

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε σε όλα τα φοιτητικά μου χρόνια και διαμόρφωσε τις κατάλληλες συνθήκες ώστε να μπορώ χωρίς περισπασμούς και με ηρεμία να συγκεντρωθώ στο έργο μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Ανδρέα Μπουντουβή, επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, ο οποίος μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Με τις οδηγίες και τις εύστοχες παρατηρήσεις του διαμόρφωσε τις κατάλληλες συνθήκες για να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω επίσης στο Δρα Ν. Στεφανάκη για την πολύτιμη βοήθεια του. Η συνεργασία και η συζήτηση μαζί του ήταν καθοριστικής σημασίας για την υλοποίηση της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της ερευνητικής ομάδας του Καθηγητή Α. Μπουντουβή για το κλίμα συνεργασίας που επέδειξαν σε όλο το διάστημα της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή πραγματοποιείται εκτενής μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 49,5 kWp το οποίο είναι εγκατεστημένο στα κτίρια όπου στεγάζεται η Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. Είναι μία από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα, την περίοδο που κατασκευάστηκε, η οποία, εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει τη δυνατότητα συμβολής στο δροσισμό/θέρμανση του κτιρίου εγκατάστασης.

Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, την αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων και παρουσιάζονται μερικά βασικά χαρακτηριστικά της ηλιακής γεωμετρίας που μας δίνει πληροφορίες για το βέλτιστο προσανατολισμό του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Γίνεται εκτενής αναφορά στο νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τα φωτοβολταϊκά συστήματα στην Ελλάδα και προτείνεται συγκεκριμένος τρόπος ένταξης του υπάρχοντος συστήματος σε καθεστώς feed-in-tariff (πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο της Δ.Ε.Η.).

Αναλύεται με λεπτομέρειες η υπάρχουσα εγκατάσταση καθώς και οι μεταβολές που έχουν επέλθει από φθορές ή βλάβες με την πάροδο του χρόνου. Παρουσιάζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος της μονάδας και προτείνονται συγκεκριμένες ενέργειες για τη βελτίωση της.

Εν συνεχεία, εκπονείται τεχνικοοικονομική μελέτη με φωτοβολταϊκά πλαίσια και αντιστροφείς σημερινής (2012) τεχνολογικής στάθμης, και προτείνεται αναβάθμιση της υπάρχουσας μονάδας.

Τέλος, συνοψίζονται προτάσεις για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της υπό μελέτη μονάδας και συμπεράσματα από την αναλυτική μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 -ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	
1.1. Ο ήλιος ως πηγή ενέργειας.....	5
1.2. Ηλιακή γεωμετρία	5
1.3. Ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας	11
1.4. Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης	12
1.5. Ηλιακή ακτινοβολία στον ηλιακό συλλέκτη	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	
2.1. ΦΒ φαινόμενο και ΦΒ σύστημα.....	19
2.2. Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα	20
2.3. Το μέλλον των φωτοβολταϊκών	20
2.4.Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	21
2.5. Βασικά μέρη ΦΒ συστήματος.....	24
2.6. Αντιστροφέας DC/AC	28
2.7. Αντικεραυνική προστασία	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ	
3.1. Νομοθεσία	30
3.2. Αδειοδότηση.....	34
3.3. Ένταξη μονάδας σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. στο καθεστώς feed-in-tariff	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
4.1.Περιγραφή μονάδας.....	40
4.2.Λειτουργία ΦΒ πρόσοψης.....	41
4.3. Λειτουργία ΦΒ δώματος	42
4.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	43
4.5. Χωροθέτηση ΦΒ πλαισίων.....	44
4.6. Εκτιμώμενη απόδοση	49
4.7.Συνδεσμολογία ΦΒ συστήματος	54
4.8. Πραγματική απόδοση	58
4.9. Βελτιστοποίηση συστήματος.....	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
5.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά	69
5.2. Χωροθέτηση ΦΒ πλαισίων.....	76
5.3. Εκτιμώμενη απόδοση	79
5.4. Διαστασιολόγηση ΦΒ συστήματος.....	85
5.5. Οικονομικά στοιχεία	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι –Σχέδια χωροθέτησης υπάρχουσας εγκατάστασης	102
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ –Υπόδειγμα αίτησης για αδειοδότηση	104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της βελτίωσης της υπάρχουσας Φωτοβολταϊκής (ΦΒ) Εγκατάστασης 49,5 kWp στο κτίριο της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο μια εισαγωγή στη πρωτογενή μορφή ενέργειας που αξιοποιεί η εγκατάσταση, δηλαδή στην ηλιακή ενέργεια, καθώς επίσης και μια αναφορά στα χαρακτηριστικά που περιγράφουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών συλλεκτών. Το πλήθος των πληροφοριών που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό, προέρχεται από τα βιβλία των Kalogirou [1] και Duffie & Beckman [3].

1.1. Ο ήλιος ως πηγή ενέργειας

Ο ήλιος είναι μια σφαίρα αποτελούμενη από πυκνή και καυτή αέρια ύλη διαμέτρου 1.39×10^9 m και είναι σε μια μέση απόσταση 1.5×10^{11} m από τη γη. Όπως φαίνεται από τη γη, ο ήλιος περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του περίπου μία φορά κάθε τέσσερις εβδομάδες. Παρ' όλα αυτά, δεν περιστρέφεται σαν ένα συμπαγές στερεό σώμα, αλλά ο ισημερινός περιστρέφεται σε 27 μέρες ενώ οι περιοχές κοντά στους πόλους σε 30 μέρες περίπου.

Ο ήλιος έχει μια ενεργή θερμοκρασία μέλανος σώματος στους 5777°K . Η θερμοκρασία στο κεντρικό εσωτερικό του μέρος υπολογίζεται χονδρικώς μεταξύ 8×10^6 με 40×10^6 και η πυκνότητά του 100 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του νερού. Ο ήλιος είναι ένας αντιδραστήρας σύντηξης, με τα αέρια που τον απαρτίζουν να αποτελούν το “περιέχον κέλυφος” το οποίο συντηρείται εξαιτίας βαρυτικών δυνάμεων. Πολλές αντιδράσεις σύντηξης έχουν προταθεί με επικρατέστερη αυτήν κατά την οποία δύο άτομα υδρογόνου (δηλ. τέσσερα πρωτόνια) ενώνονται σε ένα άτομο ηλίου, η μάζα του ηλίου που προκύπτει είναι λιγότερη από τα τέσσερα αρχικά πρωτόνια και έτσι η απώλεια αυτή της μάζας μετατρέπεται σε ενέργεια.

Η ενέργεια που παράγεται στο εσωτερικό της ηλιακής σφαίρας σε θερμοκρασίες πολλών εκατομμυρίων βαθμών Kelvin πρέπει να μεταφερθεί στην επιφάνεια και εν συνεχεία να ακτινοβοληθεί στο διάστημα. Μια διαδοχική διαδικασία ακτινοβολίας και συναγωγής συμβαίνει με διαδοχική εκπομπή, απορρόφηση και επανακτινοβολία. Η ακτινοβολία στον πυρήνα του ήλιου είναι στο φάσμα των ακτινών X και Γάμμα, με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας να μεγαλώνει όσο η θερμοκρασία μειώνεται και η ακτίνα αυξάνει.

1.2. Ηλιακή γεωμετρία

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας και επομένως την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται οι βασικές αρχές ηλιακής γεωμετρίας.

1.2.2 Γεωγραφικό πλάτος

Το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου εκφράζει τη γωνία που σχηματίζει ο τόπος με τον ισημερινό και είναι: $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα γεωγραφικά πλάτη διάφορων ελληνικών περιοχών, για την επιλογή της σωστής κλίσης του ηλιακού συλλέκτη. Υπάρχουν και εφαρμογές, όπου κρίνεται σκόπιμη η αναπροσαρμογή της κλίσης του συλλέκτη δύο ή

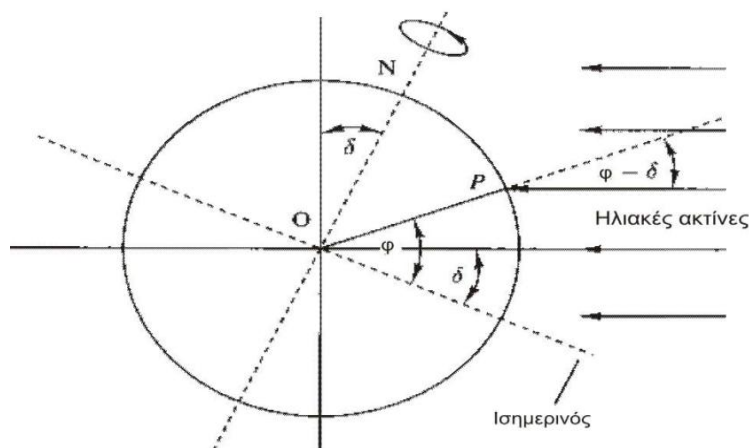
περισσότερες φορές στη διάρκεια του έτους ώστε να παρακολουθεί κάπως την απόκλιση του ήλιου.

Πίνακας 1.1: Γεωγραφικό πλάτος διαφόρων Ελληνικών πόλεων και περιοχών

Πόλη ή περιοχή	Γεωγραφικό Πλάτος
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεστιάδα, Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα	41° 30'
Ξάνθη, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη	41°
Καστοριά, Πτολεμαΐδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη	40° 30'
Κόνιτσα, Γρεβενά, Λιτόχωρο, Κασσάνδρα, Λήμνος	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος	39° 30'
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λαμία, Σκύρος, Μυτιλήνη	39°
Κεφαλληνία, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Αμφιλοχία, Λιβαδειά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος	38° 30'
Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρα, Ελευσίνα, Αθήνα, Ραφήνα, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Σάμος	38°
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τρίπολη, Άργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σύρος, Πάτμος	37° 30'
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως	37°
Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος	36° 30'
Κύθηρα, Καστελόριζο	36°
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσος, Κάρπαθος	35° 30'
Χώρα Σφακιών, Ιεράπετρα, Αγ.Νικόλαος Κρήτης, Κύπρος	35°

1.2.3 Ηλιακή απόκλιση

Κατά τη διάρκεια ενός έτους, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης δ , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.1: Απόκλιση Ηλίου

Η απόκλιση δ του ήλιου δίνεται από την εξίσωση:

$$\delta = 23.45 [360(284 + v) / 365]$$

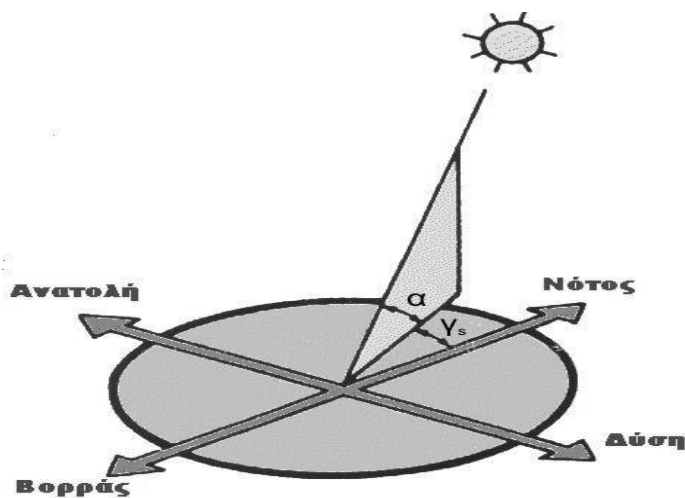
Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες τιμές είναι $+23.45^\circ$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και -23.45° στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι οι κυκλικές τροχιές που διαγράφονται βορειότερα στο ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ το χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. Παράλληλα διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε διάφορες εποχές του έτους.

Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε ένα τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει το μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Επίσης, ο αριθμός των ημερών με ηλιοφάνεια, στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα, καθώς και των ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας.

1.2.4 Ύψος και αζιμούθιο ηλίου

Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες: το ύψος του ήλιου α και το αζιμούθιο του ήλιου γ_s , οι οποίες εικονίζονται στο Σχήμα 1.2.

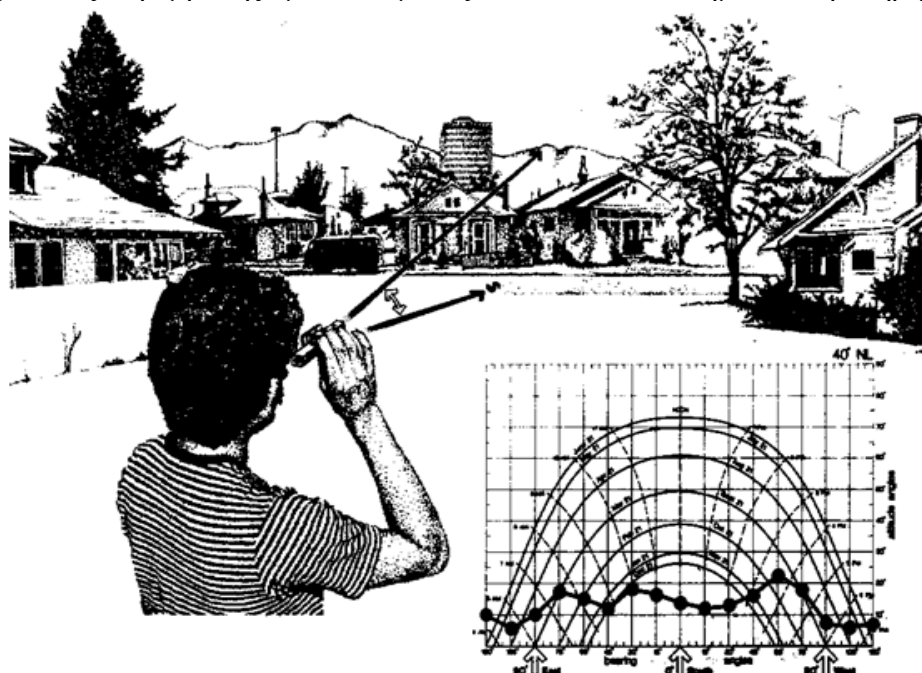


Σχήμα 1.2: Το ύψος α και το αζιμούθιο του ήλιου γ_s

Το ύψος του ήλιου α είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα. Το αζιμούθιο γ_s είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στη προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά - νότου. Ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη *as summūt*, που σημαίνει κατεύθυνση. Προς τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές τιμές. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό. Το αζιμούθιο είναι:

- Για νότιο προσανατολισμό $\gamma_s=0$
- Για γωνίες δυτικά από το νότο παίρνει θετικές τιμές.
- Για γωνίες ανατολικά από το νότο παίρνει αρνητικές τιμές.

Η μέθοδος προβολής για την παράσταση της κίνησης του Ήλιου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παράσταση οποιουδήποτε σημείου του χώρου: Ένα δεδομένο σημείο και το σημείο παρατήρησης ορίζουν μια οπτική ακτίνα που προσδιορίζεται όπως και οι ηλιακές ακτίνες, δηλαδή από τις γωνιακές συντεταγμένες (αζιμούθιο και γωνιακό υψόμετρο). Έτσι, το περίγραμμα του πραγματικού ορίζοντα όπως φαίνεται από τη θέση παρατήρησης μπορεί να σχεδιαστεί σε ένα ηλιακό διάγραμμα ως τεθλασμένη γραμμή που ορίζεται από σειρά σημείων με γνωστές γωνιακές συντεταγμένες (Σχήμα 1.3). Προφανώς δεν υπάρχει άμεση ηλιακή πρόσβαση όταν ο Ήλιος βρίσκεται κάτω από αυτή τη τεθλασμένη. Παρεμφερής εφαρμογή είναι οι 'μάσκες σκιασμού', η απεικόνιση δηλαδή του τμήματος του ουρανού που δεν είναι ορατή εξ' αιτίας παρεμβολής εμποδίου μεταξύ αυτού και του σημείου παρατήρησης.



Σχήμα 1.3: Απεικόνιση της μεθόδου προβολής για την παράσταση της κίνησης του Ήλιου

1.2.5 Ζενιθιακή γωνία ήλιου

Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική του γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται *ζενιθιακή απόσταση* (ή *ζενιθιακή γωνία*) του ήλιου θ_z . Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου, και ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη *Senit* που σημαίνει ευθεία οδός.

1.2.6 Ωριαία γωνία

Ορίζεται ως *ωριαία γωνία* ω του ήλιου η γωνιακή απόσταση του ηλίου από την ηλιακή μεσημβρία λόγω περιστροφής της γης περί τον άξονά της. Στην ηλιακή μεσημβρία $\omega=0^\circ$ ενώ κάθε ώρα η ω μεταβάλλεται κατά 15° . Τις πρωινές ώρες η ω είναι θετική (+) και κατά τις απογευματινές γίνεται αρνητική (-).

$$\omega = \pm 0.25 \cdot (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι})$$

1.2.7 Προσανατολισμός ηλιακού συλλέκτη

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του Φ/Β συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες: την κλίση και την αζιμούθια γωνία.

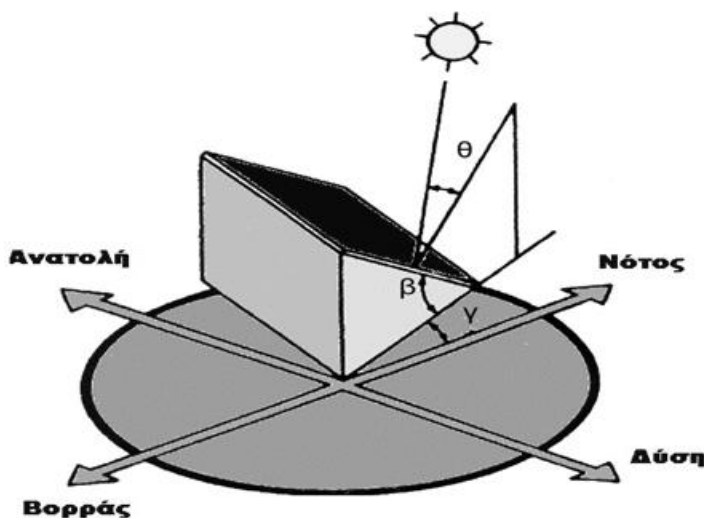
Η κλίση του συλλέκτη β είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0° μέχρι 180° . Για γωνίες $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο του συλλέκτη πρέπει να είναι στραμμένο προς τα κάτω.

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη γ είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με την $+180^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία $+90^\circ$ προς τη δύση.

Προφανώς, η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας, πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς τη κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης θ είναι 0° . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκύτταρων) ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε περιπτώσεις εφαρμογών, όπως στα συστήματα συγκεντρωμένης ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής. Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση (Σχήμα 1.4):

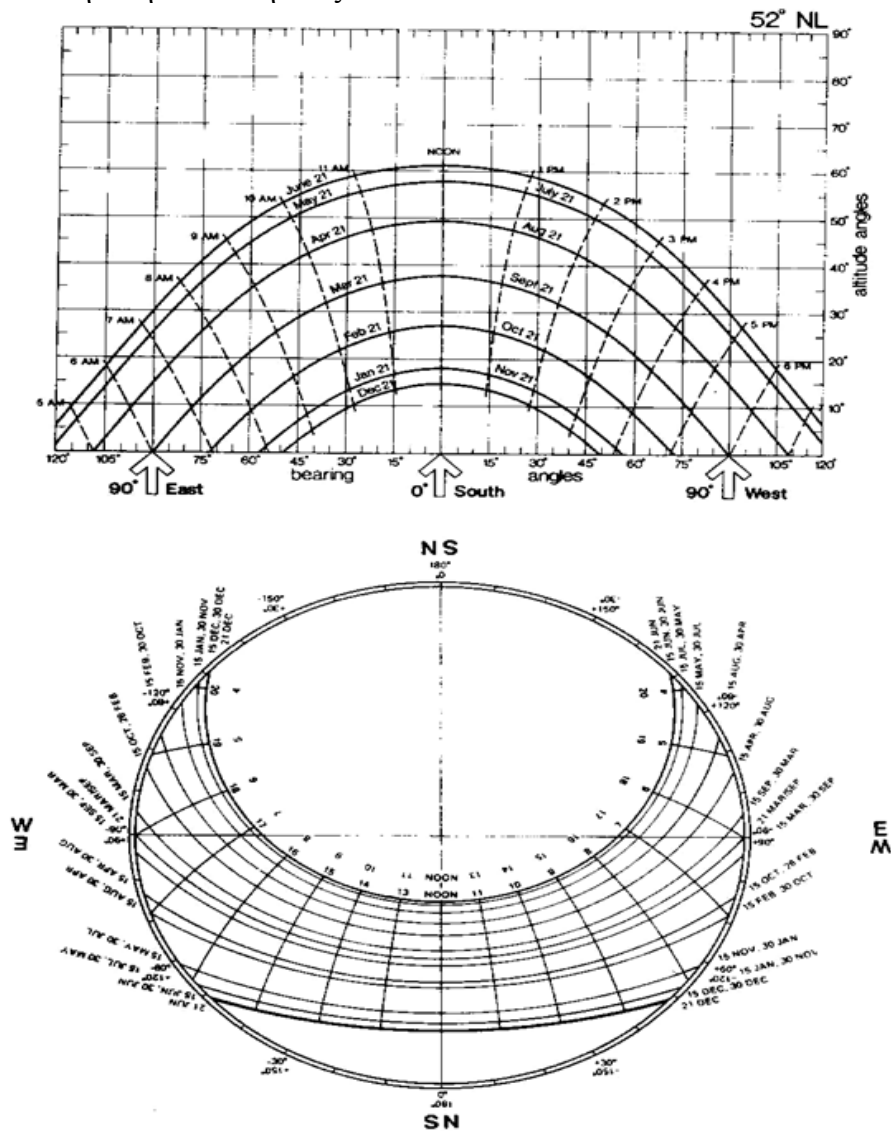
$$\cos\theta = (\sin\delta \cdot \sin\varphi) - (\sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma) + (\cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega) + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\omega \cdot \sin\gamma$$



Σχήμα 1.4: Η κλίση του συλλέκτη β , το αζιμούθιο του συλλέκτη γ , και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στο συλλέκτη θ

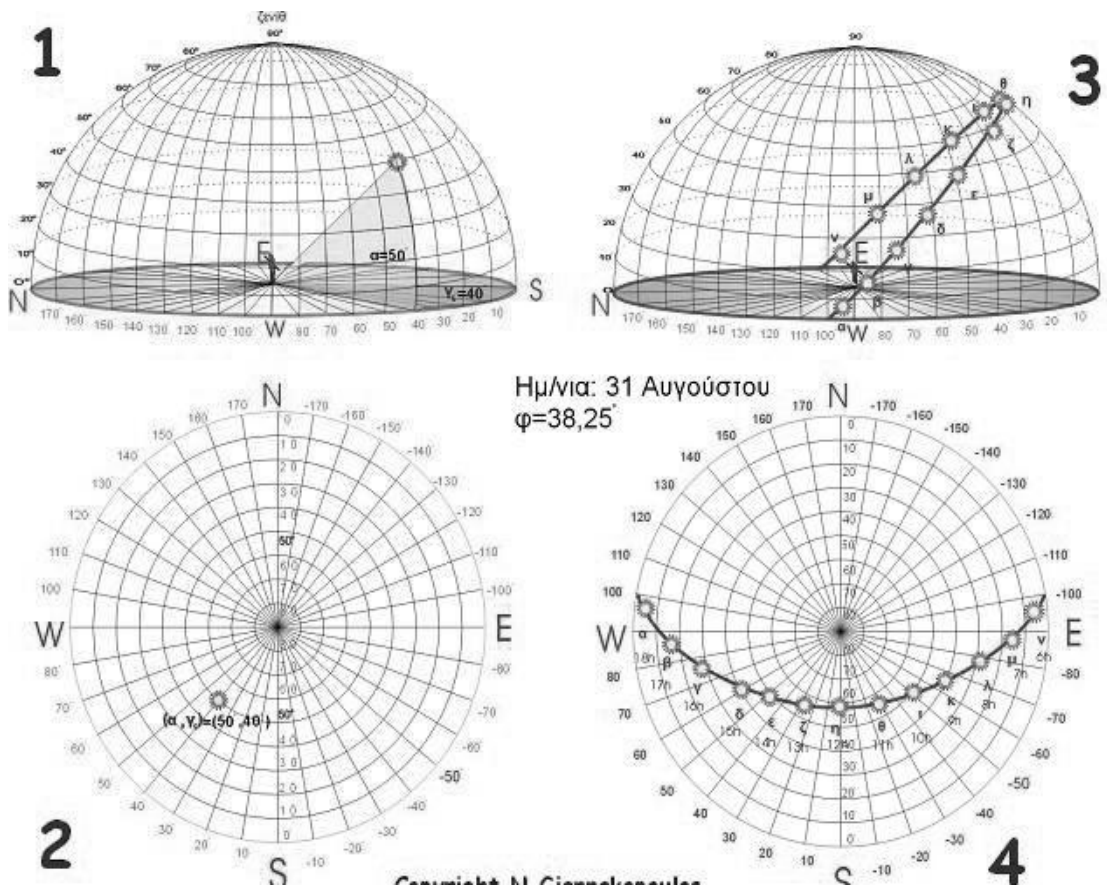
Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούν την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία και συνήθως τοποθετούνται υπό σταθερή κλίση και προσανατολισμό κατά τη διάρκεια του έτους. Η επιλογή του ευνοϊκού προσανατολισμού και της κλίσης του συλλέκτη είναι το σημαντικότερο μέτρο για τη βελτίωση του ηλιακού κέρδους. Η θέση του συλλέκτη (προσανατολισμός και κλίση) επηρεάζει την απόδοσή του κατά δύο τρόπους. Πρώτα επηρεάζει σημαντικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη. Ακόμα η θέση του συλλέκτη επηρεάζει τον συντελεστή διάβασης των διαφανών καλυμμάτων και τον συντελεστή απορρόφησης του απορροφητήρα, αφού οι δύο συντελεστές είναι συναρτήσεις της γωνίας, που η ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη.

Γενικά η μεγαλύτερη ποσότητα της ηλιακής ενέργειας, λαμβάνεται σε μία Νότια προσανατολισμένη κλίση. Εάν η επιφάνεια του συλλέκτη δεν αντικρίζει ακριβώς το νότο, το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας, μειώνεται ελαφρά σε μία γωνία 30° ανατολικά, δυτικά ή νότια. Η κλίση για συστήματα που λειτουργούν όλο το χρόνο είναι 45°, ενώ αντίθετα για συστήματα που λειτουργούν καλοκαιρινούς μήνες π.χ ξενοδοχεία η κλίση λαμβάνεται μικρότερη περίπου 25°. Έτσι είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ορθά η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες) ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή τους.



Σχήμα 1.5: Χαρακτηριστική τροχιά (καμπάνα) του ήλιου διάφορες ημερομηνίες του χρόνου

Στο Σχήμα 1.5 απεικονίζεται ένα διάγραμμα της χαρακτηριστική τροχιάς του ήλιου για μια δεδομένη τοποθεσία. Στο διάγραμμα του Σχήματος 1.6 γίνεται αντιληπτή η κίνηση του ήλιου σε περιοχή με γεωγραφικό πλάτος $\varphi=38,25^\circ$ την 31^η Αυγούστου. Γίνεται αντιληπτή η σημαντικότητα της εύρεσης των κατάλληλων γωνιών για τη βέλτιστη πρόσπτωση αυτών στα ηλιακά συστήματα. Στην τρισδιάστατη εικόνα φαίνεται το τι είναι η επονομαζόμενη καμπάνα (τροχιά) του ηλίου.



Σχήμα 1.6 : Χαρακτηριστική τροχιά ήλιου σε συγκεκριμένο χρόνο και τόπο

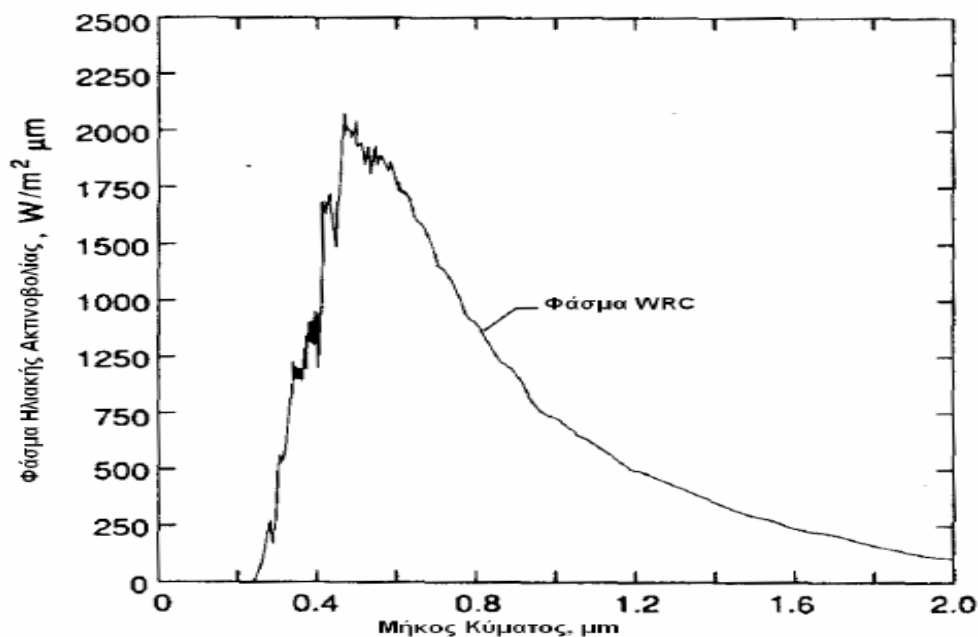
1.3. Ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας

1.3.1 Ηλιακή σταθερά

Ως *ηλιακή σταθερά* G_{SC} ορίζεται η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας. Η τιμή της είναι $G_{SC} = 1353 \text{ W/m}^2$

1.3.2 Φασματική Κατανομή

Επιπλέον της συνολικής ενέργειας της ακτινοβολίας εκτός της γήινης ατμόσφαιρας (δηλ. ηλιακή σταθερά), είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε την κατανομή της στο φάσμα της συχνότητας. Ένα πρότυπο διάγραμμα για αυτόν τον λόγο έχει συνταχθεί βασισμένο σε μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε μεγάλο υψόμετρο και στο διάστημα. Το πρότυπο διάγραμμα του Παγκοσμίου Κέντρου Ακτινοβολίας (World Radiation Center, WRC) φαίνεται στο Σχήμα 1.7.



Σχήμα 1.7: Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας

1.3.2 Διακύμανση Ακτινοβολίας

Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου-γης κατά τη διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της διαχρονικής μεταβολής της ηλιακής σταθεράς:

$$G_{on} = G_{sc} [1 + 0.0033 \cdot \cos(360n/365)]$$

όπου: n οι ημέρες του έτους $n=1,2,3,\dots,365$

G_{on} η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας και κάθετο στις ακτίνες του ήλιου.

1.4. Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης

1.4.1 Απόσβεση ηλιακής ακτινοβολίας εξαιτίας της ατμόσφαιρας

Η ηλιακή ακτινοβολία σε κάθετη πρόπτωση σε μία επιφάνεια πάνω στην επιφάνεια της γης υπόκειται σε ίδιες αιτίες διακύμανσης με την ακτινοβολία που προσπίπτει εξωτερικά της ατμόσφαιρας και σε δύο επί πρόσθετα και πιο σημαντικά φαινόμενα, αυτά (1) της ατμοσφαιρικής σκέδασης από μόρια του αέρα, νερού και σκόνης και (2) της ατμοσφαιρικής απορρόφησης από το O_3 , το H_2O και το CO_2 .

Η **σκέδαση** της ακτινοβολίας κατά την διαδρομή της μέσα από την ατμόσφαιρα οφείλεται σε αλληλεπιδράσεις αυτής με μόρια του αέρα, νερού (ατμού ή σταγονίδια), και σκόνης. Ο βαθμός της σκέδασης είναι συνάρτηση του μήκους της διαδρομής μέσω της οποίας η ακτινοβολία περνάει και του μεγέθους των σωματιδίων σχετικά με το λ , το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Το μήκος της διαδρομής μέσω της οποίας η ακτινοβολία περνάει μετράται με την αέρια μάζα (m). Ο αριθμός των μορίων του νερού και της σκόνης που συναντά η ακτινοβολία κατά το πέρασμά της εξαρτάται λοιπόν τόσο από την αέρια μάζα όσο και από τις ποσότητες σκόνης και υγρασίας της ατμόσφαιρας οι οποίες είναι συνάρτηση της συγκεκριμένης περιοχής και της ώρας.

Η **απορρόφηση** της ακτινοβολίας στο φάσμα της ηλιακής ενέργειας οφείλεται κυρίως στο όζον για το φάσμα της υπεριώδους ακτινοβολίας και στο νερό και διοξείδιο του άνθρακα για το φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Υπάρχει σχεδόν απόλυτη

απορρόφηση των χαμηλού-μήκους κύματος ακτινοβολιών από το όζον στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας σε μήκη κύματος μικρότερα από 0.29 μm . Η απορρόφηση του όζοντος μειώνεται όσο αυξάνεται το λ σε τιμές μεγαλύτερες από 0.29 μm , ενώ σε μεγαλύτερες τιμές από 0.35 μm είναι μηδενική. Υπάρχει επίσης μια ασθενής ζώνη απορρόφησης του όζοντος κοντά στα 0.6 μm .

Οι υδρατμοί απορροφούν κυρίως στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας με ισχυρές απορροφητικές ζώνες με κέντρα στα 1.0, 1.4 και 1.8 μm . Πέρα από τα 2.5 μm , η περατότητα της ατμόσφαιρας είναι μικρή εξαιτίας της απορρόφησης από το H_2O και το CO_2 . Εξάλλου, η ενέργεια στο φάσμα της ακτινοβολίας της εξωτερικά από την ατμόσφαιρα για λ μεγαλύτερα από 2.5 μm είναι λιγότερη από 5% της ολικής ενέργειας, έτσι και η ενέργεια που λαμβάνεται από το έδαφος για αυτά τα μήκη κύματος είναι πολύ μικρή.

Έτσι, η κάθετη ακτινοβολία που προσπίπτει στην ατμόσφαιρα της γης έχει φασματική κατανομή όπως αυτή φαίνεται στο Σχήμα 1.7. Όμως το φάσμα των ακτινών X και των άλλων πολύ χαμηλού μήκους ακτινοβολιών απορροφάται σε μεγάλο υψόμετρο στην ιονόσφαιρα από το άζωτο, το οξυγόνο και τα άλλα συστατικά της ατμόσφαιρας. Το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας απορροφάται από το όζον. Σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από 2.5 μm , ένα συνδυασμός μικρή εξωγήινης ακτινοβολίας και ισχυρής απορρόφησης από το έχει ως αποτέλεσμα μικρά ποσά ενέργεια να φτάνουν στο έδαφος. Έτσι, από την σκοπιά των εφαρμογών στην επιφάνεια της γης, μόνο η ακτινοβολία σε μήκη κύματος μεταξύ 0.29 και 2.5 μm πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν.

1.4.2 Ολική, άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης, χωρίζεται στην άμεση και διάχυτη ακτινοβολία. Η στιγμιαία ένταση ηλιακής ακτινοβολίας μετριέται σε W/m^2 . Χρησιμοποιείται συνήθως το σύμβολο G , με κατάλληλους δείκτες σε περίπτωση που αναφερόμαστε στη άμεση (b, beam) ή στη διάχυτη (d, diffuse) ακτινοβολία. Η προσπίπτουσα ενέργεια σε μία επιφάνεια ανά μονάδα επιφάνειας, για μία χρονική περίοδο (π.χ. μία ώρα ή μία ημέρα), μετριέται σε J/m^2 . Χρησιμοποιείται συνήθως το σύμβολο “I” για τις ωριαίες τιμές και το σύμβολο “H” για ημερήσιες τιμές με κατάλληλου δείκτες.

Άμεση ακτινοβολία ορίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης με ελάχιστη ή χωρίς σκέδαση στην ατμόσφαιρα. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία επιφάνεια εξαρτάται από:

- την απορρόφηση και διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα,
- το ύψος του ήλιου,
- το γεωγραφικό πλάτος του τόπου,
- το υψόμετρο του τόπου,
- την κλίση της επιφάνειας,
- την απόσταση ήλιου – Γης,
- την απόκλιση του ήλιου.

Διάχυτη ακτινοβολία ορίζεται η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης αφού έχει αλλάξει η διεύθυνσή της από ανάκλαση ή σκέδαση στην ατμόσφαιρα, και από ανάκλαση στην επιφάνεια της Γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από:

- το ύψος του ήλιου,
- το υψόμετρο του τόπου,
- το συντελεστή ανάκλασης της επιφάνειας του εδάφους,
- το ποσό και το είδος των νεφών,

- το ποσό και το είδος των σωματιδίων και των αερίων της ατμόσφαιρας.

Ολική ακτινοβολία ορίζεται το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Για μία οριζόντια επιφάνεια ισχύει, για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας ωριαίες τιμές της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας:

$$I = I_b + I_d$$

1.5. Ηλιακή ακτινοβολία στον ηλιακό συλλέκτη

1.5.1 Μεθοδολογία υπολογισμού

Μέθοδοι υπολογισμού της απόδοσης ηλιακών συστημάτων, για μακρά χρονική περίοδο, απαιτούν τον μέσο όρο της απορροφούμενης ακτινοβολίας από τον συλλέκτη, υπολογισμένη σε μηνιαίες περιόδους. Η διαπερατότητα και η απορροφητικότητα εξαρτώνται από τη γωνία κατά την οποία η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στον συλλέκτη. Ο Klein ήταν ο πρώτος που υπολόγισε τη μέση μηνιαία απορροφώμενη ακτινοβολία από έναν συλλέκτη. Η εξίσωση υπολογισμού είναι:

$$S = H_T(\tau_a) = HR(\tau_a)$$

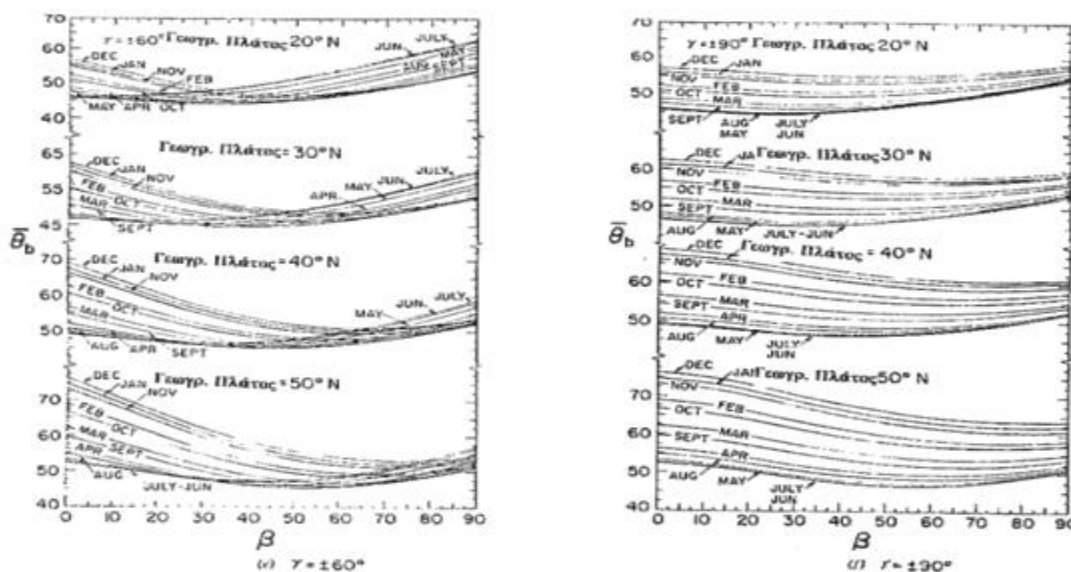
S: απορροφώμενη ηλιακή ακτινοβολία [MJ/m²]

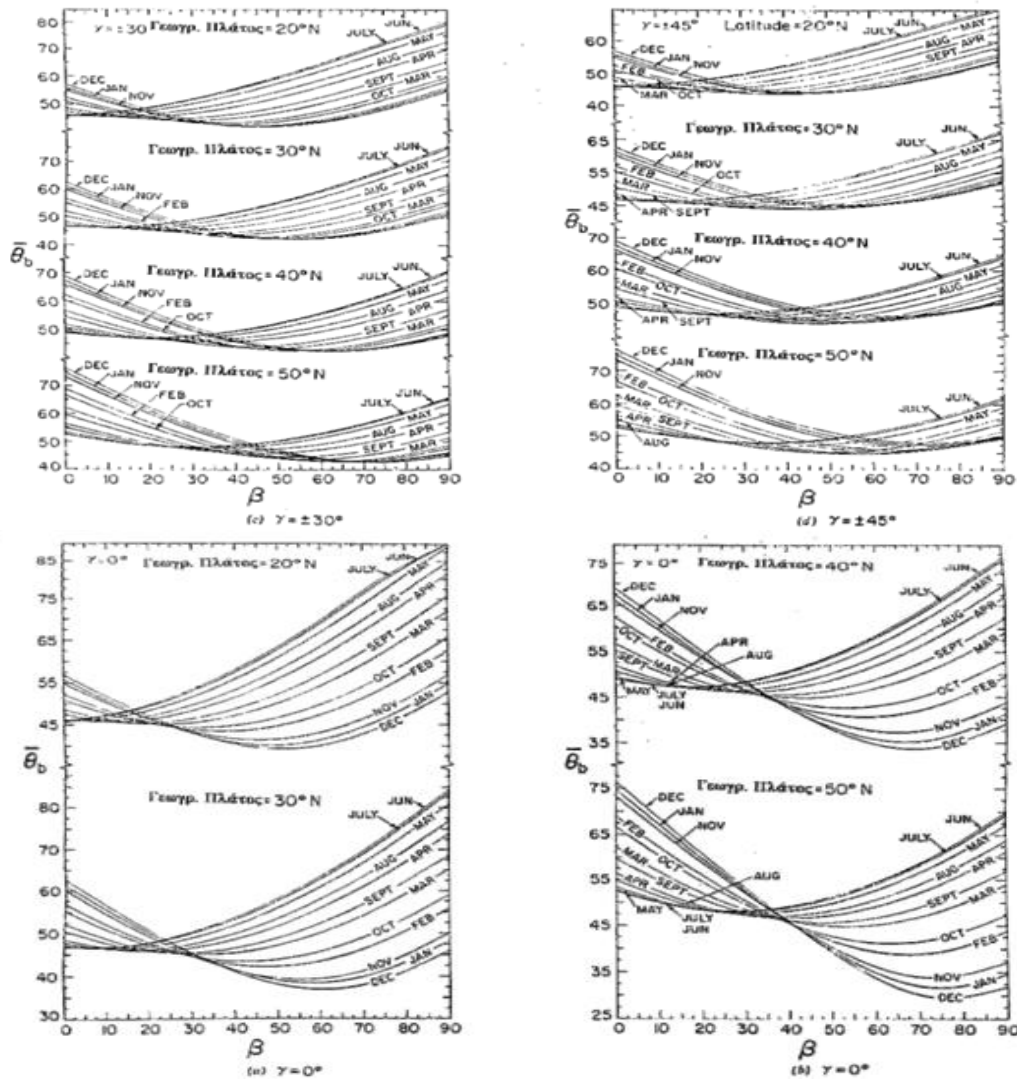
H: μέση μηνιαία τιμή της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο συλλέκτη [MJ/m²]

H_T: μέση μηνιαία τιμή της ολικής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο συλλέκτη [MJ/m²]

Για μέση μηνιαία ακτινοβολία τα αποτελέσματα δίνονται από τον Klein στα διαγράμματα του Σχήματος 1.8. Σε αυτά τα διαγράμματα η γωνία πρόσπτωσης δίνεται συναρτήσει της κλίσης του συλλέκτη, του γεωγραφικού πλάτους και της αζιμούθιας γωνίας. Ο Klein βρήκε επίσης ότι για επίπεδους συλλέκτες, το μέγεθος $(\tau_a)_b$, μπορεί να παρθεί κατά προσέγγιση από το μέσο όρο των τιμών του μεγέθους (τ_a) , σε γωνία πρόσπτωσης που λαμβάνεται σε χρονικό διάστημα 2.5 ωρών από το ηλιακό μεσημέρι για τη μέση μέρα του μήνα.

Ακόμη βρήκε ότι η τιμή του λόγου $(\tau_a)/(\tau_a)_b$, κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, είναι σχεδόν σταθερή και ίση με 0.96, για συλλέκτες με ένα κάλυμμα και προτείνει την χρησιμοποίηση αυτής της σταθεράς σε κεκλιμένους προς τον ισημερινό συλλέκτες, με κλίση, κατά προσέγγιση, ίση με το γεωγραφικό πλάτος προσθέτοντας και 15° παραπάνω. Για ηλιακούς συλλέκτες με δύο κάλυμματα, προτείνεται ο λόγος $(\tau_a)/(\tau_a)_b$ να έχει σταθερή τιμή ίση με 0.94.





Σχήμα 1.8: Μέση μηνιαία γωνία πρόσπτωσης ακτίνας για διάφορες θέσεις και προσανατολισμούς

Η μέση μηνιαία απορροφούμενη ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο δίνεται από τον τύπο:

$$H_T = RH$$

όπου R ένας συντελεστής μετατροπής και δίνεται από τον τύπο

$$R = (1 - H_d/H) \cdot R_b + [(H_d/H) \cdot (1 + \cos\beta)/2] + \rho \cdot (1 - \cos\beta)/2$$

όπου:

H_d η μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία

R_b ο λόγος της μέσης μηνιαίας άμεσης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο προς αυτή σε οριζόντιο επίπεδο

β η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

ρ ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους

Στην παραπάνω εξίσωση ο πρώτος όρος εκφράζει τη συμμετοχή της άμεσης ακτινοβολίας, ο δεύτερος όρος τη συμμετοχή της διάχυτης ακτινοβολίας και ο τρίτος όρος τη συμμετοχή της ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος πάνω στον συλλέκτη.

Ο λόγος H_d/H , δίνεται συναρτήσει του συντελεστή αιθριότητας, K_T , που είναι ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα. Μέσες μηνιαίες τιμές αυτής της ακτινοβολίας δίνονται στον Πίνακα 1.2. Η σχέση μεταξύ H_d/H και K_T δίνεται από την εμπειρική σχέση Liu-Jordan.

Πίνακας 1.2: Μέση Μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας (MJ/m^2)

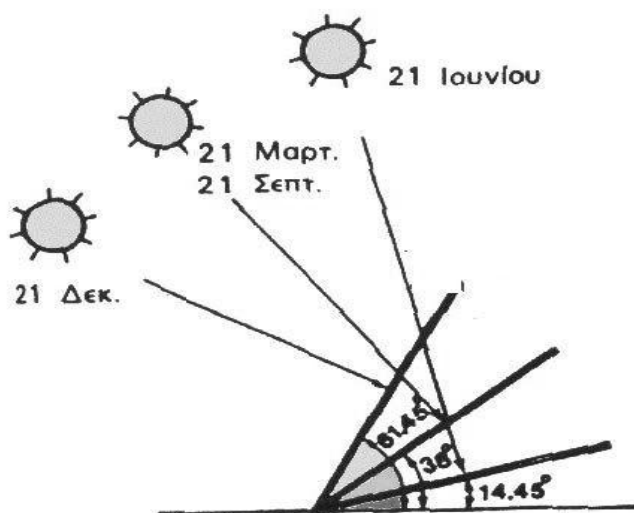
Γεωγ. Πλάτος	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
35	561	653	908	1065	1228	1236	1249	1147	945	772	576	518
40	468	573	843	1029	1218	1242	1249	1122	891	691	489	422

Ο τρόπος αυτός υπολογισμού ισχύει για επιφάνειες με νότιο προσανατολισμό, μπορεί δε να εφαρμοστεί χωρίς μεγάλο σφάλμα και για επιφάνειες με προσανατολισμό που αποκλίνει μέχρι 15° από τον νότο.

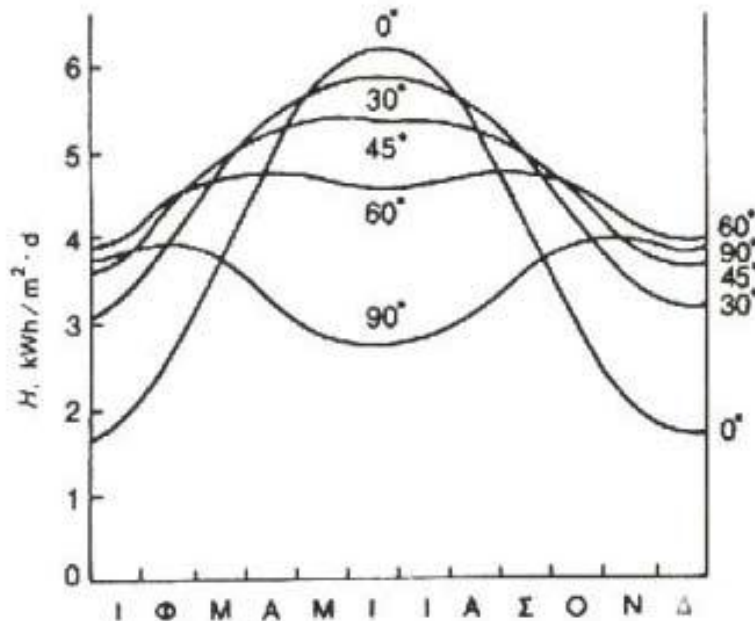
1.5.2 Πρακτικοί κανόνες για τη μέγιστη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς το νότο). Λόγο όμως της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή. Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου. Στο Σχήμα 1.9 δίνεται ένα παράδειγμα της βέλτιστης κλίσης για τον ηλιακό συλλέκτη στις χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους, ενώ στο Σχήμα 1.10 δίνεται ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλεκτικές επιφάνειες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Συνοψίζοντας:

- Η βέλτιστη γωνία κλίσης θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.
- Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.
- Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.
- Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο γ) είναι νότιος ($\gamma=0$), ενώ απόκλιση κατά 20° - 30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.



Σχήμα 1.9: Βέλτιστες κλίσεις συλλέκτη



Σχήμα 1.10: Ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλεκτικές επιφάνειες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους

Τα παραπάνω ισχύουν για τη συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό.

Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα, ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10-15% μικρότερη από τη γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση. Στον Πίνακα 1.3 δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή ανάκλασης για ορισμένα από τα είδη επιφανειών που συμβαίνει να έχει το περιβάλλον στις περιοχές, όπου τοποθετούνται οι ηλιακοί συλλέκτες.

Πίνακας 1.3: Συντελεστής ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας για διάφορα είδη επιφάνειας

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Επιφάνεια νερού, Θάλασσα	0.05
Ασφαλτόστρωμα	0.07
Αγρός με σκοτεινόχρωμα χώμα	0.08
Πράσινος αγρός	0.15
Βραχώδη επιφάνεια	0.20
Επιφάνεια παλαιού τσιμέντου	0.24
Επιφάνεια νέου τσιμέντου	0.30
Χιόνι	0.60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί πραγματοποιείται μια εκτενής αναφορά στα ΦΒ συστήματα, με έμφαση στα βασικά μέρη του εξοπλισμού από τα οποία αποτελούνται (ΦΒ πλαίσια και αντιστροφείς) καθώς και στις τεχνολογίες αυτών που χρησιμοποιούνται σήμερα ευρέως. Παρουσιάζονται τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού ενός ΦΒ συστήματος με σκοπό την ολοκληρωμένη παρουσίαση της μελέτης της ΦΒ μονάδας. Μεγάλος αριθμός πληροφοριών σε αυτό το κεφάλαιο προέρχεται από τα βιβλία των Πέρδιου [1a], Ασημακόπουλου & Αραμπατζή [3a], Kalogirou [1], Hulstrom [2] και Boyle [3].

2.1. Οικονομική εξέλιξη ΦΒ συστημάτων

Το αρχικό υψηλό κόστος παραγωγής των φωτοβολταϊκών συστημάτων περιόριζε την εφαρμογή τους μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση των ΦΒ συνεχώς βελτιωνόταν. Κυριότερος πελάτης των φωτοβολταϊκών τις δεκαετίες που ακολούθησαν είναι η NASA. Οι υψηλές τιμές στα φωτοβολταϊκά ήταν ο σημαντικότερος λόγος που δεν υπήρχε περισσότερο ενθουσιώδης αποδοχή από την αγορά. Ενδεικτικά η τιμή των φωτοβολταϊκών ξεκινάει από τα **500\$** ανά εγκατεστημένο Watt το 1956, ενώ μετά από 14 χρόνια, το 1970 αγγίζει τα **100\$/Watt**. Το 1973 οι βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής φέρνουν το κόστος των φωτοβολταϊκών στα **50\$/Watt**. Η πρώτη εγκατάσταση PV που φτάνει στα επίπεδα του 1MW γίνεται στην Καλιφόρνια το **1980** από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων (**dual-axis trackers**).

Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το **1983** η παγκόσμια παραγωγή ΦΒ φτάνει τα 22MW και ο συνολικός τζίρος τα 250.000.000\$. Το **1999** η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 32,3%!!!. Το στοιχείο αυτό είναι συνδυασμός τριών υλικών (στρώσεων) και ειδικό για εφαρμογές σε συγκεντρωτικά συστήματα CPV. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των Thin Films φτάνει στο 18.8%. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των ΦΒ πάνελ φτάνει συνολικά τα 200 MegaWatt.

Το **2004** η πορεία πια είναι ασταμάτητη. Η μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στον χώρο των ΦΒ φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με την σειρά της την **τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων** στα 6,5 ευρώ/Wp. Γερμανία και Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή ΦΒ πάνελ και πλέον σε όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες αρχίζουν, με τον έναν (παραγωγή εξοπλισμού) ή τον άλλον τρόπο (κατασκευή ΦΒ εγκαταστάσεων), να υιοθετούν τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας. Η συνολική παραγωγή το 2004 έφτασε τα **1.200 MegaWatt** ΦΒ στοιχείων ενώ ο τζίρος της ίδιας χρονιάς άγγιξε τα **6.500.000.000\$**. Σήμερα έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την **Γερμανία** και την **Ιαπωνία** έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. **Η τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων πλέον φτάνει τα 2,5€/ Wp.**

Ήδη βέβαια οι χώρες αυτές έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνολογίας τους.

2.2. Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα

Πάντως τίποτα από αυτά δεν θα γινόταν πραγματικότητα εάν δεν είχε επικυρωθεί το **πρωτόκολλο του Κιότο** και άλλες διεθνείς συμφωνίες που ακολούθησαν κάτω από την πίεση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η ουσιαστική ώθηση για τα φωτοβολταϊκά όπως και για τις υπόλοιπες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δόθηκε μέσα από κυβερνητικά προγράμματα με την μορφή επιδοτήσεων των δραστηριοτήτων παραγωγής ενέργειας (κυρίως ηλεκτρικής) με την χρήση "πράσινων" τεχνολογιών (ΑΠΕ). Η περισσότερη γνωστή από αυτές είναι η **ευνοϊκή τιμολόγηση** της ενέργειας που παράγεται από Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γνωστή και ως **feed - in - tariff**.

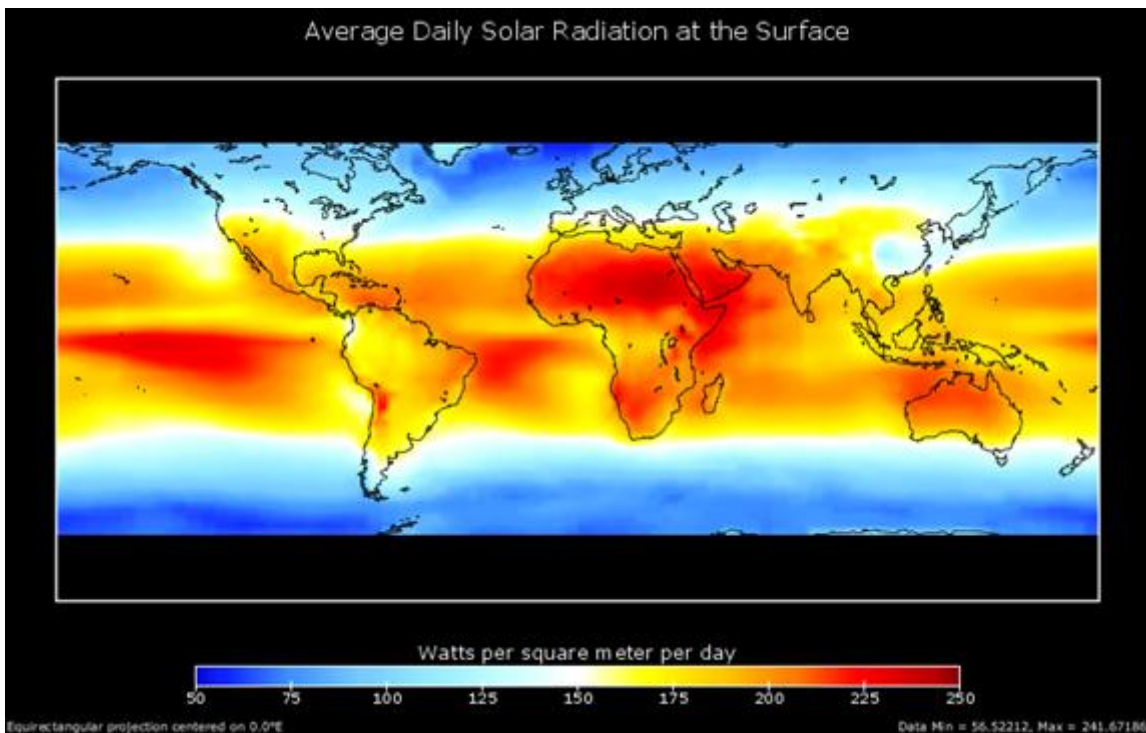
Η Ελλάδα έχει υιοθετήσει και αυτή με την σειρά της κίνητρα για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα οποία μάλιστα είναι ιδιαίτερα ελκυστικά για τους υποψήφιους επενδυτές. Όμως η παροιμιώδης ανικανότητα και διαφθορά που μαστιάζει τους κρατικούς φορείς, κατάφερε την πιο ελπιδοφόρα τεχνολογία της εποχής μας να την κάνει να χαρακτηρίσει ως "φούσκα".

Εκατοντάδες αιτήσεις για άδειες παραγωγής ενέργειας στην ΡΑΕ και άλλες τόσες αιτήσεις **αδειών - εξαιρέσεων** προς επιδότηση από τον επενδυτικό νόμο, περιμένουν καρτερικά σε κάποια συρτάρια την ώρα της κρίσης τους. Παρόλα αυτά, ευτυχώς δεν φαίνεται να "κατόρθωσε" ο κρατικός μηχανισμός να αναχαιτίσει στην χώρα μας την παγκόσμια δυναμική των φωτοβολταϊκών, αφού η εφευρετικότητα του έλληνα κατασκευαστή αλλά και η "προνοητικότητα" κάποιων επενδυτών έχουν ήδη "στείλει" κάποιες **μεγαβατώρες** στο δίκτυο της ΔΕΗ. Επίσης, πέρα από τις επενδύσεις σε **διασυνδεδεμένα συστήματα** μια άλλη αγορά ΦΒ που αναπτύσσεται είναι αυτή των **αυτόνομων συστημάτων**, αφού η τιμή της φωτοβολταϊκής κιλοβατώρας πλέον ανταγωνίζεται με αξιώσεις αυτήν του πετρελαίου και μάλιστα παρουσιάζει και αρκετά πλεονεκτήματα έναντι αυτής. Τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα προς το παρόν βρίσκονται στο Άγιο Όρος, αλλά πλέον υπάρχουν πολλές ΦΒ εγκαταστάσεις σε εξοχικές κατοικίες, απομακρυσμένους τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, φάρους, κτηνοτροφικές μονάδες κλπ.

2.3. Το μέλλον των φωτοβολταϊκών

Πολλοί παρόλα αυτά κρίνουν ότι η διείσδυση των φωτοβολταϊκών έγινε με πολύ αργό ρυθμό παίρνοντας μάλιστα αφορμή από τον εκρηκτικό τρόπο που εξελίχθηκε μια άλλη βιομηχανία ημιαγωγών υλικών, αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτή η καθυστέρηση οφείλεται κυρίως στις τεχνικές (και οικονομικές) δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές στην παραγωγική διαδικασία κατά την προσπάθεια τους να δημιουργήσουν καθαρά ημιαγωγά υλικά (κρυσταλλικό πυρίτιο).

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα ο όγκος του απαιτούμενου υλικού (κρυσταλλικό πυρίτιο) είναι πολύ μεγάλος και η παραγωγή του είναι **ιδιαίτερα ενεργοβόρος**. Επίσης απαιτούνται **υπέρογκα κεφάλαια για το κόστος του εξοπλισμού** αλλά και της ενέργειας που καταναλώνεται κατά την παραγωγική διαδικασία. Για τον λόγο αυτό άλλωστε η τάση που φαίνεται ότι θα καταλάβει ένα μεγάλο μερίδιο στην αγορά των φωτοβολταϊκών μετά από κάποια χρόνια (σε σχέση με αυτό που έχει σήμερα) είναι οι τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin film) στις οποίες επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του απαιτούμενου όγκου πυριτίου (ή των **άλλων τεχνολογιών** που χρησιμοποιούνται) και συνεπώς μείωση στις τιμές των φωτοβολταϊκών. Οι προβλέψεις για το άμεσο μέλλον όσον αφορά την αγορά των φωτοβολταϊκών είναι ιδιαίτερα ευοίωνες, τόσο για την καθολική εξάπλωση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας παγκοσμίως, όσο και για την καθοδική πορεία στις τιμές των φωτοβολταϊκών πλαϊσίων.



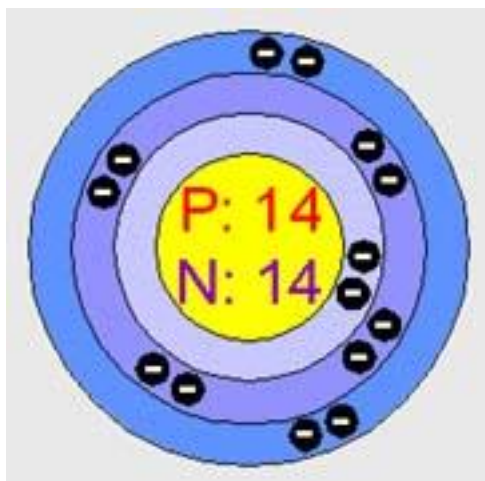
Σχήμα 2.1: Ηλιακός χάρτης που δείχνει την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανά m^2

2.4. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των **ημιαγωγών** υλικών σε ατομικό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε τη διαπερνά είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

Παρ' όλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών. Γενικότερα τα υλικά στη φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά. Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si) για αυτό και θα επικεντρωθούμε σε αυτό.

Το **πυρίτιο** έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

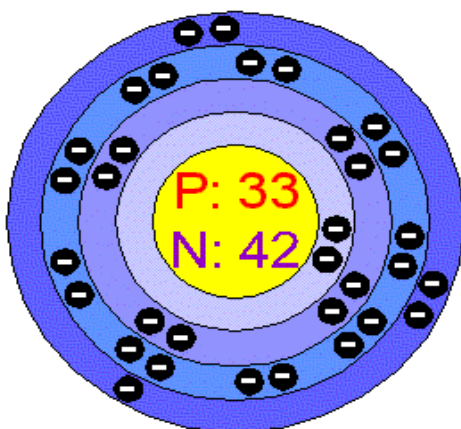


Σχήμα 2.2: Απεικόνιση ατόμου πυριτίου

Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά. Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

2.4.1. Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών

Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με τη πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό **τύπου p**) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό **τύπου n**). Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός **τύπου n** ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το **Αρσένιο (As)**.

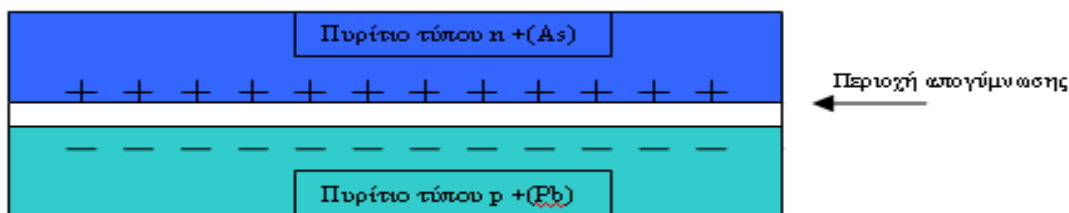


Σχήμα 2.3: Απεικόνιση ατόμου Αρσενίου

Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό **τύπου p** ή αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το **βόριο(B)** που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.

2.4.2. Δημιουργία της επαφής (ηλεκτρικού πεδίου)

Εάν φέρουμε σε επαφή δυο κομμάτια πυριτίου **τύπου n** και **τύπου p** το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια δίοδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.

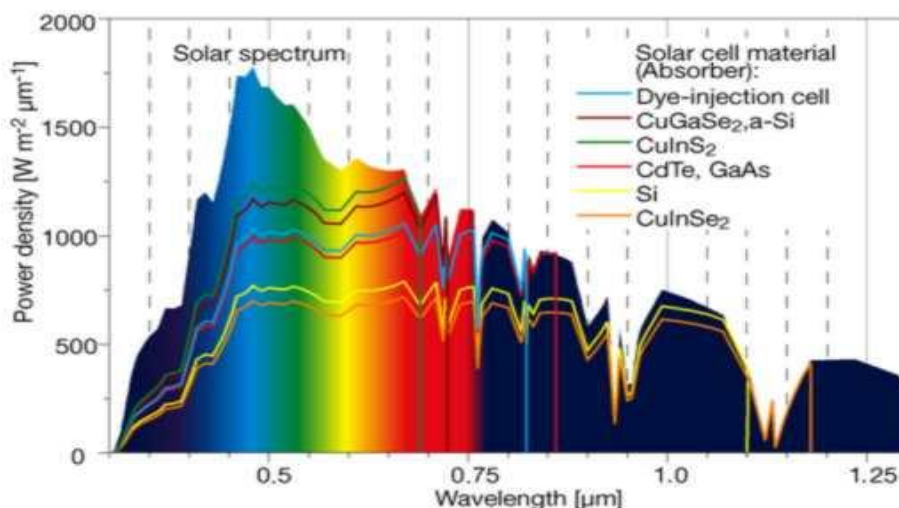


Σχήμα 2.4: Ηλεκτρική δίοδος μεταξύ ημιαγωγών

Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής **n** έλκονται από τις «οπές» της επαφής **p**. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φ/β κελιού και η βάση της φ/β τεχνολογίας.

2.4.3. Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με τη μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φ/β κελιών περνούν αδιατάραχτα την επαφή **τύπου n** και χτυπούν τα άτομα της περιοχής **τύπου p**. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής **τύπου p** αρχίζουν να κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της δίοδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.



Σχήμα 2.4: Διάγραμμα απόδοσης για διάφορους τύπους ΦΒ πλαισίων

Αφού ξεπεράσουν το **ενεργειακό χάσμα** αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής **n** πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να

παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής **n** και στο κάτω της επαφής **p** και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του **φωτοβολταϊκού στοιχείου**.

Το σημαντικότερο κομμάτι σε ένα ΦΒ σύστημα αποτελούν τα ΦΒ πλαίσια, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω της λειτουργίας των ημιαγωγών που αναλύθηκε εκτενώς παραπάνω. Τα σημαντικότερα είδη φ/β πάνελ παρουσιάζονται παρακάτω και διαχωρίζονται με βάση το υλικό του ημιαγωγού που είναι κατασκευασμένα.

2.5. Βασικά μέρη ΦΒ συστήματος

2.5.1. ΦΒ πλαίσια

Το σημαντικότερο κομμάτι σε ένα φ/β σύστημα αποτελούν τα ΦΒ πάνελ, τα οποία είναι υπεύθυνα για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μέσω της λειτουργίας των ημιαγωγών που αναλύθηκε εκτενώς παραπάνω.

2.5.1.a ΦΒ στοιχεία πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν **φωτοβολταϊκά στοιχεία** στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το **90% της αγοράς** των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το *διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂)* (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους **125 °C** κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της **ηλεκτρονικής** (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (**σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου**) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.
- Μια κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si)

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Το **μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία** χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της **καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας** ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (**Czochralski**) και η μέθοδος FZ (**float zone**). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της **SunPower** με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.

2) Φωτοβολταϊκά κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση") και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

3) Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την **Evergreen Solar**. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.

2.5.1.β ΦΒ υλικά λεπτών επιστρώσεων ,thin film

1) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του **18,8%** η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το **ίνδιο** υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός *άμορφο φωτοβολταϊκό* προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι αποδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά **thin films** πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο **πλεονέκτημα** για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις **υψηλές θερμοκρασίες**. Επίσης, **πλεονεκτεί** στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Το **μειονέκτημα** των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν **διπλάσια επιφάνεια** σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την **διάρκεια ζωής** των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

3) Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%.

Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία **CdTe** είναι η **First Solar**. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η **Greenpeace** έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή **έλλειψη του Τελουρίου**. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (**BIPV Building Integrated Photovoltaic**).

4) Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο **άλλα** έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία **GaAs** είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές **ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators)**. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία

GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για **διαστημικές εφαρμογές**. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

2.5.1.γ Υβριδικά Φ/Β στοιχεία

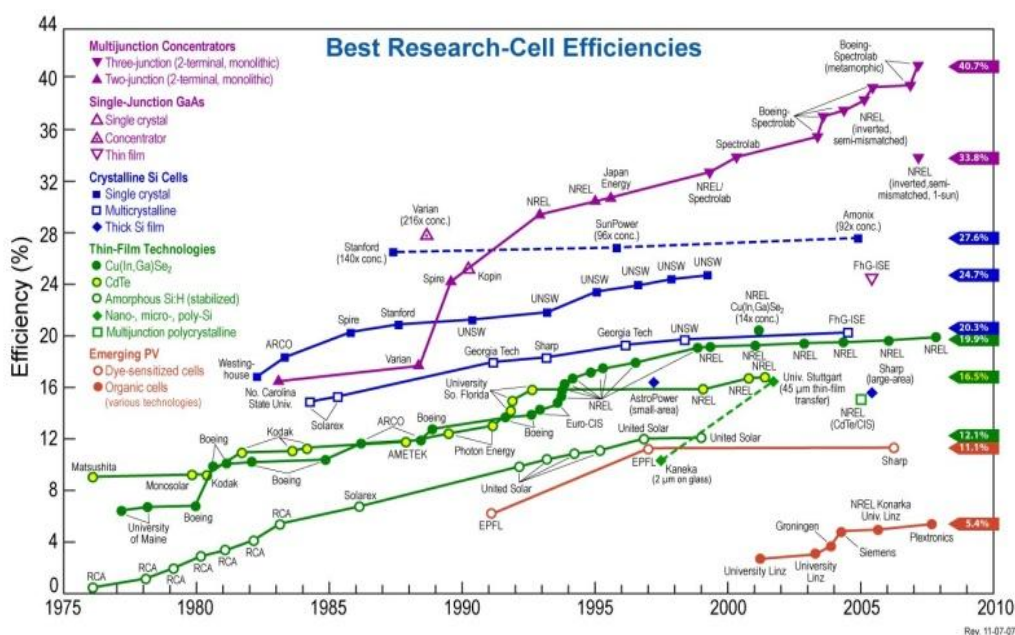
Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

- HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά **υβριδικά φωτοβολταϊκά** στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Κατασκευάζεται από την **Sanyo Solar**. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο **17,2%** και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Αλλά πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η **υψηλή τους απόδοση** σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

2.5.1.δ Άλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

- **Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)**
- **Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία**



Σχήμα 2.5: Εξέλιξη της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας με ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά διάφορων τύπων φ/β πάνελ της εταιρείας eps soltec:

Είδος	Φ/Β στοιχεία σε σειρά	Τάση U_0 max. (Volt)	Ισχύς (W_{peak})	Διαστάσεις ΜxΠxΥ	Βάρος σε γραμ. περίπου
SM 0,5 700	1	0,6	0,35	84x38x4	19
SM 0,5 1400	1	0,6	0,7	84x68x4	33
SM 01 700	2	1,2	0,7	84x68x4	33
SM 02 700	4	2,3	1,4	129x84x4	60
SM 03 700	8	4,7	2,8	160x128x4	118
SM 05 700	16	9,4	5,4	256x162x7	400
SM 12 230	36	21	3,9	200x156x7,5	312
SM 12 260	36	21	4,4	84x402x75	440
SM 12 460	36	21	7,8	184x340x75	760
SM 12 1200	36	21	23	327x506x9	2150
SM 10 1700	28	18	23	327x506x9	2800

2.6. Αντιστροφέας DC/AC (*inverter*)

Η διάταξη αυτή μετατρέπει τη συνεχή τάση (DC) σε εναλλασσόμενη (AC) και χρησιμοποιείται όταν διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως, ενώ η κατανάλωση περιλαμβάνει συσκευές εναλλασσόμενης τάσεως. Δηλαδή, κλασική περίπτωση εφαρμογής αποτελούν τα φ/β συστήματα οικιακής χρήσεως. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη λειτουργία της παράγεται μεγάλο πλήθος αρμονικών υψηλών συχνοτήτων, οι οποίες περιορίζονται με ειδικά ηλεκτρονικά φίλτρα. Οι ηλιακοί αντιστροφέες ποικίλουν από εταιρεία σε εταιρεία ως προς την ισχύ τους και τον τρόπο σύνδεσης (ως προς την ομαδοποίηση με τα ΦΒ στοιχεία). Βασικό στοιχείο των αντιστροφέων είναι η ισχύς που δέχονται από τις ΦΒ γεννήτριες, σε kVA ή σε kW. Ένας τυπικός αντιστροφέας DC/AC εικονίζεται στο Σχήμα 2.6



Σχήμα 2.6: Τυπικός Αντιστροφέας DC/AC

Σε κάθε φ/β σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος , η Δ.Ε.Η. απαιτεί την ύπαρξη προστασίας απόζευξης μέσω διατάξεων του αντιστροφέα DC/AC ,έτσι ώστε ο σταθμός να αποσυνδέεται σε περίπτωση έλλειψης τάσεως από το δίκτυο της (αποφυγή φαινομένου νησιδοποίησης),ή όταν η τάση και η συχνότητα του ρεύματος αποκλίνουν των παρακάτω ορίων:

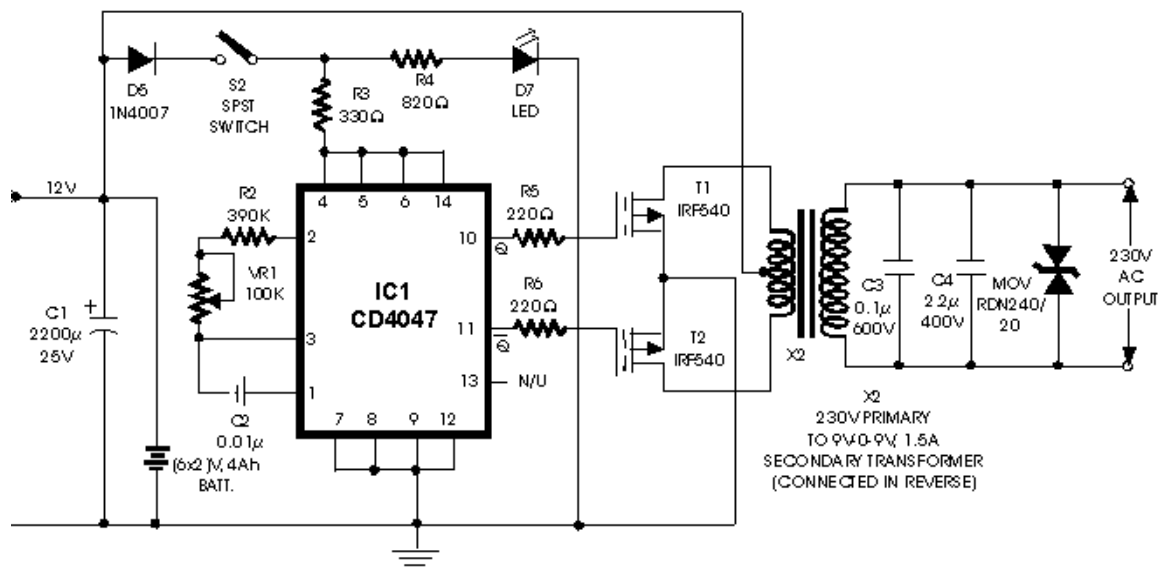
- Τάση: από +15% έως -20% επί της ονομαστικής τιμής (220V)
- Συχνότητα: $\pm 0,5$ Hz της ονομαστικής τιμής (50Hz)

Σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων αυτών ,ο αντιστροφέας τίθεται εκτός λειτουργίας (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις:

- Απόζευξη αντιστροφέα σε 0,5 s
- Επανάζευξη αντιστροφέα μετά από 3 min.

Για να επιλέξουμε INVERTER DC/AC πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας τις εξής παραμέτρους:

- Ονομαστική Τάση
- Ισχύς εξόδου
- Τάση εξόδου



Σχήμα 2.7: Τυπικό διάγραμμα ηλεκτρονικής διάταξη inverter DC/AC

2.7. Αντικεραυνική προστασία

Σημαντικό ρόλο στην εγκατάσταση μας παίζει η αντικεραυνική προστασία η οποία εφαρμόζεται στην DC πλευρά, AC πλευρά και τέλος στο σύνολο της εγκατάστασης με την τοποθέτηση αλεξικέραννου και ταινίας γειώσεως που διατρέχει όλη την εγκατάσταση μας(κυρίως για εγκαταστάσεις σε γήπεδα). Στην DC πλευρά επιτυγχάνεται προστασία με την τοποθέτηση στα κιβώτια παραλληλισμού (JB) συγκεκριμένων ηλεκτρονικών διατάξεων ή με ειδικά tamper που τοποθετούνται στο εσωτερικό του inverter. Στην AC πλευρά, στον πίνακα όπου ασφαλίζεται το AC δίκτυο, τοποθετούνται ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις για την αποφυγή του κινδύνου βλάβης από υπέρταση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο αναπτύσσεται το νομοθετικό πλαίσιο και οι διαδικασίες αδειοδότησης που διέπουν τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα εντασσόμενες στο καθεστώς feed-in-tariff, δηλαδή της διάχυσης στο δίκτυο και πώλησης της παραγόμενης ενέργειας στον αντίστοιχο διαχειριστή του δικτύου. Οι πηγές σε αυτό το κεφάλαιο προέρχονται από τις ιστοσελίδες των Υ.ΠΕ.Κ.Α. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και κλιματικής Αλλαγής) [I1], Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) [I2], Δ.Ε.Η. Ανανεώσιμες Α.Ε. (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού) [I3] και Ρ.Α.Ε. (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) [I4] .

3.1. Νομοθεσία

3.1.1. Αναπτυξιακός Νόμος 3468/2006

Το πρώτο ηλιακό κελί ανακαλύφθηκε στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους **Chapin , Fuller και Pearson** με απόδοση περίπου στο 6% .Φυσικά μια τεχνολογία ,σε πρωϊμό στάδιο τότε ,αναπτύχθηκε κατά πολύ τον 20^ο αιώνα με πολλές εφαρμογές κυρίως από μεγάλες ερευνητικές μονάδες και τη NASA ,καθώς ήταν μια ακριβή τεχνολογία για συμβατική χρήση.

Παρ' όλα αυτά στις αναπτυγμένες οικονομίες (Γερμανία, Σουηδία, Ισπανία, Η.Π.Α. κ.ό.κ.) δόθηκαν κίνητρα από τις εκάστοτε κυβερνήσεις ώστε μια τόσο ακριβή τεχνολογία να γίνει προσιτή κι αιχμή του δόρατος για τις οικονομίες τους. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση πρωτοπόρος στα Φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η Γερμανία ,της οποίας η συνολική απορροφούμενη ενέργεια στο δίκτυο από ΦΒ έφτασε το 16% ,ξεπερνώντας για πρώτη φορά τα αιολικά που έφτασαν το 13%.

Δυστυχώς, για άλλη μια φορά, ακολουθώντας και μη οδηγώντας τις εξελίξεις, στην Ελλάδα, μια χώρα με σχεδόν διπλάσια ηλιοφάνεια από εκείνη των βόρειων χωρών(π.χ. Γερμανία ,Σουηδία κ.ό.κ.) η φωτοβολταϊκή τεχνολογία έκανε αισθητή την παρουσία της το 2006!

Και μάλιστα ,αυτό δε θα γινόταν αν η Ευρωπαϊκή ένωση δεν ήταν ένας από τους ένθερμους υποστηρικτές του **Πρωτόκολλου του Κιότο**. Το **Πρωτόκολλο του Κιότο ή Συνθήκη του Κιότο που υπεγράφη στις 16/02/2005** περιλαμβάνει τα απαραίτητα βήματα για την μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος που προκαλείται λόγω της αύξησης του CO₂ από ανθρωπογενείς δραστηριότητες και προωθείται πλέον το 20-20-20,δηλαδή μέχρι το 2020 το 20% της ενέργειας να παράγεται από Α.Π.Ε. και να μειωθούν κατά 20% οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. .

Έτσι το 2006 καταρτίζεται από το Υπουργείο Ανάπτυξης σε συνεργασία με τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) ο Αναπτυξιακός Νόμος 3468/2006 που έγινε Νόμος του κράτους στις 27 Ιουνίου του 2006. Ο Νόμος αναφέρεται στην προώθηση της ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) με ένα πρόγραμμα που καταρτίζεται από την Ρ.Α.Ε. και εγκρίνεται από τον υπουργό ανάπτυξης. **Το πρόγραμμα αρχίζει με τον 3468/2006 και λήγει 31.12.2020 και αναφέρεται για εγκατάσταση ΦΒ τουλάχιστον 500MWp ,για σταθμούς που συνδέονται στο σύστημα ,απευθείας ή μέσω δικτύου και τουλάχιστον 200 MWp**

για σταθμούς που συνδέονται με το σύστημα για το δίκτυο Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

Τα κίνητρα που δόθηκαν για να αναπτυχθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ ήταν:

- Επιδότηση στο κόστος της αρχικής εγκατάστασης που μπορούσε να φτάσει μέχρι το 40% από το Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης.
- Προνομακές Εγγυημένες τιμές οι οποίες ορίστηκαν στον ίδιο νόμο για είκοσι (20) χρόνια.

Ο φάκελος με τα απαιτούμενα δικαιολογητικά του μελλοντικού παραγωγού κατατεθόταν προς εξέταση στη Ρ.Α.Ε. και υπογραφόταν σύμβαση αγοροπωλησίας με το Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. (Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) που ήταν αρχικά 10ετούς ισχύος και με δικαίωμα του παραγωγού για ανανέωση της σύμβασης για άλλα 10 χρόνια. **Ο Νόμος ίσχυε μέχρι την 31^η Δεκεμβρίου του 2010.**

Η τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε. που διαχέεται στο δίκτυο ορίστηκε όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 3.1: Πίνακας τιμολόγησης παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
(α) Αιολική ενέργεια	73	84,6
(β) Αιολική ενέργεια από αιολικά πάρκα στη θάλασσα	90	
(γ) Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με Εγκατεστημένη Ισχύ έως δεκαπέντε (15) MWe	73	84,6
(δ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές μονάδες, με Εγκατεστημένη Ισχύ μικρότερη ή ίση των εκατό (100) kWpeak, οι οποίες εγκαθίστανται σε ακίνητα ιδιοκτησίας ή νόμιμης κατοχής ή όμορα ακίνητα του ίδιου ιδιοκτήτη ή νομίμου κατόχου	450	500
(ε) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές μονάδες, με Εγκατεστημένη Ισχύ μεγαλύτερη των εκατό (100) kWpeak	400	450
(στ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από μονάδες άλλης τεχνολογίας, πλην αυτής των φωτοβολταϊκών, με Εγκατεστημένη Ισχύ έως πέντε (5) MWe	250	270
(ζ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από μονάδες άλλης τεχνολογίας, πλην αυτής των φωτοβολταϊκών, με Εγκατεστημένη Ισχύ μεγαλύτερη των πέντε (5) MWe	230	250
(η) Γεωθερμική ενέργεια, βιομάζα, αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια	73	84,6
(θ) Λοιπές Α.Π.Ε.	73	84,6
(ι) Σ.Η.Θ.Υ.Α.	73	84,6

Ακόμα παραθέτουμε τα νησιά που είναι διασυνδεδεμένα στο σύστημα.

Πίνακας 3.2: Λίστα ΡΑΕ των Διασυνδεδεμένων Νησιών

Διασυνδεδεμένα Νησιά
Σαμοθράκη, Θάσος, Αμολιανή, Σκιάθος, Σκόπελος, Αλόνησος, Άνδρος, Τήνος, Εύβοια, Κέα, Αίγινα, Αγκίστρι, Πόρος, Ύδρα, Σπέτσες, Κύθηρα, Σαλαμίνα, Ελαφώνησος, Παξοί, Αντιπαξοί, Λευκάδα, Κάλαμος, Καστός, Μεγανήσι, Κεφαλονιά, Ιθάκη, Ζάκυνθος

3.1.2. Νόμος 3734/2009

Με το νέο Νόμο ήρθε η πραγματική “επανάσταση” στην πράσινη ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο νέος νόμος καταργεί την επιδότηση στην αρχική εγκατάσταση αλλά εισαγάγει ένα νέο πρόγραμμα που θα αλλάξει τον ενεργειακό χάρτη στη χώρα και δεν είναι άλλο από το Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης ΦΒ συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις.

Στην ουσία ο νέος νόμος επιτρέπει την εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων σε δώματα ή στέγες οικιών. Πιο συγκεκριμένα σε οικίες δίνεται η δυνατότητα εγκατάστασης μονάδας ισχύος μέχρι 10 kWp με μοναδικές προϋποθέσεις την νομιμότητα(άδεια οικοδομής) του κτιρίου και την κάλυψη θερμικών αναγκών από Α.Π.Ε. . Στα μη διασυνδεδεμένα νησιά η μέγιστη ισχύς εγκατάστασης θα πρέπει να φτάνει 5 kWp (Με ΚΥΑ που εκδόθηκε αργότερα επιτρέπεται εγκατάσταση ΦΒ σε πέργκολα, σε βοηθητικούς χώρους της οικίας, σε σκέπαστρα πάρκινγκ κ.ό.κ.) .Μάλιστα οι παραγωγοί σε αυτή την περίπτωση απαλλάσσονται του Φ.Π.Α. από τα έσοδα του ΦΒ σταθμού και επιβαρύνονται μόνο με το Φ.Π.Α. του εξοπλισμού. Οι αιτήσεις και οι συμβάσεις αγοροπωλησίας συνάπτονται και κατατίθενται αντίστοιχα στο υποκατάστημα της Δ.Ε.Η. όπου ανήκει η παροχή, είναι 25ετούς ισχύος εγγυημένες τιμές. Μέχρι την 31/12/2011 η τιμή πώλησης ανερχόταν στα 550€/MWh από 1/01/2012 η τιμή πώλησης ήταν 522,5 €/MWh ,η οποία θα ήταν σταθερή όλο το 2012 ,όμως την1/02/2012 με υπουργική απόφαση άλλαξαν οι τιμές και η ροή τους και πλέον ισχύει:

Πίνακας 3.3: Τιμολόγηση MWh στα οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα

Μήνας / Έτος	Υφιστάμενη κατάσταση(€/MWh)	Νέα τιμή(€/MWh)	Ποσοστό μείωσης
Φεβρουάριος 2012	522,5	495	5%
Αύγουστος 2012	522,5	470,25	
Φεβρουάριος 2013	496,38	446,73	
Αύγουστος 2013	496,38	424,40	
Φεβρουάριος 2014	471,56	403,18	
Αύγουστος 2014	471,56	383,02	
Φεβρουάριος 2015	447,98	363,87	
Αύγουστος 2015	447,98	345,6	

Πρέπει να κατανοηθεί ότι η τιμή της αγοροπωλησίας εξασφαλίζεται με 25 ετή σύμβαση και δεν μεταβάλλεται. Οι παραπάνω τιμές δείχνουν τις τιμές που στην ουσία «κλειδώνονται» με την υπογραφή σύμβασης σύνδεσης για 25 χρόνια.

Όσον αφορά τις επαγγελματικές στέγες δίνεται η δυνατότητα εγκατάστασης ΦΒ σταθμού χωρίς περιορισμό ισχύος(υπάρχουν παραδείγματα εγκαταστάσεων της τάξεως των MWp). Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται άδεια οικοδομής που να εξηγήει τη χρήση του κτιρίου και ο παραγωγός πλέον φορολογείται ως προς το εισόδημα του αλλά απαλλάσσεται από το Φ.Π.Α. του εξοπλισμού. Η αδειοδότηση μέχρι 1 MWp γίνεται από τη Δ.Ε.Η. αλλά η σύναψη σύμβασης αγοροπωλησίας με το Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε..Όσον αφορά τις εγγυημένες τιμές είναι ίδιες με αυτές των ΦΒ σταθμών σε γήπεδα οι οποίες αρχικά μέχρι 100 kWp ήταν 450€/MWh και μετά ακολουθούσαν ανά εξάμηνο μια πτωτική τάση αλλάζαν κι αυτές την 1/02/2012 με υπουργική απόφαση όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.4: Τιμολόγηση MWh φωτοβολταϊκά συστήματα εγκαταστάσεων <=100 kWp

Μήνας / Έτος	Υφιστάμενη κατάσταση(€/MWh)	Νέα τιμή(€/MWh)	Ποσοστό μείωσης
Φεβρουάριος 2012	375,54	328,60	12,5% επί της προβλεπόμενης τιμής του Ν.3734/2009 και 7% επί της νέας τιμής ανά εξάμηνο
Αύγουστος 2012	353,55	305,60	
Φεβρουάριος 2013	336,23	284,20	
Αύγουστος 2013	316,55	264,31	
Φεβρουάριος 2014	302,56	245,81	
Αύγουστος 2014	293,59	228,60	

Για κάθε έτος από 2015 και μετά ορίζεται ως: 1,4 x μ.ο.ΟΤΣν-1

όπου μ.ο.ΟΤΣν-1 η μέση οριακή τιμή συστήματος τον προηγούμενο χρόνο ν-1

Πίνακας 3.5: Τιμολόγηση MWh φωτοβολταϊκά συστήματα εγκαταστάσεων >100 kWp

Μήνας / Έτος	Υφιστάμενη κατάσταση(€/MWh)	Νέα τιμή(€/MWh)	Ποσοστό μείωσης
Φεβρουάριος 2012	333,81	292,08	12,5% επί της προβλεπόμενης τιμής του Ν.3734/2009 και 7% επί της νέας τιμής ανά εξάμηνο
Αύγουστος 2012	314,27	271,64	
Φεβρουάριος 2013	298,87	252,62	
Αύγουστος 2013	281,38	234,94	
Φεβρουάριος 2014	268,94	218,49	
Αύγουστος 2014	260,97	203,20	

Για καθ 1ε έτος από 2015 και μετά ορίζεται ως: 1,3 x μ.ο.ΟΤΣν-1

όπου μ.ο.ΟΤΣν-1 η μέση οριακή τιμή συστήματος τον προηγούμενο χρόνο ν-1

Σημειώνεται ότι οι αλλαγές στις τιμές γίνονται με βάση της διεύθυνσης των ΦΒ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, επίτευξη εθνικών στόχων, πτώση κόστους εξοπλισμού και επιπτώσεις στους καταναλωτές από το ειδικό τέλος Α.Π.Ε. . Με τους ΦΒ σταθμούς στα γήπεδα πλέον οι συμβάσεις είναι 20ετείς (κι όχι 10+10) και η αδειοδότηση έχει γίνει πιο εύκολη με απόφαση ,μέχρι 1 MWp ,από τη εκάστοτε Δ.Ε.Η. κι όχι το χάος που υπήρχε μέχρι πρότινος που όλες οι αιτήσεις πραγματοποιούνταν στη Ρ.Α.Ε. .Η ΡΑΕ είναι υπεύθυνη για εγκαταστάσεις >1MWp.

3.1.3. Νόμος 3851/2010

Ο Νόμος αυτός επικεντρώθηκε κυρίως στο να καταπολεμήσει τη γραφειοκρατία που επικρατούσε μέχρι τότε, να απλοποιήσει τις διαδικασίες αδειοδότησης και στην ουσία να επιταχύνει την ανάπτυξη ΦΒ συστημάτων. Μέχρι αυτόν το Νόμο αποτέλεσε τροχοπέδη για πολλούς επενδυτές ο δαιδαλώδης ελληνικός γραφειοκρατικός μηχανισμός .

3.2. Αδειοδότηση

3.2.1. Αδειοδότηση μέχρι 10 kWp για οικίες.

Απαραίτητα έγγραφα που προσκομίζονται κατά την αρχική αίτηση:

1. Τεχνικά εγχειρίδια ΦΒ στοιχείων
2. Τεχνικά εγχειρίδια και πιστοποιήσεις αντιστροφών
3. Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης
4. Για κτίρια εκτός σχεδίου πόλεως απαραίτητο το τοπογραφικό σχέδιο
5. Αποδεικτικό δικαιώματος χρήσης του χώρου εγκατάστασης κατά περίπτωση:
 - a) Για εγκατάσταση του συστήματος σε ιδιόκτητο χώρο από τον κύριο του χώρου: Αντίγραφο συμβολαίου και πιστοποιητικό μεταγραφής στο υποθηκοφυλάκειο(τίτλος κυριότητας).
 - b) Για εγκατάσταση του συστήματος σε ιδιόκτητο χώρο ,πλην του ιδιοκτήτη, κύριο οριζόντιας ιδιοκτησίας στο ίδιο κτίριο:Τίτλος κυριότητας και ενυπόγραφη συμφωνία του ιδιοκτήτη περί παραχώρησης.
 - c) Για εγκατάσταση του συστήματος σε κοινόκτητο ή κοινόχρηστο χώρο είτε από το σύνολο των κυρίων οριζοντίων ιδιοκτησιών του κτιρίου, είτε ένα από των κυρίων οριζοντίων ιδιοκτησιών,μετά από παραχώρηση του χώρου αυτού: Πρακτικό ομόφωνης απόφασης της γενικής συνέλευσης ή έγγραφη συμφωνία όλων των συνδιοκτητών του κτιρίου με ευθύνη του διαχειριστή ή του κύριου οριζόντιας ιδιοκτησίας που θα ανήκει το σύστημα.
6. Υπεύθυνη δήλωση του 1599/86 στην οποία ο αιτών δηλώνει:
 - a) Δεν εντάσσεται σε κανένα πρόγραμμα χρηματοδότησης
 - b) Καλύπτει ανάγκες ζεστού νερού για το σπίτι από Α.Π.Ε.
 - c) Ανήκει σε μικρές ή πολύ μικρές επιχειρήσεις (για φυσικά ή νομικά πρόσωπα που είναι επιτηδευματίες)
 - d) Όλοι ανεξαιρέτως οι συνιδιοκτήτες έχουν υπογράψει το πρακτικό της γενικής συνέλευσης ή έχουν εγγράφως συμφωνήσει για την εγκατάσταση.
 - e) Όλα τα παραπάνω είναι αληθή.

Έγγραφα προ της υπογραφή σύμβασης με τη Δ.Ε.Η.:

1. Έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας (Στις περιπτώσεις που προβεί ο μελλοντικός παραγωγός σε κάποια κατασκευή όπως πέργκολα, σκέπαστρο κ.τ.λ.)

Έγγραφα προ της ενεργοποίησης σύνδεσης με το δίκτυο:

1. Αντίγραφο σύμβασης συμψηφισμού
2. Υπεύθυνη δήλωση μηχανικού κατάλληλης ειδικότητας για τη συνολική εγκατάσταση με συνημμένα :Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο και τεχνική περιγραφή για αποφυγή του φαινομένου της νησιδοποίησης στην οποία θα αναφέρονται οι ρυθμίσεις των ορίων τάσεως και συχνότητας εξόδου από τον αντιστροφέα που για την τάση δεν πρέπει να υπερβαίνει το +15% ως -20% της ονομαστικής τάσης, ενώ για τη συχνότητα +/- 0,5 Hz και ότι σε περίπτωση υπέρβασης θα τίθεται εκτός λειτουργίας με χρονικές ρυθμίσεις:

-Θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5 s

-Επανάζευξη του αντιστροφέα σε 3 min.

Ακόμη θα αναφέρεται ο χρόνος λειτουργίας της προστασίας έναντι της νησιδοποίησης.

3. Υπεύθυνη δήλωση του κύριου του ΦΒ που θα αναφέρει ότι καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της εγκατάστασης οι ρυθμίσεις που αναφέρει στην άνω Υ.Δ. ο μηχανικός δε θα μεταβληθούν.

3.2.2. Αδειοδότηση μέχρι 100 kWp για βιομηχανικές στέγες.

Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού επί κτιρίου ή στεγάστρου ισχύος μέχρι και 100 kW στο Δίκτυο ΧΤ απαιτούνται:

1. Τοπογραφικό σχέδιο της ακριβούς θέσης εγκατάστασης (για κτιριακές εγκαταστάσεις εκτός σχεδίου πόλεως)
2. Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του χώρου εγκατάστασης (γίνονται δεκτά και προσύμφωνα κυριότητας ή μίσθωσης)
3. Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του χώρου εγκατάστασης (Για ιδιόκτητο χώρο αντίγραφο της συμβολαιογραφικής πράξης αγοράς οικοπέδου και της οικοδομικής άδειας, ή συμβολαιογραφική πράξη αγοράς κτιρίου και πιστοποιητικό μεταγραφής της στο υποθηκοφυλακείο. Για μισθωμένο χώρο το μισθωτήριο συμβόλαιο είτε σφραγισμένο από την αρμόδια ΔΟΥ, είτε από συμβολαιογράφο με το πιστοποιητικό μεταγραφής του στο υποθηκοφυλακείο)
4. Έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού, από την αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία

Για τη σύνδεση απαιτούνται:

1. Αντίγραφο της Σύμβασης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας μεταξύ Παραγωγού και ΔΕΣΜΗΕ
2. Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη (Υ.Δ.Ε.) για τη συνολική εγκατάσταση, με συνημμένο μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης (ΜΤ και ΧΤ)
3. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο Παραγωγός θα αναφέρει τις ρυθμίσεις των ορίων τάσεως και συχνότητας στην έξοδο του αντιστροφέα τα οποία σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν για την τάση το +15% έως -20% της ονομαστικής τάσης, ενώ για την συχνότητα τα +/- 0,5 Hz

καθώς επίσης και την πρόβλεψη ότι σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων ο αντιστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη) σε ορισμένους χρόνους (απόζευξη του αντιστροφέα σε 0,5 δευτερόλεπτα και επανάζευξη του μετά από τρία λεπτά). Επίσης θα αναφέρει το χρόνο λειτουργίας της προστασίας έναντι νησιδοποίησης

3.2.3. Αδειοδότηση > 100 kWp ως 1 MWp για βιομηχανικές στέγες.

Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού επί κτιρίου ή στεγάστρου ισχύος άνω των 100 kW και στο Δίκτυο MT απαιτούνται:

1. Τοπογραφικό σχέδιο της ακριβούς θέσης εγκατάστασης (για κτιριακές εγκαταστάσεις εκτός σχεδίου πόλεως)
2. Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του χώρου εγκατάστασης (γίνονται δεκτά και προσύμφωνα κυριότητας ή μίσθωσης)
3. Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του χώρου εγκατάστασης (Για ιδιόκτητο χώρο αντίγραφο της συμβολαιογραφικής πράξης αγοράς οικοπέδου και της οικοδομικής άδειας, ή συμβολαιογραφική πράξη αγοράς κτιρίου και πιστοποιητικό μεταγραφής της στο υποθηκοφυλακείο. Για μισθωμένο χώρο το μισθωτήριο συμβόλαιο είτε σφραγισμένο από την αρμόδια ΔΟΥ, είτε από συμβολαιογράφο με το πιστοποιητικό μεταγραφής του στο υποθηκοφυλακείο)
4. Έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού, από την αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία

Για τη σύνδεση απαιτούνται:

1. Αντίγραφο της Σύμβασης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας μεταξύ Παραγωγού και ΔΕΣΜΗΕ
2. Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη (Υ.Δ.Ε.) για τη συνολική εγκατάσταση, με συνημμένο μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης (MT και XT)
3. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο Παραγωγός θα αναφέρει τις ρυθμίσεις των προστασιών ορίων τάσεως και συχνότητας του Αυτόματου Διακόπτη Διασύνδεσης (ΑΔΔ) σύμφωνα με τις υποδείξεις της ΔΕΗ

3.2.3. Αδειοδότηση μέχρι 100 kWp για ΦΒ σταθμούς σε γήπεδα

Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού επί γηπέδου ισχύος μέχρι και 100 kW στο Δίκτυο XT απαιτούνται:

1. Τοπογραφικό σχέδιο της ακριβούς θέσης της εγκατάστασης και χάρτη ΓΥΣ 1:5000 με απεικόνιση του πολυγώνου του γηπέδου (προκειμένου για γήπεδα εκτός σχεδίου πόλεως)
2. Μόνο για νομικά πρόσωπα ,επικυρωμένο αντίγραφο του ΦΕΚ στο οποίο δημοσιεύτηκε η σύσταση της εταιρείας (για ΑΕ ή ΕΠΕ) του καταστατικού, όπως καταχωρήθηκε στα βιβλία εταιρειών του πρωτοδικείου (για ΟΕ ή ΕΕ)

3. Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του γηπέδου εγκατάστασης και το πιστοποιητικό μεταγραφής του στο υποθηκοφυλακείο (γίνονται δεκτά και προσύμφωνα αγοράς ή μίσθωσης)
4. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο αιτών να βεβαιώνει ότι όλα τα στοιχεία που υποβάλλει με την αίτηση του είναι αληθή.

Έγγραφα και στοιχεία προ της υπογραφής της Σύμβασης Σύνδεσης

1. Για εγκατάσταση του σταθμού σε ιδιόκτητο χώρο από τον κύριο του χώρου αυτού, απαιτείται τίτλος κυριότητας (αντίγραφο της συμβολαιογραφικής πράξης αγοράς οικοπέδου και του πιστοποιητικού μεταγραφής της στο υποθηκοφυλάκειο) ή σε περίπτωση μή ιδιόκτητου χώρου απαιτείται τίτλος νόμιμης κατοχής (αντίγραφο του σφραγισμένου από τη ΔΟΥ ιδιωτικού συμφωνητικού μακροχρόνια μίσθωσης) και αντίγραφο του τίτλου κυριότητας του εκμισθωτή. Εναλλακτικά γίνονται δεκτά αντίγραφα της συμβολαιογραφικής πράξης μίσθωσης και του πιστοποιητικού μεταγραφής της στο υποθηκοφυλάκειο.
2. Έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού, από την αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία.
3. Βεβαίωση απαλλαγής από απόφαση ΕΠΟ, από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας Περιφέρειας, ή απόφαση ΕΠΟ εφόσον έχει εκδοθεί

Έγγραφα και στοιχεία προ της σύνδεσης του σταθμού με το Δίκτυο

1. Αντίγραφο της Σύμβασης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας μεταξύ Παραγωγού και ΔΕΣΜΗΕ.
2. Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη (Υ.Δ.Ε.) για τη συνολική εγκατάσταση
3. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο Παραγωγός θα αναφέρει τις ρυθμίσεις των προστασιών ορίων τάσεως και συχνότητας του Αυτόματου Διακόπτη Διασύνδεσης (ΑΔΔ) σύμφωνα με τις υποδείξεις της Δ.Ε.Η..

3.2.4. Αδειοδότηση >100 kWp ως 1 MWp για ΦΒ σταθμούς σε γήπεδα

Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σταθμού επί γηπέδου ισχύος άνω των 100 kW στο Δίκτυο ΜΤ απαιτούνται:

1. Τοπογραφικό σχέδιο της ακριβούς θέσης της εγκατάστασης και χάρτη ΓΥΣ 1:5000 με απεικόνιση του πολυγώνου του γηπέδου (προκειμένου για γήπεδα εκτός σχεδίου πόλεως)
2. Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του γηπέδου εγκατάστασης και το πιστοποιητικό μεταγραφής του στο υποθηκοφυλακείο (γίνονται δεκτά και προσύμφωνα αγοράς ή μίσθωσης)
3. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο αιτών να βεβαιώνει ότι: **α.** ο σταθμός εξαιρείται από έκδοση απόφασης ΕΠΟ βάσει του Ν. 3851/2010, **β.** το αγροτεμάχιο εγκατάστασης του σταθμού χαρακτηρίζεται/δεν χαρακτηρίζεται ως αγροτική γη υψηλής παραγωγικότητας, **γ.** όλα τα στοιχεία που υποβάλλει με την αίτησή του είναι αληθή

Έγγραφα και στοιχεία προ της υπογραφής της Σύμβασης Σύνδεσης

1. Τίτλος κυριότητας του γηπέδου εγκατάστασης (συμβολαιογραφική πράξη και πιστοποιητικό μεταγραφής της στο υποθηκοφυλακείο), ή νόμιμης κατοχής αυτού (το μισθωτήριο συμβόλαιο από συμβολαιογράφο συνοδευόμενο από το πιστοποιητικό μεταγραφής του στο υποθηκοφυλακείο), εφόσον δεν έχουν κατατεθεί κατά την αρχική αίτηση
2. Έγκριση εκτέλεσης εργασιών μικρής κλίμακας για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού σταθμού, από την αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία
3. Βεβαίωση απαλλαγής από απόφαση ΕΠΟ, από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας Περιφέρειας

Έγγραφα και στοιχεία προ της σύνδεσης του σταθμού με το Δίκτυο

1. Αντίγραφο της Σύμβασης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας μεταξύ Παραγωγού και ΔΕΣΜΗΕ
2. Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη (Υ.Δ.Ε.) για τη συνολική εγκατάσταση, με συνημμένο μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης (ΜΤ και ΧΤ)
3. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο Παραγωγός θα αναφέρει τις ρυθμίσεις των προστασιών ορίων τάσεως και συχνότητας του Αυτόματου Διακόπτη Διασύνδεσης (ΑΔΔ) σύμφωνα με τις υποδείξεις της ΔΕΗ

Για εγκαταστάσεις άνω του ενός MWp καταθέτονται τα ίδια έγγραφα με αυτά του άνω των 100 kWp αλλά πλέον είναι αίτηση προς την Ρ.Α.Ε. και γνωμοδοτεί αυτή για το αν χρειάζονται επιπλέον δικαιολογητικά στοιχεία ή έγγραφα.

Στα δικαιολογητικά έγγραφα αναφέρονται μερικοί όροι που θα πρέπει να αναλύσουμε περαιτέρω:

Άδεια εργασιών μικρής κλίμακας:

Για τις οικίες είναι η άδεια που χορηγείται από την οικεία πολεοδομική αρχή σε περίπτωση που προσθέτουμε κάποιο τμήμα στην οικία. Η διαδικασία μας απαλλάσσει σε περιπτώσεις μικρών οικοδομικών εργασιών και δεν απαιτείται, η γνωστή σε όλους, οικοδομική άδεια.

Αυτό όμως διαφέρει κατά πολύ από την διαδικασία που απαιτείται για τους ΦΒ σταθμούς σε γήπεδα. Πιο αναλυτικά για να λάβουμε την άδεια μικρής κλίμακας, εκεί που απαιτείται, σε εγκαταστάσεις που πραγματοποιούνται σε γήπεδα χρειάζεται να καταθέσουμε στην πολεοδομία:

- Διάγραμμα κάλυψης (χωροθέτηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και εμβαδόν, η κάλυψη δεν πρέπει να ξεπερνάει το 60% της συνολικής έκτασης)
- Τεχνική περιγραφή εγκατάστασης
- Απαλλαγή από ΕΠΟ(Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων)
- Αρχαιολογία
- Δασαρχείο
- Υπηρεσία Νεοτέρων μνημείων

3.3. Ένταξη μονάδας Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. στο καθεστώς feed-in-tariff.

Η μονάδα της σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. κατασκευάστηκε και μπήκε σε λειτουργία το 2002 όπου δεν υπήρχε νομικό καθεστώς το οποίο να εντάσσει το σύστημα στη λογική της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και εν συνεχεία της πώλησης αυτής στη Δ.Ε.Η.. Η νομοθεσία προβλέπει την ένταξη των πανεπιστημιακών ιδρυμάτων στο καθεστώς feed-in-tariff αφού αποτελούν **Νομικά Πρόσωπα Δημοσίου Δικαίου**. Στο παράρτημα ΙΙ επισυνάπτουμε την αίτηση που πρέπει να συμπληρωθεί και να κατατεθεί ,μαζί με τα απαιτούμενα δικαιολογητικά που αφορούν στέγες <100kWp στο δίκτυο χαμηλής τάσης.

Συμπληρώνοντας αυτήν την αίτηση, με τα στοιχεία του Ε.Μ.Π. ως Ν.Π.Δ.Δ. (Νομικού Προσώπου Δημοσίου Δικαίου) , το σύστημα εντάσσεται στο καθεστώς feed-in-tariff και μάλιστα αυτή τη στιγμή με την τιμή 0,32860 €/kWh.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκές γεννήτριες στο χώρο της Σχολής Χημικών Μηχανικών, υλοποιήθηκε αξιοποιώντας το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Thermie με την πρωτοβουλία και καθοδήγηση του καθηγητή Γιάννη Παλυβού, ομότιμου, πλέον, καθηγητή του ΕΜΠ. Την εποχή που λειτούργησε (έναρξη λειτουργίας 16^η Ιουνίου 2002) ήταν μια από τις μεγαλύτερες και πρωτοπόρες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις αλλά πλέον σήμερα η μονάδα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί τεχνολογικά ως «παρωχημένη». Προτείνεται, ύστερα από την διεξοδική μελέτη της φωτοβολταϊκής μονάδας, μια σειρά μέτρων που θα βοηθούσαν στη βελτίωση της ενεργειακής απολαβής και αναλύονται τα ενεργειακά και οικονομικά κέρδη, σε καθεστώς feed –in –tariff, πριν και μετά τις αλλαγές που προτείνονται. Για την περιγραφή των χαρακτηριστικών στοιχείων της εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκε το υλικό από το πρόγραμμα Thermie [9]. Βασικές πηγές βιβλιογραφίας αποτέλεσαν τα βιβλία των Hulstrom [3], Markvart [4], Cartener & Silvestre [7], Lorenzo [8], Πρωτονοτάριου & Θεολόγου [2α] και Πέρδιου [1α]. Για την επεξεργασία και την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Autocad Electrical 2011, PVSOL Expert 4.0, Sunny Design 2.20 και το διαδικτυακό JRC-PVGIS.

4.1. Περιγραφή μονάδας

Στην εγκατάσταση υπάρχουν φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα οποία λειτουργούν κι ως παθητικά στοιχεία, στην Νότια πρόσοψη της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.. Η μελέτη εφαρμογής της κατατέθηκε το Νοέμβριο του 2000, μέσω του προγράμματος Thermie. Η λειτουργία των ΦΒ του συστήματος είναι διπλή: από τη μια δημιουργούν ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θέρμανσης του χώρου πίσω από τα ΦΒ πλαίσια, και από την άλλη προσφέρουν σκίαση στην οροφή κι άρα μη υπερθέρμανση του χώρου. Με βάση την ιδιαίτερη στήριξη και προσαρμογή των πλαισίων, το σύστημα είχε ως σκοπό να καλύπτει τμήμα των θερμικών και ψυκτικών αναγκών του κτιρίου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό, γιατί τα κτίρια όντας κατασκευασμένα τη δεκαετία του 70', δεν διαθέτουν μόνωση με αποτέλεσμα τις καλοκαιρινές μέρες να υπάρχει ιδιαίτερα υψηλή θερμοκρασία στο εσωτερικό του χώρου και τις χειμερινές το αντίστροφο.

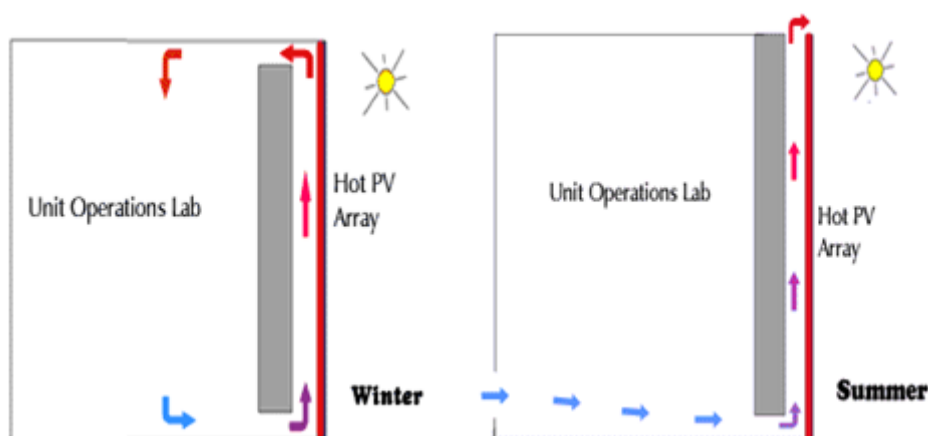
Η εγκατάσταση πραγματοποιήθηκε σε δύο επίπεδα, στην πρόσοψη του κτιρίου με κλίση 90⁰ και σε μια έκταση 258,86 m² και στο δώμα που βρίσκεται πάνω από το ημιβιομηχανικό εργαστήριο, με κλίση 30⁰ σε 180 m². Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται τμήμα της εγκατάστασης



Σχήμα 4.1: Τμήματα του υβριδικού συστήματος σχολής ΧΜ ΕΜΠ

4.2. Λειτουργία ΦΒ πρόσοψης

Τα ΦΒ στοιχεία που είναι εγκατεστημένα στην πρόσοψη της Νότιας πλευράς δρουν ως παθητικά στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα κατά την χειμερινή περίοδο ζεστός αέρας παράγεται στο πίσω μέρος των πλαισίων, λόγω της συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας από το συγκεντρωτικό κάτοπτρο, εν συνεχεία μεταφέρεται στο κενό μεταξύ του πλαισίου και του τοίχου, μέσω ενός φυσικού κύκλου αέρα με τον οποίο επιτυγχάνεται καλός αερισμός. Κενό μεταξύ της πίσω πλευράς του πλαισίου με τον τοίχο στα 15-20cm βελτιστοποιεί την κυκλοφορία του αέρα και την απόδοση των ΦΒ κελίων. Όσον αφορά την καλοκαιρινή εποχή αυτός ο φυσικός αερισμός χρησιμοποιείται για να ψύξει τις ΦΒ κυψέλες και παράλληλα να ικανοποιήσει τις ανάγκες δροσισμού του κτιρίου.



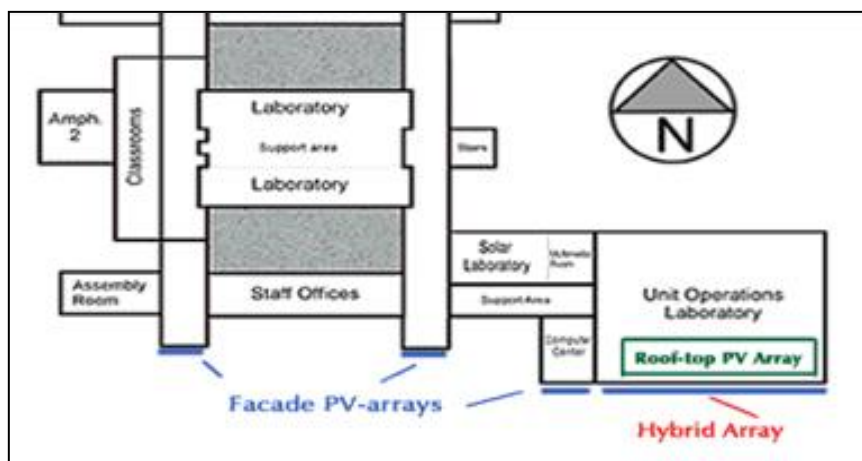
Σχήμα 4.2: Απεικόνιση λειτουργίας υβριδικού συστήματος σχολής ΧΜ

Όπως φαίνεται και στις εικόνες του Σχήματος 4.2 τον χειμώνα ο κρύος αέρας θερμαίνεται στο πίσω μέρος με αποτέλεσμα την κάλυψη θερμικών αναγκών του κτιρίου και το καλοκαίρι ο ζεστός αέρας φεύγει χωρίς την υπερθέρμανση του κτιρίου. Διαπιστώνουμε όμως από τις εικόνες ότι για να επιτευχθεί αυτό θέλουμε δυο κατασκευές.

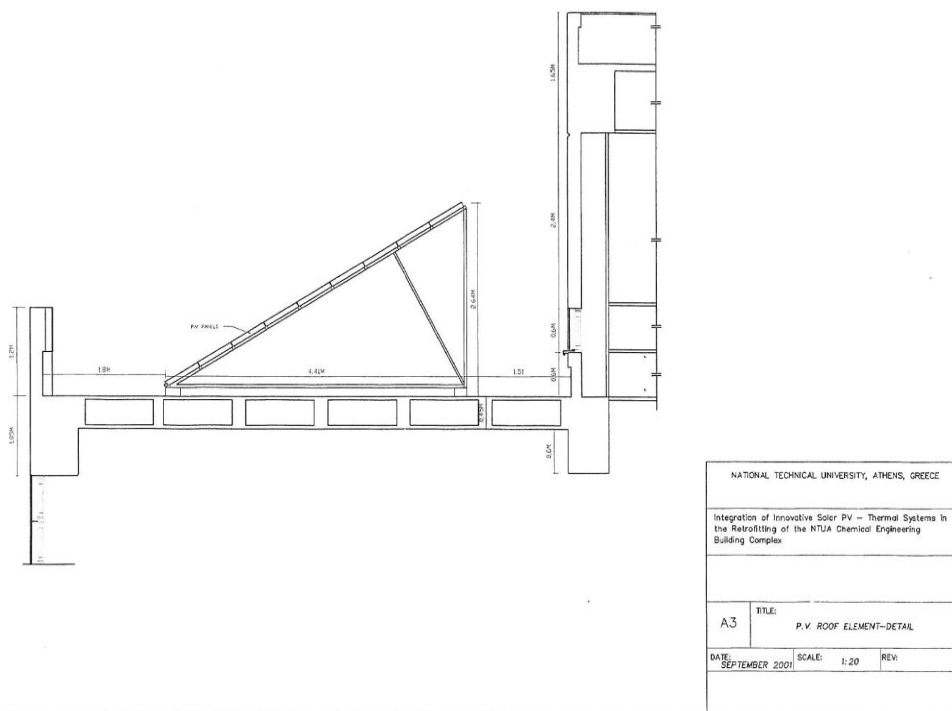
1. Στην πρώτη κατασκευή που απευθύνεται στην κάλυψη θερμικών αναγκών κατατάσσονται οι πέντε όμοιες επιφάνειες ,οι οποίες για την φυσική κυκλοφορία του αέρα εκμεταλλεύονται τα παράθυρα που δεν καλύφθηκαν από ΦΒ πλαίσια, όποτε κατασκευαστικά δημιουργείται άνοιγμα στο κάτω μέρος για τον κύκλο του αέρα.
2. Στις άλλες τρείς που δεν υπάρχει παράθυρο δημιουργούνται ανοίγματα στο πάνω και κάτω μέρος και η λειτουργία τους είναι αντίστοιχη της δεύτερης φωτογραφίας.

4.3. Λειτουργία ΦΒ δώματος

Τα ΦΒ στο δώμα που βρίσκεται στο πάνω μέρος του ημιβιομηχανικού εργαστηρίου σχεδιάστηκαν για να καλύπτουν τις θερμικές και ψυκτικές ανάγκες του κτιρίου με όμοιο τρόπο με αυτόν που αναφέρθηκε πιο πάνω. Το σημαντικότερο όλων όμως είναι ότι τα ΦΒ αυτά όντας σε κλίση τις καλοκαιρινές μέρες δημιουργούν σκίαση μη επιτρέποντας τις ακτίνες του ήλιου να θερμάνουν την οροφή. Έτσι πετυχαίνεται ο στόχος της ψύξης και ταυτόχρονα με φυσικό αερισμό πέφτει η θερμοκρασία των ΦΒ κυψελών.



Σχήμα 4.3: Απεικόνιση εγκατάστασης στο κάθετο και κεκλιμένο επίπεδο



Σχήμα 4.4: Βάση στήριξης κεκλιμένου επιπέδου

4.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά

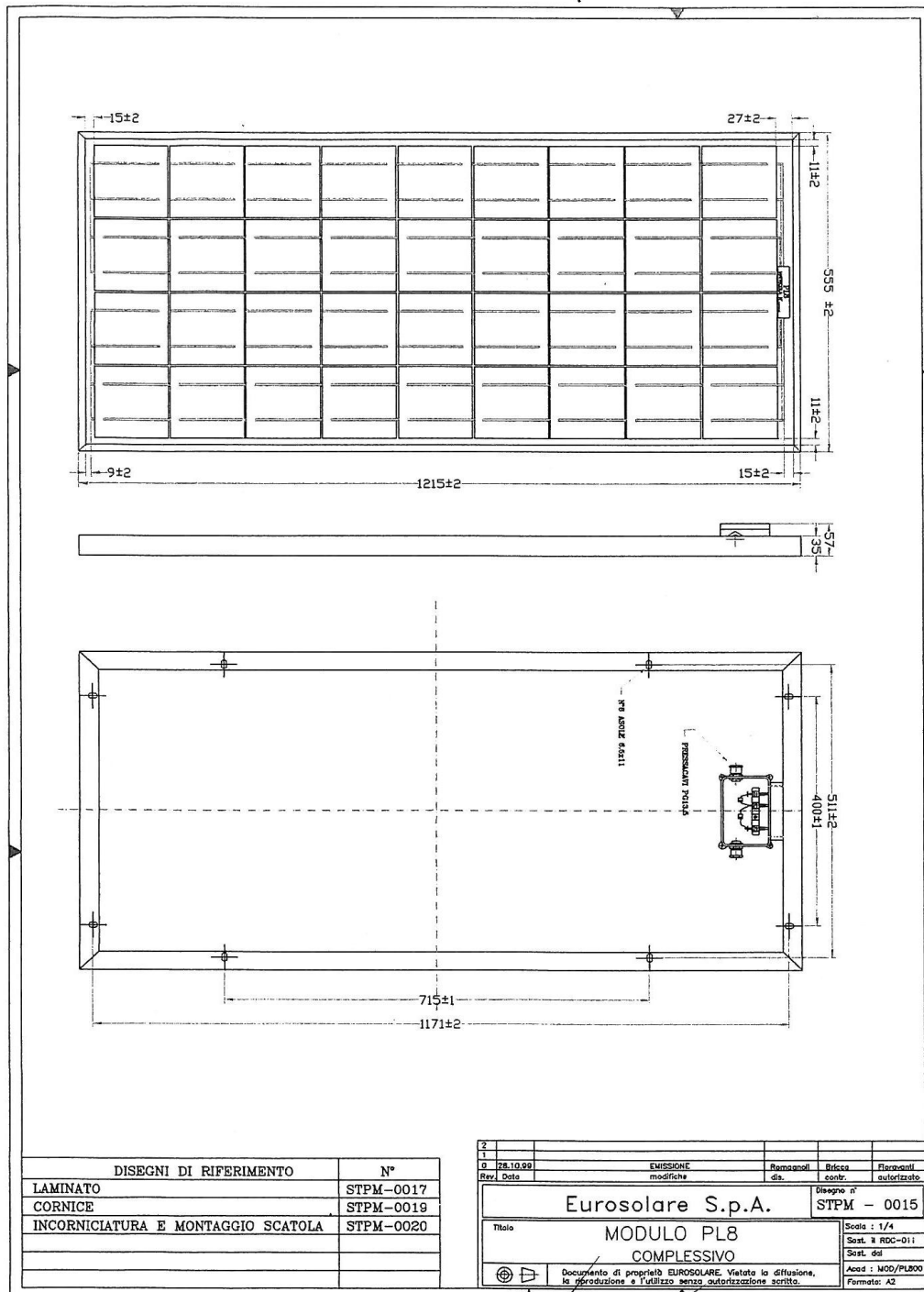
4.4.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίων

Την περίοδο που κατασκευάστηκε η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ μονάδες η γνώση για την ποιότητα και την αξιοπιστία των ΦΒ στοιχείων ήταν ελλιπής καθώς οι εταιρείες κατασκευής ΦΒ πλαισίων δεν είχαν εισχωρήσει ιδιαίτερα στην ελληνική αγορά, αφού δεν υπήρχε κάποιο νομοθετικό πλαίσιο που να διευκολύνει την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας και των επενδύσεων. **Στην μονάδα, λοιπόν, επιλέχθηκαν τα ΦΒ πλαίσια Eurosolare κατασκευασμένα στην Ιταλία και πιο συγκεκριμένα ο τύπος Eurosolare PL 810.**

Οι ηλιακές φωτοβολταϊκές γεννήτριες Eurosolare μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χαμηλή συνεχής τάση (DC). Η Eurosolare κατασκευάζει φωτοβολταϊκά μονοκρυσταλλικού και πολυκρυσταλλικού πυριτίου με υψηλό βαθμό απόδοσης ανά μονάδα επιφάνειας, μικρό βάρος, μικρές διαστάσεις και διάρκεια ζωής μεγαλύτερη των 25 ετών.

Οι ηλιακές γεννήτριες Eurosolare τοποθετούνται εύκολα, λειτουργούν χωρίς επίβλεψη και επεκτείνονται εύκολα για αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος ανάλογα με τις λειτουργικές ανάγκες. Φορτίζουν μπαταρίες όπου και αποθηκεύεται η ενέργεια που παράγουν κατά την διάρκεια της ημέρας (ηλιοφάνεια ή συννεφιά) και στην συνέχεια μπορεί να τροφοδοτήσει συσκευές 12 Volt ή 220 volt με τη βοήθεια ενός μετατροπέα (inverter). Χρησιμοποιείται σε εξοχικές κατοικίες, τροχόσπιτα, σκάφη, τηλεπικοινωνιακούς αναμεταδότες, ιχθυοτροφεία, φάρους, για φωτισμό, ψύξη ή οπουδήποτε αλλού χρειάζεται ηλεκτρική ενέργεια.

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες είναι ενσωματωμένες ανάμεσα σε δύο στρώσεις ειδικού στρώσεις (ακετυαιθυλενιούχου βινυλίου EVA) που τους δίνει ισχυρή προστασία σε υπεριώδεις ακτίνες (UV) και οξείδωση. Η άνω επιφάνεια καλύπτεται από άθραυστο γυαλί, υψηλής διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία και η κάτω επιφάνεια από αδιαπέραστο πλαστικό, στεγανό, άριστο μονωτικό και διηλεκτρικά σταθερό με την ονομασία TEDLAR. Όλα τα στρώματα των διαφόρων υλικών είναι σφραγισμένα περιμετρικά με σιλικόνη και προστατεύονται με ανοδιωμένο αλουμίνιο, για προστασία από το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης .



Σχήμα 4.5: Τομή φωτοβολταϊκού πλαισίου

Οι συνθήκες όπου πραγματοποιούνται οι παρακάτω μετρήσεις είναι οι εξής:

- **STC:** Standard Test Conditions (Τυπικές συνθήκες δοκιμών)
 1. Προσπίπτουσα ακτινοβολία 1000W/m^2
 2. Θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C
 3. Air Mass(μάζα αέρα) 1,5

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται εκτενώς η μέθοδος των μετρήσεων.

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται ορισμένα βασικά στοιχεία του ΦΒ πλαισίου που δίνουν στην ουσία όλα τα απαραίτητα στοιχεία για να διαστασιολογηθεί το σύστημα και να πραγματοποιηθεί η χωροθέτηση.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά στοιχεία Φωτοβολταϊκού Πλαισίου Eurosolare PL810

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά(STC)		
Ονομαστική Ισχύς	P_{MPP} (W)	67
Ονομαστική Τάση	U_{MPP} (V)	16,9
Ονομαστικό Ρεύμα	I_{MPP} (A)	4
Τάση άνευ φορτίου	U_{oc} (V)	21
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	I_{sc} (A)	4,4
Απόδοση	η (%)	10

Συντελεστές Θερμοκρασίας (%/K)		
1. Συντελεστές Θερμοκρασίας	$\alpha(I_{sc})$	+0,0015
2. Συντελεστές Θερμοκρασίας	$\beta(U_{oc})$	-0,077
3. Συντελεστές Θερμοκρασίας	$\gamma(P_{MPP})$	-0,46

Βασικά Στοιχεία		
Μήκος *Πλάτος *ύψος	(mm ³)	1220*560*35
Βάρος	(kg)	8,5
Αριθμός κυψελών		36
Υλικό κυψελών		Πολυκρυσταλλικό Si
Μπροστινό κάλυμμα		Ηλιακό Γυαλί
Πίσω κάλυμμα		TEDLAR
Υλικό πλαισίου		Πολυμερής μεμβράνη

Επίσης οι ΦΒ γεννήτριες Eurosolare :

- Λειτουργούν σε σχετική υγρασία 95%
- Διακύμανση θερμοκρασιών -45°C έως $+95^{\circ}\text{C}$
- Αντέχουν σε κρούση χαλάζης διαμέτρου 25mm με ταχύτητα 85 km/h
- Αντέχουν σε ταχύτητες ανέμου 180 km/h
- Δέχονται θερμικό χτύπημα 20°C - 80°C σε 10 κύκλους.
- Έχουν προδιαγραφές ISPRS 503 EEC

Όλα τα παραπάνω είναι με βάση την πιστοποίηση EEC/IEC 1215 ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και αντοχών σε μηχανικές καταπονήσεις.

IEC: International Electrotechnical commission (Διεθνής Ηλεκτροτεχνική επιτροπή)

4.4.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφών

Σημαντικό τμήμα σε μια ΦΒ εγκατάσταση είναι ο αντιστροφέας (inverter) ο οποίος μετατρέπει τη συνεχή τάση (DC) που λαμβάνουμε από τα ΦΒ σε εναλλασσόμενη τάση (AC) και επομένως για κοινή χρήση, είτε αυτό αναφέρεται για διάχυση της ενέργειας στο δίκτυο είτε για πλήρη αυτονομία των καταναλώσεων μας. **Στην εγκατάσταση μας χρησιμοποιήθηκαν inverters Ισπανικής προελεύσεως της εταιρείας Atersa τύπου TAURO PRM 4000/8.** Εγκαταστάθηκαν συνολικά 14 inverters που ο καθένας αντιστοιχεί στα 14 κουτιά συνδέσεως (JB), 5 για το κεκλιμένο επίπεδο και 9 για το κάθετο επίπεδο. Στη συνέχεια λόγω βλάβης αντικαταστάθηκαν οι 12 inverters με 8 αντιστροφείς της εταιρείας Fronius τύπου Fronius IG 60. Μερικά από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του inverter είναι.

Στην DC πλευρά του inverter έχουμε:

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	TAURO PRM 4000/8	Fronius IG 60
Ονομαστική ισχύς (kW)	3,2	4,6
Συνδεσμολογία	Μονοφασικό	Μονοφασικό
Μέγιστη ισχύς από ΦΒ(kW)	4	6,7
I_{\max} (A)	29	35,84

Στην AC πλευρά ισχύει:

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	TAURO PRM 4000/8	Fronius IG 60
Τάση AC	230	230
AC Ισχύς(kW)	3,2	4,6
Τάση από DC	105...185	150-400
Προστασία από χαμηλή AC τάση/ τάση λειτουργίας(V)	Ναι/205	Ναι/195,5
Προστασία από υψηλή AC τάση/ τάση λειτουργίας(V)	Ναι /253	Ναι/253
Προστασία από χαμηλή συχνότητα/συχνότητα λειτουργίας(Hz)	Ναι/49,5	Ναι/48,8
Προστασία από υψηλή AC τάση/ συχνότητα λειτουργίας λειτουργίας(Hz)	Ναι/50,5	Ναι/50,2
Προστασία έναντι του φαινομένου νησιδοποίησης	Ναι	Ναι

Άλλα χαρακτηριστικά:

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	TAURO PRM 4000/8	Fronius IG 60
Ελάχιστη επιτρεπτή σύνδεση(W)	150	
Συντελεστής ισχύος(cosφ)	0.98...1.00	1
Απόδοση (%)	93	94,5
Σύστημα ψύξης	Φυσικός αερισμός και ανεμιστήρας	ανεμιστήρας
Θερμοκρασία λειτουργίας	-5 ⁰ C/40 ⁰ C	-20 ⁰ C/50 ⁰ C
Διαστάσεις (mm)	670*330*230	733*435*225
Βάρος	41 kg	20 kg
Βαθμός προστασίας	IP 20	IP 45

Ο αντιστροφέας Fronius διαθέτει ακόμα :

1. Προστασία υπέρτασης συνεχούς τάσης
2. Προστασία από αντιστροφή πολικότητας συνεχούς τάσης
3. Σε περίπτωση DC υπερφόρτωσης μετατοπίζει το σημείο λειτουργίας

Οι αντιστροφείς συνδέονται από τη μια πλευρά με DC δίκτυο και αφού το μετατρέψουν σε AC το μεταφέρουν προς το μετρητικό σύστημα και τον πίνακα της Δ.Ε.Η. Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε που καταλήγει η έξοδος των Inverters , της AC πλευράς, και την απόσταση των inverters και του υποσταθμού από τον οποίο τροφοδοτείται το κτίριο.



Σχήμα 4.6: Διάταξη ΦΒ αντιστροφέων TAURO στο χώρο εγκατάστασης



Σχήμα 4.7: Υ/Σ σύνδεσης των αντιστροφέων



Σχήμα 4.8: Τοποθέτηση Inverters και Υ/Σ τροφοδοσίας

Από ότι διαπιστώθηκε, έχουν παρθεί ορισμένα μέτρα ώστε η πτώση τάσης, λόγω απόστασης των αγωγών σύνδεσης, τόσο από τα ΦΒ προς τους αντιστροφείς όσο και από τους αντιστροφείς προς το δίκτυο, να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη και αυτό επιτεύχθηκε με καλώδια μεγαλύτερης διατομής. Παρ' όλα αυτά ορισμένοι αγωγοί απαιτείται να αντικατασταθούν με άλλους μεγαλύτερης διατομής. Το παραπάνω στην ουσία είναι η εξάρτηση της ωμικής αντίστασης από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αντιστάτη με βάση τον τύπο:

$$R = \rho \cdot l / S$$

Έτσι για μεγάλες αποστάσεις για να παραμείνει ίδια η R αυξάνουμε τη διατομή του αγωγού. Επομένως αποφεύγεται περαιτέρω πτώση τάσεως ($V = I/R$), που μειώνει την αποδοτικότητα του συστήματος μας.

Στα τεχνικά χαρακτηριστικά των inverter αναφέρεται ο όρος **νησιδοποίηση**. Είναι προϋπόθεση στα διασυνδεδεμένα συστήματα και μάλιστα απαιτείται Υπεύθυνη Δήλωση του μηχανικού ότι οι αντιστροφείς διαθέτουν προστασία ενάντια του φαινομένου της νησιδοποίησης. Τι είναι όμως αυτό το φαινόμενο. Όλοι οι σύγχρονοι πλέον inverters έχουν την απαιτούμενη προστασία από το φαινόμενο της νησιδοποίησης που αλλιώς αναφέρεται ως islanding, και η προστασία από αυτό ως anti-islanding. Σε περίπτωση διακοπής ρεύματος στο δίκτυο απαιτείται σε σύντομο χρονικό διάστημα (0,5s) άμεση απόζευξη του αντιστροφέα από αυτό. Κανείς θα αναρωτιέται γιατί να συμβαίνει αυτό αφού απλά ο inverter θα στέλνει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Θα ήταν μια σωστή παρατήρηση αν σε αυτό το κομμάτι του δικτύου («νησί») λειτουργούσε μόνο ένας αντιστροφέας. Στην περίπτωση που υπάρχουν κι άλλοι αντιστροφείς ενδέχεται κάποιοι από αυτούς να αναγνωρίσουν ως τροφοδοσία την διαχεομένη ενέργεια στο δίκτυο από τους άλλους, με αποτέλεσμα να αρχίσει να λειτουργεί κατά πολύ έξω από τα όρια τάσης και συχνότητας που είναι επιτρεπτά (220 V, 50Hz). Από το 1999, το πρότυπο για την αντί-islanding προστασίας στις Η.Π.Α. ήταν το UL 1741, εναρμονισμένα με το πρότυπο IEEE 1547. Κάθε μετατροπέας που είναι εισηγμένος στο πρότυπο UL 1741 μπορεί να συνδεθεί με ένα δίκτυο κοινής ωφέλειας, χωρίς την ανάγκη για επιπλέον αντί-islanding εξοπλισμό, οπουδήποτε στις Η.Π.Α. και χώρες που είναι αποδεκτό το UL. Παρόμοια αποδοχή του IEEE 1547 υπάρχει και στην Ευρωπαϊκή ένωση.

4.5. Χωροθέτηση Φ/Β πλαισίων

Σύμφωνα με τα σχέδια του παραρτήματος Ι αξιοποιήθηκαν όλες οι επιφάνειες που περιγράφονται στο πρόγραμμα THERMIE και εγκαταστάθηκαν στην πρόσοψη

του κτιρίου με κλίση 90° 484 φβ πλαίσια και στην οροφή του κτιρίου 256 πάνελ με κλίση 30° ενώ ο προσανατολισμός ήταν καθαρά προς το Νότο με αζιμουθιακή γωνία $\gamma \sim 0$. Δηλαδή μια συνολική εγκατάσταση ισχύος $[(484+256)*67Wp=]$ **49,58 kWp**.

4.6. Εκτιμώμενη απόδοση

Για την εκτιμώμενη απόδοση οποιουδήποτε συστήματος πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της τοποθεσίας και κυρίως την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που προσπίπτει σε αυτήν. Σε αυτό το κομμάτι μας διευκολύνει πολύ η διαδικτυακή εφαρμογή του JRC (Joint Research Centre-Κοινό Κέντρο Ερευνών), της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System-Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών Φωτοβολταϊκών). Η συλλογή δεδομένων για τις κλιματικές συνθήκες σε κάθε περιοχή απευθύνεται στο διάστημα 2001-2010. Για την ορθή μελέτη διαχωρίζουμε το σύστημα μας σε δύο επίπεδα, το κάθετο και το κεκλιμένο. Το κάθετο επίπεδο είναι ισχύος $(484*67Wp=)$ 32,428 kWp και το κεκλιμένο επίπεδο $(256*67 kWp=)$ 17,152 kWp.

Ζωγράφος: $37^{\circ}58'30''$ Βόρεια, $23^{\circ}46'27''$ Ανατολικά, Υψόμετρο: 189 m a.s.l.,

Βάση δεδομένων: PVGIS-CMSAF

Ονομαστική ισχύς συστήματος: 31.3 kW (Κρυσταλλικό πυρίτιο)

Εκτιμώμενες απώλειες λόγω θερμοκρασίας: 10.6% (τοπική θερμοκρασία περιβάλλοντος)

Εκτιμώμενες απώλειες λόγω του φαινομένου γωνιακής ανάκλασης: 5.9%

Άλλες απώλειες(καλώδια,inverters): 14.0%

Συνδυασμοί απωλειών: 27.7%

Πίνακας 4.2: Πίνακας εκτιμώμενης απόδοσης κάθετων φωτοβολταϊκών

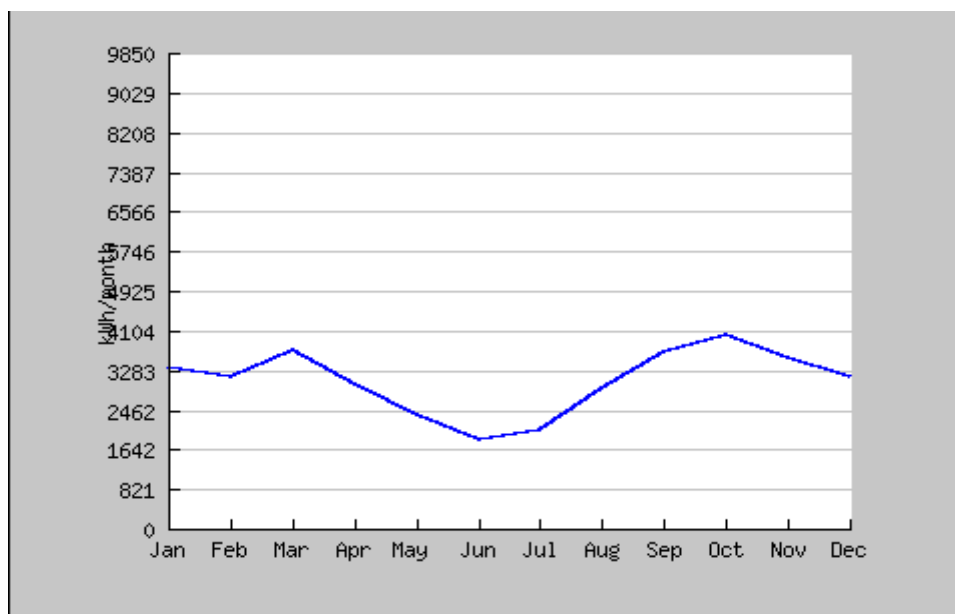
κλίση= 90° , προσανατολισμός= 0°				
Μήνας	E_d	E_m	H_d	H_m
Ιαν.	82.20	2550	3.41	106
Φεβ.	86.30	2420	3.60	101
Μαρ.	91.6	2840	3.88	120
Απρ.	76.50	2290	3.39	102
Μάϊος	58,2	1800	2.77	85.8
Ιουν.	47.20	1410	2.40	72.1
Ιουλ.	50.60	1570	2.58	80.0
Αυγ.	71.90	2230	3.46	107
Σεπ.	92.80	2790	4.20	126
Οκτ.	99.00	3070	4.30	133
Νοεμ.	90.20	271	3.83	115
Δεκ.	78.00	2420	3.27	101
Ετήσιος Μ.Ο.	77.0	2340	3.42	104
Ετήσιο Σύνολο	28100		1250	

E_d : Μ.Ο. ημερήσιας παραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας (kWh).

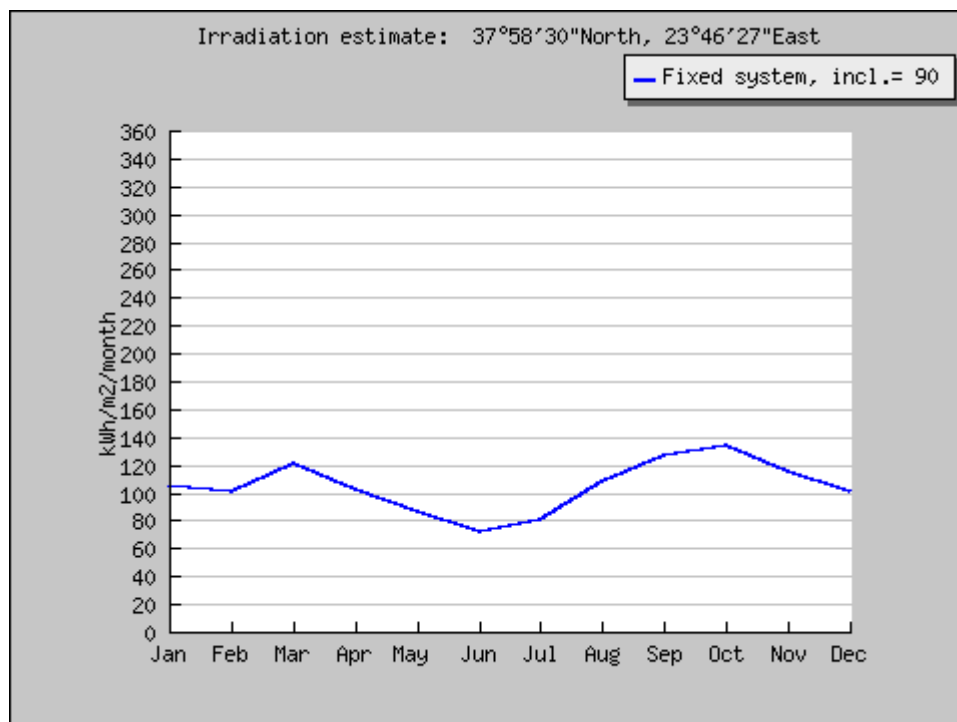
E_m : Μ.Ο. μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (kWh).

H_d : Μ.Ο. ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα Φ/Β πλαίσια ανά m^2 (kWh/ m^2).

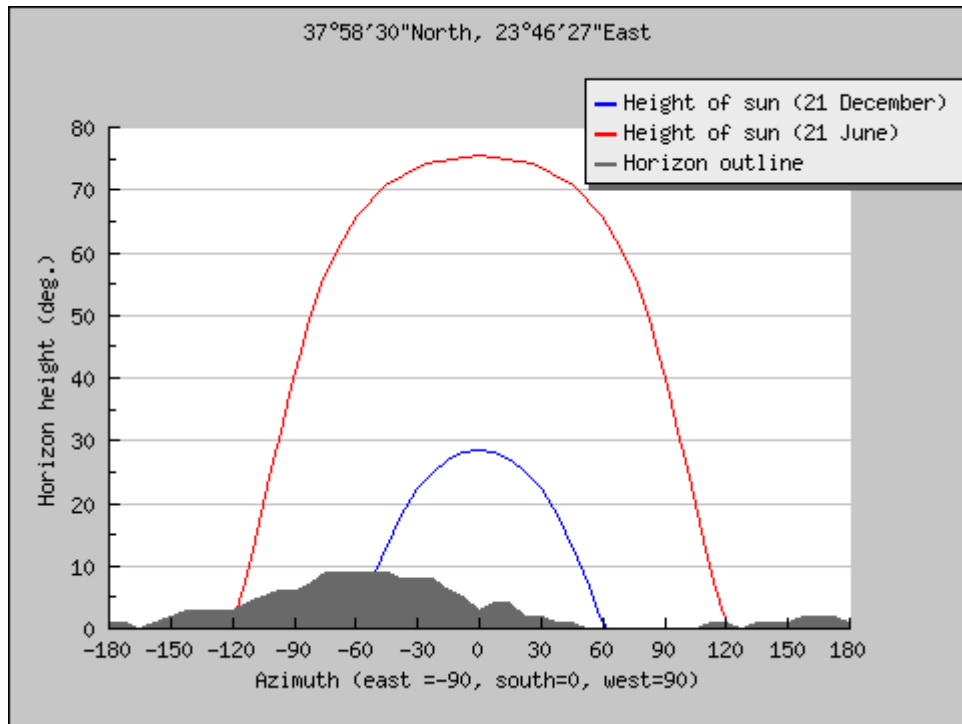
H_m : Μ.Ο. μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα Φ/Β πλαίσια ανά m^2 (kWh/ m^2).



Σχήμα 4.9: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο κάθετο επίπεδο



Σχήμα 4.10: Μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανά m^2 στο κάθετο επίπεδο



Σχήμα 4.11: Χαρακτηριστική τροχιά του ήλιου και σκιάσεις διάφορες ημερομηνίες του χρόνου

Από την χαρακτηριστική τροχιά του ήλιου για την χειμερινή ισημερία παρατηρεί κανείς ότι στην περιοχή του Ζωγράφου ο Ήλιος πρέπει να φτάσει στους 10 deg. σε ύψος ορίζοντα για να γίνει ορατός, ενώ το καλοκαίρι σχεδόν με την ανατολή γίνεται ορατός. Ακόμη στα διαγράμματα της εκτιμώμενης απόδοσης για το κάθετο επίπεδο διακρίνουμε μια πτώση την καλοκαιρινή περίοδο καθώς η κλίση των ΦΒ στοιχείων είναι τέτοια που δεν επιτρέπει την κάθετη πρόσπτωση των ηλιακών ακτινών, κάτι που λειτουργεί περισσότερο τις χειμερινές μέρες. Το ακριβώς αντίστροφο όπως θα δούμε παρακάτω συμβαίνει στο κεκλιμένο επίπεδο.

Το πρόγραμμα πέρα από τις κλιματικές και γεωγραφικές παραμέτρους λαμβάνει υπ' όψη του και εκτιμώμενες απώλειες από τον εξοπλισμό αλλά και διάφορα φαινόμενα που επηρεάζουν το σύστημα μας.

Ζωγράφος: 37°58'30" Βόρεια, 23°46'27" Ανατολικά, Υψόμετρο: 189 m a.s.l.,

Βάση δεδομένων: PVGIS-CMSAF

Ονομαστική ισχύς συστήματος: 31.3 kW (Κρυσταλλικό πυρίτιο)

Εκτιμώμενες απώλειες λόγω θερμοκρασίας: 10.6% (τοπική θερμοκρασία περιβάλλοντος)

Εκτιμώμενες απώλειες λόγω του φαινομένου γωνιακής ανάκλασης: 5.9%

Άλλες απώλειες(καλώδια,inverters): 14.0%

Συνδυασμοί απωλειών: 27.7%

Πίνακας 4.3: Πίνακας εκτιμώμενης απόδοσης κεκλιμένων φωτοβολταϊκών

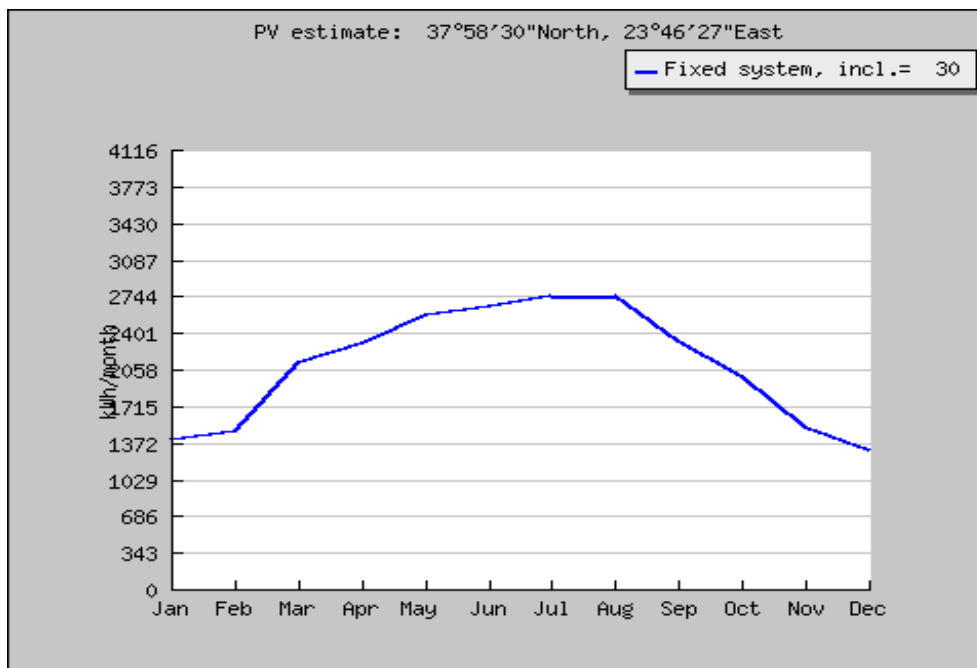
κλίση=30°, προσανατολισμός=0°				
Μήνας	E_d	E_m	H_d	H_m
Ιαν.	45.00	1390	3.42	106
Φεβ.	52.90	1480	4.10	115
Μαρ.	68.30	2120	5.40	167
Απρ.	77.00	2310	6.24	187
Μάϊος	82.60	2560	6.86	213
Ιουν.	88.20	2650	7.50	225
Ιουλ.	88.80	2750	7.64	237
Αυγ.	88.60	2750	7.60	235
Σεπ.	77.20	2320	6.47	194
Οκτ.	64.10	1990	5.19	161
Νοεμ.	50.30	1510	3.93	118
Δεκ.	42.10	1300	3.22	99.8
Ετήσιος Μ.Ο.	68.8	2090	5.64	172
Ετήσιο Σύνολο		25100		2060

E_d : Μ.Ο. ημερήσιας παραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)

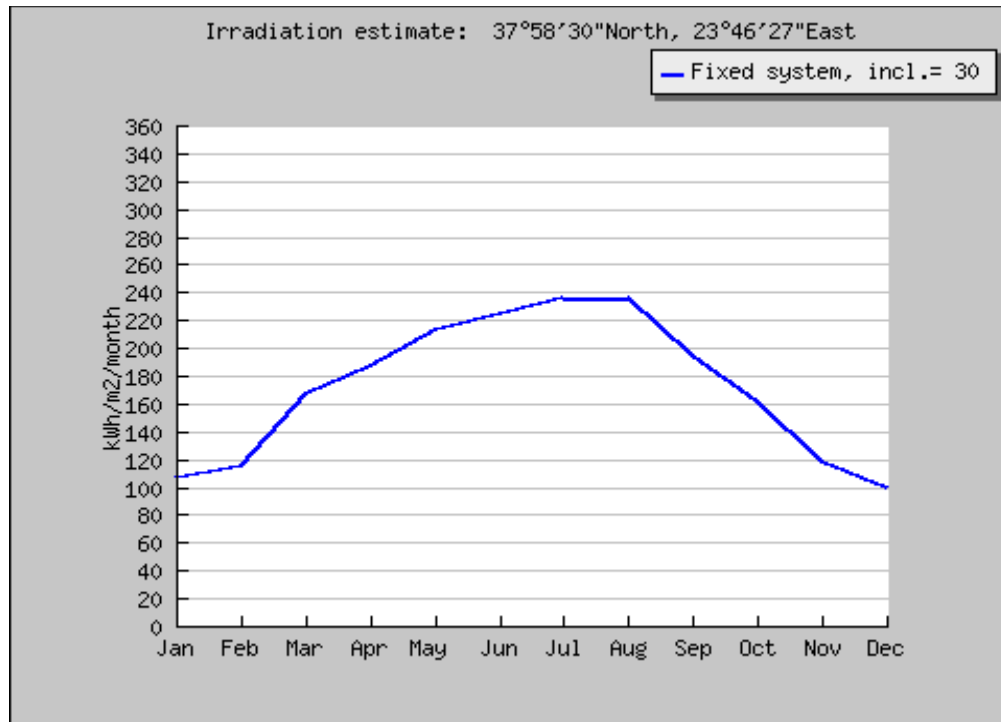
E_m : Μ.Ο. μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)

H_d : Μ.Ο. ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα Φ/Β πλαίσια ανά m^2 (kWh/m²)

H_m : Μ.Ο. μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα Φ/Β πλαίσια ανά m^2 (kWh/m²)



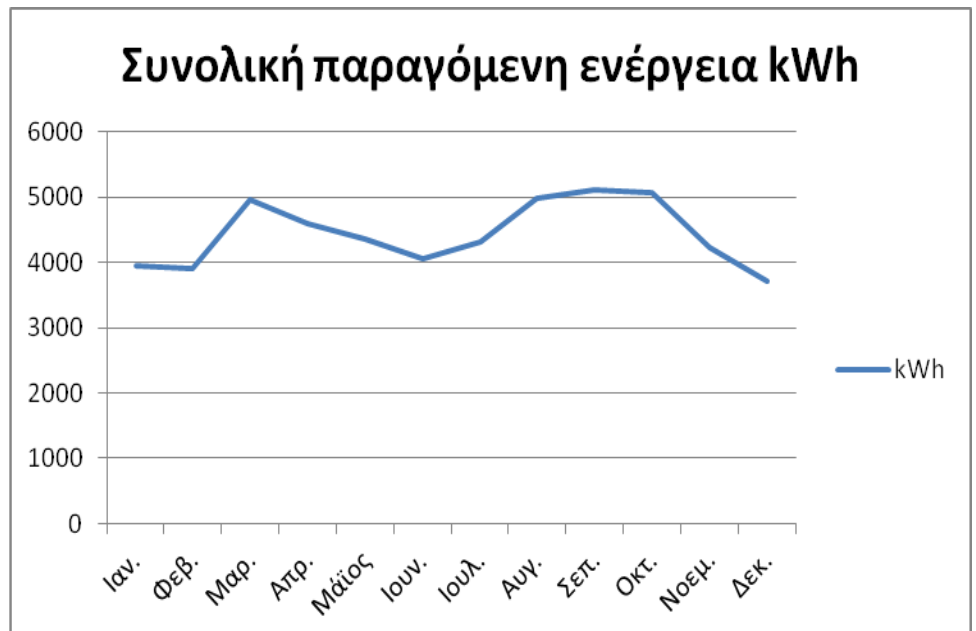
Σχήμα 4.12: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο κεκλιμένο επίπεδο



Σχήμα 4.13: Μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανά m² στο κεκλιμένο επίπεδο

Αθροίζοντας τις επιμέρους παραγωγές καταλήγουμε στην συνολική εκτιμώμενη απόδοση.

Μήνας	kWh
Ιαν.	3940
Φεβ.	3900
Μαρ.	4960
Απρ.	4600
Μάϊος	4360
Ιουν.	4060
Ιουλ.	4320
Αυγ.	4980
Σεπ.	5110
Οκτ.	5060
Νοεμ.	4220
Δεκ.	3720
Σύνολο	53230



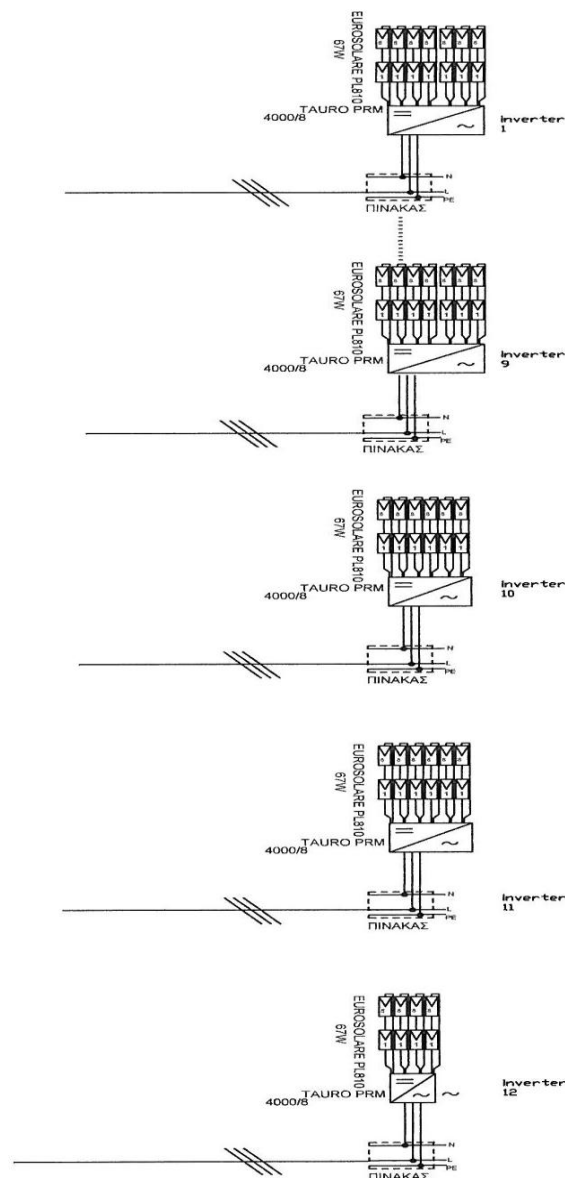
Σύμφωνα με τα στοιχεία η συνολική απόδοση του συστήματος μας θα έπρεπε να ήταν 53.230 kWh.

4.7. Συνδεσμολογία Φ/Β συστήματος

4.7.1. Υφιστάμενη κατάσταση

Εγκαταστάθηκαν συνολικά 14 inverters που ο καθένας αντιστοιχεί στα 14 κουτιά συνδέσεως (JB), 5 για το κεκλιμένο επίπεδο και 9 για το κάθετο επίπεδο.

Στο Σχήμα 4.14 επισυνάπτεται μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο που δείχνει τη συνδεσμολογία των πλαισίων, οι οποίοι αργότερα αντικαταστάθηκαν λόγω βλάβης (πρώτοι 12 inverters), με τους inverters. Πιο συγκεκριμένα όλα τα πλαίσια ήταν συνδεδεμένα στη σειρά κατά οκτάδες και για τους πρώτους εννιά (1-9) inverters η σύνδεση ήταν σε επτά (7) παράλληλα strings, ο 10^{ος} και 11^{ος} inverter σε έξι (6) παράλληλα strings, ο 12^{ος} σε 4 παράλληλα strings ενώ ο 13^{ος} σε 6 παράλληλα strings. Στο 14^ο inverter η συνδεσμολογία έγινε σε 7 παράλληλα strings και 1 string επί 4 πλαίσια στη σειρά.



Σχήμα 4.14: Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό διάγραμμα της αρχικής εγκατάστασης

Είναι σημαντικό να εξηγηθεί γιατί ομαδοποιούνται έτσι τα πλαίσια. Ο inverter δέχεται συγκεκριμένη τάση και ένταση ρεύματος που μεγιστοποιεί την απόδοσή του. Έτσι, βάσει των δύο κανόνων του Kirchhoff, στην περίπτωση των 8 πλαισίων σε σειρά έχουμε $I_1=I_2=...=I_8=I=4A$ και $V=V_1+V_2+...+V_8=135,2 V$

Και 7 παράλληλων στοιχειοσειρών :

$$V_a=V_b=V=135,2 V \quad \text{και} \quad I=I_a+I_b=8A$$

Έτσι λοιπόν υπολογίζεται η απαιτούμενη τάση και ένταση του ρεύματος για τη βέλτιστη συνδεσμολογία των πλαισίων.

Η μονάδα προσδιορίζεται χρονικά στα εξής σημαντικά γεγονότα:

- Στις 16/06/2002 η μονάδα δίνει τις πρώτες kWh στο δίκτυο
- Στις 5/01/2003 λόγω βλάβης έπαψε η λειτουργία των 7 inverters Tauro και εστάλησαν για επισκευή.
- Επανατοποθετήθηκαν στις 20 Ιανουαρίου 2004 .Κατά την επιστροφή των inverter από την επισκευή τους κάηκε άλλος ένας .
- Τον 1/2004 λειτουργούσαν 13 στους 14 inverters.
- Στις 29/07/2004 σταμάτησαν να λειτουργούν 4 inverters.
- Στις 17/8/2004 σταμάτησε άλλος ένας.
- Από 17/8/2004 μέχρι 15/05/2005 λειτουργούσαν 8 στους 14 inverters.
- Στις 27/09/2008 εκλάπησαν 6 ΦΒ πλαίσια της συστοιχίας στο κεκλιμένο επίπεδο και αντικαταστάθηκαν.

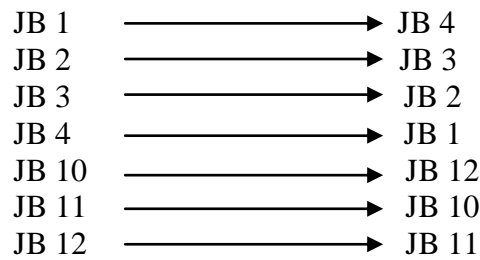
Σήμερα:

Παρακάτω επισυνάπτονται διάγραμματα που αναλύουν ακριβώς τις μεταβολές που πραγματοποιήθηκαν στις ομαδοποιήσεις των ΦΒ πλαισίων, καθώς πλέον έχουμε 4 λιγότερους inverters και η αντικατάσταση έγινε με μεγαλύτερης ισχύος . Οι inverters 13 και 14 παρέμειναν στην εγκατάσταση. Σήμερα λειτουργεί μόνο ο inverter 14 κι όχι ο 13. Συνοπτικά στο διάγραμμα διαφαίνεται ότι :

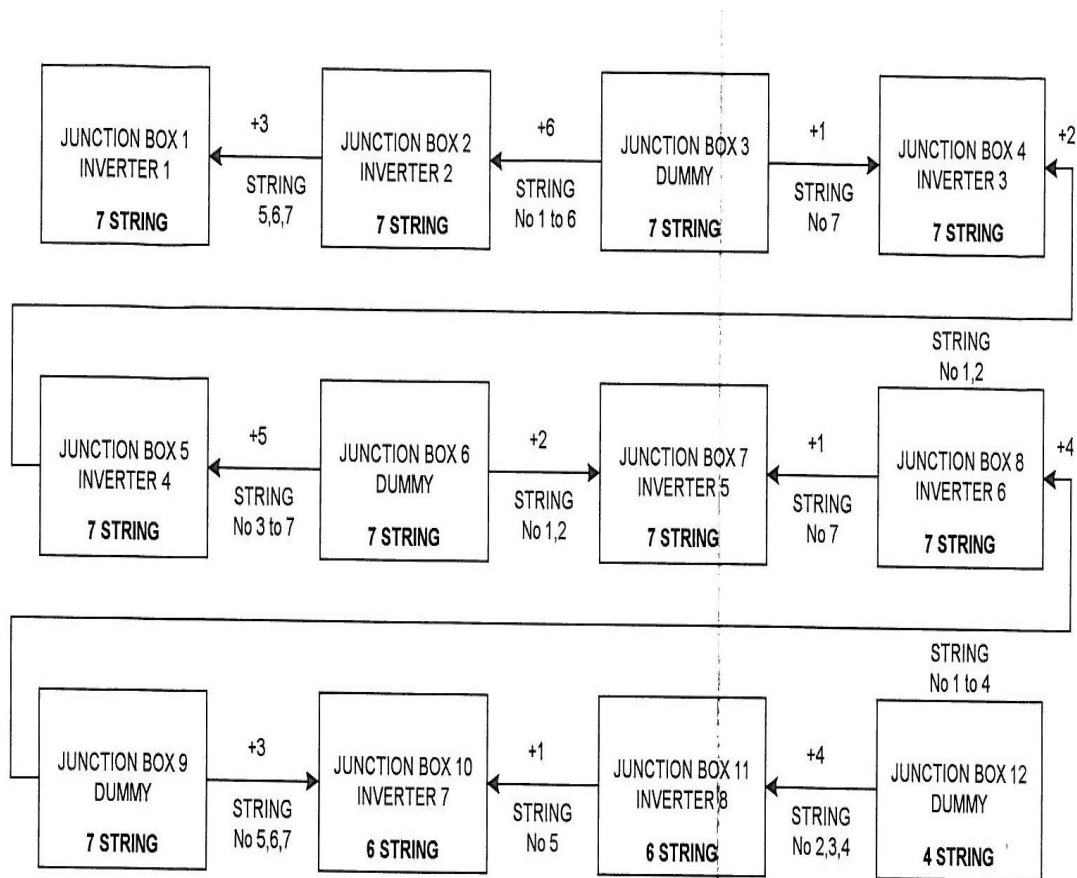
- Η συνδεσμολογία των ΦΒ γεννητριών σε σειρά δεν μεταβλήθηκε.
- Τα παράλληλα string πλέον μεταβάλλονται και γίνονται 10 , με αποτέλεσμα πλέον σε κάθε inverter να καταλήγουν 80 ΦΒ πλαίσια, εκτός του 8ου inverter με 8 παράλληλα string.
- Η αντιστοιχία inverter και κυτίων παραλληλισμού πλέον είναι:

INVERTER 1	—————→	JB1
INVERTER 2	—————→	JB2
INVERTER 3	—————→	JB4
INVERTER 4	—————→	JB5
INVERTER 5	—————→	JB7
INVERTER 6	—————→	JB8
INVERTER 7	—————→	JB10
INVERTER 8	—————→	JB11

- Η ονομασία και αρίθμηση των κυτίων άλλαξε με την εξής λογική:

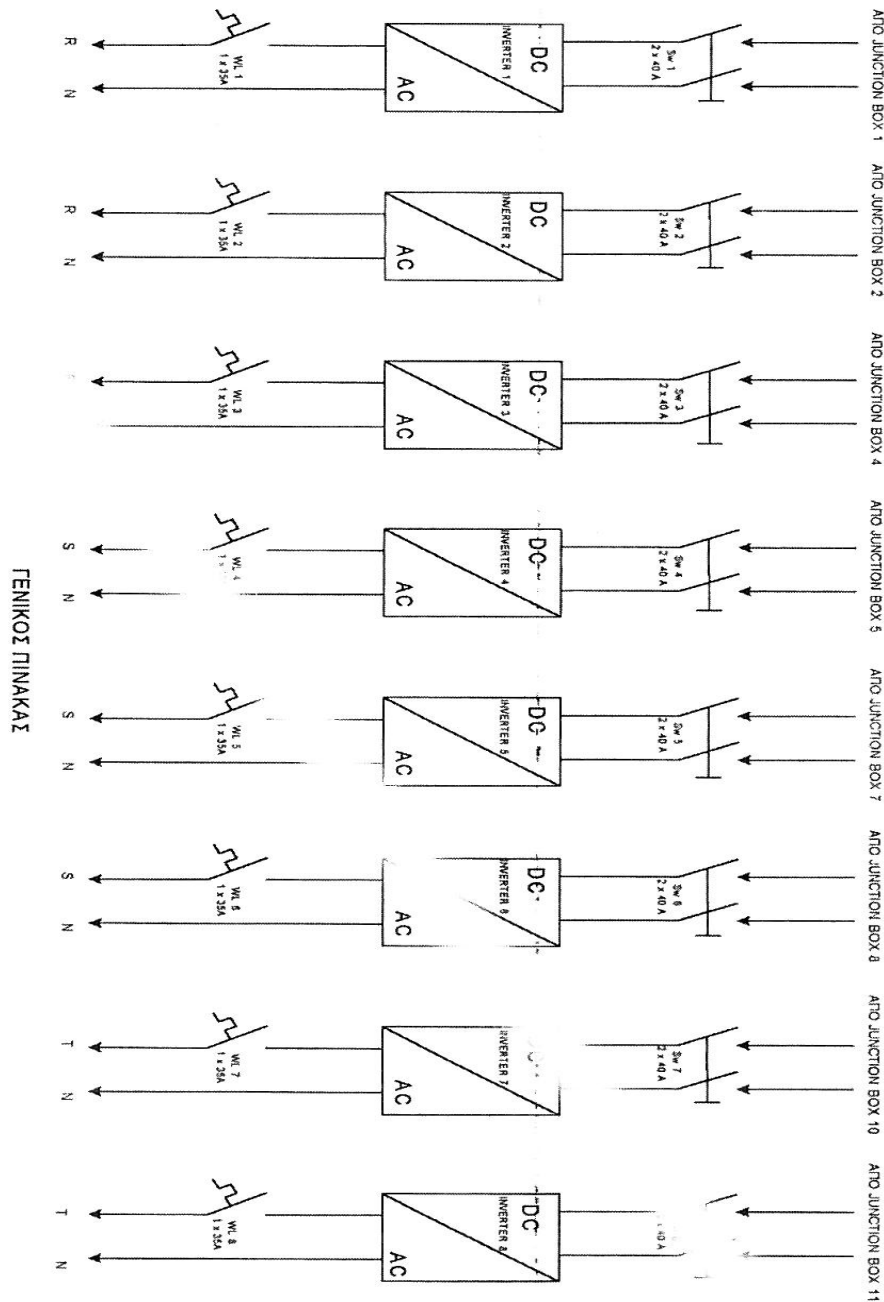


Όλα τα παραπάνω φαίνονται πιο συνοπτικά στο διάγραμμα του Σχήματος 4.15 και :



Σχήμα 4.15: Διαγραμματική απεικόνιση των τροποποιήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην φωτοβολταϊκή μονάδα

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η μεταφορά των strings από ένα JB σε κάποιο άλλο. Για παράδειγμα στο JB3 με συνολικά 7strings τα 6 μεταφέρονται στο JB2 και 1 στο JB4 για χάρη της ομαδοποίησης. Επομένως το 3 κουτί συνδέσεως δεν έχει κάποιο string και δεν καταλήγει σε κάποιο αντιστροφέα.



Σχήμα 4.16: Διαγραμματική απεικόνιση της συνδεσμολογίας των μετατροπέων μετά τις τροποποιήσεις

Πραγματοποιήθηκε όμως κατά τη διάρκεια αυτής της αλλαγής ένα πολύ σημαντικό σφάλμα. Στο «τίμημα» της ομαδοποίησης συνδέθηκαν, λανθασμένα, στον ίδιο inverter πλαίσια στη κάθετη πρόσοψη με πλαίσια που είναι στο κεκλιμένο επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα 16 ΦΒ πλαίσια(2 strings) του JB -5 (πρόσοψη κτιρίου) μεταφέρθηκαν στο κυτίο JB1 και άλλα 24 ΦΒ πλαίσια (3 string) του κεκλιμένου επιπέδου με 48 πλαίσια της πρόσοψης. Γίνεται κατανοητό ότι με αυτή τη συνδεσμολογία οι inverter δε δέχονται τη μέγιστη τάση και ένταση του ρεύματος και άρα δεν αποδίδουν το μέγιστο.

Ακόμη έχουν γίνει κι άλλες παρεμβάσεις στην πρόσοψη με αποτέλεσμα την επέκταση των αγωγών κι επομένως απώλειες λόγω πτώσης τάσης όπως εξηγήσαμε παραπάνω. Ένα string στο κεκλιμένο επίπεδο έχει μείνει εκτός χωρίς να είναι συνδεδεμένο κάπου. Ακόμη τα ΦΒ πλαίσια στο κεκλιμένο επίπεδο που εκλάπησαν ή είχαν υποστεί φθορές αντικαταστάθηκαν στις θέσεις που φαίνονται στη χωροθέτηση της οροφής στο παράρτημα 1 , 11.6-11.8,14.2 -14.8 με διαφορετικού τύπου ΦΒ πάνελ και άλλης ισχύος δημιουργώντας περαιτέρω προβλήματα. Συγκεκριμένα, πλαίσια της εταιρείας Photowatt PW-700 ισχύος 60 W και Energy Solutions ισχύος 80W. Γίνεται ευκόλως κατανοητό ότι αυτή η παρέμβαση μειώνει την απόδοση της μονάδας καθώς διαφορετικές τάσεις και ρεύματα παραλληλίζονται με αποτέλεσμα τη συνολική πτώση τους. Τέλος στην έκταση που χαρακτηρίζεται ως S8 στο παράρτημα I, 6 ΦΒ πλαίσια είναι σπασμένα και στην S6, ένα σπασμένο κι άλλο ένα ζωγραφισμένο.

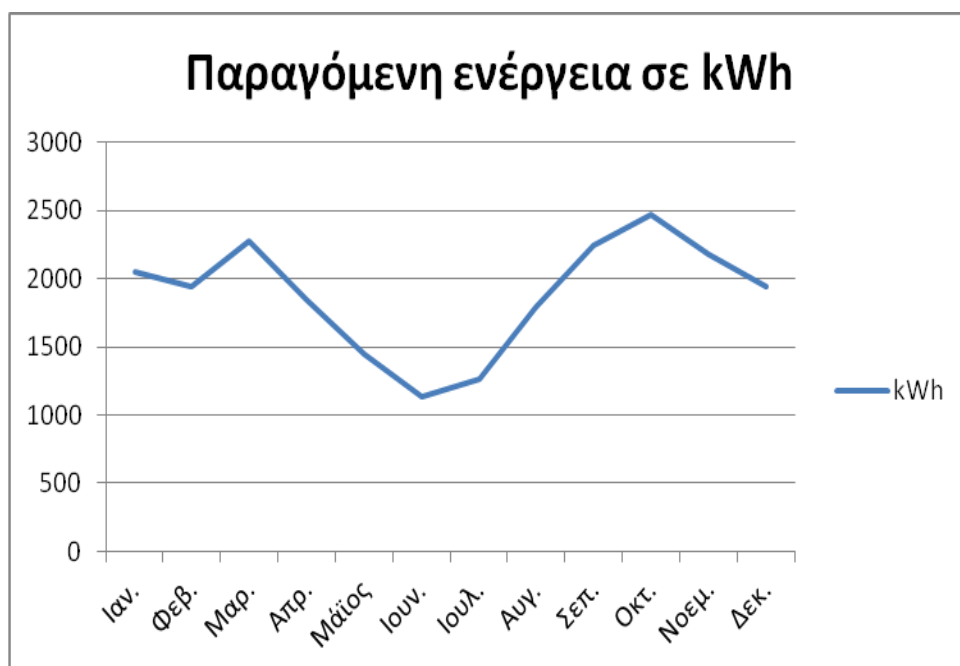
4.8. Πραγματική απόδοση

Όσον αφορά την απόδοση του συστήματος με τους αντιστροφείς Tauro δεν υπάρχουν αξιόπιστα αποτελέσματα καθώς το σύστημα δεν συμπλήρωσε καν ολόκληρο έτος λειτουργίας και υπήρχαν, μέχρι την αλλαγή τους με Fronius, πολλές δυσλειτουργίες. Στο εξάμηνο πάντως λειτουργίας του είχε δώσει **25.000 kWh**.

Με αντιστροφείς Fronius το σύστημα λειτουργεί ομαλά από το 2005 ως σήμερα κι επομένως υπάρχουν ασφαλή κι αξιόπιστα στοιχεία για να μιλήσουμε για πραγματική απόδοση. Αλλά απόδοση για ένα σύστημα (740 πλαίσια – 60-48-8=) 624 πλαισίων καθώς, όπως εξηγήσαμε παρέμειναν άλλοι δύο Tauro inverters, που ο ένας πλέον δεν λειτουργεί κι ο άλλος δυσλειτουργεί βγάζοντας βλάβες. Από τα οποία τα 256 σε κεκλιμένο επίπεδο και 376 στην πρόσοψη.

Σύμφωνα με το JRC –PVGIS για το κάθετο επίπεδο η εκτιμώμενη απόδοση είναι:

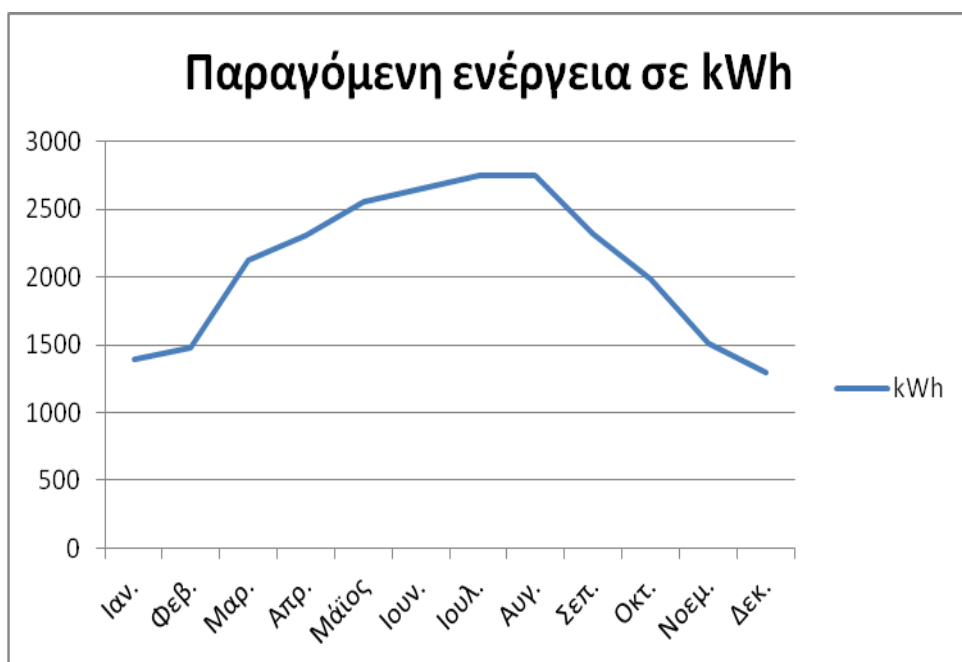
Μήνας	kWh
Ιαν.	2050
Φεβ.	1940
Μαρ.	2280
Απρ.	1840
Μάιος	1450
Ιουν.	1140
Ιουλ.	1260
Αυγ.	1790
Σεπ.	2240
Οκτ.	2470
Νοεμ.	2180
Δεκ.	1940
Μ.Ο.	1881,667
Σύνολο	22580



Δηλαδή η παραγωγή στο κάθετο επίπεδο εκτιμάται στις **22.580 kWh**

Για το κεκλιμένο επίπεδο η εκτιμώμενη απόδοση είναι:

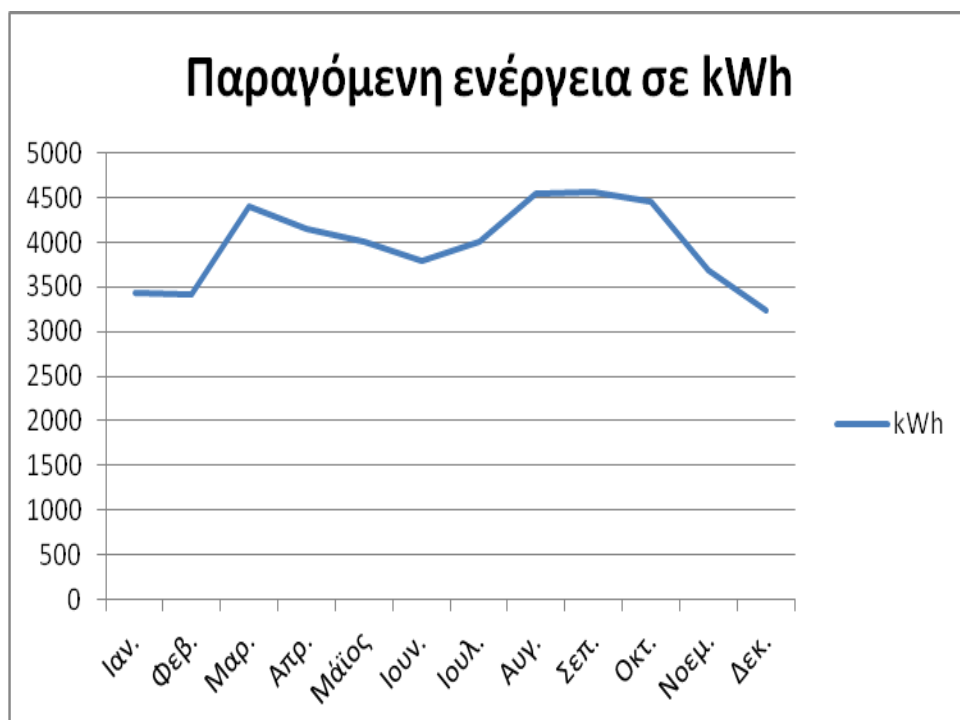
Μήνας	kWh
Ιαν.	1390
Φεβ.	1480
Μαρ.	2120
Απρ.	2310
Μάϊος	2560
Ιουν.	2650
Ιουλ.	2750
Αυγ.	2750
Σεπ.	2320
Οκτ.	1990
Νοεμ.	1510
Δεκ.	1300
Μ.Ο.	2090
Σύνολο	25100



Η συνολική παραγόμενη ενέργεια στο κεκλιμένο επίπεδο είναι 25.100 kWh

κι επομένως η συνολική του συστήματος είναι:

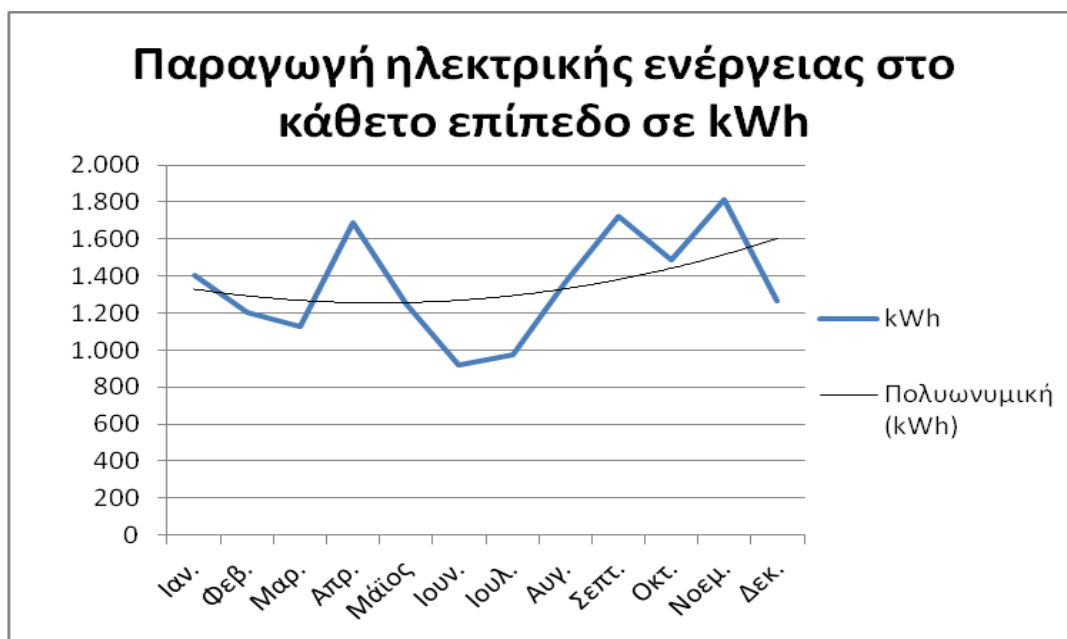
Μήνας	kWh
Ιαν.	3440
Φεβ.	3420
Μαρ.	4400
Απρ.	4150
Μάϊος	4010
Ιουν.	3790
Ιουλ.	4010
Αυγ.	4540
Σεπ.	4560
Οκτ.	4460
Νοεμ.	3690
Δεκ.	3240
Μ.Ο.	3975,833
Σύνολο	47710



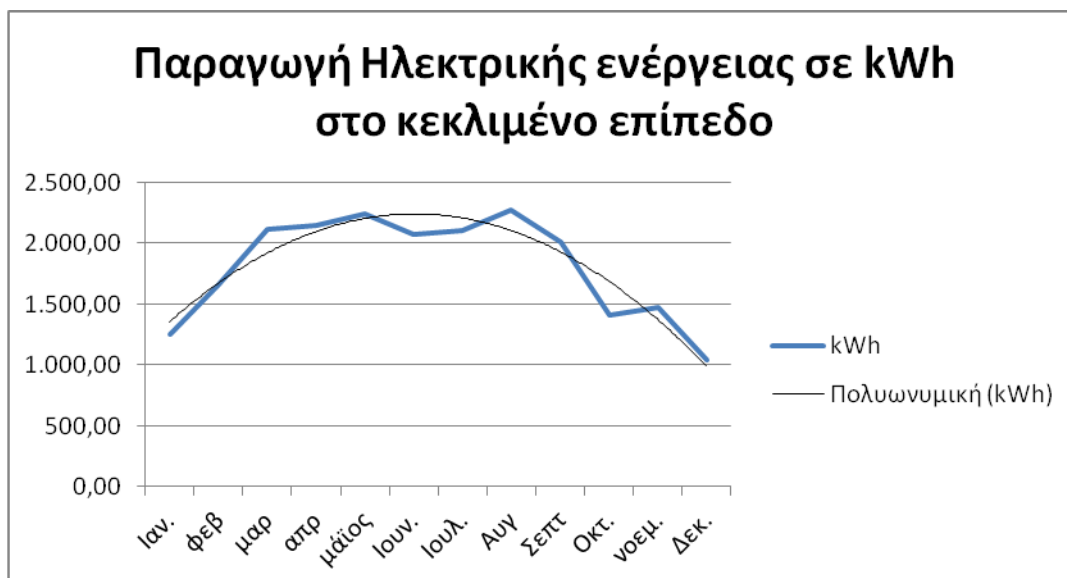
47.710 kWh.

Στην πραγματικότητα όμως έχουμε σύμφωνα με τα στοιχεία από τους inverters fronius για την περίοδο από 2010 μέχρι 2011 συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 38.023,6 kWh. Η απόκλιση από την εκτιμώμενη απόδοση είναι 20,3%. Για να βρούμε τους λόγους που συμβαίνει αυτό εξετάζουμε σε ποιο επίπεδο παρουσιάζεται μεγαλύτερη απόκλιση.

Στο κάθετο επίπεδο από τα αποτελέσματα των 5 inverters έχουμε παραγωγή 16.240,14 kWh . Η απόκλιση από την εκτιμώμενη απόδοση είναι 28,07%.



Ενώ στο κεκλιμένο επίπεδο η παραγωγή είναι 21.783,465 kWh , μια απόκλιση της τάξεως του 13,2%.



Οι αποκλίσεις οφείλονται σε μερικές σκιάσεις που δέχονται ΦΒ συστοιχίες στο κάθετο επίπεδο, σε φθαρμένα και κατεστραμμένα ΦΒ πλαίσια ,στην λανθασμένη συνδεσμολογία των ΦΒ πλαισίων και φυσικά την ομαδοποίηση των πλαισίων του κάθετου επιπέδου με αυτά του κεκλιμένου. Φυσικά υπεισέρχεται ποσοστό σφάλματος

καθώς στην πρώτη περίπτωση αναφερόμαστε σε εκτίμηση ενώ στη δεύτερη περίπτωση σε πραγματικό σύστημα. Αποτελεί αδήριτη η ανάγκη να κάνουμε κάποιες επεμβάσεις στη μονάδα για την αύξηση της απόδοσης της.

Αν υπολογίσουμε την περίπτωση ένταξης του συστήματος στο πρόγραμμα πώλησης της παραγόμενης ενέργειας στη Δ.Ε.Η. τα ετήσια κέρδη για το Ε.Μ.Π. θα ήταν **(38.023,6 kWh*0,32860 €/kWh=) 12.494,55 €**, ενώ αν πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες βελτιώσεις που προτείνουμε παρακάτω εκτιμούμε τα κέρδη να ανέλθουν στις **(53.230 kWh*0,3286€/kWh=) 17.491,4€ ετησίως**.

4.9. Βελτίωση ΦΒ συστήματος

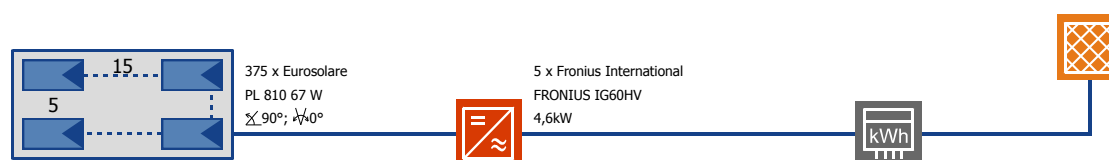
Βλέποντας κανείς αυτή τη διαφορά στην απόδοση καθώς και τη χαώδη κατάσταση που επικρατεί μονάδα αναρωτιέται αν υπάρχουν τρόποι βελτιστοποίησης της μονάδας.

Αρχικά με το πρόγραμμα PVSOL θα εξετάσουμε τη διαστασιολόγηση της μονάδας.

4.9.1. Συνδεσμολογία με PVSOL

Δεν επαναλαμβάνουμε το λάθος να συνδέσουμε πλαίσια του κεκλιμένου επιπέδου με πλαίσια του κάθετου.

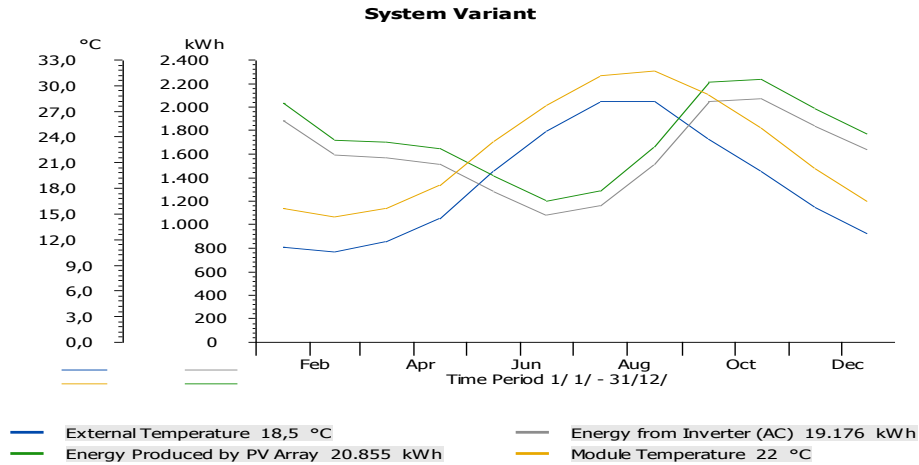
Για το κάθετο επίπεδο έχουμε:



Τοποθεσία:	Αθήνα
Κλιματολογικά δεδομένα:	Αθήνα (1981-2000)
Ισχύς ΦΒ:	25,13 kWp
Μικτή /Ενεργή επιφάνεια ΦΒ:	252,87 / 256,06 m ²

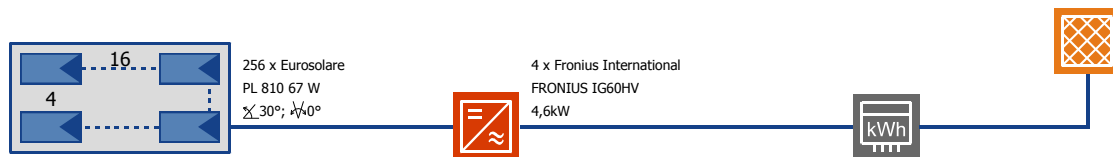
Προσπίπτουσα ακτινοβολία:	280.180kWh
Παραγόμενη ενέργεια από AC:	19.176kWh
Τροδοςία στο δίκτυο:	19.176kWh

Απόδοση συστήματος:	6,8 %
Αναλογία απόδοσης:	69,5 %
Απόδοση αντιστροφέα:	91,6 %
Απόδοση ΦΒ συστοιχίας:	7,4 %
Ειδική ετήσια απόδοση:	760,7kWh/kWp
Μείωση εκπομπών CO ₂ :	16.933 kg/a



Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι απαιτείται τα ΦΒ πλαίσια, ως βέλτιστη λύση, να ενωθούν 15 σε σειρά (μεταξύ τους) σε 5 παράλληλα strings. Και σε καμία περίπτωση αυτό που έχει υλοποιηθεί.

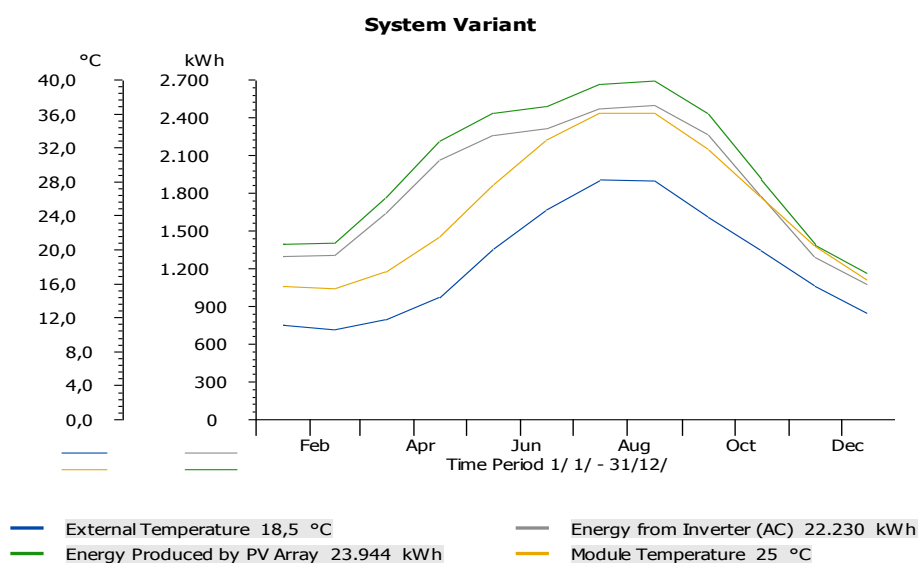
Για το κεκλιμένο επίπεδο ισχύει:



Τοποθεσία:	Αθήνα
Κλιματολογικά δεδομένα:	Αθήνα (1981-2000)
Ισχύς ΦΒ:	17,15 kWp
Μικτή/Ενεργή επιφάνεια ΦΒ:	172,63 / 174,80 m ²

Προσπίπτουσα ακτινοβολία:	305.522kWh
Παραγόμενη ενέργεια:	22.230kWh
Τροφοδοσία στο δίκτυο:	22.230kWh

Απόδοση συστήματος:	7,3 %
Αναλογία απόδοσης:	74,0 %
Απόδοση αντιστροφέα:	92,6 %
Απόδοση ΦΒ συστοιχίας:	7,8 %
Ειδική ετήσια απόδοση:	1.293kWh/kWp
Μειώσεις εκπομπών CO2 :	19.654 kg/a



Σε αυτή την περίπτωση είναι επιτακτική η ανάγκη προσθήκης ενός ακόμα inverter καθώς αυτή τη στιγμή αντί για 4 inverters υπάρχουν μόλις τρεις. Αλλά η αλλαγή στη συνδεσμολογία είναι απαραίτητη καθώς, η βέλτιστη λύση με βάση το πρόγραμμα είναι 16 πλαίσια συνδεδεμένα στη σειρά σε 4 παράλληλα strings.

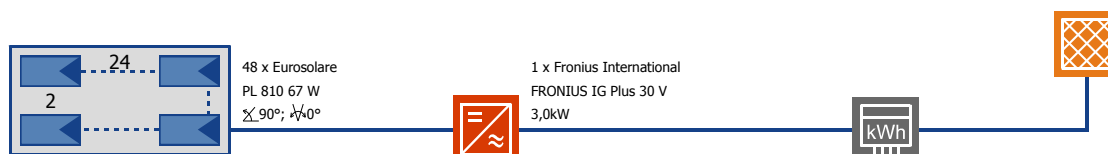
Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται αλλαγή στη συνδεσμολογία αλλά και στην προσθήκη ενός ακόμα inverter για την καλύτερη απόδοση του συστήματος.

4.9.2. Αντικατάσταση αντιστροφέα με βλάβη

Όπως προαναφέραμε ο inverter Tauro N⁰ 13, που αντιστοιχεί στη συστοιχία που βρίσκεται στο επίπεδο της αίθουσας Ν. Κουμούτσου, δεν λειτουργεί κι έτσι προτείνουμε την αντικατάσταση του είτε με αντιστροφέα της εταιρείας Fronius είτε με αυτόν της εταιρείας SMA.

Η συστοιχία αποτελείται από 48 ΦΒ πλαίσια συνολικής ισχύος 3,216 kWp.

Για τον Fronius ισχύει, όπως φαίνεται και παρακάτω ότι χρειάζεται η συστοιχία να συνδεθεί σε 2 παράλληλα strings των 24 πλαισίων.



Τοποθεσία:	Αθήνα
Κλιματολογικά δεδομένα:	Αθήνα (1981-2000)
Ισχύς ΦΒ:	3,22 kWp
Μικτή /ενεργή επιφάνεια ΦΒ:	32,37 / 32,78 m ²

Προσπίπτουσα ακτινοβολία:	35.863kWh
Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας :	2.483,8kWh
Τροφοδοσία δικτύου:	2.483,8kWh

Απόδοση συστήματος:	6,9 %
Αναλογία απόδοσης:	70,4 %
Απόδοση αντιστροφέα:	92,7 %
Απόδοση ΦΒ στοιχειοσειράς:	7,4 %
Ειδική ετήσια απόδοση:	770,0kWh/kWp
Μείωση εκπομπών CO ₂ :	2.194 kg/a

Για την εύρεση του αντιστροφέα της SMA χρησιμοποιούμε την αξιολόγηση σχεδιασμού της SMA μέσω του προγράμματος Sunny Design 2.20.

Όνομα εργασίας: Αντικατάσταση Ταυρο με
Αριθμός εργασίας:
Αρχείο έργου:

Τοποθεσία: Greece / Athens

Τάση δικτύου: 1~230 V

Επιτήρηση συστήματος

48 x Eurosolare PL 810 (Φ/Β γεννήτρια 1)

Αζιμούθιο: 0°, Κλίση: 90°, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη, Μέγιστη ισχύς: 3,22 kWp



1 x SB 3000TL-20

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	48	Συντ.ενεργ. χρήσης:	100 %
Μέγιστη ισχύς:	3,22 kWp	Ποσοστό απόδοσης (κατά προσέγγιση)*:	69,8 %
Αριθμός μετατροπέων:	1	Ειδ. ενεργειακή απόδοση (κατά προσέγγιση)*:	671 kWh/kWp
Ονομαστική ισχύς AC:	3,00 kW	Απώλειες ισχύος (σε % της φωτοβολταϊκής ενέργειας):	---
Ενεργή ισχύς AC:	3,00 kW	Μη αντισταθμισμένο φορτίο:	3,00 kVA
Σχέση ενεργής ισχύος:	93,3 %	Ιδιοκατανάλωση:	---
Ετήσια ενεργειακή απόδοση (κατά προσέγγιση)*:	2158,60 kWh	Ποσοστό ιδιοκατανάλωσης:	---

Sunny Design 2.20.1.R

Αξιολόγηση του σχεδιασμού

Όνομα εργασίας: Αντικατάσταση Ταυρο με SMA
Αριθμός εργασίας:
Αρχείο έργου:

Τοποθεσία: Greece / Athens
Θερμοκρασία κυψέλης:
 Ελάχιστη θερμοκρασία: -10,00 °C
 Θερμοκρασία σχεδιασμού: 50,00 °C
 Μέγιστη θερμοκρασία: 70,00 °C

Τμηματική εργασία 1

1 x SB 3000TL-20

Μέγιστη ισχύς:	3,22 kWp
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	48
Αριθμός μετατροπέων:	1
Μέγ. ισχύς DC:	3,20 kW
Μέγ. ισχύς AC:	3,00 kW
Τάση δικτύου:	230 V
Λόγος αναμ. ισχύος:	100 %



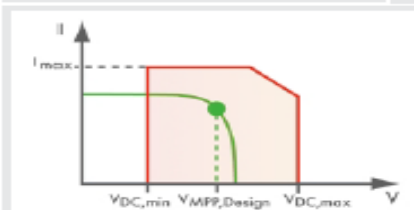
SB 3000TL-20

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Είσοδος Α: Φ/Β γεννήτρια 1

48 x Eurosolare PL 810, Αζιμούθιο: 0°, Κλίση: 90°, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη

	Είσοδος Α:		
Αριθμός στοιχείων:	3		
Φωτοβολταϊκές μονάδες ανά σειρά:	16		
Μέγιστη ισχύς (είσοδος):	3,22 kWp		
Χαρακτηριστική φ/β τάση:	235 V	✓	
Ελάχ. φ/β τάση:	210 V	✓	
Ελάχ. τάση DC (Τάση δικτύου 230 V):	125 V		
Μέγ. φ/β τάση:	375 V	✓	
Μέγ. τάση DC (Μετατροπέας):	550 V		
Μέγ. ρεύμα φ/β γεννήτρ.:	11,1 A	✓	
Μέγ. ρεύμα DC:	17,0 A		



Φ/Β ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΜΒΑΤΟΣ

Επομένως ο Ταυρο που δεν λειτουργεί πρέπει να αντικατασταθεί με έναν inverter της SMA τύπου Sunny Boy 3000TL-20 με τη συστοιχία να συνδέεται σε 3 παράλληλα strings των 16 πλαισίων.

Όμως αμφιβάλλοντας πολύ πλέον για την αξιοπιστία των Ταυρο προτείνουμε την αντικατάσταση και του άλλου inverter και μάλιστα την ομαδοποίηση αυτής της συστοιχίας με εκείνης που εξετάσαμε προηγουμένως για να ενωθούν σε ένα inverter κι όχι σε δύο διαφορετικούς. Επιλέγουμε την εταιρεία της SMA για αυτήν την αντικατάσταση. Η αξιολόγηση του σχεδιασμού γίνεται για 108 πλαίσια (48 τα προηγούμενα και 60 τα νεοελεγχόμενα) συνολικής ισχύος 7,236 kWp.

Η αξιολόγηση του σχεδιασμού φαίνεται παρακάτω.

Όνομα εργασίας: Αντικατάσταση Ταυρο με **Τοποθεσία:** Greece / Athens
Αριθμός εργασίας:
Αρχείο έργου: Τάση δικτύου: 3~230 V

Επιτήρηση συστήματος

108 x Eurosolare PL 810 (Φ/Β γεννήτρια 1)

Αζιμούθιο: 0°, Κλίση: 90°, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη, Μέγιστη ισχύς: 7,24 kWp

1 x STP 8000TL-10

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	108	Συντ.ενεργ. χρήσης:	100 %
Μέγιστη ισχύς:	7,24 kWp	Ποσοστό απόδοσης (κατά προσέγγιση)*:	70,1 %
Αριθμός μετατροπέων:	1	Ειδ. ενεργειακή απόδοση (κατά προσέγγιση)*:	674 kWh/kWp
Ονομαστική ισχύς AC:	8,00 kW	Απώλειες ισχύος (σε % της φωτοβολταϊκής ενέργειας):	---
Ενεργή ισχύς AC:	8,00 kW	Μη αντισταθμισμένο φορτίο:	0,00 kVA
Σχέση ενεργής ισχύος:	110,6 %	Ιδιοκατανάλωση:	---
Ετήσια ενεργειακή απόδοση (κατά προσέγγιση)*:	4879,40 kWh	Ποσοστό ιδιοκατανάλωσης:	---

Sunny Design 2.20.1.R

Αξιολόγηση του σχεδιασμού

Όνομα εργοσίας: Αντικατάσταση Ταυρο με SMA
Αριθμός εργοσίας:
Αρχείο έργου:

Τοποθεσία: Greece / Athens
Θερμοκρασία κυψέλης:
Ελάχιστη θερμοκρασία: -10,00 °C
Θερμοκρασία σχεδιασμού: 50,00 °C
Μέγιστη θερμοκρασία: 70,00 °C

Τμηματική εργασία 1

1 x STP 8000TL-10

Μέγιστη ισχύς:	7,24 kWp
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	108
Αριθμός μετατροπέων:	1
Μέγ. ισχύς DC (cos φ = 1):	8,20 kW
Μέγ. ενεργή ισχύς AC (cos φ = 1):	8,00 kW
Τάση δικτύου:	230 V
Λόγος ονομ. ισχύος:	113 %
Συντελεστής μετατόπισης cos φ:	1



STP 8000TL-10

Τεχνικά χαρακτηριστικά

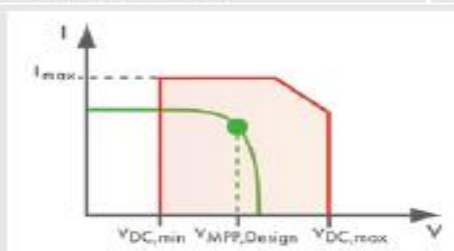
Εισόδος A: Φ/Β γεννήτρια 1

96 x Eurosolare Pl. 810, Αζιμούθιο: 0°, Κλίση: 90°, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη

Εισόδος B: Φ/Β γεννήτρια 1

12 x Eurosolare Pl. 810, Αζιμούθιο: 0°, Κλίση: 90°, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη

	Εισόδος A:		Εισόδος B:	
Αριθμός στοιχείων:	4		1	
Φωτοβολταϊκές μονάδες ανά σειρά:	24		12	
Μέγιστη ισχύς (είσοδος):	6,43 kWp		804,00 Wp	
Χαρακτηριστική φ/β τάση:	352 V		176 V	
Ελάχ. φ/β τάση:	315 V		158 V	
Ελάχ. τάση DC (Τάση δικτύου 230 V):	150 V		150 V	
Μέγ. φ/β τάση:	562 V		281 V	
Μέγ. τάση DC (φωτοβολταϊκό (Φ/Β)):	600 V		600 V	
Μέγ. ρεύμα φ/β γεννήτρ.:	14,8 A		3,7 A	
Μέγ. ρεύμα DC:	22,0 A		11,0 A	
Μέγ. ρεύμα βραχυκύκλωσης:	33,0 A		12,5 A	



Φ/Β ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΜΒΑΤΟΣ

Sunny Design 2.20.1.R

Επομένως στην περίπτωση που ομαδοποιήσουμε όλες μαζί τις συστοιχίες των δυο Ταυρο απαιτείται inverter STP 8000TL-10, αφού η μονάδα είναι περίπου 7,2 kWp. Η συνδεσμολογία επιμερίζεται σε δύο εισόδους όπως φαίνεται παραπάνω, στην πρώτη σε 4 παράλληλα string των 24 πάνελ και στη δεύτερη 1 string των 12 πλαισίων.

4.9.3. Συνοπτικές προτάσεις βελτίωσης μονάδας

1. Αλλαγή συνδεσμολογίας ΦΒ πλαισίων σύμφωνα με τις υποδείξεις της διαστασιολόγησης που πραγματοποιήθηκε παραπάνω.
2. Στη νέα συνδεσμολογία αποφεύγεται, όπως άλλωστε εξηγήθηκε, η σύνδεση ΦΒ κεκλιμένου επιπέδου με εκείνα του κάθετου επιπέδου.

3. Προσθήκη στο κάθετο επίπεδο που υπήρξαν αλλαγές, όπως διαπιστώθηκε πιο πάνω, ακόμα ενός inverter Fronius IG60.
4. Αντικατάσταση των inverters Tauro PRM 4000/8 των συστοιχιών που αντιστοιχούν στο JB13 και JB14 με έναν inverter της εταιρείας SMA STP 8000TL-10 ,όπως φαίνεται στην πιο πάνω αξιολόγηση του σχεδιασμού.
5. Επειδή οι συγκεκριμένες συστοιχίες, που αναφέρονται στο 2, αντιμετωπίζουν πρόβλημα μερικής σκίασης ,η οποία αντιμετωπίζεται μερικώς από τις διόδους των ΦΒ γεννητριών, εισάγουμε την παράμετρο της μείωσης εσωτερικής αντίστασης του inverter,με αποτέλεσμα την αντιμετώπιση των σκιάσεων.
6. Επανελέγχος και αντικατάσταση των αγωγών που διανύουν μεγάλη απόσταση μέχρι τη σύνδεση τους στους inverters κι από τους inverters στον Υ/Σ τροφοδοσίας, με κριτήριο τη διατομή τους. Επισημαίνεται ότι σε 100 m αγωγού διατομής 1,5 mm² υπάρχει απώλεια ισχύος 2,74%, ενώ με την άμεση αλλαγή του αγωγού σε 6 mm² η απώλεια μειώνεται σε 0,6%, μια αποδεκτή τιμή. Οι απώλειες αυξάνονται κατά πολύ αν συνυπολογίσουμε όλες τις συνδεσμολογίες των strings και inverters αντίστοιχα.
7. Προσθήκη στοιχειοσειράς κεκλιμένου επιπέδου που έχει μείνει εκτός σύνδεσης, με την εφαρμογή της νέας συνδεσμολογίας. Η στοιχειοσειρά είναι η 10_{1.1} -10_{1.8}.
8. Αντικατάσταση των ΦΒ πλαισίων που είναι σπασμένα ή έχουν άλλης μορφής φθορές που μειώνουν την απόδοση του συστήματος.
9. Αντικατάσταση ΦΒ στοιχείων τα οποία είναι διαφορετικής ισχύος ,τα οποία εγκαταστάθηκαν ύστερα από κλοπή, με Eurosolare PL810 καθώς μειώνουν την ισχύ των συστοιχιών.
10. Τέλος συντήρηση φυτών που βρίσκονται στην κάτω πλευρά των κάθετων συστοιχιών και σκιάζουν ορισμένο αριθμό πλαισίων. Αυτή η μέριμνα δεν είναι χρονοβόρα και θα βελτιώσει, με πρακτικά μηδενικό κόστος, την απόδοση του ΦΒ συστήματος μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Με τον όρο αναβάθμιση εννοείται η αντικατάσταση όλου του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού με εξοπλισμό νέας τεχνολογίας αξιοποιώντας την ίδια έκταση. Εκπονείται μελέτη ενεργειακής απόδοσης, διαστασιολόγησης του ΦΒ συστήματος και οικονομικής απόδοσης. Πραγματοποιείται σύγκριση των οικονομικών αποδόσεων, σε καθεστώς feed-in –tariff, της μονάδας στην κατάσταση που βρίσκεται σήμερα, στην περίπτωση που βελτιστοποιηθεί και σε ενδεχόμενο αναβάθμισης της. Σε αυτό το κεφάλαιο η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε βασίζεται στα συγγράμματα των Hulstrom [3], Markvart [4], Cartener & Silvestre [7] Lorenzo [8], Πρωτονοτάριου & Θεολόγου[2α] και Πέρδιου [1α]. Για τη μελέτη και την ανάλυση του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Autocad Electrical 2011, PVSOL Expert 4.0 ,Sunny Design 2.20 και το διαδικτυακό JRC-PVGIS.

5.1.Τεχνικά Χαρακτηριστικά

5.1.1.Τεχνικά Χαρακτηριστικά ΦΒ πλαισίων

Οι εταιρείες παραγωγής ΦΒ γεννητριών και αντιστροφών DC/AC βρίσκονται σε ένα συνεχές «κυνήγι» εξέλιξης κι αναβάθμισης των προϊόντων τους με αποτέλεσμα την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αποδοτικότητα, σε μικρότερη επιφάνεια επιλύοντας προβλήματα χωροθετήσεων και φυσικά την απόκτηση αξιοπιστίας σε μια τεράστια αγορά με συχνούς εργαστηριακούς ελέγχους και αντίστοιχες πιστοποιήσεις. Εν έτη 2012 ένα ΦΒ πλαίσιο έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές στις οποίες πρέπει να συμμορφώνεται για να μπορεί να είναι αξιόπιστο αλλά και πάνω από όλα λειτουργικό .Συγκεκριμένοι φορείς παρέχουν τις απαραίτητες πιστοποιήσεις που δίνουν τη δυνατότητα αυτή.

Πιο συγκεκριμένα :

- **VDE:** Ομοσπονδία Ηλεκτρικής τεχνολογίας ,Ηλεκτρονικής και τεχνολογίας πληροφοριών.

Η συγκεκριμένη ομοσπονδία εδράζεται στο Βερολίνο από το 1893(και στις Βρυξέλλες σήμερα) με πρωταρχικό και κύριο σκοπό την εκπόνηση κανονισμών σε θέματα ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων και ηλεκτρικού συστήματος .Μετράει 34.000 μέλη (μηχανικοί, ιατροί ,φυσικοί κ.ο.κ.) 1250 επιχειρήσεις και 6500 σπουδαστές.

- **Πιστοποίηση IEC/EN 61215 (Ed.2):**Εκπονείται από την International Electrotechnical Commision (IEC) για πολυκρυσταλλικά και μονοκρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία, στα οποία εξετάζονται οι αντοχές τους στις μηχανικές καταπονήσεις ,όπως είναι οι συμπεριφορά τους σε ακραίες καιρικές συνθήκες, σε υγρό ή ιδιαίτερα ζεστό περιβάλλον ,οι καταπονήσεις σε περίπτωση άσκησης φορτίου κ.ο.κ.
- **Πιστοποίηση IEC/EN 61730,cat.II:**Εκπονείται από τον ίδιο φορέα όπως το προαναφερθέν όσον αφορά τα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά.

Οι συνθήκες όπου πραγματοποιούνται οι παραπάνω μετρήσεις είναι οι εξής:

- **STC:** Standard Test Conditions (Τυπικές συνθήκες δοκιμών)
 4. Προσπίπτουσα ακτινοβολία $1000W/m^2$
 5. Θερμοκρασία περιβάλλοντος $25^{\circ}C$
 6. Air Mass(μάζα αέρα) 1,5
- **NOCT:** Nominal Operating Cell Temperature(Ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας κυψελών)

1. Προσπίπτουσα ακτινοβολία 800 W/m^2
2. Θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C
3. Air Mass(μάζα αέρα) 1,5
4. Άνεμος 1m/s
5. NOCT: 48°C

Για την αναβάθμιση του ΦΒ συστήματος της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. επιλέγεται ΦΒ γεννήτρια του γερμανικού οίκου Aleo Solar AG. Ένα ΦΒ πλαίσιο το οποίο προφανώς συμμορφώνεται με τις ανωτέρω πιστοποιήσεις και παρέχει :

- a) 10 χρόνια εγγύηση προϊόντος
- b) 25 χρόνια εγγύηση απόδοσης
- c) Θετική ταξινόμηση

Λέγοντας θετική ταξινόμηση εννοούμε ότι στο τέλος της κατασκευής κάθε ΦΒ στοιχείου μετράται τουλάχιστον η ονομαστική ή μια υψηλότερη απόδοση ,με $-0/+4,99 \text{ Watt}$ απόκλιση. Έτσι πετυχαίνεται κατά την εγκατάσταση με τα πρωτόκολλα flash ,μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύς .

Επιλέγεται πολυκρυσταλλικό πλαίσιο, καθώς στη χώρα μας, μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας είναι η διάχυτη όπου τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία την εκμεταλλεύονται καλύτερα από τα μονοκρυσταλλικά τα οποία έχουν καλύτερη απόκριση στην άμεση ακτινοβολία. Η δεύτερη κατηγορία πλαισίων απευθύνεται κυρίως στις βόρειες χώρες. Επιλέγεται λοιπόν το μοντέλο **S_18.240 της Aleo με ονομαστική ισχύ 240 Wp.**

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου πλαισίου είναι:

5.1. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε συνθήκες STC

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά(STC)		S18.240
Ονομαστική Ισχύς	P_{MPP} (W)	240
Ονομαστική Τάση	U_{MPP} (V)	29,5
Ονομαστικό Ρεύμα	I_{MPP} (A)	8,13
Τάση άνευ φορτίου	U_{oc} (V)	37,0
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	I_{sc} (A)	8,65
Απόδοση	η (%)	14,6
Επιφάνεια ανά μονάδα ισχύος	A_p (m^2/kWp)	6,85

5.2. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά σε συνθήκες NOCT

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά(NOCT)		S18.240
Ονομαστική Ισχύς	P_{MPP} (W)	173
Ονομαστική Τάση	U_{MPP} (V)	28,3
Ονομαστικό Ρεύμα	I_{MPP} (A)	6,11
Τάση άνευ φορτίου	U_{oc} (V)	34,0
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	I_{sc} (A)	6,72
Απόδοση	η (%)	13,1

5.3.Μηχανική καταπόνηση κατά IEC/EN 61215

Φορτία		S18.240
Μηχανική καταπόνηση πλαισίων	(Pa)	5400
Μέγιστη Τάση Συστήματος	(V)	1000
Ρεύμα επιστροφής	I_R (A)	15

5.4. Συντελεστές θερμοκρασίας ΦΒ πλαισίου

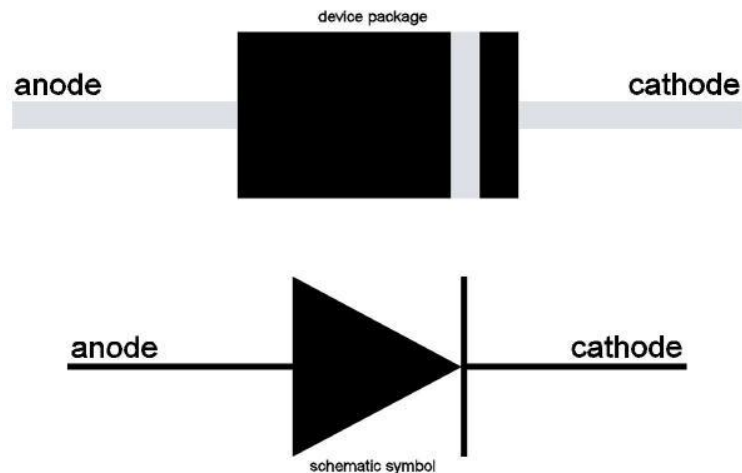
Συντελεστές Θερμοκρασίας	(%/K)	S18.240
1. Συντελεστές Θερμοκρασίας	$\alpha(I_{sc})$	+0,04
2. Συντελεστές Θερμοκρασίας	$\beta(U_{oc})$	-0,34
3. Συντελεστές Θερμοκρασίας	$\gamma(P_{MPP})$	-0,46

5.5.Βασικά στοιχεία ΦΒ πλαισίου

Βασικά Στοιχεία		
Μήκος *Πλάτος *ύψος	(mm ³)	1660*990*50
Βάρος	(kg)	21
Αριθμός κυψελών		60
Μέγεθος Κυψελών	(mm ²)	
Υλικό κυψελών		156*156
Μπροστινό κάλυμμα		Πολυκρυσταλλικό Si
Πίσω κάλυμμα		Ηλιακό Γυαλί(TSG)
Υλικό πλαισίου		Πολυμερής μεμβράνη
Μήκος καλωδίου	(mm)	1200(+), 800(-)
Φις		Κατηγορία MC3
Κατηγορία IP		IP65
Δίοδοι by-pass		3

Πολλά από τα βασικά στοιχεία είναι σημαντικά για την μεγιστοποίηση και αξιοπιστία των ΦΒ πλαισίων. Για παράδειγμα το IP65 εξασφαλίζει τη στεγανότητα του πλαισίου έτσι ώστε να προφυλλάσσεται από τις καιρικές συνθήκες ,καθώς η χρήση του είναι εξωτερική. Σημαντικό στοιχείο που διαθέτουν πλέον όλα τα ΦΒ πλαίσια είναι οι **δίοδοι by-pass και blocking**.

Η δίοδος είναι ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα το οποίο χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά κατά κόρον. Είναι αυτή στην παρακάτω εικόνα:



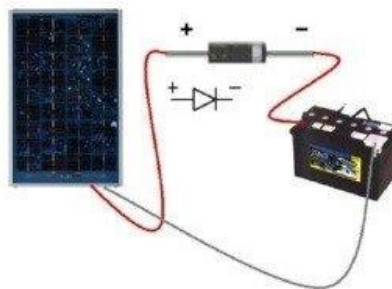
Σχήμα 5.1: Απεικόνιση διόδων

Το πρώτο σχήμα είναι το πραγματικό της, ενώ το δεύτερο είναι ο συμβολισμός της στα σχηματικά κυκλώματα. Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η δίοδος αφήνει το ρεύμα που κατευθύνεται από αριστερά προς τα δεξιά ενώ διακόπτει τελείως το ρεύμα που κατευθύνεται από δεξιά προς αριστερά. Με λίγα λόγια επιτρέπει τη διέλευση του ρεύματος μόνο από την μια φορά μέσα της.

Στα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιείται για δύο λόγους, και της έχουν δοθεί δυο ονομασίες.

- 1) Δίοδοι αντεπιστροφής (Blocking Diode)
- 2) Δίοδοι διέλευσης (Bypass Diode)

Δίοδοι αντεπιστροφής (Blocking Diode)



Σχήμα 5.2: Σύνδεση blocking διόδου

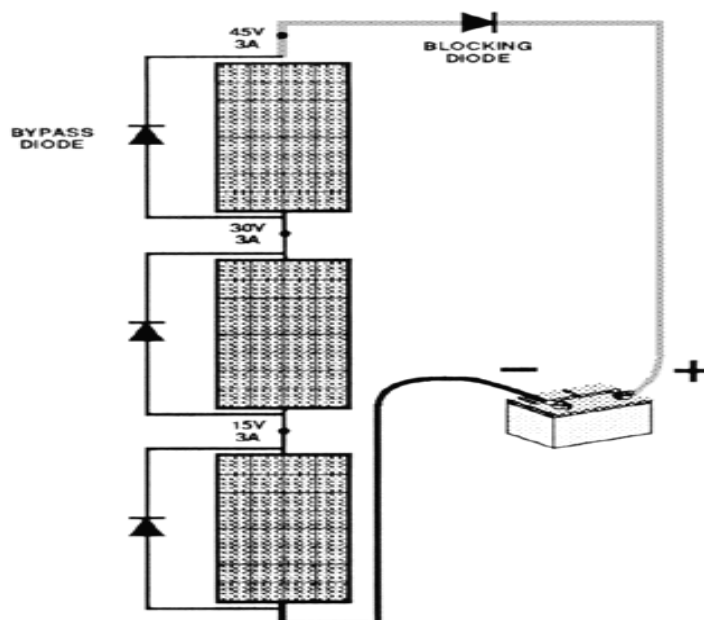
Αν συνδεθεί ένα φωτοβολταϊκό πάνελ με μια μπαταρία να φορτίζεται και ας υποθεθεί ότι η μπαταρία έχει στα άκρα της τάση 12,7V. Όσο το πάνελ παράγει τάση μεγαλύτερη από την τάση της μπαταρίας (δηλαδή τάση πάνελ > 12,7V) η φορά του ρεύματος στα άκρα της διόδου είναι από το θετικό προς το αρνητικό, οπότε η διόδος επιτρέπει τη φόρτιση της μπαταρίας. Καθώς νυχτώνει, η τάση που παράγει το φωτοβολταϊκό όλο και θα μειώνεται ώσπου τελικά θα εξισωθεί με την τάση της μπαταρίας.

Έστω ότι έχει φορτίσει στα 13,7V η μπαταρία. Σκοτεινιάζοντας κι άλλο το φωτοβολταϊκό θα παράγει ενέργεια με τάση μικρότερη των 13,7V. Αφού η τάση της μπαταρίας θα είναι μεγαλύτερη, το ρεύμα θα προσπαθήσει να αντιστρέψει τη φορά του. Αλλά η blocking διόδος που έχει τοποθετηθεί δε θα επιτρέψει τη φορά αυτή του ρεύματος. Εάν δεν υπήρχε η διόδος το ρεύμα θα αντιστρεφόταν και θα γινόταν κατανάλωση για την μπαταρία και στο τέλος αποφόρτισή της.

Τα φωτοβολταϊκά, όταν δεν παράγουν ρεύμα, γίνονται αντιστάσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί για να περάσει το ρεύμα μέσα από τα φωτοβολταϊκά κελιά πρέπει να δοθεί ενέργεια στα ηλεκτρόνια της μιας πλάκας να μεταπηδήσουν στην άλλη και να συνεχιστεί η ροή του .

Πλέον οι περισσότεροι ρυθμιστές φόρτισης, έχουν ενσωματωμένο ειδικό κύκλωμα για τα επιστρεφόμενα ρεύματα.

Δίοδοι διέλευσης - Bypass Diode



Σχήμα 5.3: Σύνδεση bypass διόδου

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται μια συνδεσμολογία τριών φ/β πάνελ σε σειρά. Εάν το ένα παράγει 15V 3A τότε αφού συνδέθηκαν σε σειρά προστίθεται η τάση που μας βγάζουν 45V και τα Αμπέρ μένουν τα ίδια δηλαδή 3A. Φαίνεται πως συνδέεται και η Blocking diode και η Bypass diode.

Οι διόδους Bypass συνδέονται όπως στο παραπάνω σχήμα. Παράλληλα με τα πάνελ. Τα περισσότερα -αν όχι όλα- τα εργοστασιακά φ/β πάνελ διαθέτουν στο κουτί διασύνδεσης που βρίσκεται στην πλάτη τους μια, δυο ή και τρεις τέτοιες διόδους. Είναι άκρως σημαντικές για να περιοριστούν οι απώλειες της ενέργειάς μας στο ελάχιστο. Οι απώλειες μπορούν να δημιουργηθούν από το στίδηποτε.

Όταν ένα πάνελ σκιαστεί μέρος του ή ολόκληρο από φύλλα, χιόνι, σκόνη, ή ό,τι άλλο του στερεί τις ακτίνες του ήλιου κατά ένα βαθμό, τότε η απόδοσή του μπορεί να πέσει και έως το μηδέν. Αυτό γίνεται επειδή τα σκιασμένα φ/β κελιά δεν παράγουν και λειτουργούν ως αντιστάσεις για τα υπόλοιπα. Αλλά ακόμα και στην περίπτωση που σπάσει, φθαρεί ή χαλάσει το ένα πάνελ του συστήματός μας. Από το φ/β πάνελ που υπολειπεται περνάει το ρεύμα από τα άλλα που είναι στον ήλιο και η ισχύς τους είναι στο μέγιστο. Τοποθετώντας τις διόδους Bypass καταφέρνουμε να παρακάμπτουμε τα σκιασμένα φ/β πάνελ και να έχουμε τη μέγιστη απόδοση κάθε στιγμή.

Υπάρχει και ένα άλλο πλεονέκτημα των διόδων διέλευσης. Όταν το ρεύμα περνά μέσα από τις φ/β κυψέλες που είναι σκιασμένες, αυτές λειτουργώντας ως αντίσταση υπερθερμαίνονται, με αποτέλεσμα ακόμα και όταν ξαναφωτιστούν (είτε φύγουν τα φύλλα ή η σκόνη) δεν θα είναι σε θέση να παράγουν αρκετή ενέργεια με τη θερμοκρασία που θα έχουν. Είναι γνωστό άλλωστε ότι η απόδοση των φ/β κυψελών πέφτει αρκετά με την αύξηση της θερμοκρασίας τους. Έτσι η διάδοδος διέλευσης μας απαλλάσσει και από αυτό το αρνητικό σημείο των σκιασμένων κελιών.

5.1.2.Τεχνικά Χαρακτηριστικά αντιστροφών (inverters)

Στα πλαίσια αναβάθμισης της μονάδας προτείνουμε την αλλαγή των μονοφασικών αντιστροφών Fronius με τριφασικούς inverters SMA.

Η **SMA Technologie AG** ιδρύθηκε το 1981 ως αυτόνομη επιχείρηση μέσα από το Πανεπιστήμιο του Kassel, με σκοπό να αναπτύξει και να παράγει έξυπνα συστήματα ελέγχου βασισμένα σε υπολογιστές για την τροφοδοσία ρεύματος απομακρυσμένων περιοχών. Ειδικά μία εγκατάσταση τροφοδοσίας ρεύματος, πρέπει να μπορεί να λειτουργεί χωρίς βλάβες για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με τα άλλα συστήματα. Με την τεχνογνωσία **20 ετών και πάνω**, ανάπτυξης και κατασκευής τεχνολογίας συστημάτων για φωτοβολταϊκές, αιολικές και σύνθετες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, συνεχούς βελτίωσης των προϊόντων και την χρήση πρωτοποριακών τεχνολογιών. Τα χαρακτηριστικά του inverter που οδήγησαν στην επιλογή του είναι:

Οικονομικό

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης 98 %
- Ιδιαίτερα αποδοτικός, χάρη στο OptiTrac και OptiCool

Ασφαλής

- Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός διακόπτης (ESS) απόζευξης DC
- Εντοπισμός βλάβης στοιχειοσειράς με ηλεκτρονικές ασφάλειες
- Επιτήρηση ρεύματος στοιχειοσειρών

Ευέλικτος

- Δυνατότητα ενσωμάτωσης επαγωγού υπέρτασης DC (Τύπος II)
- Τάση εισόδου DC έως 1.000 V
- Ευέλικτος σχεδιασμός φωτοβολταϊκού συστήματος

Απλός

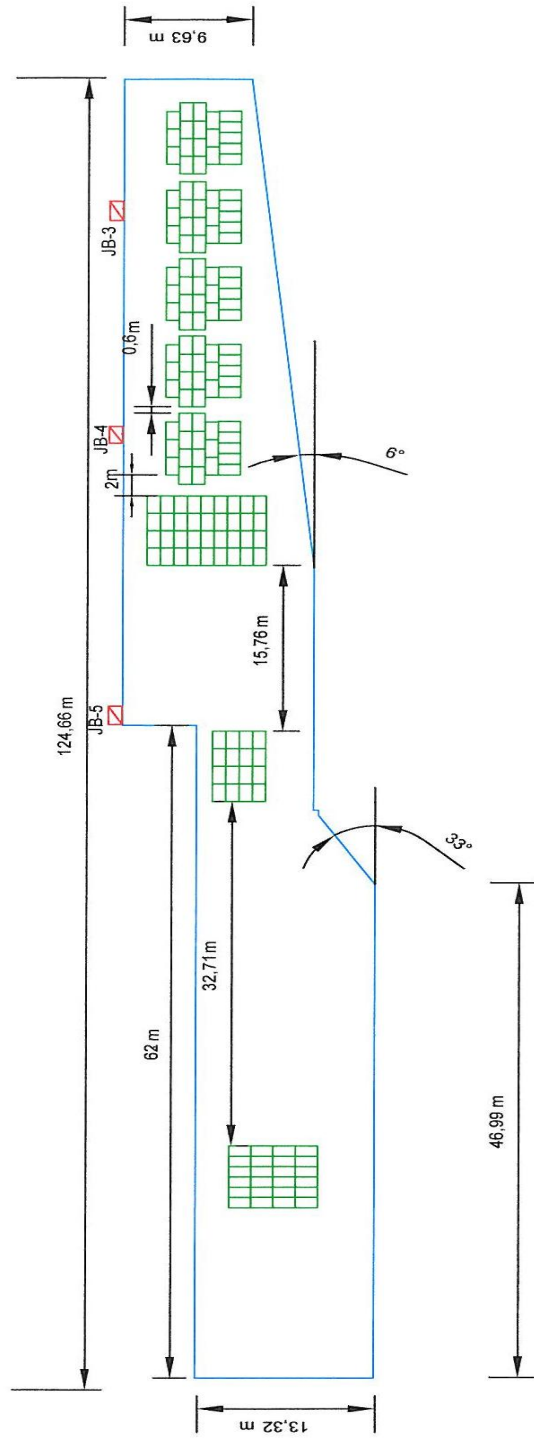
- Τριφασική τροφοδοσία
- Σύνδεση καλωδιώσεων χωρίς εργαλεία
- Πρωτοποριακό σύστημα σύνδεσης DC
- Επικοινωνία με Bluetooth®

Οι γαλβανικά μονωμένοι μετατροπείς της σειράς Sunny Boy επιβάλλουν νέους κανόνες: Πλήρως εξοπλισμένοι με τεχνολογία αιχμής , προσφέρουν τις υψηλότερες αποδόσεις για μετατροπείς με μετασχηματιστή αυτής της κατηγορίας ισχύος. Με το νέο σύστημα σύνδεσης DC SUNCLIX, την ενβυσματούμενη, προαιρετική γείωση γεννήτριας Plug-in Grounding και τη γρήγορα προσβάσιμη περιοχή διαμόρφωσης η εγκατάσταση καθίσταται ακόμα ευκολότερη χάρη ακόμα και στο μικρό βάρος του μετατροπέα. Το μεγάλο εύρος τάσης εισόδου από 175 έως 700 Volt διασφαλίζει έναν εξαιρετικά ευέλικτο σχεδιασμό εγκατάστασης. **Επιπλέον, η μοντέρνα οθόνη γραφικών καθώς και η ασύρματη επικοινωνία μέσω Bluetooth® καθιστούν τις συσκευές αυτές εξαιρετικά εύκολες στη χρήση. Η ασύρματη επικοινωνία αυτή μας εξασφαλίζει ενημέρωση για την παραγωγή μας μέσω δωρεάν προγράμματος.**

Η εγγύηση προϊόντος ισχύει για πέντε (5) έτη, με δυνατότητα επέκτασης έως τα είκοσι πέντε (25) έτη. Κατασκευασμένοι σύμφωνα με τα πρότυπα που απαιτεί το δίκτυο της ΔΕΗ και με δυνατότητα επί τόπου προσαρμογής ηλεκτρικών χαρακτηριστικών για την προσαρμογή στις ιδιαιτερότητες του δικτύου κάθε περιοχής.

5.2. Χωροθέτηση Φ/Β πλαισίων

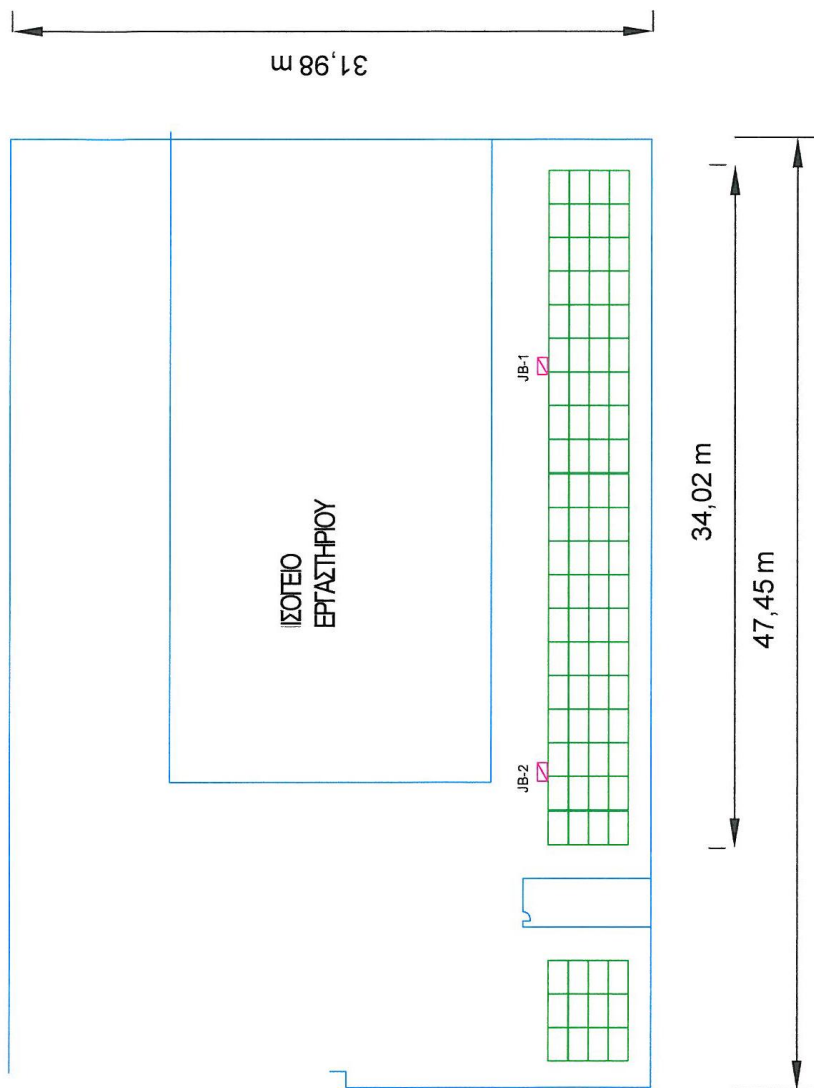
Για να υλοποιηθεί πλέον η πραγματική διαστασιολόγηση του φ/β συστήματος πραγματοποιείται χωροθέτηση των Φ/Β πλαισίων στο χώρο εγκατάστασης, που όπως έχει αναφερθεί στο 1^ο κεφάλαιο πρέπει να έχουν αρχικά νότιο προσανατολισμό με αξιμουθιακή γωνία όσο το δυνατόν κοντά στο μηδέν ή μηδενική (διαφοροποιήσεις ως 30⁰ δεν επιφέρουν μεγάλες αλλαγές στην απόδοση) και κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, για κεκλιμένο επίπεδο. Η επιφάνεια που θα καλυφθεί είναι όμοια αυτής που είχε καλυφθεί από το υπάρχον Φ/Β σύστημα, δηλαδή στην νότια πρόσοψη της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. με κλίση 90⁰ και το δώμα που στεγάζει το ημιβιομηχανικό εργαστήριο με κλίση 30⁰. Στη μελέτη του κεκλιμένου επιπέδου πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα η στατικότητα των βάσεων καθώς και η αντοχή τους σε ακραίες τιμές ανεμοπιέσεων. Όπως φαίνεται στα σχέδια παρακάτω στην πρόσοψη του κτιρίου τοποθετούνται 171 πλαίσια και στο κεκλιμένο επίπεδο 92 πλαίσια.



Σχήμα 5.4.: Χωροθέτηση ΦΒ πλαισίων στην πρόσοψη κτιρίου

Πρόσοψη Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

Χωροθέτηση ΦΒ πλαισίων (171τμ*240Wp)=41,040kWp



Σχήμα 5.5: Χωροθέτηση ΦΒ πλαισίων στην κάτοψη του κτιρίου

Επομένως η συνολική εγκατάσταση έχει ισχύ [(171+92)·240Wp]=63,120 kWp, ενώ η υπάρχουσα μονάδα είναι δυναμικότητας 49,510 kWp. Γίνεται αντιληπτό ότι στην ίδια έκταση εγκατάστασης τα ΦΒ πλαίσια νέας τεχνολογίας παρέχουν ένα σύστημα μεγαλύτερο κατά 13,610kWp σε σχέση με αυτά που υπήρχαν πριν μια δεκαετία.

Κάτοψη Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
Χωροθέτηση ΦΒ πλαισίων (92τμ*240Wp)=22,08kWp

Φυσικά δε θα επαναλάβουμε το λάθος της μελέτης εξ' ολοκλήρου της εγκατάστασης, αλλά θα τη διαχωρίσουμε στα δύο, σε κεκλιμένο επίπεδο και κάθετο επίπεδο. Καθώς, κάτι τέτοιο, θα μας οδηγούσε στο λάθος της συνδεσμολογίας πλαισίων με διαφορετικές κλίσεις κι επομένως την ελαχιστοποίηση της απόδοσης τους.

5.3.Εκτιμώμενη απόδοση

Για την εκτιμώμενη απόδοση οποιουδήποτε συστήματος πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της τοποθεσίας και κυρίως την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που προσπίπτει σε αυτήν. Σε αυτό το κομμάτι πολύτιμη διευκόλυνση παρέχει η διαδικτυακή εφαρμογή του JRC (Joint Research Centre-Κοινό Κέντρο Ερευνών), της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, PVGIS(Photovoltaic Geographical Information System-Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών Φωτοβολταϊκών). Η συλλογή δεδομένων για τις κλιματικές συνθήκες σε κάθε περιοχή απευθύνεται στο διάστημα 2001-2010.

Πρέπει να τονιστεί ότι το σύστημα στην εφαρμογή διαχωρίζεται σε δυο μέρη για να μελετηθεί. Στο κεκλιμένο επίπεδο (30°) από τη μια και στο κάθετο (90°) από την άλλη. Και στη συνέχεια προστίθενται οι επιμέρους τιμές για να υπάρξει τελικά η εκτιμώμενη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος παρατίθεται το διάγραμμα που δείχνει τη χαρακτηριστική τροχιά (καμπάνα) του ηλίου στο θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο αντίστοιχα.

Ζωγράφος: $37^{\circ}58'30''$ Νότια, $23^{\circ}46'27''$ Ανατολικά, Υψόμετρο: 189 m a.s.l.,

Βάση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας : PVGIS-CMSAF

Ονομαστική ισχύς Φ/Β συστήματος: 41.0 kW (crystalline silicon)

Εκτιμώμενες απώλειες λόγω θερμοκρασίας: 14.9% (με βάση την τοπική θερμοκρασία περιβάλλοντος)

Εκτιμώμενες απώλειες εξ' αιτίας της γωνιακής ανάκλασης: 5.9%

Άλλες απώλειες (καλώδια, αντιστροφείς κ.τ.λ.): 14.0%

Συνδυασμός απωλειών Φ/Β συστήματος: 28.5%

5.6. Εκτιμώμενη απόδοση

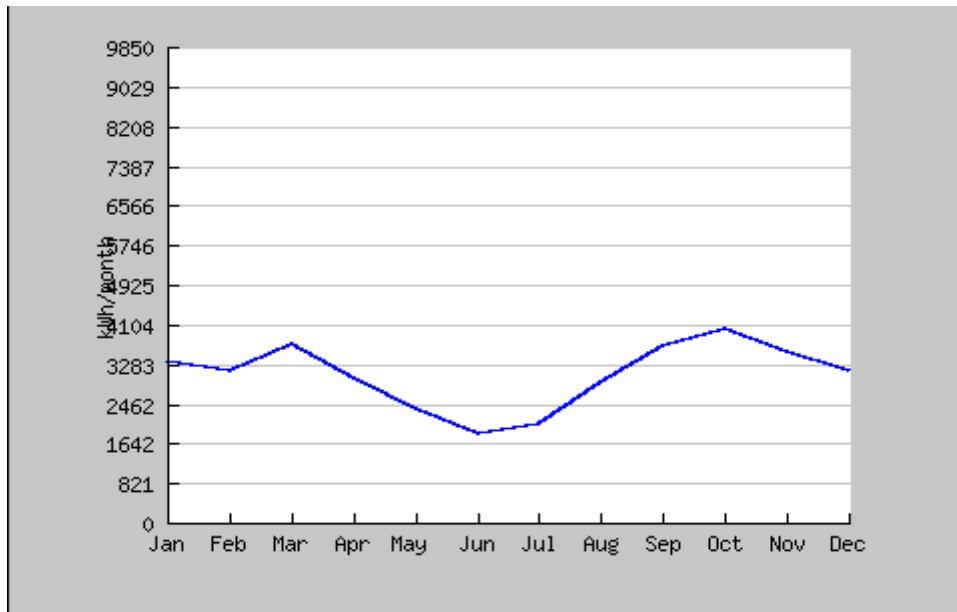
κλίση=90°, προσανατολισμός=0°				
Μήνας	E_d	E_m	H_d	H_m
Ιαν.	108.00	3330	3.41	106
Φεβ.	113.00	3160	3.60	101
Μαρ.	120.00	3720	3.88	120
Απρ.	100.00	3000	3.39	102
Μάιος	76.20	2360	2.77	85.8
Ιουν.	61.70	1850	2.40	72.1
Ιουλ.	66.20	2050	2.58	80.0
Αυγ.	94.20	2920	3.46	107
Σεπ.	122.00	3650	4.20	126
Οκτ.	130.00	4020	4.30	133
Νοεμ.	118.00	3540	3.83	115
Δεκ.	102.00	3170	3.27	101
Ετήσιος Μ.Ο.	101	3070	3.42	104
Ετήσιο Σύνολο		36770		1250

E_d : Μ.Ο. ημερήσιας παραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)

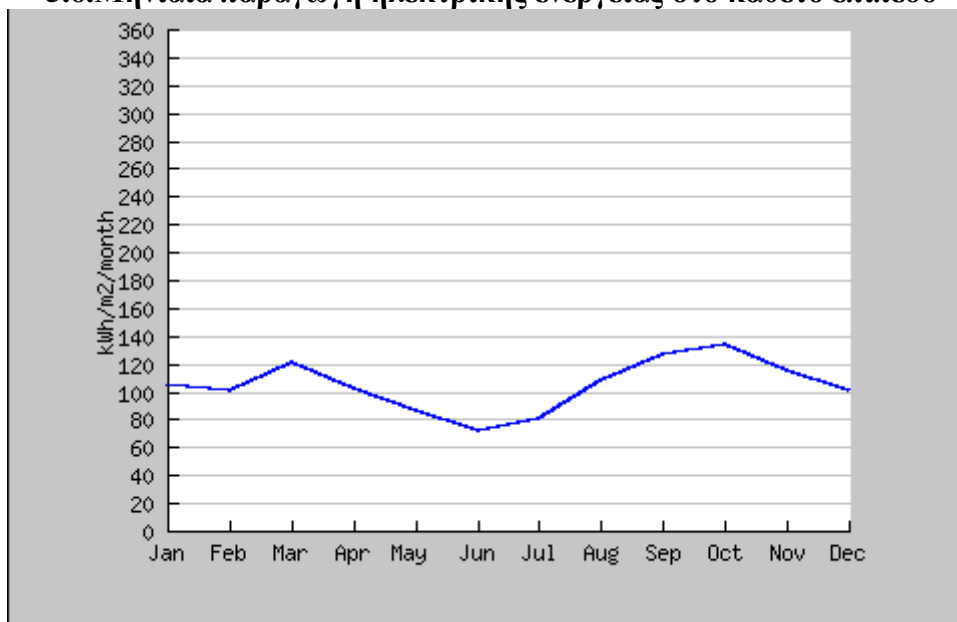
E_m : Μ.Ο. μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)

H_d : Μ.Ο. ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα Φ/Β πλαίσια ανά $m^2(kWh/m^2)$

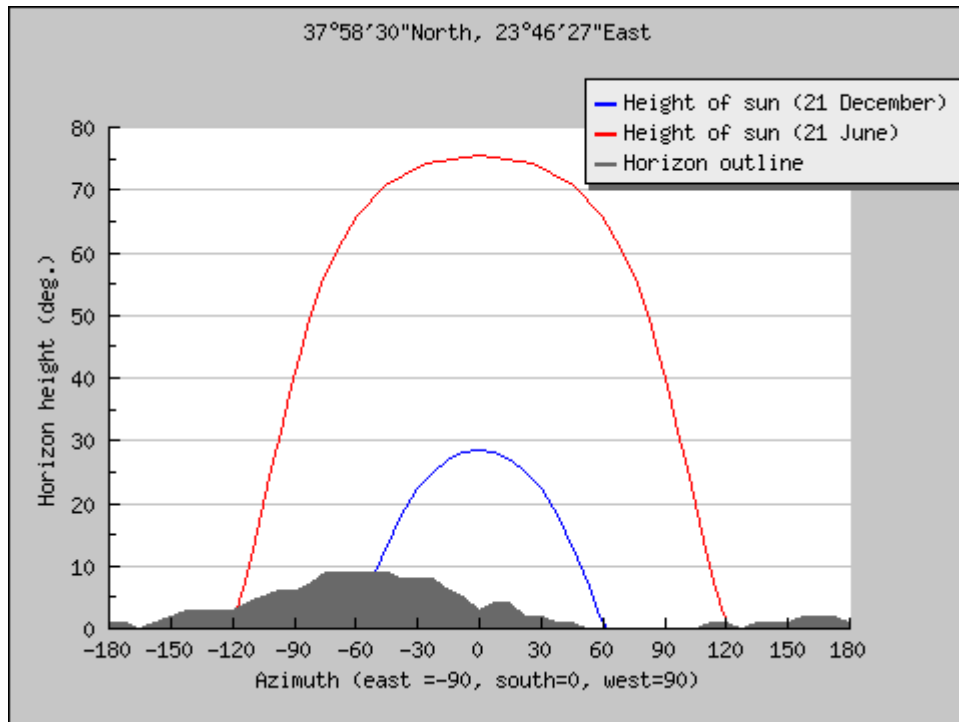
H_m : Μ.Ο. μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα Φ/Β πλαίσια ανά $m^2 (kWh/m^2)$



5.6.Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο κάθετο επίπεδο



5.7. Μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανά m² στο κάθετο επίπεδο



5.8. Χαρακτηριστική τροχιά του ήλιου και σκιάσεις διάφορες ημερομηνίες του χρόνου

Εντύπωση κάνει το γεγονός ότι για γωνία κλίσης 90^0 , η απόδοση του συστήματος μεγιστοποιείται τους χειμερινούς μήνες ενώ είναι μικρότερη τους θερινούς, όπου υπάρχει περισσότερη ποσότητα προσπίπτουσας ακτινοβολίας αλλά και περισσότερες ώρες ηλιοφάνεια. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι τέτοια η κλίση των ΦΒ που τους χειμερινούς μήνες η ακτινοβολία προσπίπτει με κλίση εγγύτερη στην κάθετη διεύθυνση σε σχέση με το αν αυτά είχαν κλίση αντίστοιχη με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Βάση δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας: PVGIS-CMSAF

Ονομαστική ισχύς Φ/Β συστήματος: 22.1 kW (πολυκρυσταλλικά πλαίσια)

Εκτιμώμενες απώλειες λόγω θερμοκρασίας: 14.9% (με βάση την τοπική θερμοκρασία περιβάλλοντος)

Εκτιμώμενες απώλειες εξ' αιτίας της γωνιακής ανάκλασης : 2.4%

Άλλες απώλειες (καλώδια, αντιστροφείς κ.τ.λ.): 14.0%

Συνδυασμός απωλειών Φ/Β συστήματος: 28.5%

5.7. Εκτιμώμενη απόδοση

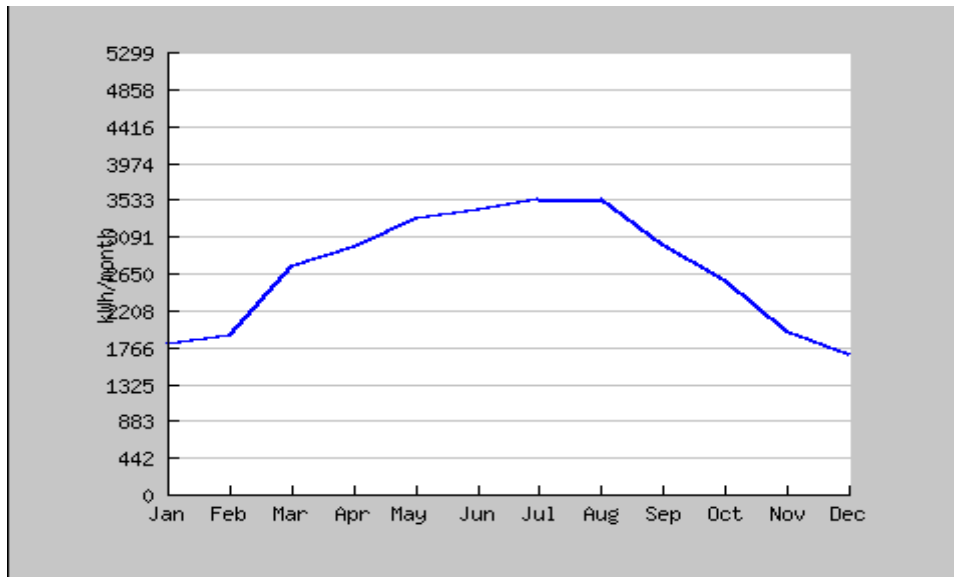
κλίση=30°, προσανατολισμός=0°				
μήνας	E_d	E_m	H_d	H_m
Ιαν.	57.90	1790	3.42	106
Φεβ.	68.10	1910	4.10	115
Μαρ.	87.90	2730	5.40	167
Απρ.	99.10	2970	6.24	187
Μάϊος	106.00	3300	6.86	213
Ιουν.	114.00	3410	7.50	225
Ιουλ.	114.00	3540	7.64	237
Αυγ.	114.00	3540	7.60	235
Σεπ.	99.30	2980	6.47	194
Οκτ.	82.60	2560	5.1	161
Νοεμ.	64.80	1940	3.93	118
Δεκ.	54.20	1680	3.22	99.8
Ετήσιος Μ.Ο.	88.6	2700	5.64	172
Ετήσιο σύνολο		32350		2060

E_d : Μ.Ο. ημερήσιας παραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)

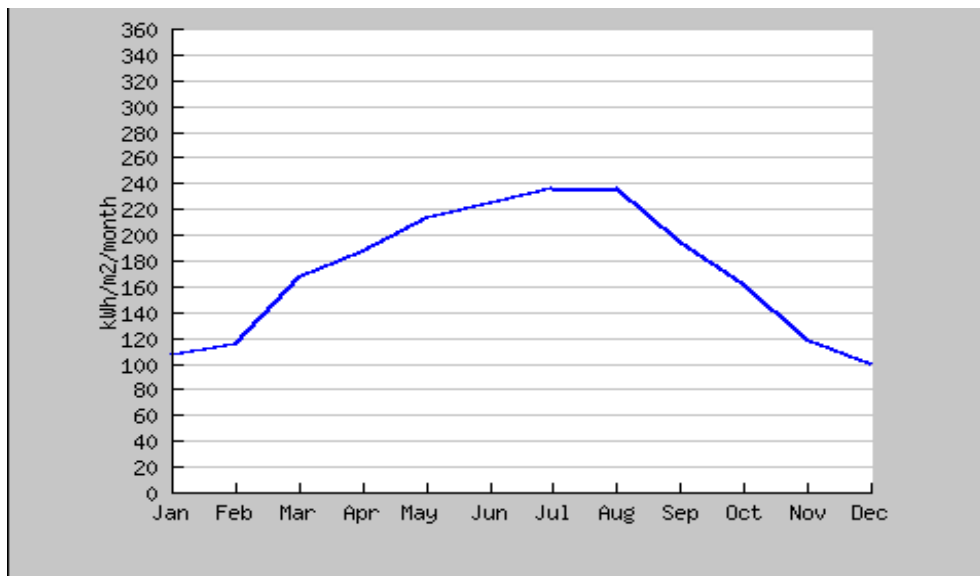
E_m : Μ.Ο. μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)

H_d : Μ.Ο. ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα Φ/Β πλαίσια ανά m^2 (kWh/m²)

H_m : Μ.Ο. μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα Φ/Β πλαίσια ανά m^2 (kWh/m²)



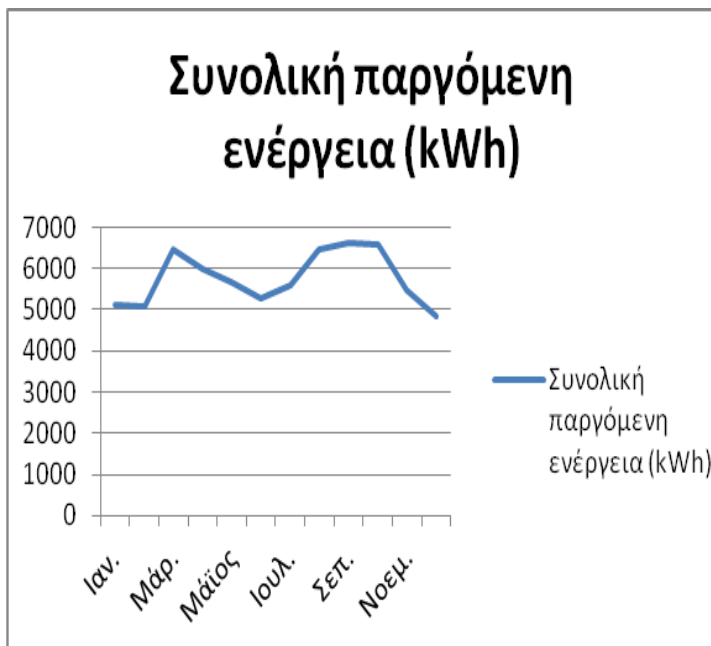
5.9.Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



5.10. Μηνιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ανά m²

Διαπιστώνεται από τα γραφήματα που παρατίθενται παραπάνω ότι το σύστημα στο κεκλιμένο επίπεδο παρουσιάζει μέγιστη παραγωγή τους θερινούς μήνες ενώ το σύστημα στο κάθετο επίπεδο μεγιστοποιεί την παραγωγή του τους θερινούς μήνες. Αυτό, όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο της ηλιακής γεωμετρίας συμβαίνει λόγω της διαφορετικής γωνίας κλίσης.

Μήνας	Ed	Em
Ιαν.	165,9	5.120
Φεβ.	181,1	5.070
Μάρ.	207,9	6.450
Απρ.	199,1	5.970
Μάιος	182,2	5.660
Ιουν.	175,7	5.260
Ιουλ.	180,2	5.590
Αυγ.	168,2	6.460
Σεπ.	221,3	6.630
Οκτ.	212,6	6.580
Νοεμ.	182,8	5.480
Δεκ.	156,2	4.850
M.O.	186,1	5.760
Σύνολο		69.120



E_d : Μ.Ο. ημερήσιας παραγωγής Ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)
 E_m : Μ.Ο. μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)

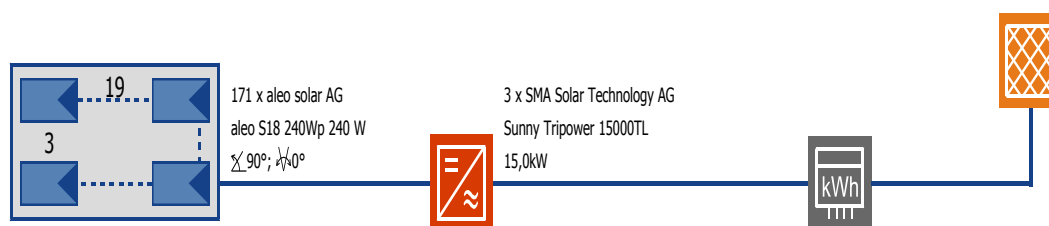
Επομένως η εκτιμώμενη απόδοση του Φ/Β συστήματος είναι 69.120 kWh ετησίως. Και τα εκτιμώμενα έσοδα από ένταξη στο καθεστώς feed-in-tariff (69.120 kWh*0,32860 €/kWh=) 22.712,8 €

5.4 Διαστασιολόγηση ΦΒ συστήματος

5.4.1 PVSOL Expert

Από τη στιγμή που πλέον, είναι γνωστός ο τύπος του ΦΒ πάνελ και η ποσότητα τους, η συνολική δηλαδή ισχύ του συστήματος τότε διαστασιολογείται το σύστημα ώστε να επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος και αριθμός των αντιστροφών. Έχει επιλεγεί και ο τύπος του αντιστροφέα, που δεν είναι άλλος από τον SMA STP. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα PVSOL Expert διαχωρίζεται το σύστημα υπό μελέτη σε δυο κομμάτια. Το κάθετο επίπεδο και το κεκλιμένο.

Κάθετο επίπεδο:

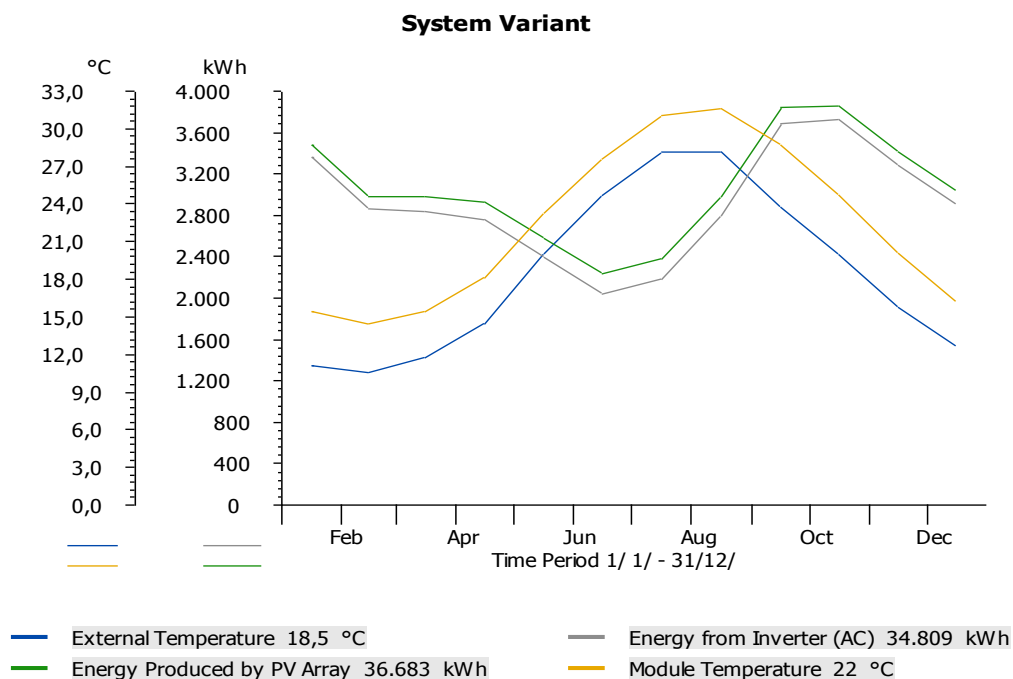


Τοποθεσία:	Αθήνα
Κλιματολογικά δεδομένα:	Αθήνα (1981-2000)
Ισχύς Φ/Β:	41,04 kWp
Μικτή/Ενεργή επιφάνεια Φ/Β:	281,02 / 280,62 m ²

Προσπίπτουσα ακτινοβολία:	307.056kWh
Παραγόμενη ενέργεια (AC):	34.809kWh
Τροφοδοσία στο δίκτυο:	34.809kWh

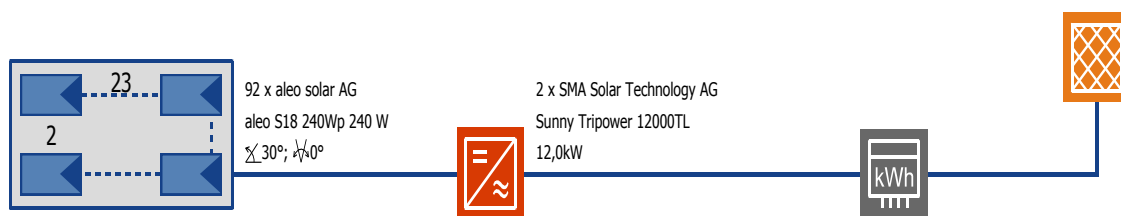
Αποδοτικότητα συστήματος:	11,3 %
Αναλογία απόδοσης:	77,4 %
Απόδοση αντιστροφέα:	94,8 %
Απόδοση Φ/Β:	12,0 %
Ειδική ετήσια απόδοση:	847,1kWh/kWp
Περιορισμός εκπομπών CO ₂ :	30.802 kg/a

Διαπιστώνεται λοιπόν από τα αποτελέσματα του προγράμματος ότι στο κάθετο επίπεδο απαιτούνται 3 αντιστροφείς SMA Sunny tripower 15.000TL-10, ονομαστικής ισχύος 15 kVA ο έκαστος. Για κάθε αντιστροφέα απαιτείται ομαδοποίηση στη σύνδεση των Φ/Β πλαισίων κι όπως φαίνεται αυτή είναι 19 πλαίσια στη σειρά με 3 παράλληλα strings(στοιχειοσειρές).



Στο διάγραμμα διαφαίνεται η διαφοροποίηση της παραγόμενης ενέργειας από τα ΦΒ πλαίσια και αυτής που τελικά δίνεται από τον αντιστροφέα στο δίκτυο, καθώς και η μεγάλη εξάρτηση της απόδοσης του συστήματος συναρτήσει της θερμοκρασίας. Τέλος ενδεικτική είναι η θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου.

Κεκλιμένο επίπεδο:



Τοποθεσία: Αθήνα
 Κλιματολογικά δεδομένα: Αθήνα (1981-2000)
 Ισχύς Φ/Β: 22,08 kWp

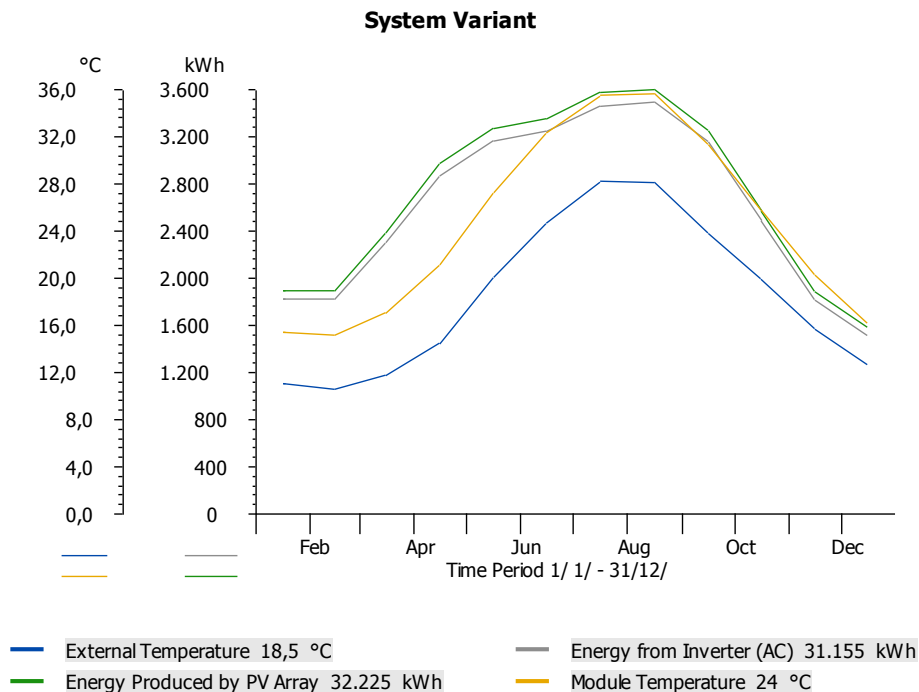
Μικτή/ενεργή επιφάνεια Φ/Β:

151,19 / 150,98 m²

Προσπίπτουσα ακτινοβολία:	263.879kWh
Παραγόμενη ενέργεια (AC):	31.155kWh
Τροφοδοσία στο δίκτυο:	31.155kWh

Αποδοτικότητα συστήματος:	11,8 %
Αναλογία απόδοσης:	80,7 %
Απόδοση αντιστροφέα:	96,6 %
Απόδοση Φ/Β :	12,2 %
Ειδική ετήσια απόδοση:	1.410kWh/kWp
Περιορισμός εκπομπών CO ₂ :	27.579 kg/a

Στο κεκλιμένο επίπεδο απαιτούνται 2 αντιστροφείς τύπου SMA Sunny Tripower 12.000TL-10 ,ονομαστικής ισχύος 12 kVA ο καθένας. Για κάθε αντιστροφέα απαιτείται ομαδοποίηση των ΦΒ για τη σύνδεση τους με αυτόν. Στην προκειμένη περίπτωση συνδέονται 23 πλαίσια στη σειρά σε 2 παράλληλα strings.



Στο γράφημα γίνεται σαφές η διαφοροποίηση της παραγόμενης ενέργειας από πλευράς DC και από πλευράς AC. Ακόμη φαίνεται η θερμοκρασιακή διαφορά περιβάλλοντος και θερμοκρασία ΦΒ στοιχείου.

Είναι σημαντικό να εξηγηθεί γιατί ομαδοποιούνται έτσι τα πλαίσια. Ο inverter δέχεται συγκεκριμένη τάση και ένταση ρεύματος που μεγιστοποιεί την απόδοση του. Έτσι, βάσει των δύο κανόνων του Kirchhoff, στην περίπτωση των 23 πλαισίων σε σειρά έχουμε $I_1=I_2=...=I_{23}=I=8,13A$ και $V=V_1+V_2+...+V_{23}=678.5 V$

Και 2 παράλληλων στοιχειοσειρών :

$$V_a=V_b=V=678.5 V \quad \text{και} \quad I=I_a+I_b=16.26A$$

Έτσι λοιπόν υπολογίζεται η απαιτούμενη τάση και ένταση του ρεύματος για τη βέλτιστη συνδεσμολογία των πλαισίων.

5.4.2 Sunny Design 2.20

Το Sunny Design 2.20 είναι πρόγραμμα διαστασιολόγησης της εταιρείας **SMA Technologie AG** που δίνει αρκετές πληροφορίες για την λειτουργία των αντιστροφών. Με το πρόγραμμα PVSOL καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι στη μονάδα απαιτούνται 3 αντιστροφείς , 15 kVA ο καθένας, στο κάθετο επίπεδο και 2 αντιστροφείς ,12 kVA ο καθένας, στο κεκλιμένο επίπεδο.

Επισυνάπτονται ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο αντιστροφών που θα χρησιμοποιήσουμε:

Είσοδος (DC)	STP 12000 TL	STP 15000 TL
Μέγιστη ισχύς DC (@ cos φ=1)	12250 W	15340 W
Μέγιστη τάση εισόδου	1000 V	1000 V
Εύρος τάσης MPP / Ονομαστική τάση εισόδου	380 V – 800 V / 600 V	360 V – 800 V / 600 V
Ελάχιστη τάση εισόδου / Αρχική τάση εισόδου	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου σε εισόδο A / εισόδο B	22 A / 11 A	33 A / 11 A
Μέγιστο ρεύμα εισόδου ανά στοιχειοσειρά σε εισόδο A** / εισόδο B**	33 A / 12,5 A	33 A / 12,5 A
Αριθμός ανεξάρτητων εισόδων MPP / Στοιχειοσειρές ανά εισόδο MPP	2 / A:4, B:1	2 / A:5; B:1
Εξοδος (AC)		
Ονομαστική ισχύς (@230 V, 50 Hz)	12000 W	15000 W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC	12000 VA	15000 VA
Ονομαστική τάση AC	3 / N / PE, 220 / 380	3 / N / PE, 220 / 380 V

	V 3 / N / PE, 230 / 400 V 3 / N / PE, 240 / 415 V	3 / N / PE, 230 / 400 V 3 / N / PE, 240 / 415 V
Εύρος ονομαστικής τάσης AC	160 V – 280 V	160 V – 280 V
Συχνότητα δικτύου AC / Εύρος	50 Hz, 60Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60Hz / -6 Hz ... +5 Hz
Ονομαστική συχνότητα δικτύου / Ονομαστική τάση δικτύου	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	19,2 A	24 A
Συντελεστής ισχύος σε ονομαστική ισχύ	1	1
Ρυθμιζόμενος συντελεστής πρόσφυσης	0,8 υπερδιέγερση ... 0,8 υποδιέγερση	0,8 υπερδιέγερση ... 0,8 υποδιέγερση
Φάσεις τροφοδοσίας / Φάσεις σύνδεσης	3 / 3	3 / 3
Βαθμός απόδοσης		
Μέγιστος βαθμός απόδοσης / Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης	98,1 % / 97,7 %	98,2 % / 97,8 %
Διατάξεις προστασίας		
Αποζεύκτες εισόδου	ναι	ναι
Επιτήρηση γείωσης / Επιτήρηση δικτύου	ναι / ναι	ναι / ναι
Απαγωγός υπέρτασης DC τύπου II με δυνατότητα ενσωμάτωσης	προαπ	προαπ
Προστασία αντιστροφής πόλων DC / Αντοχή AC σε βραχυκυκλώματα / Γαλβανική μόνωση	ναι / ναι / —	ναι / ναι / —
Μονάδα επιτήρησης σφαλμάτων ρεύματος ευαίσθητη σε όλους τους τύπους ρεύματος	ναι	ναι
Κλάση προστασίας (σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62103) / Κατηγορία υπέρτασης (σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60664-1)	I / III	I / III

Γενικά χαρακτηριστικά		
Διαστάσεις (Πλάτος / Ύψος / Βάθος)	665 / 690 / 265 mm (26,2 / 27,2 / 10,4 ίντσες)	665 / 690 / 265 mm (26,2 / 27,2 / 10,4 ίντσες)
Βάρος	64 kg / 141,1 lb	64 kg / 141,1 lb
Εύρος τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F
Εκπομπή θορύβου, τυπική	51 dB(A)	51 dB(A)
Ιδιοκατανάλωση (νύχτα)	1 W	1 W
Τοπολογία / Είδος ψύξης	Χωρίς μετασχηματιστή / OptiCool	Χωρίς μετασχηματιστή / OptiCool
Κλάση προστασίας / Κλάση προστασίας συνδέσεων (κατά το πρότυπο IEC 60529)	IP65 / IP54	IP65 / IP54
Κλιματική κατηγορία (κατά το πρότυπο IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή για σχετική υγρασία (χωρίς συμπύκνωση)	100 %	100 %
Εξοπλισμός		
Σύνδεση DC	SUNCLIX	SUNCLIX
Σύνδεση AC	Ελατηριωτός συνδετήρας	Ελατηριωτός συνδετήρας
Οθόνη	Γράφημα	Γράφημα
Διεπαφή: RS485 / Τεχνολογία Bluetooth	προαιρ / ναι	προαιρ / ναι
Εγγύηση: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 χρόνια	ναι / προαιρ / προαιρ / προαιρ / προαιρ	ναι / προαιρ / προαιρ / προαιρ / προαιρ
Ρελέ πολλαπλών λειτουργιών	ναι	ναι
Πιστοποιητικά και άδειες (περισσότερα κατόπιν αιτήματος)	CE, VDE0126-1-1, G83/1-1, RD 1663/2000, RD 661/2007, G59/2, PPC, AS4777, EN 50438*, C10/11, PPDS, IEC 61727, ENEL-Guida, UTE C15-712-1	CE, VDE0126-1-1, G83/1-1, RD 1663/2000, RD 661/2007, G59/2, PPC, AS4777, EN 50438*, C10/11, PPDS, IEC 61727, ENEL-Guida, UTE C15-712-1
ηλεκτρονικής ασφάλειας στοιχειοσειρών		
Χαρακτηρισμός τύπου	STP 12000TL-10	STP 15000TL-10

Στις επόμενες σελίδες παρατίθενται οι αξιολογήσεις του σχεδιασμού με βάση το Sunny Design και δείχνει τη συμβατότητα του αντιστροφέα καθώς και την απαιτούμενη συνδεσμολογία σε αυτόν(ομαδοποίηση ΦΒ πλαισίων).

Όνομα εργασίας: κάθετο επίπεδο αναβάθμιση **Τοποθεσία:** Greece / Athens
Αριθμός εργασίας:
Αρχείο έργου: κάθετο επίπεδο αναβάθμιση **Τάση δικτύου:** 3~230 V

Επιήρρηση συστήματος

171 x aleo 5_18 (240W) (08/06) (Φ/Β γεννήτρια 1)

Αζιμούθιο: 0°, Κλίση: 90°, Τρόπος τοποθέτησης: Πρόσοψη, Μέγιστη ισχύς: 41,04 kWp

 3 x STP 15000TL-10

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	171	Συντ.ενεργ. χρήσης:	100 %
Μέγιστη ισχύς:	41,04 kWp	Ποσοστό απόδοσης (κατά προσέγγιση)*:	81,2 %
Αριθμός μετατροπέων:	3	Ειδ. ενεργειακή απόδοση (κατά προσέγγιση)*:	780 kWh/kWp
Ονομαστική ισχύς AC:	45,00 kW	Απώλειες ισχύος (σε % της φωτοβολταϊκής ενέργειας):	0,15 %
Ενεργή ισχύς AC:	45,00 kW	Μη αντισταθμισμένο φορτίο:	0,00 VA
Σχέση ενεργής ισχύος:	109,6 %	Ιδιοκατανάλωση:	29920,39 kWh
Ετήσια ενεργειακή απόδοση (κατά προσέγγιση)*:	32016,00 kWh	Ποσοστό ιδιοκατανάλωσης:	93,5 %

Sunny Design 2.20.1.R

Αξιολόγηση του σχεδιασμού

Όνομα εργασίας: κάθετο επίπεδο αναβάθμιση σχολής
Αριθμός εργασίας:
Αρχαίο έργου: κάθετο επίπεδο αναβάθμιση σχολής ΧΜ

Τοποθεσία: Greece / Athens
Θερμοκρασία κυψέλης:
Ελάχιστη θερμοκρασία: -10,00 °C
Θερμοκρασία σχεδιασμού: 50,00 °C
Μέγιστη θερμοκρασία: 70,00 °C

Τμηματική εργασία 1

3 x STP 15000TL-10

Μέγιστη ισχύς:	41,04 kW
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	171
Αριθμός μετατροπέων:	3
Μέγ. ισχύς DC (cos φ = 1):	15,34 kW
Μέγ. αντρετή ισχύς AC (cos φ = 1):	15,00 kW
Τάση δικτύου:	230 V
Λόγος ονομ. ισχύος:	112 %
Συντελεστής μετατόπισης cos φ:	1



STP 15000TL-10

Τεχνικά χαρακτηριστικά

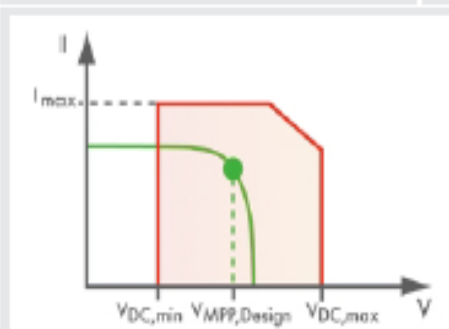
Είσοδος Α: Φ/Β γεννήτρια 1

46 x αέιο S_18 (240W) (08/06), Αζιμούθιο: 0°, Κλίση: 90°, Τρόπος τοποθέτησης: Πρόσοψη

Είσοδος Β: Φ/Β γεννήτρια 1

11 x αέιο S_18 (240W) (08/06), Αζιμούθιο: 0°, Κλίση: 90°, Τρόπος τοποθέτησης: Πρόσοψη

	Είσοδος Α:		Είσοδος Β:	
Αριθμός στοιχείων:	2		1	
Φωτοβολταϊκές μονάδες ανά σειρά:	23		11	
Μέγιστη ισχύς (είσοδος):	11,04 kWp		2,64 kWp	
Χαρακτηριστική φ/β τάση:	604 V		289 V	
Ελάχ. φ/β τάση:	545 V		261 V	
Ελάχ. τάση DC (Τάση δικτύου 230 V):	150 V		150 V	
Μέγ. φ/β τάση:	953 V		456 V	
Μέγ. τάση DC (φωτοβολταϊκό (Φ/Β)):	1000 V		1000 V	
Μεγ. ρεύμα φ/β γεννήτρ.:	16,2 A		8,1 A	
Μέγ. ρεύμα DC:	33,0 A		11,0 A	
Μέγ. ρεύμα βραχυκύκλωσης:	50,0 A		12,5 A	



Φ/Β ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΜΒΑΤΟΣ

Sunny Design 2.20.1.R

Όνομα εργασίας: κεκλιμένο επίπεδο

Τοποθεσία: Greece / Athens

Αριθμός εργασίας:

Αρχείο έργου: κεκλιμένο επίπεδο

Τάση δικτύου: 3~230 V

Επιτήρηση συστήματος

92 x aleo S_18 (240W) (08/06) (Φ/Β γεννήτρια 1)

Αζιμούθιο: 0°, Κλίση: 30°, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη, Μέγιστη ισχύς: 22,08 kWp

 2 x STP 1200TL-10

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	92	Συντ.ενεργ. χρήσης:	100 %
Μέγιστη ισχύς:	22,08 kWp	Ποσοστό απόδοσης (κατά προσέγγιση)*:	84,5 %
Αριθμός μετατροπέων:	2	Ειδ. ενεργειακή απόδοση (κατά προσέγγιση)*:	1406 kWh/kWp
Ονομαστική ισχύς AC:	24,00 kW	Απώλειες ισχύος (σε % της φωτοβολταϊκής ενέργειας):	---
Ενεργή ισχύς AC:	24,00 kW	Μη αντισταθμισμένο φορτίο:	0,00 VA
Σχέση ενεργής ισχύος:	108,7 %	Ιδιοκατανάλωση:	30726,13 kWh
Ετήσια ενεργειακή απόδοση (κατά προσέγγιση)*:	31044,70 kWh	Ποσοστό ιδιοκατανάλωσης:	99 %

Sunny Design 2.20.1.R

Αξιολόγηση του σχεδιασμού

Όνομα εργασίας: κεκλιμένο επίπεδο αναβάθμιση
 Αριθμός εργασίας:
 Αρχικό έργο: κεκλιμένο επίπεδο αναβάθμιση.sdr2

Τοποθεσία: Greece / Athens
 Θερμοκρασία κυψέλης:
 Ελάχιστη θερμοκρασία: -10,00 °C
 Θερμοκρασία σχεδιασμού: 50,00 °C
 Μέγιστη θερμοκρασία: 70,00 °C

Τμηματική εργασία 1

2 x STP 12000TL-10

Μέγιστη ισχύς:	22,08 kWp
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	92
Αριθμός μετατροπέων:	2
Μέγ. ισχύς DC (cos φ = 1):	12,25 kW
Μέγ. ενεργή ισχύς AC (cos φ = 1):	12,00 kW
Τάση δικτύου:	230 V
Λόγος ονομ. ισχύος:	111 %
Συντελεστής μετατόπισης cos φ:	1



STP 12000TL-10

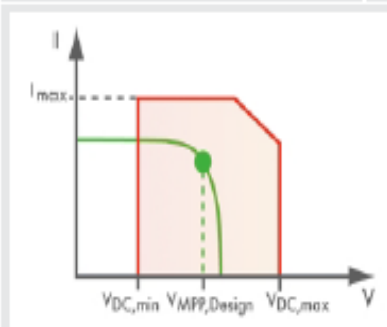
Τεχνικά χαρακτηριστικά

Είσοδος A: Φ/Β γεννήτρια 1

46 x αέριο S_18 (240W) (08/06), Αζιμούθιο: 0°, Κλίση: 30°, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη

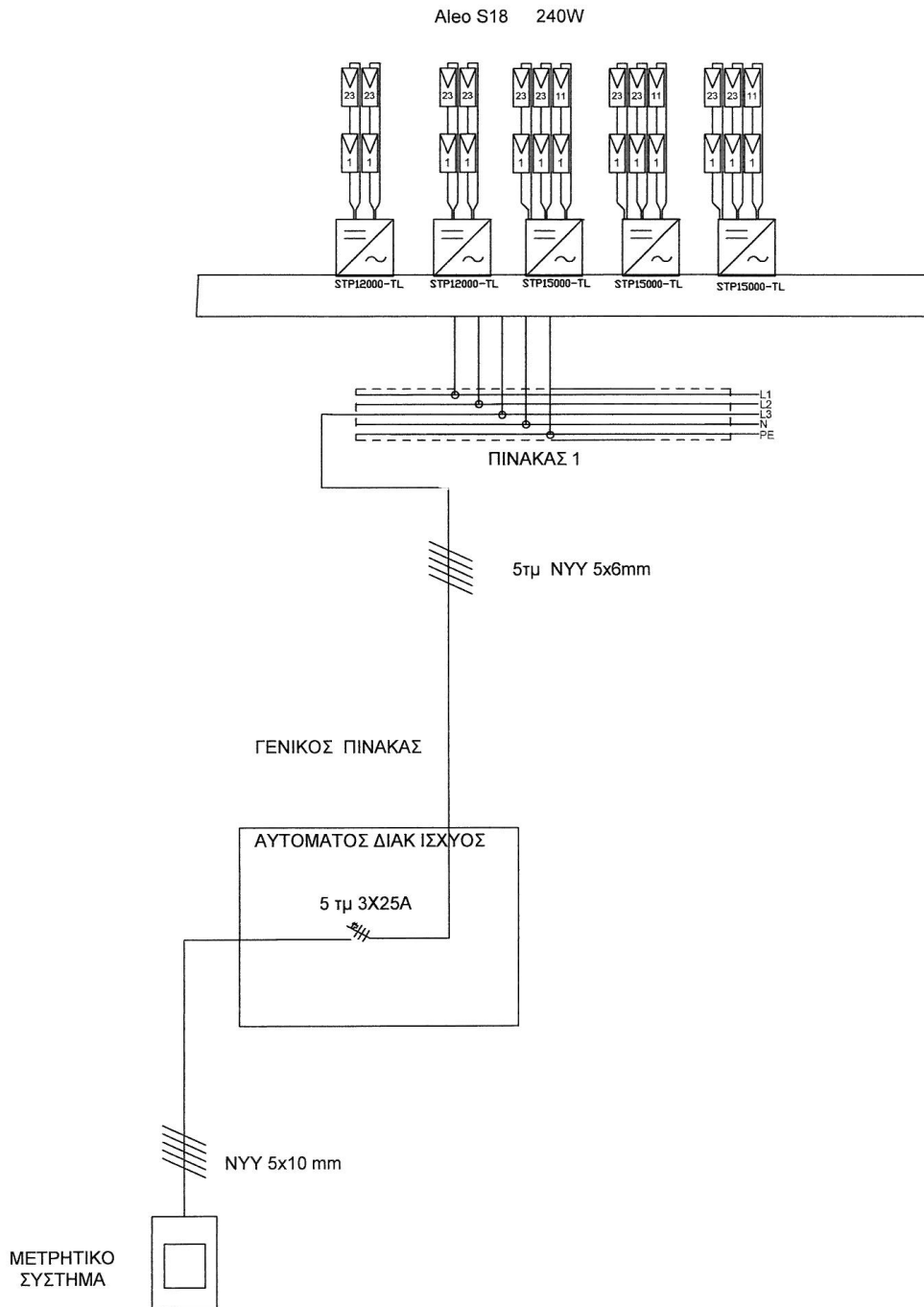
Είσοδος B: ---

	Είσοδος A:	Είσοδος B:
Αριθμός στοιχείων:	2	---
Φωτοβολταϊκές μονάδες ανά σειρά:	23	---
Μέγιστη ισχύς (είσοδος):	11,04 kWp	---
Χαρακτηριστική φ/β τάση:	604 V	---
Ελάχ. φ/β τάση:	545 V	---
Ελάχ. τάση DC (Τάση δικτύου 230 V):	150 V	150 V
Μέγ. φ/β τάση:	953 V	---
Μέγ. τάση DC (φωτοβολταϊκό (Φ/Β)):	1000 V	1000 V
Μεγ. ρεύμα φ/β γεννήτρ.:	16,2 A	---
Μέγ. ρεύμα DC:	22,0 A	---
Μέγ. ρεύμα βραχυκύκλωσης:	33,0 A	12,5 A



Φ/Β ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΜΒΑΤΟΣ

Επισυνάπτουμε παρακάτω το ηλεκτρολογικό μονογραμμικό σχέδιο της εγκατάστασης.



Σχήμα 5.12: Ηλεκτρολογικό μονογραμμικό σχέδιο αναβαθμισμένης εγκατάστασης

Στα προηγούμενα αποτελέσματα είναι αναγκαίο να διευκρινιστεί κάποια αποτελέσματα.

1. $\cos \varphi = 1$
2. Τριφασική έξοδος(3~230)

Η πραγματική ισχύς βρίσκεται από τον τύπο : $p = V_{\varepsilon} \cdot I_{\varepsilon} \cdot \cos \varphi$, ενώ η άεργη ισχύς από : $p = V_{\varepsilon} \cdot I_{\varepsilon} \cdot \sin \varphi$

το **συνημίτονο** πρέπει να βρίσκεται κοντά στη τιμή 1 έτσι ώστε το ημίτονο των φάσεων να είναι κοντά στο μηδέν και η συνολική άεργος ισχύς να μηδενίζεται ,ενώ η συνολική πραγματική ισχύς να μεγιστοποιείται. Το **συνημίτονο** παρακολουθείται συνεχώς από αυτοματοποιημένο σύστημα και είναι στη διάθεση μας να το ελέγξουμε όποτε επιθυμούμε από μια οθόνη ενδείξεων. Διακυμάνσεις στις τιμές του **συνημίτονου** δηλώνουν πρόβλημα σταθεροποίησης στο σύστημα. Ακόμη:

- Στα μονοφασικά δίκτυα η ισχύς δεν είναι σταθερή συνάρτηση του χρόνου. Μάλιστα, όταν ο συντελεστής ισχύος του φορτίου είναι διαφορετικός από τη μονάδα ,η ισχύς είναι αρνητική σε δυο χωριστά διαστήματα χρόνου μέσα σε κάθε περίοδο. Έτσι π.χ. η κινητήρια ροπή μονοφασικού κινητήρα είναι παλμική και ο άξονας του δέχεται δυσμενή φόρτιση.
- Για τη μεταφορά της ίδιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας ,στην ίδια απόσταση ,χρησιμοποιώντας τριφασικό δίκτυο απαιτείται 25% λιγότερο αγωγίμο υλικό από ότι με μονοφασικό δίκτυο. Βέβαια ,η σύγκριση γίνεται με την ίδια τάση μεταξύ αγωγών και ίδιες απώλειες ισχύος για τη μεταφορά.
- Οι πολυφασικές μηχανές ,γεννήτριες και κινητήρες, έχουν καλύτερο βαθμό απόδοσης και γενικότερα καλύτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας από τις μονοφασικές μηχανές.

Τέλος κάτι πολύ σημαντικό ,που διαπιστώνει κανείς αν συγκρίνει τα αποτελέσματα διαστασιολόγησης από το PVSOL και το Sunny Design για το κάθετο επίπεδο. Στη μια περίπτωση μας προτείνει το πρόγραμμα 3 παράλληλα strings με 19 πλαίσια στο καθένα ενώ στη δεύτερη περίπτωση 3 παράλληλα strings με τα δύο να έχουν 23 πλαίσια και το τρίτο 11 πλαίσια. Όμως εξετάζοντας τα αποτελέσματα τους στην πρώτη περίπτωση η απόδοση του Inverter ενώ στη δεύτερη 96% πιο κοντά δηλαδή στη μέγιστη απόδοση του που είναι 98%.Άρα επιλέγεται , για αυτό το λόγο τη δεύτερη συνδεσμολογία.

5.5 Οικονομικά στοιχεία

5.8.Συνολικός Πίνακας Ηλεκτρομηχανολογικού Εξοπλισμού

A/A	Περιγραφή	M/M	Ποσότητα	Τιμή μονάδας €	Συν.Τιμή €
1.	Φωτοβολταϊκή κυψέλη Aleo S_18 (240 W)	Τεμ.	263	288	75.744
2.	Μετατροπέας (Inverter) SMA STP 12000TL-10	Τεμ.	2	3.350	6.700
3.	Μετατροπέας (Inverter) SMA STP 15000TL-10	Τεμ.	3	3.850	11.550
4.	Αντικεραυνική προστασία Inverter στο DC	Τεμ.	5	150	750
5.	Ηλεκτρικός πίνακας(JB) συνεχούς ρεύματος (DC) κεκλιμένου επιπέδου.	Τεμ.	2	94	188
6.	Ηλεκτρικός πίνακας(JB) συνεχούς ρεύματος (DC) κάθετου επιπέδου.	Τεμ.	3	189	567
7.	Ηλεκτρικός πίνακας εναλλασσομένου ρεύματος(με αντικεραυνική προστασία AC)	Τεμ.	1	300	300
8.	Σύστημα Τηλεμετρίας	Τεμ.	1	1000	1.000
9.	Βάση στήριξης Φωτοβολταϊκής γεννήτριας	κ.α	1		10.100
	Σύνολο				106.899

Το τελικό λοιπόν κοστολόγιο είναι της τάξεως των **106.899 €**. Από τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό εκλείπει ο υπολογισμός του κοστολογίου των αγωγών(καλωδίων) DC και AC καθώς υπήρχαν ήδη στο χώρο εγκατάστασης και δεν χρειάζονται αλλαγή. Αλλά και να προστεθεί έχει πολύ μικρό κόστος, της τάξεως των 1000€.Στο σύστημα τηλεμετρίας περιλαμβάνεται το ανεμόμετρο, το θερμοστοιχείο του Φ/Β πλαισίου, ο αισθητήρας της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ο αισθητήρας μέτρησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ανά m² και φυσικά η συσκευή που στέλνει τα δεδομένα από την εγκατάσταση στο διαδίκτυο έτσι ώστε να είναι άμεση η επιτήρηση του συστήματος.

Η βάσης στήριξης δεν έχει τιμή μονάδας καθώς υπολογίζεται ανά Wp. Πιο συγκεκριμένα η τιμή των βάσεων είναι 0,16 €/Wp. Η τιμή των ΦΒ (240 W) είναι 1,20€/Wp. Παρατηρείται λοιπόν ότι για την ίδια επιφάνεια εγκατάστασης έχουμε μεγαλύτερη ισχύ κατά 13,610 kWp και κοστολόγιο κατά πολύ μικρότερο, αφού η υπάρχουσα εγκατάσταση κόστισε 600.000 €, 6 φορές σχεδόν πάνω από το κόστος του εξοπλισμού που έχει αναφορά σε αυτό το κεφάλαιο.

Παρατίθεται πίνακας που συγκρίνει τα κέρδη που θα επέφερε η μονάδα αν εντασσόταν σε καθεστώς feed –in –tariff, στην πρώτη περίπτωση αν η μονάδα παρέμενε ως έχει χωρίς βελτιώσεις(υφιστάμενη κατάσταση),σε περίπτωση που πραγματοποιούνταν οι απαραίτητες βελτιώσεις(βελτιωμένη) και τέλος σε περίπτωση αναβάθμισης.

5.9. Κέρδη από καθεστώς feed-in tariff σε κάθε περίπτωση

Μήνας	Υφιστάμενη κατάσταση	Βελτιωμένη	Αναβαθμισμένη
Ιαν.	873 €	1.294,70 €	1.682,40 €
Φεβ.	941 €	1.281,50 €	1.666 €
Μαρ.	1.064 €	1.629,90 €	2.119,50 €
Απρ.	1.260 €	1.511,60 €	1.961,70 €
Μάιος	1.147 €	1.432,70 €	1.859,90 €
Ιουν.	982,80€	1.334,10 €	1.728,40 €
Ιουλ.	1.013 €	1.419,50 €	1.836,90 €
Αυγ.	1.197 €	1.636,43 €	2.122,80 €
Σεπτ.	1.227,75 €	1.679,20 €	2.178,60 €
Οκτ.	952 €	1.662,70 €	2.162,20 €
Νοεμ.	1.080 €	1.386,70 €	1.800,70 €
Δεκ.	757 €	1.222,37 €	1.593,70 €
Σύνολο	12.494,55 €	17.491,4 €	22.712,80 €
20ετία	249.891 €	349.828 €	454.256,00 €

Στην περίπτωση της αναβάθμισης η απόσβεση θα πραγματοποιηθεί σε (106.899€:22,712,80€/έτος =) 4,7 χρόνια. Δηλαδή μια τέτοια επένδυση το αργότερο σε μια πενταετία κάνει απόσβεση και τα επόμενα 15 χρόνια επιφέρει μόνο κέρδος. Πλέον είναι έτσι διαμορφωμένες οι τιμές που για την απόσβεση μιας οποιαδήποτε επένδυσης στα φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτείται μια πενταετία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Μεγάλη πτώση του κόστους εξοπλισμού από το 2002 ως το 2012. Σε μια δεκαετία για εγκαταστάσεις μεγέθους αντίστοιχου της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. **από 12 €/Wp σε 2,2 €/Wp**.
- Η μονάδα εντασσόμενη στο καθεστώς feed-in tariff θα επιφέρει ετήσια κέρδη τουλάχιστον **12.494,55 €**.
- Άμεση επέμβαση στη μονάδα για απαραίτητες βελτιώσεις. Μερικές από τις προτάσεις μας είναι:
 1. Αλλαγή συνδεσμολογίας ΦΒ πλαισίων σύμφωνα με τις υποδείξεις της διαστασιολόγησης που πραγματοποιήθηκε παραπάνω.
 2. Στη νέα συνδεσμολογία αποφεύγουμε τη σύνδεση ΦΒ κεκλιμένου επιπέδου με εκείνα του κάθετου επιπέδου.
 3. Προσθήκη στο κεκλιμένο επίπεδο που υπήρξαν αλλαγές ακόμα ενός inverter Fronius IG60.
 4. Αντικατάσταση των inverters Tauro PRM 4000/8 των συστοιχιών που αντιστοιχούν στο JB13 και JB14 με έναν inverter της εταιρείας SMA STP 8000TL-10, όπως προκύπτει στην πιο πάνω αξιολόγηση του σχεδιασμού.
 5. Επειδή οι συγκεκριμένες συστοιχίες, που αναφέρονται στο 4, αντιμετωπίζουν πρόβλημα μερικής σκίασης, η οποία αντιμετωπίζεται μερικώς από τις διόδους των ΦΒ γεννητριών, εισάγουμε την παράμετρο την μείωσης εσωτερικής αντίστασης του inverter, με αποτέλεσμα την αντιμετώπιση των σκιάσεων.
 6. Επανελέγχος και αντικατάσταση των αγωγών που διανύουν μεγάλη απόσταση μέχρι τη σύνδεση τους στους inverters κι από τους inverters στον Υ/Σ τροφοδοσίας, με κριτήριο τη διατομή τους. Επισημαίνεται ότι σε 100 m αγωγού διατομής 1,5 mm² υπάρχει απώλεια ισχύος 2,74%, ενώ με την άμεση αλλαγή του αγωγού σε 6 mm² η απώλεια μειώνεται σε 0,6%, μια αποδεκτή τιμή. Οι απώλειες αυξάνονται κατά πολύ αν συνυπολογίσουμε όλες τις συνδεσμολογίες των strings και inverters αντίστοιχα.
 7. Αντικατάσταση των ΦΒ πλαισίων που είναι σπασμένα ή έχουν άλλης μορφής φθορές που μειώνουν την απόδοση του συστήματος.
 8. Αντικατάσταση ΦΒ στοιχείων τα οποία είναι διαφορετικής ισχύος, τα οποία εγκαταστάθηκαν ύστερα από κλοπή, με Eurosolare PL810 καθώς μειώνουν την ισχύ των συστοιχιών.
 9. Τέλος συντήρηση φυτών που βρίσκονται στην κάτω πλευρά των κάθετων συστοιχιών και σκιάζουν ορισμένο αριθμό πλαισίων. Η

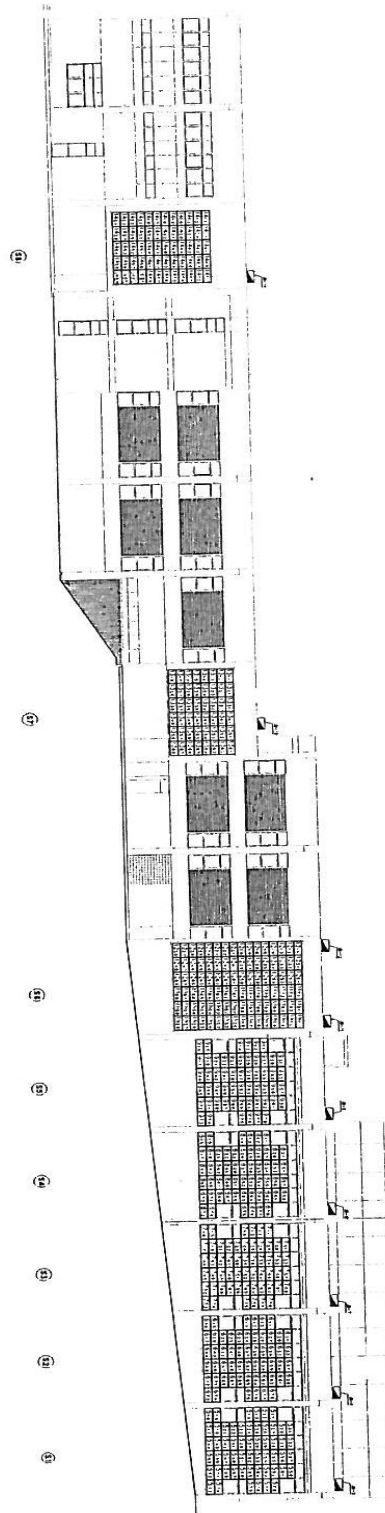
σχετική μέριμνα δεν είναι χρονοβόρα, έχει ασήμαντο κόστος και θα βελτιώσει την απόδοση του ΦΒ συστήματος μας.

- Με τη βελτίωση, τα ετήσια κέρδη μπορεί να φτάσουν, σε καθεστώς feed-in-tariff, τα 17.491,4 € και ενεργειακά τις 53,230 kWh. Ενεργειακά θα έχουμε αύξηση κατά 28,6% και όσον αφορά τα οικονομικά στοιχεία κέρδη 4.996,83 € περισσότερα.
- Το καθεστώς feed –in –tariff, μας δίνει το δικαίωμα πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας για 20 έτη. Τα κέρδη πριν τη βελτιστοποίηση θα ήταν 249.891€ και μετά από αυτήν εκτιμούμε 349.828€, διαφορά της τάξεως του 28,6%.
- Σε περίπτωση αναβάθμισης της μονάδας η εγκατεστημένη ισχύς θα είναι 63,120kWp έναντι των 49,510 kWp της ισχύος της υφιστάμενης μονάδας. Αυτό αποτελεί δείγμα της αλματώδους ανάπτυξης της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών γεννητριών.
- Σε περίπτωση αναβάθμισης τα κέρδη μας θα φτάσουν σε ετήσια βάση τα 22.712,8€ και σε βάθος 20ετίας τα 454.256€.
- Η απόσβεση της επένδυσης θα πραγματοποιηθεί εντός πενταετίας χρησιμοποιώντας ίδια κεφάλαια, χωρίς δανεισμό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Στα παρακάτω σχέδια φαίνεται η χωροθέτηση που υφίσταται σήμερα στη μονάδα ισχύος 49,510 kWp. Η πρόσοψη αρχικά και η οροφή στη συνέχεια.

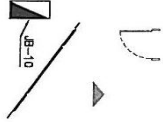
Πρόσοψη: 484 πλαίσια Ισχύος 67 Wp



Οροφή:256 πλαίσια ισχύος 67Wp

10i.1	10e.1	10z.1	10k.1
10i.2	10e.2	10z.2	10k.2
10i.3	10e.3	10z.3	10k.3
10i.4	10e.4	10z.4	10k.4
10i.5	10e.5	10z.5	10k.5
10i.6	10e.6	10z.6	10k.6
10i.7	10e.7	10z.7	10k.7
10i.8	10e.8	10z.8	10k.8

S0



1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8
1.2	1.22	1.3	1.42	1.52	1.62	1.72	1.82	2.12	2.22	2.32	2.42	2.52	2.62	2.72	2.82	3.12	3.22	3.32	3.42	3.52	3.62	3.72	3.82	4.12	4.22	4.32	4.42	4.52	4.62	4.72	4.82
1.3	1.23	1.33	1.43	1.53	1.63	1.73	1.83	2.13	2.23	2.33	2.43	2.53	2.63	2.73	2.83	3.13	3.23	3.33	3.43	3.53	3.63	3.73	3.83	4.13	4.23	4.33	4.43	4.53	4.63	4.73	4.83
1.4	1.24	1.34	1.44	1.54	1.64	1.74	1.84	2.14	2.24	2.34	2.44	2.54	2.64	2.74	2.84	3.14	3.24	3.34	3.44	3.54	3.64	3.74	3.84	4.14	4.24	4.34	4.44	4.54	4.64	4.74	4.84
1.5	1.25	1.35	1.45	1.55	1.65	1.75	1.85	2.15	2.25	2.35	2.45	2.55	2.65	2.75	2.85	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.65	3.75	3.85	4.15	4.25	4.35	4.45	4.55	4.65	4.75	4.85
1.6	1.26	1.36	1.46	1.56	1.66	1.76	1.86	2.16	2.26	2.36	2.46	2.56	2.66	2.76	2.86	3.16	3.26	3.36	3.46	3.56	3.66	3.76	3.86	4.16	4.26	4.36	4.46	4.56	4.66	4.76	4.86
1.7	1.27	1.37	1.47	1.57	1.67	1.77	1.87	2.17	2.27	2.37	2.47	2.57	2.67	2.77	2.87	3.17	3.27	3.37	3.47	3.57	3.67	3.77	3.87	4.17	4.27	4.37	4.47	4.57	4.67	4.77	4.87
1.8	1.28	1.38	1.48	1.58	1.68	1.78	1.88	2.18	2.28	2.38	2.48	2.58	2.68	2.78	2.88	3.18	3.28	3.38	3.48	3.58	3.68	3.78	3.88	4.18	4.28	4.38	4.48	4.58	4.68	4.78	4.88

S1 S2 S3 S4

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Παρατίθεται υπόδειγμα αίτησης αδειοδότησης που θα επέτρεπε στο σύστημα να ενταχθεί στο καθεστώς feed-in- tariff:



ΔΕΗ/Περιοχή

Αρ. Αίτησης: ΦΒ-
Ημερομηνία:

**Αίτηση για τη σύνδεση φωτοβολταϊκού σταθμού επί κτιρίου ή στεγάστρου
ισχύος ≤ 100 kW στο Δίκτυο ΧΤ**

(για σταθμούς που δεν εντάσσονται στο Ειδικό Πρόγραμμα για κτιριακές εγκαταστάσεις)

Στοιχεία Παραγωγού	
Όνοματεπώνυμο φυσικού προσώπου ή επωνυμία νομικού προσώπου*	
Κατοικία φυσικού προσώπου ή έδρα νομικού προσώπου	
Προσωπικό ΑΦΜ και ΔΟΥ φυσικού προσώπου ή Εταιρικό ΑΦΜ και ΔΟΥ νομικού προσώπου	
Εκπρόσωπος επικοινωνίας με τη ΔΕΗ	
Ταχυδρομική διεύθυνση	
Ηλεκτρονική διεύθυνση (E-mail)	
Τηλέφωνο	
Fax	
Στοιχεία Εγκατάστασης	
Είδος Παραγωγού	<input type="checkbox"/> Αυτοπαραγωγός <input type="checkbox"/> Ανεξάρτητος Παραγωγός
Θέση εγκατάστασης (οδός, αριθμός, Τ.Κ., Δήμος, Νομός ή θέση/τοπωνύμιο, Δήμος, Νομός)	
	<input type="checkbox"/> Δάμα <input type="checkbox"/> Στέγη <input type="checkbox"/> Στεγάστρο
Τρέχουσα χρήση κτιρίου εγκατάστασης (εταιρεία, δραστηριότητα)	
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (kWp)	

* Δεν γίνονται δεκτές αιτήσεις από υπό σύσταση εταιρείες

Στοιχεία αδειούχου εγκαταστάτη (επωνυμία, ειδικότητα, διεύθυνση, τηλέφωνο)	
Στοιχεία Φωτοβολταϊκών Πλαισίων	
Κατασκευαστής, προέλευση	
Τύπος - μοντέλο	
Ονομαστική ισχύς πλαισίου	
Αριθμός πλαισίων	
Πιστοποιήσεις	
Στοιχεία αντιστροφεία (inverter)	
Κατασκευαστής, προέλευση	
Τύπος - Μοντέλο	
Ονομαστική ισχύς εξόδου	
Μέγιστη ισχύς εξόδου	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	
Συντελεστής ισχύος	
Διακείμενη τάση εξόδου (προεπιλεγμένη και δυνατό εύρος ρυθμίσεως)	(προεπιλεγμένη)
	(εύρος ρύθμισης)
Διακείμενη συχνότητα εξόδου (προεπιλεγμένη και δυνατό εύρος ρυθμίσεως)	(προεπιλεγμένη)
	(εύρος ρύθμισης)
Ολική αρμονική παραμόρφωση ρεύματος (THD)	
Έγχυση DC	

Μετασχηματιστής απομόνωσης	Ναι / Όχι
Προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδότησης (Islanding) κατά VDE 0126 ή ισοδύναμης μεθόδου	Ναι / Όχι
Πλήρης περιγραφή τρόπου προστασίας	
Πιστοποιήσεις	
Έγγραφα και στοιχεία που συνοποβάλλονται κατά την αρχική αίτηση	
1. Τεχνικά εγχειρίδια φωτοβολταϊκών στοιχείων	<input type="checkbox"/>
2. Τεχνικά εγχειρίδια και πιστοποιητικά αντιστροφών	<input type="checkbox"/>
3. Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο του σταθμού (υπογεγραμμένο από μελετητή κατάλληλης ειδικότητας)	<input type="checkbox"/>
4. Αντίγραφο πρόσφατου λογαριασμού κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος (μόνο για την περίπτωση αυτοπαραγωγού)	<input type="checkbox"/>
5. Τοπογραφικό σχέδιο της ακριβούς θέσης εγκατάστασης (προκειμένου για κτιριακές εγκαταστάσεις εκτός σχεδίου πόλεως)	<input type="checkbox"/>
6. <u>Μόνο για νομικά πρόσωπα, επικυρωμένο αντίγραφο:</u> του ΦΕΚ στο οποίο δημοσιεύτηκε η σύσταση της εταιρείας (για ΑΕ ή ΕΠΕ) του καταστατικού, όπως καταχωρήθηκε στα βιβλία εταιρειών του Πρωτοδικείου (για ΟΕ ή ΕΕ)	<input type="checkbox"/>
7. Τίτλος κυριότητας ή τίτλος νόμιμης κατοχής του γηπέδου εγκατάστασης (βλ. παράγραφο 10 του εντύπου). Γίνονται δεκτά και προσύμφωνα αγοράς ή μίσθωσης.	<input type="checkbox"/>
8. Κάτοψη του χώρου εγκατάστασης όπου θα αποτυπώνεται η ακριβής θέση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλακών	<input type="checkbox"/>
9. Αντίγραφο οικοδομικής άδειας (για φωτοβολταϊκούς σταθμούς ισχύος άνω των 10 kWp σε κτίρια εκτός σχεδίου περιοχών)	<input type="checkbox"/>
Έγγραφα και στοιχεία που θα πρέπει να προσκομιστούν προ της υπογραφής της Σύμβασης Σύνδεσης	
10. Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του γηπέδου εγκατάστασης, ως ακολούθως: α) <u>για εγκατάσταση του σταθμού σε ιδιόκτητο χώρο από τον κύριο του χώρου αυτού:</u> Τίτλος κυριότητας (αντίγραφο της συμβολαιογραφικής πράξης αγοράς οικοπέδου και του ποτοποιητικού μεταγραφής της στο υποθηκοφυλακείο)	<input type="checkbox"/>

<p>β) για εγκατάσταση του σταθμού σε ιδιόκτητο χώρο από τρίτο, πλην του ιδιοκτήτη:</p> <p>Τίτλος νόμιμης κατοχής (αντίγραφο του σφραγισμένου από τη ΔΟΥ ιδιωτικού συμφωνητικού μακροχρόνιας μίσθωσης). Εναλλακτικά γίνονται δεκτά αντίγραφα της συμβολαιογραφικής πράξης μίσθωσης και του πιστοποιητικού μεταγραφής της στο υποθηκοφυλακείο. <input type="checkbox"/></p>
<p>11. Κατά περίπτωση:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Εγκριση εκτέλεσης εργασιών μακρής ιδιαιδικής (για κτίρια σε παραδοσιακούς οικισμούς και ιστορικά τμήματα πόλεων καθώς και διατηρητέα κτίρια) <input type="checkbox"/> η • Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86 από τον κύριο του φωτοβολταϊκού, καθώς και Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86 από τον υπεύθυνο για την εγκατάσταση μηχανικό (λοιπές περιπτώσεις) <input type="checkbox"/>
<p>Έγγραφα και στοιχεία που θα πρέπει να προσκομιστούν προ της σύνδεσης του σταθμού με το Δίκτυο</p>
<p>12. Αντίγραφο της Σύμβασης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας μεταξύ Παραγωγού και ΔΕΣΜΗΕ <input type="checkbox"/></p>
<p>13. Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη (Υ.Δ.Ε.) για τη συνολική εγκατάσταση, με συννημένο μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης <input type="checkbox"/></p>
<p>14. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο Παραγωγός θα αναφέρει τις ρυθμίσεις των ορίων τάσεως και συχνότητας στην έξοδο του αντιστροφέα τα οποία σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν για την τάση το +15% έως -20% της ονομαστικής τάσης, ενώ για την συχνότητα τα +/- 0,5 Ηz καθώς επίσης και την πρόβλεψη ότι σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων ο αντιστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη αποξέλιξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις: <input type="checkbox"/></p> <ul style="list-style-type: none"> - Θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5 δευτερόλεπτα, - Επαναξέλιξη του αντιστροφέα μετά από τρία λεπτά. <p>Επίσης θα αναφέρει το χρόνο λειτουργίας της προστασίας έναντι νησιδopoτήσης</p>

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Διεθνής Βιβλιογραφία

- 1) Kalogirou A.S., “Solar Energy Engineering, Processes and Systems”, 1st ed., Elsevier, 2009.
- 2) Hulstrom R.L., “Solar resources”, The MIT press, 1989.
- 3) Boyle G., “Renewable Energy”, Oxford University Press, Oxford, 1996.
- 4) Markvart T., “Solar Electricity”, 2nd ed., John Wiley & Sons, 2001.
- 5) Duffie J.A., Beckman W.A. ,“Solar engineering of thermal processes” ,Wiley-Interscience, New York, 1980
- 6) Szokolay S.V., “Solar geometry, Passive and Low energy Architecture”, Department of architecture, The University of Queensland ,Australia, 1996.
- 7) Luis Cartener, Santiago Silvestre, “Modelling Photovoltaic System using PSpice”, Universidad Politecnica de Cataluna, Barcelona, 2002.
- 8) Lorenzo E., “Solar Electricity Engineering of photovoltaic Systems” , Progensa, Spain, 1994.
- 9) European Commission, Directorate –General Energy and Transport Energie Programme, “Integration of Innovative Solar PV-Thermal Systems In the Retrofitting of the NTUA Chemical Engineering Building Complex (INPHOPAS)”, 2000.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- 1a) Πέρδιος Σ., “Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις”, Εκδόσεις TeKΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα, 2007.
- 2a) Πρωτονοτάριος Ν.Ε., Θεολόγου Ε.Μ., “Μαθήματα Ειδικής Ηλεκτροτεχνίας ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1995.
- 3a) Ασημακόπουλος Δ., Αραμπατζής Γ., “Ενεργειακή Ανάλυση Βιομηχανικών Συστημάτων” , Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 2010.

Ιστοσελίδες

- 11) Υ.ΠΕ.ΚΑ. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής:
<http://www.ypeka.gr/>
- 12) ΔΕΣΜΗΕ Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας:
<http://www.desmie.gr/>
- 13) Δ.Ε.Η. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού : <http://www.dei.gr/>
- 14) Ρ.Α.Ε. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας : <http://www.rae.gr/>
- 15) Σελίδες της Wikipedia:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Islanding>
http://en.wikipedia.org/wiki/Verband_der_Elektrotechnik,_Elektronik_und_Informationstechnik
<http://en.wikipedia.org/wiki/Diode>
- 16) Ιστοσελίδα υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης φωτοβολταϊκών συστημάτων:
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>