

556

A47



Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Αυτοματισμού

Πτυχιακή Εργασία

Θέμα:

**"ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ"**



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΑΜΠΛΙΑΝΙΤΗ ΘΕΟΔΩΡΑ Α.Μ.:37440

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΙΧΑΗΛΣ ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ 2013



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΕΙΕΣ

Για την πραγμάτωση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Μιχάλη Παπουτσιδάκη για την ανάθεση του θέματος. Επίσης για την σημαντική υποστήριξη και συνεισφορά του σε ιδέες, καθώς και τις συμβουλές που μου έδωσε ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Α. Χατζόπουλο.

Αμπλιανίτη Θεοδώρα



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b>	<b>1</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	<b>2</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>5</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>7</b>
1.1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	8
1.2 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	10
1.3 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	10
1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>13</b>
<b>ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>13</b>
2.1 ΔΟΜΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	14
2.2 ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	16
2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	17
2.3.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ	18
2.3.2 ΔΙΑΤΑΞΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	19
2.3.3 ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	21
2.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΑΚΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ-ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	23
2.4.1 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ-ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	23
2.4.2 ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΒΛΑΒΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΕΝΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ	24
2.4.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	25

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	<b>26</b>
<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ</b>	<b>26</b>
<b>3.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΝΕΛ</b>	<b>27</b>
3.1.1 ΤΥΠΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ	27
3.1.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ	31
3.1.3 ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ	32
<b>3.2 ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ</b>	<b>34</b>
<b>3.3 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ (ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ)</b>	<b>35</b>
3.3.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	36
3.3.2 ΤΥΠΟΙ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	37
3.3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	38
3.3.4 ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ	39
<b>3.4 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΤΑΣΗΣ (INVERTER)</b>	<b>39</b>
3.4.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	40
3.4.2 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	41
3.4.3 ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ	43
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	<b>45</b>
<b>ΚΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>45</b>
<b>4.1 ΤΡΟΠΟΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ</b>	<b>46</b>
4.1.1 ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΒΑΣΕΙΣ	46
4.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ	48
<b>4.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΟΥ</b>	<b>51</b>
<b>4.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΚΙΑΣΜΩΝ</b>	<b>54</b>
<b>4.4 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ</b>	<b>59</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	<b>61</b>
<b>ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ</b>	<b>61</b>
<b>5.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</b>	<b>62</b>

5.2 Η ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ-----	64
5.3 ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ-----	65
5.2.1 ΣΤΕΓΗ 94Τ.Μ. ΜΕ ΝΟΤΙΟ-ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ. -----	65
5.2.2 ΣΤΕΓΗ ΜΕ ΝΟΤΙΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ -----	69
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6-----</b>	<b>74</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ-----</b>	<b>74</b>
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ -----	75
6.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ-----	75
6.3 ΑΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗ-ΜΑΤΩΝ -----	78
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ -----</b>	<b>81</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην σημερινή εποχή με το έντονο ενεργειακό πρόβλημα λόγω της πετρελαϊκής κρίσης είναι μείζονος σημασίας η ανάπτυξη και η ευρεία χρήση των εναλλακτικών πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ευθύνεται κατά πολύ για την επιβάρυνση του περιβάλλοντος, γι' αυτό θα πρέπει αυτές οι μορφές ενέργειας να είναι φιλικές προς το περιβάλλον, αλλά και να μην εξαντλούν τους φυσικούς πόρους της Γής. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η βιομάζα και η γεωθερμία.

Μία από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η παραγωγή με χρήση την φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, η οποία χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Η ηλιακή ενέργεια είναι πραγματικά μια τεράστια πηγή ενέργειας. Σε λιγότερο από μία ώρα η ενέργεια που φτάνει από τον ήλιο στην Γή θα μπορούσε να καλύψει τις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις για ένα χρόνο αν μπορούσε να αξιοποιηθεί. Οι περισσότερες από τις άλλες μορφές Α.Π.Ε. εξαρτώνται από τον ήλιο.

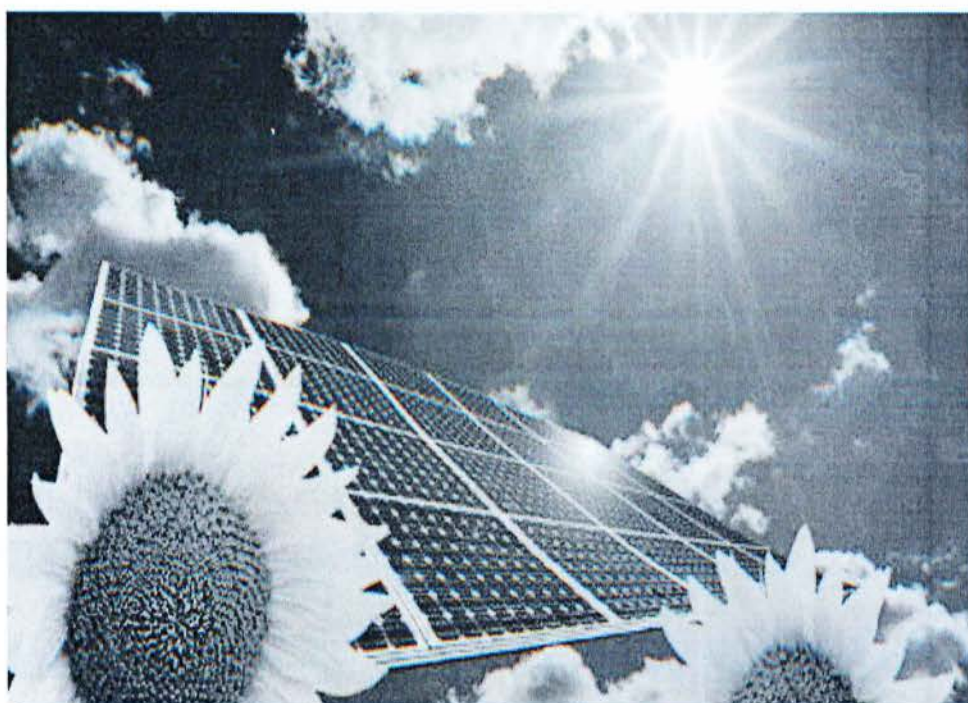
Στην Ελλάδα οι προσπάθειες για ανάπτυξη των φ/β συστημάτων ξεκίνησαν το 1985 αλλά εντατικοποιήθηκαν το 2006, με έναν καινούργιο νόμο που δίνει κίνητρα για την υλοποίηση επενδύσεων και απλοποιεί κατά πολύ τις διαδικασίες αδειοδότησης και εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων.

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σκοπός της πτυχιακής είναι η παρουσίαση και μελέτη ολοκληρωμένων συστημάτων παροχής ηλεκτρικής ενέργειας με φ/β πάνελ σε κτηριακές εγκαταστάσεις.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται το φαινόμενο της ηλιακής ενέργειας, η εξέλιξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογία καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η δομή του φωτοβολταϊκού συστήματος, οι κατηγορίες και η αντικραυτική προστασία του. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα μέρη του φωτοβολταϊκού συστήματος. Στο τέταρτο κεφάλαιο υπάρχουν οι

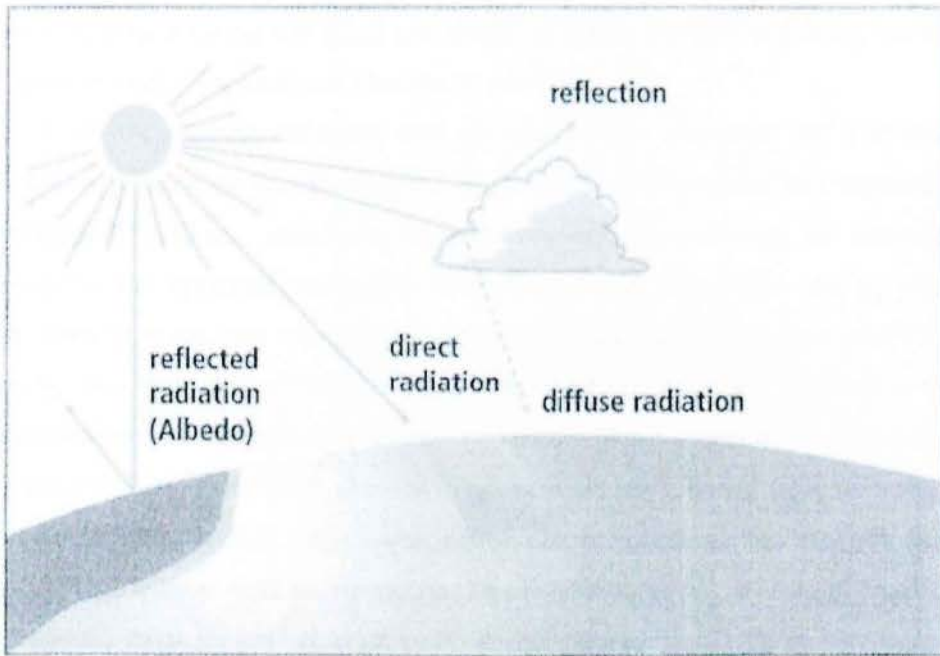
περιπτώσεις τοποθέτησης, οι τρόποι στήριξης των φωτοβολταϊκών πάνελ, τα προβλήματα σκιασμών καθώς και ο προσανατολισμός τους. Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετούνται και συγκρίνονται δύο περιπτώσεις εγκατάστασης, η μία σύμφωνα με την παλιά ταρίφα και η δεύτερη με τα τωρινά δεδομένα. Τέλος η εργασία ολοκληρώνεται με ενημέρωση για ανακύκλωση φωτοβολταϊκών στοιχείων και με τα συμπεράσματα που εξήχθησαν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1





## 1.1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Σχήμα 1.1: το ηλιακό φως καθώς περνά μέσα από την ατμόσφαιρα

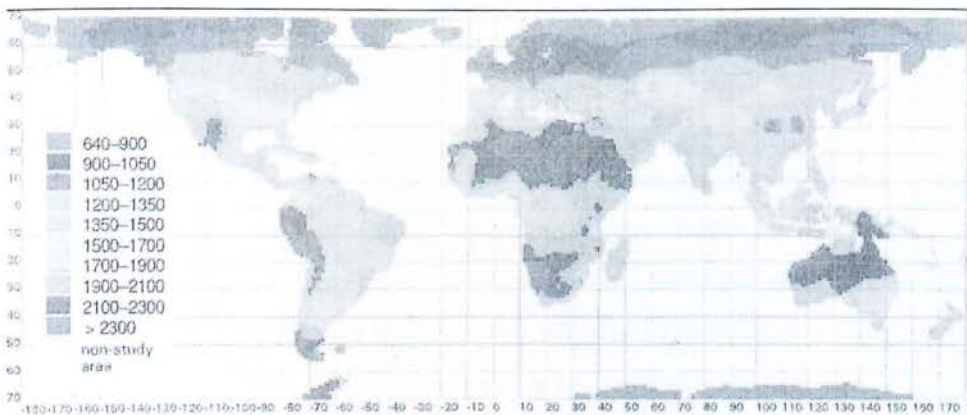
Πηγή: (βλέπε[1])

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Έτσι όταν υλοποιηθεί ένα σύστημα εκμετάλλευσης της για την παραγωγή χρήσιμης ενέργειας (ηλεκτρική ή θερμική για παράδειγμα), η πρώτη ύλη-καύσιμο είναι δωρεάν και δεν υποβάλλεται ποτέ στις διακυμάνσεις των αγορών ενέργειας. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια αντιπροσωπεύει μία «καθαρή» μορφή ενέργειας εν συγκρίσει με την ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, οι ρύποι από τη χρήση της οποίας συμβάλλουν στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι η ηλιακή ενέργεια μπορεί εν δυνάμει να αποτελέσει μία σημαντική μορφή ενέργειας προς εκμετάλλευση.

Γενικότερα, η ηλιακή ενέργεια έχει ζωτική σημασία για την διατήρηση της ζωής στη Γη και αποτελεί τη βάση για όλες σχεδόν τις άλλες μορφές ενέργειας που

χρησιμοποιούμε. Η θερμότητα του ήλιου δημιουργεί θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ περιοχών και ανάπτυξη ανέμων η ενέργεια των οποίων χρησιμοποιείται στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Επιπλέον, ποσότητες νερού εξατμίζονται λόγω της θερμότητας του ήλιου, πέφτουν ως βροχή σε υψόμετρα και κατηφορίζουν προς τη θάλασσα, με δυνατότητα εκμετάλλευσης της δυναμικής τους ενέργειας σε υδροηλεκτρικές γεννήτριες. Ωστόσο, με τον όρο «ηλιακή ενέργεια» αναφερόμαστε συνήθως στην ενέργεια του ήλιου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για την παραγωγή κυρίως θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης είναι πραγματικά τεράστιο: όλη η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στα παγκόσμια κοιτάσματα άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε ποσότητα ενέργειας που προκύπτει από μόλις 20 ημέρες ηλιοφάνειας. Πέρα από τη γήινα ατμόσφαιρα, η ενέργεια του ήλιου είναι περίπου 1,3kW/τμ. Περίπου ένα τρίτο (1/3) αυτής της ενέργειας ανακλάται πίσω στο διάστημα και μία ποσότητα της απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Όταν η ηλιακή ενέργεια φτάσει στην ατμόσφαιρα, η ισχύς της μειώνεται σε περίπου 1kW/τμ. κατά τις μεσημβρινές ώρες σε καθαρό ουρανό. Κατά μέσο όρο, λαμβάνοντας υπόψη όλη την επιφάνεια του πλανήτη, κάθε τμ. δέχεται περίπου 4,2kWh την ημέρα. Τα ποσοστά ενέργειας είναι υψηλότερα σε επιφάνειες όπως έρημοι όπου μπορούν να ξεπεράσουν τις 6kWh/τμ. την ημέρα. (βλέπε[2])



Σχήμα 1.2: Παγκόσμια κατανομή των ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε kWh/m<sup>2</sup>

Πηγή: (βλέπε[1])

## 1.2 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο περιγράφεται ως η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων που συμβαίνει σε συγκεκριμένα υλικά όταν αυτά εκτεθούν σε φωτεινή ακτινοβολία. Κάτι τέτοιο παρατηρείται στα φυσικά στοιχεία που ανήκουν στην ομάδα των ημιαγωγών καθώς και στις τεχνητές ημιαγωγικές διατάξεις. Η πόλωση των ηλεκτρικών φορτίων μεταφράζεται ως δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δημιουργούμενων πόλων, δηλαδή έχουμε μια υποτυπώδη ηλεκτρική γεννήτρια. Το βασικό συστατικό των Φ/Β Συστημάτων αποτελεί το Φ/Β Στοιχείο (ονομάζεται και Φωτοστοιχείο ή Ηλιακό κύτταρο), το οποίο κατασκευάζεται ως ένωση τύπου p-n κατάλληλων ημιαγωγών (συνήα πυριτίου). Όταν ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει επί της πλευράς n του Φ/Β στοιχείου, μεταξύ των δύο πλευρών της ένωσης εκδηλώνεται διαφορά δυναμικού, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου και αποτελεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. (βλέπε[W6])

## 1.3 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Το 1839, ο Γάλλος φυσικός Edmund Becquerel ανακάλυψε ότι ορισμένα υλικά μπορούσαν να παράγουν σπινθήρες ηλεκτρισμού όταν υποβάλλονταν σε ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το φαινόμενο, γνωστό και ως φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, χρησιμοποιήθηκε σε πρωτόγονα ηλιακά κελιά από σελήνιο στα τέλη του 18ου αιώνα. Η κατασκευή του πρώτου ηλιακού στοιχείου ήρθε έναν αιώνα περίπου αργότερα το 1937 από τους Fischer και Godden.(βλέπε[2])

Η εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων ξεκίνησε το 1956, τρία χρόνια μετά την ανακάλυψη της μεθόδου σχηματισμού ενώσεων p-n με διάχυση προσμίξεων. Με την ανάπτυξη νέων τεχνικών κατασκευής των ηλιακών στοιχείων αυξήθηκε σταδιακά και

η απόδοση τους στην μετατροπή της ενέργειας από ηλιακή σε ηλεκτρική. Από 1% απόδοση των στοιχείων από Se το 1939 περνάμε σε απόδοση 6% το 1954 με στοιχεία πυριτίου Si και φτάνουμε στο 14% το 1972. Παράλληλα γίνεται χρήση και άλλων υλικών και ενώσεων. Το 1984 βγαίνει στην παραγωγή Φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου με απόδοση 5% στην Ιαπωνία. Στις μέρες μας άλλα υλικά είναι υπό έρευνα, ενώ αναπτύσσονται τεχνικές συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. (βλέπε[7])

## **1.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία έχει τα εξής πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου,

- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου. (βλέπε[W6])

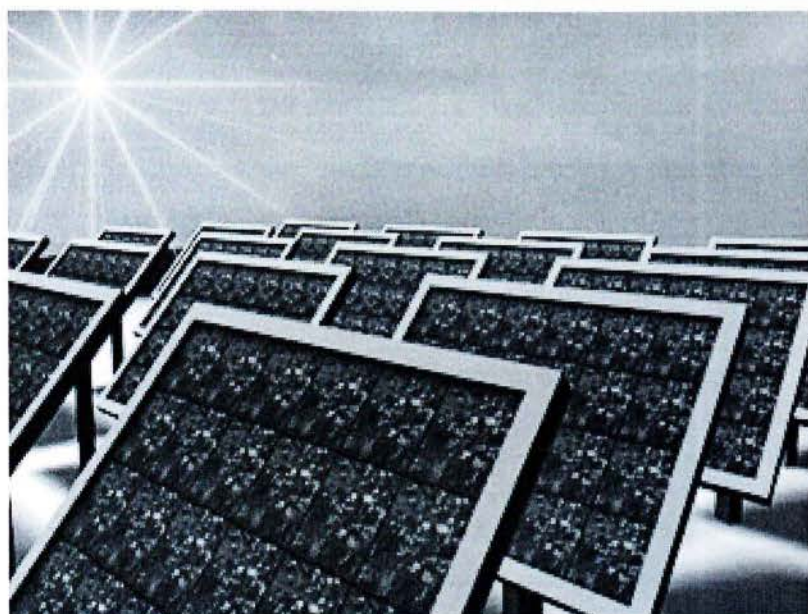
## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογίσει κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 2700 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 20 χρόνια. (βλέπε[W6])

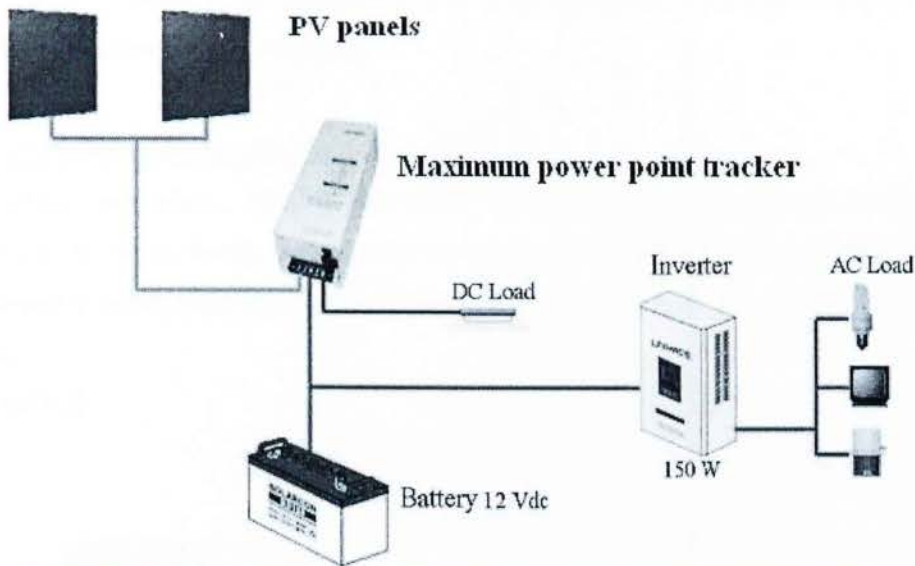
Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά, ειδικότερα για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



## 2.1 ΔΟΜΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



Σχήμα 2.1: Τοπολογία μιας οικιακής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Πηγή: (βλέπε[2])

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

### A) Φωτοβολταϊκά πάνελ

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από πολλές φωτοβολταϊκές κυψέλες που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους. Η φ/β κυψέλη είναι η στοιχειώδης μονάδα ενός φ/β συστήματος γιατί εκεί μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

### B) Μπαταρίες- συσσωρευτές φωτοβολταϊκών

Η πιο βολική λύση για αποθήκευση ενέργειας σε ένα φ/β σύστημα είναι ο κλασικός ηλεκτροχημικός συσσωρευτής (μπαταρία), ειδικά αφού παράγεται συνεχές ρεύμα και

έτσι επιτρέπεται η απευθείας σύνδεση μεταξύ ηλιακών κυψελών και μπαταρίας χωρίς να χρειάζεται μετατροπή.

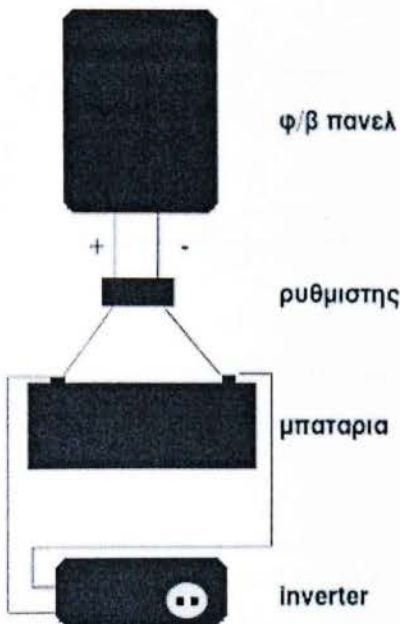
### Γ) Ρυθμιστή φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι ο σύνδεσμος μεταξύ του συλλέκτη, της μπαταρίας και του φορτίου. Ελέγχει κ προστατεύει τις μπαταρίες, αποτρέπει την υπερφόρτιση και την βαθιά εκφόρτωση της μπαταρίας.

### Δ) Αντιστροφέας τάσεως (inverter)

Οι αντιστροφείς τάσης είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται σε συνδεδεμένα με το δίκτυο φ/β συστήματα αλλά και σε αυτόνομα συστήματα με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Αντιστρέφουν τάση dc για μετασχηματισμό στα 220 V AC.

(βλέπε[W5])



Σχήμα 2.2: Συνδεσμολογία του φωτοβολταϊκού συστήματος

Πηγή: (βλέπε [W5])

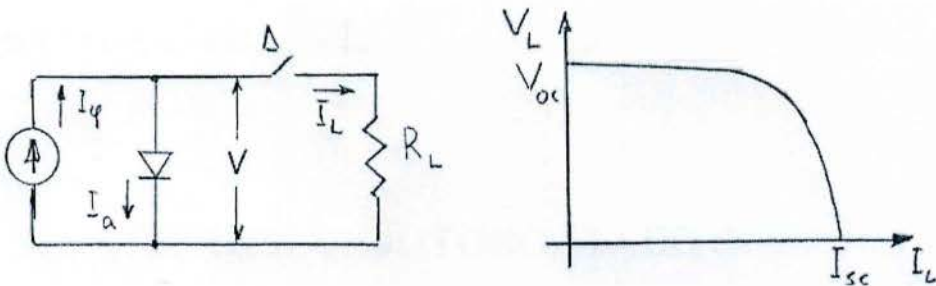


## 2.2 ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

### (α) Το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα

Στο Σχήμα (α) δείχνεται το απλοποιημένο (εξιδανικευμένο) ισοδύναμο κύκλωμα με το οποίο μπορεί να παρασταθεί ένα Φ/Β στοιχείο, όταν στα άκρα του συνδέεται μια ωμική αντίσταση  $R_L$ .

Στο Σχήμα (β) δείχνεται το αντίστοιχο διάγραμμα Τάσης  $V_L$ -Έντασης  $I_L$ , που μπορεί να ληφθεί πειραματικά: Το Φ/Β στοιχείο παρίσταται με μια πηγή εντάσεως, η οποία παράγει το Φωτόρρευμα  $I_{\varphi}$ , όταν προσπίπτει σε αυτό ηλιακή ακτινοβολία, το μέγεθός του είναι ευρέως ανάλογο της εντάσεως της ηλιακής ακτινοβολίας. Το σημείο L ορίζεται προφανώς από την τομή της καμπύλης Τάσης-Έντασης του Φ/Β στοιχείου και της ευθείας  $I_L = V_L/R_L$ . (βλέπε[3])



Σχήμα 2.3 (α) Απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα Φ/Β στοιχείου

(β) Χαρακτηριστική Τάσεως-Έντασεως

Το  $I_{\varphi}$  δίδεται από την γνωστή για τους ημιαγωγούς σχέση:

$$I_{\varphi} = I_0 [\exp( (eV)/(kT) ) - 1]$$

Όπου:  $I_0$ : το ανάστροφο ρεύμα κόρου,

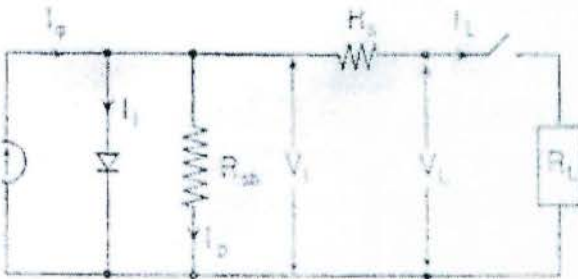
$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{C}$ , το φορτίο του ηλεκτρονίου

$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ , η σταθερά του Boltzman

$T$ : η θερμοκρασία του Φ/Β στοιχείου σε βαθμούς K

### β) Το πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα

Στο Σχήμα δείχνεται ένα πληρέστερο ισοδύναμο κύκλωμα του Φ/Β στοιχείου: Η ισχύς  $R_{sh}I_p^2$  εκφράζει τις απώλειες που υπερθερμαίνουν το Φ/Β στοιχείο ακόμη και όταν είναι ανοιχτοκυκλωμένο, ενώ η  $R_s I_L^2$  τις πρόσθετες απώλειες και την μείωση της τάσεως που παρατηρούνται, όταν συνδέεται εξωτερικό φορτίο και αυξάνεται η ένταση  $I_L$ . (βλέπε[3])



Σχήμα 2.4 πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα

## 2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες:

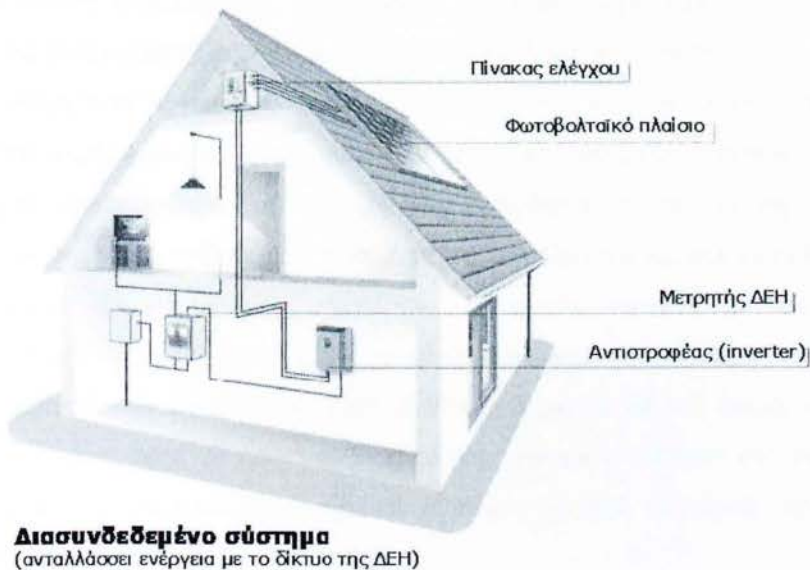
- Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα.
- Τα αυτόνομα συστήματα.

Και τα δυο έχουν πολλές ομοιότητες μεταξύ τους. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι στα πρώτα υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. και η ενέργεια που παράγεται περνάει σε αυτό, ενώ στα δεύτερα δεν υπάρχει τέτοια σύνδεση και η ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται για ίδια κατανάλωση.

### 2.3.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ (διασυνδεδεμένο σύστημα). Στην περίπτωση αυτή, πουλάει κανείς το ηλιακό ρεύμα στο δίκτυο έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα για να καλύψει τυχόν ανάγκες του. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας. (βλέπε[W2])

Στο σχήμα 2.5 φαίνεται η διάταξη του φωτοβολταϊκού συστήματος σε σύνδεση με τη ΔΕΗ.



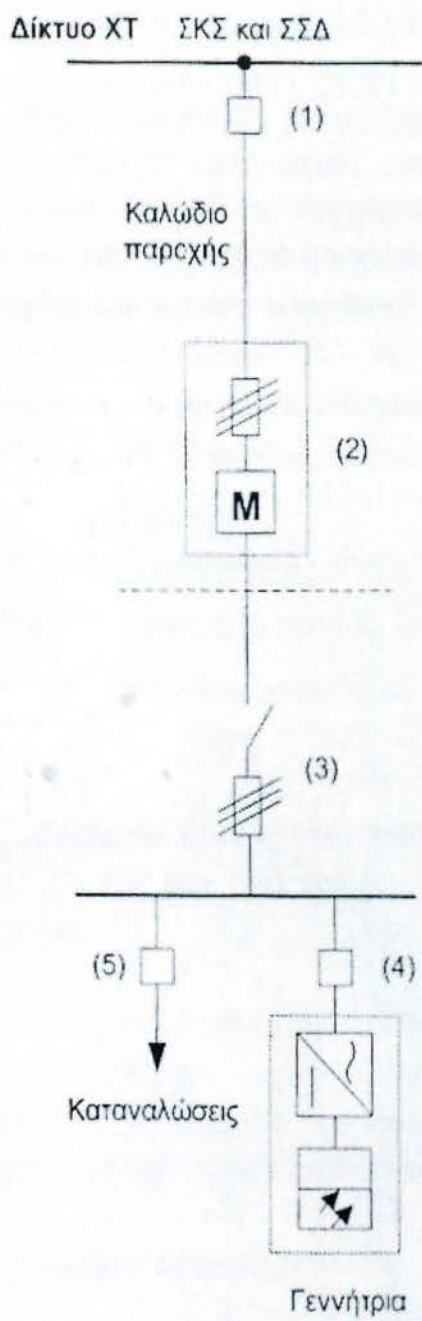
Σχήμα 2.5 : Διασυνδεδεμένο σύστημα στο δίκτυο

Πηγή: (βλέπε [W2])

- ο Το βασικό κριτήριο σχεδιασμού ενός Συνδεδεμένου στο δίκτυο Φ/Β συστήματος είναι η μεγιστοποίηση του οικονομικού οφέλους, με τα υφιστάμενα δεδομένα και περιορισμούς.

### 2.3.2 ΔΙΑΤΑΞΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο Σχήμα 2.6 σχηματικά δείχνεται η βασική διάταξη των κυριότερων στοιχείων για την σύνδεση Φ/Β γεννήτριας στο Δίκτυο. Αφορά κυρίως τις συνήθεις εγκαταστάσεις μικρής και μέσης ισχύος που συνδέονται στο δημόσιο δίκτυο. Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των επί μέρους στοιχείων θα πρέπει να εξασφαλίζουν την ικανοποιητική λειτουργία της Φ/Β γεννήτριας, αλλά και να ικανοποιούν τις απαιτήσεις που τίθενται από την πλευρά των Ηλεκτρικών Επιχειρήσεων, ώστε να αποφεύγεται η πρόκληση ανωμαλιών στην λειτουργία του Δικτύου. Η κατασκευαστική διαμόρφωση των επί μέρους στοιχείων διαφέρει ανάλογα με την ισχύ της εγκατάστασης, την πρακτική κάθε χώρας ή και τον κατασκευαστή, υπάρχει όμως ήδη η τάση για μια τυποποίηση των διατάξεων σύνδεσης σε διεθνές επίπεδο. Π.χ. για μικρές εγκαταστάσεις 1 έως 10kW, ο αντιστροφέας και τα συνοδευτικά του στοιχεία (όπως φίλτρα και ενδεχομένως ανορθωτής ή και μετασχηματιστής απομόνωσης κλπ), μαζί με τα Μέσα Ζεύξεως και Προστασίας και φυσικά όλα τα συστήματα ελέγχου αυτών, αποτελούν μία ενιαία συσκευή, (ενδεικτικά με διακοπόμενη γραμμή στο Σχ.2.6, η οποία διατίθεται στο εμπόριο: Ρυθμιστής λειτουργίας-Power Conditioning Unit. Ιδιαίτερη σημασία για την διαμόρφωση της όλης διάταξης, έχουν οι όροι υπό τους οποίους γίνεται η σύνδεση στο Δίκτυο, οι οποίοι περιλαμβάνονται στην σχετική σύμβαση με την ηλεκτρική επιχείρηση. (βλέπε[3])



Σχήμα 2.6 Τυπική διάταξη σύνδεσης Φ/Β γεννήτρια στο Δίκτυο  
 Πηγή: (βλέπε [3])

### 2.3.3 ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

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 θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας. (βλέπε[W2])

Στο σχήμα 2.7 φαίνεται η διάταξη του φωτοβολταϊκού συστήματος σε αυτόνομο σύστημα.



**Αυτόνομο σύστημα**

Σχήμα 2.7: αυτόνομο σύστημα

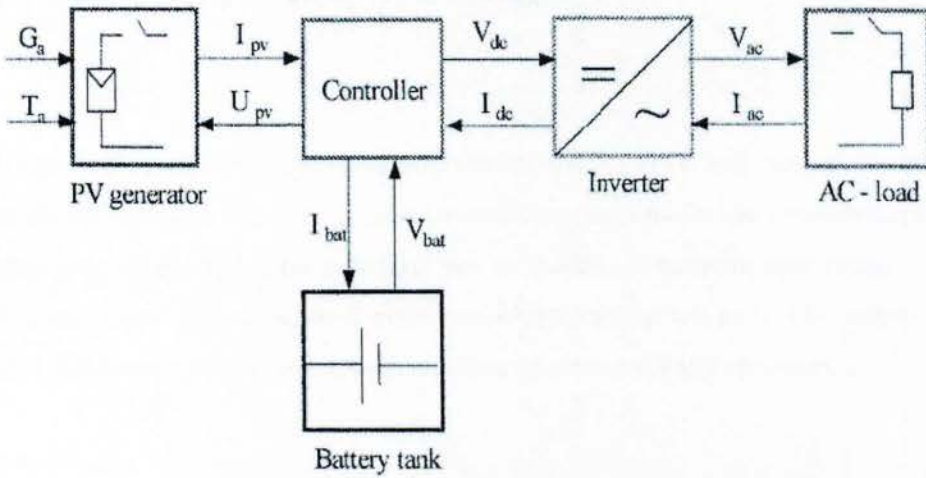
Πηγή: (βλέπε [W2])

Τα κύρια μέρη ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος είναι τα ακόλουθα:

- Η Φ/Β γεννήτρια
- Οι διατάξεις μετατροπής-προσαρμογής και ελέγχου (ελεγκτής, αντιστροφέας)
- Οι εγκατάσταση αποθήκευσης (συσσωρευτές)

Επί πλέον υπάρχουν οι διατάξεις Ζεύξεως-Προστασίας και μετρήσεων.

(βλέπε[3])



Σχήμα 2.8 Σχηματική διάταξη αυτόνομου Φ/Β συστήματος

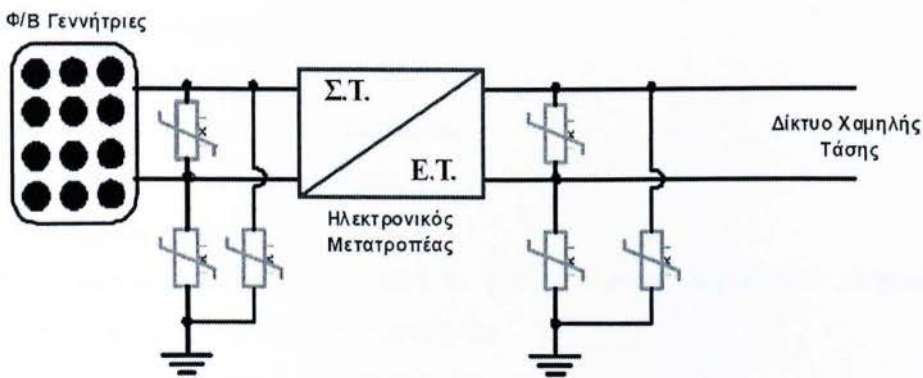
Πηγή: (βλέπε [3])

- ο Το βασικό κριτήριο σχεδιασμού ενός Αυτόνομου Φ/Β συστήματος είναι η εξασφάλιση της τροφοδότησης του συγκεκριμένου φορτίου με βαθμό αξιοπιστίας που προκαθορίζεται με την πιθανότητα διακοπής φορτίου. (βλέπε[3])

## 2.4 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΑΚΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ– ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

### 2.4.1 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ-ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η προστασία των κτηριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων από υπερτάσεις και κεραυνούς είναι ένα θέμα το οποίο αποσκοπεί στην προστασία των εγκαταστάσεων παραγωγής, αλλά κυρίως την ασφάλεια των ανθρώπων. Η αναγκαιότητα εφαρμογής προστασίας από υπερτάσεις είναι πλέον απαραίτητη ανεξάρτητα με το εάν υπάρχει ή εάν προβλέπεται να υπάρξει σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας.



Σχήμα 2.9: Τυπική μορφή των συστημάτων γειώσεως και προστασίας από υπερτάσεις της εγκατάστασης  
πηγή: (βλέπε [3])



Στο σχήμα 2.9 παρουσιάζεται μια ενδεικτική μορφή εγκατάστασης των διατάξεων προστασίας από υπερτάσεις για την προστασία μόνο του Φ/Β συστήματος η οποία και συνιστάται. Παράλληλα θα πρέπει να προβλεφθεί και προστασία των υφιστάμενων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων του κτηρίου (π.χ. προστασία γενικού πίνακα και υποπινάκων). (βλέπε[3])

## **2.4.2 ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΒΛΑΒΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΕΝΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑ**

Οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις των κεραυνών σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές. Οι βλάβες χωρίζονται σε τρεις τύπους:

- τραυματισμός ζωντανών οργανισμών
- υλική βλάβη
- σφάλματα στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα

Οι παραπάνω βλάβες μπορεί να προκαλέσουν διαφόρων τύπων απώλειες στο υπό προστασία αντικείμενο:

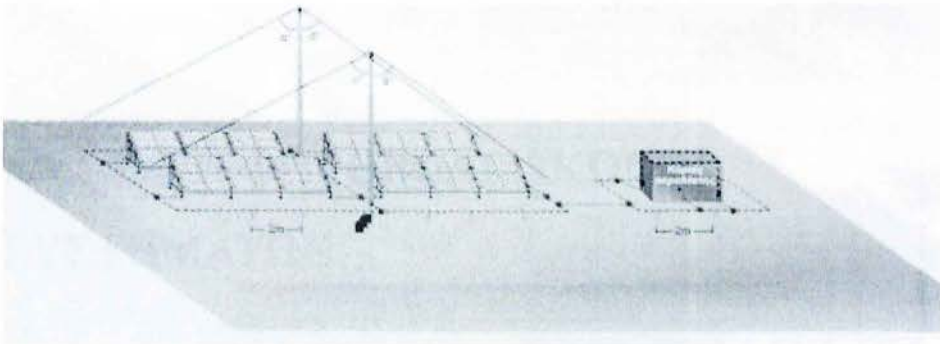
- απώλεια ανθρώπινης ζωής
- απώλεια υπηρεσιών στους καταναλωτές
- απώλεια πολιτιστικής κληρονομιάς
- οικονομικές απώλειες

Όσον αφορά στην πρόελευση τους οι βλάβες εξαιτίας κεραυνικού πλήγματος μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- πλήγμα μέσα στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση
- πλήγμα κοντά στη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση
- πλήγμα στις υπηρεσίες που συνδέονται στην εγκατάσταση
- πλήγμα στις κοντινές υπηρεσίες που συνδέονται στην φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

(βλέπε[6])

### 2.4.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ



Σχήμα 2.10: εξωτερικό ΣΑΠ φ/β  
Πηγή: (βλέπε[6])

Η εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας έχει στόχο να συλλάβει τον κεραυνό πριν αυτός πλήξει την υπό προστασία κατασκευή, να διοχετεύσει το ρεύμα του κεραυνού από το σημείο πλήγματος στη γη και να το διαχέει στο έδαφος χωρίς να προκαλεί θερμικές και μηχανικές ζημιές στην κατασκευή και επικίνδυνες υπερτάσεις για τους ανθρώπους και το υλικό.

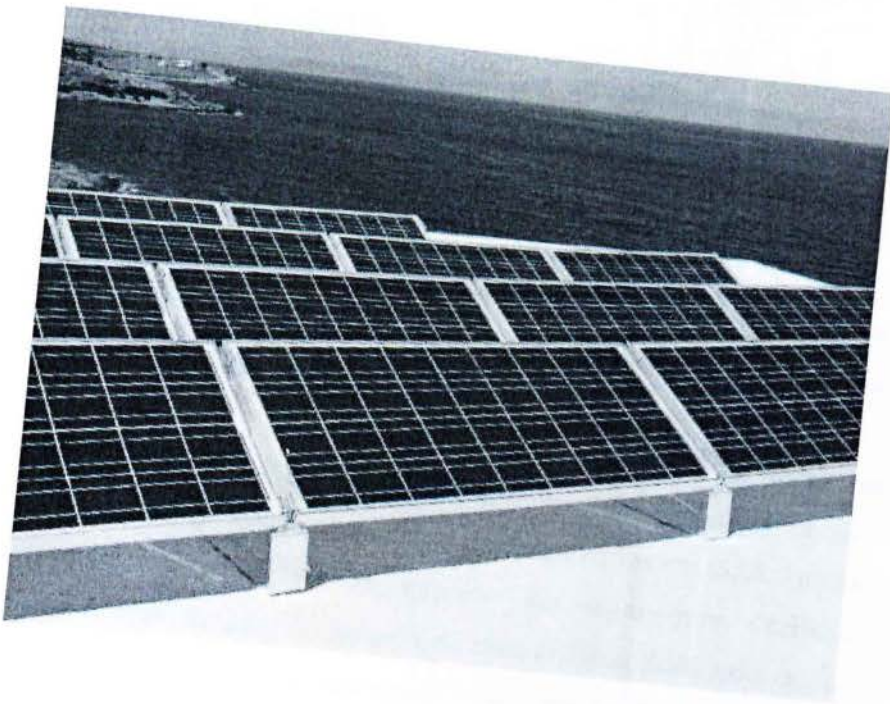
Η εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται από:

- το συλλεκτήριο σύστημα που προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς
- το σύστημα των αγωγών καθόδου το οποίο καθορίζει την όδευση του ρεύματος του κεραυνού από το συλλεκτήριο σύστημα στη γη
- το σύστημα γείωσης που άγει και διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος

Στις φ/β εγκαταστάσεις το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας θα πρέπει να σχεδιάζεται ώστε όλα τα στοιχεία του να βρίσκονται εντός της προστατευμένης περιοχής. (βλέπε[6])

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



## 3.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ

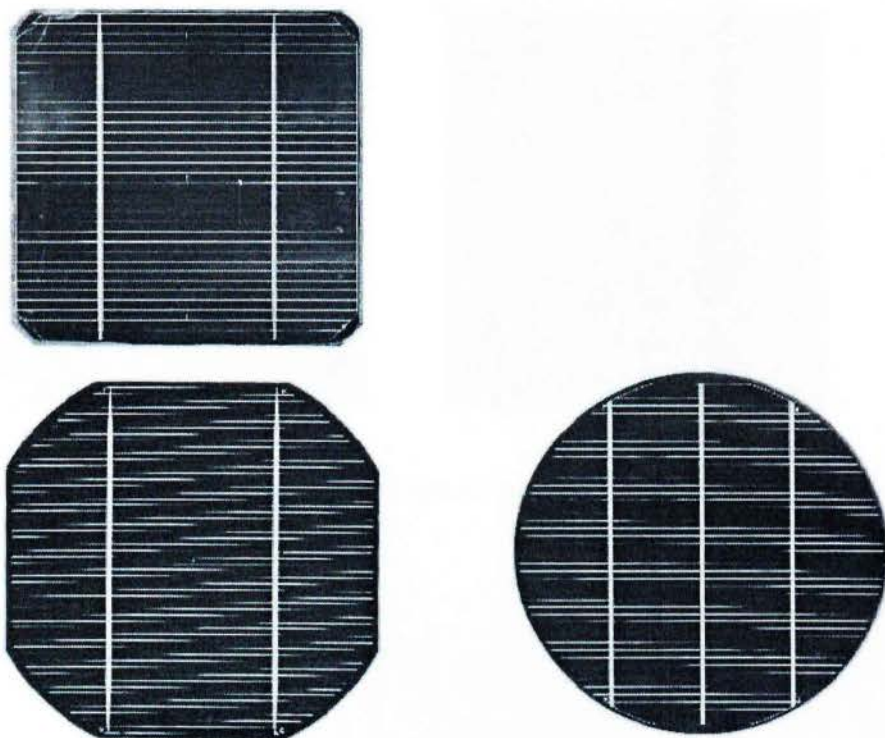
Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μετατρέπουν μόνο ένα ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Το πόσο μεγάλο είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από τον τύπο των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

### 3.1.1 ΤΥΠΟΙ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ

Οι κυριότεροι τύποι ηλιακών κελιών είναι οι παρακάτω:

#### 1. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο πυριτίου. Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία “Czochralski”. Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, της τάξης του 15-18% αλλά και υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φθηνότερα από τα υπόλοιπα επειδή είναι λιγότερα τα υπολείμματα κατά την κατασκευή τους. Ωστόσο δε χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ επειδή δεν χρησιμοποιείται αποδοτικά μία επιφάνεια, λόγω των κενών μεταξύ τους όταν τοποθετούνται δίπλα το ένα στο άλλο. Αποτελούν όμως μία καλή προοπτική για ενσωμάτωση σε κτίρια όταν απαιτείται μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι συνήθως βαθύ μπλε έως μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική επίστρωση ή γκρι όταν δεν διαθέτουν αντί-ανακλαστική επίστρωση. (βλέπε[2])

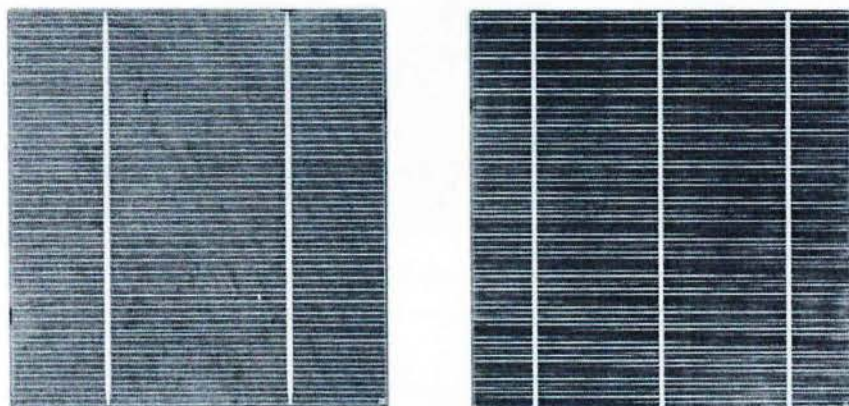


Σχήμα 3.1: Μορφές μονοκρυσταλλικών κελιών πυριτίου

Πηγή: (βλέπε[1])

## 2. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε με αντί-ανακλαστική επίστρωση ή γκρι-ασημί χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση. (βλέπε[2])



Σχήμα 3.2: μορφές πολυκρυσταλλικών κελιών πυριτίου

Πηγή: (βλέπε[1])

### 3. Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film)

Αρκετή έρευνα έχει διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για την τελειοποίηση μεθόδων κατασκευής ηλιακών κελιών με ημιαγωγούς πάχους μόλις μερικών μικρομέτρων, με στόχο την επίτευξη μίας εύλογης απόδοσης με τη χρήση μικρής ποσότητας πυριτίου. Τα κελιά αυτά έχουν μικρότερη απόδοση από τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου (της τάξης του 5-7%) αλλά με αρκετά χαμηλότερο κόστος, ώστε να τα καθιστά ανταγωνιστικά. Συνήθως χαρακτηρίζονται από το έντονα σκούρο (σχεδόν μαύρο) χρώμα τους. Κυριότεροι αντιπρόσωποι της κατηγορίας αυτής αποτελούν τα παρακάτω:

- Κελιά άμορφου πυριτίου (amorphous-Si)
- Κελιά καδμίου-τελλουρίου (CdTe)
- Κελιά χαλκού-Ινδίου / Γαλλίου – δισηληνιούχου
- Κελιά Γαλλίου-Αρσενικούχου (GaAs):




Την πιο συνηθισμένη μορφή αποτελούν τα κελιά άμορφου πυριτίου και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης (π.χ. υπολογιστές τσέπης). Επιπλέον, τα κελιά άμορφου πυριτίου δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων φωτοβολταϊκών πάνελ. (βλέπε[2])



Σχήμα 3.3: Φωτοβολταϊκά πάνελ από άμορφο πυρίτιο

Πηγή: (βλέπε[1])

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μια σύγκριση των φωτοβολταϊκών πάνελ που βρίσκονται στην αγορά:

ΤΥΠΟΣ	'Λεπού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	a-Si: 4,2-6,6% μ-Si: 8,1-8,5% CIS-CIGS: 6-11% CdTe: 6-11,1%	11-14,8%	11-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	9-25 m <sup>2</sup>	7-9 m <sup>2</sup>	5,5-9 m <sup>2</sup>
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	1.300-1.450	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m <sup>2</sup> ) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> ανά kWp)	1.300-1.450	1.300	1.300

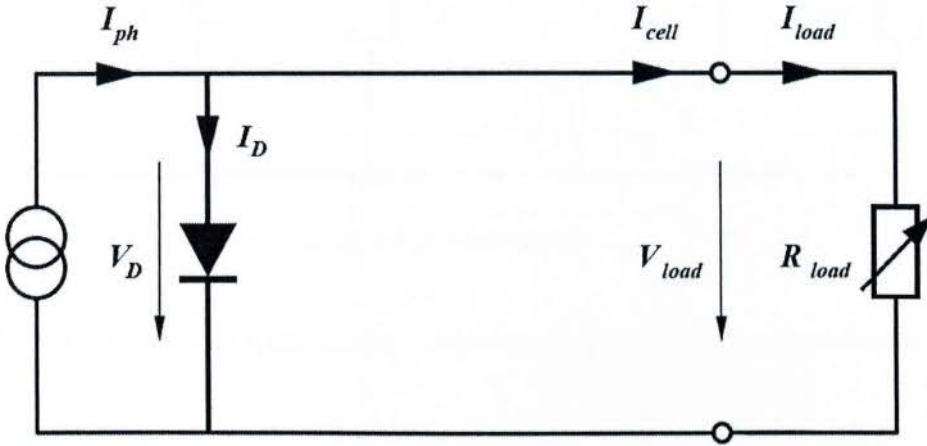
Σχήμα 3.4 :Σημαντικότερα χαρακτηριστικά τεχνολογιών πάνελ,

Πηγή : (βλέπε[W2])

### 3.1.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ

Το απλούστερο μοντέλο ηλιακού κελιού παρουσιάζεται στο παρακάτω

Σχήμα:



Σχήμα 3.6: μοντέλο ηλιακού κελιού

ισχύει η παρακάτω εξίσωση:

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

όπου:

$I_{cell}$  : ρεύμα κελιού

$I_{ph}$ : φωτορεύμα, ανάλογο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας

$I$  : ρεύμα διόδου

$I_0$  : ρεύμα διαρροής της διόδου

$q$ : φορτίο ηλεκτρονίου

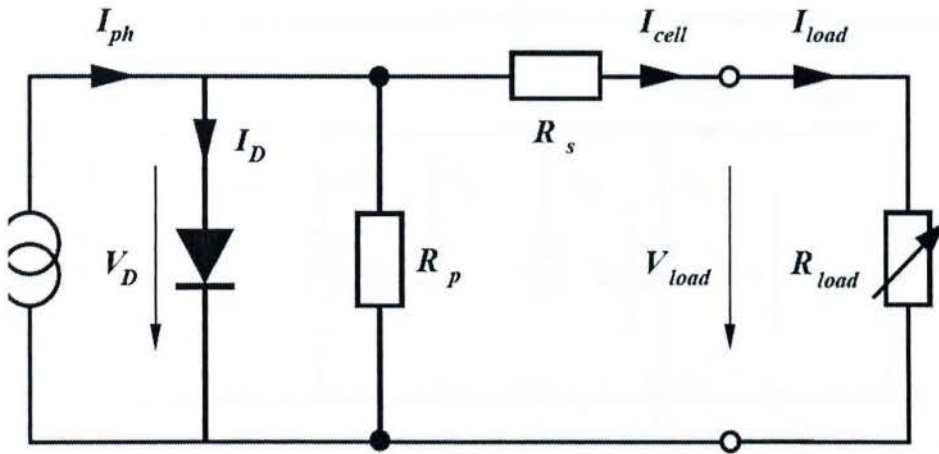
$V$ : τάση στα άκρα της διόδου

$k$ : σταθερά Boltzmann

$T$ : θερμοκρασία (K)

Ωστόσο, ένα ακριβέστερο μοντέλο ενός ηλιακού κελιού πρέπει να εμπεριέχει και τις ηλεκτρικές αντιστάσεις των υλικών, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:





Σχήμα 3.7: Μοντέλο ηλιακού κελιού με αντιστάσεις

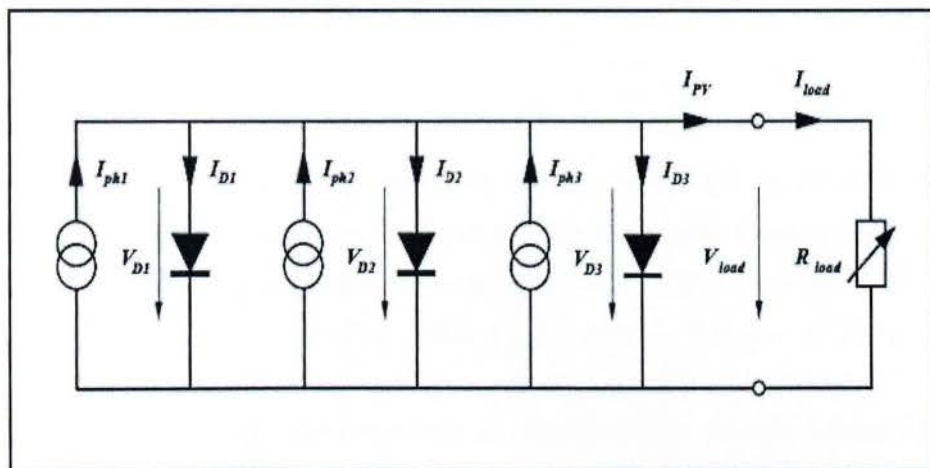
Στην περίπτωση αυτή η εξίσωση που περιγράφει το ηλιακό κελί είναι η παρακάτω:

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

(βλέπε[2])

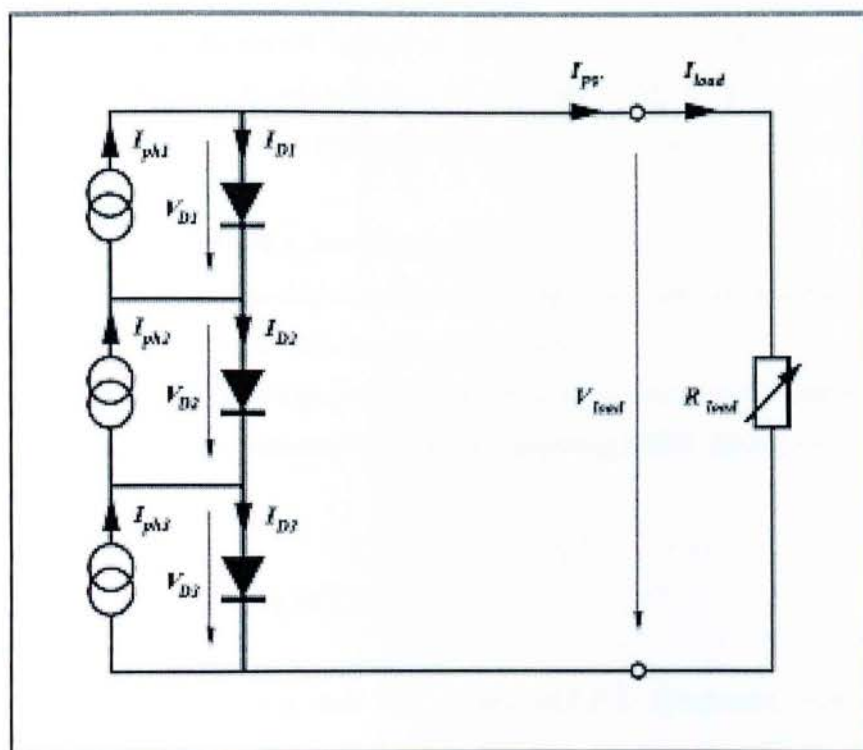
### 3.1.3 ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ

Συνδέοντας τα φωτοβολταϊκά στοιχεία εν σειρά (τα + με τα - εναλλάξ) αθροίζουμε τα Volt, ενώ συνδέοντάς τα παράλληλα (τα + μεταξύ τους και τα - μεταξύ τους) αθροίζουμε τα Ampere των στοιχείων που συνδέουμε, ώστε να πετύχουμε το συνδυασμό Volt και Ampere που θέλουμε. (βλέπε[2])



Σχήμα 3.8: Παράλληλη σύνδεση ηλιακών κελιών

Πηγή: (βλέπε[2])



Σχήμα 3.9: Εν σειρά σύνδεση κελιών

Πηγή: (βλέπε[2])

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

## 3.2 ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών (μπαταριών) του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και σταματά τη φόρτιση όταν διαπιστώσει ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως. Αλλιώς θα υπήρχε σοβαρός κίνδυνος να καταστραφεί η μπαταρία.

Επειδή όλες οι μπαταρίες έχουν την τάση να αποφορτίζονται σταδιακά ακόμα κι αν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης.

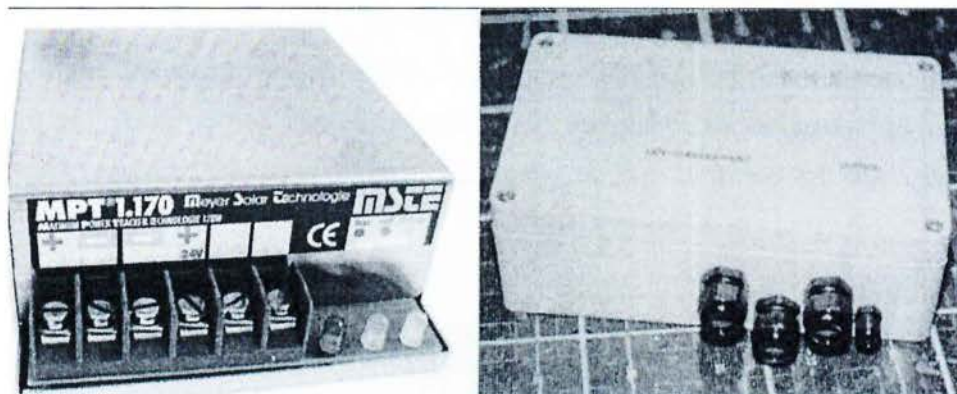
Αρκετοί ρυθμιστές φόρτισης έχουν υποδοχή πάνω στην οποία συνδέουμε τις ηλεκτρικές συσκευές που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε από τη μπαταρία. Έτσι, έχουν την επιπλέον δυνατότητα να διακόψουν τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών όταν διαπιστώσουν ότι η μπαταρία κοντεύει να αδειάσει πλήρως, προστατεύοντάς την πάλι με αυτό τον τρόπο από πλήρη αποφόρτιση που θα οδηγούσε στην καταστροφή της. (βλέπε[10])

Τα παραπάνω ο ρυθμιστής φόρτισης τα επιτυγχάνει με:

- τη μετάβαση από τη συστοιχία φωτοβολταϊκών όταν το φορτίο της διακοπής τάσης έχει υπερβεί όπως συμβαίνει με τους ελεγκτές σειράς.
- βραχυκύκλωμα της συστοιχίας των φωτοβολταϊκών με έναν ελεγκτή διακλάδωσης
- την προσαρμογή της τάσης με έναν ρυθμιστή φόρτισης MPPT. (βλέπε[1])

### Ρυθμιστής φόρτισης τύπου MPPT

Ένας ρυθμιστής φόρτισης που είναι τύπου M.P.P.T. (Maximum Power Point Tracking), σημαίνει ότι εκμεταλλεύεται σχεδόν όλη τη διαθέσιμη ισχύ των πάνελ με αποτέλεσμα να αποδίδει έως και 30% περισσότερο από τους απλούς ρυθμιστές. Συστήνεται ανεπιφύλακτα για πάνελ μεγαλύτερα από 80Wp, όπου το οικονομικό όφελος σε επιπλέον ισχύ από το σύστημά μας είναι σημαντικότερο από το μικρό επιπλέον κόστος του ρυθμιστή M.P.P.T. (βλέπε[10])



Σχήμα 3.10: MPPT ρυθμιστές φόρτισης

Πηγή: (βλέπε[1])

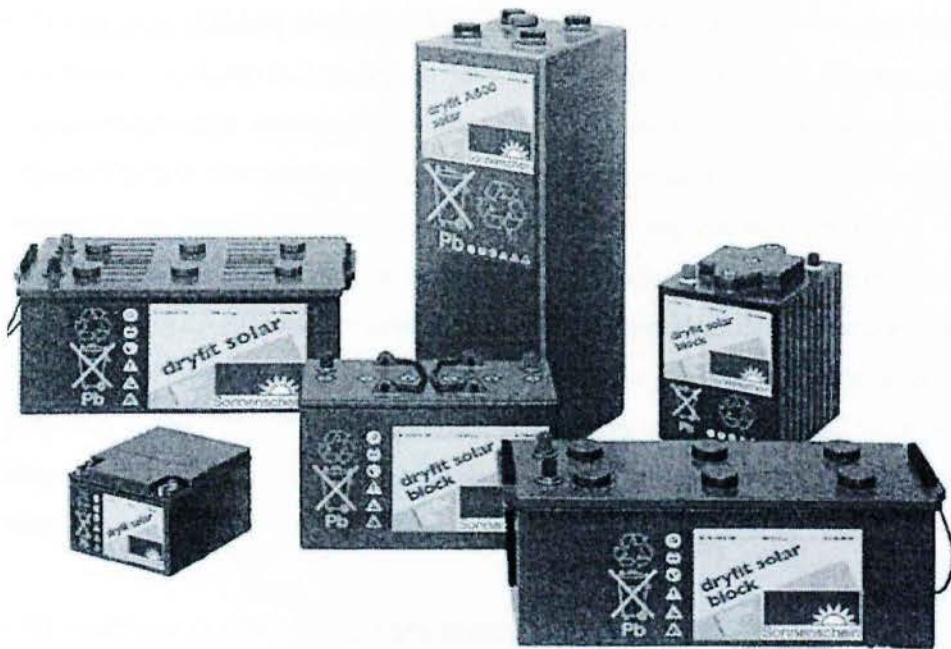
### 3.3 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ (ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ)

Τα αυτόνομα (μη διασυνδεδεμένα) φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούν την αποθήκευση της ενέργειας ώστε να έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν και σε περιόδους με καθόλου ή λίγη ηλιακή ακτινοβολία, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή κατά τη διάρκεια συννεφιάς. Η πιο βολική λύση για αποθήκευση ενέργειας σε ένα φ/β σύστημα είναι ο κλασικός ηλεκτροχημικός συσσωρευτής (μπαταρία), ειδικά αφού παράγεται συνεχές ρεύμα και έτσι επιτρέπεται η απευθείας σύνδεση μεταξύ ηλιακών κυψελών και μπαταρίας χωρίς να χρειάζεται μετατροπή.

Ωστόσο η εμπειρία έχει δείξει ότι σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα η μπαταρία είναι το πιο αδύνατο σημείο, καθώς η διάρκεια ζωής της είναι γενικά πολύ μικρότερη από όλες τις άλλες μονάδες του συστήματος. Έτσι το 30% περίπου ή και περισσότερο από τα έξοδα κατά τη διάρκεια ζωής ενός τέτοιου συστήματος δαπανείται στις μονάδες αποθήκευσης.

Τυπικά η μπαταρία σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα είναι διαστασιολογημένη ώστε να διασφαλίζει ότι εφόσον η ηλιακή ακτινοβολία δεν επαρκεί, τα φορτία που πρέπει, μπορούν να καλυφθούν για τουλάχιστον 3-4 ημέρες. Το αποτέλεσμα της διαστασιολόγησης αυτής είναι ότι το ποσοστό της ημερήσιας εκφόρτωσης μιας

μπαταρίας φ/β συστήματος είναι περίπου 25% με 30% της θεωρητικής χωρητικότητας της. Επιπλέον η διαστασιολόγηση των φ/β κυψελών συνήθως γίνεται για την κάλυψη όλων των φορτίων που έχουμε υπό συνθήκες μέσης ακτινοβολίας της περιοχής. Αυτές οι δυο βασικές υποθέσεις μας επιτρέπουν να συμπεράνουμε τις τυπικές συνθήκες λειτουργίας για μια μπαταρία σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα. (βλέπε[9])



Σχήμα 3.11: Εύρος μπαταριών που έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε αυτόνομα ηλιακά συστήματα

Πηγή: (βλέπε [1])

### 3.3.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

- Λειτουργία με περίσσεια ενέργειας : Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού κάθε φ/β σύστημα λειτουργεί υπό συνθήκες περίσσειας ενέργειας, καθώς είναι σχεδιασμένο για συνθήκες χαμηλότερης μέσης ηλιακής ακτινοβολίας. Ως αποτέλεσμα η μπαταρία φτάνει τη μέγιστη τάση φόρτισης της σχεδόν κάθε μέρα το μεσημέρι και μέχρι το

απόγευμα είναι πλήρως φορτισμένη. Κατά τη διάρκεια της νύχτας η μπαταρία εκφορτίζεται και το πρωί με την ανατολή του ηλίου έχει φτάσει στην ελάχιστη κατάσταση εκφόρτωσης, περίπου στο 70% της θεωρητικής χωρητικότητας της. Κατά τη διάρκεια της επόμενης ημέρας πραγματοποιείται πάλι ο ίδιος κύκλος φόρτισης και έχουμε και πάλι πλήρη φόρτιση μέχρι το απόγευμα. Αυτές είναι οι ευνοϊκότερες συνθήκες λειτουργίας για την μπαταρία του φ/β συστήματος.

• Λειτουργία με έλλειψη ενέργειας : Κατά τη διάρκεια του χειμώνα αν δεν έχει γίνει σημαντική υπερδιαστασιολόγηση, το ίδιο φ/β σύστημα λιγότερο ή περισσότερο συχνά αντιμετωπίζει συνθήκες λειτουργίας έλλειψης ενέργειας. Κάθε φορά που ο ουρανός θα είναι συννεφιασμένος (έλλειψη άμεσης ακτινοβολίας) και η συννεφιά θα παραμένει για μερικές ημέρες, η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας σταδιακά θα μειώνεται και αργά η γρήγορα η τάση της θα πέσει κάτω από την ελάχιστη τάση εκφόρτωσης. Αν ο χρήστης δεν μειώσει εκουσίως την κατανάλωση το αποτέλεσμα θα είναι η προστασία βαθιάς εκφόρτωσης της μπαταρίας να διακόψει την παροχή ρεύματος. Η διακοπή θα συνεχιστεί μέχρι η μπαταρία να φορτιστεί και πάλι κατά την διάρκεια της επόμενης ηλιόλουστης ημέρας και να φτάσει ένα ικανοποιητικό επίπεδο τάσης.

• Λειτουργία με κύκλους διακύμανσης ενέργειας : Κατά τη διάρκεια των ημερών που η μπαταρία δεν φορτίζεται στο 100% και ούτε πέφτει στην ελάχιστη τάση εκφόρτωσης, λειτουργεί σε μια κατάσταση διακύμανσης που είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Ωστόσο σε σχέση με τις δυο προηγούμενες καταστάσεις λειτουργίας αυτή η ενδιάμεση κατάσταση έχει πολύ μικρή σημασία για την διάρκεια ζωής της μπαταρίας γιατί δεν εμφανίζεται τόσο συχνά όσο οι άλλες δυο.

(βλέπε [8])

### 3.3.2 ΤΥΠΟΙ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Οι κυριότεροι τύποι επαναφορτιζόμενων μπαταριών που χρησιμοποιούνται σε φ/β συστήματα είναι :

- Μπαταρίες μολύβδου – ασβεστίου (lead – acid).

Οι μπαταρίες μολύβδου – ασβεστίου αποτελούνται από δυο ηλεκτρόδια και τον ηλεκτρολύτη. Το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από διοξείδιο του μολύβδου ( $PbO_2$ ), ενώ το αρνητικό ηλεκτρόδιο είναι μεταλλικός μολύβδος  $Pb$ .

- Μπαταρίες νικελίου – καδμίου (Ni – Cd).

Οι μπαταρίες νικελίου – καδμίου στην φορτισμένη κατάσταση έχουν θετικά ηλεκτρόδια με  $NiOOH$  σαν ενεργό υλικό, αρνητικά ηλεκτρόδια με κάδμιο σαν ενεργό υλικό και για ηλεκτρολύτη υδροξείδιο του καλίου σε νερό.

(βλέπε [8])

### 3.3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

- Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία μετριέται σε Wh ή KWh. Η ενεργειακή απόδοση μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας είναι :

Ενέργεια από πλήρη εκφόρτωση σε Wh

Απαιτούμενη ενέργεια για πλήρη φόρτιση σε Wh

και είναι συνήθως 70-80%.

- Η χωρητικότητα της μπαταρίας μετριέται σε Ah. Η απόδοση φόρτισης είναι :

Ah για πλήρη εκφόρτωση

Ah για πλήρη φόρτιση

και είναι περίπου 95% για μια μπαταρία οξέως – μολύβδου, και λίγο μικρότερη για μια νικελίου – καδμίου.

- Οι ρυθμοί φόρτισης και εκφόρτωσης είναι βολικές κλίμακες για τη σύγκριση των ρευμάτων φόρτισης των μπαταριών, ανεξάρτητα από τη χωρητικότητά τους. Εκφράζονται σαν ένας αριθμός ωρών π.χ. 10ωρος ρυθμός, 24ωρος ρυθμός κ.τ.λ. Το ρεύμα στο οποίο αντιστοιχούν είναι το πηλίκο της συνολικής ικανότητας εκφόρτωσης της μπαταρίας προς τον αριθμό των ωρών που χρειάζονται για την εκφόρτωση.

$$\text{Ρυθμός (A)} = \frac{\text{Ικανότητα (Ah)}}{\text{Χρόνος (h)}}$$

(βλέπε[9])

### 3.3.4 ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Για μεγαλύτερη χωρητικότητα μπορούμε να συνδέσουμε περισσότερους συσσωρευτές παράλληλα μεταξύ τους. Για μεγαλύτερη τάση μπορούμε να συνδέσουμε περισσότερους συσσωρευτές σε σειρά μεταξύ τους. Για παράδειγμα:

1. Παράλληλη σύνδεση όπου προστίθενται τα AH (αμπερώρια). Τα Volt παραμένουν σταθερά στα 12V.

2. Σε σειρά σύνδεση όπου προστίθενται τα Volt. Τα AH (αμπερώρια) παραμένουν σταθερά.

(βλέπε [9])

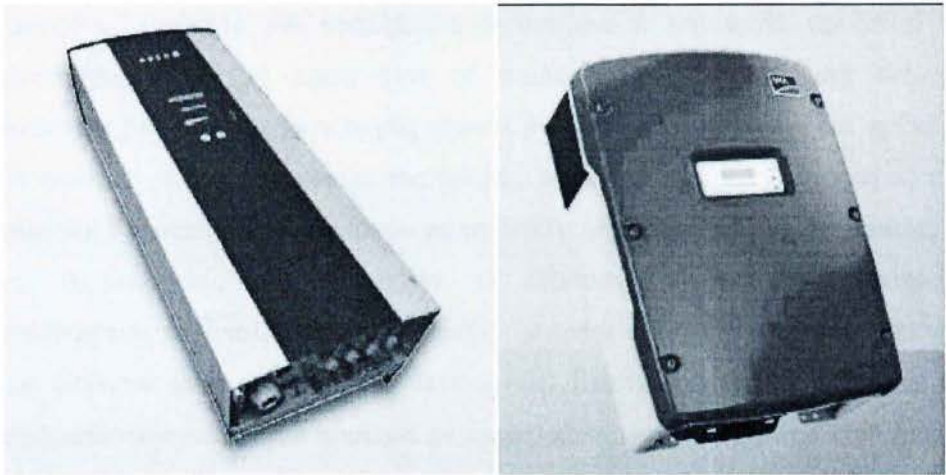
## 3.4 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΤΑΣΗΣ (INVERTER)

Ο αντιστροφέας τάσης είναι μια συσκευή που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα του φωτοβολταϊκού συστήματος σε εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα 230V. Έτσι μπορούμε να τροφοδοτήσουμε από τη μπαταρία του φωτοβολταϊκού συστήματος όλες τις οικιακές συσκευές που απαιτούν 230 Volt. Συνδέεται με ένα διπλό καλώδιο (θετικό - αρνητικό) πάνω στους πόλους της μπαταρίας. Έχει συνήθως μια ή δύο υποδοχές σαν τις πρίζες που έχουμε στους τοίχους του σπιτιού μας, πάνω στις οποίες συνδέουμε τις συσκευές που απαιτούν 230V, απ' ευθείας ή χρησιμοποιώντας πολύμπριζο ή και μπαλαντέζα.



Οι αντιστροφείς τάσης είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται σε συνδεδεμένα με το δίκτυο φ/β συστήματα αλλά και σε αυτόνομα συστήματα με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

(βλέπε [2])



Σχήματα 3.12: Μετατροπείς κλάδων

Πηγή: (βλέπε [1])

### **3.4.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Ο σχεδιασμός ενός συνδεδεμένου με το δίκτυο φ/β συστήματος αρχίζει με την επιλογή ενός κατάλληλου αντιστροφέα τάσης. Αυτό καθορίζει την τάση του συνεχούς ρεύματος που θα έχει το σύστημα και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα επιλέγονται και οι κατάλληλοι συλλέκτες. Ο αντιστροφέας είναι η δεύτερη σημαντικότερη μονάδα του συστήματος μετά τους συλλέκτες. Δουλειά του είναι να μετατρέπει την συνεχή τάση που παράγεται στους συλλέκτες σε εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50Hz η οποία προωθείται στο δίκτυο. Σε αντίθεση με τους αντιστροφείς των αυτόνομων συστημάτων, αυτοί των συνδεδεμένων πρέπει

να αντιδρούν το ίδιο στις μεταβολές των χαρακτηριστικών του δικτύου ηλεκτροδότησης και στις μεταβολές της απόδοσης των συλλεκτών. Αφού όλο το παραγόμενο ρεύμα περνά από αυτόν τα χαρακτηριστικά του επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Εκτός από την απόδοση στη μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, τα ηλεκτρονικά του αντιστροφέα περιλαμβάνουν συστήματα που είναι υπεύθυνα για την ημερήσια λειτουργία του συστήματος. Φροντίζουν η λειτουργία να ξεκινά την κατάλληλη στιγμή το πρωί, όταν οι συλλέκτες παράγουν αρκετή ενέργεια. Ανεπιτυχής έναρξη της λειτουργίας απαιτεί ενέργεια από το δίκτυο και πρέπει να αποφεύγεται. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας στην καμπύλη I-V μεταβάλλεται ανάλογα με τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των συλλεκτών. Ο «έξυπνος» έλεγχος του μετατροπέα περιλαμβάνει παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ενέργειας και συνεχή ρύθμιση στο βέλτιστο κάθε φορά σημείο λειτουργίας. Επίσης υπάρχουν συστήματα που αυτόματα αποσυνδέουν το σύστημα αν εμφανισθούν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στους συλλέκτες.

Σήμερα τα περισσότερα μοντέλα αντιστροφέων τάσης είναι εξοπλισμένα με συστήματα που επιτρέπουν τη συνεχή μέτρηση της ισχύος, της τάσης, του ρεύματος και άλλων λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να συλλεχθούν και να αναλυθούν με τη χρήση Η/Υ.

(βλέπε[8])

### **3.4.2 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Εξαιτίας των ειδικών συνθηκών λειτουργίας των αντιστροφέων των αυτόνομων συστημάτων, χρησιμοποιείται διαφορετικός σχεδιασμός. Σ' ένα τυπικό οικιακό σύστημα, ο λόγος της ονομαστικής ισχύος προς τη μέση ισχύ είναι περίπου 25:1. Για το λόγο αυτό ο αντιστροφέας πρέπει να έχει υψηλή απόδοση γύρω στο 90%, στα μερικά φορτία και συγκεκριμένα στην περιοχή του 5-10% της ονομαστικής ισχύος. Λίγοι αντιστροφείς ικανοποιούν τις συνθήκες αυτές, μαζί με έξοδο τάσης με

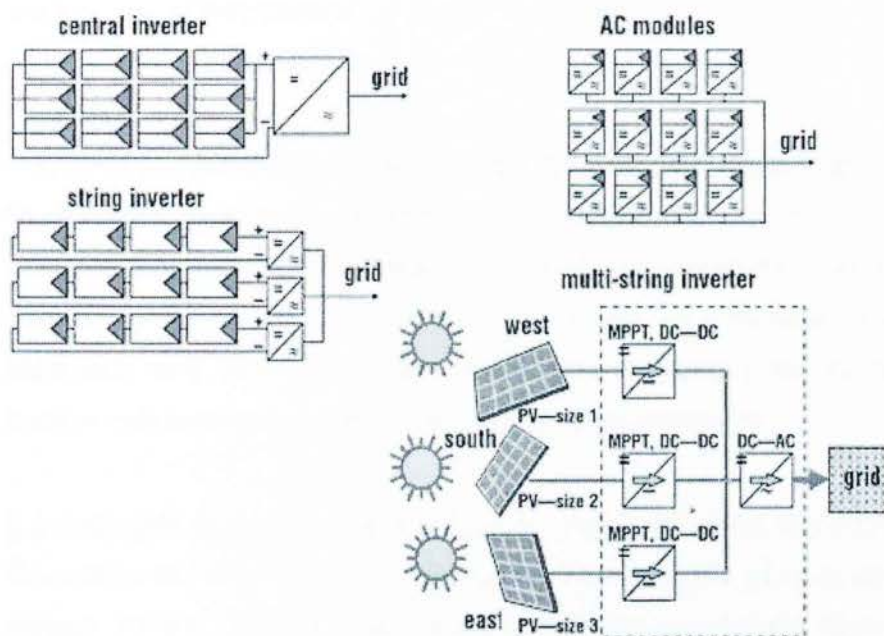
καμπυλοειδή κυματομορφή, και την ικανότητα να αντέχει μικρής διάρκειας υπερφορτώσεις. Ανάλογα τις απαιτήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν τετραγωνικής και καμπυλοειδούς κυματομορφής.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένας αντιστροφέας τάσης αυτόνομου συστήματος είναι τα ακόλουθα :

- Μεγάλο εύρος τάσης εισόδου (-10% με +30% της ονομαστικής τάσης).
- Τάση εξόδου όσο το δυνατόν πιο κοντά στην καμπυλοειδή κυματομορφή.
- Μικρή διακύμανση στην συχνότητα και τάση εξόδου.
- $\pm 8\%$  σταθερότητα τάσης,  $\pm 2\%$  σταθερότητα συχνότητας.
- Υψηλό βαθμό απόδοσης στα μερικά φορτία. Βαθμό απόδοσης τουλάχιστον 90% στο 10% του φορτίου.
- Ικανότητα να υπομένει μικρής διάρκειας υπερφορτώσεις για τις συνθήκες εκκίνησης συσκευών. Για παράδειγμα 2 με 3 φορές την ονομαστική ένταση του ρεύματος για 5s για το ψυγείο και το πλυντήριο.
- Ελάχιστες δυνατές υπερτάσεις για επαγωγικά και χωρητικά φορτία.
- Ικανότητα να αντέχει βραχυκύκλωμα.

(βλέπε[8])

### 3.4.3 ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΕΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ



Σχήμα 3.13 : σχήματα αντιστροφών

Πηγή: (βλέπε [2])

#### 1.Κεντρικοί αντιστροφεείς (central inverters)

Οι κεντρικοί αντιστροφεείς αποτελούν το είδος των αντιστροφών που εμφανίζουν τα μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος, της τάξης από 30-50kW έως και 1-2MW. Για το λόγο αυτό, η χρήση τους είναι περισσότερο διαδεδομένη σε σταθμούς μεγάλης ισχύος. Σε ορισμένες περιπτώσεις και σε επίπεδα ισχύος των εκατοντάδων kW οι αντιστροφεείς αυτοί συνοδεύονται από μετασχηματιστή ανύψωσης 0,4/20kV, ώστε να επιτρέπουν την απευθείας σύνδεση τους στο δίκτυο MT της ΔΕΗ.

## 2 Αντιστροφείς κλάδων ή στοιχειοσειρών (string inverters)

Αποτελούν αδιαμφισβήτητα την περισσότερο διαδεδομένη κατηγορία αντιστροφών σε σταθμούς μικρής έως και μέσης ισχύος. Η βασική αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην παράλληλη σύνδεση ενός αριθμού κλάδων (strings) σε αντίστοιχες εισόδους του αντιστροφέα (της τάξης των 2-8). Οι αντιστροφείς αυτού του τύπου κυκλοφορούν στο εμπόριο με μετασχηματιστή ή χωρίς μετασχηματιστή καθώς επίσης και σε μονοφασική ή τριφασική σύνδεση (συνήθως πάνω από 10kW).

## 3 Αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων ή στοιχειοσειρών (multistring inverters)

Οι αντιστροφείς πολλαπλών κλάδων χρησιμοποιούνται όταν σε έναν αντιστροφέα είναι απαραίτητο να συνδεθούν διαφορετικά πάνελ, όσον αφορά την ονομαστική ισχύ τους, τον αριθμό των πάνελ που αποτελούν τον κλάδο, τον κατασκευαστή κτλ. Στην περίπτωση αυτή στην ουσία κάθε είσοδος είναι ανεξάρτητη από τις άλλες και διαθέτει τους δικούς της ελεγκτές μέγιστης ισχύος και μετατροπείς.

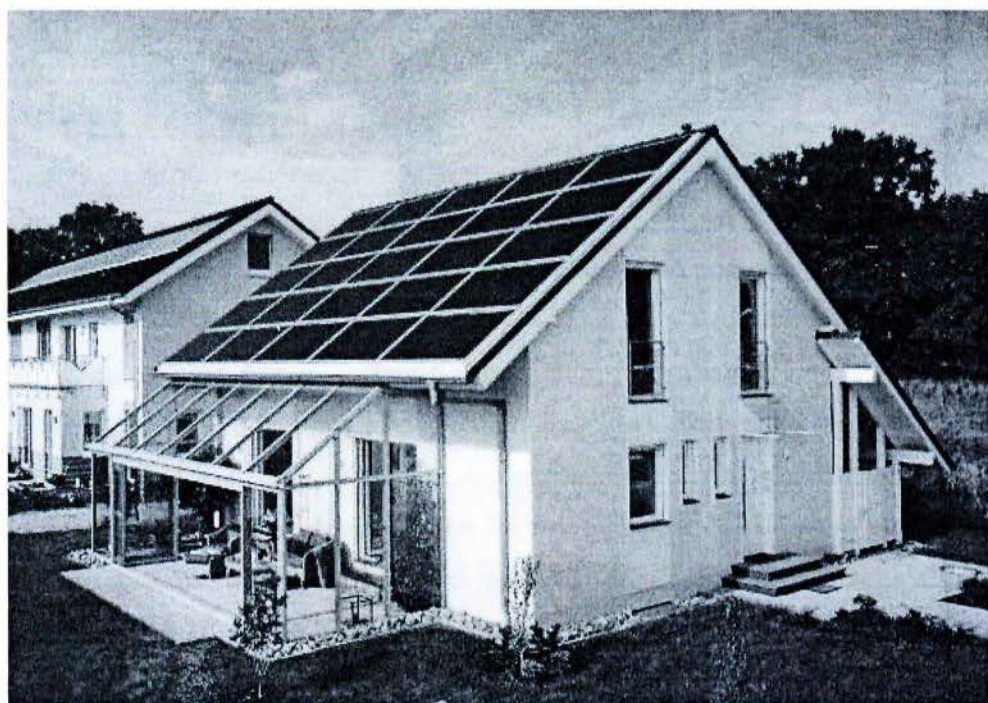
## 4 Αντιστροφείς με ενσωμάτωση σε Φ/Β πάνελ (Module integrated inverters)

Οι αντιστροφείς αυτοί αποτελούν μία σχετικά νέα κατηγορία χαμηλής ισχύος (έως περίπου 300W). Οι αντιστροφείς αυτοί ενσωματώνονται, δηλαδή δέχονται στην είσοδο τους, με ένα Φ/Β πάνελ. Σκοπός της χρήσης τους αποτελεί η βέλτιστη λειτουργία της Φ/Β εγκατάστασης ανά κάθε πάνελ χωριστά. Οι αντιστροφείς αυτοί παρουσιάζουν ενδιαφέρον κυρίως για μικρές οικιακές εγκαταστάσεις με σημαντικά προβλήματα σκίασης.

(βλέπε [2])

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΚΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ



## 4.1 ΤΡΟΠΟΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πάνελ έχουν την δυνατότητα να εδράζονται σε κτήρια με δύο τρόπους:

1. Σε βάσεις σταθερής κλίσης ως προς την οριζόντιο, συνήθως αναφερόμενες ως σταθερές βάσεις
2. Σε βάσεις επί διατάξεων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες συνήθως ως συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή τράκερς (trackers).

### 4.1.1 ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΒΑΣΕΙΣ

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης Φ/Β πάνελ. Έχουν το χαμηλότερο κόστος μεν αλλά λόγω της σταθερής τους θέσης έχουμε και τη μικρότερη παραγωγή ενέργειας. Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή: οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πάνελ κατά το μεσημέρι. Έτσι οι βάσεις κατασκευάζονται ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση, περί τις 30 μοίρες. Η κλίση αυτή θεωρείται ως μία ικανοποιητική μέση τιμή για τα Ελληνικά δεδομένα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες.

Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα. Συνήθως κατασκευάζονται μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού.

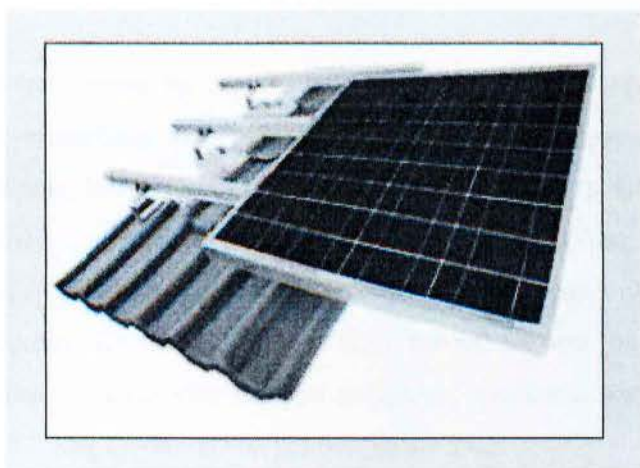
Οι βάσεις τοποθετούνται επί του εδάφους είτε με σκυροδέτηση είτε απευθείας με εδαφόμεληξη. Η σκυροδέτηση των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης σε σχέση με την απλή εδαφόμεληξη.

Οι σταθερές βάσεις αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται επί το έργο. Κάθε τεμάχιο χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη επιφάνεια τοποθέτησης, η οποία συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας κάποιες μέσες τιμές διαστάσεων πάνελ. Τα πάνελ μπορούν να τοποθετηθούν ανά απλή (μονή) σειρά ή συνηθέστερα σε διπλή σειρά ή ακόμη και σε τριπλή ή τετραπλή σειρά. Επίσης είναι δυνατή η τοποθέτηση τους είτε κατά τη μικρή διάσταση (portrait) είτε κατά τη μεγάλη διάσταση (landscape). Η ακριβής χωροθέτηση εξαρτάται από τη μορφολογία του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης και τις διαστάσεις αυτού.

(βλέπε [2])

Οι επόμενες φωτογραφίες παρουσιάζουν ενδεικτικά κάποιες σταθερές βάσεις.

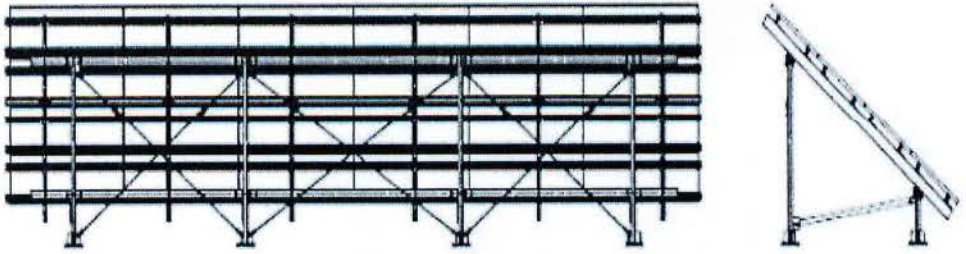
#### ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ Φ/Β ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΕΣ ΟΡΟΦΕΣ ΚΑΙ ΣΕ ΣΤΕΓΕΣ



Σχήμα 4.1: Σταθερές βάσεις για σκεπές

Πηγή: (βλέπε [2])





Σχήμα 4.2: Τυπική σταθερή βάση στήριξης

Πηγή: (βλέπε [2])

## 4.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

Η ιχνηλάτηση της πορείας του ήλιου αποτελεί μία τεχνική η οποία στοχεύει στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της προσπάθειας κίνησης των βάσεων των πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να επιτυγχάνεται συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή τράκερ (tracker) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα συστήματα βάσεων, παρέχοντας ωστόσο αυξημένες αποδόσεις, κατά μέσο όρο της τάξης του 30%. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

1. Συστήματα μονού άξονα (single axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα κίνηση των πάνελ σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια μίας μέρας. Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.



Σχήμα 4.3: Διάταξη ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου μονού άξονα

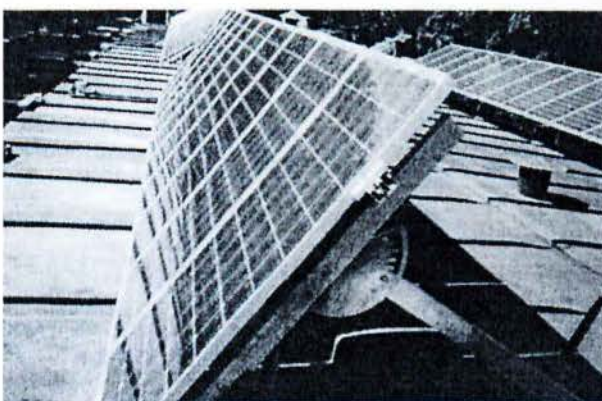
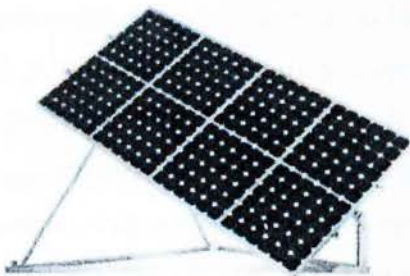
Πηγή: (βλέπε [3])

2. Συστήματα διπλού άξονα (dual axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ ως προς την οριζόντιο. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.

Η κίνηση στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται συνήθως με ήλεκτρο-μηχανικά ή ήλεκτρο-υδραυλικά μέσα. Κατά συνέπεια, όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από ιδιοκαταναλώσεις, οι οποίες είναι μικρές καθώς η κίνηση δεν είναι συνεχής αλλά περιοδική, τυπικά μία κίνηση ανά 10 λεπτά. Ωστόσο, είναι σκόπιμο η ενέργεια αυτή να προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και όχι από τα Φ/Β πάνελ λόγω της διαφοράς τιμής.

Η ανίχνευση της πορείας του ήλιου γίνεται συνήθως με δύο τρόπους: ο πρώτος τρόπος είναι με ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου. Ο δεύτερος τρόπος είναι μέσω λογισμικού, από αστρονομικά δεδομένα, βάσει των οποίων υπολογίζεται η θέση και πορεία του ήλιου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής. (βλέπε [2])

Με βάση την υφιστάμενη νομοθεσία στην Ελλάδα, τα trackers δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε στέγες παρά μόνο σε επίπεδες ταράτσες και οροφές κτηρίων. Παρόλα αυτά και στις επίπεδες οροφές υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί και δυσκολίες που δεν επιτρέπουν την εγκατάστασή τους. Για αυτούς τους λόγους δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιείτε σε κτηριακές εγκαταστάσεις. Ο βασικότερος περιορισμός είναι η επάρκεια χώρου, μιας και τα συστήματα ιχνηλάτησης του ηλίου απαιτούν μέχρι 2,5 φορές περισσότερο χώρο απ' ό,τι τα σταθερά συστήματα. Επιπλέον η μελέτη σκίασης από παρακείμενα εμπόδια γίνεται ακόμα πιο πολύπλοκα, μιας και η δυναμική κατάσταση του ήλιου και της θέσης των φωτοβολταϊκών αλλάζει διαρκώς τα δεδομένα. Επομένως ιδανικές συνθήκες για εγκατάσταση φ/β με trackers σε κτήρια, είναι κτήρια που διαθέτουν μεγάλες ασκίαστες επιφάνειες άνω των 250 τετραγωνικών μέτρων. (βλέπε[4])



Σχήμα 4.4: συστήματα ιχνηλάτησης για επίπεδες στέγες

Πηγή: (βλέπε [1])

## 4.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, εφόσον η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με τη μέρα του έτους, τεκμαίρεται 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 κτηριακά Φ/Β συστήματα. Έτσι στη πλειονότητα των κτηριακών Φ/Β συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των πλαισίων, ώστε να επιτυγχάνεται μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όσο το δυνατό πιο κοντά στις 90°.

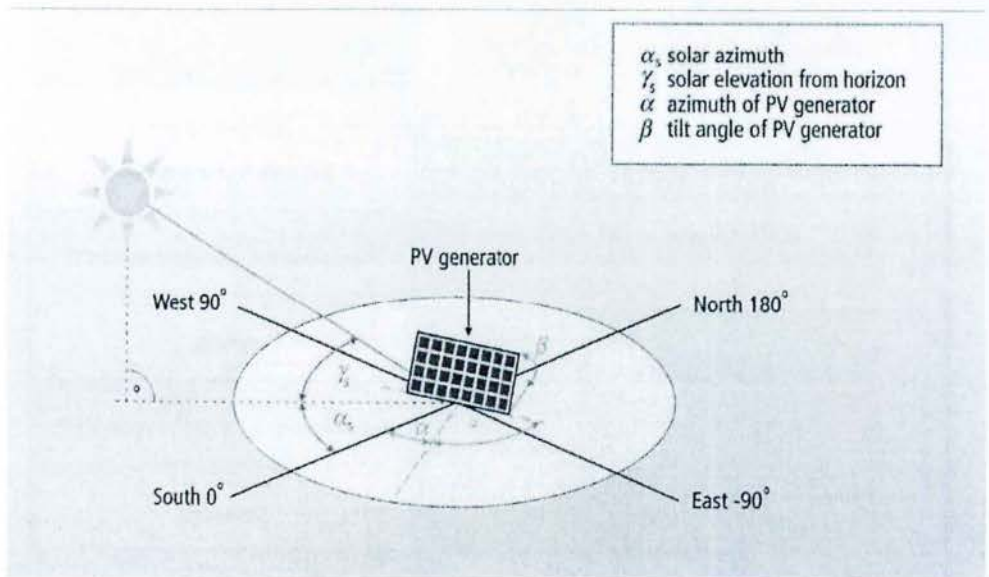
Η Επίτευξη αυτού του στόχου έγκειται στην σωστή επιλογή της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας του πλαισίου. Η κλίση του πλαισίου εκφράζεται με τη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο της επιφάνειας του Φ/Β πλαισίου και το οριζόντιο επίπεδο, ενώ η αζιμούθια γωνία σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κεκλιμένης πλευράς του πλαισίου και τον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου.

Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του Φ/Β 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° (κατεύθυνση προς νότο). Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης, επιτυγχάνεται για Νότιο προσανατολισμό και κλίση περί των 30°.

Δεδομένου ότι στην περίπτωση των κτηριακών Φ/Β εγκαταστάσεων οι βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να είναι ανέφικτες (λόγω των περιορισμών που προκύπτουν από τις δεδομένες διαθέσιμες επιφάνειες του κτηρίου), θα πρέπει να γίνει εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια στην οποία πρόκειται να εγκατασταθεί η Φ/Β συστοιχία. Η μείωση της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας (στην επιφάνεια της Φ/Β 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  $10$ -  $15^\circ$  διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό των πλαισίων από σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους μέσω της βροχής.

(βλέπε [3])



Σχήμα 4.5: καθορισμός γωνιών της ηλιακής τεχνολογίας

Πηγή: (βλέπε[1])

Ενδεικτική απόδοση φωτοβολταϊκών σε διάφορες κλίσεις και προσανατολισμούς

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	0 °	30 °	90 °
			
Ανατολικός - Δυτικός	90	85	50
Νοτιοανατολικός- Νοτιοδυτικός	90	95	60
Νότιος	90	100	60
Βορειοανατολικός- Βορειοδυτικός	90	67	30
Βόρειος	90	60	20

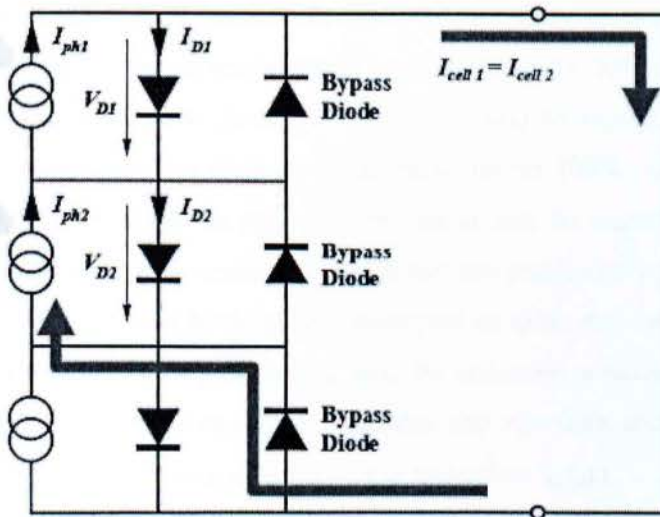
Σχήμα 4.6: Μεταβολή της παραγωγής ενέργειας για απόκλιση τοποθέτησης ως προς τις βέλτιστες συνθήκες.

Πηγή : (βλέπε [2])

### 4.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΚΙΑΣΜΩΝ

Η επίδραση της σκίασης, της έλλειψης δηλαδή ηλιακού φωτός, ανάγεται στην μερική ή ολική απώλεια δημιουργίας φωτορεύματος. Η σκίαση δημιουργείται συνήθως από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δένδρα, κτίρια, στύλοι κτλ) ή από παροδικά φαινόμενα (π.χ. σύννεφα).

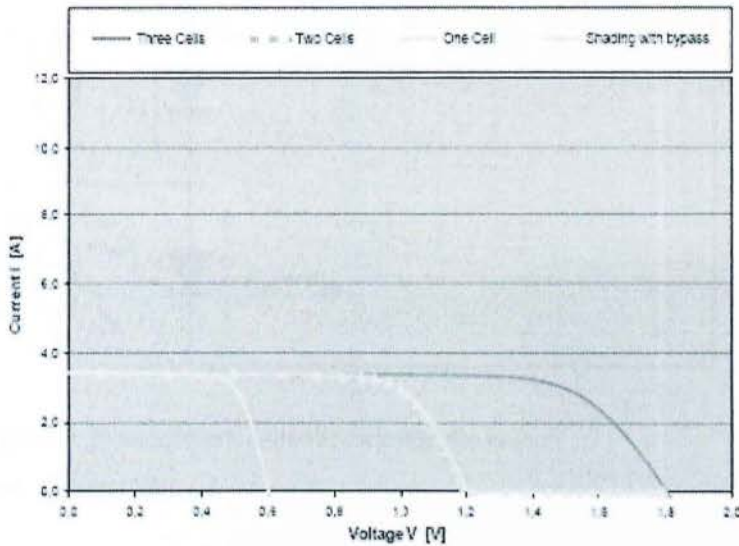
Ας θεωρηθεί για παράδειγμα η περίπτωση των τριών ηλιακών κελιών συνδεδεμένων σε σειρά. Αν υποτεθεί ότι ένα κελί σκιάζεται πλήρως τότε η παραγωγή ρεύματος από αυτό θα είναι μηδενική και κατά συνέπεια θα συμπεριφέρεται ως ανοικτό κύκλωμα, μηδενίζοντας τη συνολική παραγωγή ενέργειας. Μία λύση που εφαρμόζεται συνήθως είναι η προσθήκη διόδων παράκαμψης συνδεδεμένων αντιπαράλληλα προς τα ηλιακά κελιά. Σε κανονικές συνθήκες οι διόδοι αυτοί είναι πολωμένες ανάστροφα και δεν επιδρούν στην παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, όταν ένα κελί σκιαστεί πλήρως, τότε το ρεύμα των υπόλοιπων ηλιακών κελιών ρέει διαμέσου της διόδου αυτής, η οποία πολώνεται ορθά, διατηρώντας έτσι τη ροή ενέργειας. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται σχηματικά παρακάτω:



Σχήμα 4.7: Δίοδος ρεύματος διαμέσου της διόδου παράκαμψης σε περίπτωση πλήρους σκίασης

Πηγή: (βλέπε [2])

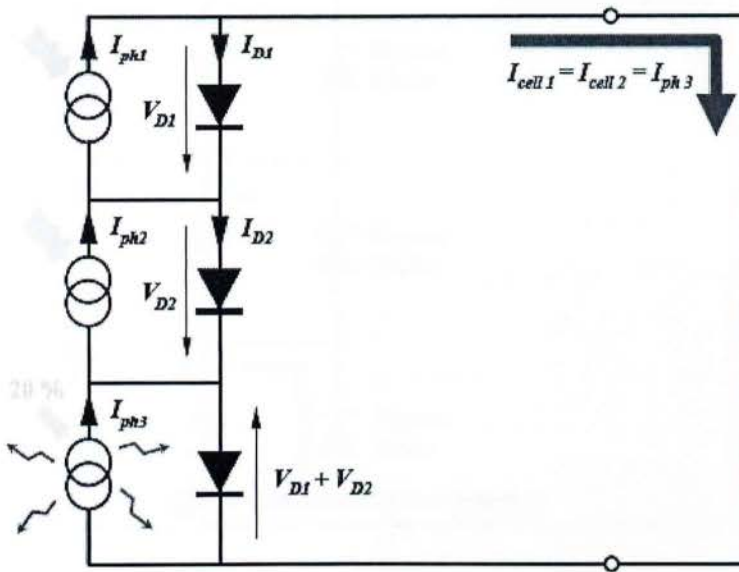
Η I-V χαρακτηριστική του συνδυασμού των κελιών μεταβάλλεται όπως στο παρακάτω Σχήμα:



Σχήμα 4.8: I-V χαρακτηριστική κελιών με ένα κελί πλήρως σκιασμένο  
 Πηγή: (βλέπε [2])

Ας θεωρηθεί τώρα η περίπτωση που ένα κελί είναι μερικώς σκιασμένο, π.χ. με μείωση της προσπίπτουσας έντασης ακτινοβολίας στο 20% σε σχέση με τα άλλα κελιά. Στην περίπτωση αυτή το συγκεκριμένο κελί θα παράγει περίπου το 20% του φωτορεύματος ενώ τα άλλα κελιά θα παράγουν το 100%. Λόγω της σύνδεσης σε σειρά, στο κύκλωμα θα ρέει μόνο το ρεύμα που θα παράγεται από το μερικώς σκιασμένο κελί. Αναφορικά με τα κελιά που δεν σκιάζονται το υπόλοιπο ρεύμα τους (δηλαδή το υπόλοιπο 80%) θα ρέει εσωτερικά σε αυτά, στις ενδογενείς διόδους τους. Επιπλέον στο μερικώς σκιασμένο κελί θα υφίσταται απώλεια ενέργειας καθώς η διάδος του θα είναι ανάστροφα πολωμένη από την τάση που παράγεται στα άλλα κελιά, όπως για παράδειγμα φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα:

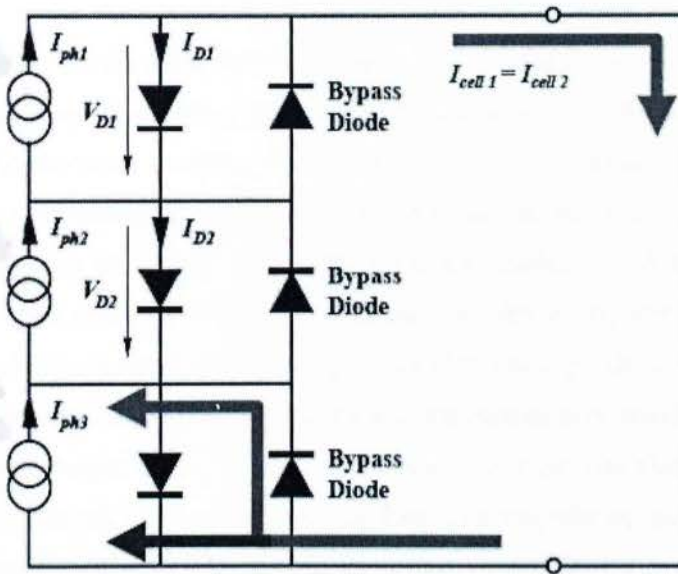




Σχήμα 4.9: Η περίπτωση μερικώς σκιασμένου κελιού

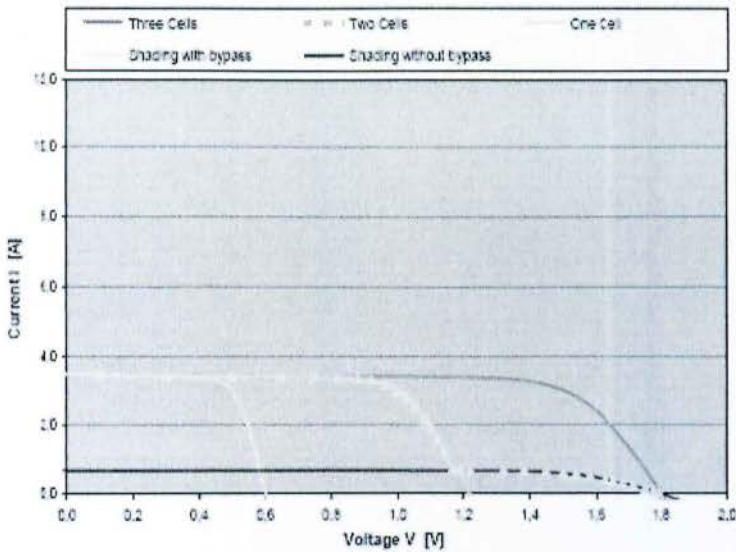
Πηγή: (βλέπε [2])

Πρακτικά, η περίπτωση αυτή οδηγεί στη δημιουργία θερμών σημείων (hot spots) τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε γρηγορότερη γήρανση και ενδεχόμενα καταστροφή του πάνελ. Ωστόσο, με τη βοήθεια των διόδων παράκαμψης αποφεύγονται τα προβλήματα των θερμών σημείων. Στην περίπτωση αυτή, η διαφορά των ρευμάτων μεταξύ των κελιών που δεν σκιάζονται και του μερικώς σκιασμένου κελιού ρέει διαμέσου της διόδου παράκαμψης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα:



Σχήμα 4.10: Χρήση διόδου παράκαμψης σε μερικώς σκιασμένα κελιά  
 Πηγή: (βλέπε [2])




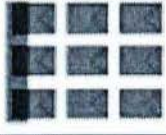
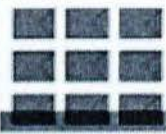
Η I-V χαρακτηριστική του συνδυασμού σ' αυτήν την περίπτωση δίνεται στο παρακάτω Σχήμα:



Σχήμα 4.11: Η I-V χαρακτηριστική συνδυασμού εν σειρά κελιών με ένα κελί μερικώς σκιασμένο  
 Πηγή: (βλέπε [2])

Ωστόσο, η χρήση μίας διόδου παράκαμψης ανά κελί είναι γενικά αρκετά δαπανηρή και στην πράξη, συνήθως χρησιμοποιείται μία διόδος ανά 10-1 κελιά. Οι διόδοι αυτοί περιλαμβάνονται συνήθως στο κιβώτιο σύνδεσης στο πίσω μέρος κάθε πάνελ. Οι διόδοι παράκαμψης δεν προκαλούν απώλειες σε κανονικές συνθήκες όταν δεν διαρρέονται από ρεύμα. Επιπρόσθετα της προστασίας ενός ή περισσότερων κελιών που σκιάζονται, οι διόδοι παράκαμψης επιτρέπουν τη ροή ρεύματος από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ σε μειωμένη βέβαια τάση και ισχύ. Όπως έχει γίνει φανερό για την εν σειρά σύνδεση τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός πάνελ και, κατ' επέκταση μίας συστοιχίας πάνελ, καθορίζονται από το χειρότερο (από πλευράς σκίασης) κελί ή πάνελ. Για το λόγο αυτό, πάνελ με διαφορετικούς τύπους ηλιακών κελιών ή από διαφορετικούς κατασκευαστές δε θα πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους. Σε ακόμη μεγαλύτερα συστήματα ίσως είναι σκόπιμο ότι τα πάνελ που συνδέονται μεταξύ τους προέρχονται από την ίδια γραμμή παραγωγής. Επιπλέον, πρέπει ο σχεδιαστής μηχανικός να λαμβάνει κάθε δυνατή μέριμνα ώστε να αποφεύγονται σκιάσεις από δένδρα, καλώδια και στύλους ή περιβάλλοντα κτίρια.

(βλέπε [2])

Απώλειες από σκίαση			
			
Τρόπος σκίασης	Σκίαση (%)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (1 string x 9 modules)	Ενδεικτική απώλεια ισχύος (3 string x 3 modules)
	0,15%	-3,7%	-1,7%
	2,6%	-16,7%	-7%
	11,1%	-36,5%	-30,5%
	12,5%	-18,3%	-17%

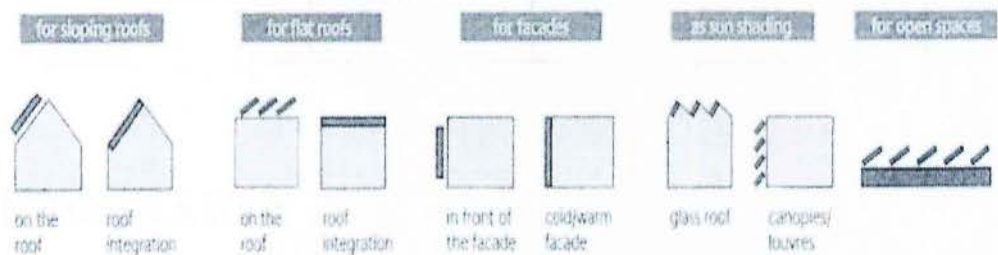
Σχήμα 4.12: απώλειες από σκίαση

Πηγή: (βλέπε [W2])

## 4.4 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ

Οι περισσότερες επιφάνειες κτιρίου είναι κατάλληλες για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών συστοιχιών:

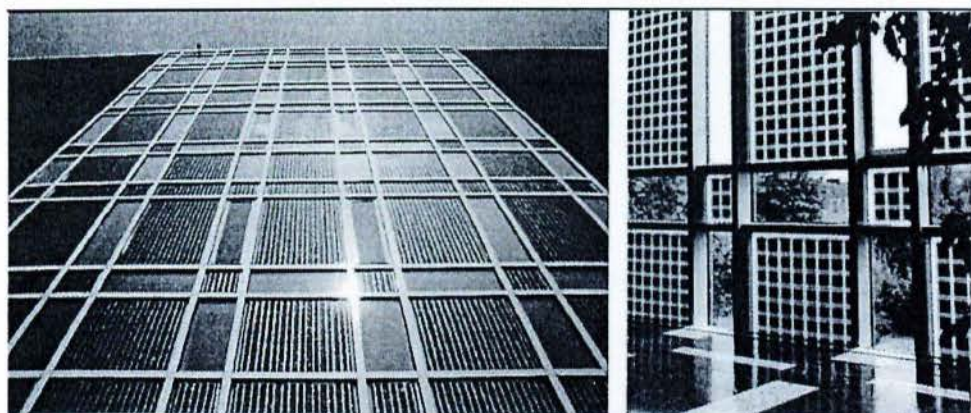
- κεκλιμένες στέγες
- επίπεδες στέγες
- προσόψεις



Σχήμα 4.13: Πιθανές θέσεις για την εγκατάσταση φ/β συστημάτων

Πηγή: (βλέπε [1])

Οι πιο συνηθισμένες τοποθετήσεις γίνονται σε επίπεδες οροφές και σε κεκλιμένες στέγες. Μεγάλο ενδιαφέρον όμως έχουν οι τοποθετήσεις φ/β σε προσόψεις, σε τζάμια, αλλά και σε στέγες από γυαλί.

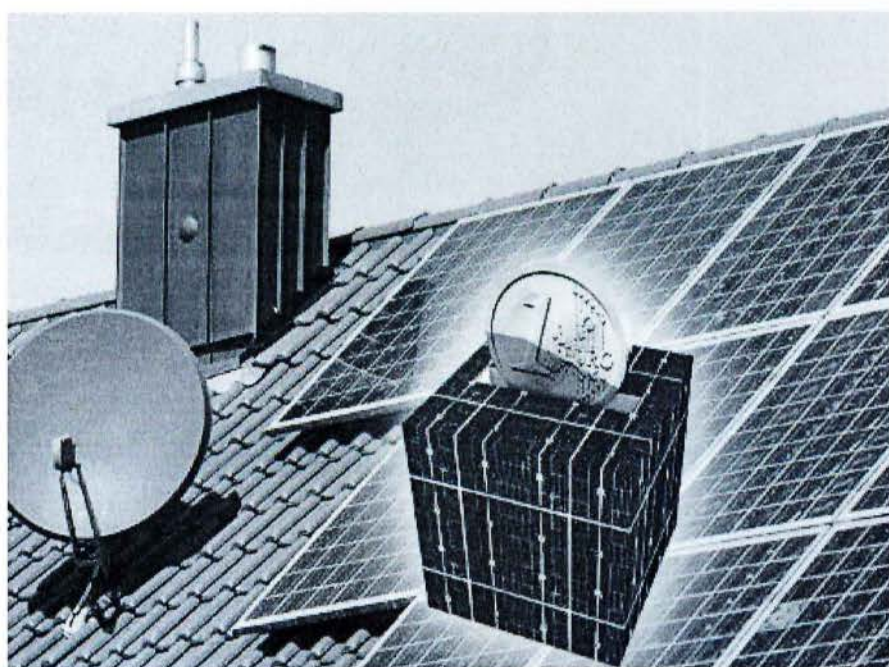


Σχήμα 4.14 :φ/β συστήματα σε πρόσοψη και τζάμι.

Πηγή: (βλέπε [1])

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ



## 5.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Ένα μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ότι οι τιμές ανά κιλοβατώρα τα τελευταία χρόνια δεν είναι σταθερές. Υπάρχει μια αρκετά μεγάλη μείωση σε σύγκριση με τα προηγούμενα χρόνια.

Ενώ η τιμή αρχικά ήταν 0.55/kw για οικιακή εγκατάσταση έως 10 kw, στην συνέχεια μειώθηκε στα 0,47/ kw και με τα σημερινά δεδομένα από τον Αύγουστο του 2012 σύμφωνα με τον νόμο έγινε μια μεγάλη πτώση τιμής στα φωτοβολταϊκά έως 48%. Η νέα τιμή για μονάδες ισχύος έως 10 kw ανέρχεται στα 0.25/ kw.

Αναλυτικά οι νέες τιμές είναι:

♦ Για μονάδες ισχύος πάνω από 100 kw στο διασυνδεδεμένο σύστημα, η τιμή διαμορφώνεται στα 0.1800 ευρώ ανά κιλοβατώρα. Κάθε εξάμηνο η τιμή θα αναπροσαρμόζεται ως εξής:

<b>Μήνας/Έτος</b>	<b>Τιμή (ευρώ/kw)</b>
Αύγουστος 2012	<b>0.18000</b>
Φεβρουάριος 2013	<b>0.17190</b>
Αύγουστος 2013	<b>0.16416</b>
Φεβρουάριος 2014	<b>0.15678</b>
Αύγουστος 2014	<b>0.14972</b>

Πηγή: (βλέπε [4])

♦ Για μονάδες ισχύος έως 100 kw στο διασυνδεδεμένο σύστημα και για μονάδες ανεξαρτήτου συστήματος, δηλαδή στα νησιά, η τιμή διαμορφώνεται στα 0.2250 ευρώ ανά κιλοβατώρα. Κάθε εξάμηνο η τιμή θα αναπροσαρμόζεται ως εξής:

<b>Μήνας/Έτος</b>	<b>Τιμή (ευρώ/kw)</b>
Αύγουστος 2012	<b>0.22500</b>
Φεβρουάριος 2013	<b>0.21488</b>
Αύγουστος 2013	<b>0.20521</b>
Φεβρουάριος 2014	<b>0.19597</b>
Αύγουστος 2014	<b>0.18715</b>

Πηγή: (βλέπε [4])

♦ Για τα φωτοβολταϊκά σε στέγες έως 10 kw η τιμή διαμορφώνεται στα 0.2500 ευρώ ανά κιλοβατώρα και η τιμή του θα αναπροσαρμόζεται ως εξής κάθε εξάμηνο:

<b>Μήνας/Έτος</b>	<b>Τιμή (ευρώ/kw)</b>
Αύγουστος 2012	<b>0.25000</b>
Φεβρουάριος 2013	<b>0.23875</b>
Αύγουστος 2013	<b>0.22801</b>
Φεβρουάριος 2014	<b>0.21775</b>
Αύγουστος 2014	<b>0.20795</b>
Φεβρουάριος 2015	<b>0.19859</b>
Αύγουστος 2015	<b>0.18965</b>
Φεβρουάριος 2016	<b>0.18112</b>
Αύγουστος 2016	<b>0.17297</b>
Φεβρουάριος 2017	<b>0.16518</b>
Αύγουστος 2017	<b>0.15775</b>
Φεβρουάριος 2018	<b>0.15065</b>
Αύγουστος 2018	<b>0.14387</b>

Πηγή: (βλέπε [4])



## 5.2 Η ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Παρά την τελευταία μείωση της τιμής της κιλοβατώρας στα φωτοβολταϊκά συστήματα, σημαντικό πλεονέκτημα φαίνεται πως είναι η ηλιοφάνεια που έχει η χώρα μας, καθώς είμαστε η τρίτη σε απόδοση στα φ/β συστήματα όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

### 3η σε απόδοση στην Ευρώπη

Το κράτιμα που τίθεται εύλογα, μετά και τις τελευταίες πτώσεις, αφορά στο τι ισχύει στην Ευρώπη και ποιες χώρες είναι άραγε κερδοφόρες όσον αφορά στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για να δοθεί η αξιολόγηση, προσομοίωσε στη συγκριση των αποδόσεων ενός σταθμίματος 10 kWp (με τα ίδια χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν και στις προηγούμενες σελίδες), σε 13 πάλαι εταρωτικές χώρες μεταξύ των οποίων βρίσκεται και η Αθήνα.



**Συγκριτικός πίνακας παραγωγής και χρηματικών αποδόσεων**

ΧΩΡΑ	ΠΟΛΗ	ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ σε kWh	ΤΙΜΕΣ ΠΩΛΗΣΗΣ ευρώ/kWh	ΕΣΟΔΑ ΣΤΟ 1ο ΕΤΟΣ (ευρώ)	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ (ευρώ)	ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΜΒΑΣΗΣ ΠΩΛΗΣΗΣ (σε έτη)	ΚΑΘΑΡΑ ΚΕΡΔΗ (σε ευρώ με ποσοστό κέρτους)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙΘΕΤΑ ΑΠΙΘΥΝΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ (Μόλις άρταση 20 έτη)
ΓΕΡΑΝΙΑ	ΜΑΔΡΙΤΗ	15.470	0,2200	4.378	22.000	25	76.149	13,25%
ΑΥΣΤΡΙΑ	ΑΡΜΑΒΙΛΙΟ	17.035	0,2160	5.281	24.000	20	72.376	15,08%
<b>ΕΛΛΑΔΑ</b>	<b>ΑΘΗΝΑ</b>	<b>18.265</b>	<b>0,2000</b>	<b>3.616</b>	<b>22.000</b>	<b>25</b>	<b>82.293</b>	<b>16,84%</b>
ΕΣΒΕΤΙΑ	ΛΙΖΙΑΡΗ	10.481	0,3325	3.485	24.000	25	54.182	9,03%
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	ΛΙΣΒΟΝΑ	19.515	0,2480	3.435	22.000	20	48.758	11,08%
ΤΣΕΚΙΑ	ΛΙΣΥΜΠΛΙΑΝΑ	11.082	0,4155	4.607	22.000	15	42.422	12,06%
ΑΟΥ-ΗΜΒΟΥΡΓΟ	ΑΟΥ-ΗΜΒΟΥΡΓΟ	9.804	0,3686	3.624	22.000	15	28.660	8,50%
ΙΤΑΛΙΑ	ΡΩΜΗ	14.324	0,2270	3.297	22.000	20	28.128	8,67%
ΓΑΛΛΙΑ	ΠΑΡΙΣ	10.509	0,2635	2.130	22.000	20	17.029	3,87%
ΑΥΣΤΡΙΑ	ΒΙΕΝΝΗ	10.709	0,2160	2.956	20.000	13	16.148	6,21%
ΒΕΛΓΙΟ	ΒΡΥΞΕΛΛΕΣ	9.547	0,4150	3.962	22.000	10	15.037	7,20%
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	ΟΡΑΝΚΦΟΥΡΤΗ	9.232	0,1873	1.860	20.000	20	13.950	3,48%
ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	ΣΟΦΙΑ	11.068	0,1760	1.882	22.000	20	12.338	2,80%

Σχήμα 5.1 συγκριτικός πίνακας παραγωγής και χρηματικών αποδόσεων

Πηγή: (βλέπε [4])

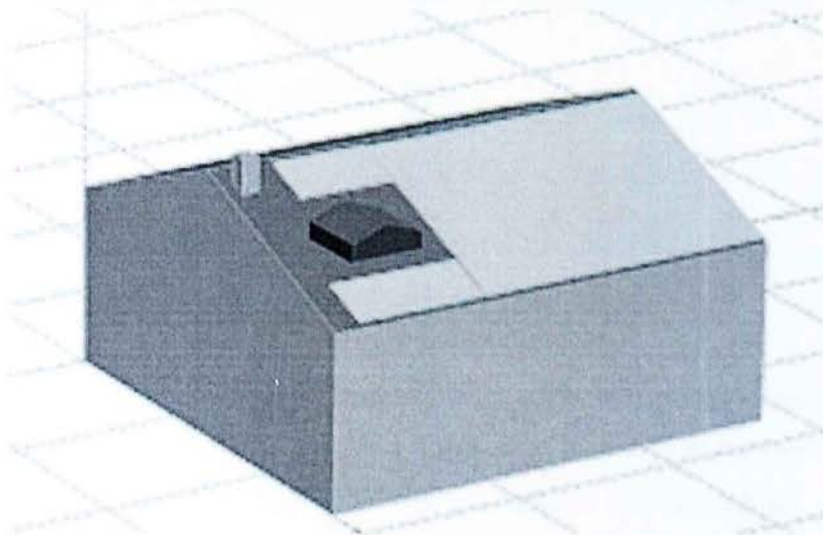
## 5.3 ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Αν και το κόστος αγοράς μειώθηκε πολύ και η αρχική άποψη είναι ότι δεν συμφέρουν πλέον οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, παρ' όλα αυτά παρατηρείται τον τελευταίο χρόνο σημαντική μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών.

Για να δούμε αν ακόμα συμφέρει, παρά τις περικοπές, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις θα μελετηθούν δύο περιπτώσεις. Μία με 0.5500 ευρώ ανά κιλοβατώρα και μία με τα σημερινά δεδομένα 0.2500 ευρώ ανά κιλοβατώρα, ώστε να γίνει μία σύγκριση τιμών.

### 5.2.1 ΣΤΕΓΗ 94τ.μ. ΜΕ ΝΟΤΙΟ-ΔΥΤΙΚΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ.

Παρακάτω παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα μελέτης εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού ονομαστικής ισχύς 9,89 kw, σε μία δίριχτη στέγη 94 μ<sup>2</sup>, με νότιο - δυτικό προσανατολισμό στην Αθήνα.

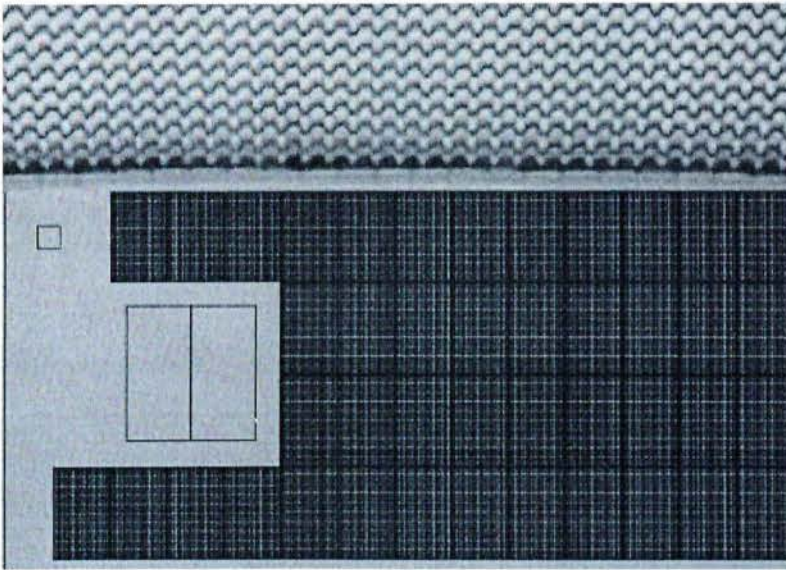


Σχήμα 5.2: ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

Πηγή: (βλέπε [W1])

### Δεδομένα:

Η διάσταση της στέγης είναι 14x6,7 μ. Στην ανατολική πλευρά της στέγης σημειώνεται καμινάδα διαστάσεων 0,40x0,40 μ., με ύψος 1,00 μ. πάνω από τη στέγη και οριζόντιος φεγγίτης διαστάσεων 2,25x2,25 μ. Οι διαστάσεις των πάνελ που προδιαγράφηκαν είναι 166x99x5 εκ., η δε ονομαστική τους ισχύς 230 W. Η κλίση της στέγης σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο είναι 200.



Σχήμα 5.3: ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

Πηγή: (βλέπε [W1])

### Κόστος – έσοδα – απόδοση ισχύος συστήματος

Σύμφωνα με τα συγκεκριμένα δεδομένα, στην υπό μελέτη στέγη μπορούν να τοποθετηθούν 43 πάνελ των 230 KWh έκαστο. Το συγκεκριμένο σύστημα θα είναι ονομαστικής ισχύος 9,89 KWh και υπολογίζεται ότι θα παράγει 13.682 KWh ετησίως, οι οποίες με το ισχύον τιμολόγιο της ΔΕΗ θα αποφέρουν 7.525 ευρώ ετησίως. Το τελικό κόστος ενός εγκαταστημένου τέτοιου συστήματος με επώνυμα πιστοποιημένα πάνελ και inverter, με βάσεις στήριξης από αλουμίνιο και solar


καλωδίωση, κυμαίνεται από 36.000 έως 40.000 ευρώ (στο ποσό συμπεριλαμβάνεται ΦΠΑ 23% και 1.000-1.300 ευρώ κόστος σύνδεσης με τη ΔΕΗ).

Περιλαμβάνει τον ακόλουθο εξοπλισμό και εργασίες εγκατάστασης:

- Φωτοβολταϊκά πάνελ
- Αντιστροφείς (inverters)
- Συστήματα (βάσεις) στήριξης αλουμινίου
- Καλώδια DC/AC και βύσματα
- Γενικός Πίνακας AC
- Πίνακες DC
- Αντικεραυνική προστασία
- Ηλεκτρολογικές εργασίες
- Γενικές εργασίες εγκατάστασης και λειτουργίας του συστήματος

**Εκτίμηση ετήσιας απόδοσης ΦΒΣ 9,89 KWp σε στέγη στην Αθήνα**

<b>Μήνας</b>	<b>KWh</b>	<b>Αξία με 0,55 €/KWh σε ευρώ</b>
ΙΑΝ.	671	369
ΦΕΒ.	758	417
ΜΑΡ.	1.152	634
ΑΠΡ.	1.321	727
ΜΑΙΟ.	1.489	819
ΙΟΥΝ.	1.583	870
ΙΟΥΛ.	1.616	889
ΑΥΓ.	1.567	862
ΣΕΠ.	1.203	661
ΟΚΤ.	1.042	573
ΝΟΕ.	713	392
ΔΕΚ.	567	312
<b>Σύνολο</b>	<b>13.682</b>	<b>7.525</b>



Σχήμα 5.4

Πηγή: (βλέπε [W1])

Ο παραπάνω πίνακας αποδόσεων διαμορφώθηκε στηριζόμενος στα στοιχεία για την ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στη συγκεκριμένη περιοχή.

## Κέρδη – Απόσβεση

Από τον τελικό πίνακα προκύπτει ότι:

α) για την αγορά του φωτοβολταϊκού συστήματος με ίδια κεφάλαια: το συνολικό καθαρό κέρδος στην 25ετία ανέρχεται περίπου στα 140.000 ευρώ, ενώ η απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου επιτυγχάνεται σε 5 χρόνια και 3 μήνες, ενώ η ετήσια απόδοση της επένδυσης φτάνει κατά μέσο όρο στο 14,28%.

β) για την αγορά του φωτοβολταϊκού συστήματος με 100% δανειοδότηση από τράπεζα, με επιτόκιο 6,70%, για αποπληρωμή σε 10 χρόνια: το συνολικό καθαρό κέρδος στην 25ετία ανέρχεται περίπου στα 125.000 ευρώ, ενώ η ετήσια απόδοση της επένδυσης φτάνει κατά μέσο όρο στο 12,81%.

(βλέπε [W1])

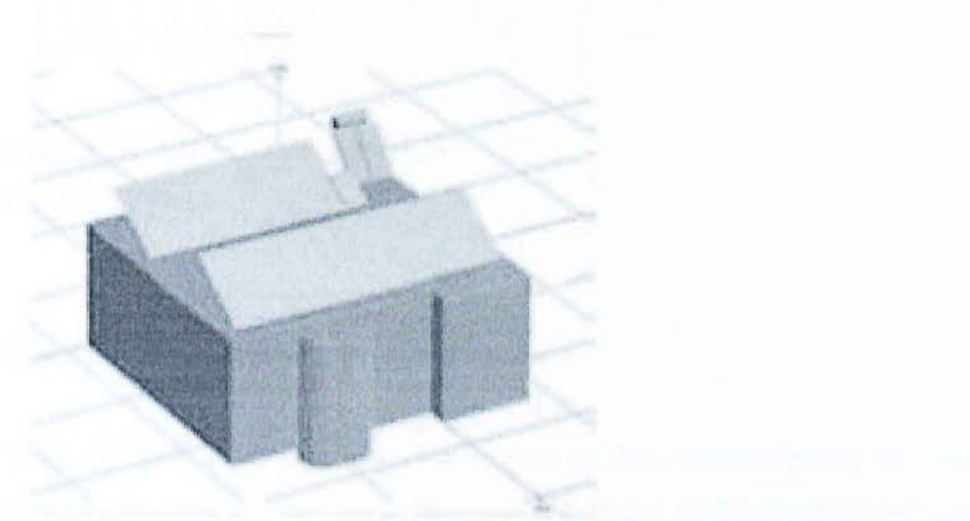
Έτος	Συνολική ετήσια απόδοση ευρώ	Χωρίς προσαρμείωση Επιτόκιο 6,70% για 10 έτη			Με ίδια κεφάλαια		
		Ετήσιες δόσεις δανείου ευρώ	Καθαρό ετήσιο όφελος ευρώ	Προοδευτικό όφελος ευρώ	Ετήσιες πληρωμές ευρώ	Καθαρό ετήσιο όφελος ευρώ	Προοδευτικό όφελος ευρώ
2011	7.525	-5.333	2.192	2.192	-38.711	-31.185	-31.185
2012	7.487	-5.333	2.154	4.345	0	7.487	-23.688
2013	7.449	-5.333	2.115	6.460	0	7.449	-16.250
2014	7.409	-5.333	2.076	8.536	0	7.409	-8.840
2015	7.370	-5.333	2.036	10.572	0	7.370	-1.471
2016	7.329	-5.333	1.996	12.568	0	7.329	5.859
2017	7.288	-5.333	1.955	14.523	0	7.288	13.147
2018	7.247	-5.333	1.914	16.437	0	7.247	20.394
2019	7.205	-5.333	1.871	18.308	0	7.205	27.599
2020	7.162	-5.333	1.829	20.137	0	7.162	34.761
2021	7.119	0	7.119	27.258	0	7.119	41.880
2022	7.102	0	7.102	34.358	0	7.102	48.982
2023	7.084	0	7.084	41.441	0	7.084	56.065
2024	7.066	0	7.066	48.507	0	7.066	63.131
2025	7.047	0	7.047	55.554	0	7.047	70.178
2026	7.028	0	7.028	62.583	0	7.028	77.207
2027	7.009	0	7.009	69.592	0	7.009	84.216
2028	6.990	0	6.990	76.581	0	6.990	91.206
2029	6.970	0	6.970	83.551	0	6.970	98.175
2030	6.949	0	6.949	90.500	0	6.949	105.125
2031	6.929	0	6.929	97.429	0	6.929	112.053
2032	6.908	0	6.908	104.337	0	6.908	118.961
2033	6.886	0	6.886	111.223	0	6.886	125.847
2034	6.864	0	6.864	118.087	0	6.864	132.712
2035	6.842	0	6.842	124.930	0	6.842	139.554

Σχήμα 5.5

(βλέπε [W1])

## 5.2.2 ΣΤΕΓΗ ΜΕ ΝΟΤΙΟ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ

Παρακάτω παρουσιάζουμε ένα παράδειγμα μελέτης εγκατάστασης οικιακού φωτοβολταϊκού ονομαστικής ισχύς 9,87 kw σε μία στέγη με νότιο προσανατολισμό, στην Αθήνα.



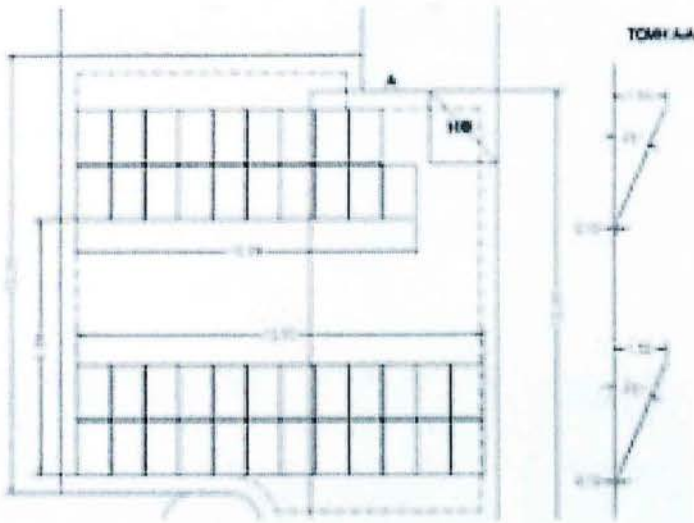
Σχήμα 5.6 : Τρισδιάστατη απεικόνιση

Πηγή(βλέπε [W1])

### Δεδομένα:

Η κλίση της στέγης σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο είναι 30 και η εγκατάσταση είναι απόλυτα νότια, (0 απόκλιση από τον Νότο).

Οι διαστάσεις των πάνελ που προδιαγράφηκαν είναι 99 cm x 166 cm x 0.50 cm και μπορούν να τοποθετηθούν 42 πάνελ των 235 Wh.



Σχήμα 5.7: ΚΑΤΟΨΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ

Πηγή(βλέπε [W1])

#### **Κόστος – έσοδα – απόδοση ισχύος συστήματος:**

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η ετήσια απόδοση του συστήματος, αλλά και τα οφέλη του οικιακού επενδυτή σε βάθος 25ετίας, για μια εγκατάσταση που κοστίζει συνολικά 23.000 ευρώ,(με ΦΠΑ και με κόστος σύνδεσης με την ΔΕΗ).Η ετήσια απόδοση του συστήματος φτάνει τις 15.265 kWh, κάτι το οποίο μεταφράζεται σε 3.816 ευρώ κέρδος τον πρώτο χρόνο.

#### **Κέρδη – Απόσβεση**

Σε ορίζοντα 25ετίας ο επενδυτής θα έχει καθαρό κέρδος της τάξης των 62.293 ευρώ (η συγκεκριμένη τιμή περιλαμβάνει και την απόσβεση του κόστους εγκατάστασης του συστήματος). Επομένως με βάση τα νέα δεδομένα, η ετήσια απόδοση του κεφαλαίου που επενδύεται ανέρχεται στο 10,8% περίπου, δηλαδή το μέσο καθαρό ετήσιο κέρδος διαμορφώνεται στα 2.492 ευρώ σε βάθος 25ετίας.

Επίσης τονίζουμε ότι, ο χρόνος απόσβεσης του κόστους εγκατάστασης τοποθετείται στα 7 χρόνια περίπου, σε σύγκριση με τις ταρίφες που ίσχυαν όπου η απόσβεση του συστήματος γινόταν σε 3 χρόνια περίπου. Επίσης καθ'όλη την διάρκεια της επένδυσης, η ετήσια απόδοση του κεφαλαίου που επενδύθηκε αυξάνει κατά πολύ. Δηλαδή, αν από τα κέρδη της 25ετίας δεν αφαιρέσουμε το ύψος τα επένδυσης, τότε η ετήσια απόδοση επί του κεφαλαίου ανέρχεται στο 14,9% που σημαίνει 3.412 ευρώ ετήσια κέρδη κατά μέσο όρο.

<b>Μήνας</b>	<b>KWh</b>	<b>Αξία με 0,2500 Ευρώ/KWh Τιμή από 1/8/2012 έως 31/01/2013</b>
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	924 €	231 €
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	998 €	250 €
ΜΑΡΤΙΟΣ	1.338 €	335 €
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	1.405 €	351 €
ΜΑΪΟΣ	1.489 €	372 €
ΙΟΥΝΙΟΣ	1.473 €	368 €
ΙΟΥΛΙΟΣ	1.526 €	382 €
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1.569 €	392 €
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	1.428 €	357 €
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1.259 €	315 €
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	993 €	248 €
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	861 €	215 €
<b>Σύνολο</b>	<b>15.265 €</b>	<b>3.816 €</b>

Σχήμα 5.8

(βλέπε [W1])

Ο παραπάνω πίνακας αποδόσεων διαμορφώθηκε στηριζόμενος στα στοιχεία για την ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στη συγκεκριμένη περιοχή, τα οποία δημοσιεύει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών για τα φωτοβολταϊκά μέσω του Ενιαίου Κέντρου Ερευνών.

(βλέπε [W1])



Έτος	Ετήσια απόδοση σε kWh	Συνολική ετήσια απόδοση (ευρώ) με νέα ταρίφα 0,250 ευρώ/kWh	Κόστος επένδυσης (ευρώ)	Καθαρό ετήσιο όφελος (ευρώ)	Προοδευτικό όφελος (ευρώ)
2012	15.265	3.816	-23.000	-19.184	-19.184
2013	15.112	3.778	0	3.778	-15.406
2014	14.960	3.740	0	3.740	-11.666
2015	14.807	3.702	0	3.702	-7.964
2016	14.654	3.664	0	3.664	-4.301
2017	14.502	3.625	0	3.625	-675
2018	14.349	3.587	0	3.587	2.912
2019	14.196	3.549	0	3.549	6.461
2020	14.044	3.511	0	3.511	9.972
2021	13.891	3.473	0	3.473	13.445
2022	13.739	3.435	0	3.435	16.880
2023	13.637	3.409	0	3.409	20.289
2024	13.535	3.384	0	3.384	23.672
2025	13.433	3.358	0	3.358	27.031
2026	13.331	3.333	0	3.333	30.364
2027	13.230	3.307	0	3.307	33.671
2028	13.128	3.282	0	3.282	36.953
2029	13.026	3.257	0	3.257	40.210
2030	12.924	3.231	0	3.231	43.441
2031	12.823	3.206	0	3.206	46.646
2032	12.721	3.180	0	3.180	49.827
2033	12.619	3.155	0	3.155	52.981
2034	12.517	3.129	0	3.129	56.111
2035	12.416	3.104	0	3.104	59.214
2036	12.314	3.078	0	3.078	62.293

Σχήμα 5.9

(βλέπε [W1])

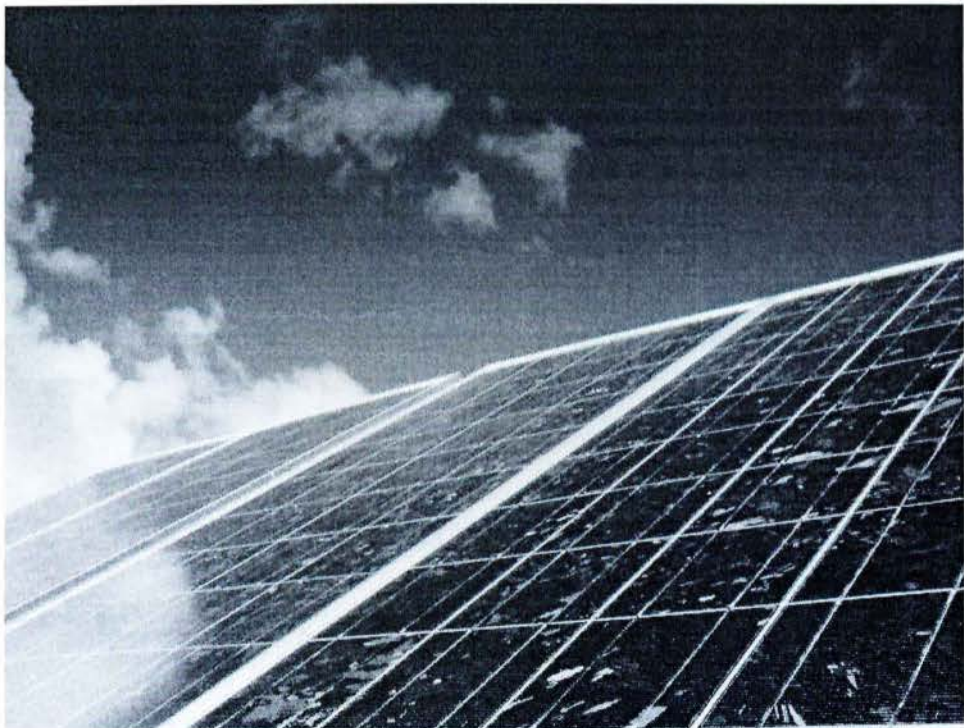
## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ακόμα και με βάση τη νέα ταρίφα, η επένδυση στα φωτοβολταϊκά αποδεικνύεται αρκετά προσοδοφόρα, καθώς η ετήσια απόδοση που παρατηρείται δεν συναντάται σε καμιά άλλη μορφή αποταμίευσης.

Επίσης, θα πρέπει να τονίσουμε ότι μπορούμε να μεγιστοποιήσουμε τα κέρδη μας, στην περίπτωση που θα επιλέξουμε ένα φθηνότερο σε κόστος σύστημα. Για παράδειγμα, αν το φωτοβολταϊκό που εγκαταστήσουμε κοστίζει 20.000 ευρώ ή και χαμηλότερα τότε η ετήσια απόδοση του κεφαλαίου μας αυξάνεται. Εκτός των παραπάνω, λαμβάνοντας υπόψη τη συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή των υλικών που συμπίεζει τις τιμές και εκτείνει τον ανταγωνισμό, καθώς και την συνεχή βελτίωση της τεχνολογίας και των αποδόσεων τους, εξάγεται το συμπέρασμα ότι στο άμεσο μέλλον, τα οφέλη για τον υποψήφιο επενδυτή παραμένουν υψηλού ενδιαφέροντος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ



## 6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

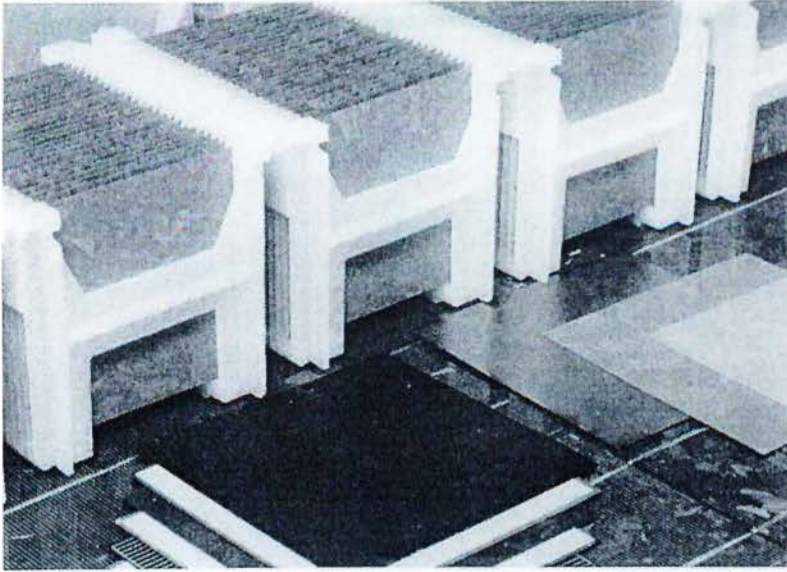
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα κερδίζουν συνεχώς έδαφος στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής και έχουν ακόμη μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης. Σε παγκόσμιο επίπεδο σημειώνεται σημαντική συμμετοχή πολλών χωρών στην αξιοποίηση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Όπως συμπεραίνουμε και από την πτυχιακή εργασία, τα φωτοβολταϊκά συστήματα προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στον άνθρωπο, όσον αφορά την οικονομία, αλλά και στο περιβάλλον. Αν και το κόστος εγκατάστασης τους είναι υψηλό, όπως αποδείχτηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η απόδοση τους είναι αρκετά υψηλή ώστε να καλυφθούν τα έξοδα εγκατάστασης και να συνεχίσουν να είναι προσοδοφόρα. Όντας ευέλικτα, αποκεντρωμένα, με δυνατότητες ενσωμάτωσης σε κτήρια και με την τεχνολογία να αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς, τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα μπορούσαν να βοηθήσουν σημαντικά και την οικονομία της χώρας μας αν αξιοποιούταν σωστά. Μείζονος σημασίας βέβαια είναι η βοήθεια του ήλιου, που είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, ειδικά στην Ελλάδα.

Εν κατακλείδι, η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων προσεγγίζει αισθητά μια ισορροπημένη ανάπτυξη, η οποία αποβλέπει στη διασφάλιση της ποιότητας του περιβάλλοντος, στην οικονομική ανάπτυξη και στην βελτίωση κοινωνικής συνοχής.

## 6.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν απαιτούν καύσιμα, όταν λειτουργούν και δεν απελευθερώνουν βλαβερές εκπομπές. Παρ' όλα αυτά, τα ερωτήματα σχετικά με την ενέργεια που χρησιμοποιείται κατά την παρασκευή, την εφαρμογή, τις ροές υλικών και τις δυνατότητες ανακύκλωσης, πρέπει να αντιμετωπιστούν.



Σχήμα 6.1: Ανακυκλωμένα πλακίδια (wafers) στο εργοστάσιο την Solar AG  
Πηγή: (βλέπε [1])

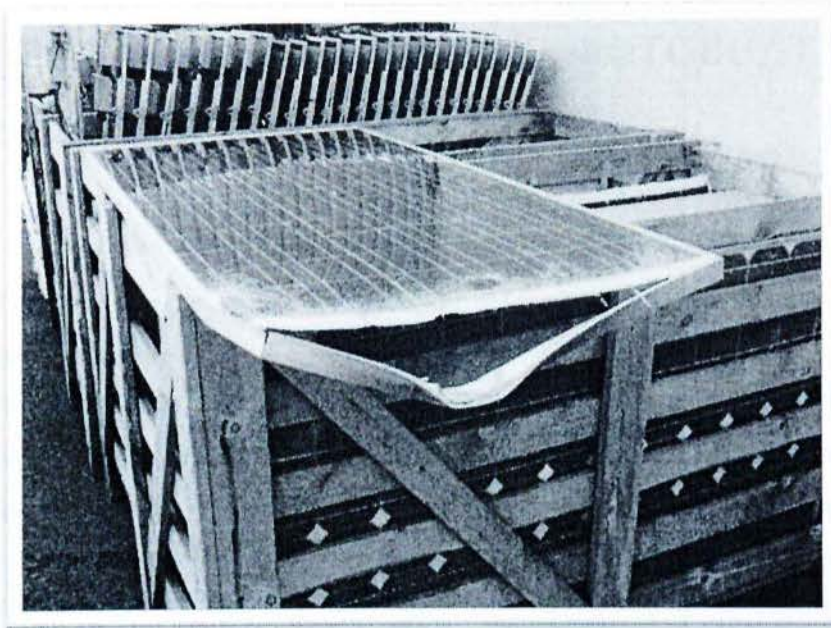
Η συλλογή και ανακύκλωση παλιών η σπασμένων φωτοβολταϊκών στοιχείων δεν ήταν υποχρεωτική. Σύμφωνα όμως με την οδηγία WEEE που τροποποιήθηκε στις 13 Αυγούστου 2012 θα πρέπει σύμφωνα με τον νόμο να γίνει υποχρεωτική η ανακύκλωση φωτοβολταϊκών στοιχείων μέσα στο πρώτο τρίμηνο του 2014.

Το εργοστάσιο ανακύκλωσης έχει ήδη καθιερωθεί από όλους σχεδόν τους κατασκευαστές. Πάντως μέχρι το 2030, το νωρίτερο, δεν αναμένεται να υπάρχει ουσιαστικός όγκος τέτοιων απορριμμάτων. Εκτιμάται ότι η συνολική μάζα απορριμμάτων διαθέσιμων για ανακύκλωση θα είναι 13.300 τόνοι το 2030 και 33.500 τόνοι το 2040.

Όμως, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας, είναι καλύτερα να ανακυκλώνονται τόσο τα ελαττωματικά πλαίσια όσο και αυτά που έχουν εξαντλήσει τα έτη λειτουργίας τους. Καθώς τα ηλιακά κύτταρα του πυριτίου και τα συστατικά αλουμινίου και γυαλιού μπορούν επίσης να επαναχρησιμοποιηθούν.

(βλέπε[W7])

Στην εικόνα 6.2 φαίνονται ελαττωματικά πλαίσια πριν οδηγηθούν στην ανακύκλωση.



Σχήμα 6.2 Ελαττωματικά πλαίσια προς ανακύκλωση

Πηγή: (βλέπε [1])

Αφότου πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές πλαισίων πραγματοποίησαν διάφορες μελέτες, το καλοκαίρι του 2003 η γερμανική Solar AG κατασκεύασε ένα πιλοτικό εργοστάσιο ανακύκλωσης πλαισίων πυριτίου στο Freiberg. Εκεί ανακυκλώνονται τόσο πλαίσια όσο και μεμονωμένα κύτταρα. Τα πλαίσια διαχωρίζονται στα συστατικά τους σε έναν λέβητα στους 500° C. Τα αποσυναρμολογημένα κύτταρα μπορούν πλέον να καταστούν προϊόντα επεξεργασίας και να επαναχρησιμοποιηθούν. Από την άλλη τα ανακυκλωμένα κύτταρα παρουσιάζουν ελαφρώς μικρότερη απόδοση από τα αρχικά.

Η ανακύκλωση εξοικονομεί έως και 80% της παραγωγής ενέργειας. Ο χρόνος απόσβεσης ενέργειας για ανακυκλωμένες κρυσταλλικού πυριτίου ενότητες επομένως μειώνεται σε περίπου ένα έτος. Οι τεχνολογίες λεπτού υμενίου άμορφου πυριτίου

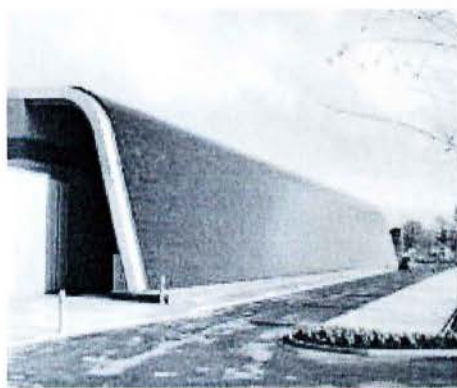
μπορούν επίσης να ανακυκλωθούν στο εργοστάσιο, αλλά μόνο το γυαλί και το μέταλλο ανακτώνται. (βλέπε[1])

## 6.3 ΑΛΛΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

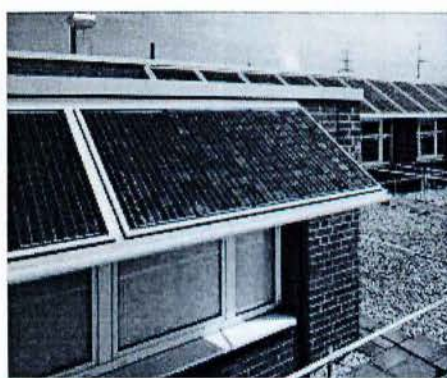
Καλό θα ήταν να αναφέρουμε και κάποιες άλλες εφαρμογές των φ/β συστημάτων που χρησιμοποιούνται.

Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή βέβαια είναι η εγκατάσταση φ/β συστημάτων στο έδαφος. Έχουν δημιουργηθεί πολλά φωτοβολταϊκά πάρκα σε όλον τον κόσμο αλλά και στην Ελλάδα που προσφέρουν μεγάλη παραγωγή ρεύματος. Συνηθισμένες είναι και οι εφαρμογές φωτοβολταϊκών σε χώρους στάθμευσης και κυρίως στο εξωτερικό σε αυτοκινητόδρομους. Λιγότερο συχνά παρατηρείται σε πλοία, κυρίως σε σκάφη αλλά και αυτοκίνητα.

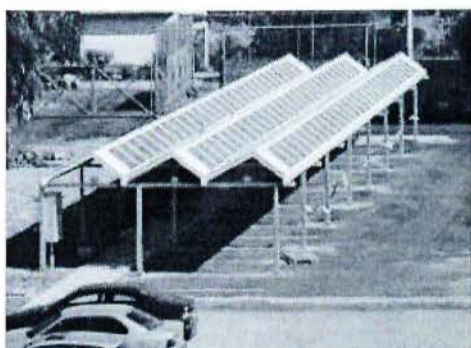
### Παραδείγματα εφαρμογών:



Σχήμα 6.3 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε δημόσιο κτίριο



Σχήμα 6.4:Φωτοβολταϊκά σε ρόλο σκιάστρων



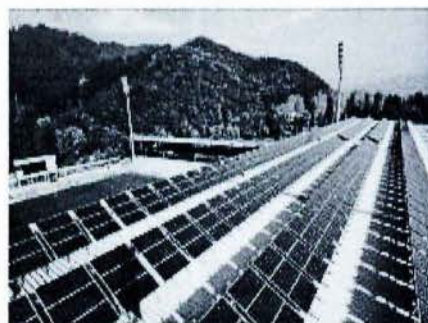
Σχήμα 6.5 Εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε χώρο στάθμευσης



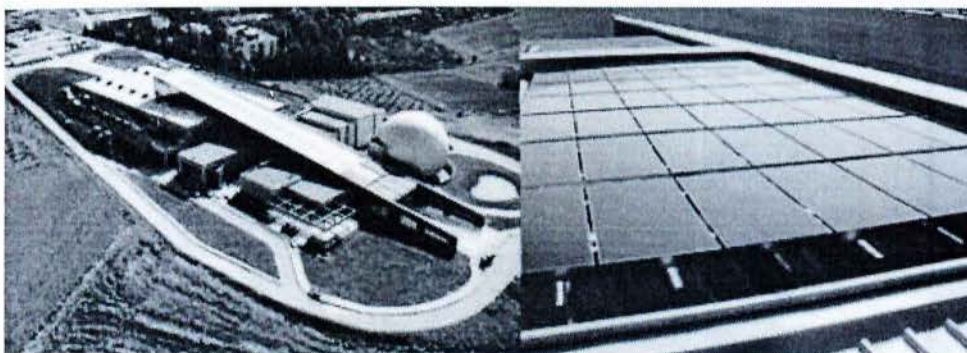
σχήμα 6.6 Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε πυροσβεστικό σταθμό



Σχήμα 6.7:Εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε ρόλο ηχοφράγματος σε αυτοκινητοδρόμους



σχήμα 6.8:Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε γήπεδο ποδοσφαίρου



Σχήμα 6.9:Ενσωμάτωση άμορφων φωτοβολταϊκών στο Τεχνολογικό Μουσείο Θεσσαλονίκης





Σχήμα 6.10: Εφαρμογή φωτοβολταϊκών που επιτρέπουν τη διέλευση φυσικού φωτός σε εμπορικό κτίριο



σχήμα 6.11: Φωτοβολταϊκό πάρκο στην Κοζάνη

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΓΙΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 1) << Planning and Installing Photovoltaic Systems-A guide for installers, architects and engineers>>, London, 2005
- 2) Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, << Οδηγός Μελέτης και Υλοποίησης Φωτοβολταϊκών Έργων>>, Θεσσαλονίκη, 2011
- 3) Τμήμα φ/β συστημάτων και διεσπαρμένης παραγωγής, <<Οδηγίες για τη εγκατάσταση φ/β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις>>, Αθήνα, 2009
- 4) Περιοδικό, <<Πράσινο σπίτι και κτήριο>>, Αθήνα, Τεύχη 2011-2012
- 5) Αρκούδης Γεώργιος, << Τεχνικοοικονομική αξιολόγηση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα>>, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τομέας Ρευστών, Αθήνα, 2007
- 6) Αναστοπούλου Αγγελική, <<Αντικεραυνική προστασία φ/β εγκαταστάσεων>>, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ Τομέας Ηλεκτρικής Ενέργειας, Θεσσαλονίκη, 2009
- 7) Γιώργος Παπανικολάου <<Κατασκευή Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη>>, Τομέας Επικοινωνιών, Ηλεκτρονικής και Συστημάτων Πληροφορικής, Αθήνα, 2008
- 8) Antonio Luque, Steven Hegedus, << Handbook of Photovoltaic Science and Engineering>>, Wiley, 2002



9) Markvart Tomas, <<Practical handbook of photovoltaics: Fundamentals and Applications>>, Elsevier, 2003

10) <<The solar guide>>, Αθήνα, 2010

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΓΙΑ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

W1) Περιοδικό 'Πράσινο σπίτι και κτήριο <http://www.4green.gr>

W2) Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) <http://www.helapco.gr/>

W3) <http://www.selasenergy.gr/>

W4) Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) <http://www.cres.gr>

W5) <http://www.iqsolarpower.com>

W6) Φωτοβολταϊκά Βικιπέδια [http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκό\\_σύστημα](http://el.wikipedia.org/wiki/Φωτοβολταϊκό_σύστημα)

W7) <http://www.econews.gr>

