



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

MELETH DIASUNDEDEMENOU F/B SUSTHMATOS STO DIKTUO C.T



ΕΠΙΒΛΕΨΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ :  
ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΚΩΣΤΑΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ  
ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Αριθμός Πτυχιακής: 1149

ΠΑΤΡΑ 2011

## PERIECOMENA

Πρόλογος.....	3
Εισαγωγή.....	4

### *Kefál aio 1o: Praktikó Vodhgó Vgia ta Fwtobol taiká sustýmata*

1.1 Εξοικείωση με την ορολογία.....	6
1.2 Λειτουργία φωτοβολταϊκών.....	8
1.3 Δομή φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	8
1.4 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	8
1.5 Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκών Συστημάτων.....	10
1.6 Προοπτικές και Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών.....	11
1.7 Πιθανά μειονεκτήματα.....	14
1.8 Απόδοση φωτοβολταϊκών τις μέρες χωρίς ηλιοφάνεια.....	14
1.9 Ενεργειακές ανάγκες που μπορώ να καλύψω με ένα φωτοβολταϊκό... .....	15
1.10 Πρόβλεψη για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών κατά την οικοδόμηση κατοικίας.....	15
1.11 Προϋποθέσεις καταλληλότητας ενός υπάρχοντος κτιρίου για να δεχθεί φωτοβολταϊκά.....	16
1.12 Απόδοση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σχέση με τον προσανατολισμό και την κλίση.....	17

### *Kefál aio 2o: Sumperiforá fwtobol taikón susthmátwn*

2.1 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	18
2.2 Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών πάνελ.....	19
2.3 Ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας.....	21
2.4 Επαφή p-n.....	22
2.5 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	23
2.6 Σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPP).....	24
2.7 Παράγων πλήρωσης φωτοβολταϊκού στοιχείου FF(Fill Factor)..	25
2.8 Εξάρτηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του Φ/Β στοιχείου από την πυκνότητα ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής (H/M) ακτινοβολίας .....	27
2.9 Ενεργειακή απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	28
2.10 Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	28
2.11 Φαινόμενο hot spot, δίοδοι παράκαμψης.....	34

### ***Kefál aio 3o: Apól eieVsta fwtohol taiká sustήmata***

<b>3.1</b> Θερμικές απώλειες (Thermal losses).....	38
<b>3.2</b> Απώλειες ποιότητας πλαισίου (Module quality losses).....	39
<b>3.3</b> Απώλειες ανομοιομορφίας πάνελ (Array mismatch losses).....	40
<b>3.4</b> Απώλειες γωνίας πρόσπτωσης (Incidence Angle Modifier).....	40
<b>3.5</b> Ηλεκτρικές απώλειες.....	41

### ***Kefál aio 4o: AntistrofēaV(Inverter)***

<b>4.1</b> Εισαγωγή.....	42
<b>4.2</b> Αντιστροφέις συνδεδεμένοι στο δίκτυο Grid connected inverter) .....	
<b>4.3</b> Απαιτήσεις προς ικανοποίηση για τους διασυνδεδεμένους αντιστροφέις.....	44

### ***Kefál aio 5o: ScediasmóV fwtohol taikē VegkatástashV10 KWp***

<b>5.1</b> Εισαγωγή.....	48
<b>5.2</b> Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών.....	49
<b>5.2.1</b> Εύρεση βέλτιστης κλίσης.....	49
<b>5.2.2</b> Τεχνικά χαρακτηριστικά των inverter και Περιγραφή των πάνελ που θα μελετήσουμε.....	59 65
<b>5.2.3</b> Δοκιμές πάνελ και inverter.....	67
<b>5.2.4</b> Σύγκριση αποτελεσμάτων.....	88
<b>5.2.4.1</b> Συγκεντρωτικοί πίνακες.....	88
<b>5.2.4.2</b> Εικόνες εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών.....	90
<b>5.3</b> Παρατηρήσεις.....	91
<b>5.4</b> Βιβλιογραφία.....	92

## PROLOGOS

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με τη μελέτη για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στο Εργαστήριο των Υδροδυναμικών Μηχανών του τμήματος Ενεργειακής Τεχνολογίας. Η εργασία αυτή αποτελείται από 3 βασικά μέρη. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζεται ένας πρακτικός οδηγός και γενικές πληροφορίες για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται ο σχεδιασμός της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και η προσομοίωση αυτού. Το τρίτο μέρος αποτελείται από την επεξεργασία των μετρήσεων, παρατηρήσεις και συμπεράσματα. Πιο αναλυτικά:

Το πρώτο κεφάλαιο είναι μια εισαγωγή στην ορολογία των Φ/Β συστημάτων, στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και ουσιαστικά αποτελεί ένα πρακτικό οδηγό για τα Φ/Β συστήματα. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην συμπεριφορά των Φ/Β συστημάτων. Παρατίθενται οι τύποι των Φ/Β κυττάρων, η αρχή λειτουργίας τους όπως επίσης και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται οι απώλειες στα Φ/Β συστήματα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον αντιστροφέα (inverter). Πιο συγκεκριμένα αναλύουμε τον αντιστροφέα συνδεδεμένο στο δίκτυο και τις απαιτήσεις προς ικανοποίηση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται ο σχεδιασμός της Φ/Β εγκατάστασης στην οροφή μιας οικίας, πραγματοποιείται η μελέτη και παρατίθενται τα συμπεράσματα.

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέπων καθηγητή μας Κύριο Σταθάτο Ηλία που δέχτηκε να συνεργαστεί μαζί μας. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την εταιρεία Φ/Β συστημάτων ECODRISIS του Κυρίου Νίκου Βουτενιώτη και πιο συγκεκριμένα τον Αντώνη Μουρτζούκο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του.

## EISAGΩGH

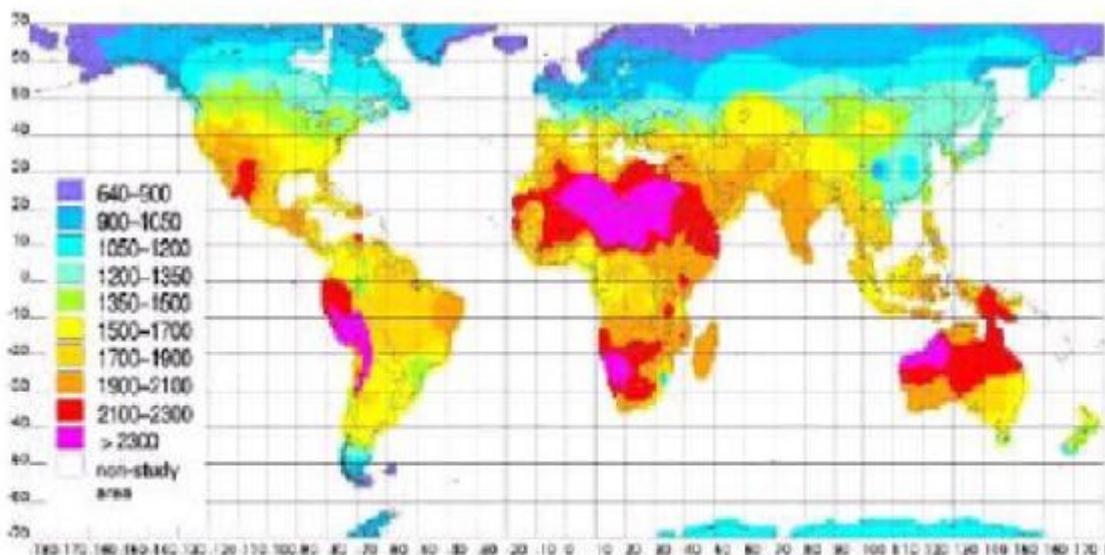
### Stroφή sthn Hliiakή Enérgeia

Στις μέρες μας, η ανάγκη για χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κρίνεται επιτακτική όσο ποτέ άλλοτε. Η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια, ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή υλοποιείται με τη βοήθεια των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

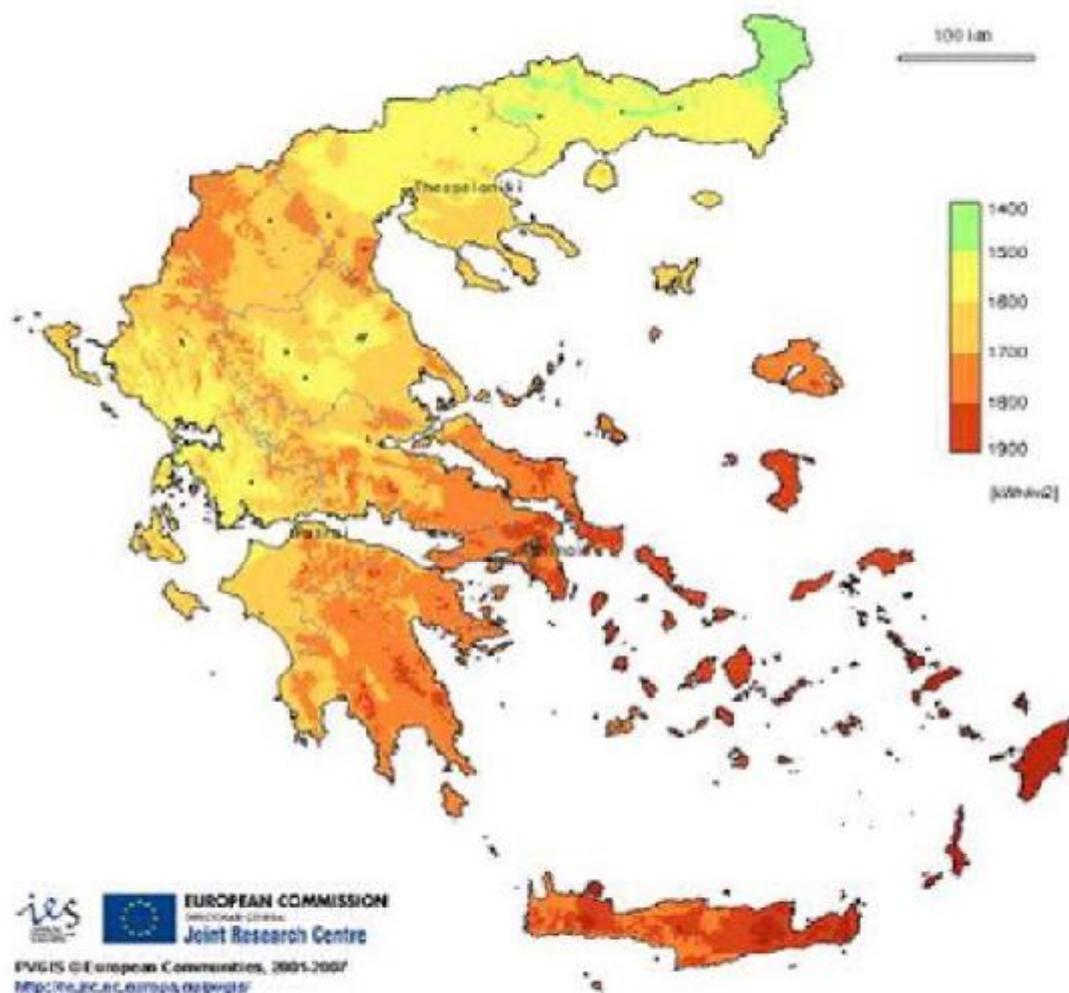
Η στροφή στην Ηλιακή Ενέργεια καλύπτει δύο τουλάχιστον ανάγκες, την ανάγκη σε ενέργεια και την ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο της Δ.Ε.Η και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με τουλάχιστον ένα κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το σημαντικότερο «αέριο του θερμοκηπίου» που συμβάλλει στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Έτσι η στροφή στις καθαρές πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, αποτελούν τη μόνη διέξοδο για αποτροπή των κλιματικών αλλαγών που απειλούν τον πλανήτη.

Επιπρόσθετα η χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων, όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου και οι ενώσεις θείου, που επιφέρουν σοβαρές βλάβες τόσο στην υγεία του ανθρώπου όσο και στο περιβάλλον.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηριζόμενα στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, λαμβάνοντας την ηλιακή ακτινοβολία παράγουν στην έξοδό τους ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή συνεχούς ισχύος. Τα τελευταία χρόνια, στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης και ειδικά σε αυτές που παρουσιάζουν μεγάλη ηλιοφάνεια, τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν βελτιωθεί πολύ και παρατηρείται ραγδαία και συνεχής ανάπτυξη.



*Pagkósmio VcárhVetήsia VhliiakήVenérgeia V*



### *Κάρτη της Σιαβηλιακής Ενέργειας στην Ελλάδα*

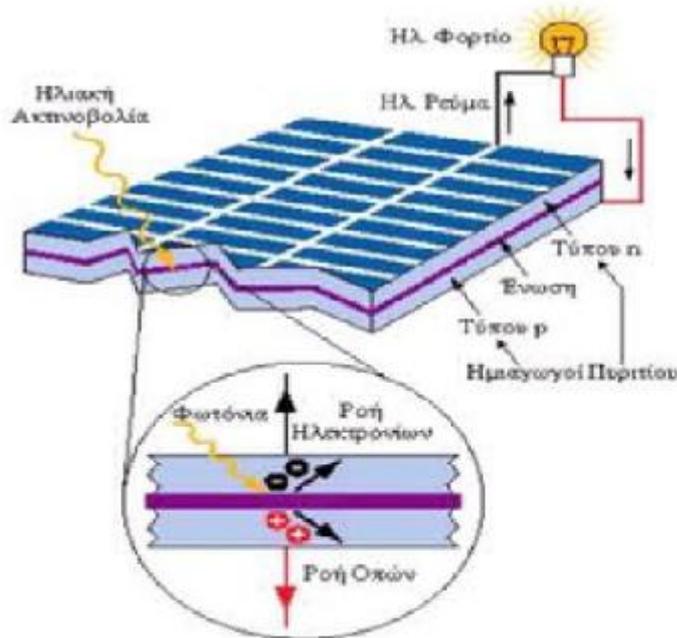
**Πίνακα V:** Συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m<sup>2</sup>) σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας, σε επίπεδα με κλίση 0°, 30°, 45°, 60° και 90° με προσανατολισμό προς το Νότο.

	0°	30°	45°	60°	90°
Αθήνα	1851	1730	1680	1549	1090
Θεσσαλονίκη	1403	1544	1505	1395	1000
Κόρινθος	1526	1666	1617	1490	1050
Πάτρα	1479	1611	1563	1441	1018
Πάρος	1629	1751	1685	1538	1058
Χανιά	1630	1738	1667	1517	1033

## Κεφάλαιο 1ο: Πρακτικό οδηγό για τα Φωτοβολταϊκά συστήματα

### 1.1 Εξοικείωση με την ορολογία

- *Φωτοβολταϊκό φαινόμενο*: ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1939 από τον Ανρί Μπεκερέλ και πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές θέσεις τους με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρεύματος.



Σχήμα 1.1: Παραγωγή ρεύματος σε Φ/Β σύστημα

- *Φωτοβολταϊκό στοιχείο (PV cell)*: ονομάζεται η διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα Φ/Β κύτταρο ή Φ/Β κυψέλη.



Σχήμα 1.2: Ηλιακά κύτταρα

- *Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module)*: ονομάζεται ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της Φ/Β γεννήτριας.



Σχήμα 1.3: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

- *Fwtobol taikó pánel (PV panel)*: ένα ή περισσότερα Φ/β πλαίσια που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε Φ/Β εγκατάσταση.
- *Fwtobol taikí sustoicía (PV array)*: ονομάζεται μια ομάδα από Φ/β πλαίσια ή πάνελ με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.



Σχήμα 1.4: Φωτοβολταϊκή συστοιχία

- *Fwtobol taikí gennήtria (PV generator)*: ονομάζεται το τμήμα μιας Φ/Β εγκατάστασης που περιέχει Φ/β στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα.
- *AntistrofēaV (inverter)*: ονομάζεται η ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.
- *RuqmistήV fórtishV (charge controller)*: ονομάζεται η συσκευή που χρησιμοποιείται σε αυτόνομα συστήματα για να ρυθμίζει τη φόρτιση των συσσωρευτών.
- *Kil obát*: μονάδα μέτρησης ισχύος [1 KW = 1000 Watt, 1 MW = 1000 KW]
- *KWp (kil obát peak)*: μονάδα ονομαστικής ισχύος του Φ/β και είναι ίδιο με το KW
- *KWh*: μονάδα μέτρησης ενέργειας.

## 1.2 Leitourgía fwtohol taikón

Το ηλιακό φως είναι μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Για παράδειγμα το γαλάζιο χρώμα ή υπεριώδες έχει περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή υπέρυθρο. Έτσι όταν τα φωτόνια προσκρούσουν σ' ένα Φ/Β στοιχείο, άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφούνται από αυτό. Τα φωτόνια τα οποία απορροφώνται από το Φ/Β είναι και αυτά που παράγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του Φ/Β να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός είναι η κίνηση των ηλεκτρονίων. Σ' αυτήν την απλή αρχή της φυσικής βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

## 1.3 Domή fwtohol taikón susthmátwn

Το Φ/Β σύστημα αποτελείται από έναν αριθμό μερών ή υποσυστημάτων:

1. Τη Φ/Β γεννήτρια με τη μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
2. Μπαταρίες (υποσύστημα αποθήκευσης).
3. Καθορισμό ισχύος και συσκευή ελέγχου που περιλαμβάνει φροντίδα για μέτρηση και παρατήρηση.
4. Εφεδρική γεννήτρια.

Η επιλογή του πώς και ποια από αυτά τα στοιχεία ολοκληρώνονται μέσα στο σύστημα εξαρτάται από ποικίλες εκτιμήσεις.

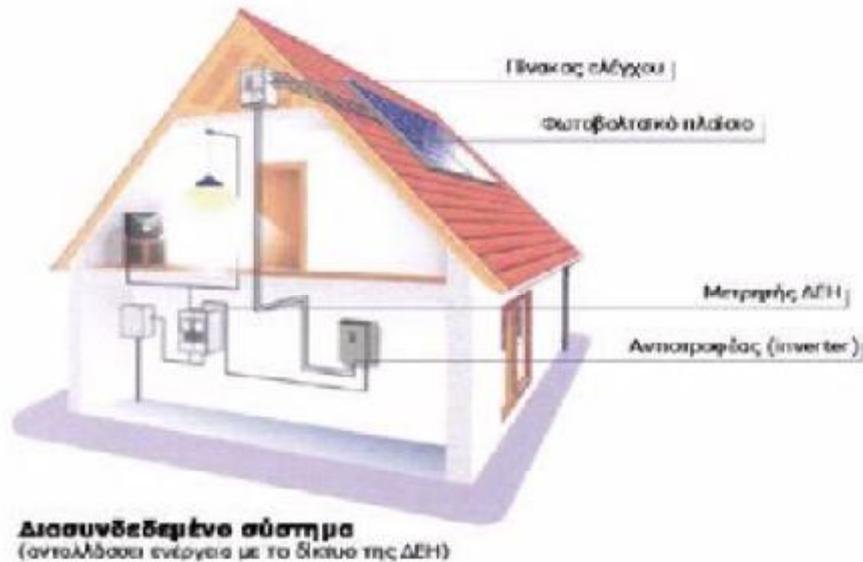
## 1.4 Basikoí týpoi fwtohol taikón susthmátwn

Υπάρχουν οι τρεις βασικοί τύποι Φ/Β συστημάτων: τα διασυνδεδεμένα, τα αυτόνομα και τα υβριδικά Φ/Β συστήματα.

### □ *Diasundedenéna F/B sustήmata*

Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο Φ/Β συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα Φ/Β, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ' όσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα Φ/Β δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια. Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής

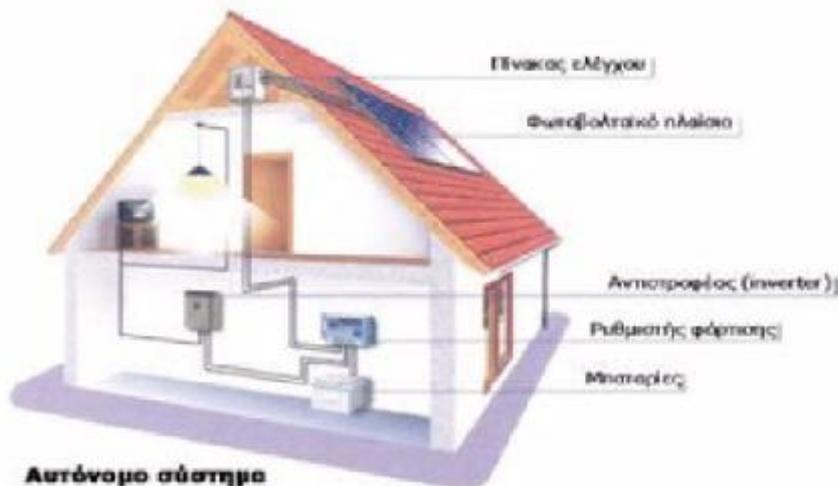
ενέργειας. Ο ένας μετράει την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Επίσης στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης.



Σχήμα 1.5: Διασυνδεδεμένο σύστημα

#### □ *Autónoma F/B συστήματα*

Σήμερα υπάρχει πληθώρα μικρών Φ/Β συστημάτων σε κεραίες τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη, ξενοδοχεία, αεροδρόμια, ελικοδρόμια και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα. Βέβαια υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, ενώ σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος θα πρέπει να ένας αντιστροφέας στο σύστημα ο οποίος θα μετατρέπει τη συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση. Όταν τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ΑΠΕ ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. ανεμογεννήτρια) τότε χαρακτηρίζονται υβριδικά.



Σχήμα 1.6: Αυτόνομο σύστημα

#### □ *Ubridiká F/B sustήmata*

Πρόκειται για αυτόνομα συστήματα που αποτελούνται από τη Φ/Β συστοιχία σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας όπως μια γεννήτρια πετρελαίου ή άλλη μορφή ΑΠΕ.

### 1.5 Carakthristiká Fwtobol taikón Susthmátwn

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συστημάτων που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ. σε επίπεδο μερικών δεκάδων W ή και Mw. □
  - Είναι εύχρηστα. Τα μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
  - Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις, ενσωματωμένα σε κτίρια και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον.
  - Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας όπως τα υβριδικά συστήματα.
  - Είναι βαθμωτά συστήματα, δηλαδή μπορούν να επεκταθούν σε μεταγενέστερη φάση για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών, χωρίς μετατροπή του αρχικού συστήματος.
  - Λειτουργούν αθόρυβα και εκπέμπουν μηδενικούς ρύπους χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον.
  - Οι απαιτήσεις συντήρησής τους είναι σχεδόν μηδενικές.
  - Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους κατασκευαστές για τις Φ/Β γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια καλής λειτουργίας. □
- Ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη. Το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β συστήματα είναι σήμερα

συγκρίσιμο με το κόστος αιχμής ισχύος που χρεώνει η εταιρεία ηλεκτρισμού στους πελάτες της.

- Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη λεγόμενη «Διάσπαρτη Παραγωγή Ενέργειας» (Distributed Power Generation), η οποία αποτελεί το νέο μοντέλο ανάπτυξης σύγχρονων ενεργειακών συστημάτων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαφοροποίηση στην παραγωγή ενέργειας που προσφέρεται από Φ/Β συστήματα, σε συνδυασμό με την κατά μεγάλο ποσοστό απεξάρτηση από το πετρέλαιο και την αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης του περιβάλλοντος, μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες οικονομικής ανάπτυξης σε ένα νέο ενεργειακό τοπίο που αυτή τη στιγμή διαμορφώνεται στις αναπτυσσόμενες χώρες.

## 1.6 Προοπτικές και Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών

Όταν τα Φ/Β εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά Φ/Β, τα πολυκρυσταλλικά και τα άμορφα. Τα τελευταία έχουν χαμηλότερη απόδοση, είναι όμως σημαντικά φθηνότερα. Η επιλογή του είδους των Φ/Β είναι συναρτημένη των αναγκών μας, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής μας ευχέρειας. Όλα τα Φ/Β έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Μηδενική ρύπανση.
- Αθόρυβη λειτουργία.
- Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, που φθάνει τα 30 χρόνια.
- Απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές.
- Δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες. □

Ελάχιστη συντήρηση.

Τα Φ/Β συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία.

Οφέλη για τον καταναλωτή, για τις αγορές ενέργειας και για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Τα Φ/Β είναι μια από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από μικρές αποκεντρωτικές εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής (όπως τα Φ/Β,

τα μικρά συστήματα συμπαρογωγής, οι μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου) αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητά τους προς το περιβάλλον.

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί έναν ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει *anexarthsía, probl eyimóthta kai asfál eia sthn energeiakí trofodosía*.

Τα Φ/Β είναι *leitourgiká* καθώς προσφέρουν επεκτασιμότητα της *iscóoV touV* και *dunatóthta apoqhkeushV thV paragómenhV enérgeiaV* (είτε στο δίκτυο είτε σε συσσωρευτές) αναιρώντας έτσι το μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας. Δίνοντας τον *apól uto él egco* στον καταναλωτή και *ámesh prósbash sta stoiceía pou aforoún thn paragómenh kai katanal iskómenh enérgeia*, τον καθιστούν πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και *sumbál loun sthn orqol ogikí crhsh kai exoikonómhsh thV enérgeiaV*. Για παράδειγμα η εμπειρία της Δανίας, έδειξε μείωση της συνολικής καταπόνησης ηλεκτρισμού από χρήστες Φ/Β της τάξης του 5-10%.

Για τις επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, υπάρχουν ευδιάκριτα τεχνικά και εμπορικά πλεονεκτήματα από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων Φ/Β, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο περισσότερα συστήματα παραγωγής ενέργειας εγκατασταθούν και συνδεθούν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης, τόσο περισσότερα είναι τα οφέλη για τις επιχειρήσεις,

όπως για παράδειγμα *h bel tíwsh thV poióthtaV thV hl ektrikíV iscóoV, h staqeróthta thV hl ektrikíV táshV kai h meíwsh twn endúsewn gia néeV gramméV metaforáV*.

Η βαθμιαία αύξηση μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας τέτοιας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό αν λάβουμε υπ όψιν μας ότι πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί « πράσινης » ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δοπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα κατά μέσο όρο ανέρχονται στο 12%). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με

τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου και στη μείωση του συνολικού κόστους ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Τα Φ/Β εκτός από καθαρή ενέργεια, παρέχουν ακόμα *prosel kush pel atón kai axiopistía se éna apel euqerwmpéno peribállon*. Σε ένα υψηλά ανταγωνιστικό περιβάλλον, οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού χρειάζονται κίνητρα ούτως ώστε να προσελκύσουν και να διατηρήσουν τους πελάτες τους. Τα προγράμματα καθαρής ενέργειας μπορούν να είναι ελκυστικά σε αρκετά μεγάλο αριθμό καταναλωτών που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές. Σήμερα οι καταναλωτές στις απελευθερωμένες ενεργειακές αγορές δεν αγοράζουν απλά τη φθηνότερη ηλεκτρική ενέργεια, καθώς υπάρχει πλέον θέμα τόσο ποιότητας όσο και υπηρεσιών. Όσο αφορά στην ποιότητα ηλεκτρισμού, τα θέματα είναι ξεκάθαρα: η ενέργεια που χρησιμοποιώ προέρχεται από θερμοηλεκτρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα και καταστρέφει το περιβάλλον, ενώ μπορεί να προέλθει από μονάδα που δεν ρυπαίνει το περιβάλλον; Ποια ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να αγοράσω; Μπορώ τουλάχιστον να αγοράσω μικρές ποσότητες καθαρής ενέργειας για να ενθαρρύνω τις ΑΠΕ; Αυτά αποτελούν θέματα που απασχολούν οπωσδήποτε τις «έξυπνες» επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας. Η επιχείρηση που αποδέχεται τα Φ/Β συστήματα θα προσελκύσουν πελάτες - παραγωγούς που θα χρησιμοποιούν Φ/Β και θα πωλούν στη συνέχεια σε αυτή καθαρή ενέργεια. Σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς, τέτοιοι πελάτες - παραγωγοί μπορούν να βρίσκονται οπουδήποτε.

Τα Φ/Β μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως *domiká ul iká* παρέχοντας τη δυνατότητα για *kainotómouV arcitektonikouV scediasmouV*, καθώς διατίθενται σε *poikilía crwnátwn, megeqón, schmátwn* και μπορούν να παρέχουν *euel ixía kai pl astikóthta* στη φόρμα, ενώ δίνουν και *dunatóthta diaforikéV peratóthtaV tou fwtóV aná l oga me tíV anágkeV tou scediasmou*. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους κατασκευής (ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια).

Τέλος τα Φ/Β *parécoun kúroV sto crísth touV* και βελτιώνουν το *image* των επιχειρήσεων που τα επιλέγουν. Στις πιο αναπτυγμένες αγορές (όπως η Ιαπωνική και η Γερμανική) τα Φ/Β είναι πλέον *trendy* και *must* για κάθε νέα κτιριακή εφαρμογή.

## 1.7 Ριζανά μειονεκτήματα

Το σχετικά υψηλό κόστος αγοράς και η έλλειψη επιδοτήσεων στον οικιακό καταναλωτή, αποτελούν δύο σημαντικά μειονεκτήματα των Φ/Β. Τα Φ/Β, όπως άλλωστε και όλες οι ΑΠΕ, έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης και ασήμαντο λειτουργικό κόστος, αντίθετα με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες που συνήθως έχουν σχετικά μικρότερο αρχικό επενδυτικό κόστος και υψηλά λειτουργικά κόστη. Παρόλα αυτά, ήδη το κλίμα φαίνεται να αλλάζει. Πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των Φ/Β, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας.

## 1.8 Απόδοση φωτός από τον ήλιο με Φ/Β

Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τον ήλιο με Φ/Β, χρειάζεται το φως της ηλιακής ακτινοβολίας, όχι τη θερμότητά της. Ακόμη και μια συννεφιασμένη χειμωνιάτικη ημέρα θα υπάρξει άφθονο διάχυτο φως και τα Φ/Β θα συνεχίσουν να παράγουν ηλεκτρισμό, έστω και με μειωμένη απόδοση (π.χ. ακόμη και με απόλυτη συννεφιά το Φ/Β θα παράγει ένα 5-20% της μέγιστης ισχύος του). Ανάλογα με την ισχύ του συστήματος και τις ανάγκες του χρήστη, η μειωμένη αυτή παραγωγή μπορεί να μην επαρκεί. Στις περιπτώσεις αυτές, αν η εγκατάσταση είναι συνδεδεμένη με τη ΔΕΗ, η κατανάλωση ρεύματος θα γίνεται από το δίκτυο.

Μια πλήρως αυτόνομη λύση με καλή σχέση κόστους - απόδοσης είναι π.χ. ένας συνδυασμός Φ/Β στοιχείων και μιας μικρής ανεμογεννήτριας, δηλαδή ένα υβριδικό σύστημα. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από τον ήλιο και τον άνεμο αλληλοσυμπληρώνονται μέσα από το σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης της ενέργειας. Η Ελλάδα πάντως είναι ιδιαίτερα ευνοημένη από τον ήλιο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αν σκεφθεί κανείς ότι πολλά από τα συστήματα για τα οποία μιλάμε έχουν αναπτυχθεί και αποδίδουν στη Βόρεια Ευρώπη, γίνεται κατανοητό ότι οι συνθήκες ηλιοφάνειας στη χώρα μας προσφέρονται για τη συμφέρουσα παραγωγή ενέργειας. Σε γενικές γραμμές, ένα Φ/Β σύστημα στην Ελλάδα παράγει ετησίως περί 1.000 - 1.600 KWh ανά εγκατεστημένο KW. Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας, ένα Φ/Β παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ό,τι στις βόρειες. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως ένα Φ/Β σύστημα στην Αθήνα αποδίδει 1.300 - 1.400 KWh/έτος/KW, στη Θεσσαλονίκη 1.150 - 1.250 KWh/έτος/KW και στην Κρήτη ή στη Ρόδο 1.350 - 1.500 KWh/έτος/KW.

## 1.9 EnergeiakéV anágkeV pouoporó na kalúyw me éna fwtohol taikó

Φωτισμός, τηλεπικοινωνίες, ψύξη, ηχητική κάλυψη... οποιαδήποτε ουσιαστικά ενεργειακή ανάγκη μπορεί να καλυφθεί από ένα κατάλληλα σχεδιασμένο Φ/Β σύστημα.

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να ξέρει κανείς για τα Φ/Β είναι ότι παράγουν συνεχές ρεύμα. Αυτό σημαίνει είτε ότι τα χρησιμοποιούμε με συσκευές συνεχούς ρεύματος είτε μετατρέπουμε αυτό το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο 230 V (δηλαδή σε ρεύμα ίδιο με της ΔΕΗ) με τη βοήθεια κάποιων ηλεκτρονικών συσκευών. Για λόγους απόδοσης και οικονομίας πάντως, *den sunístastai!!!*

Ας πάρουμε για παράδειγμα τη θέρμανση νερού: αν χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρικό θερμοσίφωνα που τροφοδοτείται από ένα Φ/Β σύστημα, το ηλιακό φώς μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και κατόπιν από το θερμοσίφωνα σε θερμότητα. Το συνολικό κόστος των δύο αυτών συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερο από έναν ηλιακό θερμοσίφωνα που μετατρέπει απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.

Από την άλλη μεριά, *o fwτισμόV me lámpesV exoikonómhshV kai h crήsh hl ektronikón suskeuón (upol ogistéV, hchtiká sustήmata, yugeía, thl eorάseiV, thl epikoinwniéV/kl p) apotel oón anágkeV pouoporóon na kal ufqoón eókol a kai oikonomiká me F/B.*

## 1.10 Próbl eyh gia egkatástash fwtohol taikón katá thn oikodómhsh katoikiaV

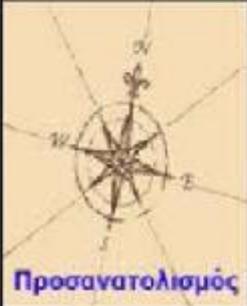
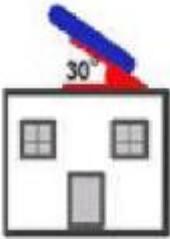
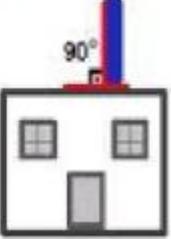
Όσο νωρίτερα γίνει η πρόβλεψη για εγκατάσταση Φ/Β, τόσο το καλύτερο. Καλό είναι το Φ/Β σύστημα που θα εγκατασταθεί να έχει ενταχθεί από την αρχή στο σχεδιασμό του σπιτιού. Μια συνολική μελέτη που να καλύπτει την εξοικονόμηση ενέργειας (μόναση, παράθυρα, σκίαση κλπ), τη θέρμανση και τον κλιματισμό και τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό (με Φ/Β), θα βοηθήσουν ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα με το μικρότερο κόστος. Η θέση των Φ/Β έχει μεγάλη σημασία για την απόδοσή τους. Αν κτίζετε τώρα την κατοικία σας μπορείτε να διαμορφώσετε τη στέγη σας κατάλληλα ώστε να υποδεχτεί τα Φ/Β πλαίσια. Θα γλιτώσετε έτσι χώρο από τον κήπο ή την αυλή, καθώς και μέρος των εξόδων στήριξης των πλαισίων, βελτιστοποιώντας παράλληλα τη θέση των πλαισίων για αν αξιοποιούν στο μέγιστο την ηλιοφάνεια.

## 1.11 Προϋποθέσεις katal I hl óthtaV enóV upárcontov ktiríou gia na decqei fwto bol taiká

Τα περισσότερα κτίρια είναι κατάλληλα για εγκατάσταση Φ/Β, αρκεί να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις :

1. Na upárcei eparkήV el éqeroV kai askíastoV córoV. Ως ένα πρόχειρο κανόνα υπολογίστε πως χρειάζεστε περίπου 0.8 m<sup>2</sup> για κάθε 100 W (αν χρησιμοποιηθούν τα συνηθισμένα κρυσταλλικά Φ/Β του εμπορίου). Αν πάλι τοποθετηθούν άμορφα Φ/Β, το συνολικό κόστος θα είναι περίπου το ίδιο ή και μικρότερο, θα απαιτηθεί όμως 2 - 2.5 φορές μεγαλύτερη επιφάνεια. Προσέξτε ιδιαίτερα ο χώρος να είναι κατά το δυνατόν 100% ασκίαστος καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Διαφορετικά, το σύστημα θα λειτουργεί με μικρότερη απόδοση.
2. Ta F/B écoun th mégisth apódosh ótan écoun nótio prosanatol ism. Αποκλίσεις από το νότο ως και 45ο είναι επιτρεπτές, μειώνουν όμως την απόδοση.
3. H swstή klísh tou F/B se scésh me to orizóntio epípedo. Σχεδόν πάντα επιλέγεται μια κλίση που να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι η βέλτιστη κλίση είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου. Επειδή βέβαια κάθε κανόνας έχει τις εξαιρέσεις του, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των υγρών 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. Τη βέλτιστη κλίση θα την αποφασίσει ο τεχνικός που θα κάνει την εγκατάσταση.
4. Πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι έχουμε τον katál I hl o córo gia ta hl ektroniká sustήmata kai tiV mpataríeV (αν επιλέξουμε το αυτόνομο σύστημα).
5. Λαμβάνουμε υπ' όψιν ότι μαζί με τις βάσεις, éna plήreV F/B sústhma zugízei περίπου 15-20 kg ανά m<sup>2</sup>. αυτό σχεδόν πάντα δεν συνιστά πρόβλημα, αλλά καλό είναι να επισημαίνεται.

## 1.12 Απόδοση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σχέση με τον προσανατολισμό και την κλίση

 Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	 30°	 0°	 90°
Ανατολικός - Δυτικός	85% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	50% kWh <sub>(max)</sub>
Νότιοανατολικός - Δυτικός	95% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	60% kWh <sub>(max)</sub>
Νότιος	kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	60% kWh <sub>(max)</sub>
Βόρειοανατολικός - Δυτικός	95% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	30% kWh <sub>(max)</sub>
Βόρειος	60% kWh <sub>(max)</sub>	90% kWh <sub>(max)</sub>	20% kWh <sub>(max)</sub>

## Κεφάλαιο 2ο: Συμπεριφορά φωτοβολταϊκών συστημάτων.

### 2.1 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

Υπάρχουν διάφορα είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων τα οποία παρουσιάζουν και διαφορετική συμπεριφορά. Η διαφορετικότητα των στοιχείων εστιάζεται στο είδος του ημιαγωγού (πυριτίου) και η διαφορετικότητα της συμπεριφοράς τους αναφέρεται στις συνθήκες λειτουργίας.

- *Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου pl aisia (στοιχεία)*  
Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά Φ/Β με αποδόσεις της τάξεως του 15%. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής.
- *Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου pl aisia (στοιχεία)*  
Τα πολυκρυσταλλικά Φ/Β κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλωμένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του Φ/Β. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών Φ/Β με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής. Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές μικρότερη απόδοση της τάξεως του 12%.
- *Αμόρφου Πυριτίου pl aisia (στοιχεία)*  
Τα Φ/Β αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόβαθρο. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η Φ/Β απόδοσή του είναι μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 6%. Το φθηνό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.
- *Στοιχεία ταινία*  
Στα Φ/Β αυτής της κατηγορίας έχουμε δημιουργία λεπτής ταινίας από τηγμένο υλικό. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο με απόδοση

περίπου 13%. Η μέθοδος αυτή είναι υψηλού κόστους και προς το παρόν περιορισμένης βιομηχανικής παραγωγής.

#### □ *Alla είδη*

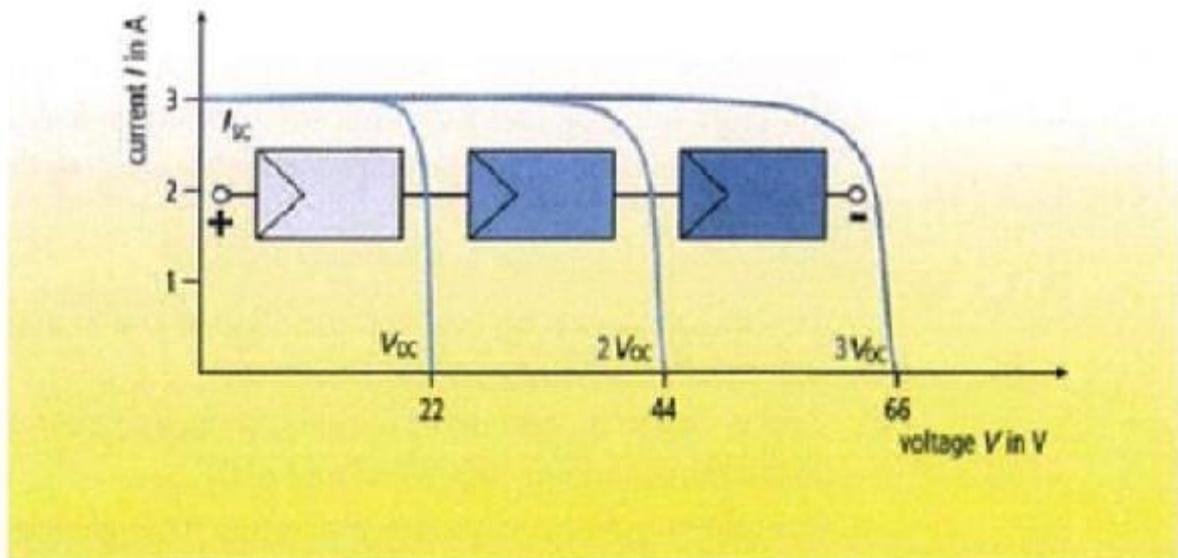
Μια σειρά από νέα υλικά που μπορούν να παραχθούν με φθηνότερες διαδικασίες από το κρυσταλλικό όπως το CdTe και το CIS έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε Φ/Β συστήματα.

## 2.2 Τρόποι σύνδεσης των Φ/Β πάνελ

Υπάρχουν τρεις τρόποι σύνδεσης των Φ/Β πάνελ, σε σειρά, παράλληλα και μικτή.

#### □ *Σύνδεση σε σειρά*

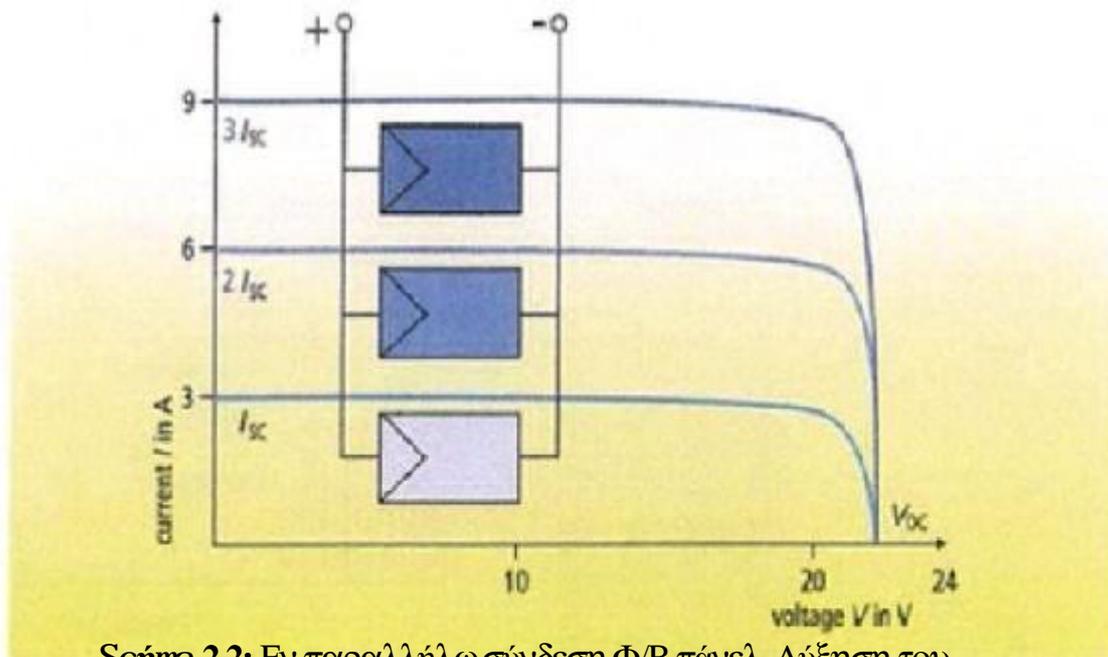
Η σύνδεση σε σειρά χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που καλούμε να επιτύχουμε τάση μεγαλύτερη από την τάση που παρέχει κάθε Φ/Β πάνελ χωριστά. Τα Φ/Β πάνελ που θα συνδεθούν σε σειρά πρέπει να έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκυκλώματος ( $I_{sc}$ ) και το ίδιο ρεύμα μέγιστης ισχύος.



Σχήμα 2.1: Σε σειρά σύνδεση Φ/Β πάνελ. Αύξηση της συνολικής τάσης.

### □ *Sóndesh en paral íhl w*

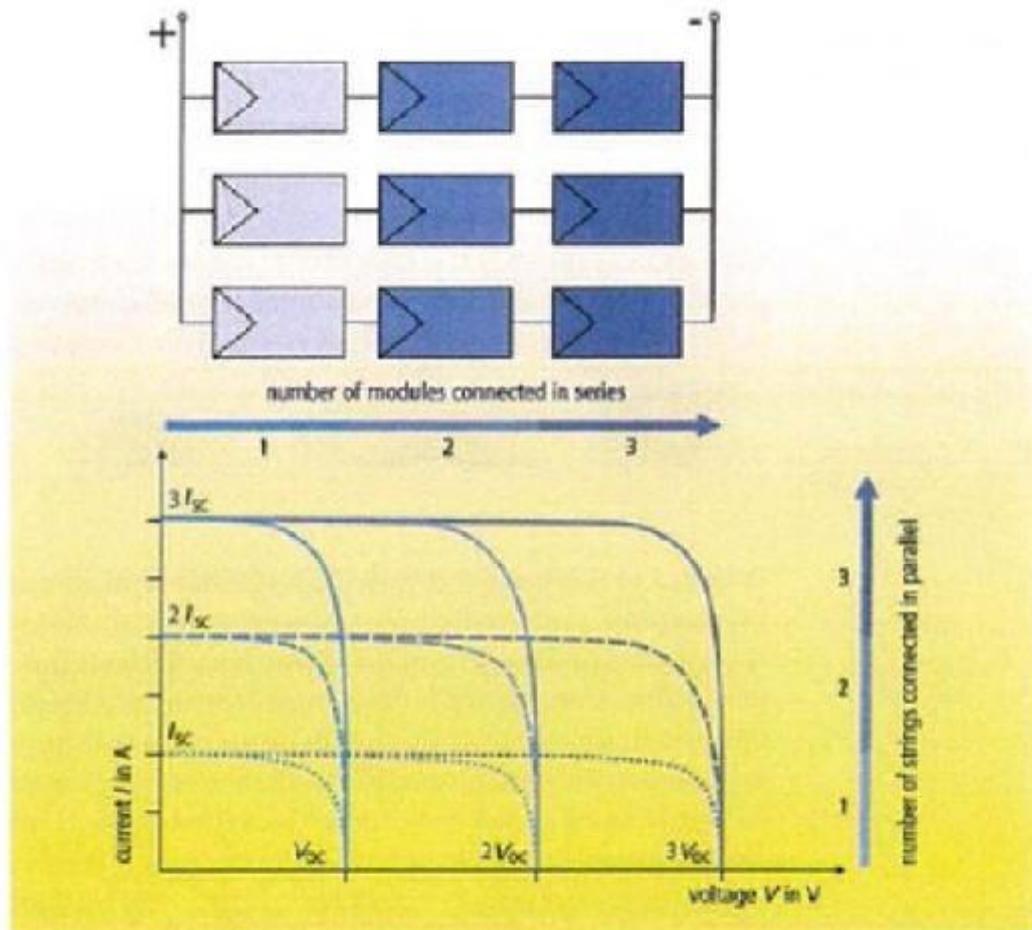
Η παράλληλη σύνδεση χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που καλούμε να επιτύχουμε ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα που παρέχει κάθε Φ/Β πάνελ χωριστά. Τα Φ/Β πάνελ που θα συνδεθούν παράλληλα πρέπει να έχουν την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος (UL).



Σχήμα 2.2: Εν παραλλήλω σύνδεση Φ/Β πάνελ. Αύξηση του συνολικού ρεύματος.

### □ *Miktή sóndesh*

Με τη μικτή σύνδεση πετυχαίνουμε να αυξήσουμε το ρεύμα και της τάσης ταυτόχρονα, σε τιμές που δεν είναι διαθέσιμες από απλά Φ/Β πάνελ. Από τεχνικής απόψεως η μικτή σύνδεση είναι συνδυασμός της σύνδεσης σε σειρά και της παράλληλης σύνδεσης και κατά συνέπεια ισχύει ότι ισχύει σε αυτές τις συνδέσεις. Η τάση της συστοιχίας αυτής καθορίζεται από τα στοιχεία που είναι συνδεδεμένα σε σειρά ενώ το συνολικό ρεύμα από τις παράλληλες ομάδες.



Σχήμα 2.3: Μικτή σύνδεση Φ/Β πάνελ. Αύξηση του συνολικού ρεύματος και συνολικής τάσης.

### 2.3 Ονομαστική συνθήκη λειτουργίας

Η ισχύς των Φ/Β πλαισίων όπως επίσης και ο βαθμός απόδοσης, δίνεται σαν μέγιστη ισχύς από τους κατασκευαστές σε κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες οι οποίες ονομάζονται «*τυποποιημένη συνθήκη έλεγχου*» (standard testing conditions, STC).

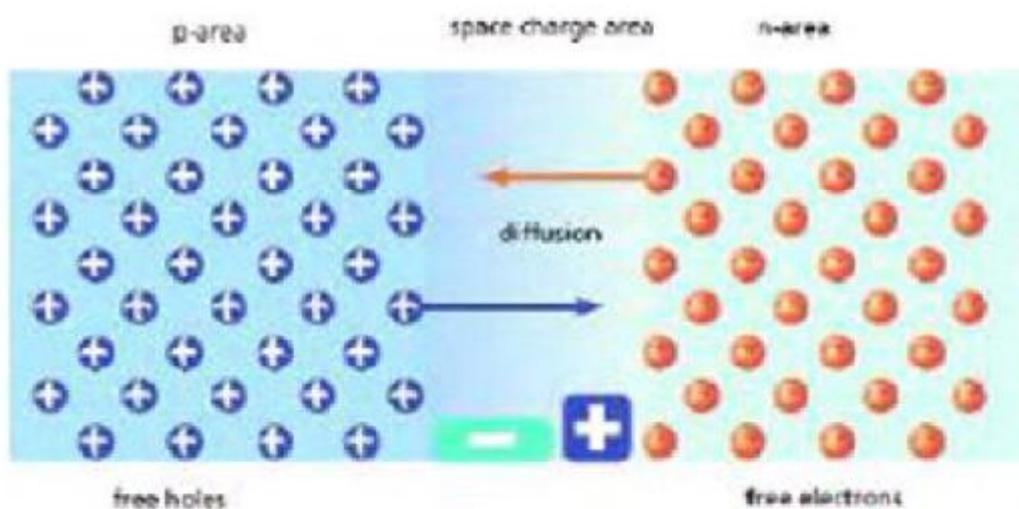
Οι προκαθορισμένες αυτές συνθήκες είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία κυψέλης:  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του πλαισίου:  $1000\text{ W/m}^2$ .
- Μάζα αέρα (air mass) : 1.5. Αυτή αντιστοιχεί σε φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας όταν ο ήλιος είναι  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  πάνω από τον ορίζοντα. Όταν ο ήλιος είναι στο μέγιστο σημείο του τότε έχουμε AM:1.

Τυχόν αποκλίσεις της θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας και της μάζας αέρα από τις τυποποιημένες τιμές τους, θα έχουν επίδραση στη συμπεριφορά του πλαισίου

## 24 Επαφή p-n

Κάθε κρυσταλλικός ημιαγωγός για να έχει ικανοποιητικές ιδιότητες για Φ/Β, θα πρέπει να είναι μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό τους πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής. Τα άτομα των ημιαγωγικών υλικών, συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς οι οποίοι είναι δυνατόν να σπάσουν από την επίδραση της ακτινοβολίας ή θερμότητας, οπότε απελευθερώνονται ηλεκτρόνια (αρνητικοί φορείς  $n$ ) και αφήνουν κενές θέσεις, τις οπές (θετικοί φορείς  $p$ ). Οι σημαντικότερες ιδιότητες και εφαρμογές των διατάξεων ημιαγωγών, δεν προέρχονται κυρίως από τη δημιουργία φορέων αλλά οφείλονται περισσότερο στη διάχυση των φορέων τους. Βασική διάταξη για την εκδήλωση των ιδιοτήτων αυτών, είναι η ένωση p-n (positive-negative) που μπορούμε να θεωρήσουμε ότι σχηματίζεται όταν έλθουν σε στενή επαφή ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου p με ένα τεμάχιο τύπου n. Τότε, ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n όπου οι οπές είναι λιγότερες και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου n διαχέεται ένα προς το τεμάχιο τύπου p, όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι επίσης πολύ λιγότερα.



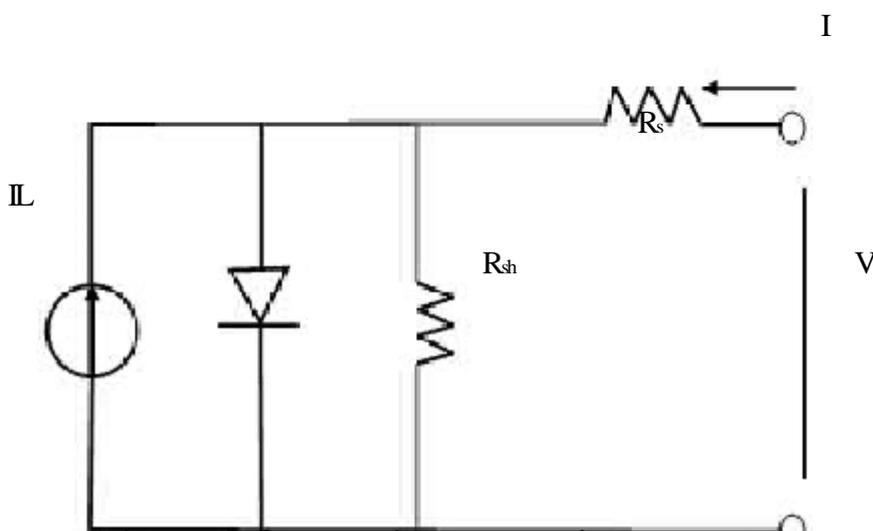
Σχήμα 2.4: Επαφή p-n.

Δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο μια περιοχή στην οποία υπάρχουν λίγοι φορείς αγωγιμότητας, γνωστή ως ζώνη εξάντλησης φορέων ή περιοχή αραίωσης. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα ωστόσο παραμένουν στη περιοχή n και τα αρνητικά στην περιοχή p. Έτσι, δημιουργείται ένα

εσωτερικό ηλεκτροστατικό πεδίο, το οποίο αντισταθεί στην κίνηση των φορέων αγωγιμότητας, με αποτέλεσμα η παραπάνω διάχυση να μην συνεχίζεται επ' άπειρον. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που ικανοποιούν το νόμο δράσης των μαζών. Η διάταξη ημιογωγών που αποτελείται από μια ένωση p-n και από μια ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της ονομάζεται diode.

## 2.5 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου.

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου, περιλαμβάνει μια πηγή σταθερού ρεύματος  $I_L$  σε συνδυασμό με μια ιδανική δίοδο. Στη συνέχεια τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα του Φ/Β στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει αφενός την αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του Φ/Β στοιχείου και η οποία είναι παράλληλα συνδεδεμένη στα άκρα της διόδου, και αφετέρου την αντίσταση απωλειών στο δρόμο της ροής του ρεύματος της διόδου, που αντιπροσωπεύεται από αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με τη δίοδο.



Σχήμα 2.5: Πλήρες ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου με εσωτερική αντίσταση διαρροής της επαφής την  $R_{sh}$  και εσωτερική αντίσταση σε σειρά  $R_s$ .

### i. *Παράλληλα συνδεδεμένη αντίσταση διαρροής $R_{sh}$*

Η αντίσταση αυτή συνδέεται με τη διαρροή του ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής p-n και αφορά διαδρομές ρεύματος διαρροής στο εσωτερικό της επαφής p-n, μεταξύ των σημείων που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού ίση με την τάση στα άκρα της διόδου. Πιο αναλυτικά οι διαδρομές αυτές αφορούν ρεύματα:

- Διαμέσου του σώματος διάταξης επαφής.
- Δια των εξωτερικών επιφανειών της επαφής, παράλληλα προς το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής.
- Διαμέσου ηλεκτρικής διάβασης που δημιουργούν οι προσμίξεις της επαφής.

Η τιμή της αντίστασης σε πολύ καλής απόδοσης Φ/Β στοιχεία είναι μεγαλύτερη των 103 Ω.

## ii. *Seiriakή antístash Rs*

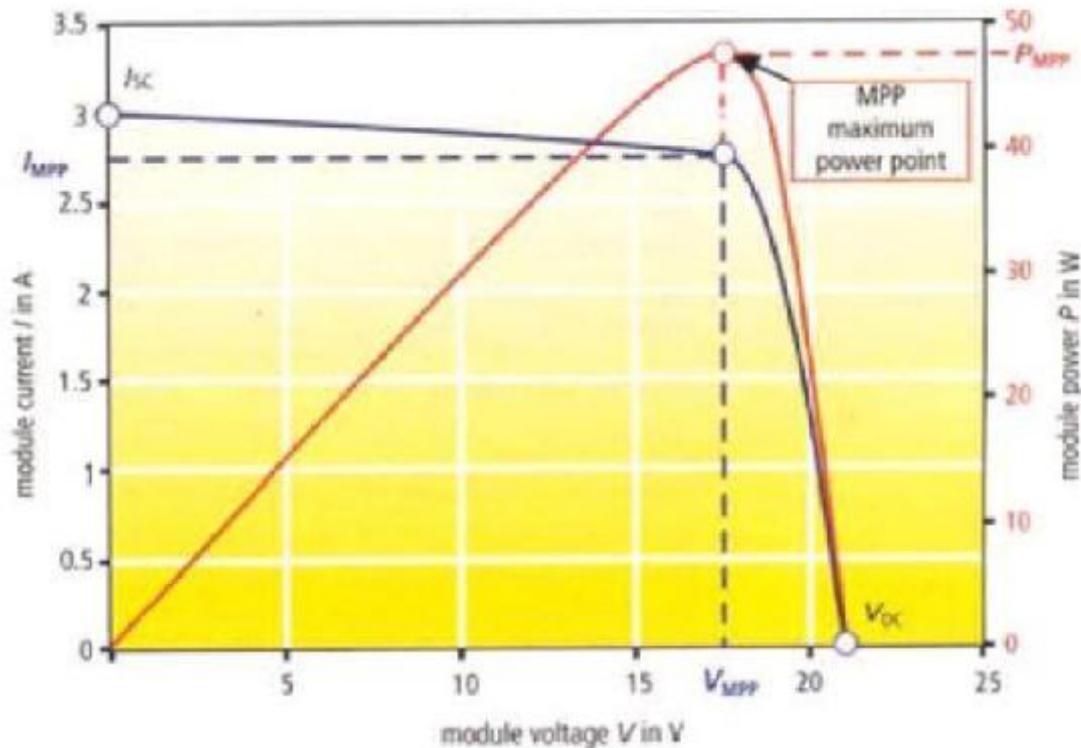
Η σειριακή αντίσταση αφορά στην αντίσταση που παρουσιάζει η επαφή:

- Κατά τη διόδο του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το σώμα διόδου.
- Στις ωμικές αντιστάσεις των σημείων πρόσφυσης των ηλεκτροδίων της επαφής καθώς και κατά μήκος των μεταλλικών κλάδων τους.

Η αύξηση της  $R_s$  περιορίζει την περιοχή τάσεων στην οποία αντιστοιχεί σταθερό ρεύμα βραχυκύκλωσης, ίσο με αυτό που αντιστοιχεί στην ιδανική περίπτωση. Αποτέλεσμα της αύξησης αυτής είναι η ελάττωση της μέγιστης ισχύος που αποδίδει το στοιχείο. Οι τυπικές τιμές της αντίστασης για καλής ποιότητας Φ/Β στοιχεία είναι 0.1Ω έως 0.3Ω.

## 2.6 Shmeío leitourgíaV mégisthV iscúoV (MRR)

Για να επιτευχτεί μέγιστη απόδοση σε ένα Φ/Β πλαίσιο, αυτό θα πρέπει να λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας της χαρακτηριστικής καμπύλης  $I/V$ , κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες. Το σημείο αυτό που ονομάζεται και σημείο μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point, MPP), εξασφαλίζει τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση του πλαισίου και συνεπώς την μέγιστη δυνατή ισχύ στην έξοδο του Φ/Β πλαισίου.



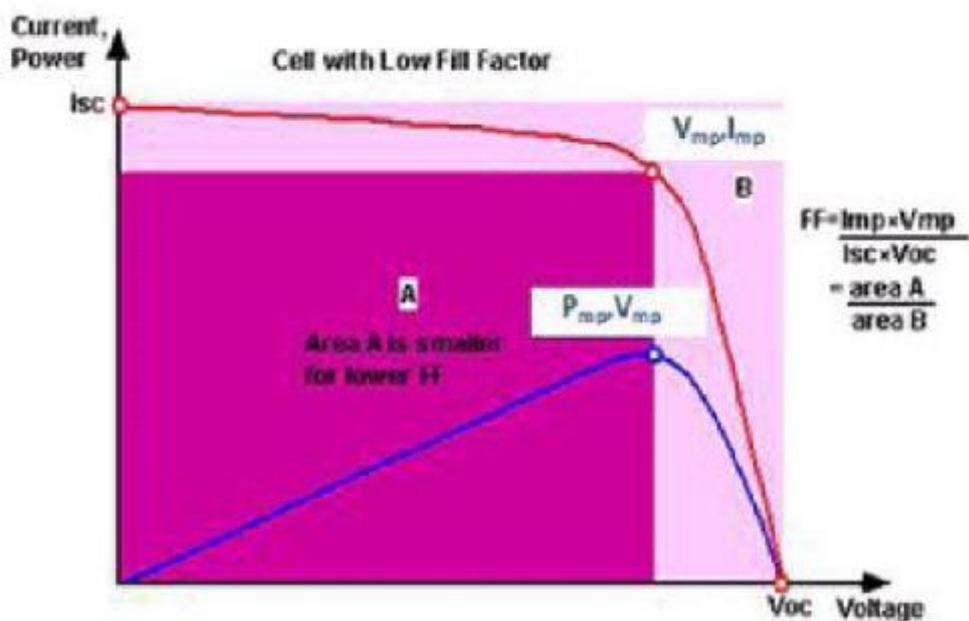
Σχήμα 2.6: Χαρακτηριστική I/V Φ/Β πλαισίου και σημείο λειτουργίας μέγιστης απόδοσης (MPP).

Ο συνδυασμός τάσης και ρεύματος στο Φ/Β πλαίσιο, γίνεται βέλτιστος όταν το πλαίσιο διαρρέετε από ρεύμα με τιμή ίση με  $I_{mpp}$  και εμφανίζει διαφορά δυναμικού ίση με  $V_{mpp}$ . Ο βέλτιστος λοιπόν αυτός συνδυασμός ( $V_{mpp}, I_{mpp}$ ), θα διασφαλίσει τη μέγιστη απόδοση του πλαισίου και φυσικά τη μέγιστη δυνατή ισχύ ( $P_{mpp}$ ) στην έξοδο.

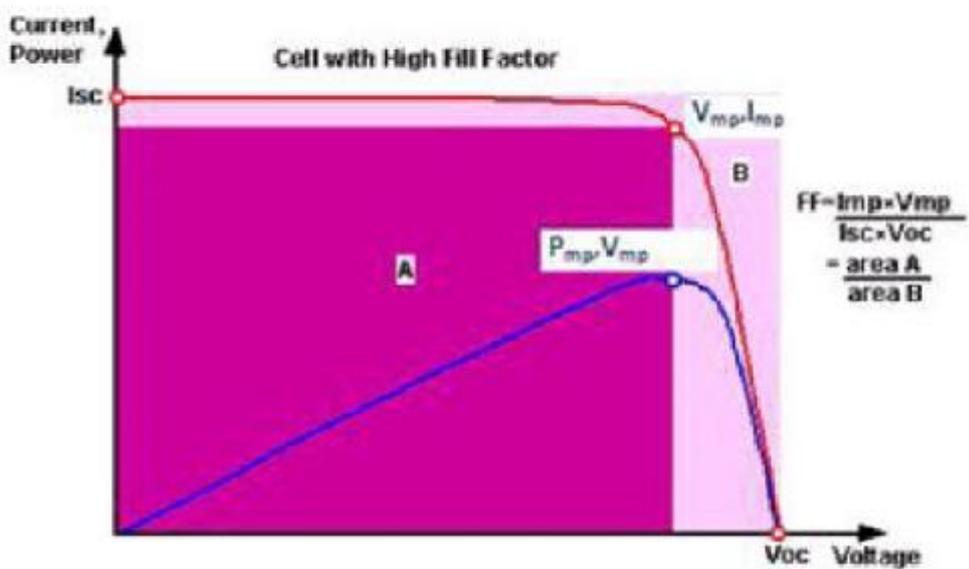
## 2.7 Παράγων πλήρωσης FF(Fill Factor)

Το παραλληλόγραμμο που βρίσκεται μέσα στην παραπάνω καμπύλη I-V, με πλευρές  $I_{mpp}$  και  $V_{mpp}$  έχει εμβαδόν ίσο με τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ από το Φ/Β στοιχείο. Το πηλίκο του εμβαδού αυτού προς το εμβαδόν ενός άλλου παραλληλόγραμμου με πλευρές  $I_{sc}$  και  $V_{oc}$ , όπου περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του Φ/Β στοιχείου, ως πηγή σταθερού ρεύματος, δίνει το μέτρο προσέγγισης αυτής της λειτουργίας της επαφής και ονομάζεται παράγων πλήρωσης FF(Fill Factor). Οι τιμές του καθορίζονται από το υλικό του Φ/Β στοιχείου και τις συνθήκες και είναι μεταξύ 0 και 1. Η τιμή αναφοράς του δίνεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC). Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του FF τόσο περισσότερο η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής του σταθερού ρεύματος, στην περιοχή τάσεων 0- $V_{oc}$ . Σ' αυτές τις περιπτώσεις η διάταξη χαρακτηρίζεται αφενός από μικρή ισοδύναμη αντίσταση σε σειρά και αφετέρου από μεγάλη τιμή παράλληλης αντίστασης. Τυπικές τιμές 0.7 έως 0.8 χαρακτηρίζουν Φ/Β στοιχεία με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση, αντίστοιχα.

$$\text{Εξίσωση παράγοντα πλήρωσης : } FF = (I_{mpp} * V_{mpp}) / (I_{sc} * V_{oc})$$



Σχήμα 2.7: Χαρακτηριστική I/V Φ/B πλαισίου με μικρό συντελεστή πλήρωσης.

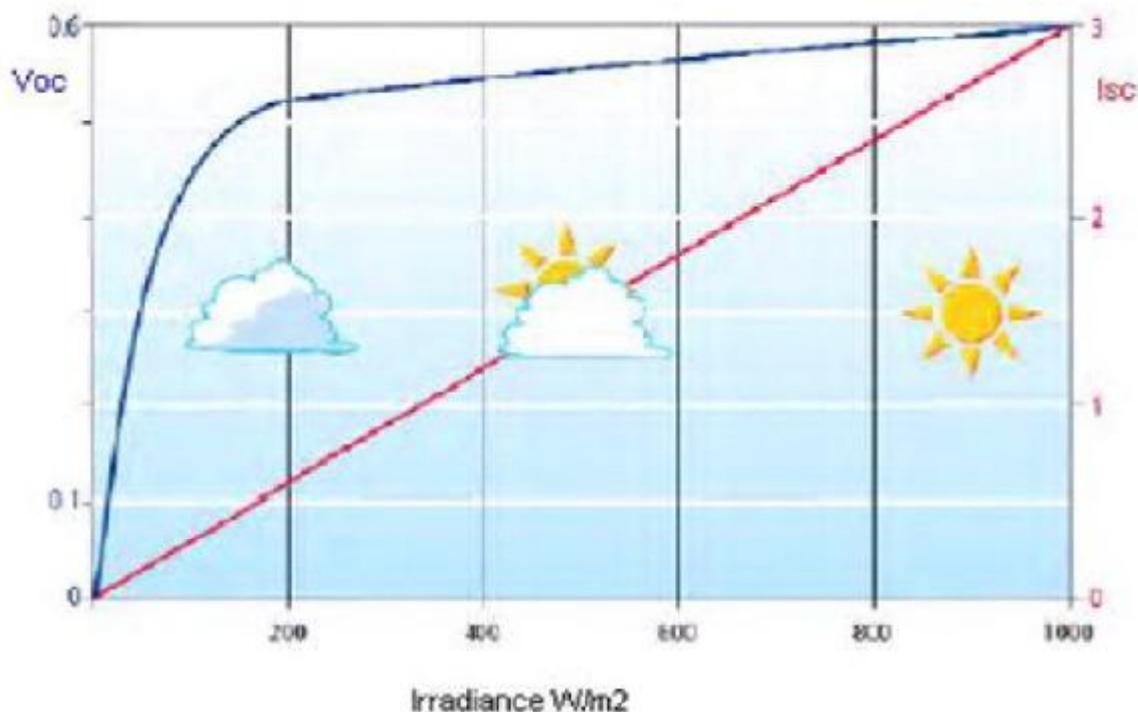


Σχήμα 2.8: Χαρακτηριστική I/V Φ/B πλαισίου με μεγάλο συντελεστή πλήρωσης.

## 2.8 Εξάρτησή των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του F/B στοιχείου από την πυκνότητα ισχύος $E$ ή ηλεκτρομαγνητική (H/M) ακτινοβολία

Η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  καθορίζεται, αφενός από τα χαρακτηριστικά της επαφής p-n, όπως το βασικό υλικό, τη συγκέντρωση των προσμείξεων και τη θερμοκρασία, και αφετέρου από την ένταση της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Κατά τον εργαστηριακό έλεγχο των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των Φ/Β στοιχείων, χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις, που δίνουν δέσμη ηλιακών ακτινών, με δυνατότητα ρύθμιση της έντασής της. Συνήθως, για λόγους άμεσης δυνατότητας εργαστηριακής χρήσης, οποιαδήποτε χρονική στιγμή, χρησιμοποιούνται τεχνητές πηγές H/M ακτινοβολίας, με φάσμα που προσεγγίζει το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Στο παρακάτω σχήμα αποδίδονται τυπικά τα αποτελέσματα που δείχνουν την εξάρτηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  και της τάσης του ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$ , από την πυκνότητα ισχύος  $E$ , της προσπίπτουσας H/M ακτινοβολίας.



**Σχήμα 2.9:** Εξάρτηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  και της τάσης ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  από την ακτινοβολία.

Παρατηρούμε ότι:

- i. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  του Φ/Β στοιχείου είναι ανάλογο της πυκνότητας ισχύος  $E$ , της ακτινοβολίας, που προσπίπτει στην κυψελίδα.
- ii. Η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  αρχικά αυξάνει, σχετικά απότομα, ως συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος  $E$ , της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κυψελίδα παραμένοντας, στη

συνέχεια σχεδόν ανεξάρτητη της E.

## 2.9 Energeiaki apódosh twv fwtohol taikón pl aisíwn.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι βασικότεροι παράμετροι που επηρεάζουν τη λειτουργία και συμπεριφορά των Φ/Β πλαισίων, είναι ο συντελεστής πλήρωσης FF, το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  και η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$ . Έτσι οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν και την απόδοση (%) των Φ/Β πλαισίων, η οποία δίνεται από το λόγο της αποδιδόμενης ισχύος προς την προσπίπτουσα φωτεινή ισχύ επί την όλη επιφάνεια. Δηλαδή

$$\eta = \frac{P_M}{G \cdot A}$$

Όπου G η ένταση της ακτινοβολίας (πυκνότητα ισχύος) που δέχεται το Φ/Β στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και A η επιφάνεια αυτή.

Η παραπάνω σχέση μπορεί να εκφραστεί και ως εξής:

$$\eta = \frac{I_{MPP} \cdot V_{MPP}}{G \cdot A} = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{G \cdot A}$$

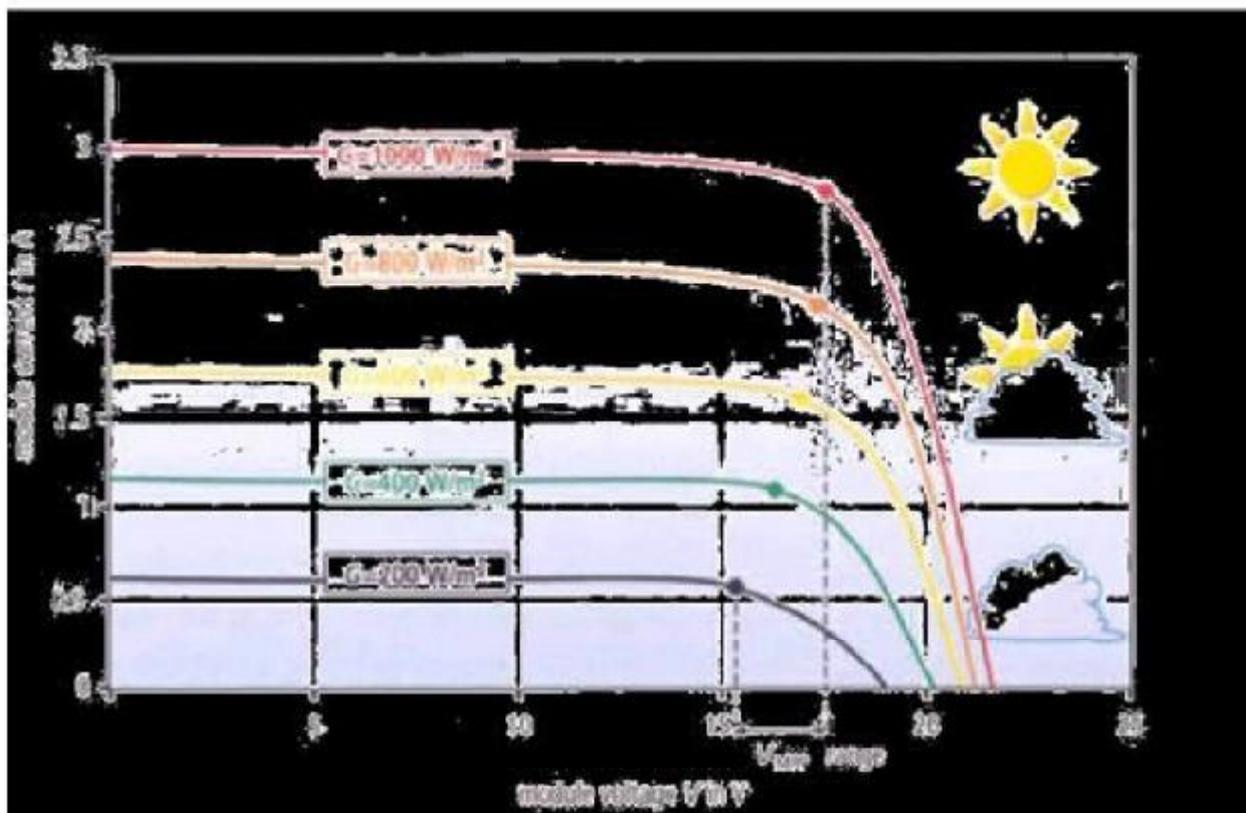
Από την παραπάνω σχέση διαπιστώνουμε ότι για την πραγματοποίηση αυξημένων αποδόσεων απαιτείται οι τιμές των FF, ISC, VOC να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες.

## 2.10 All oi parágontev pou ephreázoun thn energeiaki apódosh twv fwtohol taikón pl aisíwn.

Η θεωρητική εκτίμηση της αναμενόμενης ενεργειακής απόδοσης ενός Φ/Β πλαισίου ή σταθμού, δεν λαμβάνει υπ' όψιν μια σειρά από παράγοντες οι οποίοι συνεπάγονται το σημαντικό περιορισμό της. Η ισχύς που παράγεται από ένα Φ/Β σύστημα εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων που πρέπει να εξετάζονται κατά τη φάση του σχεδιασμού του συστήματος. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να σχετίζονται είτε με το ίδιο το πλαίσιο είτε από τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της θέσης εγκατάστασης. Έτσι λοιπόν οι παράγοντες είναι : η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία του στοιχείου, η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου, η σκίαση, η ρύπανση και η γήρανση.

### 1. Επίδραση της Ηλιακής Ακτινοβολίας

Η ενέργεια που παράγεται από ένα Φ/Β πλάισιο σε ετήσια βάση, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία και ως εκ τούτου, εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση εγκατάστασης του συστήματος. Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια ενός συλλέκτη είναι με τη σειρά της άμεσα εξαρτώμενη από τον προσανατολισμό του πλαισίου ως προς τον ήλιο. Για τα μεγαλύτερα λαμβανόμενα ποσά της ηλιακής ενέργειας τα πλάισια πρέπει να προσανατολίζονται κατάλληλα και να είναι τοποθετημένα στη βέλτιστη γωνία κλίσης εφόσον δεν χρησιμοποιούνται στρεφόμενες βάσεις ενός ή δύο αξόνων. Η αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και ως εκ τούτου, μεγαλύτερη παραγόμενη ισχύ.



Σχήμα 2.10: Επίδραση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP).

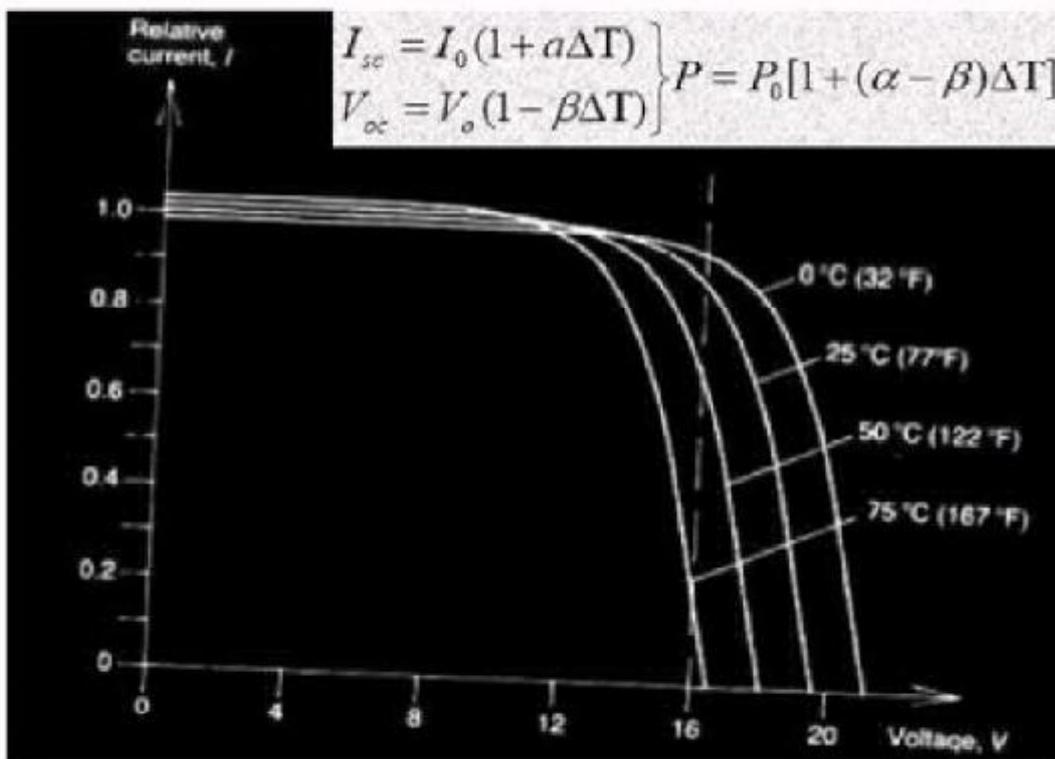
Η επίδραση της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο μέγιστο σημείο ισχύος (MPP) παρουσιάζεται στο σχήμα. Αν συγκριθεί η ακτινοβολία με τιμή  $200 \text{ W/m}^2$ , με την ακτινοβολία με τιμή  $1000 \text{ W/m}^2$  παρατηρείται ότι το σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) μεταβάλλεται σε μια νέα τιμή όπου τόσο το ρεύμα ( $I_{mp}$ ) όσο και η τάση ( $V_{mp}$ ) μέγιστης λειτουργίας, αυξάνονται.

Συγκεκριμένα, το ρεύμα από 0.6 A και η τάση από 15.3 V (όπου δηλαδή  $P_{mp} = 0.6 \cdot 15.3 = 9.18 \text{ W}$ ) στη λειτουργία υπό ακτινοβολία  $200 \text{ W/m}^2$ , αυξάνονται στην τιμή των 2.8 A ( $I_{mp}$ ) και 18 V ( $V_{mp}$ ) αντίστοιχα (όπου  $P_{mp} = 2.8 \cdot 18 = 50.4 \text{ W}$ ) στη λειτουργία υπό ακτινοβολία.

Αυξημένη λοιπόν ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, σημαίνει και αυξημένη ισχύς στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

## 2. *Θερμοκρασία στοιχείου*

Η απόδοση των Φ/Β, επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Ο βαθμός απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία, αναφέρονται σε δοκιμές που έγιναν σε θερμοκρασίες στοιχείου 25 °C. Τις περισσότερες φορές όμως, η θερμοκρασία του στοιχείου υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας διαφέρουν σημαντικά κυρίως τους θερινούς μήνες. Οι μεγάλες θερμοκρασίες στοιχείου έχουν αρνητική επίδραση στη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική κι αυτό συνεπάγεται αύξηση ή μείωση της ισχύος στην έξοδο του στοιχείου. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της διαφοράς δυναμικού του Φ/Β στοιχείου με αποτέλεσμα, όταν ένα φορτίο συνδεθεί στα άκρα του, η διαφορά δυναμικού να είναι αισθητά μειωμένη.



Σχήμα 2.11: Επίδραση της θερμοκρασίας της χαρακτηριστική I/V του Φ/Β πλαισίου .

κυψέλης στη

Από το σχήμα, φαίνεται ότι αν θερμοκρασία μειωθεί από 50°C σε 25°C, το ρεύμα από τη μια μειώνεται, ενώ η τάση αυξάνεται αλλά σε μεγαλύτερο ποσοστό απ' ό τι μειώνεται το ρεύμα.

Συμπεραίνεται λοιπόν ότι, η μείωση της θερμοκρασίας συνεπάγει και τη λειτουργία του πλαισίου σε μεγαλύτερη τάση και μικρότερο ρεύμα. Καθώς λοιπόν η αύξηση της τάσης σε ποσοστό είναι μεγαλύτερη από τη μείωση του ρέματος, ισχύς εξόδου του Φ/Β πλαισίου θα είναι μεγαλύτερη στους 25°C απ' ό τι στους 50°C.

### 3. *Tacóthta kai kateúqunsh anémou*

Η ταχύτητα του ανέμου, μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της θερμοκρασίας του στοιχείου καθότι μεγάλες ταχύτητες, έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας του Φ/Β πλαισίου. Όταν οι άνεμοι είναι βόρειοι είναι συνήθως κρύοι, με αποτέλεσμα τα Φ/Β να λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με αυτές που θα λειτουργούσαν εάν υπήρχε άπνοια, υπό τα ίδια ποσοστά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αντίθετα συμβαίνει για θερμούς ανέμους.

### 4. *Rúpansh*

Η ηλεκτροπαραγωγή των Φ/Β πλαισίων μπορεί να μειωθεί από ρύπανση της επιφάνειάς τους, από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνεται περιοδικός καθαρισμός των Φ/Β πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90ο (κάθετοι) για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού, ή τουλάχιστον 45ο για να μην συγκρατείται η σκόνη. Όταν η Φ/Β γεννήτρια βρίσκεται σε μία περιοχή που εκτιμάμε ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς μας η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β πλαίσια.

## 5. *Skíash*

Ένας άλλος παράγοντας επίδρασης της DC ενεργειακής απόδοσης των Φ/Β πλαισίων είναι η σκίαση. Το φαινόμενο της σκίασης εμφανίζεται είτε σε περιπτώσεις που συναντώνται εμπόδια στον ορίζοντα των πλαισίων όπως παρακείμενα κτήρια, βλάστηση κλπ, είτε σε περιπτώσεις με περιορισμένη έκταση εγκατάστασης όπως για παράδειγμα στις στέγες κτηρίων όπου προκαλείται σκίαση από τη μία σειρά στην επόμενη. Ιδιαίτερα στη δεύτερη περίπτωση, οι επιπτώσεις της σκίασης μπορεί να είναι σημαντικές και για το λόγο αυτό είναι αναγκαίος ο λεπτομερής προσδιορισμός των απωλειών που προκαλούν.

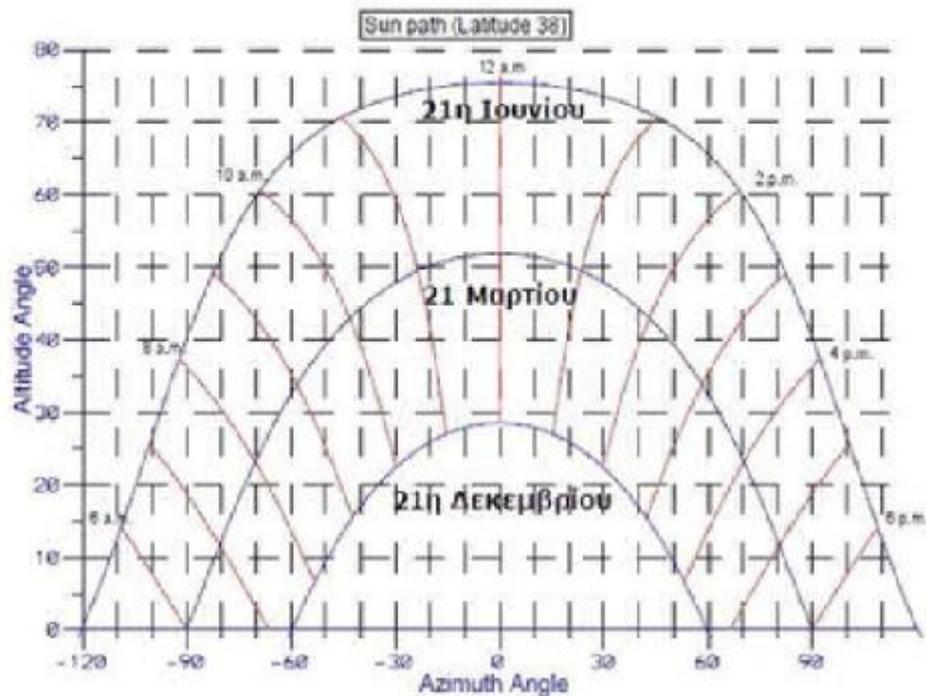
Ένα τυπικό Φ/Β πλαίσιο, αποτελείται από Φ/Β στοιχεία ίδιων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών συνδεδεμένων σε σειρά. Συνεπώς, η σκίαση ή η βλάβη ενός και μόνο Φ/Β στοιχείου, θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του πλαισίου. Ένα σκιασμένο κύτταρο, συμπεριφέρεται κατά βάση όπως η απλή διόδος p-n, η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τα υπόλοιπα υγιή στοιχεία μία υψηλή ανάστροφη τάση. Αν τα υπόλοιπα φωτιζόμενα ηλιακά στοιχεία του πλαισίου είναι μεγάλου πλήθους, αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου, προκαλώντας την καταστροφή της.

Στην πράξη, για τα τυπικά Φ/Β πλαίσια, το σκιασμένο στοιχείο λειτουργεί ως μία μεγάλη αντίσταση, όπου αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν τα υπόλοιπα. Παρατεταμένος σκιασμός ενός στοιχείου σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός κατεστραμμένου στοιχείου.

Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται ως φαινόμενο Hot Spot (κατάσταση "θερμής κηλίδας"). Για να αποτραπεί μία τέτοια εξέλιξη, το Φ/Β πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους (δίοδοι παράκαμψης), οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των κυττάρων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά, επιτρέποντας έτσι την χρησιμοποίηση του Φ/Β πλαισίου, ακόμα και αν κάποιο Φ/Β στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί.



Σχήμα 2.12: Σκίαση κτιρίων από παρακαείμενα δέντρα



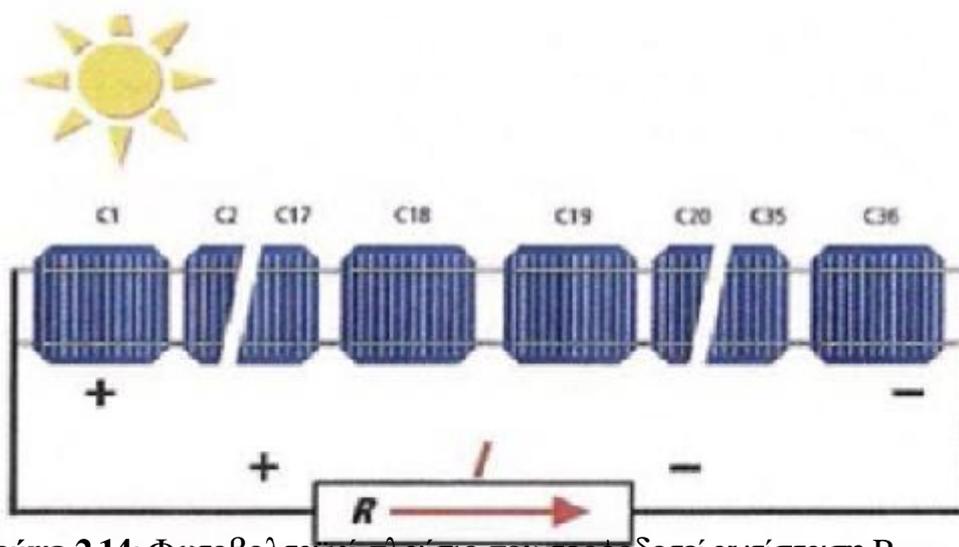
Σχήμα 2.13: Διάγραμμα τροχιάς ήλιου σε Βόρειο γεωγραφικό πλάτος 38ο.

## 6. *Géransh*

Λόγω της φθοράς των Φ/Β πλαισίων (και των υπολοίπων μερών ενός Φ/Β συστήματος), αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μία μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα παραγωγής της ηλεκτρικής ισχύος, που συνήθως υπολογίζεται από 1% ως 2% για κάθε έτος.

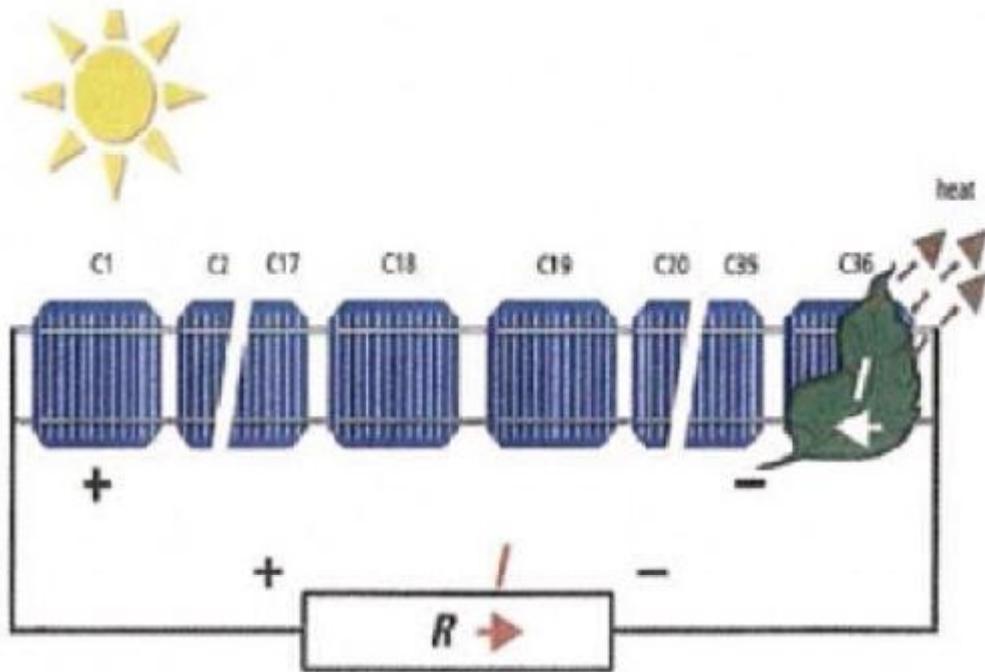
## 2.11 Φαινόμενο hot spot, διάδοι παράκαμψης

Κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας, ένα σκιασμένο Φ/Β πλαίσιο μπορεί να θερμανθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να καταστραφεί το υλικό του και να δημιουργηθεί το φαινόμενο hot - spot. Στο σχήμα 2.12 φαίνεται ένα Φ/Β πλαίσιο σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας χωρίς να σκιάζεται κάποιο κύτταρό του. Το ρεύμα που παράγεται από τα Φ/Β πλαίσια καταναλώνεται από μια αντίσταση.



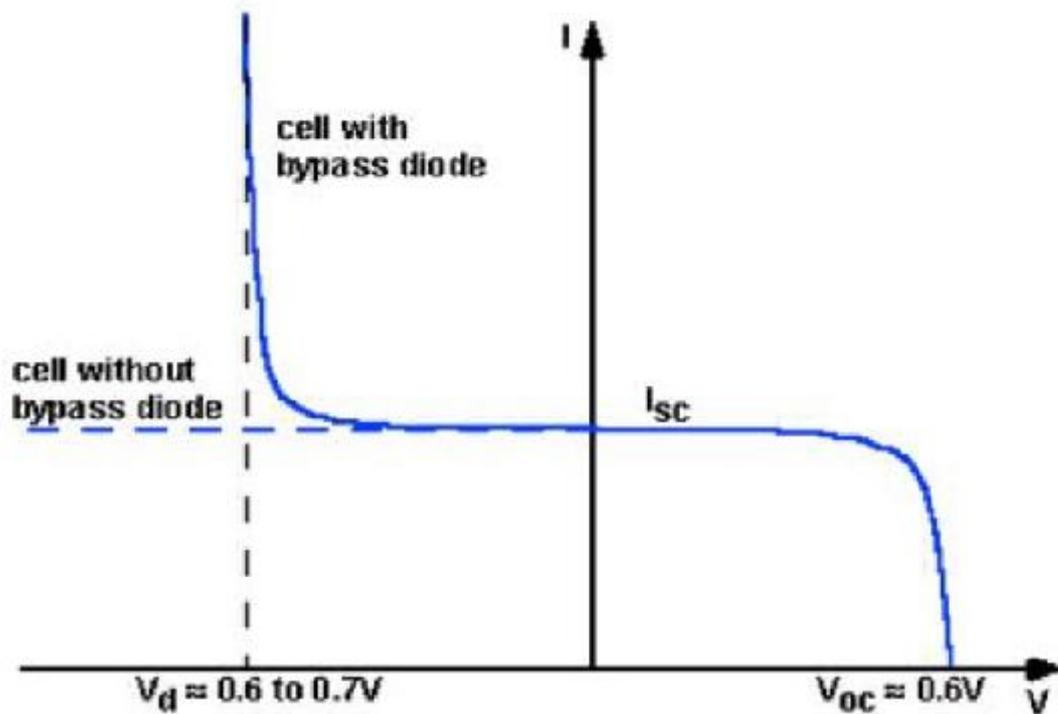
Σχήμα 2.14: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο που τροφοδοτεί αντίσταση R.

Εάν ένα κύτταρο του πλαισίου σκιαστεί με κάποιο τρόπο, παραδείγματος χάριν αν πέσει ένα φύλλο σχήμα 2.13, το συγκεκριμένο πλαίσιο παύει να παράγει πια ηλεκτρικό ρεύμα και πολώνεται ανάστροφα (συμπεριφορά απλής διόδου, αφού είναι σκιασμένο). Λόγω της σύνδεσής του με τα άλλα στοιχεία καταναλώνει ισχύ, λειτουργεί πια σαν ηλεκτρικό φορτίο και μάλιστα είναι δυνατόν να καταναλώνεται τόση ισχύς όση η μέγιστη ισχύς των υπολοίπων στοιχείων. Τέτοια φαινόμενα μπορεί να προκαλέσουν υπερθέρμανση του στοιχείου και πιθανή καταστροφή του.



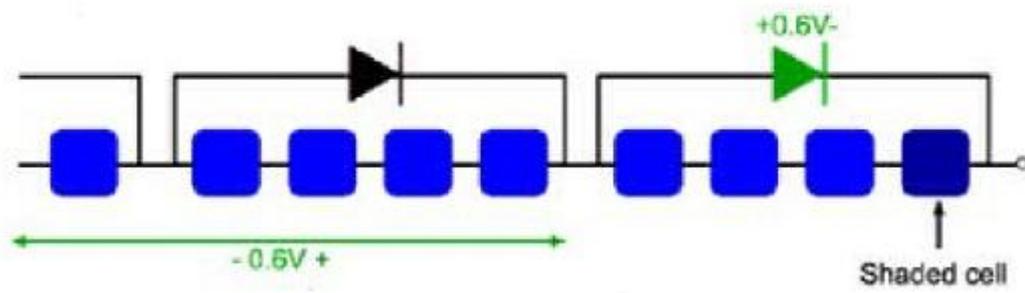
**Σχήμα 2.15:** Φωτοβολταϊκό πλαίσιο με σκιασμένο στοιχείο χωρίς διόδους παράκαμψης.

Για να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο, χρησιμοποιούνται οι διόδους παράκαμψης. Μια διάδος παράκαμψης συνδέεται παράλληλα αλλά σε αντίθετη πολικότητα από τα ηλιακά κύτταρα. Κάτω από κανονικές συνθήκες, όπου δεν σκιάζεται κάποιο ηλιακό κύτταρο η διάδος παράκαμψης είναι ανάστροφα πολωμένη και λειτουργεί σαν ανοιχτό κύκλωμα. Παρόλα αυτά αν κάποιο ηλιακό κύτταρο πολωθεί ανάστροφα, τότε η διάδος άγει επιτρέποντας τη ροή του ρεύματος μέσω των υπόλοιπων ηλιακών κυττάρων της αλυσίδας στο εξωτερικό κύκλωμα. Η μέγιστη ανάστροφη τάση τώρα του ηλιακού στοιχείου περιορίζεται στην πτώση τάσης της διόδου αποτρέποντας την εμφάνιση του φαινομένου hot - spot. Στο σχήμα 2.14 απεικονίζεται η επίδραση της χρήσης της διόδου παράκαμψης στη χαρακτηριστική  $I - V$ . Η διάδος παράκαμψης επηρεάζει το ηλιακό στοιχείο μόνο όταν είναι αντίστροφα πολωμένο.



Σχήμα 2.16: Χαρακτηριστική I - V ηλιακού κυττάρου με δίοδο παράκαμψης.

Στην πράξη μια δίοδος παράκαμψης ανά ηλιακό κύτταρο συνεπάγεται μεγάλο κόστος και γι' αυτό το λόγο οι δίοδοι τοποθετούνται συνήθως παράλληλα σε ομάδες ηλιακών κυττάρων. Η τάση του σκιασμένου ή μερικώς φωτισμένου ηλιακού είναι ίση με την τάση ορθής πόλωσης των άλλων ηλιακών κυττάρων που συνδέονται σε σειρά με το σκιασμένο και μοιράζονται την ίδια δίοδο παράκαμψης συν την τάση της διόδου. Η τάση των μη σκιασμένων ηλιακών κυττάρων (δεν μοιράζονται την ίδια δίοδο) εξαρτάται από το βαθμό σκίασης του σκιασμένου κύτταρου. Για παράδειγμα αν το στοιχείο είναι πλήρως σκιασμένο, τότε η τάση των μη σκιασμένων ηλιακών κυττάρων είναι περίπου  $0.6 \text{ V}$  και το ρεύμα που ρέει μέσω αυτών είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Ο μέγιστος αριθμός κυττάρων ανά δίοδο χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα είναι 18 - 20. Σε ένα πλαίσιο 36 - 40 στοιχείων χρησιμοποιούνται 2 δίοδοι παράκαμψης ενώ σε ένα πλαίσιο 72 στοιχείων οι δίοδοι παράκαμψης ανέρχονται σε 4 για να διασφαλιστεί ότι το πλαίσιο δεν διατρέχει κίνδυνο εμφάνισης του φαινομένου hot - spot.



Σχήμα 2.17: Δίοδοι παράκαμψης συνδεδεμένες σε ομάδες κυττάρων.

### Κεφάλαιο 3ο: Απόδοση στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Όπως κάθε ηλεκτρικό σύστημα, έτσι και τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν παρουσιάζουν στην έξοδο τους την ίδια ποσότητα ενέργειας με αυτήν που υπάρχει στην είσοδο τους. Οι σημαντικότερες απώλειες λοιπόν που παρουσιάζει κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα κατά τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας διαμέσω αυτού, είναι οι εξής:

- Θερμικές απώλειες (Thermal losses).
- Απώλειες ποιότητας πλαισίου (Module quality losses).
- Απώλειες ανομοιομορφίας πάνελ (Array mismatch losses). ○
- Απώλειες γωνίας πρόσπτωσης (Incidence Angle Modifier). ○
- Ηλεκτρικές απώλειες

#### 3.1 Θερμικές απώλειες (Thermal losses)

Οι απώλειες αυτές οφείλονται στη διαφορετική θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας (θερμοκρασία κυψέλης) με την θερμοκρασία των  $25^{\circ}\text{C}$ . Η θερμική λοιπόν συμπεριφορά του πλαισίου που επηρεάζει έντονα την ηλεκτρική απόδοση του πλαισίου, καθορίζεται από μια θερμική ισορροπία μεταξύ της θερμοκρασίας των  $25^{\circ}\text{C}$  και της εσωτερικής θερμοκρασίας του πλαισίου. Στα λογισμικά για τον υπολογισμό των απωλειών αυτών χρησιμοποιείται ο συντελεστής  $k$  ο οποίος αντιπροσωπεύει την μετάδοση θερμότητας από την εξωτερική επιφάνεια του πλαισίου προς την εσωτερική. Αποτελείται από ένα σταθερό όρο  $k_c$  και ένα μεταβλητό  $k_v$  ο οποίος είναι ανάλογος της ταχύτητας του αέρα.

$$K = K_c + K_v \cdot v \quad (3.1)$$

Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται από τον τρόπο τοποθέτησης των πλαισίων. Όταν στα πλαίσια παρουσιάζεται ελεύθερη κυκλοφορία αέρα, αυτοί οι συντελεστές αναφέρονται και στις 2 πλευρές του πλαισίου. Εάν το πίσω μέρος των πλαισίων είναι λίγο πολύ θερμικά απομονωμένο, τότε αυτό κα πρέπει τουλάχιστον θεωρητικά να μειωθεί μέχρι το μισό (δηλαδή η πίσω πλευρά δεν θα συμμετέχει καθόλου στην μεταφορά θερμότητας). Αρχικά στα λογισμικά λήφθηκε ότι  $K_c = 20\text{W/m}^2$  και  $K_v = 6\text{W/m}^2$ . Αυτές οι τιμές αφορούσαν διάφορες εγκαταστάσεις που περιλάμβαναν πλαίσια που τοποθετήθηκαν χωρίς πίσω κάλυψη με ελεύθερη κυκλοφορία αέρα. Παρόλο που οι τιμές αυτές ήταν λογικές, εντούτοις τελικά απορρίφθηκαν γιατί καθορίστηκαν χρησιμοποιώντας δεδομένα αέρα (δηλαδή ταχύτητα αέρα) πολύ χαμηλότερα από αυτά που χρησιμοποιούνται στα λογισμικά. Για δεδομένα αέρα που ανταποκρίνονται στα λογισμικά, τελικά καθορίστηκε ότι  $K_c = 25\text{W/m}^2$

και  $K_v=1.2\text{W/m}^2$ . Όταν δεν είναι γνωστή ταχύτητα του αέρα, τότε λαμβάνεται ίση με μια μέση τιμή της τάξεως του  $1.5\text{ m/s}$  και πολλαπλασιάζεται με τον άλλοτε σταθερό όρο  $k_c$ , ενώ ο μεταβλητός όρος  $K_v$  λαμβάνεται ίσος με 0 (δηλαδή  $K = k_c \cdot v = 26 \cdot 1.5 = 29\text{W/m}^2$ ). Αξίζει να αναφερθεί εδώ ότι αν η θερμοκρασία κυψέλης είναι κάτω από την «ονομαστική», δηλαδή αν είναι μικρότερη από  $25^\circ\text{C}$ , τότε οι άλλοτε θερμικές απώλειες μετατρέπονται σε κέρδος ενέργειας. Αν δηλαδή  $\bullet_{\text{κυψέλης}} < 25^\circ\text{C}$ , τότε κατά τον υπολογισμό τους οι θερμικές απώλειες προκύπτουν αρνητικές, γεγονός το οποίο υποδηλώνει κέρδος ενέργειας. Εναλλακτικά στα λογισμικά, μπορεί να εισαχθεί από τον χρήστη η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται από τα πλαίσια χωρίς πίσω κάλυψη, γνωστή και ως NOCT ( Nominal Operating Collector Temperature ) η οποία ορίζεται από συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας οι οποίες είναι οι εξής:

Ακτινοβολία πρόσπτωσης:  $800\text{ W/m}^2$ .

Εσωτερική θερμοκρασία:  $20^\circ\text{C}$ .

Ταχύτητα του αέρα:  $1\text{ m/s}$ .

Οι τιμές αυτές αφορούν ανοικτό κύκλωμα, όπου δηλαδή το πάνελ δεν διαρρέετε από ρεύμα.

Τα λογισμικά υπολογίζουν αμέσως την αντιστοιχία στους παράγοντες  $K_c$  και  $K_v$ .

### 3.2 Από έιV ποιότηταV pl αίσίου (Module quality losses)

Συνήθως τα πλαίσια που διατίθενται στην αγορά, δεν υπακούουν πιστά στις ακριβείς ονομαστικές προδιαγραφές τους, όπως αυτές δίνονται από τους κατασκευαστές τους. Λόγω λοιπόν του γεγονότος της ανομοιότητας των ονομαστικών τιμών των πλαισίων και της μικρής αλλά υπαρκτής απόκλισης από της ακριβής ονομαστικής τιμής, κατά τη σύνδεση τους τα πλαίσια, παρουσιάζουν περαιτέρω απώλειες. Δεδομένου ότι τα πλαίσια σήμερα πωλούνταν με δεδομένη και μικρή ανοχή από τις ονομαστικές προδιαγραφές, οι απώλειες λόγω κακής ποιότητας πλαισίου έχουν ελαχιστοποιηθεί και έτσι τυπική τιμή των απωλειών αυτών στα λογισμικά, είναι  $\pm 1\%$ .

### 3.3 Απώλεια μορφής πάνελ (Array mismatch losses)

Η σύνδεση των Φ/Β στοιχείων για να διαμορφώσει μια σειρά μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όταν δεν αντιστοιχίζονται τα χαρακτηριστικά των στοιχείων. Αυτό το πρόβλημα, γνωστό ως κακός συνδυασμός, μπορεί να μειώσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της σειράς και να οδηγήσει σε μειωμένη από την αναμενόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην έξοδο του πάνελ. Οι απώλειες λοιπόν αυτές σχετίζονται με το γεγονός ότι σε κάθε πάνελ, το κάθε Φ/Β πλαίσιο από το οποίο απαρτίζεται το πάνελ, δεν υπακούει πιστά στην ίδια χαρακτηριστική ρεύματος - τάσης I/V. Ως εκ τούτου, παρουσιάζονται πρόσθετες απώλειες στα Φ/Β συστήματα, οι οποίες και ονομάζονται απώλειες λόγω ανομοιομορφίας πάνελ.

### 3.4 Απώλεια γωνίας πρόσπτωσης (Incidence Angle Modifier)

Σε γενικές γραμμές το είδος αυτό των απωλειών, σχετίζεται με τη μετάδοση και ανάκλαση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε Φ/Β πάνελ, μέρος από αυτή ανακλάται και επιστρέφει πίσω στην ατμόσφαιρα, ενώ κάποιο άλλο μέρος διαθλάται και εισχωρεί στο Φ/Β πάνελ. Η επίδραση λοιπόν του φαινομένου της ανάκλασης και διάθλασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, σημαίνει πρόσθετες απώλειες για το Φ/Β σύστημα.

Αυτό του είδους οι απώλειες δίνονται από την παρακάτω σχέση.

$$IAM_{losses} = 1 - b_o(1/\cos i - 1) \quad (32)$$

όπου

I: θ γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

b<sub>o</sub>: συντελεστής - τροποποιητής γωνίας πρόσπτωσης.

Η διαφορά μεταξύ της ακτινοβολίας στην εξωτερική επιφάνεια με τα ηλιακά κύτταρα εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης. Αυτή ακριβώς την τροποποίηση της γωνίας της εξωτερικής ακτινοβολίας στα ηλιακά κύτταρα εκφράζει ο συντελεστής b<sub>o</sub>. Για θερμικούς ηλιακούς συσσωρευτές από επιφάνεια από γυαλί ο συντελεστής b<sub>o</sub> λαμβάνεται ίσως με 0.1, ενώ για Φ/Β πλαίσια, ο συντελεστής b<sub>o</sub> λαμβάνεται ίσως με 0.05. Για γωνία πρόσπτωσης πάνω από 85° και για b<sub>o</sub>=0.01 οι συγκεκριμένες απώλειες γίνονται αρνητικές κάτι το οποίο φυσικά είναι μη ρεαλιστικό. Αν η γωνία πρόσπτωσης είναι 90° τότε οι απώλειες

γίνονται μηδενικές.

### **3.5 Ηλεκτρικές απώλειες.**

Κατά τον σχεδιασμό ενός Φ/Β συστήματος πρέπει να προνοήσουμε για τις ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα Φ/Β πλαίσια στις συστοιχίες, καθώς και τις συνδέσεις τους με άλλα μέρη του συστήματος, όπως διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές, μετατροπείς κλπ. Επομένως κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των Φ/Β ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης περίπου του 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο.

## Κεφάλαιο 4ο: AntistroφέαV (Inverter).

### 4.1 Eισαγωγή

Μια Φ/Β συστοιχία ανεξάρτητα από το μέγεθος και το είδος της κατασκευής της μπορεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια μόνο συνεχούς ρεύματος (dc). Υπάρχουν όμως κι εφαρμογές για τις οποίες το συνεχές ρεύμα είναι κατάλληλο, όπως για παράδειγμα η φόρτιση μπαταριών, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί συνδέοντας την μπαταρία απευθείας σε Φ/Β πλαίσιο χωρίς να μεσολαβεί κάποιο στάδιο μετατροπής της ενέργειας. Αντίθετα, σε περιπτώσεις που το σύστημα τροφοδοτεί φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος (ac) ή παρέχει ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο (230Vrms / 50Hz) απαιτείται η χρήση αντιστροφέα.

Οι αντιστριφείς μετατρέπουν την συνεχή τάση (dc) που παράγεται από την Φ/Β γεννήτρια σε εναλλασσόμενη τάση (ac) και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

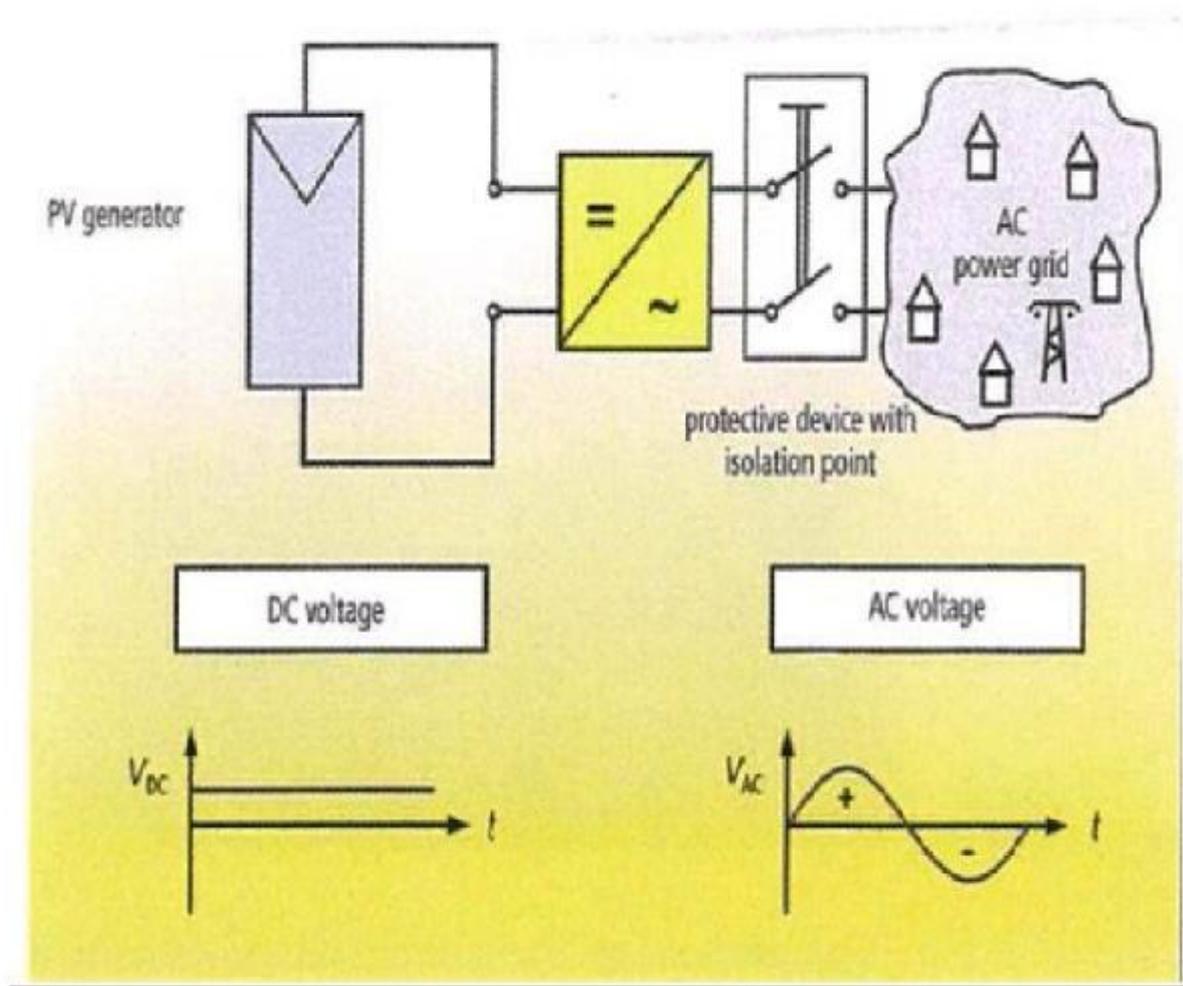
1. αντιστροφείς αυτόνομων Φ/Β συστημάτων
2. αντιστροφείς συνδεδεμένοι στο δίκτυο

Οι δύο κατηγορίες αντιστροφέων που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν πολλές ομοιότητες αλλά η διαφορά τους έγκειται στο κύκλωμα ελέγχου. Ο αντιστροφέας ενός αυτόνομου συστήματος λειτουργεί ανεξάρτητα από το δίκτυο και θα πρέπει να εξασφαλίζει σταθερή τάση και συχνότητα στα φορτία. Οι αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο θα πρέπει να προσαρμόσουν την εναλλασσόμενη τάση στη συχνότητα και επίπεδο της τάσης του δικτύου.

Και για τα δύο συστήματα σημαντικός παράγοντας είναι ο βαθμός απόδοσης του αντιστροφέα, όπου θα πρέπει να εξασφαλίζεται πάνω από 0.8, καθώς συνδέεται άμεσα με το κόστος του συνολικού συστήματος άρα και με το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος μας λοιπόν είναι η επίτευξη υψηλού βαθμού απόδοσης του αντιστροφέα που συνεπάγεται ελαχιστοποίηση του κόστους της παραγόμενης KWh από Φ/Β γεννήτρια, ώστε να μπορεί να συγκριθεί με το αντίστοιχο κόστος από συμβατικές πηγές ενέργειας.

### 4.2 AntistroφεiV sundedeménoi sto díktuo (Grid connected inverter)

Οι αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο χωρίζονται στους μονοφασικούς αντιστροφείς και στους τριφασικούς αντιστροφείς.



**Σχήμα 4.1:** Αντιστροφέας συνδεδεμένος στο δίκτυο.

Ο αντιστροφέας που συνδέεται στο δίκτυο όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα 4.1, έχει το ρόλο ελέγχου του συστήματος και αποτελεί το μέσο που τροφοδοτείται η ενέργεια στο δίκτυο. Όσον αφορά την πραγματική ισχύ που τροφοδοτείται στο δίκτυο μέσω του αντιστροφέα, μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την ισχύ εξόδου της Φ/Β γεννήτριας με το συντελεστή απόδοσης του αντιστροφέα. Πιο σημαντική όμως, είναι η ενέργεια που παράγεται στο σύστημα μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, για παράδειγμα ενός χρόνου λειτουργίας. Σ' αυτήν την περίπτωση η μέση απόδοση του αντιστροφέα που λαμβάνει υπόψη όλα τα φορτία παίζει σημαντικό ρόλο.

Ο αντιστροφέας θα πρέπει ακόμη να διασφαλίζει ότι η Φ/Β γεννήτρια θα λειτουργεί στο Σημείο Μέγιστης Ισχύος (MPP) προσαρμόζοντας την αντίστοιχη τάση λειτουργίας. Γνωρίζουμε όμως ότι το σημείο αυτό δεν είναι σταθερό καθώς αλλάζει με την ηλιακή ακτινοβολία όπως και με τη

θερμοκρασία. Από τη στιγμή λοιπόν που η τάση και το ρεύμα της Φ/Β συστοιχίας μεταβάλλονται με τις καιρικές συνθήκες, ο αντιστροφέας θα πρέπει να μετακινεί το σημείο λειτουργίας του έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή απορρόφηση ισχύος από τη Φ/Β συστοιχία. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος, του Ανιχνευτή του Σημείου Μέγιστης Ισχύος (MPPT). Ο Ανιχνευτή του Σημείου Μέγιστης Ισχύος δεν θα πρέπει να συγχέεται με τις μηχανικές διατάξεις παρακολούθησης της τροχιάς του Ήλιου. Τα δύο συστήματα μπορούν παράλληλα, αλλά η λειτουργία τους είναι εντελώς διαφορετική. Για την ανίχνευση του σημείου μέγιστης ισχύος έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι οι οποίοι βασίζονται στη μέτρηση της ισχύος εξόδου της Φ/Β γεννήτριας, που με τη βοήθεια ανατροφοδότησης και ενός μετατροπέα επιτυγχάνουν μετατόπιση της τάσεως λειτουργίας ώστε να συμπίσει με την τάση που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος.

#### 4.3 Απαιτήσεις proV ikanopoíhsh gia touV diasundedeménouV antistrofeíV

Οι αντιστροφείς του διασυνδεδεμένου δικτύου διαθέτουν ποικιλία στόχων που καλούνται να τους εκπληρώσουν και πρέπει να ικανοποιούν διάφορες ρυθμίσεις. Κατά την επιλογή ενός αντιστροφέα για το σύστημα που μας ενδιαφέρει, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στα ακόλουθα σημεία:

##### 1. *Autómath énarxh leitourgíaV to prwí.*

Μετά την ανατολή, ο αντιστροφέας θα πρέπει να αναγνωρίζει πότε η ισχύς της Φ/Β γεννήτριας είναι αρκετά υψηλή ώστε να εξασφαλίζει σύνδεση και ηλεκτρική παροχή στο δίκτυο.

##### 2. *Uyhlή apódosh upó fortío mikrótero tou onomastikou.*

Η ηλεκτρική ενέργεια από τα Φ/Β συστήματα καθώς είναι πολύτιμη και δαπανηρή πρέπει να μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα στον αντιστροφέα με τις ελάχιστες δυνατές απώλειες. Επειδή ο καιρός δεν είναι πάντοτε ηλιόλουστος, το σύστημα συχνά λειτουργεί με μερικό φορτίο. Η εσωτερική κατανάλωση του αντιστροφέα συνεπώς έχει σημαντική επίδραση στην καμπύλη απόδοσης. Στους καλούς αντιστροφείς η εσωτερική κατανάλωση του αντιστροφέα είναι μικρότερη από 1%.

### 3. Leitourgía orisménhVuperfórtishV

Όταν η ισχύς ξεπεράσει το όριο της στην πλευρά του συνεχούς ρεύματος, πρέπει να ληφθούν μέτρα που να εξασφαλίζουν ότι ο αντιστροφέας δεν θα απενεργοποιείται και θα παραμένει ανενεργός μέχρι το πρωί. Θα είναι προτιμότερο, αν ο αντιστροφέας μπορεί να διατηρεί τη λειτουργία του διαθέτοντας ένα όριο ισχύος. Αυτό πραγματοποιείται μετακινώντας το σημείο λειτουργίας μακριά από το σημείο μέγιστης ισχύος προς τις υψηλότερες τάσεις.

### 4. Leitourgía sto shmeío mégisthViscóoVapó thn pleurá thVhliiakήVgenήtriaV

Οι ηλιακές κυψέλες έχουν μια χαρακτηριστική καμπύλη με ένα προφανές μέγιστο. Για κρυσταλλικά πάνελ, το καλύτερο σημείο λειτουργίας είναι συνήθως σε μια τάση λειτουργίας, η οποία είναι περίπου 20% χαμηλότερη από την τάση ανοιχτοκύκλωσης. Καθώς η πυκνότητα της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή, η τάση της ηλιακής γεννήτριας που αντιστοιχεί στο μέγιστο σημείο ισχύος ( $V_{mp}$ ), εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία της ηλιακής κυψέλης. Η τάση  $V_{mp}$  πέφτει περίπου 0.4% για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας σε Kelvin. Καθώς η θερμική χρονική σταθερά για το ηλιακό πάνελ είναι εννιά με δέκα λεπτά, η προσαρμογή στο σημείο μέγιστης λειτουργίας δεν χρειάζεται να επαναλαμβάνεται πολύ συχνά, περίπου κάθε τρία λεπτά.

### 5. Parochē hlektrikóu reýmatoVtwn hlektronikón eswterikóu elégcou apó thn pleurá thVhliiakήVgenήtriaV

Κατά τη διάρκεια της νύχτας, ο αντιστροφέας δεν πρέπει να καταναλώνει οποιοδήποτε ποσό ισχύος από το δίκτυο. Τα ηλεκτρονικά ισχύος ελέγχου δεν πρέπει να θέτονται σε λειτουργία έως ότου η τάση της ηλιακής γεννήτριας να ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο το πρωί.

### 6. Antochē tou antistrofēa se sunqήkeVbracukókl wshVkai anoiktokókl wshV

Ο αντιστροφέας δεν πρέπει να καταστρέφεται αν το δίκτυο αποσυνδεθεί ενώ υφίσταται η τάση της Φ/Β γεννήτριας. Το αίτημα αυτό είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί, επειδή όταν το δίκτυο ξαφνικά αποσυνδεθεί, η αποθηκευμένη ενέργεια στα πηνία και τις

χωρητικότητες δεν μπορεί πλέον να διαχυθεί στο δίκτυο αλλά να διασκορπιστεί εσωτερικώς. Αυτή η κατάσταση δύναται να συμβεί αν ο διακόπτης κλείσει αμέσως στον αντιστροφέα κατά τη διάρκεια λειτουργίας πλήρους φορτίου.

#### 7. *Dihl ektrikí dónamh*

Τόσο η είσοδος όσο και η έξοδος του αντιστροφέα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικές στην υπέρταση.

#### 8. *Akoustikó VqóruboV*

Ο ακουστικός θόρυβος θα πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

#### 9. *Autómath aposúndesh apó to díktuo se apókl ish táshVή sucnóthtaV*

Τα ηλεκτρονικά στοιχεία του αντιστροφέα πρέπει να αναγνωρίζουν τα σφάλματα του δικτύου. Εάν υπάρχουν αποκλίσεις από τη συχνότητα ή την τάση του δικτύου, ή διακοπή της μιας φάσης, ο αντιστροφέας πρέπει να αποκόπτεται από το δίκτυο εντός ενός δεδομένου χρονικού πλαισίου. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από τον τύπο του εναλλασσόμενου δικτύου.

#### 10. *Suntel estí ViscóoV cosφ > 0.9*

Ο συντελεστής ισχύος του συστήματος του πελάτη πρέπει να είναι κοντά στη μονάδα. Αυτό εμποδίζει να απορροφάται από το δίκτυο μεγάλη ποσότητα άεργου ισχύος. Αντιστροφεείς με αυτόματη διαμόρφωση πλάτους έχουν συντελεστή ισχύος  $\cos\phi=1$ .

#### 11. *Camhl ó armonikó periecóméno sthn paroché enal l assómenou hl ektrikó rématoV sto díktuo*

Σε ένα ιδανικό αντιστροφέα, η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο θα συνίσταται μόνο από τη θεμελιώδη συχνότητα των 50Hz. Στους πραγματικούς αντιστροφεείς, η ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια διαθέτει ένα δεδομένο περιεχόμενο αρμονικών. Παρόλα αυτά, οι ηλεκτρονικές συσκευές που συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης πρέπει να συμμορφώνονται με τους γενικούς κανονισμούς για τις αρμονικές.

## 12. Σήματα συγχρονισμού.

Οι διασυνδεδεμένοι στο δίκτυο αντιστροφείς δεν πρέπει να ενοχλούνται από χαμηλής συχνότητας σήματα συγχρονισμού. Τα σήματα συγχρονισμού επιβάλλονται από την τάση του δικτύου των 50Hz και δεν πρέπει να προκαλούν καμία σημαντική διακοπή του αντιστροφέα. Αντιθέτως, οι αντιστροφείς δεν πρέπει να μειώνουν τα σήματα συγχρονισμού πάρα πολύ έντονα π.χ. με εσωτερικά φίλτρα.

## 13. Επαρκή Venorgánwsh, apl óVceirismóVapó th crήsh.

Ο χειριστής του διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος πρέπει να μπορεί να αποφαίνεται εάν το σύστημα λειτουργεί σωστά με μια γρήγορη ματιά. Η επίδειξη των ακόλουθων τιμών είναι χρήσιμη για αυτό το σκοπό:

- τάση της ηλιακής ενέργειας
- ένταση της ηλιακής ενέργειας
- ένταση του δικτύου
- κατάσταση μόνωσης της ηλιακής γεννήτριας
- πληροφορίες κατάστασης λειτουργίας

## 14. Μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία.

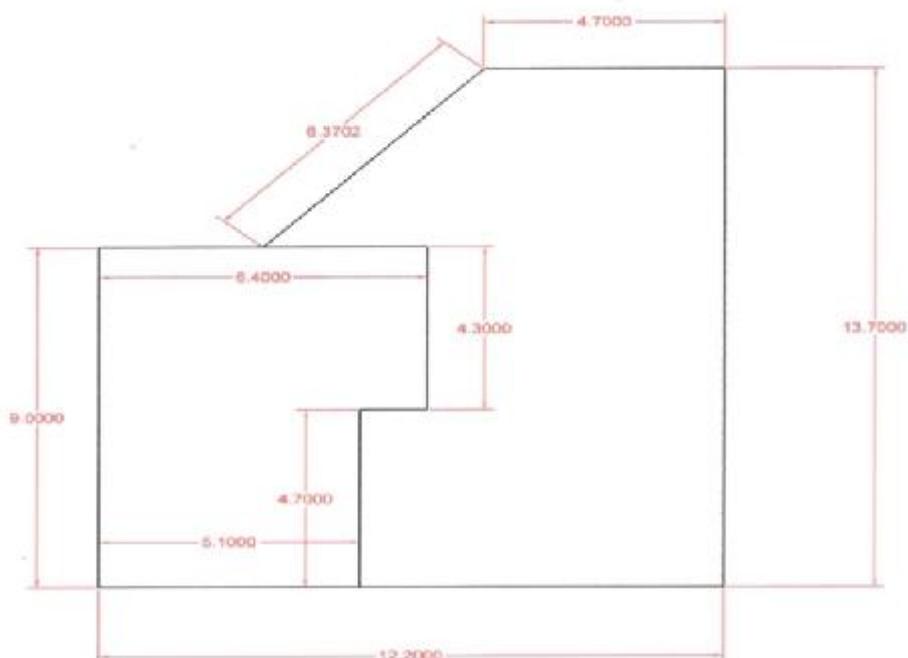
Οι διασυνδεδεμένοι στο δίκτυο αντιστροφείς πρέπει να χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία, καθώς οι περισσότεροι κατασκευαστές Φ/Β πλαισίων προσφέρουν εγγύηση 25 χρόνων σε 80% της αρχικής απόδοσης και εγγύηση 5 χρόνων όσον αφορά τα υλικά και την τεχνική υποστήριξη. Ο ανασταλτικός παράγοντας για μεγάλη διάρκεια ζωής του αντιστροφέα προέρχεται από τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές που χρησιμοποιούνται για απομόνωση της Φ/Β συστοιχίας από το μονοφασικό δίκτυο.

## Κεφάλαιο 5ο: Σχεδιασμός φωτοβολταϊκής εγκατάστασης 10 KWp.

### 5.1 Εισαγωγή

Η εγκατάσταση των Φ/Β πραγματοποιείται στην οροφή μιας οικίας. Το σύστημα θα είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. Η οροφή του κτιρίου έχει εμβαδόν 134.9 m<sup>2</sup>, δεν είναι επίπεδη. Η διαστάσεις της οροφής φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα.

### Κάτοψη οικίας



## 5.2 Μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών

Για την πραγματοποίηση της μελέτης μας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PVSYST. Ο προσανατολισμός τοποθέτησης των πάνελ είναι νότιος. Αρχικά θα μελετήσουμε τη βέλτιστη κλίση των πάνελ ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση και στη συνέχεια, αφού έχουμε βρει τη μέγιστη κλίση, θα κάνουμε δοκιμές για διαφορετικές μάρκες πάνελ και inverter (*panel*: Sanyo, Aleo, Rec και για *inverter*: Sma, Kostral, Danfoss).

### 5.2.1 Εύρεση βέλτιστης κλίσης.

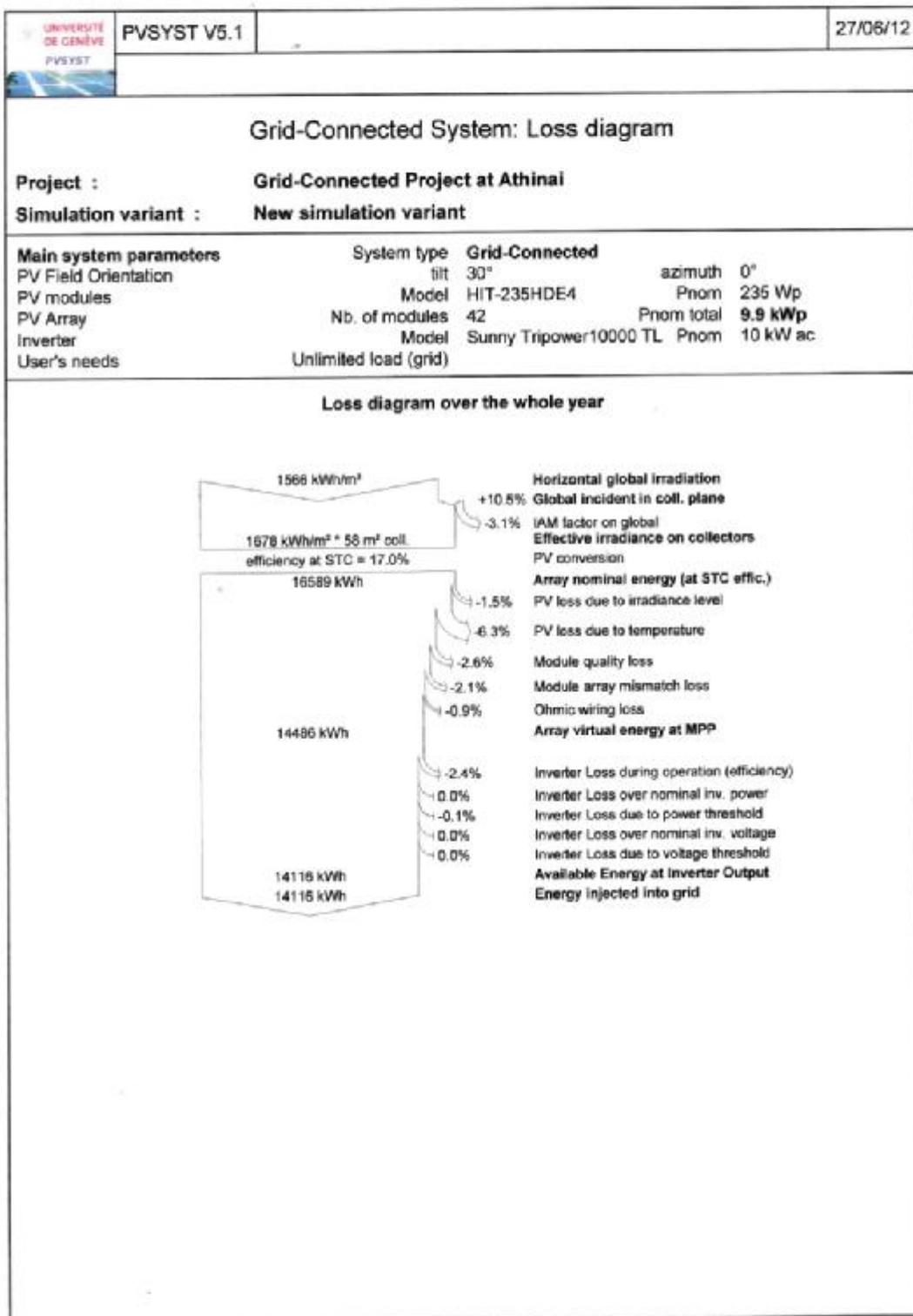
Γνωρίζουμε ότι η βέλτιστη κλίση για νότιο προσανατολισμό είναι 30°, οπότε θα ξεκινήσουμε έτσι και ανάλογα με την ενέργεια που παράγεται και τις απώλειες θα πραγματοποιήσουμε τις αντίστοιχες μετρήσεις.

#### a) Κλίση 30° στο νότιο

Χρησιμοποιούνται πάνελ της Sanyo τύπου HIT-235HDE4, με ονομαστική ισχύ 235Wp, σε συνδεσμολογία 21 σε σειρά και 2 παράλληλα, συνολικά 42 πάνελ και inverter της SMA τύπου Sunny Tripower 10000 TL. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης όπου περιλαμβάνονται και οι απώλειες φαίνονται παρακάτω.

		PVSYS V5.1	27/06/12	Page 1/2
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>				
<b>Project :</b> <b>Grid-Connected Project at Athinai</b>				
<b>Geographical Site</b>	<b>Athinai</b>		<b>Country</b>	<b>Greece</b>
<b>Situation</b>	Latitude	38.0°N	Longitude	23.4°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude	107 m
	Albedo	0.20		
<b>Meteo data :</b>	Athinai, Synthetic Hourly data			
<b>Simulation variant :</b> <b>New simulation variant</b>				
	Simulation date	27/06/12 19h05		
<b>Simulation parameters</b>				
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	30°	Azimuth	0°
<b>Horizon</b>	Free Horizon			
<b>Near Shadings</b>	No Shadings			
<b>PV Array Characteristics</b>				
<b>PV module</b>	HIT	Model	<b>HIT-235HDE4</b>	
	Manufacturer	Sanyo		
Number of PV modules	In series	21 modules	In parallel	2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	42	Unit Nom. Power	235 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>9.9 kWp</b>	At operating cond.	9.1 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	674 V	I mpp	14 A.
Total area	Module area	<b>58.2 m²</b>		
<b>Inverter</b>				
	Model	<b>Sunny Tripower10000 TL</b>		
	Manufacturer	SMA		
Characteristics	Operating Voltage	150-800 V	Unit Nom. Power	10.0 kW AC
<b>PV Array loss factors</b>				
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s) NOCT 56 °C				
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	802 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction	2.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)			

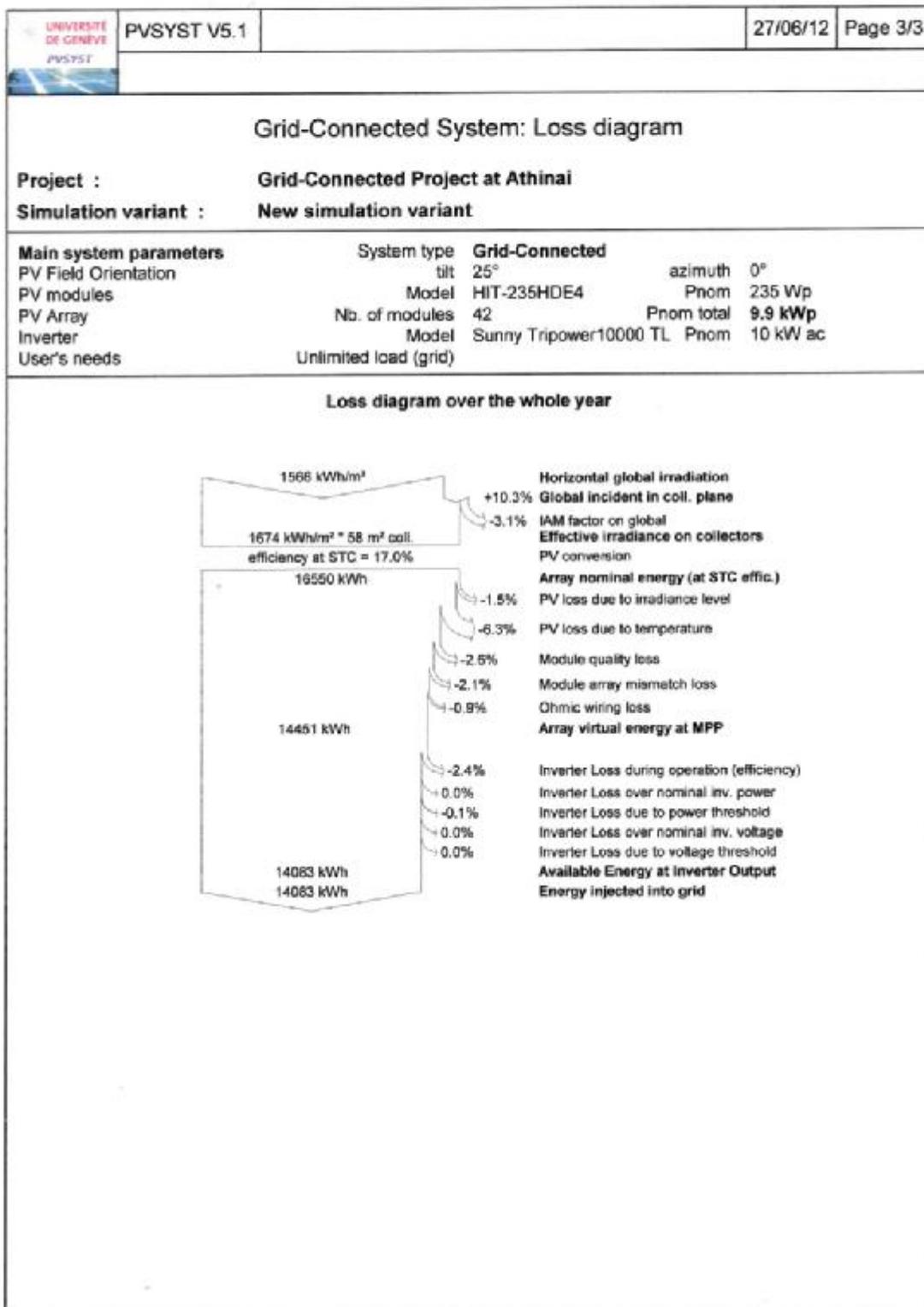




Παρατηρούμε ότι η ετήσια απόδοση του συστήματος είναι 14116 kWh.



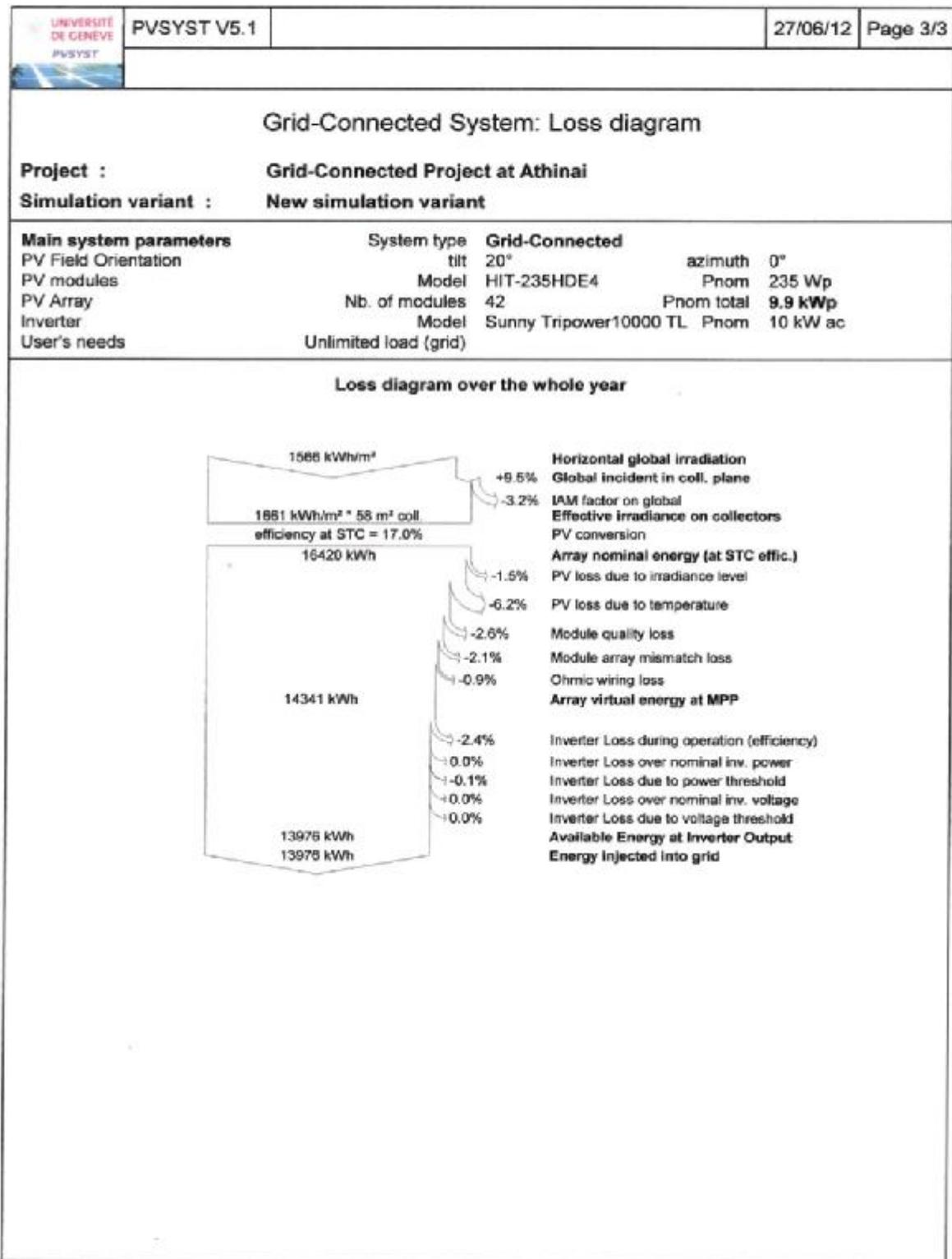




Παρατηρούμε ότι η ετήσια απόδοση του συστήματος είναι 14083 KWh. Φαίνεται ότι για κλίση 25ο η απόδοση του συστήματος είναι μικρότερη απ' ότι για 30ο κατά 33 KWh, ενώ οι απώλειες δεν σημείωσαν αξιόλογη μεταβολή.







Παρατηρούμε ότι για 20ο η ετήσια απόδοση του συστήματός μας είναι 13976 kWh. Φαίνεται πως για τη 20ο έχουμε μικρότερη απόδοση απ' ότι για 30ο κατά 140 kWh, ενώ έχουμε μικρότερη απόδοση και ότι για 25ο κατά 107 kWh.

*Επομένως η βέλτιστη κλίση των πάνελ θα είναι 30ο στο νότο.*

Αφού λοιπόν έχουμε βρεί και την κλίση στην οποία θα κάνουμε την μελέτη μας είναι καλό να έχουμε και μερικά χαρακτηριστικά για τα πάνελ και τους inverter με τους οποίους θα εργαστούμε κ θα έχουμε την μελέτη μας. Παρακάτω φαίνονται μερικά απο τα βασικά χαρακτηριστικά:

## 5.2.2 Tecniká carakthristiká twn inverter pou qa crhsimopoihqούν

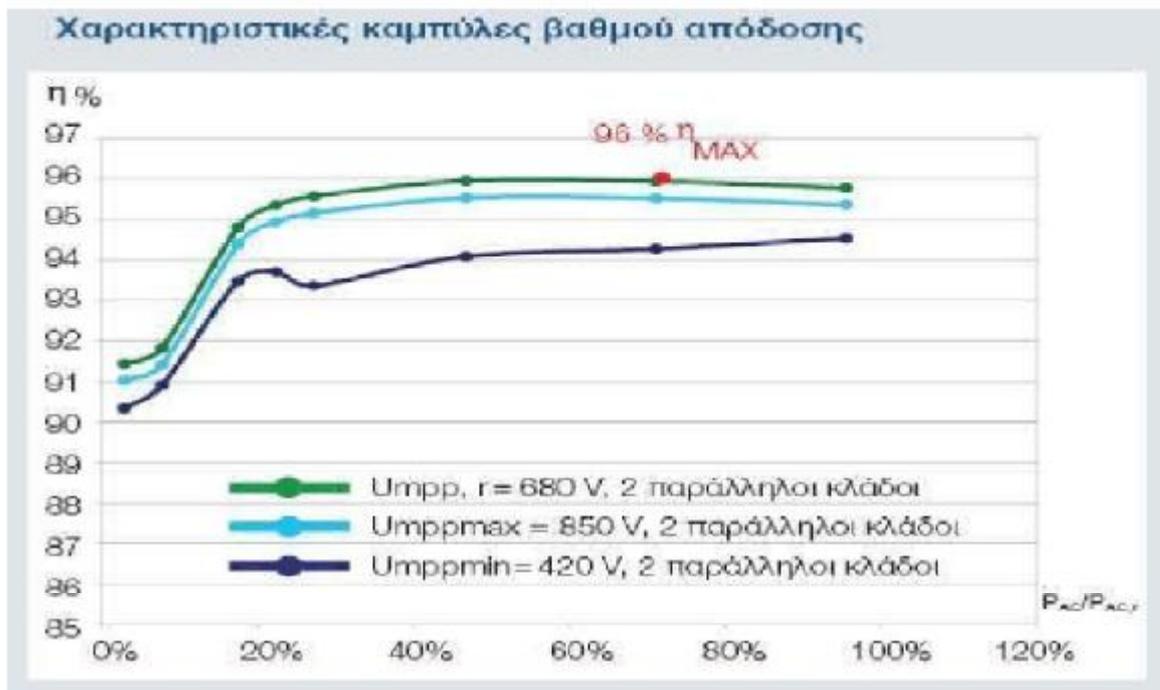
### Tecniká carakthristiká - ΠΙΚΟ 10.1

#### PI eurá eisódou (DC)

Αριθμός εισόδων DC / Αριθμός 3 / 3	
MPP-Tracker	
Μεγ. προτεινόμενη ισχύς DC	11000 W
Μεγ. τάση εισόδου (τάση ανοιχτού κυκλώματος)	950 V
Ελαχ. τάση εισόδου	180 V
Αρχική τάση εισόδου	180 V
Ονομαστική τάση εισόδου	680 V
Μεγ. τάση MPP με ονομαστική 850 V	
ισχύ DC αντιστροφή	
Ελαχ. Τάση MPP $U_{mppmin}$ , με 420 V	
ονομαστική ισχύ DC	
αντιστροφή, σε συμμετρική λειτουργία Multistring, δύο tracker ή παράλληλη λειτουργία	
Διευρυμένη, κάτω περιοχή τάσης 180 V ... $U_{mpp min}$	
MPP, με τμηματική ισχύ αντιστροφή	
Μεγ. προς μεταφορά ποσοστό ισχύος DC στη διευρυμένη περιοχή τάσης MPP	περίπου 70 %
Μεγ. ρεύμα εισόδου	12,5 A
Μεγ. ρεύμα εισόδου σε παράλληλη σύνδεση	25 A

## Πλευρά εξόδου (AC)

Αριθμός φάσεων τροφοδοσίας	3
Τάση δικτύου	3/N/PE, AC 230 V / 400 V
Uacmax, επάνω όριο απενεργοποίησης τάσης	264,5 V (GR)
Uacmin, κάτω όριο απενεργοποίησης τάσης	184 V (GR)
Μεγ. ρεύμα εξόδου ανά φάση	14,6 A
Ονομαστική ισχύς AC	9200 W
Μεγ. ισχύς AC	10100 W (Βέλγιο 10000 W)
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	96%
Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης	95,4 %
Ονομαστική συχνότητα	50 Hz
Ελαχ. Συχνότητα δικτύου fmin, 49,5 Hz (GR) όριο απενεργοποίησης	
Μεγ. συχνότητα δικτύου fmax, 50,5 Hz (GR) όριο απενεργοποίησης	
Απώλεια ενέργειας νύχτα	<1 W
Κατηγορία προστασίας	I
Γαλβανική απομόνωση	Χωρίς μετασχ/στές
Ονομ. Συντελεστής αέργου ισχύος Cos phi	1
Είδος επιτήρησης δικτύου	ENS, Παρακολούθηση 3φάσεων
Προστασία πολικότητας	Δίοδοι βραχυκυκλώματος στην πλευρά DC
Προστασία προσώπων	AFI και παρακολούθηση βραχυκυκλώματος γείωσης
Συνθήκες χρήσης	Εσωτερικό + εξωτερικό
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-20°... 60° C
Μεγ. θερμοκρασία περιβάλλοντος σε Ρονομ	40° C
Μεγ. ατμοσφαιρική υγρασία	0... 95 %
Μέθοδος ψύξης	Ρυθμιζόμενος ανεμιστήρας Ανεμιστήρας 25% ->
Μεγ. θόρυβος	33dB(A) Ανεμιστήρας 50% -> 41dB(A) Ανεμιστήρας 75% .... 100% -> <46dB(A)
Κατηγορία προστασίας IP κατά IEC 60529	IP 55
Τεχνική σύνδεσης πλευράς εισόδου	MC 4
Τεχνική σύνδεσης πλευράς εξόδου	Ελατηριωτή συστοιχία ακροδεκτών
Διαστάσεις (Π*Β*Υ)	520 x 230 x 450 mm <sup>3</sup>
Γείωση	34kg
Σημείο απόζευξης	Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός απόζευκτης



### Τεχνικά χαρακτηριστικά - ΠΙΚΟ 8.3

#### PI ευρά εισόδου (DC)

Αριθμός εισόδων DC / Αριθμός 2 / 2

MPP-Tracker

Μεγ. προτεινόμενη ισχύς DC 8700 W

Μεγ. τάση εισόδου (τάση ανοιχτού κυκλώματος) 950 V

Ελαχ. τάση εισόδου 180 V

Αρχική τάση εισόδου 180 V

Ονομαστική τάση εισόδου 680 V

Μεγ. τάση MPP με ονομαστική 850 V

ισχύ DC αντιστροφή

Ελαχ. Τάση MPP  $U_{mprrmin}$ , με ονομαστική ισχύ DC αντιστροφή, σε συμμετρική 400 V

λειτουργία Multistring, δύο tracker ή παράλληλη λειτουργία Διευρυμένη, κάτω περιοχή τάσης

MPP, με τμηματική ισχύ αντιστροφή 180 V ...  $U_{mprr min}$

Μεγ. προς μεταφορά ποσοστό ισχύος DC στη διευρυμένη περιοχή τάσης MPP περίπου 70 %

Μεγ. ρεύμα εισόδου 12,5 A

Μεγ. ρεύμα εισόδου σε παράλληλη σύνδεση 25 A

## Pleurá exódou (AC)

Αριθμός φάσεων τροφοδοσίας	3
Τάση δικτύου	3/N/PE, AC 230 V / 400 V
Uacmax, επάνω όριο απενεργοποίησης τάσης	264,5 V (GR)
Uacmin, κάτω όριο απενεργοποίησης τάσης	184 V (GR)
Μεγ. ρεύμα εξόδου ανά φάση	12 A
Ονομαστική ισχύς AC	7600 W
Μεγ. ισχύς AC	8300 W
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	96%
Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης	95,3 %
Ονομαστική συχνότητα	50 Hz
Ελάχ. Συχνότητα δικτύου fmin, 49,5 Hz (GR) όριο απενεργοποίησης	
Μεγ. συχνότητα δικτύου fmax, 50,5 Hz (GR) όριο απενεργοποίησης	
Απώλεια ενέργειας νύχτα	<1 W
Κατηγορία προστασίας	I
Γαλβανική απομόνωση	Χωρίς μετασχ/στές
Ονομ. Συντελεστής αέργου ισχύος Cos phi	1
Είδος επιτήρησης δικτύου	ENS, Παρακολούθηση 3φάσεων
Προστασία πολικότητας	Δίοδοι βραχυκυκλώματος στην πλευρά DC
Προστασία προσώπων	AFI και παρακολούθηση βραχυκυκλώματος γείωσης
Συνθήκες χρήσης	Εσωτερικό + εξωτερικό
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-20°... 60° C
Μεγ. θερμοκρασία περιβάλλοντος σε Ρονομ	40° C
Μεγ. ατμοσφαιρική υγρασία	0... 95 %
Μέθοδος ψύξης	Ρυθμιζόμενος ανεμιστήρας Ανεμιστήρας 25% ->
Μεγ. θόρυβος	33dB(A) Ανεμιστήρας 50% -> 41dB(A) Ανεμιστήρας 75% .... 100% -> <46dB(A)
Κατηγορία προστασίας IP κατά IEC 60529	IP 55
Τεχνική σύνδεσης πλευράς εισόδου	MC 4
Τεχνική σύνδεσης πλευράς εξόδου	Ελατηριωτή συστοιχία ακροδεκτών
Διαστάσεις (Π*Β*Υ)	520 x 230 x 450 mm <sup>3</sup>
Γείωση	33kg
Σημείο απόζευξης	Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός απόζευκτης



**Ιόν**

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

### Tecniká carakthristiká- Danfoss TLX 10k

#### οδιαγραφές:

Ονομαστική ισχύς ΣΡ: 10300 W

Μέγ. συνιστώμενη ισχύς

Φωτοβολταϊκών στην STC1) 11800 Wp

Ονομαστική ισχύς ΕΡ 10000

Μέγ. ισχύς ΕΡ 10000

Μεγ. απόδοση 98 %

Απόδοση Ευρώ 97 %

Νυχτερινή κατανάλωση < 5 W

#### **Τάσει:**

Μέγ. τάση ΣΡ 1000 V

Ονομαστική τάση ΣΡ 700 V

Εύρος τάσης MPP - ονομαστική ισχύς<sup>2</sup>) 430-800 V

Εύρος τάσης ΕΡ 3 · 230 V ± 20 %

Συχνότητα δικτύου 50 ± 5 Hz

#### ΕντάσειV reúmatov:

Μέγ. ένταση ΣΡ 2 · 12 (24) A

Ονομαστική ένταση ΕΡ 3 · 15 A

Μέγιστη ένταση ΕΡ 3 · 15 A

Παραμόρφωση (THD %) < 5%

### Alla carakthristiká:

Διαστάσεις (M, Π, Υ) 700·525·250 mm

Βάρος 35 kg

Επίπεδο ακουστικού θορύβου 56 dB(A)

Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας -25..60°C (>45°C μείωση)

Απόδοση (στατική) MPPT 99.9 %

Απόδοση (δυναμική) MPPT 99.8 %

Λειτουργία υπερφόρτωσης Αλλαγή σημείου λειτουργίας

Επιτήρηση δικτύου Παρακολούθηση τριών φάσεων

IP IP 54

Παρακολούθηση απομόνωσης Τιμή εξαρτώμενη από τη χώρα

Επικοινωνία RS485

Δυνητική ελεύθερη επαφή · 1

Είσοδος αισθητήρα· 2 (θερμοκρασία, ακτινοβολία)

Μετρητής ενέργειας Είσοδος S0

### Perigrafή twv pánel pou qa crhsimopoiηqούν

#### Sanyo HIT-235HDE4:

ΣΑΝΥΟ είναι μία από τις 15 μεγαλύτερες εταιρείες ηλεκτρονικών στον κόσμο, με εμπειρία που υπερνικά τα 30 χρόνια στον χώρο των φωτοβολταϊκών.

ΣΑΝΥΟ έχει ετήσια παραγωγική δυναμικότητα 565MW σε κυψέλες και 680 MW σε φωτοβολταϊκά διεθνώς και διαθέτει πιστοποιητικά ISO 9001 (ποιότητα) και ISO 14001 (περιβάλλον) και ISO 9001 (ασφάλεια). Με την καινοτομία τεχνολογία της - HIT - η SANYO έχει πετύχει κορυφαία απόδοση (χρησιμοποιώντας ηλιακή ενέργεια 18,6%) και παραγωγή ενέργειας ανά εγκατεστημένο kW. Η τεχνολογία HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer) συνδυάζει ένα κρυσταλλικό wafer με ένα λεπτό στρώμα αμόρφου πυριτίου. Αυτός ο συνδυασμός προσφέρει τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών και έχει ως αποτέλεσμα η απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ να είναι κατά 28% μεγαλύτερη από μέσο όρο της αγοράς. Ο μεικτός συνδυασμός επίσης επηρεάζεται θετικά από τον παραπάνω συνδυασμό. Τα παραπάνω μαρτυρούν ότι τα φωτοβολταϊκά panel της SANYO εγγυώνται υψηλή εγκατεστημένη ισχύ στο μικρότερο διαθέσιμο χώρο και υψηλή παραγωγή ενέργειας σε υψηλές θερμοκρασίες, χαρακτηριστικά που τα καθιστούν ιδανικά για εφαρμογή σε στέγες/οροφές κτιρίων.

Στα φωτοβολταϊκά πάνελ SANYO παρέχεται η εγγύηση του κατασκευαστή τους, διάρκειας πέντε ετών για την κατασκευαστική τους δομή και είκοσι πέντε ετών για την απόδοσή τους (έως 90% για τα πρώτα 10 χρόνια και έως 80% μέχρι τα 25 χρόνια).

**Διαστάσεις Προϊόντος**

Μήκος 798.00 mm

Πλάτος 35.00 mm

Ύψος 1,580.00 mm

Βάρος 15.00 kg

**REC 230AE:**

ποβολταικές γεννήτριες συνεχούς ρεύματος ονομαστικής ισχύος 230Watt με στοιχεία λυκρυσταλλικού πυριτίου, με την εγγύηση και αξιοπιστία της εταιρίας REC GROUP.

Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου πάνελ παρουσιάζονται παρακάτω:

- ΒαθμόV απόδοshV: 13,9%
- QermokrasiakóV suntel estήV: -0,46%/°C
- Diakómansh iscύoV: 0/+5 W
- Eggóhsh proióntoV: 5,25 έτη
- Eggóhsh apódoShV: 90% για 10 έτη, 80% για 25 έτη
- Córa proél eushV: Νορβηγία

**Aleo18/230:**

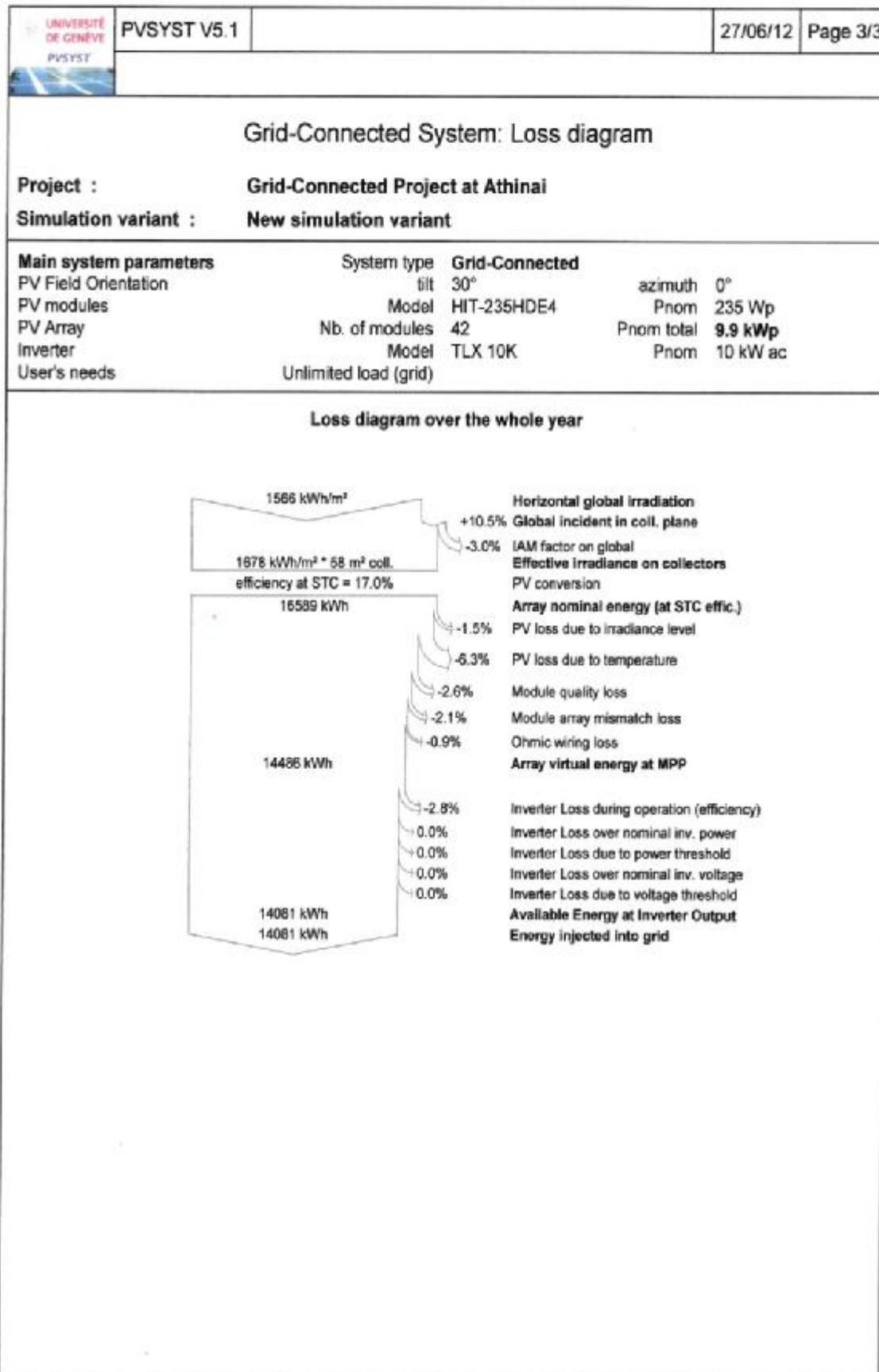
aleo solar AG σχεδιάζει και παράγει υψηλής ποιότητας φωτοβολταϊκά στοιχεία για τη γερμανική και θνή αγορά. Στο Prenzlau του Βρανδεμβούργου η επιχείρηση διατηρεί μία από τις μεγαλύτερες και πιο γχρονες μονάδες παραγωγής στην Ευρώπη. Τα υψηλής ποιότητας φωτοβολταϊκά στοιχεία που ράγονται εκεί διατίθενται στην αγορά κυρίως από τη θυγατρική εταιρεία aleo solar Deutschland GmbH ή την εμπορική επωνυμία aleo. Χάρη στη συνεπή εμπορική στρατηγική η επιχείρηση κατάφερε να θιερώσει με επιτυχία στην αγορά την επωνυμία aleo. Σήμερα εμείς και οι συνεργάτες μας οφελούμαστε από το καλό μας όνομα. Η aleo αποτελεί τον κατάλληλο συνεργάτη για το εξειδικευμένο τόριο. Οι τελικοί πελάτες μπορούν να έχουν πρόσβαση στα προϊόντα μας μόνο μέσα από ένα καλά επτυγμένο δίκτυο συνεργατών. Λειτουργώντας στα πλαίσια του εξειδικευμένου εμπορίου η aleo τάφερε να δημιουργήσει ένα ευρύ πελατολόγιο στη Γερμανία. Αυτό μας φέρνει κοντά στον τελικό άτη και παράλληλα διασφαλίζεται η προβλεπόμενη συναρμολόγηση των συστημάτων μας.

**Διαστάσεις Προϊόντος**

Μήκος	1600.00 mm
Πλάτος	99.00 mm
Ύψος	50.00 mm
Βάρος	21.00 kg







**Prótash1.2**

Χρησιμοποιούνται πάνελ της Sanyo τύπου HIT-235HDE4, με inverter της Kostal τύπου Piko10.1

	PVSYST V5.1	27/06/12	Page 1/3
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>Grid-Connected Project at Athinai</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Athinai</b>	<b>Country</b>	<b>Greece</b>
<b>Situation</b>	Latitude	38.0°N	Longitude 23.4°E
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+2	Altitude 107 m
	Albedo	0.20	
<b>Meteo data :</b>	Athinai, Synthetic Hourly data		
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant</b>		
	Simulation date	27/06/12 20h55	
<b>Simulation parameters</b>			
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt	30°	Azimuth 0°
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	No Shadings		
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	HIT	Model	<b>HIT-235HDE4</b>
	Manufacturer	Sanyo	
Number of PV modules	In series	20 modules	In parallel 2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules	40	Unit Nom. Power 235 Wp
Array global power	Nominal (STC)	<b>9.4 kWp</b>	At operating cond. 8.7 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp	642 V	I mpp 14 A
Total area	Module area	<b>55.4 m²</b>	
<b>Inverter</b>			
	Model	<b>Piko 10.1</b>	
	Manufacturer	Kostal	
Characteristics	Operating Voltage	180-850 V	Unit Nom. Power 9.2 kW AC
<b>PV Array loss factors</b>			
Thermal Loss factor	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind) 0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s)	NOCT 56 °C		
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	764 mOhm	Loss Fraction 1.5 % at STC
Module Quality Loss			Loss Fraction 2.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction 2.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1) bo Parameter 0.05	
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		

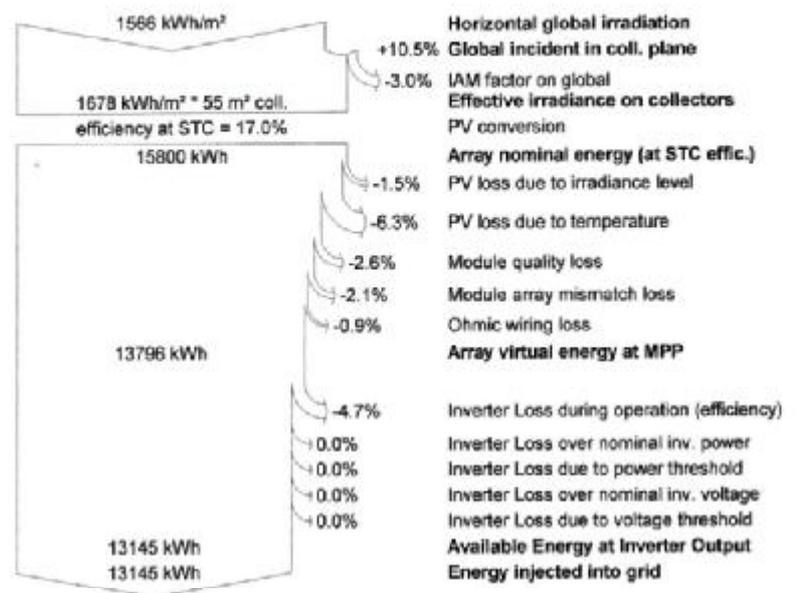


### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** Grid-Connected Project at Athina  
**Simulation variant :** New simulation variant

<b>Main system parameters</b>	System type	Grid-Connected		
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth	0°
PV modules	Model	HIT-235HDE4	Pnom	235 Wp
PV Array	Nb. of modules	40	Pnom total	<b>9.4 kWp</b>
Inverter	Model	Piko 10.1	Pnom	9.2 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)			

#### Loss diagram over the whole year

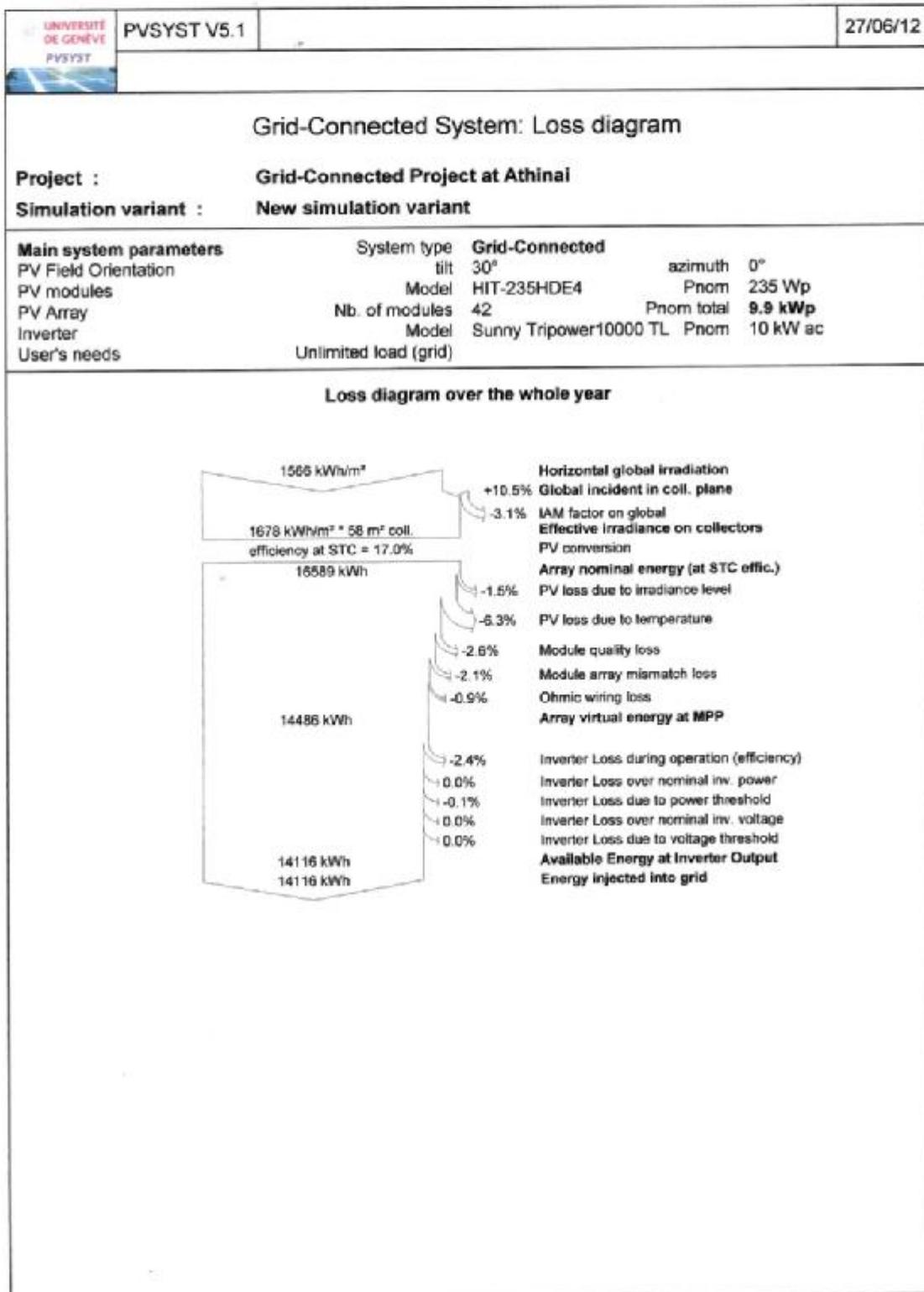


**Próash 1.3**

Χρησιμοποιούνται πάνελ της Sanyo τύπου HIT-235HDE4, με inverter της Sma τύπου Sunny Tripower 10000 TL.

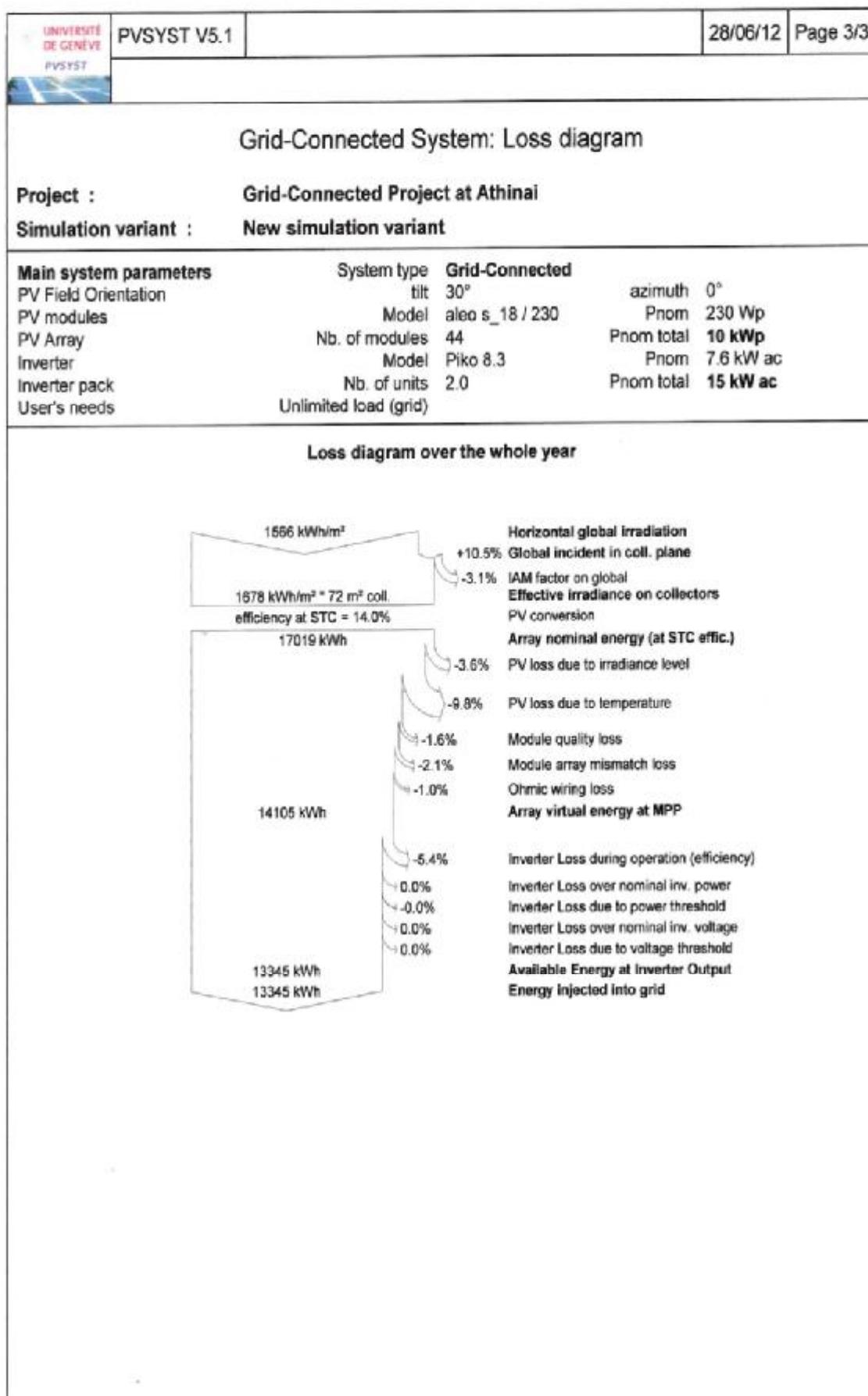
	PVSYST V5.1	27/06/12	Page 1/2
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>			
<b>Project :</b>	<b>Grid-Connected Project at Athinaí</b>		
<b>Geographical Site</b>	<b>Athinaí</b>	<b>Country</b>	<b>Greece</b>
<b>Situation</b>	Latitude 38.0°N	Longitude	23.4°E
Time defined as	Legal Time Time zone UT+2	Altitude	107 m
	Albedo 0.20		
<b>Meteo data :</b>	Athinaí, Synthetic Hourly data		
<b>Simulation variant :</b>	<b>New simulation variant</b>		
	Simulation date 27/06/12 19h05		
<b>Simulation parameters</b>			
<b>Collector Plane Orientation</b>	Tilt 30°	Azimuth	0°
<b>Horizon</b>	Free Horizon		
<b>Near Shadings</b>	No Shadings		
<b>PV Array Characteristics</b>			
<b>PV module</b>	HIT Model <b>HIT-235HDE4</b>		
	Manufacturer Sanyo		
Number of PV modules	In series 21 modules	In parallel	2 strings
Total number of PV modules	Nb. modules 42	Unit Nom. Power	235 Wp
Array global power	Nominal (STC) <b>9.9 kWp</b>	At operating cond.	9.1 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)	U mpp 674 V	I mpp	14 A
Total area	Module area <b>58.2 m²</b>		
<b>Inverter</b>			
	Model <b>Sunny Tripower10000 TL</b>		
	Manufacturer SMA		
Characteristics	Operating Voltage 150-800 V	Unit Nom. Power	10.0 kW AC
<b>PV Array loss factors</b>			
<b>Thermal Loss factor</b>	Uc (const) 20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s NOCT)			56 °C
<b>Wiring Ohmic Loss</b>	Global array res. 802 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
<b>Module Quality Loss</b>		Loss Fraction	2.5 %
<b>Module Mismatch Losses</b>		Loss Fraction	2.0 % at MPP
<b>Incidence effect, ASHRAE parametrization</b>	IAM = 1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
<b>User's needs :</b>	Unlimited load (grid)		















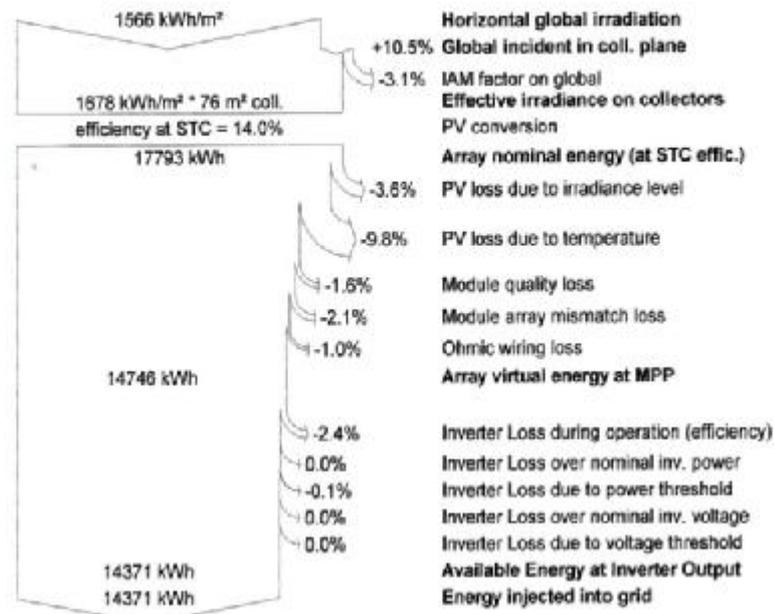
	PVSYST V5.1	28/06/12	Page 3/3
---	-------------	----------	----------

### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** Grid-Connected Project at Athinaí  
**Simulation variant :** New simulation variant

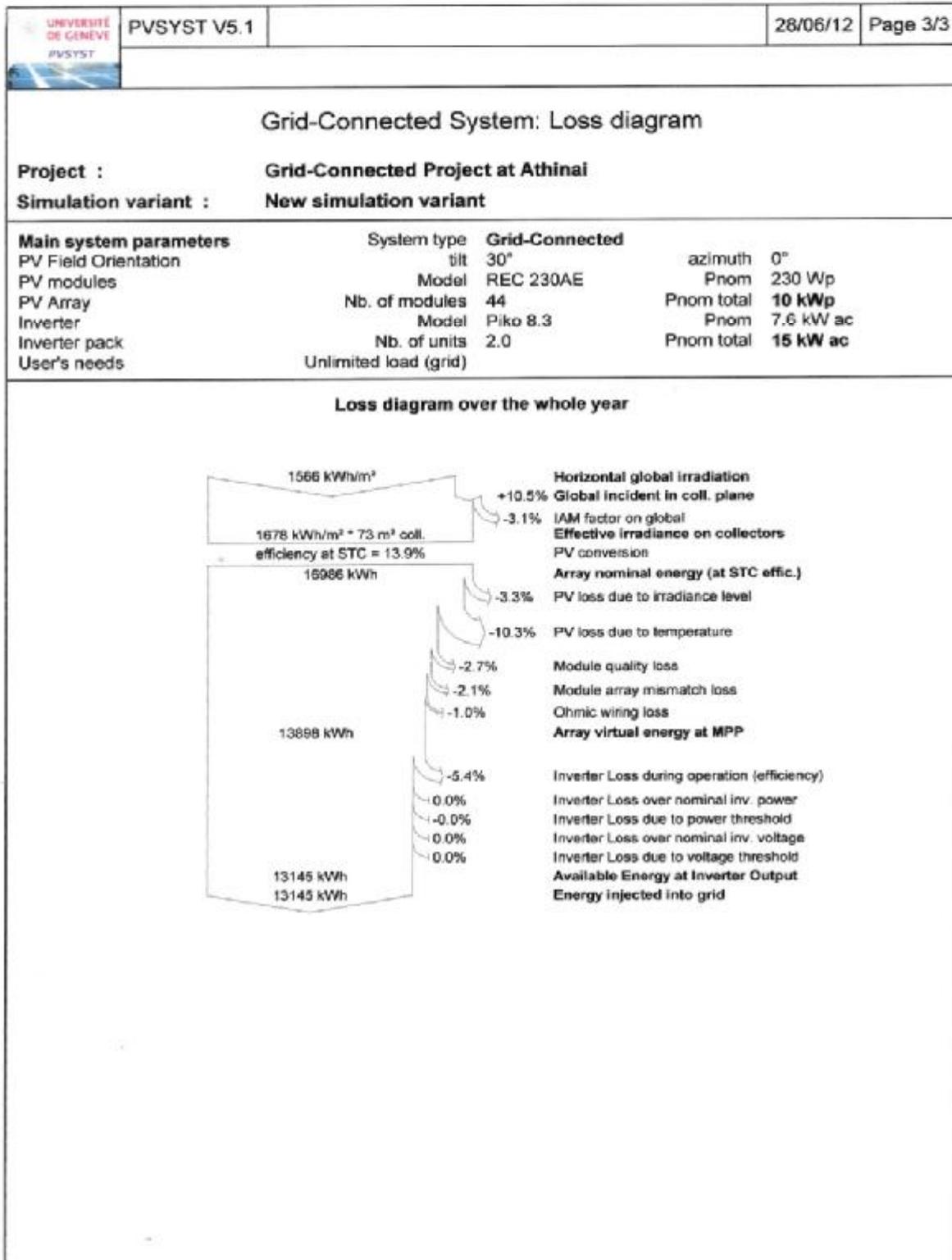
<b>Main system parameters</b>	<b>System type</b>	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation	tilt	30°	azimuth 0°
PV modules	Model	aleo s_18 / 230	Pnom 230 Wp
PV Array	Nb. of modules	46	Pnom total 11 kWp
Inverter	Model	Sunny Tripower10000 TL	Pnom 10 kW ac
User's needs	Unlimited load (grid)		

#### Loss diagram over the whole year



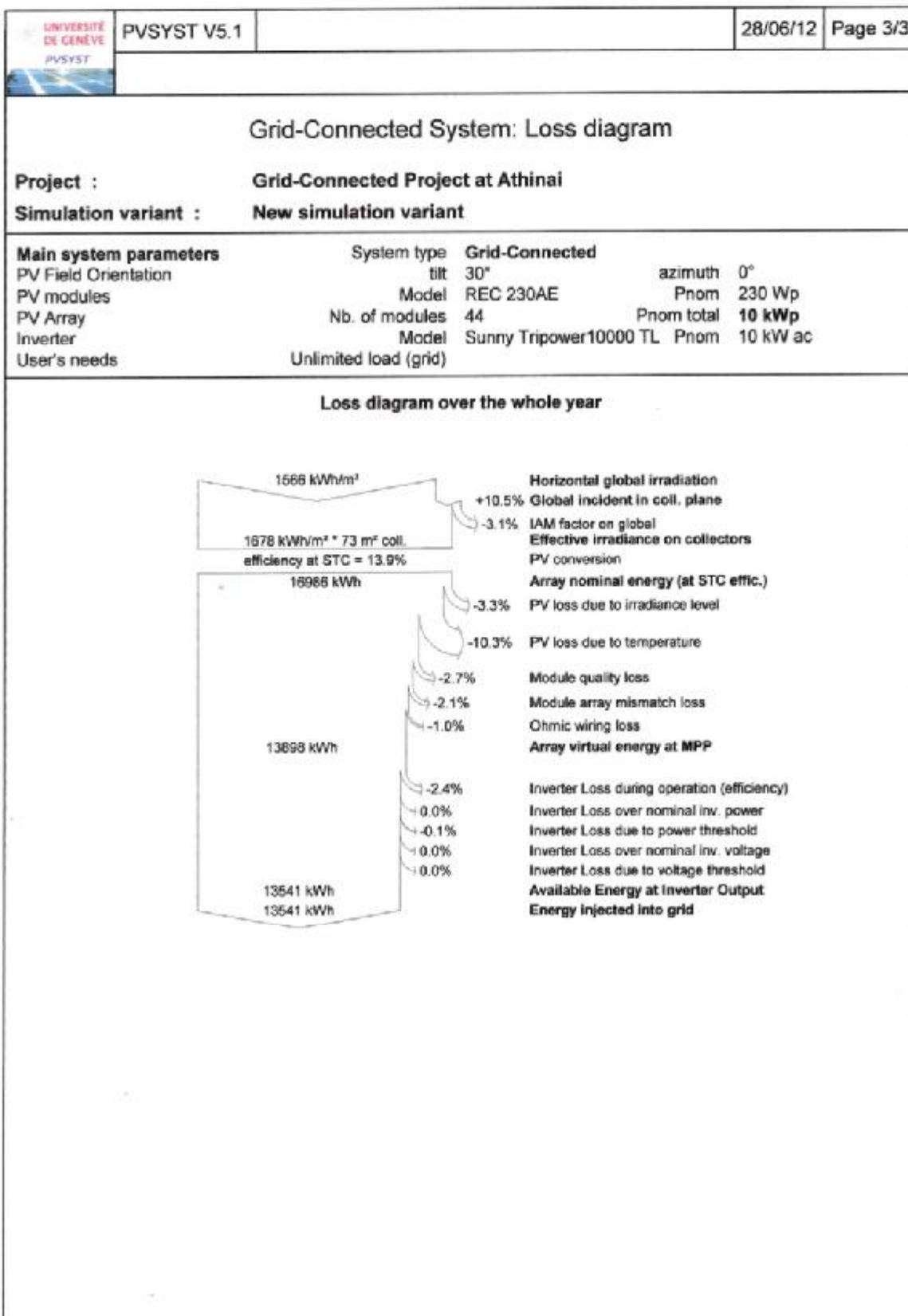












## 5.2.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων

### 5.2.4.1 Συγκεντρωτικοί πίνακες

Πάνελ	Sanyo	Aleo	REC
<b>Inverter</b>	Kostal Pico 10.1	Kostal Pico 8.3	Kostal Pico 8.3
Ισχύς συστήματος KWp	94	10	10
Απόδοση συστήματος KWh	13145	13345	13145
Πάνελ	Sanyo	Aleo	REC
<b>Inverter</b>	SMA STP 10000TL	SMA STP 10000TL	SMA STP 10000TL
Ισχύς συστήματος KWp	99	11	10
Απόδοση συστήματος KWh	<b>14116</b>	<b>14371</b>	<b>13541</b>
Πάνελ	Sanyo	Aleo	REC
<b>Inverter</b>	Danfoss TLX 10000	-	-
Ισχύς συστήματος KWp	99	-	-
Απόδοση συστήματος KWh	14081	-	-

**ΠίνακαV 1:** Συγκεντρωτικός πίνακας των παραπάνω προτάσεων.

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι για πάνελ Sanyo με inverter SMA STP 10000TL, πάνελ Aleo με inverter SMA STP 10000TL και για πάνελ Sanyo με inverter Danfoss TLX 10000 μπορούμε να έχουμε τη μέγιστη απόδοση του συστήματος.

*ΌμωV σύμφωνα με τον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα για panel Aleo και inverter SMA STP 10000TL έcoume th μέγιστη δυνατή απόδοση με 14371 KWh ετησίωV και ισχύ συστήματος 11 KWp που είναι κοντά και χεpernoύν el άcιστα ti 10 KWp που qέλ oume.*

	Μοντέλο:	Rec	Aleo s_18/230	Sanyo HIT-N235SE10
Panel	Τύπος: Κλίση:	poly crystalline 25°	poly crystalline 25°	mono crystalline - thin film 25°
Inverter		Kostal Piko 8.3	Kostal Piko 8.3	Kostal Piko 10.1
Μοντέλο:Ισχύς συτήματος KWp :		10	10	9.4
Απόδοση συστήματος (KWh) *:		13145	13345	13145
Ετήσια Απόδοση (€) *:		5.504,40 €	5.584,15 €	7.444,25 €
Κόστος Φ/Β συστήματος		13.260,00 €	11.700,00 €	20.295,00 €
Inverter		SMA STP 10000TL	SMA STP 10000TL	SMA STP 10000TL
Μοντέλο:Ισχύς συτήματος KWp :		10	11	9.9
Απόδοση συστήματος (KWh)		13541	14371	14116
Ετήσια Απόδοση (€) *:		5.636,40 €	5.717,80 €	7.611,45 €
Κόστος Φ/Β συστήματος		14.060,00 €	12.500,00 €	21.095,00 €
Inverter				Danfoss TLX 10000
Μοντέλο:Ισχύς συτήματος KWp :				9.9
Απόδοση συστήματος (KWh) *:				14081
Ετήσια Απόδοση (€) *:				7.592,75 €
Κόστος Φ/Β συστήματος				20.795,00 €

\* : για το πρώτο έτος.

**Πίνακας 2:** Συγκεντρωτικός πίνακας που περιλαμβάνει ισχύ συστήματος, απόδοση συστήματος, ετήσια απόδοση και κόστος Φ/Β συστήματος.

**5.2.4.2 Εικόνη Έγκατες Ημάνων φwtοβολ ταίκόν:**





### 5.3 ΠαρατήρησιV

Σύμφωνα με την προηγούμενη ενότητα που αφορούσε τη μελέτη μας, παρατηρούμε ότι η μελέτη για πάνελ της Aleo με inverter SMA STP 10000TL πετυχαίνουμε την μέγιστη δυνατή απόδοση του συστήματος και τη μέγιστη ισχύ του συστήματος. Με τα πάνελ της Aleo έχουμε τη δυνατότητα να τοποθετήσουμε περισσότερα, συνολικά 46 έναντι των 42 στις άλλες περιπτώσεις, εξαιτίας του μικρότερου μεγέθους τους. Ακόμα με τη χρήση αυτών έχουμε το μικρότερο θερμοκρασιακό συντελεστή απ' όλα τα άλλα κι έτσι επηρεάζονται λιγότερο από τη ζέστη. Το κόστος τους όμως είναι πολύ μεγαλύτερο συγκριτικά με τις άλλες δυο περιπτώσεις, εν αντιθέσει με το κέρδος του συστήματος από τη Δ.Ε.Η που είναι πολύ μεγαλύτερο από τις άλλες δύο περιπτώσεις.

Όσον αφορά τη μελέτη για πάνελ της Sanyo με inverter SMA STP 10000TL πετυχαίνουμε καλή απόδοση, όχι τη μέγιστη δυνατή και το κόστος τους είναι αρκετά χαμηλότερο όπως και το κέρδος του συστήματος σε σύγκριση με τη Aleo. Εδώ εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους θα τοποθετηθούν μόνο 42 πάνελ.

Τέλος για τη μελέτη με πάνελ της Sanyo με inverter Danfoss TLX 10000 πετυχαίνουμε περίπου την ίδια απόδοση με της Sanyo και λίγο χαμηλότερα όπως και το κέρδος του συστήματος. Και σε αυτήν την περίπτωση, αν επιλεγθεί, θα τοποθετηθούν 42 πάνελ.

- Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, " Φωτοβολταϊκά Συστήματα", Εκδόσεις ΖΗΤΗ (Θεσσαλονίκη)
- Θ.Ζαχαρίας, " Ήπιες Μορφές Ενέργειας 1", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών (2008)
- Θ.Ζαχαρίας, " Ήπιες Μορφές Ενέργειας 2", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών (2008)
- [www.wikipedia.gr](http://www.wikipedia.gr)
- [www.Hsb.gr](http://www.Hsb.gr)
- [www.photovoltaic.gr](http://www.photovoltaic.gr)
- [www.ecodrasis.gr](http://www.ecodrasis.gr)
- [www.solar-systems.gr](http://www.solar-systems.gr)
- [www.aenaon.net](http://www.aenaon.net)
- [www.φωτοβολταϊκά.com](http://www.φωτοβολταϊκά.com)
- [www.fotovoltaika.erdgas.gr/index.php](http://www.fotovoltaika.erdgas.gr/index.php)
- [www.sunairpower.gr](http://www.sunairpower.gr)