

ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ ΣΧΟΛΗ ΣΤΕ
ΤΜΗΜΑ:ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ



**«Σχεδίαση φωτοβολταϊκού συστήματος για οικία 200 τ.μ. που είναι
συνδεδεμένη στο δίκτυο της ΔΕΗ»**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:ΝΤΑΦΛΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ
:ΓΚΑΒΟΣ ΗΛΙΑΣ

Διδάσκων:ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ

Πάτρας 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
Περιγραφή θέματος – Άξονας εργασίας	4
Μεθοδολογία	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	6
1.1 Ηλιακή ακτινοβολία	6
1.1.1 Γενικά	6
1.1.2 Ολική, άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία	7
1.1.2.1 Υπολογισμός άμεσης, διάχυτης και ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτουν σε μια επιφάνεια	8
1.1.3 Το ηλιακό δυναμικό στην Ελλάδα	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	12
2.1 Αδειοδότηση Φωτοβολταϊκού συστήματος και τιμή πώλησης της KWH.....	12
2.2 Νομοθεσία	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	17
3.1 Ιστορική αναδρομή φωτοβολταϊκού συστήματος	17
3.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	19
3.2.1 Ημιαγωγοί	19
3.2.2 Τρόπος λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου	21
3.2.3 Ηλεκτρικές ιδιότητες φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	24
3.2.3.1 Ηλεκτρική συμπεριφορά φωτιζόμενου φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	24
3.2.3.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου	24
3.2.3.3 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου	25
3.2.4.4 Ισοδύναμο κυκλωματικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	28
3.3 Μονάδες φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	29
3.3.1 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	31
3.3.1.1 Υπολογισμός απόδοσης ηλιακής κυψέλης	35
3.3.1.2 Τρόπος σύνδεσης φωτοβολταϊκών στοιχείων	37
3.3.1.3 Φωτοβολταϊκή συστοιχία	39
3.3.1.4 Δομή φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	40
3.3.1.5 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	41
3.3.1.6 Προβλήματα φωτοβολταϊκών στοιχείων του πλαισίου και διατάξεις προστασίας της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων	41
3.3.2 Αντιστροφέας τάσης (Inverter)	42
3.3.2.1 Αντιστροφείς τροποποιημένου και καθαρού ημιτόνου	43
3.3.2.2 Κατηγορίες αντιστροφέων	45
3.3.2.3 Χαρακτηριστικά αντιστροφέων.....	52
3.3.2.4 Διασύνδεση με το δίκτυο.....	54
3.3.2.5 Συμπεριφορά του αντιστροφέα κατά την υπερφόρτωση	56
3.3.2.6 Επιλογή μετατροπέα τάσης DC-AC	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	58
4.1 Προσανατολισμός και διάταξη φωτοβολταϊκού πλαισίου	58
4.1.1 Προσανατολισμός	58

4.1.2 Διάταξη – Υπολογισμός απόστασης μεταξύ γειτονικών πλαισίων	60
4.2 Υπολογισμός του αριθμού πλαισίων φωτοβολταϊκού συστήματος	61
4.3 Ισχύς εξόδου	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	64
5.1 Μελέτη και διαδικασία εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος 30KW για οικία 200 τμ διασυνδεδεμένης στο δίκτυο της ΔΕΗ	64
5.1.1 Γενικά χαρακτηριστικά περιοχής του Ρίου Πατρών	64
5.1.2 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά περιοχής του Ρίου Πατρών	65
5.1.3 Σχεδιασμός στέγης της οικίας και προσανατολισμός	67
5.1.4 Χωροθέτηση του συστήματος των 30 kW στη στέγη	68
5.1.4 Ετήσια απόδοση μονάδας	69
5.1.5 Τεχνική περιγραφή μονάδας	71
5.1.5.1 Διαστασιολόγηση της μονάδας	73
5.1.5.2 Εγκατάσταση της μονάδας	74
5.1.6 Οικονομοτεχνική μελέτη	75
5.2 Διαδικασία εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος 30KW για οικία 200 τμ διασυνδεδεμένης στο δίκτυο της ΔΕΗ	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	87
• Παράρτημα Α: Γωνίες υπολογισμού για την άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία	87
• Παράρτημα Β: Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας	89
• Παράρτημα Γ: Αποτελέσματα προγράμματος Sunny Design 2.30.0.R	90
• Παράρτημα Δ: Αίτηση Σύνδεσης φωτοβολταϊκού σταθμού επί κτιρίου ή στεγαστρου ισχύος ≤ 100 kW στο Δίκτυο ΧΤ	91
• Παράρτημα Ε: Χαρακτηριστικά και εγγυήσεις συστήματος μελέτης	95
• Παράρτημα ΣΤ: Οικονομική μελέτη RETScreen PV3 International	112

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια πραγματικά τεράστια πηγή ενέργειας. Μάλιστα, θεωρείται πως η ενέργεια που φτάνει από τον ήλιο στη γη, σε διάστημα μικρότερο της μιας ώρας, θα μπορούσε να καλύψει τις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις για ένα χρόνο, εφόσον βέβαια θα μπορούσε να αξιοποιηθεί. Οι περισσότερες από τις άλλες μορφές Α.Π.Ε., όπως για παράδειγμα η υδροηλεκτρική, η αιολική και ένα μέρος από την ενέργεια των κυμάτων εξαρτώνται/ οφείλονται στον ήλιο.

Η ιστορία των φωτοβολταϊκών έχει την έναρξή της περίπου 150 χρόνια πριν, όταν το 1839, ο Becquerel διαπίστωσε την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, που προκύπτει ως το αποτέλεσμα συγκεκριμένων χημικών αντιδράσεων και του ηλιακού φωτός. Ένα παρόμοιο φαινόμενο παρατηρήθηκε και στο σελήνιο, ένα δηλαδή στερεό σώμα, μετά το πέρασμα αρκετών δεκαετιών. Ωστόσο η πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των φαινομένων αυτών πραγματοποιήθηκε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα, καθώς τότε αναπτύσσεται αρκετά η επιστήμη, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται και η κβαντική θεωρία. Μάλιστα, η ανάπτυξη της πρώτης στερεής συσκευής πραγματοποιήθηκε τη δεκαετία του 1940 και ήταν αυτή που άνοιξε το δρόμο για την ανακοίνωση της πρώτης ηλιακής κυψέλης πυριτίου με απόδοση 6 % (1954).

Η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά είναι αξιόπιστη, δεν περιλαμβάνει κινούμενα μέρη και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι πολύ χαμηλό. Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών είναι αθόρυβη, ενώ ταυτόχρονα δεν μολύνουν το περιβάλλον. Τέλος, η ενέργεια παράγεται εκεί που χρειάζεται χωρίς να είναι αναγκαίες γραμμές για τη μεταφορά της. Το μεγάλο μειονέκτημα τους είναι το υψηλό αρχικό κόστος τους.

Στην Ελλάδα οι προσπάθειες για ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων άρχισαν το 1985, αλλά εντατικοποιήθηκαν μόλις το 2006, με έναν καινούργιο νόμο που έδωσε κίνητρα για την υλοποίηση επενδύσεων και που απλοποίησε κατά πολύ τις διαδικασίες αδειοδότησης και εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων.

Περιγραφή θέματος – Άξονας εργασίας

Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι η σχεδίαση φωτοβολταϊκού συστήματος για οικία 200 τ.μ. που είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο της ΔΕΗ.

Για το σκοπό αυτό, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή της ηλιακής ακτινοβολίας και του τρόπου υπολογισμού της ηλιακής ακτινοβολίας (άμεσης και έμμεσης) που προσπίπτει σε μια οριζόντια και μια κεκλιμένη επιφάνεια, όπως είναι για παράδειγμα η επιφάνεια ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου. Τέλος, παρουσιάζεται ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η αδειοδοτική διαδικασία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται η ελληνική νομοθεσία που αφορά στις συγκεκριμένες επενδύσεις.

Στο τρίτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται η αναλυτική περιγραφή της ιστορίας ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών, επεξηγείται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και τέλος περιγράφονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα και οι μονάδες από τις οποίες αποτελούνται.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσονται οι απαραίτητες θεωρητικές εξισώσεις υπολογισμού για το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και πιο συγκεκριμένα οι εξισώσεις προσανατολισμού, διάταξης, αριθμού και απόστασης γειτονικών πλαισίων και τέλος η ισχύς εξόδου ενός τέτοιου συστήματος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια αναλυτική και πλήρης περιγραφή σχεδίαση φωτοβολταϊκού συστήματος για οικία 200 τ.μ. που είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο της ΔΕΗ. Περιγράφονται τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής που θα εφαρμοστεί, αναλύεται η χωροθέτηση και ο σχεδιασμός του συστήματος στη στέγη της οικίας, το κόστος και η απόδοση της μονάδας και ο χρόνος απόσβεσης μιας τέτοιας επένδυσης. Τέλος, περιγράφονται τα στάδια για τη διασύνδεση της μονάδας με τη Δ.Ε.Η.

Στο έκτο κεφάλαιο, η εργασία ολοκληρώνεται με την εξαγωγή των συμπερασμάτων αναφορικά με τη βιωσιμότητα της παραπάνω μονάδας.

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική εξελίσσεται σε δύο κατευθύνσεις. Έτσι λοιπόν, στα τέσσερα πρώτα κεφάλαια είναι καθαρά θεωρητική και στηρίζεται στην βιβλιογραφική επισκόπηση της ελληνικής και των τεχνολογιών των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν είναι τόσο έντυπες, όσο και ηλεκτρονικές, τόσο ελληνικές, όσο και ξένες.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, όπου και περιγράφεται αναλυτικά σχεδίαση φωτοβολταϊκού συστήματος για οικία 200 τ.μ. η χρήση του λογισμικού Ecotect 5.50n, για το σχεδιασμό και τη χωροθέτηση της μονάδας, του λογισμικού Sunny Design της SMA, για τη διαστασιολόγηση και την εγκατάσταση της μονάδας και τέλος, του λογισμικού RETScreen PV3 International και του διαδικτυακού προγράμματος υπολογισμού απόδοσης συστημάτων φωτοβολταϊκών PVGIS με στόχο την οικονομική μελέτη του συγκεκριμένου συστήματος και την μελέτη της ενεργειακής απόδοσής του. Τέλος, γίνεται η χρήση λογιστικού φύλλου Microsoft Office Excel 2007, ώστε να υπολογιστεί ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης του συγκεκριμένου συστήματος φωτοβολταϊκών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

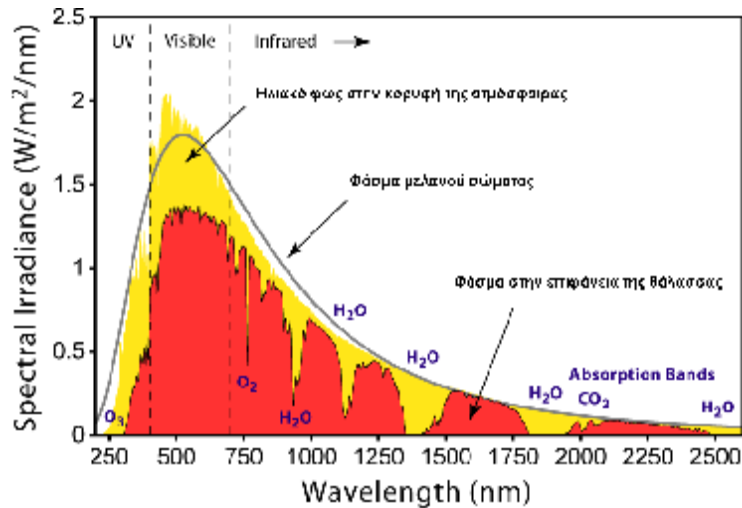
1.1 Ηλιακή ακτινοβολία

1.1.1 Γενικά

Ο ήλιος αποτελεί μια σφαίρα από έχει σαν σύσταση μια πυκνή και καυτή αέρια ύλη διαμέτρου $1,39 \cdot 10^9$ m, που βρίσκεται σε μια μέση απόσταση $1,5 \cdot 10^{11}$ m από την γη. Μάλιστα, για να διανύσει την απόσταση αυτή το φως, με την ταχύτητα των 300.000 km/ sec, απαιτούνται 8,5 min. Ακόμη, ο ήλιος χαρακτηρίζεται από μια ενεργή επιφανειακή θερμοκρασία μέλανου σώματος 5.777 ° K και μια θερμοκρασία στο εσωτερικό, που κυμαίνεται μεταξύ $8 \cdot 10^6$ ° K και $40 \cdot 10^6$ ° K. Τέλος η πυκνότητά του είναι 100 φορές μεγαλύτερη από αυτήν του νερού (Περδίδος 2007).

Η υψηλή θερμοκρασία που χαρακτηρίζει το ήλιο, είναι το αποτέλεσμα των αυτοσυντηρούμενων θερμοπυρηνικών αντιδράσεων, που λαμβάνουν χώρα στο πυρήνα του. Κάθε δευτερόλεπτο $564 \cdot 10^6$ τόνοι υδρογόνου (H) μετατρέπονται σε ήλιο (He). Η μάζα που χάνεται μετατρέπεται σε ενέργεια. Μάλιστα από τη μετατροπή 1gr υδρογόνου σε ήλιο παράγεται ενέργεια ίση με $1,67 \cdot 10^5$ kWh. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν κυρίως με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αλλά και με τη μορφή σωματιδίων. Η σωματιδιακή ακτινοβολία αποτελείται από ηλεκτρισμένα φορτισμένα σωματίδια, ηλεκτρόνια και πρωτόνια, χωρίς ωστόσο η εκμετάλλευσή της να παρουσιάζει ενδιαφέρον. Τέλος, η ηλιακή ακτινοβολία που εκπέμπεται σε 20 min, θεωρείται ίση με την ενέργεια που καταναλώνεται από τον πληθυσμό της γης σε διάρκεια ενός έτους (Περδίδος 2007).

Η διαμόρφωση του φάσματος του φωτός που εκπέμπεται από τον ήλιο, προσαρμόζεται συνήθως με την ακτινοβολία ενός μέλανου σώματος θερμοκρασίας ίσης με 5.800 ° K. Η φασματική κατανομή του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια της γης είναι αποτέλεσμα των εκλεκτικών απορροφήσεων και σκεδάσεων στα συστατικά της ατμόσφαιρας που διασχίζει (Περδίδος 2007). Η κατανομή αυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 1.1 Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας-γράφημα κατανομής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας σε διαφορετικά μήκη κύματος (Tzaminet 2012)

1.1.2 Ολική, άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης, διακρίνεται στην άμεση και στην έμμεση ή διάχυτη ακτινοβολία (Περδίδος 2007):

- **Άμεση ακτινοβολία (I_D):** ορίζεται ως η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης με ελάχιστη ή χωρίς σκέδαση στην ατμόσφαιρα. Μάλιστα, η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία επιφάνεια εξαρτάται από:
 - Την απορρόφηση και διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα,
 - Το ύψος του ήλιου,
 - Το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο του τόπου,
 - Την κλίση της επιφάνειας,
 - Την απόσταση ήλιου – γης και
 - Την απόκλιση του ήλιου.

- **Διάχυτη ή έμμεση ακτινοβολία (I_d):** ορίζεται ως η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης, αφού έχει αλλάξει η διεύθυνσή της είτε λόγω ανάκλασης ή είτε λόγω σκέδασης στην ατμόσφαιρα και λόγω ανάκλασης στην επιφάνεια της γης. Μάλιστα, η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία επιφάνεια εξαρτάται από:
 - Το ύψος του ήλιου,
 - Το υψόμετρο του τόπου,

- ü Το συντελεστή ανάκλασης της επιφάνειας του εδάφους,
- ü Το ποσό και το είδος των νεφών και
- ü Το ποσό και το είδος των σωματιδίων και των αερίων της ατμόσφαιρας.

Τέλος ως ολική ακτινοβολία (I) ορίζεται το άθροισμα της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης. Στην παρακάτω ενότητα περιγράφονται οι εξισώσεις που διέπουν την προσπίπτουσα άμεση, διάχυτη και ολική ακτινοβολία σε μια επιφάνεια.

1.1.2.1 Υπολογισμός άμεσης, διάχυτης και ολικής ακτινοβολίας που προσπίπτουν σε μια επιφάνεια

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια προκύπτει με βάση την παρακάτω σχέση (Kimura 1977, όπως αναφέρεται από την Spyropoulou, 2008):

$$I_{DH} = I_{DN} \sin b \quad (1.1)$$

όπου: I_{DN} : κανονική άμεση ηλιακή ακτινοβολία (W/ m^2), για την οποία ισχύει:

$$I_{DN} = A e^{-B/\sin b} \quad (1.2)$$

όπου: A: Προφανής άμεση κανονική ηλιακή ροή στο εξωτερικό άκρο της ατμόσφαιρας της γης (που εφαρμόζεται από την ASHRAE)

B: Προφανής ατμοσφαιρικός συντελεστής απόσβεσης (που εφαρμόζεται από την ASHRAE)

b: ηλιακό υψόμετρο

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια προκύπτει με βάση την παρακάτω σχέση (Kimura 1977, όπως αναφέρεται από την Spyropoulou, 2008):

$$I_D = I_{DN} \cos J \quad (1.3)$$

όπου: θ : προσπίπτουσα γωνία

Τέλος, η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια προκύπτει με βάση την παρακάτω σχέση (Kimura 1977, όπως αναφέρεται από την Spyropoulou, 2008):

$$I_D = I_{DN} \cos b \cos g \quad (1.4)$$

όπου: γ : επιφάνεια - ηλιακή γωνία αζιμούθιου

Αναφορικά με την διάχυτη ακτινοβολία ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις (Kimura 1977, όπως αναφέρεται από την Spyropoulou, 2008):

Για μια οριζόντια επιφάνεια ισχύει (Kimura 1977, όπως αναφέρεται από την Spyropoulou, 2008):

$$I_{dH} = CI_{DN} \quad (1.5)$$

όπου: C: συντελεστής που εφαρμόζεται από την ASHRAE

Για μια κεκλιμένη επιφάνεια ισχύει (Kimura 1977, όπως αναφέρεται από την Spyropoulou, 2008):

$$I_{dH} = \left(\frac{1 + \cos b}{2} \right) I_{dH} \quad (1.6)$$

Τέλος για μια κάθετη επιφάνεια ισχύει (Kimura 1977, όπως αναφέρεται από την Spyropoulou, 2008):

$$I_d = \frac{I_{dH}}{2} \quad (1.7)$$

Οι αδιάστατοι συντελεστές A, B και C δίνονται από τον παρακάτω πίνακα για διαφορετικές γωνίες κλίσεως και εξισώσεις χρόνου:

Πίνακας 1.1: αδιάστατοι συντελεστές A, B και C για διαφορετικές γωνίες κλίσεως και εξισώσεις χρόνου (Kimura 1977, όπως αναφέρεται από την Spyropoulou, 2008)

	A		B	C	Declination, deg	Equation of Time, hr
	Blu hr · ft ²	W m ²	Dimensionless Ratios			
January	390	1230	0.142	0.058	-20.0	-0.19
February	385	1215	0.144	0.060	-10.8	-0.23
March	376	1186	0.156	0.071	0.0	-0.13
April	360	1136	0.180	0.097	11.6	0.02
May	350	1104	0.196	0.121	20.0	0.06
June	345	1088	0.205	0.134	23.45	-0.02
July	344	1085	0.207	0.136	20.6	-0.10
August	351	1107	0.201	0.122	12.3	-0.04
September	365	1151	0.177	0.092	0	0.13
October	378	1192	0.160	0.073	-10.5	0.26
November	387	1221	0.149	0.063	-19.8	0.23
December	391	1233	0.142	0.057	-23.45	0.03

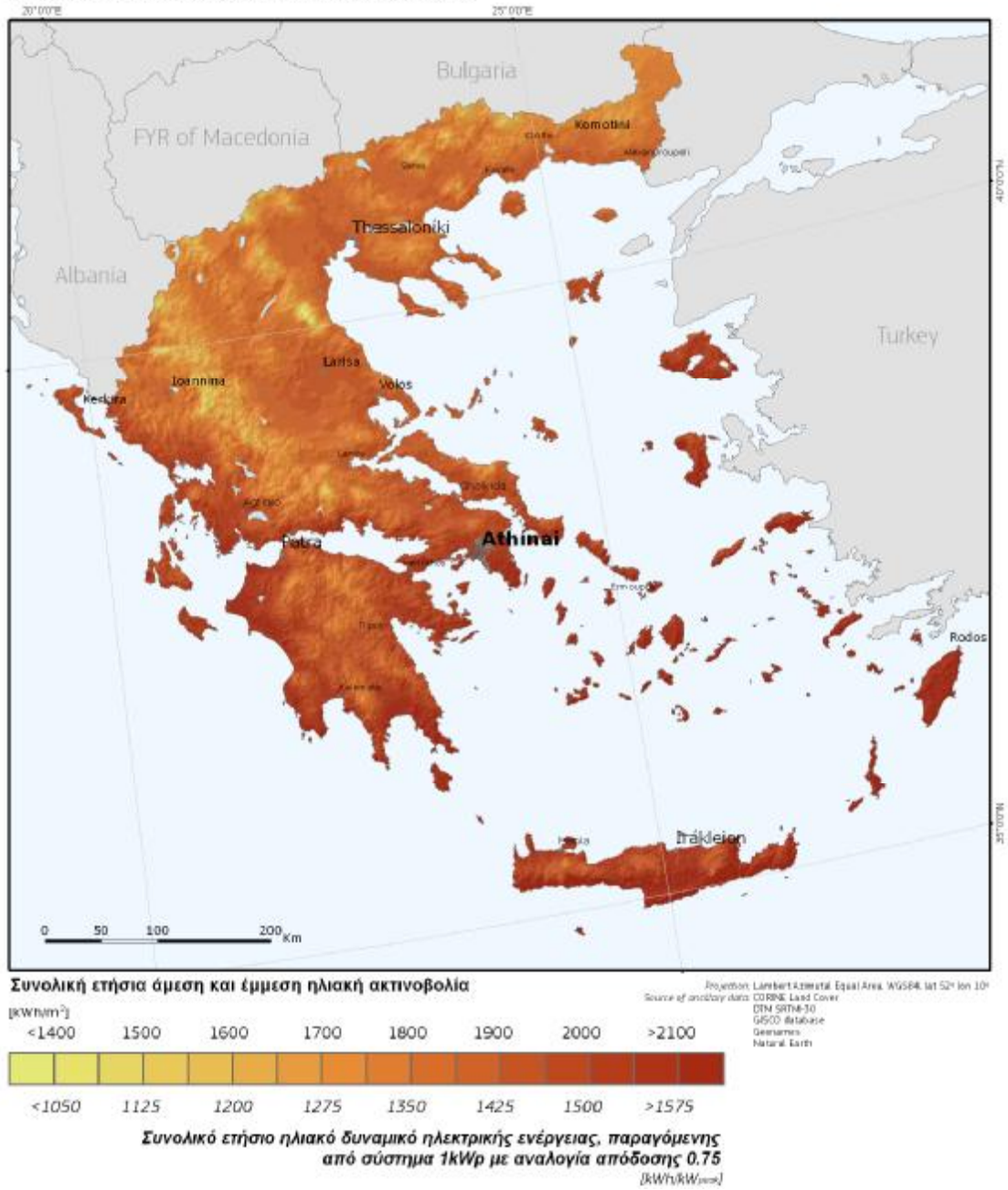
Οι διαφορετικές παράμετροι, όπως είναι η επιφάνεια - ηλιακή γωνία αζιμούθιου, εξηγούνται και αναλύονται στο **Παράρτημα Α**. Τέλος η ολική ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται ως (Kimura 1977, όπως αναφέρεται από την Spyropoulou, 2008):

$$I = I_D + I_d \quad (1.8)$$

1.1.3 Το ηλιακό δυναμικό στην Ελλάδα

Η Ελλάδα αποτελεί μια χώρα, στην οποία η ηλιακή ακτινοβολία διακρίνεται για τη μεγάλη της ένταση, που διαρκεί κατά το μεγαλύτερο διάστημα του έτους. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία και το ηλιακό δυναμικό της χώρας για τη βέλτιστη κλίση φωτοβολταϊκών συστημάτων, που για την Ελλάδα, είναι περίπου 35 °, διαφοροποιούμενη φυσικά από περιοχή σε περιοχή (Institute for Energy and Transport 2012):

Φωτοβολταϊκά συστήματα βέλτιστου προσανατολισμού



Εικόνα 1.2 Συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία και το ηλιακό δυναμικό της χώρας για μια βέλτιστη κλίση φωτοβολταϊκών συστημάτων (Institute for Energy and Transport 2012)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

2.1 Αδειοδότηση φωτοβολταϊκού συστήματος και τιμή πώλησης της KWH

Με βάση το νόμο 3851/2010, οι διαδικασίες που απαιτούνται για την άδεια εγκατάστασης και λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ορίζονται παρακάτω ως εξής (καθώς την παρούσα πτυχιακή απασχολούν μονάχα τα φωτοβολταϊκά σε στέγη και ισχύος μικρότερης των 100 kWp, πραγματοποιείται αναφορά της αδειοδότησης μόνο για τις συγκεκριμένες περιπτώσεις) (Erdgas 2012):

Φωτοβολταϊκά στη στέγη

- Φωτοβολταϊκά στη στέγη ή την ταράτσα <10 kWp:

Προϋποθέσεις:

- Νομιμότητα κτιρίου
- Ιδιοκτησία κτιρίου (ιδιοκτησία ή επικαρπία)
- Ύπαρξη μετρητή κατανάλωσης ρεύματος, που είναι στο όνομα του ιδιοκτήτη
- Κάλυψη μέρους των θερμικών αναγκών, με Α.Π.Ε., όπως η χρήση ηλιακού θερμοσίφωνα

Αδειοδότηση:

- Αίτηση φακέλου σύνδεσης στην τοπική Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. (Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας)
- Υπογραφή συμβολαίου συμψηφισμού της ηλεκτρικής ενέργειας στον πάροχο

Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού συστήματος

- Φωτοβολταϊκά στη στέγη ή την ταράτσα μεταξύ 10-100 kWp:

Προϋποθέσεις:

- Νομιμότητα κτιρίου
- Διαθέσιμος προς χρήση χώρος επί νόμιμα υφισταμένου κτηρίου

Αδειοδότηση:

- Αίτηση φακέλου σύνδεσης στην τοπική Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.
- Προσφορά όρων σύνδεσης από τη Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.
- Υπογραφή όρων σύνδεσης
- Υπογραφή σύμβασης πώλησης με τη Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.

Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού συστήματος:

- Διεκπεραίωση της εγκατάστασης εντός 18 μηνών

ü Οριστικοποίηση τιμής πώλησης

Τέλος και σε ότι αφορά την τιμή πώλησης της kWh για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι 100 kW ορίζονται τα εξής σε κτιριακές στέγες ορίζεται ως εξής (Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2301/οικ.16933 (ΦΕΚ Β' 2317)):

Μήνας / Έτος	Τιμή (€/MWh)
Αύγουστος 2012	250,00
Φεβρουάριος 2013	238,01
Αύγουστος 2013	217,75
Φεβρουάριος 2014	245,81
Αύγουστος 2014	207,95
Φεβρουάριος 2015	198,59
Αύγουστος 2015	189,65
Φεβρουάριος 2016	181,12
Αύγουστος 2016	172,97
Φεβρουάριος 2017	165,18
Αύγουστος 2017	157,75
Φεβρουάριος 2018	150,65
Αύγουστος 2018	143,87

2.2 Νομοθεσία

Η νομοθεσία που αφορά στα φωτοβολταϊκά είναι εκτεταμένη και για το λόγο αυτό δε θα πραγματοποιηθεί λεπτομερής αναφορά της νομοθεσίας της καθώς η ανάλυσή της δεν αποτελεί στόχο της παρούσας πτυχιακής. Ωστόσο, οι νόμοι που διέπουν τα φωτοβολταϊκά παρατίθενται συνοπτικά παρακάτω (Georythmiki 2012):

1) Νομοθεσία:

Ν.4001/2011 "Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις", ΦΕΚ 179Α/22-8-2011

Ενοποίηση των διατάξεων του Ν.3468/2006 όπως τροποποιήθηκαν από τους Ν.3734/2009, Ν.3851/2010, Ν.3889/2010 και λοιπών διατάξεων νόμων

Ν.3851/2010 “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”, ΦΕΚ 85Α/4-6-2010

Ν.3734/2009 “Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις”, ΦΕΚ 8Α/28-1-2009

Ν.3468/2006 “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις”, ΦΕΚ 129Α/29-6-2006

2) Υπουργικές Αποφάσεις:

Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2301/οικ.16933 (ΦΕΚ Β΄ 2317) "Τροποποίηση της απόφασης με αριθμό Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2262/ 31.1.2012 (Β΄97) σχετικά με την τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς"

ΥΑΠΕ/Φ1/14810 "Κανονισμός Αδειών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση ΑΠΕ", ΦΕΚ 2373Β/25-10-2011

ΥΑ 16-2-2011 "Τροποποιήσεις ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα, οικόπεδα και κτίρια", ΦΕΚ

ΥΑ 24839/2010 “Έγγυοδοσία για την υπογραφή Συμβάσεων Σύνδεσης στα δίκτυα διανομής σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. που εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής”, ΦΕΚ 1901Β/3-12-2010

ΥΑ 19598/2010 “Απόφαση για την επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και την κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας”, ΦΕΚ 1630Β/11-10-2010

ΚΥΑ 18513/2010 “Συμπλήρωση του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις”, ΦΕΚ 1557Β’/22-9-2010

ΥΑ 40158/2010 “Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα και κτίρια σε εκτός σχεδίου περιοχές”, ΦΕΚ 1556Β/22-9-2010

ΥΑ 36720/2010 “Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών και σε οικισμούς”, ΦΕΚ 376/6-9-2010

ΚΥΑ 17149/2010 “Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και μέσω Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης στο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και στο Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 12 παρ. 3 του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει, πλην ηλιοθερμικών και υβριδικών σταθμών”, ΦΕΚ 1497Β/6-9-2010

ΚΥΑ 12323/2009 “Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων”, ΦΕΚ 1079Β’/4-6-2009

ΚΥΑ 49828/2008 “Έγκριση ειδικού πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού και αιεφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού”, ΦΕΚ 2464Β/3-12-2008

ΚΥΑ 104247/2006 “Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (Π.Π.Ε.Α.) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.) έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), σύμφωνα με το άρθρο 4 του Ν.1650/1986, όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 2 του Ν.3010/2002” και ΚΥΑ 104248/2006, “Περιεχόμενο, δικαιολογητικά και λοιπά στοιχεία των Προμελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Π.Π.Ε.), των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.), καθώς

και συναφών μελετών περιβάλλοντος, έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.)”, ΦΕΚ 663B/26-5-2006

ΚΥΑ 19500/2004 “Τροποποίηση και συμπλήρωση της 13727/724/2003 κοινής υπουργικής απόφασης ως προς την αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία”, ΦΕΚ 1671B/11-11-2004

3) Εγκύκλιοι:

Εγκύκλιος ΥΑΠΕ/Φ1/οικ.28135 (27-12-2010), “Διευκρινίσεις σχετικά με την προτεραιότητα εξέτασης αιτημάτων για τη χορήγηση προσφορών σύνδεσης από τον αρμόδιο διαχειριστή δικτύου”

Εγκύκλιος ΥΑΠΕ/Φ1/οικ.26928 (16-12-2010), “Εφαρμογή των διατάξεων του ν.3851/2010 σχετικών με την εξέταση αιτημάτων για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας, συμπεριλαμβανομένης της κατηγορίας των επαγγελματιών αγροτών”

Εγκύκλιος 1078580/6637/491/B0014 (6-8-2009), “Φορολογική αντιμετώπιση της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι 10 kWp σε κτιριακές εγκαταστάσεις κατοικιών ή πολύ μικρών επιχειρήσεων”

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1 Ιστορική αναδρομή του φωτοβολταϊκού συστήματος

Η ιστορία των φωτοβολταϊκών ξεκίνησε το 1839, ως μια σύμπτωση, ακριβώς όπως και πολλές άλλες ανακαλύψεις στο παρελθόν και χαρακτηρίζεται από διαφορετικά στοιχεία, πρόσωπα και γεγονότα, που σημάδεψαν την ιστορία των φωτοβολταϊκών. Όλα αυτά περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω. Τα ορόσημα στην ιστορία των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα εξής (Perlin 2002):

- Πριν από 90 χρόνια, το 1921 ο Albert Einstein τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ για την εξήγηση του επίδρασης των φωτοβολταϊκών
- Πριν από 70 χρόνια, το 1941, δομήθηκε το πρώτο μονοκρυσταλλικό ηλιακό κύτταρο πυριτίου
- Πριν από 60 χρόνια, το 1951, κατασκευάστηκαν τα πρώτα ηλιακά κύτταρα γερμανίου

Την περίοδο 1839 έως και 1899 ανακαλύφθηκαν τα βασικά φαινόμενα και οι ιδιότητες των υλικών των φωτοβολταϊκών. Έτσι, το φυσικό φαινόμενο που επιτρέπει μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια, το γνωστό στη σύγχρονη εποχή φωτοβολταϊκό φαινόμενο, ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό, Alexandre Edmond Becquerel. Μέσα από τον πειραματισμό με ηλεκτρόδια μετάλλων και ηλεκτρολυτών ανακάλυψε, ότι η αγωγιμότητα αυξάνεται με τον φωτισμό (Perlin 2002). Ο Willoughby Smith ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στο σελήνιο το 1873. Το 1876, μαζί με τον φοιτητή του Richard E. Day, William G. Adams ανακάλυψε ότι φωτίζοντας μια διασταύρωση σεληνίου και πλατίνας, επίσης παρατηρείται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Αυτές οι δύο ανακαλύψεις, έθεσαν τη βάση για την πρώτη κατασκευή ηλιακών κυττάρων σεληνίου, που πραγματοποιήθηκε το 1877. Ο Charles Fritts περιέγραψε για πρώτη φορά λεπτομερώς τη λειτουργία τους το 1883 (Butti και Perlin 1980).

Ο συγγραφέας της πιο ολοκληρωμένης θεωρητικής εργασίας σχετικά με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ήταν ο Albert Einstein, που περιέγραψε το φαινόμενο το 1904. Η θεωρητική εξήγηση του Αϊνστάιν αποδείχτηκε στην πράξη από το πείραμα Robert Millikan το 1916 (Perlin 2002).

Το 1918, ένας πολωνός επιστήμονας, ο Jan Czochralski, ανακάλυψε μια μέθοδο για την παραγωγή μονοκρυσταλλικού πυριτίου, που επέτρεψε την παραγωγή μονοκρυσταλλικών ηλιακών κυττάρων (Green 2009). Το 1932, παρατηρήθηκε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε σεληνιούχο κάδμιο. Σήμερα, το σεληνιούχο κάδμιο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα υλικά για την παραγωγή ηλιακών κυττάρων (Butti και Perlin 1980). Τα πρώτα ηλιακά κύτταρα μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάστηκαν το 1941 (Green 2009).

Το 1951, κατασκευάστηκαν τα πρώτα ηλιακά κύτταρα γερμανίου. Το 1953, ο Dan Trivich πραγματοποίησε θεωρητικούς υπολογισμούς για την αποδοτικότητα ηλιακών κυττάρων με διαφορετικά υλικά, καθώς και σε διαφορετικά μήκη κύματος του ηλιακού φάσματος (Butti και Perlin 1980). Το 1954, η RCA Laboratories δημοσίευσε μια έκθεση σχετικά με τα αποτελέσματα των φωτοβολταϊκού φαινομένου του σεληνιούχου καδμίου. Τέλος, η Bell's Laboratories δημοσίευσε τα αποτελέσματα της λειτουργίας του ηλιακού κυττάρου με απόδοση 4,5 %, η οποία και αυξήθηκε σε 6 % μέσα σε λίγους μήνες (Perlin 2002).

Το 1955, η Western Electric διατίθεσε προς πώληση εμπορικές άδειες για την παραγωγή ηλιακών κυττάρων, ενώ η Hoffman Electronics-Semiconductor Division εισήγαγε ένα εμπορικό φωτοβολταϊκό προϊόν με απόδοση 2 % με κόστος 25 δολάρια ανά κύτταρο και μέγιστη ισχύ 14 mW. Το 1957, η ίδια εταιρία εισήγαγε ένα ηλιακό κύτταρο με απόδοση 8%, ενώ ένα χρόνο αργότερα παρουσίασε ένα ηλιακό κύτταρο με απόδοση 9% (Perlin 2002). Την ίδια χρονιά παρήχθη το πρώτο ηλιακό κύτταρο πυριτίου, ανθεκτικό στην ακτινοβολία, για να εξυπηρετήσει την διαστημική τεχνολογία (Green 2009). Το 1959, η Hoffman Electronics εισήγαγε εμπορικά διαθέσιμα ηλιακά κύτταρα με απόδοση 10%, ενώ την επόμενη χρονιά παρουσίασε ένα ακόμη ηλιακό κύτταρο με απόδοση 14% (Perlin 2002).

Το 1963, η Sharp Corporation ανέπτυξε το πρώτο χρησιμοποιήσιμο φωτοβολταϊκό πάνελ από πυρίτιο ηλιακά κύτταρα. Το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό σύστημα της εποχής εκείνης, μια μονάδα 242 W, ιδρύθηκε στην Ιαπωνία. Ένα χρόνο αργότερα, το 1964, οι Αμερικανοί εφάρμοσαν μια μονάδα 470 W στο διαστημικό πρόγραμμα Nimbus. Τέλος, το 1969, ο Roger Little ίδρυσε την εταιρεία Spire Corporation, που αποτέλεσε και εξακολουθεί να αποτελεί έναν σημαντικό παραγωγό

εξοπλισμού ηλιακών κυττάρων (Brown 1996). Το 1984, η ARCO Solar παρουσίασε τα πρώτα άμορφο πάνελ, ενώ το 1985, ερευνητές του Πανεπιστημίου της Νέας Νότιας Ουαλίας στην Αυστραλία, κατασκεύασαν ένα ηλιακό κύτταρο με απόδοση άνω του 20%. Τέλος, το 1986, η ARCO Solar εισήγαγε την πρώτη εμπορική μονάδα φωτοβολταϊκών λεπτής μεμβράνης (thin-film) (Butti και Perlin 1980).

Από τότε η εξέλιξη τόσο στην τεχνολογία όσο και τις εφαρμογές των ηλιακών κυττάρων προχώρησε με ταχύτατους ρυθμούς, ενώ παράλληλα αυξήθηκαν οι εταιρείες παραγωγής τους. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από τα φωτοβολταϊκά συστήματα εδραιώθηκε, τόσο μέσα από αυτόνομα συστήματα κάλυψης ενεργειακών αναγκών μικρής κλίμακας όσο και από διασυνδεδεμένα συστήματα διαφορετικών μεγεθών ισχύος (Perlin 2002).

3.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

3.2.1 Ημιαγωγοί

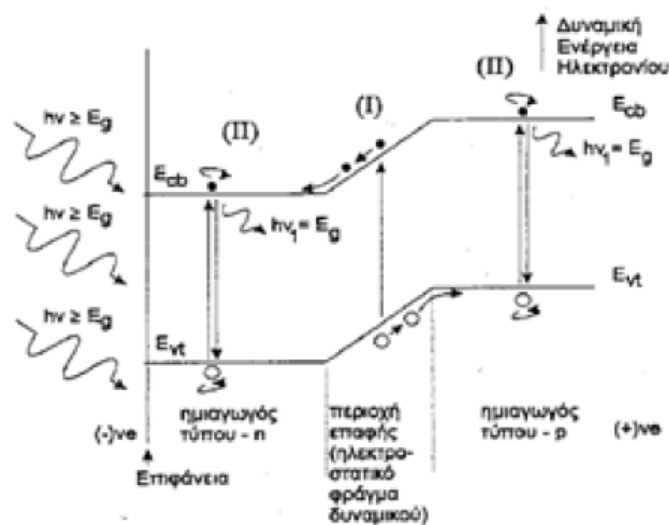
Κάθε στερεό σώμα αποτελείται από άτομα, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από έναν πυρήνα και έναν αριθμό ηλεκτρονίων, που περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα αυτό. Ο πυρήνας είναι θετικά φορτισμένος, ενώ τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο. Μάλιστα, το θετικό φορτίο του πυρήνα είναι ίσο με το αρνητικό των ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια διατάσσονται γύρω από τον πυρήνα σε συγκεντρωτικούς φλοιούς ή στοιβάδες, με τα ηλεκτρόνια που διατάσσονται στην εξωτερική στοιβάδα να ονομάζονται ηλεκτρόνια σθένους. Τέλος, κάθε τέτοιο ηλεκτρόνιο σθένους χαρακτηρίζεται από μια συγκεκριμένη ενέργεια, βρίσκεται δηλαδή σε μια συγκεκριμένη ενεργειακή στάθμη (Περδίδος 2007).

Ηλεκτρική αγωγιμότητα χαρακτηρίζεται η κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα σε ένα σώμα. Ανάλογα με την ηλεκτρική αυτή αγωγιμότητα, τα στερεά σώματα διακρίνονται σε μονωτές, αγωγούς και ημιαγωγούς. Καθώς στην παρούσα ενότητα το ενδιαφέρον εστιάζεται στους ημιαγωγούς παρακάτω περιγράφεται η ηλεκτρική συμπεριφορά των ηλεκτρονίων των ημιαγωγών, που διακρίνει τα ηλεκτρόνια σε τρεις κατηγορίες (Περδίδος 2007):

- Ηλεκτρόνια εσωτερικών στοιβάδων, που είναι τα λιγότερο ενεργά και δε συμμετέχουν σε μηχανισμούς αγωγιμότητας.

- Ελεύθερα ηλεκτρόνια, που διαθέτουν την απαιτούμενη ενέργεια ώστε να αποσπαστούν από τους δεσμούς του σώματος και
- Ηλεκτρόνια σθένους, που αποτελούν τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας των ατόμων και τα οποία μπορούν να κινηθούν προς τις οπές γειτονικών δεσμών, που δημιουργήθηκαν λόγω της εγκατάλειψης των εκεί θέσεων από τα εκεί ηλεκτρόνια σθένους ή λόγω ανταλλαγής θέσεων με άλλα ηλεκτρόνια σθένους γειτονικών δεσμών.

Οι ενεργειακές ζώνες ενός ημιαγωγού φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3.1 Ενεργειακές ζώνες ημιαγωγών (Πανίδης 2009)

Η κάτω ζώνη που ονομάζεται ζώνη σθένους, αποτελεί την ενεργειακή ζώνη των ηλεκτρονίων σθένους. Η άνω ζώνη που ονομάζεται ζώνη αγωγιμότητας, αποτελεί τη ζώνη στην οποία βρίσκονται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, που είναι υπεύθυνα για την εκδήλωση της αγωγιμότητας. Η απόσταση ανάμεσα στις δύο ζώνες ονομάζεται ενεργειακό διάκενο ή ενεργειακό χάσμα (E_g). Το ενεργειακό χάσμα εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους και τη μετατροπή του σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο (Πανίδης 2009).

Τα ηλεκτρόνια σθένους σε έναν ημιαγωγό, μπορούν να απορροφήσουν μια σημαντική ποσότητα φωτός. Η απορρόφηση αυτή εξαρτάται από το μέγεθος της ενέργειας των φωτονίων ($h \cdot \nu$) σε σχέση με το ενεργειακό χάσμα (E_g) του ημιαγωγού. Πιο συγκεκριμένα, διακρίνονται οι εξής τρεις παρακάτω περιπτώσεις (Πανίδης 2009):

- **$h \cdot \nu < E_g$:** στην περίπτωση αυτή το φωτόνιο δεν απορροφάται

- **$h^*v = E_g$** : το φωτόνιο απορροφάται από ένα ηλεκτρόνιο σθένους του ημιαγωγού. Κατά συνέπεια, το ηλεκτρόνιο αποκτά ενέργεια και μεταφέρεται από τη ζώνη σθένους, αφήνοντας εκεί μια οπή, στην ζώνη αγωγιμότητας
- **$h^*v > E_g$** : δημιουργείται και πάλι ένα ζεύγος ηλεκτρονίου – οπής. Η περισσευούμενη ενέργεια $h^*v - E_g$ μεταφέρεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας με τη μορφή κινητικής ενέργειας με αποτέλεσμα να συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασία του αγωγού

Έτσι λοιπόν με βάση όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται πως όταν ένας ημιαγωγός φωτιστεί, τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας και οι οπές στη ζώνη σθένους, που αλλιώς ονομάζονται και φορείς ρεύματος, αυξάνονται με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η αγωγιμότητα του ημιαγωγού. Η αύξηση αυτή της αγωγιμότητας μέσω της επίδρασης του φωτός ονομάζεται φωτοαγωγιμότητα. Τέλος, η διακοπή του φωτισμού του ημιαγωγού οδηγεί στην επιστροφή της αγωγιμότητας στο αρχικό της επίπεδο (Πανίδης 2009).

3.2.2 Τρόπος λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Έστω ότι τα κύτταρα που είναι διαθέσιμα είναι κρυσταλλικού πυριτίου. Το πυρίτιο έχει κάποιες ιδιαίτερες χημικές ιδιότητες στην κρυσταλλική του μορφή. Ένα άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια κατανομημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες. Οι πρώτες δύο, αυτές που είναι πιο κοντά στο κέντρο, είναι συμπληρωμένες (2 και 8). Η εξωτερική όμως έχει μόνο 4 ενώ θα έπρεπε να έχει 8. Γι' αυτό μοιράζεται ηλεκτρόνια με τα γειτονικά του άτομα. Έτσι τα άτομα συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν την κρυσταλλική μορφή του πυριτίου που είναι πολύ σημαντική για τα φωτοβολταϊκά (Σπυροπούλου και Κουγιουρούκης 2005).

Αυτό είναι το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο. Το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, αφού κανένα ηλεκτρόνιο του δεν είναι ελεύθερο να μετακινηθεί όπως τα ηλεκτρόνια στους καλούς αγωγούς σαν το χαλκό. Αντίθετα, τα ηλεκτρόνια του είναι κλειδωμένα στην κρυσταλλική δομή του. Το πυρίτιο σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο τροποποιείται ελαφρά, έτσι ώστε να μπορέσει να δουλέψει σαν φωτοβολταϊκό κύτταρο (Σπυροπούλου και Κουγιουρούκης 2005).

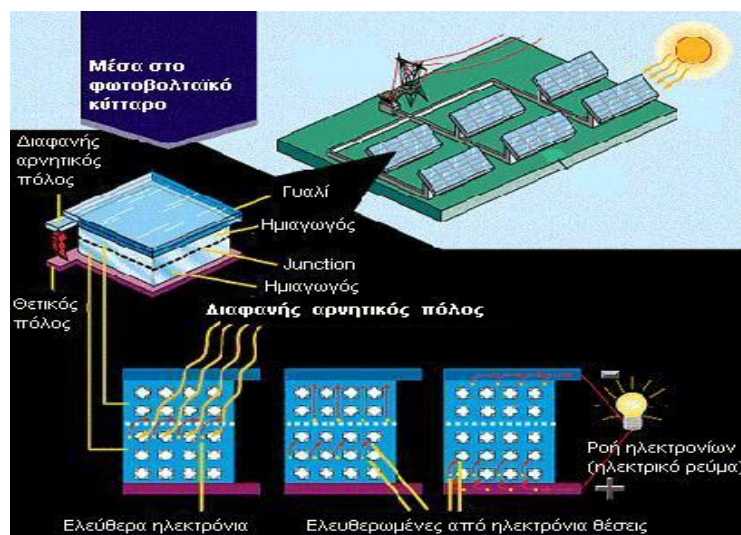
Το φωτοβολταϊκό κύτταρο έχει και άλλα άτομα αναμειγμένα με άτομα πυριτίου, όπως είναι ο φώσφορος που εισάγονται σκόπιμα. Η διαδικασία μίξης ατόμων κρυσταλλικού πυριτίου με άτομα φωσφόρου δημιουργεί πυρίτιο που ονομάζεται πυρίτιο τύπου N (negative, αρνητικό) εξαιτίας της υπεροχής του αριθμού των ηλεκτρονίων και είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος (Σπυροπούλου και Κουγιουρούκης 2005).

Στην πραγματικότητα μόνο ένα μέρος του φωτοβολταϊκού κυττάρου είναι πυρίτιο τύπου N. Το άλλο μέρος είναι ανάμειξη κρυσταλλικού πυριτίου με Βόριο και το οποίο μετατρέπεται σε πυρίτιο τύπου P. Αντί να έχει ελεύθερα ηλεκτρόνια το πυρίτιο τύπου P (positive, θετικό) έχει ελεύθερες θέσεις. Το ενδιαφέρον μέρος αρχίζει όταν τοποθετούνται μαζί πυρίτιο τύπου N και P. Το φωτοβολταϊκό κύτταρο έχει τουλάχιστον ένα ηλεκτρικό πεδίο. Χωρίς ηλεκτρικό πεδίο το κύτταρο δεν θα δούλευε (Σπυροπούλου και Κουγιουρούκης 2005).

Αυτό το πεδίο σχηματίζεται όταν πυρίτιο τύπου N και P έρχονται σε επαφή. Στην ένωση αυτά αναμειγνύονται και σχηματίζουν φράγμα κάνοντας όλο και πιο δύσκολο στα ηλεκτρόνια του πυριτίου τύπου N να περάσουν στο πυρίτιο P. Τελικά επιτυγχάνεται η ισορροπία και προκύπτει ηλεκτρικό πεδίο που χωρίζει τις δύο πλευρές. Το ηλεκτρικό πεδίο λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο, επιτρέποντας (ακόμη και σπρώχνοντας) τα ηλεκτρόνια να περάσουν από το πυρίτιο P στο N αλλά όχι αντίστροφα. Έτσι διαμορφώνεται ηλεκτρικό πεδίο, που λειτουργεί σαν ηλεκτρόδιο στο οποίο τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν σε μια μόνο κατεύθυνση (Σπυροπούλου και Κουγιουρούκης 2005).

Όταν το φως, με μορφή φωτονίων, πέφτει σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο η ενέργειά του ελευθερώνει ηλεκτρόνια και θέσεις. Κάθε φωτόνιο με αρκετή ενέργεια φυσιολογικά θα ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο και θα δημιουργήσει μια κενή θέση. Αν αυτό συμβεί κοντά στο ηλεκτρικό πεδίο ή αν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μια ελεύθερη θέση βρεθούν κοντά το πεδίο θα στείλει το ηλεκτρόνιο στο πυρίτιο N και την κενή θέση στο πυρίτιο P. Αυτό προκαλεί μεγαλύτερη ανισοροπία στην ηλεκτρική ουδετερότητα και αν χρησιμοποιήσουμε μια εξωτερική οδό τα ηλεκτρόνια θα περάσουν μέσα από αυτή για να πάνε στην αρχική τους θέση που το ηλεκτρικό πεδίο απομάκρυνε. Η ροή αυτή των ηλεκτρονίων δημιουργεί το ρεύμα, και το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί την τάση του ρεύματος. Με ρεύμα και τάση έχουμε ηλεκτρικό ρεύμα που είναι παράγωγο αυτών των δύο (Σπυροπούλου και Κουγιουρούκης 2005).

Εικόνα 3.2
 παραγωγής
 ρεύματος από
 φωτοβολταϊκό
 (Charman-



plumbing.co.uk χ.χ.)

Διαδικασία
 ηλεκτρικού
 το
 πλαίσιο

3.2.3 Ηλεκτρικές ιδιότητες φωτοβολταϊκού στοιχείου

3.2.3.1 Ηλεκτρική συμπεριφορά φωτιζόμενου φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από p-τύπου και n-τύπου πυρίτιο συνιστά μια μεγάλης κλίμακας δίοδο πυριτίου. Αν θετικό και αρνητικό δυναμικό παρουσιαστεί στην p-άνοδο και την n-κάθοδο αντίστοιχα, η δίοδος άγει (Περδίδς 2007).

Όταν φως με δεδομένη πυκνότητα ισχύος και δεδομένο φάσμα προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό στοιχείο τότε δημιουργεί σε αυτό ηλεκτρικό ρεύμα I_L , του οποίου η ένταση μένει σταθερή καθώς αλλάζει η ωμική αντίσταση, που είναι συνδεδεμένη στα άκρα του. Έτσι, η λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι ισοδύναμη με εκείνη που θα δημιουργούσε η σύνδεση μιας πηγής σταθερού ρεύματος στα άκρα της δίοδου (Περδίδς 2007).



Εικόνα 3.3 Ισοδύναμο

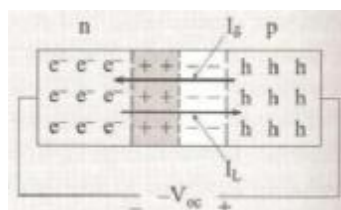
φωτοβολταϊκού στοιχείου όταν προσπίπτει φως και είναι συνδεδεμένο σε ωμική αντίσταση (Περδίδς 2007)

ηλεκτρικό κύκλωμα ενός

3.2.3.2 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

a) Το φωτοβολταϊκό στοιχείο σε ανοιχτό κύκλωμα (Περδίδς 2007):

Στην περίπτωση που το φωτοβολταϊκό στοιχείο βρίσκεται σε ανοιχτό κύκλωμα, τα δύο ρεύματα που κυκλοφορούν μέσα στην επαφή δηλαδή το ρεύμα διάχυσης I_δ και το φωτορεύμα I_L , έχουν αντίθετη φορά και ίσες τιμές: $I_\delta = -I_L$.



Εικόνα 3.4 Φωτοβολταϊκό

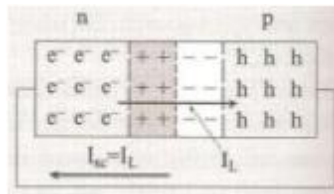
(Περδίδς 2007)

στοιχείο σε ανοιχτό κύκλωμα

b) Το φωτοβολταϊκό στοιχείο σε κλειστό κύκλωμα (Περδίδς 2007):

Αν τα άκρα της επαφής p-n, που φωτίζεται με σταθερή ροή ενέργειας, συνδεθούν μεταξύ τους με ένα χάλκινο σύρμα μεγάλης διατομής (βραχυκύκλωμα) θα περάσει μέσα από το σύρμα ρεύμα ίσο με το φωτορεύμα. Κατά συνέπεια, το ρεύμα βραχυκύκλωσης του στοιχείου I_{SC} , έχει ίση τιμή με I_L : $I_{SC} = I_L$.

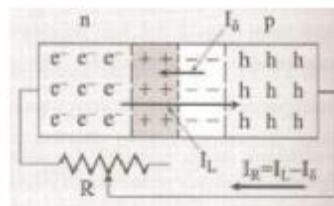
Εικόνα 3.5 Φωτοβολταϊκό
(Περδίας 2007)



στοιχείο σε βραχυκύκλωμα

- ε) Σύνδεση αντίστασης R στα άκρα του φωτοβολταϊκού στοιχείου (Περδίας 2007):
Όταν στα άκρα της φωτιζόμενης επαφής συνδεθεί μια αντίσταση R αυτή θα διαρρέεται από ρεύμα I_R , το οποίο αποτελεί μέρος του φωτορεύματος: $I_R = I_L - I_\delta$.

Εικόνα 3.6 Σύνδεση αντίστασης
στοιχείου (Περδίας 2007)



στα άκρα του φωτοβολταϊκού

3.2.3.3 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Όπως προαναφέρθηκε, όταν μια αντίσταση R συνδεθεί στα άκρα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, διαρρέεται $I_R = I_L - I_\delta$, το οποίο εξαρτάται από το φωτορεύμα και το ρεύμα διάχυσης, δηλαδή από την αντίσταση που συνδέεται στα άκρα της διόδου (Περδίας 2007).

Το ρεύμα I_δ , που ακολουθεί την καμπύλη I-V της διόδου, δίνεται από τη σχέση (εξίσωση Shockley):

$$I = I_S e^{\left(\frac{eV}{n_{id} * K_B * T}\right)} \quad (3.1)$$

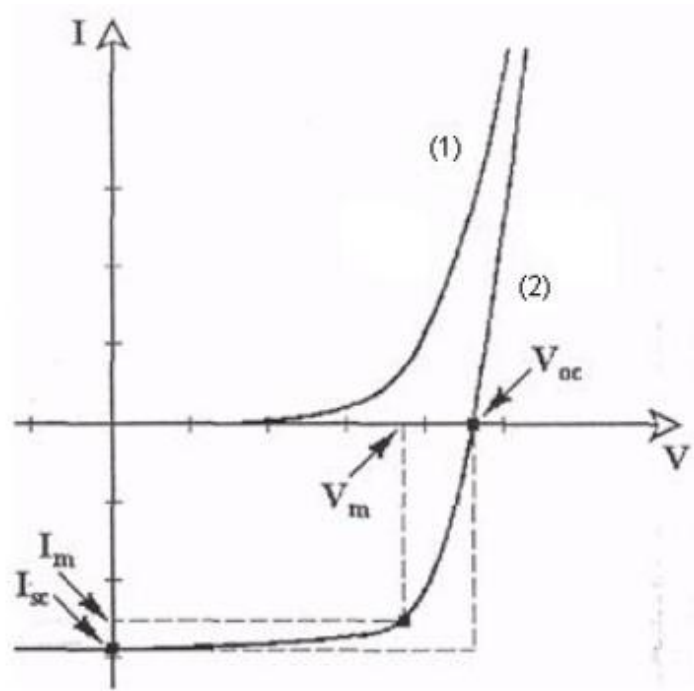
Κατά συνέπεια, η καμπύλη I-V της φωτιζόμενης είναι το άθροισμα δύο καμπυλών, της I-V και της ευθείας $I_{\delta} = -I_L$, του φωτορεύματος, δηλαδή την καμπύλη της πηγής σταθερού ρεύματος. Έτσι το ρεύμα I_R είναι (Περδίας 2007):

$$I_R = I_S \left\{ e^{\left(\frac{eV}{n_{id} * K_B * T}\right)} - 1 \right\} - I_L \quad (3.2)$$

όπου: I_S : ρεύμα κόρου κατά την ανάστροφη πόλωση

K_B : σταθερά Boltzmann

n_{id} : παράγων ιδανικότητας της διόδου



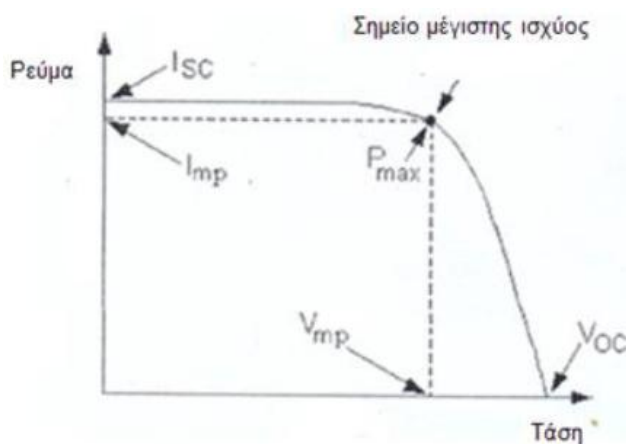
Εικόνα 3.7
καμπύλη I-V
φωτοβολταϊκού
σκοτάδι και

Χαρακτηριστική
ενός
στοιχείου (1) στο
(2) στο φως

(Περδίας 2007)

Η σημαντική περιοχή της καμπύλης βρίσκεται στο τέταρτο τεταρτημόριο, καθώς εκεί το φωτοβολταϊκό στοιχείο συμπεριφέρεται σαν πηγή ενέργειας και παρέχει ενέργεια στον καταναλωτή. Έτσι από όλη την καμπύλη I-V, χρησιμοποιείται

μόνο το τμήμα του τέταρτου τεταρτημόριου και μάλιστα ανεστραμμένο ως προς τις πηγές ρεύματος (Περδίδος 2007).



Εικόνα 3.8 Μεγέθυνση του τμήματος της καμπύλης I-V, που βρίσκεται στο τέταρτο τεταρτημόριο, όπου η επαφή p-n συμπεριφέρεται ως φωτοβολταϊκό στοιχείο (Περδίδος 2007)

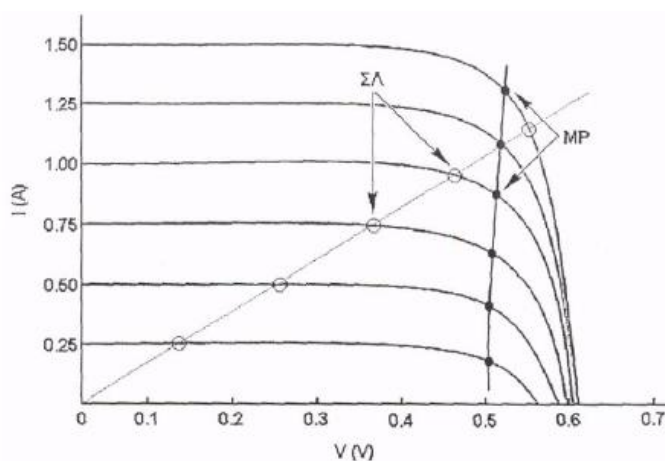
Όταν το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο, η τάση ισούται με το μηδέν και η ένταση του ρεύματος μεγιστοποιείται (I_{SC}). Από την άλλη πλευρά, και όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό, η ένταση είναι αυτή που μηδενίζεται και η τάση αποκτά τη μέγιστη τιμή (V_{OC}). Η χαρακτηριστική καμπύλη ισχύει για την περίπτωση που η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία είναι σταθερή και όταν η αντίσταση του κυκλώματος μεταβάλλεται από μηδέν (βραχυκύκλωμα) μέχρι και άπειρη (ανοιχτό κύκλωμα) (Περδίδος 2007).

Ο υπολογισμός της ισχύος που παρέχεται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του, οδηγεί στη μέγιστη ισχύ κοντά στο σημείο, που αρχίζει η έντονη πτώση του ρεύματος. Κατά συνέπεια, και με στόχο την καλύτερη εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού στοιχείου απαιτείται η προσαρμογή της αντίστασης του καταναλωτή, ώστε η τάση και ρεύμα να αντιστοιχούν στο σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ). Στην περίπτωση αυτή ισχύει (Περδίδος 2007):

$$P_m = I_m * V_m \quad (3.3)$$

Το παραλληλόγραμμο που σχηματίζεται μέσα στην καμπύλη και με πλευρές I_m και V_m έχει εμβαδό ίσο με τη μέγιστη αποδοόμενη ισχύ (Περδίδος 2007).

Όταν όμως η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο φωτοβολταϊκό στοιχείο, που τροφοδοτεί μια ηλεκτρική αντίσταση, αλλάξει, θα μετατοπιστεί και το σημείο λειτουργίας. Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς αποδίδεται στην αντίσταση μόνο για ένα ορισμένο επίπεδο ακτινοβολίας. Για διαφορετικές τιμές η ισχύς θα είναι μικρότερη από την αντίστοιχη μέγιστη ισχύ (Περδίδος 2007).

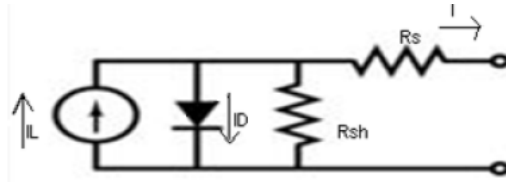


Εικόνα 3.9 Καμπύλες ευθείας φόρτου και μέγιστης ισχύος για διαφορετικές τιμές έντασης ηλιακής ακτινοβολίας (Περδίδος 2007)

Από τις παραπάνω καμπύλες, διαπιστώνεται πως η καμπύλη μέγιστης ισχύος συμπίπτει με την ευθεία φόρτου (μέγιστη ισχύ) μονάχα για τη δεύτερη καμπύλη. Σε όλες τις υπόλοιπες καμπύλες, τα σημεία αυτά δε συμπίπτουν. Για να παρατηρηθεί ταύτιση θα πρέπει να μεταβληθεί η ωμική αντίσταση (Περδίδος 2007).

3.2.3.4 Ισοδύναμο κυκλωματικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το ισοδύναμο κυκλωματικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου αποτελείται από μια πηγή σταθερού ρεύματος που συνδυάζεται με μια ιδανική δίοδο. Περιλαμβάνεται ταυτόχρονα και το μη ιδανικό τμήμα του φωτοβολταϊκού πλαισίου, στο οποίο συμμετέχει η αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του στοιχείου, που είναι συνδεδεμένη παράλληλα, ενώ ταυτόχρονα συμμετέχει και η αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής ρεύματος και που αντιπροσωπεύεται με την σε σειρά με τη δίοδο αντίσταση (Περδίδος 2007):



Εικόνα 3.10

Ισοδύναμο ηλεκτρικού

κυκλώματος του φωτοβολταϊκού στοιχείου (Περδίδος 2007)

Η αντίσταση R_s , που είναι συνδεδεμένη σε σειρά, κυμαίνεται μεταξύ 0,1 Ω και 0,3 Ω , ενώ η τιμή της παράλληλης αντίστασης R_{sh} πρέπει να υπερβαίνει τα $10^3 \Omega$. Τέλος, το ρεύμα που διαρρέει ένα φορτίο που θα συνδεθεί με τα άκρα του παραπάνω κυκλώματος δίνεται από τη σχέση (Περδίδος 2007):

$$I = I_L - I_D - \frac{V}{R_{sh}} \quad (3.4)$$

όπου:

$$I_D = I_o \left\{ e^{\frac{eV}{n_{id} * K_{BT}}} - 1 \right\} \quad (3.5)$$

3.3 Μονάδες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούν υλικά ημιαγωγών, όπως είναι το πυρίτιο, που χρησιμοποιείται και συνηθέστερα από άλλα υλικά ημιαγωγών, ώστε να μετατρέψουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρισμό. Έτσι, μέσω των φωτοβολταϊκών, τα ηλιακά κύτταρα μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φως κατά την απορρόφησή του από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, μεταφέρει ενέργεια στα ηλεκτρόνια, που στη συνέχεια διαφεύγουν και μετατρέπονται σε ηλεκτρικό ρεύμα. Όπως μάλιστα προαναφέρθηκε η ένταση του παραγόμενου ηλεκτρικού αυτού ρεύματος εξαρτάται από το εμβαδόν της επιφάνειας που πραγματοποιείται η συλλογή της ηλιακής ενέργειας και ταυτόχρονα από την περιεκτικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε ενεργά φωτόνια (ADIRA HANDBOOK 2008).

Για το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, προτεραιότητα αποτελεί η απόφαση του λόγου χρήσης του και το είδος των συσκευών που θα εγκατασταθούν

και θα χρησιμοποιηθούν κατά τη λειτουργία του. Τα βασικά στάδια του σχεδιασμού ενός φωτοβολταϊκού συστήματος περιλαμβάνουν (Τσιλιγκιρίδης 2003):

- a) Το φορτίο και οι καμπύλες διακύμανσης του ημερήσιου φορτίου.
- b) Το σύνολο των ημερών κατά τις οποίες το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει ως αυτόνομο.
- c) Το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού πάνελ που θα επιλεγεί. Μάλιστα, όπως είναι φυσικό όσο καλύτερης ποιότητας το πάνελ, τόσο μεγαλύτερη η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας.
- d) Η μέθοδος με την οποία θα πραγματοποιηθεί η συνδεσμολογία των πάνελ, ο συνολικός αριθμός πάνελ που απαιτείται για να επιτευχτεί η ζητούμενη ισχύς και ο προσανατολισμός και η κλίση των πάνελ.
- e) Το συνολικό μέγεθος της μονάδας και η χωροθέτησή της.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες (Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών 2011):

- a) **Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα:** αποτελούν τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. και των οποίων η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται σε αυτό το δίκτυο. Τα διασυνδεδεμένα συστήματα αποτελούνται από τις εξής επιμέρους μονάδες:

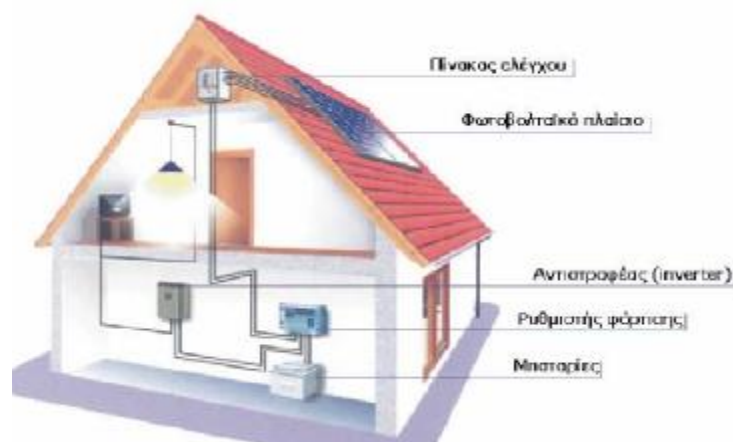
- Φωτοβολταϊκό πλαίσιο
- Πίνακας ελέγχου
- Αντιστροφέας τάσης
- Μετρητής της Δ.Ε.Η.



Εικόνα 3.11 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών 2011)

b) Τα αυτόνομα συστήματα: τα συστήματα αυτά δεν είναι συνδεδεμένα στη Δ.Ε.Η. και η παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται εξ' ολοκλήρου για ίδια κατανάλωση. Τα αυτόνομα συστήματα αποτελούνται από τις εξής επιμέρους μονάδες:

- Φωτοβολταϊκό πλαίσιο
- Πίνακας ελέγχου
- Ρυθμιστής φόρτισης
- Συσσωρευτής
- Αντιστροφέας τάσης



Εικόνα 3.12 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα (Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών 2011)

Η παρούσα πτυχιακή θα ασχοληθεί μονάχα με τα διασυνδεδεμένα συστήματα, των οποίων οι μονάδες θα αναλυθούν στις παρακάτω ενότητες.

3.3.1 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από πολλές φωτοβολταϊκές κυψέλες, που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους. Η φωτοβολταϊκή κυψέλη αποτελεί τη στοιχειώδη μονάδα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς εκεί πραγματοποιείται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική (Περδίος 2007).

Στα αγορά υπάρχουν διαθέσιμα πολλά είδη φωτοβολταϊκών κυψελών διαθέσιμα, ενώ ταυτόχρονα πολλά άλλα βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξης. Χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά και διατάξεις με στόχο τη μέγιστη παραγωγή ενέργειας από τη συσκευή με όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος. Έχουν

κατασκευασθεί κυψέλες σε εργαστηριακό περιβάλλον με απόδοση που ξεπερνά το 30%. Ωστόσο η απόδοση αυτών που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι περίπου η μισή (Ζερβός 2006).

Τα είδη κυψελών, που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην αγορά είναι τα εξής (Ζερβός 2006; Κομπούγιας et al. 2006; Luque και Hegedus 2003; Markvart και Castaner Munoz 2003):

- **Μονοκρυσταλλικού πυριτίου:** οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από καθαρό μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, που προέρχεται από ένα μικρό «γόνο» κρύσταλλο, που αποσπάται με αργό ρυθμό από την τηγμένη μάζα του λιγότερου καθαρού πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου του οποίου το πάχος είναι 200 – 400 μm. Επίσης γίνεται τοποθέτηση μεταλλικού πλέγματος το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρική επαφή και έτσι επιτυγχάνεται η λειτουργία του ως ηλιακή κυψέλη. Οι μονοκρυσταλλικές ηλιακές κυψέλες παρουσιάζουν την υψηλότερη απόδοση και το υψηλότερο κόστος από όλες τις κυψέλες πυριτίου.

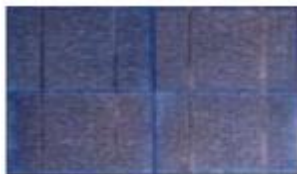


Εικόνα 3.13 Κελί

(Ενεργητεχνική 2011)

μονοκρυσταλλικού πυριτίου

- **Πολυκρυσταλλικού πυριτίου:** Οι κυψέλες αυτές κατασκευάζονται από μεγάλες ορθογώνιες ράβδους καθαρού πυριτίου σε ειδικούς κλιβάνους στους οποίους ψύχεται αργά τήγμα πυριτίου για τη δημιουργία μεγάλων κρυστάλλων. Επειδή προκύπτουν απευθείας από ορθογώνιες ράβδους οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες είναι συνήθως τετράγωνης μορφής και μεγαλύτερου μεγέθους από αυτές από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο καθώς και έχουν και λίγο χαμηλότερη απόδοση από αυτές.



Εικόνα 3.14 Κελί πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Ενεργοτεχνική 2011)

- **Ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon):** Αποτελεί μια σχετικά καινούργια τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων, που οδηγεί σε μείωση έως και 50 % στην χρήση του πυριτίου σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής των μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψέλων πυριτίου.

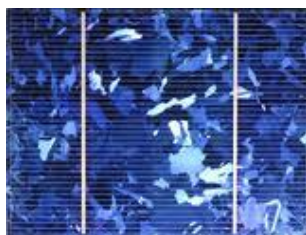


Εικόνα 3.15 Κελί ταινίας πυριτίου (Ενεργοτεχνική 2011)

- **Λεπτής μεμβράνης, ή όπως είναι γνωστές και ως thin-film:** Η τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών χρησιμοποιεί πολύ λεπτά στρώματα (πάχους λίγων μικρών) του ημιαγωγού και με τον τρόπο αυτό μειώνεται το κόστος.

Τα πιο γνωστά υλικά που χρησιμοποιούνται στις κυψέλες αυτές είναι:

- Άμορφο πυρίτιο (a-Si)
- Copper Indium Diselenide (CIS)
- Cadmium Telluride (CdTe)
- Gallium Arsenide (GaAs)



Εικόνα 3.16 Φωτοβολταϊκό πάνελ λεπτής μεμβράνης (Ενεργοτεχνική 2011)

Τα δυο πρώτα υλικά είναι τα σημαντικότερα. Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό, ως προς το γεγονός ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε ακριβείς αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι συγκεκριμένες. Σήμερα ένα εμπορικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο με κυψέλες άμορφου πυριτίου έχει

απόδοση μεταξύ 6 – 8 %, σε αντίθεση με τις κυψέλες μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου που έχουν αποδόσεις που μεταξύ 11 – 14 %.

Το λεπτό στρώμα άμορφου πυριτίου τοποθετείται σε φύλλο γυαλιού, το οποίο προηγουμένως έχει καλυφθεί από διάφανο οξειδίο του κασσιτέρου. Στην πίσω επιφάνεια τοποθετείται μεταλλικός αγωγός και στη συνέχεια η όλη διάταξη κόβεται με laser για την παραγωγή μιας σειράς ηλεκτρικά συνδεδεμένων, άλλα ξεχωριστών στοιχείων και στο τέλος γίνεται η ενσωμάτωση τους σε μια φωτοβολταϊκή μονάδα.

- **Υβριδικές κυψέλες:** Για να επιτευχθεί ουσιαστική βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυψελών, έπρεπε να πραγματοποιηθεί κάποια σημαντική αλλαγή. Στην προσπάθεια αυτή έγινε μελέτη για τη χρήση υβριδικών δομών, των οποίων οι κυψέλες απαρτίζονται από διαφορετικά χαρακτηριστικά απορρόφησης φωτός που συνδέονται μαζί. Αυτό επιτρέπει την επίτευξη καλύτερων χαρακτηριστικών μέσα από τη χρήση ήδη υπαρχόντων υλικών και διαδικασιών. Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης μιας δομής με πολλά στρώματα είναι τα εξής:
 - Είναι δυνατόν να απορροφηθεί το φως σε μια πιο πλατιά φασματική περιοχή, δηλαδή αποτελεσματικότερα.
 - Είναι δυνατόν να επιτευχθούν υψηλότερες τάσεις ανοιχτού κυκλώματος.
 - Είναι δυνατόν να πέσει σε κάποιο βαθμό ο ρυθμός μείωσης της απόδοσης των κυψελών, ο οποίος οφείλεται σε φαινόμενα οπτικής υποβάθμισης που παρατηρούνται όταν χρησιμοποιούνται υλικά άμορφου πυριτίου.



Εικόνα 3.17 Φωτοβολταϊκό υβριδικό κελί (Ενεργοτεχνική 2011)

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η συγκριτική ανάλυση των παραπάνω τεχνολογιών:

Πίνακας 3.1 Σύγκριση τεχνολογιών φωτοβολταϊκών (Περδίας 2007)

Τύπος	Λεπτής μεμβράνης	Ταινίας πυριτίου	Πολυκρυσταλλικού πυριτίου	Μονοκρυσταλλικού πυριτίου	Υβριδικά
Απόδοση (%)	Άμορφα: 5 – 7 CIS: 7 – 10	12 – 13	12 – 15	14 – 18	17 – 19
Επιφάνεια ανά kWp (m ²)	10 – 20	-	8 – 10	7 – 8	6 – 7

3.3.1.1 Υπολογισμός απόδοσης ηλιακής κυψέλης

Κάθε ηλιακή κυψέλη χαρακτηρίζεται από έναν βαθμό απόδοσης, που ονομάζεται ονομαστικός, και προσδιορίζει την απόδοση της κυψέλης σε μια ορισμένη θερμοκρασία, τη λεγόμενη θερμοκρασία αναφοράς (Ζερβός 2006).

Βέβαια, μια κυψέλη σχεδόν ποτέ δε λειτουργεί στη θερμοκρασία αυτή αναφοράς, και μάλιστα ποτέ δε λειτουργεί σε σταθερή θερμοκρασία. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού η θερμοκρασία διαφοροποιείται με την αλλαγή των εποχών, ενώ ταυτόχρονα διαφοροποιείται ακόμη και κατά τη διάρκεια μιας μέρα, επηρεαζόμενη από την ύπαρξη συννεφιάς ή όχι. Για το λόγο αυτό η απόδοση της κυψέλης υπολογίζεται με βάση την εκάστοτε θερμοκρασία από την παρακάτω σχέση (Ζερβός 2006):

$$n_p = n_r [1 - b_p (T_c - T_r)] \quad (3.6)$$

όπου: β_p : συντελεστής θερμοκρασίας για την απόδοση της φωτοβολταϊκής κυψέλης, που δίνεται από τον κατασκευαστή

n_r : ο βαθμός απόδοσης της φωτοβολταϊκής κυψέλης στη θερμοκρασία αναφοράς T_r (25 °C)

T_c : θερμοκρασία που συνδέεται με τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος

Για τη θερμοκρασία περιβάλλοντος ισχύει ο τύπος του Evans (Ζερβός 2006):

$$T_c - T_a = (219 + 832k_T) \frac{NOCT - 20}{800} \quad (3.7)$$

όπου: NOCT: normal operation cell temperature, που δίνεται από τον κατασκευαστή

k_T : μέσος μηνιαίος συντελεστής αιθριότητας

n_f : ο βαθμός απόδοσης της φωτοβολταϊκής κυψέλης στη θερμοκρασία αναφοράς T_r (25 °C)

T_a : ατμοσφαιρική θερμοκρασία

Αν η κλίση των φωτοβολταϊκών κυψελών είναι διαφορετική από τη βέλτιστη ($\beta = |\varphi - \delta|$), τότε χρησιμοποιείται η σχέση (Ζερβός 2006):

$$T_c - T_a = C_f (219 + 832k_T) \frac{NOCT - 20}{800} \quad (3.8)$$

όπου:

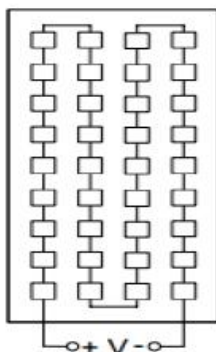
$$C_f = 1 - 1,17 * 10^{-4} (b_m - b)^2 \quad (3.9)$$

όπου: β_m : η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη ($\beta_m = |\varphi - \delta|$)

3.3.1.2 Τρόπος σύνδεσης φωτοβολταϊκών στοιχείων

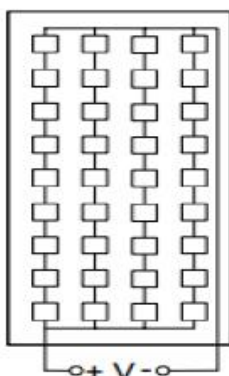
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους εξής διαφορετικούς τρόπους (Περδίας 2007; Φραγκιαδάκης 2007):

- 1) Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά.



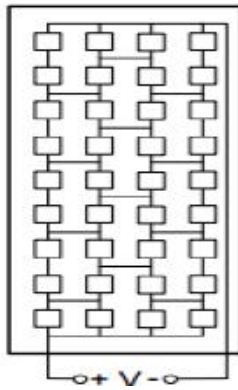
Εικόνα 3.18 Σε σειρά συνδεσμολογία (Φραγκιαδάκης 2007)

- 2) Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους σειρά, και η κάθε παραγόμενη σειρά συνδέεται με τις άλλες παράλληλα. Κάθε πλαίσιο αποτελείται συνήθως από τέσσερις τέτοιες σειρές, στην καθεμία από τις οποίες περιλαμβάνονται εννέα στοιχεία.



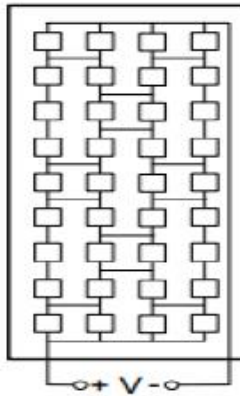
Εικόνα 3.19 Παράλληλη συνδεσμολογία (Φραγκιαδάκης 2007)

- 3) Σε διατάξεις αθροιστικές σταυρωτού δεσμού, που πραγματοποιείται μέσα από την παράλληλη διάταξη και συνδέοντας τα ηλεκτρικά συστήματα σταυρωτά σε κάθε σειρά του σημείου συνάντησης.



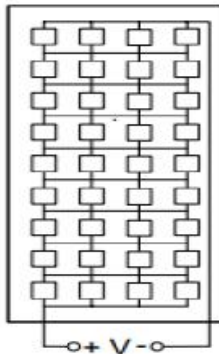
Εικόνα 3.20 Συνδεσμολογία αθροιστικών σταυρωτού δεσμού (Φραγκιαδάκης 2007)

4) Σε διάταξη γεφυρωτής διασύνδεσης.



Εικόνα 3.21 Γεφυρωτή συνδεσμολογία (Φραγκιαδάκης 2007)

5) Σε διάταξη κυψέλης.



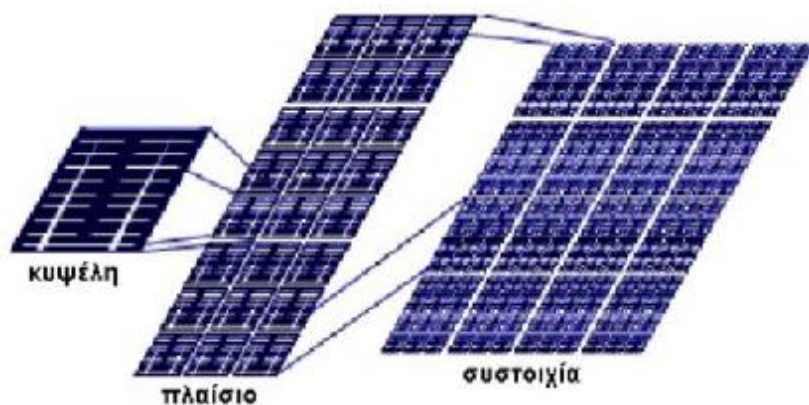
Εικόνα 3.21 Συνδεσμολογία κυψέλης (Φραγκιαδάκης 2007)

Η συνήθης συνδεσμολογία είναι αυτή σε σειρά, καθώς στην παράλληλη σύνδεση, η μεγαλύτερη ένταση ρεύματος απαιτεί και μεγαλύτερες διατομές αγωγών,

ενώ και οι απώλειες αυξάνονται με τη μείωση της τάσης (Περδίδος 2007; Φραγκιαδάκης 2007).

3.3.1.3 Φωτοβολταϊκή συστοιχία

Μια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών που σα στόχο έχει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε λειτουργεί ως σταθμός παραγωγής, ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες φωτοβολταϊκά πλαίσια. Κατά συνέπεια, είναι λογικό τα πλαίσια αυτά να πρέπει να ομαδοποιηθούν και να συνδεθούν με τον κατάλληλο τρόπο. Μάλιστα, και με στόχο την αυξημένη αξιοπιστία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, απαιτείται οι συνδέσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και ανάμεσα στα πλαίσια να είναι και παράλληλες εκτός από σε σειρά. Με αυτό τον τρόπο, προλαμβάνεται ο μηδενισμός της παραγόμενης ισχύος του συστήματος στην περίπτωση που ένα φωτοβολταϊκό σκιαστεί ή πάθει βλάβη. Η σύνδεση των πλαισίων στη σειρά ή παράλληλα γίνεται έτσι ώστε η ισχύς εξόδου της γεννήτριας να αποκτήσει την επιθυμητή τιμή (Imamura et al. 1992).



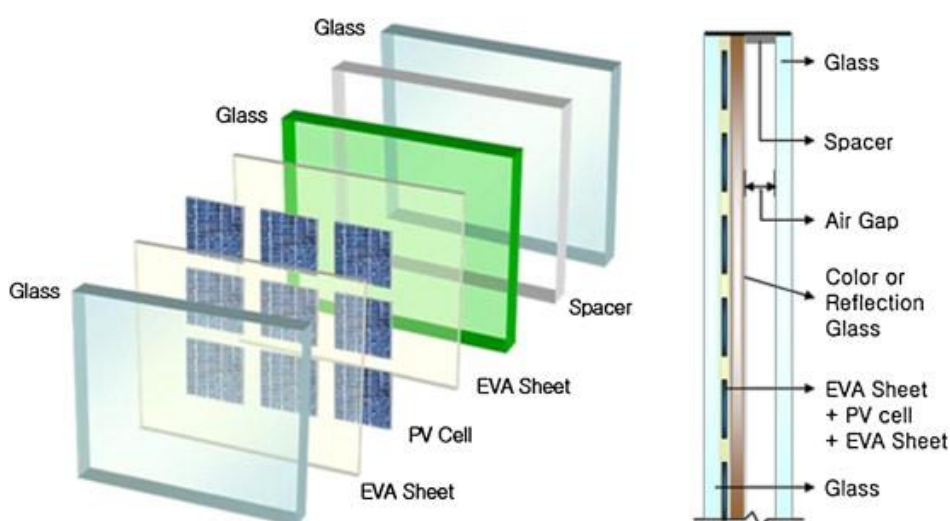
Εικόνα 3.22 Συνιστώσες φωτοβολταϊκής συστοιχίας (Gneng χ.χ.)

3.3.1.4 Δομή φωτοβολταϊκού πλαισίου

Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο συνίσταται από έναν ορισμένο αριθμό φωτοβολταϊκών στοιχείων. Για να λειτουργήσει το πλαίσιο τα στοιχεία θα πρέπει να προστατεύονται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι πλαισίων και εξαρτώνται από το είδος των φωτοβολταϊκών στοιχείων καθώς και την εφαρμογή τους. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από διάφορα στρώματα, τα οποία είναι (Park et al. 2010):

- Ειδικό γυαλί
- Συμπυκνωμένο πολυμερές υλικό (Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Sheet) για την ενθυλάκωση των στοιχείων
- Ηλιακά στοιχεία
- Συμπυκνωμένο υλικό (EVA)
- Ειδικό γυαλί
- Κενό αέρος
- Ειδικό γυαλί

Συνήθως, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία περικλείονται είτε από δύο κομμάτια γυαλιού είτε ένα φύλλο γυαλιού και ένα πλαστικού, ενώ μερικές φορές περικλείονται εξ' ολοκλήρου από πλαστικό. Τα είδη των γυαλιών που χρησιμοποιούνται είναι διαφανή, χρωματισμένα και αντανακλούν την θερμότητα. Το συμπυκνωμένο υλικό είναι συνήθως EVA, υλικό που εμφανίζει πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση και μεγάλη



διαπερατότητα στο φως (Park et al. 2010).

Εικόνα 3.23 Δομή φωτοβολταϊκού πλαισίου (Park et al. 2010)

Όπως έχει προαναφερθεί, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να συνδεθούν σε σειρά, παράλληλα ή ακόμα και σε συνδυασμούς με στόχο να καλυφθούν οι απαραίτητες σε τάση και ρεύμα ανάγκες. Επιπρόσθετα, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πρέπει να είναι όμοια ώστε να εμφανίζουν και όμοια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, με αποτέλεσμα να παρατηρείται η ομαλή λειτουργία του φωτοβολταϊκού πλαισίου (Park et al. 2010).

3.3.1.5 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες φωτοβολταϊκού πλαισίου

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου (Park et al. 2010):

- Η όψη του φωτοβολταϊκού στοιχείου καλύπτεται από διαφανή ουσία (π.χ. SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Si_3N_4 , MgF_2), η οποία χαρακτηρίζεται από δείκτη διάθλασης τέτοιο ώστε, για μια περιοχή μηκών κύματος, συνήθως γύρω στα 600nm, κοντά στο μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας (480nm), να ελαχιστοποιείται η ανακλώμενη συνιστώσα του φωτός (αντιανακλαστική επίστρωση).
- Το πάχος του φωτοβολταϊκού στοιχείου περιορίζεται στην ενεργό περιοχή του, στην οποία η απορροφημένη Η/Μ ακτινοβολία προκαλεί το ΦΒ φαινόμενο. Αυτή είναι η περιοχή απογύμνωσης αυξημένη κατά το άθροισμα των μηκών διάχυσης κατά Debye, για τα ηλεκτρόνια και τις οπές, στα τμήματα που αποτελούν φορείς μειονότητας.
- Τα μεταλλικά ηλεκτρόδια συλλογής των φορέων, πρέπει να βρίσκονται κοντά στην ενεργό περιοχή. Το πίσω ηλεκτρόδιο καλύπτει όλη την έκταση του ΦΒ και συνήθως αποτελείται, για λόγους κόστους και βάρους της διάταξης, από λεπτό και σχετικά πυκνό μεταλλικό πλέγμα.

3.3.1.6 Προβλήματα φωτοβολταϊκών στοιχείων του πλαισίου και διατάξεις προστασίας της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Θεωρητικά το κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία που χαρακτηρίζονται από όμοια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Όμως σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει το ενδεχόμενο σκίασης ή βλάβης ενός ή περισσότερων στοιχείων, με αποτέλεσμα την ολοκληρωτική καταστροφή του πλαισίου. Έστω λοιπόν ότι ένα πλαίσιο έχει ένα στοιχείο κατεστραμμένο. Τότε δεν υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης του στοιχείου αυτού, καθώς το στοιχείο αυτό θα έχει ίση και αντίθετη τάση με αυτή των υπολοίπων. Κατά συνέπεια, δε θα παράγει ισχύ, αλλά

αντίθετα θα καταναλώνει αυτή που παράγουν τα υπόλοιπα. Έτσι, ενδέχεται να παρατηρείται μεγάλη τοπική αύξηση της θερμοκρασίας, θραύση του κρυστάλλου, ακόμα και πλήρης καταστροφή του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται θερμή κηλίδα (hot spot) (Messenger και Ventre 2004).

Με στόχο να αποφευχθεί το παραπάνω φαινόμενο, δίοδοι συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των φωτοβολταϊκών στοιχείων που βρίσκονται σε σειρά. Οι δίοδοι αυτές ονομάζονται δίοδοι παράκαμψης (bypass diodes) και συμβάλλουν ώστε η μείωση της ισχύος να είναι μικρότερη στην περίπτωση που κάποια στοιχεία ανοιχτοκυκλώνονται (Messenger και Ventre 2004).

Παράλληλα, υπάρχουν και δίοδοι απομόνωσης ή αντεπιστροφής (blocking or isolation diodes). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας συνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν παράλληλους κλάδους που καταλήγουν μέσω του φορτιστή στον συσσωρευτή. Οι δίοδοι απομόνωσης τοποθετούνται σε κάθε κλάδο και εμποδίζουν την εκφόρτιση του συσσωρευτή μέσω των φωτοβολταϊκών πλαισίων του κλάδου κατά τη διάρκεια της νύχτας και γενικότερα όταν η τάση εξόδου είναι μεγαλύτερη από την τάση του συσσωρευτή (Messenger και Ventre 2004).

3.3.2 Αντιστροφέας τάσης (Inverter)

Για το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος που θα συνδεθεί στο δίκτυο, απαιτείται η επιλογή του κατάλληλου αντιστροφέα τάσης (ή μετατροπέα DC-AC), που μετατρέπει την συνεχή τάση εξόδου του συστήματος σε εναλλασσόμενη (συχνότητας 50 Hz) που χαρακτηρίζεται από κοινά χαρακτηριστικά με αυτά του δικτύου, έτσι ώστε να μη δημιουργείται πρόβλημα στη λειτουργία του δικτύου και στη ποιότητα ισχύος που παρέχεται από το σύστημα αυτό. Μάλιστα, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα επιλέγονται και οι κατάλληλοι συλλέκτες. Ο αντιστροφέας αποτελεί τη δεύτερη σημαντικότερη μονάδα του φωτοβολταϊκού συστήματος μετά τους συλλέκτες. Ο αντιστροφέας τάση του διασυνδεδεμένου συστήματος θα πρέπει να αντιδρά και να προσαρμόζεται το ίδιο τόσο στις μεταβολές των χαρακτηριστικών του δικτύου ηλεκτροδότησης όσο και στις μεταβολές της απόδοσης των συλλεκτών. Καθώς όλο το παραγόμενο ρεύμα περνά από τον αντιστροφέα, τα χαρακτηριστικά του επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά

και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού συστήματος (Luque και Hegedus 2003).

Πέραν της λειτουργίας του αντιστροφέα για τη μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, ο αντιστροφέας είναι υπεύθυνος για την ημερήσια λειτουργία του συστήματος μέσω της λοιπής ηλεκτρονικής διάταξης του. Έτσι, ο αντιστροφέας εξασφαλίζει την έναρξη λειτουργίας του συστήματος κατά τις πρωινές ώρες, με βάση την επαρκή παραγωγή των συλλεκτών. Μάλιστα, κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας στην καμπύλη I-V μεταβάλλεται ανάλογα με τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των συλλεκτών. Ο ορθός έλεγχος του αντιστροφέα αποτελείται από την παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ενέργειας και τη συνεχή ρύθμιση στο βέλτιστο κάθε φορά σημείο λειτουργίας. Τέλος, υπάρχουν συστήματα με τα οποία το σύστημα αποσυνδέεται αυτόματα στην περίπτωση που παρατηρηθούν ανωμαλίες είτε στο δίκτυο είτε στους συλλέκτες (Luque και Hegedus 2003).

Στην σύγχρονη εποχή, τα περισσότερα μοντέλα αντιστροφέων τάσης είναι εξοπλισμένα με συστήματα που επιτρέπουν τη συνεχή μέτρηση της ισχύος, της τάσης, του ρεύματος και άλλων λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να συλλεχθούν και να αναλυθούν με τη χρήση H/Y (Luque και Hegedus 2003).

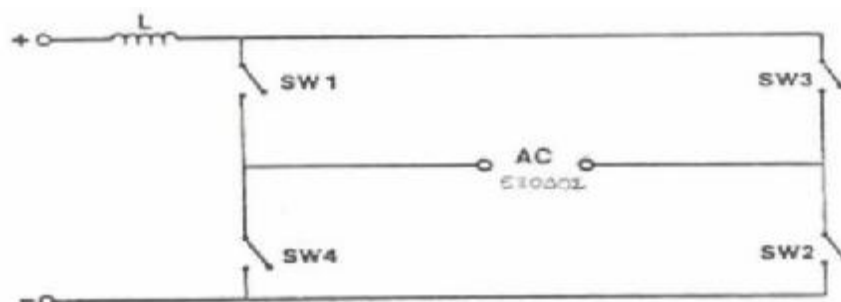
3.3.2.1 Αντιστροφείς τροποποιημένου και καθαρού ημιτόνου

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά στην έξοδο του αντιστροφέα αποτελούν η ημιτονοειδής ισχύς εξόδου που χαρακτηρίζεται από σταθερό πλάτος, σταθερή συχνότητα και δε θα παρατηρεί απώλειες. Με βάση τον παραπάνω στόχο οι αντιστροφείς διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες (Messenger και Ventre 2004):

- 1) Αντιστροφείς τροποποιημένου ημιτόνου (modified sine wave)**, που εμφανίζουν υψηλή κατανάλωση που ενδέχεται να αγγίξει ένα 20 % μεγαλύτερο ποσοστό από αυτήν του καθαρού ημιτόνου. Διακρίνονται για το σαφώς μικρότερο κόστος τους έναντι των αντιστροφέων καθαρού ημιτόνου. Τέλος, παράλληλα σε τηλεοράσεις και ηχοσυστήματα πιθανόν να ακούγεται βόμβος, ενώ μοτέρ ηλεκτρικών συσκευών ή compressor ψυγείων ενδέχεται να μη λειτουργούν καθόλου.

2) **Μετατροπείς καθαρού ημιτόνου (pure / true sine wave)**, που είναι κατάλληλοι για όλες τις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Οι μετατροπείς έχουν 2 έως 3 φορές μεγαλύτερο κόστος από έναν αντίστοιχο αντιστροφέα τροποποιημένου ημιτόνου.

Για να επιτευχθεί ημιτονοειδής έξοδος του αντιστροφέα συνήθως χρησιμοποιούνται ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος που λειτουργούν σαν διακόπτες, όπως τρανζίστορ ή θυρίστορ. Η γενική τοπολογία του κυκλώματος του αντιστροφέα φαίνεται στο σχήμα (Messenger και Ventre 2004):



Εικόνα 3.24 Τοπολογία κυκλώματος αντιστροφέα (Messenger και Ventre 2004)

Τα ημιαγωγικά αυτά στοιχεία έχουν την ιδιότητα να άγουν ή όχι ανάλογα με το αν τους δίνεται παλμός έναυσης από κάποιο ανεξάρτητο λογικό κύκλωμα ενώ η σβέση τους μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με παλμούς (τρανζίστορ) είτε κάτω από ειδικές συνθήκες, όπου το ρεύμα που διαρρέει το διακόπτη μηδενίζεται για κάποιο χρονικό διάστημα (θυρίστορ). Τα στοιχεία αυτά ανοιγοκλείνουν ανά ομάδες (1,2) και (3,4) για χρόνο μιας ημιπεριόδου, με μια συχνότητα ίση με την διπλάσια της συχνότητας του δικτύου (50 Hz) ή περίοδο $T = 1/2 * 50 = 0,01 \text{ sec}$ (Messenger και Ventre 2004).

Το πηνίο στην είσοδο του αντιστροφέα απαιτείται για την εξομάλυνση των μεταβολών της τάσης που δημιουργούνται από τους διακόπτες, ενώ στην έξοδο υπάρχει συνήθως ένας μετασχηματιστής (Messenger και Ventre 2004).

3.3.2.2 Κατηγορίες αντιστροφών

Ανάλογα με τον τύπο της DC πλευράς, οι μετατροπείς DC-AC διακρίνονται α) σε **μετατροπείς τύπου πηγής τάσης** (voltage-source), στους οποίους στην DC πλευρά χρησιμοποιείται πυκνωτής ή μπαταρία με στόχο την επίτευξη σταθερής τάσης και β) σε **μετατροπείς τύπου πηγής ρεύματος** (current-source), στους οποίους χρησιμοποιείται αυτεπαγωγή για την επίτευξη σταθερού ρεύματος. Οι αντιστροφείς τύπου πηγής ρεύματος έχουν περιορισμένες εφαρμογές (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie 2008).

Οι τύποι που παρουσιάζονται παρακάτω είναι οι εξής (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie 2008):

- α) **Μετατροπείς τύπου πηγής τάσης:** μέσα από την κατάλληλη διαμόρφωση των παλμών των ημιαγωγικών διακοπών μπορεί να ελαττωθεί το βάρος, το μέγεθος και το κόστος του φίλτρου εξόδου, που τοποθετείται μεταξύ του φορτίου και της εξόδου του αντιστροφέα με στόχο τον περιορισμό των αρμονικών ανώτερης τάξης. Οι αντιστροφείς πηγής τάσης μπορούν να διαχωριστούν σε αυτούς με διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM), σε τετραγωνικού παλμού και σε μονοφασικούς αντιστροφείς με απαλοιφή τάσης, με βάση τις τεχνικές που εφαρμόζονται για τη διαμόρφωση των παλμών. Έτσι (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie 2008):
 - 1) Αντιστροφείς με διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM): η είσοδος των PWM είναι DC τάση σταθερού πλάτους. Ο αντιστροφέας πρέπει να ελέγχει το πλάτος και τη συχνότητα της AC τάσης εξόδου. Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι διαμόρφωσης PWM των διακοπών του αντιστροφέα με στόχο η AC τάση εξόδου να πλησιάσει την ημιτονοειδή κυματομορφή. Για να πραγματοποιηθεί αυτό συγκρίνεται ένα ημιτονοειδές σήμα ελέγχου στην επιθυμητή συχνότητα με μια τριγωνική κυματομορφή. Η συχνότητα f_s της τριγωνικής κυματομορφής καθορίζει τη συχνότητα μετάβασης του αντιστροφέα, με λίγα λόγια δηλαδή τη συχνότητα με την οποία αλλάζουν κατάσταση οι διακόπτες του αντιστροφέα ώστε να διατηρείται γενικά σταθερή, όπως και το πλάτος της τριγωνικής κυματομορφής. Το σήμα ελέγχου $u_{control}$ που χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της διάρκειας αγωγής, χαρακτηρίζεται από μια συχνότητα f_1 , η οποία είναι η επιθυμητή θεμελιώδης συχνότητα της τάσης εξόδου του αντιστροφέα.

Στην ημιτονική διαμόρφωση, όπως και σε κάθε διαμόρφωση, σημαντικό ενδιαφέρον παρατηρούν τα ακόλουθα μεγέθη:

- Συντελεστής διαμόρφωσης πλάτους:

$$m_a = \frac{V_{control}}{V_{tri}} \quad (3.10)$$

όπου: $V_{control}$: το πλάτος του σήματος ελέγχου

V_m : το πλάτος του τριγωνικού σήματος, που διατηρείται γενικά σταθερό

- Συντελεστής διαμόρφωσης συχνότητας:

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (3.11)$$

όπου: f_1 : η θεμελιώδης συχνότητα της τάσης του αντιστροφέα

f_s : το συχνότητα της τριγωνικής κυματομορφής

Ανάλογα με την τιμή των δύο παραπάνω συντελεστών διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- **Μικρός m_f ($m_f \leq 21$)**, με τον οποίο προκύπτει συγχρονισμένη διαμόρφωση PWM. Για την τιμές αυτές του m_f το σήμα ελέγχου και το σήμα της τριγωνικής κυματομορφής θα πρέπει να συγχρονίζονται μεταξύ του. Μάλιστα, απαιτούνται ακέραιες τιμές του m_f .
- **Μεγάλος m_f ($m_f \geq 21$)**, με τον οποίο τα πλάτη των υποαρμονικών που οφείλονται σε ασύγχρονη διαμόρφωση PWM είναι μικρά. Κατά συνέπεια, σε μεγάλες τιμές m_f μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ασύγχρονη διαμόρφωση, όπου η συχνότητα της τριγωνικής κυματομορφής παραμένει σταθερή, ενώ η συχνότητα $u_{control}$ μεταβάλλεται με αποτέλεσμα να μην προκύπτουν ακέραιες τιμές του m_f . Όμως η ασύγχρονη διαμόρφωση PWM πρέπει να αποφεύγεται, καθώς οι υποαρμονικές κοντά στη

μηδενική ή με μηδενική συχνότητα οδηγούν σε μεγάλα ρεύματα στο φορτίο που θα τροφοδοτεί ο αντιστροφέας.

- Ημιτονοειδής m_a ($m_a \leq 1$), με τον οποίο προκύπτει ημιτονοειδής διαμόρφωση PWM στη γραμμική περιοχή και το πλάτος της θεμελιώδους συνιστώσας της τάσης μεταβάλλεται γραμμικά με τον m_a . Η διαμόρφωση αυτή ωθεί τις αρμονικές σε μια περιοχή υψηλών συχνοτήτων γύρω από τη συχνότητα μετάβασης και τις πολλαπλάσιές της. Όμως, έχει το μειονέκτημα ότι το μέγιστο δυνατό πλάτος της θεμελιώδους συνιστώσας δεν είναι τόσο υψηλό όσο επιθυμείται. Έτσι, είναι φυσική συνέπεια των αιχμών της κυματομορφής της τάσης εξόδου του.
 - Υπερδιαμόρφωση m_a ($m_a > 1$), με την οποία η τάση εξόδου περιέχει περισσότερες αρμονικές στις πλευρικές ζώνες σε σύγκριση με τη γραμμική περιοχή ($m_a \leq 1$). Παράλληλα, το πλάτος της θεμελιώδους συνιστώσας δε μεταβάλλεται γραμμικά με το συντελεστή διαμόρφωσης πλάτους m_a .
- 2) Αντιστροφείς με τετραγωνική κυματομορφή: για τον έλεγχο του πλάτους της AC τάσης εξόδου, ελέγχεται το πλάτος της DC τάσης εισόδου. Κατά συνέπεια, ο αντιστροφέας θα πρέπει να ελέγξει μόνο τη συχνότητα της τάσης εξόδου. Η AC τάση εξόδου έχει παρόμοια με την τετραγωνική κυματομορφή, γι' αυτό και ονομάζονται έτσι.
- 3) Μονοφασικοί αντιστροφείς με απαλοιφή τάσης: στους αντιστροφείς αυτούς είναι δυνατός ο έλεγχος του πλάτους και της συχνότητας της τάσης εξόδου του μετατροπέα, αν και η είσοδος του αντιστροφέα είναι μια σταθερή DC τάση και στους διακόπτες του μετατροπέα δεν επιβάλλεται διαμόρφωση εύρους PWM (η κυματομορφή της τάσης εξόδου είναι σχεδόν τετραγωνική). Με λίγα λόγια, οι αντιστροφείς αυτής της κατηγορίας συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των δύο προηγούμενων αντιστροφέων.
- β) **Ελεγχόμενοι από το δίκτυο μονοφασικοί αντιστροφείς**: η βασική συνδεσμολογία των ελεγχόμενων αντιστροφέων αποτελεί μια κυκλωματική γέφυρα με θυρίστορ (Thyristor (Th)). Η χρήση των αντιστροφέων με Th στην τεχνολογία αυτοματισμού είναι αυτή που οδήγησε και στη δημιουργία των πρώτων ηλιακών αντιστροφέων. Σε

μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται οι αντιστροφείς με Th, όμως με τους IGBT (insulated gate bipolar transistors) να αποτελούν τους κυριάρχους.

Ο ελεγχόμενος από το δίκτυο αντιστροφέας χρησιμοποιεί την κύρια τάση για να καθορίσει τους παλμούς έναυσης και σβέσης για τις συσκευές μεταγωγής ισχύος. Κάθε ζεύγος Th στη γέφυρα μετάγει αρχικά τη DC ισχύ στη μια κατεύθυνση και μετά στην άλλη, σε μια συχνότητα 50 Hz. Μάλιστα, τη στιγμή της μεταγωγής η ενέργεια αποθηκεύεται σε ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές, που συνδέονται παράλληλα στην DC είσοδο. Μόλις και τα Th ανάψουν, δε μπορούν να σβήσουν αμέσως, καθώς για να σβήσουν απαιτείται μια τάση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται μετάβαση. Για το λόγο αυτό οι μετατροπείς ονομάζονται ελεγχόμενοι από το δίκτυο. Το ρεύμα έχει τετραγωνική μορφή. Αυτές οι αποκλίσεις από το ημιτονοειδές κύμα του ηλεκτρικού δικτύου οδηγούν σε σχετικά υψηλές αρμονικές συνιστώσες με ταυτόχρονη υψηλή απορρόφηση άεργης ισχύος από το δίκτυο. Σε στόχο τον περιορισμό των αρμονικών συνιστωσών, χρησιμοποιούνται εξοπλισμός αντιστάθμισης και φίλτρα εξόδου. Συνήθως χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής ρεύματος για να απομονώσει το δίκτυο. Μάλιστα, στις σύγχρονες συσκευές Th, οι παλμοί έναυσης σχηματίζονται από μικροεπεξεργαστή. Ενδεχόμενη καθυστέρηση του παλμού έναυσης μπορεί να οδηγήσει σε MPP tracking.

γ) **Αυτομεταγόμενοι αντιστροφείς:** στους αυτομεταγόμενους αντιστροφείς χρησιμοποιούνται ημιαγωγικά στοιχεία στη γέφυρα, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να ανάψουν και να σβήσουν. Ανάλογα με τις επιδόσεις του συστήματος και το επίπεδο της τάσης χρησιμοποιούνται τα εξής ημιαγωγικά στοιχεία:

- MOSFETs (έχουν υψηλή συχνότητα λειτουργίας, για παράδειγμα 100 KHz)
- Διπολικά tr και
- GTOs (με κατάλληλο παλμό σβέσης μπορούν να τεθούν σε μη αγώγιμη κατάσταση, ο οποίος ωστόσο θα πρέπει να έχει πολύ μεγαλύτερη τιμή από τον παλμό έναυσης)
- IGBTs (με μικρή συνεχή τάση στην πύλη το στοιχείο καθίσταται αγώγιμο, αλλά μόλις μηδενιστεί αυτή η τάση διακόπτεται η ροή του κύριου ρεύματος, δηλαδή συνδυάζει τη βασική ιδιότητα του tr με τα βασικά χαρακτηριστικά του Th).

Αυτές οι συσκευές μεταγωγής επιτρέπουν την καλή αναπαράσταση του ημιτονοειδούς κύματος, καθώς χρησιμοποιούν την αρχή διαμόρφωσης πλάτους παλμού.

Με ταχεία αλλαγή (μεταγωγή) των συσκευών μεταγωγής έναυσης και σβέσης σε ένα εύρος συχνοτήτων που κυμαίνεται από 10 kHz έως 100 kHz, δημιουργούνται παλμοί, που ανταποκρίνονται στο ημιτονοειδές σήμα μέσα από την διαμόρφωση της διάρκειας και της απόστασής τους. Κατά συνέπεια, μετά την εξομάλυνση με ένα βαθυπερατό φίλτρο (low-pass filter) παρατηρείται συμφωνία ανάμεσα στην ισχύ που τροφοδοτείται και το ημιτονοειδές σήμα του δικτύου. Για το λόγο αυτό, η ισχύς που τροφοδοτείται έχει μόνο χαμηλής συχνότητας αρμονική συνιστώσα. Η απαίτηση άεργου ισχύος των αυτομεταγόμενων αντιστροφών είναι μικρή.

Λόγω της υψηλής συχνότητας μεταγωγής, οι συσκευές αυτές για να σχηματίσουν παλμούς, δημιουργούν υψηλής συχνότητας παρεμβολές. Με λίγα λόγια πρέπει να ληφθούν υπόψη τα προβλήματα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, που και εξαλείφονται με τη χρήση των κατάλληλων προστατευτικών κυκλωμάτων και του ελέγχου του εξοπλισμού.

Οι αυτομεταγόμενοι αντιστροφείς είναι κατάλληλοι για τα αυτόνομα δίκτυα. Όταν λοιπόν συνδεθούν στο κύριο ηλεκτρικό δίκτυο, η συχνότητα της ισχύος που παρέχεται στο δίκτυο, θα πρέπει να είναι συγχρονισμένη με τη συχνότητά του.

- 1) Αυτομεταγόμενοι αντιστροφείς με μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (LF transformer): Τόσο οι αυτομεταγόμενοι όσο και οι ελεγχόμενοι από το δίκτυο μετατροπείς συνοδεύονται συχνά από τη χρήση μετασχηματιστών χαμηλής συχνότητας (50 Hz) με σκοπό να προσαρμόσουν την τάση στο δίκτυο. Το μαγνητικό πεδίο του μετασχηματιστή απομονώνει ηλεκτρικά το DC κύκλωμα από το AC κύκλωμα.

Ένας τυπικός αυτομεταγόμενος μετατροπέας χαμηλής συχνότητας μετασχηματιστή αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

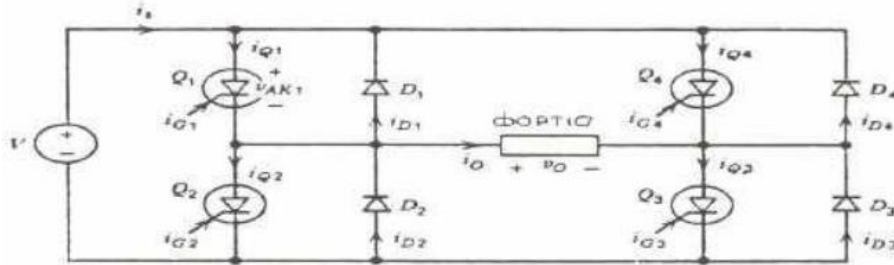
- Ελεγκτή μεταγωγής
- Πλήρη γέφυρα

- Μετασχηματιστή
- Ανιχνευτή σημείου μέγιστης ισχύος
- Κύκλωμα παρακολούθησης με ENS (παρακολούθηση δικτύου με συσκευές μεταγωγής) παρακολούθηση δικτύου.

Η ηλεκτρική απομόνωση μέσω του μετασχηματιστή επιτρέπει τη φωτοβολταϊκή συστοιχία να σχεδιαστεί για ασφαλή πολύ χαμηλή τάση. Ταυτόχρονα η συστοιχία αυτή δεν απαιτεί δυναμικό εξισορρόπησης. Ο μετασχηματιστής μειώνει την ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, ωστόσο μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες της ισχύος, σε αύξηση του μεγέθους και του βάρους, ενώ το κόστος για τον εξοπλισμό αυξάνεται. Κατά συνέπεια, πολλοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν μικρότερο μετασχηματιστή ή τον παραλείπουν τελείως.

- 2) Αυτομεταγόμενοι αντιστροφείς με μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας (HF transformer): Οι μετασχηματιστές υψηλής συχνότητας έχουν συχνότητα που κυμαίνεται από 10 kHz έως 50 kHz. Οι μετασχηματιστές αυτοί αν συγκριθούν με τους μετασχηματιστές χαμηλής συχνότητας είναι μικρότεροι τόσο σε βάρος και μέγεθος όσο και σε κόστος. Όμως από την άλλη πλευρά, το κύκλωμα υψηλής συχνότητας μετασχηματιστή είναι πιο περίπλοκο με αποτέλεσμα η διαφορά στο κόστος δεν είναι σημαντικά μεγάλη.
- 3) Αντιστροφέας χωρίς μετασχηματιστή: οι απώλειες του αντιστροφέα μειώνονται καθώς επίσης και το βάρος και το κόστος του. Η τάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας θα πρέπει να είναι είτε σημαντικά ψηλότερη από τη τιμή κορυφής τάσης του δικτύου είτε να αλλάξει χρησιμοποιώντας ένα DC-DC ανυψωτή μετατροπέα στον αντιστροφέα. Όπου χρησιμοποιούνται DC-DC μετατροπείς προκύπτουν επιπλέον απώλειες, εξαλείφοντας εν μέρει τις απώλειες του μετασχηματιστή, που αποφεύγονται. Η έλλειψη ηλεκτρικής απομόνωσης ανάμεσα στο DC και AC κύκλωμα του αντιστροφέα χωρίς μετασχηματιστή δημιουργεί υψηλές απαιτήσεις ηλεκτρικής ασφάλειας.
- δ) **Αντιστροφείς γέφυρας**: Έναν από τους πιο διαδεδομένους αντιστροφείς αποτελεί ο αντιστροφέας γέφυρας (μονοφασικός). Όταν το φορτίο δεν είναι απλά ωμικό αλλά

περιέχει πυκνωτές ή και επαγωγούς, δηλαδή στοιχεία που αποθηκεύουν ενέργεια, τότε κρίνεται απαραίτητη η τοποθέτηση των διόδων παράλληλα σε κάθε διακοπτικό στοιχείο. Αυτό γίνεται γιατί σε αυτές τις περιπτώσεις το ρεύμα φορτίου δεν έχει πάντα το ίδιο πρόσημο με την τάση στο φορτίο και έτσι όταν τα θυρίστορ σβήνουν, το ρεύμα συνεχίζει να περνά μέσα από τις διόδους.



Εικόνα 3.25 Αντιστροφίας γέφυρας (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie 2008)

3.3.2.3 Χαρακτηριστικά αντιστροφών

Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των αντιστροφών (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie 2008):

- **Απόδοση μετατροπής n_{CON} :** Η απόδοση μετατροπής περιγράφει τις απώλειες που προέρχονται από τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Για τους αντιστροφείς οι απώλειες αυτές περιλαμβάνουν απώλειες από το μετασχηματιστή, από τις μεταγωγές ισχύος και από τη δική τους κατανάλωση για τη διαχείριση, τον έλεγχο, την καταγραφή των δεδομένων και ούτω καθεξής:

$$n_{CON} = \frac{P_{AC} \text{πραγματική_ισχύς_εισόδου} (twn_qemel\ iwd\ \acute{o}n_stoiceíwn)}{P_{DC} \text{πραγματική_ισχύς_εισόδου}} \quad (3.12)$$

Η απόδοση της μετατροπής εξαρτάται άμεσα από την ισχύ εισόδου, ενώ μεταβάλλεται σε μικρό ποσοστό με βάση την τάση εισόδου.

- **Απόδοση ανίχνευσης n_{TR} :** Η ποιότητα προσαρμογής του αντιστροφέα στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας για τη μετατροπή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας σε εναλλασσόμενο ρεύμα εκφράζεται από την απόδοση ανίχνευσης:

$$n_{TR} = \frac{P_{DC} \text{πραγματική_ισχύς_εισόδου}}{P_{PV} \text{μέγιστη_στιγμιαία_ισχύς_thV_sustoiciaV_fwto\ bol\ taik\ \acute{o}n}} \quad (3.13)$$

Η ταχύτητα προσαρμογής του συστήματος ανίχνευσης του σημείου μέγιστης ισχύος καθορίζει το χρόνο κατά το οποίο οι κορυφές (peaks) ακτινοβολίας μικρής ακτινοβολίας μικρής διάρκειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν, σε μέρες για παράδειγμα που η πυκνότητα των σύννεφων μεταβάλλεται διαρκώς. Όμως, οι υψηλές κορυφές ισχύος πάνω από 1.000 W/m² συνήθως κόβονται από το όριο ισχύος του αντιστροφέα.

- **Στατική απόδοση ανίχνευσης n_{INV} :** Η απόδοση αυτή αποτελεί προϊόν των δύο παραπάνω αποδόσεων:

$$n_{INV} = n_{CON} * n_{TR} \quad (3.14)$$

Η στατική απόδοση μπορεί να υπολογίζεται για τα διαφορετικά φορτία. Γενικότερα, μόνο η απόδοση μετατροπής που επιτυγχάνεται κατά την ονομαστική λειτουργία του αντιστροφέα αναφέρεται ως η ονομαστική απόδοση. Η μέγιστη απόδοση που συχνά αναφέρεται, έχει τιμή 50 % με 80 % της ονομαστικής ισχύος.

- **Ευρωπαϊκή απόδοση n_{Euro} :** Η ευρωπαϊκή απόδοση υιοθετήθηκε ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση της αποτελεσματικότητας των διάφορων μετατροπέων. Για να υπολογιστεί χρησιμοποιούνται οι παρακάτω έξι αποδόσεις σε διαφορετικές εξόδους:

$$n_{Euro} = 0.3 * n_{5\%} + 0.6 * n_{10\%} + 0.13 * n_{20\%} + 0.1 * n_{30\%} + 0.48 * n_{50\%} + 0.2 * n_{100\%} \quad (3.15)$$

Η τιμή δίνει την απόδοση σε ονομαστική κατάσταση. Τότε η ισχύς της φωτοβολταϊκής συστοιχίας ανταποκρίνεται στην ονομαστική ισχύ του αντιστροφέα. Κατά μέσο όρο, απόδοση 100 % του φορτίου του αντιστροφέα θεωρείται ότι επιτυγχάνεται κατά το 20 % του χρόνου της λειτουργίας εντός του έτους. Η απόδοση 50 % της ισχύος της συστοιχίας είναι αυτή στην οποία δίνεται το μεγαλύτερο βάρος της τιμής της ευρωπαϊκής απόδοσης. Το 50 % του φορτίου του αντιστροφέα θεωρείται το 48 % του χρόνου λειτουργίας εντός του έτους. Όμοια προκύπτουν και τα υπόλοιπα.

Η ευρωπαϊκή απόδοση επιτρέπει τη σύγκριση της απόδοσης διαφορετικών αντιστροφέων, καθώς αποτελεί μια σταθμισμένη απόδοση για το κεντρικό ευρωπαϊκό κλίμα. Σύμφωνα με αυτή οι πλέον σύγχρονοι αντιστροφείς επιδεικνύουν μια απόδοση που κυμαίνεται από 92 % έως 96 %. Ωστόσο και συνήθως υπολογίζεται από τους κατασκευαστές μόνο στην ονομαστική τάση, ενώ το σημείο μέγιστης ισχύος ποικίλει σε ευρείας κλίμακας τάση. Για το λόγο λοιπόν αυτό, η απόδοση θα πρέπει να υπολογίζεται από τους κατασκευαστές σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο IEC 61683, σύμφωνα με το οποίο, η απόδοση πρέπει να υπολογίζεται σε θερμοκρασία $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ και στις ακόλουθες τρεις τάσεις:

- \dot{U} Ελάχιστη τάση εισόδου
- \dot{U} Ονομαστική τάση
- \dot{U} 90 % της μέγιστης τάσης εισόδου

3.3.2.4 Διασύνδεση με το δίκτυο

Για να επιτευχθεί διασύνδεση των φωτοβολταϊκών με το δίκτυο απαιτείται ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα ισχύος, στο οποίο είναι επιθυμητό ο αντιστροφέας να λειτουργεί στο σημείο μέγιστης ισχύος. Ακόμη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα πρέπει να παράγουν ένα καθαρό DC ρεύμα, καθώς η μείωση της απορροφούμενης ισχύος δεν είναι μεγάλη, ακόμη και με την παρουσία μικρού ρεύματος κυμάτωσης. Με στόχο τη διαρκή λειτουργία της συστοιχίας στο σημείο μέγιστης ισχύος, εισάγεται μια μέθοδος διαταραχής και ρύθμισης που ονομάζεται τεχνική κυμάτωσης (dithering). Ανά τακτά χρονικά διαστήματα και όταν το ρεύμα διαταράσσεται, ρυθμίζει την τάση εξόδου. Αν ένα αυξημένο ρεύμα προκαλεί μεγαλύτερη ισχύ, τότε το ρεύμα αυξάνεται ακόμη περισσότερο έως ότου να καλυφθεί η ισχύς εξόδου. Αν η αύξηση του ρεύματος προκαλεί μικρότερη ισχύ από προηγούμενως, το ρεύμα ελαττώνεται έως ότου η ισχύς εξόδου να σταματήσει να αυξάνεται και να αρχίσει να μειώνεται. Το ρεύμα που θα παρέχεται στο δίκτυο πρέπει να είναι ημιτονοειδές με συντελεστή ισχύος σχεδόν ίσο με τη μονάδα (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie 2008; Messenger και Ventre 2004).

- 1) **Μονοφασική διασύνδεση:** μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μετατροπέας τάσης του δικτύου με έλεγχο φάσης, όπου η ηλεκτρική απομόνωση παρέχεται από έναν μετασχηματιστή 50 Hz. Στην AC πλευρά απαιτούνται φίλτρα και αντιστάθμιση της άεργου ισχύος, γιατί το ρεύμα εξόδου θα περιέχει αρμονικές και θα παρατηρείται επαγωγικός συντελεστής ισχύος. Ακόμη, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας μετατροπέας διακοπτικού τύπου με διαμόρφωση PWM, όπου η ηλεκτρική απομόνωση παρέχεται με μετασχηματιστή 50 Hz. Όμως και καθώς το ρεύμα εξόδου ελέγχεται, με σκοπό να είναι σε φάση με την τάση τροφοδοσίας, θα συνέφερε οικονομικά η χρήση ενός μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας για την ηλεκτρική απομόνωση (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie 2008; Messenger και Ventre 2004).

Στην τελευταία αυτή περίπτωση, η DC τάση εισόδου αντιστρέφεται έτσι ώστε να τροφοδοτηθεί με υψηλή συχνότητα το πρωτεύον του μετασχηματιστή. Η τάση στο δευτερεύον και η παραγόμενη DC τάση συνδέεται με την τάση γραμμής μέσω ενός μετατροπέα της τάσης δικτύου με Th. Μάλιστα και καθώς το ρεύμα γραμμής θα πρέπει να είναι ημιτονοειδές και ταυτόχρονα συμφασικό με την τάση της γραμμής,

μετριέται η τάση γραμμής, με σκοπό τη δημιουργία μιας κυματομορφής αναφοράς για το ημιτονοειδές ρεύμα γραμμής. Το πλάτος του ρεύματος καθορίζεται από τον ελεγκτή μέγιστης ισχύος με τη βοήθεια τεχνικής κυμάτωσης. Το ρεύμα γραμμής πολλαπλασιαζόμενο με το λόγο μετασχηματισμού του μετασχηματιστή συμπεριφέρεται ως ρεύμα αναφοράς για την έξοδο του μετατροπέα διακοπτικού τύπου (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie 2008; Messenger και Ventre 2004).

- 2) **Τριφασική διασύνδεση:** σε επίπεδο ισχύος μεγαλύτερο από ορισμένα kW είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί τριφασική διασύνδεση. Ημιτονοειδή ρεύματα με συντελεστή ισχύος κοντά στη μονάδα, μπορούν να ληφθούν με τη χρήση DC-AC αντιστροφέα διακοπτικού τύπου με έλεγχο ρεύματος. Παράλληλα, απαιτείται τριφασικό μετασχηματιστής ώστε να παρέχει την ηλεκτρική απομόνωση.

3.3.2.5 Συμπεριφορά του αντιστροφέα κατά την υπερφόρτωση

Όταν τα φωτοβολταϊκά συστήματα δε χαρακτηρίζονται από βέλτιστο προσανατολισμό ή όταν σκιάζονται μερικώς, ενδέχεται να παρατηρηθεί υπερφόρτωση. Έτσι, για το ορθό σχεδιασμό του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι κρίσιμο να ελεγχτεί η συμπεριφορά του αντιστροφέα στην κατάσταση αυτή υπερφόρτωσης. Στην περίπτωση που ένας μετατροπέας υπόκειται σε φορτίο μεγαλύτερο από το ονομαστικό του φορτίο, τότε τα ηλεκτρονικά του μέρη υπόκεινται σε μεγαλύτερο θερμικό φορτίο. Μια όμως σύντομη υπερφόρτωση δεν οδηγεί σε κάποια σημαντική υπερθέρμανση στα συστατικά και γενικότερα δε μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη της συσκευής. Ο έλεγχος της μείωσης της ισχύος ενεργοποιείται θερμικά. Μόλις επιτευχθεί η κρίσιμη θερμοκρασία η ισχύς μειώνεται, με αποτέλεσμα η μέγιστη ισχύς να επηρεάζεται παράλληλα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος του μετατροπέα. Μάλιστα, πολλές συσκευές διαθέτουν επιπρόσθετους ανεμιστήρες που μπορούν να ωθήσουν προς τα πάνω τη μείωση του ορίου ισχύος. Η ισχύς πολλές φορές περιορίζεται από τη μετατόπιση του σημείου λειτουργίας και ο μετατροπέας δε λειτουργεί πλέον στο σημείο μέγιστης ισχύος. Παράλληλα, είναι δυνατός ο περιορισμός της ισχύος από τη μεταγωγή του αντιστροφέα εναλλάξ on και off. Γενικότερα, οι αντιστροφεείς αρχίζουν να μειώνουν την ισχύ σε ποσά που υπερβαίνουν την ονομαστική ισχύ εξόδου (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie 2008).

3.3.2.6 Επιλογή μετατροπέα τάσης DC-AC

Για την επιλογή του μετατροπέα τάσης DC-AC πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής (Messenger και Ventre 2004):

- Η ονομαστική τάση
- Η ισχύς εξόδου, που θα πρέπει να ισούται με τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ των φορτίων κατανάλωσης, που λειτουργούν ταυτόχρονα
- Η ισχύς αιχμής, που θα πρέπει να είναι τριπλάσια από τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ των φορτίων κατανάλωσης, που λειτουργούν ταυτόχρονα
- Η τάση εξόδου, που θα πρέπει να είναι ίση με αυτήν των φορτίων κατανάλωσης.

Είναι σημαντικό να τονιστεί πως σε κάθε φωτοβολταϊκό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, η Δ.Ε.Η. απαιτεί την ύπαρξη προστασίας απόζευξης μέσω διατάξεων του μετατροπέα DC-AC, έτσι ώστε ο σταθμός να αποσυνδέεται σε περίπτωση έλλειψης τάσης από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. (φαινόμενο νησιδοποίησης) ή όταν η τάση και η συχνότητα του ρεύματος αποκλίνουν από τα παρακάτω όρια (Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών 2011):

- Τάση: από +15 % έως και -20 % επί της ονομαστικής ισχύος (230 V)
- Συχνότητα: $\pm 0,5$ Hz της ονομαστικής τιμής (50 Hz)

Στην περίπτωση που τα όρια αυτά ξεπεραστούν ο μετατροπέας τίθεται εκτός λειτουργίας (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών 2011):

- Απόζευξη του μετατροπέα σε 0,5 sec
- Επανάζευξη του μετατροπέα μετά από 3 min

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

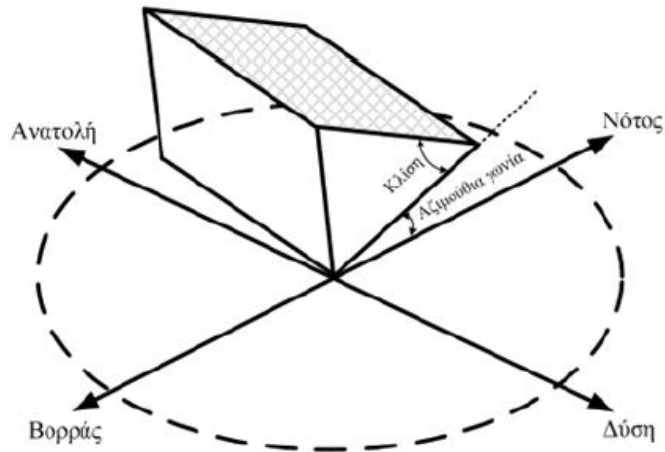
Στην παρούσα ενότητα περιγράφονται οι συνιστώσες εκείνες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και πραγματοποιείται η ανάλυση του υπολογισμού τους ώστε να επιτευχθεί μια σωστή εγκατάσταση.

4.1 Προσανατολισμός και διάταξη φωτοβολταϊκού πλαισίου

4.1.1 Προσανατολισμός

Ο σωστός προσανατολισμός του φωτοβολταϊκού πλαισίου αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες για την ορθή και αποδοτική λειτουργία του. Για την αποδοτικότερη αυτή λειτουργία το φωτοβολταϊκό πλαίσιο θα έπρεπε και καθώς η πορεία του Ηλίου διαφοροποιείται ώρα με τη ώρα και μέρα με την μέρα, να μπορεί να ακολουθεί την πορεία αυτή, ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει διαρκώς κάθετα σε αυτό. Ωστόσο, και λόγω του υψηλού κόστους ενός κινούμενου πλαισίου τις περισσότερες φορές επιλέγεται το σταθερό πλαίσιο. Στην περίπτωση λοιπόν, που χρησιμοποιηθεί πλαίσιο σταθερού προσανατολισμού, θα πρέπει η γωνία πρόσπτωσης να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στις 90° καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να γίνει κατάλληλη επιλογή της γωνίας κλίσης και του αζιμούθιου του πλαισίου (Περδίδος 2007; Markvart και Castaner Munoz 2003).

Ως κλίση του πλαισίου (β) ορίζεται η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα το επίπεδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου και στο οριζόντιο επίπεδο και αποτελεί τη γωνία που δείχνει κατά πόσο γέρνει το πλαίσιο. Ως αζιμούθια γωνία του πλαισίου (α) ορίζεται η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο μεταξύ της προβολής της κατακόρυφου του πλαισίου και του τοπικού μεσημβρινού βορρά – νότου. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι δύο αυτές γωνίες (Περδίδος 2007; Markvart και Castaner Munoz 2003):



Εικόνα 4.1 Γωνίες προσανατολισμού φωτοβολταϊκού πλαισίου στην επιφάνεια της γης (Περδίας 2007)

Μάλιστα, στο βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του πλαισίου είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου (φ) σε όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ η αξιμούθια γωνία είναι ίση με 0° (Νότια προσανατολισμένο πλαίσιο). Πιο συγκεκριμένα (Luque και Hegedus 2003):

- $\beta = \varphi$, για όλη το έτος
- $\beta = \varphi + 15^\circ$ για καλύτερη απόδοση κατά τη διάρκεια του χειμώνα
- $\beta = \varphi - 15^\circ$ για καλύτερη απόδοση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού
- $\beta = \varphi - 15^\circ$ για περιοχές που χαρακτηρίζονται από υγρό κλίμα
- $5^\circ \leq \beta \leq 10^\circ$ για περιοχές με γεωγραφικό πλάτος $\varphi \leq 20^\circ$ (περιοχές γύρω από τον ισημερινό)
- $\beta = 0^\circ$ για περιοχές με μικρή ηλιοφάνεια (μέγιστη εκμετάλλευση διάχυτης ακτινοβολίας)

Στην περίπτωση που το πλαίσιο τοποθετηθεί πάνω σε ένα κτίριο και η βέλτιστη κλίση δεν είναι επιτρεπτή, λόγω σκιάσεων από γειτονικά κτίρια και ούτω καθεξής, το πλαίσιο μπορεί να τοποθετηθεί στον άξονα ανατολής-δύσης, ποτέ όμως βόρεια προσανατολισμένο για να αποφευχθεί μια ιδιαίτερα χαμηλή απόδοση. Εξάλλου ο βόρειος προσανατολισμός επιτρέπεται μόνο για οριζόντια πλαίσια, για μια γωνία κλίσης δηλαδή ίσης με το μηδέν (Luque και Hegedus 2003).

4.1.2 Διάταξη – Υπολογισμός απόστασης μεταξύ γειτονικών πλαισίων

Όταν πραγματοποιείται η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων κρίσιμη θεωρείται η μεταξύ τους απόσταση, καθώς ενδέχεται η μια σειρά να σκιάζει την επόμενη μειώνοντας έτσι αισθητά την απόδοση του συστήματος. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση (ϵ) μεταξύ δύο γειτονικών σειρών. Ο υπολογισμός της απόστασης αυτής πραγματοποιείται με τη βοήθεια των εξής παρακάτω βημάτων (Περδίας 2007):

- 1) Υπολογισμός της επικάλυψης του ύψους της κατασκευής στήριξης:

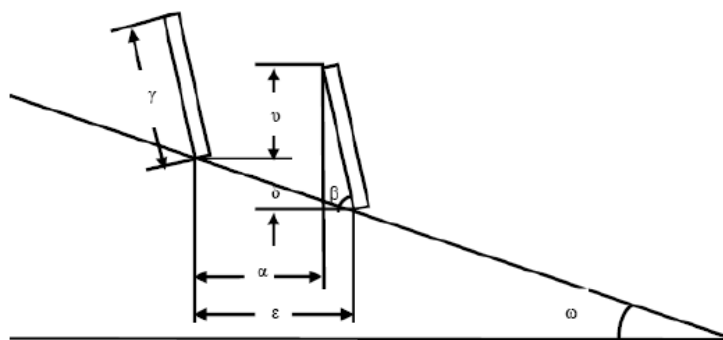
$$u = g * hmb - d \quad (4.1)$$

όπου: u σε m

γ (m): μήκος πλαισίων

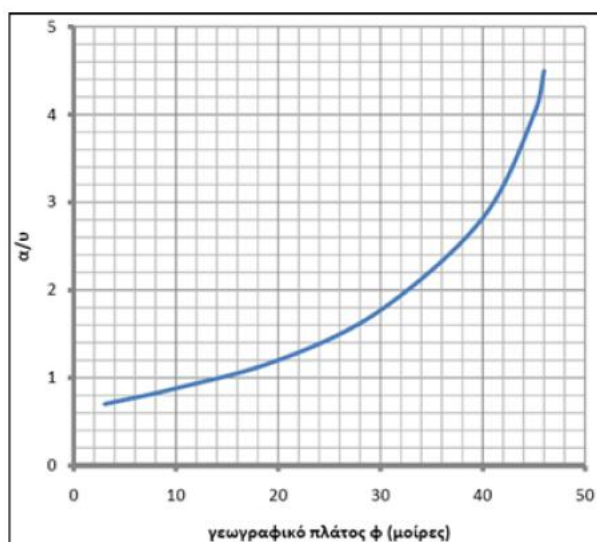
β ($^\circ$): γωνία κλίσης πλαισίων

δ (m): υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δύο σειρών φωτοβολταϊκών πλαισίων ($\delta=0$, όταν πρόκειται για στήριξη στο ίδιο επίπεδο)



Εικόνα 4.2 Διάταξη φωτοβολταϊκών πλαισίων σε παράλληλες σειρές (Περδίας 2007)

- 2) Υπολογισμός της ελεύθερης απόστασης μεταξύ δύο γειτονικών σειρών πλαισίων: Η ελεύθερη απόσταση (α) προκύπτει από το λόγο α/u , που υπολογίζεται βάσει του παρακάτω γραφήματος:



Εικόνα 4.3 Γράφημα προσδιορισμού του λόγου a/v σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος ϕ (Περδίδος 2007)

- 3) Υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δύο γειτονικών σειρών πλαισίων:

$$e = a + g \sin b \quad (4.2)$$

Η ελάχιστη αυτή απόσταση προκύπτει πάλι σε m.

4.2 Υπολογισμός του αριθμού πλαισίων φωτοβολταϊκού συστήματος

Για τον υπολογισμό του αριθμού των πλαισίων μιας συστοιχίας χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση (Περδίδος 2007):

$$N = N_p + N_s \quad (4.3)$$

όπου: N: ο συνολικός αριθμός των πλαισίων

N_p : ο αριθμός των παράλληλων κλάδων των πλαισίων

N_s : ο αριθμός των πλαισίων σε σειρά ανά κλάδο

Ο αριθμός των απαιτούμενων φωτοβολταϊκών πλαισίων υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση (Περδίδος 2007):

$$N = \frac{P_{p\Sigma}}{P_{p\Pi}} \quad (4.4)$$

όπου: $P_{p\Sigma}$ (Wp): ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας (η ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας αναλύεται στο Παράρτημα Β)

$P_{p\Pi}$ (Wp): ισχύς αιχμής πλαισίου (ποικίλει ανάλογα με το είδος του πλαισίου)

Ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση (Περδίδς 2007):

$$N_s = \frac{V_{m\Sigma}}{V_{m\Pi}} \quad (4.5)$$

όπου: $V_{m\Sigma}$ (V): μέγιστη τάση ρεύματος φωτοβολταϊκής συστοιχίας

$V_{m\Pi}$ (V): μέγιστη τάση ρεύματος κάθε πλαισίου (εξαρτάται από τον τύπο του πλαισίου)

Μάλιστα για την επιλογή του $V_{m\Sigma}$ ορίζονται τα εξής:

- $V_{m\Sigma}$: 100 -200 V για συστήματα ως 3 kWp
- $V_{m\Sigma}$: 200 -400 V για συστήματα από 3 kWp ως 10 kWp
- $V_{m\Sigma}$: 400 -700 V για μεγαλύτερα συστήματα

Ο αριθμός των παράλληλων κλάδων υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση (Περδίδς 2007):

$$N_p = \frac{N}{N_s} \quad (4.6)$$

4.3 Ισχύς εξόδου

Τέλος , η ισχύς εξόδου του μετατροπέα (P_{inv}) πρέπει να είναι μικρότερη από την ισχύ αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 30 % της ισχύος αιχμής. Ορίζεται λοιπόν από τη σχέση (Φραγκιαδάκης 2007):

$$P_{inv} = \frac{P_{p\Sigma}}{1,3} \quad (4.7)$$

όπου: $P_{p\Sigma}$ (W_p): ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας (η ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας αναλύεται στο Παράρτημα Β)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

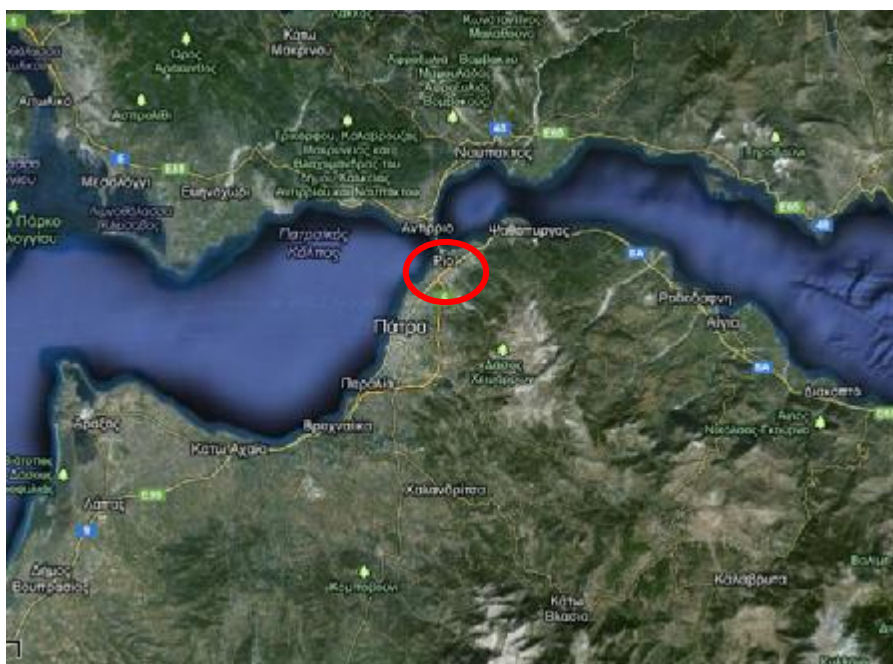
5.1 Μελέτη και διαδικασία εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος 30KW για οικία 200 τμ διασυνδεδεμένης στο δίκτυο της ΔΕΗ

Στην παρούσα ενότητα γίνεται η αναλυτική περιγραφή μιας μονάδας φωτοβολταϊκών 30 kW, που θα εγκατεστηθεί στην περιοχή του Ρίου Πατρών σε μια στέγη οικίας 200 m².

5.1.1 Γενικά χαρακτηριστικά περιοχής του Ρίου Πατρών

Το Ρίο αποτελεί μια παραθαλάσσια κοινότητα του δήμου Πατρών και είναι η έδρα της ομώνυμης τοπικής κοινότητας του. Βρίσκεται στο Ακρωτήριο Ρίου. Σύμφωνα με την απογραφή του 2001 είχε 5.231 κατοίκους (Βικιπαίδεια 2012).

Το Ρίο βρίσκεται οκτώ χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Πάτρας. Συνορεύει με τη συνοικία Προάστιο της Πάτρας και τα χωριά Ακταίο και Κάτω Καστρίτσι. Περιλαμβάνει πολλές περιοχές και οικισμούς όπως τον Καστελλόκαμπο, τα Ζαιμέικα (από την Οικογένεια Ζαΐμη) και τα Πετιμεζαΐικα (από την Οικογένεια Πετιμεζά) (Βικιπαίδεια 2012).



Εικόνα 5.1 Χάρτης της πόλης του Ρίου (Google maps)

5.1.2 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά περιοχής του Ρίου Πατρών

Το κλίμα του Ρίου, δεν είναι διαθέσιμο για τη μελέτη της εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Για το λόγο αυτό γίνεται χρήση των κλιματολογικών δεδομένων της πόλης της Πάτρας.

Το κλίμα της Πάτρας, όπως και το κλίμα των υπολοίπων πόλεων της Δυτικής Ελλάδας χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με σχετικά δροσερά, αλλά ταυτόχρονα υγρά καλοκαίρια και σχετικά ήπιους χειμώνες. Οι άνεμοι που επικρατούν στην Πάτρα μπορούν να φτάνουν μέχρι και τα 7 Μποφόρ. Το χειμώνα ενδέχεται να παρατηρηθεί χιόνι από τις κορυφές των βουνών, ενώ ταυτόχρονα παρατηρούνται αρκετές βροχοπτώσεις καθ' όλη την διάρκεια του. Ωστόσο, η Πάτρα δε χαρακτηρίζεται από ακραία καιρικά φαινόμενα ούτε το χειμώνα ούτε το καλοκαίρι. Η μέση ετήσια τιμή της υγρασίας στην περιοχή είναι 64 %, ενώ η μέση θερμοκρασία το χειμώνα είναι 10°C και το καλοκαίρι 26 °C (Web Greece Traveller 2012).

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικοί πίνακες των κλιματολογικών χαρακτηριστικών της Πάτρας, τα οποία με βάση το λογισμικό METEONORM 5.102 (με βάση δεδομένα 10 ετών) διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 5.1 Κλιματολογικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης (METEONORM 5.102)

Μήνας	Ta (° C)	Ta min (° C)	Ta dmin (° C)	Ta max (° C)	Ta dmax (° C)	RH (%)	RR (mm)	FF (m/ s)
Ιανουάριος	9,9	-0,1	6,3	17,5	13,6	67	93	2,9
Φεβρουάριος	10,5	1,3	6,5	18,8	14,3	66	91	2,9
Μάρτιος	12,6	2,0	8,4	22,3	16,7	64	62	3,0
Απρίλιος	15,8	5,4	10,7	25,7	19,9	65	46	3,1
Μάιος	20,3	10,1	15,1	29,9	24,9	63	28	2,6
Ιούνιος	24,1	13,7	18,1	33,4	28,8	61	9	2,7
Ιούλιος	26,4	17,0	20,6	36,6	31,7	59	6	2,6
Αύγουστος	26,6	16,7	21,0	36,6	31,6	58	5	2,6
Σεπτέμβριος	23,7	14,6	18,4	32,3	28,0	62	23	2,6
Οκτώβριος	18,9	8,8	14,3	28,6	23,3	66	75	2,5
Νοέμβριος	14,5	4,2	10,3	24,7	18,2	70	118	2,6
Δεκέμβριος	11,4	1,0	8,0	20,1	14,9	70	122	2,8

Ετησίως	17,9 (Μέσος όρος)					64 (Μέσος όρος)	678 (Σύνολο)	2,7 (Μέσος όρος)
---------	-------------------------	--	--	--	--	-----------------------	-----------------	------------------------

Υπόμνημα:

Ta: Ατμοσφαιρική θερμοκρασία

Ta min: Ελάχιστη ατμοσφαιρική θερμοκρασία

Ta dmin: Μέση ημερήσια ελάχιστη ατμοσφαιρική θερμοκρασία

Ta max: Μέγιστη ατμοσφαιρική θερμοκρασία

Ta dmax: Μέση ημερήσια μέγιστη ατμοσφαιρική θερμοκρασία

RH: Σχετική υγρασία

RR: Βροχόπτωση

FF: Ταχύτητα του ανέμου

Σε ότι την ηλιακή ακτινοβολία και πάλι με βάση το λογισμικό METEONORM 5.102 (με βάση δεδομένα 10 ετών) διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 5.2 Ηλιακή ακτινοβολία περιοχής μελέτης (METEONORM 5.102)

Μήνας	SD (h/ day)	H_Gh (kWh/ m ²)	H_Dh (kWh/ m ²)	H_Gk (kWh/ m ²)	H_Dk (kWh/ m ²)
Ιανουάριος	143	54	34	77	41
Φεβρουάριος	141	67	42	87	49
Μάρτιος	186	107	64	126	71
Απρίλιος	215	152	84	163	89
Μάιος	287	194	94	195	96
Ιούνιος	249	212	89	205	90
Ιούλιος	359	216	93	213	95
Αύγουστος	339	190	85	200	90
Σεπτέμβριος	271	146	71	169	79
Οκτώβριος	207	93	52	117	60
Νοέμβριος	152	57	37	76	44
Δεκέμβριος	131	44	31	62	36
Ετησίως (Σύνολο)	2681	1530	776	1689	839

Υπόμνημα:

SD: Διάρκεια ηλιοφάνειας

H_Gh: Συνολική έκθεση αντικειμένου στην ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

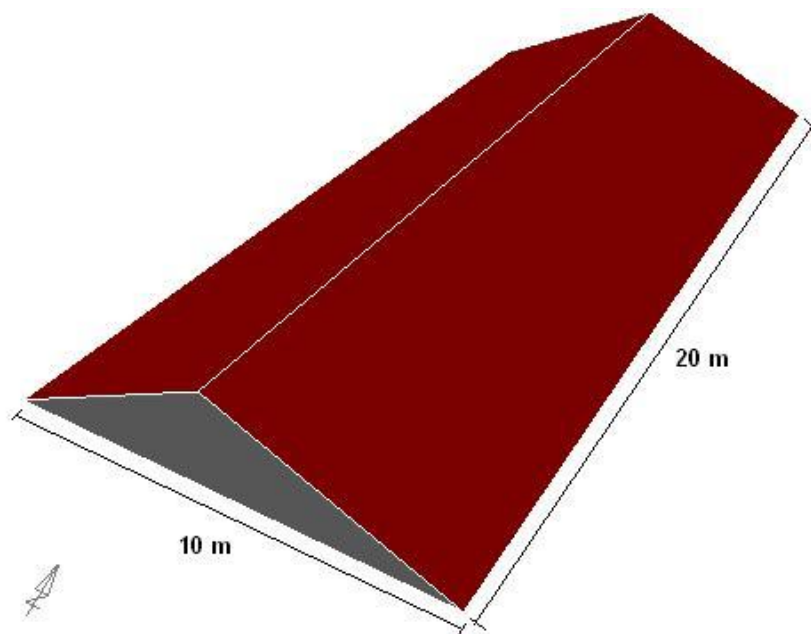
H_Dh: Έκθεση αντικειμένου στην έμμεση (διάχυτη) ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

H_Gk: Συνολική έκθεση αντικειμένου στην ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο (Βέλτιστη κλίση για την περιοχή μελέτης 27 °, Institute for energy and transport (2012) PVGIS PV Estimation Utility.)

H_Dk: Έκθεση αντικειμένου στην έμμεση (διάχυτη) ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο (Βέλτιστη κλίση για την περιοχή μελέτης 28 °, Institute for energy and transport (2012) PVGIS PV Estimation Utility.)

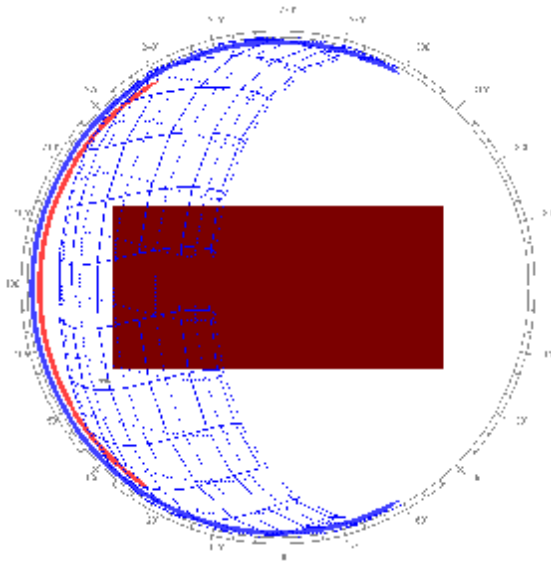
5.1.3 Σχεδιασμός στέγης της οικίας και προσανατολισμός

Η στέγη της μελετώμενης οικίας είναι δίριχτη, στον άξονα Ανατολής-Δύσης. Η κλίση της στέγης είναι 25 ° και σαν υλικό κατασκευής έχει κεραμίδια. Παρακάτω παρουσιάζεται μια τρισδιάστατη εικόνα της στέγης που πραγματοποιήθηκε μέσω το λογισμικού Ecotect 5.50n:



Εικόνα 5.2 Στέγη μελετώμενης οικίας (Ecotect 5.50n)

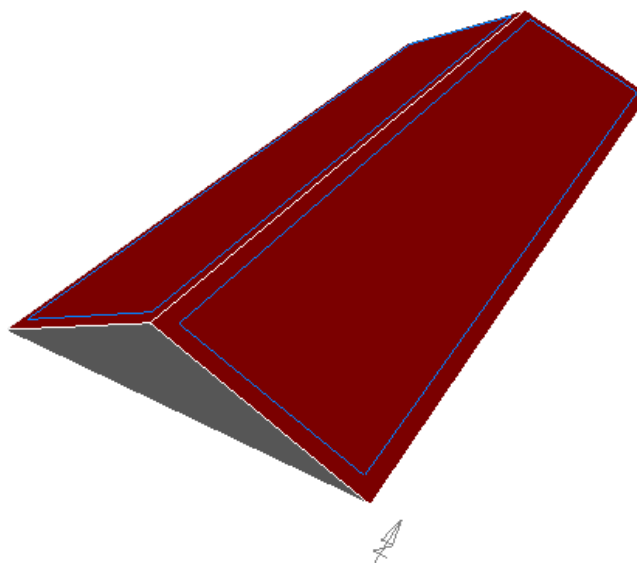
Παρακάτω παρουσιάζεται το ετήσιο ηλιακό μονοπάτι με βάση τον προσανατολισμό της οικίας:



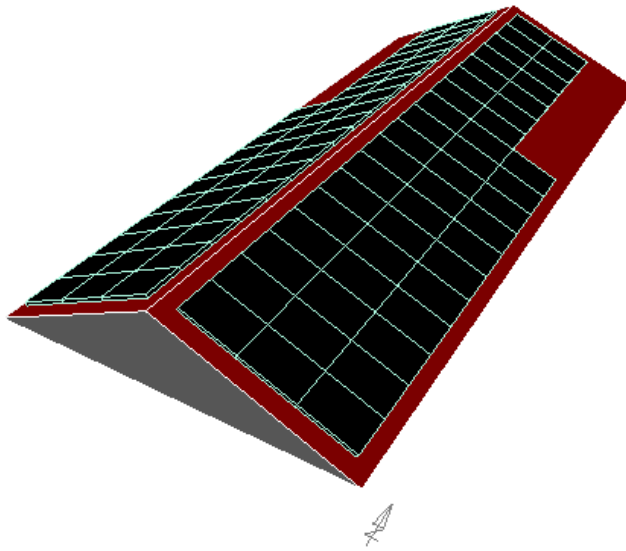
Εικόνα 5.3 Ετήσιο ηλιακό μονοπάτι (sun path) με βάση τον προσανατολισμό της οικίας (Ecotect 5.50v)

5.1.4 Χωροθέτηση του συστήματος των 30 kW στη στέγη

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα τοποθετηθούν στις δύο όψεις της δίριχτης στέγης (άξονας Ανατολής-Δύσης). Τα πλαίσια που επιλέχθηκαν, ώστε να επιτευχθεί η απόδοση των 30 kW σε μια στέγη 200 m², και τα οποία θα περιγραφούν σε παρακάτω ενότητα αναλυτικότερα, είναι ισχύος 318 W και διαστάσεων 1,046 m: 1,559 m. Με βάση τις διαστάσεις αυτές και με την προβλεπόμενη νομοθεσία (Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών 2011), με βάση την οποία τα πλαίσια θα πρέπει να απέχουν απόσταση 0,5 m από τα άκρα της στέγης προκύπτει η παρακάτω χωροθέτηση:

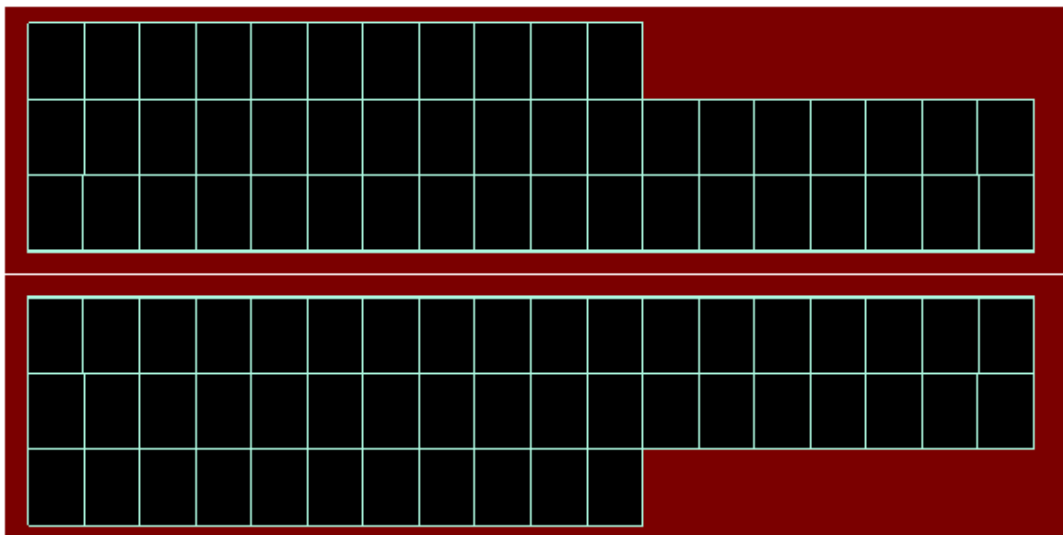


Εικόνα 5.4 Περιμετρικά όρια των 0,5 m από τα άκρα της στέγης (Ecotect 5.50v)



Εικόνα 5.5 Τρισδιάστατη χωροθέτηση των πάνελ (Ecotect 5.50v)

Εικόνα 5.6 Κάτοψη χωροθέτησης των πάνελ (Ecotect 5.50v)



Από την κάτοψη διαπιστώνεται πως συνολικά τοποθετήθηκαν 94 πάνελ, 47 σε κάθε πλευρά. Έτσι η συνολική ισχύ του συστήματος θα είναι:

$$94 \text{ πάνελ} * 318 \text{ W/ πάνελ} = 29.892 \text{ W} = 29,9 \text{ kW}$$

5.1.4 Ετήσια απόδοση μονάδας

Παρακάτω παρουσιάζεται η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος είναι (Institute for energy and transport (2012) PVGIS PV Estimation Utility). Τονίζεται πως η απόδοση του συνολικού συστήματος των 29,9 kW προκύπτει από το άθροισμα των

αποδόσεων του συστήματος για τους δύο διαφορετικούς προσανατολισμούς (14,95 kW στην Ανατολή και 14,95 kW στη Δύση). Έτσι:

Πίνακας 5.3 Ετήσια απόδοση μονάδας φωτοβολταϊκών 14,95 kW στην Ανατολή (Institute for energy and transport (2012) PVGIS PV Estimation Utility)

Month	Production per month (kWh)	Production per day (kWh)
Jan	636	21
Feb	788	28
Mar	1.319	43
Apr	1.790	60
May	2.218	72
Jun	2.393	80
Jul	2.385	77
Aug	2.133	69
Sep	1.622	54
Oct	1.125	36
Nov	677	23
Dec	530	17
Yearly average	1.468	48
Total yearly production (kWh)	17.615	

Πίνακας 5.4 Ετήσια απόδοση μονάδας φωτοβολταϊκών 14,95 kW στη Δύση (Institute for energy and transport (2012) PVGIS PV Estimation Utility)

Month	Production per month (kWh)	Production per day (kWh)
Jan	639	21
Feb	790	28
Mar	1.323	43
Apr	1.795	60
May	2.214	71
Jun	2.387	80
Jul	2.376	77
Aug	2.126	69
Sep	1.618	54
Oct	1.133	37

Nov	683	23
Dec	532	17
Yearly average	1.468	48
Total yearly production (kWh)	17.616	

Όπως διαπιστώνεται από τους δύο παραπάνω πίνακες, η διαφορά της ετήσιας απόδοσης είναι αμελητέα ανάμεσα στους δύο προσανατολισμούς.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η συνολική απόδοση της μονάδας των 29,9 kW:

Πίνακας 5.5 Συνολική ετήσια απόδοση μονάδας φωτοβολταϊκών 29,9 kW (Institute for energy and transport (2012) PVGIS PV Estimation Utility)

Month	Production per month (kWh)	Production per day (kWh)
Jan	1.275	42
Feb	1.578	56
Mar	2.642	86
Apr	3.585	120
May	4.432	143
Jun	4.780	160
Jul	4.761	154
Aug	4.259	138
Sep	3.240	108
Oct	2.258	73
Nov	1.360	46
Dec	1.062	34
Yearly average	2.936	97
Total yearly production (kWh)	35.231	

5.1.5 Τεχνική περιγραφή μονάδας

Όπως ήδη αναφέρθηκε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται στις δύο όψεις της δίριχτης στέγης (άξονας Ανατολής-Δύσης).

Τα πάνελ που χρησιμοποιούνται είναι της εταιρείας SUN POWER τύπου E19/318. Η ισχύς (stc) των συγκεκριμένων πλαισίων είναι 318Wp (+5/-3%), ενώ

χρησιμοποιούνται συνολικά 94 πάνελ με αποτέλεσμα η συνολική τους ισχύς να ανέρχεται στα 29,9 kWp. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των πάνελ της παρούσας μονάδας δίνονται στον παρακάτω Πίνακα (περισσότερες λεπτομέρειες στο Παράρτημα E):

Πίνακας 5.6 Βασικά χαρακτηριστικά των πάνελ (Τεχνικό φυλλάδιο SUN POWER, Παράρτημα E)

Χαρακτηριστικά των πάνελ	
Peak Power Watts - P _{MAX} (W _p)	318
Συνολικός αριθμός πάνελ	94
Τεχνολογία	μονοκρυσταλλικό πυρίτιο
Maximum Power Voltage - V _{MPP} (V)	54,7
Open Circuit Voltage - V _{OC} (V)	64,7
Maximum Power Current - I _{MPP} (A)	5,82
Short Circuit Current - I _{SC} (A)	6,20
Max Series Fuse Rating (A)	15
Διαστάσεις (mm)	1559 x 1046 x 181
Επιφάνεια (m ²)	1,63
Βάρος (kg)	18,6
Module Efficiency (%)	19,5
Πιστοποιητικά	UL 1703
Εγγύηση	10 χρόνια εγγύηση προϊόντος 25 χρόνια εγγύηση ισχύος
Τιμή ανά W (€/W)	1,4

Χρησιμοποιούνται ακόμη 3 μετατροπείς (inverter) της εταιρείας SMA και τύπου STP 10.000TL. Οι συγκεκριμένοι μετατροπείς είναι τριφασικοί και έχουν μέγιστη ισχύ εισόδου DC 10,4 kW. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του μετατροπέα της παρούσας μονάδας δίνονται στον παρακάτω Πίνακα (περισσότερες λεπτομέρειες στο Παράρτημα E):

Πίνακας 5.7 Βασικά χαρακτηριστικά μετατροπέα (Τεχνικό φυλλάδιο SMA, Παράρτημα E)

Χαρακτηριστικά Inverter	
Αριθμός Inverter	3
Τάση δικτύου AC εξόδου	3/N/PE, 230 / 400 V
Συχνότητα εξόδου AC	50 Hz / 60 Hz ± 4,5 Hz
Ονομαστική ισχύς εξόδου AC	10.000 W
Μέγιστη τάση εισόδου DC	1.000 V

Ελαχίστη τάση εισόδου DC	150 V / 188 V
Ονομαστική τάση εισόδου DC	320 V – 800 V / 600 V
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	98 % / 97,5 %
Συντελεστής ισχύος	1
Διαστάσεις (mm)	665 x 690 x 265
Βάρος (kg)	65
Υγρασία	0-100%
Θερμοκρασία λειτουργίας	-25 έως 60 ° C
Κατηγορία προστασίας IP κατά IEC 60529	IP 65
Κόστος ενός μετατροπέα	3.000 €

Ο τριφασικός μετατροπέας Sunny Tripower ενδείκνυται για τη διαστασιολόγηση με κάθε τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου χάρη στη νέα τεχνολογία Optiflex με δύο εισόδους ανίχνευσης σημείου μέγιστης ισχύος MPP και με μεγάλο εύρος τιμών τάσης εισόδου. Επιπλέον εξασφαλίζει μέγιστη ευελιξία στο σχεδιασμό κάθε εγκατάστασης, με αποτέλεσμα να ενδείκνυται για εγκαταστάσεις κλίμακας έως και Megawatt. Ο Sunny Tripower πληροί όλες τις απαιτήσεις για την παροχή άεργου ισχύος, τη διαχείριση τροφοδοσίας και την υποστήριξη δικτύου, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο αξιόπιστα στη διαχείριση του δικτύου. Τέλος περιλαμβάνει το ολοκληρωμένο σύστημα ασφάλειας Optiprotect με εντοπισμό βλάβης στοιχειοσειρών.

Για την τοποθέτηση των πλαισίων χρησιμοποιούνται βάσεις για κεραμοσκεπή της εταιρείας METALUMIN, και πιο συγκεκριμένα όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι είτε inox, είτε αλουμινίου για τη μέγιστη αντοχή στο χρόνο και στη διάβρωση.

5.1.5.1 Διαστασιολόγηση της μονάδας

Η διαστασιολόγηση της φωτοβολταϊκής μονάδας έγινε με το λογισμικό Sunny Design 2.30.0.R της εταιρείας SMA (Παράρτημα Γ), από το οποίο προκύπτει ότι στην είσοδο κάθε μετατροπέα θα εισέρχονται τέσσερις στοιχειοσειρές (strings), τρεις στην είσοδο A με 8 πάνελ η κάθε στοιχειοσειρά και 1 στην είσοδο B με 7 πάνελ, πλην ενός μετατροπέα που θα έχει 8 και στην είσοδο B για να επιτευχθεί ο συνολικός αριθμός των 94 πλαισίων.

5.1.5.2 Εγκατάσταση της μονάδας

Κάθε στοιχειοσειρά καταλήγει σε έναν ασφαλειοαποζεύκτη dc 1000V με φυσίγγια των 16A, που είναι εντός ενός πίνακα IP 65. Για την προστασία της DC πλευράς της μονάδας από έμμεσα κεραυνικά πλήγματα καθώς και από υπερτάσεις τοποθετείται εντός του μετατροπέα αντιυπερτασικά 40KA 1000V, όπως προτείνει ο κατασκευαστής (Sunny Design 2.30.0.R).

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται στο DC μέρος της μονάδας είναι διαμετρήματος 6 mm² με διπλή μόνωση κατάλληλα για εξωτερική χρήση (Sunny Design 2.30.0.R).

Από την έξοδο του μετατροπέα, δηλαδή στο AC μέρος χρησιμοποιείται ένα καλώδιο 5 x 10 mm² τύπου NYΥ στον γενικό πίνακα, το οποίο ασφαρίζεται με έναν μικροαυτόματο τριφασικό των 32A (3 x 32 A) (Sunny Design 2.30.0.R).

Εντός του Γενικού Πίνακα παραλληλίζονται και οι τρεις μετατροπείς και σε σειρά τοποθετείται ένα ρελέ διαρροής για την προστασία από τυχόν ρεύματα διαρροής (Sunny Design 2.30.0.R).

Παράλληλα με το ρελέ διαρροής συνδέεται ένα αντιυπερτασικό τύπου T1+T2 για την προστασία του AC μέρους της εγκατάστασης από άμεσα και έμμεσα κεραυνικά πλήγματα και υπερτάσεις (Sunny Design 2.30.0.R).

Σε σειρά με το ρελέ διαρροής συνδέεται ένας τριφασικός ασφαλειοαποζεύκτης με φυσίγγια 50 A (παροχή νούμερο 3) και τέλος πριν τον μετρητή τοποθετείται και ένας τετραπολικός διακόπτης στα 60 A (Sunny Design 2.30.0.R).

Για τον μετρητή της Δ.Ε.Η. χρησιμοποιείται ένα καλώδιο 5x16 mm² NYΥ, όπως ορίζει η Δ.Ε.Η. για την παροχή νούμερο 3 (Sunny Design 2.30.0.R).

Για την γείωση της μονάδας χρησιμοποιείται καλώδιο ΝΥΑΦ 25 mm² και γειώνονται όλες οι βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (Sunny Design 2.30.0.R).

Στο έδαφος πραγματοποιείται ένα τρίγωνο γείωσης με ηλεκτρόδια χρησιμοποιώντας γυμνό χαλκό διαμετρήματος 35 mm². Μάλιστα, η γείωση αυτή χαρακτηρίζεται από αντίσταση εδάφους μικρότερη του ενός ohm (Sunny Design 2.30.0.R).

Αφού πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες μετρήσεις και έλεγχοι, η μονάδα είναι έτοιμη για σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο (Sunny Design 2.30.0.R).

Τέλος, για τον έλεγχο και επιτήρηση της φωτοβολταϊκής μονάδας εγκαθίσταται ένα σύστημα τηλεμετρίας (Webbox της SMA), το οποίο και συνδέεται σε όλους τους μετατροπείς μέσω Bluetooth.

Το σύστημα Sunny Webbox λαμβάνει και αποθηκεύει όλες τις τρέχουσες τιμές μέτρησης και δεδομένα μέσω Bluetooth ή RS485. Έτσι, ενημερώνει ανά πάσα στιγμή για τη λειτουργία της εγκατάστασής. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, μπορεί να αντιδρά γρήγορα και να διασφαλίζει την απόδοση. Με το Web-Browser είναι δυνατή η εμφάνιση, αξιολόγηση ή και το κατέβασμα (download) όλων των τιμών μέτρησης, καθώς και η αλλαγή των παραμέτρων –με σύνδεση στο διαδίκτυο– από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου. Όλα τα δεδομένα των συνδεδεμένων συσκευών αποθηκεύονται και, αν είναι επιθυμητό, μεταφέρονται αυτόματα στο Sunny Portal, την επίσημη ιστοσελίδα της εταιρείας SMA. Μέσω του προαιρετικού μόντεμ GSM, τα στοιχεία μέτρησης μπορούν επίσης να μεταφέρονται από απομακρυσμένα σημεία στο Sunny Portal.

5.1.6 Οικονομοτεχνική μελέτη

Το κόστος της παρούσας μονάδας, πραγματοποιήθηκε με βάση την τιμολόγηση που δόθηκε από την εταιρεία E.D.P.energysolutions (<http://www.edpenergy.com/>):

Πίνακας 5.8 Κοστολόγιο εγκατάστασης (E.D.P.energysolutions)

Κόστος εγκατάστασης	
Πάνελ	42.000 €
Inverter	9.000 €
Βάσεις	3.000 €
Καλώδια, ηλεκτρολογικοί πίνακες, αντιπερτασική προστασία και γείωση μονάδας	2.000 €
Σύστημα τηλεμετρίας	700 €
Μελέτη και εγκατάσταση της μονάδας (χωρίς Φ.Π.Α.)	3.000 €
Μελέτη και εγκατάσταση της μονάδας (με Φ.Π.Α.)	3.690 €
Συνολικό κόστος χωρίς το Φ.Π.Α. της μελέτης και εγκατάστασης	59.700 €
Συνολικό κόστος με το Φ.Π.Α. της μελέτης και εγκατάστασης	60.390 €

Σημειώνεται πως για οποιαδήποτε εγκατάσταση σε κτίριο πέραν των 10 kW, δε προστίθεται Φ.Π.Α. στα διαφορετικά στοιχεία του συστήματος. Το Φ.Π.Α. αφορά μονάχα τη μελέτη και εγκατάσταση της μονάδας (Econews 2012).

Στο κόστος του συστήματος πρέπει να προστεθεί και το κόστος σύνδεσης με τη Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., που είναι 615 € (περιέχει το Φ.Π.Α.). Οπότε το συνολικό κόστος είναι 61.005 € (Econews 2012). Τέλος σημειώνεται πως στο τελικό κόστος της μονάδας θα πρέπει να προστεθεί και το κόστος των όρων σύνδεσης με τη Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., που όμως και καθώς ποικίλει για κάθε εγκατάσταση, στην παρούσα μελέτη είναι άγνωστο και κατά συνέπεια δεν προστίθεται στο συνολικό παραπάνω κόστος.

Λαμβάνοντας υπόψη τη τιμή πώλησης του ρεύματος από τα φωτοβολταϊκά συστήματα μέχρι 29,9 kW για την περίοδο εκπόνησης της πτυχιακής, που κυμαίνεται στα 0,25 € kWh, προκύπτουν τα εξής (Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2301/οικ.16933 (ΦΕΚ Β' 2317)):

Πίνακας 5.9 Ετήσια οικονομική απόδοση μονάδας φωτοβολταϊκών 29,9 kW

Μήνας	Μηνιαία παραγωγή (kWh)	Μηνιαία απόδοση (€)
Ιανουάριος	1.275	319
Φεβρουάριος	1.578	395
Μάρτιος	2.642	661

Απρίλιος	3.585	896
Μάιος	4.432	1.108
Ιούνιος	4.780	1.195
Ιούλιος	4.761	1.190
Αύγουστος	4.259	1.065
Σεπτέμβριος	3.240	810
Οκτώβριος	2.258	565
Νοέμβριος	1.360	340
Δεκέμβριος	1.062	266
Συνολικά	35.231	8.808

Με βάση τα παραπάνω θα υπολογιστεί ο χρόνος απόσβεσης της παρούσας μονάδας. Τα δεδομένα αυτά θα εισαχθούν στο λογισμικό RETScreen PV3 International, μέσα από το οποίο θα προκύψει η απόσβεση αυτή. Όπως υπολογίστηκε παραπάνω, το αρχικό κόστος για την παρούσα μονάδα αφαλάτωσης με βάση τον παραπάνω πίνακα είναι 61.005 €. Ταυτόχρονα, συντηρητικά θεωρείται ότι το ετήσιο κόστος για την συντήρηση και λειτουργία της μονάδας κυμαίνεται στα 500 €/yr (η συντήρηση στα φωτοβολταϊκά συστήματα θεωρείται συνήθως αμελητέα (Econews 2012)). Τέλος, θα πρέπει να τονιστεί πως στους υπολογισμούς λήφθηκε υπόψη το Φ.Π.Α.

Πριν ωστόσο γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του λογισμικού, κρίνεται σκόπιμη η σύντομη παρουσίαση του λογισμικού RETScreen PV3 International.

Το λογισμικό RETScreen αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο ανάλυσης έργων καθαρής ενέργειας. Διατίθεται δωρεάν μέσω διαδικτύου. Αξιολογεί με αξιοπιστία πιθανά έργα, μέσω μιας ακολουθίας μακροεντολών, επιτυγχάνοντας ένα πολύ ικανοποιητικό επίπεδο εκτίμησης του κόστους. Για την εφαρμογή του μοντέλου απαιτούνται σχετικά λίγα δεδομένα από το χρήστη. Άλλωστε το RETScreen υπολογίζει αυτόματα βασικούς, τεχνικούς και οικονομικούς δείκτες. Το γεγονός αυτό απλοποιεί κατά πολύ τις προκαταρκτικές αξιολογήσεις. Επιπλέον, με τις συγκεκριμένες διαδικασίες, παρόλο που είναι τυποποιημένες επιτρέπεται η αντικειμενική σύγκριση. Το RETScreen συμβάλει στην αύξηση του δυναμικού για επιτυχή εφαρμογή έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το πρόγραμμα PV3 της RETScreen λειτουργεί σε περιβάλλον Excel και περιλαμβάνει 6 φύλλα επεξεργασίας, για την εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων.

Το πρώτο φύλλο επεξεργασίας περιέχει το ενεργειακό μοντέλο. Σε αυτό καθορίζεται το είδος και το μέγεθος των στοιχείων, η απόδοσή τους, καθώς και δεδομένα για τους αντιστροφείς (inverters) που θα απαιτηθούν.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί πως το ίδιο το πρόγραμμα διαθέτει μια βάση δεδομένων με εταιρίες και Φ/Β στοιχεία που αυτές κατασκευάζουν. Η επιλογή τους μπορεί να γίνει από τον χρήστη και τα δεδομένα μεταφέρονται απευθείας στα κελιά εισαγωγής. Σε περίπτωση που οι ανάγκες του χρήστη δεν καλύπτονται από την βάση δεδομένων, τότε υπάρχει η επιλογή να προστεθεί διαφορετικός τύπος Φ/Β στοιχείων με απευθείας πληκτρολόγηση, αφού περαστούν όμως και οι αντίστοιχες αποδόσεις τους. Στη συνέχεια τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του ετησίου ενεργειακού ποσού σε kWh που παράγεται από το σύστημα.

Το δεύτερο φύλλο αναφέρεται στα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής. Υπάρχει και εδώ μια βάση δεδομένων για αρκετές περιοχές του πλανήτη συμπεριλαμβανομένης της Αθήνας και των Τρικάλων. Για την Πάτρα τα δεδομένα λήφθηκαν από το RETScreen 4-1. Στο φύλλο αυτό καθορίζεται και η βέλτιστη κλίση των συστοιχιών.

Στο τρίτο φύλλο γίνεται η ανάλυση του κόστους της μελέτης και της εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος. Δίνονται δεδομένα από αμοιβές μηχανικών και σχεδιαστών, μέχρι και κόστος στοιχείων, δομικών υλικών, αντιστροφέων, μπαταριών, εργασιών μεταφοράς και συντήρησης.

Στο τέταρτο φύλλο καθορίζεται αρχικά το είδος καυσίμου που αντικαθίσταται και στη συνέχεια υπολογίζεται η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, λόγω της εφαρμογής των Φ/Β.

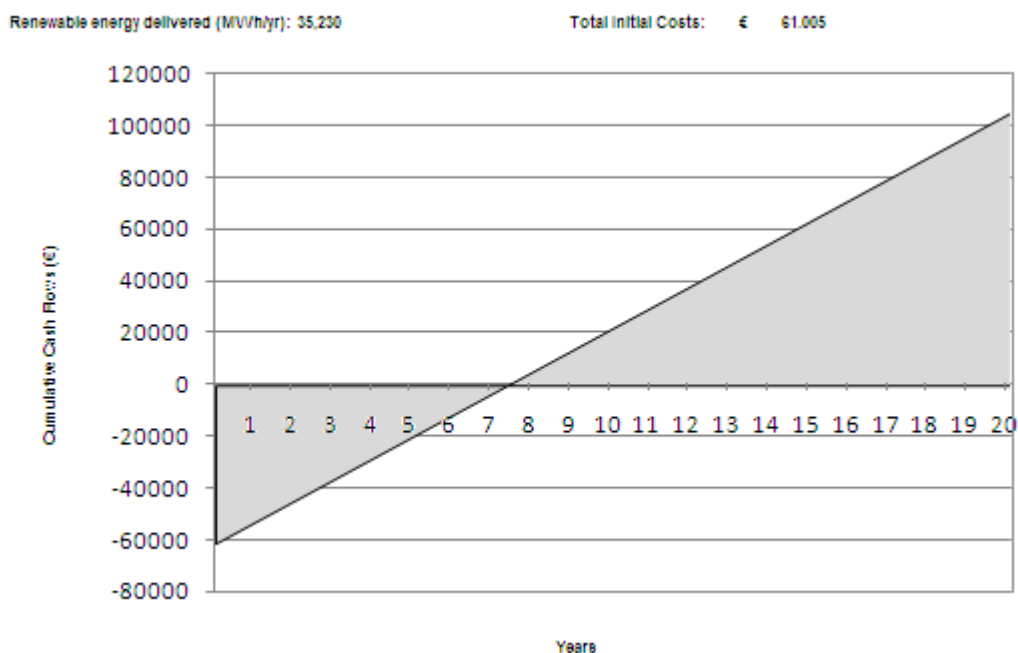
Στο πέμπτο φύλλο γίνεται μια οικονομική σύνοψη. Εδώ καθορίζονται δεδομένα που αφορούν στην τιμολόγηση της kWh, στην επιδότηση του αρχικού

κόστους, στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, καθώς και στα ποσοστά συμμετοχής και στο επιτόκιο τραπεζών που πιθανόν θα χρηματοδοτήσουν την εφαρμογή. Στο τέλος του φύλλου υπάρχει διάγραμμα αθροιστικής ροής χρήματος συναρτήσει του χρόνου. Ακόμα παρατίθενται διάφοροι οικονομικοί συντελεστές για την καλύτερη κατανόηση της βιωσιμότητας της εφαρμογής.

Στο τελευταίο φύλλο πραγματοποιείται προαιρετικά, ανάλυση ευαισθησίας του συστήματος.

Στο Παράρτημα ΣΤ παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο RETScreen PV3 International, μέσω της παρουσίασης των φύλλων excel του λογισμικού.

Παρακάτω παρουσιάζεται η γραφική παράσταση του κόστους- οφέλους του παρόντος συστήματος, όπου φαίνεται και ο χρόνος απόσβεσής του:



Σχήμα 5.7 Γραφική παράσταση κόστους-οφέλους και χρόνου απόσβεσης φωτοβολταϊκού συστήματος (RETScreen PV3 International)

Τέλος στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται διεξοδικότερα το κόστος - όφελος αυτό, όπου πάλι διαπιστώνεται ο χρόνος απόσβεσης:

Πίνακας 5.10 Κόστος - όφελος και χρόνος απόσβεσης συστήματος φωτοβολταϊκών (Microsoft Office Excel 2007)

Έτος	Αρχικό κεφάλαιο	Υπολειπόμενο χρέος αρχικού κόστους	Ετήσια Έξοδα*	Ετήσια Καθαρά Κέρδη	Τελική Αποτίμηση έτους	Αθροιστική Αποτίμηση κόστους - κέρδους
1 ^ο	-61.005 €	-61.005 €	-500 €	+ 8.808 €	-52.697 €	-52.697 €
2 ^ο	-	-52.697 €	-500 €	+ 8.808 €	-44.389 €	-44.389 €
3 ^ο	-	-44.389 €	-500 €	+ 8.808 €	-36.081 €	-36.081 €
4 ^ο	-	-36.081 €	-500 €	+ 8.808 €	-27.773 €	-27.773 €
5 ^ο	-	-27.773 €	-500 €	+ 8.808 €	-19.465 €	-19.465 €
6 ^ο	-	-19.465 €	-500 €	+ 8.808 €	-11.157 €	-11.157 €
7 ^ο	-	-11.157 €	-500 €	+ 8.808 €	-2.849 €	-2.849 €
8 ^ο	-	-2.849 €	-500 €	+ 8.808 €	+ 5.459 €	+ 5.459 €
9 ^ο	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 13.767 €
10 ^ο	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 22.075 €

11°	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 30.383 €
12°	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 38.691 €
13°	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 46.999 €
14°	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 55.307 €
15°	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 63.615 €
16°	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 71.923 €
17°	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 80.231 €
18°	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 88.539 €
19°	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 96.847 €
20°	-	-	-500 €	+ 8.808 €	+ 8.308 €	+ 105.155 €

* Τα ετήσια έξοδα αποτελούν την προαναφερθείσα συντηρητική εκτίμηση πως το σύστημα απαιτεί μια συντήρηση κόστους 1000 €ανά δύο έτη, άρα 500 €κόστος ανά έτος

Από την γραφική αυτή παράσταση και τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ο χρόνος απόσβεσης του συστήματος, που είναι 7,8 χρόνια με την προϋπόθεση φυσικά ότι όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο της Δ.Ε.Η.

5.2 Διαδικασία εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος 30KW για οικία 200 τμ διασυνδεδεμένης στο δίκτυο της ΔΕΗ

Για τη διασύνδεση του συστήματος στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. απαιτούνται τα εξής:

- 1) Αρχική αίτηση στη Δ.Ε.Η. κατά την οποία προσκομίζονται τα παρακάτω έγγραφα:**
 - Αίτηση Σύνδεσης φωτοβολταϊκού σταθμού επί κτιρίου ή στεγάστρου ισχύος ≤ 100 kW στο Δίκτυο ΧΤ (Παράρτημα Δ)
 - Τεχνικά εγχειρίδια φωτοβολταϊκών στοιχείων
 - Τεχνικά εγχειρίδια και πιστοποιητικά αντιστροφών
 - Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο του σταθμού (υπογεγραμμένο από μελετητή κατάλληλης ειδικότητας)
 - Αντίγραφο πρόσφατου λογαριασμού κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος
 - Τοπογραφικό σχέδιο της ακριβούς θέσης εγκατάστασης (προκειμένου για κτιριακές εγκαταστάσεις εκτός σχεδίου πόλεως)

- Τίτλος κυριότητας ή τίτλος νόμιμης κατοχής του γηπέδου εγκατάστασης (αντίγραφο της συμβολαιογραφικής πράξης αγοράς οικοπέδου και του πιστοποιητικού μεταγραφής της στο υποθηκοφυλακείο). Γίνονται δεκτά και προσύμφωνα αγοράς ή μίσθωσης.
- Κάτοψη του χώρου εγκατάστασης όπου θα αποτυπώνεται η ακριβής θέση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Αντίγραφο οικοδομικής άδειας (για φωτοβολταϊκούς σταθμούς ισχύος άνω των 10 kWp σε κτίρια εκτός σχεδίου περιοχών)

Καθώς όμως το παρόν κτίριο βρίσκεται εντός του Ρίου, δεν απαιτείται η προσκόμιση του τοπογραφικού σχεδίου της ακριβούς θέσης εγκατάστασης και του αντιγράφου της οικοδομικής άδειας. Τέλος, πριν τη σύμβαση σύνδεσης απαιτούνται τα εξής:

2) Έγγραφα και στοιχεία που θα πρέπει να προσκομιστούν προ της σύνδεσης του σταθμού με το Δίκτυο:

- Αντίγραφο της Σύμβασης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας μεταξύ Παραγωγού και ΛΑΓΗΕ
- Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη (Υ.Δ.Ε.) για τη συνολική εγκατάσταση, με συνημμένο μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης
- Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο Παραγωγός θα αναφέρει τις ρυθμίσεις των ορίων τάσεως και συχνότητας στην έξοδο του αντιστροφέα τα οποία σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν για την τάση το +15% έως -20% της ονομαστικής τάσης, ενώ για την συχνότητα τα +/- 0,5 Hz καθώς επίσης και την πρόβλεψη ότι σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων ο αντιστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις:

ü Θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5 δευτερόλεπτα,

ü Επανάζευξη του αντιστροφέα μετά από τρία λεπτά.

Η δήλωση αυτή θα αναφέρει επίσης το χρόνο λειτουργίας της προστασίας έναντι νησιδοποίησης

Τέλος, πραγματοποιείται η Υπογραφή όρων σύνδεσης (αφού η Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε. ορίσει το κόστος των όρων αυτών) και υπογράφεται η σύμβαση πώλησης με τη Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ορθή μελέτη και ο σχεδιασμός μιας μονάδας φωτοβολταϊκών απαιτεί την άρτια γνώση όλων των στοιχείων από τα οποία αποτελείται, καθώς αποτελεί μια πολύπλοκη εγκατάσταση. Όμοια άρτια θα πρέπει να είναι η γνώση όλων εκείνων των παραμέτρων που καθορίζουν την απόδοσή της, όπως είναι τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης, αλλά και εκείνων των παραμέτρων που εξασφαλίζουν την ορθή λειτουργία της, καθώς και τη συμμόρφωσή της με τη νομοθεσία.

Η τήρηση των κανόνων της ορθής εγκατάστασης οδηγούν σε μια αξιόπιστη και αποδοτική μονάδα σε ότι αφορά την παραγωγή ρεύματος, που έχει θετικά αποτελέσματα για αυτόν που αποφασίζει την εγκατάστασή της, καθώς οδηγεί στην εξοικονόμηση ενέργειας, σε κέρδη από την πώληση του ρεύματος στη Δ.Ε.Η., όσο και στο περιβάλλον, καθώς συντελεί στην παραγωγή ενέργειας που δεν έχει επιπτώσεις σε αυτό.

Μάλιστα, η εγκατάσταση μιας τέτοιας μονάδας αποτελεί μια οικονομικά βιώσιμη και συμφέρουσα λύση, αφού μετά την απόσβεση (που είναι σχετικά σύντομη), προκύπτουν μόνο κέρδη για τον ενδεχόμενο εφαρμογέα της. Αν ακόμη, αναλογιστεί κανείς πως η τιμολόγηση του ρεύματος αναμένεται να αυξηθεί τους επόμενους μήνες, ο συμψηφισμός αγοράς-πώλησης του ρεύματος από ένα τέτοιο σύστημα σίγουρα θα είναι ακόμη πιο συμφέρων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ:

2. ΒΙΒΛΙΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΕΓΓΡΑΦΑ:

- Ζερβός, Α. (2006) *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κομπούγιας, Ι. et al. (2006) Σύγχρονες εξελίξεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα για διεσπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. *Ηλεκτρονικά Ισχύος, συστήματα ηλεκτρικής κίνησης και βιομηχανικές εφαρμογές*. ΤΕΕ, Αθήνα, 5-6 Απριλίου 2006.
- Πανίδης, Θ. (2009) *Φαινόμενα μεταφοράς*, Πανεπιστημιακές σημειώσεις στο τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών.
- Περδίδης, Σ., Δ. (2007) *Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις*. Αθήνα: ΤεκΔΟΤΙΚΗ.
- Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών (2011) *Ένας πρακτικός οδηγός για επενδύσεις στα φωτοβολταϊκά*. [report].
- Σπυροπούλου, Σ. και Κουγιουρούκης, Α. (2005) *Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική*. Προπτυχιακό επίπεδο. Δ.Π.Θ.
- Τσιλιγκιρίδης, Γ. (2003) *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Διδακτικές σημειώσεις έτους 2002-2003.
- Φραγκιαδάκης, Ι., Ε. (2007) *Φωτοβολταϊκά συστήματα*. Αθήνα: Ζήτη.

3. ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ:

- Βικιπαίδεια (2012) *Ρίο*. [online] Διαθέσιμο στην:
- <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%AF%CE%BF> [Προσβασιμότητα: 25 Νοέμβρη 2012].
- Ενεργοτεχνική (2011) *Φωτοβολταϊκά*. [online] Διαθέσιμο στην:
- <http://www.energotechniki.gr/site/xpage.asp?sid=211&page=banner2> [Προσβασιμότητα: 10 Νοέμβρη 2012].
- Econews (2012) *Φωτοβολταϊκά: μειώνονται οι εγγυημένες τιμές – Αναλυτικά οι ταρίφες*. [online] Διαθέσιμο στην: <http://www.econews.gr/2012/02/01/fwtovoltaika-eguimenes-times-meiksi/> [Πρόσβαση: 15 Νοέμβρη 2012].

- Erdgas (2012) *Φωτοβολταικά*. [online] Διαθέσιμο στην: <http://www.erdgas.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%BA%CE%B1/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%AC%CF%81%CE%BA%CE%B1-100kw-%CE%AD%CF%89%CF%82-1mw-%CF%83%CE%B5-%CE%BA%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%B1.html>
[Προσβασιμότητα: 5 Νοέμβρη 2012].
- Georhythmiki (2012) *Νομοθεσία Φωτοβολταικών συστημάτων*. [online] Διαθέσιμο στην: <http://www.georhythmiki.gr/%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%89%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82-%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%B5%CF%82-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%83%CE%AF%CE%B1/200-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD>
[Προσβασιμότητα: 5 Νοέμβρη 2012].
- Gneng (χ.χ.) *Ηλιακή Ενέργεια*. [online] Διαθέσιμο στην: http://gneng.blogspot.gr/p/blog-page_19.html
[Προσβασιμότητα: 10 Νοέμβρη 2012].
- Tzaminet (2012) *Τι γίνεται όταν ο ήλιος πέφτει στα παράθυρά μας*. [online] Διαθέσιμο στην: <http://tzaminet.blogspot.gr/2012/09/blog-post.html> [Προσβασιμότητα: 1 Νοέμβρη 2012].
- Web Greece Traveller (2012) *Ο καιρός στην Πάτρα*. [online] Διαθέσιμο στην: <http://www.web-greece.gr/achaia/patra/patra-weather-gr.htm> [Προσβασιμότητα: 20 Νοέμβρη 2012].

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. ΒΙΒΛΙΑ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΕΓΓΡΑΦΑ:

- Adira Handbook (2008) *A guide to autonomous desalination concepts*. MEDA Water.
- Brown, W., C. (1996) The History of Wireless Power Transmission. *Solar Energy*, 56 (1), p.3-21.
- Butti, K., & Perlin, J. (1980). *A golden thread: 2500 years of solar architecture and technology*. Palo Alto, Cheshire books.

- Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (2008) *Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers*. London: Earthscan.
- Green, M. (2009) The path to 25 % silicon solar cell efficiency: History of silicon cell evolution. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 17 (3), p.183-189.
- Imamura, M. S. et al. (1992) *Photovoltaic system technology: a European handbook*. Bedford [England], H.S. Stephens & Associates on behalf of the Commission of the European Communities.
- Luque, A., και Hegedus, S. (2003) *Handbook of photovoltaic science and engineering*. Hoboken, NJ, Wiley.
- Markvart, T., & Castaner Munoz, L. (2003) *Practical handbook photovoltaics: fundamentals and applications*. Oxford, Elsevier.
- Messenger, R. A. και Ventre, J. (2004) *Photovoltaic systems engineering*. Boca Raton: CRC Press.
- Park, K., E. et al. (2010) Analysis of thermal and electrical performance of semi-transparent photovoltaic (PV) module. *Energy*, 35 (6), σελ.2681-2687.
- Perlin, J. (2002) *From space to earth: the story of solar electricity*. Cambridge, Mass, Harvard University Press.
- Spyropoulou, S. (2008) *Long – wave Interaction of Building Surfaces in an Urban Setting*. Master of Science. Welsh School of Architecture, Cardiff University.

2. ΞΕΝΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΕΛΙΔΕΣ:

- Institute for energy and transport (2012) *PVGIS PV Estimation Utility*. [online] Διαθέσιμο στην: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/pvest.php?lang=en&map=europe> [Πρόσβαση: 1 Νοέμβρη 2012].
- Chapman-plumbing.co.uk (χ.χ.) *Solar photovoltaic*. [online] Διαθέσιμο στην: http://www.chapman-plumbing.co.uk/photo_voltaic.php [Πρόσβαση: 3 Νοέμβρη 2012].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

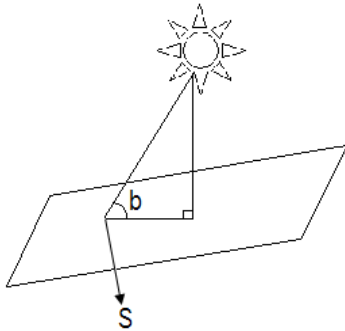
Παράρτημα Α: Γωνίες υπολογισμού για την άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

Με βάση τον Kimura (1977, όπως αναφέρεται από την Spyropoulou, 2008), οι ακόλουθοι τύποι χρησιμοποιούνται όταν απαιτούνται διαφορετικές γωνίες για τον υπολογισμό της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.

- **Ηλιακό υψόμετρο b :** ορίζεται ως η γωνία της κατεύθυνσης του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο

Για τον προσδιορισμό του ηλιακού υψόμετρου χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$\sin b = \sin l \sin d + \cos l \cos d \cos t \quad (1)$$



όπου: l : γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας ($^{\circ}$), με θετικό να θεωρείται το βόρεια γεωγραφικό πλάτος

d : γωνία απόκλισης ($^{\circ}$)

Μάλιστα το d ορίζεται ως:

$$d = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad (2)$$

όπου: N : ημέρα του έτους, με την 1 Ιανουαρίου να ορίζεται ως η πρώτη μέρα του έτους και το N να είναι θετικό μεταξύ 22 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου

t : ωριαία γωνία που περιγράφει τη διαφορά μεταξύ του τοπικού ηλιακού χρόνου και του ηλιακού μεσημεριού

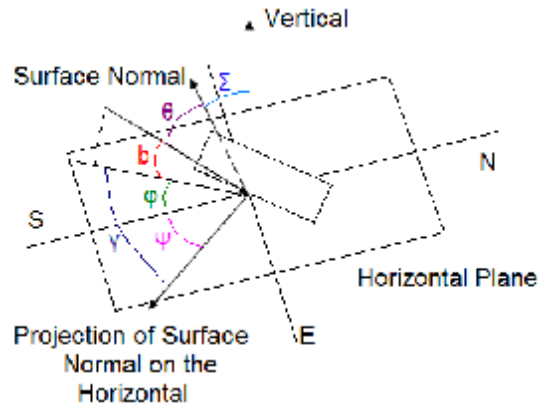
Μάλιστα το t ορίζεται ως:

$$t = 15^{\circ} x \quad (3)$$

όπου: x : ώρες από το ηλιακό μεσημέρι, με θετικό πρόσημο πριν το ηλιακό μεσημέρι και αρνητικό μετά το ηλιακό μεσημέρι

- **Προσπίπτουσα γωνία θ :** ορίζεται ως η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και της κανονικής επιφάνειας. Προκειμένου να αξιολογηθεί η προσπίπτουσα γωνία, πρέπει να ληφθεί υπόψη η γωνία κλίσης επιφάνειας Σ (γωνία μεταξύ της κανονικής επιφάνειας και της κατακόρυφου) και η γωνία αζιμούθιου της επιφάνειας Ψ (γωνία μεταξύ της νότιας και οριζόντιας προβολή της κανονικής επιφάνειας, η οποία είναι θετική όταν η επιφάνεια προσανατολίζεται ανατολικά ως προς το νότο και αρνητική όταν αντιμετωπίζει προσανατολίζεται δυτικά ως προς το νότο):

$$\cos J = \cos b \cos g \sin \Sigma + \sin b \cos \Sigma \quad (4)$$



- Αν η επιφάνεια είναι κάθετη: $\Sigma = 90^\circ$, οπότε:

$$\cos J = \cos b \cos g \quad (5)$$

- Αν η επιφάνεια είναι οριζόντια: $\Sigma = 0^\circ$, οπότε:

$$\cos J = \sin b \quad (6)$$

- **Επιφάνεια - Ηλιακή γωνία αζιμούθιου γ :** ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της οριζόντιας προβολής των ηλιακών ακτίνων και της οριζόντιας προβολής της κανονικής επιφάνειας

$$g = |f - \Psi| \quad (7)$$

όπου: φ : γωνία αζιμούθιου

Μάλιστα το φ ορίζεται ως:

$$\cos j = \frac{1}{\cos b} (\cos d \sin l \cos t - \sin d \cos l) \quad (8)$$

Η γωνία αζιμούθιου είναι αρνητική όταν είναι ανατολικά του νότου και θετική όταν είναι δυτικά του νότου.

Παράρτημα Β: Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Η ισχύς αιχμής μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας αποτελεί τη μέγιστη ισχύ που αποδίδεται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC (Standard Test Conditions), που ορίζονται ως εξής (Περδίδος 2007):

- Η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου ίση με $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ισχύος $P_{STC}=1\text{ kW/ m}^2$ και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με μάζα αέρα $AM=1,5$
- Κάθετη πρόσπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας (kWp) για την κάλυψη των ημερήσιων ενεργειακών αναγκών υπολογίζεται από τη σχέση (Περδίδος 2007):

$$P_{p\Sigma} = \frac{E_K * P_{STC} * m}{E_{HA} * S_{AS} * S_m} \quad (4.4)$$

όπου: E_K (kWh/ day): ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης

P_{STC} (kW/ m^2): ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις προτεινόμενες συνθήκες ελέγχου STC ($P_{STC}=1\text{ kW/ m}^2$)

m : συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων για να καλυφτεί μια πιθανή υποτίμηση των αναγκών της κατανάλωσης ($m=1,2$)

E_{HA} (kW/ m^2 day): ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

S_{HA} : συντελεστής απωλειών φωτοβολταϊκής συστοιχίας

S_m : συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας

Η ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας (kWp) για την κάλυψη των n ημερών αυτονομίας των ενεργειακών αναγκών υπολογίζεται από τη σχέση (Περδίδος 2007):

$$P_{p\Sigma} = \frac{E_K * P_{STC} * m}{E_{HA} * S_{AS} * S_m} * \frac{N}{N - n} \quad (4.5)$$

όπου: N : χρονική περίοδος αναφοράς

n : αριθμός ημερών αυτονομίας, δηλαδή αριθμός μη ηλιοφανών ημερών

Παράρτημα Γ: Αποτελέσματα προγράμματος Sunny Design 2.30.0.R

Αξιολόγηση του σχεδιασμού

Όνομα εργασίας: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ 30KW

Αριθμός εργασίας:

Αρχείο έργου:

Τοποθεσία: Greece / Τρίπολι

Θερμοκρασία κυψέλης:

Ελάχιστη θερμοκρασία: -10,00 °C

Θερμοκρασία σχεδιασμού: 50,00 °C

Μέγιστη θερμοκρασία: 70,00 °C

Τμηματική εργασία 1

3 x STP 10000TL-10

Μέγιστη ισχύς:	29,9 kWp
Συνολικός αριθμός φωτοβολταϊκών μονάδων:	94
Αριθμός μετατροπέων:	3
Μέγ. ισχύς DC (cos φ = 1):	10,20 kW
Μέγ. ενεργή ισχύς AC (cos φ = 1):	10,00 kW
Τάση δικτύου:	230 V
Λόγος ονομ. ισχύος:	103 % ✔
Συντελεστής μετατόπισης cos φ:	1



STP 10000TL-10

Τεχνικά χαρακτηριστικά

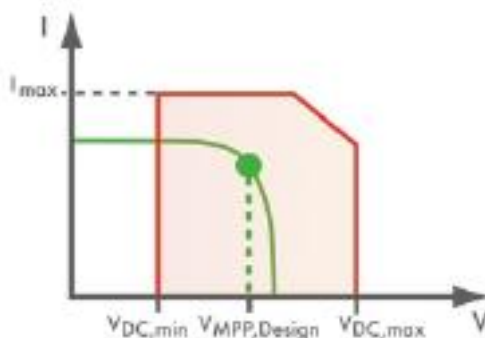
Είσοδος A: Φ/Β γεννήτρια 1

24 x Suprower E19/318, Αζιμούθιο: 90°, Κλίση: 25°, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη

Είσοδος B: Φ/Β γεννήτρια 1

7 x Suprower E19/318, Αζιμούθιο: 90°, Κλίση: 25°, Τρόπος τοποθέτησης: Στέγη

	Είσοδος A:	Είσοδος B:
Αριθμός στοιχείων:	3	1
Φωτοβολταϊκές μονάδες ανά σειρά:	8	7
Μέγιστη ισχύς (είσοδος):	7,63 kWp	2,23 kWp
Χαρακτηριστική Φ/Β τάση:	402 V ✔	352 V ✔
Ελάχ. Φ/Β τάση:	374 V ✔	327 V ✔
Ελάχ. τάση DC (Τάση δικτύου 230 V):	150 V	150 V
Μέγ. Φ/Β τάση:	568 V ✔	497 V ✔
Μέγ. τάση DC (φωτοβολταϊκό (Φ/Β)):	1000 V	1000 V
Μέγ. ρεύμα Φ/Β γεννήτρ.:	17,5 A ✔	5,8 A ✔
Μέγ. ρεύμα DC:	22,0 A	11,0 A
Μέγ. ρεύμα βραχυκύκλωσης:	33,0 A	12,5 A



Φ/Β ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΜΒΑΤΟΣ

**Παράρτημα Δ: Αίτηση Σύνδεσης φωτοβολταϊκού σταθμού επί κτιρίου ή στεγάστρου
ισχύος ≤ 100 kW στο Δίκτυο ΧΤ**



Αριθ. Πρωτ.:
 Ημερομηνία:
 Αρ. Παροχής:
 ΦΒ-

Περιοχή

**Αίτηση Σύνδεσης φωτοβολταϊκού σταθμού επί κτιρίου ή στεγάστρου
ισχύος ≤ 100 kW στο Δίκτυο ΧΤ**

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

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

* Δεν γίνονται δεκτές αιτήσεις από υπό σύσταση εταιρείες

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

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

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

.....
ημερομηνία / υπογραφή

.....
επωνυμία / ονοματεπώνυμο

.....
σφραγίδα εταιρείας

Παράρτημα Ε: Χαρακτηριστικά και εγγυήσεις συστήματος μελέτης

1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ (Sunpower E19 / 318 SOLAR PANEL)

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

SUNPOWER[®]

E19 / 318 SOLAR PANEL

MAXIMUM EFFICIENCY AND PERFORMANCE


BENEFITS

Highest Efficiency
SunPower™ Solar Panels are the most efficient photovoltaic panels on the market today.


More Power
Our panels produce more power in the same amount of space—up to 50% more than conventional designs and 100% more than thin film solar panels.

Reduced Installation Cost
More power per panel means fewer panels per install. This saves both time and money.

Reliable and Robust Design
Proven materials, tempered front glass, and a sturdy anodized frame allow the panel to operate reliably in multiple mounting configurations.



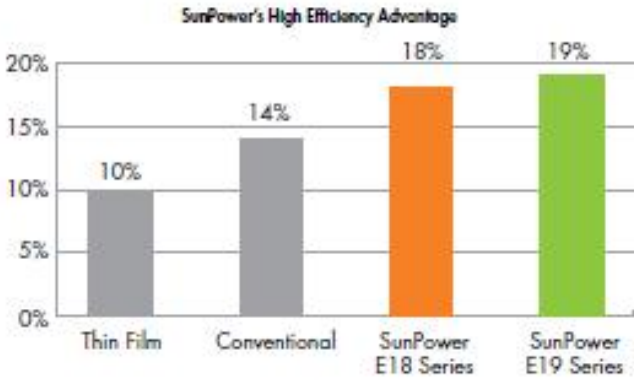
SPR-318E-WHT-D




E19 SERIES

The planet's most powerful solar panel.
The SunPower™ 318 Solar Panel provides today's highest efficiency and performance. Utilizing 96 back-contact solar cells, the SunPower 318 delivers a total panel conversion efficiency of 19.5%. The 318 panel's reduced voltage-temperature coefficient, anti-reflective glass and exceptional low-light performance attributes provide outstanding energy delivery per peak power watt.

SunPower's High Efficiency Advantage

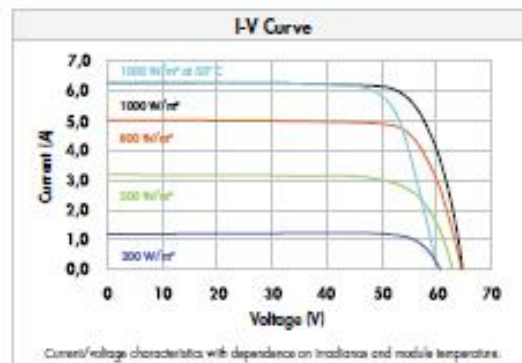


Technology	Efficiency (%)
Thin Film	10%
Conventional	14%
SunPower E18 Series	18%
SunPower E19 Series	19%



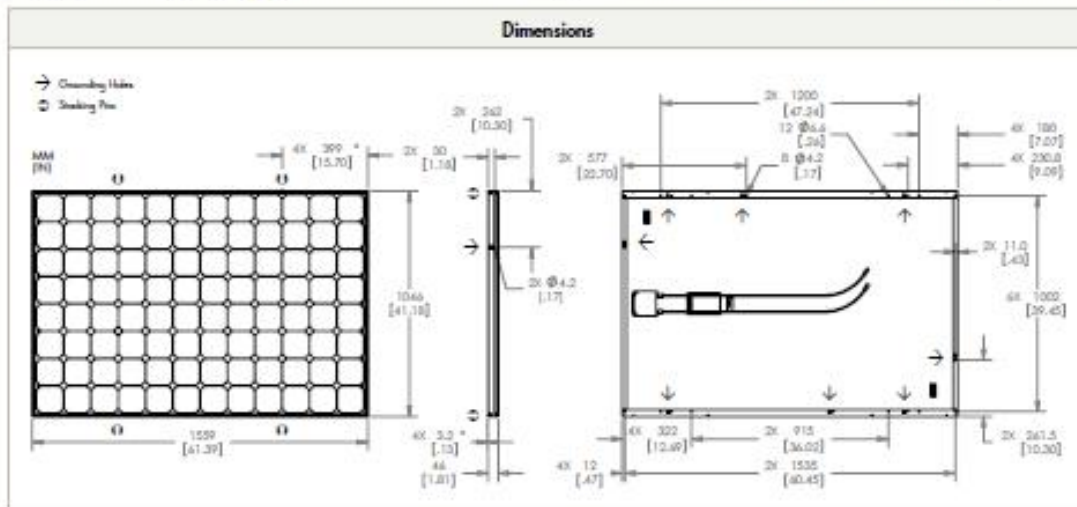
Electrical Data		
<small>Measured at Standard Test Conditions (STC) irradiance of 1000W/m², AM 1.5, and cell temperature 25°C</small>		
Peak Power (+5/-3%)	P _{max}	318 W
Efficiency	η	19.5 %
Rated Voltage	V _{mpp}	54.7 V
Rated Current	I _{mpp}	5.82 A
Open Circuit Voltage	V _{oc}	64.7 V
Short Circuit Current	I _{sc}	6.20 A
Maximum System Voltage	UL	600 V
Temperature Coefficients	Power (P)	-0.38% / K
	Voltage (V _{oc})	-17.6.6mV / K
	Current (I _{sc})	3.5mA / K
NOCT		45° C +/- 2° C
Series Fuse Rating		15 A

Mechanical Data	
Solar Cells	96 SunPower all-back contact monocrystalline
Front Glass	High transmission tempered glass with anti-reflective (AR) coating
Junction Box	IP65 rated with 3 bypass diodes Dimensions: 32 x 155 x 128 (mm)
Output Cables	1000mm length cables / MultiContact (MC4) connectors
Frame	Anodized aluminum alloy type 6063 (black); stacking pins
Weight	41.0 lbs (18.6 kg)



Tested Operating Conditions	
Temperature	-40° F to +185° F (-40° C to +85° C)
Max load	113psf 550 kg/m ² (5400 Pa), front (e.g. snow) w / specified mounting configurations 50 psf 245 kg/m ² (2400 Pa) front and back - e.g. wind
Impact Resistance	Hail 1 in (25 mm) at 52mph (23 m/s)

Warranties and Certifications	
Warranties	25 year limited power warranty 10 year limited product warranty
Certifications	Tested to UL 1703, Class C Fire Rating



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
Visit sunpowercorp.com for details.

SUNPOWER and the SUNPOWER logo are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation.
© February 2010 SunPower Corporation. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

sunpowercorp.com
Document #001-60626 Rev.™ / 08_04

Εγγύηση:

- c) The Limited Warranties do not apply to any of the following:
1. PV modules which in SunPower's absolute judgment have been subjected to: misuse, abuse, neglect or accident; alteration, improper installation, application or removal (including but not limited to installation, application or removal by any party other than a SunPower authorized dealer; non-observance of the applicable SunPower installation, users and/or maintenance instructions; repair or modifications by someone other than an approved service technician of SunPower; power failure surges, lightning, flood, fire, accidental breakage or other events outside SunPower's control.
 2. Cosmetic defects stemming from normal wear and tear of PV module materials.
 3. PV modules installed in locations, which in SunPower's absolute judgment may be subject to direct contact with salt water.
- d) The Limited Warranties do not cover any transportation costs for return of the PV modules, or for reshipment of any repaired or replaced PV modules, or cost associated with installation, removal or reinstallation of the PV modules.
- e) When used on a mobile platform of any type, the Limited Power Warranty, applying to any of the PV modules shall be limited to twelve (12) years as per the provisions of clause 2(a) hereof.
- f) Warranty claims will not apply if the type or serial number of the PV modules is altered, removed or made illegible.

4. Limitation of Warranty Scope

SUBJECT TO THE LIMITATIONS UNDER APPLICABLE LAW, THE LIMITED WARRANTIES SET FORTH HEREIN ARE EXPRESSLY IN LIEU OF AND EXCLUDE ALL OTHER EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND OF FITNESS FOR PARTICULAR PURPOSE, USE, OR APPLICATION, AND ALL OTHER OBLIGATIONS OR LIABILITIES ON THE PART OF SUNPOWER, UNLESS SUCH OTHER WARRANTIES, OBLIGATIONS OR LIABILITIES ARE EXPRESSLY AGREED TO IN WRITING SIGNED AND APPROVED BY SUNPOWER. SUNPOWER SHALL HAVE NO RESPONSIBILITY OR LIABILITY WHATSOEVER FOR DAMAGE OR INJURY TO PERSONS OR PROPERTY OR FOR OTHER LOSS OR INJURY RESULTING FROM ANY CAUSE WHATSOEVER ARISING OUT OF OR RELATED TO THE PRODUCT, INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, ANY DEFECTS IN THE MODULE, OR FROM USE OR INSTALLATION. UNDER NO CIRCUMSTANCES SHALL SUNPOWER BE LIABLE FOR INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL OR SPECIAL DAMAGES, HOWSOEVER CAUSED. LOSS OF USE, LOSS OF PROFITS, LOSS OF PRODUCTION, LOSS OF REVENUES ARE THEREFORE SPECIFICALLY BUT WITHOUT LIMITATION EXCLUDED.

SUNPOWER'S AGGREGATE LIABILITY, IF ANY, IN DAMAGES OR OTHERWISE, SHALL NOT EXCEED THE PURCHASE PRICE PAID TO SUNPOWER BY THE CUSTOMER, FOR THE UNIT OF PRODUCT OR SERVICE FURNISHED OR TO BE FURNISHED, AS THE CASE MAY BE, WHICH GAVE RISE TO THE WARRANTY CLAIM.

SOME STATES DO NOT ALLOW LIMITATIONS ON IMPLIED WARRANTIES OR THE EXCLUSION OF DAMAGES SO THE ABOVE LIMITATIONS OR EXCLUSIONS MAY NOT APPLY TO YOU.

5. Obtaining Warranty Performance

If you feel you have a justified claim covered by this Limited Warranty, immediately notify the (a) Installer, who sold the PV-modules, or (b) any authorized SunPower distributor, of the claim in writing, or (c) send such notification to SunPower Corporation, 3939 North First Street, San Jose, CA 95134, directly. In addition, please enclose evidence of the date of delivery of the PV module. If applicable, your installer or distributor will give advice on handling the claim. If further assistance is required, please write to SunPower for instructions. The return of any PV-modules will not be accepted unless prior written authorization has been given by SunPower.

SunPower Corporation

1-800-SUNPOWER (1-800-786-7693) • Email : customer-care@sunpowercorp.com • www.sunpowercorp.com

Document#: 001-03266 Rev '0

2. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ (SMA/ SUNNY TRIPOWER 10000TL)

Τεχνικά χαρακτηριστικά:



Οικονομικός

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης 98 %
- Βελτιωρα αποδοτικής χάρη στο OptiTrack και OptiCool

Ασφαλής

- Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός διακόπτης (ES) απόλυτης DC
- Ενσωματωμένος βλάβης ασφαλισμός με ηλεκτρονικές ασφάλειες
- Επιτήρηση ρεύματος επαχθών ασρών

Ευέλικτος

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

Απλός

- Τριφασική προφάσεια
- Σύνδεση καλωδίων χωρίς εργαλεία
- Πρωτοπαράδειγμα σύνδεσης DC
- Επικοινωνία με διαστάσεις

SUNNY TRIPower

10000TL / 12000TL / 15000TL / 17000TL

Τριφασικός για εύκολο σχεδιασμό του συστήματος

Ο Sunny Tripower είναι μοναδικός: πλήρως εξοπλισμένος με την πλέον σύγχρονη τεχνολογία διακρίνεται για την εύκολη εγκατάσταση, την υψηλή απόδοση και την ασφαλή υποστήριξη του δικτύου. Χάρη στην τεχνολογία πολλαπλών σταθροειρών και το μεγάλο εύρος τριών τάσης εισόδου, ο τριφασικός μετατροπέας είναι κατάλληλος για τη διασπορά φόρτου του φωτοβολταϊκού σας συστήματος με κάθε τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου. Επιπλέον, εξασφαλίζει μέγιστη κλιμακία και ακρίβεια στο σχεδιασμό της εγκατάστασης - από 10 kW έως και κλίμακας Megawatt. Ο Sunny Tripower πληροί ήδη τις απαιτήσεις της οδηγίας BDEW για τη μέση τάση και συμπεριέχει επαρκώς αξιόπιστα στη διαχείριση του δικτύου. Το ολοκληρωμένο σχέδιο ασφαλείας, το οποίο μεταξύ άλλων περιλαμβάνει σύστημα εντοπισμού βλάβης σε σχεσογράφος με ηλεκτρονικές ασφάλειες και ενσωματωμένη λειτουργία αντικραδασμικής προστασίας, παρέχει υψηλή τεχνική διαθεσιμότητα και περικλείει το κόστος των εγκαταστάσεων.

Τεχνικά χαρακτηριστικά

	Συνήγ Τύπου 10000TL	Συνήγ Τύπου 12000TL	Συνήγ Τύπου 15000TL	Συνήγ Τύπου 17000TL
Είσοδος (DC)				
Μέγιστη ισχύς DC (με $\cos \varphi = 1$)	10,4 kW	12,5 kW	15,6 kW	17,6 kW
Μέγιστη τάση DC	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
Περιοχή τάσης φωτοβολταϊκών, MPPT	150 - 800 V	150 - 800 V	150 - 800 V	150 - 800 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου (τάσης A / τάσης B)	22A / 11 A	22A / 11A	33A / 11A	33A / 11A
Αριθμός γραμμών MPPT	2	2	2	2
Μέγιστος αριθμός στοιχείων παράλληλα (τάσης A / τάσης B)	4 / 1	4 / 1	5 / 1	5 / 1
Έξοδος (AC)				
Ονομαστική ισχύς AC	10 kVA	12 kVA	15 kVA	17 kVA
Μέγιστη ισχύς AC	10 kVA	12 kVA	15 kVA	17 kVA
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	16 A	19,2 A	24 A	24,6 A
Ονομαστική τάση AC	3 / N / PE, 230 / 400 V	3 / N / PE, 230 / 400 V	3 / N / PE, 230 / 400 V	3 / N / PE, 230 / 400 V
Συχνότητα δικτύου AC / περιοχή	50 Hz / 60 Hz / ± 4,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ± 4,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ± 4,5 Hz	50 Hz / 60 Hz / ± 4,5 Hz
Μηγιάλματος αυτοεξισότωσης (βασ. φ)	0,8 με υπερδύναμη ... 0,8 με υποδύναμη	0,8 με υπερδύναμη ... 0,8 με υποδύναμη	0,8 με υπερδύναμη ... 0,8 με υποδύναμη	0,8 με υπερδύναμη ... 0,8 με υποδύναμη
Συν. στην AC	Τριφασική	Τριφασική	Τριφασική	Τριφασική
Απόδοση απόδοσης				
Μέγιστος βαθμός απόδοσης / Ευαισθησία	98 % / 97,5 %	98 % / 97,5 %	98 % / 97,5 %	98 % / 97,5 %
Συναρμολογήσιμα χαρακτηριστικά				
Προστασία από άμεση επαφή η δυν. DC	●	●	●	●
Ηλεκτρονικός διακόπτης ESS απομόνωσης φορτίου DC	●	●	●	●
Απογείση (α) βραχυκύκλισης AC	●	●	●	●
Επιτήρηση (β) αμεταβλητού ρεύματος	●	●	●	●
Επιτήρηση δικτύου (SMA Grid Guard)	●	●	●	●
Μονόδρομη επίβλεψη ρεύματος απόδοσης και τάσης	●	●	●	●
Αισθητήρας υπερτάσης DC (β τάσης B) με δυνατή προστασία	●	●	●	●
Ηλεκτρονική ασφάλεια στα χημικά	●	●	●	●
Επισκευάσιμος (βλάβη στα χημικά)	●	●	●	●
Περιβάλλον				
Μέγιστο μήκος καλωδίου (T / Y / B) σε mm	665 / 690 / 265	665 / 690 / 265	665 / 690 / 265	665 / 690 / 265
Βάρος	περ. 6,5 kg	περ. 6,5 kg	περ. 6,5 kg	περ. 6,5 kg
Περιοχή θερμοκρασίας λειτουργίας	-25 °C έως +60 °C	-25 °C έως +60 °C	-25 °C έως +60 °C	-25 °C έως +60 °C
Αποσπορευτικότητα σε λειτουργία (Stand by) / η μέγιστη	< 12,5 W / < 1 W	< 12,5 W / < 1 W	< 12,5 W / < 1 W	< 12,5 W / < 1 W
Τοποθέτηση	Χωρίς μετασχηματιστή CrylCool	Χωρίς μετασχηματιστή CrylCool	Χωρίς μετασχηματιστή CrylCool	Χωρίς μετασχηματιστή CrylCool
Τρόπος ψύξης	●/●	●/●	●/●	●/●
Σχεδίαση απόδοσης σε υπερδύναμη / εξισορρόπηση ηλεκτρονικού αλγόριθμου PMS	●/●	●/●	●/●	●/●
Εξοπλισμός				
Συν. στην DC: Ηλεκτρονικός Controller	●	●	●	●
Σύνδεση AC: Ηλεκτρονικός συνδέσμος (χωρίς εργαλεία)	●	●	●	●
ΟΠΣ για φασόν ICD	●	●	●	●
Διασύνδεση RS485 / RS485	●/○	●/○	●/○	●/○
Εγγύηση: 3 χρόνια / 10 χρόνια	●/○	●/○	●/○	●/○
Παροχή τεχνικής υποστήριξης	www.SMA-Hellas.com	www.SMA-Hellas.com	www.SMA-Hellas.com	www.SMA-Hellas.com
<ul style="list-style-type: none"> ● Βασικός εξοπλισμός ○ Προαιρετικός εξοπλισμός 				
Στοιχείο υπό αναμετρική ακεθία - Τάση Μέγιστος 200V				
Ονομαστικός	SPT 10000TL-10	SPT 12000TL-10	SPT 15000TL-10	SPT 17000TL-10

Προαιρετικός εξοπλισμός



Συναρμολογήσιμος



Αποσπασίμη υπερτάση DC (τάσης B, τάσης A)



Αποσπασίμη υπερτάση DC (τάσης B, τάσης A)

Δήλωση Πιστότητας:

ISO:



Δήλωση πιστότητας ΕΚ σχετικά με της οδηγίες της ΕΟΚ

- Ηλεκτρομαγνητική σύμβαση 2004/108/ΕΚ
- Χαμηλή τάση 2006/95/ΕΚ

R&TTE 1999/5/ΕΚ

Οι συσκευές που αναφέρονται παρακάτω σχεδιάστηκαν, αναπτύχθηκαν και κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τις προαναφερθείσες οδηγίες της ΕΕ. Τα εφαρμοζόμενα εναρμονισμένα πρότυπα απαριθμούνται στον παρακάτω πίνακα.

	Sunny Boy	Sunny Mini Central	Sunny Boy	Sunny Boy
	SB 700, SB 1100, SB 1100H, SB 1700, SB 2100TL, SB 2500, SB 2800, SB 3000, SB 3300TL, SB 3300TL HC	SMC 4600A, SMC 5000, SMC 5000A, SMC 6000, SMC 6000A, SMC 6000TL, SMC 7000TL, SMC 7000H, SMC 8000TL, SMC 9000TL-10, SMC 10000TL-10, SMC 11000TL-10	SB 3300, SB 3800, SB 4200TL Multi-String, SB 4200TL HC Multi-String, SB 5000TL Multi-String, SB 5000TL HC Multi-String	SB 4000TL-20, SB 5000TL-20
Εκπομπή παρεμβολών:				
DIN EN 61000-6-3: 2002-08	X		X	X
DIN EN 61000-6-4: 2002-08	X		X	X
DIN EN 55022: 2003-09, Class B	X		X	X
Αναδράσεις στο δίκτυο:				
DIN EN 61000-3-3: 2002-05	X		X	X
DIN EN 61000-3-2: 2001-12	X			
DIN EN 61000-3-12: 2004-06			X	X
Ανοχή στις παρεμβολές:				
DIN EN 61000-6-1: 2002-08	X		X	X
DIN EN 61000-6-2: 2002-08	X		X	X
Ασφάλεια συσκευών:				
DIN EN 50178: 1998-04	X		X	X
Μετατροπείς με ημιαγωγούς:				
DIN EN 60146-1-1: 1994-03	X		X	X
Ασύρματα:				
EN 60950-1: 2001 / EN 50371:2002				X
EN 301 489-1 V1.5.1				X
EN 301 489-17 V1.2.1				X
EN 300 328-2 V1.1.1 (2004)				X
	CE	CE	CE	CE
				Καταχωρημένο για AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DK, DE, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IL, IT, LU, LV, MT, NL, NO, OL, PT, RO, SE, SK, TR

SMA Solar Technology AG
Sonnenallee 1
34266 Niestetal
Τηλ. +49 561 9522-0
Fax +49 561 9522-100
info@SMA.de
www.SMA.de

Prohlášení
Toto Prohlášení o shodě naplňuje v případě, že:
• výrobek je modifikován, doplněn nebo jakýmkoli jiným způsobem změněn,
• do výrobku jsou integrovány komponenty, které nejsou součástí sady příslušenství SMA,
stejně jako v případě, že výrobek je používán nebo instalován neapřítelným způsobem.

Niestetal, 03.06.2008
SMA Solar Technology AG
Frank Grotzer
I.V. Frank Grotzer
(Head of Development Solar
Technology)

CE_SBSMC-ZGR082311

CERTIFICATE



Management system as per
DIN EN ISO 9001 : 2000

In accordance with TÜV CERT procedures, it is hereby certified that

SMA Technologie AG
Hannoversche Straße 1-5
34266 Niestetal
Germany



applies a management system in line with the above standard for the following scope

development, production and sale of products of the industrial microprocessor technology and power engineering

Certificate Registration No. 08 100 071814
Audit Report No. 3500 9218

Valid until 2009-09-30
Initial certification 1997

G. Bröntigam
TÜV CERT Certification Body
at TÜV NORD CERT GmbH

Essen, 2005-12-08

This certification was conducted in accordance with the TÜV CERT auditing and certification procedures and is subject to regular surveillance audits.

TÜV NORD CERT GmbH

Lengemarcstrasse 20

45141 Essen

www.tuev-nord-cert.com



TGA-ZM-00 19-00



Δήλωση Πιστότητας:



Δήλωση πιστότητας ΕΚ σχετικά με της οδηγίες της ΕΟΚ

- Ηλεκτρομαγνητική σύμβαση 2004/108/ΕΚ
- Χαμηλή τάση 2006/95/ΕΚ
- R&TTE 1999/5/ΕΚ

Οι συσκευές που αναφέρονται παρακάτω σχεδιάστηκαν, αναπτύχθηκαν και κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τις προαναφερθείσες οδηγίες της ΕΕ. Τα εφαρμοζόμενα εναρμονισμένα πρότυπα απορρέουν από τον παρακάτω πίνακα.

	Sunny Boy	Sunny Mini Central	Sunny Boy	Sunny Boy / Sunny Tripower	Sunny Boy / Sunny Tripower
	SB 1200, SB 1700, SB 1600TL-10, SB 2100TL, SB 2500, SB 3000, SB 3300TL HC	SMC 4600A, SMC 5000A, SMC 6000A, SMC 6000TL, SMC 7000TL, SMC 7000HW-11, SMC 8000TL, SMC 9000TL-10, SMC 10000TL-10, SMC 11000TL-10, SMC 9000TLBP-10, SMC 10000TLBP-10, SMC 11000TLBP-10	SB 3300, SB 3800	SB 3000TL-20, SB 2000HF-30, SB 2500HF-30, SB 3000HF-30, STP 8000TL-10, STP 10000TL-10	SB 4000TL-20, SB 5000TL-20, STP 12000TL-10, STP 15000TL-10, STP 17000TL-10
Εκπομπή παρεμβολών:					
EN 61000-6-3:2007	X	X		X	X
EN 61000-6-4:2007	X	X		X	X
Αναδράσεις στο δίκτυο:					
EN 61000-3-3:2008	X			X	
EN 61000-3-2:2006+A1:2009+A2:2009	X			X	
EN 61000-3-11:2000		X			X
EN 61000-3-12:2005		X			X
Αντοχή στις παρεμβολές:					
EN 61000-6-1:2007	X	X		X	X
EN 61000-6-2:2005	X	X		X	X
Ασφάλεια συσκευών:					
EN 50178:1997	X	X		X	X
Ασύρματη μονάδα (Bluetooth®):					
EN 301 489-1 V1.3.1	X*	X*		X	X
EN 301 489-17 V1.3.2	X*	X*		X	X
EN 300 328 V1.7.1	X*	X*		X	X
	CE	CE		CE	Ⓜ

*1 Μόνο σε εξοπλισμό με το SMA Bluetooth® Pegg-Back.

Επισήμανση:

- Η παρούσα δήλωση συμμόρφωσης παύει να ισχύει σε περίπτωση που στο προϊόν
- γίνουν τροποποιήσεις, προσαρμογές ή άλλου είδους αλλαγές,
 - προστεθούν δομικά στοιχεία τα οποία δεν εμπίπτουν στον εγκριμένο από την SMA εξοπλισμό, σε περίπτωση ασφαλούς χρήσης ή μη προβλεπόμενης χρήσης του προϊόντος, χωρίς τη ρητή συγκατάθεση της SMA.

Niestetal, 21.03.2011
 SMA Solar Technology AG

Frank Gweizer

i. V. Frank Gweizer
 [Vice President T MP]



**Declaration of conformity with German, European and international
(non-European) standards used for
SUNNY BOY, SUNNY MINI CENTRAL and SUNNY TRIPOWER inverters**

German Standard DIN EN		European Standard EN		International Standard IEC (IEC/ASPR)
DIN EN 61000-6-1:2007-10	based on	EN 61000-6-1:2007	based on	IEC 61000-6-1:2005
DIN EN 61000-6-2:2006-03	based on	EN 61000-6-2:2005	based on	IEC 61000-6-2:2005
DIN EN 61000-6-3:2007-09	based on	EN 61000-6-3:2007	based on	IEC 61000-6-3:2006
DIN EN 61000-6-4:2007-09	based on	EN 61000-6-4:2007	based on	IEC 61000-6-4:2006
DIN EN 61000-3-2:2010-03	based on	EN 61000-3-2:2006 + A1:2009 + A2:2009	based on	IEC 61000-3-2:2005 + A1:2008 + A2: 2009
DIN EN 61000-3-3:2009-06	based on	EN 61000-3-3:2008	based on	IEC 61000-3-3:2008
DIN EN 61000-3-11:2001-04	based on	EN 61000-3-11:2000	based on	IEC 61000-3-11:2000
DIN EN 61000-3-12:2005-09	based on	EN 61000-3-12:2005	based on	IEC 61000-3-12:2004
DIN EN ---		EN 301 489-1 V1.8.1		IEC ---
DIN EN ---		EN 301 489-17 V1.3.2		IEC ---
DIN EN ---		EN 300 328 V1.7.1		IEC ---
DIN EN 50178:1998-04	based on	EN 50178:1997	led to	IEC 62103:2003

4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ (SUNNY WEBBOX)

Τεχνικά χαρακτηριστικά:



SUNNY WEBBOX

Ασφάλεια

- > Συνεχής έλεγχος του φωτοβολταϊκού συστήματος
- > Αυτόματη επίπληξη εγκατάστασης μέσω Bluetooth
- > Έγκαιρος εντοπισμός σφαλμάτων λειτουργίας
- > Καταγραφή ενεργειακής απόδοσης
- > Ασφαλής αποθήκευση δεδομένων και αξιολόγηση μέσω MS Excel

Φίλικό προς το χρήστη

- > Διάγνωση και ρύθμιση εγκατάστασης με κάθε Η/Υ (Windows, Linux, Mac OS)
- > Αυτόματη μετάδοση δεδομένων σε επιλεγμένα χρονικά διαστήματα
- > Δωρεάν επεξεργασία δεδομένων και γραφική απεικόνιση στο διαδίκτυο μέσω της πύλης Sunny Portal



SUNNY WEBBOX

Ο επαγγελματικός ημερολογιακός καταγραφέας δεδομένων

Επίπληξη εγκατάστασης, τηλεδιάγνωση, αποθήκευση δεδομένων και οπτική απεικόνιση: το Sunny WebBox αποτελεί την κεντρική μονάδα επικοινωνίας του δικού σας φωτοβολταϊκού συστήματος. Από την πλευρά της εγκατάστασης συλλέγει διαρκώς όλα τα δεδομένα από τους μπαταρπές και σας δίνει έτσι τη δυνατότητα να ελέγξετε οποιαδήποτε στιγμή την τρέχουσα κατάσταση της εγκατάστασής σας. Ως ημερολογιακός καταγραφέας δεδομένων πολλαπλών λειτουργιών παρέχει και άλλες δυνατότητες όπως την ένδειξη, την αρχικοθέτηση και την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων. Το Sunny WebBox είναι η σωστή επιλογή για κάθε απαιτητικό φορέα αξιοποίησης φωτοβολταϊκού συστήματος, ο οποίος επιθυμεί την καταχώρηση των δεδομένων της εγκατάστασης χωρίς διακοπή. Ακόμη και σε απομακρυσμένα σημεία όπου δεν υπάρχει δίκτυο DSL ή τηλεφωνική σύνδεση, το φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να παρουσιάσει τα δεδομένα μέτρησης στο Sunny Portal μέσω του προαιρετικού μόντεμ GSM.



SUNNY WEBBOX

Εύκολη επιτήρηση του φωτοβολταϊκού συστήματος

Διαχείριση του φωτοβολταϊκού συστήματος

Το Sunny WebBox καταγράφει και αποθηκεύει συνεχώς και σε πραγματικό χρόνο όλα τα διαθέσιμα δεδομένα έως και 50 μετρητών. επιπλέον, παρέχει δυνατότητα επιλογής και μεταβολής των παραμέτρων των μετρητών. Μπορείτε έτσι να προσαρμόσετε για παράδειγμα τις παραμέτρους από το Sunny WebBox.

Μέσω του Sunny WebBox μπορείτε να λαμβάνετε πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση του συστήματός σας και να κάνετε έγκαιρη διάγνωση των πιθανών βλαβών. Ανεξάρτητα από το που βρίσκεστε -είτε στο σπίτι

σας, είτε στο γραφείο σας ή σε ταξίδι- το μόνο που απαιτείται για να έχετε πρόσβαση στα δεδομένα του Sunny WebBox είναι ένας υπολογιστής με μηχανή αναζήτησης και σύνδεση στο διαδίκτυο.

Η επικοινωνία μεταξύ του Sunny WebBox και των μετρητών διεξάγεται μέσω Powerline ή διεπαφής RS485.

Διαχείριση δεδομένων

Για τη διαχείριση των δεδομένων με επαγγελματικό τρόπο, το Sunny WebBox σας παρέχει πολλαπλές δυνατότητες. Οι καταγεγραμμένες τιμές απόδοσης, που σας δίνουν λεπτομερή πληροφόρηση για την απόδοση



Ενσωματώνουμε τις μετατροπείς μέτρου σερβιέρας διασφίξης (RS485) και Powerline (μέσω SWR-COMUS B)

Ενσωματωμένος Webserver για Online παρακολούθηση σε όλα τα πράγματα δεδομένα από αποστάσεις υπολογιστή

Ενσωματωμένη περιποίηση των δεδομένων της εγκατάστασης μέτρησης μεγάλης έντασης Sunny Matrix

Ενσωματωμένο FTP Server για την αποθήκευση και μετάδοση δεδομένων στον Η/Υ

Δωρεάν και αυτόματη αρχικοποίηση και απεικόνιση δεδομένων μέτρησης στα Sunny Portal

Γραφιστική επιβεβαίωση των στοιχείων μέτρησης στον Η/Υ που χρεώνει

Επίδειξη μήνυσης και μετάδοση δεδομένων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με αφαιρούμενη κάρτα μέτρησης SD

Το δωρεάν λογισμικό παρακολουθεί για τον υπολογιστή FlashView παράγει κενά κενές γραμμές απεικόνισης για την ημερήσια παραγωγή, την ισχύ, τα οικονομικά στοιχεία και άλλα.

του συστήματός σας, αποθηκεύονται στο WebBox με τη μορφή αρχείων τύπου CSV ή XML. Η αναλλαγή δεδομένων μέσω FTP καθιστά τη μετάδοση των τιμών στον υπολογιστή σας απλή διαδικασία. Έτσι, μπορείτε όχι μόνο να αποθηκεύετε στον υπολογιστή σας χρήσιμες πληροφορίες σχετικές με την εγκατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα αλλά, εάν επιθυμείτε, μπορείτε να δημιουργείτε για παράδειγμα με το MS Excel, συνοπτικά γραφήματα και απεικονίσεις της ημερήσιας, της μηνιαίας και της ετήσιας εξέλιξης της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Κατά τον ίδιο απλό τρόπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάρτα SD (Secure Digital) για την ασφάλεια των δεδο-

μένων και τη μετάδοσή τους από το WebBox στον υπολογιστή σας. Εφόσον έχει συνδεθεί κάρτα SD, το WebBox δεν αποθηκεύει πλέον τα δεδομένα στον εσωτερικό δίσκο αλλά αυτόματα στο προσθαιοφαιρούμενο μέσο αποθήκευσης. Εάν τα δεδομένα του υπολογιστή σας λαμβάνονται από την κάρτα SD, τότε μπορείτε να τα επεξεργαστείτε περαιτέρω όπως αερίβια και μέσω FTP.

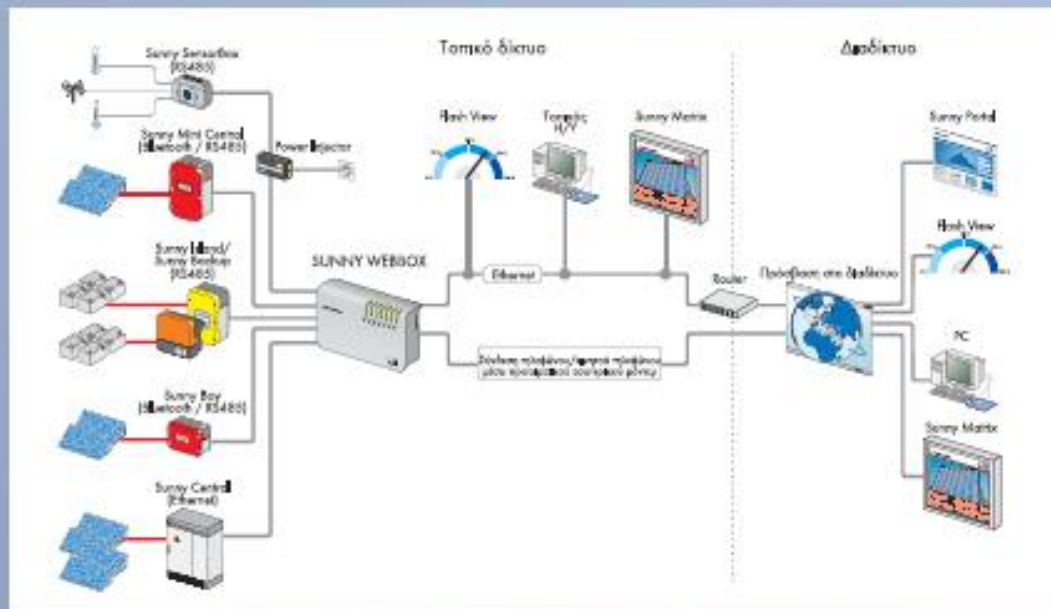
Για πρόσθετη ευκολία σας παρέχεται δωρεάν σύνδεση του Sunny WebBox στην διαδικτυακή μας πύλη. Στην ιστοσελίδα www.SunnyPortal.com σας παρέχουμε ένα πλήρες, προδιαμορφωμένο περιβάλλον όπου μπορείτε -και χωρίς τη δική σας παρέμβαση- να

αρχικοθετείτε, να επεξεργάζεστε και να απεικονίζετε τα δεδομένα σας.

Επιπροσθέτως, το Sunny Portal δημιουργεί, εάν επιθυμείτε, ημερήσια και μηνιαία αναφορά σχετικά με την απόδοση της εγκατάστασης και την οποία μπορείτε να λαμβάνετε μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Κατά τον ίδιο τρόπο, η διαδικτυακή πύλη σας ενημερώνει άμεσα όταν το WebBox αποστέλλει μήνυμα βλάβης. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι ότι η αναβάθμιση του λογισμικού του WebBox πραγματοποιείται εντελώς αυτόματα μέσω της διαδικτυακής πύλης. Έτσι, εξασφαλίζεται ότι το σύστημα επιτήρησης της εγκατάστασης βρίσκεται ανά πάσα στιγμή στην πλέον επίκαιρη εκδόσή του.

Τεχνικά χαρακτηριστικά SUNNY WEBBOX

	SUNNY WEBBOX	
Διαστάσεις		
Επιπέδωση μετατροπών	RS485 (μέχρι 50 μετατροπές, μήκ. 1200 m καλώδιο)	
Μόνιμη	Ethernet (Sunny Central)	
Ethernet	ασύρματο αναλογικό μόνιμη (προαιρετικό), μόνιμη GSM (προαιρετικό) Ethernet / Σύνδεση RS485 Ethernet σύνδεση στο ασύρτο δίκτυο, Sunny Matrix και Sunny Portal	
Επίστρωση μνήμης		
έως SD	έως 2 GB	
Διαστάσεις		
Πλάτος / Ύψος / Βάθος σε mm	225 / 130 / 57	
Βάρος	750 g	
Τροφοδοσία τάσης		
Τροφοδοτικό	115 V - 230 V, 50 / 60 Hz	
Κατανάλωση ισχύος	ισχύς 4 W / έως 12 W	
Περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη λειτουργία		
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-20 °C... +55 °C	
Σχετική υγρασία αέρα	5 %... 95 %, χωρίς συμπύκνωση	
Γενικά στοιχεία		
Τύπος εγκατάστασης	ενσωματωμένο LED	
Τύπος τοποθέτησης	έως επίστρωση ή επεξεργασία ατμοσφαιρικής	



www.SMA-Hellas.com
Phone: +30 210 9856 660
Fax: +30 210 9856 670

SMA Solar Technology AG

5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΒΑΣΕΩΝ (ΜΕΤΑΛΟΥΜΙΝ ΚΕΡΑΜΟΣΚΕΠΗΣ)

Τεχνικά χαρακτηριστικά:



The image is a promotional graphic for a photovoltaic support system. At the top, there is a logo for 'METALOUMIN in ENERGIA' with the tagline 'PHOTOVOLTAIC SUPPORT'. The logo features a stylized sun and a leaf. Below the logo is a photograph of a roof covered with solar panels, showing the orange tiles and the blue panels. The bottom part of the image has a dark grey background with white text that reads 'ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ Φ/Β ΓΙΑ ΚΕΡΑΜΟΣΚΕΠΗ'. The entire graphic is framed by a yellow and grey border with diagonal lines.

METALOUMIN in ENERGIA
PHOTOVOLTAIC SUPPORT

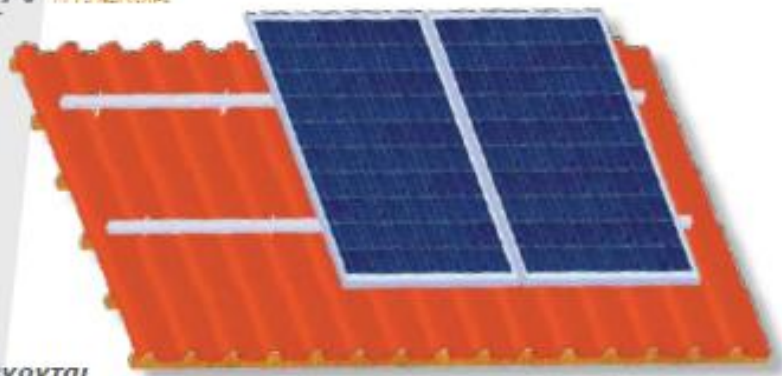
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ Φ/Β
ΓΙΑ ΚΕΡΑΜΟΣΚΕΠΗ



Τα πρωτοποριακά
συστήματα στήριξης
φωτοβολταϊκών
εγκαταστάσεων

«**ENERGIA**»

που σχεδιάστηκαν,
εξελίχθηκαν και παράγονται
από την ΜΕΤΑΛΟΥΜΙΝ αφορούν βάσεις στήριξης σε κεραμοσκεπή.



ΒΑΣΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ SL10 ΓΙΑ ΚΕΡΑΜΟΣΚΕΠΗ

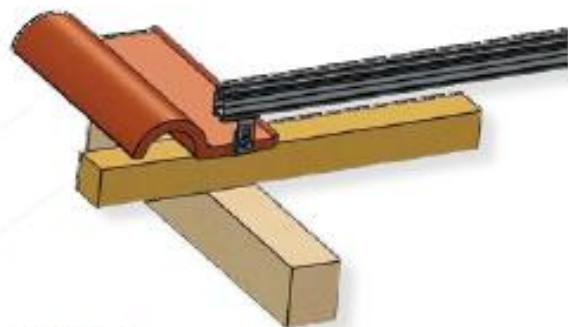
Με δύο διαφορετικούς τύπους
στηριγμάτων:

- Με ντιζοστρίφωνα (M10x200, M10x250, M10x300)
- Με hook (σταθερό ή ρυθμιζόμενο)



Πλεονεκτήματα του Συστήματος SL10:

- Γρήγορη εγκατάσταση
- Προσαρμόζονται σε κάθε είδους στέγη
- Καθετοποιημένη παραγωγή και παράδοση προϊόντων ανά έργο
- Ελληνικά προϊόντα με άμεση παράδοση
- Ασυναγώνιστη σχέση σιβαρότητας και τιμής και μηδενικό κόστος συντήρησης
- Προϊόντα αξιόπιστα, οικονομικά και φιλικά προς το περιβάλλον



ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΓΙΔΑΣ SL10 ΣΕ ΚΕΡΑΜΟΣΚΕΠΗ

- Ακαμψία και αντοχή σε συνδυασμό με χαμηλό κόστος
- Ευκολία συναρμολόγησης με χρήση περιστρεφόμενων εξαρτημάτων.



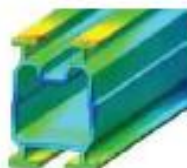
ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΝΤΙΖΟΣΤΡΙΦΩΝΟΥ

- Άνοιγμα οπής Φ13 με διαμαντοτρίπανο στον κορφιά του κεραμιδιού
- Προτρίπημα Φ7 στο ξύλο (ελάχιστη διάσταση ξύλου 4cm x 5cm)
- Τοποθετούμε ακρυλική μασίχη στο κεραμίδι και συγκρατούμε το λάστιχο πάνω στο κεραμίδι.



ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Μέγιστη ροπή σε κάμψη:
0.95 KNm
Προτεινόμενη απόσταση
στηρίξεων: **0,8 – 1,3m**



Αρμός διαστολής : **5mm** ανα τεγίδα
Μεγιστη ροπή σύσφιξης
M10 T-ΒΙΔΑΣ: 30Nm



ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΣΩΣΤΗ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ

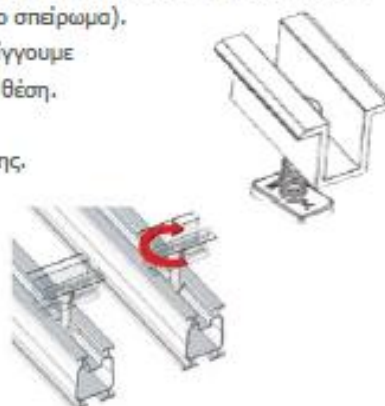
- 1) Προσυναρμολογούμε παξιμάδι - βίδα - clamp.
- 2) Η πλευρά του παξιμαδιού με τα χαραγμένα σύμβολα "28/11 JL" πρέπει να βρίσκεται προς τα πάνω.
- 3) Το παξιμάδι τοποθετείται στην άκρη της βίδας (να μην εξέρχει το σπείρωμα).
- 4) Εισάγουμε το συναρμολόγημα στο θάλαμο της τεγίδας, και σφίγγουμε με το χέρι (κατσαβίδι) ώστε να στραφεί το παξιμάδι στη σωστή θέση.
- 5) Σφίγγουμε με μέγιστη ροπή 13Nm.
Αφού ξεκινήσει η σύσφιξη δε σύρουμε το εξάρτημα συγκράτησης.

✘ **Εσφαλμένη κατάσταση:**

Εαν η βίδα με το παξιμάδι δεν πάρουν τη σωστή θέση, γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι το clamp δεν είναι σταθερό.

✓ **Διόρθωση:**

Λύνουμε τη σύνδεση έως όπου ανασηκωθεί αρκετά η κεφαλή της βίδας για να κατέβει το παξιμάδι στην αρχή του σπείρωματος (όπως βήμα 3). Στη συνέχεια ξανασφίγγουμε με το χέρι. Το ίδιο βήμα ακολουθούμε σε όποια περίπτωση επιθυμούμε να λύσουμε μία σύνδεση.





METALOUMIN in ENERGIA
PHOTOVOLTAIC SUPPORT



www.metaloumin.gr - e-mail : f.b.sales@metaloumin.gr

ΜΕΤΑΛΟΥΜΙΝ Α.Ε.

Αγ. Φανουρίου 20, Χτυπητό Αχαρνών 136 71

Τηλέφωνο +30 210 2463630

FAX: +30 210 2464471

Παράρτημα ΣΤ: Οικονομική μελέτη RETScreen PV3 International

Φύλλο 1: Ενεργειακό Μοντέλο (Energy Model): Βασικά στοιχεία συστήματος φωτοβολταϊκών:

RETScreen® Energy Model - Photovoltaic Project		Training & Support	
Site Conditions			
Project name		photovoltaic project	See Online Manual
Project location		greece	
Nearest location for weather data	-	Patra	Complete SR&SL sheet
Latitude of project location	°N	38,2	-90.0 to 90.0
Annual solar radiation (tilted surface)	MWh/m ²	1,67	
Annual average temperature	°C	17,9	-20.0 to 30.0
System Characteristics			
Application type	-	On-grid	
Grid type	-	Central-grid	
PV energy absorption rate	%	80,6%	
PV Array			
PV module type	-	mono-Si	
PV module manufacturer / model #		Sun Power	See Product Database
Nominal PV module efficiency	%	19,5%	4.0% to 15.0%
NOCT	°C	45	40 to 55
PV temperature coefficient	% / °C	0,40%	0.10% to 0.50%
Miscellaneous PV array losses	%	5,0%	0.0% to 20.0%
Nominal PV array power	kWp	30,00	
PV array area	m ²	153,8	
Power Conditioning			
Average inverter efficiency	%	98%	80% to 95%
Suggested inverter (DC to AC) capacity	kW (AC)	29,3	
Inverter capacity	kW (AC)	90,0	
Miscellaneous power conditioning losses	%	0%	0% to 10%
Annual Energy Production (12,00 months analysed)			
Specific yield	kWh/m ²	229,0	
Overall PV system efficiency	%	13,7%	
PV system capacity factor	%	13,4%	
Renewable energy collected	MWh	44,766	
Renewable energy delivered	MWh	35,230	
	kWh	35.230	
Excess RE available	MWh	8,507	Complete Cost Analysis sheet

Φύλλο 2: Ηλιακή πηγή και φορτίο συστήματος (Solar resource and System load): Βασικά κλιματολογικά δεδομένα

RETScreen® Solar Resource and System Load Calculation - Photovoltaic Project

Site Latitude and PV Array Orientation		Estimate	Notes/Range
Nearest location for weather data		Patra	See Weather Database
Latitude of project location	°N	38,2	-90.0 to 90.0
PV array tracking mode	-	One-axis	
Slope of tracking axis	°	25,0	0.0 to 90.0
Azimuth of tracking axis	°	90,0	0.0 to 180.0

Monthly Inputs

Month	Fraction of month used (0 - 1)	Monthly average daily radiation on horizontal surface (kWh/m ² /d)	Monthly average temperature (°C)	Monthly average daily radiation in plane of PV array (kWh/m ² /d)	Monthly solar fraction (%)
January	1,00	1,80	9,9	2,59	-
February	1,00	2,20	10,5	2,59	-
March	1,00	3,60	12,6	4,00	-
April	1,00	5,10	15,8	5,14	-
May	1,00	6,50	20,3	6,38	-
June	1,00	7,10	24,1	6,87	-
July	1,00	7,20	26,4	7,02	-
August	1,00	6,30	26,6	6,39	-
September	1,00	4,90	23,7	5,37	-
October	1,00	3,10	18,9	3,81	-
November	1,00	1,90	14,5	2,58	-
December	1,00	1,50	11,4	2,18	-
			Annual	Season of use	
Solar radiation (horizontal)		MWh/m ²	1,56	1,56	
Solar radiation (tilted surface)		MWh/m ²	1,67	1,67	
Average temperature		°C	17,9	17,9	

Load Characteristics

Application type	Estimate
-	On-grid

[Return to Energy Model sheet](#)

Φύλλο 3: Ανάλυση κόστους (Cost Analysis):

RETScreen® Cost Analysis - Photovoltaic Project

Type of analysis:

Currency:

Cost references:

Initial Costs (Credits)	Unit	Quantity	Unit Cost	Amount	Relative Costs	Quantity Range	Unit Cost Range
Feasibility Study							
Site investigation	p-h	0	€ -	€ -	-	-	-
Preliminary design	p-h	0	€ -	€ -	-	-	-
Report preparation	p-h	0	€ -	€ -	-	-	-
Travel and accommodation	p-trip	0	€ -	€ -	-	-	-
Other - Feasibility study	Cost	0	€ -	€ -	-	-	-
Credit - Base case system	Credit	0	€ -	€ -	-	-	-
Sub-total :				€ -	0,0%		
Development							
Permits and approvals	p-h	1	€ 615	€ 615	-	-	-
Project management	p-h	0	€ 85	€ -	-	-	-
Travel and accommodation	p-trip	0	€ 2.000	€ -	-	-	-
Other - Development	Cost	1	€ 3.690	€ 3.690	-	-	-
Credit - Base case system	Credit	1	€ -	€ -	-	-	-
Sub-total :				€ 4.305	7,1%		
Engineering							
PV system design	p-h	0	€ 65	€ -	-	-	-
Structural design	p-h	0	€ 65	€ -	-	-	-
Electrical design	p-h	0	€ 65	€ -	-	-	-
Tenders and contracting	p-h	0	€ 65	€ -	-	-	-
Construction supervision	p-h	0	€ 65	€ -	-	-	-
Other - Engineering	Cost	0	€ 1.500	€ -	-	-	-
Credit - Base case system	Credit	0	€ 4.000	€ -	-	-	-
Sub-total :				€ -	0,0%		
Energy Equipment							
PV module(s)	kWp	30,00	€ 1.400	€ 42.000	-	-	-
Transportation	project	0	€ -	€ -	-	-	-
Other - Energy equipment	Cost	0	€ -	€ -	-	-	-
Credit - Energy equipment	Credit	0	€ -	€ -	-	-	-
Sub-total :				€ 42.000	68,8%		

Φύλλο 3: Ανάλυση κόστους (Cost Analysis) (συνέχεια):

Balance of Equipment						
Module support structure	m ²	153,8	€ 20	€	3,000	-
Inverter	kW AC	90,0	€ 100	€	9,000	-
Other electrical equipment	kWp	30,00	€ 23	€	700	-
System installation	kWp	30,00		€	-	-
Transportation	project	0	€ -	€	-	-
Other - Balance of equipment	Cost	1	€ 2,000	€	2,000	-
Credit - Balance of equipment	Credit	1		€	-	-
Sub-total :					€ 14,700	24,1%
Miscellaneous						
Training	p-h	0	€ 65	€	-	-
Contingencies	%	0%	€ 61,005	€	-	-
Sub-total :					€ -	0,0%
Initial Costs - Total					€ 61,005	100,0%
Annual Costs (Credits)						
	Unit	Quantity	Unit Cost		Amount	Relative Costs
O&M						
Property taxes/Insurance	project	0	€ -	€	-	-
O&M labour	p-h	16	€ 55	€	880	-
Other - O&M	Cost	0	€ -	€	-	-
Credit - O&M	Credit	0	€ -	€	-	-
Contingencies	%	0%	€ 880	€	-	-
Sub-total :					€ 880	100,0%
Annual Costs - Total					€ 880	100,0%
Periodic Costs (Credits)						
		Period	Unit Cost		Amount	Interval Range
Inverter Repair/Replacement	Cost	12 yr	€ -	€	-	-
	Cost	2 yr	€ 1,000	€	1,000	-
			€ -	€	-	-
End of project life		-	€ -	€	-	Go to GHG Analysis sheet

Φύλλο 4: Περίληψη Οικονομικών (Financial Summary):

RETScreen [®] Financial Summary - Photovoltaic Project					
Annual Energy Balance					
Project name	photovoltaic project				
Project location	greece		Nominal PV array power	kWp	30.00
Renewable energy delivered	MWh	35.230			
Excess RE available	MWh	8.807			
Firm RE capacity	kW	-			
Application type	On-grid				
Financial Parameters					
Avoided cost of energy	€/kWh	0.210	Debt ratio	%	0.0%
RE production credit	€/kWh	0.250			
RE production credit duration	yr	20			
RE credit escalation rate	%	2.0%	Income tax analysis?	yes/no	No
Avoided cost of excess energy	€/kWh	-			
Energy cost escalation rate	%	5.0%			
Inflation	%	2.5%			
Discount rate	%	9.0%			
Project life	yr	20			
Project Costs and Savings					
Initial Costs			Annual Costs and Debt		
Feasibility study	0.0%	€ -	O&M	€	880
Development	7.1%	€ 4.305	Fuel	€	-
Engineering	0.0%	€ -			
Energy equipment	68.8%	€ 42.000	Annual Costs and Debt - Total	€	880
Balance of equipment	24.1%	€ 14.700			
Miscellaneous	0.0%	€ -	Annual Savings or Income		
Initial Costs - Total	100.0%	€ 61.005	Energy savings/Income	€	7.398
Incentives/Grants		€ -	RE production credit income - 20 yrs	€	8.807
			Annual Savings - Total	€	16.206
Periodic Costs (Credits)					
Inverter Repair/Replacement		€ -	Schedule yr #	2,4,6,8,10,12,14,16,18,20	
		€ 1.000			
		€ -			
End of project life -		€ -			
Financial Feasibility					
			Calculate energy production cost?	yes/no	No
Pre-tax IRR and ROI	%	28.4%			
After-tax IRR and ROI	%	28.4%			
Simple Payback	yr	4.0			
Year-to-positive cash flow	yr	3.8	Project equity	€	61.005
Net Present Value - NPV	€	120.338			
Annual Life Cycle Savings	€	13.183			
Benefit-Cost (B-C) ratio	-	2.97			