

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός : 1237

**ΜΕΛΕΤΗ -ΔΙΑΞΟΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ  
ΚΙΝΟΥΜΕΝΗΣ ΒΑΣΗΣ- ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ  
ΠΑΡΚΟΥ 100 kWp**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ :**

Γεώργιος Κατσαΐτης

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ :**

Βασίλειος Χαραλαμπίκος

ΠΑΤΡΑ ΜΑΪΟΣ 2012

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στη σημερινή εποχή με το έντονο ενεργειακό πρόβλημα, είναι μείζονος σημασίας η ανάπτυξη και η ευρεία χρήση εναλλακτικών πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μία εναλλακτική πηγή είναι και η χρήση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας, η οποία χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Μερικά από τα πλεονεκτήματα της είναι η φιλική για το περιβάλλον τεχνολογία, η μεγάλη διάρκεια ζωής και η αθόρυβη λειτουργία. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγώγιμα υλικά όπως το πυρίτιο (Si) το γερμάνιο (Ge) και από ενώσεις όπως αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) και θειούχο κάδμιο (Cds). Η μετατροπή της ενέργειας από ηλεκτρομαγνητική (ηλιακή) σε ηλεκτρική (ρεύμα) βασίζεται στην κβαντική φύση του φωτός. Φωτόνια με ενέργεια  $E_{ph}(\lambda) = hc/\lambda$  που το καθένα προσπίπτει στην γήινη επιφάνεια με ρυθμό  $4,4 \cdot 10^{17}$  κάθε δευτερόλεπτο μιας ηλιόλουστης ημέρας. Διεγείροντας έτσι, ένα ηλεκτρόνιο από την ζώνη σθένους στην ζώνη αγωγιμότητας δημιουργώντας ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μία οπή. Αυτή η κίνηση των φορτίων δημιουργεί το ηλεκτρικό ρεύμα.

Ένα πρόβλημα όμως που παρουσιάζεται είναι η έντονη διακύμανση και οι απρόβλεπτες μεταβολές στην εξέλιξη του χρόνου σε σχέση με άλλα συστήματα ενέργειας. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση της φωτοβολταϊκής μας μονάδας πάνω σε μία διάταξη κινητού πλαισίου που περιστρέφεται κατά διαστήματα, παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται φωτοβολταϊκοί ηλιοστάτες και η ακριβής απόδοση του διεθνούς όρου είναι παρακολουθητές του ήλιου. Με τη χρήση τους επιτυγχάνετε από την μία αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος, από την άλλη όμως καταναλώνετε ισχύς στην κίνηση της παρακολούθησης. Ο υπολογισμός των ισχύων αυτών μας δείχνει αν η χρήση τους είναι ενεργειακά αποδοτική.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	2
Περιεχόμενα.....	3
Κεφάλαιο 1. Φωτοβολταϊκή τεχνολογία.....	4
1.1 Εισαγωγή.....	4
1.2 Η εξέλιξη της τεχνολογίας.....	4
1.3 Οι εφαρμογές και το κόστος της φ/β τεχνολογίας.....	5
1.4 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	7
1.5 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	10
1.6 Η ηλιακή ακτινοβολία.....	13
1.7 Η Θέση του ήλιου στον Ορίζοντα.....	14
1.8 Η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη.....	16
1.9 Η Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	17
1.10 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β στοιχείων.....	20
1.11 Από τι αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.....	22
Κεφάλαιο 2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	27
2.1 Υλικά-τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	27
2.2.1 Μονοκρυσταλικό Πυρίτιο.....	28
2.2.2 Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο.....	28
2.2.3 Λεπτής μεμβράνης (Άμορφο πυρίτιο).....	29
2.2.4 Υβριδικά.....	30
2.3 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο.....	30
2.3.1 Φωτοβολταϊκή συστοιχία.....	31

2.4 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	31
2.4.1 Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση.....	32
2.4.2 Επίδραση της ρύπανσης στην απόδοση.....	32
2.4.3 Η επίδραση των νεφών.....	33
2.4.4 Γήρανση Φ/Β πλαισίου.....	34
2.4.5 Οπτικές ενεργειακές απώλειες.....	34
2.5 Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	35
2.5.1 Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό σύστημα.....	35
2.5.2 Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό σύστημα.....	36
2.5.3 Υβριδικό σύστημα.....	37
2.5.4 Προϋποθέσεις εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	38
2.5.5 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών.....	39
2.5.6 Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	44
Κεφάλαιο 3. Μελέτη διαξονικού συστήματος κινούμενης βάσης.....	46
3.1 Ηλιοστάτες (solar trackers).....	45
3.2 Φωτοβολταϊκά πάρκα με ηλιοστάτες.....	47
3.2.1 Ηλιοστάτες ενός άξονα (Single axis trackers).....	50
3.2.2 Ηλιοστάτες δύο αξόνων (Dual axis trackers).....	51
3.3 Διαδικασία εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού.....	53
3.4 Τεχνική περιγραφή φ/β πάρκου ισχύος 100 kWp.....	55
Βιβλιογραφία.....	56

# Κεφάλαιο 1. Φωτοβολταϊκή τεχνολογία

## 1.1 Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή με το έντονο ενεργειακό πρόβλημα, λόγω της πετρελαϊκής κρίσης, είναι μείζονος σημασίας η ανάπτυξη και η ευρεία χρήση εναλλακτικών πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι μορφές ενέργειας πρέπει να είναι φιλικές προς το περιβάλλον καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενοχοποιείται σε πολύ μεγάλο ποσοστό για την επιβάρυνση του περιβάλλοντος, αλλά και να μην εξαντλούν τους φυσικούς πόρους της γης. Μία μορφή από τις ονομαζόμενες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι και η παραγωγή με χρήση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία χρησιμοποιεί την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το πλεονέκτημα της χρήσης είναι εμφανές : Η ηλιακή ακτινοβολία είναι πολύ σταθερή και ανεξάντλητη για τον σχετικό χρόνο της παρουσίας του ανθρώπου στην γη. Αξίζει λοιπόν να ασχοληθούμε περισσότερο με αυτήν την μορφή ενέργειας, προσπαθώντας να την βελτιώσουμε και να την αναπτύξουμε.

Προς αυτήν την κατεύθυνση κινείται και η παρούσα εργασία. Σκοπός της είναι η μελέτη μιας διάταξης για την φ/β τεχνολογία γνωστής και ως ηλιοστάτης/παρακολουθητής του ήλιου (διεθνής ορολογία : solar tracker). Η διάταξη αυτή ανιχνεύει την θέση του ήλιου στον ουρανό και προσανατολίζει τον φωτοβολταϊκό συλλέκτη κατάλληλα με σκοπό την μεγιστοποίηση της ενέργειας που παράγει. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθούν τα βασικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων, γιατί πάνω στην θεωρία θα βασιστεί η υλοποίηση του solar tracker.

## 1.2 Η εξέλιξη της τεχνολογίας

Ο όρος φωτοβολταϊκή ενέργεια αναφέρεται στην ενέργεια που προερχόμενη από την ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε ηλεκτρική μορφή μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η ιστορία της φωτοβολταϊκής ενέργειας ξεκινά με την παρατήρηση του φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια (Pt,Ag) βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες από τον Becquerel το 1839. Η κατασκευή του πρώτου ηλιακού στοιχείου ήρθε έναν αιώνα περίπου αργότερα το 1937 από τους Fischer και Godden. 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 απόδοσή τους στην μετατροπή της ενέργειας από την ηλιακή σε ηλεκτρική. Από 1% απόδοση των στοιχείων από Se το 1939 περνάμε σε απόδοση 6% το 1954 με στοιχεία πυριτίου (Si) ένωσης p-n με τη μέθοδο της διάχυσης προσμίξεων και φτάνουμε στο 14% το 1972 (Lindmayer & Allison). Παράλληλα γίνονται χρήσεις και άλλων υλικών και ενώσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κατασκευή στοιχείου από αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) απόδοσης 16% το 1976 ενώ γίνεται επίσης προσπάθεια μείωσης του υψηλού κόστους με χρήση φθηνής πρώτης ύλης, όπως άμορφου πυριτίου με σημαντικά αποτελέσματα : Το 1984 βγαίνει στην παραγωγή φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου με απόδοση 5% στην Ιαπωνία.

Στις μέρες μας νέα υλικά είναι υπό έρευνα, άλλα πολύπλοκων ενώσεων (όπως Cadmium telluride και Copper indium diselenide), άλλα οργανικής βάσης ενώ αναπτύσσονται τεχνικές συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας.

### **1.3 Οι εφαρμογές και το κόστος της φ/β τεχνολογίας**

Η χρήση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας έχει μερικά πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα που την κάνουν ιδιαίτερα ελκυστική εναλλακτική μορφή ενέργειας. Αυτός είναι και ο λόγος που δημιουργήθηκαν κίνητρα στην φωτοβολταϊκή αγορά για αύξηση της παραγωγής (βέβαια με παράλληλη βελτίωση των τεχνολογιών), έχοντας ως αποτέλεσμα την ραγδαία πτώση των τιμών τους. Έτσι μπορούμε εμείς σήμερα να μιλάμε για ευρεία χρήση των φωτοβολταϊκών σε εφαρμογές υψηλής ισχύος (οικιακή και βιομηχανική χρήση) ενώ παλιότερα εύρισκαν εφαρμογή σε πολύ χαμηλές απαιτήσεις ισχύος (ηλεκτρονικά ρολόγια, υπολογιστές τσέπης κ.τ.λ.)

Χαρακτηριστικό της πτώσης των τιμών των ηλιακών στοιχείων είναι ότι το κόστος ανά  $W_p$  (μονάδα μέτρησης της ισχύος στα φ/β ανάλογη του Watt στην ηλεκτρική ισχύ) το έτος 1956 ήταν περίπου στ 1000\$ ανά  $W_p$  (την εποχή που χρησιμοποιούνταν μόνο σε διαστημικές εφαρμογές). Σήμερα πλέον μιλάμε για κόστος περί των 5\$ ανά  $W_p$ , παρέχοντας την δυνατότητα ανάπτυξης ολοκληρωμένων λύσεων σε περιοχές δυσπρόσιτες, εκτός δικτύου ή σε περιοχές και περιπτώσεις που το κόστος της επέκτασης του δικτύου είναι μεγαλύτερο από την πλήρη εγκατάσταση ενός αυτόνομου φ/β συστήματος.

Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι :

- Ηλεκτροδότηση εξοχικών κατοικιών χαμηλών ηλεκτρικών απαιτήσεων
- Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (σε νησιά) και αντλιοστάσια υδροδότησης
- Φάροι, κεραιές κινητής τηλεφωνίας, κεραιές τηλεόρασης και ραδιοφώνου στην ύπαιθρο
- Αγροτικές γεωτρήσεις, συστήματα ανίχνευσης κινδύνου πυρκαγιάς στα δάση
- Παροχή ισχύος στα συστήματα ασφάλειας και πυρανίχνευσης σε μη ηλεκτροδοτημένους αποθηκευτικούς χώρους
- Οδικός φωτισμός επαρχιακών περιοχών μακριά από το δίκτυο
- Φόρτιση μπαταριών υψηλής χωρητικότητας (π.χ. για ηλεκτροκίνητα οχήματα)
- Βοηθητική ηλεκτροδότηση σε πλοία
- Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε διαστημικές εφαρμογές
- Εν γένει απομονωμένες εγκαταστάσεις και πολλά άλλα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα :

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον : δεν προκαλούνται ρύποι κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι αποκεντρωμένο «καύσιμο», διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Αθόρυβη λειτουργία
- Σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης (για τα σταθερά)
- Μεγάλη διάρκεια ζωής : οι κατασκευαστές εγγυώνται χαρακτηριστικά απόδοσης για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Εύκολη επεκτασιμότητα

Το βασικό μειονέκτημα της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας παραμένει το κόστος της. Παρά την ραγδαία μείωση των τιμών εξακολουθεί να παραμένει ακριβή συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρισμού. Όμως οι τελευταίες έχουν μερίδιο ευθύνης για την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και ως εκ τούτου εναλλακτικές 'πράσινες' μορφές ενέργειας πρέπει να προωθηθούν.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι στην εποχή μας με το σοβαρό ενεργειακό πρόβλημα να προέρχεται κυρίως από την μονοήμερη εξάρτηση της παγκόσμιας αγοράς από το μονοπώλιο του πετρελαίου, είναι εμφανής η ανάγκη να απαγκιστρωθούμε από την εξάρτηση αυτή. Η λύση είναι η εκμετάλλευση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας με σαφές πλεονέκτημα την φωτοβολταϊκή στην Ελλάδα λόγω της υψηλής μέσης ηλιακής ακτινοβολίας που χαίρει σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

#### 1.4 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγώγιμα υλικά όπως το πυρίτιο (Si) το γερμάνιο (Ge) και από ενώσεις όπως αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) και θειούχο κάδμιο (Cds). Το κυρίαρχο εξ αυτών είναι το πυρίτιο, κατέχοντας το μεγαλύτερο μερίδιο της παραγωγής (όπως και στην παραγωγή των περισσότερων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων).

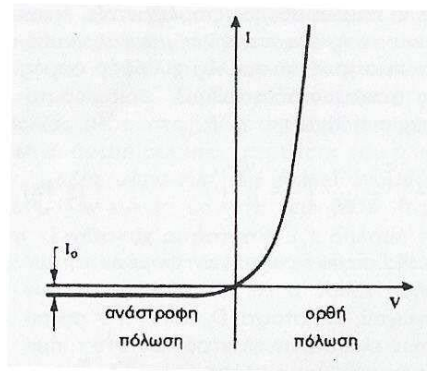
Στο πυρίτιο (τετρασθενές ημιαγώγιμο υλικό) όταν απορροφηθεί ενέργεια υπό μορφή ακτινοβολίας ή θερμότητας προκαλείται διάσπαση ηλεκτρονιακών δεσμών, ελευθερώνοντας έτσι ηλεκτρόνια στο σώμα του ημιαγωγού. Αυτό συμβαίνει και σε συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου (η αναλογία των ελεύθερων – δεσμευμένων ηλεκτρονίων σε συνθήκες θερμοκρασίας δωματίου είναι της τάξης  $1/10^{13}$ ).

Οι θέσεις από όπου φεύγουν τα ηλεκτρόνια καλούνται οπές. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και οι οπές είναι υπεύθυνα για την ηλεκτρική αγωγιμότητα των ημιαγωγών.

Τα παραπάνω ισχύουν στους λεγόμενους ενδογενείς ή καθαρούς ημιαγωγούς. Σε αυτούς γίνεται πρόσμιξη πεντασθενών (αρσενικό) ή τρισθενών (βάριο) στοιχείων που λειτουργούν ως δότες και αποδέκτες ηλεκτρονίων αντίστοιχα. Έτσι δημιουργούνται οι ημιαγωγοί πρόσμιξης τύπου n, στους οποίους κύριοι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τα αρνητικά φορτισμένα ελεύθερα ηλεκτρόνια και οι ημιαγωγοί πρόσμιξης τύπου p, η αγωγιμότητα των οποίων οφείλεται κυρίως στις οπές(θεωρούνται θετικά φορτισμένες). Σε αυτούς τους φορείς αναφερόμαστε ως φορείς πλειονότητας σε αντίθεση με τους μειονότητας που οφείλονται στην αγωγιμότητα του ημιαγωγού. Βασικός νόμος για τους ημιαγωγούς είναι ο νόμος δράσης των μαζών που λέει : (συγκέντρωση ελεύθερων ηλεκτρονίων)\*(συγκέντρωση οπών)=ενδογενής συγκέντρωση)<sup>2</sup>.



Για να εκδηλωθούν οι σημαντικές ιδιότητες των ημιαγωγών πρέπει να δημιουργηθεί μία ένωση p-n με τα φαινόμενα διάχυσης που τη συνοδεύουν. Εμφανίζεται τότε μία περιοχή αραίωσης στην ένωση των δύο περιοχών και αναλόγως την πολικότητα της τάσης που εφαρμόζουμε στα άκρα της διάταξης παίρνουμε το παρακάτω διάγραμμα (έχουμε μία ημιαγωγική δίοδο) :

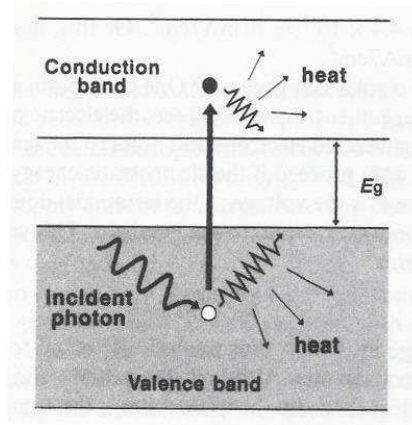


Εικόνα 1. Η χαρακτηριστική καμπύλη έντασης (I)-τάσης(V) μίας διόδου p-n

Στο παραπάνω σχήμα διακρίνουμε τις δύο περιοχές ορθής και ανάστροφης πόλωσης καθώς το λεγόμενο ανάστροφο ρεύμα κόρου που εμφανίζεται για αρνητικές τιμές της επιβαλλόμενης τάσης.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που απασχολούν την εργασία αυτή δεν είναι τίποτε άλλο από ημιαγωγικές διόδους που λειτουργούν υπό συνθήκες ορθής πόλωσης, των οποίων όμως τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά εξαρτώνται και από το ανάστροφο ρεύμα κόρου.

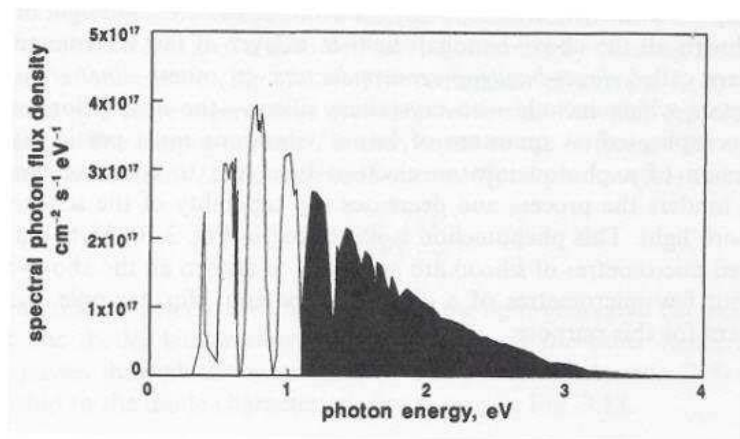
Πώς γίνεται όμως η μετατροπή της ενέργειας από ηλεκτρομαγνητική (ηλιακή) σε ηλεκτρική (ρεύμα); Η μετατροπή βασίζεται στην κβαντική φύση του φωτός : Κβάντα φωτός (φωτόνια) με ενέργεια  $E_{ph}(\lambda) = hc/\lambda$  που το καθένα προσπίπτει στην γήινη επιφάνεια με ρυθμό  $4,4 \cdot 10^{17}$  κάθε δευτερόλεπτο μιας ηλιόλουστης ημέρας. Προσπίπτοντας τα φωτόνια στην επιφάνεια του φ/β στοιχείου, μπορούν (κάποια εξ αυτών με ενέργεια τουλάχιστον ίση με αυτή του ενεργειακού διακένου του ημιαγωγού) να διεγείρουν ένα ηλεκτρόνιο (το καθένα) από την ζώνη σθένους στην ζώνη αγωγιμότητας δημιουργώντας ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μία οπή όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 2. Η δημιουργία ζεύγους ηλεκτρονίου-οπής από το φως

Αυτή η κίνηση των φορτίων (ελεύθερου ηλεκτρονίου και οπής) δημιουργούν το ηλεκτρικό ρεύμα που λέμε ότι παράγει το φ/β στοιχείο (ουσιαστικά μετατρέπει).

Είναι προφανές ότι ένα φ/β στοιχείο δεν μπορεί να απορροφήσει όλα τα φωτόνια που προσπίπτουν σε αυτό παρά μόνο ένα μέρος του ηλιακού φάσματος, για τον απλό λόγο ότι δεν ταιριάζουν όλες οι ενέργειες των φωτονίων με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Για να γίνει αυτό κατανοητό ακολουθεί το παρακάτω σχήμα που δείχνει ποιο ποσοστό της ακτινοβολίας απορροφάται :



Εικόνα 3. Η φασματική πυκνότητα ροής φωτονίων που εκμεταλλεύεται ένας συλλέκτης

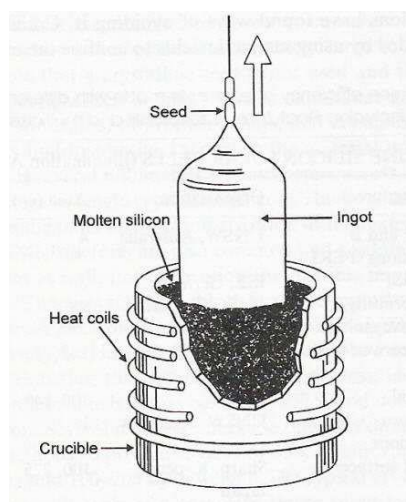
## 1.5 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα βασικά στάδια ενός φ/β πάνελ (όπως συνηθίζεται να λέγεται) είναι τα εξής τέσσερα :

- Από άμμο σε καθαρό πυρίτιο (from sand to pure silicon)

- Από καθαρό πυρίτιο σε δίσκους & κρυστάλλους (from silicon feedstock to crystals & wafers)
- Από δίσκους σε κυψέλες (from silicon wafers to solar cells)
- Από κυψέλες σε μονάδα (from cells to modules)

Τα στάδια της επεξεργασίας είναι ιδιαίτερος πολύπλοκα και απαιτούν εξεζητημένες τεχνικές (βλέπε μέθοδος Czochralski – παρακάτω σχήμα) που συνδυάζουν γνώση από διάφορα επιστημονικά πεδία (δυναμική των ρευστών, χημεία, ηλεκτροχημεία, ηλεκτρομαγνητισμό) και ως εκ τούτου γίνεται μία απλή αναφορά.



Εικόνα 4. Παρασκευή μονοκρυσταλλικού πυριτίου με την μέθοδο Czochralski

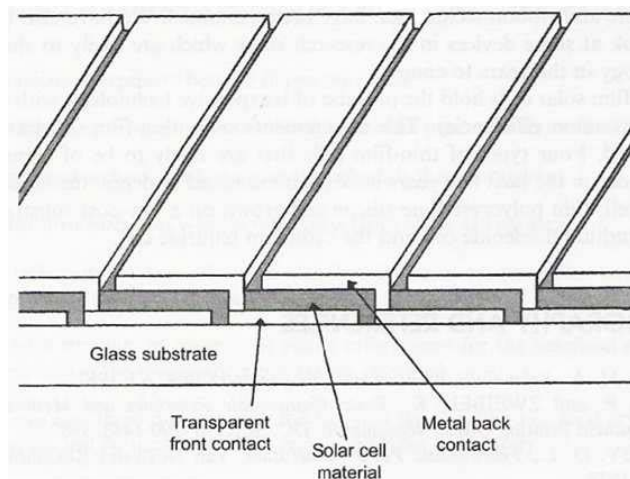
Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες φ/β στοιχείων ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται και αντίστοιχες τεχνολογίες που αυτά κατασκευάζονται. Αποτέλεσμα όμως της πληθώρας των διαφορετικών στοιχείων είναι η ποικιλία σε απόδοση και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των παραχθέντων στοιχείων.

Οι βασικές κατηγορίες είναι :

- Crystalline silicon solar cell technology (single crystalline or multicrystalline). Στα ελληνικά αποδίδεται με τον όρο μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη τεχνική επί του παρόντος έχοντας επιτύχει εργαστηριακές αποδόσεις κοντά στο 25%, αρκετά κοντά στο θεωρητικά επιτεύξιμο. Σε αυτό συνέβαλαν τα πολλά κοινά που παρουσιάζει η τεχνολογία αυτή με την επεξεργασία που γίνεται στο πυρίτιο από την βιομηχανία της μικροηλεκτρονικής. Αν και η δημιουργία υψηλής ποιότητας υλικών όπως οι μονοκρυσταλλοί πυριτίου απαιτεί πολύπλοκη τεχνολογία, εν

τούτοις η βιομηχανία έχει αναπτύξει τους απαραίτητους μηχανισμούς με αποτέλεσμα να βγαίνουν στην αγορά πλέον φ/β πάνελ με απόδοση 11%-16%. Έτσι από επίσημα στοιχεία, για το έτος 1998, το 83% των φ/β συστημάτων παγκοσμίως χρησιμοποιούσαν τεχνολογία πολυκρυστάλλων (44%) και μονοκρυστάλλων (39%), αφήνοντας μόλις το 13% για την τεχνολογία άμορφου πυριτίου και ένα 4% για άλλες τεχνολογίες (όπως cells based on ribbon silicon, cadmium telluride και διαφόρων τεχνικών συγκεντρωτικών συστημάτων).

- Thin film solar cell technology (τεχνολογία κυψελών λεπτού στρώματος). Η τεχνολογία αυτή (υπάρχει ήδη στην αγορά φωτοβολταϊκών) υπόσχεται σημαντική μείωση των τιμών με χρήση λιγότερου υλικού και ενέργειας στην διαδικασία κατασκευής των κυψελών. Επιπλέον υπάρχει το σημαντικότερο πλεονέκτημα να κατασκευάζονται μονάδες (modules) σε ολοκληρωμένη μορφή χωρίς την απαίτηση για δαπανηρές διασυνδέσεις των ανεξάρτητων κυψελών. Ο τρόπος που γίνεται η ολοκληρωμένη διασύνδεση στη μονάδα τεχνολογίας λεπτού στρώματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 5. Εσωτερικά διασυνδεδεμένη μονάδα

Στην κατηγορία της thin film solar cell technology ανήκουν μερικές ενδιαφέρουσες τεχνικές παραγωγής φ/β στοιχείων όπως :

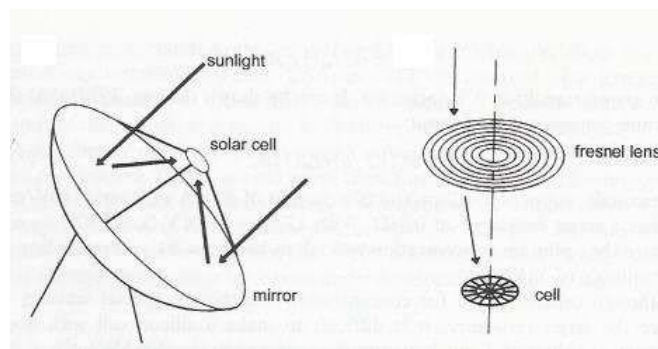
- Κυψέλες άμορφου πυριτίου (amorphous silicon cells). Εδώ το πυρίτιο διαφέρει από την κρυσταλλική μορφή στο ότι τα άτομα δεν βρίσκονται σε αρκετά ακριβείς αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών πυριτίου δεν έχουν μοναδική τιμή αλλά παρουσιάζουν μία ποικιλία διαφορετικών τιμών σε αντίθεση με την αρκετά συγκεκριμένη δομή των κρυσταλλικών κυψελών.

- Copper indium diselenide cells. Πρόκειται για κυψέλες από ένα υλικό που παρουσιάζει άμεση οπτική απορρόφηση με εξαιρετικά υψηλό συντελεστή απορρόφησης. Τα

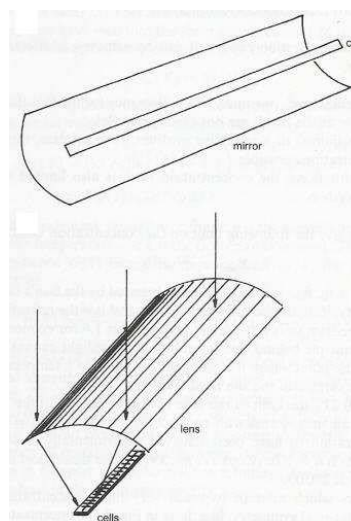
ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του εξαρτώνται ιδιαίτερα από την αναλογία χαλκού/ίνδιου καθώς και από τον ακριβή έλεγχο της στοιχειομετρίας στην παραγωγή.

- Cadmium telluride cells. Οι κυψέλες αυτού του τύπου έχουν τα ιδανικά χαρακτηριστικά για ηλιακή απορρόφηση αλλά είναι ιδιαίτερες δύσκολες στην κατασκευή (η εναπόθεση του Cadmium telluride σε κενό).

- Concentrator solar cell systems : Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μια τεχνική συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας που λειτουργεί ως εξής : Παραβολικά κάτοπτρα συγκεντρώνουν την ακτινοβολία από μία μεγάλη περιοχή σε ένα μικρό κομμάτι φ/β στοιχείου πολύ υψηλής απόδοσης (βλέπε GaAs) και βέβαια υψηλότερου κόστους παραγωγής. Το χαμηλό όμως κόστος των παραβολικών σε σχέση με τα φ/β στοιχεία κάνουν οικονομικά συμφέρουσα την τεχνολογία αυτή, αν και παρουσιάζει κάποιες δυσκολίες όπως το ακριβές tracking του ήλιου σε οπτικό επίπεδο. Μπορεί να γίνει χρήση παραβόλων ή και φακών Fresnel. Ο τρόπος λειτουργίας τους φαίνεται στα παρακάτω σχήματα :



Εικόνα 6. Συμμετρικά συγκεντρωτικά συστήματα : αριστερά παραβολικός καθρέπτης, δεξιά φακός Fresnel



Εικόνα 7. Γραμμικός συμμετρικά συγκεντρωτικά συστήματα : αριστερά παραβολικός καθρέπτης, δεξιά κυρτός φακός Fresnel

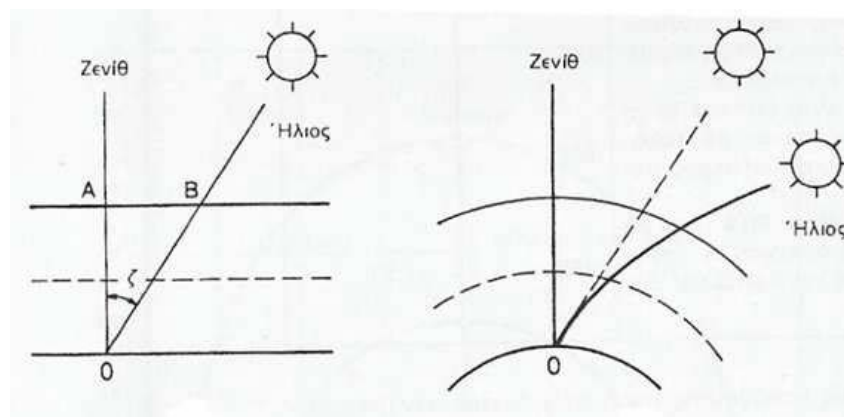
Τέλος για λόγους πληρότητας του κειμένου θα πρέπει να αναφερθούν και νέες υπό έρευνα κατηγορίες κυψελών όπως οι οργανικές και πλαστικές φ/β κυψέλες (organic and plastic solar cells) και οι οπτοηλεκτροχημικές (optoelectrochemical cells).

## 1.6 Η ηλιακή ακτινοβολία

Μετά την ανάλυση του φωτοβολταϊκού φαινομένου και των χαρακτηριστικών που διέπουν την λειτουργία των φ/β στοιχείων, σειρά έχει η μελέτη της ισχύος της ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνειά τους από τον ήλιο. Ο λόγος είναι απλός : Θέλουμε όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία να προσπίπτει άμεσα στο φ/β πάνελ, για όσο το δυνατόν περισσότερο χρόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά και καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

Το πρόβλημα του σωστού προσανατολισμού της φ/β μονάδας σχετίζεται με την θέση ως προς τον ορίζοντα, την θέση του ήλιου, το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας, το υψόμετρο, οι μετεωρολογικές συνθήκες, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία κ.ά.

Συμβατικά, το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην γήινη ατμόσφαιρα μέχρι την στάθμη της θάλασσας (sea level), που είναι άμεση συνέπεια της θέσης του ήλιου, χαρακτηρίζεται από μία κλίμακα μάζας αέρα (air mass) βαθμολογημένης με την τέμνουσα της ζενιθιανής απόστασης, δηλαδή της γωνίας ανάμεσα στην θέση του ήλιου και στην κατακόρυφο. Η κλίμακα αυτή δείχνει πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα, σε σύγκριση με την κατακόρυφη διαδρομή, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



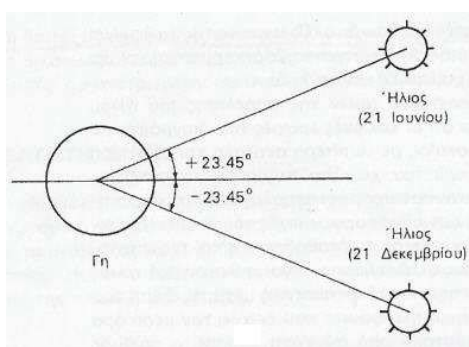
Εικόνα 8. Η εξάρτηση της κλίμακας μάζας αέρα (AM) από την θέση του ήλιου. Αριστερά απλοποιημένη απεικόνιση, δεξιά πραγματική λόγω διάθλασης στην ατμόσφαιρα



## 1.7 Η Θέση του ήλιου στον Ορίζοντα

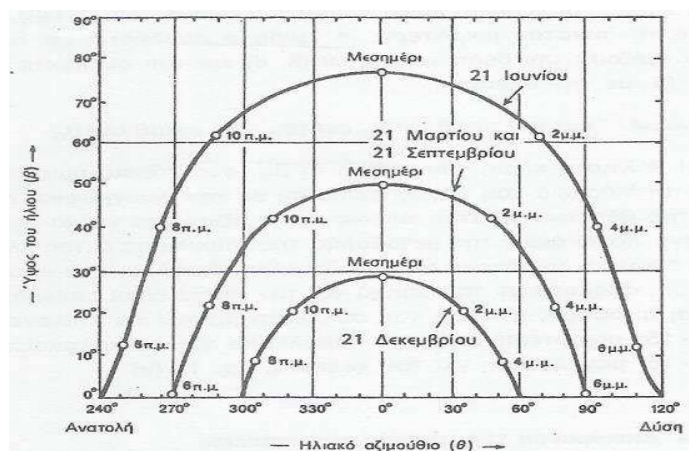
Ο σημαντικότερος και ταυτόχρονα πλήρως προβλεπόμενος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα φ/β πάνελ είναι η θέση του ήλιου αναφορικά με την τοποθεσία στη γη που βρισκόμαστε. Κατά τη διάρκεια του έτους η θέση του ήλιου αποκλίνει σημαντικά από την διάκεντρο γης – ήλιου. Μετρήσεις έχουν γίνει για να προκύψουν τα παρακάτω διαγράμματα που αναφέρονται σε τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος  $38^\circ$  βόρεια, πλάτος που αντιστοιχεί και στην περιοχή των Αθηνών που έλαβαν χώρα η κατασκευή και οι μετρήσεις της εργασίας αυτής.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο :



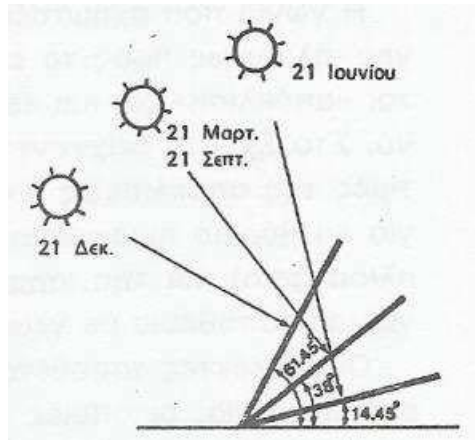
Εικόνα 9. Η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο

Ακολουθεί ένα πολύ σημαντικό διάγραμμα της τροχιάς του ήλιου στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας για διάφορες εποχές. Η αναφορά της ώρας δεν είναι το ωρολογιακό αλλά το ηλιακό μεσημέρι :



Εικόνα 10. Οι τροχιές του ήλιου για τα ηλιοστάσια και τις ισημερίες σε γεωγραφικό πλάτος βόρεια  $38^\circ$  (Αθήνα). Οι ενδείξεις της ώρας είναι σε ηλιακές τιμές.

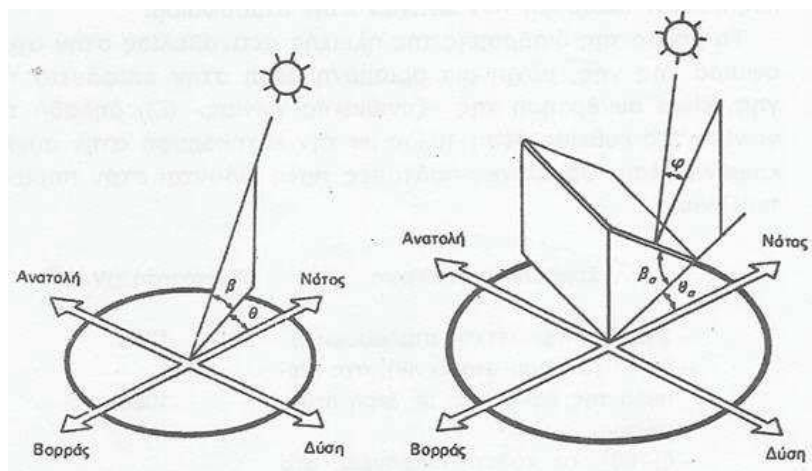
Τέλος, στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η βέλτιστη κλίση του φ/β συλλέκτη για τις διαφορετικές ημερομηνίες ως προς τον ορίζοντα :



Εικόνα 11. Βέλτιστη κλίση του συλλέκτη κατά τις αντίστοιχες ημερομηνίες

Συνέπεια της απόκλισης αυτής του ήλιου είναι να διαγράφονται ηλιακές τροχιές βορειότερα στον ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ αντίθετα συμβαίνει το χειμώνα.

Για να έχουμε σωστή αναφορά της θέσης του ήλιου ορίζουμε δύο γωνίες : το ύψος ( $\beta$ ) και το αζιμούθιο ( $\theta$ ), όπως φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Μαζί φαίνεται και ο προσανατολισμός του φ/β συλλέκτη με τις χαρακτηριστικές του γωνίες κλίση ( $\beta_{\sigma}$ ) και αζιμούθια γωνία συλλέκτη ( $\theta_{\sigma}$ ) :

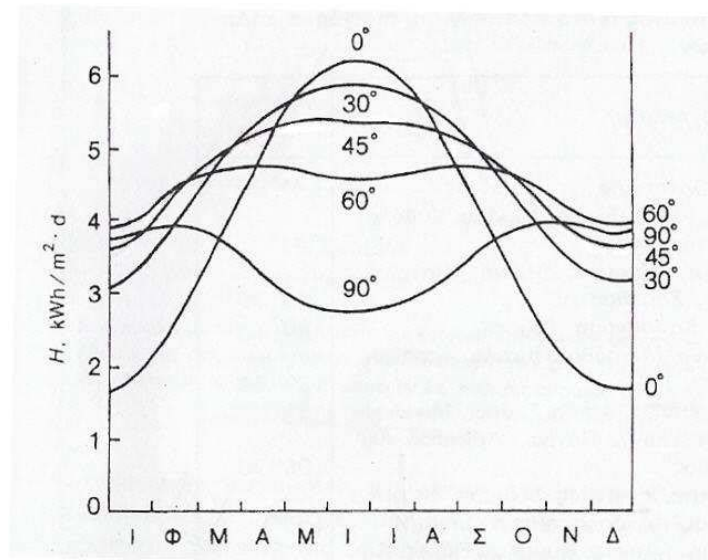


Εικόνα 12. Η θέση του ήλιου και του συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο



## 1.8 Η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη

Αναφερόμενος στο συμβολισμό του παραπάνω σχήματος, η βέλτιστη κλίση του φ/β συλλέκτη ( $\beta_{\sigma}$ ) στο βόρειο ημισφαίριο, για όλη τη διάρκεια του έτους είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο της τοποθεσίας, ενώ η βέλτιστη αζιμούθια γωνία είναι ίση με μηδέν. Παρατήρηση : Η άνω βέλτιστη κλίση του φ/β συλλέκτη ( $\beta_{\sigma}$ ) αναφέρεται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και εφαρμόζεται σε φ/β εγκαταστάσεις με σταθερά εγκατεστημένους τους συλλέκτες. Συνηθίζεται όμως στις εγκαταστάσεις (όπου είναι δυνατό) να είναι ρυθμιζόμενη αυτή η κλίση και ο λόγος είναι ο εξής : Λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση των συλλεκτών είναι διαφορετική για κάθε εποχή και κατ' επέκταση για κάθε μήνα. Αυτό είναι φανερό στο παρακάτω σχήμα, που αναφέρεται σε περιοχή με γεωγραφικό πλάτος  $45^{\circ}$  και διάφορες κλίσεις του συλλέκτη :



Εικόνα 13. Η εξάρτηση της μέσης ημερήσιας ακτινοβολίας για διάφορες κλίσεις σε περιοχή γεωγραφικού πλάτους  $45^{\circ}$

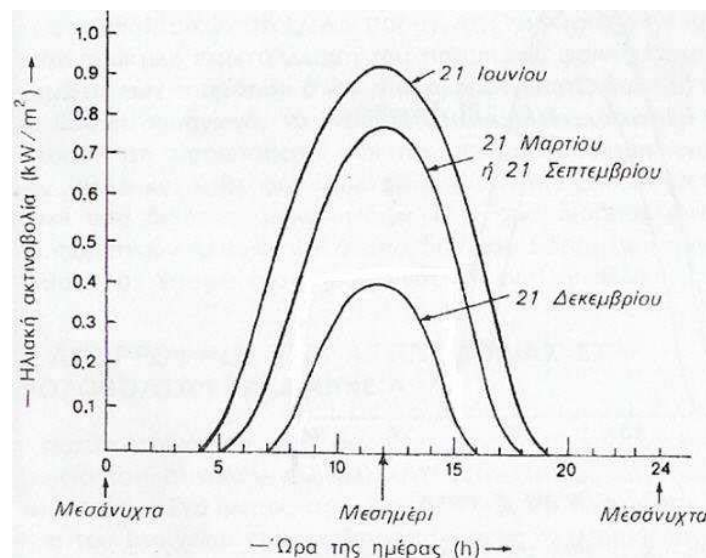
Στο παραπάνω σχήμα είναι φανερό ότι ναι μεν μία κλίση με το γεωγραφικό πλάτος είναι η βέλτιστη για σταθερούς συλλέκτες, αλλά αξίζει τον κόπο να ρυθμίζουμε την κλίση ανάλογα με την εποχή. Αυτό φαίνεται από τα σχήματα 9 και 11 που παρατηρούμε την κατεύθυνση των αλλαγών. Συνηθίζεται δε σε συστήματα ρυθμιζόμενης κλίσης, μία κλίση  $10^{\circ}$  έως  $15^{\circ}$  μικρότερη από τον παράλληλο της τοποθεσίας για το καλοκαίρι, ενώ αντίστοιχα μεγαλύτερη για το χειμώνα. Οι ακραίες θέσεις του ήλιου σε θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο είναι αυτές που φαίνονται στο 11 με τις αντίστοιχες βέλτιστες θέσεις των συλλεκτών.

Για να κλείσει αυτό το κομμάτι, αξίζει να σημειωθεί ότι η ακτινοβολία που τίθεται υπό συζήτηση μέχρι στιγμής είναι η άμεση από τον ήλιο (σα δέσμη) και όχι το διάχυτο φως της ατμόσφαιρας. Για παράδειγμα σε περιοχές με πολύ υγρό κλίμα (τροπική ζώνη) λόγω της υψηλής συγκέντρωσης σταγονιδίων νερού στην ατμόσφαιρα, σημαντικό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Για τον λόγο αυτό μικρότερη κλίση των φ/β συλλεκτών, ώστε να αντικρίζουν περισσότερο τον ουρανό και να δέχονται αφθονότερα την διάχυτη ακτινοβολία.

## 1.9 Η Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Ένα βασικό πρόβλημα της χρήσης της ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι παρουσιάζει έντονη διακύμανση και απότομες, απρόβλεπτες μεταβολές στην εξέλιξη του χρόνου σε σχέση με άλλα συστήματα ενέργειας.

Παρακάτω φαίνεται ένα διάγραμμα της διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε μία οριζόντια επιφάνεια υπό καθαρό ουρανό για διαφορετικές ενδεικτικές ημερομηνίες (ηλιοστάσια και ισημερίες) :

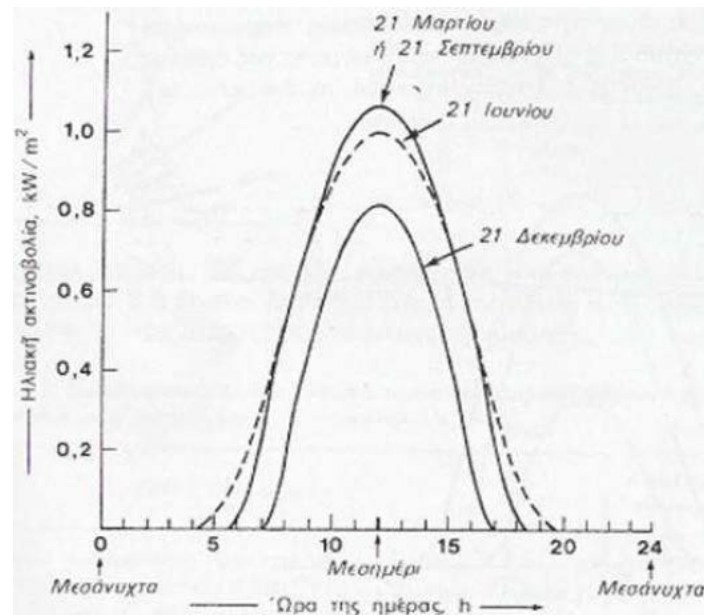


Εικόνα 14. Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο χρόνο (ο συλλέκτης είναι στο οριζόντιο επίπεδο)

Μιλώντας σε αυστηρότερη ορολογία το μέγεθος που χαρακτηρίζει την ποσότητα της μεταφερόμενης ενέργειας από μία ακτινοβολία είναι η ροή της ακτινοβολίας ( $H$ ) και εκφράζεται σε μονάδες  $kW/m^2$ ,  $mW/cm^2$ . Όταν όμως η ακτινοβολία είναι διάχυτη και μεταδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις (βλέπε ηλιακή), τότε χρησιμοποιείται περισσότερο ο

όρος ένταση της ακτινοβολίας, ως μέτρο του ποσού της ενέργειας που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα της επιφάνειας. Συνώνυμος όρος είναι και η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας.

Όταν η επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία τεθεί υπό κλίση (όπως αναφέρθηκε προηγουμένως) παρατηρείται αύξηση της έντασης και προκύπτει το παρακάτω σχεδιάγραμμα:



Εικόνα 15. Διακόμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο χρόνο (ο συλλέκτης σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου)

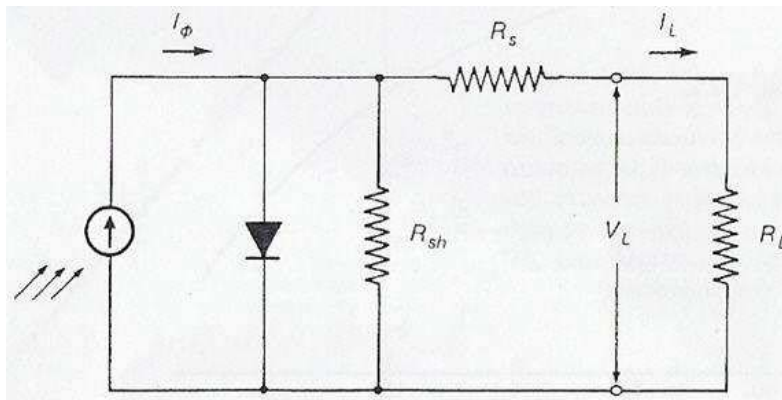
Ένας άλλος τρόπος να βελτιώσουμε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μία επιφάνεια (εν προκειμένω η φ/β μονάδα) είναι να την τοποθετήσουμε πάνω σε μία διάταξη κινητού πλαισίου που περιστρέφεται κατά διαστήματα, παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου στον ουρανό. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζουμε την κάθετη πρόσπτωση (σχετικής ακρίβειας) της ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται στα ελληνικά φ/β ηλιοστάτες (διεθνής όρος : sun trackers/solar trackers). Η ακριβής απόδοση του διεθνούς όρου είναι παρακολουθητές του ήλιου.

Με τη χρήση του solar tracker επιτυγχάνουμε από την μία αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος, από την άλλη όμως καταναλώνουμε ισχύ για την κίνηση της παρακολουθήσεως. Ο υπολογισμός των ισχύων αυτών μας δείχνει αν η χρήση των trackers είναι ενεργειακά αποδοτική. Επίσης υπάρχουν και άλλα σημαντικά θέματα για την επιλογή

ενός συστήματος ηλιοστάτη όπως το κόστος αυτού, η ανάγκη συντήρησης και η δυνατότητα απόσβεσης του επιπλέον κόστους που αυτό επιφέρει στο φωτοβολταϊκό σύστημα.

### 1.10 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β στοιχείων

Σε μία πρώτη προσέγγιση του φ/β στοιχείου μπορούμε να το θεωρήσουμε ως μία πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από δίοδο. Προσθέτοντας όμως τις αναπόφευκτες αντιστάσεις  $R_s$  που παρεμβάλλονται στην κίνηση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και την παράλληλη αντίσταση  $R_{sh}$  λόγω διαρροών ρεύματος της διόδου, καταλήγουμε στο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου :

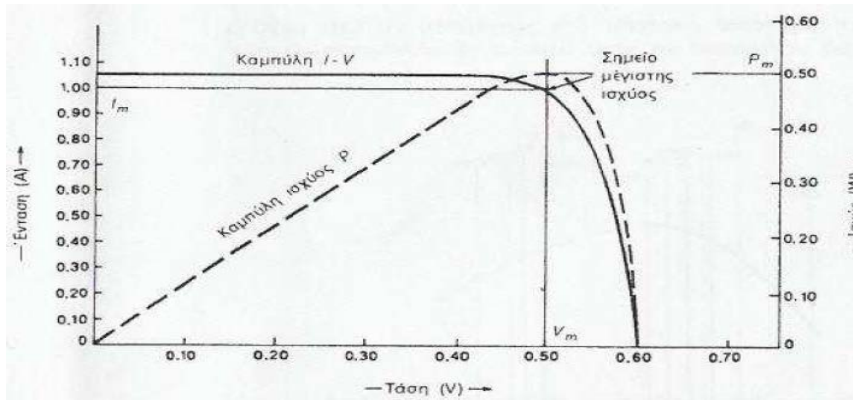


Εικόνα 16. Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φ/β στοιχείου

Από τα βασικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι :

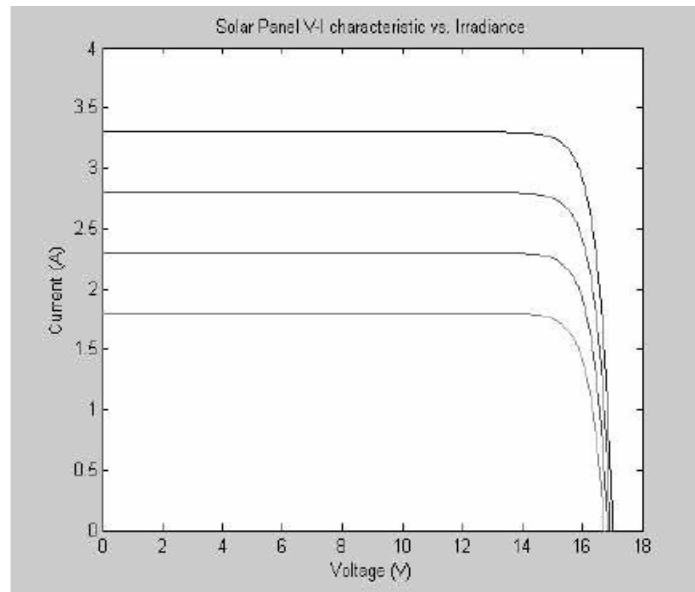
- A) Το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$ , όταν η τάση στα άκρα του φ/β μηδενιστεί
- B) Η τάση ανοικτοκύκλωσης  $V_{oc}$ , όταν το ρεύμα που διαρρέει το φ/β είναι μηδενικό
- Γ) Το ρεύμα και η τάση υπό φορτίο ( $I_{load}$ ,  $V_{load}$ )
- Δ) Ο συντελεστής της θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης ( $\sigma_\theta$ )

Η βασική καμπύλη I-V χαρακτηριστικών μιας φωτοβολταϊκής μονάδας υπό συνθήκες δεδομένης ακτινοβολίας καθώς και η καμπύλη P-V φαίνονται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 17. Διάγραμμα I-V και P-V για συνθήκες σταθερής ακτινοβολίας

Στο σχεδιάγραμμα αυτό φαίνεται και το σημείο μέγιστης ισχύος υπό τις δεδομένες συνθήκες ακτινοβολίας. Για να εκμεταλλευτούμε την ισχύ που μπορεί να παρέχει το φ/β στοιχείο μας πρέπει να έχουμε φορτίο με αντίσταση  $R_{load} = V_m / I_m$ . Εδώ γίνεται η εξής ερώτηση : Πως αλλάζει το διάγραμμα I-V υπό διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας; Αυτό φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 18. Διάγραμμα I-V για μεταβαλλόμενες συνθήκες ακτινοβολίας

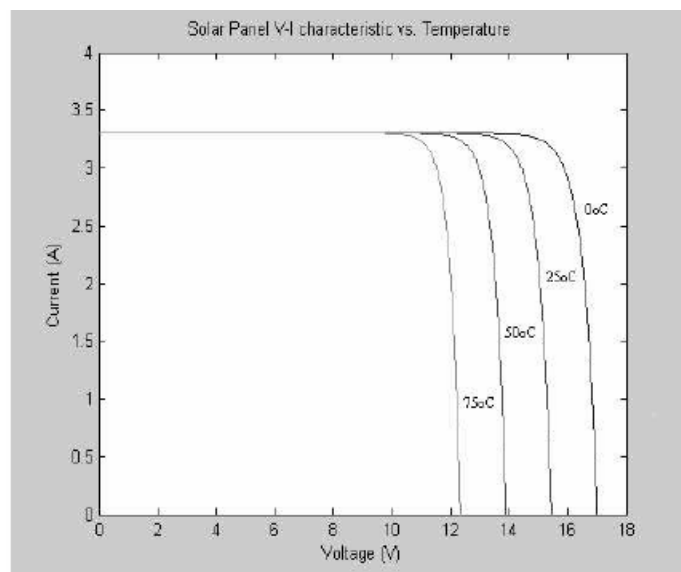
Βλέποντας αυτό το σχήμα καταλαβαίνουμε αμέσως το εξής σημαντικό πρόβλημα : Τα σημεία μέγιστης ισχύος δεν μπορούν να ικανοποιηθούν από ένα δεδομένο φορτίο για κυμαινόμενη ακτινοβολία. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση ρυθμιστικών διατάξεων που φέρνουν συνεχώς την τάση και το ρεύμα σε ευνοϊκές τιμές για τις συνθήκες κάθε χρονικής στιγμής. Οι διατάξεις αυτές καλούνται MPPT (Maximum Power Point Trackers δηλαδή παρακολουθητές σημείου μέγιστης ισχύος). Επίσης, από το σχήμα

παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι με την αύξηση της ακτινοβολίας αυξάνεται η  $V_{oc}$  και το  $I_{sc}$ , αν και το  $I_{sc}$  είναι το πιο ευαίσθητο στις μεταβολές της ακτινοβολίας από την  $V_{oc}$ . Ακόμα παρατηρούμε ότι η ένταση του ρεύματος παραμένει περίπου σταθερή για το μεγαλύτερο τμήμα του διαγράμματος (υπό συνθήκες σταθερής ακτινοβολίας) λειτουργώντας περίπου ως πηγή ρεύματος.

Το τελικό συμπέρασμα από την ηλεκτρική ανάλυση της φ/β μονάδας είναι η σημαντική εξάρτηση της λειτουργίας από τους εξής τρεις παράγοντες :

- Την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό.
- Την θερμοκρασία του στοιχείου
- Την αντίσταση του κυκλώματος που λειτουργεί ως φορτίο του φ/β

Όσον αφορά την θερμοκρασία του στοιχείου, θα περίμενε κανείς ότι με την αύξηση της περιβάλλουσας θερμοκρασίας λειτουργούν καλύτερα τα φωτοβολταϊκά (από διαίσθηση και μόνο). Αυτό όμως σε καμία περίπτωση δεν ισχύει όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 19. Διάγραμμα I-V για αυξανόμενη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Ο βασικός λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η κινητικότητα των φορέων του ηλεκτρικού ρεύματος.

## 1.11 Ένα πλήρες φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα :

α) Την φωτοβολταϊκή γεννήτρια με την μηχανική στήριξη αυτής και ίσως ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς μαζί.

β) Το υποσύστημα αποθήκευσης (διάταξη μπαταριών).

γ) Τον εξοπλισμό ελέγχου και προσαρμογής ισχύος (και συστήματα μετρήσεων και παρακολούθησης αν είναι αναγκαία)

δ) Βοηθητικό σύστημα παροχής ισχύος για περίπτωση ανάγκης (όπως γεννήτρια πετρελαίου), δημιουργώντας έτσι ένα υβριδικό αυτόνομο σύστημα παροχής ηλεκτρικής ισχύος.

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια : Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (προαναφέρθηκαν ως κυψέλες – solar cells) παράγουν πολύ μικρή ισχύ, για αυτό οι κατασκευαστές τα συνενώνουν φτιάχνοντας τις φ/β μονάδες (PV modules). Συνδεόμενες μονάδες δημιουργούν αυτό που κυκλοφορεί και στην αγορά με το όνομα φωτοβολταϊκό πάνελ (αλλιώς γνωστοί και ως συλλέκτες – PV panel). Τέλος στις μεγάλες εγκαταστάσεις παροχής ρεύματος από φ/β ενέργεια εμφανίζονται πάνελ συνδεδεμένα μεταξύ τους και πάνω σε μεγάλες μεταλλικές κατασκευές που καλούνται φ/β συστοιχίες (PV arrays).

Η αποθήκευση της ενέργειας : Η αποθήκευση της ενέργειας είναι απαραίτητη για τα φ/β συστήματα λόγω της έντονης διακύμανσης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια του χρόνου αλλά και της ημέρας. Υπάρχουν πολλές μορφές αποθήκευσης της ενέργειας όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα :

Energy Stored	Technology	Remarks
	Pumped water	1. Common utility use as large-scale energy storage 2. PV pumping
Mechanical	Compressed air Flywheel	Demonstrated technology for large-scale storage Under investigation for small systems
Electromagnetic	Electric current in superconducting ring	New development potential using 'high-temperature' super conducting materials
Chemical	Batteries Hydrogen Production	Mainly used for energy storage

Εικόνα 20. Συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας

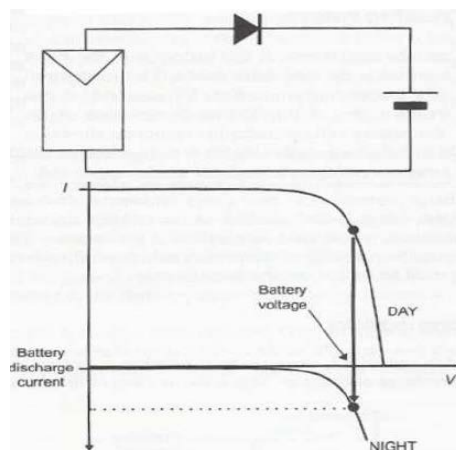


Ωστόσο τα περισσότερα συστήματα σήμερα χρησιμοποιούν μπαταρίες (συσσωρευτές) και μάλιστα τύπου lead-acid. Η ισχύς που αποθηκεύεται σε ένα συσσωρευτή, δηλαδή η χωρητικότητα του μετράται σε αμπερώρια (Ah). Με γνώμονα την ονομαστική του τάση υπολογίζουμε τη μέγιστη δυνατή αποθήκευση ενέργειας με τον τύπο :  $V_{ov} * (Ah)$ , π.χ. μία μπαταρία των 12 Volts, 100Ah, έχει ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας 1,2kWh.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι οι φορτισμένοι συσσωρευτές αυτοεκφορτίζονται με ρυθμό 2-5% το μήνα. Τέλος πρέπει να αναφερθούμε στο βάθος της εκφόρτισης του συσσωρευτή, από το οποίο εξαρτάται η διάρκεια της χρήσιμης ζωής του. Συσσωρευτής με βάθος εκφόρτισης 10% πρέπει να χρησιμοποιεί μόνο το 10% της ονομαστικής του χωρητικότητας, αν δε θέλουμε την πρόωρη καταστροφή του.

#### Εξοπλισμός ελέγχου :

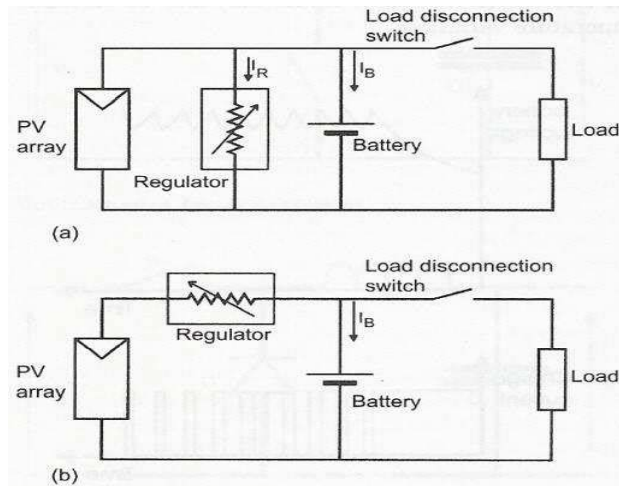
- Blocking Diode (δίοδος φραγής) : Όπως έχει αναλυθεί στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, τα φ/β στοιχεία συμπεριφέρονται ως δίοδοι στο σκοτάδι (την νύχτα). Για το λόγο αυτό τοποθετούμε μία δίοδο φραγής ανάμεσα στο στοιχείο και τον συσσωρευτή, για να αποτρέψουμε την αποφόρτιση του τελευταίου όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 21. Η λειτουργία της διόδου φραγής

- Charge regulator (ρυθμιστής φόρτισης) : Ο ρυθμιστής φόρτισης περιορίζει τη μέγιστη τάση στην μπαταρία, για να αποτρέψει την υπερφόρτιση. Δύο είναι οι βασικοί τύποι ρυθμιστών, ο εν σειρά και ο εν παραλλήλω όπως φαίνονται και στο παρακάτω σχήμα :

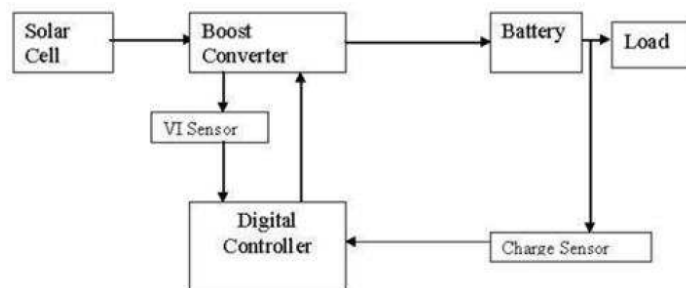




Εικόνα 22. Ρυθμιστές φόρτισης (a) εν παράλληλω (b) εν σειρά

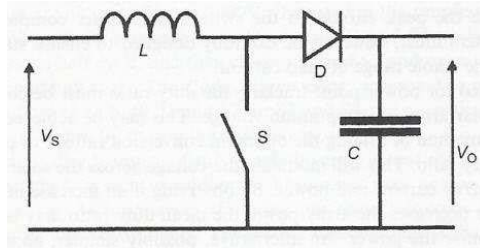
Είναι προφανής η κατανάλωση ισχύος από τις μεταβλητές αντιστάσεις των δύο παραπάνω κυκλωμάτων. Η κατανάλωση αυτή μπορεί να μειωθεί σημαντικά αν αντικατασταθεί η εν σειρά μεταβλητή αντίσταση του δεύτερου κυκλώματος από ένα διακόπτη (είτε μηχανικό αλλά συνήθως ένα MOSFET ή ένα BJT).

- Οι διατάξεις MPPT (Maximum Power Point Trackers) : Όπως έχει εξηγηθεί και πιο πριν για τις χαρακτηριστικές I-V των φωτοβολταϊκών στοιχείων, για μεταβαλλόμενες συνθήκες ακτινοβολίας δεν μπορούμε με δεδομένο φορτίο να είμαστε συνεχώς στη θέση μέγιστης ισχύος στο διάγραμμα. Ο MPPT μας δίνει τη δυνατότητα αυτή : Έχοντας συνεχώς σταθερό φορτίο, ξεγελά το φωτοβολταϊκό στοιχείο πως μεταβάλλεται το φορτίο συνεχώς στην τιμή που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος για την λαμβανόμενη ακτινοβολία κάθε χρονικής στιγμής. Για το σκοπό αυτό υπολογίζεται κάθε χρονική στιγμή η τάση και το ρεύμα του κυκλώματος, ενώ ένας υπολογιστής υπολογίζει τις αλλαγές των παραμέτρων ενός boost converter (dc/dc converter), για να επιτύχει την παρακολούθηση του μεγίστου. Ένα μπλοκ διάγραμμα της λειτουργίας αυτής φαίνεται παρακάτω :

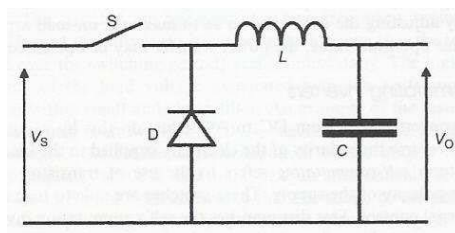


Εικόνα 23. Μπλοκ Διάγραμμα ενός Maximum Power Point Tracker

- DC/DC Converters (μετατροπείς συνεχούς/συνεχούς) : Μετατρέπουν την ισχύ του φ/β πάνελ σε συνεχή άλλη στάθμη. Βασικότερες τοπολογίες είναι οι buck και boost converters που φαίνονται στα παρακάτω σχήματα :

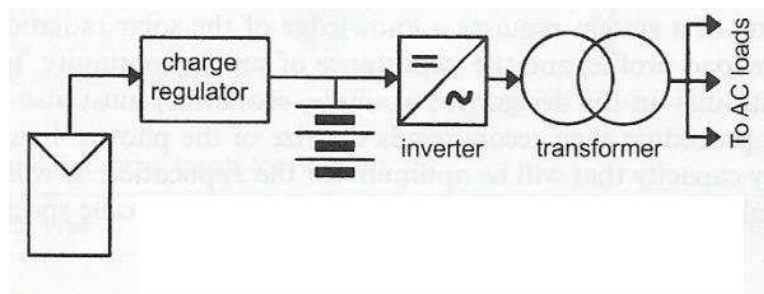


Εικόνα 24. Buck Converter



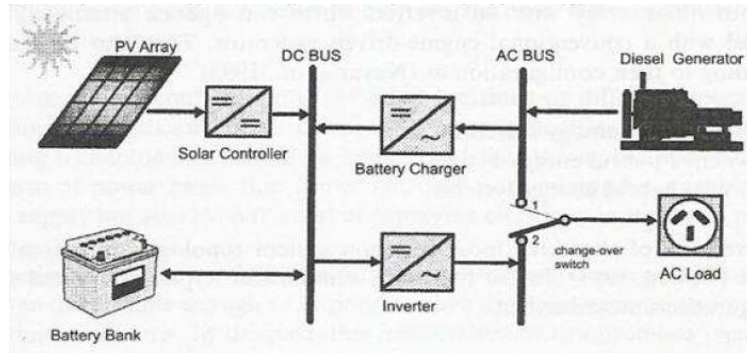
Εικόνα 25. Boost Converter

- DC/AC Converters-Inverters (μετατροπείς συνεχούς/εν/μένου) : Χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται σύνδεση εναλλασσομένου φορτίου στο φ/β σύστημα. Η απόδοση του μετατροπέα μπορεί να φτάσει και το 97% αρκεί να λειτουργεί στην ονομαστική ισχύ. Αν λειτουργεί υπό μερικό φορτίο η απόδοση του μπορεί να πέσει σημαντικά. Το φ/β σύστημα μπορεί με χρήση inverter να συνδεθεί (υπό προϋποθέσεις) στο δημόσιο δίκτυο παροχής ρεύματος, λειτουργώντας ως πηγή ηλεκτρικής ισχύος για αυτό. Ακολουθεί ένα σχεδιάγραμμα πλήρους εφαρμογής με εναλλασσόμενο φορτίο :



Εικόνα 26. Εφαρμογή φ/β συστήματος με ac φορτίο, Inverter, charge regulator και μπαταρίες

Τέλος μία ολοκληρωμένη, πλήρως αυτόνομη εγκατάσταση φ/β συστήματος με γεννήτρια πετρελαίου και μπαταρίες φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (η γεννήτρια πρέπει να έχει σύστημα σταθεροποίησης τάσης) :



Εικόνα 27. Μία ολοκληρωμένη εφαρμογή αυτόνομου φ/β συστήματος

## Κεφάλαιο 2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

### 2.1 Υλικά-τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων

Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή Φ/Β στοιχείων είναι:

- Τεχνολογία παραγωγής ημιαγωγικών υλικών με κρυσταλλική δομή, την πλειοψηφία των οποίων αποτελεί το πυρίτιο.
- Τεχνολογία λεπτών υμενίων (thin film), η οποία ονομάζεται έτσι επειδή το πάχος των στοιχείων είναι πολύ μικρό (μερικά μόνο  $\mu\text{m}$ ).
- Άλλες τεχνολογίες που σκοπό έχουν να γίνει λιγότερο ενεργοβόρα η παραγωγή του καθαρού πυριτίου, περιορίζοντας τις απώλειες σε ακριβό καθαρό πυρίτιο (π.χ. μέθοδος EFG, edge film fed growth και μέθοδος String Process).

Οι κρύσταλλοι και η μορφή λεπτού φιλμ διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά την απόδοση απορρόφησης του φωτός, την απόδοση μετατροπής της μια μορφής ενέργειας στην άλλη, την τεχνολογία κατασκευής και το κόστος κατασκευής.

#### Το πυρίτιο (Si)

Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1 eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητές του, δηλαδή έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή ενεργειακού διακένου δεν είναι ιδεώδεις για την φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι η ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή αλλά μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής Φ/Β στοιχείων. Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι το πυρίτιο είναι το κύριο υλικό των διατάξεων ηλεκτρονικής για πολλές δεκαετίες. Επομένως, οι ιδιότητες του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στην αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με ικανοποιητική χημική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής, με την χρησιμοποίηση τεχνολογικών μεθόδων δοκιμασμένων με επιτυχία. Επιπλέον τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου έχουν λειτουργήσει με απόλυτα ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες καιρικές συνθήκες, τόσο σε διαστημικές όσο και σε επίγειες εφαρμογές.

Εκτός του οξυγόνου, το πυρίτιο είναι το πιο άφθονο στοιχείο στην επιφάνεια του εδάφους. Σχεδόν πάντα, όμως απαντάται με τη μορφή οξειδίου στο περιβάλλον,

συγκεκριμένα ως διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ). Για την αξιοποίησή του, επομένως, απαιτείται επεξεργασία έτσι ώστε να αποκτήσει υψηλή καθαρότητα.

### 2.2.1 Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο

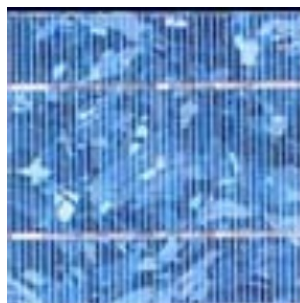
Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο έχει μια ομοιόμορφη μοριακή δομή. Συγκρινόμενο με υλικά που δεν είναι σε μορφή κρυστάλλου, η υψηλή του ομοιομορφία έχει ως αποτέλεσμα τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης (δηλαδή την αναλογία της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται από το ηλιακό στοιχείο προς την διαθέσιμη από την ηλιακή ακτινοβολία ισχύ). Η απόδοση των μονοκρυσταλλικών στοιχείων του εμπορίου κυμαίνεται από 14-18%.



Εικόνα 29. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

### 2.2.2 Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο

Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο αποτελείται από περιοχές μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αλλά δεν έχει την ομοιόμορφη κρυσταλλική δομή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν χαμηλότερο βαθμό απόδοσης από τα στοιχεία που αποτελούνται από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Ο βαθμός απόδοσης για μια βαθμίδα εμπορίου κυμαίνεται μεταξύ 10-14 %.



Εικόνα 30. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

### 2.2.3 Λεπτής μεμβράνης (Άμορφο πυρίτιο)

Η τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών χρησιμοποιεί πολύ λεπτά στρώματα (πάχους λίγων μικρών) του ημιαγωγού και με τον τρόπο αυτών μειώνεται το κόστος.



Εικόνα 31. Λεπτής μεμβράνης

Τα πιο γνωστά υλικά που χρησιμοποιούνται στις κυψέλες αυτές είναι:

- Άμορφο πυρίτιο (a-Si).
- Copper indium diselenide (CIS)
- Cadmium telluride (CdTe)
- Gallium arsenide (GaAs)

Με τα δύο πρώτα να είναι τα σημαντικότερα.

Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό στο ότι τα άτομα δεν είναι τοποθετημένα σε ακριβής αποστάσεις μεταξύ τους και οι γωνίες των δεσμών τους δεν είναι συγκεκριμένες. Σήμερα ένα εμπορικό Φ/Β πλαίσιο με κυψέλες άμορφου πυριτίου έχει απόδοση 6-8%, ενώ οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικά πυριτίου έχουν αποδόσεις που κυμαίνονται στο 11-14%.

Λεπτό στρώμα άμορφου πυριτίου τοποθετείται σε φύλλο γυαλιού το οποίο έχει καλυφθεί από διάφανο οξείδιο του κασσιτέρου. Στην πίσω επιφάνεια τοποθετείται μεταλλικός αγωγός και στην συνέχεια όλη η διάταξη κόβεται με laser για την παραγωγή μιας σειράς ηλεκτρικά συνδεδεμένων άλλα ξεχωριστών στοιχείων και στο τέλος γίνεται η ενσωμάτωσή τους σε μια Φ/Β μονάδα.

## 2.2.4 Υβριδικά

Για να επιτευχθεί ουσιώδης βελτίωση της απόδοσης των Φ/Β κυψελών έπρεπε να γίνει κάποια σημαντική αλλαγή. Σε μια προσπάθεια να γίνει αυτό έγινε μελέτη στην χρήση υβριδικών δομών, στις οποίες κυψέλες με διαφορετικά χαρακτηριστικά απορρόφησης φωτός συνδέονται μαζί. Αυτό επιτρέπει να πετύχουμε καλύτερα χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας τα ήδη υπάρχοντα υλικά και διαδικασίες.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης μιας δομής με πολλά στρώματα είναι τα εξής:

- Είναι δυνατόν να απορροφηθεί το φως σε μια πιο πλατιά φασματική περιοχή.
- Είναι δυνατόν να επιτευχθούν υψηλότερες τάσεις ανοιχτού κυκλώματος.
- Είναι δυνατό να πέσει σε κάποιο βαθμό ο ρυθμός μείωσης της απόδοσης των κυψελών, ο οποίος οφείλεται σε φαινόμενα οπτικής υποβάθμισης που παρατηρούνται όταν χρησιμοποιούνται υλικά άμορφου πυριτίου.

## 2.3 Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

Η τάση και η ισχύς ενός Φ/Β στοιχείου 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 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 Φ/Β πλαίσιο (module), που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση Φ/Β γεννητριών.

Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος προκύπτει μεγαλύτερο από τα Φ/Β στοιχεία που περιέχουν.

Συνώνυμο σχεδόν με το Φ/Β πλαίσιο είναι το Φ/Β πανέλο (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 πανέλο 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 πανέλα. Το προϊόν που παράγεται ονομάζεται φ/β πλαίσιο (module) και διατίθεται σε ποικιλία, όσον αφορά την ισχύ που παράγει, την τάση και τελικά τις διαστάσεις του. Για αυτό το λόγο παρακάτω θα γίνεται αναφορά μόνο σε Φ/Β πλαίσια.

### **2.3.1 Φωτοβολταϊκή συστοιχία**

Σε μια Φ/Β εγκατάσταση που έχει σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή λειτουργεί ως σταθμός παραγωγής, μπορεί να χρησιμοποιηθούν εκατοντάδες ή και χιλιάδες Φ/Β πλαίσια. Όπως είναι αναμενόμενο τα Φ/Β πλαίσια πρέπει να ομαδοποιηθούν και να συνδεθούν κατάλληλα. Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός Φ/Β συστήματος είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των Φ/Β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και ανάμεσα στα πλαίσια να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες. Με αυτόν τον τρόπο, αν ένα Φ/Β στοιχείο σκιαστεί ή αν πάθει βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα.

Έτσι τα Φ/Β πλαίσια ομαδοποιούνται σε Φ/Β συστοιχίες και τοποθετούνται σε κοινή βάση στήριξης, η οποία είναι συνήθως μεταλλική. Η σύνδεση των πλαισίων στη σειρά ή παράλληλα γίνεται έτσι ώστε η τάση εξόδου της γεννήτριας να αποκτήσει την επιθυμητή τιμή.

### **2.4 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου**

Ο συντελεστής απόδοσης ενός Φ/Β πλαισίου εκφράζει τον λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/Β πλαίσιο, προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια. Επειδή όμως η επιφάνεια ενός Φ/Β πλαισίου δεν είναι καλυμμένη εξολοκλήρου από Φ/Β στοιχεία η απόδοση διαφέρει από την απόδοση των στοιχείων που αποτελείται. Ορίζεται ο συντελεστής κάλυψης ( $\sigma_K$ ) ενός Φ/Β πλαισίου ως ο λόγος 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 Φ/Β πλαισίου. Στις παρακάτω σχέσεις οι δείκτες που χρησιμοποιούνται παραπέμπουν στο αν το μέγεθος αφορά το πλαίσιο (m->module) ή το στοιχείο (c->cell).

#### **2.4.1 Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση**

Ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος μπορεί να μεταβάλλει αξιοσημείωτα την απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου είναι η θερμοκρασία των Φ/Β 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 Φ/Β στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία αρκετά 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 Φ/Β εγκαταστάσεων, λαμβάνεται συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας του Φ/Β πλαισίου κατά 30°C από αυτή του περιβάλλοντος.

#### **2.4.2 Επίδραση της ρύπανσης στην απόδοση**

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των Φ/Β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειας τους από τη επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού κ.ά. 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 τα ξεπλύνει.

Επομένως είναι σημαντικό όταν η Φ/Β γεννήτρια πρόκειται να εγκατασταθεί σε μια περιοχή, που εκτιμάται ότι η ρύπανση 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 Φ/Β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνεια 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 Φ/Β πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην

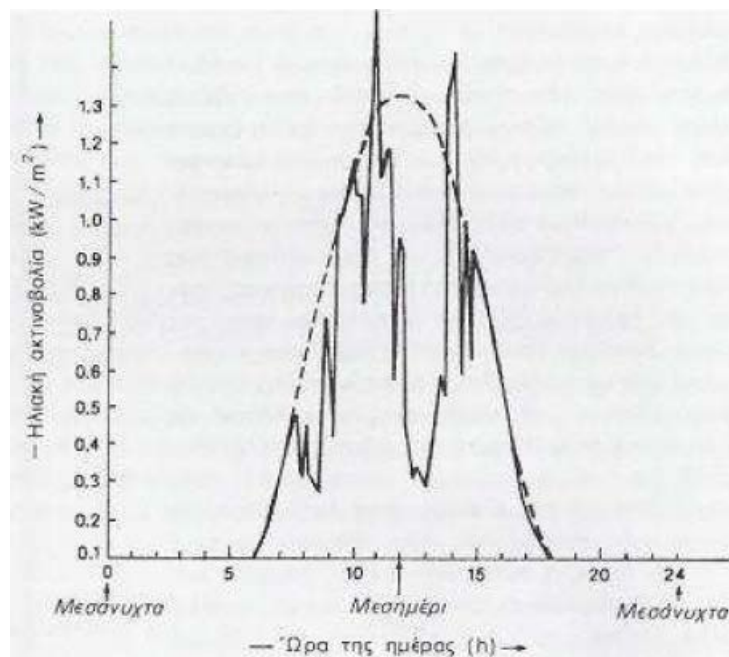
περιοχή κλπ. Τελικά η απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου, λαμβάνοντας υπόψη την ρύπανση της επιφάνειάς του, προκύπτει :

$$\eta_m = \sigma_p * \eta_{m,\kappa}$$

όπου  $\eta_{m,\kappa}$  η απόδοση του, όταν είναι καθαρό.

### 2.4.3 Η επίδραση των νεφών

Η παρουσία νεφώσεων έχει άμεση επίδραση στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης, εξασθενώντας την απευθείας ακτινοβολία και αυξάνοντας μερικώς την διάχυτη. Τα παραπάνω ισχύουν σε αραιές νεφώσεις, σε αντίθεση περίπτωση (πυκνή νέφωση) μπορεί να αποκοπεί το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας. Η επίπτωση των νεφών στην ένταση της ακτινοβολίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα :



Εικόνα 32. Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας φωτεινής ημέρας με μερική νέφωση. Η ασυνεχής καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη με καθαρό ουρανό.

#### 2.4.4 Γήρανση Φ/B πλαισίου

Αφορά στη μείωση της απόδοσης των Φ/B πλαισίων στο χρόνο της ζωής τους και εκφράζεται, συνήθως, με το ποσοστό γήρανσης ανά έτος χρήσης. Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του Φ/B, άρα και της ισχύος αιχμής του. Στο κρυσταλλικό πυρίτιο εμφανίζονται αλλοιώσεις στη δομή του υλικού των κρυσταλλικών Φ/B στοιχείων του πλαισίου, που οφείλονται σε διάφορα αιτία, κυρίως σε υπερθέρμανση. Μετρήσεις μακράς διάρκειας μας δίνουν μείωση της αποδοτικότητας του κάτω από πρότυπες συνθήκες STC, ~1% κατ' έτος χρήσης (ρυθμός γήρανσης).

#### 2.4.5 Οπτικές ενεργειακές απώλειες

Καθορίζονται από την απόκλιση της απόδοσης, σε σχέση με αυτή των πρότυπων συνθηκών, λόγω των επόμενων αιτιών:

Διαφοροποίηση ανακλαστικότητας Φ/B πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε STC.

Επίδραση διαφοροποίησης φάσματος ακτινοβολίας σε σχέση με κάθετη πρόσπτωση.

διαφοροποίηση της πόλωσης της προσπίπτουσας – διερχόμενης ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας. Η μέση ετήσια επίδραση του παράγοντα αυτού προσδιορίζεται σε ~2%.

Στις χαμηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας, ιδιαίτερα κάτω από 200 W/m<sup>2</sup>, μειώνεται η απόδοση του Φ/B στοιχείου. Στα Φ/B πλαίσια καλής ποιότητας οι απώλειες είναι μικρής σημασίας. Σε άλλες όμως περιπτώσεις αποδεικνύονται σχετικά σημαντικές, υπολογίζονται σε 3%, κατά μέσο όρο στο έτος.

Καθαρότητα όψεως του Φ/B πλαισίου είναι πολύ σημαντική γιατί η επικάλυψη σκόνης στην όψη του Φ/B πλαισίου και διάφορων άλλων αντικειμένων, π.χ. φύλλων, κλαδιών η νάιλον κ.α., που σκιάζουν ένα ή περισσότερα Φ/B στοιχεία ενός πλαισίου δημιουργούν εντονότατο πρόβλημα λειτουργίας και απόδοσης. Η μείωση της απόδοσης είναι ιδιαίτερα αισθητή.

Είναι σημαντικό να αποφεύγεται η ολική και η μερική σκίαση ενός φ/β συστήματος. Επίσης η χρήση διόδων παράκαμψης (Bypass diodes) μειώνει και την

επίδραση από σκίαση και η μερική σκίαση μπορεί να προκαλέσει υπερθέρμανση και καταστροφή του Φ/Β πλαισίου (hot spot effect).

## **2.5 Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών συστημάτων**

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα
- Τα αυτόνομα συστήματα

Και στις δυο έχουμε 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.

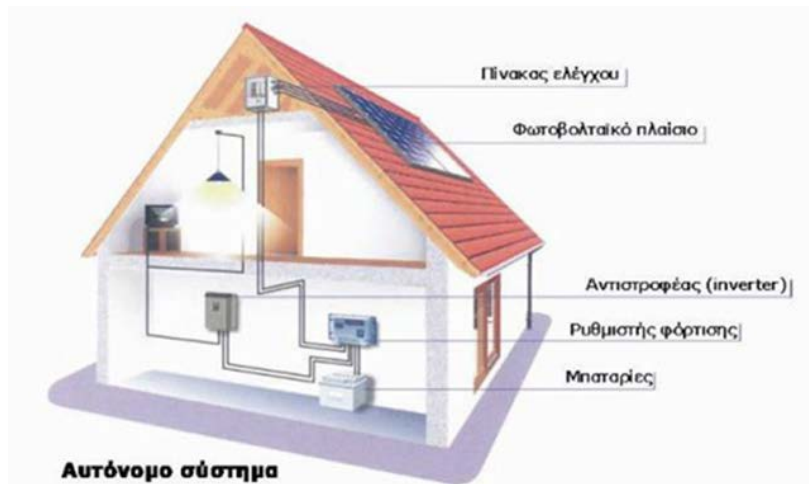
### **2.5.1 Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό σύστημα**

Το αυτόνομο σύστημα (ή σύστημα εκτός δικτύου) αποσκοπεί στο να προσφέρει ενεργειακή αυτονομία σε μια εγκατάσταση. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες απομονωμένων από το δίκτυο συστημάτων.

Κάποιες από αυτές είναι:

- Οικίες απομακρυσμένες από το δίκτυο σε τέτοια απόσταση που το κόστος διασύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ είναι απαγορευτικά υψηλό
- Οικίες που για κάποιους λόγους δεν δύναται να ηλεκτροδοτηθούν
- Κτηνοτροφικές ή γεωργικές μονάδες απομακρυσμένες από το δίκτυο της ΔΕΗ
- Τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις
- Αντλητικά συστήματα υδροδότησης
- Κινητές εγκαταστάσεις (τροχόσπιτα, πλωτά κ.α.)
- Εγκαταστάσεις που απαιτούν υψηλή διαθεσιμότητα (αμυντικές εφαρμογές διαστημικές εφαρμογές)

Η μεθοδολογία για την ηλεκτροδότηση μιας αυτόνομης εγκατάστασης είναι η ακόλουθη:



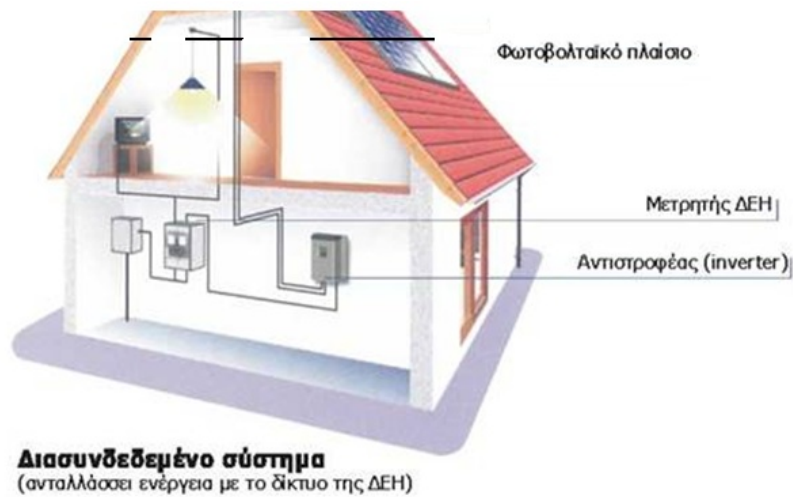
Εικόνα 32: Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό σύστημα

Σε αυτό το Φ/Β σύστημα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Το σύστημα μπορεί και λειτουργεί ανεξάρτητα από το κεντρικό δίκτυο.

Το ηλεκτρικό ρεύμα (DC) που παράγεται από τα φ/β πλαίσιο, φορτίζει τις μπαταρίες, με τη βοήθεια του ρυθμιστή φόρτισης. Ο μετατροπέας αλλάζει το ρεύμα των συσσωρευτών από συνεχές DC, σε εναλλασσόμενο AC 220V.

## 2.5.2 Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό σύστημα

Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ. Στην περίπτωση αυτή, πουλάει κανείς το ηλιακό ρεύμα στη ΔΕΗ έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας (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.



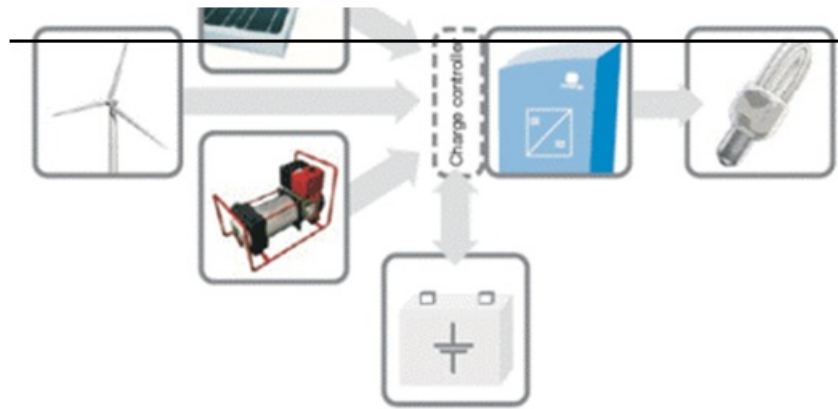
Εικόνα 33: Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα

### 2.5.3 Υβριδικό σύστημα

Συνδυάζουν ηλεκτρικό ρεύμα που προέρχεται από πετρελαιογεννήτριες, ανεμογεννήτριες, μικρές υδροηλεκτρικές γεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες που υπάρχουν, αξιοποιώντας τα γεωγραφικά πλεονεκτήματα της περιοχής. Είναι ιδανικά συστήματα για εφαρμογές σε απομακρυσμένες τοποθεσίες όπως:

- τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και αναμεταδότες
- στρατιωτικές εγκαταστάσεις και παραμεθόρια χωριά.

Με το υβριδικό σύστημα στην περίπτωση που δεν έχουμε ηλιοφάνεια για ένα διάστημα 4 ημερών, με την εγκατάσταση, της Α/Γ και σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής έχουμε την δυνατότητα να καλύψουμε τις ανάγκες μας σε ενέργεια από τον άνεμο, είναι πολύ δύσκολο να έχουμε συνεχή άπνοια και συννεφιά για μια εβδομάδα. Συνεπώς κάθε τεχνολογία στην περίπτωση των υβριδικών συστημάτων καλύπτει τα κενά που δημιουργεί η άλλη.



Εικόνα 34: Υβριδικό σύστημα

## 2.5.4 Προϋποθέσεις εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών πλαισίων

Αρχικά θα πρέπει να γίνει υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή για όλη την διάρκεια του έτους και σε κάποιες περιπτώσεις και κατά μήνα του έτους.

Σε αντίθεση με τα διασυνδεδεμένα συστήματα όπου στόχος είναι η μέγιστη ετήσια ενεργειακή απολαβή, στα απομονωμένα συστήματα υπάρχουν εφαρμογές όπου η ενεργειακές ανάγκες είναι μεγαλύτερες σε κάποιους συγκεκριμένους μήνες του χρόνου ή ακόμα και σε κάποιες συγκεκριμένες ώρες της ημέρας

Να υπάρχει επαρκής ελεύθερος και ασκίαστος χώρος. Ως ένα πρόχειρο κανόνα υπολογίστε πως χρειάζεστε περίπου 0,8 τετραγωνικά μέτρα για κάθε 100Watt.

Προσέξτε ιδιαίτερα ο χώρος να είναι κατά το δυνατόν 100% ασκίαστος καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Διαφορετικά το σύστημα θα λειτουργεί με μικρότερη απόδοση.

Επίσης πρέπει να υπολογιστεί η απόσταση που πρέπει να έχουν μεταξύ τους οι συστοιχίες των πλαισίων για την επισκεψιμότητα και την αποφυγή σκίασης.

Η σωστή κλίση του φωτοβολταϊκού σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Σχεδόν πάντα επιλέγεται μια κλίση που να δίνει καλύτερα αποτελέσματα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ένας γενικός κανόνας είναι ότι η σωστή κλίση είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου. Επειδή βέβαια κάθε κανόνας έχει και την εξαίρεσή του, την βέλτιστη κλίση θα την αποφασίσει ο τεχνικός που θα κάνει την εγκατάσταση.

Να είστε σίγουροι ότι έχετε τον απαιτούμενο χώρο για τα ηλεκτρονικά συστήματα και τις μπαταρίες, αν επιλέξετε το αυτόνομο σύστημα.

Λάβετε υπ' όψιν τις κατασκευές στις οποίες θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, εκτός από το δικό τους βάρος (περίπου 15-20 κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο), πρέπει να είναι ικανές να αντέξουν στο βάρος των φωτοβολταϊκών στοιχείων, καθώς και των φορτίων που οφείλονται στη δυναμική δράση του ανέμου και στη συσσώρευση του χιονιού. Πρόκειται για μεταλλικά προφίλ από αλουμίνιο και γαλβανισμένο ή ανοξείδωτο χάλυβα.

Καλό είναι να γνωρίζουμε εάν υπάρχουν ενδείξεις για διαφοροποίηση του μικροκλίματος στην περιοχή (π.χ. αυξημένες βροχοπτώσεις, αυξημένη υγρασία - ομίχλες λόγω γειτονικού ποταμού, ενδεχόμενη ύπαρξη έλους κλπ), αυτό γιατί θα επηρεάσουν την απόδοση του Φ/Β συστήματος.

## **2.5.5 Τρόποι στήριξης των συλλεκτών**

Διακρίνουμε τρεις διαφορετικούς τρόπους στήριξης συλλεκτών:

- Σταθερής στήριξης
- Εποχιακά ρυθμιζόμενης στήριξης
- Συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του ηλίου, με διάταξη που ονομάζεται ηλιοτρόπιο (Tracker).

### Στήριξη του συλλέκτη με σταθερή γωνία κλίσης

Με την απουσία κινητών μερών στη στήριξη της συστοιχίας με σταθερή κλίση, προσδίδουμε στη διάταξη περισσότερη μηχανική αντοχή, χαρακτηριστικό που συμβάλλει στην αναξιόπιστη συμπεριφορά της, ιδιαίτερα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Χρησιμοποιούνται επίσης στατικές συλλεκτικές επιφάνειες, ενσωματωμένες σε κτίρια.





*Εικόνα 35: Συλλέκτης με σταθερή γωνία κλίσης*

Την πιο απλή περίπτωση την έχουμε όταν ο χώρος εγκατάστασης της συστοιχίας των συλλεκτών δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, όλο το έτος. Κατά κανόνα επιλέγουμε νότιο αζιμουθιακό προσανατολισμό για τη συστοιχία και κλίση κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης.

Όταν η κλίση ισούται ακριβώς με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, οι ακτίνες του ηλίου πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη δύο φορές το χρόνο. Σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης γωνίας συλλέκτη με σταθερή κλίση, παίζουν οι επικρατούσες στην περιοχή μετεωρολογικές συνθήκες και η ανακλαστικότητα του εδάφους. Έτσι για να βρούμε τη βέλτιστη γωνία του συλλέκτη, χρειάζεται να συλλέξουμε στοιχεία σχετικά με τους παράγοντες αυτούς και ιδιαίτερα μετρήσεις της ολικής ακτινοβολίας, τουλάχιστον σε οριζόντια προσανατολισμένο αισθητήρα, για μια σειρά ετών για αυτή την περιοχή. Μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε μετρήσεις που έχουν συλλεχθεί στην πλησιέστερη προς αυτή περιοχή, εμπλουτισμένες με πρόσφατες μετρήσεις στην περιοχή αυτή.

Με βάση τώρα τις μετρήσεις αυτές αλλά και με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων, προσδιορίζουμε την ολική ακτινοβολία σε κάθε γωνία κλίσης ενός συλλέκτη, απ' όπου προκύπτει η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη για συγκεκριμένη περιοχή.

Τέλος, αν τώρα υπάρχουν φυσικά εμπόδια που σκιάζουν το συλλέκτη ορισμένη περίοδο της ημέρας, για παράδειγμα από το μεσημέρι και μετά, τότε προσανατολίζουμε το συλλέκτη αζιμουθιακά, μετά από σχετική μελέτη του κλίματος και των στοιχείων ηλιοφάνειας της περιοχής, σε ορισμένη νοτιοανατολική κατεύθυνση. Αν τώρα η σκίαση γίνεται το πρωί και από το μεσημέρι και μετά δεν υπάρχει πρόβλημα σκίασης, τότε η συστοιχία προσανατολίζεται νοτιοδυτικά.

### Στήριξη με δυνατότητα εποχικής ρύθμισης κλίσης του συλλέκτη

Υπάρχει μια διάταξη συλλεκτών με νότιο προσανατολισμό, η οποία εκ κατασκευής έχει τη δυνατότητα εποχιακής ρύθμισης της κλίσης της. Προσδιορίζονται οι κατάλληλες κλίσεις και ο χρόνος αλλαγών. Οι θέσεις του συλλέκτη είναι δύο :

- μια για το θερινό εξάμηνο,
- και μια για το χειμερινό.

Όπως και στην περίπτωση συλλέκτη σταθερής κλίσης όλο το έτος, έτσι και στην περίπτωση επιλογής χειμερινής και θερινής θέσης, η επιλογή της βέλτιστης γωνίας για το συλλέκτη σε κάθε περίοδο απαιτεί γνώση των τοπικών μετεωρολογικών συνθηκών και της μορφολογίας και κάλυψης του εδάφους, που καθορίζει την ανακλαστικότητα του.

### Στήριξη σε κινητές βάσεις

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες τοποθετούνται σε κινητές βάσεις. Στόχος της κατασκευής είναι η βελτιστοποίηση του αποτελέσματος όπως προκύπτει από την συνεχή παρακολούθηση του ηλίου με περιστροφή κατά το επίπεδο που ορίζεται από τους άξονες X και Ψ (οριζόντια), στον άξονα Z η κλίση της κατασκευής είναι 30°. Η περιστροφή γίνεται πάνω σε σιδηροτροχιά η οποία εδράζεται σε κυκλικό θεμέλιο από οπλισμένο σκυρόδεμα πλάτους 0,40 m και βάθους 0,80 m.



*Εικόνα 36: Στήριξη σε κινητές βάσεις*

Στην κατασκευή αυτή τοποθετείται σκελετός από γαλβανισμένο εν θερμό χάλυβα. Η κίνηση του μηχανισμού γίνεται με την βοήθεια ενός κινητήρα ισχύος 0,37 kW. Ο μηχανισμός παρακολουθεί την κίνηση του ηλίου με βάση τα στοιχεία που είναι καταχωρημένα στο λογισμικό που συνοδεύει την συσκευή, ή δεν γίνεται χρήση αισθητήρων έντασης φωτός αλλά χρήση αστρονομικών δεδομένων.

## Τρόποι στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων σε κτήρια

Οι κατασκευές στήριξης πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια, όπως αντοχή στα φορτία που προέρχονται απ' το βάρος των πλαισίων και τους τοπικούς ανέμους, να μην προκαλούν σκιασμό στα πλαίσια, να επιτρέπουν την προσέγγιση στα πλαίσια, αλλά ταυτόχρονα να διασφαλίζουν την ασφάλειά τους. Η ενσωμάτωση των Φ/Β πλαισίων στην οροφή ή στην πρόσοψη ενός κτιρίου γίνεται με πολλούς τρόπους. Στις καινοτόμες λύσεις που έχουν υιοθετηθεί κατά καιρούς περιλαμβάνεται και η χρήση Φ/Β στοιχείων στη θέση άλλων δομικών στοιχείων στο κέλυφος του κτιρίου ή στα σκίαστρα.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τρόποι για την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων σε ένα κτήριο:

- Τοποθέτηση σε κεκλιμένα στηρίγματα

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία από ξύλινα ή μεταλλικά είδη στηριγμάτων και οι περισσότεροι κατασκευαστές Φ/Β συστημάτων προσφέρουν στηρίγματα που ταιριάζουν ακριβώς στα Φ/Β πλαίσια.



*Εικόνα 37: Φωτοβολταϊκά πλαίσια σε κτίριο σε κεκλιμένο επίπεδο*

Σε μερικές περιπτώσεις, η κλίση είναι ρυθμιζόμενη. Η τοποθέτηση αυτή προσφέρει εύκολη πρόσβαση τόσο στο εμπρός όσο και στο πίσω μέρος των Φ/Β πλαισίων, όταν χρειάζεται να γίνει συντήρηση, βοηθά επίσης, στον καλό αερισμό και στο δροσισμό των στοιχείων, αυξάνοντας έτσι την απόδοσή τους. Εντούτοις, το κόστος είναι σχετικά υψηλό, γιατί απαιτείται η χρήση πρόσθετων υλικών και επιπλέον εργασία.

- Τοποθέτηση σε ειδική βάση προσαρμοζόμενη στο εξωτερικό του κελύφους

Η κατασκευή αυτή στηρίζεται στο εξωτερικό κέλυφος του κτιρίου. Χρειάζεται, όμως, προσοχή για την καλή μόνωση των σημείων στα οποία στηρίζεται η βάση.



*Εικόνα 38: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε ειδική βάση προσαρμοζόμενη στο εξωτερικό του κελύφους*

Η τοποθέτηση αυτή επιτρέπει επίσης τον καλό αερισμό και την ψύξη των Φ/Β στοιχείων. Το κόστος είναι συνήθως μικρότερο σε σύγκριση με το κόστος που απαιτεί η τοποθέτηση σε κεκλιμένα στηρίγματα, αλλά μεγαλύτερο από το κόστος των μεθόδων που περιγράφονται στη συνέχεια. Αποτελεί μια καλή λύση, ειδικά σε ανακαινιζόμενα κτίρια, στα οποία δεν είναι δυνατόν να γίνουν μεγάλες αλλαγές στο εξωτερικό του κελύφους.

- Απευθείας τοποθέτηση

Στην περίπτωση αυτή, η εξωτερική επίστρωση του κτιρίου αντικαθίσταται από Φ/Β πλαίσια. Παραδείγματος χάριν, τα Φ/Β στοιχεία τοποθετούνται με τρόπο που το ένα να επικαλύπτει εν μέρει το άλλο, όπως ακριβώς τα κεραμίδια.



*Εικόνα 39: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο με απευθείας τοποθέτηση*

Το φωτοβολταϊκό κάλυμμα προστατεύει το κτήριο, αλλά δεν είναι πλήρως στεγανό και απαιτούνται μέτρα για τη στεγανοποίησή του. Το κόστος όμως αυτής της μεθόδου είναι σχετικά χαμηλό, γιατί απαιτεί ελάχιστα πρόσθετα υλικά. Επίσης, η υποκατάσταση

ορισμένων δομικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την εξωτερική κάλυψη του κελύφους του από τα Φ/Β πλαίσια μειώνει το συνολικό κόστος.

- Ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων στο κέλυφος του κτηρίου

Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην υποκατάσταση ολόκληρων τμημάτων του κτιριακού κελύφους από Φ/Β πλαίσια. Η καλή εφαρμογή αυτής της τεχνικής απαιτεί τη στεγανή σύνδεση των Φ/Β πλαισίων μεταξύ τους. Παραδείγματος χάριν, Φ/Β στοιχεία χωρίς μεταλλικό σκελετό τοποθετούνται σε στηρίγματα παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για τη στήριξη συμβατικών διαφανών οροφών ή προσόψεων.

Τα νέα τύπου ημιδιαφανή στοιχεία είναι δυνατόν να τοποθετηθούν στη θέση υαλοπινάκων ή αδιαφανών στοιχείων, παρέχοντας στο σχεδιαστή τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνικών φωτισμού και ηλιοπροστασίας παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενσωμάτωση των Φ/Β παρέχει δυνατότητες για σημαντική μείωση του κόστους, καθώς εξοικονομείται το κόστος των δομικών στοιχείων του κελύφους τα οποία αντικαθίστανται από τα Φ/Β στοιχεία.

### **2.5.6 Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών πλαισίων**

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά, παράλληλα, είτε ταυτόχρονα και με τους δυο τρόπους. Στην περίπτωση της εν σειρά σύνδεσης ο στόχος είναι να επιτευχθεί τάση μεγαλύτερη από την τάση που παρέχει κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο χωριστά. Έτσι ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του επόμενου και η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να συνδεθούν μεταξύ τους όλα. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που θα συνδεθούν σε σειρά πρέπει να έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκυκλώματος και το ίδιο ρεύμα μέγιστης ισχύος.

Η σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα που παρέχει κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο χωριστά. Η σύνδεση πραγματοποιείται συνδέοντας τον θετικό πόλο του ενός στοιχείου με τον θετικό πόλο του αλλού και ο αρνητικός πόλος με τον αρνητικό του αλλού. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να συνδεθούν μεταξύ τους όλα. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί ώστε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που θα συνδεθούν παράλληλα να έχουν την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος.

Με την μικτή σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορούμε να αυξήσουμε το ρεύμα και την τάση ταυτόχρονα, σε τιμές που δεν είναι διαθέσιμες από απλά φωτοβολταϊκά πλαίσια. Η μικτή σύνδεση στην ουσία είναι συνδυασμός της συνδέσεως σε σειρά και της παράλληλης σύνδεσης και κατά συνέπεια ισχύει ότι ισχύει σε αυτές τις συνδέσεις.

## Κεφάλαιο 3. Μελέτη διαξονικού συστήματος κινούμενης βάσης

### 3.1 Ηλιοστάτες

Οι ηλιοστάτες ή αλλιώς solar trackers χρησιμοποιούνται με σκοπό να ελαχιστοποιήσουν την γωνία μεταξύ του ηλιακού συλλέκτη και του ήλιου. Αυτή η ελαχιστοποίηση αυξάνει την παραγόμενη ενέργεια από την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Υπάρχει μια διαφορά της τάξεως του 20-30% από μια εγκατάσταση που χρησιμοποιεί σταθερές βάσεις και κατ' επέκταση συλλέκτες.

Κατά γενική ομολογία εγκαταστάσεις άνω του 1MW εγκαθίστανται με ηλιοστάτες. Το παραπάνω δεν σημαίνει ότι μικρότερες εφαρμογές δεν τους χρησιμοποιούν. Στην Στερεά Ελλάδα αλλά και στην Πελοπόννησο έχουμε πολλά πάρκα 100kW που εκμεταλλεύονται αυτήν την τεχνολογία. Βέβαια αν θα επιλεγούν ή όχι είναι θέμα λεπτομερής οικονομοτεχνικής ανάλυσης αλλά και γνώσης της εκάστοτε νομοθεσίας. Η απάντηση εάν θα πρέπει ή όχι να την χρησιμοποιήσουμε ποτέ δεν είναι μονοσήμαντη.

Οι ηλιοστάτες μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τους Απλούς ηλιοστάτες (standard trackers)
- Τους Συγκεντρωτικούς ηλιοστάτες (concentrated trackers)

Κάθε μια από αυτές τις κατηγορίες μπορεί να ταξινομηθεί σε επιπλέον κατηγορίες από τον αριθμό των αξόνων που μπορούν να κινηθούν, από την αρχιτεκτονική τους, από τον τρόπο με τον οποίο κινούνται, από τα θεμέλια τους κ.α.

Όσον αφορά τα Απλούς ηλιοστάτες, χρησιμοποιούνται ώστε να μεγιστοποιήσουν την δέσμευση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Μια έλλειψη ακρίβειας της τάξεως του 5% στην κατεύθυνση του πάνελ μπορεί να αποδώσει μέχρι και 99.6% σε τελικό αποτέλεσμα. Συνεπώς απλοί ηλιοστάτες υψηλής ακρίβειας δεν είναι αναγκαίοι.

Όσον αφορά τους Συγκεντρωτικούς ηλιοστάτες, χρησιμοποιούνται ώστε να μεγιστοποιήσουν τόσο την άμεση όσο και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Μια απώλεια στην ρύθμιση αυτών των συστημάτων κατά 0.1% προκαλεί πτώση της απόδοσης κατά 10% στο σύστημα, συνεπώς η υψηλή ακρίβεια σε αυτήν την περίπτωση είναι αναγκαία.

Είναι πολύ σύνηθες να περιοριζόμαστε σε μικρές εφαρμογές σε Απλούς ηλιοστάτες και να επιλέγουμε διαφορετικό είδος αξονικής κίνησης. Σε γενικές γραμμές μια ρύθμιση σε έναν άξονα αυξάνει την απόδοση σε σχέση με μια εγκατάσταση σταθερών βάσεων κατά 20% ενώ σε δύο άξονες κατά ένα επιπλέον 6%.

### **3.2 Φωτοβολταϊκά πάρκα με ηλιοστάτες (solar tracker)**

Στα φωτοβολταϊκά πάρκα πολλές φορές συνηθίζεται η χρήση συστημάτων παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται ηλιοστάτες ή trackers. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι η άμεση ακτινοβολία (direct irradiation) προσπίπτει στα πάνελ κάθετα με αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Υπάρχουν 3 βασικά είδη τέτοιων συστημάτων:

- Παρακολούθηση της τροχιάς στον κάθετο άξονα (vertical one axis tracker)-> (Μικρή αύξηση απόδοσης)
- Παρακολούθηση της τροχιάς στον οριζόντιο άξονα (horizontal one axis tracker) -> (Μεσαία αύξηση απόδοσης)
- Παρακολούθηση της τροχιάς και στους δύο άξονες (dual axis tracker) -> (Μέγιστη αύξηση απόδοσης)

Επίσης ανάλογα με την μέθοδο που δίνει κίνηση στους άξονες του συστήματος διακρίνονται σε:

- Υδραυλικά συστήματα κίνησης
- Ηλεκτρικά συστήματα κίνησης

Πλεονεκτήματα κινητών συστημάτων (ηλιοστατών)

Τα tracker πλεονεκτούν συνολικά στην απόδοση της επένδυσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και αποδίδουν μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη (όταν όμως ισχύουν και αρκετοί άλλοι παράμετροι)

Υπάρχει ένα αυξημένο κόστος γενικότερα στην κατασκευή και την εγκατάσταση αλλά οι ηλιοστάτες μπορούν να αυξήσουν αρκετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Φυσικά αυτό και μόνο το γεγονός αποτελεί βασικό κριτήριο για πολλούς επενδυτές που επιθυμούν το μέγιστο όφελος από την επένδυσή τους.

Η αύξηση αυτή μπορεί ξεκινάει από 10% (για συστήματα μονού άξονα) να φτάσει ακόμα και το 40% (αλλά για κάποιες μόνο εποχές του χρόνου). Ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας αύξησης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός συστήματος είναι το κρίσιμο μέγεθος που θα πρέπει να υπολογίσει κανείς για να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα.

Η χρήση των tracker πάντως συστήνεται μόνο σε περιοχές που έχουν υψηλό ποσοστό άμεσης ακτινοβολίας (όπως στην Ελλάδα).

Για αυτόν ακριβώς τον λόγο μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι στην Ισπανία και την Γερμανία (οι 2 περισσότερο ώριμες αγορές του κόσμου) όπου έχουν τοποθετηθεί πολλά φωτοβολταϊκά πάρκα χρησιμοποιούνται διαφορετικές πρακτικές όσον αφορά τα συστήματα στήριξης. Στην μεν συννεφιασμένη Γερμανία τα συντριπτικά περισσότερα εγκατεστημένα συστήματα είναι σταθερά, ενώ στην Ισπανία τα trackers έχουν κατακτήσει ένα πολύ σημαντικό μερίδιο της αγοράς.

Συμπερασματικά υπάρχουν αρκετοί παράμετροι που θα πρέπει κανείς να σταθμίσει για να προχωρήσει στην επιλογή ενός σταθερού συστήματος στήριξης σε σχέση με ένα σταθερό.

#### Μειονεκτήματα κινητών συστημάτων (ηλιοστατών)

Στα μειονεκτήματα των κινητών συστημάτων μπορούν να αναφερθούν:

- Το αυξημένο κόστος της επένδυσης.
- Η ύπαρξη κινητών μερών η οποία και αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος.
- Η ανάγκη για αυτοκατανάλωση κάποιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για την περιστροφή (κίνηση) των συστημάτων.
- Το αυξημένο κόστος συντήρησης.
- Η μεγαλύτερη ανάγκη για απομακρυσμένο (τηλεπικοινωνιακά) έλεγχο του συστήματος μιας και η πιθανότητα αστοχίας είναι μεγαλύτερη.
- Μεγαλύτερος κίνδυνος καταστροφής σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων.

Συμπερασματικά υπάρχουν αρκετοί παράμετροι που θα πρέπει κανείς να σταθμίσει για να προχωρήσει στην επιλογή ενός σταθερού συστήματος στήριξης σε σχέση με ένα σταθερό. Φωτογραφίες από φωτοβολταϊκά έργα σταθερά και κινητά.

### Πώληση/αγορά ενέργειας προς/από το ηλεκτρικό δίκτυο

Όταν μια εγκατάσταση χρησιμοποιεί το δίκτυο ως εναλλακτική πηγή τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση που η παραγωγή του τοπικού φβ σταθμού δεν επαρκεί κάποιες ώρες της ημέρας (ή γενικότερα δεν επαρκεί) για να τροφοδοτήσει την ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης.

Στις ποιο πάνω περιπτώσεις η εγκατάσταση μπορεί να απορροφά ενέργεια από το δίκτυο για να πληρώσει τις ενεργειακές τις ανάγκες. Επίσης μπορεί να συμβαίνει και το αντίστροφο. Δηλαδή όταν η ενέργεια που παράγεται από την μονάδα είναι περισσότερη από αυτήν που καταναλώνεται, η περίσσεια της ενέργειας μπορεί να διοχετεύεται (πωλείται) στο δίκτυο.

Ένα τέτοιο σύστημα θα πρέπει να διαθέτει δύο μετρητικά συστήματα, το ένα από τα οποία θα μετρά την εξερχόμενη ενέργεια και το άλλο την εισερχόμενη. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται και grid interactive.

### Χρήση του ηλεκτρικού δικτύου ως BACK-UP

Όταν μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποκλειστικό στόχο την απορρόφηση ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο γιατί η ποσότητα ενέργειας που παράγει εξ ορισμού δεν καλύπτει τις ενεργειακές τις ανάγκες. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται και grid back up. Ουσιαστικά σε αυτήν την περίπτωση ο σχεδιασμός του συστήματος γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι το σύνολο της ενέργειας που παράγεται θα απορροφάται από τις ηλεκτρικές καταναλώσεις της εγκατάστασης.

### 3.2.1 Ηλιοστάτες ενός άξονα (Single axis tracker)



*Εικόνα 40. Solar Tracker*

Έχουν ένα βαθμό ελευθερίας που λειτουργεί και ως άξονας περιστροφής. Μπορεί αυτή η κίνηση να είναι κατακόρυφη, οριζόντια ή υπό γωνία εξαρτάται από την εφαρμογή μας.

- Ηλιοστάτες ενός άξονα οριζόντιοι (Horizontal single axis tracker, HSAT)  
Είναι οριζόντιοι σε σχέση με το έδαφος. Εγκαταστάσεις με αυτές τις ρυθμίσεις είναι πολύ ευέλικτες και μας δίνουν δυνατότητα πύκνωσης των σειρών μας χωρίς σκιάσεις.

- Ηλιοστάτες ενός άξονα κατακόρυφοι (Vertical single axis tracker, VSAT)  
Είναι κατακόρυφοι σε σχέση με το έδαφος. Περιστρέφονται από την Ανατολή προς την Δύση κατά την διάρκεια της ημέρας. Η πύκνωση σε αυτήν την περίπτωση περιορίζεται.

- Ηλιοστάτες ενός άξονα υπό γωνία (Tilted single axis tracker, TSAT)  
Είναι υπό γωνία σε σχέση με το έδαφος. Όλες οι γωνίες μεταξύ κατακόρυφου και οριζοντίου που κινούνται σε ένα άξονα ονομάζονται έτσι. Εφαρμογές με τέτοια tracker χρησιμοποιούνται ώστε να περιορίσουν της ανεμοπιέσεις και το ύψος της κατασκευής.

### 3.2.2 Ηλιοστάτες δύο αξόνων (Dual axis tracker)



Εικόνα 41. Solar Tracker

Έχουν δύο βαθμούς ελευθερίας και έχουν την δυνατότητα να είναι πάντα κάθετοι στον ήλιο οποιαδήποτε εποχή και ώρα. Φυσικά η λειτουργία τους είναι πολύπλοκη και πολλές φορές αποτρεπτική για την εγκατάστασή τους.

Όπως φαίνεται και από τα παραπάνω η επιλογή του κατάλληλου συστήματος δεν είναι απλή υπόθεση. Εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες όπως:

- Το μέγεθος της κατασκευής
- Το επιτρεπόμενο ύψος
- Την τιμή πώλησης
- Την νομοθεσία
- Την θέση του πάρκου
- Τις συντεταγμένες της εγκατάστασης
- Τις καιρικές συνθήκες κ.α.

Οι ηλιοστάτες ενός άξονα συνήθως χρησιμοποιούνται για μεγάλες εγκαταστάσεις. Ο συνδυασμός των ενεργειακών βελτιώσεων, του χαμηλού κόστους και των τεχνολογικών δυσκολιών προκαλεί ένα σύνθετο τεχνικοοικονομικό πρόβλημα στις μεγάλες αυτές εγκαταστάσεις. Επίσης η δυνατή απογευματινή απόδοση είναι αναγκαία έτσι ώστε η

παραγωγή να ταιριάζει με τα peak της ζήτησης του δικτύου. Ακόμα η σχετική απλότητα στην κατασκευή και στην λειτουργία τους τα κάνει πολύ ελκυστικά.

Οι ηλιοστάτες δύο αξόνων χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρότερες εφαρμογές και όπου τα ύψη των κρατικών επιχορηγήσεων είναι μεγάλα για μέγιστες αποδόσεις. Ένα άλλο επίσης μεγάλο κομμάτι είναι η συντήρηση αυτών των συστημάτων που αυξάνει αρκετά το κόστος λειτουργίας και σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αποτρεπτικό για μια εγκατάσταση.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΕΝΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ TRACKER 100kWp

Βάση Στήριξης	Χάλυβας Γαλβανισμένος εν' θερμό
Διάμετρος Tracker	49 μ.
Άξονας Ανατολή-Δύση	67-294 Μοίρες
Άξονας Βορράς-Νότος	17-90 Μοίρες
Ανίχνευση Πορείας Ήλιου	Αστρονομικά Δεδομένα
Μέγιστη Επιφάνεια Φ/Β Πάνελ	712 τ.μ.
Μέγιστη Ισχύς Εγκατάστασης	Έως 150 kWp ανάλογα με την ισχύ, τις διαστάσεις των Φ/Β πάνελς και τη διάταξή τους σε μια ή δύο σειρές.
Μέγιστη Επιφάνεια Κάλυψης	Εκτέλεση έργου σε έκταση 1885 τ.μ.
Τρόπος Έδρασης	Θεμελίωση με οπλισμένους τσιμεντοπασσάλους. Η μέγιστη ποσότητα σκυροδέματος δεν υπερβαίνει τα 12κ.μ.
Κινητήρας	Τριφασικός/1 hp
Μετάδοση Κίνησης/Λειτουργία	Υδραυλικά
Έλεγχος Κίνησης	Μέσω PLC
Κατανάλωση Ενέργειας	Έως 60 kWh ανά Έτος
Βάρος χωρίς Πλαίσια & Θεμελίωση	1 Τόνος ανά 4 kWp
Μέγιστη Αντοχή Βάσης (ασφαλής θέση σε Ταχύτητα Ανέμου)	155 km/h
Ρύθμιση Οριζοντίωσης σε Ταχύτητα Ανέμου*	110 km/h
Ύψος από Έδαφος	1,70 μ. σε οριζόντια θέση - 2,40 μ. σε θέση λειτουργίας
Εγγύηση Η/Μ Εξοπλισμού	2, 5, 10, 15, 20 Έτη (Αντίστοιχα συμβόλαια υποστήριξης)
Εγγύηση για Διάβρωση Συνόλου Μεταλλικών Μερών	20 Έτη
Στατική Μελέτη	Σύμφωνα με πρότυπα EC3, Ε.Κ.Ο.Σ., Ε.Α.Κ. 2000

\* Υπό συνθήκες κανονικής ροής αέρα

### 3.3 Διαδικασία εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού

Η διαδικασία εγκατάστασης φωτοβολταϊκού σταθμού περιλαμβάνει τα παρακάτω βασικά βήματα :

- Μελέτη : Βελτιστοποίηση συνδυασμού φ/β γεννητριών και μετατροπέων δικτύου για τον συγκεκριμένο χώρο επένδυσης. Χωροταξική τοποθέτηση του υλικού για την βελτιστοποίηση της κάλυψης και την ελαχιστοποίηση των απωλειών. Ενεργειακή μελέτη απόδοσης του φ/β πάρκου. Σχέδια εγκατάστασης.

- Υλοποίηση κατασκευής βάσεως (συναρμολόγηση)

- Στήριξη φ/β γεννητριών επί των βάσεων

- Υλοποίηση καλωδίωσης (υλικό και εργασία τοποθέτησης) μεταξύ των φ/β και των μετατροπέων ισχύος. Επίσης διασύνδεση των μεταλλικών στηρίξεων με τη γείωση του πάρκου.

- Διατάξεις ζεύξης/απόζευξης φ/β (υλικό και εργασία τοποθέτησης).

- Πίνακες συνδέσεων των φ/β (υλικό και εργασία τοποθέτησης).

- Υλοποίηση καλωδίωσης (υλικό και εργασία) μεταξύ μετατροπέων ισχύος με κεντρικό πίνακα AC.

- Κεντρικός πίνακας AC (υλικό και εργασία τοποθέτησης). Σε περίπτωση όπου το φ/β πάρκο είναι ισχύος μεγαλύτερης των 100 kWp, η εγκατάσταση συμπεριλαμβάνει και τις διατάξεις ανύψωσης (Μ/Σ μέσης τάσης απόδοσης περίπου 90% με τους ανάλογους διακόπτες χαμηλής τάσης και μέσης τάσης εγκατεστημένους εντός οικίσκου).

Επιπλέον Κόστη :

Για την υλοποίηση ενός φ/β πάρκου υπάρχουν επιπλέον πηγές κόστους οι οποίες δεν είναι αναγνωρίσιμες άμεσα αλλά επηρεάζουν σε μικρό ή μεγάλο βαθμό την τελική κοστολόγηση.

Οι παράγοντες αυτοί είναι :

- Άδειες και προετοιμασία χαρτιών και φακέλων. Για την ολοκλήρωση των διαδικασιών ίσως απαιτηθούν κάποιες άδειες και πιθανά κάποιες μελέτες. Ειδικότερα εάν γίνει προσπάθεια ένταξης στον αναπτυξιακό νόμο, τότε θα υπάρχει και κάποιο κόστος

προετοιμασίας φακέλου. Συνήθως η πληρωμή του είναι εφόσον ενταχθεί το έργο στον αναπτυξιακό νόμο.

- Διαμόρφωση οικοπέδου. Χωματουργικές εργασίες καθώς και εργασίες υποδομής (βάσεις μπετό, σωληνώσεις για τις καλωδιώσεις, περιφράξεις, φρεάτια κ.α.).

- Γείωση. Το θέμα της γείωσης είναι σοβαρός παράγοντας κοστολογίου καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένο με την ποιότητα του εδάφους, οπότε δεν υπάρχει εξ αρχής κάποια ένδειξη κόστους.

- Αντικεραυνική προστασία. Όπως και με τη γείωση, η επιλογή της κατάλληλης αντικεραυνικής προστασίας επηρεάζεται άμεσα από το έδαφος (ποιότητα γείωσης) καθώς και από το συνολικό ποσό που διατίθεται ο εκάστοτε επενδυτής να διαθέσει για αυτό το σκοπό. Δεν υπάρχει παγιωμένο κοστολόγιο.

- Φύλαξη και επιτήρηση του χώρου. Με δεδομένο ότι το συνολικό κόστος επένδυσης είναι σε υψηλά επίπεδα θα πρέπει να γίνει μέριμνα από τον τελικό επενδυτή συστήματος φύλαξης και επιτήρησης της περιουσίας του.

- Σύνδεση με ΔΕΗ. Πλέον του σταθερού τιμολογίου που αφορά τους μετρητές.

Η ΔΕΗ έχει την επιλογή και τη δυνατότητα κοστολόγησης καθώς είναι ο μόνος υπεύθυνος να αποφανθεί για τη διαδικασία και το κόστος που πηγάζει από αυτήν.

### **3.4 Τεχνική περιγραφή φ/β πάρκου ισχύος 100 kWp**

Το φ/β πάρκο ισχύος 100 kWp υλοποιείται με χρήση συνολικά 570 φ/β γεννητριών, ονομαστικής ισχύος 175 Wp τεχνολογίας μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Η ονομαστική μέγιστη ισχύ του πάρκου είναι 99.75 kWp. Τα φ/β πλαίσια θα τοποθετηθούν επί μεταλλικής κατασκευής. Η εν λόγω μεταλλική κατασκευή είναι ειδικά σχεδιασμένη για φ/β πάρκα ανάλογης κλίμακας και δοκιμασμένη σε αρκετά φ/β έργα στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.

Σε κάθε μία μεταλλική κατασκευή θα τοποθετηθούν 33 φ/β γεννήτριες. Συνολικά θα απαιτηθούν 18 τέτοιες κατασκευές που αυτό έχει ως αποτέλεσμα 17 βάσεις με εγκατεστημένες 33 φ/β γεννήτριες ( $17 \cdot 33 = 561$ ) και μία βάση με εγκατεστημένες τις υπόλοιπες 9 φ/β γεννήτριες.

Για τη βέλτιστη απόδοση στην παραγόμενη ενέργεια και την ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω των αποστάσεων και του κόστους των καλωδίων συνεχούς ρεύματος,

προτείνεται η χρήση πολλών μετατροπέων δικτύου τύπου string αντί τη χρήση κεντρικών μετατροπέων δικτύου.

Η σύνδεση των φ/β γεννητριών γίνεται με κατάλληλους συνδετήρες εξωτερικού χώρου. Τα καλώδια που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι κατάλληλου τύπου για εφαρμογές φ/β. Η ομαδοποίηση των συστοιχιών και η τελική τους σύνδεση με τους μετατροπέες θα γίνει βάση της τελικής τοποθέτησης του υλικού.

Οι έξοδοι των μετατροπέων δικτύου θα ομαδοποιηθούν κατάλληλα και βάση του τελικού χώρου τοποθέτησης, που θα επιλεγεί κατάλληλα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών, θα οδηγηθούν προς τον κεντρικό πίνακα του πάρκου προς τον μετρητή ενέργειας και τελικά στο δίκτυο. Η σύνδεση στο δίκτυο θα γίνει σε χαμηλή τάση (400V AC). Η εγκατάσταση θα φέρει τις απαιτούμενες από τη ΔΕΗ διατάξεις ασφαλείας και προστασίας και θα εναρμονίζεται με τους Ελληνικούς και διεθνής κανονισμούς που απαιτούνται.

Ο χώρος που απαιτείται για την υλοποίηση του ανωτέρου φ/β πάρκου ανέρχεται περίπου σε 1.450 τετραγωνικά μέτρα. Σε αυτή την έκταση έχει γίνει η κατάλληλη πρόβλεψη για την αποφυγή του φαινομένου σκίασης των φ/β καθώς και των αναλόγων διαδρόμων για την επίσκεψη στα διάφορα τμήματα του πάρκου. Η απαιτούμενη έκταση μπορεί να μεταβληθεί για αποφυγή φαινομένων σκίασης λόγω φυσικών ή τεχνητών εμποδίων στην περιοχή (π.χ. κτίσματα σε όμορες περιοχές, δένδρα κ.α.).



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και ο ρόλος της Ελληνικής Βιομηχανίας – Έκδοση της Ένωσης Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας
2. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (10/04/2012) [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
3. Εργαστήριο Ενέργειας (10/04/2012) [www.energolab.gr](http://www.energolab.gr)
4. Οδηγός Αναζήτησης στο Διαδίκτυο [www.google.com.gr](http://www.google.com.gr)
5. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) (10/04/2012) [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr)
6. Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Κ. Καγκαράκη
7. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Από Ανανεώσιμες Πηγές, Μ.Π. Παπαδόπουλος, Εκδόσεις ΕΜΠ, 1997
8. Φωτοβολταϊκά Συστήματα Heliosystems (30/04/2012) [www.selasenergy.gr](http://www.selasenergy.gr)