4:15	0	0	0,00	0,00
4:30	0	0	0,00	0,00
4:45	0	0	0,00	0,00
5:00	0	0	0,00	0,00
5:15	0	0	0,00	0,00
5:30	0	0	0,00	0,00
5:45	0	0	0,00	0,00
6:00	3,5868	0,44835	3,61	0,45
6:15	9,9064	1,68665	10,71	1,79
6:30	27,6086	4,689375	25,21	4,49
6:45	50,7398	9,79355	43,30	8,56
7:00	74,8348	15,69683	76,27	14,95
7:15	98,8566	21,71143	104,98	22,66
7:30	133,0044	28,98263	155,04	32,50
7:45	192,5526	40,69463	217,01	46,51
8:00	275,964	58,56458	256,14	59,14
8:15	360,2538	79,52723	362,56	77,34
8:30	442,0426	100,2871	436,74	99,91
8:45	519,3296	120,1715	514,69	118,93
9:00	595,1526	139,3103	588,16	137,86
9:15	662,8504	157,2504	661,69	156,23
9:30	734,1106	174,6201	731,94	174,20
9:45	798,6486	191,5949	789,61	190,19
10:00	854,5124	206,6451	850,88	205,06
10:15	911,0106	220,6904	905,64	219,56
10:30	962,8484	234,2324	957,02	232,83
10:45	1004,4504	245,9124	995,73	244,09
11:00	1040,782	255,6541	1032,89	253,58
11:15	1070,6598	263,9302	1066,26	262,39
11:30	1097,9146	271,0718	1092,85	269,89
11:45	1116,361	276,7845	1114,17	275,88

12:00	1132,1356	281,0621	1129,18	280,42
12:15	1141,859	284,2493	1135,70	283,11
12:30	1145,9704	285,9787	1136,95	284,08
12:45	1143,7256	286,212	1143,24	285,02
13:00	1140,2486	285,4968	1140,43	285,46
13:15	1124,047	283,037	1137,22	284,71
13:30	1104,9296	278,6221	1116,09	281,66
13:45	1083,604	273,5667	1091,84	275,99
14:00	1063,1324	268,3421	1064,45	269,54
14:15	1043,5758	263,3385	1031,44	261,99
14:30	1003,1694	255,8432	995,52	253,37
14:45	955,016	244,7732	952,26	243,47
15:00	911,8768	233,3616	902,90	231,89
15:15	864,919	222,0995	853,91	219,60
15:30	809,2504	209,2712	793,18	205,89
15:45	762,5244	196,4719	736,22	191,18
16:00	692,6916	181,902	673,68	176,24
16:15	628,239	165,1163	602,11	159,47
16:30	533,689	145,241	528,59	141,34
16:45	458,7444	124,0542	453,75	122,79
17:00	383,7998	105,318	379,88	104,20
17:15	307,318	86,38973	305,27	85,64
17:30	235,3746	67,83658	231,14	67,05
17:45	168,9456	50,54003	167,93	49,88
18:00	111,264	35,0262	113,07	35,13
18:15	63,6596	21,86545	72,27	23,17
18:30	40,9432	13,07535	43,42	14,46
18:45	22,6798	7,952875	22,89	8,29
19:00	10,37	4,131225	9,15	4,00
19:15	2,623	1,624125	2,81	1,49
19:30	0	0,327875	0,00	0,35
19:45	0	0	0,00	0,00
20:00	0	0	0,00	0,00
20:15	0	0	0,00	0,00
20:30	0	0	0,00	0,00
20:45	0	0	0,00	0,00
21:00	0	0	0,00	0,00
21:15	0	0	0,00	0,00
21:30	0	0	0,00	0,00
21:45	0	0	0,00	0,00
22:00	0	0	0,00	0,00
22:15	0	0	0,00	0,00

22:30	0	0	0,00	0,00
22:45	0	0	0,00	0,00
23:00	0	0	0,00	0,00
23:15	0	0	0,00	0,00
23:30	0	0	0,00	0,00
23:45	0	0	0,00	0,00
0:00	0	0	0,00	0,00
	Tot. Hd	8282,077	Tot. Hd	8239,898

Πίνακας 28: Πίνακας της καταγραφόμενης ηλιακής ακτινοβολίας Hd ανά δεκαπέντε λεπτά.

Όπως αναφέρθηκε το εμβαδόν κάθε ΦΒ πλαισίου είναι A.
 $A=1,6335\text{m}^2$

Ο αριθμός των ΦΒ πλαισίων του ΦΒ πάρκου είναι:
 Num.PV=432

Η συνολική επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων που απαρτίζουν το ΦΒ πάρκο είναι:
 Tot.A= 705,672 m²

Η απόδοση των ΦΒ πλαισίων είναι 14,08% και υπολογίζεται:

$$n = \frac{P(\text{Watt})}{A(\text{m}^2) \times 1000(\text{Watt}/\text{m}^2)} \times 100\% = \frac{230}{1,6335 \times 1000} \times 100\% = 14,08\%$$

Στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε το PR για τις 09/04/2011 για τις 10/04/2011.

Από τον τύπο υπολογίζω την εισερχόμενη προσπίπτουσα ενέργεια.

$$E_{in} = Tot.Hd \times TA \times n$$

Για τις 09/04/2011

$$E_{in} = Tot.Hd \times TA \times n = 8,282077 \times 705,672 \times 0,1408 = 822,9071\text{kWh}$$

Για τις 10/04/2011

$$E_{in} = Tot.Hd \times TA \times n = 8,239898 \times 705,672 \times 0,1408 = 818,7163\text{kWh}$$

Απο την βάση δεδομένων του συστήματος καταγραφής δεδομένων προκύπτει ότι

Για τις 09/04/2011 η παραγωγή E_{out} ήταν: 633,73kWh

Για τις 10/04/2011 η παραγωγή E_{out} ήταν: 642,76kWh

Ετσι το PR για τις 09/04/2011

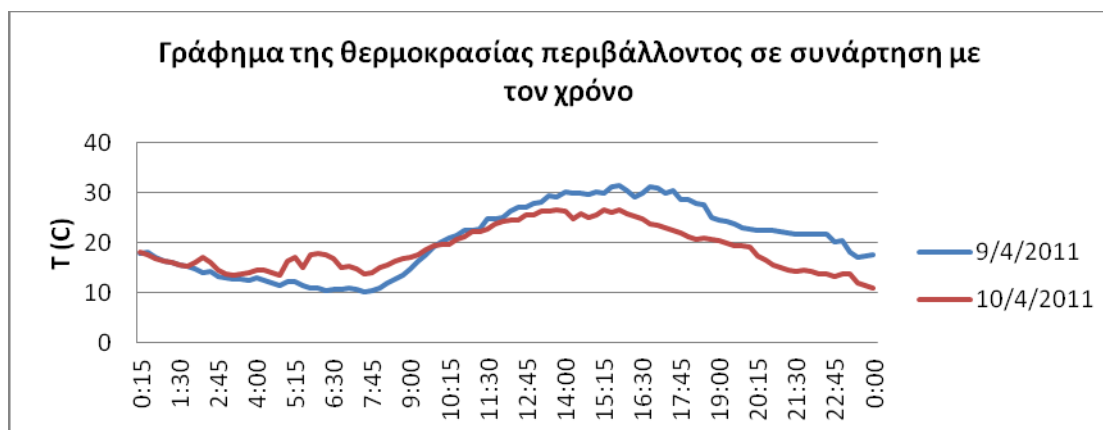
$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% = \frac{633,73}{822,9071} = 77,01\%$$

Ετσι το PR για τις 10/04/2011

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% = \frac{642,76}{818,7163} = 78,51\%$$

Παρατηρήσεις

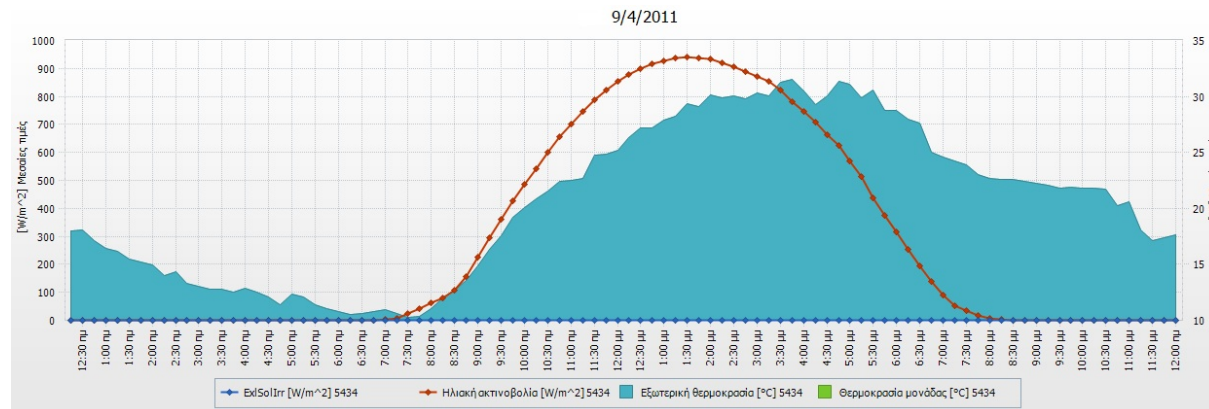
Συγκρίνοντας τις γραφικές παραστάσεις και τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις 09/04/2011 και για τις 10/04/2011 βλέπουμε ότι το PR είναι αντίστοιχα 77,01% και 78,50%. Οι επιλεγμένες ημερομηνίες είναι για δύο αίθριες διαδοχικές μέρες. Η διαφορά του PR είναι αξιοσημειώτη αλλά όχι μεγάλη, δεδομένου ότι στις 10/04/2010 είχαμε καλύτερες κλιματολογικές συνθήκες από ότι στις 09/04/2011. Παρατηρώντας το γράφημα της θερμοκρασίας παρατηρώ ότι στις ώρες αιχμής της παραγωγής στις 10/4/2011 είχαμε μικρότερες θερμοκρασίες από τις 09/04/2011, παρόλο που ο μέσος όρος της θερμοκρασίας περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερος στις 10/4/2011 από ότι στις 09/04/2011. Το πιθανότερο είναι να



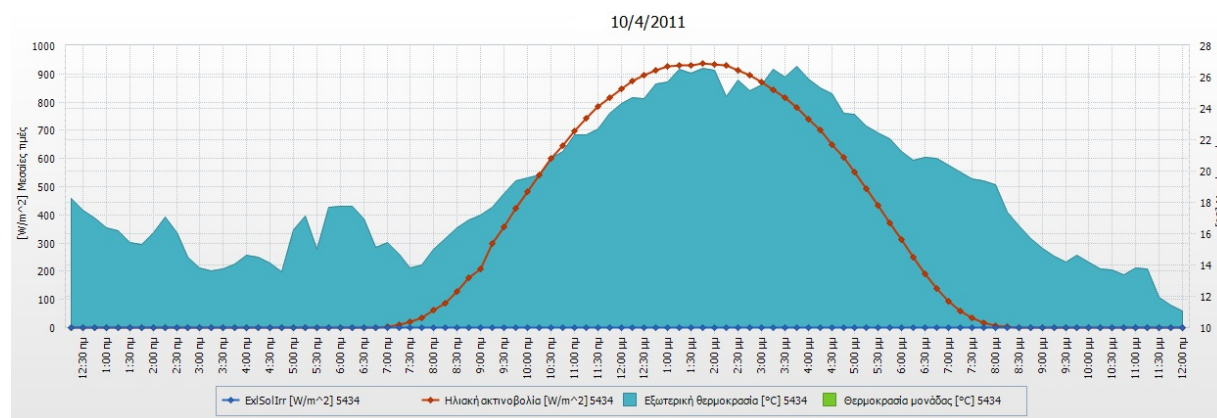
Σχήμα 18: Γραφική παράσταση της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τον χρόνο για τις συγκρινόμενες ημερομηνίες.

	9/4/2011	10/4/2011
Max	31,53	26,68
Average	20,48	18,76
Min	10,29	11,07
PR	77,01%	78,51%

Πίνακας 29: Συσχετισμός Μέγιστης, Ελάχιστης και Μέσης Θερμοκρασίας με το PR.

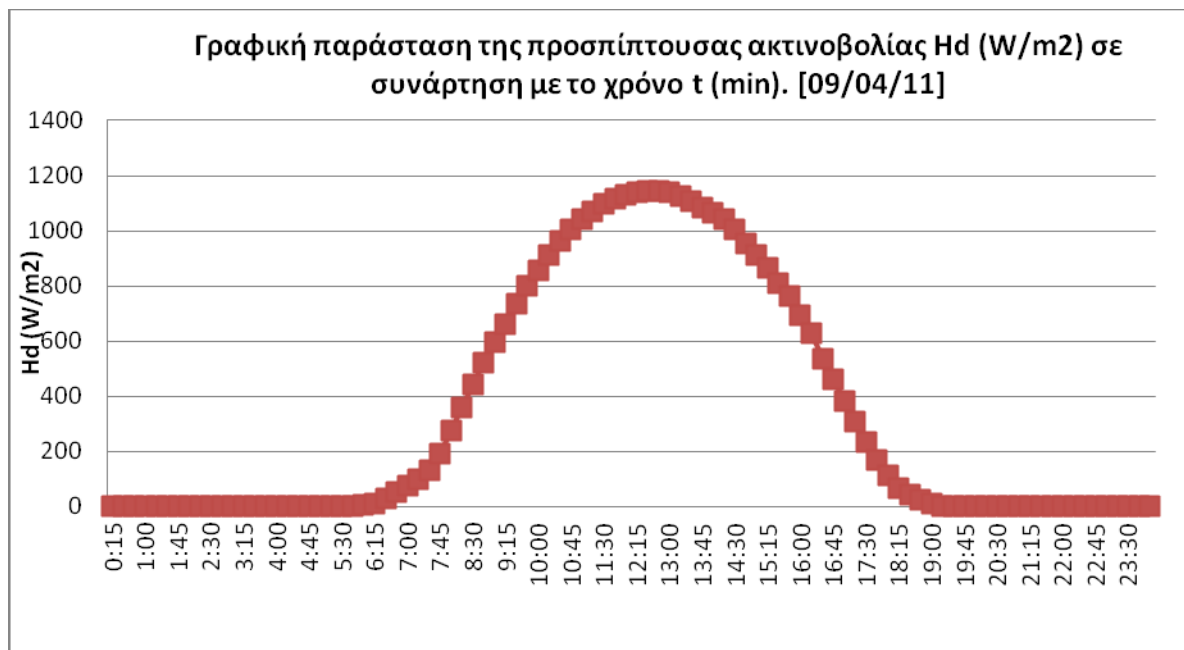


Σχήμα 19: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας H_d (W/m^2) και της Θερμοκρασίας T ($^{\circ}C$) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min).

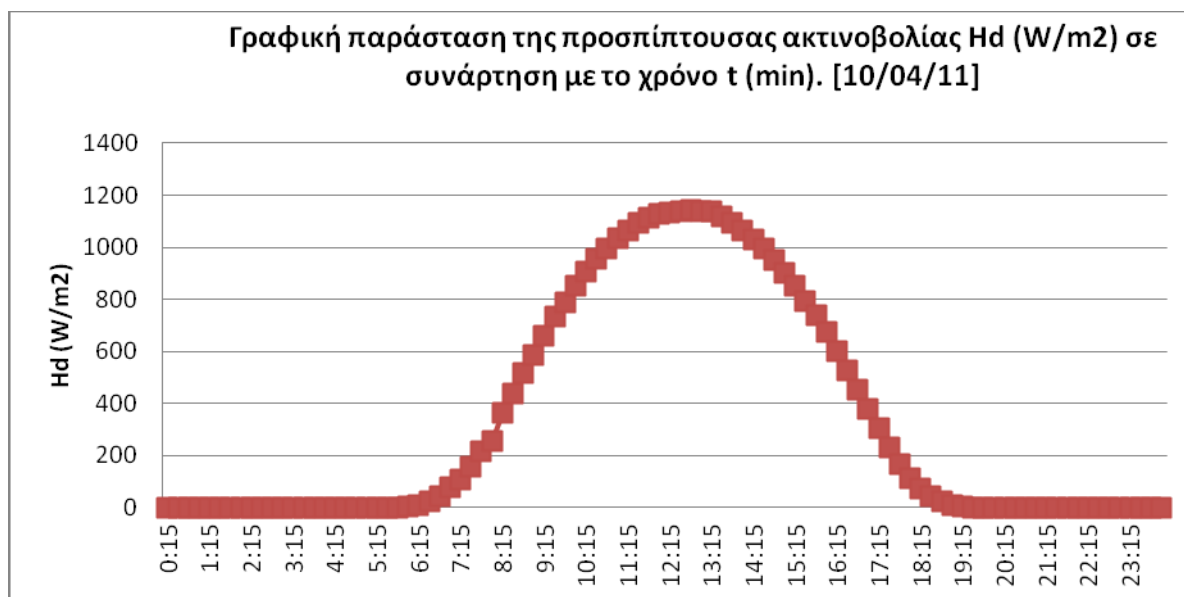


Σχήμα 20: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας H_d (W/m^2) και της Θερμοκρασίας T ($^{\circ}C$) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min).

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας συναρτήση του χρόνου t για τις εν λόγω ημερομηνίες.



Σχήμα 21: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Hd (W/m²) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min)



Σχήμα 22: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Hd (W/m²) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min)

Όμοιος θα εξετάσουμε το PR για δύο ανοιξιάτικες μέρες. Παρακατώ ακολουθεί ο πίνακας καταγραφής των δεδομένων την ηλιακής ακτινοβολίας.

10/11/2010	10/11/2011
------------	------------

Time	Hd (W/m2)	Wh/m2	Hd (W/m2)	Wh/m2
0:15	0		0	
0:30	0	0	0	0,00
0:45	0	0	0	0,00
1:00	0	0	0	0,00
1:15	0	0	0	0,00
1:30	0	0	0	0,00
1:45	0	0	0	0,00
2:00	0	0	0	0,00
2:15	0	0	0	0,00
2:30	0	0	0	0,00
2:45	0	0	0	0,00
3:00	0	0	0	0,00
3:15	0	0	0	0,00
3:30	0	0	0	0,00
3:45	0	0	0	0,00
4:00	0	0	0	0,00
4:15	0	0	0	0,00
4:30	0	0	0	0,00
4:45	0	0	0	0,00
5:00	0	0	0	0,00
5:15	0	0	0	0,00
5:30	0	0	0	0,00
5:45	0	0	0	0,00
6:00	0	0	0	0,00
6:15	0	0	0	0,00
6:30	0	0	0	0,00
6:45	0	0	0	0,00
7:00	2,3058	0,288225	3,1842	0,40
7:15	6,6978	1,12545	9,9918	1,65
7:30	20,5936	3,411425	25,1442	4,39
7:45	47,1652	8,46985	54,0704	9,90
8:00	72,4436	14,9511	115,5096	21,20
8:15	100,6256	21,63365	189,3318	38,11
8:30	136,9328	29,6948	266,7896	57,02
8:45	176,3022	39,154375	346,2238	76,63
9:00	229,421	50,7154	433,2586	97,44
9:15	273,0482	62,80865	510,631	117,99
9:30	328,0336	75,135225	581,8424	136,56
9:45	356,0326	85,508275	645,5752	153,43
10:00	389,7656	93,224775	704,6964	168,78
10:15	436,3086	103,259275	754,8628	182,44
10:30	445,6416	110,243775	804,651	194,94
10:45	480,3262	115,745975	852,1334	207,10
11:00	531,615	126,49265	815,6066	208,47
11:15	576,1328	138,468475	929,8352	218,18
11:30	580,2442	144,547125	969,229	237,38

11:45	594,506	146,843775	986,7604	244,50
12:00	595,5064	148,75155	953,8204	242,57
12:15	599,6422	149,393575	908,9366	232,84
12:30	606,9256	150,820975	958,859	233,47
12:45	595,8968	150,3528	953,0762	238,99
13:00	603,6316	149,94105	925,9434	234,88
13:15	605,9496	151,19765	913,8776	229,98
13:30	615,2826	152,654025	883,219	224,64
13:45	615,4778	153,84505	790,8772	209,26
14:00	602,1066	152,19805	816,3386	200,90
14:15	556,6128	144,839925	768,8684	198,15
14:30	525,82	135,3041	713,0778	185,24
14:45	503,3842	128,650525	649,3694	170,31
15:00	460,184	120,446025	589,9066	154,91
15:15	417,8622	109,755775	507,8128	137,21
15:30	379,542	99,675525	425,1334	116,62
15:45	329,6196	88,6452	359,3754	98,06
16:00	277,6232	75,90535	223,2966	72,83
16:15	219,0388	62,08275	204,6672	53,50
16:30	150,5114	46,193775	130,8328	41,94
16:45	96,5264	30,879725	78,3972	26,15
17:00	55,5588	19,01065	39,7842	14,77
17:15	23,8266	9,923175	12,3586	6,52
17:30	5,2338	3,63255	3,2452	1,95
17:45	1,22	0,806725	0	0,41
18:00	0,4758	0,211975	0	0,00
18:15	0,1342	0,07625	0	0,00
18:30	0,2074	0,0427	0	0,00
18:45	0,3416	0,068625	0	0,00
19:00	0,5368	0,1098	0	0,00
19:15	0,8174	0,169275	0	0,00
19:30	0,61	0,178425	0	0,00
19:45	0	0,07625	0	0,00
20:00	0	0	0	0,00
20:15	0	0	0	0,00
20:30	0	0	0	0,00
20:45	0	0	0	0,00
21:00	0	0	0	0,00
21:15	0	0	0	0,00
21:30	0	0	0	0,00
21:45	0	0	0	0,00
22:00	0	0	0	0,00
22:15	0	0	0	0,00
22:30	0	0	0	0,00
22:45	0	0	0	0,00
23:00	0	0	0	0,00
23:15	0	0	0	0,00

23:30	0	0	0	0,00
23:45	0	0	0	0,00
0:00	0	0	0	0,00

Πίνακας 30: Πίνακας της καταγραφόμενης ηλιακής ακτινοβολίας Hd ανά δεκαπέντε λεπτά.

Όπως αναφέρθηκε το εμβαδόν κάθε ΦΒ πλαισίου είναι A.
 $A=1,6335\text{m}^2$

Ο αριθμός των ΦΒ πλαισίων του ΦΒ πάρκου είναι:
 Num.PV=432

Η συνολική επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων που απαρτίζουν το ΦΒ πάρκο είναι:
 Tot.A= 705,672 m²

Η απόδοση των ΦΒ πλαισίων είναι 14,08% και υπολογίζεται:

$$n = \frac{P(\text{Watt})}{A(\text{m}^2) \times 1000(\text{Watt}/\text{m}^2)} \times 100\% = \frac{230}{1,6335 \times 1000} \times 100\% = 14,08\%$$

Στη συνέχεια μπορούμε να υπολογίσουμε το PR για τις 10/11/2010 για τις 10/11/2011.

Από τον τύπο υπολογίζω την εισερχόμενη προσπίπτουσα ενέργεια.

$$E_{in} = Tot.Hd \times TA \times n$$

Για τις 10/11/2011

$$E_{in} = Tot.Hd \times TA \times n = 3,807562 \times 705,672 \times 0,1408 = 378,3193\text{kWh}$$

Για τις 10/11/2010

$$E_{in} = Tot.Hd \times TA \times n = 5,706200 \times 705,672 \times 0,1408 = 566,6103\text{kWh}$$

Απο την βάση δεδομένων του συστήματος καταγραφής δεδομένων προκύπτει ότι

Για τις 10/11/2010 η παραγωγή E_{out} ήταν: 312,51kWh

Για τις 10/11/2011 η παραγωγή E_{out} ήταν: 457,27kWh

Ετσι το PR για τις 10/11/2010

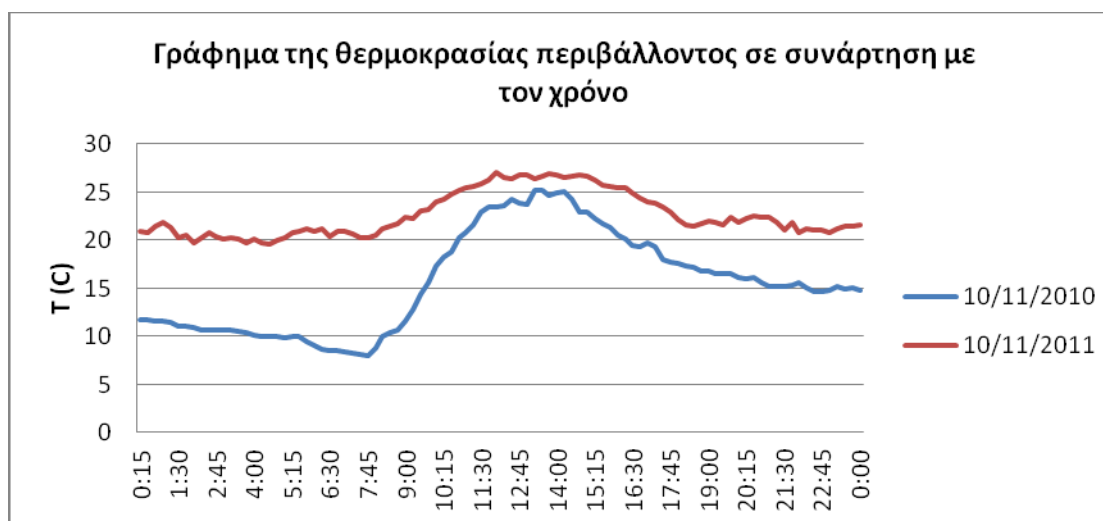
$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% = \frac{312,51}{378,3193} = 82,60\%$$

Ετσι το PR για τις 10/11/2011

$$PR = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% = \frac{457,27}{566,6103} = 80,70\%$$

Παρατηρήσεις

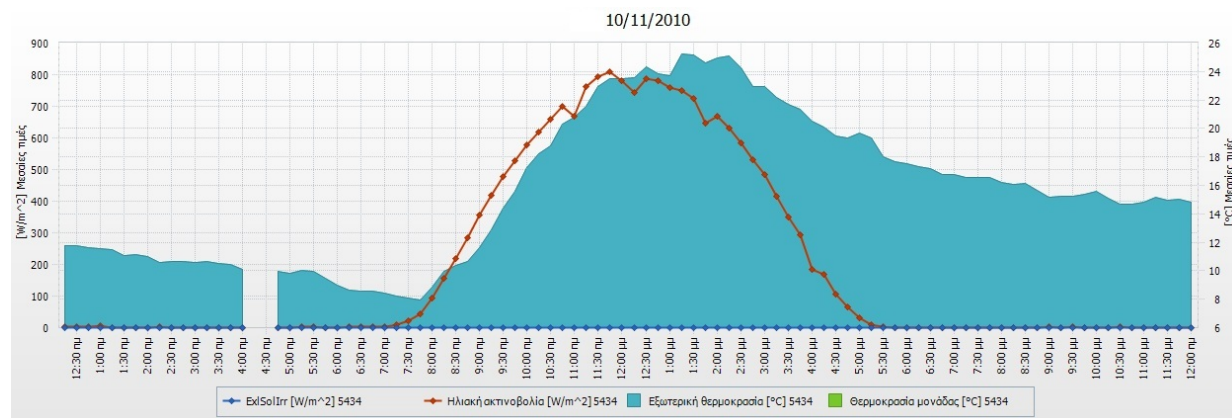
Από τις γραφικές παραστάσεις φαίνεται ότι πρόκειται για δύο αρκετά ηλιόλουστες μέρες. Το μετρούμενο PR στις 10/11/2010 είναι 82,60% ενώ στις 10/11/2011 είναι 80,70%. Η διαφορά του ποσοστού του PR είναι αξιοσημείωτη και αφενός οφείλεται στη γήρανση των ΦΒ πλαισίων και αφετέρου στις κλιματολογικές συνθήκες. Από τα παρακάτω γραφήματα και τους πίνακες που ακολουθούν φαίνεται ότι και η θερμοκρασία περιβάλλοντος στις 10/11/2011 ήταν σαφώς μεγαλύτερη από την θερμοκρασία στις 10/11/2010 γεγονός που συντελεί στη περεταίρω μείωση του PR.



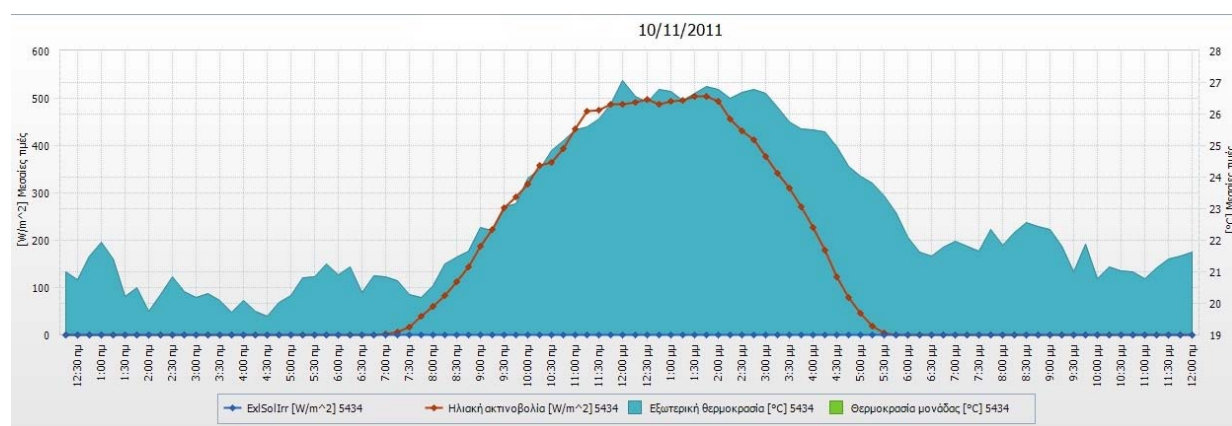
Σχήμα 23: Γραφική παράσταση της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τον χρόνο για τις συγκρινόμενες ημερομηνίες.

	10/11/2010	10/11/2011
Max	25,22	27,05
Average	15,61	22,65
Min	7,93	19,61
PR	82,60%	80,70%

Πίνακας 31: Συσχετισμός Μέγιστης, Ελάχιστης και Μέσης Θερμοκρασίας με το PR.



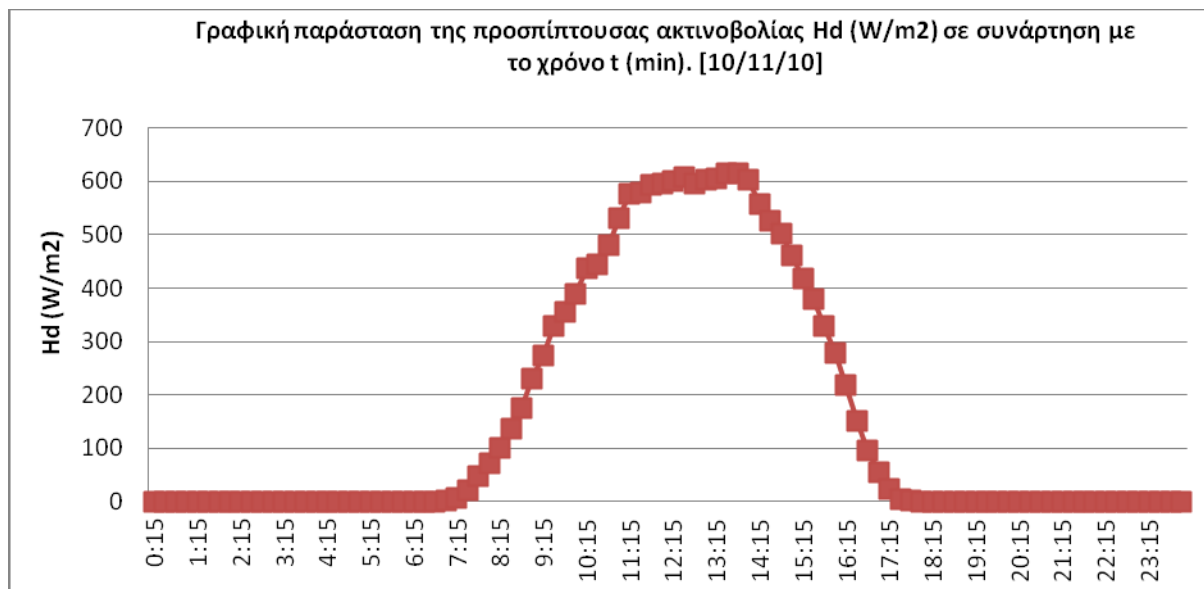
Σχήμα 24: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Hd (W/m²) και της Θερμοκρασίας T (C⁰) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min).



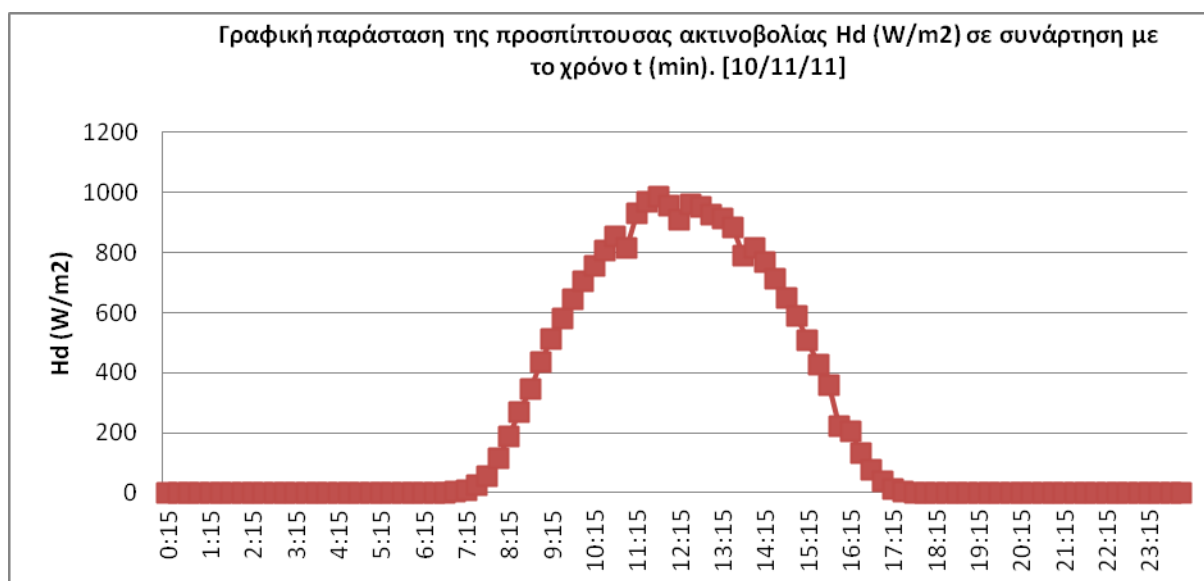
Σχήμα 25: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Hd (W/m²) και της Θερμοκρασίας T (C⁰) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min).

Επίσης γενικά παρατηρείται ότι τους πιο ψυχρούς μήνες το PR αυξάνεται και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πραγματική ισχύς των ΦΒ πλαισιάζει την ονομαστική γιατί δεν έχουμε πτώση της ισχύος λόγω αύξηση της θερμοκρασίας, γεγονός που παρατηρείται στους θερμότερους μήνες.

Ακολουθούν οι γραφικές παραστάσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας συναρτήση του χρόνου t για τις εν λόγω ημερομηνίες.



Σχήμα 26: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Hd (W/m²) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min)



Σχήμα 27: Γραφική παράσταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Hd (W/m²) σε συνάρτηση με το χρόνο t (min)

5.4 Συμπεράσματα - Παρατηρήσεις

5.4.1 Κλιματολογικές συνθήκες

Οι κλιματολογικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο στη μέτρηση του PR και αυτό μπορούμε να το δούμε με την μέτρηση του PR στους διάφορους μήνες του χρόνου. Η θερμοκρασία, η ταχύτητα του αέρα μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση

του ΦΒ σταθμού. Αυτό μπορούμε να το δούμε καλύτερα εάν εξετάσουμε την λειτουργία ενός ΦΒ σταθμού δύο συνεχόμενες μέρες όπου, ενώ η ηλιακή ακτινοβολία είναι ίδια, την πρώτη επικρατεί άπνοια και την επόμενη μέρα έχουμε δυνατούς ανέμους. Στη δεύτερη περίπτωση το PR της ημέρας θα είναι σαφώς καλύτερο αφού ο άνεμος συντελεί στη ψύξη των ΦΒ μονάδων, Επίσης εάν έχουμε δύο διαφορετικούς ΦΒ σταθμούς που ο ένας είναι ακριβή αντιγραφή του άλλου, δηλαδή αποτελούνται από τον ίδιο εξοπλισμό και έχουν ακριβώς το ίδιο μήκος και διατομή καλωδίων και δέχονται ακριβώς την ίδια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας ανά μέρα αλλά ο ένας βρίσκεται σε διαφορετικό υψόμετρο από τον άλλον, τότε αυτός που βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο θα έχει καλύτερο PR από εκείνον που είναι χαμηλότερα μιας και στις περιοχές με υψηλότερο υψόμετρο έχουμε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Έχει παρατηρηθεί ότι ανά εκατό μέτρα η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μειώνεται κατά έναν βαθμό Κελσίου.

Παρακάτω βλέπουμε ένα συγκεντρωτικό πίνακα μεταβολής της θερμοκρασίας περιβάλλοντος συναρτήσει του χρόνου. Οι μετρήσεις γίνονται κάθε δεκαπέντε λεπτά.

Time	10/11/2010	10/11/2011	10/7/2010	5/7/2010	4/7/2011	9/4/2011	10/4/2011
0:15	11,74	20,99	23,78	23,67	27,62	18	18,25
0:30	11,73	20,76	24,25	23,32	27,57	18,1	17,51
0:45	11,65	21,51	23,01	23,44	27,57	17,09	16,97
1:00	11,55	21,92	22,65	23,27	27,57	16,39	16,39
1:15	11,45	21,39	22,79	22,65	27,85	16,14	16,2
1:30	11,05	20,21	22,76	22,34	27,69	15,5	15,45
1:45	11,12	20,5	21,75	22,61	27,66	15,23	15,3
2:00	10,99	19,74	21,35	22,99	27,49	14,91	16,07
2:15	10,61	20,28	20,94	22,75	27,27	13,95	17,08
2:30	10,64	20,85	21,04	22,72	27,56	14,32	16,09
2:45	10,64	20,39	21,83	23,32	27,22	13,26	14,5
3:00	10,61	20,18	21,2	22,9	26,92	13	13,84
3:15	10,62	20,32	21,61	22,37	24,34	12,78	13,62
3:30	10,52	20,11	21,71	22,19	23,42	12,81	13,77
3:45	10,43	19,71	21,49	21,66	23,58	12,49	14,08
4:00	10,07	20,1	21,16	20,8	23,49	12,9	14,61
4:15	10	19,75	20,93	20,54	23,29	12,56	14,5
4:30	10	19,61	20,59	20,66	23,12	12,06	14,11
4:45	9,97	20,02	20,5	20,33	22,67	11,4	13,56
5:00	9,83	20,25	20,36	19,98	22,61	12,3	16,25
5:15	10,01	20,81	20,12	20,05	23,35	12,12	17,12
5:30	9,94	20,86	19,85	20,13	23,3	11,4	14,99
5:45	9,47	21,24	20,04	19,62	22,9	11,07	17,7
6:00	9	20,9	20,37	19,26	22,72	10,82	17,76
6:15	8,66	21,15	20,69	19,24	22,67	10,54	17,75
6:30	8,55	20,34	20,6	19,23	22,87	10,6	16,96

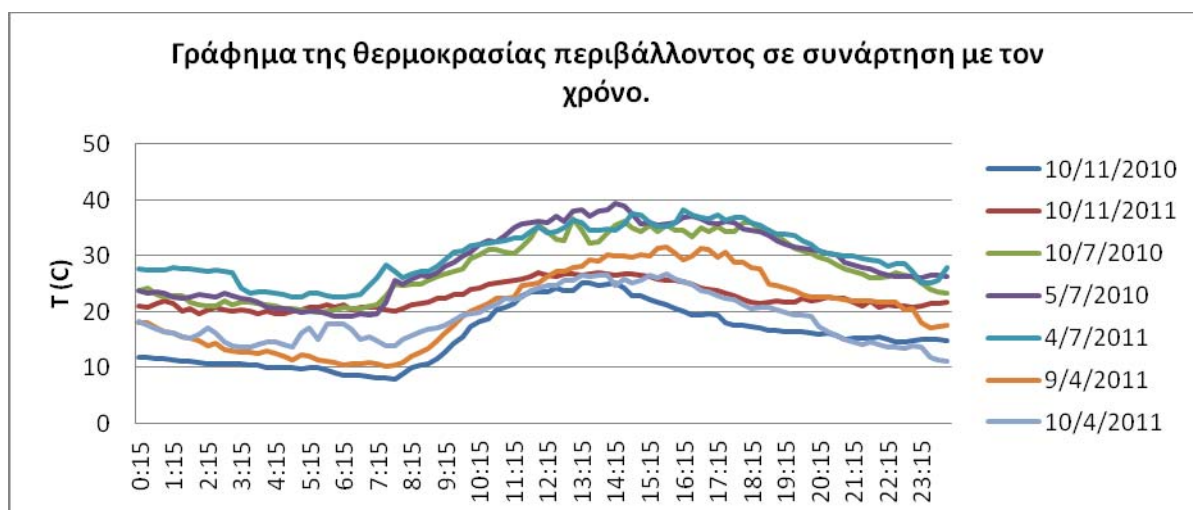
6:45	8,57	20,89	20,6	19,61	23,15	10,77	15,16
7:00	8,46	20,86	21	19,35	24,64	10,97	15,42
7:15	8,21	20,71	21,34	19,68	26,06	10,58	14,71
7:30	8,07	20,27	22,81	21,7	28,41	10,29	13,84
7:45	7,93	20,2	24,86	25,73	27,2	10,35	14
8:00	8,86	20,56	24,69	24,91	26,07	11	15,02
8:15	9,98	21,24	24,97	25,94	26,78	12,02	15,68
8:30	10,4	21,47	24,85	26,48	27,15	12,66	16,36
8:45	10,68	21,66	25,53	26,25	27,21	13,53	16,86
9:00	11,64	22,41	26,25	27,03	28,08	14,9	17,16
9:15	12,86	22,31	26,85	28,17	29,28	16,31	17,69
9:30	14,4	23,05	27,17	28,95	30,57	17,59	18,55
9:45	15,58	23,15	27,79	30,05	30,98	19,17	19,35
10:00	17,28	23,97	29,42	30,62	31,84	20,08	19,56
10:15	18,21	24,24	30,21	31,96	32,01	20,87	19,78
10:30	18,79	24,85	31,24	32,69	32,32	21,5	20,78
10:45	20,3	25,16	31,25	32,62	32,62	22,41	21,27
11:00	20,8	25,5	30,7	33,76	32,78	22,47	22,34
11:15	21,58	25,59	30,42	35,09	33,14	22,7	22,28
11:30	22,93	25,86	31,68	35,83	33,22	24,72	22,7
11:45	23,47	26,32	33,17	35,95	34,42	24,83	23,68
12:00	23,48	27,05	35,45	36,22	35,34	25,19	24,3
12:15	23,54	26,55	34,39	35,97	34,21	26,3	24,66
12:30	24,3	26,39	32,89	37,06	34,26	27,16	24,62
12:45	23,85	26,79	32,81	36,11	34,98	27,2	25,54
13:00	23,7	26,73	36,58	38,08	36,34	27,86	25,67
13:15	25,22	26,45	34,65	38,21	35,88	28,2	26,48
13:30	25,16	26,67	32,24	37,03	34,61	29,33	26,27
13:45	24,61	26,89	32,44	37,94	34,51	29,12	26,57
14:00	24,95	26,77	34,04	38,24	34,84	30,16	26,46
14:15	25,1	26,49	35,53	39,31	34,53	29,89	24,76
14:30	24,29	26,67	36,26	38,86	35,8	30,08	25,84
14:45	22,95	26,78	35,02	37,54	37,56	29,82	25,15
15:00	22,92	26,65	34,44	35,64	37,44	30,3	25,51
15:15	22,2	26,23	35,57	35,97	35,93	30,08	26,51
15:30	21,7	25,75	34,42	35,44	35,32	31,29	26
15:45	21,35	25,53	35,51	35,78	35,31	31,53	26,68
16:00	20,51	25,51	34,58	35,92	35,92	30,51	25,86
16:15	20,1	25,44	34,56	36,97	38,26	29,28	25,31
16:30	19,44	24,98	33,51	37	37,34	30,02	24,92
16:45	19,32	24,34	34,97	36,57	36,98	31,35	23,7
17:00	19,68	24,02	34,43	35,91	36,72	31,08	23,6

17:15	19,33	23,81	35,21	35,83	37,23	29,84	22,9
17:30	18,02	23,4	34,41	36,26	36,53	30,6	22,43
17:45	17,66	22,88	34,24	36,06	36,99	28,74	22,07
18:00	17,56	22,11	36,04	34,74	36,87	28,74	21,24
18:15	17,31	21,64	36,01	34,56	35,94	27,93	20,68
18:30	17,17	21,5	34,92	34,33	35,6	27,65	20,86
18:45	16,76	21,79	34,68	33,66	34,56	25	20,82
19:00	16,73	21,98	33,76	32,71	33,84	24,6	20,37
19:15	16,54	21,82	32,48	32,03	33,89	24,27	19,93
19:30	16,54	21,65	31,36	31,57	33,64	23,86	19,51
19:45	16,54	22,33	30,9	31,31	32,72	23,02	19,36
20:00	16,17	21,86	30,42	31,17	32,05	22,71	19,11
20:15	16,05	22,24	29,83	30,89	30,97	22,58	17,36
20:30	16,15	22,57	29,37	30,43	30,54	22,59	16,48
20:45	15,64	22,45	28,42	30,31	30,25	22,39	15,67
21:00	15,14	22,36	27,74	28,73	29,96	22,26	15,04
21:15	15,22	21,81	27,27	28,39	29,9	22,03	14,58
21:30	15,25	21,01	26,71	27,92	29,63	21,83	14,2
21:45	15,34	21,88	26,12	27,63	29,36	21,85	14,61
22:00	15,56	20,79	26,13	27,06	29	21,79	14,19
22:15	15,07	21,16	26,29	26,43	28,08	21,82	13,78
22:30	14,67	21,03	26,89	26,24	28,69	21,71	13,67
22:45	14,65	21	26,44	26,26	28,56	20,27	13,35
23:00	14,84	20,77	26,3	26,22	27,25	20,57	13,82
23:15	15,15	21,13	25,07	26,14	25,26	18,05	13,72
23:30	14,97	21,41	24,03	26,54	25,24	17,12	11,92
23:45	15,04	21,5	23,54	26,65	25,71	17,4	11,46
0:00	14,85	21,64	23,4	26,2	28,02	17,61	11,07

Max	25,22	27,05	36,58	39,31	38,26	31,53	26,68
Average	15,61	22,65	27,88	28,92	30,21	20,48	18,76
Min	7,93	19,61	19,85	19,23	22,61	10,29	11,07
PR	82,60%	80,70%	78,53%	76,90%	75,27%	77,01%	78,51%

Πίνακας 32: Συγκεντρωτικός Πίνακας ανα ημερομηνία που δείχνει την θερμοκρασία περιβάλλοντος ανά τέταρτο και τα αποτελέσματα της ελάχιστης, μέγιστης και μέσης θερμοκρασίας καθώς και το συσχετισμό με το PR.

Στην συνέχεια γίνεται απεικόνιση των μετρήσεων του πίνακα σε γράφημα.



Σχήμα 28: Γραφική παράσταση της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τον χρόνο για τις συγκρινόμενες ημερομηνίες.

5.4.2 Χρονικό διάστημα καταγραφής

Όταν το χρονικό διάστημα καταγραφής είναι πολύ μικρό, υπάρχουν πολύ λίγα δεδομένα μέτρησης. Αυτό θα αποδειχθεί και παρακάτω αφού θα παρατηρήσουμε ότι για κάθε μήνα, όπως και κάθε μέρα έχουμε διαφορετικό ποσοστό μέτρησης του PR. Η χαμηλή θέση του ήλιου, οι χαμηλές και οι υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η σκίαση επηρεάζουν σε αυτήν την περίπτωση πολύ περισσότερο το αποτέλεσμα του υπολογισμού. Έτσι έχει θεσμοθετηθεί η μέτρηση του PR που μπορεί να εγγυηθεί μιας κατασκευάστρια εταιρία να είναι τουλάχιστον για έναν χρόνο, που είναι ο μέσος όρος των δώδεκα (12) μηνών, γιατί αλλιώς η σύγκριση του PR για τους ανοιξιάτικους μήνες διαφέρει με αυτή του χειμώνα ή του καλοκαιριού.

5.4.3. Παραμένουσες ακαθαρσίες στο πυρανόμετρο

Το πυρανόμετρο είναι η συσκευή μέτρησης που μετράει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για αυτό πάντα θα πρέπει να τοποθετείται σε σημείο όπου να μην σκιάζεται. Επίσης η σκόνη μπορεί να επηρεάσει τις ενδείξεις του πυρανόμετρου όπως επηρεάζει και την λειτουργία του ΦΒ σταθμού. Έτσι για να μην οδηγηθούμε σε λάθος συμπεράσματα θα πρέπει κατά τον καθαρισμό των ΦΒ πλαισίων να καθαρίζεται και το πυρανόμετρο όπως επίσης να επιλέγεται πυρανόμετρο ίδιας τεχνολογίας ως προς το προσμετρούμενο ΦΒ πάρκο, ώστε να μην επηρεάζονται κάθε φορά δυσανάλογα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, σκοπό έχει την μελέτη των μεθόδων θεωρητικού υπολογισμού και μέτρησης του Performance Ratio (PR) ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Επίσης αναλύει τους παράγοντες που το επηρεάζουν και προτείνει τρόπους βελτιώσεως του. Τέλος παρουσιάζει από ποια μέρη θα αποτελούταν μια διάταξη που θα μετρούσε το PR.

Στην αρχή της διπλωματικής εργασίας γίνεται αναφορά στην αναγκαιότητα μέτρησης του PR και εν συντομία γίνεται μια παρουσίαση του εξοπλισμού που απαρτίζουν ένα Φωτοβολταϊκό σταθμό. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά σε μια σειρά από παράγοντες που επηρεάζουν το PR και σε διάφορους τύπους που χρησιμοποιούνται για τη θεωρητική μέτρηση του.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στους μεθόδους μέτρησης του PR και σε τρόπους που μπορούν να το βελτιώσουν. Τέλος παρουσιάζεται πως θα μπορούσε να δομηθεί μια διάταξη που θα μέτραγε το PR.

Η παρούσα διπλωματική εργασία συγκεντρώνει γνώση από όλα τα έτη φοίτησης μου στο τμήμα ηλεκτρολογίας του Α.Τ.Ε.Ι Πειραιά. Ενδεικτικά αναφέρονται γνώσεις από το μάθημα των ΑΠΕ, των Ε.Η.Ε I και II, των Εφαρμοσμένων Μαθηματικών, του Σχεδιασμού σε Autocad και της Προστασίας από Υπερτάσεις.

SUMMARY

This diploma thesis aims to study the methods of measurement and theoretical calculation of the Performance Ratio (PR) of a photovoltaic park. Also analyzes the factors that influence PR and suggests ways to improve. Finally it presents in what parts would consist of a provision would count the PR.

At the beginning of this diploma thesis refers to the necessity of measuring PR and briefly made a presentation of equipment that a photovoltaic station consist of. Then referring to a series of factors is affected in PR and various types used to measure the theoretical value of PR.

Then refer to the methods of measuring PR in ways that it can improve. Finally it is presente how we can built a device that will measure the PR.

This thesis brings together knowledge from all my years of studies in Electrical Part of ATEI of Piraeus. Examples of knowledge from the course of RES, the I.E.I I and II, Applied Mathematics, Design in Autocad and Overvoltage Protection.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ανεξαιρείτως το σύνολο των καθηγητών και του διοικητικού προσωπικού του Τμήματος Ηλεκτρολογίας για της γνώσεις και την βοήθεια που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Βέβαιως ιδιαίτερη μνεία θα ήθελα να κάνω για τον κ. Τσίωλη που δέχθηκε να παρακολουθήσει την διπλωματική μου εργασία.

Δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου που συνεργαστήκαμε σε κοινές εργασίες και στάθηκαν αλληλέγγυοι δίνοντας μου σημειώσεις όλα αυτά τα χρόνια που εργαζόμουν παράλληλα και δεν μπορούσα να παρακολουθώ όλα τα μαθήματα. Δεν θα αναφέρω ονόματα γιατί σίγουρα θα ξεχάσω πολλούς.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την έμπειρη συνάδελφο και φίλη Νάντια Μυλωνά που έκανε τις παρατηρήσεις της στη τελική διαμόρφωση της διπλωματικής εργασίας και τον κ. Βλάχο Χαράλαμπο, που μου έδωσε πρόσβαση στα δεδομένα (παραγωγής και μετεωρολογικά) του ΦΒ πάρκου του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Books

Planning & Installing Photovoltaic Systems Second Edition, 2010
The German Energy Society

Scientific papers

Scientific Paper: Performance assessment of PV Modules – Relationship between STA rating and field Performance, 2008
Marko Topic, Kristian Brecl and James Sites

Performance Analysis of Grid-Connected PV Systems
Stefan Mau, arsenal research, Area of Renewable Energy Technologies, Vienna, Austria

Performance Ratio and Yield Analysis of Grid Connected Clustered PV Systems in Japan
Yuzuru Ueda, Kosuke Kurokawa, Takamitsu Itou, Kiyoyuki Kitamura, Yusuke Miyamoto, Masaharu Yokota, Hiruyuki Sugihara, Tokio University of Agriculture Technology

Internet

SMA Hellas, Web Site
<http://www.sma-hellas.com/>