



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις σε Κτίρια

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνα Α. Μπαμπαλή

**Επιβλέπων :** Κωνσταντίνος Δέρβος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούνιος 2011





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

## Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις σε Κτίρια

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνα Α. Μπαμπαλή

**Επιβλέπων :** Κωνσταντίνος Δέρβος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ..... 2011.

.....  
Κ. Δέρβος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Π. Βασιλείου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γ. Ματσόπουλος  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2011

.....  
Κωνσταντίνα Α. Μπαμπαλή  
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Κωνσταντίνα Α. Μπαμπαλή, 2011  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



## Περίληψη

---

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία , η τεχνολογία που μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική, είναι μια από της ραγδαίες αυξανόμενες βιομηχανίες στο χώρο της ενέργειας. Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία έχει καθιερωθεί σε πολλές χώρες και εξελίσσεται με στόχο να γίνει μια από της βασικές τεχνολογίες του αιώνα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται αναλυτικά η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων εγκατεστημένων σε στέγες κτιρίων μικρότερων 10 kWp. Αρχικά γίνεται αναφορά στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, στα τμήματα από τα οποία αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, στην περιγραφή της εγκατάστασης καθώς και στη σύνδεση του με το δίκτυο της ΔΕΗ. Στη συνέχεια αναπτύσσονται δύο εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων εγκατεστημένης ισχύς 2,580 kWp και 8,64 kWp. Τέλος με τη βοήθεια συστημάτων τηλεμετρίας μετριέται η απόδοση της εγκατεστημένης ισχύος και συγκρίνεται με τους υπολογισμούς του προγράμματος PV-GIS για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Μπαμπαλή Κωνσταντίνα

Αθήνα, Ιούνιος 2011

### Λέξεις Κλειδιά

Ηλιακή Ακτινοβολία, Διασυνδεδεμένο Σύστημα Φωτοβολταϊκών, Μετεωρολογικά Δεδομένα, Ηλιακής Κυψέλης, Άμεση Σκίαση, Αναστροφείας, Μετατροπέας

## **Abstract**

---

Photovoltaic, the technology which converts sunlight into electricity, is one of the fastest growing sectors of the renewable energy industry. It is already well established in many countries and looks set to become one of the key technologies of the century.

In the present diplomatic work is presented analytically the growth of photovoltaic systems installed in roofs of buildings smaller of 10 kWp. Initially this report contains the photovoltaic phenomenon, the parts of a photovoltaic system, the installation of the system and the connection with the network. Furthermore, the last two chapters deal with two applications of photovoltaic systems 2,580 kWp and 8,64kWp. Finally with the help of telemetry is measured the attribution of installed power and is compared with the electric production calculations by the program PV-GIS.

Bampali Konstantina

Athens, June 2011

### **Key Words**

Solar Radiation, Grid connected Photovoltaic System, Meteorological Data, Buildings Solar Cell, Direct shading, Inverter, converter

## Ευχαριστίες

---

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κύριο Κ. Δέρβο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και μου ανάθεσε την διπλωματική αυτή. Επιπλέον, τον ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθεια του, τις υποδείξεις, τις διορθώσεις και την καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Εν συνεχεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία “Delta Tecniki” για την βοήθεια που μου παρείχε στη συλλογή πληροφοριών κατά τη διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συμπαράσταση που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον γιό μου Μενέλαο που αν και 15 μηνών έδειξε ιδιαίτερη κατανόηση για το χρόνο που αφιέρωσα στις σπουδές μου και στη διεξαγωγή της διπλωματικής μου.

*Αφιερωμένο στο γιο μου*

*Μενέλαο*

# Περιεχόμενα

---

<b>1. Εισαγωγή .....</b>	<b>18</b>
1.1 Γενικά.....	18
1.2 Φωτοβολταϊκά και Περιβάλλον.....	18
1.3 Η Καθαρή Πηγή Ενέργειας Απάντηση στα Πυρηνικά.....	22
1.4 Τα Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα.....	23
<b>2. Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Κτίρια .....</b>	<b>24</b>
2.1 Γενικά Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε κτίρια.....	24
2.2 Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Στέγες .....	25
2.3 Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Πρόσοψη Κτιρίου .....	27
2.4 Σκίαστρα .....	30
2.5 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα θερμικών συστημάτων .....	31
<b>3. Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....</b>	<b>33</b>
3.1 Ηλιακή κυψέλη .....	33
3.1.1 Το Ιδανικό Μοντέλο μιας Ηλιακής Κυψέλης.....	34
3.1.2 Το Πραγματικό Μοντέλο μιας Ηλιακής Κυψέλης.....	37
3.2 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module).....	39
3.3 Η Γεννήτρια-Φωτοβολταϊκή συστοιχία (string).....	41
3.3.1 Παράλληλη Σύνδεση .....	41
3.3.2 Σε Σειρά Σύνδεση .....	43
3.4 Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης (DC/DC Converter ) .....	46
3.4.1 Μετατροπέας Υποβιβασμού Τάσης .....	46
3.4.2 Μετατροπέας Ανύψωσης Τάσης .....	48
3.5 Αναστροφέας (DC/AC Inverter).....	49
3.5.1 Κατηγορίες Αναστροφέων .....	49
3.5.2 Μονοφασικός Αναστροφέας .....	51
3.5.2.1 Μονοφασικός Αναστροφέας με Μισή Γέφυρα.....	51
3.5.2.2 Μονοφασικός Αναστροφέας με Πλήρη Γέφυρα .....	52
3.5.3 Τριφασικός Αναστροφείς.....	53
3.6 Βάσεις στήριξης και ηλιοστάτες.....	53
3.6.1 Γενικά .....	53
3.6.2 Τρόπος τοποθέτησης των πάνελ .....	55
<b>4. Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος .....</b>	<b>57</b>
4.1 Επί Τόπου Επίσκεψη και Μελέτη του Χώρου.....	57
4.2 Τύποι Σκίασης.....	57

## Περιεχόμενα Συνέχεια

---

4.2.1 Προσωρινή Σκίαση .....	58
4.2.2 Σκίαση που Προκύπτει από τη Τοποθεσία .....	59
4.2.3 Σκίαση που Προκύπτει από το Κτίριο .....	59
4.2.4 Αυτοσκίαση .....	59
4.2.5 Άμεση Σκίαση.....	60
4.3 Ανάλυση Σκίασης .....	61
4.4 Διάγραμμα Ροής Ήλιου .....	61
4.4.1 Μέτρηση Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	63
4.4.2 Παραδείγματα Μέτρησης Ηλιοφάνειας σε Πόλεις της Ελλάδας.....	65
4.5 Σκίαση και Διαμόρφωση Φωτοβολταϊκής Συστοιχίας .....	67
4.6 Προσανατολισμός και Κλίση των Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	68
4.7 Τρόπος Τοποθέτησης για αποφυγή πρόσθετων φορτίων .....	72
<b>5. Τα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών Στοιχείων .....</b>	<b>73</b>
5.1 Χαρακτηριστική Καμπύλη I-V Φωτοβολταϊκής Κυψέλης.....	73
5.2 Συντελεστής Πλήρωσης (FF – Fill Factor).....	74
5.3 Η επίδραση της Ηλιακής Ακτινοβολίας στα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του Φωτοβολταϊκού Στοιχείου .....	74
5.4 Επίδραση της Θερμοκρασίας στα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του Φωτοβολταϊκού Στοιχείου .....	75
5.5 Η Αποδιδόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια του Φωτοβολταϊκού Συστήματος ..	76
5.6 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Απόδοση των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων .....	77
5.7 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου-κυψέλης.....	80
<b>6. Σύνδεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο .....</b>	<b>81</b>
6.1 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκού Συστήματος .....	81
6.1.1 Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	81
6.1.2 Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	82
6.1.3 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα .....	83
6.2 Σύνδεση Κτιριακών Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στο Ηλεκτρικό Δίκτυο Χαμηλής Τάσης .....	83
6.3 Καλωδίωση Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	85
6.3.1 Τύποι Καλωδίων .....	85
6.3.2 Καλώδιο συνεχούς ρεύματος.....	89
6.3.3 Καλώδιο σύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος και είδη καλωδίων ...	89
6.4 Αντικεραυνική Προστασία .....	90
6.4.1 Κτίρια Χωρίς Αντικεραυνική Προστασία .....	90

## Περιεχόμενα Συνέχεια

---

6.4.2 Κτίρια με Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας .....	91
6.5 Γείωση Φωτοβολταϊκού Συστήματος .....	92
6.5.1 Σύστημα Θεμελιακής Γείωσης .....	93
6.5.2 Γείωση Προστασίας.....	94
6.5.3 Αντικεραυνική Προστασία από Έμμεσα Πλήγματα.....	94
6.6 Μέσα Προστασίας Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών .....	95
6.7 Φαινόμενο Νησιδοποίησης .....	100
<b>7. Κατασκευή Φωτοβολταϊκών στοιχείων .....</b>	<b>102</b>
7.1 Γενικά.....	102
7.2 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου (Si) .....	102
7.3 Τύποι Φωτοβολταϊκών Συστημάτων Πυριτίου «Μεγάλου Πάχους» .....	104
7.3.1 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου (Single Crystalline Silicon, sc-Si) .....	104
7.3.2 Φωτοβολταϊκά Κελιά Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si) .....	105
7.3.3 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Ταινίας Πυριτίου (Ribbon Silicon) .....	105
7.4 Φωτοβολταϊκά Υλικά Λεπτών Επιστρώσεων, thin film.....	106
7.4.1 Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe <sub>2</sub> ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS) .....	107
7.4.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si) .....	107
7.4.3 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe).....	108
7.4.4 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs).....	109
7.5 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία.....	109
7.6 Άλλες Τεχνολογίες.....	110
7.7 Η Ελληνική Βιομηχανική Δραστηριότητα .....	112
<b>8. Συστήματα Τηλεμετρίας .....</b>	<b>113</b>
8.1 Επιτήρηση της Απόδοσης της Εγκατάστασης.....	113
8.2 Ασύρματα ή Ενσύρματα - Ασφαλής Σύνδεση Με ή Χωρίς Καλώδια.....	113
8.3 Ασύρματης Σύνδεσης .....	114
8.4 Ενσύρματη Σύνδεση .....	115
<b>9.Μελέτη Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης στο Δήμο Ν. Φιλαδέλφειας .....</b>	<b>116</b>
9.1 Γενικά.....	116
9.2 Ανάλυση Φωτοβολταϊκού Συστήματος .....	116
9.3 Προσομοίωση και Διαστασιολόγηση (Sizing) Φωτοβολταϊκού	

## Περιεχόμενα Συνέχεια

---

Συστήματος.....	117
9.4 Θεωρητικός Υπολογισμός .....	117
9.4.1 Πίνακες Υπολογισμού- μετεωρολογικά δεδομένα .....	117
9.4.2 Μηνιαία Ηλιακή Ακτινοβολία - Monthly Solar Irradiation.....	121
9.5 Στοιχεία Φωτοβολταϊκού Συστήματος .....	124
9.5.1 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	124
9.5.2 Στοιχεία και Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Συστήματος .....	125
9.6 Μεταλλικές Βάσεις Στήριξης Φωτοβολταϊκών Γεννητριών .....	125
9.7 Ηλεκτρική Σύνδεση Φωτοβολταϊκού .....	126
9.7.1 Σύνδεση Συστήματος με Κεντρικό Δίκτυο (ΔΕΗ).....	126
9.7.2 Αντιυπερτασική Προστασία.....	126
9.8 Καλώδια .....	126
9.9 Ανάλυση Υλικών Εγκατάστασης .....	135
9.10 Εγγυήσεις .....	136
<b>10.Παράδειγμα Εγκατεστημένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Τηλεμετρία στο Μοσχάτο.....</b>	<b>137</b>
10.1 Γενικά για το έργο.....	137
10.2 Περιγραφή Φωτοβολταϊκού Συστήματος .....	138
10.2.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια .....	140
10.2.2 Αναστροφέας .....	141
10.2.3 Βάσεις Στήριξης.....	142
10.3 Θεωρητικός Υπολογισμός της Εγκατάσταση του Έργου.....	143
10.3.1 Πίνακες Υπολογισμού- Μετεωρολογικά Δεδομένα .....	143
10.3.2 Ηλεκτρολογική Εγκατάσταση .....	145
10.4 Μέτρηση Απόδοσης Εγκατεστημένου Συστήματος με Τηλεμετρία .....	146
10.5 Συμπεράσματα - Σύγκριση θεωρητικού και Μετρήσεων Τηλεμετρίας για την Εγκατάσταση .....	149
<b>Παράρτημα .....</b>	<b>151</b>
1. Sunny Boy 3300TL HC .....	151
2. Κεντρική Μονάδα Επικοινωνίας SUNNY WEBBOX .....	153
3 Καλώδια για Φωτοβολταϊκά .....	154



## Σχήματα

---

<b>Σχήμα 1.1:</b> Παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού σε σχέση με τη κατανάλωση της ενέργειας.....	21
<b>Σχήμα 1.2:</b> Σύγκριση κόστους παραγωγής της κιλοβατώρας.....	23
<b>Σχήμα 2.1:</b> Εναλλακτικές δυνατότητες ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών σε κτίριο.....	25
<b>Σχήμα 2.2:</b> Τρόποι ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων σε στέγη. ....	25
<b>Σχήμα 2.3 :</b> Τρόποι ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών σε πρόσοψη κτιρίου.....	28
<b>Σχήμα 3.1:</b> Φωτοβολταϊκό σύστημα .....	33
<b>Σχήμα 3.2:</b> Φωτοβολταϊκή κυψέλη .....	34
<b>Σχήμα 3.3 :</b> Θεωρητικό Ηλεκτρικό Κύκλωμα Κυψέλης .....	35
<b>Σχήμα 3.4:</b> Χαρακτηριστική I-V μιας ιδανικής ηλιακής κυψέλης .....	35
<b>Σχήμα 3.5:</b> Ισοδύναμο κύκλωμα κυψέλης με βραχυκυκλωμένα τα άκρα της.....	36
<b>Σχήμα 3.6:</b> Ισοδύναμο κύκλωμα κυψέλης με ανοιχτοκυκλωμένα τα άκρα της ..	36
<b>Σχήμα 3.7:</b> Πραγματικό ηλεκτρικό κύκλωμα κυψέλης .....	37
<b>Σχήμα 3.8:</b> I-V χαρακτηριστική πραγματικού ηλεκτρικού κυκλώματος κυψέλης .....	38
<b>Σχήμα 3.9:</b> I-V χαρακτηριστική πραγματικού ηλεκτρικού κυκλώματος κυψέλης με διαφορετικές αντιστάσεις παράλληλα διαφορετικές αντιστάσεις σε σειρά.....	38
<b>Σχήμα 3.10:</b> Χαρακτηριστική I-V με σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) .....	39
<b>Σχήμα 3.11:</b> Η δομή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου .....	40
<b>Σχήμα 3.12:</b> Ηλεκτρικό κύκλωμα παράλληλης σύνδεσης κυψελών .....	42
<b>Σχήμα 3.13:</b> I-V χαρακτηριστική για τρεις παράλληλες συνδεδεμένες κυψέλες ..	42
<b>Σχήμα 3.14:</b> Παράλληλη σύνδεση κυψελών με τμηματική σκίαση .....	43
<b>Σχήμα 3.15:</b> Ηλεκτρικό κύκλωμα σύνδεσης κυψελών σε σειρά.....	44
<b>Σχήμα 3.16 :</b> I-V χαρακτηριστική για τρεις σε σειρά συνδεδεμένες κυψέλες....	44
<b>Σχήμα 3.17:</b> Κύκλωμα σύνδεσης κυψελών σε σειρά με μία κυψέλη σε σκιά ..	45
<b>Σχήμα 3.18:</b> Σύνδεση παρακαμπτηρίων - bypass διόδων παράλληλα στις κυψέλες .....	45
<b>Σχήμα 3.19:</b> Χαρακτηριστικής I-V κυψελών σύνδεσης σε σειρά με bypass διόδους όταν η μια κυψέλη είναι σε σκιά .....	46
<b>Σχήμα 3.20:</b> Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης .....	47
<b>Σχήμα 3.21:</b> Συμπεριφορά της τάσης σε μετατροπέα υποβιβασμού τάσης .....	47
<b>Σχήμα 3.22:</b> Μετατροπέας Ανύψωσης Τάσης.....	48
<b>Σχήμα 3.23:</b> Συμπεριφορά της τάσης σε μετατροπέα ανύψωσης τάσης .....	49
<b>Σχήμα 3.24:</b> Παράδειγμα string και κεντρικών inverter .....	49
<b>Σχήμα 3.25 :</b> Multi-string inverter type SB 4200TL και MPP tracker-ανιχνευτής .....	50
<b>Σχήμα 3.26:</b> Πολλαπλός αναστροφέας για συστήματα με διαφορετικούς προσανατολισμούς.....	50

<b>Σχήμα 3.27</b> Αναστροφέας με μισή γέφυρα.....	51
<b>Σχήμα 3.28:</b> Διαμόρφωση Εύρους Πλάτους (PWM).....	52
<b>Σχήμα 3.29:</b> Μονοφασικός αναστροφέας με πλήρη γέφυρα .....	52
<b>Σχήμα 3.30:</b> Τριφασικός αναστροφέας.....	53
<b>Σχήμα 3.31:</b> Διάφορες βάσεις στήριξης.....	54
<b>Σχήμα 3.32:</b> Παραδείγματα Ηλιοστατών .....	54
<b>Σχήμα 3.33:</b> Τοποθέτηση γάντζων στη στέγη για την ενσωμάτωση των πάνελ	55
<b>Σχήμα 3.34:</b> Τοποθέτηση ράγων.....	56
<b>Σχήμα 3.35:</b> Καλωδίωση –σύνδεση φωτοβολταϊκών γεννητριών.....	56
<b>Σχήμα 3.36:</b> Τοποθέτηση πάνελ .....	56
<b>Σχήμα 4.1:</b> Υπολογισμός βέλτιστης απόστασης ακτικειμένου σκίασης από το πανελ.....	60
<b>Σχήμα 4.2:</b> Απεικόνιση αζιμούθιας γωνίας και γωνίας ανύψωσης.....	62
<b>Σχήμα 4.3:</b> Πορεία του ήλιου στη διάρκεια της μέρας αλλά και του έτους .....	62
<b>Σχήμα 4.4 :</b> Διάγραμμα τροχιάς ήλιου σε Βόρειο γεωγραφικό πλάτος 38° μοιρών.....	63
<b>Σχήμα 4.5 :</b> Πυρανόμετρο .....	64
<b>Σχήμα 4.6:</b> Φωτοβολταϊκός αισθητήρας για μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας.....	65
<b>Σχήμα 4.7:</b> Μέση θερμοκρασία για διάφορες περιοχές της Ελλάδας.....	66
<b>Σχήμα 4.8:</b> Ώρες ηλιοφάνειας για διάφορες περιοχές της Ελλάδας .....	67
<b>Σχήμα 4.9:</b> Καθοριστικές γωνίες για τη τοποθέτηση σε έναν τόπο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η γωνία κλίσης $\beta$ και η αζιμουθία γωνία $\gamma$ . ...	69
<b>Σχήμα 4.10:</b> Γραφική απεικόνιση της κλίσης και της αζιμουθίας γωνίας ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου που βρίσκεται στο Βόρειο ημισφαίριο .....	70
<b>Σχήμα 4.11:</b> Επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m <sup>2</sup> /έτος) στο επίπεδο των ηλιακών πλαισίων ενός κτιριακού φωτοβολταϊκού συστήματος στην Αττική.....	71
<b>Σχήμα 4.12:</b> Επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα ενός κτιριακού φωτοβολταϊκού συστήματος .....	71
<b>Σχήμα 5.1:</b> Χαρακτηριστική I-V με σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) .....	73
<b>Σχήμα 5.2:</b> Γραφικός Υπολογισμός του συντελεστή πλήρωσης FF .....	74
<b>Σχήμα 5.3:</b> I-V χαρακτηριστική για διαφορετικές τιμές ακτινοβολίας .....	75
<b>Σχήμα 5.4:</b> I-V χαρακτηριστική για διαφορετικές θερμοκρασίες .....	76
<b>Σχήμα 6.1:</b> Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα .....	81
<b>Σχήμα 6.2:</b> Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα .....	82
<b>Σχήμα 6.3:</b> Υβριδικό Φωτοβολταϊκό Σύστημα.....	83
<b>Σχήμα 6.4:</b> Τυπική απλοποιημένη μορφή σύνδεσης οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων με το ηλεκτρικό δίκτυο Χ.Τ. ....	85
<b>Σχήμα 6.5:</b> Καλώδιο τύπου HO7NR-F .....	86
<b>Σχήμα 6.6 :</b> Αντικεραυνική προστασία σε κτίριο χωρίς εξωτερική ΑΠ.....	90

<b>Σχήμα 6.7:</b> Αντικεραυνική προστασία φωτοβολταϊκού σε κτίριο με ήδη υπάρχον αντικεραυνική προστασία .....	92
<b>Σχήμα 6.8:</b> Μέσα προστασίας σε κύκλωμα συνεχούς τάσης DC .....	96
<b>Σχήμα 6.9:</b> Μέσα προστασίας σε κύκλωμα εναλλασσόμενης τάσης AC .....	96
<b>Σχήμα 6.10:</b> Διάγραμμα κυκλώματος συνεχούς τάσης .....	98
<b>Σχήμα 6.11:</b> Διάγραμμα κυκλώματος εναλλασσόμενης τάσης .....	99
<b>Σχήμα 7.1:</b> Συναρμολόγηση ηλιακών στοιχείων σε πλαίσιο .....	104
<b>Σχήμα 7.2:</b> Το thin film έχει 15%-20% περισσότερες αποδιδόμενες KWh σε σχέση με το κρυσταλλικό Si .....	106
<b>Σχήμα 7.3:</b> Φωτοβολταϊκό στοιχείο thin film τεχνολογίας CdTe .....	109
<b>Σχήμα 7.4 :</b> Διάγραμμα εξέλιξης της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών .....	111
<b>Σχήμα 8.1:</b> Ασύρματη σύνδεσης τηλεμετρίας .....	114
<b>Σχήμα 8.2:</b> Ενσύρματη σύνδεσης τηλεμετρίας .....	115
<b>Σχήμα 9.1:</b> Ετήσια παραγωγή ηλεκτρισμού από PVGIS.....	119
<b>Σχήμα 9.2:</b> Ηλιακή ακτινοβολία περιοχής για 21 Δεκεμβρίου και 21 Ιουνίου. .	120
<b>Σχήμα 9.3:</b> Διάγραμμα Ακτινοβολίας ανά μήνα .....	122
<b>Σχήμα 9.4:</b> Διάγραμμα μέσος όρος θερμοκρασίας ανά μήνα .....	123
<b>Σχήμα 9.5:</b> Διάγραμμα απόστασης ηλίου στις 21 Δεκεμβρίου και 21 Ιουνίου .	124
<b>Σχήμα 9.6:</b> Διάγραμμα Σύνδεσης Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	128
<b>Σχήμα 9.7:</b> Μονογραμμικό σχέδιο εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος διασυνδεδεμένου με τη ΔΕΗ .....	129
<b>Σχήμα 9.8:</b> Γενικός πίνακας φωτοβολταϊκού συστήματος διασυνδεδεμένου με τη ΔΕΗ.....	130
<b>Σχήμα 9.9:</b> Μονογραμμικό σχέδιο (αναλυτικό) εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος διασυνδεδεμένου με τη ΔΕΗ.....	131
<b>Σχήμα 9.10:</b> Σύστημα προστασίας αποφυγής απομονωμένης λειτουργίας .....	132
<b>Σχήμα 9.11:</b> Κάτοψη δώματος αποτύπωσης –εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών γεννητριών .....	133
<b>Σχήμα 10.1:</b> Διάγραμμα Φωτοβολταϊκού Συστήματος .....	139
<b>Σχήμα 10.2:</b> Πάνελ Sanyo HIT-240 HDE4 .....	140
<b>Σχήμα 10.3:</b> Τεχνικά χαρακτηριστικά Πάνελ Sanyo HIT-240 HDE4.....	140
<b>Σχήμα 10.4:</b> Inverter Sunny Boy 3.300TL HC. ....	141
<b>Σχήμα 10.5:</b> Τομή εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πλαισίου επί επίπεδου τμήματος δώματος. ....	142
<b>Σχήμα 10.6:</b> Τομή εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πλαισίου επί κεκλιμένου τμήματος της στέγης .....	143
<b>Σχήμα 10.7:</b> Μονογραμμικό σχέδιο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.....	145
<b>Σχήμα 10.8:</b> Διάγραμμα Συνολικής Ενεργειακής Απόδοσης (KWh) για το έτος 2011.....	146
<b>Σχήμα 10.9:</b> Διάγραμμα Ενεργειακής Απόδοσης (KWh) για τον Απρίλιο	

του 2011 .....	147
<b>Σχήμα 10.10:</b> Διάγραμμα Ενεργειακής Απόδοσης (KWh) για τον Μάιο του 2011 .....	147
<b>Σχήμα 10.11:</b> Διάγραμμα Ενεργειακής Απόδοσης (KWh) για 17/5/2011.....	148
<b>Σχήμα 10.12:</b> Διάγραμμα Ενεργειακής Απόδοσης (KWh) για 30/5/2011.....	148
<b>Σχήμα 10.13:</b> Διάγραμμα Σύγκρισης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .....	149

## Εικόνες

---

<b>Εικόνα 2.1 :</b> Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στην επιφάνεια τις στέγης.....	26
<b>Εικόνα 2.2 :</b> Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε στέγη .....	27
<b>Εικόνα 2.3:</b> Σιδηροδρομικός σταθμός Lehrter στο Βερολίνο με φ/β πλαίσια με διαφορετική καμπυλότητα και μέγεθος, 189kWp σε επιφάνεια 1.700m <sup>2</sup> . ....	27
<b>Εικόνα 2.4 :</b> Παράδειγμα ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκού σε πρόσοψη κτιρίου στο Ταύρο-Αθήνα .....	29
<b>Εικόνα 2.5:</b> Παράδειγμα φωτοβολταϊκού συστήματος ενσωματωμένο σε πρόσοψη κτιρίου στη Λ. Αλεξάνδρας .....	30
<b>Εικόνα 2.6:</b> Χρήση φωτοβολταϊκών για σκίαση .....	30
<b>Εικόνα 2.7:</b> Φωτοβολταϊκά σκίαστρα σε παράθυρα κτιρίου στη Σουηδία .....	31
<b>Εικόνα 10.1:</b> Φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 8,64 Kp στο Μοσχάτο .....	137
<b>Εικόνα 10. 2:</b> Φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 8,64 Kp στο Μοσχάτο .....	138

## Πίνακες

---

<b>Πίνακας 1.1:</b> Ποσότητα ρύπων που αποφεύγεται για κάθε ηλιακή κιλοβατώρα ..	20
<b>Πίνακας 4.1:</b> Μέση θερμοκρασία για περιοχές της Ελλάδας.....	66
<b>Πίνακας 4.2:</b> Ώρες ηλιοφάνειας για περιοχές της Ελλάδας.....	67
<b>Πίνακας 6.1 :</b> Απαιτήσεις σύνδεσης στο δίκτυο .....	84
<b>Πίνακας 6.2:</b> Χαρακτηριστικά αγωγών βάση των διατομών τους .....	88
<b>Πίνακας 6.3 :</b> Τύποι καλωδίων .....	89
<b>Πίνακας 8.1:</b> Σύγκριση Ασύρματης και ενσύρματης σύνδεσης .....	114
<b>Πίνακας 9.1:</b> Αποτελέσματα PVGIS παραγωγής ηλεκτρισμού .....	118
<b>Πίνακας 9.2:</b> Υλικά εγκατάστασης.....	129
<b>Πίνακας 10.1 :</b> Θεωρητικά αποτελέσματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ..	138

## 1. Εισαγωγή

---

### 1.1 Γενικά

Ο όρος φωτοβολταϊκά προέρχεται από το συνδυασμό δύο λέξεων: της λέξης «φως» και της λέξης «volt» (ηλεκτρική ενέργεια), επί λέξει λοιπόν σημαίνει «ηλεκτρική ενέργεια του φωτός».

Με το γενικό όρο «φωτοβολταϊκά» χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στην ουσία πρόκειται για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία σε επίπεδη διάταξη και οι οποίες έχουν ως βάση λειτουργίας το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός και τη δημιουργία ρεύματος.

### 1.2 Φωτοβολταϊκά και Περιβάλλον

Τα φωτοβολταϊκά σήμερα είναι από τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες για την περιβαλλοντικά ήπια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την απεξάρτηση από το πετρέλαιο. Καλύπτουν τεράστιο εύρος εφαρμογών, από την ηλεκτροδότηση υπολογιστικών μηχανών τσέπης μέχρι κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας, ενώ το κόστος τους είναι ήδη ανταγωνιστικό σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα φωτοβολταϊκά, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη, δεν έχουν κινούμενα μέρη, και παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη μορφή ενέργειας. Επιπλέον, ευέλικτα συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων διασυνδεδεμένων στο δίκτυο γίνεται ανταγωνιστική, μέσω των κινήτρων που δίνονται σε διάφορες χώρες (Γερμανία, Ισπανία, Ιταλία, Ελλάδα, Κύπρο κ.α ) και αφορούν κυρίως στην ειδική τιμή της ηλιακής ενέργειας kWh. Οι ενισχύσεις αυτές δεν δίνονται χωρίς λόγο. Κάθε εγκατεστημένος κιλοβάτ φωτοβολταϊκών συμβάλλει στην αποφυγή εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λ.π.) και αερίων που πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της γης. Επίσης προστατεύοντας το περιβάλλον προστατεύεται και η υγεία των πολιτών.

## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή

Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά ρυπογόνα καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ (kWp), αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους (ή αντίστοιχα 100 δέντρα). Για να παραχθεί η ίδια ηλεκτρική ενέργεια με πετρέλαιο, απαιτούνται 2,2 βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο. Από περιβαλλοντική άποψη, αποφεύγοντας 1,3 τόνους διοξειδίου του άνθρακα ετησίως είναι σαν να κάνει ένα μέσο αυτοκίνητο 7.000 χιλιόμετρα λιγότερα κάθε χρόνο. Μπορούμε απλά να πούμε ότι ένα τετραγωνικό μέτρο φωτοβολταϊκών πλαισίων ισοδυναμεί περίπου με 10 δέντρα. [1]



Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει την ποσότητα των ρύπων (σε γραμμάρια) η έκλυση των οποίων αποφεύγεται για κάθε ηλιακή κιλοβατώρα που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

Υποκατάσταση	Αποφυγή εκλυόμενων ρύπων (σε gr ) Ανά ηλιακή κιλοβατώρα			
	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Λιγνίτη	1.482	1-1,8	1,17-1,23	1,1
Πετρελαίου (χαμηλού Θείου)	830	3,5	1,5	0,34
Φυσικού αερίου	475	0,017	0,6	-
Μέσου ενεργειακού μείγματος χώρου	1.062	CO <sub>2</sub> = Διοξείδιο του άνθρακα SO <sub>2</sub> = Διοξείδιο του θείου NO <sub>x</sub> =Οξείδιο του αζώτου PM <sub>10</sub> =Μικροσωματίδια		

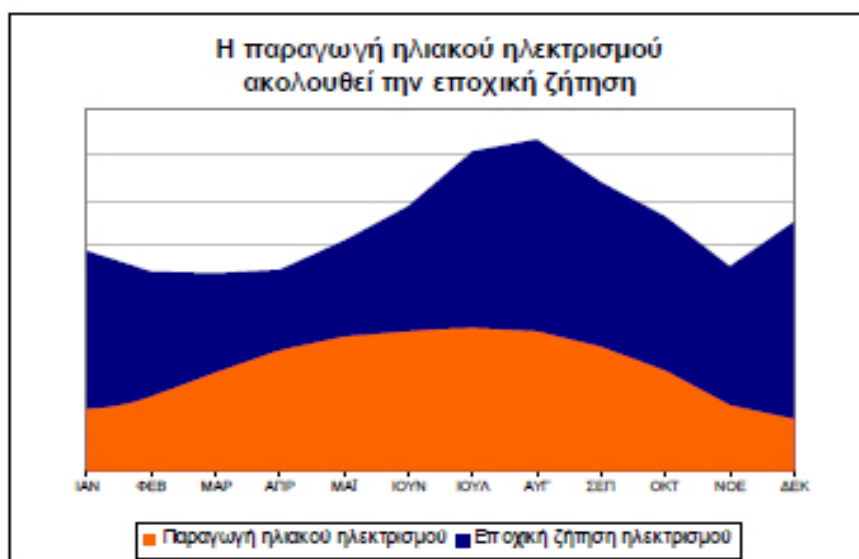
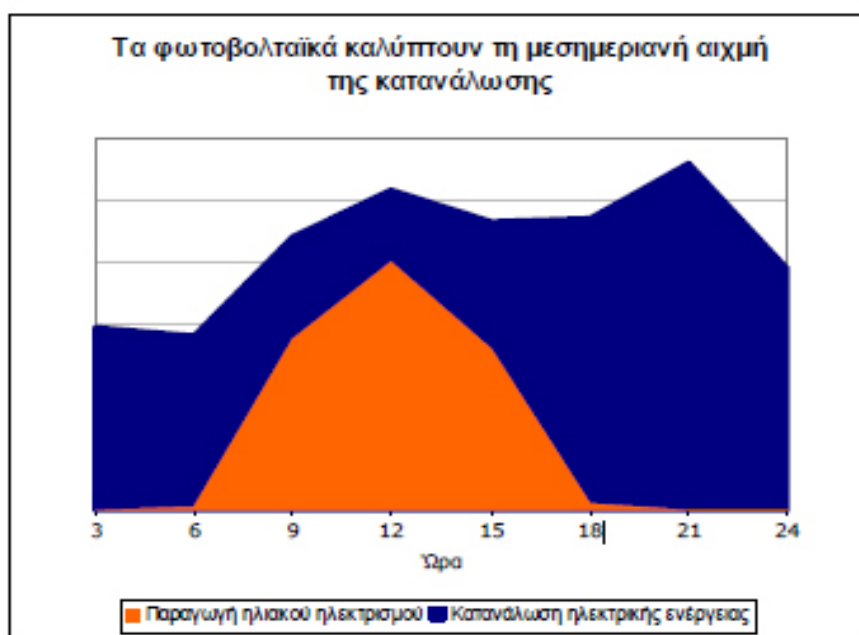
**Πίνακας 1.1:** Ποσότητα ρύπων που αποφεύγεται για κάθε ηλιακή κιλοβατώρα

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης. Οι διάφοροι μικροί παραγωγοί “πράσινης” ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ιδανική λύση για τη μελλοντική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις περιπτώσεις όπου αμφισβητείται η ασφάλεια της παροχής. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν δοκιμάζεται από δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο (απώλειες, οι οποίες στην Ελλάδα ανέρχονται σε 10,6% κατά μέσο όρο). Από την άλλη, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου στην αποφυγή black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Σημειωτέον ότι, κάθε ώρα black-out κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. ευρώ. Συνοψίζοντας λοιπόν, τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα συμβάλλουν στην ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου (μετριάζοντας τις αιχμές κατανάλωσης), την αποκεντρωμένη παραγωγή και την



## Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>: Εισαγωγή

ελαχιστοποίηση των απωλειών κατά τη μεταφορά της ενέργειας, καθώς η παραγωγή γίνεται κοντά στον τόπο κατανάλωσης.



**Σχήμα 1.1:** Παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού σε σχέση με τη κατανάλωση της ενέργειας

Επιπλέον είναι απολύτως αθόρυβα κατά την λειτουργία, δεν ενοχλούν οπτικά, δεν έχουν κινούμενα μέρη, δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις συντήρησης, είναι επεκτάσιμα κι έχουν εγγυημένη λειτουργία για τουλάχιστον 20 χρόνια.

Αν συνυπολογισθούν τα παραπάνω, εύκολα διεξάγεται το συμπέρασμα και δεν είναι καθόλου τυχαίο ότι η διεθνής βιομηχανία φωτοβολταϊκών παρουσιάζει ετήσιους ρυθμούς ανάπτυξης κοντά στο 50%, αποδεικνύοντας ότι η ανάπτυξη αυτή δεν

αποτελεί συγκυριακό γεγονός. Τα φωτοβολταϊκά δεν είναι μόνο τα εγκατεστημένα μεγαβάτ που συμβάλλουν στην ευστάθεια των δικτύων και βοηθούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Είναι ταυτόχρονα και ένα όχημα για μια αποκεντρωμένη και αειφόρο ανάπτυξη με σημαντική συμβολή στην οικονομία και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Ο ΣΕΦ (Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών) υποστηρίζει το στόχο που έχει θέσει η ευρωπαϊκή βιομηχανία φωτοβολταϊκών για κάλυψη του 12% της ηλεκτροπαραγωγής με φωτοβολταϊκά ως το 2020. Για να επιτευχθεί ο φιλόδοξος αυτός στόχος απαιτείται μία γιγαντιαία προσπάθεια τόσο από την ίδια τη βιομηχανία, όσο και από τις αρμόδιες αρχές, οι οποίες καλούνται όχι μόνο να ενισχύσουν θεσμικά αυτή την πορεία, αλλά και να άρουν τα αντικίνητρα που υπάρχουν σήμερα.

### 1.3 Η Καθαρή Πηγή Ενέργειας Απάντηση στα Πυρηνικά

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας, μπορούν να καλύψουν το κενό στην ηλεκτροπαραγωγή, που θα δημιουργηθεί από την απόσυρση των γερασμένων ευρωπαϊκών αντιδραστήρων, σύμφωνα με μελέτη της Greenpeace. Σήμερα λειτουργούν 48 παλαιοί αντιδραστήρες στην Ευρωπαϊκή Ένωση που είναι κατασκευασμένοι πριν το 1980. Η μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύς παλαιών σταθμών βρίσκεται στη Γαλλία (8,4 GW) στη Γερμανία (8 GW), τη Μεγάλη Βρετανία (3,8 GW) και τη Σουηδία (3,7 GW). Μέχρι σήμερα η Γερμανία είναι η μόνη χώρα που έθεσε, έστω και προσωρινά, εκτός λειτουργίας τους παλαιούς αντιδραστήρες.

Ταυτόχρονα αν συγκρίνουμε το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ένα πυρηνικό σταθμό, η κατασκευή του οποίου θα ξεκινούσε σήμερα, με το κόστος της αντίστοιχης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) τα αποτελέσματα θα ήταν αυτά που φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα .

Σε αντίθεση με όσα η πυρηνική μυθοπλασία έχει αφήσει να εννοηθούν, οι ΑΠΕ είναι τελικά φθηνότερες από τα πυρηνικά. Στο τέλος της δεκαετίας, τα πυρηνικά δεν θα μπορούν να ανταγωνιστούν ούτε καν τα μικρής κλίμακας οικιακά φωτοβολταϊκά σε ό,τι αφορά στο κόστος ενέργειας. Σε ό,τι αφορά στα αιολικά και ορισμένες εφαρμογές της βιομάζας, αυτά είναι ήδη φθηνότερα από τα πυρηνικά ακόμη και σήμερα. [2]



Σχήμα 1.2: Σύγκριση κόστους παραγωγής της κιλοβατώρας [3]

Το ατύχημα στη Φουκουσίμα της Ιαπωνίας δίνει νέα ώθηση στον τομέα των φωτοβολταϊκών. Ήδη εξετάζεται το ενδεχόμενο να χρησιμοποιηθούν ηλιακοί συλλέκτες χωρίς ηλιακά κύτταρα, προκειμένου να μειωθεί το συνολικό κόστος. Τον Ιούνιο του 2010 η Ιαπωνία σχεδίαζε την κατασκευή εννέα αντιδραστήρων μέσα στα επόμενα 10 χρόνια για την παραγωγή του 50% της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Τώρα, μετά το ατύχημα, οι πολιτικές αυτές επανεξετάζονται και όπως δείχνουν η ηλιακή ενέργεια είναι αυτή που θα αντικαταστήσει την ενέργεια από τα πυρηνικά.

#### 1.4 Τα Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα

Από 1η Ιουλίου 2009 ισχύει ένα ειδικό πρόγραμμα για την εγκατάσταση μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων στον οικιακό-κτιριακό τομέα. Με το πρόγραμμα αυτό δίνονται κίνητρα με τη μορφή ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας, ώστε ο οικιακός καταναλωτής ή μία μικρή επιχείρηση να κάνουν απόσβεση του συστήματος που εγκατέστησαν και να έχουν ένα λογικό κέρδος για τις υπηρεσίες (ενεργειακές και περιβαλλοντικές) που παρέχουν στο δίκτυο.

Η πρόσφατη νομοθεσία για την εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων «Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων» ΦΕΚ Αρ. φύλλου 1079/Β/4.6.2009 υπογράφηκε στις 4 Ιουνίου 2009 και απλοποιήθηκε περαιτέρω τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο του 2010. Το πρόγραμμα εφαρμόζεται σε όλη την επικράτεια, με εξαίρεση τα μη διασυνδεδεμένα νησιά με το ηπειρωτικό σύστημα της χώρας.

## 2. Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Κτίρια

---

### 2.1 Γενικά Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Κτίρια

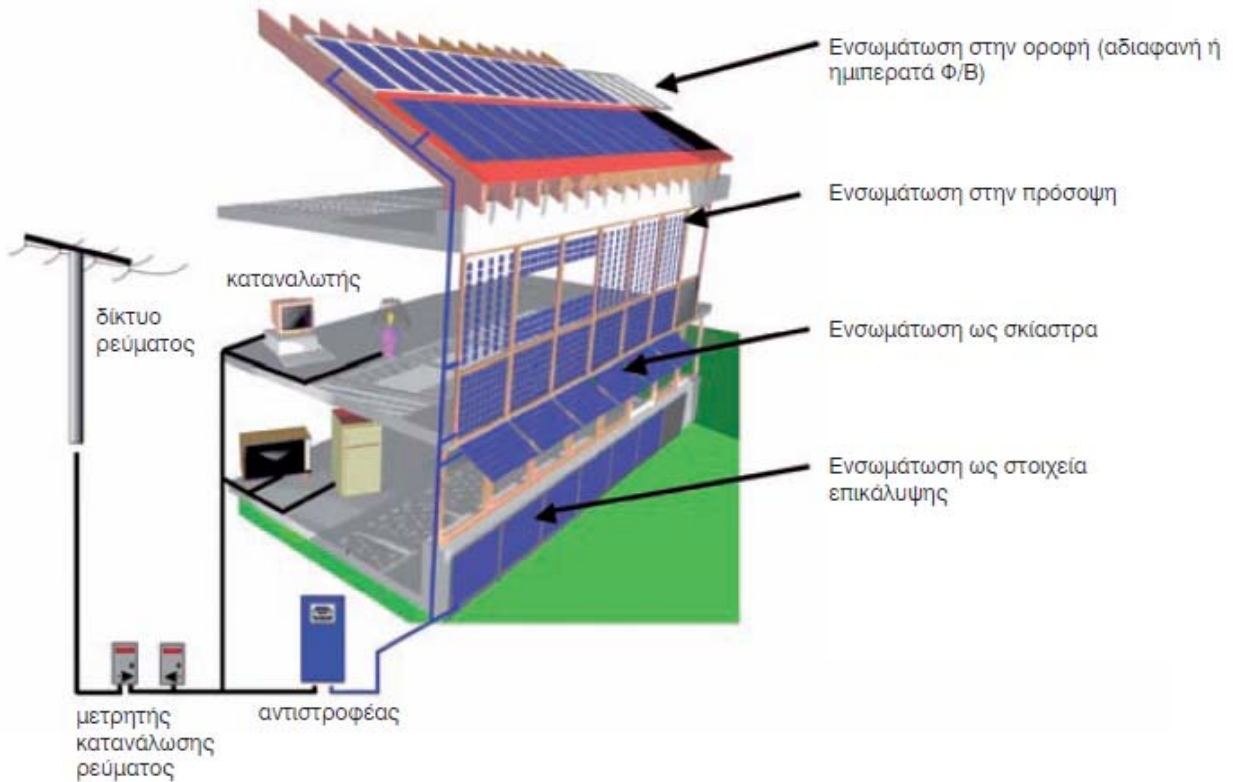
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε κτίρια αποτελούν δομικό υλικό για το κέλυφος του κτιρίου, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν ως παραγωγοί καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, με σημαντικό πλεονέκτημα την εξοικονόμηση κόστους τόσο των υλικών όσο και της ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν ιδανικά οικοδομικά στοιχεία σε πολλαπλές εφαρμογές καθώς επιτρέπουν μεγάλη ευελιξία στον σχεδιασμό. Μπορούν να αντικαταστήσουν διαφορετικά στοιχεία-από γυάλινες προσόψεις μέχρι οροφές-ή να υποκαταστήσουν παραδοσιακά οικοδομικά υλικά σε εφαρμογές όπως η σκίαση και η στεγανοποίηση. Με ποικιλία σε σχήματα και χρώματα και την ικανότητα να συνδυάζονται αρμονικά η να ξεχωρίζουν, επιτρέπουν στους αρχιτέκτονες να κρύψουν ή να προβάλλουν τη χρήση τους σύμφωνα με τις οικοδομικές απαιτήσεις. Τα φωτοβολταϊκά έχουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης σε οποιοδήποτε οικοδομικό έργο, από κτίρια υψηλής τεχνολογικής αισθητικής έως οικοδομήματα πολιτιστικής κληρονομιάς.

Παρόλο που η χρήση των φωτοβολταϊκών από τους αρχιτέκτονες, ως δομικό υλικό αυξάνεται συνεχώς, ο αριθμός των κτιρίων που έχουν ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ακόμα χαμηλός. Το υψηλό κόστος της ενσωμάτωσής τους προβάλλεται συνήθως ως η αιτία για την μη υιοθέτησή τους. Ωστόσο το κόστος δεν μπορεί να θεωρηθεί ως καθοριστική αιτία, καθώς συχνά στις προσόψεις των κτιρίων χρησιμοποιούνται υλικά υψηλότερου κόστους όπως π.χ γρανίτης.

Η ενσωμάτωση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό επιτρέπει στον σχεδιαστή να δημιουργήσει περιβαλλοντικά ήπια και ενεργειακά αποδοτικά κτίρια, χωρίς να θυσιάσει την άνεση, την αισθητική ή την οικονομία. Η σύγχρονη φωτοβολταϊκή τεχνολογία έχει πολλαπλές δυνατότητες αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης και ικανοποιεί απαιτητικές λειτουργίες ή αισθητικές παραμέτρους. Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές αφορούν την ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε:

- Στέγες / Ταράτσα
- Πρόσοψη
- Σκίαστρα / Στέγαστρα



Σχήμα 2.1: Εναλλακτικές δυνατότητες ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών σε κτίριο.

## 2.2 Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Στέγες

Υπάρχουν τρεις εναλλακτικοί τρόποι ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων πάνω σε μια στέγη κτιρίου.



Σχήμα 2.2: Τρόποι ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών πλαισίων σε στέγη. [2]

I. Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή δεν είναι η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στο κτίριο, αλλά η τοποθέτησή τους πάνω στην επιφάνεια τις στέγης χρησιμοποιώντας μεταλλικές κατασκευές. Αυτός ο τρόπος αποτελεί μια εύκολη και με χαμηλό κόστος λύση για τοποθέτηση φωτοβολταϊκών. Όταν τα φωτοβολταϊκά τοποθετούνται πάνω στη στέγη, η στέγη εξακολουθεί να διατηρεί τη στεγανοποίησή της ενώ το μειονέκτημα είναι ότι εκτός από την αισθητική πτυχή, όλες οι συναρμολογήσεις, οι ηλεκτρικές συνδέσεις και τα καλώδια είναι εκτεθειμένα στις

καιρικές συνθήκες. Επιπλέον πρέπει η τοποθέτηση να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή σκίαση από τα πάνελ.



**Εικόνα 2.1:** Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στην επιφάνεια τις στέγης

II. Μια άλλη δυνατότητα είναι η απευθείας ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στη στέγη. Στην τοποθέτηση αυτή συνήθως υπάρχουν πολύ επίπεδες γωνίες κλίσης και υψηλότερες θερμοκρασίες των πλαισίων. Έτσι, έχοντας υπόψη τις προϋποθέσεις για τη βέλτιστη κλίση και τον προσανατολισμό συμπεραίνουμε ότι αυτό σημαίνει λιγότερες ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια των πάνελ και άρα χαμηλότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό πρέπει να γίνεται η σωστή επιλογή του τύπου των φωτοβολταϊκών που θα χρησιμοποιηθούν. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film μπορούν να έχουν τη καλύτερη χρήση των πλεονεκτημάτων τους. Επιπλέον, η έλλειψη αυτοκαθαρισμού της επιφάνειας των πάνελ, μειώνει την απόδοσή τους και για αυτό πρέπει να καθαρίζονται τακτικά. Πλεονέκτημα αυτού του τρόπου τοποθέτησης φωτοβολταϊκών είναι η καλύτερη εκμετάλλευση της επιφάνειας της στέγης αφού τα πάνελ μπορούν να τοποθετηθούν παράλληλα στις άκρες της στέγης ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό του κτιρίου. Επειδή δεν είναι απαραίτητη η χρήση συστημάτων στήριξης των πάνελ, υπάρχει μείωση του κόστους εγκατάστασης. [5]





**Εικόνα 2.2:** Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε στέγη [4]

III. Η τρίτη δυνατότητα είναι η πλήρης ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στη στέγη, όπου τα φωτοβολταϊκά παίζουν το ρόλο της σκεπής υποκαθιστώντας το αντίστοιχο οικοδομικό υλικό (π.χ τα κεραμίδια).

Παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής αποτελεί ο σιδηροδρομικός σταθμός Lehrter στο Βερολίνο της Γερμανίας. Εκεί τα χωρίς πλαίσια φωτοβολταϊκά στοιχεία αντικαθιστούν την υαλοκατασκευή στην διαπερατή οροφή της κεντρικής αίθουσάς και τοποθετούνται σε γραμμική διάταξη πάνω σε πλέγμα από ατσάλι.



**Εικόνα 2.3:** Σιδηροδρομικός σταθμός Lehrter στο Βερολίνο με φ/β πλαίσια με διαφορετική καμπυλότητα και μέγεθος, 189kWp σε επιφάνεια 1.700m<sup>2</sup>. [4]

### 2.3 Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Πρόσοψη Κτιρίου

Οι φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις σπάνια έχουν τόσο καλό αισθητικό αποτέλεσμα, όσο αυτό της ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών στα κτίρια: το σχήμα και το χρώμα των στοιχείων που θα ενσωματωθούν στη πρόσοψη μπορούν να

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Κτίρια

κατασκευαστούν έτσι ώστε να προσαρμόζονται τέλεια στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτιρίου. Λόγω του σχεδιασμού, όπου οι ηλιακές κυψέλες είναι μέσα σε χητή ρητίνη μεταξύ των δυο υαλοπινάκων, τα ηλιακά στοιχεία μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερα από τα συμβατικά συστήματα. Αυτό αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών. Το ευρύ φάσμα των διαφορετικών αισθητικά δυνατοτήτων σε φωτοβολταϊκά πλαίσια παρέχει μεγάλη ευελιξία στην αρχιτεκτονική σχεδίαση.

Στα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά σε προσόψεις υπάρχει περιορισμός στη βέλτιστη γωνία κλίσης της ακτινοβολίας του ηλίου και στον προσανατολισμό. Όμως μια σύγχρονη πρόσοψη με φωτοβολταϊκά μπορεί να παρέχει διαφορετικές λειτουργίες σε ένα κτίριο π.χ:

- Θερμική προστασία
- Μόνωση
- Προστασία από τον ήλιο
- Προστασία από το θόρυβο

Υπάρχουν τρεις δυνατότητες για την ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στη πρόσοψη ενός κτιρίου:

-Τοποθέτηση μπροστά στην πρόσοψη

-Ενσωμάτωση πάνω στην πρόσοψη

-Πλήρης ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στην πρόσοψη, όπου τα φωτοβολταϊκά παίζουν το ρόλο του οικοδομικού υλικού.



**Σχήμα 2.3:** Τρόποι ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών σε πρόσοψη κτιρίου[5]

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν πολύ εύκολα να τοποθετηθούν σε υπάρχουσες προσόψεις και αποτελούν αισθητική λύση για μεγάλες επιφάνειες σε κτίρια χωρίς παράθυρα. Εάν δεν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις για το σχήμα και το μέγεθος των πάνελ, τότε προσφέρονται τυποποιημένα πάνελ των οποίων η τοποθέτηση είναι εύκολη αφού δεν χρειάζεται να παρέχουν αδιάβροχη προστασία.

Παράδειγμα ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκού σε πρόσοψη κτιρίου αποτελεί η ανάπλαση της εργατικής πολυκατοικίας στο Ταύρο – Αθήνα το οποίο απεικονίζεται παρακάτω. Στο συγκεκριμένο έργο έχουν χρησιμοποιηθεί και συνδεθεί μεταξύ τους φωτοβολταϊκές γεννήτριες με διαφορετικές διαστάσεις, διαφορετική τάση και ισχύ,



## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Κτίρια

δίνοντας έτσι μεγάλη ευκολία στον σχεδιασμό. Το ενσωματωμένο διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα στην πολυκατοικία στο Ταύρο είναι ισχύος 11,9 kWp και αποτελείται από 82 φωτοβολταϊκές γεννήτριες ισχύος 100W (24V ανά γεννήτρια) και από 74 φωτοβολταϊκές γεννήτριες ισχύος 50W, των 12V. Οι γεννήτριες είναι της εταιρείας Naps Systems Oy και η διασύνδεση με το δίκτυο έγινε με διασυνδεδεμένους αντιστροφείς της εταιρείας SMA.



**Εικόνα 2.4:** Παράδειγμα ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκού σε πρόσοψη κτιρίου στο Ταύρο-Αθήνα [4]

Άλλο ένα παράδειγμα φωτοβολταϊκού συστήματος ενσωματωμένο σε πρόσοψη κτιρίου είναι της εταιρείας ANKOT, στη Λ. Αλεξάνδρας στο κέντρο της Αθήνας, που ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2009. Το φωτοβολταϊκό σύστημα ονομαστικής ισχύος 19,80 kWp και αναμένεται να παράγει τουλάχιστον 27 MWh το χρόνο, αποτρέποντας με αυτόν τον τρόπο την εκπομπή περισσότερων από 26 τόνων διοξειδίου του άνθρακα.

Η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αποτελείται από 30 φωτοβολταϊκά πλαίσια, 220 Wp έκαστο, της εταιρείας Conergy (PP220P), 60 φωτοβολταϊκά πλαίσια κρυσταλλικού τύπου, 220 Wp έκαστο, της εταιρείας SunPower (220-BLK) και 2 φωτοβολταϊκά πλαίσια SunPower 220-BLK dummies, τα οποία εγκαταστάθηκαν για λόγους ενιαίας αισθητικής και δεν συνδέθηκαν στο σύστημα. Στο σύστημα εγκαταστάθηκαν 3 μετατροπείς Sunny Mini Central 7000HV της SMA καθώς και σύστημα τηλεμετρίας SMA. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια Conergy PP220P στηρίχθηκαν επί της στέγης του κτιρίου με το σύστημα στήριξης Conergy Sun Top III

ενώ τα πλαίσια SunPower 220-BLK, τοποθετήθηκαν στην πρόσοψη του κτιρίου, στηριζόμενα απευθείας πάνω σε ειδική μεταλλική κατασκευή από ανοξείδωτο χάλυβα. [6]

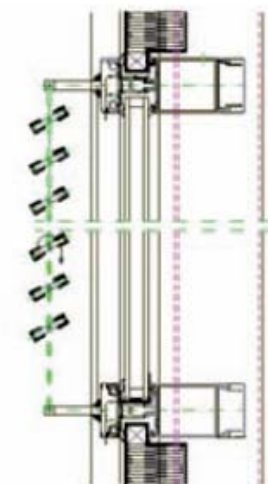


**Εικόνα 2.5:** Παράδειγμα φωτοβολταϊκού συστήματος ενσωματωμένο σε πρόσοψη κτιρίου στη Λ. Αλεξάνδρας

## 2.4 Σκίαστρα

Η χρήση φωτοβολταϊκών για σκίαση παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Την εξοικονόμηση κόστους από τα συμβατικά σκίαστρα, καθώς τα φωτοβολταϊκά προσφέρουν σκίαση στον εσωτερικό χώρο. Εξάλλου η χρήση των ημιπερατών πλαισίων επιτρέπει τον προσδιορισμό του βαθμού διαφάνειας, ανάλογα με το βαθμό σκίασης που απαιτείται.
- Η βέλτιστη κλίση τοποθέτησής των φωτοβολταϊκών ταυτίζεται με την κλίση που παρέχει την μέγιστη σκίαση και έτσι έχουμε βέλτιστη παραγωγή ενέργειας.
- Την παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία μπορεί να αποδειχθεί μια καλή επένδυση για το μέλλον. [4]



**Εικόνα 2.6:** Χρήση φωτοβολταϊκών για σκίαση

Παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής αποτελεί η φοιτητική εστία στο Malmö της Σουηδίας. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν τοποθετηθεί στην πρόσοψη του κτιρίου και ως σκίαστρα πάνω από τα παράθυρα εξυπηρετούν διπλό στόχο: την παραγωγή ενέργειας και τη σκίαση των εσωτερικών χώρων.



**Εικόνα 2.7:** Φωτοβολταϊκά σκίαστρα σε παράθυρα κτιρίου στη Σουηδία [4]

Η πιο απλή μορφή σκίαστρων είναι οι θόλοι, στους οποίους η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών είναι πολύ αποτελεσματική αν τοποθετηθούν σωστά. Με το κατάλληλο μέγεθος και τη σωστή απόσταση μεταξύ των υαλοπινάκων, οι θόλοι μπορούν να εμποδίσουν τις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού ήλιου, ενώ το χειμώνα αφήνουν την ηλιακή ακτινοβολία να διαπεράσει το θόλο και να εισχωρήσει στο εσωτερικό του κτιρίου.

### 2.5 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα Θερμικών Συστημάτων.

Η ανάγκη βελτίωσης των επιδόσεων των φωτοβολταϊκών και επομένως η μείωση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας οδήγησε στα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα θερμικών συστημάτων. Ένα συνηθισμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο μετατρέπει μέρος της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό (γύρω στο 10% - 14%), ενώ το ποσοστό ηλιακής ενέργειας που απομένει είτε αντανακλάται από την επιφάνεια του πλαισίου είτε συσσωρεύεται και ελκύεται στο περιβάλλον με τη μορφή θερμότητας. Η αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας μιας κυψέλης μειώνει την απόδοσή της. Η αρχή λειτουργίας των υβριδικών φωτοβολταϊκών συστημάτων στηρίζεται στην ψύξη των κυψελών, μεταφέροντας τη θερμική ενέργεια που απορροφούν σε ένα ρευστό (σε υγρή ή αέρια μορφή) που επιτρέπει την μετέπειτα χρήση της.

Όπως γίνεται με τα ηλιοθερμικά συστήματα, αυτή η μεταφορά μπορεί να γίνει κυρίως με μεταφορά θερμότητας που γίνονται στο εσωτερικό του θερμοσυσσωρευτή. Η βασική παράμετρος που χαρακτηρίζει τα υβριδικά συστήματα είναι το σύνολο της

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>: Ενσωμάτωση Φωτοβολταϊκών σε Κτίρια

απόδοσης της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας, υπολογισμένο ως σχέση ανάμεσα στο άθροισμα της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η τεχνογνωσία που υπάρχει οδηγεί σε δυο λύσεις:

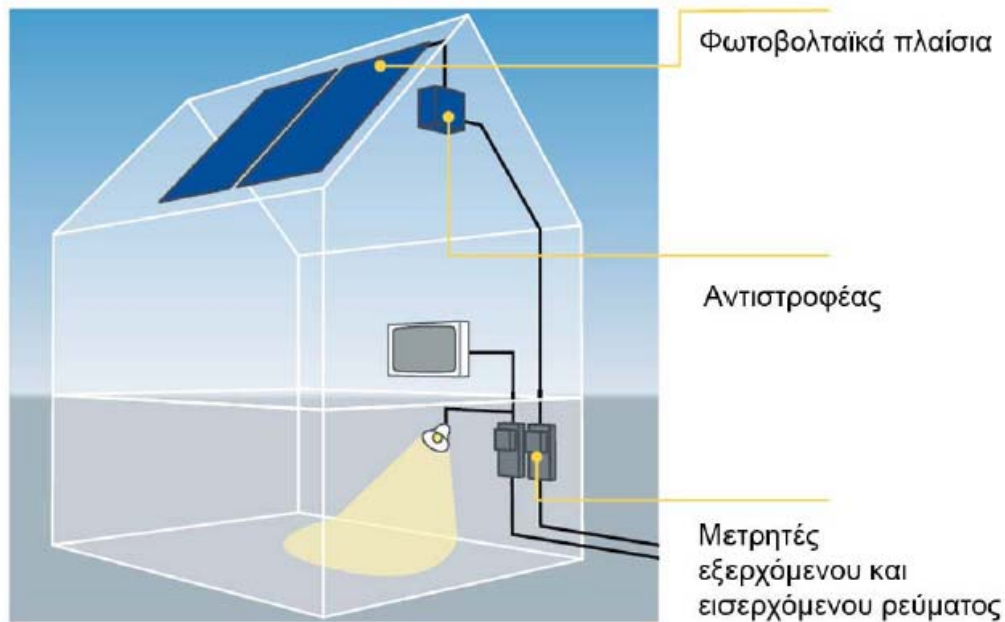
- η πιο απλή, στρέφεται στην ανάκτηση της θερμικής ενέργειας μέσω φυσικού ή τεχνικού αερισμού των κυψελών.
- η δεύτερη, βασίζεται στη χρήση υγρού για την μεταφορά θερμότητας σε υγρή μορφή.

Στα υβριδικά συστήματα με αέρα, το βασικό στοιχείο είναι ο συλλέκτης που είναι ενσωματωμένος στο φωτοβολταϊκό. Στο συσσωρευτή εισρέει ο αέρας από το εξωτερικό ή από ανακύκλωση, που ψύχει της κυψέλες και μεταφέρει μέρος της θερμότητας που παράγουν στο εσωτερικό του κτιρίου (τυπική χρήση για εσωτερικό κλιματισμό) ή τη διασκορπίζει στο περιβάλλον. Τα υβριδικά συστήματα με αέρα έχουν απλή και οικονομική κατασκευή με εξαιρετικές δυνατότητες ενσωμάτωσης σε κτίρια.

Τα υβριδικά συστήματα με υγρό βασίζονται σε συλλέκτες όμοιους με εκείνους των ηλιοθερμικών συστημάτων με νερό. Το υγρό ρέει σε σωλήνες που εφάπτονται με τον απορροφητή, αφαιρώντας την θερμότητα η οποία μεταφέρεται στο φορτίο με ή χωρίς τη χρήση εναλλάκτη θερμότητας. Θεωρητικά αυτά τα συστήματα μπορούν να χρησιμοποιούνται συνεχώς για την παραγωγή ζεστού νερού. [7]

### 3. Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (φωτοβολταϊκή γεννήτρια που ακουμπά σε κάποια μεταλλική βάση στήριξης), και τον αντιστροφέα (inverter) που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγουν τα φωτοβολταϊκά σε εναλλασσόμενο της ίδιας ποιότητας με το ρεύμα της ΔΕΗ συμβατό δηλαδή με το δίκτυο. Το ρεύμα αυτό περνά από ένα μετρητή και διοχετεύεται στο δίκτυο.[1]



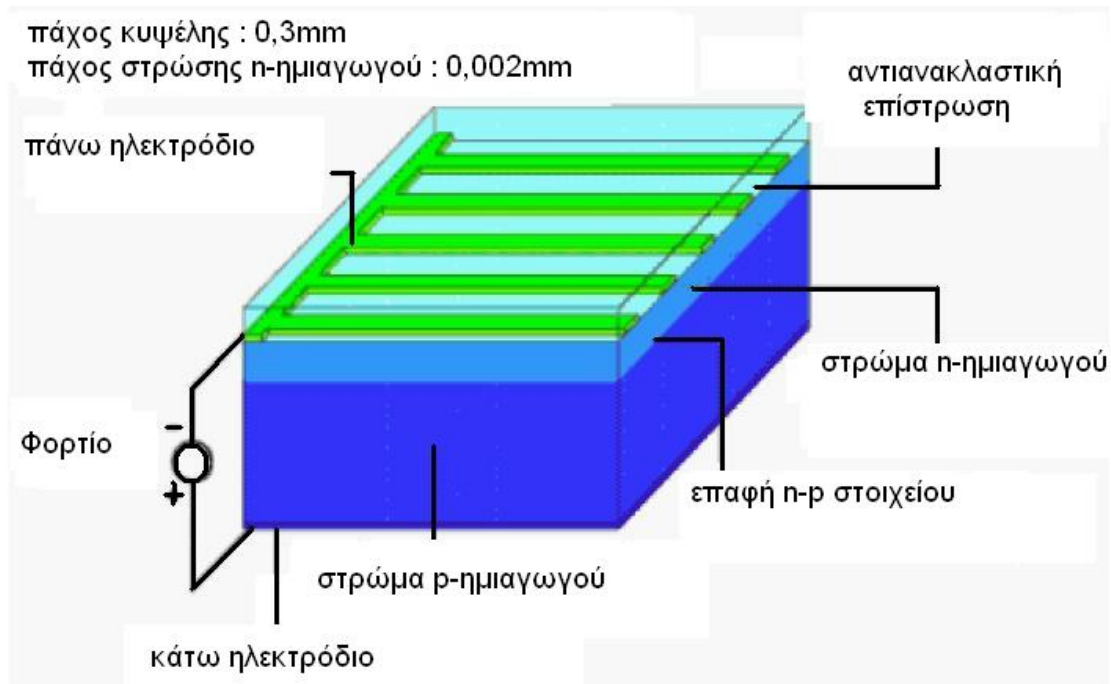
Σχήμα 3.1: Φωτοβολταϊκό σύστημα

#### 3.1 Ηλιακή Κυψέλη

Το κύριο συστατικό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία (ή φωτοστοιχεία ή ηλιακά κύτταρα ή κυψελίδες). Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες αποτελούνται από δυο στρώσεις, μια θετικά και μια αρνητικά «φορτισμένη». Για να παραχθεί ηλεκτρισμός πρέπει μέσα στην κυψέλη τα ηλεκτρόνια να κινούνται από τον θετικό στον αρνητικό πόλο (όπως σε μια μπαταρία). Μόλις πέσει φως στην κυψέλη, δημιουργείται τάση μεταξύ των στρώσεων, η οποία μπορεί να ληφθεί από τους πόλους. Μια μονάδα φωτοβολταϊκής κυψέλης παράγει περίπου 2,5 έως 4 Κρ πολύ μικρή ποσότητα, για αυτό χρησιμοποιείται το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, το οποίο αποτελείται από μεγάλο αριθμό διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών κυψελών. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια περιβάλλονται από σκελετό και καλύπτονται από γυάλινη επιφάνεια για να προστατεύονται από εξωτερικές επιδράσεις. Στη συνέχεια τα

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδέονται σε σειρά και παράλληλα (ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή τάση και ένταση) και σχηματίζουν μια πλήρη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.



Σχήμα 3.2: Φωτοβολταϊκή κυψέλη [8]

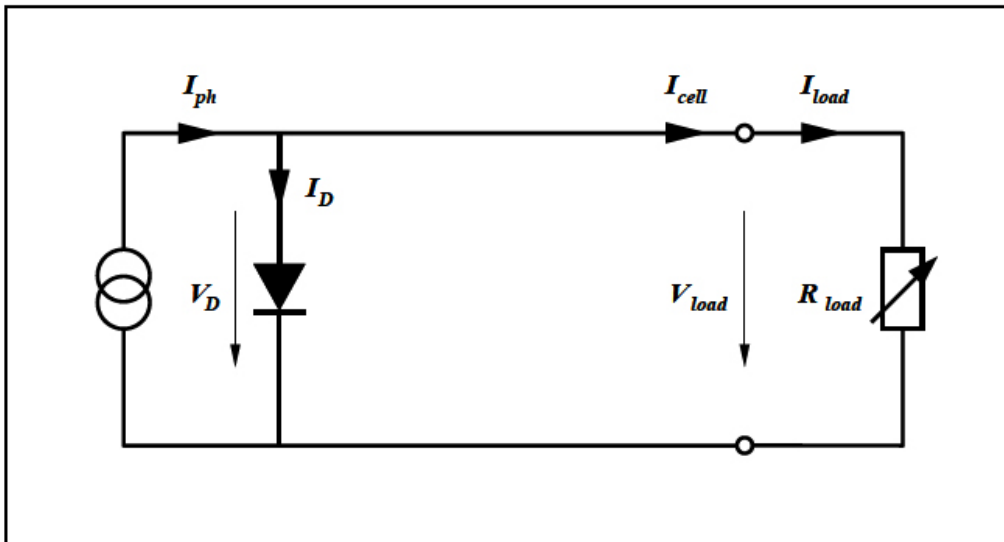
### 3.1.1 Το Ιδανικό Μοντέλο μιας Ηλιακής Κυψέλης

Το θεωρητικό ηλεκτρικό κύκλωμα (ιδανικό) που αντιπροσωπεύει μια κυψέλη παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Αναλυτικά οι κυψέλες δημιουργούν ελεύθερη μεταφορά φορτίου που επιτρέπει το ρεύμα να κυλάει μέσω ενός διασυνδεδεμένου φορτίου. Αυτός ο αριθμός των φορτίων είναι ανάλογος προς την ένταση της ακτινοβολίας. Το ίδιο συμβαίνει με το φωτορεύμα ( $I_{ph}$ ), που παράγεται εσωτερικά μέσα στο κύτταρο. Για αυτό ένα ιδανικό ηλιακό κύτταρο παρουσιάζεται με ηλεκτρικό σχήμα, όπου υπάρχει μια δίοδος με p-n σύνδεσης και μια πηγή έντασης όπου το μέγεθος του ρεύματος είναι ανάλογο με την ένταση της ακτινοβολίας. Επιπλέον, ένας διευθετήσιμος αντιστάτης συνδέεται στην ηλιακή κυψέλη ως φορτίο. Η μαθηματική εξίσωση που αντιστοιχεί στο σχήμα είναι η εξής:

$$I_{cell} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

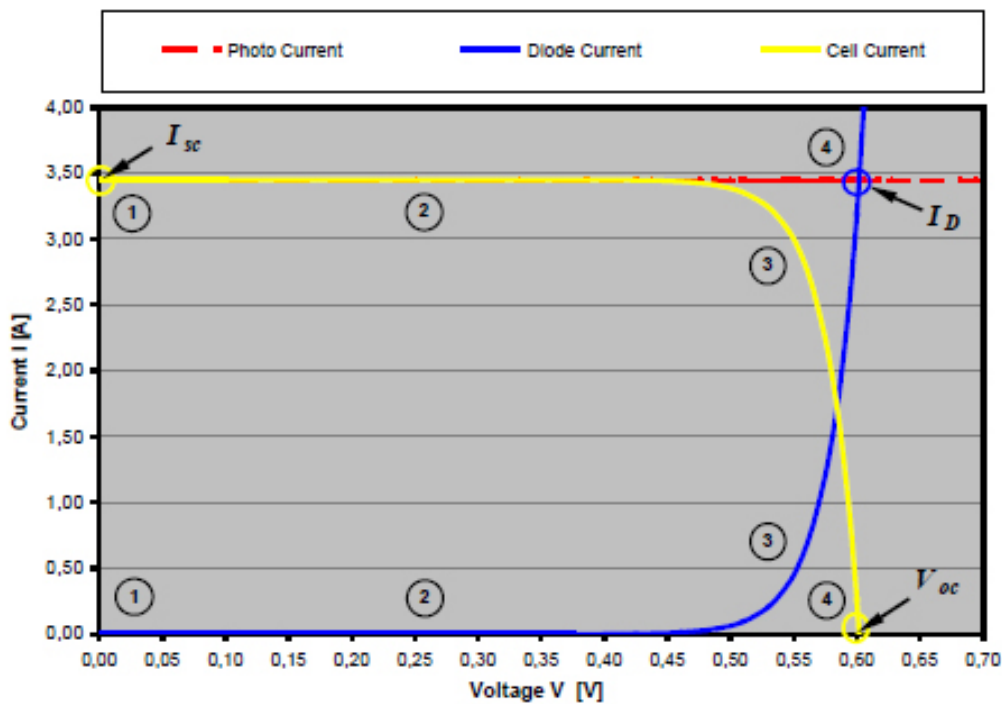
$I_D$ = Ρεύμα Διόδου,  $I_0$ = το ανάστροφο ρεύμα κόρου,  $V$ = η τάση στα άκρα της διόδου  
 $m$ = ο συντελεστής ιδανικότητας της διόδου,  $k$ = η σταθερά του Boltzmann,  
 $T$ = η απόλυτη θερμοκρασία,  $e$ = το φορτίο του ηλεκτρονίου [9]





Σχήμα 3.3: Θεωρητικό Ηλεκτρικό Κύκλωμα Κυψέλης [9]

Σε ένα ιδανικό πείραμα, η χαρακτηριστική I-V μιας ιδανικής ηλιακής κυψέλης φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 3.4: Χαρακτηριστική I-V μιας ιδανικής ηλιακής κυψέλης [9]

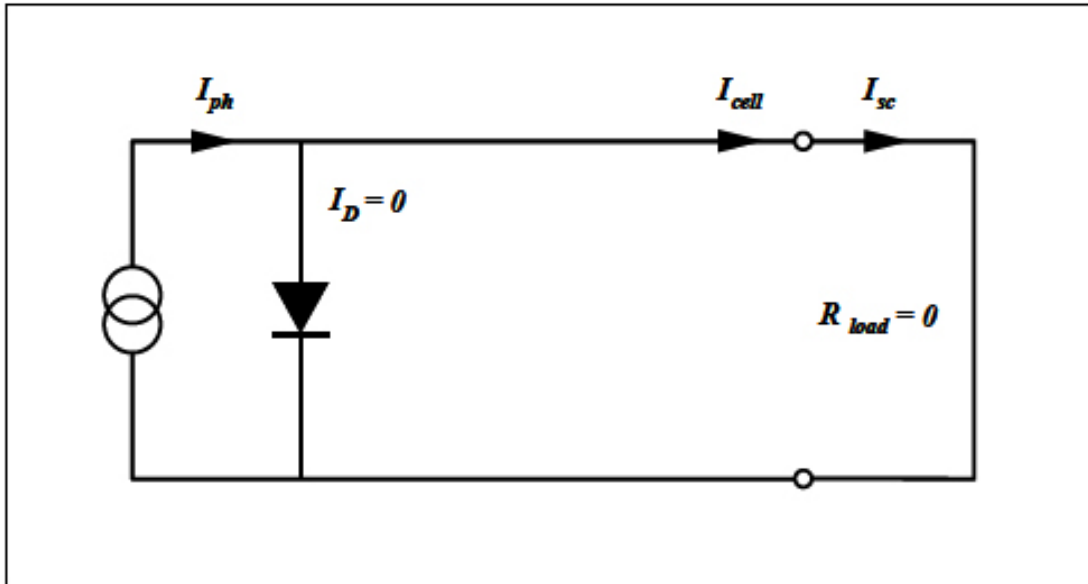
Όπως φαίνεται από το σχήμα, το ρεύμα για το οποίο έχουμε  $V = 0$  ονομάζεται ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ ), ενώ η τάση για την οποία ισχύει  $I = 0$  ονομάζεται τάση ανοιχτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ).

Όταν δεν υπάρχει φορτίο στο κύκλωμα, δηλαδή τα άκρα του είναι βραχυκυκλωμένα και ισχύει ( $R_{load}=0$ ) (σχήμα 3.5), η τάση εξόδου και συνεπώς και η

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

τάση στα άκρα της διόδου είναι μηδέν. Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο του kickoff θα ισχύει:  $I_{sc} = I_{cell} = I_{ph}$

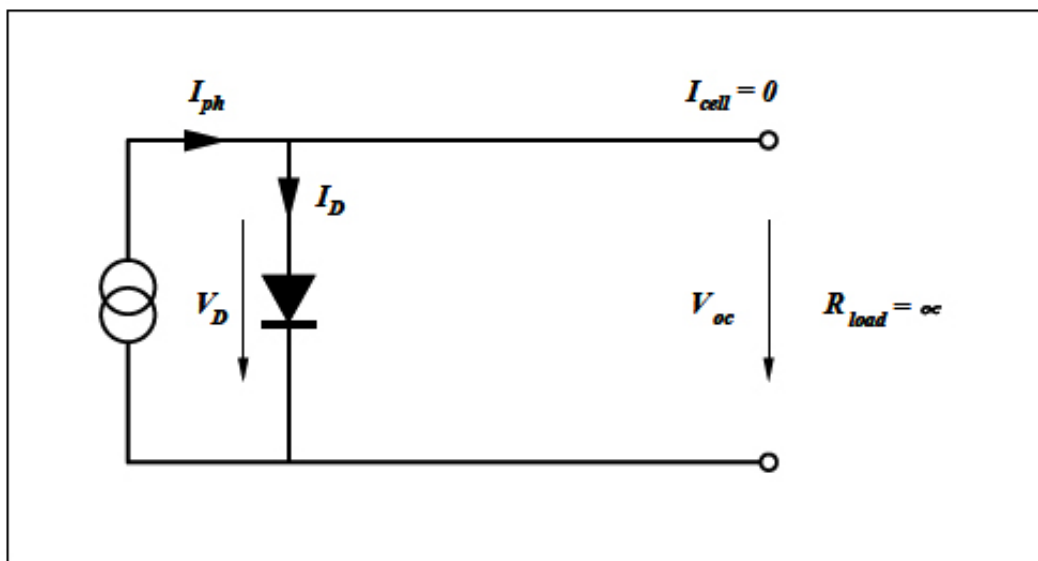
Συνεπώς, το σύνολο του φωτορεύματος  $I_{ph}$  που παράγεται από την ακτινοβολία θα είναι και το ρεύμα εξόδου. Στην περίπτωση που η κυψέλη έχει βραχυκυκλωμένα τα άκρα της το ρεύμα του φωτοβολταϊκού  $I_{cell}$  παίρνει την μεγαλύτερη τιμή του.



**Σχήμα 3.5:** Ισοδύναμο κύκλωμα κυψέλης με βραχυκυκλωμένα τα άκρα της [9]

Για μια απείρως μεγάλη αντίσταση φορτίων  $R = \infty$  (ανοικτό κύκλωμα) όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6, το ρεύμα που παράγεται είναι μηδέν ( $I_{cell} = 0$ ) και έτσι το φωτορεύμα περνάει μέσα από την εσωτερική δίοδο. Η τάση ανοιχτοκυκλώματος δίνεται από τον τύπο :

$$V_{oc} = \frac{k \cdot T}{q} \ln \left( \frac{I_{ph}}{I_o} + 1 \right)$$

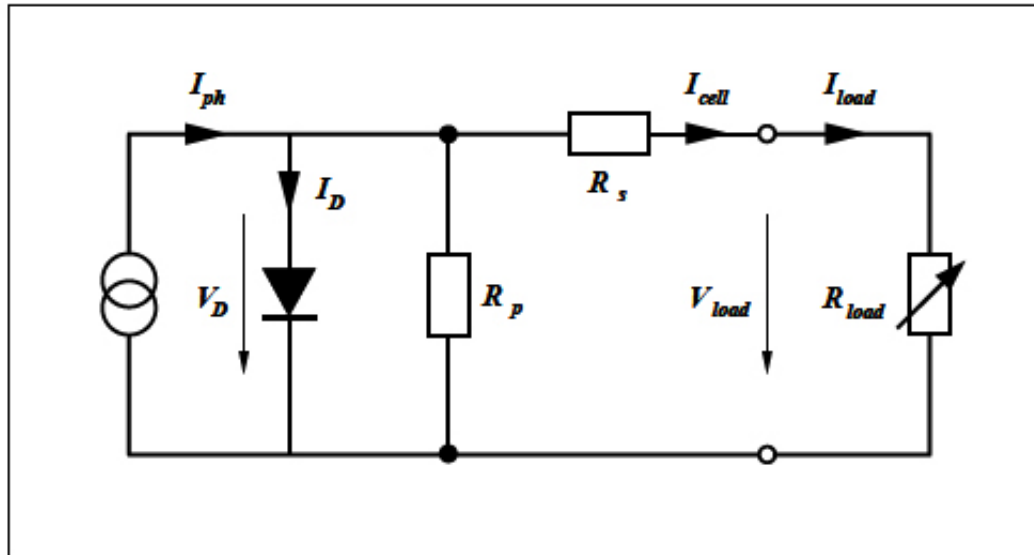


**Σχήμα 3.6:** Ισοδύναμο κύκλωμα κυψέλης με ανοιχτοκυκλωμένα τα άκρα της [9]



### 3.1.2 Το Πραγματικό Μοντέλο μιας Ηλιακής Κυψέλης

Όσον αφορά τη συμπεριφορά ενός πραγματικού ηλιακού κυττάρου, εμφανίζονται δύο παρασιτικές αντιστάσεις μέσα στο κύτταρο, δηλαδή μια σε σειρά ( $R_s$ ) και μια παράλληλη αντίσταση ( $R_p$ ). Λαμβάνοντας υπόψη αυτή την περιγραφή που είναι και ακριβέστερη έχουμε το παρακάτω ισοδύναμο διάγραμμα κυκλωμάτων.



Σχήμα 3.7: Πραγματικό Ηλεκτρικό Κύκλωμα Κυψέλης [9]

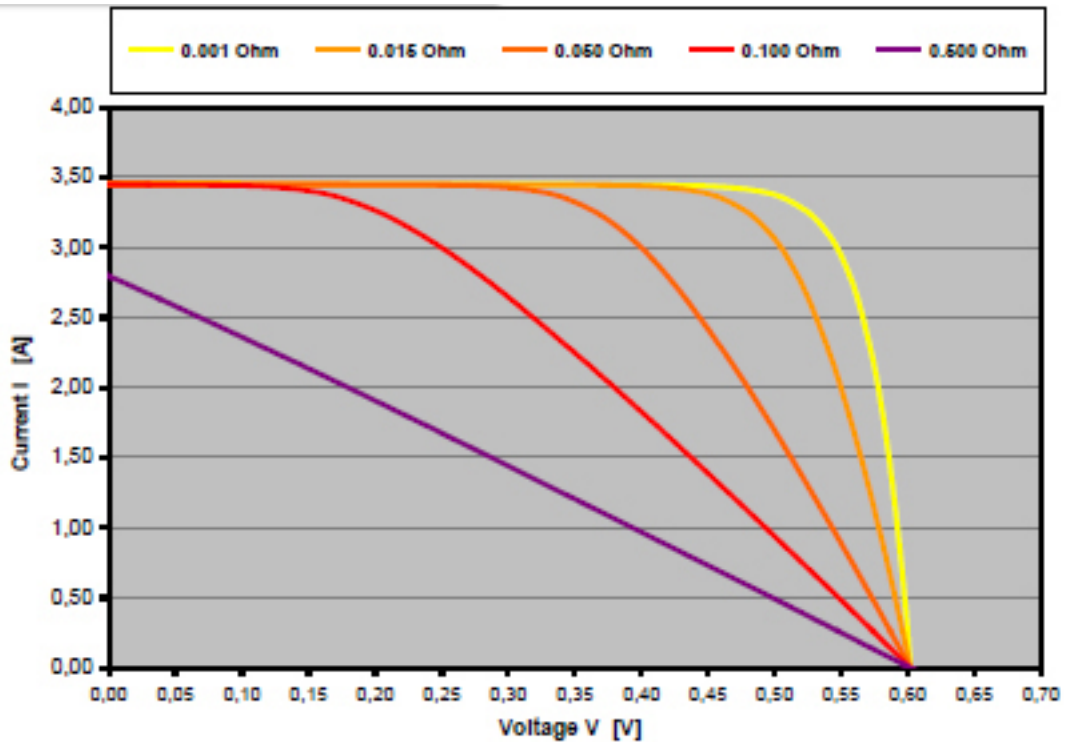
Η  $R_s$  εκφράζει τις πρόσθετες απώλειες του φωτοβολταϊκού όταν αυτό συνδεθεί με ένα φορτίο. Αναλυτικά η αντίσταση σειράς προκύπτει από τη μαζική αντίσταση του πυριτίου, την αντίσταση των μεταλλικών επαφών στην μπροστινή και την πίσω επιφάνεια της κυψέλης και στις περαιτέρω αντιστάσεις των κυκλωμάτων από συνδέσεις και τερματικά

Η  $R_p$  εκφράζει τις απώλειες του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Δηλαδή η παράλληλη αντίσταση προκαλείται κυρίως από τα ρεύματα διαρροής λόγω της p-n σύνδεσης και τις μερικές συνδέσεις που υπάρχουν κυρίως κοντά στις άκρες των κυψελών.

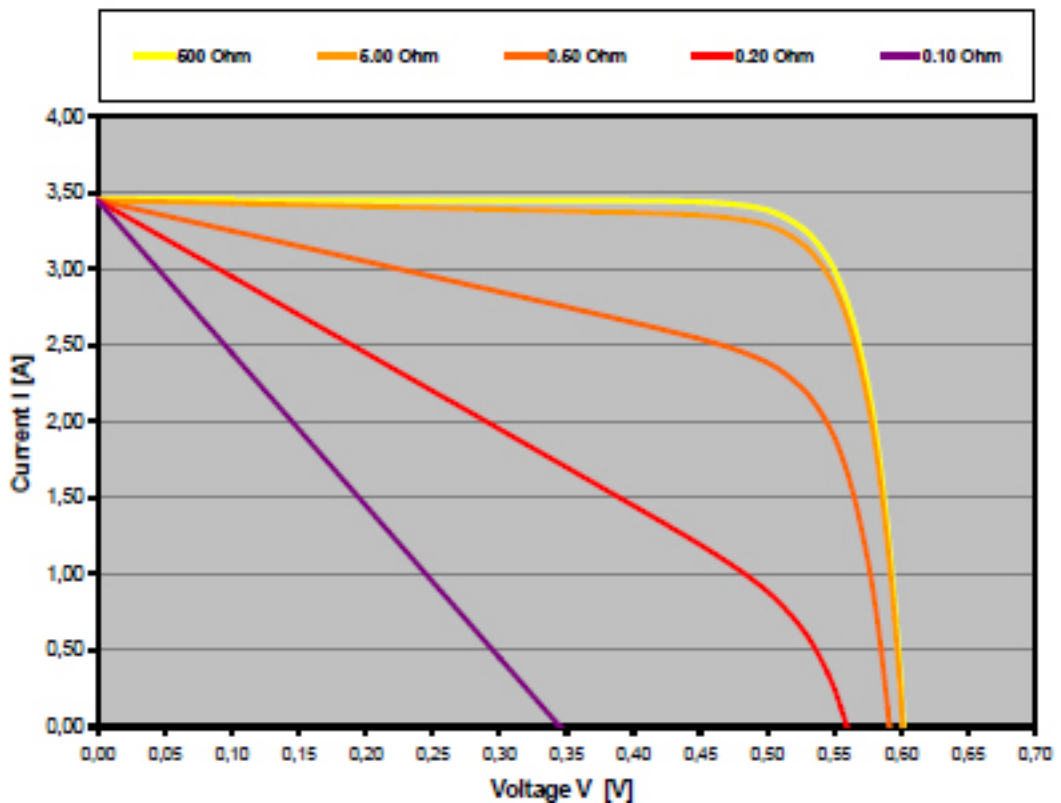
Για διαφορετικές τιμές της σε σειρά αντίστασης, τα αποτελέσματα της τάσεις και του ρεύματος στο κύκλωμα φαίνονται στο σχήμα 3.8. Μόνο με μεγάλες τιμές αντίστασης επιτυγχάνεται μείωση του ρεύματος.

Αντίστοιχα, για διαφορετικές τιμές της παράλληλης αντίστασης, τα αποτελέσματα της τάσεις και του ρεύματος στο κύκλωμα φαίνονται στο σχήμα 3.9. Μόνο με μικρές τιμές αντίστασης επιτυγχάνεται μείωση του ρεύματος.

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα



Σχήμα 3.8: I-V χαρακτηριστική πραγματικού ηλεκτρικού κυκλώματος κυψέλης με διαφορετικές αντιστάσεις σε σειρά [9]



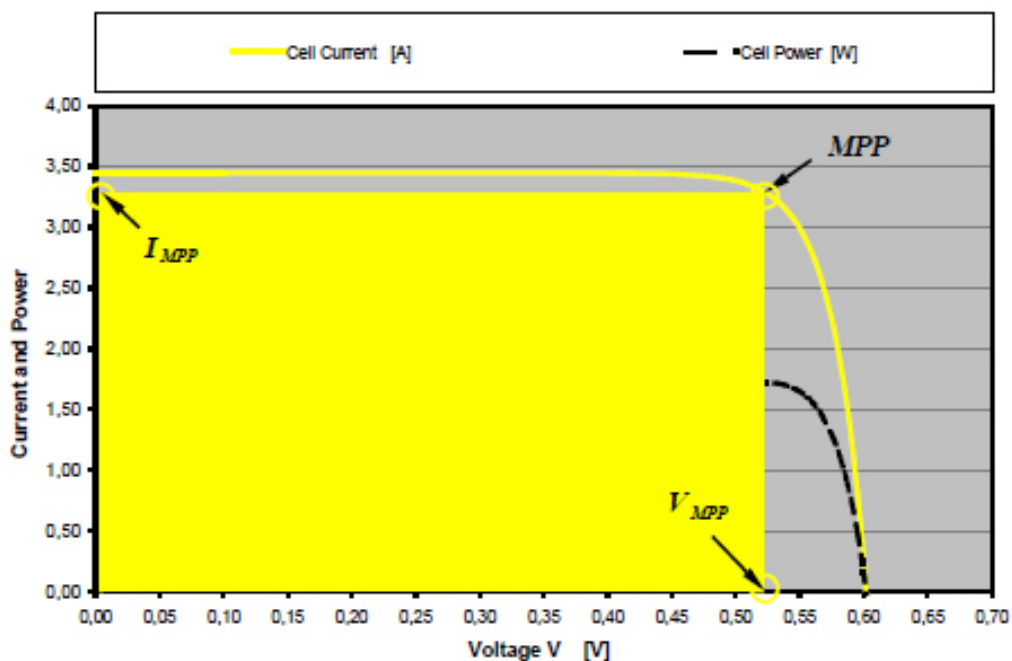
Σχήμα 3.9: I-V χαρακτηριστική πραγματικού ηλεκτρικού κυκλώματος κυψέλης με διαφορετικές αντιστάσεις παράλληλα [9]

Αναλύοντας το πραγματικό ηλεκτρικό κύκλωμα μιας κυψέλης σχήμα 3.7, α έχουμε  $I_{ph} = I_D + I_p + I_{cell}$

Έτσι, η μαθηματική εξίσωση που αντιστοιχεί στο πραγματικό ηλεκτρικό κύκλωμα της κυψέλης είναι η εξής:

$$I_{cell} = I_{ph} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{q}{kT}(V_{load} + I_{cell} \cdot R_s)} - 1 \right) - \frac{V_{load} + I_{cell} \cdot R_s}{R_p}$$

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης (I-V) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου καθώς και το μέγιστο σημείο ισχύς του (maximum power point, MPP).



Σχήμα 3.10: Χαρακτηριστική I-V με σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) [9]

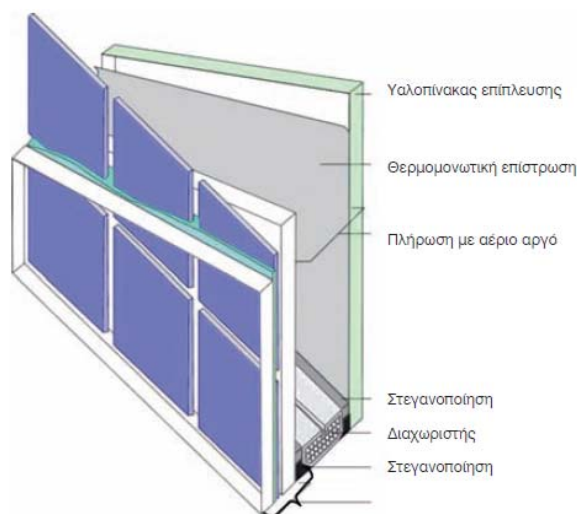
### 3.2 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο (module)

Όπως αναφέρθηκε, η τάση και η ισχύς ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου-κυψέλης είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Για αυτό το λόγο τα φ/β στοιχεία τοποθετούνται σε ένα ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο αυτό, τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά, σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση επιθυμητής τάσης. Τα πλαίσια είναι προκατασκευασμένα στο εργοστάσιο. Τα ηλιακά στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο ή από ενισχυμένο πλαστικό, που αποτελεί την πλάτη του πλαισίου, ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

μεταξύ τους, στεγανά και μόνιμα, με τη βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module), που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση φωτοβολταϊκών γεννητριών. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος προκύπτει σημαντικά μεγαλύτερο από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που περιέχουν. Συνώνυμο σχεδόν με το φ/β πλαίσιο είναι το φωτοβολταϊκό πάνελ (panel). Όπως και το πλαίσιο, έχει συναρμολογηθεί και προκατασκευαστεί στο εργοστάσιο και είναι έτοιμο για τοποθέτηση σε φ/β εγκατάσταση, αλλά με τη διαφορά ότι ένα πάνελ μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια (το ένα δίπλα στο άλλο) που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους. Τα τελευταία χρόνια σχεδόν όλες οι εταιρίες που κατασκευάζουν φ/β στοιχεία, δεν διαχωρίζουν τα πλαίσια από τα πάνελ. Το προϊόν που παράγεται ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module) και διατίθεται σε ποικιλία, όσον αφορά την ισχύ που παράγει, την τάση και τελικά τις διαστάσεις του.

Υπάρχουν δυο τύποι φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια με πλαίσιο γυαλιού-ελασμάτων και τα ημιπερατα φωτοβολταϊκά πλαίσια που είναι κρυσταλλικά πλαίσια γυαλιού-γυαλιού. Τα τυπικά φωτοβολταϊκά πλαίσια με πλαίσιο γυαλιού-ελασμάτων κατασκευάζονται με τη μέθοδο της πολυστρωμάτωσης. Ο τύπος αυτός αποτελεί την πιο διαδεδομένη λύση σε εφαρμογές φ/β συστημάτων πάνω σε στέγες κτιρίων ή σε πολύ μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις στην ύπαιθρο. Τα ημιπερατα φωτοβολταϊκά πλαίσια επιλέγονται σε περιπτώσεις αρχιτεκτονικής ενσωμάτωσης, έχουν ιδιαίτερο σχεδιασμό και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μονωτικοί υαλοπίνακες. Η δομή ενός τέτοιου πλαισίου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 3.11:** Η δομή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Σε ένα πλαίσιο υάλου-υάλου, στην μπροστινή όψη βρίσκεται το τμήμα “optisol”, το οποίο αποτελείται από ένα εξαιρετικό λευκό υαλοπίνακα και ένα υαλοπίνακα επίπλευσης. Μεταξύ αυτών των δυο υαλοπινάκων τοποθετείται μια ειδική ρητίνη με ενσωματωμένες τις φωτοβολταϊκές κυψέλες. Το υπόλοιπο τμήμα περιλαμβάνει ένα στρώμα στεγανοποίησης από κάθε πλευρά καθώς και ένα επιπλέον τζάμι με θερμομονωτική επίστρωση, προκειμένου να διασφαλίζεται ικανοποιητική μόνωση. Το διάστημα μεταξύ του βασικού τμήματος και του υαλοπίνακα περιέχει αργό. [4]

### 3.3 Η Γεννήτρια-Φωτοβολταϊκή Συστοιχία (string)

Σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να χρησιμοποιηθούν εκατοντάδες φωτοβολταϊκά πλαίσια. Όπως είναι αναμενόμενο τα φωτοβολταϊκά πλαίσια πρέπει να ομαδοποιηθούν και να συνδεθούν κατάλληλα. Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και ανάμεσα στα πλαίσια να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες. Με αυτόν τον τρόπο, αν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σκιαστεί ή αν πάθει βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα. Έτσι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ομαδοποιούνται σε φωτοβολταϊκές συστοιχίες και τοποθετούνται σε κοινή βάση στήριξης, η οποία είναι συνήθως μεταλλική. Η σύνδεση των πλαισίων στη σειρά ή παράλληλα γίνεται έτσι ώστε να η τάση εξόδου της γεννήτριας να αποκτήσει την επιθυμητή τιμή.

-Σταθερές συστοιχίες

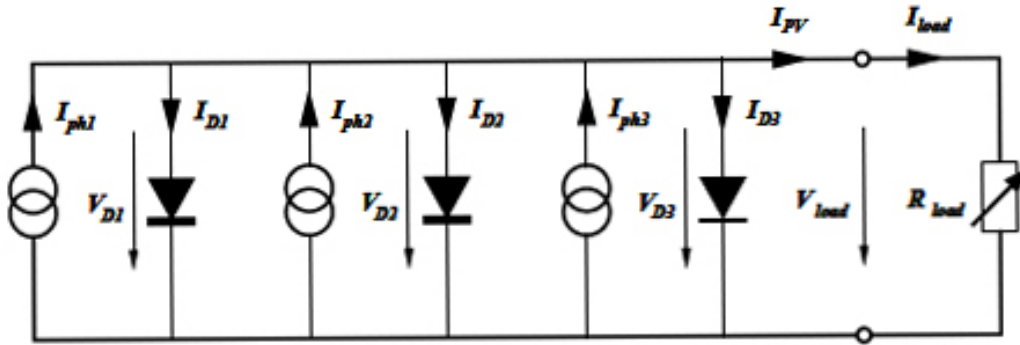
-Στρεφόμενες συστοιχίες ανάλογα με το αν κινούνται σε έναν άξονα ή δύο άξονες.

-Συστοιχίες με ανακλαστήρες / κάτοπτρα

-Στρεφόμενες συστοιχίες με κάτοπτρα

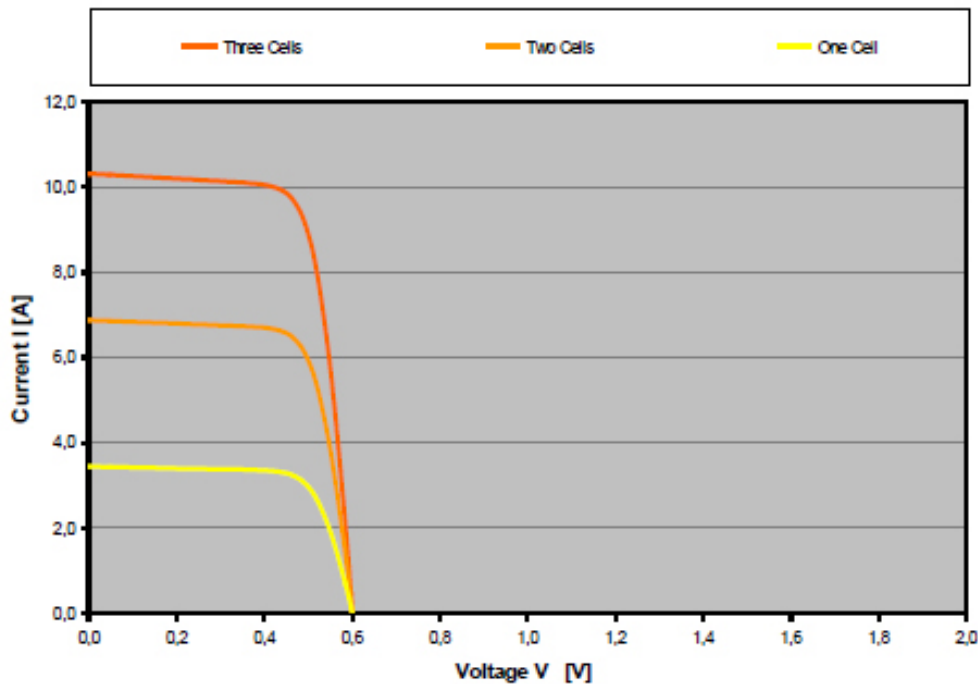
#### 3.3.1 Παράλληλη Σύνδεση

Όπως ειπώθηκε παραπάνω, οι ηλιακές κυψέλες σπάνια χρησιμοποιούνται μεμονωμένες. Ηλιακές κυψέλες με παρόμοια χαρακτηριστικά συνδέονται και τοποθετούνται σε πλαίσια προκειμένου να πετύχουν μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ. Αυτά τα πλαίσια με τη σειρά τους συνδυάζονται ώστε να δημιουργηθούν οι γεννήτριες. Αν σε ένα κύκλωμα απαιτείται να έχουμε υψηλό ρεύμα, τότε οι κυψέλες (solar cells) συνδέονται παράλληλα όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα 3.14.



**Σχήμα 3.12:** Ηλεκτρικό κύκλωμα παράλληλης σύνδεσης κυψελών [9]

Όσον αφορά την παράλληλη σύνδεση, η τάση σε κάθε μια κυψέλη που είναι συνδεδεμένη παράλληλα, είναι ίση με τις υπόλοιπες παράλληλες κυψέλες και είναι ίση με τη τάση που έχει ολόκληρο το πλαίσιο. Σε αντίθεση, το συνολικό ρεύμα που έχει το πλαίσιο είναι το άθροισμα όλων των μεμονωμένων ρευμάτων που αντιστοιχούν σε κάθε κυψέλη. Η I-V χαρακτηριστική για κάθε μια κυψέλη αλλά και συγκεντρωτικά φαίνεται στο σχήμα 3.13.

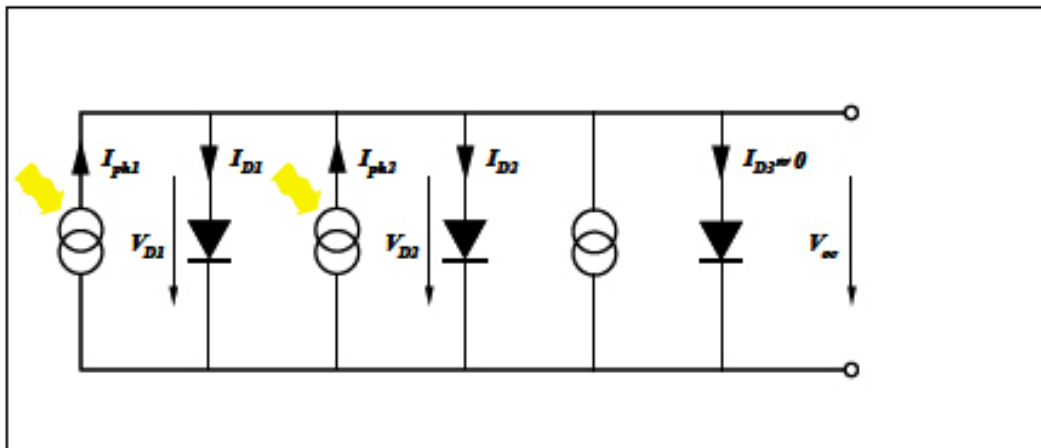


**Σχήμα 3.13:** I-V χαρακτηριστική για τρεις παράλληλες συνδεδεμένες κυψέλες [9]

Τα ερωτηματικά στη λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος προκύπτουν όταν ένα τμήμα από το φωτοβολταϊκό πάνελ βρίσκεται σε σκιά. Για παράδειγμα έστω ότι υπάρχουν τρεις ξεχωριστές κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα

και η μία από αυτές βρίσκεται σε σκιά (σχήμα 3.14). Όταν μια κυψέλη βρεθεί σε σκιά σταματάει να παράγει φωτορεύμα.

Το χειρότερο σενάριο είναι όταν έχουμε παράλληλη σύνδεση κυψελών με ανοιχτό κύκλωμα, δηλαδή αν δεν υπάρχει φορτίο. Όταν μια κυψέλη βρίσκεται σε σκιά είναι πιο κρύα από τις άλλες δυο και η τάση διακοπής της διόδου είναι υψηλότερη σύμφωνα με τις I-V χαρακτηριστικές. Ενώ η τάση που υπάρχει στις τρεις κυψέλες είναι η ίδια, το ρεύμα διόδου της σκιασμένης κυψέλης είναι εξαιρετικά μικρό.



Σχήμα 3.14: Παράλληλη σύνδεση κυψελών με τμηματική σκίαση [9]

Μια καθαρά παράλληλη σύνδεση για την κατασκευή ενός πλαισίου δεν είναι πάντα κατάλληλη για τις συνηθισμένες εφαρμογές των φωτοβολταϊκών εξαιτίας των μεγάλων ρευμάτων και τις απαιτήσεις για αντίστοιχους αγωγούς . Επιπλέον, η χαμηλή τάση που έχουν προκαλεί μεγάλες απώλειες. Για αυτό μια σύνδεση σε σειρά είναι ελκυστικότερη και χρησιμοποιείται πιο συχνά.

### 3.3.2 Σε Σειρά Σύνδεση

Σε μια σύνδεση σε σειρά, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.17, το ρεύμα που διέρχεται από την κάθε κυψέλη είναι το ίδιο για όλες τις κυψέλες, ενώ το συνολικό ρεύμα του πλαισίου είναι το άθροισμα των ρευμάτων των κυψελών .

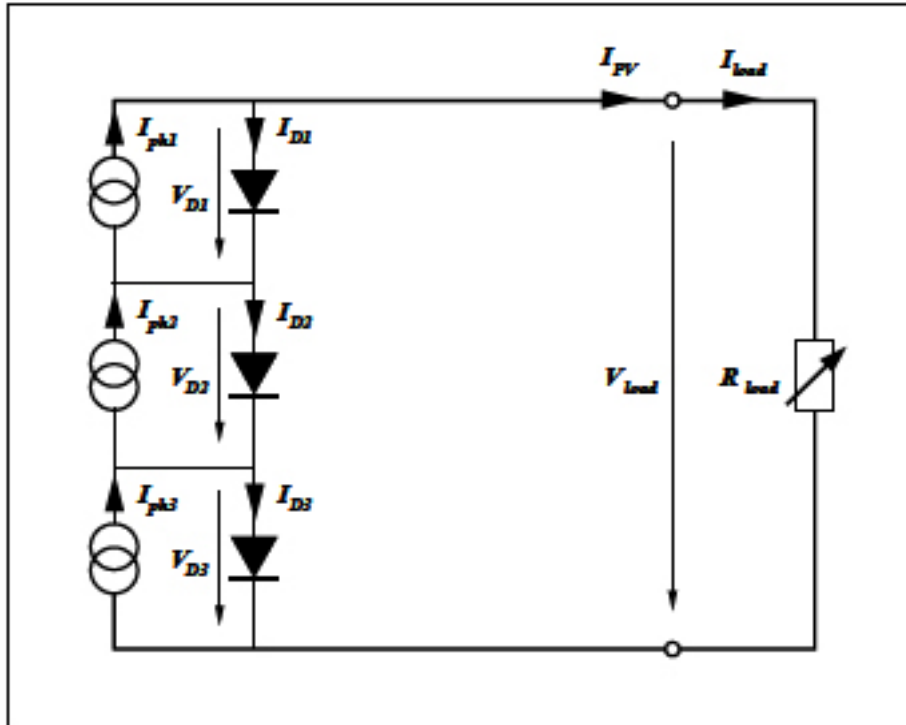
$$I_{pv} = I_{ph1} + I_{ph2} + I_{ph3}$$

Αντίθετα η τάση που έχει κάθε κυψέλη μεμονωμένα είναι ίση με την τάση που έχει το πάνελ, δηλαδή ολόκληρό το κύκλωμα με τις κυψέλες συνδεδεμένες σε σειρά.

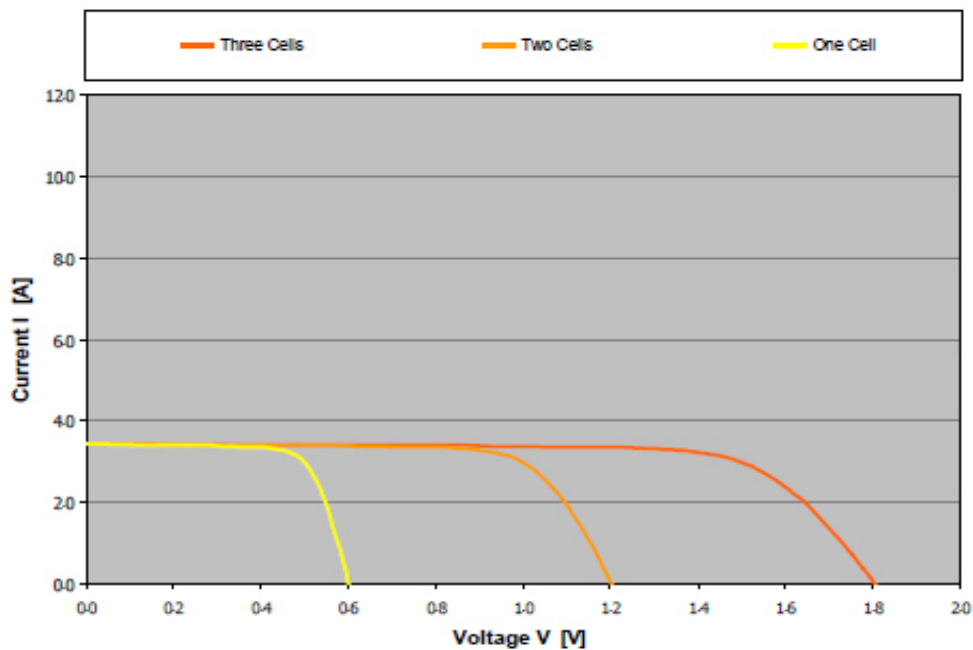
$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Η I-V χαρακτηριστική της γραφικής παράστασης σχήμα 3.16 έχει κατασκευαστεί σημείο –σημείο και δείχνει τη συμπεριφορά που έχει μία κυψέλη, δυο κυψέλες και τρεις κυψέλες συνδεδεμένες σε σειρά.



Σχήμα 3.15: Ηλεκτρικό κύκλωμα σύνδεσης κυψελών σε σειρά [9]



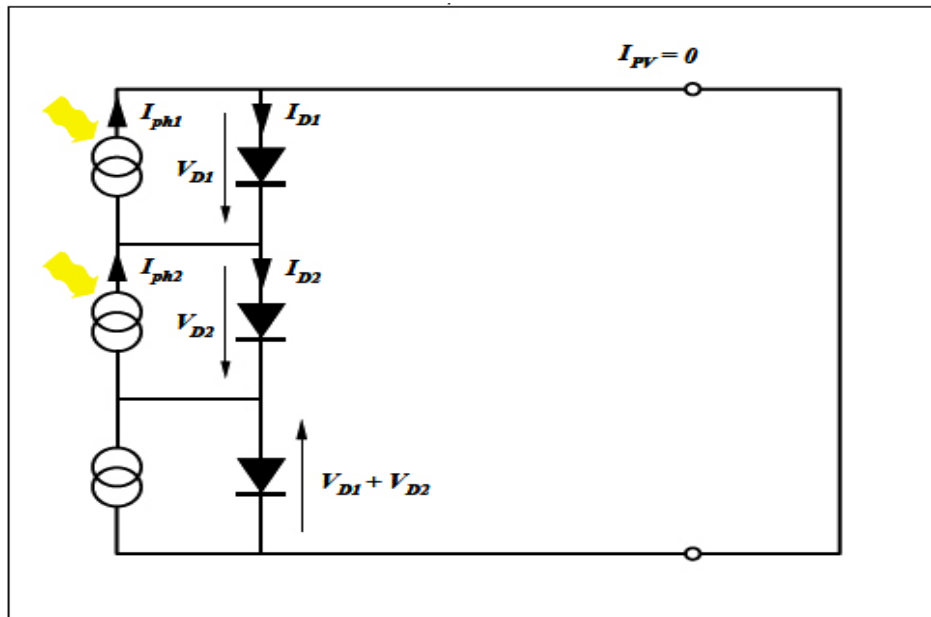
Σχήμα 3.16: I-V χαρακτηριστική για τρεις σε σειρά συνδεδεμένες κυψέλες [9]



### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

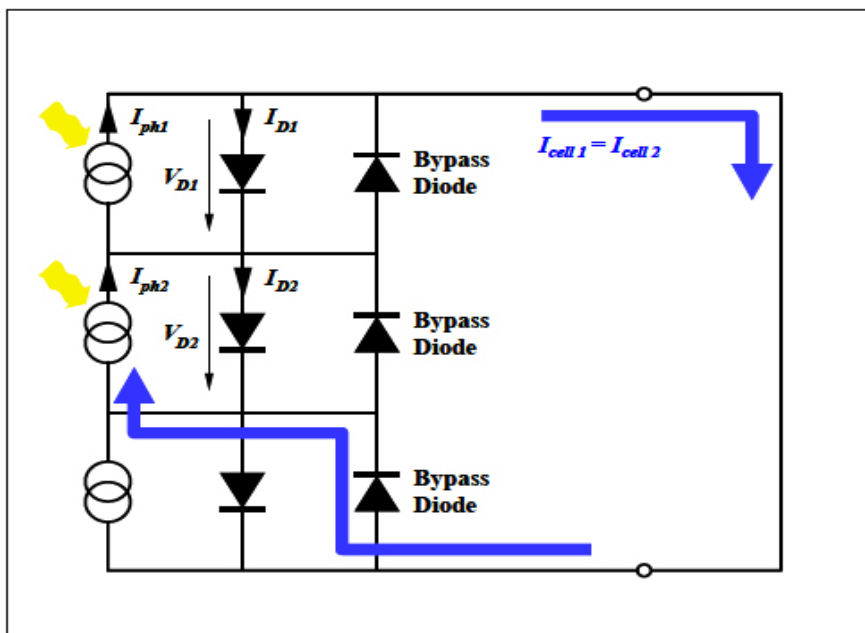
Η σύνδεση σε σειρά των ηλιακών κυψελών έχει ανεπιθύμητα αποτελέσματα όταν ένα τμήμα τους βρίσκεται σε σκιά. Η χειρότερη περίπτωση, σε αντίθεση με την παράλληλη σύνδεση, είναι όταν έχουμε βραχυκύκλωμα.

Σε περίπτωση πλήρης σκίασης μιας κυψέλης όπως φαίνεται στο σχήμα 3-17 το σκιασμένο κύτταρο δεν παράγει ρεύμα και ενεργεί ως ανοιχτό κύκλωμα, δηλαδή δεν υπάρχει ροή έντασης στο κύκλωμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ισχύς εξόδου να είναι επίσης μηδέν.



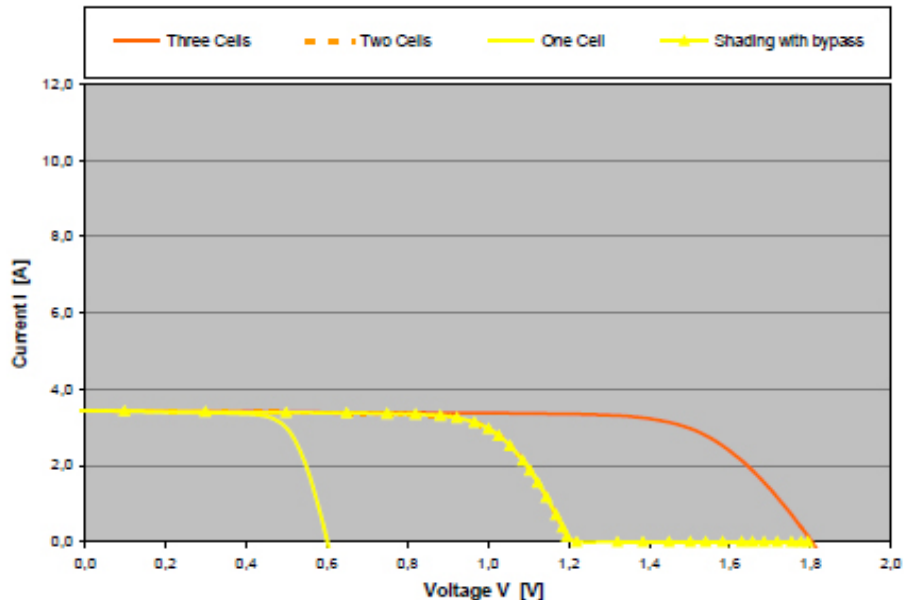
**Σχήμα 3.17:** Κύκλωμα σύνδεσης κυψελών σε σειρά με μία κυψέλη σε σκιά [9]

Μια λύση για το πρόβλημα της σκίασης είναι η σύνδεση μίας παρακαμπτηρίου- bypass διόδου παράλληλα στις κυψέλες, σχήμα 3.18, έτσι ώστε να υπάρχει ροή του ρεύματος όταν μια κυψέλη βρίσκεται σε σκιά.



**Σχήμα 3.18:** Σύνδεση παρακαμπτηρίων - bypass διόδων παράλληλα στις κυψέλες [9]

Σε κανονικές συνθήκες, χωρίς σκίαση, κάθε bypass δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη και κάθε κυψέλη παράγει ρεύμα που ρέει κανονικά. Στο σχήμα 3.18, όταν η τρίτη κυψέλη είναι σε σκιά, η παρακαμπτήριος δίοδος της είναι ορθά πολωμένη και άγει το ρεύμα στο κύκλωμα. Τα αποτελέσματα της χαρακτηριστικής I-V φαίνονται στο σχήμα 3.19



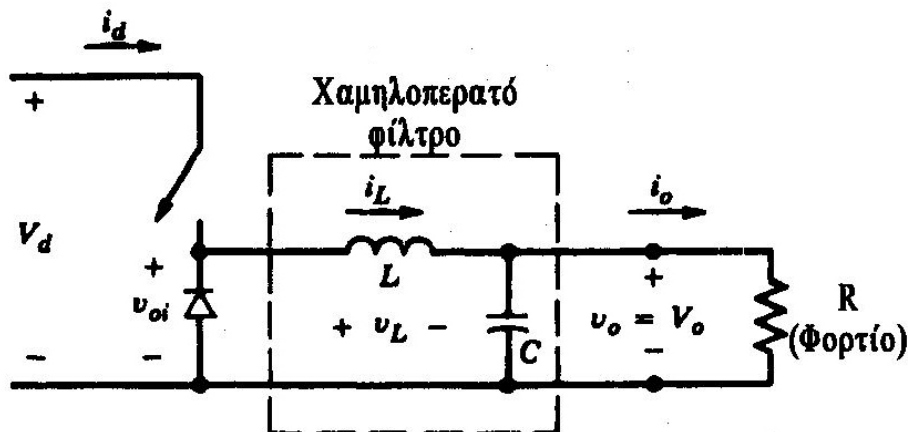
**Σχήμα 3.19:** Χαρακτηριστικής I-V κυψελών σύνδεσης σε σειρά με bypass δίοδους όταν η μια κυψέλη είναι σε σκιά [9]

#### 3.4 Μετατροπείς Συνεχούς Τάσης (DC/DC Converter )

Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα η παραγόμενη τάση από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν έχει σταθερή τιμή, αλλά μεταβάλλεται γύρω από μια μέση τιμή. Για να σταθεροποιηθεί η τάση εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και να καταστεί κατάλληλη για την είσοδό της στον αντιστροφέα χρησιμοποιούνται μετατροπείς συνεχούς ρεύματος. Οι μετατροπείς μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το αν η τάση εξόδου που βγάζουν είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την τάση εισόδου και ακόμα ανάλογα με την περιοχή λειτουργίας.

##### 3.4.1 Μετατροπέας Υποβιβασμού Τάσης

Όπως υποδηλώνει το όνομά του, ένας dc-dc μετατροπέας υποβιβασμού τάσης (step down buck dc-dc converter) παράγει μια μέση τάση εξόδου χαμηλότερη από τη dc τάση εισόδου  $V_d$ . Η τάση εξόδου κυμαίνεται μεταξύ 0 και  $V_d$ , για τις διακυμάνσεις της τάσης χρησιμοποιείται ένα χαμηλοπερατό φίλτρο το οποίο αποτελείται από ένα πηνίο και έναν πυκνωτή.



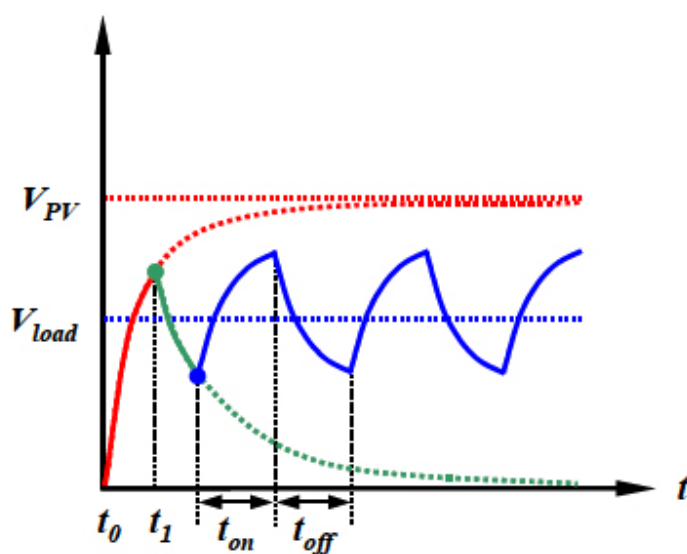
Σχήμα 3.20: Μετατροπέας υποβιβασμού τάσης [10]

Το σήμα ελέγχου του διακόπτη έχει μια περίοδο  $T$  από την οποία υπολογίζουμε την διάρκεια αγωγής,  $D$ , με βάση την παρακάτω σχέση.

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad \text{όπου } T = t_{on} + t_{off}$$

Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός (ON), το ρεύμα ρέει μέσω του πηνίου και η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη. Τότε το πηνίο αποθηκεύει ενέργεια. Όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός (OFF) το ρεύμα του πηνίου πολώνει ορθά την δίοδο, κατά το χρονικό διάστημα  $t_{off}$ . Η τάση στην έξοδο,  $V_{load}$ , με βάση τις παραδοχές, ότι ο διακόπτης είναι ιδανικός, ότι η τάση στη είσοδο είναι συνεχής και ότι στην έξοδο έχω ένα καθαρά ωμικό φορτίο, θα είναι ως εξής:

$$V_{load} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{load}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{t_{on}} V_{pv}(t) dt = \frac{t_{on}}{T} \cdot V_{pv} = D \cdot V_{pv}$$

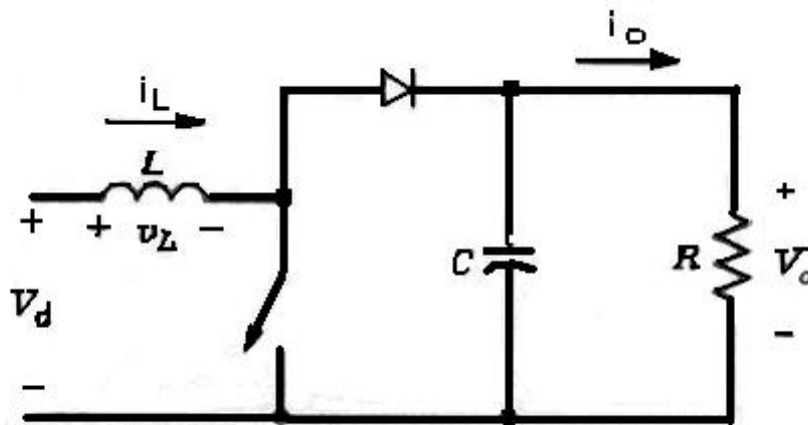


Σχήμα 3.21: Συμπεριφορά της τάσης σε μετατροπέα υποβιβασμού τάσης [9]

Αυτής της κατηγορίας οι μετατροπείς dc-dc χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σαν τροφοδοσία ισχύος υπό συνεχή τάση τροφοδότησης. Ενώ η τάση εισόδου μεταβάλλεται με τις συνθήκες θερμοκρασίας και ακτινοβολίας η τάση εξόδου παραμένει σταθερή εξυπηρετώντας κάποιο φορτίο.

### 3.4.2 Μετατροπέας Ανύψωσης Τάσης

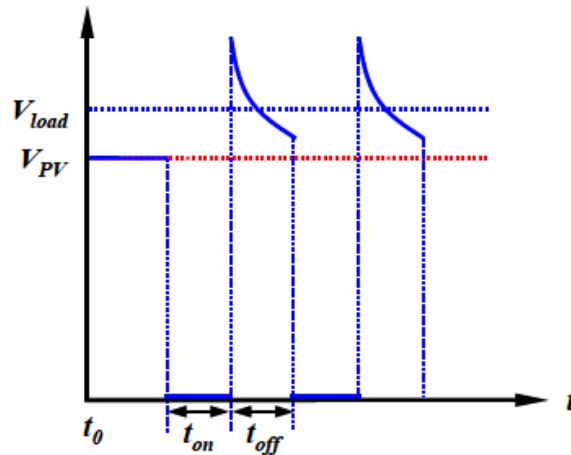
Σε ένα μετατροπέα ανύψωσης τάσης, η τάση εξόδου είναι πάντα μεγαλύτερη από την τάση εισόδου. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη, απομονώνοντας έτσι τη βαθμίδα εξόδου. Η είσοδος παρέχει ενέργεια στο πηνίο. Όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός η βαθμίδα εξόδου απορροφά ενέργεια από το πηνίο και από την είσοδο. Στη μόνιμη κατάσταση ισορροπίας ο πυκνωτής εξομάλυνσης θεωρείται πολύ μεγάλος ώστε να εξασφαλίζεται μια σταθερή τάση εξόδου.



Σχήμα 3.22: Μετατροπέας Ανύψωσης Τάσης [10]

Η τάση εξόδου του μετατροπέα δίνεται από τον τύπο: 
$$V_{load} = \frac{T}{t_{off}} \cdot V_{pv}$$

Η συμπεριφορά της τάσης στον μετατροπέα ανύψωσης τάσης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.23: Συμπεριφορά της τάσης σε μετατροπέα ανύψωσης τάσης [9]

### 3.5 Αναστροφέας (DC/AC Inverter)

#### 3.5.1 Κατηγορίες Αναστροφέων

Η τάση που παράγεται από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια είναι ακατάλληλη για την άμεση σύνδεση του φωτοβολταϊκού σταθμού στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ρόλος του αναστροφέα είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσης που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε εναλλασσόμενη, κατάλληλης τιμής και συχνότητας για διασύνδεση στο δίκτυο. Οι αναστροφείς DC/AC μπορεί να είναι είτε μονοφασικοί είτε τριφασικοί.

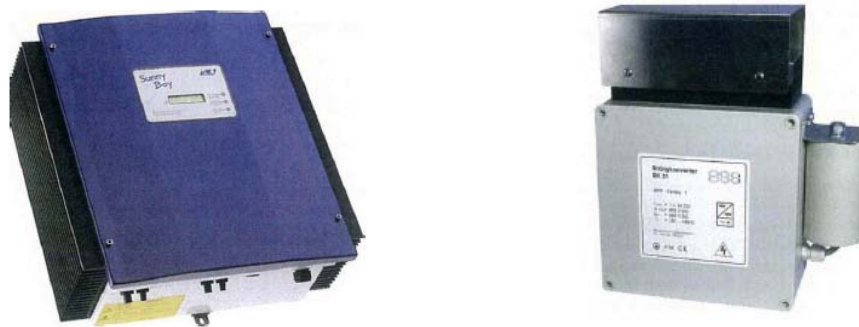
Επιπλέον, οι αναστροφείς μπορεί να είναι μικροί (string inverters) ή κεντρικοί, ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος. Οι κεντρικοί μετατροπείς ενδείκνυνται ιδιαίτερα για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων με ομοιογενή δομή (πλαίσια του ίδιου τύπου με ταυτόσημο προσανατολισμό και κλίση). Χρησιμοποιούνται για εγκαταστάσεις άνω των 100 kWp και έχουν σχεδιαστεί για εξωτερική χρήση.



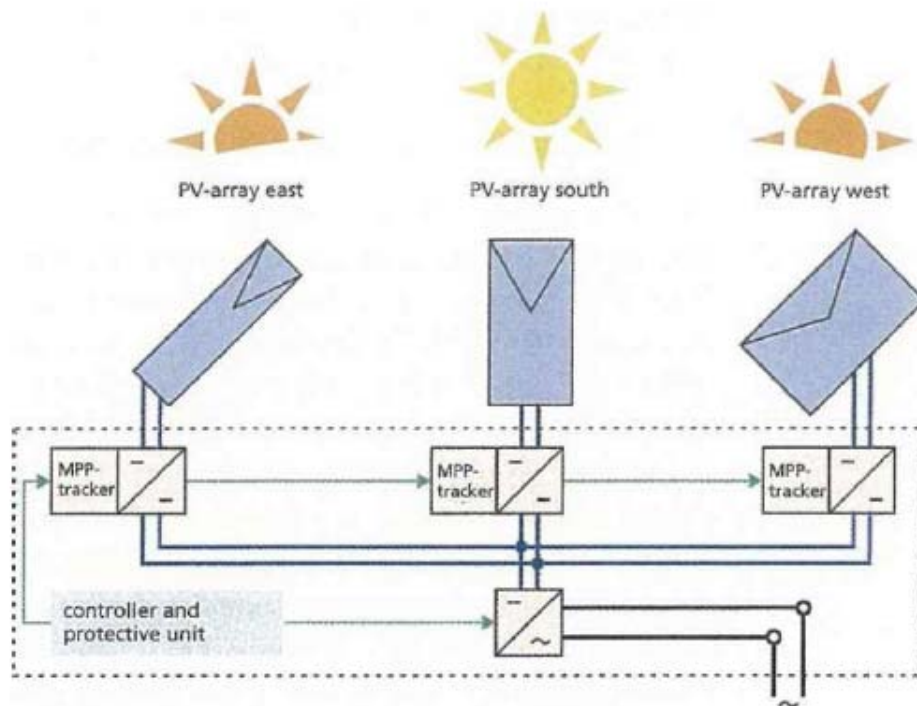
Σχήμα 3.24: Παράδειγμα string και κεντρικών inverter [2]

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Η χρήση ενός πολλαπλού αναστροφέα για συστήματα με διαφορετικούς προσανατολισμούς βοηθάει στη μείωση των ενεργειακών απωλειών. Η λογική αυτή ονομάζεται 'multi-string concept'. Το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε τα πλαίσια με ίδια ηλιακή ακτινοβολία να είναι συνδεδεμένα σε μια γεννήτρια. Κάθε γεννήτρια έχει τον δικό της DC-DC αναστροφέα με ένα ξεχωριστό MPP tracker-ανιχνευτή για ενεργοποίηση της αντίστοιχης γεννήτριας στην μέγιστη ισχύ της. Χάρη σε αυτή την τεχνολογία μειώνονται τα έξοδα του συστήματος, η εγκατάσταση απλοποιείται σημαντικά και αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση καθώς και η διαθεσιμότητα της εγκατάστασης. [5]



Σχήμα 3.25: Multi-string inverter type SB 4200TL και MPP tracker-ανιχνευτής [12]



Σχήμα 3.26: Πολλαπλός αναστροφέας για συστήματα με διαφορετικούς προσανατολισμούς [5]

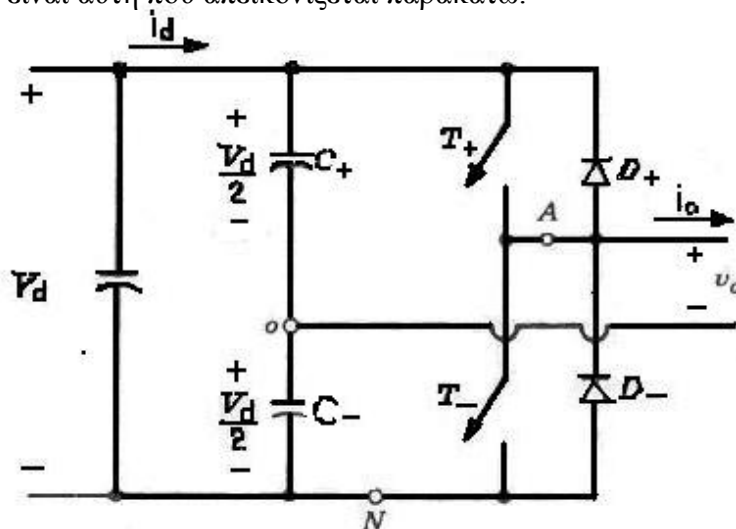
Επίσης, όταν η είσοδος είναι μια πηγή τάσης, αυτοί ονομάζονται αναστροφείς πηγής τάσης (VSI) ενώ αν για είσοδο λαμβάνεται μια πηγή έντασης, ονομάζονται αναστροφείς πηγής έντασης (CSI). Ο χαρακτηρισμός του αναστροφέα δεν έχει να κάνει απαραίτητα με την ενεργειακή πηγή του συστήματος, αλλά με την τοπολογία. Έτσι είναι δυνατόν να αλλάξει η μορφή της πηγής χρησιμοποιώντας παθητικά στοιχεία. Οι αναστροφείς πηγής τάσης έχουν μια χωρητικότητα παράλληλα συνδεδεμένη με την πηγή, ενώ οι αναστροφείς πηγής έντασης ένα πηνίο σε σειρά με την πηγή.

### 3.5.2 Μονοφασικός Αναστροφέας

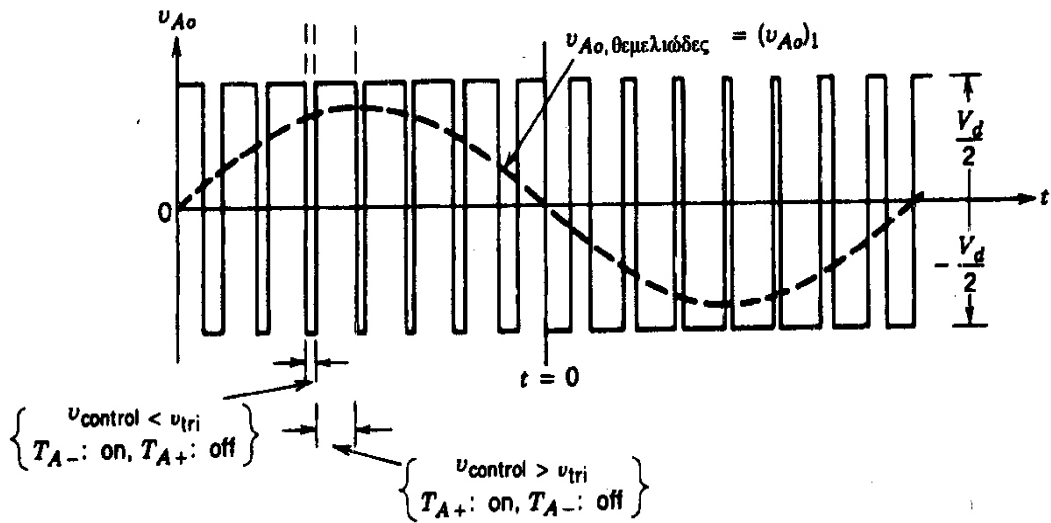
Το βασικό εξάρτημα ενός αναστροφέα που συνδέει το φωτοβολταϊκό με το δίκτυο της ΔΕΗ είναι ένα κύκλωμα γέφυρας με thyristors. Οι μονοφασικοί αναστροφείς χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την τοπολογία τους: σε αναστροφείς ημιγέφυρας και πλήρους γέφυρας. Οι πρώτοι υστερούν σαφώς για αυτό και σε εφαρμογές ΑΠΕ χρησιμοποιούνται οι αναστροφείς πλήρους γέφυρας. Διάφορες τεχνικές ελέγχου, υλοποιούν διαφορετικές κυματομορφές εξόδου της εναλλασσόμενης τάσης.

#### 3.5.2.1 Μονοφασικός Αναστροφέας με Μισή Γέφυρα

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται ένας αναστροφέας με μισή γέφυρα. Στα άκρα της dc εισόδου συνδέονται σε σειρά δυο πυκνωτές. Το σημείο σύνδεσης των πυκνωτών βρίσκεται στο μισό δυναμικό όπου στα άκρα κάθε πυκνωτή αναπτύσσεται τάση ίση με  $V_d/2$ . Οι χωρητικότητες που χρησιμοποιούνται είναι μεγάλες, ώστε το δυναμικό στο σημείο "ο" να παραμένει ουσιαστικά σταθερό σε σχέση με το δυναμικό του αγωγού "N". Στην διαμόρφωση εύρους πλάτους (PWM), η κυματομορφή της τάσης εξόδου είναι αυτή που απεικονίζεται παρακάτω.



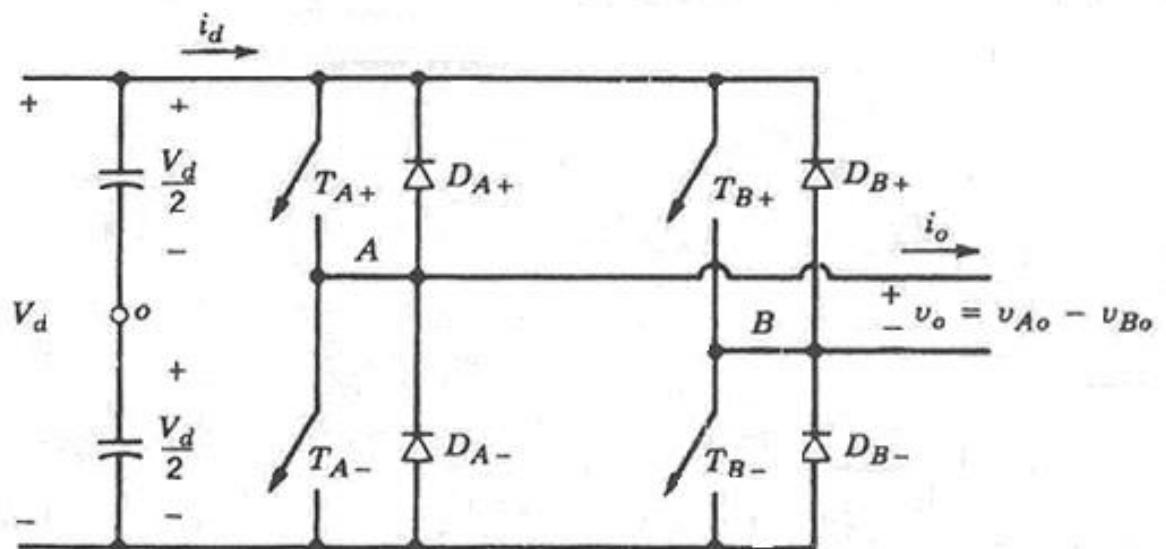
Σχήμα 3.27: Αναστροφέας με μισή γέφυρα [10]



Σχήμα 3.28: Διαμόρφωση Εύρους Πλάτους (PWM) [10]

### 3.5.2.2 Μονοφασικός Αναστροφέας με Πλήρη Γέφυρα

Ένας αναστροφέας με πλήρη γέφυρα φαίνεται στο σχήμα 3.29. Ο αναστροφέας αυτός αποτελείται από δυο αναστροφείς με μισή γέφυρα και προτιμάται σε σχέση με άλλες διατάξεις όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σε ισχύ. Με την ίδια dc τάση εισόδου, η μέγιστη τάση εξόδου του αναστροφέα με πλήρη γέφυρα είναι διπλάσια εκείνης του αναστροφέα με μισή γέφυρα. Αυτό σημαίνει πως για την ίδια ισχύ, το ρεύμα εξόδου και τα ρεύματα των διακοπών είναι το μισό εκείνων του αναστροφέα με μισή γέφυρα. Σε υψηλά επίπεδα ισχύος αυτό είναι πλεονέκτημα, εφόσον απαιτεί λιγότερους παραλληλισμούς ημιαγωγικών στοιχείων.

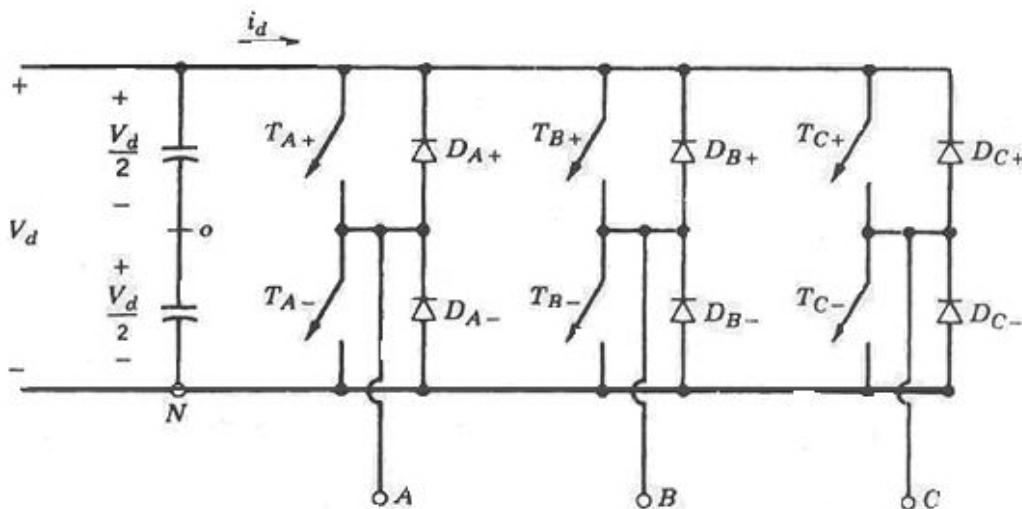


Σχήμα 3.29: Μονοφασικός αναστροφέας με πλήρη γέφυρα [10]



### 3.5.3 Τριφασικός Αναστροφέας

Οι τριφασικοί αναστροφείς χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέσης και υψηλής ισχύος. Σκοπός τους είναι να παρέχουν μια τριφασική πηγή τάσης ή έντασης, όπου το πλάτος, η φάση και η συχνότητα να είναι ανά πάσα στιγμή ελεγχόμενα. Επιπλέον, σε τριφασικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται συνήθως οι τριφασικοί αναστροφείς, αφού η τροφοδοσία ενός τριφασικού φορτίου μέσω τριών ξεχωριστών μονοφασικών αναστροφών είναι περίπλοκη. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο κύκλωμα τριφασικού αναστροφέα αποτελείται από τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.



Σχήμα 3.30: Τριφασικός αναστροφέας [10]

## 3.6 Βάσεις Στήριξης και Ηλιοστάτες

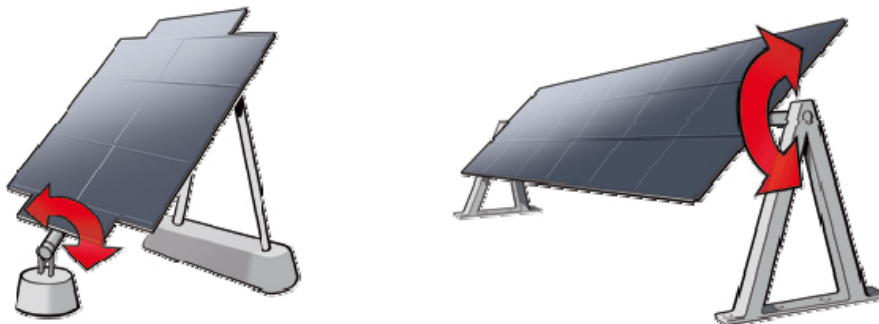
### 3.6.1 Γενικά

Η στήριξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων γίνεται συνήθως με βάσεις αλουμινίου ή γαλβανισμένες (ή με συνδυασμό υλικών). Στο εμπόριο διατίθενται τυποποιημένες βάσεις για διάφορους τύπους πλαισίων. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα στήριξης πληρούν τις προδιαγραφές DIN 1055, DIN 4113, DIN 18800 και έχουν μεγάλη αντοχή στην καταπόνηση. Η τοποθέτηση σε οικόπεδα γίνεται είτε με τιμεντένιες βάσεις ή με πασσαλόπηξη ή με ειδικές βιδωτές βάσεις. Για τα κτίρια (δώματα και στέγες) παρέχεται μια μεγάλη ποικιλία τυποποιημένων βάσεων στήριξης για όλες τις εφαρμογές.



**Σχήμα 3.31:** Διάφορες βάσεις στήριξης

Οι ηλιοστάτες (trackers) είναι συστήματα στήριξης επί εδάφους που ακολουθούν την πορεία του ήλιου εκμεταλλευόμενοι περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και αυξάνοντας έτσι την απόδοση του συστήματος (συνήθως κατά 25%-40%), αυξάνοντας παράλληλα το κόστος και τα λειτουργικά της επένδυσης. Διακρίνονται σε μονοαξονικούς και διαξονικούς και παρέχονται σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών. Για να αποφεύγονται οι σκιάσεις μεταξύ τους, απαιτείται μεγαλύτερη έκταση απ' ότι για τις σταθερές βάσεις (συνήθως 1,5-3 φορές μεγαλύτερη έκταση).



Παραδείγματα μονοαξονικών ηλιοστατών



Παραδείγματα διαξονικών ηλιοστατών

**Σχήμα 3.32:** Παραδείγματα Ηλιοστατών [2]

### 3.6.2 Τρόπος Τοποθέτησης των Πάνελ

Για καλύτερα αποτελέσματα στην τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών, πρώτα μπορεί να προσδιοριστεί η θέση τους και ο προσανατολισμός τους με μια κιμωλία πάνω στα κεραμίδια. Ύστερα, τοποθετούνται οι γάντζοι στα κεραμίδια (σχήμα 3. ). Όπου οι γάντζοι πρόκειται να εγκατασταθούν, τα κεραμίδια πρέπει να αφαιρεθούν έτσι ώστε οι δοκοί της στέγης να είναι ορατοί. Οι βίδες πρέπει να είναι βιδωμένες στους δοκούς σε ένα βάθος τουλάχιστον 60mm ως 80mm.



**Σχήμα 3.33:** Τοποθέτηση γάντζων στη στέγη για την ενσωμάτωση των πάνελ [5]

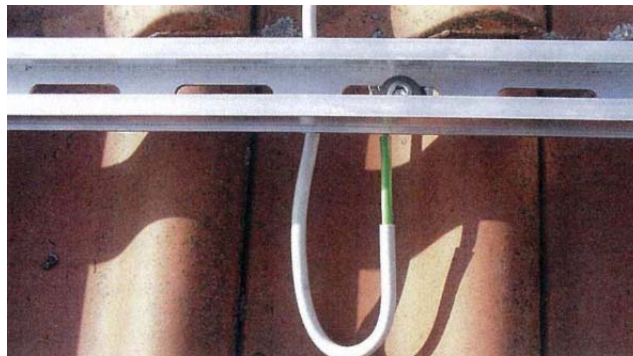
Επιπλέον, τα κεραμίδια που ανυψώνονται για να τοποθετηθούν οι γάντζοι, πρέπει να βρεθούν στο ίδιο επίπεδο με τα υπόλοιπα κεραμίδια της στέγης όταν θα ξαναμπούν στις αρχικές τους θέσεις. Προσοχή πρέπει να δοθεί στη κάλυψη της στέγης από τα κεραμίδια και η σωστή-ακριβής τοποθέτησή τους σε θέση έτσι ώστε να προστατεύεται η στέγη από τη διάβρωση και να μην υπάρχουν τυχόν διαρροές. Κατόπιν, κόβονται οι ράγες στο σωστό μέγεθος (πριν τοποθετηθούν), και στερεώνονται σε κάθε γάντζο στη στέγη.

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>: Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα



**Σχήμα 3.34:** Τοποθέτηση ράγων

Μετά, γίνεται η ηλεκτρολογική σύνδεση-καλωδίωση για κάθε πάνελ και η ισοδυναμική σύνδεση του κτιρίου



**Σχήμα 3.35:** Καλωδίωση –σύνδεση φωτοβολταϊκών γεννητριών

Τέλος, τοποθετούνται τα πάνελ. Ο ευκολότερος τρόπος για την εγκατάστασή τους είναι η έναρξη της τοποθέτησης από πάνω προς τα κάτω. Το πρώτο πάνελ στερεώνεται στις ράγες στην εξωτερική άκρη με δυο προ-συναρμολογημένους σφικτήρες. Όλα τα πάνελ ενώνονται μεταξύ τους με σφικτήρες το ένα δίπλα στο άλλο.



**Σχήμα 3.34:** Τοποθέτηση πάνελ



## 4. Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος

---

### 4.1 Επί τόπου Επίσκεψη και Μελέτη του Χώρου

Προκειμένου να ξεκινήσει ο προγραμματισμός ενός διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος, μια επί τόπου επίσκεψη είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση των βασικών προϋποθέσεων του φωτοβολταϊκού συστήματος. Αρχικά είναι σημαντικό να διαπιστωθεί κατά πόσο το κτίριο είναι κατάλληλο για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος έτσι ώστε με μια λεπτομερή προκαταρκτική έρευνα να αποφευχθούν τα λάθη στο σχεδιασμό και στους υπολογισμούς.

Τα ακόλουθα σημεία θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την διάρκεια μιας επιτόπιας επίσκεψης και αποτελούν την βάση για ένα καλό σχεδιασμό :

- 1) Οι επιθυμίες του πελάτη όσον αφορά τον τύπο της μονάδων , το σχέδιο του συστήματος και της μεθόδου εγκατάστασης (επιθυμητή φωτοβολταϊκή ισχύ η επιθυμητή απόδοση ενέργειας)
- 2) Χρησιμότητα στέγης , πρόσοψη και ανοικτές επιφάνειες χώρου
- 3) Προσανατολισμό και κλίση της γωνίας, το σχήμα της στέγης, η κατασκευή της οροφής, η υποδομή της στέγης και το είδος της στέγης
- 4) Χρησιμοποιούμενα ανοίγματα οροφής ( πλακάκια εξαερισμού , ελεύθεροι σωλήνες καπνοδόχων, κλπ.)
- 5) Στοιχεία για σκίαση, μέρη εγκατάστασης για το φωτοβολταϊκό συνδιαστη / κουτιά διακλαδώσεων , εγκατάσταση απομόνωσης και μετατροπέας
- 6) Ντουλάπι μετρητή και χώρο για έξτρα μετρητές
- 7) Μήκη καλωδίων , όδευσις καλωδίων και μέθοδος όδευσης
- 8) Πρόσβαση , ιδιαίτερα όταν ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι για κατασκευή φωτοβολταϊκής συστοιχίας ( γερανός , σκαλωσιά κλπ. )

Τα έγγραφα που βοηθούν στο σχεδιασμό είναι:

- 1) Τοπογραφικό του κτιρίου για να εξακριβωθεί ο προσανατολισμός του
- 2) Κατασκευαστικά σχέδια του κτιρίου για να εξακριβωθεί η κλίση της στέγης, η ωφέλιμη επιφάνεια και το μήκος των αγωγών
- 3) Φωτογραφίες από τη στέγη και τη θέση του ηλεκτρικού μετρητή

### 4.2 Τύποι Σκίασης

Στην ιδανική περίπτωση οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες θα πρέπει να εγκατασταθούν σε ένα χώρο χωρίς σκιάς. Ωστόσο, τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα βρίσκονται συνήθως σε αστικές και ημιαστικές περιοχές και τα μοντέλα συνήθως εγκαθίστανται σε στέγες όπου μερικές φορές κάποια σκίαση είναι

αναπόφευκτη. Η σκίαση μπορεί να μειώσει σημαντικά την παραγωγή μιας συστοιχίας φωτοβολταϊκών και στην ιδανική περίπτωση θα πρέπει να αποφεύγεται. Μια σκιά σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα έχει πολύ μεγαλύτερη επίδραση στην ηλιακή απόδοση από ότι για παράδειγμα στην περίπτωση των θερμικών ηλιακών συστημάτων. Τα αποτελέσματα από ένα γερμανικό πρόγραμμα που διεξάχθηκε σε 1000 στέγες έδειξε πως η μερική σκίαση προκαλεί ετήσιες μειώσεις απόδοσης μεταξύ των 5 τις εκατό και 10 τις εκατό. Η σκίαση μπορεί να χαρακτηριστεί ως προσωρινή ή να προκύπτει από την τοποθεσία ή από το ίδιο το κτίριο ή μπορεί να προκαλείται από το ίδιο το σύστημα ( αυτό - σκίαση ). [5]

### 4.2.1 Προσωρινή Σκίαση

Η τυπική προσωρινή σκίαση εξαρτάται από τους παράγοντες όπως το χιόνι, τα φύλλα, τα περιττώματα των πουλιών και από άλλα είδη ακαθαρσιών. Το χιόνι είναι ένας σημαντικός παράγοντας ιδιαίτερα στις ορεινές περιοχές. Το χιόνι βέβαια σε μια συστοιχία φωτοβολταϊκών λιώνει πιο γρήγορα από το γύρω χιόνι, με αποτέλεσμα η σκίαση να εμφανίζεται μόνο για λίγες μέρες.

Η σκόνη και οι ακαθαρσίες αιθάλης σε βιομηχανικές περιοχές ή τα πεσμένα φύλλα σε δασικές περιοχές είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες που μαζεύονται πάνω στη συστοιχία των φωτοβολταϊκών και προκαλούν σκίαση. Το αποτέλεσμα αυτό της σκίασης είναι λιγότερο επιβαρυντικό αν η συστοιχία αυτοκαθαρίζεται (δηλαδή αν παρασύρονται οι ακαθαρσίες από τη ροή του βρόχινου νερού). Αυτό εξασφαλίζεται από τη γωνία κλίσης στο σύστημα με κλίση 12 μοίρες ή και περισσότερο. Οι γωνίες με μεγαλύτερη κλίση αυξάνουν την ταχύτητα ροής του νερού της βροχής με αποτέλεσμα να απομακρύνουν μακριά τα βρώμικα σωματίδια. Έτσι αυξάνοντας την κλίση της συστοιχίας μειώνεται αυτό το είδος της σκίασης. Στις χιονισμένες περιοχές η τοποθέτηση των συστημάτων σε οριζόντια διάταξη μειώνει τις απώλειες που προκαλούνται κατά το ήμισυ. Με τον τρόπο αυτό, η σκίαση που προκαλείται από το χιόνι γενικά επηρεάζει μόνο δυο και όχι τέσσερις σειρές κυττάρων σε κάθε πλαίσιο σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στην κάθετη τοποθέτηση.

Η σκίαση που προκαλείται από τα φύλλα, τα περιττώματα των πουλιών, την ατμοσφαιρική ρύπανση και από τους άλλους ρύπους έχει μια ισχυρότερη και μεγαλύτερη σε διάρκεια επίδραση. Σε αυτό το σύστημα ο τακτικός καθαρισμός των φωτοβολταϊκών μονάδων θα αυξήσει σημαντικά την ηλιακή απόδοση. Σε μια κανονική θέση και με αρκετή κλίση μπορεί να θεωρηθεί πως η απώλεια που οφείλεται σε ακαθαρσίες πουλιών ανέρχεται στο 2% -5%. Σε γενικές γραμμές, η απώλεια αυτή είναι αποδεκτή( Quaschnig, 1996).

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Αν υπάρχει μεγάλη ρύπανση , τα μοντέλα θα πρέπει να καθαρίζονται με νερό και με χρήση σφουγγαριού χωρίς να χρησιμοποιηθεί απορρυπαντικό. Για να αποφεύγετε το γρατζούνισμα των επιφανειών δε θα πρέπει να βουρτσίζονται ή να καθαρίζονται με στεγνή επιφάνεια.

### 4.2.2 Σκίαση που Προκύπτει από τη Τοποθεσία

Η σκίαση που προκύπτει από την τοποθεσία καλύπτει όλες τις σκιάσεις που παράγονται από το περιβάλλον του κτιρίου . Γειτονικά κτίρια , δέντρα , ακόμα και μακρινά ψηλά κτίρια μπορούν να σκιάσουν το σύστημα μας η τουλάχιστον να το οδηγήσουν σε οριζόντια συσκότιση. Έτσι κατά την μελέτη θα πρέπει να υπολογίζουμε την ανάπτυξης των δέντρων και της βλάστησης που μπορεί να προκαλέσουν σκίαση στο σύστημα μετά από μερικά χρόνια . Τα εναέρια καλώδια που οδεύουν πάνω από το κτίριο , έχουν επίσης αρνητικά αποτελέσματα ρίχνοντας μια μικρή αλλά αποτελεσματική κινούμενη σκιά.

### 4.2.3 Σκίαση που Προκύπτει από το Κτίριο

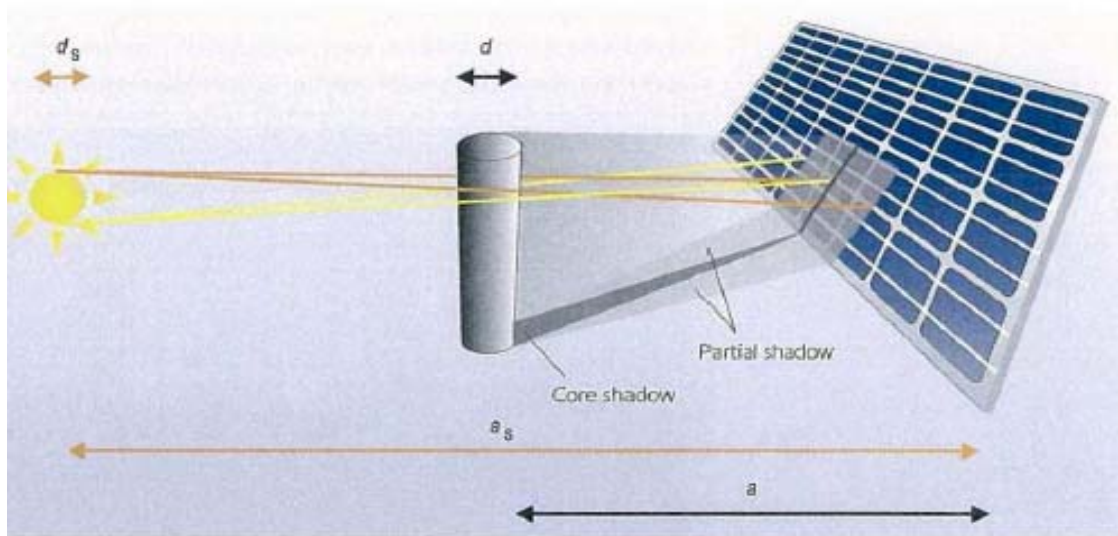
Η σκίαση που προκύπτει από το κτίριο περιλαμβάνει άμεσες σκιές οι οποίες θα πρέπει να θεωρηθούν ως ιδιαίτερα κρίσιμες. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις καμινάδες, στις κεραίες, στα αλεξικέραυνα, στα δορυφορικά πιάτα, στις προεξοχές της οροφής και της πρόσοψης, στο αντιστάθμισμα των κτιριακών δομών, στις υπερκατασκευές της οροφής κλπ. Μερικές σκιάσεις μπορούν να αποφευχθούν με την μετακίνηση των φωτοβολταϊκών μονάδων ή το αντικείμενο που τους προκαλεί τη σκίαση ( π.χ. κεραίες ).

### 4.2.4 Αυτοσκίαση

Η αυτοσκίαση των μονάδων μπορεί να προκληθεί από τη γραμμή που σχηματίζουν τα συστήματα ανάρτησης των μονάδων που βρίσκονται μπροστά τους (σκίαση από την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστοιχιών). Οι τοπικές απαιτήσεις και οι απώλειες σκίασης μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με την βελτιστοποίηση της γωνίας κλίσης και τις αποστάσεις μεταξύ των μονάδων. Ένα κακώς σχεδιασμένο και εγκατεστημένο σύστημα ανάρτησης μπορεί επίσης να προκαλέσει μια μικρή σκίαση σε εγκαταστάσεις που είναι τοποθετημένες σε επικλινές στέγες .

#### 4.2.5 Άμεση Σκίαση

Η άμεση σκίαση μπορεί να προκαλέσει μεγάλες απώλειες ενέργειας. Όσο πιο κοντά είναι το αντικείμενο που προκαλεί την σκιά, τόσο πιο πυκνή-σκοτεινή θα είναι η σκιά και λιγότερο το φως που θα φτάνει στις φωτοβολταϊκές μονάδες. Έτσι η σκιά που προκαλείται από ένα κοντινό αντικείμενο μειώνει την ποσότητα της ενέργειας στο κύτταρο κατά 60% -80. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση από το αντικείμενο που σκιάζει τόσο φωτεινότερη είναι η σκιά και μειώνονται οι απώλειες σκίασης.



**Σχήμα 4.1:** Υπολογισμός βέλτιστης απόστασης αντικειμένου σκίασης από το πανελ

Δεδομένου ότι ο ήλιος είναι μια πηγή φωτός, η απόσταση  $a$  ( $a_{opti}$ ) βέλτιστη απόσταση αντικειμένου σκίασης -φωτοβολταϊκού μπορεί να υπολογιστεί βάσει των σχέσεων του τριγώνου που σχηματίζουν οι εφαπτόμενες του ήλιου που αγγίζουν το αντικείμενο σκίασης. Η βέλτιστη απόσταση  $a$  καθορίζεται από τον τύπο :

$$A_{opti} = \{ (\alpha_s + \alpha_{opti}) * d / d_s \} = (\alpha_s + d) / d_s \quad [5]$$

Με:

- 1)  $\alpha_s$  ( απόσταση Γη από τον Ήλιο ) περίπου 150 εκατομμύρια χιλιόμετρα
- 2)  $d_s$  ( διάμετρος του ήλιου ) 1,39 εκατομμύρια χιλιόμετρα
- 3)  $d$  βάθος του αντικειμένου που προκαλεί την σκίαση

Συμπεράγεται ότι :

$$\alpha_{opti} = (\alpha_s * d) / d_s = 108 * a$$

Έτσι για παράδειγμα ένα εναέριο καλώδιο , με διάμετρο  $d=5$  εκατοστά πρέπει να απέχει από το φωτοβολταϊκό σύστημα τουλάχιστον 5,4 μέτρα έτσι ώστε μην επηρεάζεται η μονάδα από τις σκιές του. Για πλάτος κυψέλης με 10 εκατοστά η



## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος

απόσταση για ένα αντικείμενο μπορεί να μειωθεί στο 1 μέτρο . Για πλάτος κυψέλης 20 εκατοστά η απόσταση ενός αντικειμένου μπορεί να είναι 2 μέτρα .

Η απευθείας σκίαση θα πρέπει να μειωθεί σε κάθε περίπτωση. Οι ζημιές από την διακύμανση της σκίασης ανάλογα με την εποχή και την ώρα της ημέρας μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας αντίστοιχα προγράμματα προσομοίωσης.

### 4.3 Ανάλυση Σκίασης

Προκειμένου να εκτιμηθεί η σκίαση που προκύπτει από την τοποθεσία εκτελείται η ανάλυση σκίασης. Η ανάλυση γίνεται καταρχήν καταγράφοντας το περίγραμμα της σκιάς του περιβάλλοντος χώρου για ένα σημείο του συστήματος, συνήθως το κεντρικό σημείο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Αν το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι μεγαλύτερο απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια και έτσι η ανάλυση σκίασης χρειάζεται να πραγματοποιηθεί για περισσότερα σημεία .

Το περίγραμμα της σκιάς για τη γύρω περιοχή μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας:

- Σχέδιο τοποθεσίας κτιρίου
- Διάγραμμα ροής ήλιου
- Αναλυτή σκίασης (μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή και το λογισμικό ή εύρεση ηλιακών δρόμων)

Επιπλέον, υπάρχουν πολλά λογισμικά για την ανάλυση σκιάς. Αυτά επιτρέπουν την ακριβή ανάλυση σκιάς και είναι λιγότερο επιρρεπείς σε λάθη από ότι ο χειροκίνητος τρόπος.

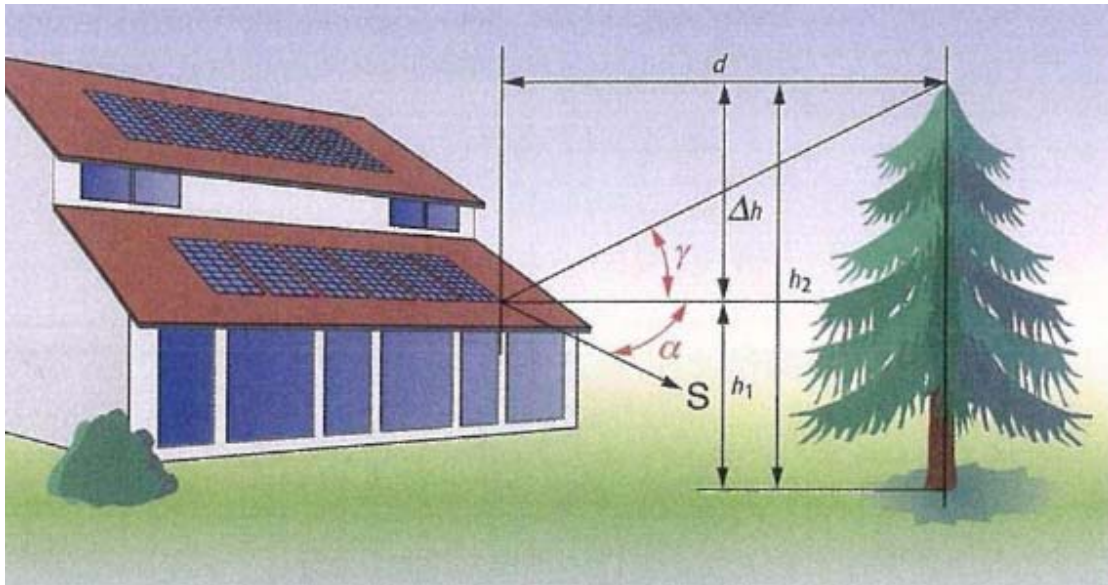
### 4.4 Διάγραμμα Ροής Ήλιου

Η ακριβής γνώση της πορείας του ήλιου είναι σημαντική για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας και άρα την παραγωγή της ηλιακής ενέργειας από το σύστημα. Η συμπεριφορά του ήλιου μπορεί να περιγραφεί σε οποιαδήποτε θέση από την γωνία ανύψωσης και την αζιμούθια γωνία.

Από το τοπογραφικό διάγραμμα και το διάγραμμα ροής ήλιου υπολογίζουμε τις αποστάσεις και τις διαστάσεις των σκιαζόμενων αντικειμένων. Από αυτές τις πληροφορίες η γωνία azimuth  $\gamma$  (αζιμούθια) και elevation  $\alpha$  (ανύψωσης) υπολογίζονται:

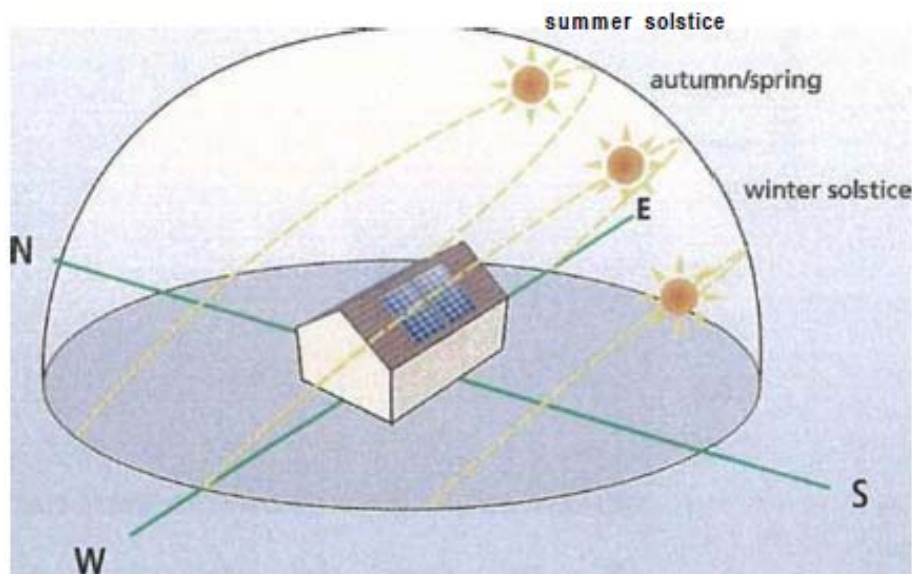
$$\tan\gamma = (h_2 - h_1) / d \rightarrow \gamma = \arctan(h_2 - h_1) / d = \arctan(\Delta h / d)$$

Η γωνία ανύψωσης  $\gamma$  υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ του ύψους των φωτοβολταϊκών  $h_x$  και το ύψος σκίασης του αντικειμένου  $h_2$ .



**Σχήμα 4.2:** Απεικόνιση αζιμούθιας γωνίας και γωνίας ανύψωσης

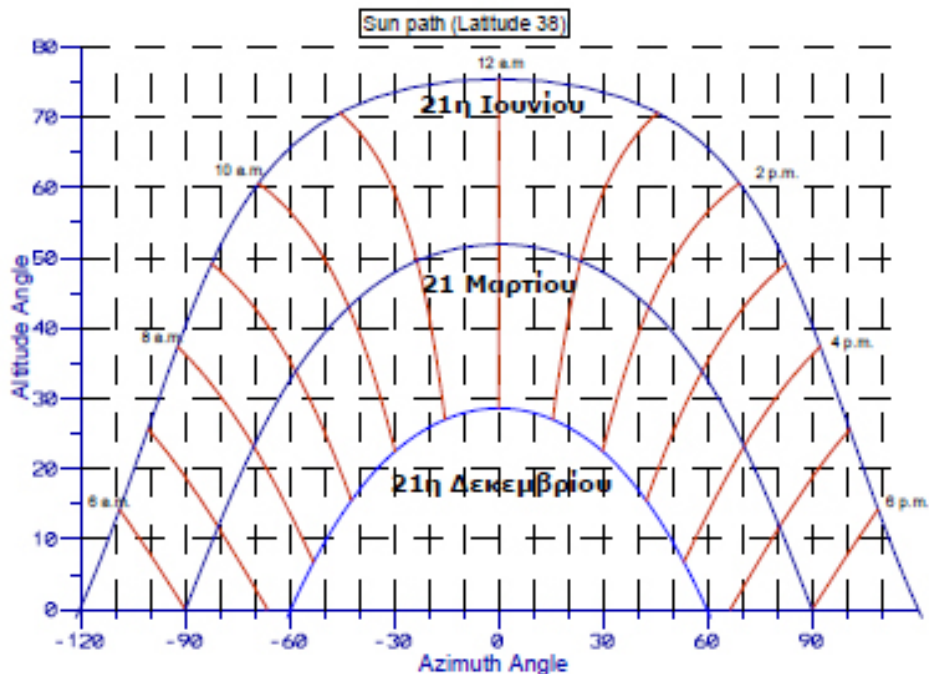
Καθώς ο ήλιος κινείται στον ουρανό, η γωνία ανύψωσης αλλάζει κατά την διάρκεια της μέρας, αλλά επίσης αλλάζει και κατά τη διάρκεια του έτους. Αυτό παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. [5]



**Σχήμα 4.3:** Πορεία του ήλιου στη διάρκεια της μέρας αλλά και του έτους

Για τον έλεγχο πιθανών σκιασμών καθ' όλο το έτος χρησιμοποιούμε ένα διάγραμμα τροχιάς του ήλιου (σχήμα 4.4). Στο εν λόγω διάγραμμα σχεδιάζεται η θέση του ήλιου σε γωνιακές συντεταγμένες, για γεωγραφικό πλάτος 38ο. Για διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος στην Ελλάδα προκύπτει ελαφρά διαφορετικό διάγραμμα. Ο οριζόντιος άξονας στο σχήματος αντιστοιχεί στην αζιμούθια γωνία του ήλιου, η οποία σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της

κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου (γωνιακή απόσταση του ηλίου από τη διεύθυνση του Νότου), ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στη γωνία του ύψους του ήλιου, δηλαδή ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και της προβολής της στο οριζόντιο επίπεδο.



**Σχήμα 4.4:** Διάγραμμα τροχιάς ήλιου σε Βόρειο γεωγραφικό πλάτος 38° μοιρών

Επί του διαγράμματος έχουν σχεδιασθεί ενδεικτικά η 21η Δεκεμβρίου, η 21η Μαρτίου και η 21η Ιουνίου, ενώ επίσης σημειώνονται επί των τροχιών και οι θέσεις του ήλιου για κάθε ώρα της ημέρας (σε τοπική ηλιακή ώρα). Με βάση το διάγραμμα του σχήματος θα πρέπει να συγκριθούν τα περιγράμματα των εμποδίων (σε γωνιακές συντεταγμένες στο ίδιο σύστημα αξόνων) όπως φαίνονται από το δυσμενέστερο σημείο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να ελέγξουμε αν τα εμπόδια σκιάζουν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, δηλαδή αν η γωνία ύψους των εμποδίων είναι μεγαλύτερη από τη γωνία ύψους του ήλιου για την αντίστοιχη αζιμούθια γωνία. [11]

#### 4.4.1 Μέτρηση Ηλιακής Ακτινοβολίας

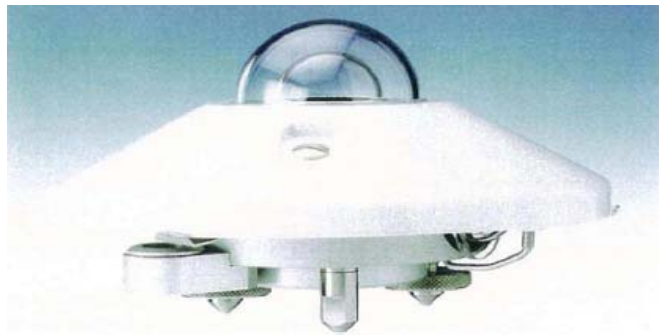
Η ηλιακή ακτινοβολία μετριέται άμεσα είτε χρησιμοποιώντας πυρανόμετρα (pyranometers), είτε με τη βοήθεια φωτοβολταϊκών αισθητήρων or photovoltaic. Για την έμμεση μέτρησή της χρησιμοποιούνται δορυφορικές εικόνες οι οποίες αναλύονται για να μας δώσουν τη μέτρηση.

Τα πυρανόμετρα είναι υψηλής ακρίβειας αισθητήρες που μετράνε την ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια. Αποτελείται από δύο όμοια γυάλινα

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος

υδραργυρικά θερμόμετρα με σφαιρικά δοχεία. Η λεκάνη του ενός θερμόμετρου είναι γυμνή (λευκό θερμόμετρο) ενώ του άλλου καλύπτεται από λεπτό στρώμα αιθάλης (μελανό θερμόμετρο). Το ζεύγος αυτό των θερμόμετρων τοποθετείται έτσι ώστε το επίπεδό τους να είναι κάθετο στο επίπεδο του μεσημβρινού του τόπου. Με τον τρόπο αυτό κατά την μεσουράνηση του ηλίου η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει ομοιόμορφα στο ακτινομετρικό αυτό ζεύγος. Προφανώς, η ένδειξη του μέλανος θερμόμετρου είναι πάντοτε μεγαλύτερη από εκείνη του λευκού γιατί η αιθάλη έχει μεγαλύτερη απορροφητική ικανότητα. Για τον υπολογισμό της Ηλιακής Ακτινοβολίας (HA) με αυτό το όργανο χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:  $HA = C(\Theta_{\mu} - \Theta_{\lambda})$  όπου C= η σταθερή μετατροπή του ακτινομετρικού ζεύγους. Η τιμή της δίνεται από τον κατασκευαστή αυτό του οργάνου( συνήθης τιμή  $C=1/19 \text{ grad/cal.cm}^2\text{min}$  ). Σε ότι αφορά την εκτίμηση της διάχυτης ακτινοβολίας, το πυρόμετρο σκιάζεται κατάλληλα. [12]

Τα πυρανόμετρα επιτυγχάνουν μεγάλης ακρίβειας μετρήσεις, αλλά επειδή δουλεύουν σε μια θερμαινόμενη βάση έχουν αργή απόκριση και οι γρήγορες διακυμάνσεις στην ακτινοβολία που προκαλούνται παραδείγματος χάριν από ένα μερικώς νεφελώδη ουρανό, δεν είναι ικανοποιητικές. Για μετρήσεις σε μεγάλες περιόδους, τα πυρανόμετρα έχουν ακρίβεια μέτρησης 0,8% για ένα ετήσιο μέσο όρο.



**Σχήμα 4.5:** Πυρανόμετρο

Οι φωτοβολταϊκοί αισθητήρες κοστίζουν σημαντικά λιγότερο από τα πυρανόμετρα. Χρησιμοποιούν γενικά κρυστάλλινοι αισθητήρες πυριτίου. Ένας φωτοβολταϊκός αισθητήρας αποτελείται από ένα ηλιακό κύτταρο που αποδίδει ρεύμα ανάλογος της ακτινοβολία. Εντούτοις, λόγω της φασματικής ευαισθησίας που έχουν, αυτοί οι αισθητήρες δεν μετρούν με ακρίβεια ορισμένα συστατικά της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι, ένα ηλιακό κύτταρο δεν μπορεί να μετρήσει υπέρυθρη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Ανάλογα με τη κλίμακα βαθμολόγησης και τον τύπο του αισθητήρα, οι μετρήσεις έχουν ακρίβεια 2%-5% σε ετήσιο μέσο όρο. Οι φωτοβολταϊκοί αισθητήρες συχνά χρησιμοποιούνται σε μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα για επίβλεψη της λειτουργίας του συστήματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιώντας αισθητήρες κατασκευασμένους με την ίδια τεχνολογία του συστήματος, αυξάνεται η ακρίβεια των μετρήσεων. Τα δεδομένα μπορούν να

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος

καταγραφούν και να συγκριθούν με αυτά της ηλεκτρικής παραγωγής του συστήματος. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να κάνουμε διάγνωση για το πόσο καλά λειτουργεί μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.



Σχήμα 4.6: Φωτοβολταϊκός αισθητήρας για μέτρηση ηλιακής ακτινοβολίας

### 4.4.2 Παραδείγματα Μέτρησης Θερμοκρασίας- Ηλιοφάνειας σε Πόλεις της Ελλάδας

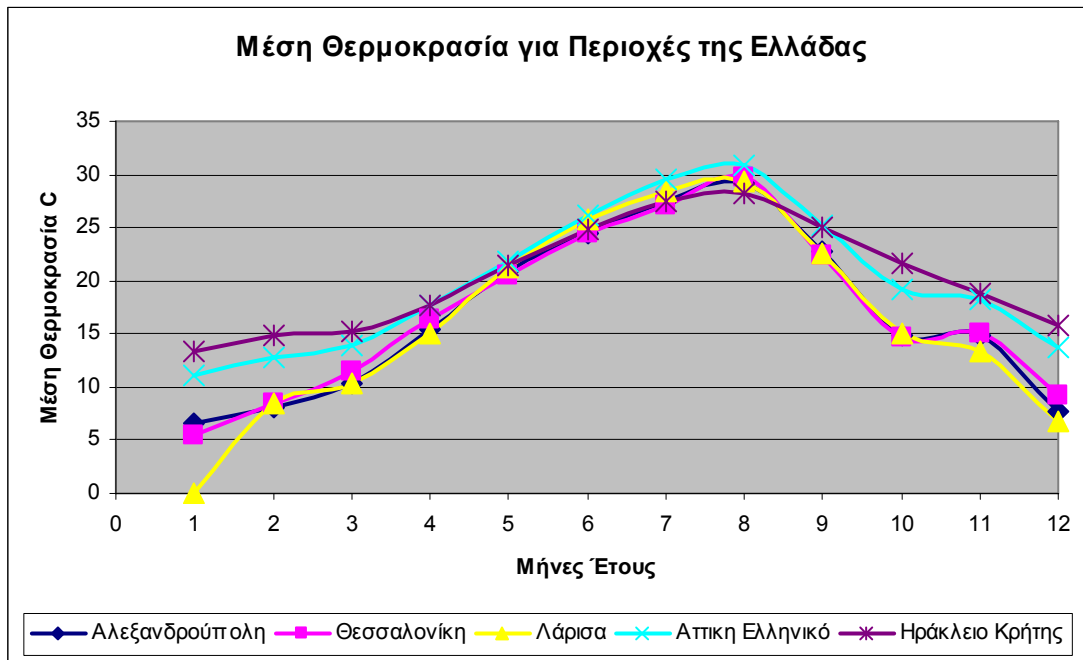
Σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, διεύθυνση κλιματολογίας για διάφορες περιοχές της Ελλάδας, η μέση θερμοκρασία κάθε μήνα και οι ώρες ηλιοφάνειας του αντίστοιχού μήνα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες και τα αντίστοιχά τους διαγράμματα. [13]

ΠΙΝΑΚΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ °C					
	Αλεξανδρούπολη	Θεσσαλονίκη	Λάρισα	Αττική Ελληνικό	Ηράκλειο Κρήτης
1	6,5	5,4	6.8	11,1	13,4
2	8	8,5	8,4	12,8	14,9
3	10,4	11,4	10,4	13,9	15,3
4	15,5	16,3	15,1	17,7	17,6
5	20,8	20,5	21,3	21,8	21,5
6	24,5	24,4	25,7	26,1	24,8
7	27,5	27,1	28,4	29,5	27,4
8	29,1	29,7	29,4	30,8	28,3
9	22,8	22,3	22,5	25,2	25,1

Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος

10	14,9	14,6	15	19,2	21,7
11	14,8	15,1	13,4	18,2	18,8
12	7,8	9,3	6,7	13,7	15,9

**Πίνακας 4.1:** Μέση Θερμοκρασία για Περιοχές της Ελλάδας



**Σχήμα 4.7:** Μέση Θερμοκρασία για διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Ο όρος Ηλιοφάνεια ενός τόπου αναφέρεται στο χρονικό διάστημα της ημέρας που ο ήλιος είναι ορατός και η ενέργειά του φτάνει ανεμπόδιστα στην επιφάνεια του εδάφους. Η ηλιοφάνεια για την Ελλάδα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

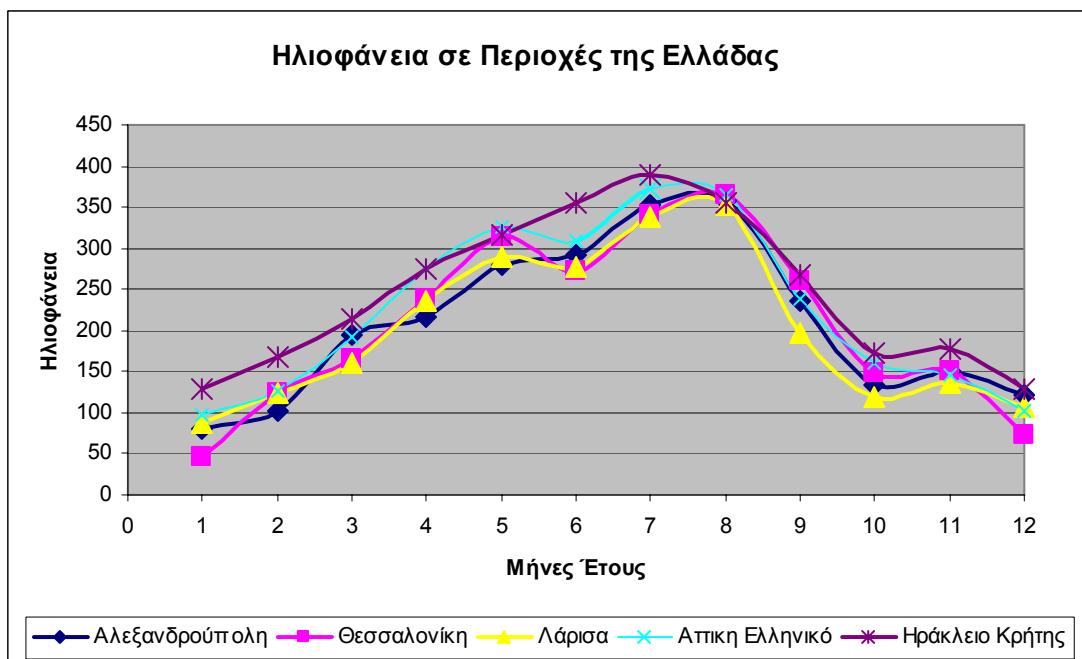
ΠΙΝΑΚΑΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ Ώρες/μήνα					
Μήνας	Αλεξανδρούπολη	Θεσσαλονίκη	Λάρισα	Αττική Ελληνικό	Ηράκλειο Κρήτης
1	80	47	88	97	128
2	103	124	123	126	167
3	194	165	160	192	213
4	217	239	235	276	276
5	279	314	289	325	317



## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος

6	291	273	278	308	355
7	353	340	339	373	390
8	358	365	352	365	355
9	237	260	198	239	268
10	133	148	120	160	173
11	152	152	137	146	178
12	122	74	106	101	130

**Πίνακας 4.2:** Ώρες Ηλιοφάνειας για Περιοχές της Ελλάδας



**Σχήμα 4.8:** Ώρες Ηλιοφάνειας για διάφορες περιοχές της Ελλάδας

### 4.5 Σκίαση και Διαμόρφωση Φωτοβολταϊκής Συστοιχίας

Η επίδραση της σκίασης στα φωτοβολταϊκά συστήματα εξαρτάται από τους εξής παράγοντες: [5]

- 1) Τον αριθμός των σκιασμένων μονάδων
- 2) Τα κύτταρα και την παράκαμψη της διασυνδεδεμένης διόδου
- 3) Το βαθμός σκίασης;

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος

- 4) Τη χωροταξική κατανομή και την πορεία της σκίασης με την πάροδο του χρόνου
- 5) Τη διασύνδεση των μονάδων
- 6) Το σχεδιασμός του μετατροπέα

Για τη σωστή τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων πρέπει να υπάρχει επαρκής ελεύθερος και ασκίαστος χώρος. Υπολογίζεται πως χρειάζεται περίπου 1-1,5 τετραγωνικό μέτρο για κάθε 100 Watt (αν χρησιμοποιηθούν συνηθισμένα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά του εμπορίου). Χρειάζεται περίπου 8-10 τ.μ/kW για κεραμοσκεπή και 15 τ.μ/kW για δώμα ή οικόπεδο. Αν πάλι τοποθετηθούν άμορφα φωτοβολταϊκά, το συνολικό κόστος θα είναι περίπου το ίδιο ή και μικρότερο, θα απαιτηθεί όμως περίπου διπλάσια επιφάνεια. Προσοχή ιδιαίτερη χρειάζεται ο χώρος που πρέπει να είναι κατά το δυνατόν 100% ασκίαστος καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Διαφορετικά, το σύστημά θα λειτουργεί με μικρότερη απόδοση.

Ένας χοντρικός κανόνας για να βεβαιωθεί ότι το σύστημά δεν θα αποδίδει λιγότερο λόγω σκιάσεων, είναι ο εξής: η απόσταση από το τυχόν εμπόδιο (κτίριο, δέντρο, κ.λπ) πρέπει να είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου. [2]

Η παράγωγή της ενέργειας για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι η χαρακτηριστική καμπύλη I-V της φωτοβολταϊκής συστοιχίας αλλάζει και εξαρτάται άμεσα από το αποτέλεσμα της σκίασης.

Επιπλέον, υπάρχει μια μετατόπιση της μέγιστης ισχύς (MPP) και ο μετατροπέας προσπαθεί να παρακολουθεί αυτό το μέγιστο σημείο της ισχύς MPP. Η τάση εισόδου στον μετατροπέα καθορίζει τον τρόπο σύνδεσης των συστοιχιών (connection of the solar modules).

Όταν υπάρχουν υψηλές τάσεις εισόδου στον μετατροπέα τότε οι συστοιχίες είναι συνδεδεμένες σε σειρά. Αν ο μετατροπέας έχει χαμηλή τάση εισόδου, τότε αυτό οδηγεί στην σύνδεση των συστοιχιών των φωτοβολταϊκών σε διάφορες παράλληλες σειρές ( several parallel strings).

### 4.6 Προσανατολισμός και Κλίση των Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Ο προσανατολισμός της επιφάνειας που γίνεται δέκτης της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία ενός συστήματος. Ο κατάλληλος προσανατολισμός και η βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας συμβάλει στη μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγής. Συγκεκριμένα, εφόσον η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με τη μέρα του έτους,



## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος

συνεπάγεται πως για να παράγει ένα πλαίσιο τη μέγιστη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να περιστρέφεται ώστε να μπορεί να ακολουθεί την τροχιά του ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετο στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Πρακτικά, η μηχανική πολυπλοκότητα και το κόστος ενός μηχανισμού που θα επέτρεπε την κίνηση των πλαισίων σύμφωνα με τον παραπάνω τρόπο, καθιστά εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή την εφαρμογή του σε κτιριακά φωτοβολταϊκά συστήματα. Έτσι στη πλειονότητα των κτιριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των πλαισίων, ώστε να επιτυγχάνεται μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όσο το δυνατό πιο κοντά στις 90ο.

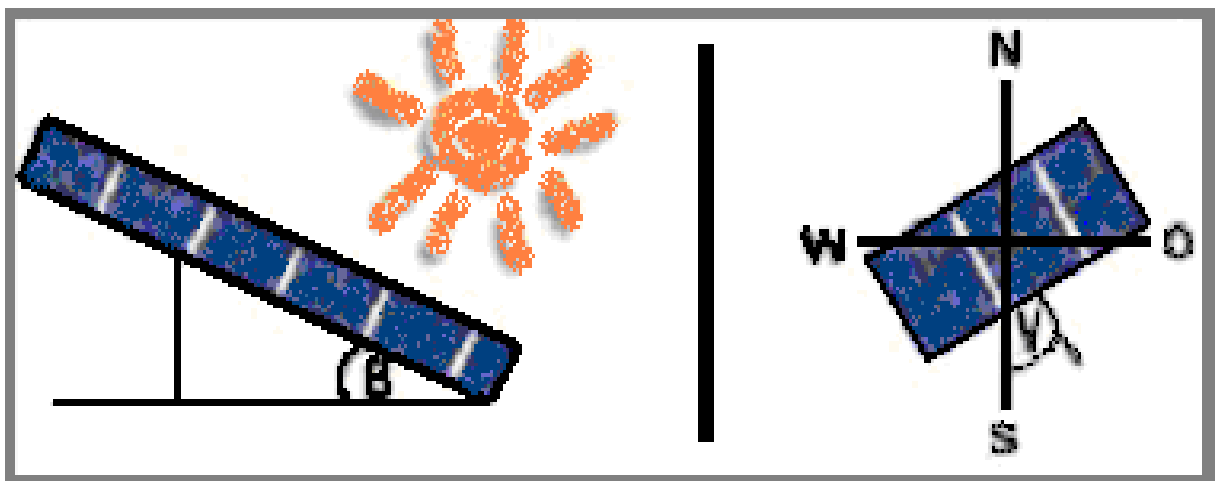
Η επίτευξη αυτού του σωστού προσανατολισμού έγκειται στην σωστή επιλογή της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας του πλαισίου.

- Κλίση του Πλαισίου

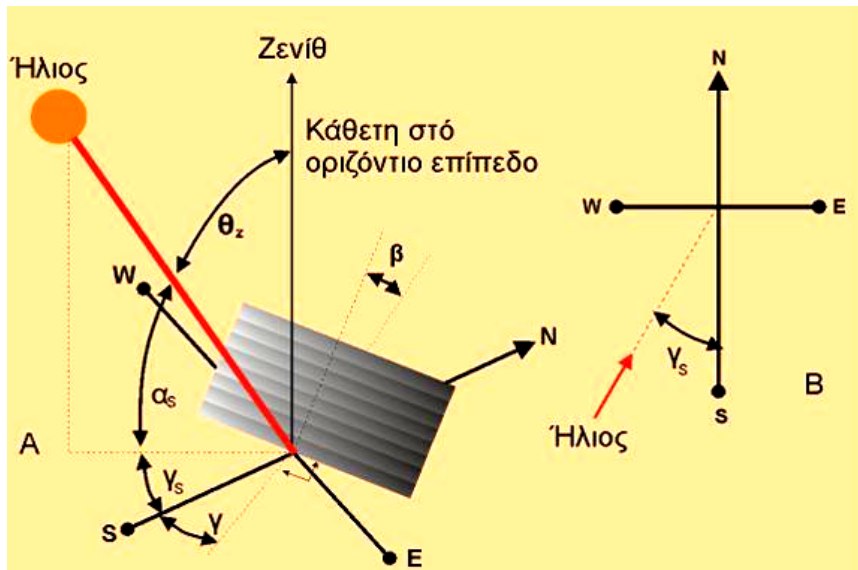
Η κλίση του πλαισίου εκφράζεται με τη γωνία  $\beta$  που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου και το οριζόντιο επίπεδο.

- Αζιμούθια Γωνία

Η αζιμούθια γωνία σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κεκλιμένης πλευράς του πλαισίου και τον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου, όπως φαίνεται στα σχήματα. Παίρνει τιμές από  $-180^{\circ}$  μέχρι  $+180^{\circ}$ . Η γωνία  $-180^{\circ}$  (που συμπίπτει με την  $+180^{\circ}$ ) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία  $-90^{\circ}$  προς την ανατολή, η γωνία  $0^{\circ}$  προς το νότο και η γωνία  $+90^{\circ}$  προς τη δύση. Θεωρούμε ότι η δεξιόστροφη φορά είναι θετική (δηλαδή η Δύση έχει γωνία  $\gamma=+90^{\circ}$ ), ενώ η αριστερόστροφη είναι αρνητική (η Ανατολή έχει γωνία  $\gamma=-90^{\circ}$ ), ενώ ο Βορράς έχει  $\pm 180^{\circ}$  (το πρόσημο ανάλογα ποια φορά θα διαλέξουμε). [11]



**Σχήμα 4.9:** Καθοριστικές γωνίες για τη τοποθέτηση σε έναν τόπο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η γωνία κλίσης  $\beta$  και η αζιμουθία γωνία  $\gamma$ . [ 8 ]



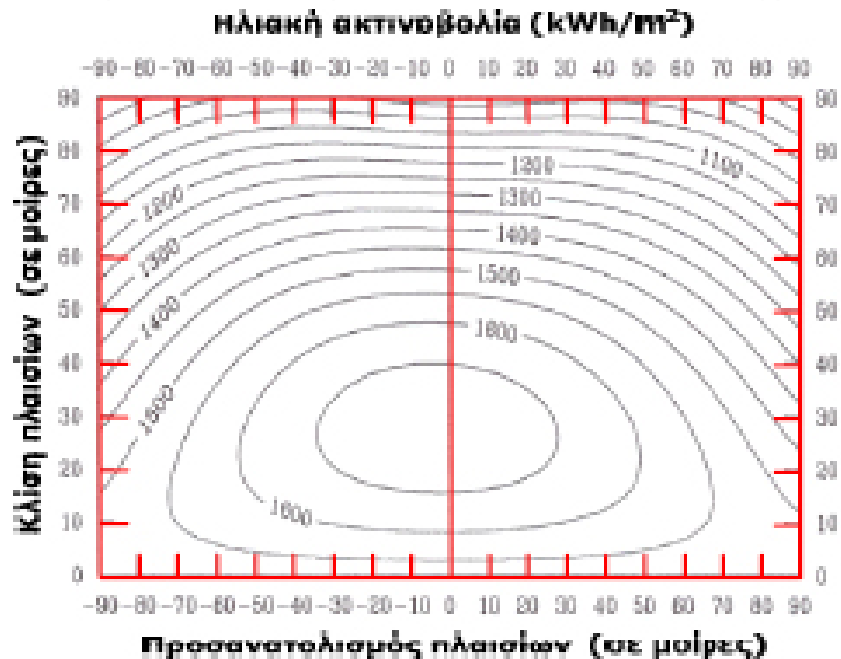
**Σχήμα 4.10:** Γραφική απεικόνιση της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου που βρίσκεται στο Βόρειο ημισφαίριο

Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού πλαισίου για τη μέγιστη παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου και η αζιμούθια γωνία είναι περίπου  $0^\circ$  (κατεύθυνση προς νότο). Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια σταθερής κλίσης, επιτυγχάνεται για Νότιο προσανατολισμό και κλίση περί των  $30^\circ$ . Δεδομένου ότι στην περίπτωση των κτιριακών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων οι βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού της φωτοβολταϊκής συστοιχίας μπορεί να είναι ανέφικτες (λόγω των περιορισμών που προκύπτουν από τις διαθέσιμες επιφάνειες του κτιρίου), θα πρέπει να γίνει εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια στην οποία πρόκειται να εγκατασταθεί η φωτοβολταϊκή συστοιχία. Η μείωση της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας (στην επιφάνεια της φωτοβολταϊκής συστοιχίας) συγκριτικά με τη μέγιστη θεωρητική της τιμή (βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού) συνιστάται να μην υπερβαίνει το 10% προκειμένου να μεγιστοποιούνται τα οικονομικά οφέλη του ανεξάρτητου παραγωγού. Λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς που προκύπτουν από τις διαθέσιμες επιφάνειες των κτηρίων, προτιμώνται γενικά επιφάνειες νότιου προσανατολισμού με απόκλιση έως  $70^\circ$  από την κατεύθυνση του Νότου, και κλίσης στο εύρος  $0^\circ$ - $50^\circ$ .

Σημειώνεται ότι η χρήση γωνιών κλίσης άνω των  $10^\circ$ - $15^\circ$  διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό των πλαισίων από σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους μέσω της βροχής. Στα σχήματα 4.11 και 4.12 παρατίθενται ενδεικτικά η επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα ενός

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>: Περιγραφή Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού Συστήματος

κτιριακού φωτοβολταϊκού συστήματος σε απόλυτες τιμές και σε επί τοις εκατό ποσοστά αντίστοιχα. Σε όλες τις περιπτώσεις υποθέτεται ότι δεν υπάρχουν σκιασμοί.



**Σχήμα 4.11:** Επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m<sup>2</sup>/έτος) στο επίπεδο των ηλιακών πλαισίων ενός κτιριακού φωτοβολταϊκού συστήματος στην Αττική

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

**Σχήμα 4.12 :** Επίδραση της τιμής της κλίσης και του προσανατολισμού στην ηλεκτροπαραγωγική ικανότητα ενός κτιριακού φωτοβολταϊκού συστήματος [11]

#### 4.7 Τρόπος Τοποθέτησης για Αποφυγή Πρόσθετων Φορτίων

Ο τρόπος τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών στοιχείων καθορίζεται από την υπάρχουσα στέγη. Η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών σε ήδη υπάρχουσες στέγες γίνεται πολύ εύκολα και οικονομικά, αλλά το μειονέκτημα είναι το αισθητικό αποτέλεσμα και το γεγονός πως όλα τα τμήματα του συστήματος, οι συναρμολογήσεις, οι ηλεκτρικές συνδέσεις και τα καλώδια είναι εκτεθειμένα στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Για αυτό η ενσωμάτωση του συστήματος πρέπει να γίνει όσο πιο αρμονικά μπορεί.

Η υποδομή πρέπει να είναι σε θέση να αντισταθεί τις δυνάμεις που εμφανίζονται στα πλαίσια. Σε ένα πλαίσιο ασκούνται δυνάμεις καταπόνησης από το χιόνι, την ορμή του αέρα, μηχανικές πιέσεις καθώς και από το ίδιο το βάρος των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι δυνάμεις αυτές πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι παράγοντες.

Πρώτον, το κενό μεταξύ της επιφάνειας των πλαισίων και της στέγης δεν θα πρέπει να είναι πάρα πολύ μεγάλο. Από την άλλη, θα πρέπει να είναι ικανοποιητικό έτσι ώστε να υπάρχει αρκετός εξαερισμός και χωρίς να παγιδεύονται τα φύλλα ανάμεσά τους. Επίσης τα πλαίσια δεν θα πρέπει να επεκτείνονται πέρα από τις κάθετες γραμμές του κτιρίου (κορυφογραμμές, μαρκίζες και αετώματα). Η απόσταση της γεννήτριας από την άκρη της στέγης πρέπει να είναι τουλάχιστον πέντε φορές μεγαλύτερη από το ύψος που έχει η γεννήτρια από την επιφάνεια της στέγης.

Ακόμα, η επιφάνεια των πλαισίων πρέπει να έχει την ίδια κλίση με τη στέγη. Επιπλέον, εάν τα πλαίσια δεν τοποθετηθούν στο ίδιο επίπεδο μεταξύ τους και υπάρχει ένα κενό-ένα μικρό χάσμα, τότε η πίεση που θα δημιουργείται (π.χ. από τον αέρα) θα καταπονεί το σύστημα. Η σωστή τοποθέτηση αποφεύγει και τους ήχους που δημιουργούνται από τον αέρα.

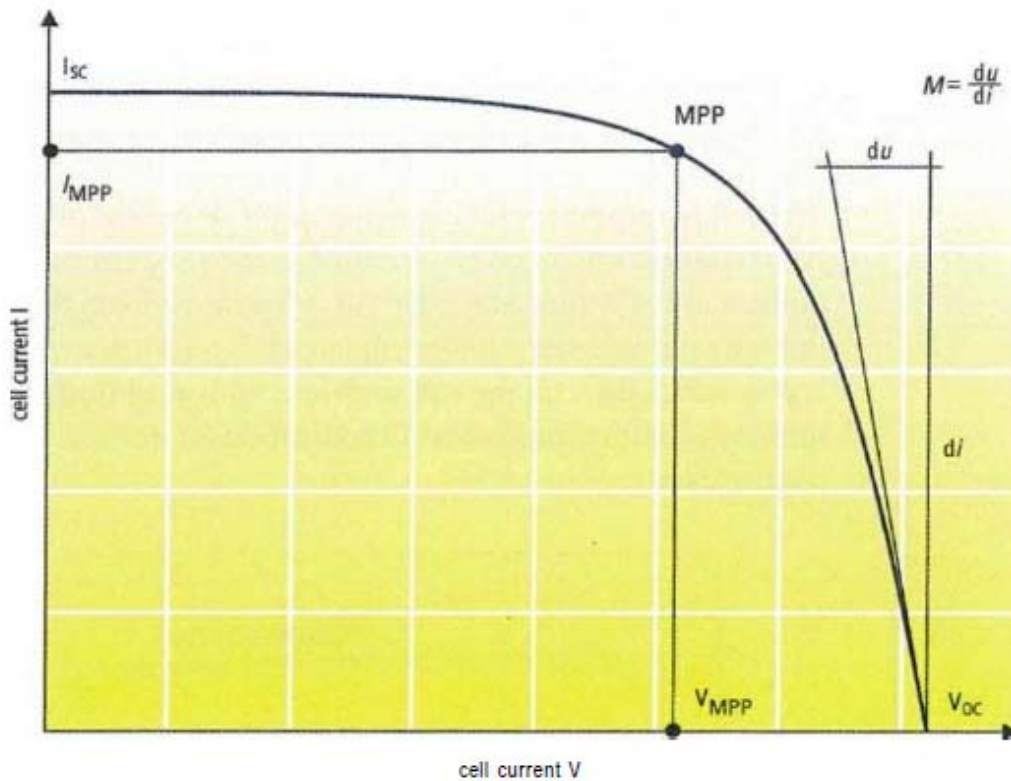
Δεδομένου ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα σχεδιάζονται για να διαρκέσουν για μια περίοδο 20 ετών ή περισσότερο και επειδή όλες οι μηχανικές συναρμολογήσεις εκτίθενται τα στοιχεία της φύσης, αυτό πρέπει να εξασφαλίζεται είναι ότι χρησιμοποιείται μόνο το υψηλής ποιότητας μέταλλο στα σημεία συναρμολόγησης.

Για οποιοδήποτε τύπο μετάλλου (π.χ. αλουμίνιο ή ανοξείδωτος χάλυβας), υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές από την άποψη της ποιότητας ανάλογα με τη χημική σύνθεση. Επομένως, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο αντίστοιχο κράμα. Οι συνδυασμοί μετάλλων μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν εάν δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος ηλεκτροχημικής πραγματοποίησης αντιδράσεων. [5]

## 5. Τα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

### 5.1 Χαρακτηριστική Καμπύλη I-V Φωτοβολταϊκής Κυψέλης

Ένα βασικό Ηλεκτρικό Χαρακτηριστικό που προσδιορίζει τη φωτοβολταϊκή κυψέλη είναι η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης (I-V) που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 5.1:** Χαρακτηριστική I-V με σημείο μέγιστης ισχύος (MPP) [5]

Στην καμπύλη I -V υπάρχει ένα σημείο (  $V_{MPP}$ ,  $I_{MPP}$  ) στο οποίο η ισχύς λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της . Το σημείο αυτό ονομάζεται μέγιστο σημείο ισχύς (maximum power point, MPP). Η μέγιστη ισχύ των φωτοβολταϊκών στοιχείων δίνεται από τη σχέση:  $P_m = I_m V_m$  (14)

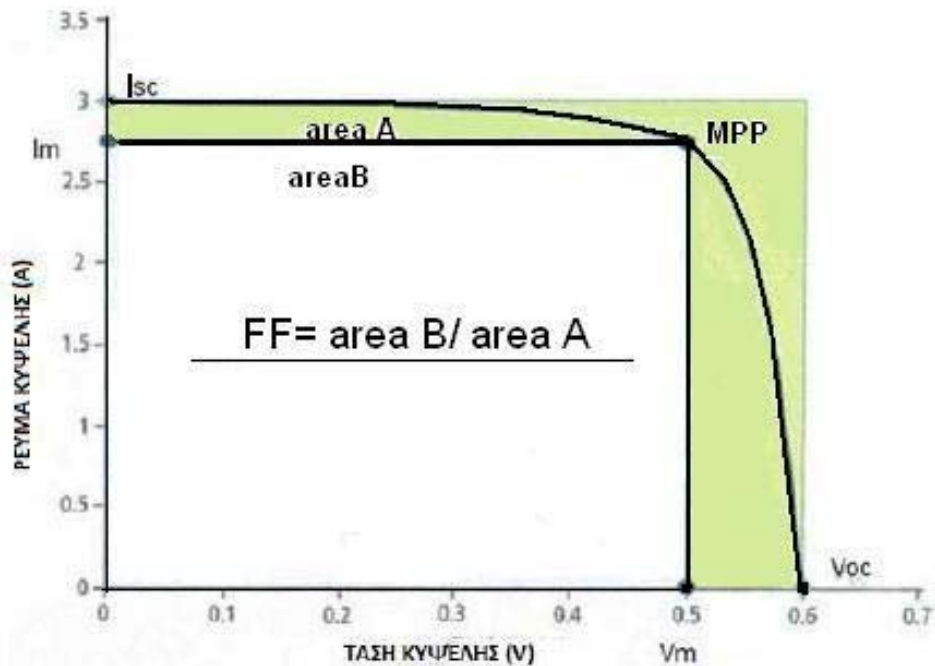
Η μέγιστη ισχύς δίνεται από τους κατασκευαστές μετρημένη υπό ειδικές σταθερές συνθήκες (Standard Test Condition, STC), οι οποίες αντιστοιχούν σε ακτινοβολία  $1000 \text{ W/m}^2$ , τιμή αέρας μάζας  $AM=1.5$  και θερμοκρασία  $25^\circ\text{C}$ . Το σημείο μέγιστης ισχύος (MPP-maximum power point) βρίσκεται στην χαρακτηριστική καμπύλη στο σημείο, όπου αυτή έχει κλίση (M) ίση με τη μονάδα.

## 5.2 Συντελεστής Πλήρωσης (FF – Fill Factor)

Ένα άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ο παράγοντας πλήρωσης FF (fill factor) ή συντελεστής πλήρωσης. Ο συντελεστής πλήρωσης περιγράφει την ποιότητα των φωτοβολταϊκών κυττάρων. Ο παράγοντας αυτός δίνεται από το λόγο των εμβαδών του μέγιστου ορθογωνίου που μπορεί να εγγραφεί στην χαρακτηριστική καμπύλη I -V , προς το εμβαδόν του ορθογωνίου που ορίζεται από τις τιμές  $V_{oc}$  και  $I_{sc}$ . Η αριθμητική του τιμή υπολογίζεται από το πηλίκο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύς  $P_L$  προς το γινόμενο του ρεύματος βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  και της τάσης ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$  και δίνεται από τη σχέση:

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

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται γραφικά ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή πλήρωσης.



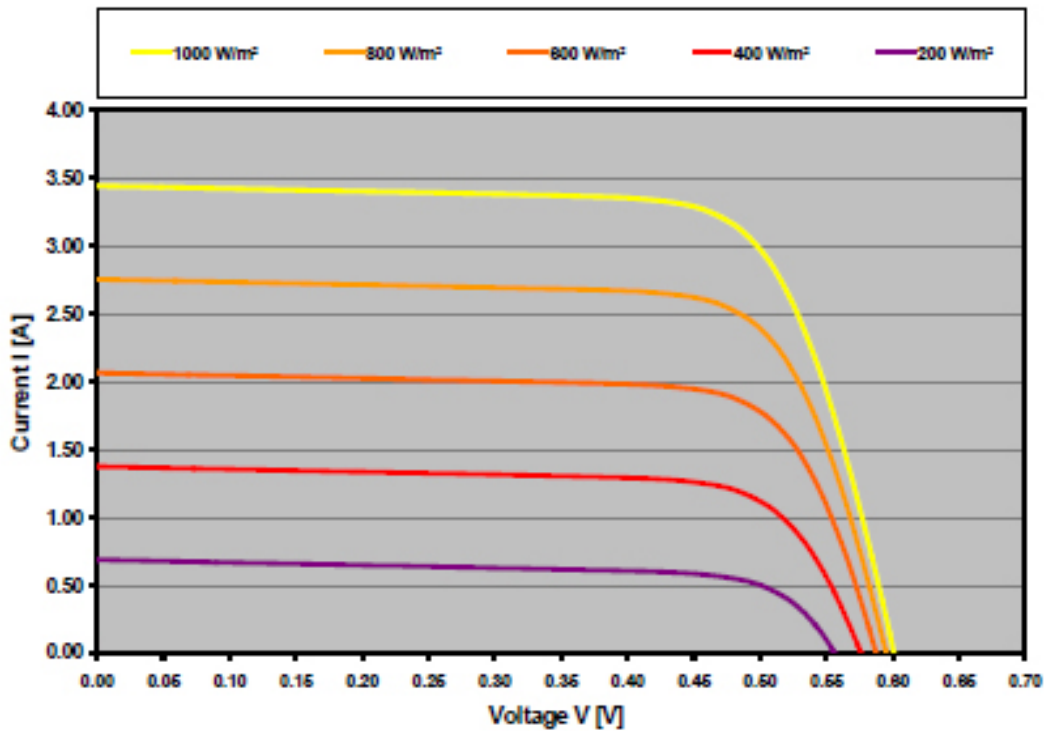
Σχήμα 5.2: Γραφικός Υπολογισμός του συντελεστή πλήρωσης FF [5]

## 5.3 Η Επίδραση της Ηλιακής Ακτινοβολίας στα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

Η μέγιστη ισχύ που μπορεί να προσφέρει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει άμεση εξάρτηση από την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Όσο λιγότερη είναι η ακτινοβολία τόσο λιγότερο είναι και το ρεύμα που διαρρέει την διάταξη, αντιθέτως η τάση μέγιστου σημείου ισχύος παραμένει σχετικά σταθερή.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Τα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μεταβολή του ρεύματος και της τάση υπό διαφορετικές εντάσεις φωτός.



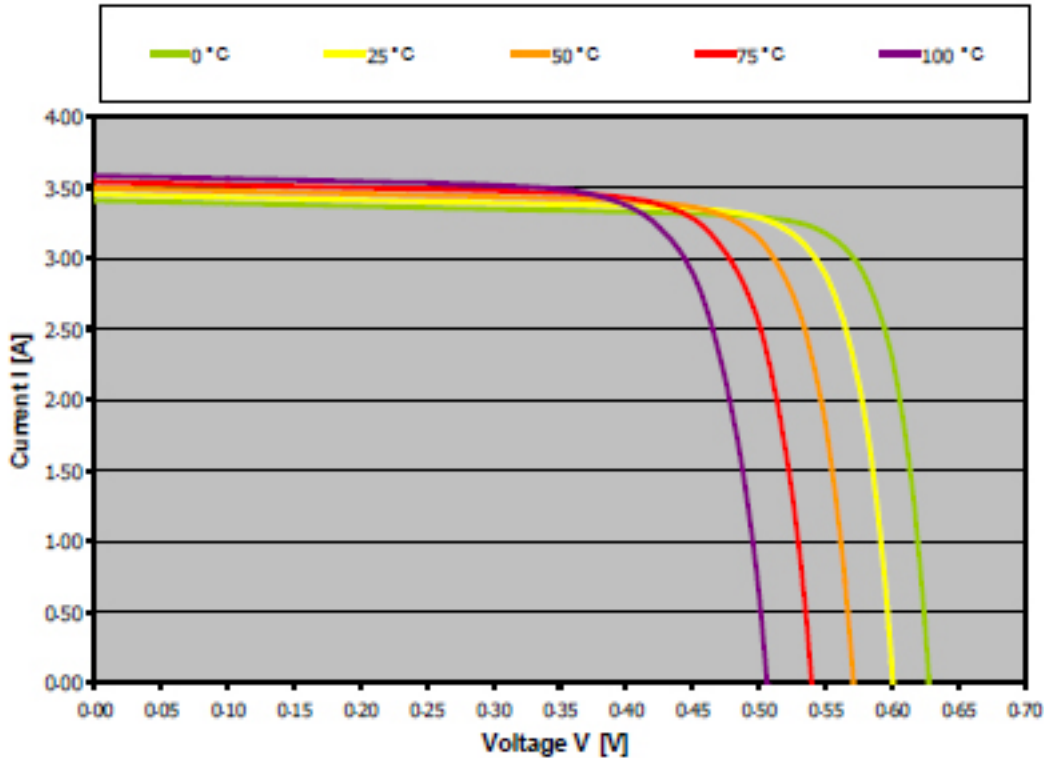
Σχήμα 5.3: I-V χαρακτηριστική για διαφορετικές τιμές ακτινοβολίας [9]

### 5.4 Επίδραση της Θερμοκρασίας στα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά του Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

Η θερμοκρασία της κυψέλης αυξάνεται με τον φωτισμό, εξαιτίας της μετατροπής μέρους της ηλιακής ενέργειας σε θερμική (αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του υλικού). Η θερμοκρασία λειτουργίας της κυψελίδας  $\Theta_c$  και του περιβάλλοντα αέρα  $\Theta_a$ , αυξάνει σχεδόν γραμμικά ως συνάρτηση της πυκνότητας της ολικής ακτινοβολίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μεταβάλλεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$  και η τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{OC}$ . Το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$  αυξάνεται ελαφρώς (περίπου 0,07%) με την θερμοκρασία λόγω της αύξησης του μήκους διάχυσης των φωτοδημιουργούμενων φορέων μειονότητας με την θερμοκρασία, άρα και αύξηση του πλήθους των φορέων που καταφέρνουν να φτάσουν στους απέναντι χώρους της διάταξης, όπου οι φορείς αυτοί αποτελούν πλειονότητα.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την επίδραση της θερμοκρασίας στο ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$  και στη τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{OC}$ .





Σχήμα 5.4 : I-V χαρακτηριστική για διαφορετικές θερμοκρασίες [9]

Η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και μάλιστα η ποσοστιαία ελάττωση της ανα μονάδα θερμοκρασίας είναι σχεδόν μιας τάξης μεγέθους μεγαλύτερη της αντίστοιχης αύξησης του ρεύματος βραχυκύκλωσης. Η έντονη ελάττωση της τάσης οφείλεται στην ισχυρή εξάρτηση του ρεύματος κόρου της διόδου από την θερμοκρασία.

### 5.5 Η Αποδιδόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια του Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Εάν γνωρίζουμε μόνο την ισχύ αιχμής του συστήματος, η αποδιδόμενη μηνιαία ηλεκτρική ενέργεια δίνεται από τη σχέση: [8]

$$E = \frac{P_{p\Sigma} \cdot n_{\theta} \cdot n_{\sigma} \cdot E_{HA}}{P_{stc}}$$

όπου:

$P_{p\Sigma}$ : η ισχύς αιχμής (peak) της προς εγκατάσταση συστοιχίας σε (kWp)

$P_{stc}$ : η ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες Standard Test Conditions (1kW/m<sup>2</sup>)

$E_{HA}$ : η μέση μηνιαία ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (kWh/m<sup>2</sup>·μήνα)

$n_{\theta}$ : ο συντελεστής διόρθωσης λόγω αύξησης της θερμοκρασίας

$n_{\sigma}$ : ο συντελεστής απόδοσης του φ/β συστήματος που ισούται με  $n_{\sigma} = 1 - \alpha_{\sigma}$



## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>: Τα Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

όπου:

$\alpha_{\sigma}$ : είναι όλες οι απώλειες του φ/β συστήματος, όπως λόγω γήρανσης, οι οπτικές, λόγω ανομοιογένειας του φ/β συστήματος, στη δίοδο αντεπιστροφής, καλωδιακές συνδέσεις των πλαισίων, απώλειες στο inverter.

$$\alpha_{\sigma} = \alpha_{\gamma} + \alpha_{\kappa} + \alpha_{\text{αανομ}} + \alpha_{D} + \alpha_{\omega} + \alpha_{\text{αίνv}}$$

όπου:

$\alpha_{\gamma}$ : απώλειες λόγω γήρανσης των στοιχείων (0,8% ετησίως)

$\alpha_{\kappa}$ : οπτικές ενεργειακές απώλειες – χωρίς τις απώλειες λόγω ανακλαστικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στο πλαίσιο - (για ελαφρώς σκονισμένο πλαίσιο ο μέσος ετήσιος βαθμός απωλειών είναι 4%)

$\alpha_{\text{αανομ}}$ : απώλειες λόγω ανομοιογένειας των χαρακτηριστικών των φ/β πλαισίων του συστήματος (2%)

$\alpha_{D}$ : απώλειες στις διόδους αντεπιστροφής (1%)

$\alpha_{\omega}$ : απώλειες στις καλωδιώσεις σύνδεσης του συστήματος με το δίκτυο (2%)

$\alpha_{\text{αίνv}}$ : απώλειες στον μετατροπέα - inverter (5%)

Επομένως, οι συνολικές απώλειες θα είναι:

$$\underline{\alpha_{\sigma}} = \alpha_{\gamma} + \alpha_{\kappa} + \alpha_{\text{αανομ}} + \alpha_{D} + \alpha_{\omega} + \alpha_{\text{αίνv}} = 0+4+2+1+2+5 = 14\%$$

### 5.6 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Απόδοση των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, οι οποίοι είναι: [8]

#### ➤ 1. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Αυξανόμενης της ηλιακής έντασης έχουμε γραμμική αύξηση του παραγομένου φωτορεύματος και λογαριθμική αύξηση της τάσης της ανοικτοκυκλωμένης φωτοβολταϊκής κυψέλης.

#### ➤ 2. Η θερμοκρασία της φωτοβολταϊκής κυψέλης

Ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος μπορεί να μεταβάλλει αξιοσημείωτα την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι η θερμοκρασία των φωτοβολταϊκών στοιχείων του. Έχει μετρηθεί ότι κυρίως λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος. Αν

$T_c$  είναι η θερμοκρασία του στοιχείου μπορούμε να θεωρήσουμε ότι εξαρτάται αυτή γραμμικά από την θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_a$  και την ηλιακή ακτινοβολία  $G$ , ως εξής:

$$T_c = T_a + h_w \cdot G$$

Όπου  $h_w$  είναι ένας χαρακτηριστικός συντελεστής των φωτοβολταϊκών πλαισίων, με τιμή συνήθως:  $h_w = 0,03 \text{ m}^2 \text{ C/W}$

Αυτό συνεπάγεται ότι ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία  $1 \text{ kW/m}^2$ , θα έχει θερμοκρασία κατά  $30^\circ\text{C}$  μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία ακόμα επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου και γίνεται καλύτερη απαγωγή θερμότητας όσο η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη. Ως γενικός κανόνας στους υπολογισμούς φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, που επαληθεύεται και από μετρήσεις σε πραγματικές εγκαταστάσεις, λαμβάνεται συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου κατά  $30^\circ\text{C}$  από αυτή του περιβάλλοντος. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου δίνονται συνήθως σε στάνταρ συνθήκες (STC : Standard Test Conditions, δηλαδή θερμοκρασία  $25^\circ\text{C}$ ,  $AM=1,5$  και ηλιακή ακτινοβολία  $1 \text{ kW/m}^2$ ) Αν υποθέσουμε ότι  $m_{STC}$  η είναι η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε STC, τότε για να υπολογιστεί η απόδοση σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία χρειάζεται ένας διορθωτικός θερμοκρασιακός συντελεστής ( $\sigma_\theta$ ), ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_\theta = 1 - (T_c - 25) \cdot 0,005$$

Η σχέση αυτή ισχύει για τα συμβατικά στοιχεία πυριτίου και υποδηλώνει μείωση της απόδοσης κατά  $0,005$  ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από τη θερμοκρασία των  $25^\circ\text{C}$ . Τελικά η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου σε οποιαδήποτε θερμοκρασία προκύπτει:

$$\eta_m = \sigma_\theta \cdot \eta_{m,25^\circ\text{C}}$$

### ➤ 3. Η αντίσταση του κυκλώματος

Η ισχύς που παράγεται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο και αποδίδεται στην αντίσταση  $RL$  (φορτίο καταναλωτή) είναι:  $PL = VL \cdot IL = RL \cdot IL^2$ . Η αποδιδόμενη ισχύς γίνεται προφανώς μέγιστη για μια ορισμένη τιμή της αντίστασης  $RL = R_m$ , που αντιστοιχεί στο σημείο ΣΜΙ (Σημείο Μέγιστης Ισχύος).

Ειδικές διατάξεις που βρίσκονται συνήθως στις μονάδες επεξεργασίας ισχύος (inverter) μεταβάλλουν κατάλληλα την αντίσταση του συστήματος (ώστε το συνολικό σύστημα – φορτίο) να βρίσκεται πάντα σ' αυτό το σημείο.

### ➤ 4. Ο συντελεστής γήρανσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Τα φ/β στοιχεία με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζουν σημάδια φθοράς, τα οποία οδηγούν σε ελάττωση της συνολικής τους ισχύος. Τα σύγχρονα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν ένα βαθμό μείωσης της απόδοσης τους της τάξης του  $0,8\%$  ετησίως (οι

κατασκευαστές δηλώνουν ότι εξασφαλίζουν το 80% της αποδοτικότητάς τους μετά την παρέλευση 25ετίας).

#### ➤ 5. Οπτικές ενεργειακές απώλειες

Οι οπτικές απώλειες οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

- α) η διαφοροποίηση ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε εργαστηριακές συνθήκες ελέγχου, με μέση ετήσια τιμή των απωλειών αυτών ~3%,
- β) οι απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με μέση ετήσια απώλεια ~2%,
- γ) η καθαρότητα του πλαισίου με ~1,5% μέση ετήσια απώλεια. Ένας αντιπροσωπευτικός μέσος ετήσιος συντελεστής οπτικών απωλειών κυμαίνεται ανάλογα με την καθαρότητα της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου από 7%~10%.

#### ➤ 6. Επίδραση της ρύπανσης στην απόδοση

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειάς τους από την επικάθηση σκόνης, φύλλων, χιονιού κ.α. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στην γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των φ/β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή εύκολα να τη ξεπλύνει. Επομένως είναι σημαντικό όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια πρόκειται να εγκατασταθεί σε μια περιοχή, που εκτιμάται ότι η ρύπανσή της θα είναι σημαντική να προβλεφθεί στους υπολογισμούς η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας ( $\sigma_p$ ). Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνειά του είναι τελείως καθαρή. Η τιμή του  $\sigma_p$  είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα, όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κλπ. Τελικά η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, λαμβάνοντας υπόψη την ρύπανση της επιφάνειάς του, προκύπτει:

$n_{m,k} = \sigma_p \cdot n_{m,k}$  όπου  $n_{m,k}$  η απόδοσή του, όταν είναι καθαρό.

#### ➤ 7. Η δίοδος αντεπιστροφής

Η δίοδος αντεπιστροφής εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του φωτοβολταϊκού πλαισίου, όταν αυτό δεν φωτίζεται κατά τις νυχτερινές ώρες. Είναι εγκατεστημένη στο πλαίσιο από τον κατασκευαστή σε όλα τα πλαίσια,

ανεξαρτήτως εάν αυτά θα χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας στο δίκτυο ή θα την αποθηκεύσουν σε συσσωρευτές. Έτσι θα πρέπει να λαμβάνεται πάντα υπόψη ανεξάρτητα της μικρής τιμής της ~1%.

➤ **8. Ο συντελεστής ωμικών απωλειών στη γραμμή σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος με το δίκτυο**

Ως βάση υπολογισμού επιλέγουμε τέτοια διάμετρο καλωδίου ώστε οι ωμικές αντιστάσεις των καλωδίων να είναι της τάξης του 2%.

### 5.7 Απόδοση Φωτοβολταϊκού Πλαισίου-Κυψέλης

Ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, ορίζεται με παρόμοιο τρόπο με αυτόν του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Εκφράζει τον λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια. Επειδή όμως η επιφάνεια ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου δεν είναι καλυμμένη εξολοκλήρου από φωτοβολταϊκά στοιχεία η απόδοση διαφέρει από την απόδοση των στοιχείων που αποτελείται. Στις παρακάτω σχέσεις οι δείκτες που χρησιμοποιούνται παραπέμπουν στο αν το μέγεθος αφορά το πλαίσιο (m→module) ή το στοιχείο (c→cell).

Ο συντελεστής απόδοσης ενός πλαισίου δίνεται από τη σχέση: [5]

$$n = \frac{P_m}{G} = \frac{I_m \cdot V_m}{G \cdot A} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{G \cdot A}$$

P= Η εξερχόμενη ισχύς (W)

G= Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m<sup>2</sup>)

A= Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου

G·A=Η Ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

Ορίζουμε το συντελεστής κάλυψης (σκ) ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ως το λόγο της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Τέλος εναλλακτικά θα μπορούσε κάποιος να υπολογίσει τον συντελεστή απόδοσης κατά προσέγγιση από την σχέση:

$$n_m = \frac{P_{\max} \cdot \sigma_k}{G \cdot A_c \cdot N_c}$$

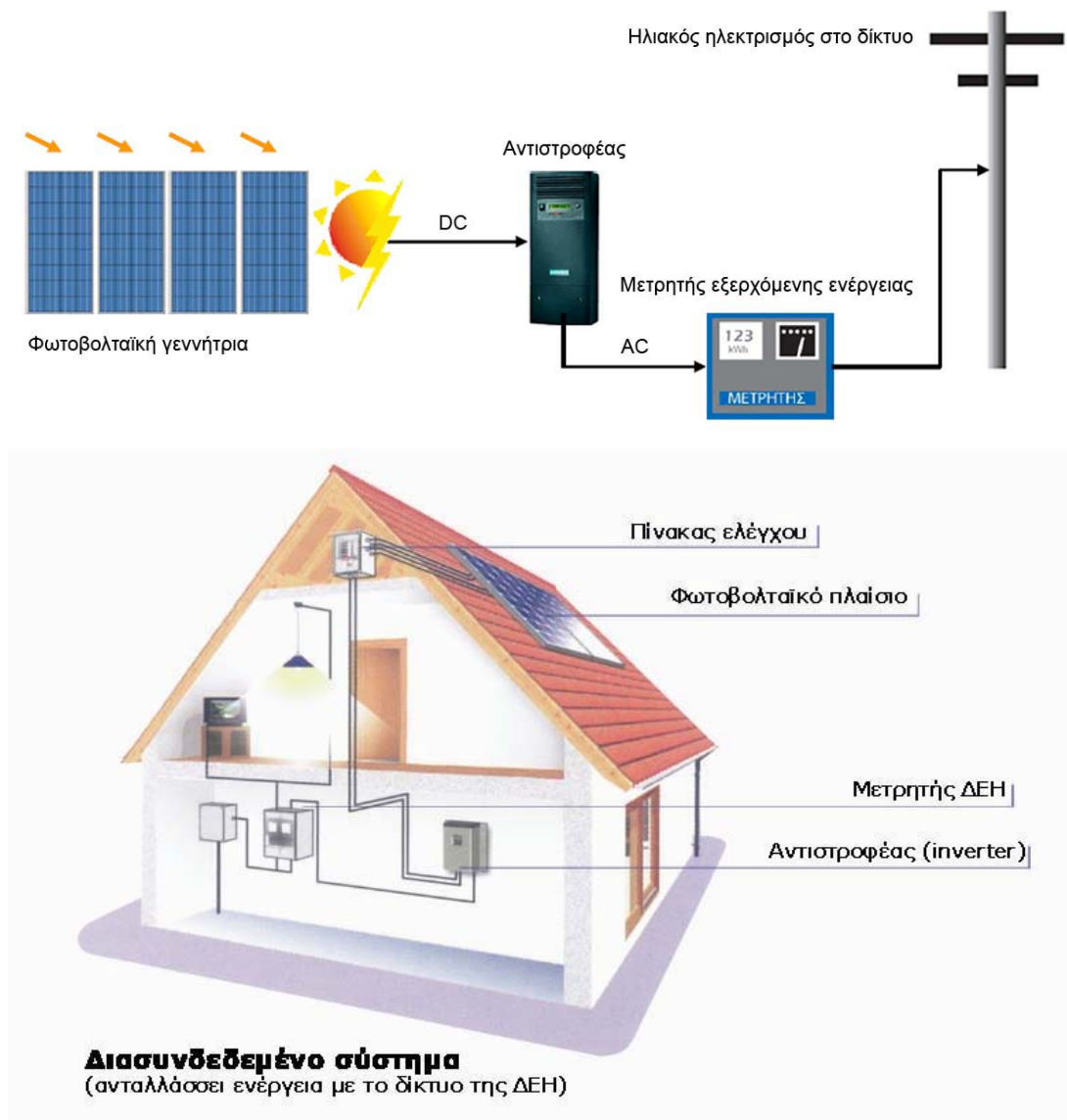
Όπου N<sub>c</sub> ο συνολικός αριθμός των φωτοβολταϊκών στοιχείων που περιέχονται στο πλαίσιο. Η σχέση δεν δίνει ακριβή αποτελέσματα, καθώς σε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο υπάρχουν και άλλες απώλειες, εκτός του συντελεστή κάλυψης.

## 6. Σύνδεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο

### 6.1 Κατηγορίες Φωτοβολταϊκού Συστήματος

#### 6.1.1 Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Όταν το σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ ονομάζεται διασυνδεδεμένο σύστημα. Στην περίπτωση αυτή, το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται πουλιέται στη ΔΕΗ έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής αλλά συνεχίζει να καταναλώνει - αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας. Ένα διασυνδεδεμένο σύστημα φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 6.1: Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό Σύστημα

### 6.1.2 Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Εναλλακτικά, μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί ένα αυτόνομο σύστημα που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης. Για τη συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας.



Σχήμα 6.2: Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για παροχή εφεδρικής ηλεκτρικής ενέργειας (δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής – UPS). Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες (συν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκεί αυτή. Κατά κανόνα τα φωτοβολταϊκά συστήματα που έχουν εγκατασταθεί μέχρι σήμερα στην Ελλάδα εξυπηρετούν απομονωμένες χρήσεις, σε σημεία όπου δεν υπάρχει δίκτυο της ΔΕΗ, επειδή στις περιπτώσεις αυτές η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος είναι πολύ πιο εμφανής. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, η εναλλακτική λύση μιας ηλεκτρογεννήτριας αποδεικνύεται μακροπρόθεσμα εξαιρετικά ακριβή. Όταν όμως υπάρχουν ισχυρά κίνητρα για την παραγόμενη ηλιακή κιλοβατώρα (όπως ισχύει πλέον από τον Ιούνιο του 2006), τότε συμφέρει στον καταναλωτή να είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο και να πουλά ηλιακό ηλεκτρισμό σ' αυτό έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής. [2]

### 6.1.3 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα υβριδικά συστήματα είναι συνδυασμός ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και άλλων συστημάτων παραγωγής ενέργειας (όπως ανεμογεννήτριες ή μικρά ηλεκτροπαραγωγικά ζεύγη) και αποτελούν λύση για επαρκούς κάλυψης φορτίου σε οποιοδήποτε συνθήκες. Για παράδειγμα υπάρχουν περιοχές με καλό αιολικό δυναμικό και μάλιστα συνήθως όταν υπάρχει συννεφιά ο αέρας είναι ισχυρότερος. Έτσι μπορεί μια ανεμογεννήτρια και μια φωτοβολταϊκή συστοιχία να αλληλοσυμπληρώνονται σε μια εγκατάσταση. Σε αυτήν την περίπτωση οι δύο πηγές ενέργειας τροφοδοτούν τις συστοιχίες των συσσωρευτών μέσω ρυθμιστών φόρτισης και από εκεί η ενέργεια διοχετεύεται στις καταναλώσεις της εγκατάστασης.

Σε αυτές τις περιπτώσεις οι ενεργειακές πηγές μπαίνουν παράλληλα στο τοπικό δίκτυο με σκοπό την αδιάκοπη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η επιλογή ενός τέτοιου συστήματος προέρχεται από έναν συγκερασμό μετεωρολογικών και οικονομοτεχνικών δεδομένων. [ 14]



Σχήμα 6.3: Υβριδικό Φωτοβολταϊκό Σύστημα

### 6.2 Σύνδεση Κτιριακών Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στο Ηλεκτρικό Δίκτυο Χαμηλής Τάσης

Ο τρόπος σύνδεσης ενός οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος στο ηλεκτρικό δίκτυο Χ.Τ, γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην παραβιάζονται τα όρια διαταραχών που τίθενται από τους Διαχειριστές του Δικτύου. Τα κριτήρια που εξετάζονται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση νέων εγκαταστάσεων παραγωγής σε συγκεκριμένο σημείο του δικτύου Χ.Τ. είναι η διαμόρφωση των προστασιών της

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Σύνδεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο

διασύνδεσης εγκαταστάσεων- δικτύου, οι αργές και ταχείες μεταβολές της τάσης, οι εκπομπές αρμονικών, η επάρκεια του δικτύου και η συμβολή των νέων μονάδων στη στάθμη βραχυκύκλωσης.

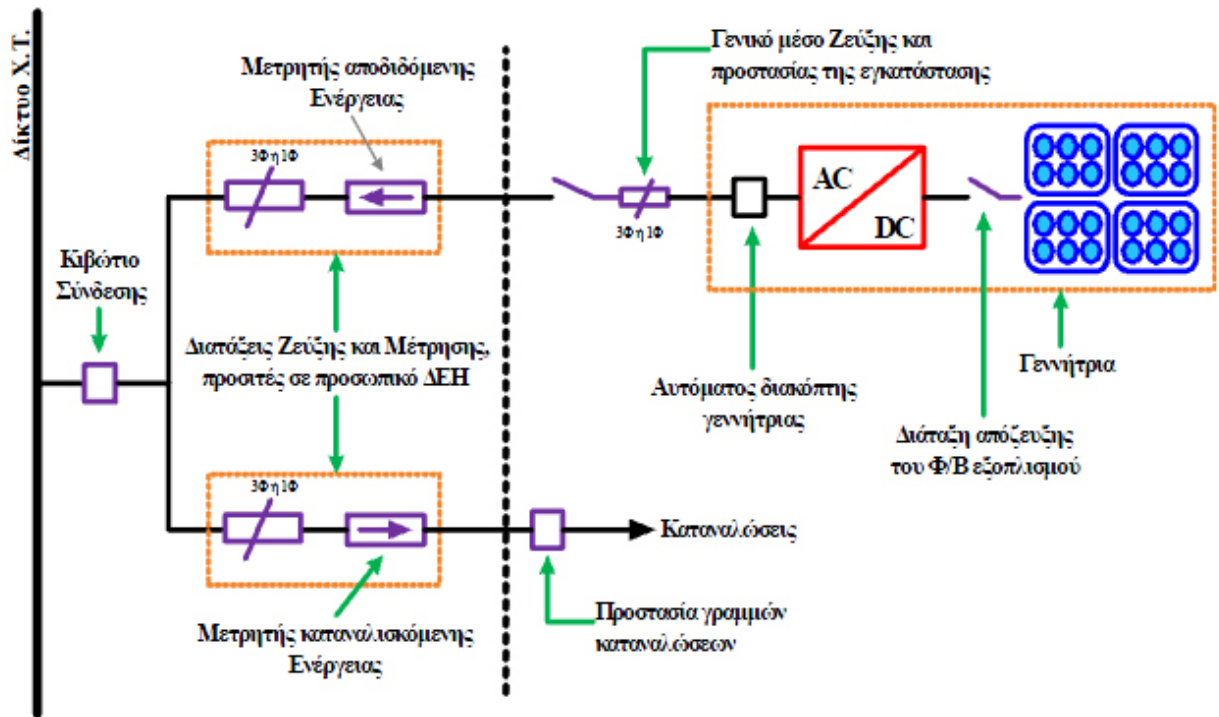
Παράμετρος	Απαιτήση
Τάση	Η τιμή της εναλλασσόμενης τάσης στα άκρα του ηλεκτρονικού αναστροφέα δεν πρέπει να υπερβαίνει το -20% (184V) ή το +15% (264.5V) της ονομαστικής τιμής της τάσης του δικτύου. Σε περίπτωση υπέρβασης των παραπάνω ορίων, η απόζευξη θα πρέπει να πραγματοποιείται εντός 0.5 s
Συχνότητα	Η συχνότητα των ηλεκτρικών μεγεθών εξόδου του αναστροφέα δεν πρέπει να υπερβαίνει περισσότερο από $\pm 0.5\text{Hz}$ την ονομαστική τιμή της συχνότητας του δικτύου. Σε περίπτωση υπέρβασης των παραπάνω ορίων, η απόζευξη θα πρέπει να πραγματοποιείται εντός 0.5 s.
Αυτόματη επανάζευξη	Η επανάζευξη θα πρέπει να πραγματοποιείται μετά από τουλάχιστον 3 λεπτά.
Αρμονικές	Η ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%.
Έγχυση συνεχούς ρεύματος	Η μέγιστη τιμή εγχεόμενου συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να είναι το πολύ ίση με το 0.5% του ονομαστικού ρεύματος της εγκατάστασης

**Πίνακας 6.1:** Απαιτήσεις σύνδεσης στο δίκτυο [11]

Ο έλεγχος πληρότητας των παραπάνω κριτηρίων γίνεται στο πλησιέστερο προς τις εγκαταστάσεις του παραγωγού σημείο του δικτύου, στο οποίο συνδέεται άλλος καταναλωτής ή παραγωγός (Σημείο Κοινής Σύνδεσης στο Δίκτυο). Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο η ενέργεια που αποδίδεται από τον παραγωγό στο δίκτυο όσο και αυτή που απορροφά από αυτό ως καταναλωτής, μεταφέρεται πάντα



μέσω της ίδιας παροχής. Στο σχήμα 6.4 παρουσιάζεται μια τυπική απλοποιημένη μορφή σύνδεσης με το δίκτυο X.T. Το γενικό μέσο Ζεύξης E.P, η προστασία από ρεύματα βραχυκύκλωσης στην πλευρά E.P, καθώς και ο αυτόματος διακόπτης της γεννήτριας εξασφαλίζουν τον παραλληλισμό και τη ζεύξη της εγκατάστασης με το δίκτυο.[11]



**Σχήμα 6.4:** Τυπική απλοποιημένη μορφή σύνδεσης οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων με το ηλεκτρικό δίκτυο X.T.

## 6.3 Καλωδίωση Φωτοβολταϊκού Συστήματος

### 6.3.1 Τύποι Καλωδίων

Για την ηλεκτρική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να χρησιμοποιηθούν ειδικού τύπου καλώδια για να καλύψουν τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Μια διάκριση γίνεται μεταξύ των καλωδίων του πάνελ και των καλωδίων της γεννήτριας-string, των καλωδίων για το συνεχές ρεύμα DC και για το εναλλασσόμενο AC ρεύμα.

Τα καλώδια της ηλεκτρικής σύνδεσης μεταξύ των πάνελ και το κουτί σύνδεσης της γεννήτριας, ονομάζονται καλώδια πάνελ ή καλώδια συστοιχίας γεννήτριας. Αυτά τα καλώδια χρησιμοποιούνται γενικά σε εξωτερικούς χώρους. Έχει αποδειχθεί ότι μια πολύ αξιόπιστη λύση για τις εφαρμογές αυτές είναι τα μονόκλιωνα καλώδια με διπλή μόνωση που εξασφαλίζουν μείωση της πιθανότητας

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Σύνδεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο

εμφάνιση σφάλματος γείωσης. Ο τύπος καλωδίου που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι H07 RN-F (Σχήμα 6.5). Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματά τους είναι η αντοχή τους στην υπεριώδη ακτινοβολία και η αντοχή τους στις καιρικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία  $-55^{\circ}\text{C}$  σε  $125^{\circ}\text{C}$ ). Στις στέγες η μέγιστη θερμοκρασία έχει μετρηθεί περίπου  $70^{\circ}\text{C}$ . Μερικοί εγκαταστάτες επιλέγουν καλώδια που καλύπτονται με πλέγμα μετάλλων, όπου το προστατευμένο καλώδιο όχι μόνο παρέχει την προστασία ενάντια στα τρωκτικά αλλά και βελτιώνει την προστασία ενάντια των υπερφορτίσεων.



3 2 1

1. Λεπτοπολύκλωνος αγωγός.
2. Μόνωση ελαστικού.
3. Μανδύας ελαστικού.

**ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ:** H07RN-F  
**ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ:** 450/750 V  
**ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ:** ΕΛΟΤ 623.4, HD 22.4

### Χρήσεις

Σε ξηρούς, υγρούς ή βρεγμένους χώρους, στο ύπαιθρο.  
Για μέσες μηχανικές καταπονήσεις στις βιομηχανίες, σε εργοτάξια και αγροτικά έργα, για κινητές ή σταθερές εγκαταστάσεις.

### Χρώματα

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΟΛΩΝ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΩΡΙΣ ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ
1	ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ	ΜΑΥΡΟ
2	-	ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ
3	ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ	ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ
4	ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ	ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ
5	ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ	ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ, ΜΑΥΡΟ
>5	ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΜΑΥΡΟΙ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΜΑΥΡΟΙ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΣΗ

**Σημείωση :** Για συνεχή λειτουργία μέσα σε γλυκό νερό θερμοκρασίας έως  $40^{\circ}\text{C}$  και σε βάθος έως 10m κατάλληλος τύπος καλωδίου είναι ο H07RN8-F σύμφωνα με την προδιαγραφή HD 22.16

**Σχήμα 6.5:** Καλώδιο τύπου H07NR-F [15]

Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Σύνδεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (ΠΕΡΙΠΟΥ)	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (ΠΕΡΙΠΟΥ)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ DC ΣΕ 20 °C	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ	ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ	
					1 ΦΑΣΗ AC ή DC	3 ΦΑΣΕΙΣ AC
mm <sup>2</sup>	mm	kg/km	Ω/km	A	mV/A/m	mV/A/m
1x1,5	6,1	50	13,7	22	31,0	
1x2,5	6,7	65	8,21	31	19,0	
1x4,0	7,7	90	5,09	41	12,0	
1x6,0	8,9	120	3,39	53	7,8	
1x10	10,4	185	1,95	73	4,6	
1x16	12,3	260	1,24	98	2,9	
1x25	14,4	375	0,795	129	1,85	
1x35	16,0	495	0,565	158	1,37	
1x50	18,6	685	0,393	198	1,02	
1x70	20,9	910	0,277	245	0,71	
1x95	23,0	1170	0,210	292	0,53	
1x120	26,5	1485	0,164	344	0,44	
1x150	28,8	1820	0,132	391	0,37	
1x185	30,2	2180	0,108	448	0,33	
1x240	32,9	2735	0,0817	528	0,26	
1x300	35,7	3400	0,0654	608	0,24	
1x400	44,8	4575	0,0495	715	0,19	
1x500	48,8	5715	0,0391	820	0,15	
2x1,0	8,4	90	20,0	15	48,0	
2x1,5	9,4	115	13,7	18	31,0	
2x2,5	11,1	160	8,21	26	19,0	
2x4,0	12,8	220	5,09	34	12,0	
2x6,0	15,2	305	3,39	44	7,8	
2x10	19,6	550	1,95	61	4,6	
2x16	23,4	790	1,24	82	2,9	
2x25	27,8	1080	0,795	108	1,85	
3x1,0	9,1	110	20,0	15	48,0	
3x1,5	10,1	140	13,7	18	31,0	
3x2,5	12,0	205	8,21	26	19,0	
3x4,0	13,7	280	5,09	34	12,0	
3x6,0	16,3	395	3,39	44	7,8	
3x10	21,1	680	1,95	61	4,6	
3x16	25,1	980	1,24	82	2,9	
3x25	29,9	1415	0,795	108	1,85	
3x35	33,2	1840	0,565	135	1,37	
3x50	38,7	2545	0,393	168	1,02	
3x70	43,5	3350	0,277	207	0,71	
3x95	49,0	4335	0,210	250	0,53	
3x120	55,4	5485	0,164	292	0,44	

Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Σύνδεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (ΠΕΡΙΠΟΥ)	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (ΠΕΡΙΠΟΥ)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ DC ΣΕ 20 °C	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ
mm <sup>2</sup>	mm	kg/km	Ω/km	A	mV/A/m
4x1,0	10,1	135	20,0	15	42,0
4x1,5	11,1	170	13,7	18	27,0
4x2,5	13,2	250	8,21	26	17,0
4x4,0	15,1	345	5,09	34	10,0
4x6,0	18,2	535	3,39	44	6,7
4x10	23,0	830	1,95	61	4,0
4x16	27,5	1195	1,24	82	2,5
4x25	33,1	1795	0,795	108	1,55
4x35	36,8	2335	0,565	135	1,15
4x50	42,9	3230	0,393	168	0,84
4x70	48,3	4285	0,277	207	0,58
4x95	53,8	5525	0,210	250	0,44
4x120	61,5	7005	0,164	292	0,36
5x1,0	11,1	165	20,0	15	42,0
5x1,5	12,2	210	13,7	18	27,0
5x2,5	14,5	305	8,21	26	17,0
5x4,0	16,8	435	5,09	34	10,0
5x6,0	20,1	620	3,39	44	6,7
5x10	25,3	1030	1,95	61	4,0
5x16	30,5	1500	1,24	82	2,5
5x25	36,6	2210	0,795	108	1,55
7x1,5	16,3	320	13,7	–	27,0
7x2,5	18,6	445	8,21	–	17,0
12x1,5	19,1	485	13,7	–	27,0
12x2,5	22,3	690	8,21	–	17,0
18x1,5	22,4	680	13,7	–	27,0
18x2,5	26,4	985	8,21	–	17,0
27x1,5	26,8	965	13,7	–	27,0
27x2,5	31,7	1410	8,21	–	17,0
36x1,5	30,1	1235	13,7	–	27,0
36x2,5	35,8	1825	8,21	–	17,0

ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΓΩΓΟΥ: 60°C

Οι παραπάνω εντάσεις φόρτισης δίνονται για θερμοκρασία περιβάλλοντος 30 °C. Για άλλες θερμοκρασίες περιβάλλοντος ισχύει ο συντελεστής διόρθωσης:

**Ένταση Φόρτισης**

Θερμοκρασία °C	15	20	25	30	35	40	45	50
Συντελεστής διόρθωσης	1,22	1,15	1,08	1,0	0,91	0,82	0,71	0,58

Η επιτρεπόμενη ένταση φόρτισης των πολυπολικών καλωδίων εξαρτάται από τον αριθμό των φορτιζόμενων αγωγών.

Αριθμός φορτιζόμενων αγωγών	5	7	10	12	14	16	19	21	24
Συντελεστής μείωσης	0,70	0,63	0,57	0,54	0,51	0,49	0,45	0,43	0,40

**Λαμβανόμενη αρχική φόρση**

1.5 mm <sup>2</sup>	18A
2.5 mm <sup>2</sup>	25A

Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικά αγωγών βάσει των διατομών τους [15]

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Σύνδεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο

Ο πίνακας 6.3 απαριθμεί τύπους καλωδίων από διάφορους κατασκευαστές και τα χαρακτηριστικά τους.

Μοντέλα καλωδίων για εξωτερική εφαρμογή	Κατασκευαστές	Ονομαστική τάση(V/V)	Εύρος θερμοκρασιών (°C)	Διατομές καλωδίων (mm <sup>2</sup> )
Lapptherm Solar Plus	Lapp cable	900/1500	-50 - 120	2.5 / 4 / 6 / 10
Flex-Sol	Multi-Contact	600/1000	-40 - 90	2.5 / 4/6
Radox 125	Huber+Suhner	600/1000	-25 - 125	2.5 / 4/6
Siemens solar cable	Siemens AG	1800/3000	-40 - 120	2.5 / 4/6
Solar cable C	Solar-Kabel GmbH	1800/3000	-25 - 90	2.5 / 4/6
Solarflex 101	Helukabel GmbH	600/1500	-30 - 125	2.5 / 4 / 6 / 10 / 16
Tecsam S1ZZ - F	Pirelli Kabel und Systeme GmbH	900/1800	-40 - 120	2.5 / 4 / 6 / 10
Titanex H07RN - F	ConCab cable	450/750	-35 - 85	2.5 / 4

Πίνακας 6.3 : Τύποι καλωδίων [5]

### 6.3.2 Καλώδιο συνεχούς ρεύματος

Το συνεχές dc καλώδιο συνδέει το κιβώτιο συνδέσεων του φωτοβολταϊκού με τον αναστροφέα. Για τις συνδέσεις μεταξύ των πλαισίων χρησιμοποιούνται συνήθως εύκαμπτα μονοπολικά καλώδια με ενισχυμένη μόνωση, με τις ανωτέρω τουλάχιστον απαιτήσεις. Ο συνδυασμός αυτός των απαιτήσεων είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί από κοινά τυποποιημένα καλώδια και απαιτεί τη χρήση ειδικών μειγμάτων πλαστικών για μόνωση. Εκτός από τους τύπους καλωδίων που αναφέρθηκαν νωρίτερα, για οικονομικούς λόγους χρησιμοποιείται και το κοινό PVC καλώδιο (NYM ή NYJ). Εάν η εγκατάσταση είναι υπαίθρια, τα PVC πρέπει να τοποθετηθούν σε έναν προστατευτικό σωλήνα, δεδομένου ότι δεν είναι ανθεκτικά στην ηλιακή ακτινοβολία.

### 6.3.3 Καλώδιο σύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος και είδη καλωδίων

Το καλώδιο σύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος ac συνδέει τον αναστροφέα με το δίκτυο μέσω του εξοπλισμού προστασίας. Στην περίπτωση των τριφασικών αναστροφέων, η σύνδεση στο δίκτυο χαμηλής τάσης γίνεται χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο πέντε πόλων. Γενικότερα, στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος



ακολουθούνται οι κανόνες που απορρέουν από τον HD384. Έτσι για τους μονοφασικούς αναστροφείς χρησιμοποιείτε καλώδιο τριπολικό τύπου NYM ή NYΥ.

#### 6.4 Αντικεραυνική Προστασία

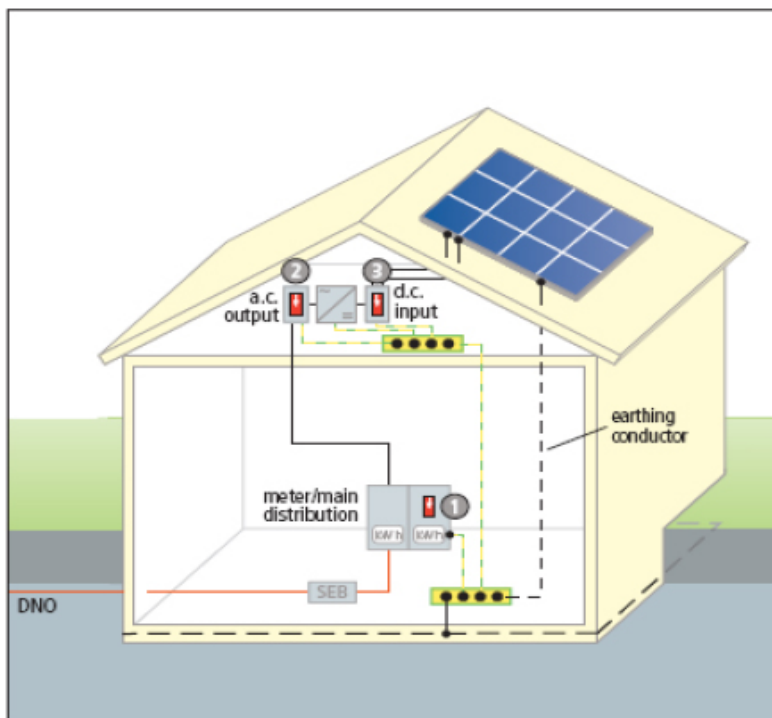
Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις λόγω της θέσης τους στις στέγες των σπιτιών και εξαιτίας της μεγάλης έκτασης της οποίας καλύπτουν, είναι περισσότερο ευάλωτες στα άμεσα κεραυνικά πλήγματα και στις εισερχόμενες υπερτάσεις από της συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο κίνδυνος από άμεσο κεραυνικό πλήγμα στις στέγες δεν αυξάνεται όμως με την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών. Η αναγκαιότητα εφαρμογής προστασίας από υπερτάσεις όμως είναι πλέον απαραίτητη σύμφωνα με το ΦΕΚ470 (5 Μαρτίου 2004) Άρθρα 3 έως και 6, όπου τα φαινόμενα εκδήλωσης υπερτάσεων, θα πρέπει να αντιμετωπιστούν σύμφωνα με τα ισχύοντα εθνικά και ευρωπαϊκά πρότυπα, τα οποία είναι τα πρότυπα σειράς ΕΛΟΤ EN 61643. [11]

##### 6.4.1 Κτίρια χωρίς αντικεραυνική προστασία

Σε ένα κτίριο χωρίς υπάρχουσα αντικεραυνική προστασία (ΑΠ), οι πιθανές τοποθεσίες εγκατάστασης εκτροπέων υπέρτασης είναι:

- 1: Παροχή χαμηλής τάσης
- 2: Η ac έξοδος του αναστροφέα
- 3: Η dc είσοδος του αναστροφέα



Σχήμα 6.6: Αντικεραυνική προστασία σε κτίριο χωρίς εξωτερική ΑΠ [16]

Εάν η απόσταση μεταξύ του αναστροφέα και της θέσης του εκτροπέα υπέρτασης είναι μικρότερη από 5m, η ac έξοδος του αναστροφέα είναι επαρκώς προστατευμένη. Για μεγαλύτερα μήκη αγωγών, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν επιπλέον συσκευές προστασίας στην ac είσοδο του αναστροφέα, συσκευές που ονομάζονται απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων SPDs. Οι αναστροφείς είναι πολύ ευαίσθητοι σε μεταβατικές υπερτάσεις και κρουστικά ρεύματα που προκαλούνται από κεραυνούς ή χειρισμούς μεγάλων διακοπών. Οι απαγωγοί κρουστικών υπερτάσεων SPDs (αντικεραυνικά), είναι διατάξεις προστασίας οι οποίες έχουν ως σκοπό την μείωση των επαγόμενων κρουστικών τάσεων στις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές που υπάρχουν στην εγκατάσταση αποτρέποντας περαιτέρω ζημιές. Πιο αναλυτικά, είναι συσκευές που σε ονομαστικές τάσεις του δικτύου ή σε μικρές υπερτάσεις αυτού, παρουσιάζουν εσωτερική αντίσταση σχεδόν άπειρη ενώ όταν η τιμή της τάσης του δικτύου υπερβεί κάποια τιμή, όπως συμβαίνει στην περίπτωση διέλευσης κρουστικής τάσης, τότε η εσωτερική αντίσταση μικραίνει ακαριαία και τείνει στο μηδέν, οδηγώντας την επικίνδυνη υπέρταση στη γείωση καθ' όλη την χρονική διάρκεια που εφαρμόζεται στο δίκτυο. Μετά την παρέλευση του φαινομένου και επαναφορά της τάσης του δικτύου στα φυσιολογικά επίπεδα, ο απαγωγός ανακτά την αρχική του άπειρη αντίσταση προστατεύοντας την εγκατάσταση από το καταστροφικό κεραυνικό ρεύμα ενώ παράλληλα εξασφαλίζει την αδιάλειπτη λειτουργία της εγκατάστασης. [17]

### 6.4.2 Κτίρια με Σύστημα Αντικεραυνικής Προστασίας

Σε περίπτωση ήδη υπάρχουσα αντικεραυνικής προστασίας στο κτίριο, το φωτοβολταϊκό σύστημα που τοποθετείται στην στέγη θα πρέπει να σχεδιαστεί από την αρχή λαμβάνοντας υπόψη το υπάρχον αντικεραυνικό σύστημα. Για το λόγο αυτό το φωτοβολταϊκό πρέπει να εγκατασταθεί μέσα στη ζώνη προστασίας του συστήματος της εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η προστασία του ενάντια στα άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Με τη χρήση κατάλληλων συλλεκτικών συστημάτων, όπως για παράδειγμα τεταγμένα σύρματα, άμεσα κεραυνικά πλήγματα μπορούν να αποφευχθούν. Ακόμα πρέπει να ληφθεί υπόψη η απόσταση ασφαλείας ανάμεσα στα φωτοβολταϊκά στοιχεία και στα μεταλλικά μέρη όπως το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Στην περίπτωση αυτή ο αγωγός γείωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 6m. Επιπλέον, μπορούν να τοποθετηθούν επιπρόσθετες ακίδες, να γίνει εφαρμογή ισοδυναμικών συνδέσεων και ηλεκτροδίων γείωσης.

Επίσης, για μεγαλύτερα μήκη αγωγών μεταξύ αναστροφέα και της θέσης του εκτροπέα υπέρτασης, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν επιπλέον συσκευές

## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Σύνδεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο

προστασίας στην ac είσοδο του αναστροφέα (απαγωγί κρουστικών υπερτάσεων SPDs.).

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η αντικεραυνική προστασία ενός φωτοβολταϊκού σε κτίριο με ήδη υπάρχον αντικεραυνική προστασία.

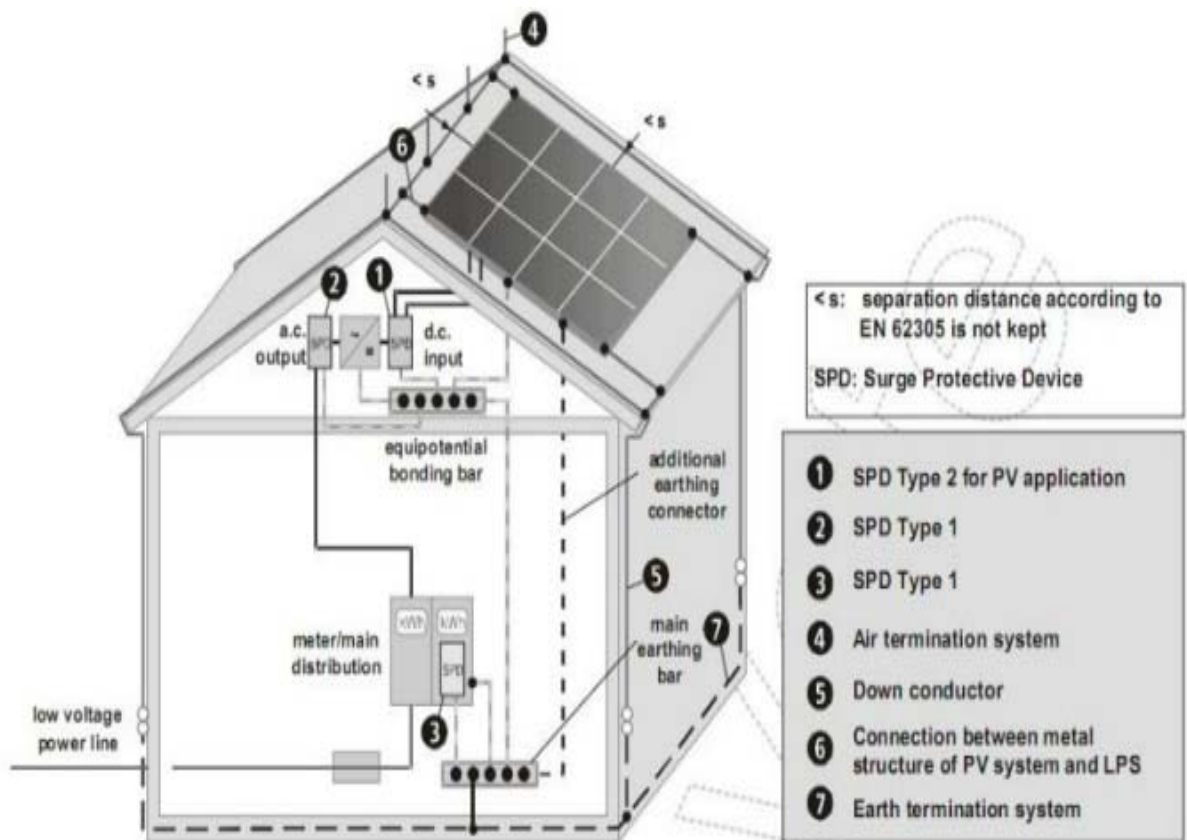
Όπου :

**1,2**= συσκευές προστασίας στην ac έξοδο και στην dc είσοδο του αναστροφέα (απαγωγί κρουστικών υπερτάσεων SPDs.).

**3** = συσκευές προστασίας -απαγωγί κρουστικών υπερτάσεων SPDs

**4** = τερματικό σύστημα αέρα **5** = Αγωγός Γείωσης

**6** = Σύνδεση Φ/β και Προστασίας **7** = τερματικό σύστημα γης



**Σχήμα 6.7:** Αντικεραυνική προστασία φωτοβολταϊκού σε κτίριο με ήδη υπάρχον αντικεραυνική προστασία [17]

### 6.5 Γείωση Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Υπάρχουν τριών ειδών γειώσεις, ανάλογα με τη χρήση τους.

- Γείωση λειτουργίας : είναι η γείωση που γίνεται για λειτουργικούς λόγους και γειώνεται ένα ενεργό σημείο του κυκλώματος καθώς και ο ουδέτερος αγωγός (άμεση και έμμεση).



- Γείωση προστασίας : είναι η γείωση ενός μεταλλικού μέρους που δεν είναι στοιχείο ενεργού κυκλώματος π.χ γειώνονται οι μεταλλικές βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών γεννητριών.
- Γείωση του συστήματος της αντικεραυνικής προστασίας : είναι η ανοιχτή ή συνεχής γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας. Οι γειώσεις αυτές διοχετεύουν το ρεύμα των κεραυνών προς τη γη. Οι ανοιχτές γειώσεις μειώνουν την ηλεκτροχημική διάβρωση. [18]

Σκοπός της γείωσης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι να προστατεύει της φωτοβολταϊκές συστοιχίες από τον κίνδυνο για άμεσο πλήγμα από κεραυνό, διαχέοντας το ρεύμα του αγωγού στο έδαφος μέσω των ηλεκτροδίων γείωσης. Επιπλέον, το σύστημα γείωσης προστατεύει τα ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά συστήματα (π.χ αναστροφείς, μετατροπείς) από τα αποτελέσματα του κεραυνού, δηλαδή από την εμφάνιση επικίνδυνων υπερτάσεων. Επιπλέον, συνδέει ισοδυναμικά τους αγωγούς καθόδου καθώς και αναχαιτίζει τον κεραυνό σε περίπτωση επιφανειακής διάσπασης του εδάφους. [16]

### 6.5.1 Σύστημα Θεμελιακής Γείωσης

Όλες οι βάσεις και τα μεταλλικά μέρη επί οροφής, πρέπει να είναι ισοδυναμικά συνδεδεμένα με την χρήση αγωγού κατάλληλης διατομής ( $\Phi 10$ ). Στα 2 αντιδιαμετρικά άκρα του πάρκου, (5-A) πλευρά του πάρκου, εγκαθίστανται κάθοδοι, οι οποίοι οδηγούν σε 2 τρίγωνα γείωσης τα οποία εξασφαλίζουν την σύνδεση των μεταλλικών τμημάτων με την Γη και παρέχουν ένα σταθερό σύστημα γείωσης προστασίας και λειτουργίας. Τρίγωνα Γείωσης επίσης τοποθετούνται πλησίον του ερμαρίου της ΔΕΗ καθώς και ένα επιπλέον στην ΝΔ πλευρά του χώρου. Και στις 2 περιπτώσεις το τρίγωνο βρίσκεται σε βάθος 1μ από την επιφάνεια της γης, ενώ αποτελείται από 3 ηλεκτρόδια  $\Phi 20 \times 150 \text{cm}$  τοποθετημένα κάθετα στην γη, σχηματίζοντας ισόπλευρο τρίγωνο πλευράς 2.5μ, το οποίο συμπληρώνεται με λάμα  $30 \times 3$  από θερμογαλβανισμένο χάλυβα. Τα δυο ηλεκτρόδια διατρέχει χαλκαγωγός διατομής  $50 \text{ mm}^2$  ο οποίος και συνδέεται αφενός στην γείωση των απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων, αφετέρου στον εξοπλισμό της ΔΕΗ. Ο δεύτερος αγωγός, παραμένει συνδεδεμένος σε αναμονή, παρέχοντας έτσι ασφάλεια σε περίπτωση αστοχίας. Και τα δύο τρίγωνα παραμένουν συνδεδεμένα με το υπόλοιπο σύστημα θεμελιακής γείωσης παρέχοντας έτσι ένα πλήρες και ισοδυναμικό σύστημα γείωσης και προστασίας του φωτοβολταϊκού. [19]

### 6.5.2 Γείωση Προστασίας

Σκοπός της γείωσης προστασίας είναι να μηδενιστεί η πιθανότητα να τεθεί υπό κατάσταση ηλεκτρικού δυναμικού οποιαδήποτε αγωγίμη επιφάνεια με την οποία δύναται να έρθει σε επαφή ο άνθρωπος. Δημιουργώντας μια κατασκευή στην οποία όλες οι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα επιφάνειες είναι συνδεδεμένες έμμεσα ή άμεσα με το σύστημα γείωσης απομακρύνουμε τον κίνδυνο ατυχήματος.

Η γείωση προστασίας μπορεί να εφαρμοστεί με τρεις τρόπους:

**Άμεση Γείωση:** όλες οι εκτεθειμένες στην ατμόσφαιρα κατασκευές οι οποίες είναι αγωγίμες συνδέονται μέσω του αγωγού γείωσης (ή αγωγού προστασίας) απευθείας με τη γη (δηλαδή το ηλεκτρόδιο γείωσης). Οι μεταλλικές επιφάνειες της ίδιας σειράς είναι ισοδυναμικά συνδεδεμένες, ενώ όλες οι σειρές διασυνδέονται με αγωγό διατομής 1x50 mm<sup>2</sup> (κιτρινοπράσινο) προκειμένου να διασφαλιστεί η ισοδυναμική γείωση μεταξύ όλων των σειρών του φωτοβολταϊκού. Τα πάνελ θα είναι και αυτά συνδεδεμένα από κατάλληλη οπή και μέσω αγωγού διατομής 1x6mm<sup>2</sup> (κιτρινοπράσινο) με τις μεταλλικές βάσεις. Οι μεταλλικές σχάρες μέσα στις οποίες θα οδεύουν τα καλώδια είναι συνδεδεμένες και αυτές με την ισοδυναμική γείωση των σειρών του πάρκου μέσω αγωγού διατομής 1x6mm<sup>2</sup> (κιτρινοπράσινο). Η μπάρα γείωσης του κεντρικού πίνακα, οι απαγωγείς κρουστικών υπερτάσεων εντός αυτού, καθώς επίσης και η ισοδυναμική γείωση των σειρών του φωτοβολταϊκού θα συνδεθούν με ένα τρίγωνο γείωσης που κατασκευάζεται δίπλα στο κτίριο μέσω αγωγού διατομής 1x50mm<sup>2</sup>. Στην περίμετρο της κάθε στέγης τοποθετείται συλλεκτήριο σύστημα συλλογής και καθόδου άμεσων κεραυνικών πληγμάτων αποτελούμενο από χαλύβδινους αγωγούς διατομής Φ10 και αγωγούς καθόδου εγκατεστημένους στο κάθετο τμήμα του κτιρίου και οι οποίοι θα καταλήγουν στο σύστημα γείωσης του φωτοβολταϊκού.

**Ουδέτερωση:** Σύνδεση του αγωγού γείωσης με τον ουδέτερο που γίνεται μέσα στον μετρητή και μόνο από τη ΔΕΗ. Από αυτό το σημείο ξεκινάει ο αγωγός γείωσης που συνδέεται με το ηλεκτρόδιο γείωσης.

**Γείωση με Διακόπτη Διαφυγής Έντασης:** όταν για οποιοδήποτε λόγο προκληθεί διαρροή έντασης προς τη γη προκαλείται διακοπή της γραμμής.[20]

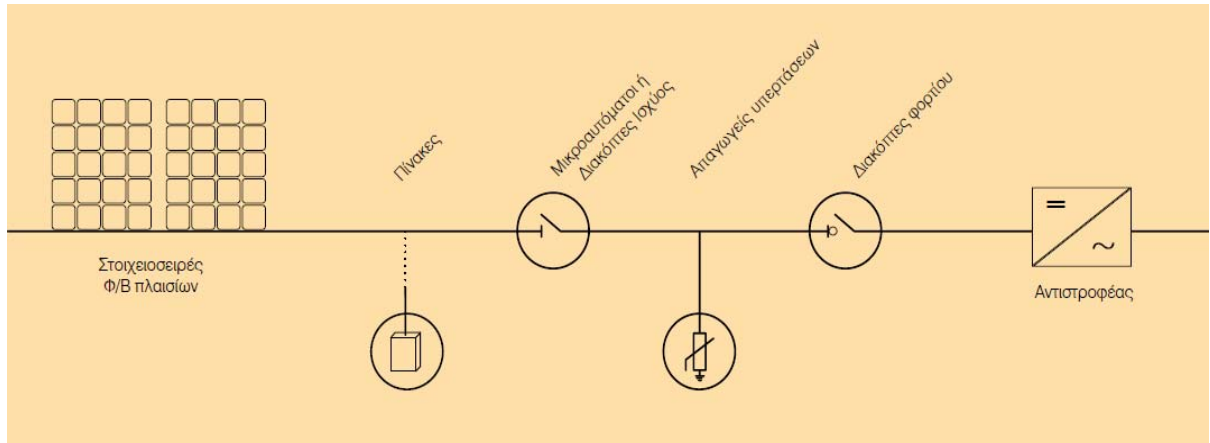
### 6.5.3 Αντικεραυνική Προστασία από Έμμεσα Πλήγματα

Εντός του φωτοβολταϊκού συστήματος και ειδικότερα εντός του κεντρικού πίνακα, και προκειμένου να προστατευθεί ο εξοπλισμός από κρουστικές υπερτάσεις του δικτύου που δύνανται να επαχθούν στο δίκτυο λόγω κεραυνόπτωσης, θα εγκατασταθούν τα συστήματα προστασίας RayvossR. Πρόκειται για συστήματα που βασίζονται στην πρωτοποριακή τεχνολογία StrikesorbR και εξασφαλίζουν απόλυτη

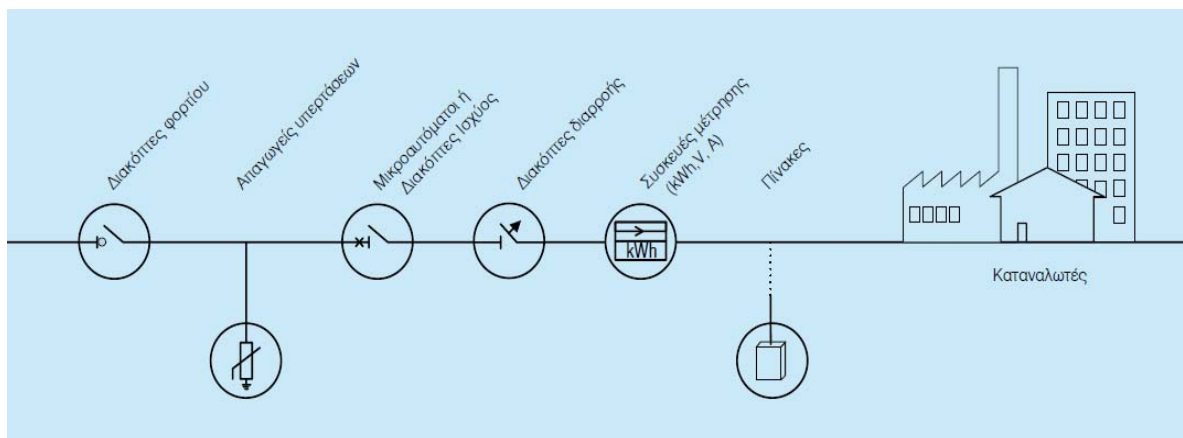
προστασία από κρουστικές υπερτάσεις. Χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για την προστασία κρίσιμης ηλεκτρονικής υποδομής σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως σε τηλεπικοινωνίες, συστήματα βιομηχανικού αυτόματου ελέγχου, αμυντικά συστήματα, κέντρα μηχανογράφησης, νοσοκομεία, ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά συστήματα καθώς και σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η σχεδίαση του StrikesorbR αποκλείει τον κίνδυνο καταστροφικής αστοχίας, έκρηξης ή πρόκλησης πυρκαγιάς - φαινόμενα συχνά σε συμβατικές διατάξεις προστασίας - ενώ παράλληλα παρέχει πολύ χαμηλές τιμές παραμένουσας τάσης και εξαιρετικά επίπεδα προστασίας. Τα στοιχεία StrikesorbR παρουσιάζουν αξιοσημείωτα υψηλή αντοχή σε πολλαπλά επαναλαμβανόμενα κεραυνικά πλήγματα και μπορούν να διαχειριστούν πολλαπλές υπερτάσεις χωρίς καμία ανάγκη συντήρησης. Πρόκειται για τα μοναδικά στοιχεία προστασίας έναντι υπερτάσεων αναγνωρισμένα κατά UL 1449 (3η έκδοση) που λειτουργούν ασφαλώς χωρίς τη χρήση εσωτερικών ασφαλειών. Αυτό το μοναδικό χαρακτηριστικό, σε συνδυασμό με την δυνατότητα σύνδεσης εν σειρά με τα καλώδια παροχής ηλεκτρικής ενέργειας (direct connection) καθιστά τα συστήματα RayvossR και τα στοιχεία StrikesorbR ως την πιο αξιόπιστη λύση προστασίας του κρίσιμου ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες συμβατικές τεχνολογίες, τα συστήματα RayvossR και τα στοιχεία StrikesorbR εξασφαλίζουν συνεχή αποτελεσματική προστασία ακόμη και υπό τις πλέον αντίξοες καιρικές συνθήκες ή σε συνθήκες κακής ποιότητας παροχής ρεύματος, χωρίς να απαιτούν συντήρηση ή επίβλεψη. [19]

### **6. 6 Μέσα Προστασίας Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών**

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η βασική δομή μιας εγκατάστασης Φ/Β με όλα τα απαραίτητα μέσα για την πλήρη προστασία της. Οι λειτουργίες των διακοπών ισχύος, των απαγωγέων υπερτάσεων (αντικεραυνικά) καθώς και των διακοπών φορτίου (απομόνωσης) συνδυαζόμενες μεταξύ τους δημιουργούν ένα αδιαπέραστο εμπόδιο ικανό να αποτρέψει επικίνδυνες βλάβες ή δυσλειτουργίες. Τα περισσότερα από αυτά τα προϊόντα μπορούν να εγκατασταθούν και σε ράγα DIN διευκολύνοντας πολύ την εγκατάσταση.



**Σχήμα 6.8:** Μέσα προστασίας σε κύκλωμα συνεχούς τάσης DC [21]



**Σχήμα 6.9:** Μέσα προστασίας σε κύκλωμα εναλλασσόμενης τάσης AC [21]

### Μικροαυτόματοι ή Αυτόματοι διακόπτες ισχύος ανοιχτού ή κλειστού τύπου

Οι μικροαυτόματοι και οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος προστατεύουν μια ηλεκτρική εγκατάσταση από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα. Στο κύκλωμα συνεχούς τάσης του φωτοβολταϊκού συστήματος (DC πλευρά), οι μικροαυτόματοι προστατεύουν κάθε στοιχειοσειρά πλαισίων (string) από ρεύματα ανάστροφης φοράς καθώς επίσης και από την έγχυση εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) στο κύκλωμα συνεχούς σε πιθανή βλάβη του αναστροφέα (inverter). Κάθε στοιχειοσειρά πλαισίων (ηλιακοί συλλέκτες) πρέπει να προστατεύεται ξεχωριστά ώστε να εξασφαλίζεται ο περιορισμός του σφάλματος μόνο σ' εκείνη τη στοιχειοσειρά που αντιμετωπίζει το πρόβλημα, επιτρέποντας την κανονική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την υπόλοιπη εγκατάσταση. Μετά τη διόρθωση του σφάλματος είναι εφικτή η επαναλειτουργία της γεννήτριας, είτε χειροκίνητα είτε με τηλεχειρισμό. Η ευκολία με την οποία μπορεί να απομονωθεί ηλεκτρικά, για λόγους συντήρησης ή επέκτασης, κάποιο μέρος του συστήματος, αποτελεί ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα

### **Απαγωγείς υπερτάσεων (SPD's)**

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και οι αναστροφείς είναι πολύ ευαίσθητα σε μεταβατικές υπερτάσεις και κρουστικά ρεύματα που προκαλούνται από κεραυνούς ή χειρισμούς μεγάλων διακοπών. Οι απαγωγείς υπερτάσεων (αντικεραυνικά), για κυκλώματα συνεχούς τάσης, περιορίζουν αυτές τις υπερτάσεις, προστατεύοντας τον εξοπλισμό και αποτρέποντας περαιτέρω ζημιές στην εγκατάσταση. Για το λόγο αυτό θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη, κατά τη διάρκεια σχεδιασμού μιας τέτοιας επένδυσης.

### **Διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων συνεχούς τάσης (DC)**

Οι διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων συνεχούς τάσης χρησιμοποιούνται για τη ζεύξη ή απόζευξη ενός κυκλώματος υπό φορτίο, με ονομαστική τάση λειτουργίας έως και 1.200 VDC σύμφωνα με τα πρότυπα IEC 60364-7-712, IEC 60947 για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ο εύκολος χειρισμός τους διευκολύνει τις εργασίες συντήρησης ή επέκτασης ενός κυκλώματος, αυξάνοντας τη χρηστικότητα της εγκατάστασης και καθιστώντας τους μια άριστη επένδυση.

### **Διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων εναλλασσόμενης τάσης (AC)**

Οι διακόπτες φορτίου κυκλωμάτων εναλλασσόμενης τάσης χρησιμοποιούνται για τη ζεύξη ή απόζευξη ενός κυκλώματος υπό φορτίο.

### **Διακόπτες διαρροής (RCD's)**

Οι διακόπτες διαρροής προστατεύουν το προσωπικό και τον εξοπλισμό μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης από ηλεκτροπληξία ή εκδήλωση πυρκαγιάς. Η ύπαρξη των διακοπών διαρροής στους πίνακες διανομής μιας εγκατάστασης είναι επιβεβλημένη. Ιδικοί διακόπτες διαρροής προσφέρουν προστασία από παλμικά ρεύματα με συνεχείς συνιστώσες και εξαιρετικά μικρούς χρόνους αντίδρασης σύμφωνα με το πρότυπο IEC 62423, καθιστώντας τους ιδανικούς για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων.

### **Μετρητές ενέργειας**

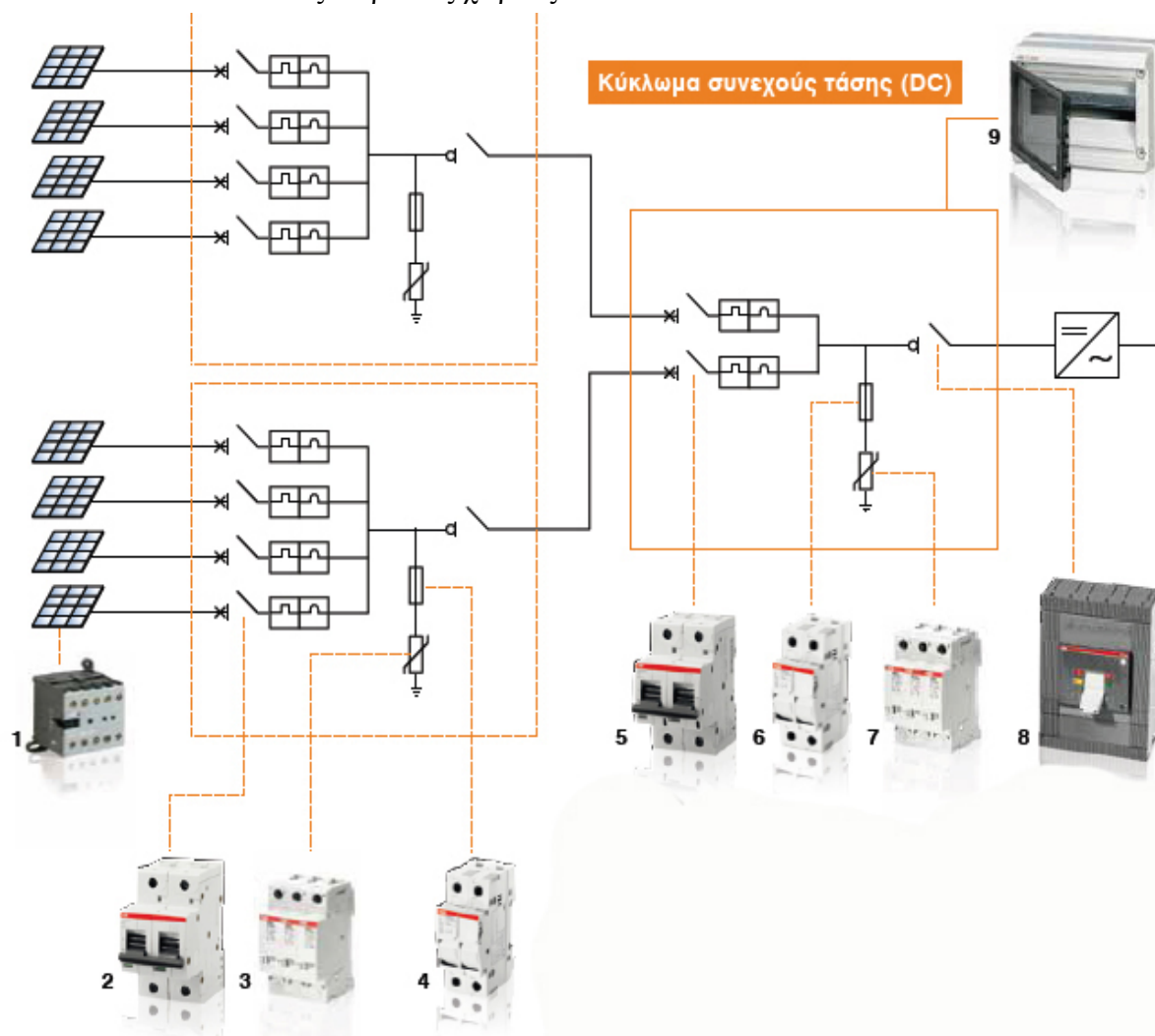
Μετρούν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Οι μετρητές ενέργειας μπορούν εύκολα να εγκατασταθούν σε πίνακες με ράγα DIN και να ενσωματωθούν σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής και μεταφοράς δεδομένων μέσω κατάλληλων σειριακών μονάδων επικοινωνίας

### **Πίνακες**

Οι πίνακες χρησιμοποιούνται τόσο στο κύκλωμα συνεχούς (DC) όσο και στο κύκλωμα εναλλασσόμενης (AC) τάσης. Συνιστάται να είναι κλάσης II και να

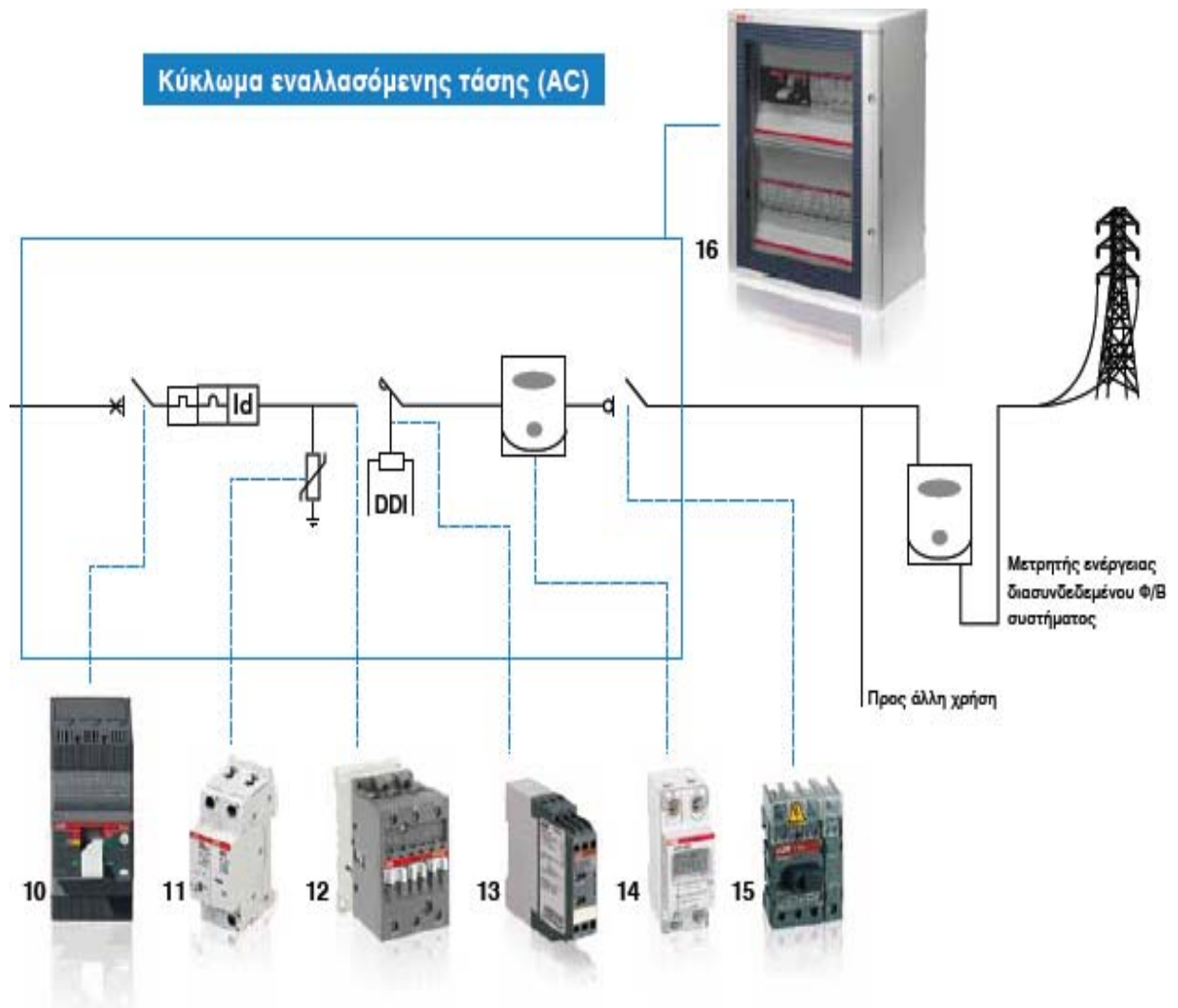
## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Σύνδεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο

διαθέτουν βαθμό προστασίας έναντι εισερχομένων σωματιδίων και υγρασίας IP 65, όταν τοποθετούνται σε εξωτερικούς χώρους.



**Σχήμα 6.10:** Διάγραμμα κυκλώματος συνεχούς τάσης

- 1: Μίνι τηλεχειριζόμενοι διακόπτες αέρος, σειρά B: έλεγχος trackers
- 2: Μικροαυτόματοι διακόπτες S800PV-S: Προστασία από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα. Τάση λειτουργίας έως 1.200 VDC.
- 3: Απαγωγείς υπερτάσεων OVR PV: Προστασία από ατμοσφαιρικές ή βιομηχανικές μεταβατικές υπερτάσεις. Τάση λειτουργίας έως 1.000 VDC.
- 4: Ασφαλειοαποξεύκτες E90PV και κυλινδρικές ασφάλειες: Προστασία από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα. Τάση λειτουργίας έως 1.000 VDC.
- 5: Μικροαυτόματοι διακόπτες S800PV-S.
- 6: Ασφαλειοαποξεύκτες E90PV και κυλινδρικές ασφάλειες.
- 7: Απαγωγείς υπερτάσεων OVR PV.
- 8: Διακόπτες φορτίου Tmax-PV: Ζεύξη-απόξευξη υπό πλήρες φορτίο. Τάση λειτουργίας έως 1.100 VDC.
- 9: Επίτοιχοι στεγανοί πλαστικοί πίνακες EUROPA (IP 65) και GEMINI (IP 66)



Σχήμα 6.11: Διάγραμμα κυκλώματος εναλλασσόμενης τάσης

**10.**Αυτόματοι διακόπτες ισχύος  $T_{max}$ . Προστασία από υπερφόρτιση ή βραχυκύκλωμα. Τάση λειτουργίας έως 690 VAC.

**11.**Απαγωγείς υπερτάσεων OVR: Προστασία από ατμοσφαιρικές ή βιομηχανικές μεταβατικές υπερτάσεις.

**12.**Τηλεχειριζόμενοι διακόπτες αέρος, σειρά A: αυτόματος χειρισμός εγκατάστασης.

**13.**Επιτηρητές δικτίου: Ανίχνευση σφαλμάτων υπέρτασης- υπότασης, υπερσυχνότητας-υποσυχνότητας.

**14.**Μετρητές ενέργειας: Μονοφασικών ή τριφασικών εγκαταστάσεων.

**15.**Διακόπτες φορτίου OT: Ζεύξη-απόζευξη υπό πλήρες φορτίο. Τάση λειτουργίας έως 690 VAC.

**16.** Επίτοιχοι στεγανοί πίνακες EUROPA (IP 65) και GEMINI (IP 66)

## 6.7 Φαινόμενο Νησιδοποίησης

Νησιδοποίηση είναι η κατάσταση στην οποία περιέρχεται ένα τμήμα ηλεκτρικού δικτύου (που περιλαμβάνει τοπικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής - φωτοβολταϊκά συστήματα, και καταναλώσεις) όταν διακοπεί η κύρια πηγή τροφοδοσίας του, δηλαδή το Σύστημα - ΔΕΗ, και συνεχίζει να τροφοδοτείται μόνο από τις μονάδες παραγωγής που βρίσκονται στην υπόψη περιοχή. [22]

Αν ένα τμήμα του δικτύου, θεωρηθεί ως τμήμα νησιδοποίησης, τότε δεν μπορεί να εφαρμοστεί κανένας έλεγχος από το σύστημα, τόσο στη τάση όσο και στη συχνότητα της «νησίδας».

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης μπορεί να εμφανιστεί λόγω των παρακάτω:

- Ως αποτέλεσμα ενός σφάλματος που ανιχνεύεται από τα όργανα προστασίας του δικτύου και προκαλεί το άνοιγμα μιας συσκευής προστασίας κατά του σφάλματος, αλλά που δεν ανιχνεύεται από τον αναστροφέα του φωτοβολταϊκού συστήματος (μη ανιχνεύσιμα σφάλματα γραμμής).
- Ως αποτέλεσμα τυχαίου ανοίγματος της γραμμής διανομής του δικτύου λόγω εσφαλμένης λειτουργίας του εξοπλισμού.
- Ως αποτέλεσμα απενεργοποίησης της γραμμής διανομής και των φορτίων για λόγους συντήρησης.
- Ως αποτέλεσμα ανθρώπινου λάθους, κακής εκτίμησης.

Οι λόγοι που θα πρέπει να αποφεύγεται η νησιδοποίηση είναι:

Η κατάσταση αυτή μπορεί να ΓΙΑ την αποφυγή φαινομένου νησιδοποίησης απαιτείται σύστημα προστασίας απόζευξης που να προκαλεί απόζευξη των τοπικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής κατά τη στιγμή που διακόπτεται η κύρια πηγή τροφοδότησης. [22]

- Προκαλεί σοβαρές διακυμάνσεις της τάσης και της συχνότητας του ρεύματος πέρα από τα επιτρεπτά όρια με δυσμενείς συνέπειες για τις λειτουργούσες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και άλλες συνδεδεμένες εγκαταστάσεις κυρίως από τη αδυναμία ανάληψης φορτίου πέρα από τη δεδομένη δυναμικότητά τους. Το δίκτυο δεν μπορεί να ελέγξει την τάση και τη συχνότητα στη νησίδα. Οι διακυμάνσεις τάσης ή συχνότητας μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό των πελατών. Οι ιδιοκτήτες των ηλεκτρικών δικτύων ανησυχούν γιατί θεωρούνται υπεύθυνοι για ζημιές στον ηλεκτρικό εξοπλισμό των πελατών τους, που συνδέονται στο δίκτυό τους, οι οποίες ζημιές είναι αποτέλεσμα των διακυμάνσεων τάσης και συχνότητας έξω από τα καθορισμένα όρια.

- Η νησιδοποίηση εμποδίζει την ομαλή αποκατάσταση του δικτύου.



## Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>: Σύνδεση Φωτοβολταϊκού Συστήματος με το Δίκτυο

- Το ανοιγοκλείσιμο σε μια νησίδα μπορεί να οδηγήσει στην συνεχόμενη εσφαλμένη λειτουργία της γραμμής ή την καταστροφή εξοπλισμού του φωτοβολταϊκού συστήματος. Αυτό θα συμβεί όταν ο εξοπλισμός δεν είναι σε φάση με το δίκτυο.

- Κίνδυνοι μπορεί να υπάρξουν και για προσωπικό που απασχολείται σε εργασίες αποκατάστασης της τροφοδοσίας της περιοχής της κύριας πηγής γιατί δεν γνωρίζει εάν οι αγωγοί συνεχίζουν να βρίσκονται υπό τάση, λόγω της λειτουργίας των τοπικών μονάδων. [23]

Διάφορες τεχνικές ανίχνευσης του φαινομένου νησιδοποίησης μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία. Αυτές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες ομάδες: τις παθητικές και τις ενεργητικές μεθόδους. Οι παθητικές μέθοδοι προσπαθούν να ανιχνεύσουν το φαινόμενο με τη βοήθεια της παρατήρησης της εξέλιξης των εξόδων των ηλεκτρικών μεταβλητών των αναστροφένων. Από την άλλη, οι ενεργητικές μέθοδοι διαταράσσουν αυτές τις μεταβλητές με σκοπό να ανιχνεύσουν το φαινόμενο σε σχέση με την αντίδραση του συστήματος. [24]

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης χρήζει ειδικού χειρισμού από τον αναστροφέα, ο οποίος πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορίσει μέσω κατάλληλων μετρήσεων την ύπαρξη του. Συνήθως για τον προσδιορισμό της κατάστασης νησιδοποίησης χρησιμοποιείται το πρότυπο VDE 0126-1-1 (Automatic disconnection device between a generator and the public lowvoltage grid) η συμμόρφωση προς το οποίο (ή αντίστοιχο ισοδύναμο του κατά τα πρότυπα άλλων χωρών πλην Γερμανίας ή χωρών που υιοθετούν τους Γερμανικούς κανονισμούς) είναι υποχρεωτική. Η ανίχνευση της κατάστασης νησιδοποίησης γίνεται συνήθως με παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου μέσω μετρήσεων τάσης, συχνότητας και σύνθετης αντίστασης και αν προσδιοριστεί τότε ο αντιστροφέας αποσυνδέεται αυτόματα από το δίκτυο. Ωστόσο, μετά την επαναφορά του δικτύου, ο αναστροφέας για λόγους προστασίας δε θα πρέπει να επανασυνδέεται αυτόματα αλλά να αφήνει την πάροδο χρόνου τουλάχιστον 3 λεπτών.

Το φαινόμενο της νησιδοποίησης είναι αρκετά σοβαρό και η 5EH ζητά την προσκόμιση πιστοποιητικών συμμόρφωσης προς το πρότυπο VDE 0126-1-1 από τις εταιρείες κατασκευής των αναστροφένων. Επιπλέον, αποτελεί έναν από τους κυριότερους ελέγχους της ΔΕΗ κατά τη δοκιμή ηλεκτρισής του σταθμού και την παραλαβή του.[19]

## 7. Κατασκευή Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

---

### 7.1 Γενικά

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να κατασκευαστούν με πολλούς τρόπους, αλλά και με διάφορα υλικά. Ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής τους, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να διακριθούν σε δύο διαφορετικές ομάδες. Η πρώτη ομάδα, χρησιμοποιεί την τεχνολογία πυκνών υμένων (thick film), ενώ η δεύτερη ομάδα χρησιμοποιεί την τεχνολογία λεπτών υμένων (thin film).

Το υλικό που χρησιμοποιείται κατά κόρον σήμερα για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων στη βιομηχανία είναι το πυρίτιο (Si). Φωτοβολταϊκά στοιχεία όμως κατασκευάζονται από συνδυασμό άλλων υλικών, όπως θειούχος κάδμιο (CdS), αρσενιούχο γάλλιο (GaAs), τελουριούχο κάδμιο (CdTe) και χαλκού-ινδίου-σεληνίου (CuInSe<sub>2</sub>), χαλκού-γάλλιου-δισεληνίου (CuGaSe<sub>2</sub>), χαλκού-ινδίου-θείου (CuInS<sub>2</sub>) κ.α.. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων.

### 7.2 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου (Si)

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

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125οC κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου αντεπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην

αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής. [25]

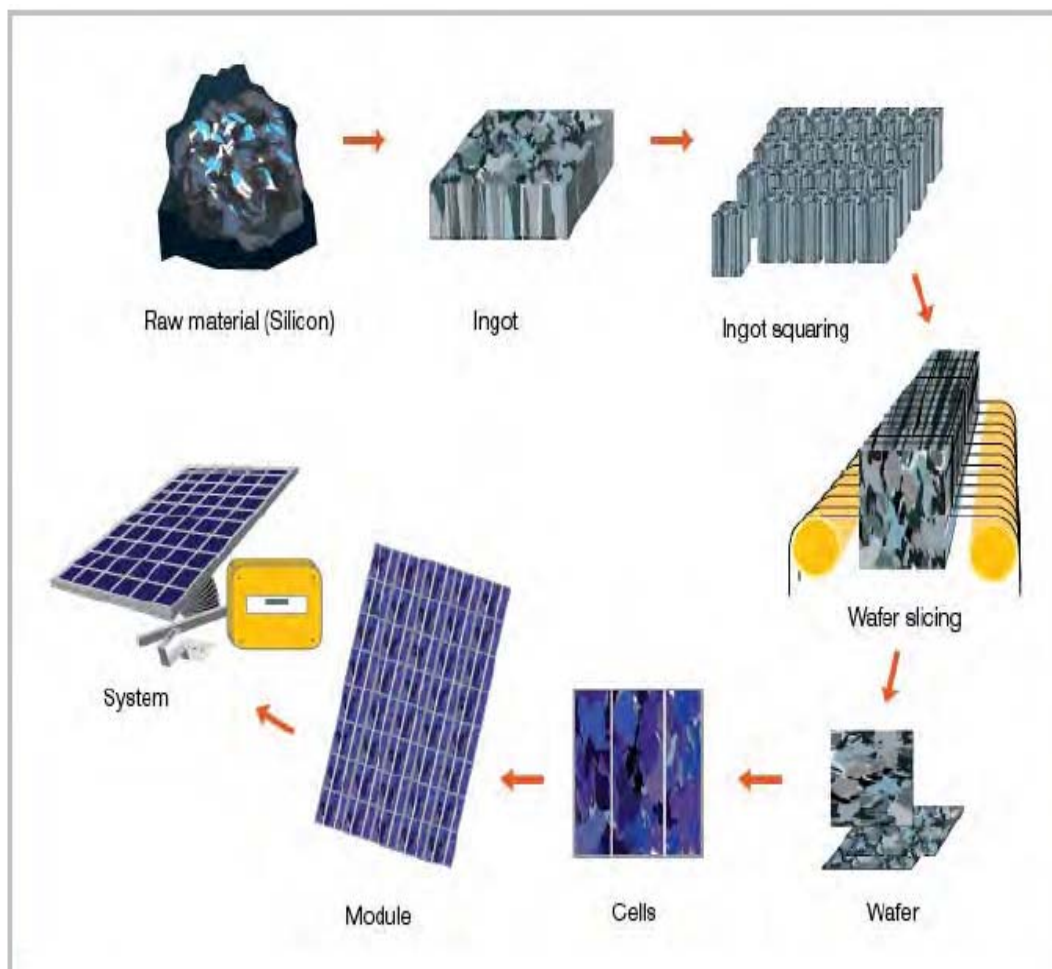


Πυρίτιο

Για να έχει το πυρίτιο ικανοποιητικές ιδιότητες για φωτοβολταϊκές εφαρμογές (π.χ. μεγάλη κινητικότητα, μεγάλο μήκος διάχυσης και μεγάλο χρόνο ζωής των φορέων-κυρίως των φορέων μειωνότητας-πριν από την επανασύνδεσή τους ) πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό του πλέγμα να μην έχει αταξίες στη δομή. Το πυρίτιο, αφού υποστεί ειδική επεξεργασία (καθαρισμό σε υψηλό βαθμό >99,99999%, αντίστοιχο αυτού που έχουν τα chips για τους υπολογιστές) γίνεται πολύ λεπτές φέτες (ηλιακά στοιχεία ή αλλιώς ηλιακές κυψέλες) που ενώνονται ηλεκτρικά μεταξύ τους για να σχηματίσουν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Περίπου το 30% της ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει σε μια επιφάνεια πυριτίου, αντανακλάται πάλι προς το περιβάλλον. Για να μειωθεί η μεγάλη αυτή απώλεια, επικαλύπτονται τα ηλιακά στοιχεία με ένα στρώμα από κατάλληλα αντανακλαστικά υλικά (π.χ.  $\text{SiO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ), που περιορίζουν την ανάκλαση περίπου στο 5%.

Η επίδραση της υγρασίας του περιβάλλοντος μπορεί να προκαλέσει πρόωρη φθορά στα ηλιακά στοιχεία και κυρίως στις ηλεκτρικές τους συνδέσεις. Γι' αυτό, τα συναρμολογημένα στοιχεία καλύπτονται συνήθως με ένα λεπτό γυαλί, που επικολλάται πάνω τους με τη βοήθεια ενός διαφανούς πλαστικού φύλλου, στεγανοποιούνται με μια περιμετρική ελαστική ταινία και το σύνολο συγκρατείται ισχυρά και μόνιμα με μια πρόσθετη ταινία. [ 26]

Επιπλέον, μια κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.



Σχήμα 7.1: Συναρμολόγηση ηλιακών στοιχείων σε πλαίσιο [2]

### 7.3 Τύποι Φωτοβολταϊκών Συστημάτων Πυριτίου «Μεγάλου Πάχους»

#### 7.3.1 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου (Single Crystalline Silicon, sc-Si)

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

τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία. [25]



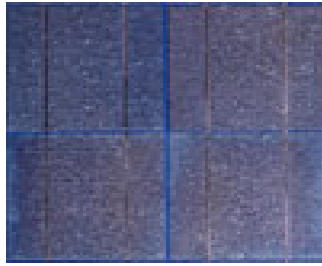
### 7.3.2 Φωτοβολταϊκά Κελιά Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

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



### 7.3.3 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Ταινίας Πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του φτάνει γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%. [25]

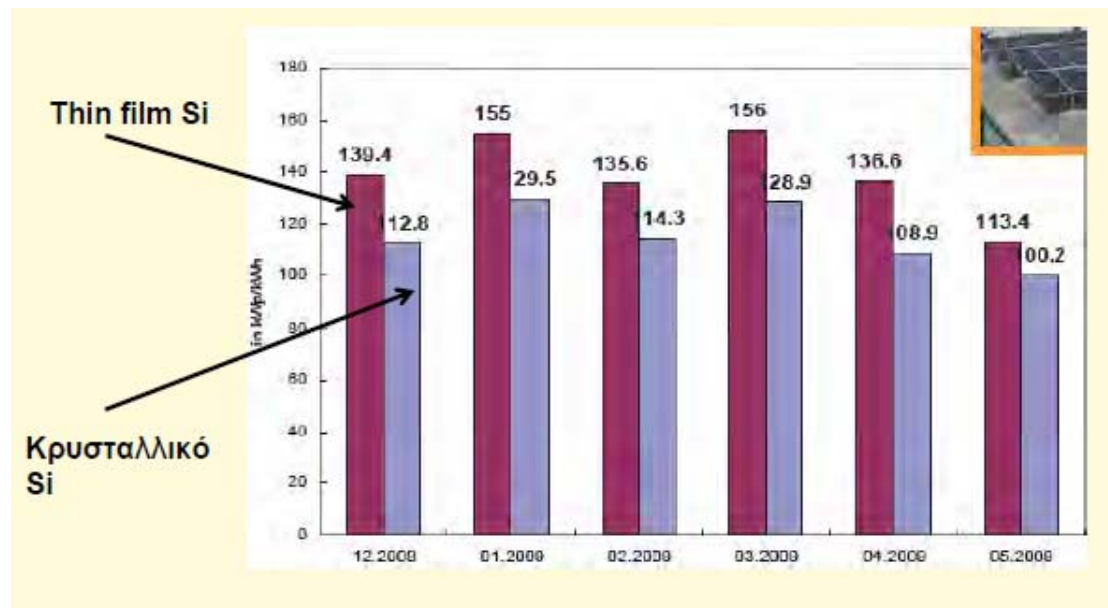


#### 7.4 Φωτοβολταϊκά Υλικά Λεπτών Επιστρώσεων Thin Film

Η τεχνολογία Thin Film καταλαμβάνει σήμερα περίπου το 10% της αγοράς και αναμένεται να φτάσει το 40% - 45% της συνολικής αγοράς των φωτοβολταϊκών τα επόμενα 4 -5 χρόνια. Παρόλο ότι τα στοιχεία Thin Film δεν έχουν αποδόσεις αντίστοιχες του κρυσταλλικού πυριτίου, διαθέτουν πολλά άλλα προτερήματα τα οποία τα καθιστούν άκρως ελκυστικά:

- Οι κυψέλες Thin Film αντέχουν περισσότερο στην ηλιακή ακτινοβολία και παράγουν περισσότερη ισχύ στη διάρκεια των μεσημεριανών ωρών, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες όπως η Ελλάδα και άλλες μεσογειακές χώρες, έχει αποδειχθεί πως τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου έχουν μειωμένη απόδοση.

-Με την τεχνολογία Thin Film παράγονται περισσότερες κιλοβατώρες ενέργειας σε σχέση με τα κρυσταλλικά στοιχεία, ακόμα και σε συνθήκες διάχυτου φωτός.



**Σχήμα 7.2:** Το thin film έχει 15%-20% περισσότερες αποδιδόμενες KWh σε σχέση με το κρυσταλλικό Si [27]

-Τα στοιχεία Thin Film μεγάλου εμβαδού αποτελούν οικονομική λύση ειδικότερα για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις της τάξεως του MW όπου το κόστος εγκατάστασης είναι σαφώς μειωμένο. Η αγορά των στοιχείων Thin Film προσφέρει μια οικονομικότερη λύση σε σχέση με τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με στοιχεία Thin Film απαιτεί εμβαδόν μικρότερο συγκριτικά με μία εγκατάσταση (Tracking) που αποτελείται από κρυσταλλικά στοιχεία υψηλής απόδοσης.

-Η τεχνολογία Thin Film επιτυγχάνει σημαντικά μειωμένο αρχικό κόστος επένδυσης και ταχύτερους χρόνους απόσβεσης σε σχέση με άλλα συμβατικά συστήματα.

-Η τεχνολογία Thin Film προσφέρει καινοτόμες λύσεις σε κτίρια, όπως για παράδειγμα την χρήση ημιδιαφανών φωτοβολταϊκών στοιχείων στα παράθυρα, αντικαθιστώντας έτσι τα τζάμια σε προσόψεις κτιρίων, προσφέροντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα να εισέλθει φυσικό φως.

-Η ανακύκλωση, σε ποσοστό μεγαλύτερο της τάξης του 90%, των υλικών που αποτελούν το Thin. Film όπως γυαλί και μέταλλο, καθιστά τη συγκεκριμένη τεχνολογία απολύτως φιλική προς το περιβάλλον. [28]

### **7.4.1 Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)**

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11%. Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο. [25]

### **7.4.2 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Αμορφου Πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)**

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο

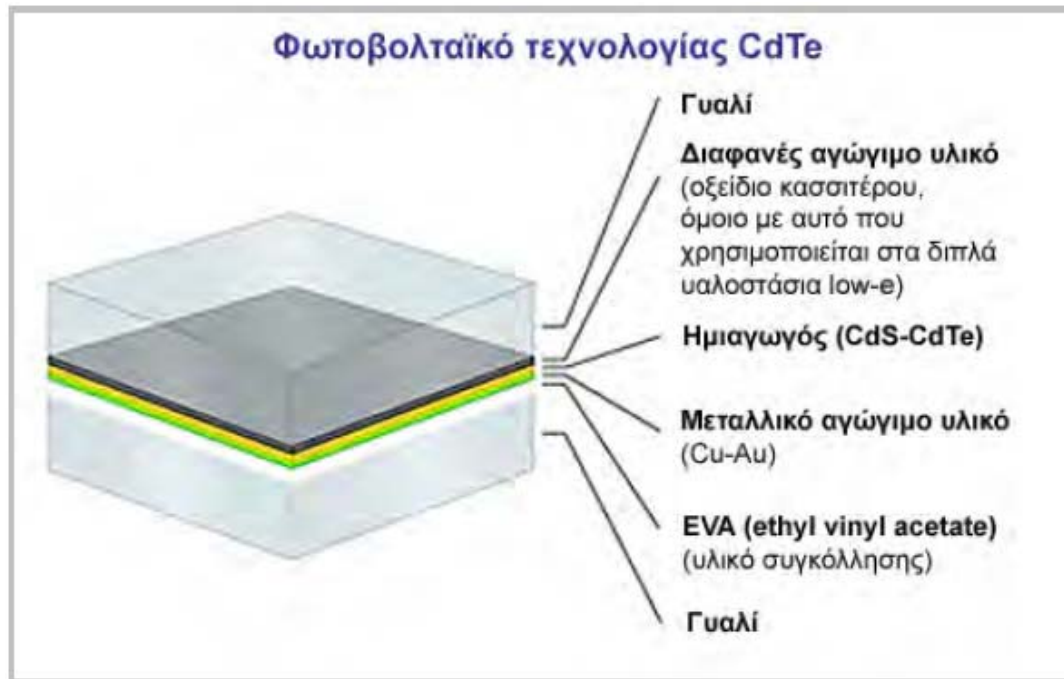
από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσων αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

### 7.4.3 Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).





Σχήμα 7.3: Φωτοβολταϊκό στοιχείο thin film τεχνολογίας CdTe [2]

#### 7.4.4 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος. [25]

#### 7.5 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις

άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

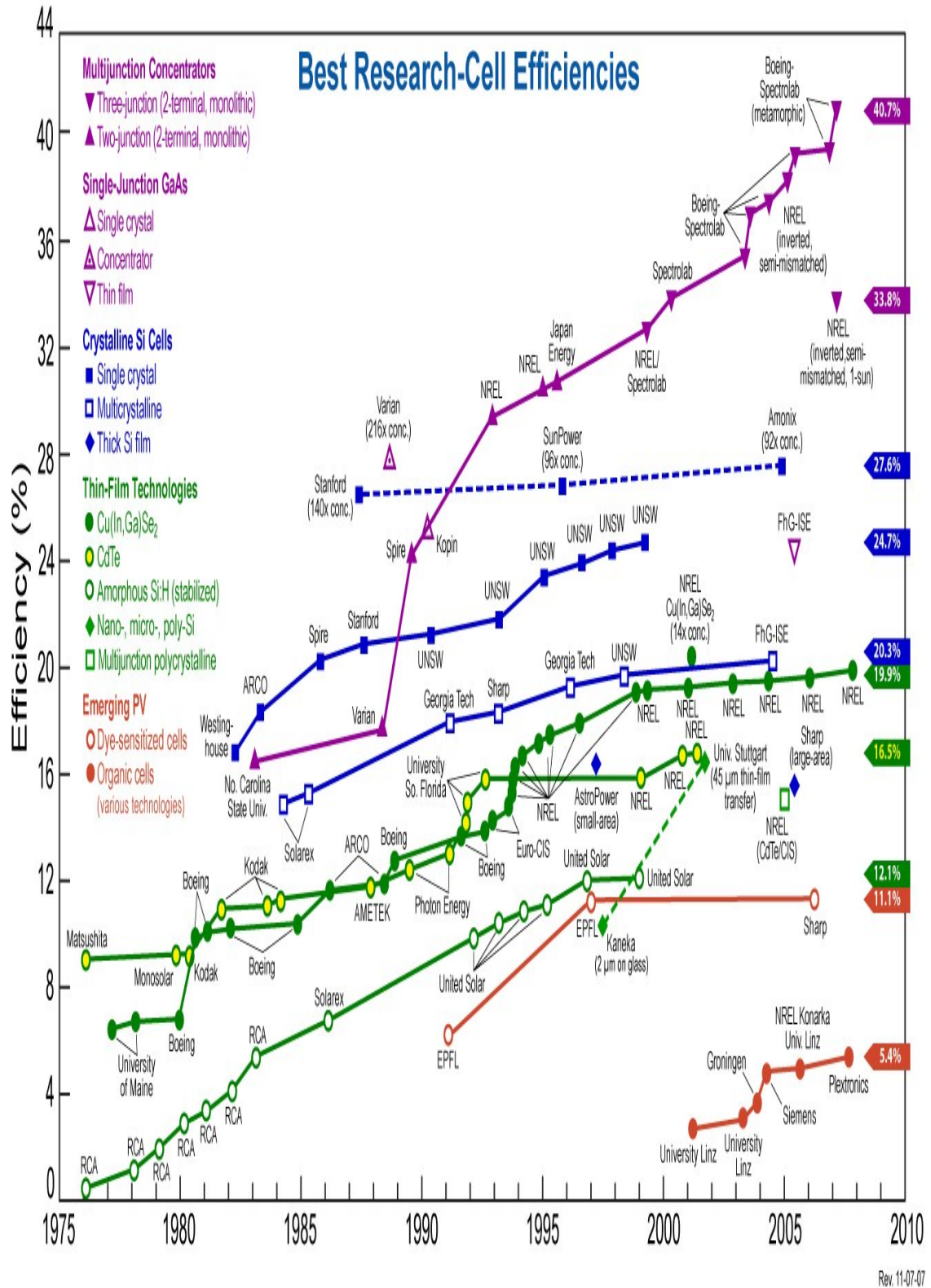
Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Αλλά πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

### 7.6 Άλλες Τεχνολογίες

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

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

Συνοπτικά, μπορούμε να συγκρίνουμε της απόδοσης των φωτοβολταϊκών, ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής τους και το υλικό στο παρακάτω διάγραμμα. Επιπλέον, βλέπουμε και την εξέλιξή τους σε σχέση με την πάροδο των χρόνων.



Σχήμα 7.4: Διάγραμμα εξέλιξης της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών [25]

### 7.7 Η Ελληνική Βιομηχανική Δραστηριότητα

**SOLAR CELLS HELLAS S.A.:** βρίσκεται στη ΒΙ.ΠΕ. Πάτρας και ιδρύθηκε το 2006. Μονάδα παραγωγής Φωτοβολταϊκών δισκίων και στοιχείων πολυκρυσταλλικού πυριτίου mc-Si και συναρμολόγησης Φ/Β πλαισίων, δυναμικότητας 60 MWp. Η έναρξη παραγωγής δισκίων και στοιχείων ξεκίνησε στα τέλη 2008, ενώ η έναρξη παραγωγής Φ/Β πλαισίων άρχισε στα τέλη του 2009. (πιστοποίηση Φ/Β πλαισίων κατά IEC 61215 και IEC 61730) SILCIO S.A., με έδρα στη ΒΙΠΕ Πάτρας, ίδρυση 2005. Μονάδες φωτοβολταϊκών δισκίων, στοιχείων και γεννητριών mc-Si, με έναρξη λειτουργίας το 2009 (δισκία mc-Si 2010). Ετήσια δυναμικότητα παραγωγής 40, 31 και 18 MW αντίστοιχα (πιστοποίηση Φ/Β πλαισίων IEC 61215 και IEC 61730)

**HELIOSPHERA :** βρίσκεται στη ΒΙΠΕ Τρίπολης και ιδρύθηκε το 2007. Παραγωγική μονάδα φωτοβολταϊκών πλαισίων a-Si/μcSi (micromorph) δυνατότητας ετήσιας παραγωγής 500.000 πλαισίων, ή 60MWp ετησίως. Έναρξη λειτουργίας της παραγωγής Φ/Β πλαισίων τα μέσα 2009 (πιστοποίηση Φ/Β πλαισίων κατά IEC 61646 και IEC61730)

**EXEL GROUP S.A. :** έδρα στην ΒΙΠΕ Σταυροχωρίου, στο Κιλκίς. Ιδρύθηκε το 2007. Συναρμολόγηση Φ/Β πλαισίων κρυσταλλικού Πυριτίου με προοπτική ετήσια δυναμικότητα παραγωγής 50 MWp η οποία θα αυξηθεί στα 70 εντός του 2010 (πιστοποίηση Φ/Β πλαισίων κατά IEC 61215 και IEC 61730) STIBETHERM S.A. Με έδρα στη ΒΙΠΕ Σταυροχωρίου στο Κιλκίς. Ξεκίνησε πρόσφατα την συναρμολόγηση Φ/Β πλαισίων πολυ-κρυσταλλικού Πυριτίου με ετήσια δυναμικότητα παραγωγής 15 MWp.

Συνολική Ετήσια Δυναμικότητα Παραγωγής Φωτοβολταϊκών Ελληνικών Βιομηχανιών [25]

Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΑ (Modules)	203 MWp
Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ mc-Si (Cells)	61 MWp
ΔΙΣΚΙΑ mc-Si (Wafers)	80 MWp

## 8. Συστήματα Τηλεμετρίας

### 8.1 Επιτήρηση της Απόδοσης της Εγκατάστασης

Η υλοποίηση μίας ηλιακής εγκατάστασης σημαίνει ότι είναι μία τεχνολογία του μέλλοντος αλλά και μία μακροχρόνια πηγή εσόδων. Άρα, πρέπει να διασφαλιστεί η απρόσκοπτη λειτουργία της. Για αυτό υπάρχουν ολοκληρωμένα συστήματα τηλεμετρίας για την επιτήρηση της εγκατάστασής και της απόδοσής της σε 24ωρη βάση. Τα συστήματα τηλεμετρίας βασίζονται στο διαδίκτυο και δίνουν τη δυνατότητα επιτήρησης της εγκατάστασης από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου.

Τα προϊόντα αυτά βασίζονται στα ευρέως διαδεδομένα πρωτόκολλα επικοινωνίας έτσι ώστε να μπορούν να ενσωματώνονται χωρίς πρόβλημα σε κάθε υπάρχουσα εγκατάσταση. Η ανοιχτή αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων επιτρέπει τη γρήγορη και ασφαλή προσαρμογή της εγκατάστασης ακόμη και σε ειδικές εφαρμογές. Παραδείγματα αυτών των εφαρμογών αποτελούν το ασύρματο σύστημα Sunny Beam και το Sunny Boy Control, το Sunny WebBox και το Sunny Portal της εταιρείας SMA Solar Technology AG από την οποία πήραμε και τα στοιχεία.

### 8.2 Ασύρματα ή Ενσύρματα - Ασφαλής Σύνδεση Με ή Χωρίς Καλώδια

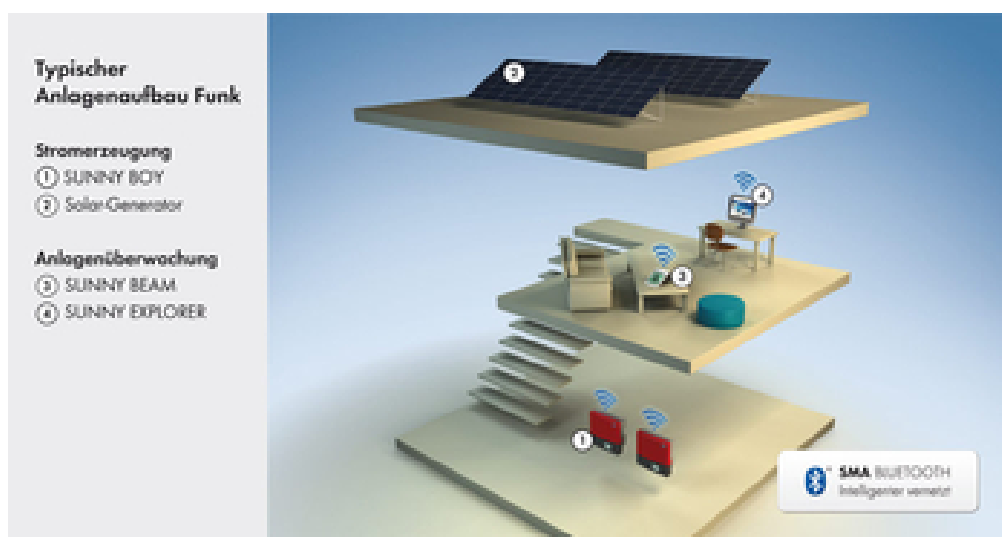
Για την επιτήρηση εγκαταστάσεων ηλιακού ρεύματος θα πρέπει να εκτελείται μεταφορά δεδομένων των τιμών ισχύος ή της ενεργειακής απόδοσης. Για την επικοινωνία ανάμεσα στους ηλιακούς μετατροπείς και τις συσκευές για την επιτήρηση δικτύου, υπάρχουν δύο βασικές δυνατότητες σύνδεσης: την ασύρματη και την ενσύρματη σύνδεση. Και οι δύο προσφέρουν πλεονεκτήματα και χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις διαφόρων μεγεθών. Στη συνέχεια διασαφηνίζεται ποιος τρόπος επικοινωνίας ταιριάζει ιδανικά στο εκάστοτε φωτοβολταϊκό σύστημα.

	<b>BLUETOOTH (ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ)</b>	<b>ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ RS485</b>
<b>Συνήθεις εφαρμογές</b>	Κυρίως σε μικρές και μεσαίες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις	Σε μεσαίες και μεγάλες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις
<b>Πλεονεκτήματα</b>	Εξοικονόμηση κόστους	Υψηλή ταχύτητα και αξιοπιστία
<b>Αριθμός των συμμετεχόντων συσκευών</b>	Έως και 50 ανά δίκτυο	Έως 50 ανά δίαυλο RS485

(επιτήρηση εγκατάστασης και μετατροπείς)	Bluetooth	
Εμβέλεια	Έως 100 m σε ελεύθερο χώρο ανάμεσα σε μεμονωμένες συσκευές	1.200 μέτρα ανά δίαυλο RS485
Αριθμός των συσκευών εμφάνιση δεδομένων (π.χ. Sunny Beam ή Sunny WebBox)	Έως τέσσερις ανά δίκτυο (ανάλογα με τον αριθμό των συνδρομητών)	Μία ανά δίαυλο RS485

Πίνακας 8.1: Σύγκριση Ασύρματης και ενσύρματης σύνδεσης [29]

### 8.3 Ασύρματης Σύνδεσης

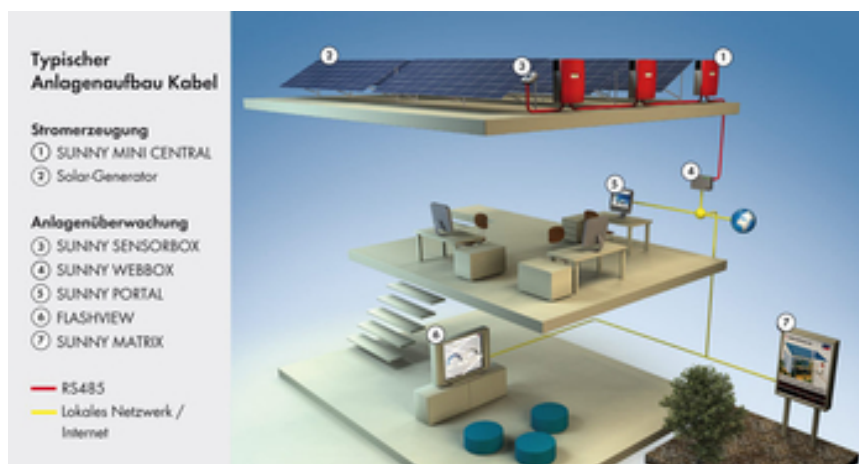


Σχήμα 8.1 : Ασύρματη σύνδεσης

Με το Bluetooth μπορούν εύκολα και γρήγορα να δημιουργηθούν ασύρματα δίκτυα, χωρίς επιπρόσθετο κόστος όπως διάτρηση τοίχων, σοβάτισμα ή βάνιμο. Αποτελεί την ιδανική λύση για μια εγκατάσταση στη στέγη μιας ιδιωτικής κατοικίας. Το Bluetooth, το διεθνές πρότυπο ραδιοεπικοινωνιών, προσφέρει ευελιξία και επεκτασιμότητα στην επιτήρηση της εγκατάστασης. Οι τεχνικοί και οι φορείς αξιοποίησης της εγκατάστασης εξοικονομούν χρόνο και κόστος. Χάρη στο Bluetooth, ο εντοπισμός όλων των μετατροπέων γίνεται άμεσα και η σύνδεσή τους στην εγκατάσταση αυτόματα. Χάρη στην έξυπνη δικτύωση υπάρχει δυνατότητα ενσωμάτωσης έως και 50 συσκευών σε ένα δίκτυο. Υπάρχει επιπλέον μεγάλη

εμβέλεια μεταξύ των συσκευών Η τεχνολογία Bluetooth εντυπωσιάζει και για την αξιοπιστία της. Χάρη στη συχνή αλλαγή συχνοτήτων και την αποστολή δεδομένων σε μικρές μονάδες, η ασύρματη σύνδεση είναι ιδιαίτερα σταθερή. Και η ισχύς εκπομπής προσαρμόζεται πάντα στις εκάστοτε ανάγκες της εφαρμογής. Επίσης η ενσωματωμένη σε όλες τις συσκευές προστασία με κωδικό, διασφαλίζει τα δεδομένα από την πρόσβαση τρίτων.

### 8.4 Ενσύρματη Σύνδεση



Σχήμα 8.2 : Ενσύρματη σύνδεση

Ο διάυλος πεδίου RS485 αποτελεί την πλέον κλασική λύση στον τομέα της ενσύρματης τεχνολογίας επικοινωνίας. Χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια και έχει αποδείξει την αξία του σε αμέτρητες εγκαταστάσεις. Όλες οι συσκευές συνδέονται μεταξύ τους υπό τη μορφή αλυσίδας (δημιουργώντας τον επονομαζόμενο διάυλο δεδομένων). Στο τέρμα αυτής της αλυσίδας, συλλέγονται όλα τα δεδομένα (από το Sunny WebBox ) και ενημερώνει αξιόπιστα σχετικά με την κατάσταση της ηλιακής σας εγκατάστασης. Το πλεονέκτημα της καλωδίωσης RS485: Μήκη καλωδίωσης έως και 1.200 μέτρα και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, ακόμα και σε ιδιαίτερα ευαίσθητα περιβάλλοντα χωρίς απώλειες ισχύος. Γιατί ιδιαίτερα στα μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι φορείς αξιοποίησης της εγκατάστασης επιζητούν μέγιστη ασφάλεια και αξιοπιστία.

## **9. Μελέτη Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης στο Δήμο Ν. Φιλαδέλφειας**

### **9.1 Γενικά**

Το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι ισχύος 2.580 Watt και θα είναι διασυνδεδεμένο με το κεντρικό δίκτυο (ΔΕΗ) στην χαμηλή τάση. Θα εγκατασταθεί στο δώμα του κτιρίου. Το σύστημα αυτό δεν διαθέτει σύστημα αποθήκευση ενέργειας (μπαταρίες), οπότε δεν έχει και αναλώσιμα υλικά. Όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αφού καταμετρηθεί θα διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο.

Το Φ/Β σύστημα θα αποτελείται από 12 πολυκρυσταλλικές φωτοβολταϊκές γεννήτριες των 215W εκάστη και 1 αντιστροφέα ηλεκτρικής ισχύος 2700W. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα τηρούν τις προδιαγραφές CEC 503, EN 61215, IEC 61215, οι δε αντιστροφείς τις γενικές κατευθύνσεις που περιγράφονται στην οδηγία IEC 1727. Για τον λεπτομερή υπολογισμό των μετεωρολογικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία του προγράμματος PV-GIS του ερευνητικού κέντρου ISPRA της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

### **9.2 Ανάλυση Φωτοβολταϊκού Συστήματος**

Το φωτοβολταϊκό πάρκο θα αποτελείται από τις παρακάτω βασικές συσκευές και υπηρεσίες :

Δώδεκα (12) Φ/Β γεννήτριες ισχύος 215 Watts η μία ενδεικτικών διαστάσεων (Μήκος x Πλάτος x Πάχος) 1660x990x50mm, βάρους 21Kg και συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 2.580 Watt. Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες θα είναι της εταιρείας KYOCERA (εργοστάσιο κατασκευής KYOCERA) και θα είναι ο τύπος KC200GHT-2.

Οι Φ/Β γεννήτριες είναι πιστοποιημένες κατά ISO 9000 : 2000, IEC61215 & TUV Safety Class II

- Έναν (1) διασυνδεδεμένο αναστροφέα ημιτονικό χαμηλής αυτοκατανάλωσης και απόδοσης 98%. Ο Inverter θα είναι της εταιρείας SMA (εργοστάσιο κατασκευής SMA) και θα είναι ο τύπος Sunny Boy 1700E.
- Πίνακες με τους κατάλληλους ασφαλειοδιακόπτες, για όλα τα DC και AC ρεύματα.
- Μεταλλικές βάσεις στήριξης των Φ/Β γεννητριών σε οροφή κτιρίου.
- Απαιτούμενο ηλεκτρολογικό υλικό, χαλκός, προστατευτικά καλωδίων, σχάρες, αναλώσιμα υλικά εγκατάστασης, πίνακες και γειώσεις.
- Πίνακα χαμηλής τάσης με αντικευραυλική προστασίας των αναστροφέων, από κεραυνικές υπερτάσεις, κυρίως του δικτύου.



### **9.3 Προσομοίωση και Διαστασιολόγηση (Sizing) Φωτοβολταϊκού Συστήματος**

Ο υπολογισμός, για την παραγωγή ενέργειας του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται πάντοτε σύμφωνα, με την ακριβή θέση εγκατάστασης, τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων συσκευών, το μικροκλίμα της περιοχής, αλλά και σύμφωνα με την εμπειρία για την πραγματική συμπεριφορά και απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην περιοχή αυτή.

Πραγματοποιείται, θεωρητικός υπολογισμός - προσομοίωση του συστήματος, με την βοήθεια ειδικών προγραμμάτων και σύμφωνα με τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής. Στον θεωρητικό υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής, ηλιοφάνεια της περιοχής, καθώς και όλα τα απαραίτητα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής όπως μέση θερμοκρασία, ελάχιστη θερμοκρασία, βροχοπτώσεις, υγρασία, υψόμετρο κλπ.

Εκτός από τον θεωρητικό υπολογισμό, για μεγαλύτερη αξιοπιστία, πραγματοποιείται και εμπειρικός υπολογισμός. Ο εμπειρικός υπολογισμός, λαμβάνει υπόψη την ηλιοφάνεια του χώρου εγκατάστασης, τα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων συσκευών, την συμπεριφορά τους και απόδοση στην περιοχή και επιπλέον λαμβάνει αυστηρά υπόψη το μικροκλίμα του χώρου εγκατάστασης με όλες τις τοπικές παραμέτρους και λεπτομέρειες. Η τελική διαμόρφωση του υπολογισμού του φωτοβολταϊκού συστήματος, είναι ο συνδυασμός και των δύο υπολογισμών του θεωρητικού και εμπειρικού.

### **9.4 Θεωρητικός Υπολογισμός**

Για τον λεπτομερή υπολογισμό των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία ηλιοφάνειας του προγράμματος PV-GIS του ερευνητικού κέντρου ISPRA της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το πρόγραμμα αυτό είναι από τα πλέον έγκριτα για την Ε.Ε.

Μετεωρολογικά δεδομένα για τον υπολογισμό του συστήματος έχουν χρησιμοποιηθεί τα δεδομένα του PV -GIS σύμφωνα με τις συντεταγμένες της περιοχής εγκατάστασης.

#### **9.4.1 Πίνακες Υπολογισμού- Μετεωρολογικά Δεδομένα**

Τα γραφήματα και οι πίνακες που ακολουθούν δίνουν αναλυτικότερα τα αποτελέσματα του θεωρητικού υπολογισμού - προσομοίωσης του συστήματος, ανά μήνα και ημέρα καθώς και ολική. Ακόμα αντίστοιχα και την ηλιοφάνεια σύμφωνα με την κλίση.

**PVGIS estimates of solar electricity generation**

**Location: 38°2'23" North, 23°44'21" East, Elevation: 112 m a.s.l.,**

Ονομαστική Ισχύς - Nominal power of the PV system: 2.6 kW (crystalline silicon)

Απώλειες λόγω της θερμοκρασίας - Estimated losses due to temperature: 10.4% (using local ambient temperature)

Απώλεια λόγω συντελεστή ανάκλασης-Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%

Άλλες Απώλειες -Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Συνδυασμένες απώλειες συστημάτων -Combined PV system losses: 24.9%

<b>Fixed system: inclination=31°, orientation=0° (Optimum at given orientation)</b>				
<b>Month</b>	<b>E<sub>d</sub> (kWh)</b>	<b>E<sub>m</sub> (kWh)</b>	<b>H<sub>d</sub> (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>H<sub>m</sub> (kWh/m<sup>2</sup>)</b>
Jan	6.38	198	3.09	95.6
Feb	7.12	199	3.50	98.0
Mar	9.18	285	4.59	142
Apr	10.90	328	5.59	168
May	11.60	361	6.10	189
Jun	12.30	368	6.59	198
Jul	12.20	379	6.63	205
Aug	12.00	371	6.47	200
Sep	11.30	340	5.99	180
Oct	8.76	272	4.50	139
Nov	6.28	188	3.12	93.6
Dec	5.50	170	2.67	82.9
<b>Yearly average</b>	<b>9.48</b>	<b>288</b>	<b>4.91</b>	<b>149</b>
<b>Total for year</b>	<b>3460</b>		<b>1790</b>	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

**Ed: Μέση τιμή καθημερινής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα**

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

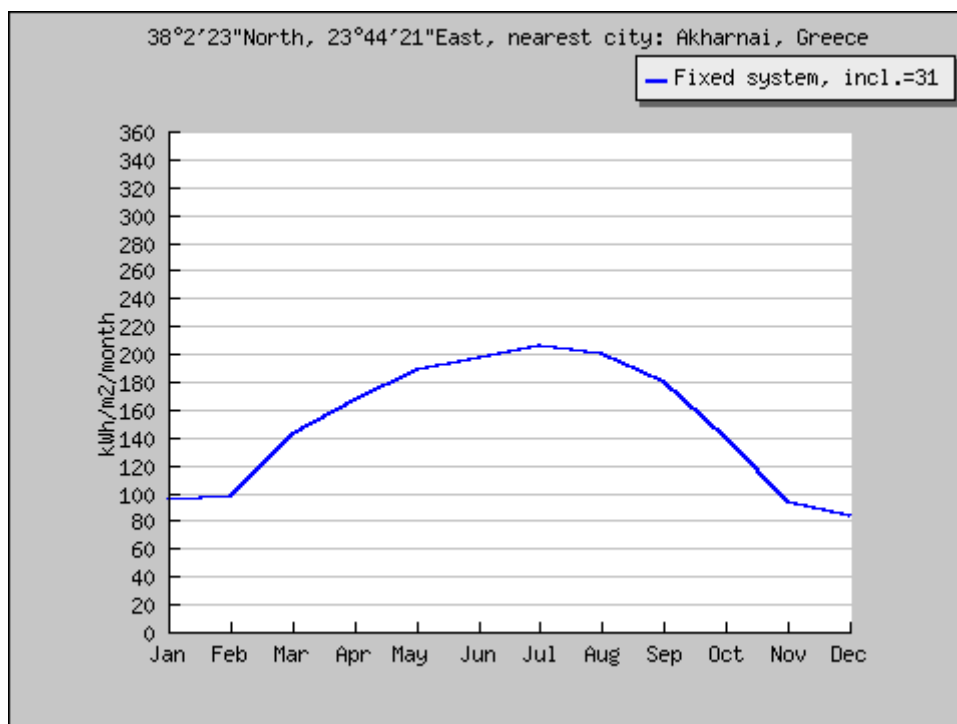
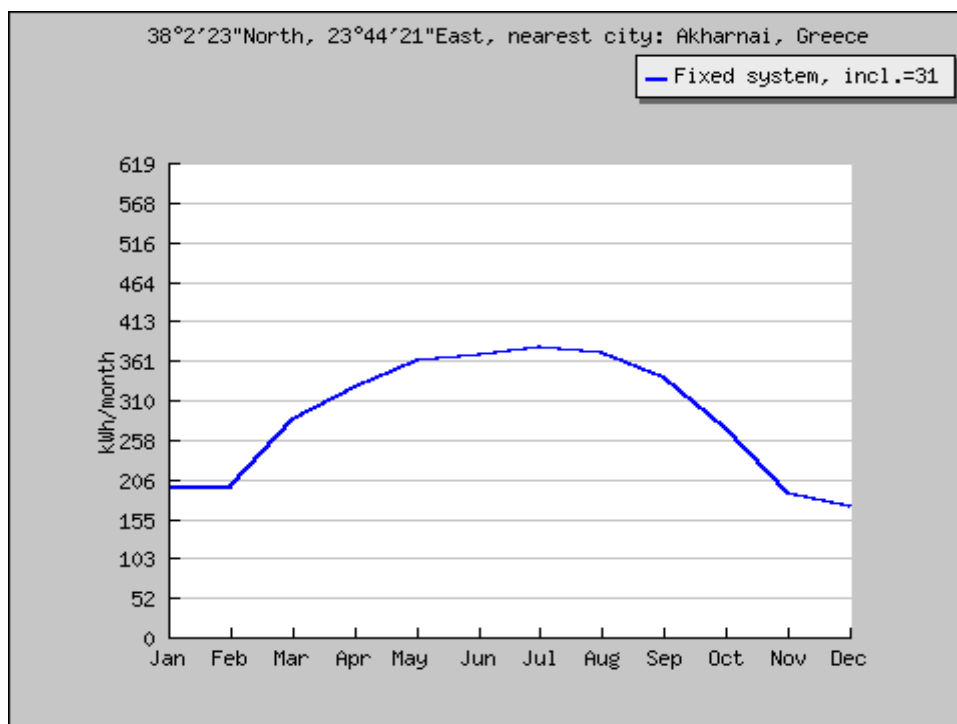
**Em: Μέση τιμή μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα**

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

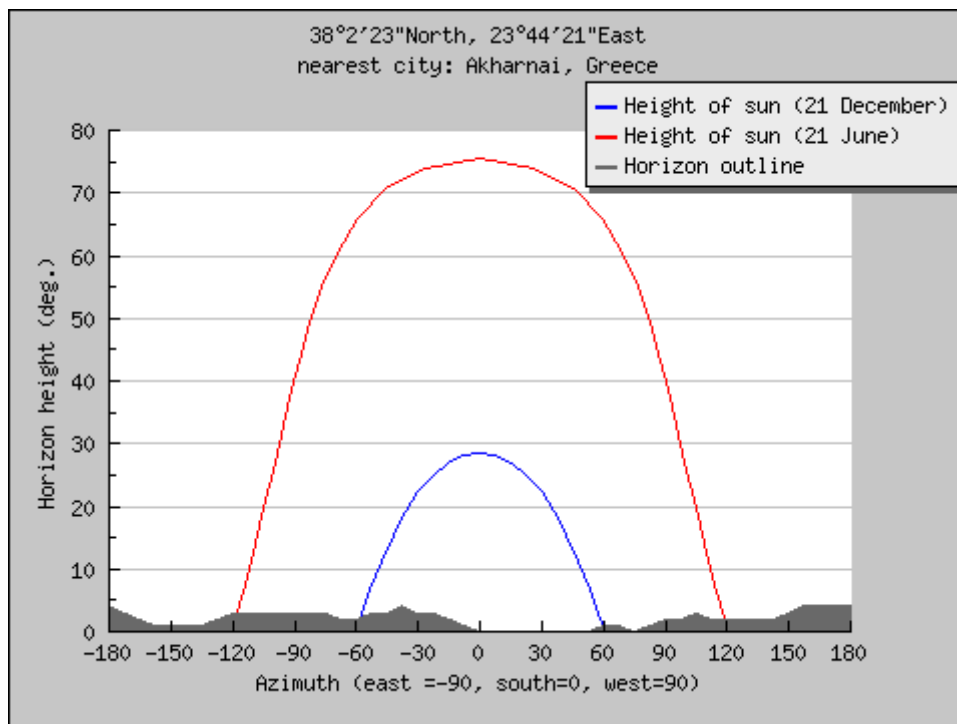
**Hd: Μέση τιμή ημερήσιου ποσού ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο**

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

**Hm: Μέση τιμή ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο**



**Σχήμα 9.1:** Ετήσια παραγωγή ηλεκτρισμού από PVGIS



**Σχήμα 9.2:** Ηλιακή ακτινοβολία περιοχής για 21 Δεκεμβρίου και 21 Ιουνίου

PVGIS © European Communities, 2001-2008

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged

#### 9.4.2 Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία - Monthly Solar Irradiation

PVGIS Estimates of long-term monthly averages

Location: 38°2'23" North, 23°44'21" East, Elevation: 112 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 31 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	H <sub>h</sub> (Wh/m <sup>2</sup> )	H <sub>opt</sub> (Wh/m <sup>2</sup> )	H(90) Wh/m <sup>2</sup> )	I <sub>opt</sub> (deg.)	T <sub>24h</sub> (°C)	N <sub>DD</sub>
Jan	2050	3090	3020	59	9.2	264
Feb	2640	3500	2990	50	9.7	222
Mar	3860	4590	3260	39	11.3	178
Apr	5240	5590	3080	25	14.6	46
May	6240	6100	2610	13	19.6	3
Jun	7040	6590	2360	6	24.2	0
Jul	6940	6630	2530	9	26.5	0
Aug	6240	6470	3140	21	26.4	0
Sep	5100	5990	3900	36	22.7	4
Oct	3420	4500	3660	48	18.5	53
Nov	2170	3120	2920	57	14.1	147
Dec	1750	2670	2680	61	10.7	230
<b>Year</b>	4400	4910	3010	31	17.3	1147

H<sub>h</sub>: Irradiation on horizontal plane (Wh/m<sup>2</sup>)

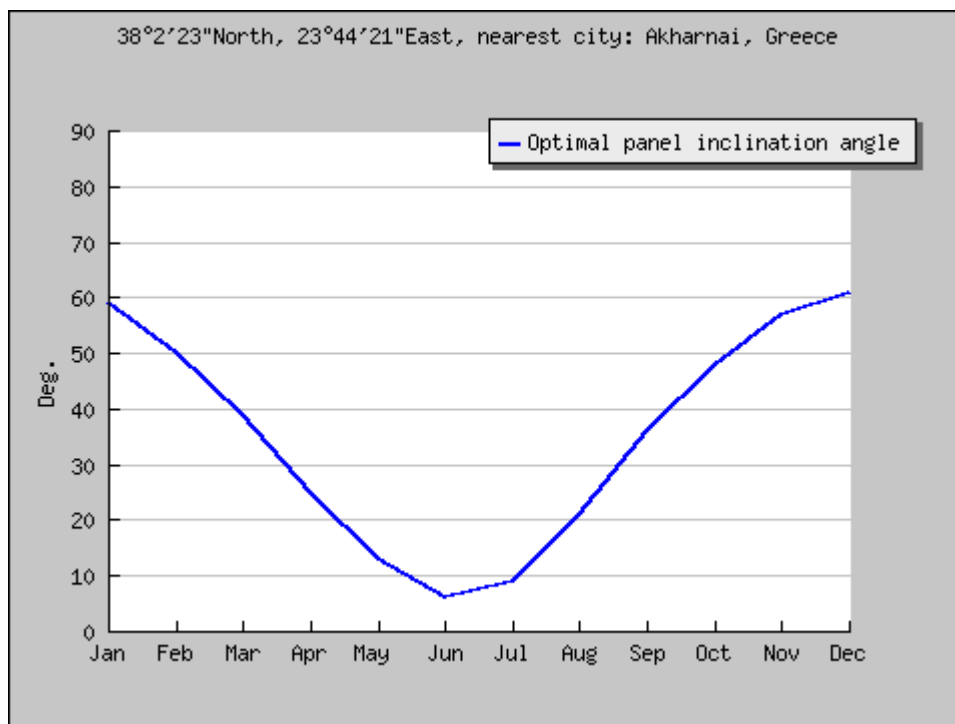
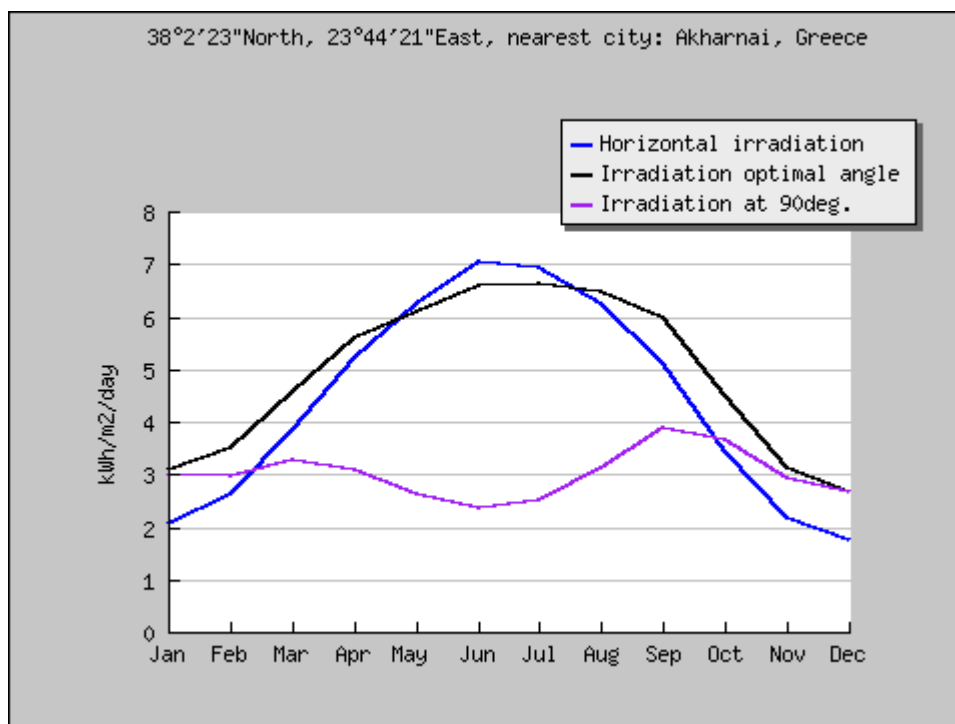
H<sub>opt</sub>: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m<sup>2</sup>)

H(90): Irradiation on plane at angle: 90deg. (Wh/m<sup>2</sup>)

I<sub>opt</sub>: Optimal inclination (deg.)

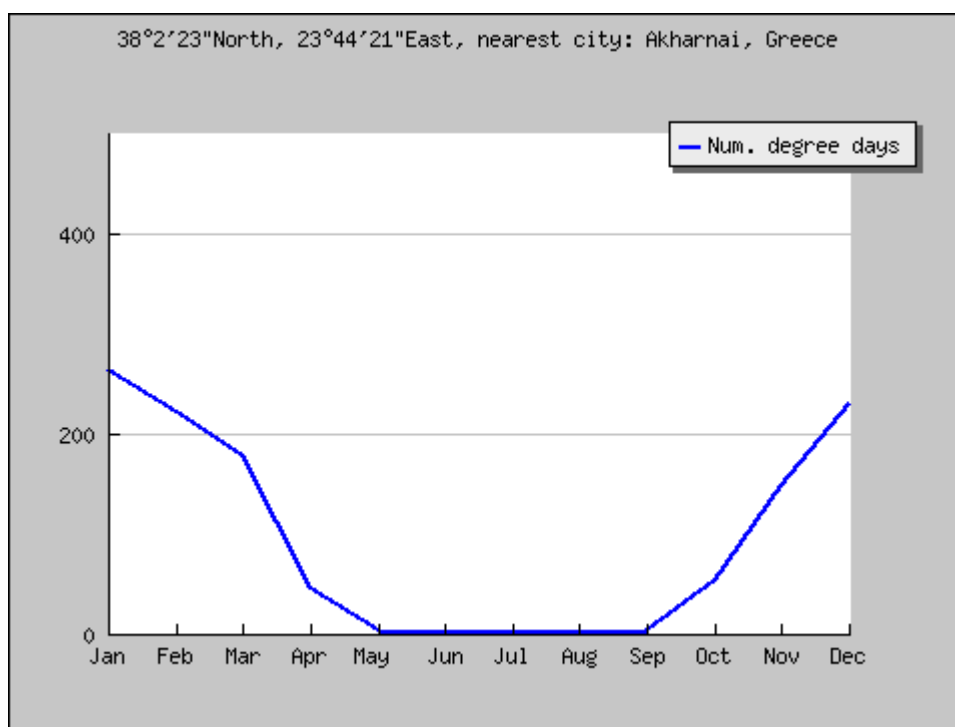
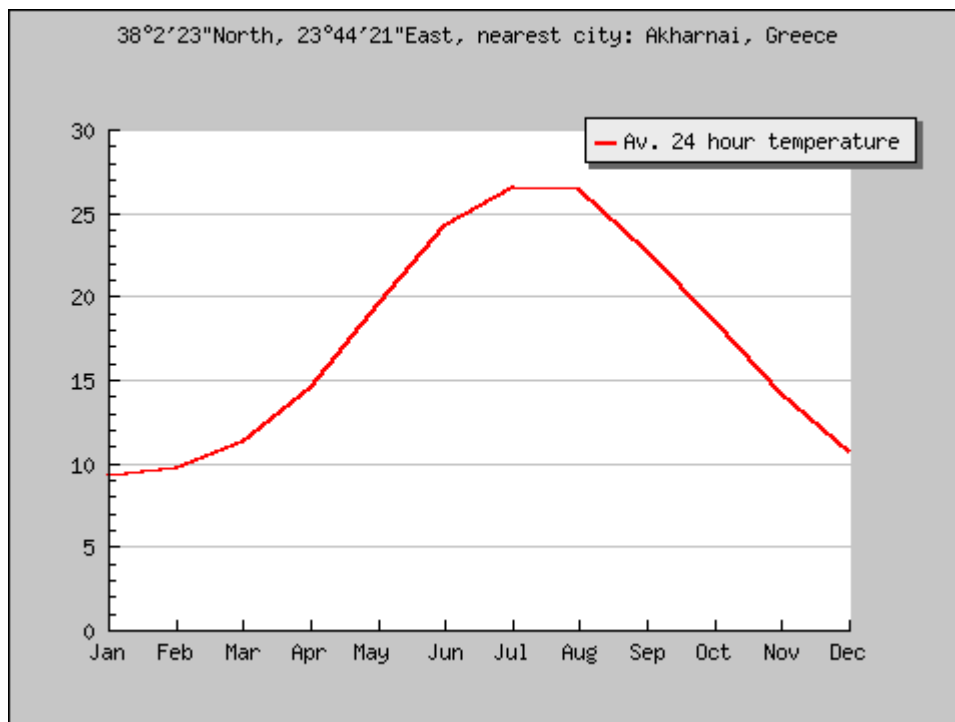
T<sub>24h</sub>: 24 hour average of temperature (°C)

N<sub>DD</sub>: Number of heating degree-days (-)

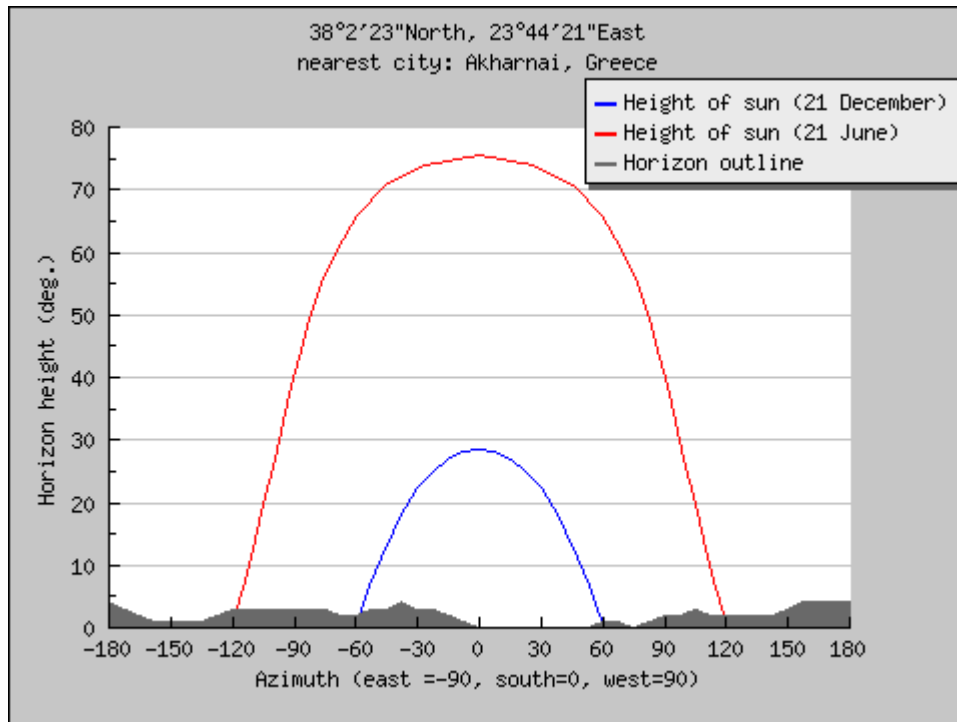


Σχήμα 9.3: Διάγραμμα Ακτινοβολίας ανά μήνα

Κεφάλαιο 9<sup>ο</sup>: Μελέτη Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης στο Δήμο Ν. Φιλαδέλφειας



Σχήμα 9.4: Διάγραμμα μέσος όρος θερμοκρασίας ανά μήνα



**Σχήμα 9.5:** Διάγραμμα απόστασης ηλίου στις 21 Δεκεμβρίου και 21 Ιουνίου

Το παραπάνω γράφημα δείχνει την υπολογιζόμενη ηλιακή ακτινοβολία στην διάρκεια μιας τυπικής μέρας, λαμβάνοντας υπόψη τις σκιάσεις από τους γειτονικούς ορεινούς όγκους σύμφωνα με το ακριβές στίγμα της περιοχής για τις 21 Δεκεμβρίου και τις 21 Ιουνίου.

## 9.5 Στοιχεία Φωτοβολταϊκού Συστήματος

### 9.5.1 Ετήσια Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του χώρου εγκατάστασης είναι : 38°2'23" Βόρεια, 23°44'21" Ανατολικά. Σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής και την κλίση, η ηλιακή ακτινοβολία είναι ως ακολούθως:

Κλίση	KWh/ m2 / Year
0 <sup>ο</sup>	1610
15 <sup>ο</sup>	1746
25 <sup>ο</sup>	1789
40 <sup>ο</sup>	1779
90 <sup>ο</sup>	1103
30 <sup>ο</sup> - Βέλτιστη	1790- Βέλτιστη



Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα εγκατασταθεί με κλίση 25°, οπότε σύμφωνα με τον θεωρητικό υπολογισμό - προσομοίωση (πρόγραμμα PV-GIS) η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι **3.460 KWh**.

#### Παρατήρηση

Για τον εμπειρικό υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας του φωτοβολταϊκού συστήματος, λαμβάνονται υπόψη όλες οι μικροαπώλειες του Φ/Β συστήματος, καλωδιώσεις, συνδέσεις και κυρίως το μικροκλίμα. Επίσης, η ποιότητα των χρησιμοποιημένων συσκευών, η επαγγελματική εγκατάσταση για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και αύξηση του Performance ratio, εμπειρία από την απόδοση ήδη λειτουργούντων φωτοβολταϊκών συστημάτων στην περιοχή.

Οπότε βάση των παραπάνω δεδομένων (θεωρητικός και εμπειρικός υπολογισμός), η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του σταθμού εκτιμάται στις : 3.460 KWh

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται τα στοιχεία του **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ** συστήματος.

#### **9.5.2 Στοιχεία και Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Συστήματος**

Περιοχή/ θέση	<b>ΑΤΤΙΚΗ</b>
Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία	13.2 MWh/m <sup>2</sup>
Ονομαστική ισχύς φωτοβολταϊκής γεννήτριας s_18	215 W
Απόδοση φωτοβολταϊκής γεννήτριας (ολική επιφάνεια)	13,08 %
Ονομαστική ισχύς φωτοβολταϊκού συστήματος	2,58 KWp
Ολική επιφάνεια Φ/Β γεννητριών	20 m <sup>2</sup>
Απαιτούμενος χώρος για εγκατάσταση περίπου	52 m <sup>2</sup>
<b>Ετήσια ενεργειακή παραγωγή Φ/Β συστήματος</b>	<b>3.460 KWh</b>
Διάρκεια ζωής Φ/Β συστήματος, πάνω από	25 έτη

#### **9.6 Μεταλλικές Βάσεις Στήριξης Φωτοβολταϊκής Γεννήτριας**

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες θα εγκατασταθούν στην οροφή του κτιρίου και θα τοποθετηθούν επάνω σε μεταλλικές βάσεις. Οι μεταλλικές βάσεις θα είναι από αλουμίνιο. Η κάθε μεταλλική βάση και υποβάση, κατασκευαστικά θα είναι ολόκληρη κοχλιωτή.

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες, θα συνδεθούν εν σειρά μεταξύ τους και θα σχηματίσουν μία ομάδα (string). Η ομάδα των φωτοβολταϊκών γεννητριών - string θα διαθέτει ενιαία βάση ή βάση string που θα αποτελείται από τις επιμέρους

μεταλλικές βάσεις. Αυτό θα γίνει για εργονομία αλλά και ευκολία στον έλεγχο και παρακολούθηση των φωτοβολταϊκών ομάδων ξεχωριστά. Ο απαιτούμενος χώρος εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος είναι περίπου 52m<sup>2</sup>.

Κατά την εγκατάσταση των Φ/Β γεννητριών, θα δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αισθητική, του όλου περιβάλλοντος χώρου.

### **9.7 Ηλεκτρική Σύνδεση Φωτοβολταϊκού**

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες θα συνδεθούν εν σειρά μεταξύ τους για τον σχηματισμό μίας φωτοβολταϊκής ομάδας String των 12 Φ/Β γεννητριών. Η φωτοβολταϊκή ομάδα - string θα συνδεθεί σε έναν αντιστροφέα, οπότε ο αντιστροφέας θα φέρει 12 Φ/Β γεννήτριες.

#### **9.7.1 Σύνδεση Συστήματος με Κεντρικό Δίκτυο (ΔΕΗ)**

Η σύνδεση του συστήματος με το κεντρικό δίκτυο θα είναι στην χαμηλή τάση σε μονοφασική διάταξη. Η σύνδεση με το δίκτυο θα είναι μέσω του Πίνακα Χαμηλής Τάσης, όπου περιλαμβάνει και όλους τους απαραίτητους ασφαλειοδιακόπτες.

#### **9.7.2 Αντιπερτασική Προστασία.**

Όλα τα καλώδια και οι αντιστροφείς θα προστατεύονται και με ειδικούς Arresters class II & Class I για το DC και AC. Όλα τα μεταλλικά τμήματα του συστήματος θα συνδέονται με μεταλλικούς αγωγούς - ταινίες και θα γειώνονται για προστασία από κεραυνικές υπερτάσεις.

Σχετικό τυπικό διάγραμμα ηλεκτρικής σύνδεσης του Φωτοβολταϊκού επισυνάπτεται.

### **9.8 Καλώδια**

Όλα τα καλώδια σύνδεσης των Φ/Β γεννητριών θα είναι ειδικά τύπου Solar, εύκαμπτα επικασιτερωμένα με διπλή μόνωση, κατάλληλα και για εξωτερική εγκατάσταση. Θα είναι σχεδιασμένα ειδικά για χρήση σε Φωτοβολταϊκά Συστήματα.

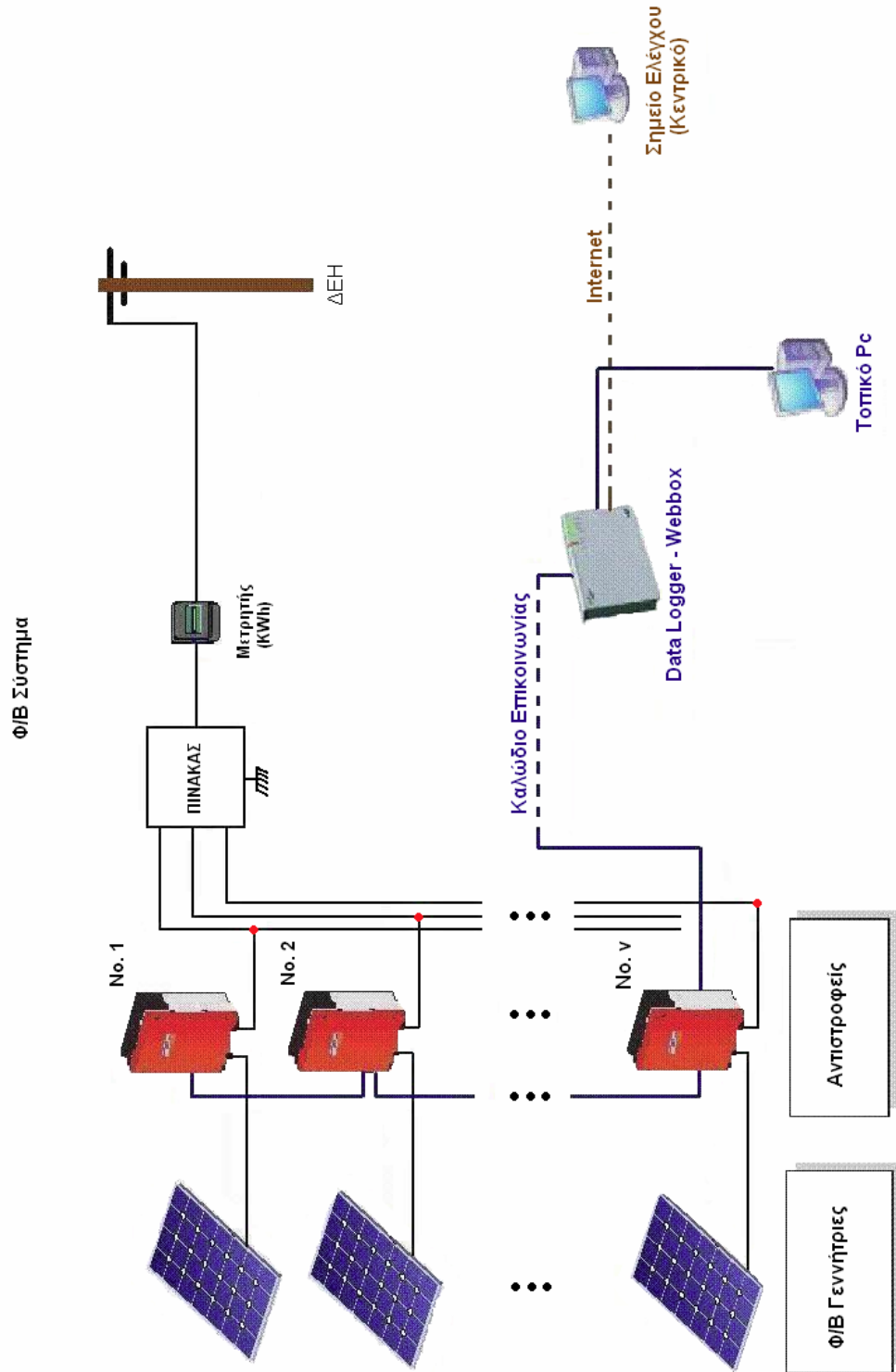
Τα καλώδια θα έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Ελεγμένα και πιστοποιημένα από τα Εργαστήρια VDE και TÜV.
- Καθορισμένοι με ακρίβεια και περιεκτικοί κανονισμοί για τις δοκιμές (Tests) των καλωδίων καθώς και των μονωτικών μειγμάτων.
- Επιτρεπτή τάση λειτουργίας συστήματος μέχρι 1kV DC. Τάση δοκιμής 6kV.
- Εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας από -40°C έως +120°C.
- Αναμενόμενη διάρκεια ζωής 30 έτη.

- Άριστη συμπεριφορά κατά την καύση όσον αφορά μετάδοση και διασπορά της φλόγας, χαμηλές εκπομπές καπνού, μη έκλυση διαβρωτικών αερίων και χαμηλή τοξικότητα.
- Ανθεκτικά στην αμμωνία.
- Ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV) και στο όζον.
- Οικολογικά αβλαβή όσον αφορά την ανακύκλωση, την απόθεση και την οικονομία ενεργειακών πόρων στη διαδικασία παραγωγής.
- Τα καλώδια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους, σε βιομηχανικές και αγροτικές εγκαταστάσεις καθώς και σε αντιαεροκροτικά περιβάλλοντα.

Τα καλώδια θα είναι αναλόγου διατομής σύμφωνα με την απόσταση, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες. Όλα τα καλώδια θα επενδυθούν μέσα σε σωλήνες ή μεταλλικές σχάρες και κανάλια και θα υπογειώνονται όπου ενδείκνυται για επιπλέον προστασία από τις καιρικές συνθήκες ή άλλες αιτίες αλλά και για λόγους ασφαλείας και αισθητικής.

Ο εγκαταστάτης του φωτοβολταϊκού πάρκου πριν την εγκατάσταση και τοποθέτηση των καλωδίων θα προσκομίσει προς έγκριση αναλυτικού υπολογισμού των πτώσεων τάσεως με βάση τα καλώδια που θα εγκατασταθούν. Σχετικά διαγράμματα αποτύπωσης - εγκατάστασης των Φ/Β γεννητριών επάνω στις μεταλλικές βάσεις καθώς και το διάγραμμα σύνδεσης του Φ/Β σταθμού επισυνάπτεται παρακάτω.



Σχήμα : Διάγραμμα Σύνδεσης Φωτοβολταϊκού Συστήματος















### 9.9 Ανάλυση Υλικών εγκατάστασης

#### ΠΙΝΑΚΑΣ Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

ΕΙΔΟΣ	Ποσότητα Τεμάχια
<b>Φ/Β ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ Ισχύος 215 Wp Εκάστη</b> ( Max.System voltage - STC = 1000 VDC)	12 (2,58 KWp)

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΥΛΙΚΩΝ

ΣΥΣΚΕΥΕΣ - ΥΛΙΚΑ	Ποσότητα Τεμάχια
<b>Αναστροφέας (Inverter)</b> ( Max. DC power = 2700 W)	1
<b>Σύστημα Monitor με RS 485 και GSM</b> για σύνδεση με Internet και έλεγχο του Φ/Β πάρκου - monitoring	1
<b>Μεταλλικές βάσεις</b> στήριξης των Φ/Β γεννητριών	1
<b>Ειδικά Καλώδια</b> 1.0 Εύκαμπτα - πολύκλινα επικασσιτερωμένα για το DC τμήμα, με διπλή ειδική μόνωση που είναι για εξωτερική χρήση. Διατομή 2.5 mm <sup>2</sup> , 6mm <sup>2</sup> και 10 mm <sup>2</sup> αν απαιτηθεί, για ελαχιστοποίηση απωλειών. 2.0 Καλώδια για AC με διπλή μόνωση και ανάλογων διατομών.	
<b>Πίνακας Χαμηλής Τάσης</b> 1φασικός, για σύνδεση με κεντρικό δίκτυο. Περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες ασφάλειες - διακόπτες, γειώσεις και είναι σύμφωνος με τις απαιτήσεις της ΔΕΗ.	1
<b>Αντι-υπερτασική προστασία.</b> Με ARRESTERS Class II στο DC, για θετικό αγωγό και για αρνητικό αγωγό και γειώσεις. Για το AC τμήμα ARRESTERS Class II & I και γειώσεις.	
<b>Πίνακες στεγανοί εξωτερικής χρήσεως IP65, εγκατάστασης</b> αντικεραυνικών για το DC τμήμα, σύνδεσης καλωδίων, ασφάλειες για DC.	3
<b>Αναλώσιμα εγκατάστασης</b> , όπως, προστατευτικά καλωδίων, σχάρες γαλβανιζέ, συνδετήρες γειώσεων, βίδες, παξιμάδια ανοξείδωτα, σωλήνες, ντίζες, φρεάτια κλπ	

### 9.10 Εγγυήσεις

Ο ανάδοχος θα παρέχει από την εγκατάσταση, δύο χρόνια εγγύηση καλής λειτουργίας του συστήματος. Στην περίοδο αυτή, θα πραγματοποιείται ένας ετήσιος έλεγχος του συστήματος και επισκευή ή συντήρηση αν απαιτηθεί. Η εγγύηση αυτή δεν καλύπτει υπηρεσίες για το σύστημα ή για συσκευές, αν έχει υποστεί μηχανική βλάβη από κακό χειρισμό, βανδαλισμό, εξωτερικά αίτια, θεομηνίες, ή τυχόν κλοπές.

Επί πλέον για τις συσκευές θα παρέχονται οι παρακάτω εγγυήσεις :

Δέκα ( 10 ) χρόνια για τις Φ/Β γεννήτριες σαν υλικό και 25 χρόνια εγγύηση απόδοσης για τις Φ/Β γεννήτριες από την εγκατάσταση και ότι σε αυτό το χρονικό διάστημα, η ισχύς θα παραμένει στο 80% της ονομαστικής τους, σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των (Σύμφωνα με την εγγύηση του κατασκευαστικού οίκου).

Πέντε ( 5 ) χρόνια εγγύηση από την εγκατάσταση για τους αντιστροφείς.

Δέκα ( 10 ) χρόνια εγγύηση από την εγκατάσταση για τις μεταλλικές βάσεις.

Εγχειρίδια λειτουργίας - συντήρησης και σχέδια του συστήματος, θα παραδοθούν με την εγκατάσταση. Ο ανάδοχος, θα παρέχει την απαραίτητη βοήθεια, πληροφορίες, φυλλάδια, πιστοποιητικά και σχέδια για την διασύνδεση με το κεντρικό δίκτυο - ΔΕΗ.

Οι χρησιμοποιούμενες συσκευές θα είναι δοκιμασμένες, πιστοποιημένες και θα πληρούν απόλυτα τους κανονισμούς της ΔΕΗ, για την διασύνδεση του Φ/Β πάρκου με το κεντρικό δίκτυο.

## 10. Παράδειγμα Εγκατεστημένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Τηλεμετρία στο Μοσχάτο

---

### 10.1 Γενικά για το Έργο

Το έργο βρίσκεται στο Μοσχάτο, άρχισε να λειτουργεί τον Ιανουάριο του 2011 έχει συνολική ισχύ 8,64 Κρ. Από την αρχή της λειτουργίας του το φωτοβολταϊκό σύστημα έχει συμβάλει στην αποφυγή διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub>, σε διάστημα πέντε μηνών περίπου 3,500 kg.

Φωτογραφίες από τη στέγη και την εγκατάσταση παραθέτονται.



**Εικόνα 10.1:** Φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 8,64 Κρ στο Μοσχάτο

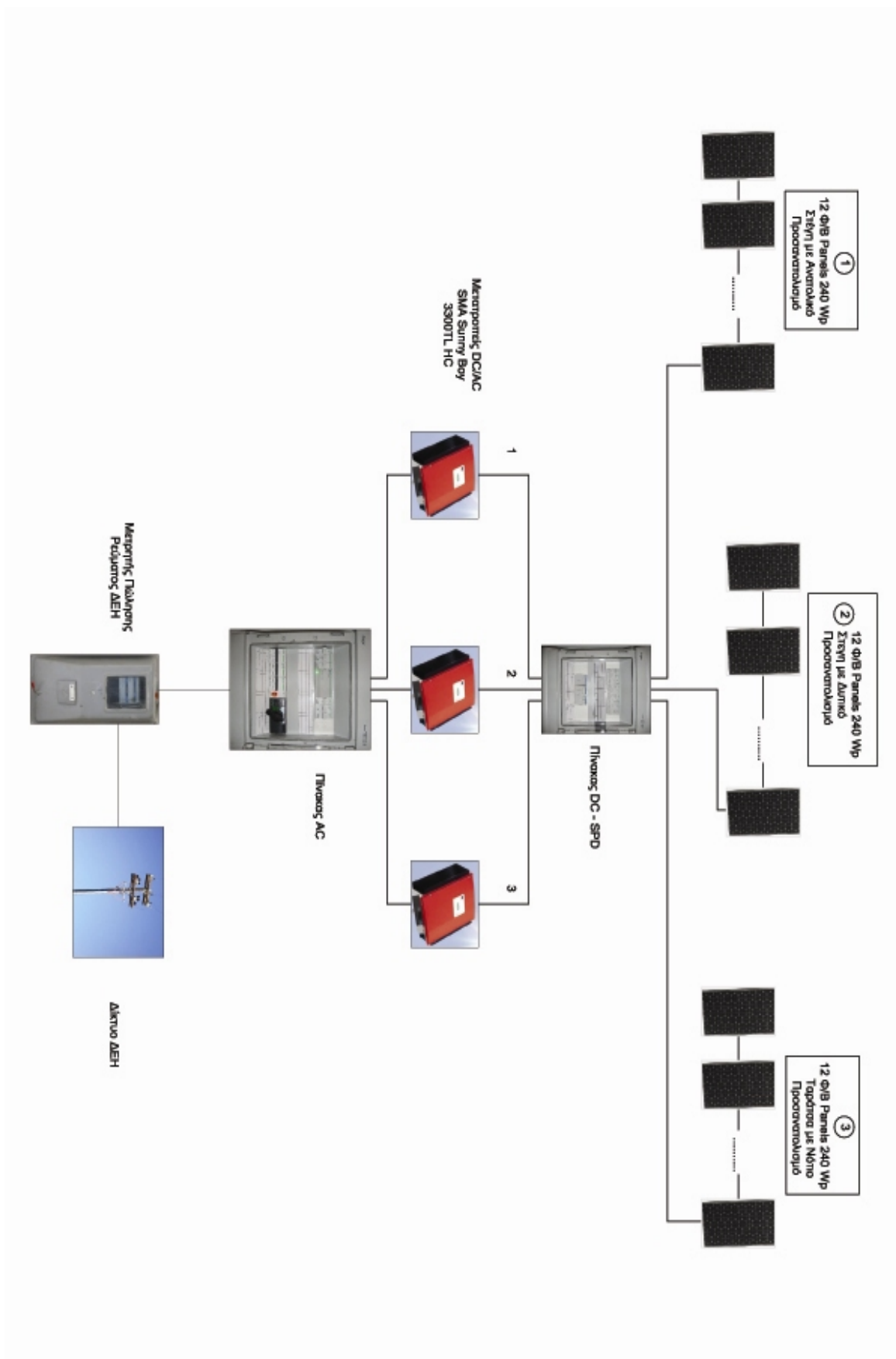


**Εικόνα 10. 2:** Φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 8,64 Κρ στο Μοσχάτο

## 10.2 Περιγραφή Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Η εγκατάσταση αποτελείται από 36 φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικά- Polycrystalline Silicon 240Wr τοποθετημένα στη στέγη. Αναλυτικά έχουν τοποθετηθεί 12 φωτοβολταϊκά panels 240 Wr σε στέγη με Ανατολικό προσανατολισμό, 12 φωτοβολταϊκά panels 240 Wr σε στέγη με Δυτικό προσανατολισμό και 12 φωτοβολταϊκά panels 240 Wr στη ταράτσα με Νότιο προσανατολισμό. Είναι δε συνδεδεμένα σε τρία string λόγω διαφορετικής κλίσης . Η συνολική ισχύ τους είναι 8,64 Κρ .

Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup> Παράδειγμα Εγκατεστημένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Τηλεμετρία στο Μοσχάτο

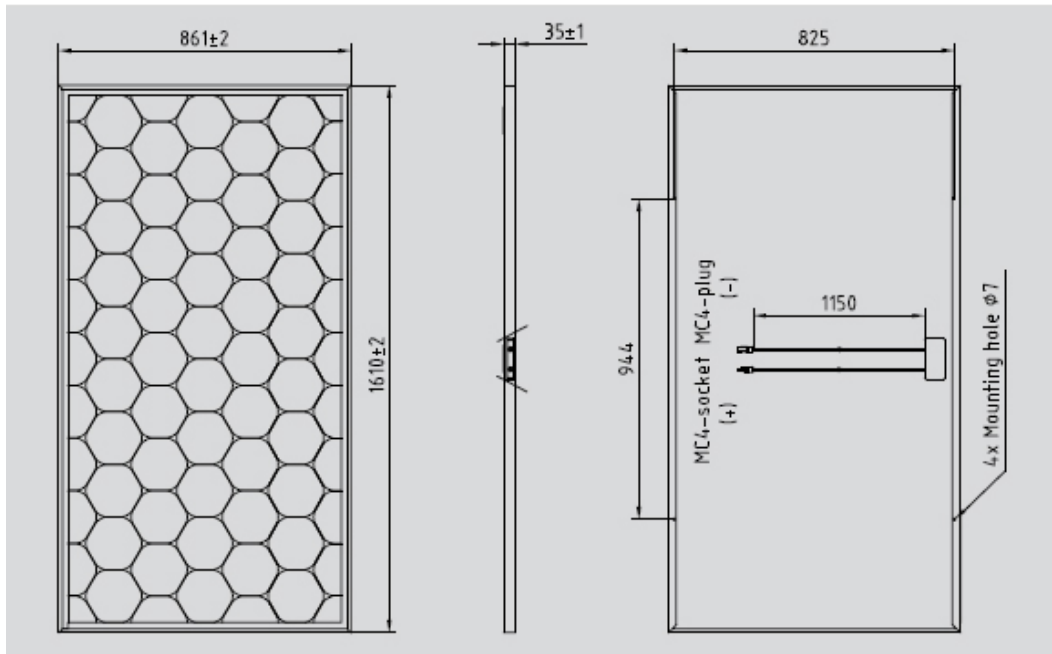


Σχήμα 10.1: Διάγραμμα Φωτοβολταϊκού Συστήματος

## Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup> Παράδειγμα Εγκατεστημένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Τηλεμετρία στο Μοσχάτο

### 10.2.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια

Τα πάνελ που χρησιμοποιήθηκαν για την εγκατάσταση είναι τύπου Sanyo HIT-240 HDE4 των οποίων τις διαστάσεις μπορούμε να δούμε στο σχήμα 10.2



Σχήμα 10.2: Πάνελ Sanyo HIT-240 HDE4

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πάνελ φαίνονται παρακάτω.

#### TECHNICAL DATA

Sanyo HIT		240HDE4
Nominal peak power	Wp	240.0
Guaranteed minimum power	Wp	228.0
Nominal voltage	V	35.5
Nominal current	A	6.77
Open circuit voltage	V	43.6
Short-circuit current	A	7.37
Max fuse rating	A	15
Temperature coefficient of $I_{sc}$	%/K	0.03
Temperature coefficient of $U_{oc}$	mV/K	-109
Temperature coefficient of $P_{max}$	%/K	-0.30
Length	mm	1610
Width	mm	861
Height	mm	35
Weight	kg	16.5
Assembly holes $\varnothing$ 7 mm	Pieces	4
Article numbers		2600700016

Σχήμα 10.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά Πάνελ Sanyo HIT-240 HDE4



### 10.2.2 Αναστροφέας

Η εγκατάσταση περιλαμβάνει 3 inverters τύπου SMA, type Sunny Boy 3.300TL HC. Δηλαδή, έναν αναστροφέα για κάθε μια από τις τρεις φωτοβολταϊκές γεννήτριες-string που υπάρχουν στο σύνολο του έργου οι οποίες γεννήτριες έχουν διαμορφωθεί-συνδεθεί έτσι ώστε να εξυπηρετούν την διαφορετική κλίση της εγκατάστασης.



**Σχήμα 10.4:** Inverter Sunny Boy 3.300TL HC.

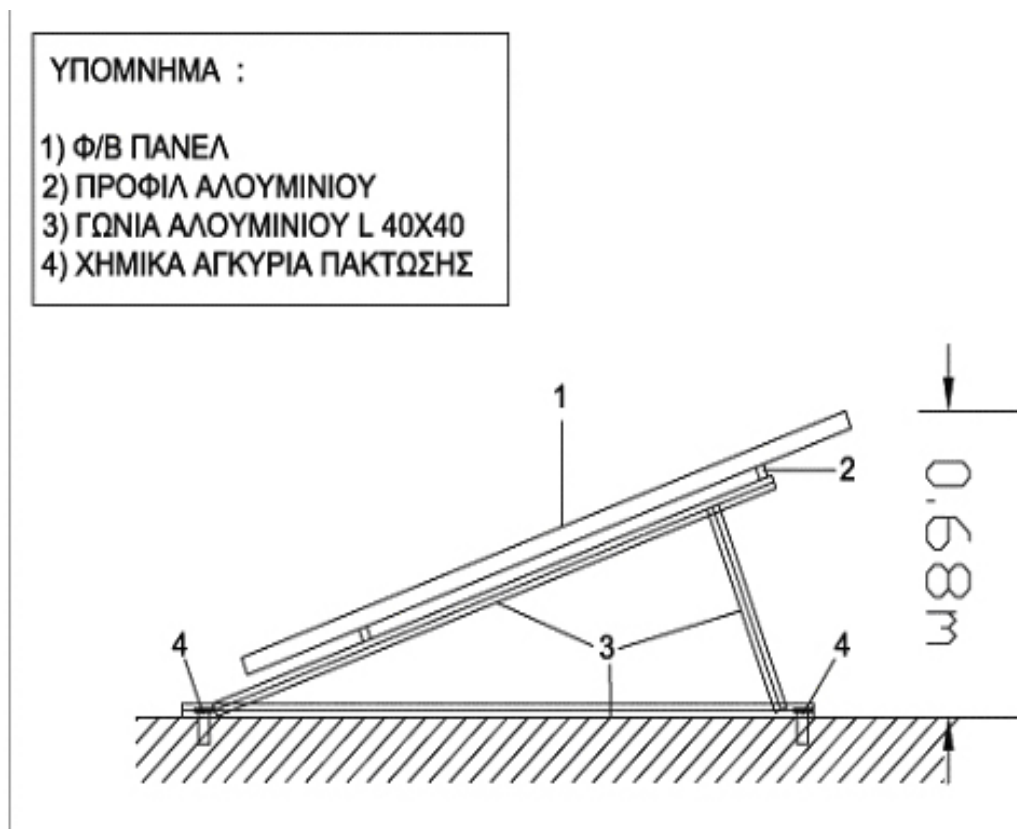
Η τοπολογία χωρίς μετασχηματιστή του Sunny Boy 3300TL HC προσφέρει δύο καθοριστικά πλεονεκτήματα: Υψηλό βαθμό απόδοσης και απλή εγκατάσταση χάρη στο μικρό συνολικό βάρος. Έτσι η συσκευή έχει ευέλικτη χρήση. Χάρη στο μεγάλο εύρος λειτουργίας τάσης και ρεύματος, ο Sunny Boy 3300TL HC μπορεί να συνδυαστεί με όλα τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια της αγοράς. Επιπλέον, το πρότυπο προστασίας IP 65 και το κορυφαίο σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας επιτρέπουν τη χρήση της συσκευής σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Ο Sunny Boy 3300TL HC διαθέτει, επίσης, μονάδα επιτήρησης ρεύματος σφάλματος, η οποία εγγυάται ασφαλή λειτουργία.

Όπως όλες οι συσκευές Sunny Boy, ο Sunny Boy 3300TL HC είναι συμβατός με τα προϊόντα τηλεμετρίας της SMA τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί στην εγκατάσταση. Τα τεχνικά του χαρακτηριστικά παραθέτονται στο παράρτημα.

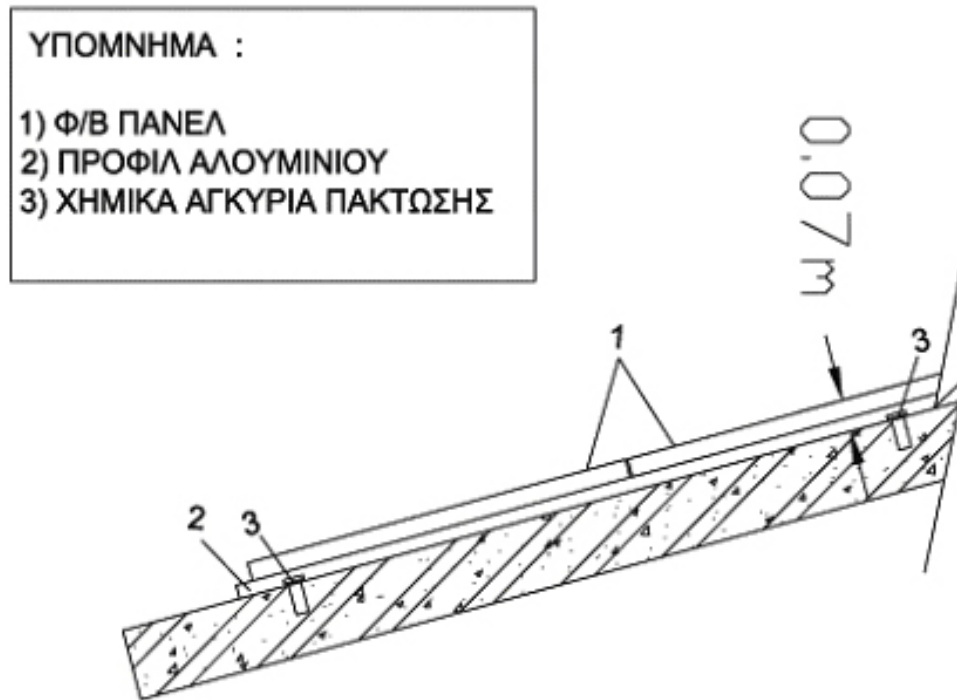
### 10.2.3 Βάσεις Στήριξης

Η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος όπως είπαμε παραπάνω, θα γίνει σε τρία διαφορετικά επίπεδα. Ένα επίπεδο σε στέγη με Ανατολικό προσανατολισμό (το οποίο θα αποτελέσει και τη μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια), ένα σε στέγη με Δυτικό προσανατολισμό και ένα στη ταράτσα με Νότιο προσανατολισμό

Για την τοποθέτησή τους θα χρησιμοποιηθούν δυο διαφορετικοί τρόποι στήριξης των πάνελ. Στη συνέχεια απεικονίζονται οι τομές εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πάνελ σε επίπεδο τμήμα του δώματος και σε κεκλιμένο τμήμα της στέγης.



**Σχήμα 10.5:** Τομή εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πλαισίου επί επίπεδου τμήματος δώματος.



**Σχήμα 10.6:** Τομή εγκατάστασης φωτοβολταϊκού πλαισίου επί κεκλιμένου τμήματος της στέγης

### 10.3 Θεωρητικός Υπολογισμός της Εγκατάσταση του Έργου

#### 10.3.1 Πίνακες Υπολογισμού- Μετεωρολογικά Δεδομένα

Για τον υπολογισμό των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία ηλιοφάνειας του προγράμματος PV-GIS σύμφωνα με τις συντεταγμένες της περιοχής εγκατάστασης.

Τα γραφήματα και οι πίνακες που ακολουθούν δίνουν τα αποτελέσματα του θεωρητικού υπολογισμού - προσομοίωσης του συστήματος, ανά μήνα και ημέρα καθώς και ολική. Επιπλέον, δίνουν αντίστοιχα και την ηλιοφάνεια σύμφωνα με την κλίση του έργου.

Εκτιμήσεις σύμφωνα με το πρόγραμμα PV-GIS για την ηλιακή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας-**Solar radiation database used: PV-GIS-classic**

**Nominal power of the PV system** -Ονομαστική Ισχύς του συστήματος: 8.6 kW (crystalline silicon)

**Estimated losses due to temperature** -Κατ' εκτίμηση απώλειες λόγω της θερμοκρασίας: 10.5% (using local ambient temperature)- (χρησιμοποιώντας την τοπική περιβαλλοντική θερμοκρασία)

Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup> Παράδειγμα Εγκατεστημένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Τηλεμετρία στο Μοσχάτο

**Estimated loss due to angular reflectance effects-** Κατ' εκτίμηση απώλεια λόγω συντελεστή ανάκλασης: 2.6%

**Other losses (cables, inverter etc.)-** Άλλες απώλειες (καλώδια, αντιστροφέα): 8.0%

**Combined PV system losses-** Συνδυασμένες απώλειες συστημάτων PV: 19.8%

<b>Fixed system: inclination=25°, orientation=0° (Optimum at given orientation)</b>				
<b>Month</b>	<b>E<sub>d</sub> (kWh)</b>	<b>E<sub>m</sub> (kWh)</b>	<b>H<sub>d</sub> (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>H<sub>m</sub> (kWh/m<sup>2</sup>)</b>
Jan	21. 70	673	2. 94	91. 0
Feb	24. 60	687	3. 37	94. 3
Mar	32. 30	1000	4. 50	139
Apr	39. 10	1170	5. 58	167
May	42. 30	1310	6. 19	192
Jun	45. 20	1360	6. 78	203
Jul	44. 80	1390	6. 78	210
Aug	42. 90	1330	6. 48	201
Sep	40. 10	1200	5. 91	177
Oct	30. 30	939	4. 33	134
Nov	21. 20	636	2. 94	88. 3
Dec	18. 60	575	2. 52	78. 3
<b>Yearly average</b>	33. 6	1020	4. 87	148
<b>Total for year</b>	12300		1780	

**Πίνακας 10.1:** Θεωρητικά αποτελέσματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

**Ed: Μέση τιμή καθημερινής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα**

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

**Em: Μέση τιμή μηνιαίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα**

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

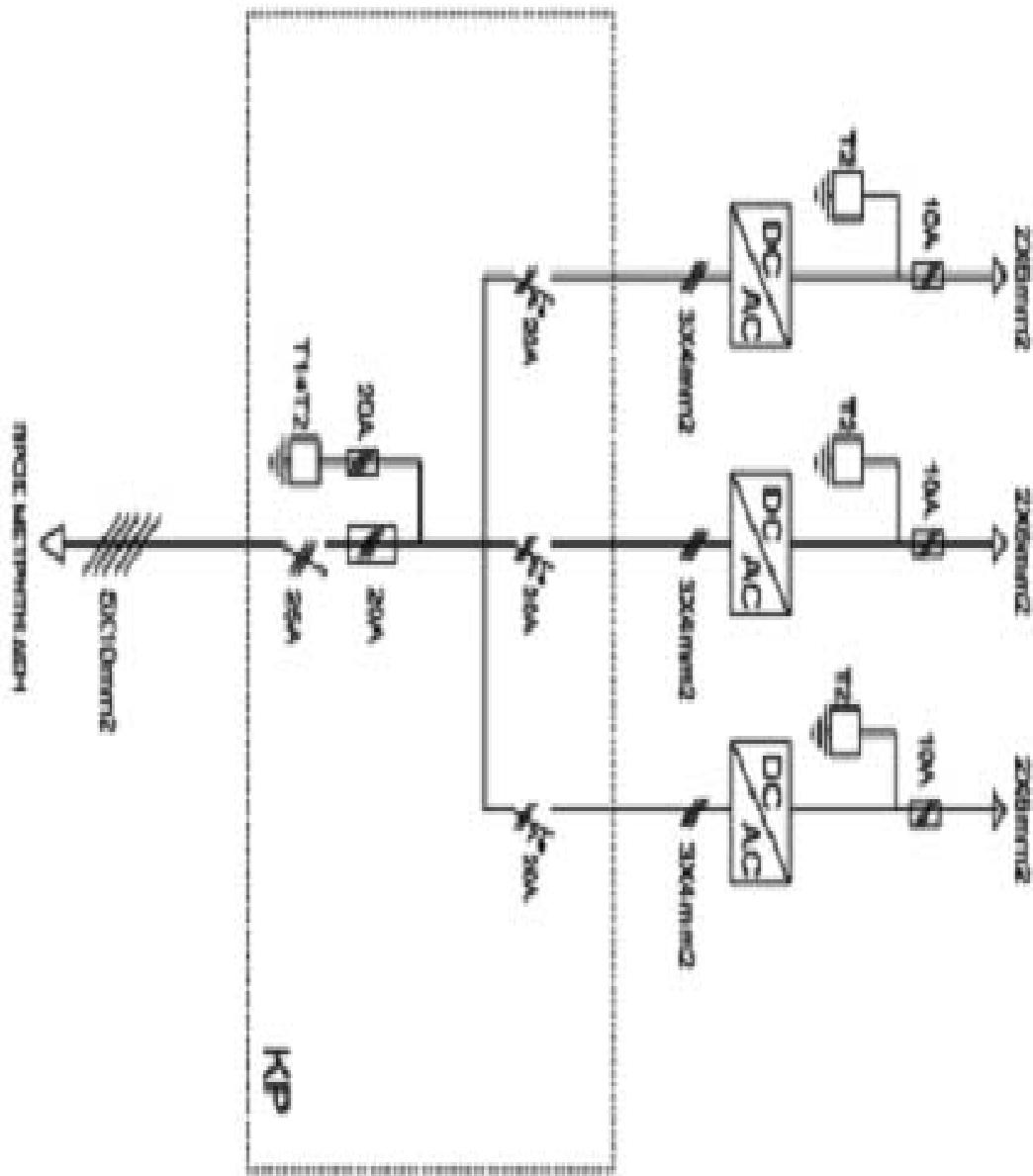
**Hd: Μέση τιμή ημερήσιου ποσού ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο**

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

**Hm: Μέση τιμή ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο**

### 10.3.2 Ηλεκτρολογική Εγκατάσταση

Στο παρακάτω μονογραμμικό σχέδιο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης διακρίνουμε τις τρεις συστοιχίες των γεννητριών, τους αντιστροφείς με τους οποίους είναι συνδεδεμένες, τις διατομές των καλωδίων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τις ασφάλειες και τους ασφαλειοδιακόπτες.

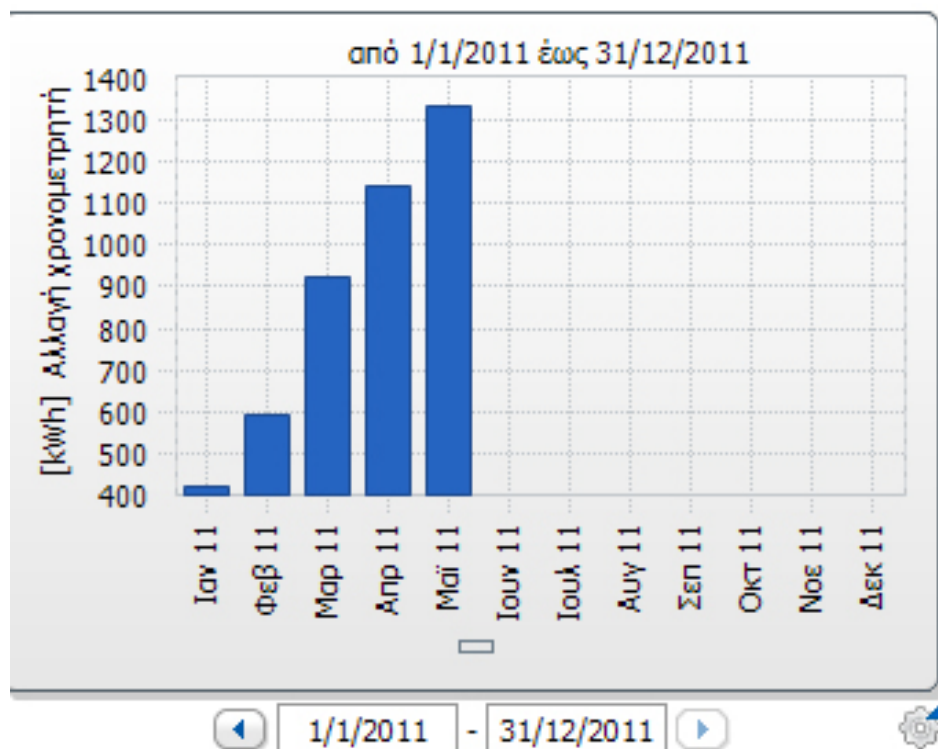


Σχήμα 10.7: Μονογραμμικό σχέδιο της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

#### 10.4 Μέτρηση Απόδοσης Εγκατεστημένου Συστήματος με τηλεμετρία

Για την επιτήρηση της απόδοσης της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης εκτελείται μεταφορά δεδομένων των τιμών ισχύος ή της ενεργειακής απόδοσης σε 24ωρή βάση, ανάμεσα στους ηλιακούς μετατροπείς και τις ιδικές συσκευές της επιτήρησης του δικτύου,

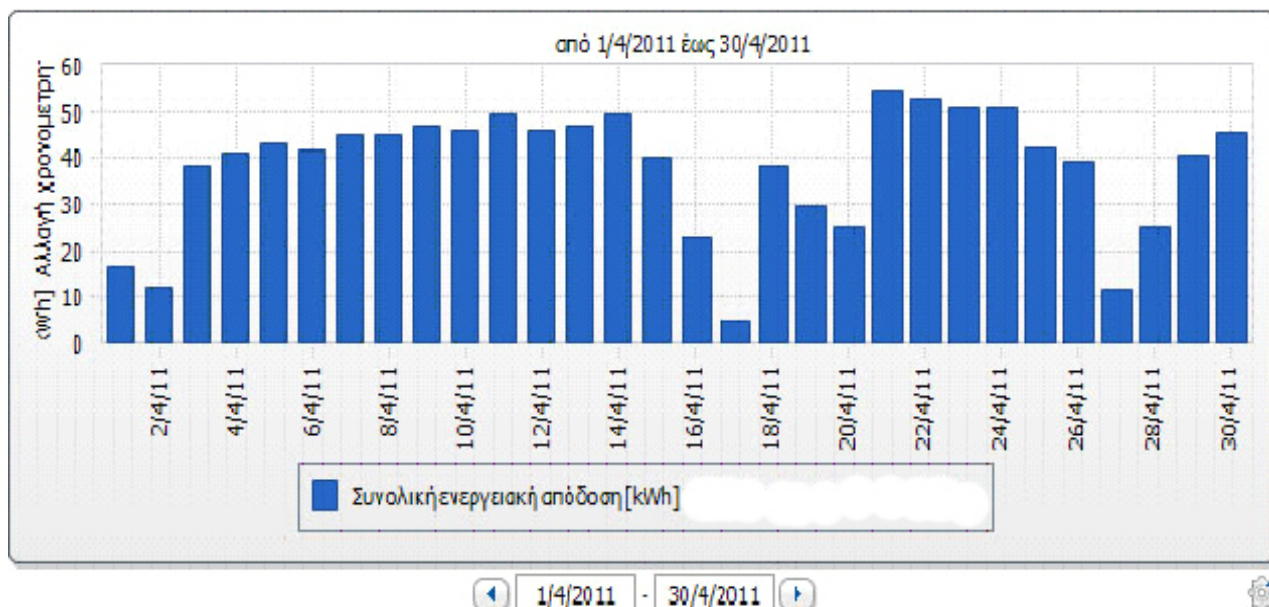
Το έργο στο Μοσχάτο ισχύος 8,64 Kp χρησιμοποιεί το ασύρματο σύστημα Sunny Boy Control, και το Sunny Portal της εταιρείας SMA Solar Technology AG από την οποία πήραμε και τα στοιχεία. Με βάση αυτό η συνολικής ενεργειακής απόδοσης (KWh) για το έτος 2011 (για τους 5 πρώτους μήνες τις λειτουργίας της) είναι αυτό που παρουσιάζεται στο σχήμα 10.8.



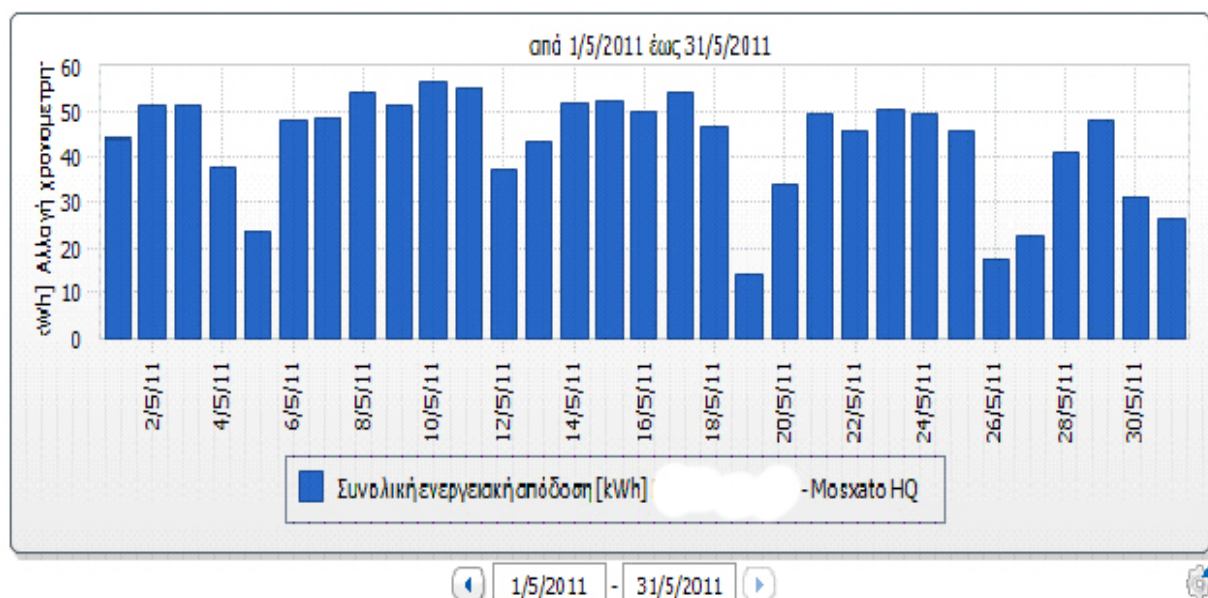
Σχήμα 10.8: Διάγραμμα Συνολικής Ενεργειακής Απόδοσης (KWh) για το έτος 2011

## Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup> Παράδειγμα Εγκατεστημένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Τηλεμετρία στο Μοσχάτο

Επιπλέον η ενεργειακή απόδοση για τους μήνες Απρίλιο και Μάιο απεικονίζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 10.9: Διάγραμμα Ενεργειακής Απόδοσης (KWh) για τον Απρίλιο του 2011

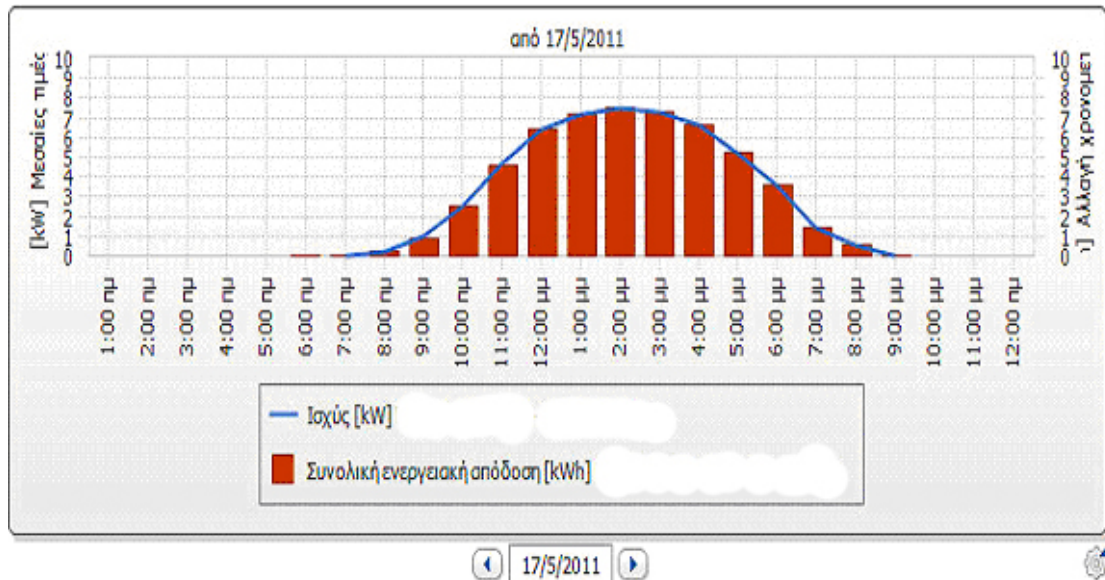


Σχήμα 10.10: Διάγραμμα Ενεργειακής Απόδοσης (KWh) για τον Μάιο του 2011

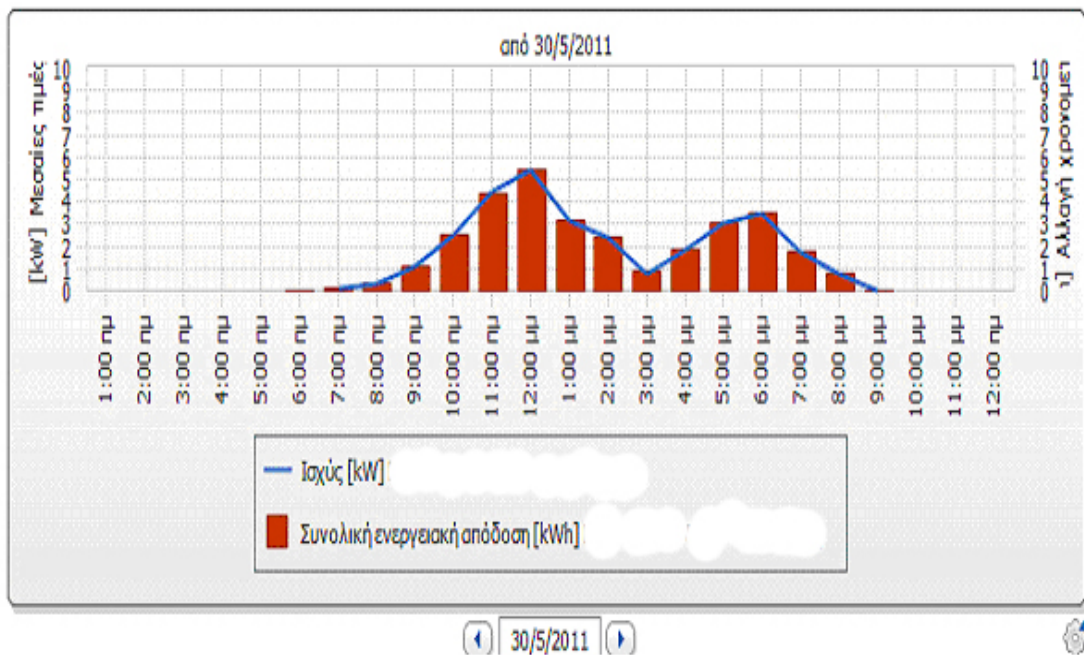


## Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup> Παράδειγμα Εγκατεστημένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Τηλεμετρία στο Μοσχάτο

Η ημερήσιες καμπύλες ενεργειακής απόδοσης για της ημερομηνίες 17/5/2011 και 30/5/2011 φαίνονται παρακάτω.



Σχήμα 10.11: Διάγραμμα Ενεργειακής Απόδοσης (KWh) για 17/5/2011



Σχήμα 10.12: Διάγραμμα Ενεργειακής Απόδοσης (KWh) για 30/5/2011



## Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup> Παράδειγμα Εγκατεστημένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Τηλεμετρία στο Μοσχάτο

Να σημειωθεί πως στις 30/5/2011 κατά τις μεσημεριανές ώρες δεν υπήρχε η αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γιατί οι καιρικές συνθήκες δεν ήταν οι συνηθισμένες (είχε συννεφιά).

### 10.5 Συμπεράσματα - Σύγκριση Θεωρητικού και Μετρήσεων Τηλεμετρίας για την Εγκατάσταση του Έργου

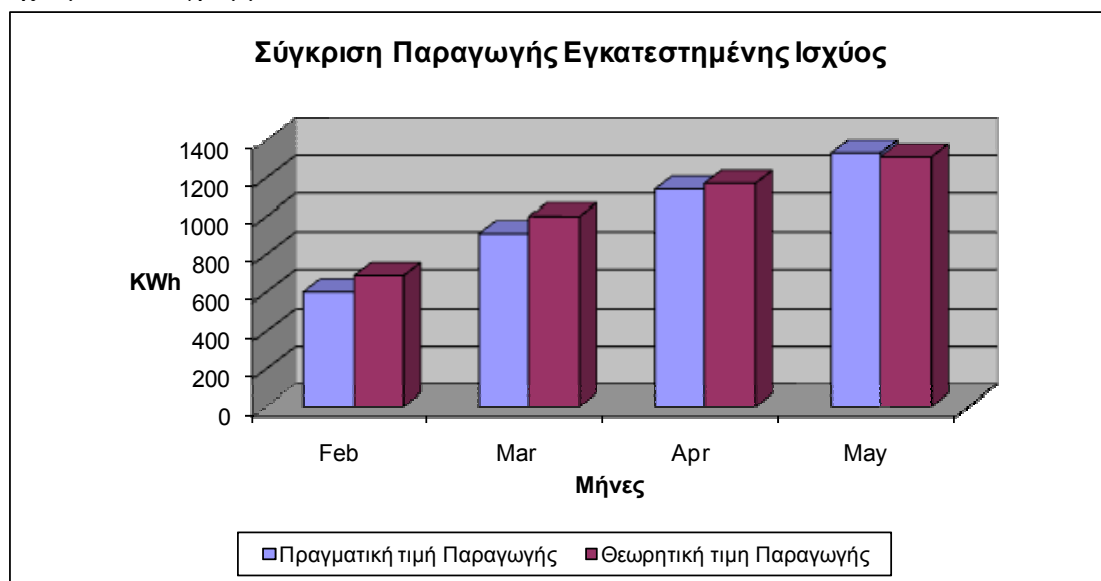
Σύμφωνα με τους υπολογισμούς του προγράμματος PV-GIS για την ηλιακή παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργεια έχουμε τα εξής δεδομένα.

Θεωρητικές Τιμές		
Μήνας	Ed (Καθημερινή Παραγωγή Ηλ.Εν)- Μέση τιμή (kWh)	Em (Μηνιαία Παραγωγή Ηλ. Εν)- Μέση τιμή (kWh)
Απρίλιος	39. 10	1170
Μάιος	42. 30	1310

Επίσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της τηλεμετρίας από την μέτρηση της παραγόμενης ενέργειας με βάση το διάγραμμα 10. 9 και το διάγραμμα 10.10 έχουμε:

Μετρούμενες Πραγματικές Τιμές		
Μήνας	Ed (Καθημερινή Παραγωγή Ηλ.Εν)- Μέση τιμή (kWh)	Em (Μηνιαία Παραγωγή Ηλ. Εν)- Μέση τιμή (kWh)
Απρίλιος	38.3	1149
Μάιος	42,935	1331

Επιπλέον αν συγκρίνουμε την παραγωγή για τους μήνες που λειτουργεί το έργο έχουμε το διάγραμμα



Σχήμα 10.13: Διάγραμμα Σύγκρισης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

## Κεφάλαιο 10<sup>ο</sup> Παράδειγμα Εγκατεστημένου Φωτοβολταϊκού Συστήματος με Τηλεμετρία στο Μοσχάτο

Άρα καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως οι θεωρητικοί υπολογισμοί που κάναμε είναι πολύ κοντά στις πραγματικές μετρήσεις που πήραμε. Δεν υπάρχει δηλαδή αξιοσημείωτη απόκλιση των δεδομένων.

## Παράρτημα

### 1. Sunny Boy 3300TL HC

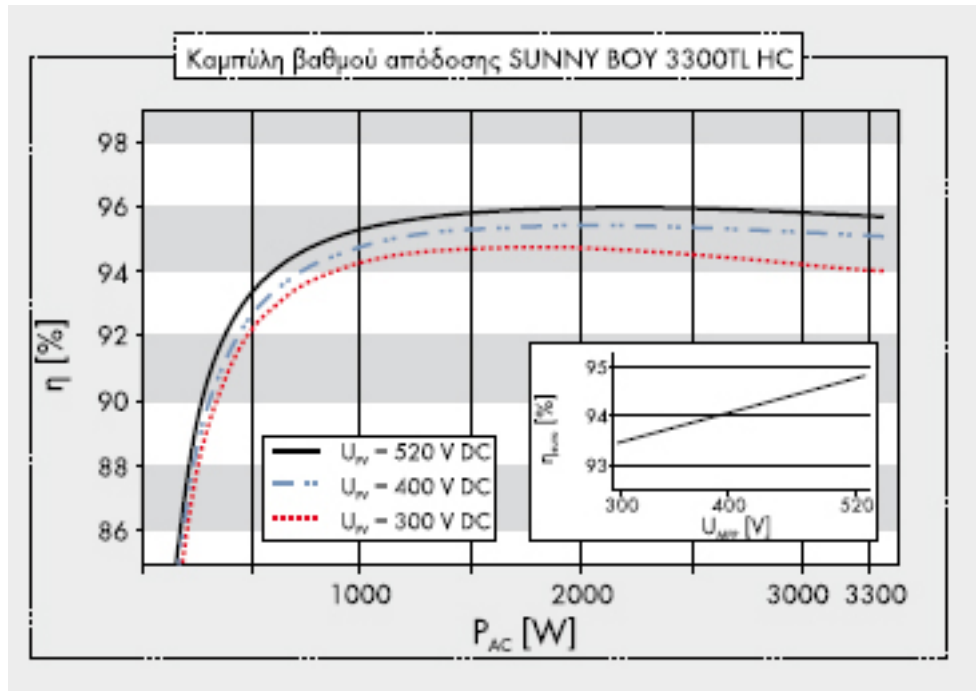


Η τοπολογία χωρίς μετασχηματιστή του Sunny Boy 3300TL HC προσφέρει δύο καθοριστικά πλεονεκτήματα: Υψηλό βαθμό απόδοσης και απλή εγκατάσταση χάρη στο μικρό συνολικό βάρος. Η συσκευή εντυπωσιάζει με την ευέλικτη χρήση της. Χάρη στο μεγάλο εύρος λειτουργίας τάσης και ρεύματος, ο Sunny Boy 3300TL HC μπορεί να συνδυαστεί με όλα τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια της αγοράς. Επιπλέον, το πρότυπο προστασίας IP 65 και το κορυφαίο σύστημα διαχείρισης θερμοκρασίας επιτρέπουν τη χρήση της συσκευής σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Ο Sunny Boy 3300TL HC διαθέτει, επίσης, μονάδα επιτήρησης ρεύματος σφάλματος, η οποία εγγυάται ασφαλή λειτουργία. Όπως όλες οι συσκευές Sunny Boy, ο Sunny Boy 3300TL HC είναι συμβατός με τα προϊόντα τηλεμετρίας της SMA.

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Sunny boy 3300TL HC
<b>Είσοδος (DC)</b>	
Μέγιστη ισχύς DC (@ $\cos \varphi = 1$ )	3440 W
Μέγιστη τάση DC	750 V
Εύρος τάσης σημείου μέγιστης ισχύος (MPP)	313 V - 600 V
Ονομαστική τάση DC	520 V
Ελάχιστη τάση DC / Τάση εκκίνησης	125 V / 150 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου / ανά στοιχειοσειρά	11 A / 11 A
Αριθμός ανιχνυτών MPP / Στοιχειοσειρές ανά ανιχνευτή MPP	1 / 2
<b>Εξοδος (AC)</b>	
Ονομαστική ισχύς AC (@ 230 V, 50 Hz)	3000 W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC	3300 VA
Ονομαστική τάση, περιοχή τάσεων AC	220, 230, 240 V, 180 V - 265 V
Συχνότητα δικτύου, εύρος AC	50 Hz, -4,5 Hz, +2,5 Hz
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	16 A
Συντελεστής ισχύος ( $\cos \varphi$ )	1
Φάσεις τροφοδοσίας / Φάσεις σύνδεσης	1 / 1
<b>Βαθμός απόδοσης</b>	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης / Euro-Eta (EBA)	96,0 % / 94,6 %
<b>Διατάξεις προστασίας</b>	
Προστασία απτισποφής πόλων συνεχούς ρεύματος	●
Αποζεύκτης φορτίου DC ESS	●
Ανοχή σε βραχυκύκλωμα AC	●
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος προς τη γη	●
Επιτήρηση δικτύου (SMA Grid Guard)	●
Γαλβανική απομόνωση / μονάδα επιτήρησης ρεύματος σφάλματος ενσωματωμένη σε όλα τα ρεύματα	- / ●
Κατηγορία προστασίας / Κατηγορία υπέρτασης	I / III
<b>Γενικά χαρακτηριστικά</b>	
Διαστάσεις (Π / Υ / Β) σε mm	470 / 490 / 225
Βάρος	28 kg
Εύρος πμίν θερμοκρασίας λειτουργίας	-25 °C ... +60 °C
Εκπομπή θορύβου, τυπική	≤ 29 dB(A)
Ιδία κατανάλωση (νύχτα)	< 0,25 W
Τοπολογία	Χωρίς μετασχηματιστή
Τρόπος ψύξης	Μεταφορά θερμότητας
Είδος προστασίας ηλεκτρονικού συστήματος / Περιοχή σύνδεσης (κατά το πρότυπο IEC 60529)	IP65 / IP65
Κατηγορία κλίματος (κατά το πρότυπο IEC 60721-3-4)	4K4H
<b>Εξοπλισμός</b>	
Σύνδεση DC: SUNCLIX	●
Σύνδεση AC: Καχλιωτός συνδετήρας / Βύσμα σύνδεσης / Ελαστικοί συνδετήρας	● / - / -
Οθόνη: Γραμμή κειμένου / Γραφικά	● / -
Διαποφές: RS485 / Bluetooth®	o / o
Εγγύηση: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 χρόνια	● / o / o / o / o
Πιστοποιητικά και εγκρίσεις (περισσότερα κατόπιν αιτήματος)	CE, VDE 0126-1-1, DK 5940*, PPC, EN 50438**, C10/C11, PFDS

Τεχνικά χαρακτηριστικά Sunny Boy 3300TL HC

## Καμπύλη Βαθμού απόδοσης Sunny Boy 3300TL HC



## 2. Κεντρική Μονάδα Επικοινωνίας SUNNY WEBBOX



Sunny WebBox

### Μηχανολογικά μεγέθη

Διαστάσεις σε Π x Υ x Β	255 mm x 130 mm x 57 mm
Βάρος	750 g

### Τροφοδοσία τάσης

Τυπική κατανάλωση ισχύος	4 W
Μέγιστη κατανάλωση ισχύος	12 W

### Περιβαλλοντικές συνθήκες

Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-20 °C ... +65 °C
Σχετική υγρασία αέρα	5 % ... 95 %, χωρίς συμπύκνωση
Κλάση προστασίας*	IP20

\*Είδος προστασίας σύμφωνα με το πρότυπο DIN 60529

### Επικοινωνία

Μετατροπέας εκτός τον Sunny Central	RS485
Sunny Central	RS485, 10/100 Mbit Ethernet
Ηλεκτρονικός Υπολογιστής	10/100 Mbit Ethernet
μόντεμ / Διαμορφωτής*	Αναλογικό, GSM
Εμβέλεια επικοινωνίας RS485	1.200 m
Εμβέλεια επικοινωνίας Ethernet	100 m

\*προαιρετικά

### Λοιπά

Γλώσσες της διασύνδεσης λογισμικού	Γερμανικά, αγγλικά, γαλλικά, ιταλικά, ισπανικά, ελληνικά, κορεατικά, πορτογαλικά, τσεχικά, ολλανδικά,
Εσωτερική κυκλική μνήμη	8 MB
Επέκταση μνήμης με κάρτες SD*	128 MB/512 MB/1 GB/2 GB

\*προαιρετικά

## 2. ΚΑΛΩΔΙΑ ΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### FlexiSun® 2.5, 4, 6, 10, 16 mm<sup>2</sup> PV1-F



#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ:

Για χρήση σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, σε περιοχές όπου υπάρχει κίνδυνος έκρηξης, σε βιομηχανικές, εμπορικές και αγροτικές εφαρμογές

Μπορούν επίσης να τοποθετηθούν:

- υπογείως
- σε κανάλια ηλεκτρικών εγκαταστάσεων
- πάνω από, μέσα ή κάτω από σοβά
- σε αγωγούς ηλεκτρικών εγκαταστάσεων
- σε εξοπλισμό

Κατάλληλο για χρήση στο εσωτερικό και συνδεδεμένο σε μονωμένο εξοπλισμό (κλάση προστασίας II)

Ελεγμένο κατά VDE (VDE reg. no. 8026)

TÜV 2 PfG 1169/08.2007, cert. no. R 60014271

Για κινούμενες, πτυσσόμενες ή σταθερές εγκαταστάσεις Φ/Β συστημάτων σε εύρος θερμοκρασιών μεταξύ -40 °C to +120 °C

Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος +120 °C (κινούμενη και σταθερή θέση). Σχεδιασμός κατά IEC 60216: σταθερή θερμοκρασία 120 °C = 20,000 h (= 2.3 χρόνια), σταθερή θερμοκρασία 90 °C μέγιστη = 30 χρόνια

Χωρίς αλογόνα

Βελτιωμένη απόδοση έναντι φωτιάς

Ανθεκτικό στην αμμωνία

Ανθεκτικό σε όζον και ακτίνες UV

Προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων και διαρροών ως προς τη γη



REG.-Nr. 8026



# Τεχνικά Χαρακτηριστικά

## ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

### Ηλεκτρικές παράμετροι

Όνομαστική τάση (AC)	U0/U 0.6/1.0 kV
Μέγιστη τάση Φ/Β συστήματος (DC)	1.8 kV
Μέγιστη επιτρεπτή τάση λειτουργίας (AC)	0.7/1.2 kV αγωγός-γη/αγωγός-αγωγός
Μέγιστη επιτρεπτή τάση λειτουργίας (DC)	0.9/1.8 kV αγωγός-γη/αγωγός-αγωγός
Τάση ελέγχου (AC/DC)	6 kV/10 kV (διάρκεια δοκιμής 15 λεπτά.)
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	Σύμφωνα με τις απαιτήσεις περί καλωδίωσης Φ/Β συστημάτων κατά DKE/VDE AK 411.2.3
Δοκιμές	Αντίσταση αγωγού κατά DIN VDE 0282 part 2, HD 22.2 και EN 50395. Δοκιμές τάσεις AC και DC, διηλεκτρικής αντοχής, αντίστασης επιφάνειας, δοκιμής σπινθηρισμού, αντίστασης διαρροής στους 20 °C και στους 90 °C στο νερό και στους 120 °C στον αέρα. Αντίσταση DC κατά EN 50305 section 6 (10 ημέρες, 85 °C σε αλμυρό νερό, 1.5 kV DC)

### Θερμικές παράμετροι

Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-40 °C to +120 °C (κινούμενη και σταθερή θέση), σχεδιασμός κατά IEC 60216: σταθερή θερμοκρασία 120 °C = 20,000 h (2,3 χρόνια), σταθερή μέγιστη θερμοκρασία 90 °C = 30 χρόνια
Θερμοκρασία βραχυκυκλώματος	+250 °C (5 sec κατά μέγιστο στον αγωγό)
Αντίσταση σε χαμηλές θερμοκρασίες	Κύρτωση και επιμήκυνση κατά EN 60811-1-4, κρούση κατά EN 50305
Δοκιμή υγρασίας/θέρμανσης	Σύμφωνα με EN 60068-2-78, 1,000 h στους 90 °C και υγρασία 85 %.

### Μηχανικές παράμετροι

Φορτίο εφελκυσμού	15 N/mm <sup>2</sup> σε χρήση, 50 N/mm <sup>2</sup> κατά την εγκατάσταση
Ακτίνα κάμψης	Βλ. πίνακα
Τριβή	Σμυριδόχαρτο (διεθνής δοκιμή σύμφωνα με DIN 53516), μανδύας με μανδύα (διεθνής δοκιμή), μανδύας με μέταλλο (διεθνής δοκιμή), μανδύας με πλαστικό (διεθνής δοκιμή)
Σκληρότητα στήριξης	85 (διεθνής δοκιμή κατά DIN 53505)
Ανθεκτικότητα σε τρωκτικά	Για απόλυτη ασφάλεια χρησιμοποιείται προστατευτικός σωλήνας ή καλώδια με μεταλλικό περίβλημα όπως δικτυωτό κάλυμμα ή πλεκτό περίβλημα

### Αντίσταση σε εξωτερικές επιδράσεις

Αντίσταση σε πετρέλαιο	24 h, 100 °C (διεθνής δοκιμή κατά DIN VDE 0473 811-2-1, DIN EN 60811-2-1)
Αντίσταση σε όζον	Δοκιμή κατά DIN EN 50396, HD 22.2 test type B
Αντίσταση σε ακτίνες UV	Δοκιμή κατά UL 1581 (xeno-Test), ISO 4892-2 (meth. 1), HD 605/A1-2.4.20
Αντίσταση σε οξέα και αλκάλια	Σύμφωνα με EN 60811-2-1, 7 days, 23 °C (N oxalic acid, N sodium hydroxide solution)
Αντίσταση σε αμμωνία	30 ημέρες σε κορεσμένη ατμόσφαιρα αμμωνίας (διεθνής δοκιμή)
Απορόφηση νερού (βαρομετρική)	Διεθνής δοκιμή κατά DIN EN 60811-1-3 και DIN VDE 0473-811-1-3

### Αντίδραση σε φωτιά

Επέκταση φλόγας, μεμονωμένο καλώδιο	DIN EN 60332-1-2 και DIN VDE 0482 part 332-1-2
Επέκταση φλόγας, δέσμη καλωδίων	Διεθνής δοκιμή κατά DIN EN 50305-9 και DIN VDE 0482 part 266-2-5
Εκπομπή καπνού, διαπερατότητα φωτός > 70 %	Διεθνής δοκιμή κατά DIN EN 50268-2 και DIN VDE 0482 part 268-2
Χαμηλή διαβρωτικότητα	DIN EN 50264-1
Χαμηλή τοξικότητα	Διεθνής δοκιμή κατά DIN EN 50305 (ITC index less than 3)
Μετρήσεις οικολογικής ασφάλειας	Έχουν ληφθεί ως προς την ανακυκλωσιμότητα και αποκομιδή καθώς και ως προς την εξοικονόμηση ενέργειας κατά την παραγωγή (απαλλαγμένο από αλογόνα και παράγοντες μόλυνσης: κατά τη διάρκεια της θερμικής ανακύκλωσης δεν απελευθερώνονται επιβλαβείς παράγοντες μόλυνσης για το περιβάλλον)

### Κριτήρια σχεδιασμού

Αγωγός	Χαλκός, επιψευδαργυρωμένος, κλάσης 5 κατά IEC 60228 (DIN VDE 0295)
Μόνωση	Χωρίς αλογόνα, ανθεκτικό σε θερμότητα και όζον, ειδική μίξη ελαστομερούς HEPR (hard ethylene propylene rubber) στους 120 °C κατά IEC 60502-1, (mixture type E16/E18)
Μανδύας	Χωρίς αλογόνα, ανθεκτικό σε θερμότητα και ψύχος, ειδική μίξη ελαστομερούς EVA (ethylene vinyl acetate). Ανθεκτικό σε όζον, UV, πετρέλαιο και χημικά σύμφωνα με HD 22.1 (mixture type EM4/EM8)
Σήμανση	IBC FlexiSun® (διατομή) PV1-F 0.6/1 kV, VDE reg. no. 8026/TÜV cert. R 60014271

Όνομαστική διατομή	mm <sup>2</sup>	2.5	4	6	10	16
Διάμετρος αγωγού	mm	1.9	2.4	2.9	4.0	5.5
Εξωτερική διάμετρος (ελάχιστη)	mm	4.9	5.2	5.7	6.8	8.3
Εξωτερική διάμετρος (μέγιστη)	mm	5.1	5.6	6.1	7.2	9.0
Καθαρό βάρος καλωδίου (προσέγγιση)	kg/km	43	58	77	120	178
Ελάχιστη ακτίνα κάμψης	mm	15	17	18	22	36
Μέγιστο επιτρεπτό φορτίο εφελκυσμού	N	38	60	90	150	240
Μέγιστο φορτίο ρεύματος στους 60 °C	A	41	55	70	98	132
Επιτρεπτό ρεύμα βραχυκύκλωσης (1 δευτ.)	kA	0.32	0.50	0.76	1.26	2.01
Κωδικός προϊόντος		7000200010	7000200011	7000200012	7000200013	7000200014

Υπόκεινται σε τεχνικές αλλαγές για περαιτέρω βελτιώσεις.





## Βιβλιογραφία

---

- [1] Ηλιακές Στέγες, Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον οικιακό –κτιριακό τομέα, Ένας Πρακτικός Οδηγός, Green peace
- [2] Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών, Ένας Πρακτικός Τεχνικός Οδηγός, Ιανουάριος 2011 [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr)
- [3] Ο Μύθος της Φθηνής Πυρηνικής Ενέργειας, Green peace
- [4] Φωτοβολταϊκά Συστήματα Ενσωματωμένα σε Κτίρια, Τεχνικός Οδηγός και Παραδείγματα Βέλτιστων Πρακτικών, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Ανανεώσιμων και Βιώσιμων Ενεργειακών Συστημάτων
- [5] Planning and Installing Photovoltaic Systems, a Guide for Installers, Architects and Engineers, London, Sterling VA
- [6] Μηνιαίο περιοδικό ‘Τεχνική Εκλογή ’ Τεύχος 520, Νοέμβριος 2010
- [7] Περιοδικό Τεχνικά Θέματα Δεκέμβριος 2001, σελ 100-116
- [8] Τεχνικά Χρονικά, Ιανουάριος-Φεβρουάριος 2010
- [9] Photovoltaic Systems Technology, University Kassel, Germany, 2003
- [10] N. Mohan, T.M. Undeland, W. P. Robbins, Ηλεκτρονικά Ισχύος, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 1996
- [11] Οδηγίες για την Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος σε Κτιριακές Εγκαταστάσεις, ΚΑΠΕ, Αύγουστος 2009
- [12] Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας /[www.geo.auth.gr/318\\_lab](http://www.geo.auth.gr/318_lab)
- [13] Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Διεύθυνση Κλιματολογίας
- [14] Δικτυακός τόπος της Εταιρείας Φωτοβολταϊκά Συστήματα Heliosystems
- [15] Κατάλογος Καλωδίων, Ελληνική Βιομηχανία Καλωδίων Cablel
- [16] Lightning Protection Guide, Lightning and surge protection for PV systems and solar power plants [www.dehn.de](http://www.dehn.de)
- [17] Μελέτη Αντικεραυνικής Προστασίας Renapps, [www.renapps.com](http://www.renapps.com)
- [18] Πέτρος Ντοκόπουλος, Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών, Εκδόσεις Ζήτη, Ιανουάριος 2005

- [19] Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας
- [20] Γ.Σ. Τσακιράκης, Σημειώσεις για το Εργαστήριο των Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων ΣΕΛΕΤΕ, Αθήνα 2008
- [21] Κατάλογος Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού, Λύσεις για φωτοβολταϊκά Έλεγχος και Προστασία, ABB
- [22] Δρ. Δ. Τσαλέμης: Ενεργειακή Αδειοδότηση Μικρών Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, Σεμινάριο για Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) ΤΕΕ – ΤΔΕ, 9-11/02/2009: Πάτρα
- [23] C. L. Trujillo<sup>1, 2</sup>, D. Velasco<sup>1</sup>, G. Garcerá<sup>1</sup>, E. Figueres<sup>1</sup>, O. Carranza, Analysis of Active Islanding Methods for Single phase Inverters , Department of Electronic Engineering, Universidad Politécnica de Valencia
- [24] Evaluation of Islanding Detection Methods for Photovoltaic Utility Interactive Power Systems International Energy Agency, Task V, Report IEA-PVPS T5-09: 2002 March 2002
- [25] Διαδικτυακός τόπος Εταιρεία Φωτοβολταϊκών HelioSystems
- [26] Κ. Καγκαράκης, Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, ΕΜΠ
- [27] Δικτυακός τόπος της Εταιρείας Heliosphera
- [28] Κατάλογος Εταιρείας Thin film partners of Greece [www.thinfilm.gr](http://www.thinfilm.gr)
- [29] Δικτυακός τόπος της Εταιρείας SMA Hellas

## **Βιβλιογραφία**

---

1. Περιοδικό 'Στρατιωτική Επιθεώρηση', Ιούλιος-Αύγουστος 2009  
Site mixanikos.gr
2. Σεμινάριο για μηχανικούς ΤΕΕ Δυτικής Ελλάδας Φεβρουάριος 2009 , Εισηγητής  
Σταύρος Λαζάρου, Πανεπιστήμιο Πατρών
3. Soren Baekhoj Kjaer, Design and Control of an Inverter for Photovoltaic  
Applications, Aalborg University, DENMARK, January 2005
4. François D. Martzloff, Lightning and Surge Protection of Photovoltaic Installations  
Two Case Histories: Vulcano and Kythnos, National Institute of Standards and  
Technology
5. Φραγκιαδάκης Ι.Ε., Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη  
2006.