

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ: ΤΕ.Γ (ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ)**  
**ΤΜΗΜΑ: ΓΕ.Μ.Υ.Π. (ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΩΝ**  
**ΠΟΡΩΝ)**



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ»**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ:**

**ΔΙΑΜΑΝΤΗ ΕΛΕΝΗ  
ΚΟΣΜΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΠΑΣΠΑΛΙΑΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ 2007**

# ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## «ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ»

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ:  
ΔΙΑΜΑΝΤΗ ΕΛΕΝΗ  
ΚΟΣΜΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
ΠΑΣΠΑΛΙΑΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

### ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΓΚΡΙΣΕΩΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

- 1) .....
- 2) .....
- 3) .....
- 4) .....

**Αφιερώνεται σε όσους  
βοήθησαν στη διεκπεραίωση της  
πτυχιακής μας εργασίας.**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>5</b>
-----------------------	----------

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

### **ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	7
1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	8
1.2.1. ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	9
1.3 ΑΠΟ ΤΙ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ;.....	10
1.4 ΟΙ ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ .....	12
1.5 ΟΙ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	16
1.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΥ ΡΙΣΚΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ) .....	17
1.7 ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΓΟΡΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ .....	18
1.8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	19
1.8.1. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΝΤΕΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ Φ/Β ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....	20
1.8.1 ΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.....	21

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ**

2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	22
2.2 Η ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	24
2.3 Η ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ .....	24
2.4 ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ) .....	26
2.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΓΙΑ ΗΛΙΑΚΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ .....	28

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

3.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	31
3.2. Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ .....	33
3.3. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ.....	34
3.4. Η ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ .....	36
3.5. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ.....	37
3.6. ΟΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	40

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ**

4.1 ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ.....	41
4.2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ .....	43
1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ.....	43
2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ.....	44
3. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	47
4. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....	48
5. ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....	51
6. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΡΥΘΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	52
7. ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟ ΖΕΥΓΩΣ.....	53
8. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	53
9. ΟΔΗΓΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΙΣΗΣ.....	54
10. ΣΥΣΓΚΡΙΣΕΙΣ.....	54
11. ΠΡΟΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΣ.....	56
4.2. Το ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	57
1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	57
2. ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ.....	61
3. ΜΠΑΤΑΡΙΑ.....	62
4. ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗΣ.....	64
5. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ-ΕΝΑΛΛΑΣΟΜΕΝΟΥ.....	68
4.3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΥΤΟΤΕΛΟΥΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	71
4.4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΞΟΧΙΚΟΥ ΣΠΙΤΙΟΥ.....	80

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>85</b>
--------------------------	-----------

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

Η σύγχρονη τεχνολογία λοιπόν μας έδωσε τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας με τη χρήση ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων (Φ/Β), που η λειτουργία τους στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα φωτοβολταϊκά είναι μια από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας, ο οποίος θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον ελεύθερης αγοράς.

Τα μικρά ευέλικτα, συστήματα που μπορούν να εφαρμόσουν σε επίπεδο κατοικίας, εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής αναμένει να κατακτήσουν σημαντικό μερίδιο της αγοράς τα χρόνια που έρχονται.

Πιστεύω ότι η εργασία αυτή, η οποία απευθύνεται σε ένα ευρύ κοινό, θα ικανοποιήσει τον αναγνώστη και θα τον εισάγει στο χώρο των (Φ/Β) συστημάτων καθώς και στον τρόπο μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Η εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια. Το πρώτο αναφέρεται στην ηλιακή ενέργεια και τα φωτοβολταϊκά συστήματα γενικά. Τονίζει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των (Φ/Β) συστημάτων, τους βασικούς τύπους αυτών και τις εφαρμογές τους. Παρουσιάζει ακόμα τις βασικές τεχνολογίες παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων και αναλύει το επιχειρηματικό ρίσκο που αναλαμβάνει κάποιος όταν επενδύσει φωτοβολταϊκά συστήματα. Τέλος αναφέρεται στη διεθνή αγορά των (Φ/Β) συστημάτων, στις εφαρμογές αυτών στην Ελλάδα και στους παράγοντες που ευνοούν την ανάπτυξη τους στον ελλαδικό χώρο.

Το δεύτερο κεφάλαιο ασχολείται διεξοδικά με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Αρχικά αναλύει το πώς απορροφάτε η ακτινοβολία στα φωτοβολταϊκά στοιχεία και την δημιουργία φωτορεύματος. Έπειτα παρουσιάζει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων και την αποδοτική λειτουργία τους σε σταθερές και μεταβαλλόμενες συνθήκες και εντέλει προβαίνει στην αξιολόγηση των ημιαγωγών για ηλεκτρικές φωτοβολταϊκές εφαρμογές.

Το τρίτο κεφάλαιο αναλύει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Μελετά την απόδοση, την επίδραση της θερμοκρασίας και την ρύπανση και την ισχύ Αιχμής του. Αναφέρεται ακόμα στα φωτοβολταϊκά πάνελ και συστοιχίες καθώς και στις απώλειες των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Τέλος, το τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο περιλαμβάνει την αναλυτική παρουσίαση δυο παραδειγμάτων, το πρώτο είναι για την ηλεκτροδότηση και την ανάπτυξη των οικιακών, κοινοτικών παραγωγικών και άλλων δραστηριοτήτων ενός απομονωμένου χωριού και το δεύτερο για την ηλεκτροδότηση ενός εξοχικού σπιτιού.

Ολοκληρώνοντας την εισαγωγή θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όσους μας βοήθησαν να φέρουμε εις πέρας την πτυχιακή μας εργασία και ιδιαίτερα τον καθηγητή μας κ. Πασπαριάρη Κωνσταντίνο.

## Κεφάλαιο 1ο

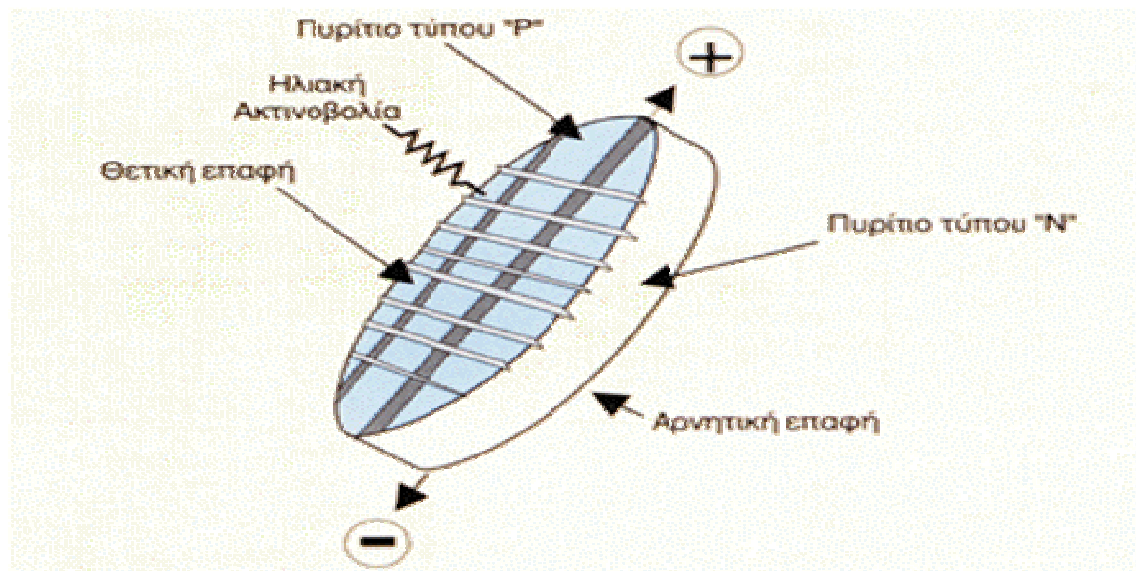
# ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 1.1 Γενικά

**Η** ύπαρξη ζωής στη γη οφείλεται στον ήλιο. Τα φυτά , για την φωτοσύνθεση , χρειάζονται ηλιακό φως . Τα φυτοφάγα ζώα τρέφονται με φυτά , τα σαρκοφάγα με φυτοφάγα , άρα όλα εξαρτώνται από τον ήλιο . Ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία , πλαίσια ηλιακών κυψελίδων και γιγαντιαία κάτοπτρα . Έτσι θερμαίνεται νερό και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια .

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας έχει πάρα πολλά θετικά στοιχεία, γιατί θα υπάρχει για πάντα και δεν μολύνει καθόλου την ατμόσφαιρα της γης . Η ενέργεια που στέλνει στη γη ο ήλιος , ισοδυναμεί με την ενέργεια που θα έπρεπε να παράγουν περισσότεροι από 150 εκατομμύρια μεγάλοι σταθμοί παραγωγής.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο πρωτοανακαλύφθηκε το 1839 αλλά το πρώτο ηλιακό ηλεκτρικό στοιχείο κατασκευάστηκε το 1954 στα εργαστήρια Μπέλ στις Ηνωμένες Πολιτείες για διαστημικές εφαρμογές.



Τα φωτοβολταϊκά (Φ/Β) συστήματα έχουν την δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που

διαχειρίζονται την ηλιακή ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει και ένα σύστημα το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες. Μια τυπική Φ/Β συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν ποσοστό 14% περίπου της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Καθώς το κόστος των Φ/Β πλαισίων συνεχίζει να μειώνεται, όλο και περισσότερα είδη εφαρμογών με Φ/β συστήματα γίνονται οικονομικά ανταγωνιστικά, έναντι της χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας. Παράλληλα, η αυξανόμενη ευαισθησία της κοινής γνώμης, λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής και χρήσης ενέργειας, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα των Φ/β συστημάτων, έχει σαν αποτέλεσμα αυτά να αποτελούν μια από τις πιο πολλά υποσχόμενες ενεργειακές τεχνολογίες. Το σοβαρότερο εμπόδιο, αυτή τη στιγμή, για τη σε μεγάλη κλίμακα διείσδυση των Φ/β θεωρείται μόνο το κόστος.

## 1.2 Χαρακτηριστικά των φ/β συστημάτων

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/β συστημάτων, που τα διακρίνουν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι:

1. Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα, π.χ σε επίπεδο μερικών δεκάδων Watt ή και mWatt
2. Είναι εύχρηστα. Σε μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες.
3. Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον
4. Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα)
5. Είναι βαθμωτά δηλαδή μπορούν να επεκταθούν ανά πάσα στιγμή για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών.
6. Έχουν αθόρυβη λειτουργία και μηδενικές εκπομπές ρύπων
7. Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές
8. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία κατά τη λειτουργία. Οι εγγυήσεις που δίνονται από τους καταναλωτές για τις Φ/Β γεννήτριες είναι περισσότερο από 25 χρόνια καλής λειτουργίας
9. Υψηλό κόστος επένδυσης.

Η ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη, όπου και να βρίσκεται αυτός είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των Φ/β συστημάτων.

Το κόστος των Φ/β πλαισίων είναι σήμερα το μεγαλύτερο μειονέκτημα των Φ/β συστημάτων. Όμως πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχουν σήμερα αρκετοί χρήστες για τους οποίους το Φ/β σύστημα είναι η πλέον ενδεδειγμένη οικονομική λύση.



Πρέπει να τονιστεί ότι η Φ/β τεχνολογία , όπως άλλωστε και οι περισσότερες τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, παρουσιάζει ιδιαιτερότητες που κάνουν δύσκολη τη σύγκριση της με τις συμβατικές τεχνολογίες π.χ :

Δεν υπάρχει σαφής τρόπος αποτίμησης του περιβαλλοντικού κόστους των συμβατικών τεχνολογιών. Το κόστος της ενέργειας από Φ/β συστήματα εξαρτάται πάρα πολύ από το κόστος του χρήματος.

### 1.2.1. Κόστος λειτουργίας

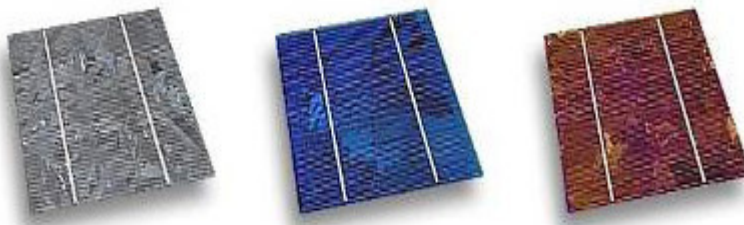
Μία τυπική Φ/β συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία , μετατρέπουν ένα 10% περίπου της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Επιπλέον , η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα , αξιόπιστα και δίχως καμία επιβάρυνση στο περιβάλλον. Δεδομένου ότι στην Ελλάδα η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι περίπου 1800 KWh ανά τετραγωνικό μέτρο το έτος , ένα Φ/β σύστημα 3 KWp εγκατεστημένο σε οροφή κατοικίας στη Κρήτη θα μπορούσε να παρέχει 4700 KWh/έτος , όση περίπου και η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μιας τετραμελούς οικογένειας . Το κόστος ενός αυτόνομου οικιακού συστήματος με αποθήκευση σε μπαταρίες , είναι της τάξης των 90 με 100 χιλιάδες ευρώ /KWp συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ.



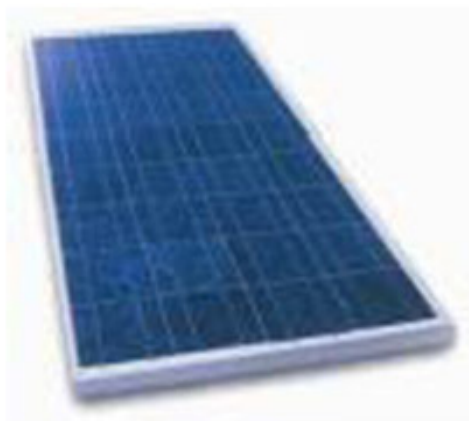
Επίσης από υπολογισμούς του ΚΑΠΕ φαίνεται ότι το επιβεβαιωμένο κόστος ενέργειας από Φ/β κυμαίνεται , από 0,50 ευρώ/KWh (διασυνδεδεμένο σύστημα ) έως 0,60 ευρώ/KWh (Αυτόνομο σύστημα AC) για Φ/β συστήματα τάξεως μεγέθους ολίγων KWp.

### 1.3 Από τι αποτελείται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα;

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



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



**Φωτοβολταϊκό πάνελο:** Ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε Φ/Β εγκατάσταση (PV panel).

**Φωτοβολταϊκή συστοιχία:** Μια ομάδα από Φ/Β πλαίσια ή πάνελα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης (PV array).



**Φωτοβολταϊκή γεννήτρια:** Τα Φ/Β πλαίσια από (συνήθως 30 έως 36) ερμητικά σφραγισμένα Φ/Β στοιχεία μέσα σε ειδική διαφανή πλαστική ύλη, των

οποίων η μπροστινή όψη προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί. Η κατασκευή αυτή που δεν ξεπερνά σε πάχος τα 4 με 5 χιλιοστά, τοποθετείται συνήθως σε πλαίσιο αλουμινίου. Τα στοιχεία εσωτερικά είναι συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα με την εφαρμογή.

**Κατασκευή στήριξης:** Τα Φ/Β πλαίσια προκειμένου να τοποθετηθούν / προσαρμοστούν στο σημείο εγκατάστασής τους εφοδιάζονται με ειδικές κατασκευές. Οι κατασκευές αυτές στήριξης πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια, όπως αντοχή στα φορτία που προέρχονται από 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.

**Συστήματα μετατροπής ισχύος (inverters):** Τα Φ/Β πλαίσια παράγουν συνεχές ρεύμα ενώ τα φορτία καταναλώνουν εναλλασσόμενο ρεύμα. Για την μετατροπή της ισχύος στα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται αντιστροφείς (inverters) συνεχούς σε εναλλασσόμενο (DC/AC). Σκοπός των συστημάτων μετατροπής ισχύος είναι η κατάλληλη ρύθμιση των χαρακτηριστικών του παραγόμενου ρεύματος, ώστε να καταστεί δυνατή η τροφοδοσία των διάφορων καταναλώσεων. Τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιλογή του αντιστροφέα είναι:

- ο αξιοπιστία
- ο ενεργειακή απόδοση
- οι αρμονικές παραμορφώσεις
- ο το κόστος
- ο η συμβατότητα με τις τεχνικές απαιτήσεις της ΔΕΗ

Σε ένα τυπικό Φ/Β σύστημα ο αντιστροφέας (ή αντιστροφείς) τοποθετείται σε απόσταση από τα Φ/Β πλαίσια σε στεγασμένο χώρο. Στις περιπτώσεις αυτές οι καλωδιώσεις είναι συνεχούς ρεύματος.

**Ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου προστασίας και λοιπά στοιχεία:** Το Φ/Β σύστημα συμπληρώνουν οι ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου, η γείωση, οι καλωδιώσεις (συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος) και σχετικό ηλεκτρολογικό

υλικό, οι διατάξεις ασφαλείας, ο μετρητής ηλεκτρικής ενέργειας και σύστημα παρακολούθησης της λειτουργίας του Φ/Β συστήματος.

Η ΔΕΗ απαιτεί την ύπαρξη προστασίας απόζευξης του σταθμού μέσω διατάξεων του αντιστροφέα, ώστε ο σταθμός να αποσυνδέεται τόσο σε περίπτωση έλλειψης τάσης από το δίκτυο της ΔΕΗ, (προς αποφυγή του φαινομένου της νησιοδότησης) όσο και στην περίπτωση που η τάση και η συχνότητα αποκλίνουν των ακολούθων ορίων:

ο Τάση: από +15% έως -20% επί της ονομαστικής (230V)

ο Συχνότητα:  $\pm 0,5\text{Hz}$  της ονομαστικής (50Hz)

Σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων ο αντιστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις:

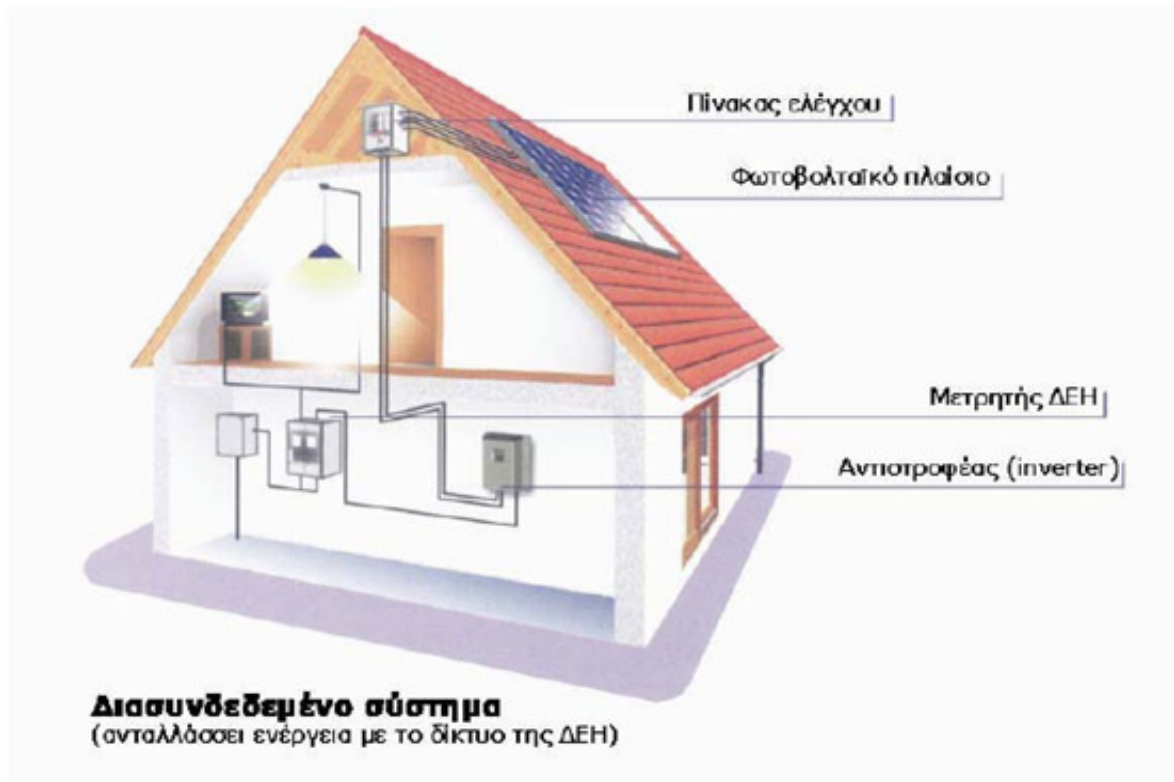
ο Θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5sec

ο Επανάζευξη του αντιστροφέα μετά από 3min

Εάν κατά την λειτουργία του Φ/Β σταθμού διαπιστωθούν προβλήματα αρμονικών, έγχυσης συνεχούς τάσεως στο δίκτυο κλπ, θα πρέπει ο παραγωγός να λάβει τα κατάλληλα μέτρα που θα του υποδείξει η ΔΕΗ.

#### **1.4 Οι βασικοί τύποι Φ/Β συστημάτων και εφαρμογές**

**Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα.** Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ' όσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια. Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Επίσης στη περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης.



**Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.** Σήμερα υπάρχει πληθώρα μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κεραιές τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα. Βέβαια υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, ενώ σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσομένου ρεύματος θα πρέπει να υπάρχει ένας αντιστροφέας στο σύστημα ο οποίος θα μετατρέπει την συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση. Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή

συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, κ.λ.π.) τότε χαρακτηρίζονται σαν υβριδικά.



### Εφαρμογές:

Τα Φ/β συστήματα απευθύνονται σε περιοχές εφαρμογών, όπου το σχετικά υψηλό κόστος τους δεν αποτελεί σημαντικό εμπόδιο. Οι εφαρμογές αυτές συνήθως χαρακτηρίζονται από:

- χαμηλές ενεργειακές ανάγκες
- έλλειψη εναλλακτικών τρόπων παροχής ενέργειας ή, όπου υπάρχουν, αυτοί είναι πολύ ακριβοί (π.χ. σύνδεση με ένα απομακρυσμένο δίκτυο)
- απαιτήσεις υψηλής αξιοπιστίας ή και χαμηλές ανάγκες συντήρησης

Σαν κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φ/Β συστημάτων μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

#### **α) Καταναλωτικά προϊόντα (0.001-100Wp\*)**

Τα συστήματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούνται σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο ή σε τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής, κλπ., για την εξυπηρέτηση αναγκών φωτισμού και ψύξης και για προϊόντα όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φανοί κ.ά.

---

\*Wp Watt peak = Βάτ αιχμής

## β) Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100Wp –200KWp)

Στην κατηγορία αυτή συγκαταλέγονται συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για κατοικίες και μικρούς οικισμούς που δεν είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Ακόμη χρησιμοποιούνται για :

- αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού
- φωτισμό (δρόμων , πάρκων , αεροδρομίων)
- συστήματα τηλεπικοινωνιών , τηλεμετρήσεων και συναγερμού
- συστήματα σηματοδότησης (οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας)
- ψύξη (αγροτικών προϊόντων , φαρμάκων κ.λπ.)

## γ) Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο ( 200 KWp - αρκετά MWp)


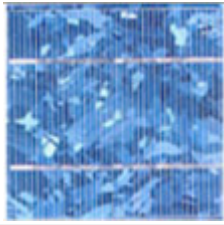
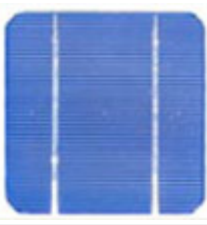

Στην κατηγορία αυτή, που σύμφωνα με τις συμβατικές θεωρήσεις προς το παρόν δεν αξιολογείται σαν οικονομικά βιώσιμη , διακρίνονται δύο κατηγορίες συστημάτων.

Φ/Β συστήματα μεγέθους έως μερικών εκατοντάδων KWp που τροφοδοτούν κατοικίες, συγκροτήματα κατοικιών ή άλλα κτίρια και όπου η τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια τροφοδοτείται (πωλείται) προς το δίκτυο

- Φ/Β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο
- Για τα Φ/Β συστήματα που αναρτώνται σε κτίρια (σε προσόψεις, οροφές , κλπ.), σε σύνδεση με το δίκτυο, τελευταία έχει εκδηλωθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον . Τα οφέλη που προκύπτουν είναι:
- συγχρονισμός Ψυκτικών φορτίων κτιρίων με μέγιστη παραγόμενη ισχύ από Φ/Β
- αποφυγή χρήσης γης
- αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Επίσης, γίνεται προσπάθεια για χρήση των Φ/Β και ως δομικών στοιχείων στα κτίρια, αυξάνοντας έτσι τα οικονομικά οφέλη, εκτός από αυτά που ήδη αναφέρθηκαν.



## 1.5 Οι βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων

Συγκριτικός Πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών				
Τύπος	Thin Film	Πολυκρυσταλικά	Μονοκρυσταλικά	Υβριδικά
Εμφάνιση				
Απόδοση	<b>Αμορφα: 5~7%</b> <b>CIS: 7~10%</b> <b>CdTe: 8~9%</b>	<b>11~14%</b>	<b>13~16%</b>	<b>16~17%</b>
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	<b>10~20 m<sup>2</sup></b>	<b>8~10 m<sup>2</sup></b>	<b>7~8 m<sup>2</sup></b>	<b>6~7 m<sup>2</sup></b>
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp)	<b>1300~1400</b>	<b>1300</b>	<b>1300</b>	<b>1350</b>
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m <sup>2</sup> )	<b>65~140</b>	<b>130~160</b>	<b>160~185</b>	<b>190~225</b>
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> ανά kWp)	<b>1380~1485</b>	<b>1380</b>	<b>1380</b>	<b>1435</b>



## **1.6 Ανάλυση επιχειρηματικού ρίσκου φωτοβολταϊκών (πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα)**

Εν συντομία ο παραπάνω πίνακας αποτελεί μια πλήρη ανάλυση του επιχειρηματικού ρίσκου της εγκατάστασης και εκμετάλλευσης φωτοβολταϊκών πάρκων. Η ανάλυση αυτή παρουσιάζει όλες της πτυχές που πρέπει να λάβει υπ' όψιν του ο επενδυτής πριν πάρει την απόφαση να μπει ενεργά στον χώρο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

### **Strength- Δυνατά σημεία**

- Innovative - καινοτόμο
- Α.Π.Ε
- Κλίμα (θερμ.\ ηλιοφ.)
- Πεπατημένη οδός (ηλιακοί θερμ. )
- Μεγάλη Ηλιοφάνεια Ελλαδικού χώρου
- Μεγάλη ενεργειακή απόδοση
- Εγκατάσταση παντού
- Πλήθος επιχειρήσεων (μεγ. Καταναλ. ξεν.)
- Πληθώρα ανεκμετάλλευτων αγροτεμαχίων
- Νέος Αναπτυξιακός νόμος
- 20ετές συμβόλαιο
- Ελάχιστα έξοδα συντήρησης
- Προνομιακή τιμή αγοράς από ΔΕΣΜΗΕ
- Διεθνείς συνθήκες και πρόστιμα
- Δεσμεύσεις κυβέρνησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση για επίτευξη ποσοστών 20% από ΑΠΕ

### **Weakness- Αδύνατα σημεία**

- Μεγάλο κόστος
- Πιθανότητα απόρριψης από Ρ.Α.Ε
- Έλλειψη τεχνογνωσίας του επενδυτή
- Πλήθος διαδικασιών για την ολοκλήρωση του έργου
- Χωράφι υψηλής αποδοτικότητας
- Διαφθορά
- Χρόνος αποπεράτωσης έργου

## **Opportunities -Δυνατότητες**

- Μικρό επιχειρηματικό ρίσκο
- Μόνιμο εισόδημα για 20 χρόνια
- Δυνατότητα απόσβεσης σε 5-7 χρόνια
- Δυνατότητα επέκτασης
- Φορολογικές απαλλαγές
- Επιδότηση επιτοκίου

## **Threats Απειλές - κίνδυνοι**

- Πολλοί "Ειδικοί". Φαινόμενο Χρηματιστηρίου
- Κακή χωροταξική μελέτη
- Κακή ενεργειακή μελέτη
- Κακή επιλογή υλικών
- Λάθος κατάθεση φακέλου Αναπτυξιακού
- Μη σωστή διαχείριση του Αναπτυξιακού και καθυστέρηση εκταμίευσης του ποσού
- Εμπλοκή τραπεζών
- "Κρυφά" έξοδα
- Κακόβουλες πράξεις
- Φυσικές καταστροφές

### **1.7 Διεθνής αγορά Φ/Β συστημάτων**

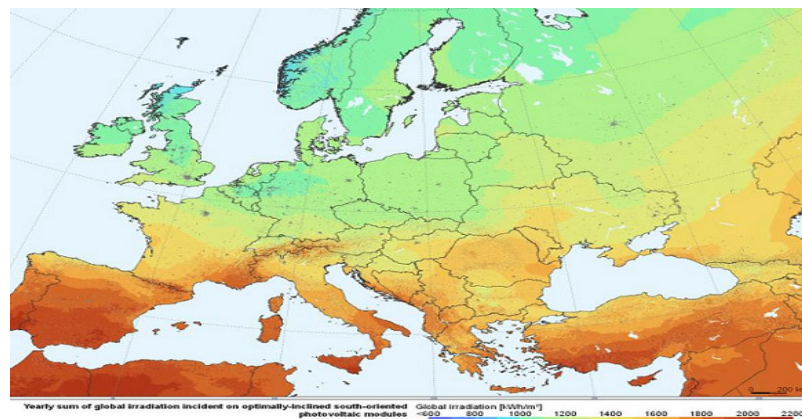
Η αγορά των Φ/Β στην Ευρώπη είναι σημαντική κυρίως στις χώρες Γερμανία, Ολλανδία, Ισπανία και Ιταλία. Ιδιαίτερα στην Γερμανία, το αρχικό Εθνικό Πρόγραμμα των 100 Φ/Β στεγών (1990) και μετέπειτα των 100.000 Φ/Β στεγών (1999) σε συνδυασμό με επιδότηση της παραγομένης ηλιακής kwh, δημιούργησαν ιδιαίτερη ανάπτυξη τόσο στις εφαρμογές όσο και στη βιομηχανία. Το συνολικό μέγεθος της Ευρωπαϊκής αγοράς στο τέλος του έτους 2003 ήταν περίπου 561 MWp από τα οποία το 71%, δηλαδή 398 MWp είχαν εγκατασταθεί στη Γερμανία.

Από την ανάλυση των παραπάνω μεγεθών της Ευρωπαϊκής αγοράς, προκύπτει ότι δημιουργήθηκαν 15.000 άμεσες θέσεις εργασίας (πολλές από τις οποίες είναι υψηλής τεχνολογίας απασχόληση), ο ετήσιος κύκλος εργασιών ήταν 1 δις Ευρώ, τη διετία 2002-2003 καταγράφηκε αύξηση της αγοράς κατά 33% και έγιναν νέες επενδύσεις σε έρευνα και καινοτόμα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας.

Σήμερα η μεγαλύτερα αγορά Φ/Β στον κόσμο είναι αυτή της Ιαπωνίας. Το έτος 2003, οι Ιαπωνικές εταιρίες Φ/Β γεννητριών παρήγαγαν περίπου 400 MWp, από τα οποία τα 250 MWp εγκαταστάθηκαν στη χώρα και τα υπόλοιπα εξήχθησαν κυρίως στην Ευρώπη και τις ΗΠΑ.

Καθώς το κόστος των Φ/Β συστημάτων συνεχίζει να μειώνεται, όλο και περισσότερες Φ/Β εφαρμογές γίνονται οικονομικά ανταγωνιστικές, σε σύγκριση με την παραγωγή ενέργειας από συμβατικές μορφές. Παράλληλα, η αυξανόμενη ευαισθησία της κοινής γνώμης, λόγω των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από της συμβατικές μεθόδους παραγωγής και χρήσης ενέργειας, σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων, έχει σαν αποτέλεσμα αυτά να αποτελούν μια από τις περισσότερα υποσχόμενες ενεργειακές αναλογίες.

Όπως έχει προκύψει από τη διεθνή εμπειρία, το μεγάλο μερίδιο της αγοράς των Φ/Β συστημάτων στις ανεπτυγμένες χώρες βρίσκεται σε αστικά κέντρα, σε εγκαταστάσεις όπως κτίρια, συμπλέγματα οικιών, δημοσιά κτίρια, εξωτερικοί χώροι κλπ.



(Ευρωπαϊκός χάρτης ηλιοφάνειας σε ιδανικά προσανατολισμένα φωτοβολταϊκά)

## 1.8 Εφαρμογές Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα

Οι κυρίες εφαρμογές Φ/Β συστημάτων στον Ελλαδικό χώρο είναι οι εγκαταστάσεις της ΔΕΗ στα νησιά (Κύθνος, Άρκοι, Αντικύθηρα, Γαύδος, Σίφνος κλπ.), οι ηλεκτροδότηση του συνόλου του φαρικού δικτύου από την αντίστοιχη υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού, αναμεταδότες σταθερής και κινητής τηλεφωνίας, καθώς και διάφορες εγκαταστάσεις στα πλαίσια πιλοτικών εφαρμογών μέσω επιδοτούμενων έργων μέσω της ΕΕ, αλλά και του ΕΠΑΝ.

Η εγκατεστημένη ισχύς στην Ελλάδα εκτιμάται σε 2,2 MWp στο τέλος του έτους 2003, το 50% των οποίων είναι Φ/Β εγκαταστάσεις διασυνδεδεμένες στο δίκτυο. Η ετησία παραγωγή ενεργείας από τους Φ/Β κατά το 2002 και 2003 ήταν 2,3 GWh και 2,7 GWh αντίστοιχα. Το εκτιμημένο δυναμικό της βιομηχανίας Φ/Β στη Ελλάδα είναι 60-70 άτομα και ο ετήσιος κύκλος εργασιών είναι της τάξης των 3.000.000 ευρώ. Αντίστοιχα, ο ετήσιος εθνικός προϋπολογισμός για E&A σε Φ/Β τεχνολογίες εκτιμάται σε 2,2 εκατομμύρια ευρώ.

Η δυνητική αγορά των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα αλλά και η παραγωγική δραστηριότητα είναι αντίστοιχη της αγοράς των ηλιακών συλλεκτών ζεστού νερού. Η ανάπτυξη της αγοράς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προώθηση βέλτιστων μέτρων και κινήτρων εκ μέρους της πολιτείας.

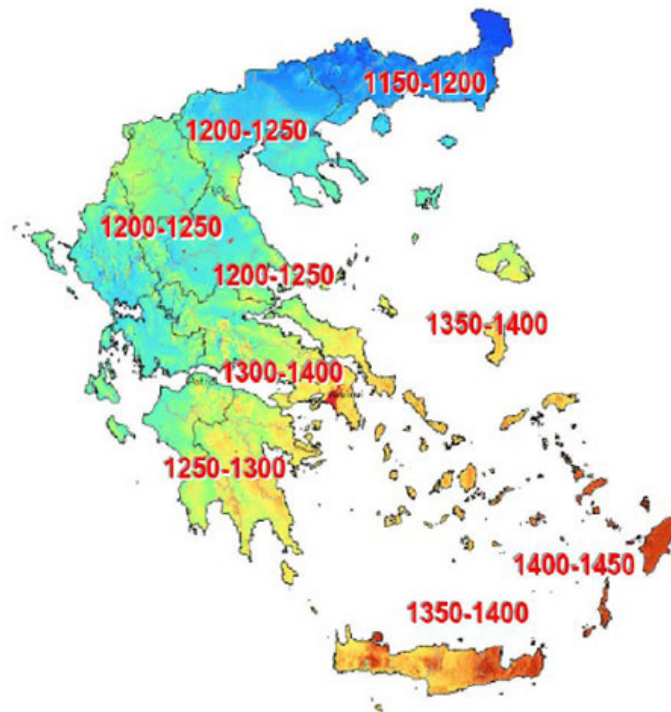
### **1.8.1 Παράγοντες που συντελούν στην ανάπτυξη Φ/Β στην Ελλάδα**

Η Ελλάδα παρουσιάζει αξιοσημείωτες προϋποθέσεις για ανάπτυξη και εφαρμογή των Φ/Β συστημάτων. Οι λόγοι για προώθηση της Φ/Β τεχνολογίας, της ερευνάς και τον εφαρμογών στη Ελλάδα συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Αξιοποίηση μιας εγχωρίας και ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που είναι σε αφθονία, με συμβολή στην ασφάλεια παροχής ενέργειας.
- Υποστήριξη του τουριστικού τομέα για ανάπτυξη φιλικής προς το περιβάλλον και οικολογικό τουρισμό, ιδιαίτερα στα νησιά. Η ενεργειακή εξάρτηση των νησιωτικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από το πετρέλαιο και το τεράστιο κόστος μεταφοράς της, έχουν άμεσο αρνητικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζώνης των κατοίκων, στην τουριστική ανάπτυξη και το κόστος παραγωγής ενέργειας, το οποίο τελικά χρεώνεται η ΔΕΗ.
- Ενίσχυση του ηλεκτρικού δικτύου της ώρες των μεσημβρινών αιχμών, όπου τα Φ/Β παράγουν το μεγάλο μέρος ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο που παρατηρείται έλλειψη ή πολύ υψηλό κόστος ενέργειας.
- Μείωση των απωλειών του δικτύου, με την παραγωγή ενέργειας στον τόπο της κατανάλωσης, ελάφρυνση των γραμμών και χρονική μετάθεση των επενδύσεων στο δίκτυο.
- Περιορισμός του ρυθμού ανάπτυξης νέων κεντρικών σταθμών ισχύος συμβατικής τεχνολογίας. Συμβολή στη μείωση των διακοπών ηλεκτροδότησης λόγω υπερφόρτωσης του δικτύου ΔΕΗ.
- Σταδιακή απεξάρτηση από πετρέλαιο και κάθε μορφής εισαγομένη ενέργεια και εξασφάλιση της παροχής ενέργειας μέσω αποκεντρωμένης παραγωγής.
- Κοινωνική προσφορά του παραγωγού / καταναλωτή και συμβολή στην αειφόρο ανάπτυξη, την ποιότητα ζωής και προστασία του περιβάλλοντος στα αστικά κέντρα και την περιφέρεια.
- Ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων με σημαντική συμβολή σε αναπτυξιακούς και κοινωνικούς στόχους.

- Ανάπτυξη της Ελληνικής Βιομηχανικής Φ/Β συστημάτων με άριστες προοπτικές και πλήρη κάλυψη της Ελληνικής αγοράς και εξαγωγικές δραστηριότητες. Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ανάπτυξη Ελληνικής τεχνογνωσίας. Εκτίμηση 2004: 2 βιομηχανίες για κατασκευή Φ/Β, 3 ΜΜΕ για την ανάπτυξη ηλεκτρονικών ισχύος και 3 μονάδες παραγωγής μπαταριών για Φ/Β εφαρμογές.
- Προώθηση των στόχων της ΕΕ και του Kyoto σχετικά με τη μείωση των αέριων ρύπων και τη διείσδυση των ΑΠΕ στη συνολική ηλεκτροπαραγωγή, σε ποσοστό 20 % έως το 2010.

### 1.8.2 Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας



(Ελλαδικός χάρτης ηλιοφάνειας σε ιδανικά προσανατολισμένα φωτοβολταϊκά)

Ένα Φ/Β σύστημα στην Ελλάδα εν γένει παράγει ετησίως 1100-1500 KWH. Εννοείται ότι στις νότιες και στις πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας μας, ένα Φ/Β παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ότι στις βόρειες. Για παραδειγμα, αναφέρουμε ότι ένα Φ/Β σύστημα στην Αθήνα αποδίδει 1300-1400 KWH/έτος/KW, στη Θεσσαλονίκη 1150-1250 KWH/έτος/KW, στην Κρητη ή Ρόδο 1350-1500 KWH/έτος/KW και στην Ζακυνθο (άρα και στην στη Κεφαλλονιά 1350-1450 KWH/έτος/KW.

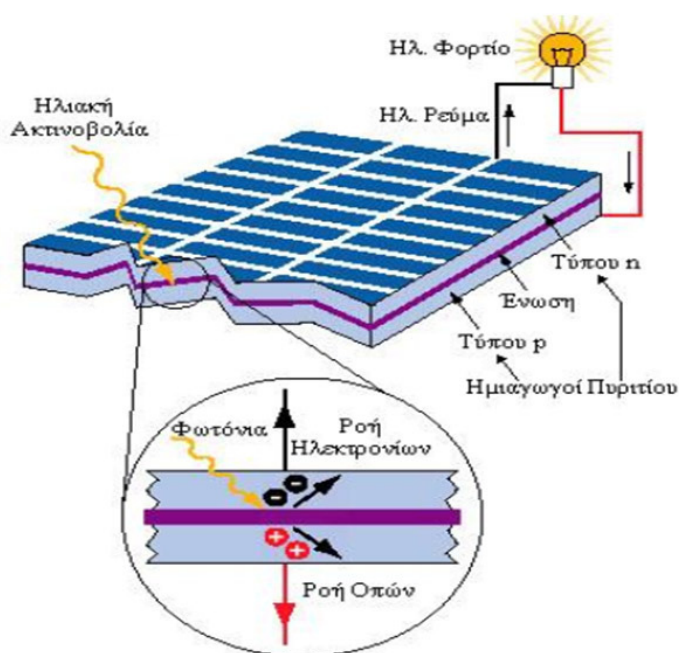
## Κεφάλαιο 2ο

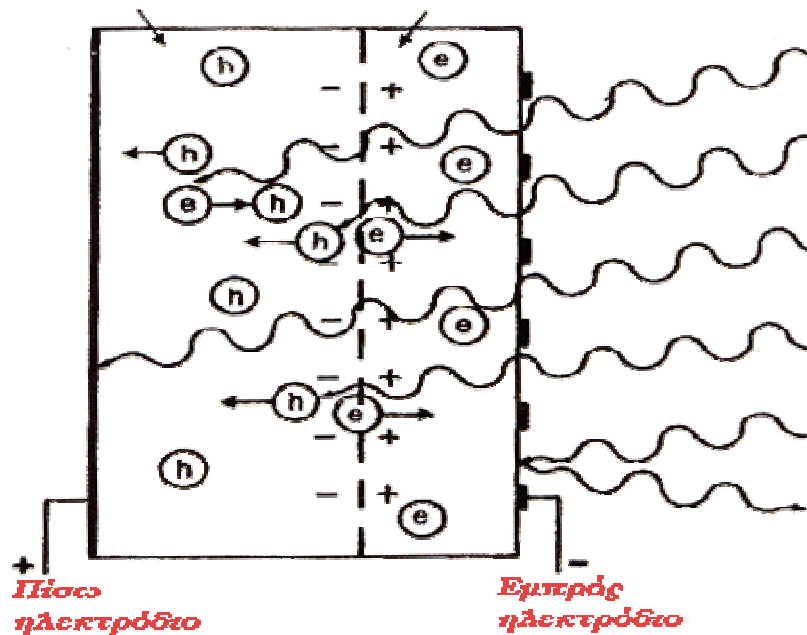
# ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

### 2.1. Γενικά

**Ε**ίναι γνωστό ότι τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου, (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου), που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολήση, μία περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές), πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας.

Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό (και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντιθέτου πρόσημου), μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου (σχήμα 1).





ΣΧ. 1 Ο μηχανισμός της εκδήλωσης του Φ/β φαινομένου σε ένα ηλιακό στοιχείο . Τα φωτόνια της ακτινοβολίας , που δέχεται το στοιχείο στην εμπρός του όψη , τύπου n στο παράδειγμα του σχήματος , παράγουν ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές) . Ένα μέρος από τους φορείς αυτούς διασκορρίζεται με την επίδραση των ενσωματωμένου πεδίου της διόδου και εκτρέπεται προς τα εμπρός (τα ελεύθερα ηλεκτρόνια , e-) ή προς τα πίσω (οι οπές , h+), δημιουργώντας μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου. Οι υπόλοιποι φορείς επιστρέφονται στην επιφάνεια του στοιχείου , ενώ ένα άλλο μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου , ενώ ένα άλλο μέρος της διέρχεται από το στοιχείο χωρίς να απορροφηθεί , μέχρι να συναντήσει το πίσω ηλεκτρόδιο.

Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου  $\Omega$  και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου. Εκτός από τις προσμίξεις των τμημάτων p και n μιας ομοένωσης, δηλαδή υλικού από τον ίδιο βασικά ημιαγωγό, το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου, αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης, μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους άλλων. π.χ. από διόδους Σότκν που σχηματίζονται όταν έρθουν σε επαφή ένας ημιαγωγός με ένα μέταλλο.

## 2.2. Η απορροφηση της ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά στοιχεία

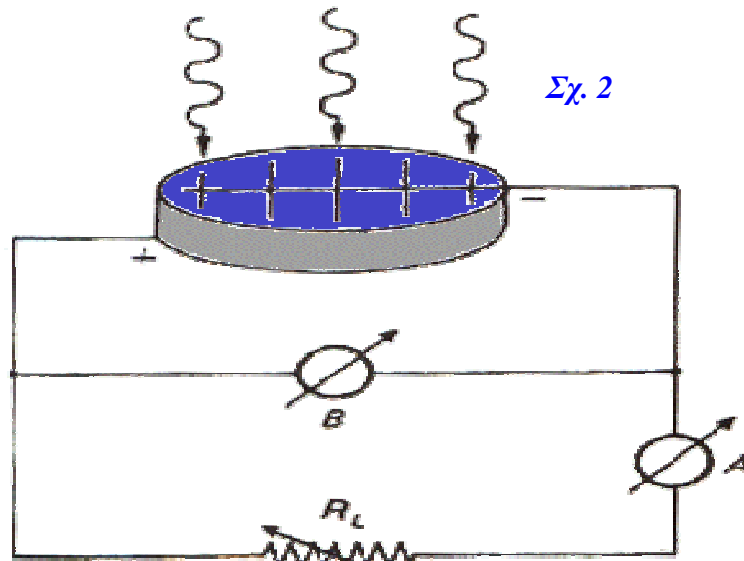
Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνειά τους. Ένα μέρος από την ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον. Στη συνέχεια, από την ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό, προφανώς δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά, ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα. Έτσι, η αντίστοιχη ακτινοβολία διαπερνά άθικτη το ημιαγωγίμο υλικό του στοιχείου και απορροφάται τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του, με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Αλλά και από τα φωτόνια που απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο με το μέρος εκείνο της ενέργειάς τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο συμβάλλει, όπως είδαμε, στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το υπόλοιπο μεταφέρεται, σαν κινητική ενέργεια, στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από τον δεσμό, και τελικά μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα. Να σημειώσουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων επιδρά αρνητικά στην απόδοσή τους.

## 2.3. Η αποδοτική λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων – σε σταθερές συνθήκες

Ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές (συσσωρευτές, ξηρά στοιχεία, ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, μεγάλα δίκτυα διανομής), οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή της κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή.

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου, ας εξετάσουμε την συμπεριφορά του όταν οι πόλοι του συνδεθούν με ένα κύκλωμα που περιέχει μεταβλητή αντίσταση (σχήμα 2). Είδαμε παραπάνω ότι όταν η τιμή της αντίστασης είναι μηδέν, δηλαδή στην βραχυκυκλωμένη κατάσταση, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή  $I_{sc}$ , ενώ η τάση θα μηδενιστεί. Αντίθετα, όταν η τιμή της αντίστασης τείνει στο άπειρο, δηλαδή στην ανοικτοκυκλωμένη κατάσταση, μηδενίζεται η ένταση του ρεύματος αλλά η τάση παίρνει την μέγιστη τιμή  $V_{oc}$ . Επομένως, στη βραχυκυκλωμένη και ανοικτοκυκλωμένη κατάσταση, η ηλεκτρική ισχύς που παράγει το στοιχείο ( $P=IV$ ) είναι μηδέν, αφού αντίστοιχα είναι μηδενική η τάση, στην πρώτη περίπτωση, και η ένταση του ρεύματος στη δεύτερη.

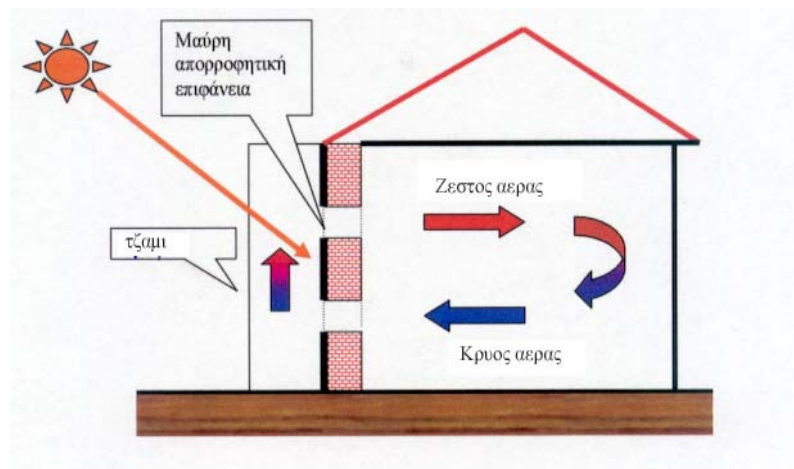


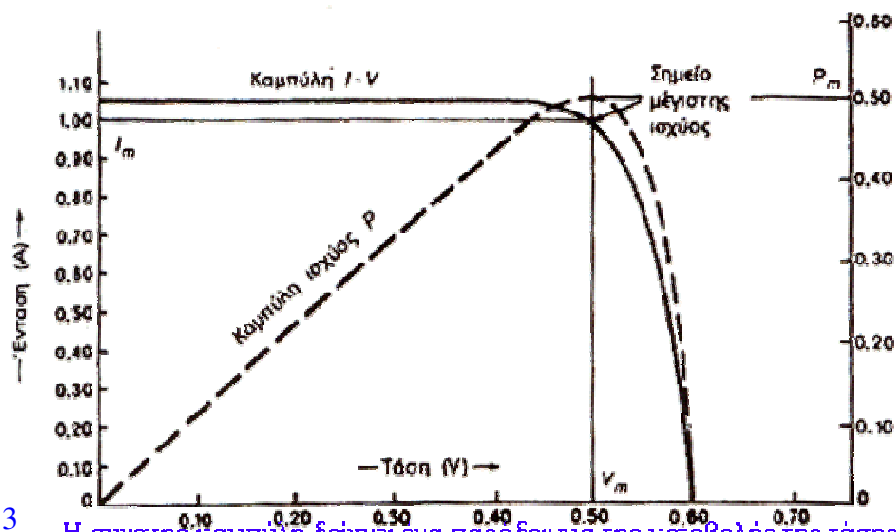


Σχ. 2

Πειραματική διάταξη με ένα βολτόμετρο (B), ένα αμπερόμετρο (A) και μια μεταβλητή αντίσταση ( $R_L$ ) για τη μελέτη της ηλεκτρικής συμπεριφοράς ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος, ανάμεσα στις παραπάνω ακραίες καταστάσεις, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές, όπως δείχνεται στο σχήμα 3. Παράλληλα, μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη  $P_m$  σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης  $V_m$  και έντασης  $I_m$ . Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το ζεύγος αυτό καθορίζει, σε σχέση με το ζεύγος τιμών  $V_{oc}$  και  $I_{sc}$ , το συντελεστή απόδοσης του στοιχείου ( $\eta$ ).



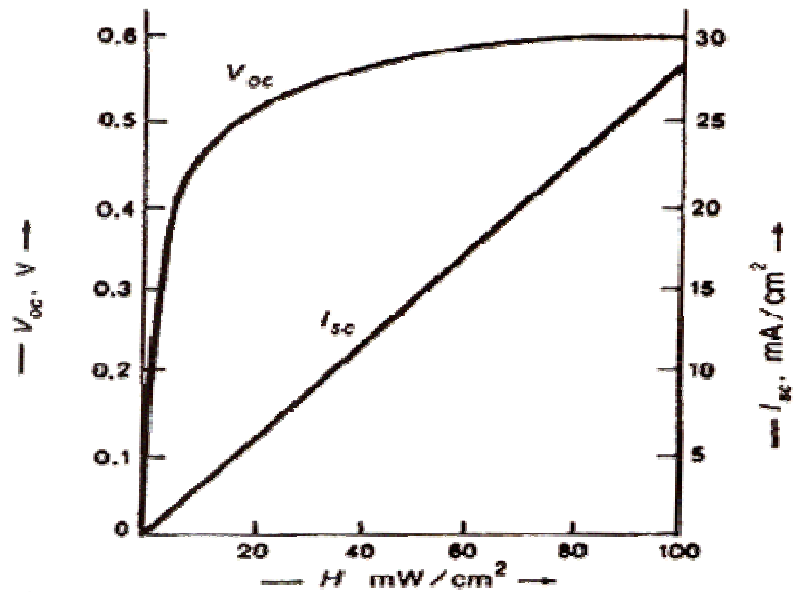


Σχ. 3 Η συνεχής καμπύλη δένει ένα παράδειγμα της μεταβολής της τάσης [V] σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος [I] που παράγει ένα Φ/Β στοιχείο πυριτίου, σε συνθήκες σταθερής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και για μεταβαλλόμενη αντίσταση του κυκλώματος από μηδέν (όπου  $V=0$ ) μέχρι απείρη (όπου  $I=0$ ). Η ασυνεχής καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/Β στοιχείο (η κλίμακα της ισχύος είναι στο δεξιό άξονα του διαγράμματος).  $V_m$  και  $I_m$  είναι η τάση και η ένταση που αντιστοιχούν στη μέγιστη παραγόμενη ισχύ  $P_{m\max}$ .

Επομένως, από πρακτική άποψη, είναι πολύ σημαντικό η αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο να έχει κατάλληλη τιμή ώστε στις συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας να παράγεται από το στοιχείο η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς.

#### 2.4. Αποδοτική λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβαλλόμενες συνθήκες)

Τα παραπάνω αφορούν σε συνθήκες σταθερής ισχύος της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και σταθερής θερμοκρασίας του. Βλέπουμε όμως το σχήμα 4, ότι η μεταβολή της πυκνότητας της ισχύος της ακτινοβολίας συνεπάγεται αντίστοιχη μεταβολή της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης και της βραχυκυκλωμένης έντασης του ρεύματος από το μηδέν (για το σκοτάδι) μέχρι τις μέγιστες τιμές τους, για τη μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας. Επίσης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αισθητή μείωση ανοιχτοκυκλωμένης τάσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι θα δημιουργείται πρόβλημα για τη διατήρηση της βελτιστοποίησης της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό στοιχείο κατά τη διάρκεια της ημέρας και των εποχών του έτους.

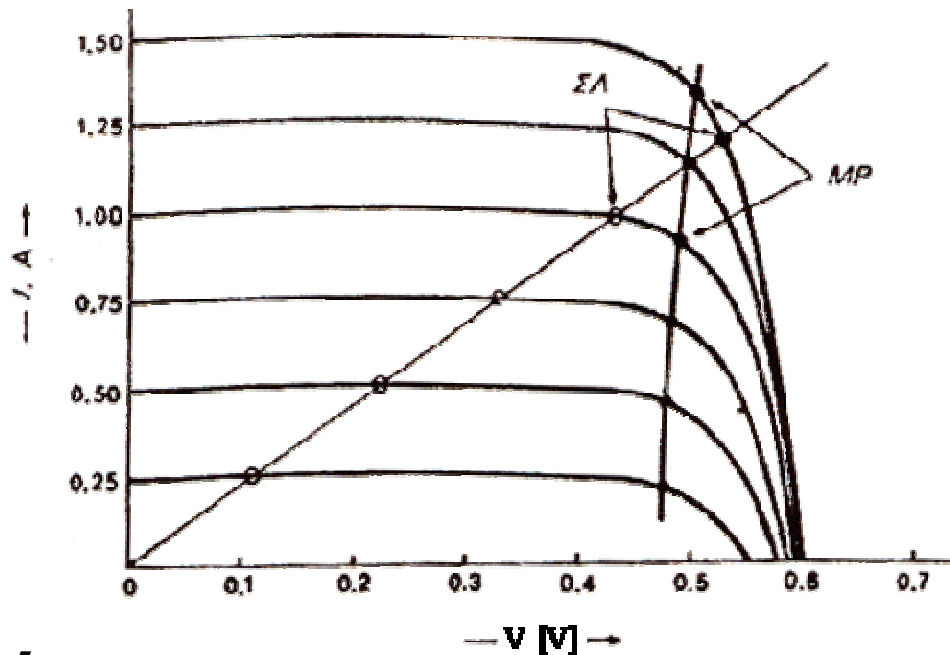


Σχ. 4

**Η μεταβολή της ανοικτοκυκλωμένης τάσης ( $V_{oc}$ ) και της βραχυκυκλωμένης έντασης του ρεύματος ( $I_{sc}$ ) ενός  $\Phi/\beta$  στοιχείου πυριτίου σε συνάρτηση με την ισχύ της ακτινοβολίας ( $H$ ) που δέχεται ανά μονάδα της επιφάνειας του.**

Στο σχήμα 5. βλέπουμε ότι για διαφορετικές πυκνότητες της ακτινοβολίας, σχηματίζεται μια οικογένεια μετατοπισμένων καμπυλών έντασης - τάσης. Είναι φανερό ότι π.χ. για την ακτινοβολία που δίνει  $I_{sc} = 1,25$  A έχουμε περίπου  $I_m = 1,1$  A και  $V_m = 0,5$  V και επομένως η κατάλληλη αντίσταση του κυκλώματος για να παράγεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο του παραδείγματος είναι  $R_L = V_m / I_m = 0,5 / 1,1 = 0,455$  Ω. Η αντίσταση όμως αυτή βλέπουμε ότι είναι εντελώς ακατάλληλη για όλες τις άλλες συνθήκες ακτινοβολίας, αφού η ευθεία με κλίση  $0,455$  Ω τέμνει τις αντίστοιχες καμπύλες I-V σε σημείο διαφορετικό από το σημείο της μέγιστης ισχύος.

Πάντως, σε κάθε περίπτωση, λόγω της πολύ μικρής τιμής του ανάστροφου ρεύματος κόρου  $I_0$ , η ένταση του ρεύματος που παρέχει στο κύκλωμα το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι πρακτικά είναι πρακτικά ανάλογη προς την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται, δηλαδή προς το γινόμενο της έντασης (της πυκνότητας της ισχύος) της ακτινοβολίας επί το εμβαδόν της επιφάνειας του. Επίσης, από τις διάφορες καμπύλες I-V βλέπουμε ότι, με τη μεταβολή της αντίστασης του κυκλώματος, η ένταση του ρεύματος παραμένει περίπου σταθερή για το μεγαλύτερο τμήμα του διαγράμματος, ενώ μεταβάλλεται ουσιαστικά η τάση. Δηλαδή, το φωτοβολταϊκό στοιχείο συμπεριφέρεται, σε μεγάλο βαθμό, σαν πηγή περίπου σταθερού ρεύματος, με την προϋπόθεση ότι παραμένει σταθερή η πυκνότητα της ακτινοβολίας.



Σχ. 5

Η μετατόπιση των σημείων λειτουργίας (ΣΛ) ενός Φ/β στοιχείου πυριτίου και η απομάκρυνση του από τα αντίστοιχα σημεία της μέγιστης ισχύος (MP) της καμπύλης έντασης (I) -τάσης (V) για διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά για σταθερή τιμή της αντίστασης του κυκλώματος.

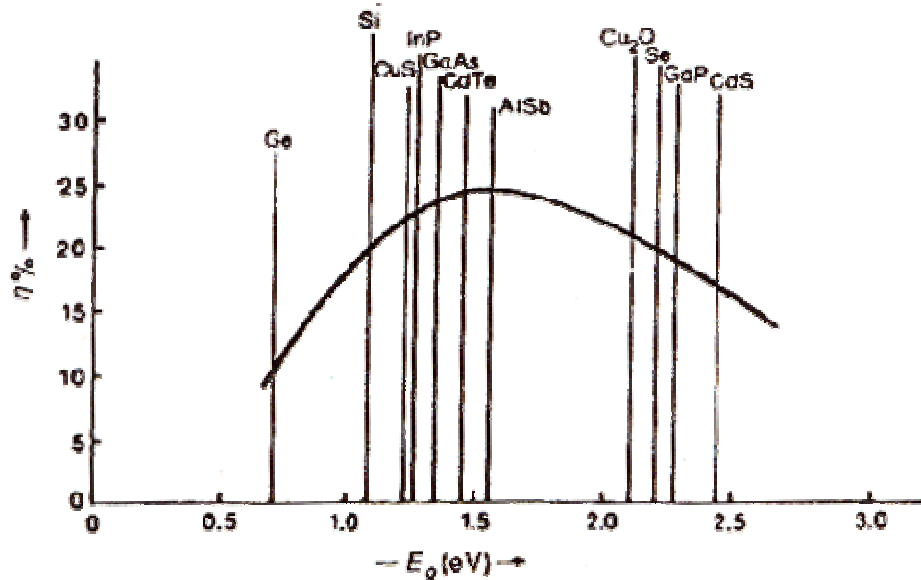
Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου και η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από 3 μεταβλητούς παράγοντες . α) την ένταση της ακτινοβολίας, β) τη θερμοκρασία του στοιχείου, γ) και την αντίσταση του κυκλώματος. Προφανώς, στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων επιδιώκεται οι παράγοντες αυτοί να παίρνουν ευνοϊκές τιμές, ώστε να παράγεται η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς, όσο επιτρέπει ο συντελεστής απόδοσης των στοιχείων.

## 2.5. Αξιολόγηση των ημιαγωγών για ηλιακές φωτοβολταϊκές εφαρμογές

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας ημιαγωγός μπορεί να απορροφήσει μόνο τα φωτόνια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό του διάκενο. Και μάλιστα, από τα φωτόνια αυτά αξιοποιείται φωτοβολταϊκά το μέρος μόνο της ενέργειας τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, ενώ η υπόλοιπη ενέργεια μετατρέπεται σε συνήθως ανεπιθύμητη θερμότητα.

Επομένως, η τιμή του ενεργειακού διακένου των ημιαγωγών είναι ένα από τα κυριότερα κριτήρια που καθορίζουν την καταλληλότητά τους, για να

χρησιμοποιηθούν ως υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων. Στο σχήμα 6 βλέπουμε λοιπόν ότι οι μεγαλύτερες θεωρητικές αποδόσεις μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας (περίπου 25%) μπορούν να πραγματοποιηθούν σε φωτοβολταϊκά στοιχεία από ημιαγωγούς με ενεργειακό διάκενο περίπου 1,5eV.



Σχ. 6 . Η θεωρητική απόδοση ( $\eta$ ) των ηλιακών Φ/β στοιχείων σε συνάρτηση με το ενεργειακό διάκενο ( $E_g$ ) του ημιαγωγού από το οποίο είναι κατασκευασμένα . Άλλοι θεωρητικοί υπολογισμοί δίνουν ελαφρά διαφορετικές τιμές για την απόδοση των ίδιων στοιχείων.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό κριτήριο είναι το είδος του ενεργειακού διακένου του ημιαγωγού, δηλαδή αν είναι άμεσο ή έμμεσο. Τα φωτόνια απορροφούνται ευκολότερα στους ημιαγωγούς άμεσου ενεργειακού διακένου και έτσι το φωτοβολταϊκό στοιχείο δεν χρειάζεται να έχει μεγάλο πάχος με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει μεγάλη εξοικονόμηση υλικού. π.χ. στο αρσενικούχο γάλλιο (GaAs), που είναι ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου, για να απορροφηθεί το 80% των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό του διάκενο (1,43 eV), αρκεί στρώμα πάχους 1μm. Αυτό άλλωστε δείχθηκε και στο σχήμα 12, όπου είναι φανερό ότι ο συντελεστής απορρόφησης στο GaAs, για τα φωτόνια που μας ενδιαφέρουν, είναι περίπου 10 ή περισσότερες φορές μεγαλύτερες από του Si.

Άλλα σημαντικά κριτήρια για την αξιολόγηση των ημιαγωγών, αλλά και των υπολοίπων υλικών κατασκευής των ηλιακών στοιχείων, είναι το κόστος της παραγωγής τους, η σταθερότητά τους στην επίδραση των εξωτερικών συνθηκών και κυρίως της υγρασίας και της θερμότητας, η τοξικότητα των διαφόρων συστατικών το ειδικό βάρος κ.λ.π.

Από τα πολλά ημιαγώγιμα υλικά που έχουν ως τώρα μελετηθεί για ηλιακή φωτοβολταϊκή μετατροπή, μεγάλη εφαρμογή έχει βρει μόνο το πυρίτιο, αν και άλλοι ημιαγωγοί έχουν δώσει καλύτερες αποδόσεις (πίνακας 5). Πολύ σημαντικές προοπτικές για σύντομη ανάπτυξη έχουν επίσης το θειούχο κάδμιο (CdS) λόγω χαμηλού κόστους, και το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) λόγω μεγάλης απόδοσης.

<b>ΥΛΙΚΟ</b>	<b>ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ</b>	<b>Μέγιστη απόδ. σε ακτινοβ. AM1</b>
<b>n-Ga<sub>0,3</sub>Al<sub>0,7</sub>As/p-GaAs</b>	<b>Ομοένωση – ετεροδομή</b>	<b>24%</b>
<b>GaAs</b>	<b>Ομοένωση</b>	<b>22%</b>
<b>n-AlAs/p-GaAs</b>	<b>Ετεροένωση</b>	<b>18,5</b>
<b>Si</b> (μονοκρυσταλλικό)	<b>Ομοένωση</b>	<b>18%</b>
<b>Si</b> (πολυκρυσταλλικό)	<b>Ομοένωση</b>	<b>16%</b>
<b>Au/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/p-Si</b>	<b>Σότκυ</b>	<b>10%</b>
<b>p-Cu<sub>x</sub>S/n-CdS</b>	<b>Ετεροένωση</b>	<b>10%</b>

Πάντως η ερευνητική αναζήτηση συνεχίζεται έντονη με στόχο την ανακάλυψη και άλλων υλικών, ίσως οργανικής σύστασης, που ενδεχομένως να συνδυάζουν χαμηλό κόστος, εύκολη εφαρμογή και αξιόλογη απόδοση.

## Κεφάλαιο 3ο

# ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

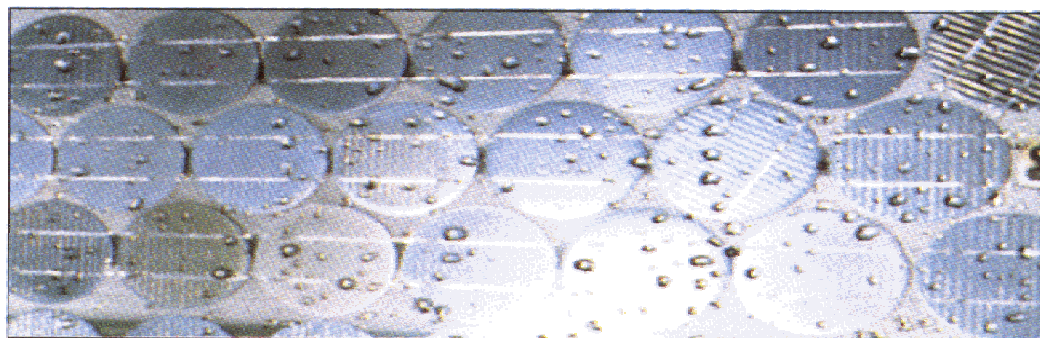
### 3.1. Γενικά

**Τ**ο βασικό και χαρακτηριστικό κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι η Φ/β γεννήτρια, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα Φ/β ηλιακά στοιχεία. Και εδώ, όπως είδαμε ότι συμβαίνει γενικότερα στη Φ/β ορολογία, χρησιμοποιούνται και άλλες ονομασίες, όπως, ηλιακή μπαταρία, ηλιακή ηλεκτρογεννήτρια κλπ.

Η τάση όμως και η ισχύς των Φ/β στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών.

Ειδικότερα, η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο Φ/β στοιχείο πυριτίου του εμπορίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι μόλις μέχρι 0,5V περίπου και ότι η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μόλις 0,4W περίπου. Για αυτό, τα Φ/β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση Φ/β γεννητριών τοποθετούνται, ανά 10 ως 50 περίπου, σε ένα πλαίσιο, με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο, τα στοιχεία συνδέονται στη σειρά σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης. π.χ. η σύνδεση 35 στοιχείων στη σειρά δίνει περίπου 15-20 V, που είναι κατάλληλη, αν αφαιρέσουμε τις διάφορες απώλειες, για την φόρτιση των συνηθισμένων συσσωρευτών μολύβδου. Τα πλαίσια είναι κατασκευασμένα με μορφή σάντουιτς.

Δηλαδή, 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 την βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το Φ/β πλαίσιο, που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση των Φ/β γεννητριών. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος των Φ/β πλαισίων είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος των ηλιακών στοιχείων που περιέχουν (πίνακας 1).



### Ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία.

Τα Φ/β πλαίσια του εμπορίου δεν έχουν τυποποιημένες διαστάσεις και ισχύεις. Σε συμβατικές συνθήκες αιχμής έχουν συνήθως, ανάλογα με τον τύπο και τον κατασκευαστή, τάση εξόδου από 4 V μέχρι 22 V , και ένταση ρεύματος από περίπου 0,5 A μέχρι 2,5A. Πριν βγουν στο εμπόριο, τα Φ/Β πλαίσια υποβάλλονται συνήθως σε μια σειρά από αυστηρές δοκιμές ποιοτικού ελέγχου με θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και σε δοκιμασία 5ήμερης συνεχούς παραμονής σε ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας 95% και θερμοκρασίας 95 °C, για να ελεγχθεί η στεγανότητά τους.

<u>ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΡΓΑΣΙΕΣ</u>	<u>Κόστος ανά μονάδα επιφάνειας του Φ/β πλαισίου</u>
Ηλιακά στοιχεία	117,40 ευρώ/m <sup>2</sup>
Εμπρός φύλλο από γυαλί	350,00 ευρώ/m <sup>2</sup>
Πλαστικό συγκολλητικό φύλλο του γυαλιού	2,05 ευρώ/m <sup>2</sup>
Πλάτη και περιμετρική ταινία από αλουμίνιο	5,90 ευρώ/m <sup>2</sup>
Στεγνωτική ταινία από ελαστικό σιλικόνης	2,40 ευρώ/m <sup>2</sup>
Ηλεκτρικές συνδέσεις και προστατευτική δίοδος	1,50 ευρώ/m <sup>2</sup>
Εργατικά συναρμολόγησης ελέγχου και συσκευασίας	<u>14.700 ευρώ/m<sup>2</sup></u>
<b>Σύνολο</b>	<b>15.179,25 ευρώ /m<sup>2</sup></b>



### 3.2. Η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου

Το κάθε Φ/Β πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (απόδοση, τάση, ισχύ κλπ.), που προφανώς διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των χωριστών ηλιακών στοιχείων που περιέχει. Επομένως, όμοια με την σχέση, που ορίζει τον συντελεστή πλήρωσης την οποία συναντήσαμε σε προηγούμενη παράγραφο, ο συντελεστής απόδοσης του Φ/β πλαισίου ( $\eta_{\pi}$ ) εκφράζει τον λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/β πλαίσιο ( $P_{\pi}$ ), προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του  $S$ . Προφανώς, την ίδια τιμή θα έχει και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας  $E$  που παράγει το Φ/Β πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό, διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το ίδιο χρονικό διάστημα. Δηλαδή :

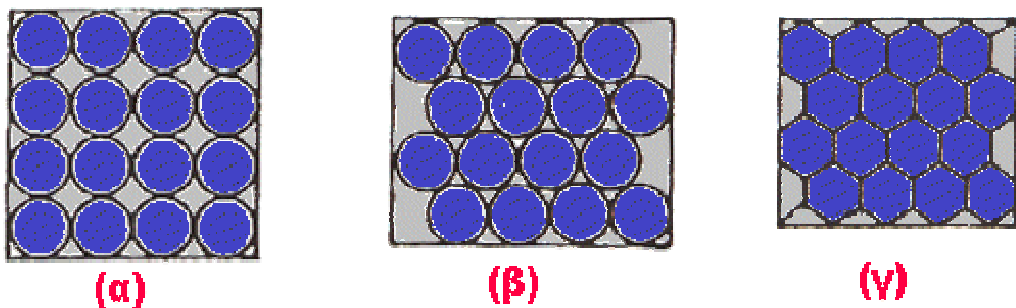
$$\eta_{\pi} = P_{\pi} / H \times S \text{ (W)} / (w/m^2) \times (m^2)$$

$$\eta_{\pi} = E / \Pi \times S \text{ (KW)} / (Kw/m^2) \times (m^2)$$

όπου  $\Pi$  είναι η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου.

Η τιμή του  $\eta_{\pi}$  είναι φανερό ότι εξαρτάται όχι μόνο από τη μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων ( $\eta$ ), αλλά και από τον συντελεστή κάλυψης του πλαισίου ( $\sigma_{\kappa}$ ), που ορίζεται 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 την συνολική επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου. Βρίσκουμε εύκολα ότι θα ισχύει η σχέση :

$$\eta_{\pi} = \eta \times \sigma_{\kappa}$$



Σχ. 7 Τρεις συνιθισμένοι τρόποι παράθεσης των ηλιακών στοιχείων σε Φ/β πλαίσια . Οι αντίστοιχοι συντελεστές κάλυψης είναι περίπου 0,7 για την περίπτωση (α) , 0,88 για την περίπτωση (β) , και 0.98 για τα εξαγωνικά στοιχεία της περίπτωσης (γ).

Η τιμή του  $\sigma_k$  εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο φ/β πλαίσιο. Συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0,78, για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλες στοιχισμένες σειρές φτάνει μέχρι σχεδόν 1,00 (πρακτικά μέχρι 0,98), για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία (σχήμα 7).

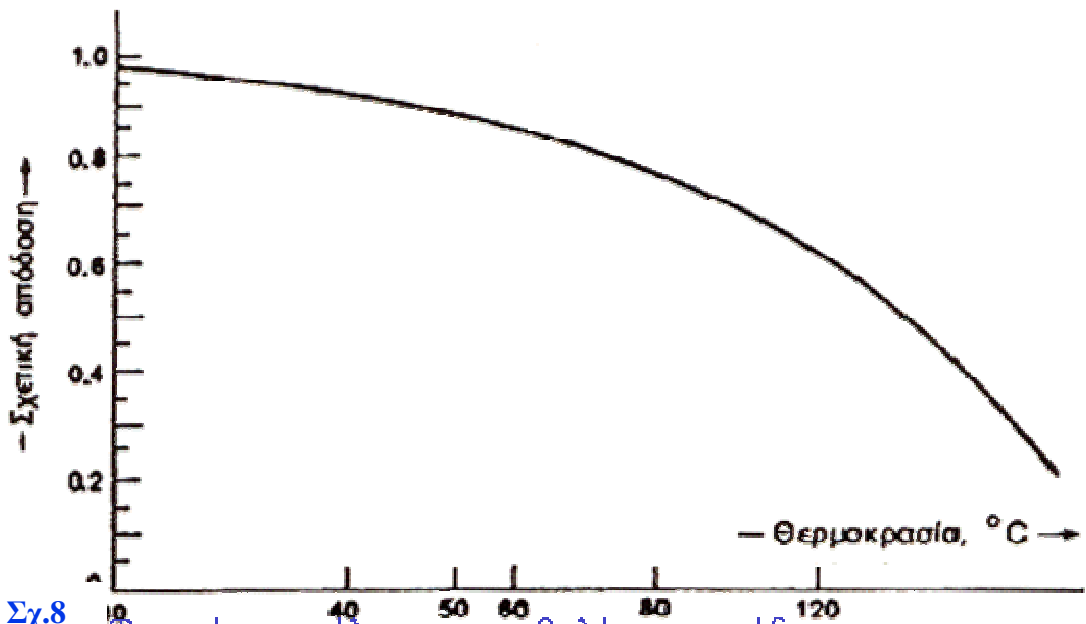
### 3.3. Η επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης

Όπως είδαμε η απόδοση των Φ/β στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Όμως, ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα Φ/β πλαίσια αντιστοιχεί σε μία συμβατική θερμοκρασία 20 °C, που συχνά, ιδίως στους θερινούς μήνες, διαφέρει αξιόλογα από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Έχει μετρηθεί ότι αφενός, και κυρίως, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25 ως 30 °C, ανάλογα και με την ταχύτητα του ανέμου. Ως μέσο όρο στους υπολογισμούς μας, παίρνουμε συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας κατ 30 °C. Είδαμε επίσης ότι για τη διόρθωση του παραπάνω σφάλματος χρησιμοποιείται ένας αδιάστατος συντελεστής  $\sigma_\theta$  με τον οποίο πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή απόδοσης των ηλιακών στοιχείων. Το ίδιο εφαρμόζουμε και για τα Φ/β πλαίσια. Δηλαδή, για θερμοκρασίες διαφορετικές από τη συμβατική, ως συντελεστή απόδοσης των Φ/β πλαισίων παίρνουμε το γινόμενο  $\eta_p \times \sigma_\theta$ .

Σε συμβατική θερμοκρασία ο  $\sigma_\theta$  είναι ίσος με την μονάδα, και για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή. Π.χ. στην Αθήνα, τον μήνα Ιούλιο που έχουμε μέση θερμοκρασία του αέρα, στις φωτεινές ώρες της ημέρας, σχεδόν 30 °C η μέση θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων του Φ/β πλαισίου θα είναι περίπου:

$$\sigma_\theta = 1,00 - (60 - 20) \times 0,005 = 0,8$$

Την ίδια περίπου τιμή βρίσκουμε και αν χρησιμοποιήσουμε το λογαριθμικό διάγραμμα του σχήματος 8.



Σχ.8 Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους. Η κλίμακα του άξονα των τεταγμένων δίνει το ποσοστό της απόδοσης του στοιχείου σε σχέση με την απόδοση του στη συμβατική θερμοκρασία 20 C. Η κλίμακα της θερμοκρασίας στον άξονα των τεταγμένων είναι λογαριθμική

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των Φ/β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειας του από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από την θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές 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 να την ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνει περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των Φ/β πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές σε συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90° για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού ή τουλάχιστον 45° για να μην συγκρατείται η σκόνη.

Όταν η Φ/β γεννήτρια βρίσκεται σε μια περιοχή όπου εκτιμάμε ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς μας η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/β πλαίσια, με την χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας ( $\sigma_p$ ), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο Φ/β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που 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 κτλ. Έτσι, όποτε είναι απαραίτητο, ως συντελεστή απόδοσης των Φ/β πλαισίων για τους υπολογισμούς μας, παίρνουμε το γινόμενο του ενδεικτικού συντελεστή απόδοσης  $\eta_\pi$ , που δίνεται για συμβατική θερμοκρασία και καθαρή επιφάνεια, επί τους συντελεστές διόρθωσης για τη θερμοκρασία  $\sigma_\theta$  και για τη ρύπανση  $\sigma_p$ . Δηλαδή, η προηγούμενη σχέση παίρνει τη γενικότερη μορφή :

$$E = \Pi \times S \times \eta_{\pi} \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho}$$

Για παράδειγμα ας πάρουμε ένα Φ/β πλαίσιο του εμπορίου, με επιφάνεια διαστάσεων  $S = 121,9\text{cm} \times 30,5\text{cm} = 0,37 \text{ m}^2$ , με ενδεικτικό συντελεστή απόδοσης  $\eta_{\pi} = 10,76\%$  τοποθετημένο στην Αθήνα με κλίση  $20^{\circ}$ , και ας υποθέσουμε ότι η ρύπανση της επιφάνειας του είναι ασήμαντη δηλαδή  $\sigma_{\rho} = 1,00$ . Η μέση ηλεκτρική ενέργεια  $E$  που θα παράγει το Φ/β πλαίσιο σε μία ημέρα π.χ του Ιουλίου, που αντιστοιχεί μέση ηλιακή ακτινοβολία  $\Pi = 6,70 \text{ KWh/m}^2\text{d}$  και μέση θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος  $30^{\circ}\text{C}$ , θα είναι, σύμφωνα με τα παραπάνω:

$$E = \Pi \times S \times \eta_{\pi} \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho} = 6,70 \times 0,370 + (10,76/100) \times 0,80 \times 1,00 = 0,20 \text{ Kwh/d}^*$$

### 3.4. Η ισχύς αιχμής του φωτοβολταϊκού πλαισίου

Συχνά, δεν είναι διαθέσιμα όλα τα λεπτομερειακά κατασκευαστικά δεδομένα και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/β πλαισίων (διαστάσεις, συντελεστής κάλυψης, συντελεστής απόδοσης των ηλιακών στοιχείων κ.λπ.), αλλά δίνεται μόνο μια ενδεικτική ισχύς αιχμής ( $P_{\alpha}$ ), που αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το Φ/β πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1 ήλιου, δηλαδή  $1 \text{ KW/m}^2$ . Οι μονάδες ισχύος που εκφράζουν την ισχύ αιχμής ενός Φ/β πλαισίου μιας ολόκληρης Φ/β εγκατάστασης ή ενός ηλιακού στοιχείου ονομάζονται συχνά βατ αιχμής ( $W_p$ , Watt peak) και κιλοβάτ αιχμής ( $KW_p$ ). Δηλαδή χρησιμοποιείται ο ίδιος όρος και συμβολισμός (άλλωστε ουσιαστικά είναι και το ίδιο πράγμα) όπως για το μέτρο της επιφάνειας των Φ/β στοιχείων που γνωρίσαμε προηγουμένως. Από την σχέση που δίνει την απόδοση  $\eta_{\pi}$  είναι φανερό ότι :

$$P_{\alpha}(KW_p) = 1(KW/m^2) \times S (m^2) \times \eta_{\pi}$$

και επομένως βρίσκουμε εύκολα ότι σωστά ο κατασκευαστής του Φ/β πλαισίου του παραδείγματος μας το χαρακτηρίζει με ισχύ αιχμής 40  $W_p$  κάνοντας και ένα ανεκτό στρογγύλεμα προς τα πάνω, για προφανείς εμπορικούς λόγους. Στην περίπτωση, λοιπόν, που γνωρίζουμε μόνο την ισχύ αιχμής  $P_{\alpha}$  για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Φ/β πλαισίου, αντί για την παραπάνω σχέση χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη σχέση :

$$E(KWh/d) = \Pi(KWh/m^2d) \times \{P_{\alpha}(KW_p)\} / \{1(KW/m^2)\} \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho}$$

Πάντως, μπορούμε να πούμε ότι για να έχουμε την πλήρη εικόνα της συμπεριφοράς ενός Φ/β πλαισίου, χρειάζονται οι τιμές των παρακάτω 9 τεχνικών χαρακτηριστικών του, όπως περίπου είχαμε δει και για τα ηλιακά στοιχεία :

---

\*d = day = η μέρα

1. Ισχύς αιχμής ( $P_a$ ), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
2. Ανοικτοκυκλώμενη τάση ( $V_{oc}$ ) σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
3. Βραχυκυκλωμένη ένταση ρεύματος ( $I_{sc}$ ), σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
4. Τάση ( $V_m$ ), στις συνθήκες της μέγιστης απόδοσης, σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
5. Ένταση ρεύματος ( $I_m$ ), στις συνθήκες της μέγιστης απόδοσης, σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
6. Συντελεστής πλήρωσης (FF), που ορίζεται ως ο λόγος του γινομένου  $V_m \times I_m$  πρὸς το γινόμενο  $V_{oc} \times I_{sc}$ .
7. Συντελεστής απόδοσης ( $\eta_p$ ), σε συμβατική θερμοκρασία και συντελεστής διόρθωσης της απόδοσης ( $\sigma_\theta$ ).
8. Συντελεστής κάλυψης ( $\sigma_k$ ).
9. Διηλεκτρική αντοχή δηλαδή η ελάχιστη τάση που προκαλεί ηλεκτρική διάσπαση ανάμεσα στα ηλιακά στοιχεία και στο μεταλλικό περίβλημα του Φ/β πλαισίου.

### 3.5. Φωτοβολταϊκά πάνελ και συστοιχίες

Συνώνυμο σχεδόν με το φ/β πλαίσιο είναι το Φ/β πάνελ (PANEL). Όπως και το πλαίσιο έχει επίσης συναρμολογηθεί και προκατασκευασθεί στο εργοστάσιο και είναι έτοιμο για τοποθέτηση στην Φ/β εγκατάσταση, αλλά με τη διαφορά ότι ένα πάνελ μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια (το ένα δίπλα στο άλλο), που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους. ο αριθμός των πλαισίων ενός πάνελ είναι τόσος, ώστε οι διαστάσεις και το βάρος να μην είναι εμπόδιο για τη μεταφορά και την τοποθέτησή του στη Φ/β εγκατάσταση. π.χ το πάνελ που αποτελείται από 4 Φ/β πλαίσια και έχει συνολικές διαστάσεις 122 cm χ 122 cm και συνολικό βάρος περίπου 23 kg. Δηλαδή μπορεί να μεταφερθεί εύκολα από έναν τεχνίτη.

Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός Φ/β συστήματος, είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των Φ/β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και στα πάνελ ή ανάμεσα στα γειτονικά πλαίσια και πάνελ, να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες. Έτσι, αν ένα Φ/β στοιχείο σκιαστεί (π.χ. από ένα πουλί ή από τις ακαθαρσίες που μπορεί να αφήσει) ή αν πάθει βλάβη (π.χ. μία διακοπή στους ηλεκτρικούς αγωγούς) δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα, όπως αν συνέβαινε αν όλα τα Φ/β στοιχεία ήταν σε σύνδεση σε σειρά.

Η Φ/β γεννήτρια μιας μικρής Φ/β εγκατάστασης μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο πλαίσιο ή πανέλ. Σε μεγαλύτερες όμως εγκαταστάσεις, ομάδες περισσότερων Φ/β πλαισίων ή πανέλ τοποθετούνται σε κοινή κατασκευή στήριξης, π.χ. ξύλινα ή μεταλλικά ικριώματα, και ονομάζονται Φ/β συστοιχίες (arrays) . Η σύνδεση των Φ/β πλαισίων, στη σειρά ή παράλληλα, γίνεται με τρόπο που η τάση εξόδου της συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή. Είναι φανερό ότι η διαφορετική συνδεσμολογία των πλαισίων μιας Φ/β γεννήτριας δεν μεταβάλλει την ισχύ της, αφού όποια αύξηση της τάσης εξόδου της γεννήτριας συνεπάγεται ανάλογη μείωση της έντασης του ρεύματος που παράγει.

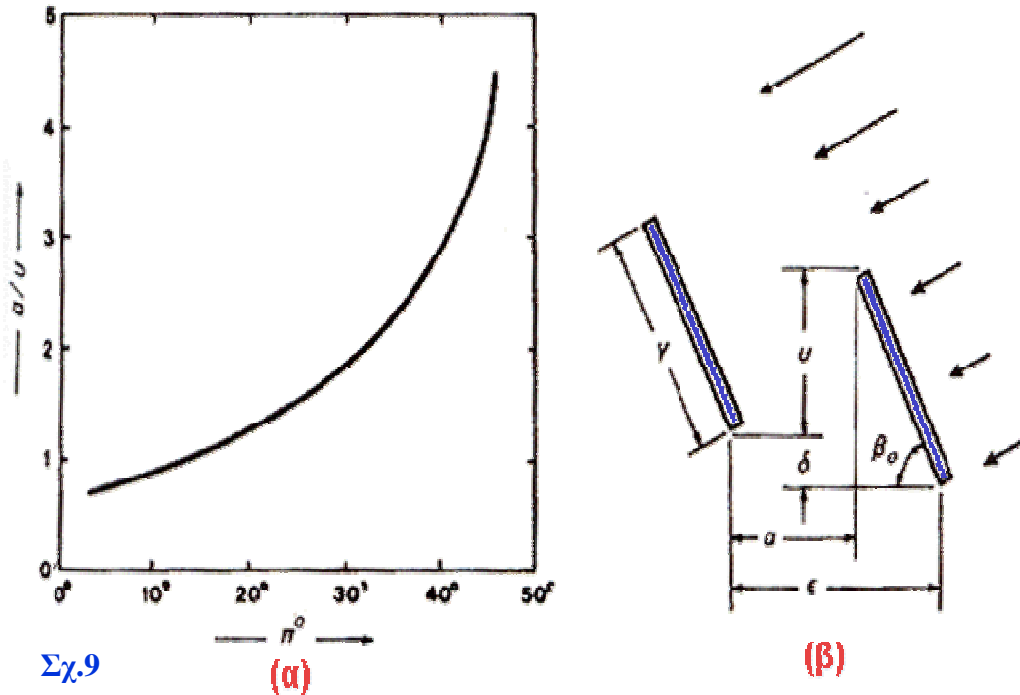
Στις μεγάλες Φ/β εγκαταστάσεις π.χ. συνολικής ισχύος αιχμής πάνω από 20 KWp, πολλές φ/β συστοιχίες σχηματίζουν ένα υποσυγκρότημα συστοιχιών (arrays subfield) και το σύνολο των υποσυγκροτημάτων αποτελεί το συγκρότημα συστοιχιών (array field) ή το Φ/β πάρκο του Φ/β σταθμού. Εδώ, ειδικότερα θα ασχοληθούμε με τις συνηθισμένες Φ/β εγκαταστάσεις που αποτελούνται από σταθερούς επίπεδους συλλέκτες και δέχονται φυσικό ηλιακό φως, δηλαδή χωρίς τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων για τη συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας .

Βλέπουμε ότι κάθε Φ/β εγκατάσταση έχει σπονδυλωτή συγκρότηση από Φ/β πλαίσια, πανέλ ή συστοιχίες, που το πλήθος τους. (και η συνολική επιφάνειά τους) καθορίζεται από την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που επιδιώκεται να παραχθεί. Η δομή αυτή επιτρέπει την εύκολη επέκταση των Φ/β εγκαταστάσεων, με την προσθήκη νέων συλλεκτών, για την αντιμετώπιση των αναγκών που θα προέλθουν από ενδεχόμενη μελλοντική αύξηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Η τοποθέτηση των Φ/β πλαισίων και των Φ/β πανέλων , μόνων τους ή σε συστοιχίες .γίνεται σε στέγες κτιρίων, σε στύλους και ικριώματα, σε γήπεδα και παρειές λόφων ή σε άλλους ελεύθερους χώρους, με τρόπο που να μη σκιάζονται από τα, γύρω δέντρα, κτίρια βουνά κλπ. Κάθε Φ/β πλαίσιο πρέπει να έχει ανοικτό ορίζοντα. Σε μία τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος  $\pi^{\circ}$ , η προϋπόθεση του ανοικτού ορίζοντα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται όταν η ,γωνία του ύψους ( $\beta_e$ ) των ,γειτονικών συστοιχιών, δέντρων, κτιρίων, ή άλλων εμποδίων ικανοποιεί μέσα σε μια αζιμούθια γωνία από  $-60^{\circ}$  μέχρι  $+60^{\circ}$  προς το Νότο, τη σχέση :

$$\beta_e \leq 48^{\circ} - \pi^{\circ}$$

π.χ στη Αθήνα, που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος  $38^{\circ}$  η γωνία του ύψους των διαφόρων εμποδίων δεν πρέπει να ξεπερνά τις  $10^{\circ}$ .



Σχ.9

(α)

(β)

α) Η καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης  $a$  ανάμεσα στις γειτονικές σειρές των ηλιακών συλλεκτών μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας προς την επικάλυψη του ύψους του  $U$  σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου  $\pi^\circ$ , ώστε να μην εμποδίζεται ουσιαστικά η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. β) Η έννοια των μηκών  $a, \gamma, \delta$  και  $\epsilon$  και της γωνίας κλίσης  $\beta_\sigma$  για τη διάταξη των ηλιακών συλλεκτών στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Το διάγραμμα είναι εμπειρικό και προέρχεται από την έκδοση *Stand-alone PV systems* της εταιρείας Morgan (1980)

Ειδικότερα το διάγραμμα του (σχήματος 9) μας βοηθά στον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των ηλιακών συλλεκτών στις Φ/β συστοιχίες, ώστε η μια σειρά να μη σκιάζει αισθητά την επόμενη. Συγκεκριμένα, το διάγραμμα δίνει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δύο σειρές (α) προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη ( $u$ ). Αν  $\gamma$  είναι το πλάτος το στηρίγματος (που συμπίπτει με το πλάτος του συλλέκτη, δηλαδή του Φ/β πλαισίου, ή του πανέλ),  $\beta_\sigma$  είναι η κλίση του, και  $\delta$  είναι η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών, τότε το  $u$  δίνεται προφανώς από την σχέση :

$$u = \gamma \times \sin \beta_\sigma - \delta$$

Στη συνέχεια, βρίσκουμε με την βοήθεια του διαγράμματος την αντίστοιχη του  $a$ , και από τη σχέση :

$$\epsilon = a + \gamma \times \cos \beta_\sigma$$

υπολογίζουμε το  $\epsilon$ , δηλαδή την ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση των σειρών.

### 3.6. Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα

Πέρα από τις διάφορες διορθώσεις, που αναφέραμε παραπάνω ότι παίρνουμε συνήθως υπόψη τον υπολογισμό της επιφάνειας των Φ/β συλλεκτών (θερμοκρασία, ρυπαρότητας), πρέπει επίσης να προνοήσουμε για τις μικρές ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα Φ/β πλαίσια στις Φ/β συστοιχίες, καθώς και στις συνδέσεις τους με τα άλλα μέρη του Φ/β συστήματος (διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές κλπ). Πρόσθετες και μάλιστα σημαντικότερες απώλειες μπορεί να οφείλονται στη λειτουργία αυτών των άλλων μερών του συστήματος και κυρίως στη φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών.

Εξάλλου, όπως είδαμε, η τιμή του συντελεστή απόδοσης των Φ/β πλαισίων που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, αφορά στις συνθήκες τάσης-έντασης που αντιστοιχούν στη μέγιστη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι όμως πολύ πιθανό, ιδίως όταν το σύστημα δεν έχει αξιόπιστο ρυθμιστή ισχύος, ότι κατά την λειτουργία του θα υπάρχει μια αξιόλογη απόκλιση από τις ιδανικές αυτές συνθήκες, με αποτέλεσμα την έμφαση αντίστοιχης απώλειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των Φ/β συλλεκτών ενός συστήματος πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με τη περίπτωση και την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης π.χ. περίπου του 20% ως 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο.

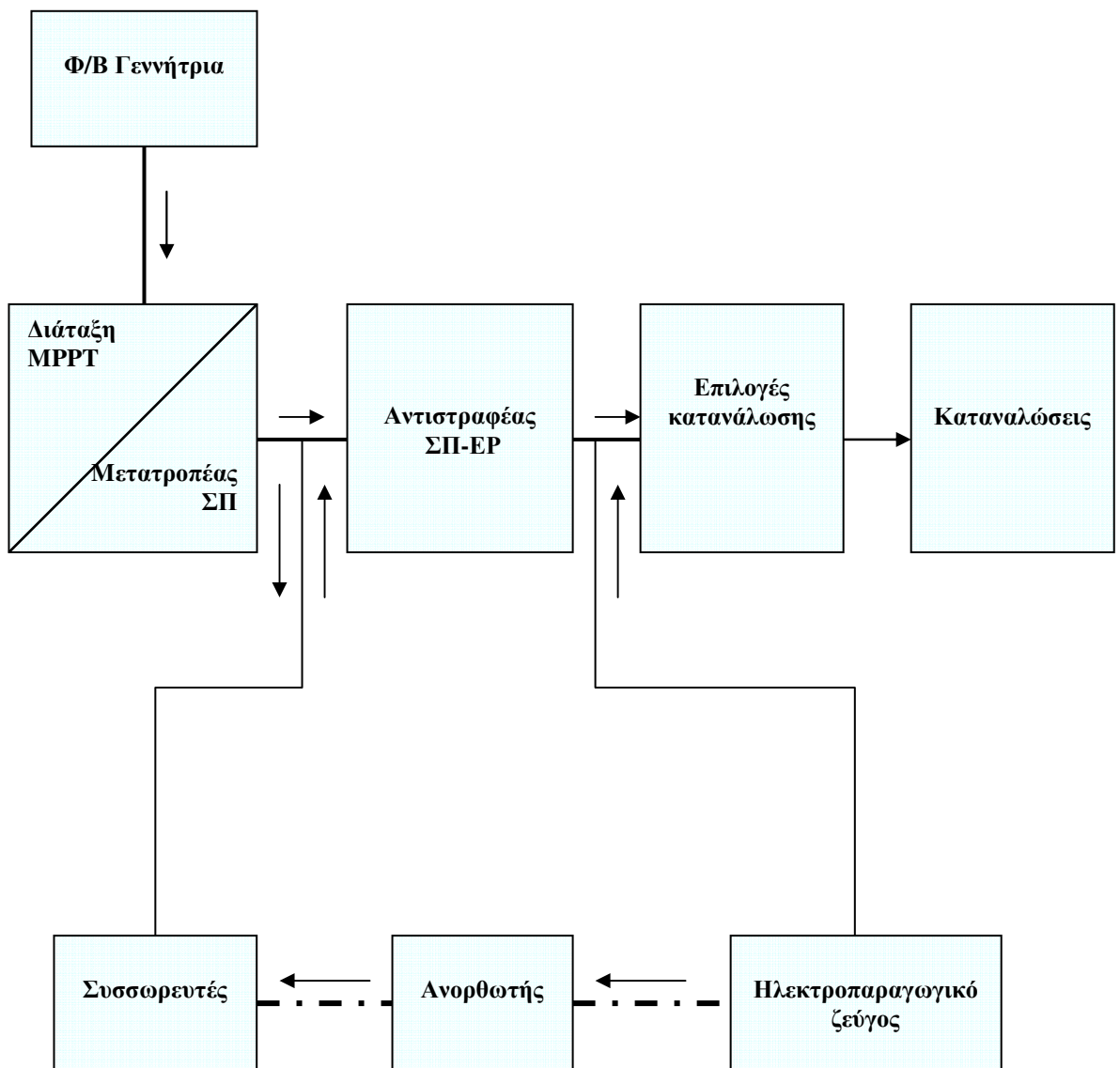
Τέλος, λόγω της φθοράς στα Φ/β πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος, αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μια μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνήθως υπολογίζεται στο 1% ως 2% για κάθε έτος.



# Κεφάλαιο 4ο

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

### 4.1. Γενικό διάγραμμα



Σχ. 10

Γενικό διάγραμμα και ροή ενέργειας στο Φ/Β συστημα του παραδείγματος  
σχεδιασμού

Αρχικά η φωτοβολταϊκή γεννήτρια λαμβάνει την ηλιακή ενέργεια την οποία και μετατρέπει σε ρεύμα και μέσω του μετατροπέα συνεχούς ρεύματος το διοχετεύει ταυτόχρονα

(α) στον αντιστροφέα από όπου και διοχετεύεται στον επιλογέα κατανάλωσης ο οποίος ιεραρχεί την τροφοδότηση καταναλώσεων με σειρά προτεραιότητας και από εκεί καταλήγει στην έξοδο προς τις καταναλώσεις.

(β) στον συσσωρευτή ο οποίος έχει αποθεματικό ρολό.

Τέλος το συστημα ολοκληρώνετε με μια βοηθητική πηγή ηλεκτροπαραγωγής για την αντιμετώπιση π.χ. βλαβών μεγάλης διάρκειας.

Το ανώτερο διάγραμμα με τα επιμέρους στοιχεία του αναλύεται διεξοδικά κατά την παρουσίαση του παραδείγματος.

**Πίνακας 1.** Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος

<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Τιμή</b>
<b>Ισχύς αιχμής της Φ/β γεννήτριας</b>	<b>96 KWp</b>
<b>Πλήθος Φ/β πλαισίων , ισχύος αιχμής 40 KWp</b>	<b>2400</b>
<b>Κλίση των συλλεκτών</b>	<b>30°/60°</b>
<b>Τάση εξόδου της Φ/β γεννήτριας</b>	<b>259,5 V</b>
<b>Χωρητικότητα αποθήκευσης των συσσωρευτών</b>	<b>810 KWh</b>
<b>Ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών</b>	<b>5956 Ah</b>
<b>Τάση εξόδου των συσσωρευτών</b>	<b>200V</b>
<b>Ισχύς των μετατροπέων Σ.Ρ</b>	<b>4 x25 KW</b>
<b>Ισχύς των αντιστροφέων Σ.Ρ/Ε.Ρ</b>	<b>2 x50 KW</b>
<b>Ισχύς του βοηθητικού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους</b>	<b>30 KW</b>
<b>Εδαφική έκταση για τις Φ/β συστοιχίες</b>	<b>3000/6000m<sup>2</sup></b>

## 4.2. Παράδειγμα σχεδιασμού

### 1. Αντικείμενο

Προκαταρκτικός σχεδιασμός ενός αυτόνομου Φ/β συστήματος για την ηλεκτροδότηση και την ανάπτυξη των οικιακών, κοινοτικών, παραγωγικών και άλλων δραστηριοτήτων ενός υποθετικού απομονωμένου χωριού σε ένα νησί του κεντρικού Αιγαίου ανάμεσα στη Λέσβο, τη Λήμνο και τη Σκύρο π.χ στο νησί Αγ. Ευστράτιος.

#### Συμπληρωματικές πληροφορίες

Το χωριό έχει 60 μόνιμους κατοίκους που μένουν σε 15 κατοικίες και ασχολούνται σε όλη τη διάρκεια του έτους με γεωργικές καλλιέργειες, κτηνοτροφία και αλιεία. Για τον φωτισμό των δρόμων του χωριού και για τους φανούς της προβλήτας χρειάζονται 20 λάμπες των 50 W. Για την ύδρευση των κατοικιών του χωριού, την άρδευση των χωραφιών και το πότισμα των ζώων χρειάζονται 2 αντλίες ισχύος η καθεμία 2,5 KW. Για την συντήρηση των αλιευμάτων και ευαίσθητων τροφίμων χρειάζεται ένας ψυκτικός θάλαμος χωρητικότητας 50 m<sup>3</sup> με ψυκτικά μηχανήματα ισχύος 5 KW.

Τους θερινούς μήνες (Ιούνιο - Σεπτέμβριος) υπάρχει μια μικρή τουριστική κίνηση με αποτέλεσμα να διπλασιάζεται το πλήθος των σπιτιών που κατοικούνται. Σε ένα ύψωμα κοντά στο χωριό, θα εγκατασταθεί ένας τηλεπικοινωνιακός αναμεταδότης, που θα εξυπηρετεί το γενικότερο θαλάσσιο και νησιωτικό χώρο της περιοχής. Η απορροφούμενη ισχύς προβλέπεται ότι θα είναι 1,5 KW από τα οποία τα 0,25 KW για τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις, 0,5 KW για 4 ραδιοφωνικά προγράμματα διαμόρφωσης συχνότητας (FM) και 0,75 KW για δύο τηλεοπτικά κανάλια.

Το δίκτυο διανομής για την τροφοδότηση όλων των καταναλώσεων είναι εναλλασσόμενο τριφασικό 220 – 380 V στα 50 HZ.

Για την Φ/β γεννήτρια θα χρησιμοποιηθούν Φ/β πλαίσια ισχύος αιχμής 40 Wp. Η τοποθέτηση των Φ/β συλλεκτών θα γίνει σε μια επίπεδη οριζόντια αγροτική περιοχή στην οποία επικρατούν μέτριοι άνεμοι που μεταφέρουν αξιόλογη ποσότητα σκόνης.

Το σύστημα πρέπει να έχει υψηλή αξιοπιστία κυρίως για να αποφεύγονται οι διακοπές παροχής ισχύος προς τον αναμεταδότη και των ψυκτικό θάλαμο.

Γενική πορεία του σχεδιασμού Θα ακολουθήσουμε τα διαδοχικά βήματα του υποδείγματος του πίνακα 8.

Πίνακας 1. Παράδειγμα υποδείγματος των διαδοχικών βημάτων για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

1. Επιλογή της κρίσιμης χρονικής περιόδου για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος
2. Εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που ζητείται να ικανοποιεί το σύστημα
3. Υπολογισμός της μέσης διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στην υπόψη τοποθεσία , στην επιλεγμένη χρονική περίοδο και για την βέλτιστη κλίση των συλλεκτών
4. Υπολογισμός της απαιτούμενης συνολικής επιφάνειας ή της συνολικής ισχύος αιχμής των Φ/β συλλεκτών και εύρεση του αντίστοιχου πλήθους και της κατάλληλης συνδεσμολογίας των τυποποιημένων Φ/β πλαισίων ή πανέλων.
5. Καθορισμός των επιθυμητών ημερών αυτοδυναμίας του συστήματος και εύρεση της αντίστοιχης χωρητικότητας των συσσωρευτών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας για την αντιμετώπιση της ζήτησης στο διάστημα των πιθανών ημερών συνεχούς συννεφιάς.
6. Υπόδειξη των διαφόρων αναγκαίων διατάξεων ρύθμισης και ελέγχου, και της ισχύος της βοηθητικής ενεργειακής πηγής

Δηλαδή κατά σειρά θα επιλέξουμε την χρονική περίοδο της απαιτούμενης αξιόπιστης λειτουργίας του συστήματος θα εκτιμήσουμε το μέγεθος της ηλεκτρικής κατανάλωσης, θα υπολογίσουμε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, θα βρούμε ποιο είναι το αναγκαίο πλήθος των Φ/β πλαισίων για την συγκρότηση της Φ/β γεννήτριας, θα καθορίσουμε τη χωρητικότητα των συσσωρευτών και θα υποδείξουμε τις απαιτούμενες διατάξεις ρύθμισης και ελέγχου του συστήματος, καθώς και την ισχύ της βοηθητικής ενεργειακής πηγής, για την ικανοποίηση της αξιοπιστίας του συστήματος και την αντιμετώπιση ανώμαλων συνθηκών. Οι υπολογισμοί μας θα στηριχτούν στα τεχνικά στοιχεία που μας δόθηκαν και σε άλλες γνωστές πληροφορίες ή παραδοχές που δικαιολογούνται από την κοινή λογική. Στις περιπτώσεις που απαιτείται θα κάνουμε διάκριση ανάμεσα στις χειμερινές και στις θερινές συνθήκες.

## Η Χρονική περίοδος

Είναι φανερό ότι το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα σε όλη τη διάρκεια του έτους, ώστε να εξυπηρετούνται οι ανάγκες των μόνιμων και των προσωρινών κατοίκων του χώρου να αποφεύγονται οι ζημιές στην αλιευτική, κτηνοτροφική και γεωργική παραγωγή και να εξασφαλίζεται η συνεχής λειτουργία του αναμεταδότη.

## 2.Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις

### α. κατοικίες

Θεωρούμε ότι η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση ανά κατοικία είναι 4 KWh. Επιλέγουμε ότι είναι το μισό από την κατανάλωση που αφορά σε αστική

κατοικία, όπου η οικογένεια έχει συνήθως μεγαλύτερη διάρκεια νυχτερινής δραστηριότητας και χρησιμοποιεί περισσότερο ηλεκτρικό εξοπλισμό από όσο μια

μέση οικογένεια αγροτών, ψαράδων ή κτηνοτρόφων, ανεξάρτητα από το ύψος του εισοδήματός της. Ως προς τις καταναλώσεις ισχύει και εδώ η προϋπόθεση ότι δεν θα χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια για το μαγείρεμα, τη θέρμανση νερού και την θέρμανση χώρου.

#### β. Κοινοτικός φωτισμός



Θεωρούμε ότι οι 20 λάμπες των 50 W του κοινοτικού λιμενικού φωτισμού συνολικής ισχύς  $20 \times 50 \text{ W} = 1000 \text{ W}$  λειτουργούν επί 14 ώρες τις νύχτες του χειμώνα και επί 10 ώρες τις νύχτες του καλοκαιριού.

#### γ. Αντλίες

Θεωρούμε ότι οι 2 ηλεκτρικές αντλίες νερού, συνολικής ισχύος  $2 \times 2,5 \text{ KW}$ , θα λειτουργούν 2 ώρες τις ημέρες του χειμώνα ενώ το καλοκαίρι, λόγω των μεγαλύτερων καταναλώσεων νερού από τον αυξημένο πληθυσμό και τα ποτίσματα στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες θα λειτουργούν 24 ώρες την ημέρα.

#### δ. Ψυκτική εγκατάσταση

Θεωρούμε ότι ,για τη διατήρηση της ψύξης του ψυκτικού θαλάμου τα μηχανήματα ισχύος  $5 \text{ KW}$  θα λειτουργούν το 10% του χρόνου τους χειμερινούς μήνες και το 50% τους θερινούς.

#### ε. Αναμεταδότης

Θεωρούμε ότι η ενίσχυση και αναμετάδοση των τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων με απορρόφηση ισχύος θα ,γίνεται στη διάρκεια ολόκληρου του 24ώρου, των ραδιοφωνικών προγραμμάτων FM με απορρόφηση ισχύος  $0,5 \text{ KW}$  επί 16 ώρες την ημέρα και των τηλεοπτικών με απορρόφηση  $0,75 \text{ KW}$  επί 8 ώρες την ημέρα.

Οι εκτιμήσεις των παραπάνω ημερήσιων χειμερινών και θερινών καταναλώσεων μεταφέρονται στον πίνακα 2 και αθροίζονται. Βρίσκονται ότι η συνολική μέση ημερήσια κατανάλωση είναι  $116 \text{ KW}$  το χειμώνα και  $270 \text{ KW}$  το καλοκαίρι.

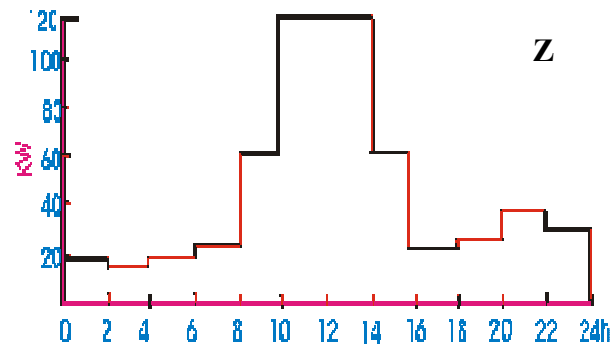
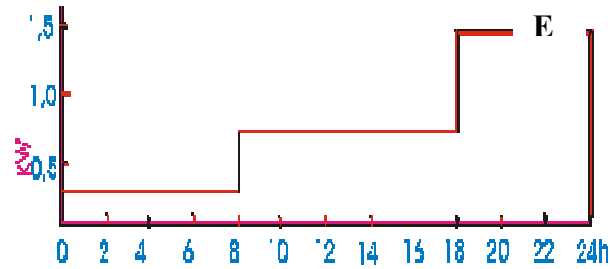
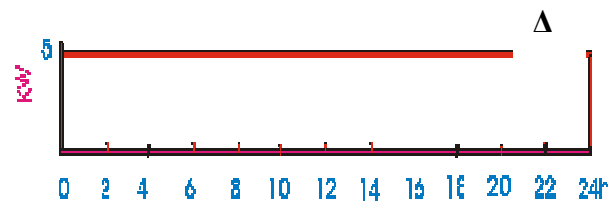
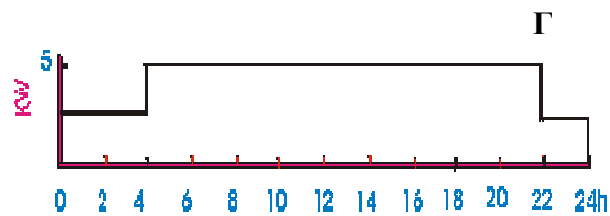
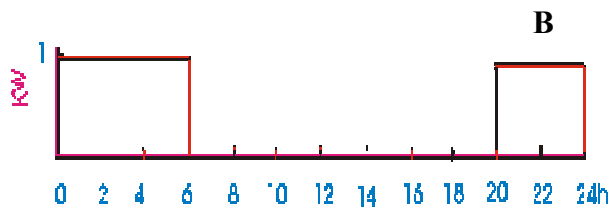
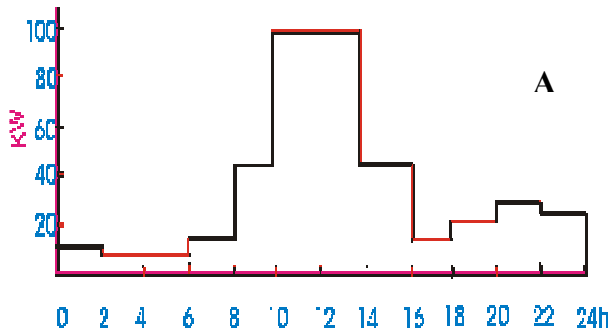
**Πίνακας 2.** Εκτίμηση των μέσων ημερήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων που θα τροφοδοτεί το σύστημα.

<b>Κατανάλωση</b>	<b>Χειμώνας</b>	<b>Καλοκαίρι</b>
<b>A. κατοικίες</b>	<b>15 x 4KWh =60 KWh</b>	<b>30 x 4 KWh=120 KWh</b>
<b>B. Κοιν. Φωτισμός</b>	<b>1 KW x 14h= 14KWh</b>	<b>1KW x10h=10 KWh</b>
	<b>5 KWh x 2h= 10 KWh</b>	<b>5KWh x 12h=60KWh</b>
<b>Γ. Αντλίες</b>	<b>0,1 x 5KW x 24h= 12 KWh</b>	<b>0,5 x 5KW x 24h=60KWh</b>
<b>Δ. Ψυκτική</b>	<b>0,25 KWh x 24h +0,5KW</b>	<b>0,25 KWh x 24h +0,5KW x</b>
<b>E. Αναμεταδότης</b>	<b>x16h +0,75KW x 8h= 20 KWh</b>	<b>16h +0,75KW x8h=20KWh</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>116 KWh</b>	<b>270 KWh</b>

Για την εκτίμηση της μέγιστης ισχύος που ενδέχεται να ζητηθεί να τροφοδοτήσει το σύστημα, θεωρούμε όπως και ,για την κατανάλωση ότι οι κατοικίες έχουν ηλεκτρικό εξοπλισμό με την μισή ισχύ σε σχέση με της αστικής κατοικίας δηλαδή συνολικής ισχύος 3,75 KW. Στον πίνακα 3 συγκεντρώνουμε και αθροίζουμε τις επιμέρους ισχύεις και βρίσκουμε σύνολο 125 KW.

**Πίνακας 3.** Καταγραφή της μέγιστης ισχύος που απορροφούν οι διάφοροι καταναλωτές . Με αστερίσκο σημειώνονται οι καταναλώσεις πρώτης προτεραιότητας

<b>Κατανάλωση</b>	<b>Μέγιστη ισχύς</b>
<b>A. κατοικίες</b>	<b>30 x 3,75KW=112,5KW</b>
<b>B. Κοιν. Φωτισμός</b>	<b>20 x 0,05KW=1,0 KW</b>
<b>Γ. Αντλίες</b>	<b>2x 2,5KW=5,0KW</b>
<b>Δ. Ψυκτική</b>	<b>5,0KW</b>
<b>E. Αναμεταδότης</b>	<b>1,5KW</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>125,0 KW</b>



. Εκτίμηση της πιθανής μέγιστης ζήτησης ισχύος στις επιμέρους καταναλώσεις και στο σύνολο του συστήματος κατά τη διάρκεια ενός θερινού 24ώρου (Η κλίμακα της ισχύος δεν είναι η ίδια σε όλα τα ιστογράμματα.)

Προτεραιότητα θεωρούμε ότι έχει ο αναμεταδότης, διότι εξυπηρετεί την ευρύτερη θαλάσσια και νησιωτική περιοχή και ακολουθούν κατά σειρά η ψυκτική εγκατάσταση, οι κατοικίες, οι αντλίες και ο κοινοτικός φωτισμός. λόγω της χαμηλής προτεραιότητας των αντλιών υποτίθεται ότι θα ,γίνει ενημέρωση των κατοίκων ώστε να διατηρούν σε δεξαμενές την αναγκαία ποσότητα νερού της ημερήσιας κατανάλωσης.

Συνήθως ,για να αποκτήσουμε μια εικόνα της πιθανής κατανομής της μέγιστης ζήτησης ισχύος, σχεδιάζουμε ιστόγραμμα (όπως το διπλανό σχημα) ,για τις διάφορες ξεχωριστές και τις συνολικές καταναλώσεις του συστήματος στη διάρκεια του 24ώρου.

### 3.Η ηλιακή ενέργεια

Το νησί που θα εγκατασταθεί το Φ/β σύστημα, βρίσκεται ανάμεσα σε 3 νησιωτικές, δηλαδή όμοιες τοποθεσίες (Λέσβο, Λήμνο και Σκύρο) με γνωστά μετεωρολογικά στοιχεία . Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε ότι οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στο υπόψη νησί θα είναι ο μέσος όρος των τιμών των 3 γειτονικών τοποθεσιών που το περιβάλλουν και με τη βοήθεια των αντίστοιχων πινάκων βρίσκουμε τις μέσες τιμές του πίνακα 12. Δεν θεωρούμε σκόπιμο να εξετάσουμε και να περιλάβουμε στον πίνακα και κλίσεις μικρότερες από 30° , διότι στις περιπτώσεις αυτές η συγκράτηση της σκόνης πάνω στην επιφάνεια του συλλέκτη θα είναι μεγάλη και επομένως η μείωση της ηλιακή ακτινοβολίας γίνεται σημαντική.

#### 4. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια

##### α. Η κλίση των συλλεκτών

Παρατηρούμε στον πίνακα 12 ότι η κλίση 30ο πλεονεκτεί επί 7 μήνες (Μάρτης μέχρι Σεπτέμβρη), η κλίση 60ο πλεονεκτεί επί 3 μήνες (Ιανουάριος, Νοέμβριος και Δεκέμβριος), ενώ η κλίση 45ο πλεονεκτεί επί 2 μήνες (Φεβρουάριος και Οκτώβριος), και το πλεονέκτημα της ασήμαντο σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές της κλίσης 60ο στους ίδιους μήνες.

Επομένως, επιλέγουμε την κλίση 30ο για του μήνες Μάρτη μέχρι Σεπτέμβρη, και την κλίση 60ο για τους μήνες Οκτώβρη μέχρι Φεβρουάριο. Προβλέπουμε, δηλαδή για μια κατάλληλη κατασκευή στήριξης των Φ/β συλλεκτών π.χ. με αρθρωτά στηρίγματα, που να είναι εύκολη με ένα απλό χειροκίνητο μηχανισμό, η αλλαγή από τη μια κλίση στην άλλη, δύο φορές τον χρόνο.

Πίνακας 4 . Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (KWh/d\*) για διαφορετικές κλίσεις του συλλέκτη ,και η μέση θερμοκρασία του αέρα (οC) στη διάρκεια των φωτεινών ωρών της ημέρας.

<b>ΜΗΝΑΣ</b>	<b>ΚΛΙΣΗ 30°</b>	<b>ΚΛΙΣΗ 45°</b>	<b>ΚΛΙΣΗ 60°</b>	<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>
<b>ΙΑΝ.</b>	2,22	2,39	2,45	10,1
<b>ΦΕΒ.</b>	2,94	3,09	3,07	10,8
<b>ΜΑΡ.</b>	3,74	3,73	3,56	12,1
<b>ΑΠΡ.</b>	4,82	4,58	4,11	17,0
<b>ΜΑΙΟΣ</b>	5,74	5,20	4,45	20,7
<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	6,19	5,50	4,59	25,0
<b>ΙΟΥΛ.</b>	6,42	5,74	4,82	27,3
<b>ΑΥΓ</b>	6,37	5,93	5,20	27,0
<b>ΣΕΠΤ.</b>	5,54	5,47	5,10	23,5
<b>ΟΚΤ.</b>	4,12	4,30	4,26	19,2
<b>ΝΟΕΜ.</b>	3,00	3,27	3,36	15,4
<b>ΔΕΚΕΜ.</b>	2,30	2,54	2,65	11,9

\*d = ανά ημέρα



## β. Η απαιτούμενη ισχύς αιχμής

Από τον πίνακα 12 βλέπουμε ότι τη μικρότερη μέση τιμή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας έχει για τους χειμερινούς μήνες ο Ιανουάριος με 2,45 KWh και για τους θερινούς μήνες με την αυξημένη ηλεκτρική κατανάλωση (Ιούνιος μέχρι Σεπτέμβριος) την έχει ο Σεπτέμβριος με 5,54 KWh.

Η μέση θερμοκρασία του αέρα στις φωτεινές ώρες είναι 10,1 τον Ιανουάριο και 23,5 βαθμοί τον Σεπτέμβριο. Δεχόμενοι ότι των ηλιακών στοιχείων θα είναι περίπου 30°C περισσότερο καταλήγουμε, στους περίπου 40 °C τον Ιανουάριο και 53,5 °C το Σεπτέμβριο και από το διάγραμμα του σχήματος 28 βρίσκουμε τις αντίστοιχες τιμές του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης 0,93 και 0,87 περίπου. Εκτιμάμε, πάντως ότι είμαστε συντηρητικοί στις παραδοχές μας διότι οι άνεμοι που επικρατούν στην περιοχή, θα εμποδίζουν κάπως την υπερθέρμανση των ηλιακών στοιχείων.

Ως προς την ρύπανση των Φ/β συλλεκτών προβλέπουμε ότι λόγω των ανέμων και της σκόνης θα γίνεται περιοδική επιθεώρηση και ενδεχομένως καθαρισμός της επιφάνειάς τους και δεχόμαστε για τον συντελεστή καθαρότητας την τιμή 0,9 όλες τις εποχές του έτους.

Εφαρμόζουμε την σχέση υπολογισμού της  $P_{α}$  για να υπολογίσουμε την ιδανικά απαιτούμενη ισχύ αιχμής της Φ/β εγκατάστασης :

$$P_{α} = \varepsilon \times 1/\Pi \times \sigma\theta \times \sigma\rho$$

$$(KW_p) = (KWh/d) \times (KW/m^2)/(KWh/m^2 d)$$

και βρίσκουμε για τον Ιανουάριο, δηλ. για τους χειμερινούς μήνες την τιμή .

$$P_{αχ} = (116 \times 1) / (2,45 \times 0,93 \times 0,9) = 56,6 KW_p$$

και για τον Σεπτέμβριο, δηλ για τους θερινούς μήνες, την τιμή:

$$P_{α\theta} = (270 \times 1) / (5,54 \times 0,87 \times 0,9) = 62,2 KW_p$$

που την επιλέγουμε ως μεγαλύτερη από τις δύο .

Παρατηρούμε ότι οι απαιτούμενες ισχύεις για το χειμώνα και το καλοκαίρι περίπου συμπίπτουν. Άλλωστε, θα έπρεπε να το περιμένουμε ότι οι αυξημένες θερινές ηλεκτρικές καταναλώσεις αντισταθμίζονταν κατά μεγάλο ποσοστό από την αυξημένη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας την ίδια εποχή. Η ικανοποιητική αυτή σύμπτωση δείχνει ότι η Φ/β εγκατάσταση θα έχει μεγάλο βαθμό αξιοποίησης ολόκληρη τη διάρκεια του έτους. Στη συνέχεια προχωράμε σε μια χονδρική εκτίμηση των απωλειών του συστήματος.

Κατά αρχήν, επειδή η Φ/β εγκατάσταση είναι αρκετά μεγάλης ισχύος και υψηλού βαθμού αξιοποίησης, δικαιολογείται να εξοπλιστεί με τις απαραίτητες διατάξεις ρύθμισης της ισχύος και της τάσης, που θα εξασφαλίσουν σταθερή λειτουργία και υψηλή τελική απόδοση του συστήματος. Έτσι, παίρνοντας ως συντελεστή απόδοσης 85% για τους συσσωρευτές, 90% για το μετατροπέα συνεχούς ρεύματος και τη διάταξη MPPT, 90% για τον αναστροφέα ΣΡ /ΕΡ και τον

ενδεχόμενο μετασηματιστή μαζί και 5% για τις απώλειες στους αγωγούς του δικτύου, καταλήγουμε σε συνολικό συντελεστή απόδοσης :

$$\alpha = 0,85 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,95 = 0,65$$

Επομένως η ελάχιστη ισχύς αιχμής της Φ/β γεννήτριας πρέπει να είναι :

### **γ . Το πλήθος και η οργάνωση των Φ/β πλαισίων**

Τα διαθέσιμα Φ/β πλαίσια έχουν ισχύ αιχμής 40 Wp και παράγουν τάση 17,3 V Το πλήθος τους, επομένως , για τη συγκρότηση της Φ/β γεννήτριας, συνολικής ισχύος αιχμής 95690 Wp, θα είναι :

$$95690 / 40 = 2393 \text{ Φ/β πλαίσια}$$

Αν ως τάση εξόδου της γεννήτριας θεωρήσουμε ότι θα έχουμε πχ. 250 V , που είναι μια συνηθισμένη τιμή για τις Φ/β εγκαταστάσεις βλέπουμε ότι ο κάθε κλάδος στις Φ/β συστοιχίες θα πρέπει να αποτελείται από :

$$250 / 17,3 = 15 \text{ Φ/β πλαίσια}$$

και επομένως η Φ/β γεννήτρια θα αποτελείται από :

$$2393/15=60 \text{ παράλληλους κλάδους}$$

Τελικά λοιπόν η Φ/β γεννήτρια θα δίνει τάση :

$$15 \times 160 = 2400 \text{ Φ/β πλαίσια}$$

που ανεβάζει την ονομαστική αιχμή της Φ/β γεννήτριας σε :

$$40 \times 2400 = 96000 \text{ Wp} = 96 \text{ KWp}$$

Ο σχετικά μεγάλος αριθμός των Φ/β πλαισίων που βρήκαμε θα πρέπει για τον καλύτερο έλεγχο τους να κατανεμηθεί σε υποσυγκροτήματα συστοιχιών π.χ με 300 Φ/β πλαίσια (20 κλάδους) στο καθένα .

### **δ. Η έκταση του Φ/β πάρκου**

Στη συνέχεια προχωράμε στον υπολογισμό του απαιτούμενου εμβαδού για την έκταση της γης που θα τοποθετηθούν οι ηλιακοί συλλέκτες.

Τα Φ/β πάνελ που θα χρησιμοποιηθούν αποτελούνται από 4 Φ/β πλαίσια και το πλάτος τους είναι  $\gamma = 122 \text{ cm}$ . Το ίδιο πλάτος θα έχουν και τα στηρίγματα τους. Εξάλλου, η δυσμενέστερη περίπτωση κλίση των συλλεκτών από την άποψη της αλληλοσκίασης τους είναι η περισσότερο όρθια τοποθέτηση, δηλαδή η γωνία  $\beta = 60^\circ$

Το ύψος της κατασκευής στήριξης στο οριζόντιο Φ/β πάρκο όπου το (δ) έχει μηδενική τιμή, θα είναι :

$$v = \gamma \times \eta\mu\beta\sigma = 122 \times \eta\mu60\circ = 105,7 \text{ cm}$$

Στο χάρτη του σχήματος 43 βρίσκουμε ότι το γεωγραφικό πλάτος του Αγ. Ευστατίου είναι περίπου 39,50, για το οποίο το διάγραμμα του σχήματος 41 δίνει αντίστοιχη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης προς το ύψος της στήριξης περίπου  $\alpha / v = 2,8$ .

$$\alpha = 2,8 \times v = 2,8 \times 105,7 = 296 \text{ cm}$$

και σύμφωνα με την γνωστή σχέση η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση ανάμεσα από τις σειρές των Φ/β συστοιχιών είναι :

$$\varepsilon = \alpha + \gamma \times \sigma\upsilon\nu\beta\sigma = 296 + 122 \times \sigma\upsilon\nu60\circ = 357 \text{ cm}$$

Αφού το κάθε πάνελ των 4 πλαισίων έχει διαστάσεις 122 cm x 122 cm και η Φ/β γεννήτρια αποτελείται από :

$$2400 / 4 = 600 \text{ Φ/β πάνελ}$$

η συνολική του επιφάνεια θα είναι :

$$600 \times 1,22 \times 1,22 = 900 \text{ m}^2$$

και η οριζόντια προβολή τους  $S_0$  θα είναι :

$$S_0 = 900 \text{ m}^2 \times \sigma\upsilon\nu60\circ = 450 \text{ m}^2$$

Επομένως, το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης  $S_e$  που θα χρειαστεί για την ανάπτυξη των Φ/β συλλεκτών θα ισούται με :

$$S_e = (\varepsilon / (\gamma \times \sigma\upsilon\nu\beta\sigma)) \times 450 = (357 / (122 \times \sigma\upsilon\nu60\circ)) = 2633,6 \text{ m}^2$$

που το στρογγυλεύουμε σε περίπου 3000 m<sup>2</sup>, ώστε να υπάρχει μια περιμετρική ελεύθερη ζώνη, καθώς και αρκετές οδοί πρόσβασης προς τους Φ/β συλλέκτες, ανάμεσα στις σειρές των συστοιχιών, για την άνετη επιθεώρηση και συντήρησή τους.

## 5. Οι συσσωρευτές

Θεωρούμε ότι οι συσσωρευτές του συστήματος θα έχουν τάση  $V=200$  Volts, που συνδυάζεται ικανοποιητικά με την τάση εξόδου της Φ/β γεννήτριας παίρνοντας υπόψη τις απώλειες και την απαιτούμενη αυξημένη τάση φόρτισης. Επίσης, θεωρούμε ότι το βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών θα είναι  $\beta=80\%$ , ο συντελεστής απόδοσης  $\alpha=855$  και ότι θα πρέπει να αποθηκευτούν επαρκή

ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν τις μέσες καταναλώσεις τουλάχιστον 6 διαδοχικών χειμερινών ή 3 διαδοχικών θερινών ημερών. Δηλαδή στη πρώτη περίπτωση να έχουν ικανότητα αποθήκευσης:

$$E_x = 6 \times 116 \text{ KWh} = 696 \text{ KWh}$$

και στην δεύτερη περίπτωση :

$$E_0 = 3 \times 270 \text{ Kwh} = 810 \text{ KWh}$$

Επιλέγουμε τη μεγαλύτερη από της παραπάνω τιμές και από γνωστή σχέση βρίσκουμε ότι η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών θα πρέπει να είναι :

$$C_N = E / (\alpha \times \beta \times V) = (810 \times 103 \text{ Wh}) / (0,85 \times 0,8 \times 200 \text{ V}) = 5956 \text{ Ah}$$

Στη συνέχεια βρίσκουμε ότι η ισχύς που μπορούν να δίνουν συσσωρευτές μας επί το παραπάνω μέγιστο διάστημα των διαδοχικών ημερών είναι περίπου :

$$P = (\beta \times C_N \times \gamma) / (24 \times \mu) = (0,8 \times 5956 \times 200) / (24 \times 6) = 6,6 \text{ Kw}$$

Όπως βλέπουμε στον πίνακα 5, σε περίπτωση ταυτόχρονης ζήτησης, η διαθέσιμη ισχύς των 6,6 KW επαρκεί για την τροφοδότηση του αναμεταδότη και της ψυκτικής εγκατάστασης, που χαρακτηρίστηκαν ως καταναλώσεις πρώτης προτεραιότητας.

## 6. Διατάξεις ρύθμιση και ελέγχου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω (παραγραφος 4.1), το σύστημα θα έχει μετατροπέα συνεχούς ρεύματος διάταξης MPPT, αναστροφέα DC/AC και ενδεχομένως μετασχηματιστή, αν ο αναστροφέας δεν δίνει το απαιτούμενο τριφασικό ρεύμα 220/380 V, 50 HZ. Επίσης, θα έχει ένα αυτόματο επιλογή της κατανομής του φορτίου ώστε αν χρειαστεί να επιβάλλεται μια ιεράρχηση της τροφοδότησης των καταναλώσεων με την προκαθορισμένη σειρά προτεραιότητας . (1) αναμεταδότης (2) ψυκτική εγκατάσταση (3) κατοικίες (4) αντλίες νερού (5) κοινοτικός φωτισμός. Οι συνολικές ισχύεις των παραπάνω διατάξεων θα είναι αντίστοιχες με την μέγιστη ισχύ του συστήματος συμπίπτει με την ισχύ αιχμής του (96 KW). Θα είναι όμως κατανεμημένες σε περισσότερα μικρότερα μεγέθη, ώστε να συνδέεται κάθε φορά ο απαιτούμενος αριθμός του για την κάλυψη της εκάστοτε πραγματικής ισχύος και έτσι να λειτουργούν όσο το δυνατόν πιο κοντά στη ονομαστική τους ισχύ και να έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης. π.χ θα χρησιμοποιηθούν 4 μετατροπείς συνεχούς ρεύματος των 25 KW και 2 αναστροφείς DC/AC των 50 KW που είναι συνηθισμένα μεγέθη των κατασκευών σειράς. Το σχήμα 17 δείχνει ένα γενικό διάγραμμα του συστήματος από την Φ/β γεννήτρια μέχρι την έξοδο προς τις καταναλώσεις.

## 7. Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Το σύστημα συμπληρώνεται με μια βοηθητική πηγή ηλεκτροπαραγωγής για την αντιμετώπιση ανώμαλων καταστάσεων, όπως μια σοβαρή βλάβη του συστήματος, ένα υπερβολικά παρατεταμένο διάστημα συνεχούς συννεφιάς κ.λ.π. Συνήθως για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη που καίνε πετρέλαιο ή βενζίνη και μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα ή και παράλληλα με τη Φ/β γεννήτρια.

Η ισχύς του ζεύγους πρέπει να επαρκεί για την ηλεκτροδότηση των καταναλώσεων πρώτης προτεραιότητας καθώς και για τη φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος διαμέσου ενός ανορθωτή, μέσα σε ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, π.χ. σε δύο 24ωρα. Για την ικανοποίηση της πρώτης απαίτησης χρειάζεται ισχύς 1,5 KW για τον αναμεταδότη και 5 KW για την ψυκτική εγκατάσταση. Για τη δεύτερη βρίσκουμε την τιμή .

$$P = \beta \times CN \times V/24 \times \mu = 0,8 \times 5956 \times 200/24 \times 2 = 20 \text{ KW}$$

Επομένως το βοηθητικό ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος θα πρέπει να έχει τουλάχιστον ισχύ .

$$1,5 + 5 + 20 = 26,5 \text{ KW}$$

που τη στρογγυλεύουμε στα 30 KW.

## 8. Συγκέντρωση Αποτελεσμάτων

Με την επιλογή της ισχύος του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους συμπληρώθηκαν οι απαιτούμενοι υπολογισμοί για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό του αυτόνομου Φ/β συστήματος, τα κυριότερα αποτελέσματα του οποίου συγκεντρώθηκαν στον πίνακα 1.(παράγραφος 4.1)

Θα ήταν πάντως χρήσιμη η διεξαγωγή μιας παραπέρα διερεύνησης σχετικά με τις αντιστοιχίες ηλεκτρικής κατανάλωσης – ηλιακής ακτινοβολίας σε ολόκληρη τη διάρκεια του χρόνου. Δηλαδή να εξεταστεί μήπως, εκτός από τους μήνες Ιανουάριο και Σεπτέμβρη που πάρθηκαν σαν υπόδειγμα, υπάρχουν και άλλοι μήνες όπου ενδεχομένως η ηλιακή ακτινοβολία με τη δοσμένη επιφάνεια συλλεκτών δεν καλύπτει την κατανάλωση. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αυξηθεί κατάλληλα το πλήθος των Φ/β πλαισίων. Επίσης θα ήταν σκόπιμη μια λεπτομερέστερη εκτίμηση των διαφόρων απωλειών του συστήματος από την φ/β γεννήτρια μέχρι του καταναλωτές.

Ως προς τις μελλοντικές εξελίξεις μπορούμε να προβλέψουμε ότι η ηλεκτροδότηση του χωριού θα οδηγήσει σύντομα στη βελτίωση των όρων ζωής των κατοίκων, την αύξηση του πληθυσμού και την ενεργοποίηση των διαφόρων δραστηριοτήτων που συνεπάγονται αντίστοιχη αύξηση της ηλεκτρικής ζήτησης. Αν θεωρήσουμε ως ενδεχόμενο των διπλασιασμό της ισχύος της Φ/β εγκατάστασης θα υποδείξουμε να κρατηθεί ελεύθερος γης χώρος γης δίπλα στις Φ/β συστοιχίες όμοιας έκτασης δηλ. 3000 m<sup>2</sup>, για την μελλοντική επέκταση της Φ/β γεννήτριας. Επίσης ανάλογοι χώροι θα πρέπει να υπάρχουν και στο κτίριο της Φ/β εγκατάστασης για την τοποθέτηση των πρόσθετων συσσωρευτών, των διατάξεων ρύθμισης της ισχύος κ.λ.π.

## **9. Οδηγίες Λειτουργίας και Συντήρησης**

Από τις παραδοχές που κάναμε για τους υπολογισμούς μας αλλά και από την απλή λογική μπορούμε να διατυπώσουμε τις παρακάτω στοιχειώδεις οδηγίες λειτουργίας και συντήρησης για την καλή και αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

- α) Καθαρισμός των επιφανειών των συλλεκτών μία φορά το μήνα.
- β) Αναπροσαρμογή της κλίσης των συλλεκτών δύο φορές το χρόνο (Μάρτης και Οκτώβριος).
- γ) Έλεγχος και ενδεχόμενη συμπλήρωση της στάθμης του ηλεκτρολύτη (θειικό οξύ ) στους συσσωρευτές κάθε τρεις μήνες.
- δ) Δοκιμαστική λειτουργία του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους κάθε εβδομάδα.

## **10. Συγκρίσεις**

Συνήθως όταν φτάνουμε στο αριθμητικό αποτέλεσμα μιας μελέτης, ή ενός τεχνικού σχεδιασμού, εξετάζουμε αν αυτό είναι ρεαλιστικό και πραγματοποιήσιμο ώστε να ελέγξουμε έμμεσα αν έχουμε κάνει κάποιο χονδρό λάθος, ή και να αποφύγουμε να προχωρήσουμε στη διατύπωση μιας παράλογης πρότασης. Η κριτική αυτή των αποτελεσμάτων μας στηρίζεται στην εμπειρία και στην πληροφόρηση σχετικά με άλλες ανάλογες περιπτώσεις.

Έτσι στον πίνακα 14 έχουμε συγκεντρώσει τα κύρια γνωστά χαρακτηριστικά 7 Φ/β εγκαταστάσεων, περίπου όμοιων με το σύστημα που μελετάμε. Συγκεκριμένα κατά σειρά μεγέθους η κάθε μία από τις Φ/β εγκαταστάσεις του πίνακα έχει το παρακάτω αντικείμενο:

1. Ηλεκτροδότηση του μικρού χωριού VESTER στη Δανία, με μεταβαλλόμενο πληθυσμό σε αγροικίες και παραθεριστικές κατοικίες.
2. Συμμετοχή κατά περίπου 17% στην ηλεκτροδότηση της Κύθνου στις Κυκλάδες (2000 κάτοικοι) σε συνδυασμό με ένα τοπικό ηλεκτροπαραγωγό σταθμό Diesel, ισχύος 650 KW, και 5 ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 100 KW. Δηλαδή, το Φ/β σύστημα της Κύθνου δεν είναι αυτόνομο.
3. Ηλεκτροδότηση ενός μικρού οικισμού στην πολιτεία Γιούτα των U.S.A με 5 κατοικίες και ένα ξενώνα.
4. Ηλεκτροδότηση του μικρού νησιού Alicudi κοντά στη Σικελία με 120 μόνιμους κατοίκους σε 50 κατοικίες και μερικές εκατοντάδες παραθεριστές το καλοκαίρι.
5. Ηλεκτροδότηση του χωριού Αγία Ρούμελη στη Νότια Κρήτη, με 34 κατοικίες 7 μικρά ξενοδοχεία και 8 μικρά καταστήματα.
6. Ηλεκτροδότηση του μικρού χωριού Rondulino στη Κορσική με 7 κατοικίες τον χειμώνα και 16 το καλοκαίρι μια στάνη με αιγοπρόβατα, ένα μικρό μηχανουργείο και μία αντλία νερού.
7. Ηλεκτροδότηση του εντελώς απομονωμένου χωριού KAW στη Γαλλική Γουιάνα (Νότια Αμερική) με 70 κατοίκους που ασχολούνται με την γεωργία, το ψάρεμα και το κυνήγι.

Παρατηρώντας τις τιμές του πίνακα διαπιστώνουμε με αρκετή ικανοποίηση ότι, ανάλογα με τις ηλεκτρικές καταναλώσεις της κάθε περίπτωσης, τα αποτελέσματα μας που αναγράφονται στη στήλη 8 είναι της ίδια τάξης μεγέθους με τα συγκρινόμενα συστήματα.

**Πίνακας 6.** Σύγκριση της ισχύος αιχμής της Φ/β γεννήτριας , της χωρητικότητας αποθήκευσης των συσσωρευτών, και της αναγωγής τους ως προς την ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση του υπό μελέτη συστήματος , με τα αντίστοιχα μεγέθη 7 άλλων Φ/β εγκαταστάσεων.

Συγκρινόμενα μεγέθη	(1) Δανία	(2) Κύθνος	(3) Γιούτα	(4) Σικελία	(5) Κρήτη	(6) Κορσική	(7) Γουιάνα	(8) Το σύστημα μας
Ισχύς αιχμής της Φ/β γεννήτριας K Wp	100	100	100	76	50	44	35	96
Συσσωρευτές								
Ονομαστική χωρητικότητα Ah	4.000	2.400	3.500		1500	3000	1500	5956
Χωρητικότητα αποθήκευσης KWh	1000	600	750	600	360	540	410	810

<b>Μέση ημερ. ηλεκτρική κατανάλωση</b>								
<b>Χειμερινή , KWh/d</b>	-	-	-	-	<b>64</b>	<b>53</b>	<b>46</b>	<b>116</b>
<b>Θερινή KWh /d</b>	-	-	-	-	<b>179</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>270</b>
<b>Μέση ετήσια Kwh/d</b>	<b>410</b>	<b>472</b>	<b>394</b>	<b>278</b>	-	-	-	-
<b>Αναγωγές ανά μονάδα ημερ. Ηλεκτ. καταν. KWh/d</b>								
<b>A)Της ισχύος αιχμής KWp/(KWh/d)</b>	<b>0,24</b>	<b>0,21</b>	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	<b>0,28</b>	<b>0,41</b>	<b>0,32</b>	<b>0,36</b>
<b>B)Της χωρητ. των συσσωρ. KWh/(KWh/d)</b>	<b>2,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,9</b>	<b>2,2</b>	<b>2,0</b>	<b>5,0</b>	<b>3,8</b>	<b>3,0</b>

## 11. Προϋπολογισμός Κόστους

Ο προκαταρκτικός σχεδιασμός του συστήματος μας δίνει αναγκαία τεχνικά στοιχεία για να προχωρήσουμε σε ένα χονδρικό προϋπολογισμό κόστους, ώστε να έχουμε μια πρώτη εικόνα της απαιτούμενης δαπάνης για την πραγματοποίηση της υπόψη Φ/β εγκατάστασης. Θεωρούμε καταρχήν, ότι ισχύουν οι παρακάτω τιμές μονάδας για κάθε παράγοντα κόστους της εγκατάστασης.

1. Φ/β πάνελ με συντελεστή κάλυψης  $\sigma_k=0,9$  150 ευρώ/ $m^2$  επομένως το κόστος του κάθε χρησιμοποιούμενου πάνελ στην περίπτωση μας είναι  $1,22 \text{ m} \times 1,22 \text{ m} \times 150 \text{ ευρώ}/m^2=230 \text{ ευρώ}/m^2$
2. Αρθρωτή κατασκευή στήριξης των πανέλ, μαζί με τις καλωδιώσεις των συστοιχίων και την αντικεραυνική προστασία : 15 ευρώ/ $m^2$ -
3. Συσσωρευτές 60 ευρώ/Kwh χωρητικότητας.
4. Ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος συνολικά για τα υπόψη μεγέθη : 295 ευρώ/KW.
5. Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ντήζελ, για τα υπόψη μεγέθη : 150 ευρώ/KW
6. Εδαφική έκταση : 590 ευρώ/ στρέμα, δηλαδή 1 ευρώ/ $m^2$  .
7. Κτίριο για την στέγαση των συσσωρευτών και των ηλεκτρονικών διατάξεων ισχύος, δαπάνες διαμόρφωσης και περιφράξης της έκτασης, και συμπληρωματικός εξοπλισμός (πίνακες χειρισμών, όργανα μετρήσεων συνεργείο συντήρησης κλπ), συνολικά : 35000 ευρώ.



Μεταφέρουμε τις τιμές μονάδας και τα αντίστοιχα μεγέθη στο πίνακα 7 και βρίσκουμε το συνολικό προϋπολογιζόμενο κόστος της εγκατάστασης

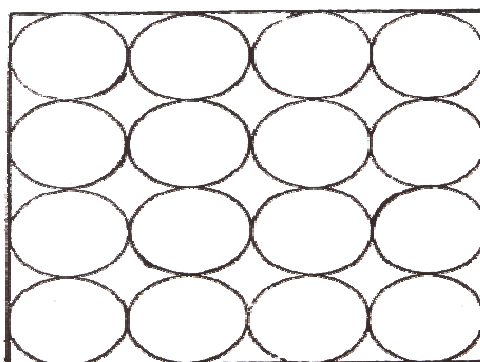
**Πίνακας 7** .Προϋπολογισμός του κόστους της Φ/β εγκατάστασης

Παράγοντας Κόστους	ΚΟΣΤΟΣ
Φ/Β Πάνελ 600 x 220 ευρώ=	132.000 ευρώ
Κατασκευή στήριξης κλπ 900m <sup>2</sup> x 15 ευρώ/m <sup>2</sup> =	13.205 ευρώ
Συσσωρευτές 810 KWh x 59 ευρώ /Kw	47.500 ευρώ
Ηλεκτρονικά Ισχύος 96KW x 294 ευρώ/KW	28.173 ευρώ
Ηλεκτροπαραγωγό ζευγος :30KW x 147 ευρώ/KW=	4.400 ευρώ
Εδαφική έκταση :6000m <sup>2</sup> x 0,60 ευρώ /m <sup>2</sup> =	3.520 ευρώ
Κτίριο κλπ:	<u>3520 ευρώ</u>
<b>ΣΥΝΟΛΟ:</b>	<b>232.318,00 ευρώ</b>

### 4.3. Το Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Θα προσπαθήσουμε να μελετήσουμε χωριστά τα πιο βασικά μέρη ενός Φ/β συστήματος που είναι το Φ/β πλαίσιο, ο, ρυθμιστής τάσης, η μπαταρία, ο καταναλωτής και ο μετατροπέας .

#### I. Φωτοβολταϊκά πλαίσια



**Σχ. 11** Το Φ/β πλαίσιο αποτελείται από πολλά ηλιακά στοιχεία που έχουν κοινή ηλεκτρική έξοδο

Η τάση και η ισχύς των Φ/β στοιχείων είναι πολύ μικρή για να τροφοδοτήσει ένα συνηθισμένο καταναλωτή. Γι αυτό το λόγο πολλά Φ/β στοιχεία συνδέονται μαζί σε ένα πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο (**σχήμα 11**).

Τα χαρακτηριστικά κάθε πλαισίου είναι:

**α)** Η μέγιστη ισχύς (PEAK POWER). Είναι η ισχύς που θα δώσει το πλαίσιο όταν φωτίζεται με ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 1000 W σε κάθε τετραγωνικό μέτρο, όταν η θερμοκρασία του πλαισίου είναι 25 °C

Είναι φανερό ότι η ισχύς που θα δώσει ένα πλαίσιο εξαρτάται από το εμβαδόν του, το είδος του που καθορίζει την απόδοση και από την θερμοκρασία. Η μέγιστη ισχύς του πλαισίου δίνεται πάντοτε από τον κατασκευαστή.

Βρέθηκε ότι όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, η ισχύς που δίνει το πλαίσιο ελαττώνεται κατά 0,4% για κάθε βαθμό Κελσίου πάνω από τους 25 °C

Για παράδειγμα ένα πλαίσιο με μέγιστη ισχύ 40 W στους 25 °C , θα δώσει μόνο 36,8 W στους 45 °C. Εάν μάλιστα η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι 800 W/m<sup>2</sup>, που αποτελεί τη μέση ημερήσια πραγματική τιμή, τότε η μέγιστη ισχύς του πλαισίου πέφτει στα 28 W.

**β)** Η τάση λειτουργίας του πλαισίου (operating voltage). Τα περισσότερα πλαίσια που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά είναι κατασκευασμένα ώστε να παρέχουν τάση λίγο μεγαλύτερη από 12 V και έτσι να μπορούν να φορτίζουν μπαταρία των 12 V. Για την κατασκευή των πλαισίων αυτών χρησιμοποιούνται 35 φωτοβολταϊκά στοιχεία για κάθε πλαίσιο. Εφόσον κάθε στοιχείο δίνει τάση 0,5 v είναι επόμενο ότι η τάση του πλαισίου είναι γύρω στα 17 V.

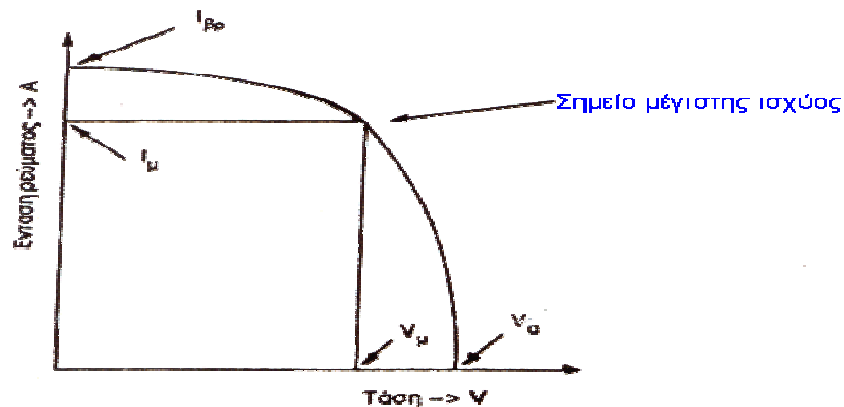
**γ)** Το ρεύμα λειτουργίας του πλαισίου (operating current). Είναι το ρεύμα που καθορίζεται από την μέγιστη ισχύ που παρέχει το πλαίσιο και την τάση που δημιουργείται στα άκρα του όταν η ένταση της ακτινοβολίας είναι 1000 W/m<sup>2</sup>. Για ένα πλαίσιο με μέγιστη ισχύ 40 W και τάση λειτουργίας 17 V, το ρεύμα λειτουργίας θα είναι: **40 W /17 V = 2,3 A**

Για πιο μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται πλαίσια με τάση λειτουργίας 24 V ή και ακόμη 48 V. Η εταιρία Mobil Solar Energy Corporation . κατασκεύασε πλαίσια μεγάλης επιφάνειας, υψηλής τάσης και μεγάλης ισχύος. Ένα εμπορικό πλαίσιο έχει διαστάσεις 1,3 x 2 m και μπορεί να δώσει 12 V ή 24 V ή 48 V ανάλογα με τον αριθμό των φωτοβολταϊκών στοιχείων και τον τρόπο σύνδεσής τους.

Στο πλαίσιο με κωδικό RA-39-12 υπάρχουν 72 στοιχεία από τα οποία 36 ενώνονται σε σειρά και οι δύο σειρές ενώνονται μεταξύ τους παράλληλα. Έτσι το πλαίσιο δίνει συνολικά τάση λειτουργίας 16,5 V και μέγιστη ισχύ 39 W. Στο πλαίσιο με κωδικό Ra-22O-24 υπάρχουν 432 στοιχεία με τα οποία δημιουργούνται 6 σειρές των με 72 στοιχεία η κάθε σειρά. Η 6 σειρές ενώνονται παράλληλα μεταξύ τους και έτσι το πλαίσιο δίνει τάση λειτουργίας 33,3 V και μέγιστη ισχύ 220 W. Το

πλαίσιο με κωδικό Ra-220-48 έχει και αυτό 432 στοιχεία με τα οποία δημιουργούνται 3 σειρές με 144 στοιχεία η κάθε σειρά. Οι 3 σειρές ενώνονται μεταξύ τους παράλληλα και το πλαίσιο αυτό δίνει τάση λειτουργίας 66,5 V και μέγιστη ισχύ 220 W.

Παρατηρούμε ότι και τα δύο πλαίσια δίνουν την ίδια μέγιστη ισχύ διότι έχουν τον ίδιο αριθμό στοιχείων αλλά διαφορετική τάση λειτουργίας διότι η σειρά του κάθε πλαισίου περιέχει διαφορετικό αριθμό στοιχείων.



Σχ. 12

**Χαρακτηριστική καμπύλη του Φ/β στοιχείου .  $V_{\mu}$  και  $I_{\mu}$  είναι η τάση και ένταση που αντιστοιχεί στη μέγιστη παραγόμενη ισχύ  $I_{\beta\sigma}$  είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης και  $V_{\alpha}$  η τάση ανοικτού κυκλώματος**

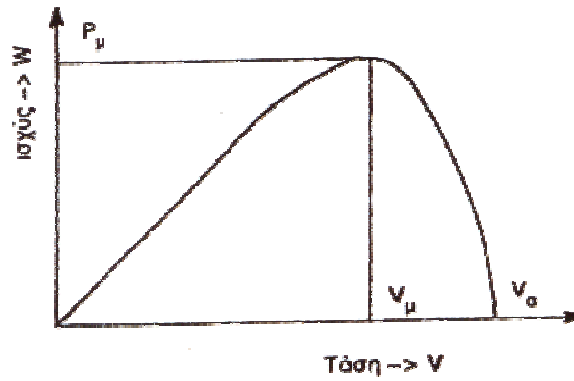
Κάθε στοιχείο, πλαίσιο ή ακόμη και σειρά πλαισίων έχει τη χαρακτηριστική καμπύλη η που δίνει τη σχέση μεταξύ τάσης και έντασης του ρεύματος, για ορισμένη ένταση ακτινοβολίας (σχήμα 12).

Στην καμπύλη αυτή φαίνονται δύο άλλα χαρακτηριστικά μεγέθη που είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{\beta\sigma}$  και η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{\alpha}$ . Ρεύμα βραχυκύκλωσης (Short circuit current) είναι το ρεύμα που δίνει το στοιχείο ή πλαίσιο, όταν τα άκρα του βραχυκυκλώνονται, δηλαδή ενώνονται με σύρμα μηδαμινής αντίστασης.

Τάση ανοικτού κυκλώματος (Open circuit Voltage) είναι η τάση που εμφανίζεται στα άκρα του στοιχείου ή πλαισίου, όταν δεν ενώνονται μεταξύ τους ή ενώνονται με τη βοήθεια μιας πολύ μεγάλης αντίστασης.

Σε κάθε χαρακτηριστική καμπύλη υπάρχει ένα σημείο στο οποίο η τάση και η ένταση του ρεύματος έχουν τέτοιες τιμές ώστε το γινόμενο τους δηλαδή η ηλεκτρική ισχύς ( $P = V \times I$ ) να παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή. Είναι φανερό ότι για το σημείο αυτό, το ορθογώνιο που σχηματίζεται έχει το μεγαλύτερο εμβαδόν από όλα τα ορθογώνια που μπορούν να σχηματιστούν για άλλα σημεία. Το σημείο αυτό ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος και ισχύει ο τύπος :

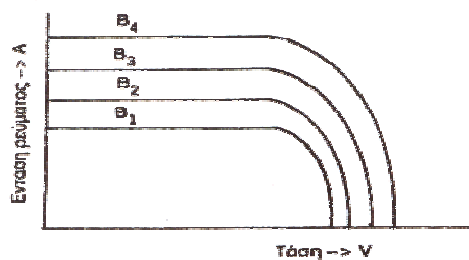
$$P_{\mu} = I_{\mu} \chi V_{\mu}$$



Σχ. 13 : Μεταβολή της ισχύος σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του στοιχείου. Στην βραχυκυκλωμένη ή ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση, η ισχύς είναι μηδέν.

όπου  $P_{\mu}$  η μέγιστη ισχύς και  $I_{\mu}$ ,  $V_{\mu}$ , η ένταση ρεύματος και η τάση αντίστοιχα, που δίνουν τη μέγιστη ισχύ. Όταν τα άκρα του στοιχείου (ή πλαισίου) είναι βραχυκυκλωμένα ( $R=0$ ) ή όταν το κύκλωμα είναι ανοικτό ( $R=\infty$ ) η ηλεκτρική ισχύς που παράγει το στοιχείο είναι μηδέν, αφού στην πρώτη περίπτωση η τάση είναι μηδέν και στη δεύτερη η ένταση του ρεύματος είναι μηδέν. Σε ενδιάμεσες καταστάσεις η ηλεκτρική ισχύς παίρνει τιμές που φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 13. Αρχικά η ηλεκτρική ισχύς αυξάνεται καθώς αυξάνεται η τάση στα άκρα του στοιχείου. Μετα η ηλεκτρική ισχύς παίρνει μια μέγιστη τιμή και στη συνέχεια η παραπέρα αύξηση ισχύος και τάσεως οδηγεί σε μείωση της ηλεκτρικής ισχύος. Επομένως για δεδομένες συνθήκες ακτινοβολίας, η μεγαλύτερη ισχύς που μπορεί να δώσει το  $\Phi/\beta$  στοιχείο εξαρτάται από την κατάλληλη εκλογή της αντίστασης του κυκλώματος του στοιχείου.

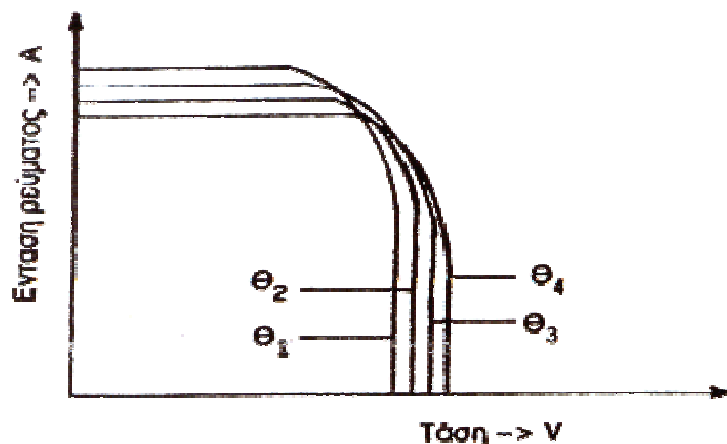
Τα πιο πάνω αναφέρονται σε σταθερή ένταση ακτινοβολίας ( $B$ ) και σταθερή θερμοκρασία.



Σχ. 14

: Χαρακτηριστικές καμπύλες  $\Phi/\beta$  στοιχείου για διαφορετικές εντάσεις ακτινοβολίας με  $\beta_1 < \beta_2 < \beta_3 < \beta_4$ .

Για διαφορετικές τιμές της έντασης ακτινοβολίας σχηματίζεται μια ομάδα από μετατοπισμένες χαρακτηριστικές καμπύλες. (καμπύλες έντασης-τάσης) (σχήμα 14). Φυσικά για τη μέγιστη ένταση ακτινοβολίας των  $1000 \text{ W/m}^2$ , το σημείο μέγιστης ισχύος δίνει τη μέγιστη ισχύ που παράγει το  $\Phi/\beta$  στοιχείο ή πλαίσιο.



Σχ.15 Χαρακτηριστικές καμπύλες Φ/β στοιχείου για διαφορετικές θερμοκρασίες με  $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3 > \theta_4$

Αν, για ορισμένη ένταση ακτινοβολίας κατασκευαστούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες για διαφορετικές θερμοκρασίες  $\theta$  (σχήμα 15) βρίσκεται ότι η μέγιστη ισχύς επηρεάζεται σε μικρό βαθμό όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Έτσι είναι δυνατό με κατάλληλο ηλεκτρονικό κύκλωμα ελέγχου να ρυθμίζεται το πλαίσιο ή σύστημα πλαισίων, ώστε να εργάζεται με τέτοιο τρόπο που να δίνει συνεχώς τη μέγιστη ισχύ χωρίς μεγάλες διαφορές όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία των πλαισίων

## II Ρυθμιστής συνεχούς τάσης ( Voltage regulator ή controler)

Η συσκευή αυτή ρυθμίζει τη ροή του ρεύματος από τα Φ/β πλαίσια προς τις μπαταρίες αποθήκευσης και διατηρεί την κανονική κατάσταση φόρτισης των μπαταριών. Για παράδειγμα όσο η μπαταρία πλησιάζει την πλήρη φόρτισή της ο ρυθμιστής ελαττώνει το ρεύμα που δίνουν τα πλαίσια προς τη μπαταρία και εμποδίζει την υπερφόρτιση της. Είναι γνωστό ότι η υπερφόρτιση μιας μπαταρίας ελαττώνει το χρόνο ζωής της. Για την εκλογή του κατάλληλου ρυθμιστή τάσης που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ένα Φ/β σύστημα, λαμβάνονται υπόψη τα πιο κάτω βασικά χαρακτηριστικά του:

1. **Η ισχύς.** Αυτή καθορίζεται από τη τάση που δίνουν τα Φ/β πλαίσια και την ένταση του ρεύματος στον καταναλωτή. Η ισχύς του ρυθμιστή πρέπει να ξεπερνά την ισχύ που δίνουν τα πλαίσια και την ισχύ που καταναλώνει το φορτίο. Γενικά ο ρυθμιστής πρέπει να έχει τέτοιο μέγεθος ώστε να μπορεί να δεχθεί ρεύμα τουλάχιστον 1,25 φορές μεγαλύτερο του ρεύματος βραχυκυκλώσεως των πλαισίων και η τάση λειτουργίας του να είναι περίπου ίση με τη τάση που δίνουν τα πλαίσια.
2. **Χαμηλή τάση αποκοπής.** Όταν η τάση της μπαταρίας πέσει αρκετά κάτω από την κανονική της τιμή, τότε ο ρυθμιστής αποσυνδέει τη μπαταρία από το φορτίο ώστε να διατηρηθεί η καλή κατάσταση της μπαταρίας και να προληφθεί οποιαδήποτε βλάβη συμβεί στον καταναλωτή (φορτίο) όταν στα άκρα του

εφαρμοσθεί τάση μικρότερη από την κανονική τάση λειτουργίας του. Σε μια μπαταρία των 12 V, η χαμηλή τάση αποκοπής του συνδεδεμένου ρυθμιστή είναι μεταξύ 11 και 12V.

3. **Υψηλή τάση αποκοπής.** Όταν η τάση της μπαταρίας μεγαλώσει αρκετά, τότε ο ρυθμιστής την αποσυνδέει από τα πλαίσια και έτσι εμποδίζει την υπερφόρτισή της. Σε μια μπαταρία των 12 V η υψηλή τάση αποκοπής είναι μεταξύ 14,5 και 15 V.
4. **Ρύθμιση της φόρτισης της μπαταρίας ανάλογα με την Θερμοκρασία της.** Ο ρυθμιστής προσαρμόζει αυτόματα το σημείο τερματισμού της φόρτισης της μπαταρίας ώστε το φορτίο που θα διοχετευθεί στη μπαταρία να είναι μέγιστο σε σχέση με τη θερμοκρασία της.
5. **Προστασία πλαισίων από αντίθετο ρεύμα.** ο ρυθμιστής περιέχει μηχανισμό που εμποδίζει κάποιο ρεύμα να κινηθεί από τη μπαταρία προς τα πλαίσια όταν δεν φωτίζονται ή κατά τη διάρκεια της νύχτας. Το μέγεθος του ρυθμιστή έχει επίσης σημασία ιδίως στην περίπτωση που θα τοποθετηθεί στον ίδιο κλειστό χώρο με τις μπαταρίες.

### III Μπαταρία (Battery)

Η μπαταρία είναι απαραίτητη σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για να αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στα Φ/β πλαίσια και να τη δίνει στον καταναλωτή κατά τα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία (νυκτερινές ώρες, συννεφιασμένες μέρες).

Γενικά οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε Φ/β συστήματα είναι όμοιες με τις κοινές μπαταρίες αυτοκινήτων, δηλαδή φόρτισης - εκφόρτισης. Οι πιο συνηθισμένες είναι με ηλεκτρόδια (πόλους) μολύβδου σε διάλυμα θειικού οξέως. Αυτές είναι και οι πιο οικονομικές για τα Φ/β συστήματα. Σε περιπτώσεις όμως μεγάλων αυξομειώσεων της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του έτους, χρησιμοποιούνται αλκαλικές νικελίου-καδμίου.

Κάθε μπαταρία έχει τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σύνδεση της σε ένα Φ/β σύστημα.

α) Ολική χωρητικότητα. Δείχνει το συνολικό φορτίο που είναι αποθηκευμένο στη μπαταρία και μετριέται σε αμπερώρια (Ah). Αν μια μπαταρία είναι φορτισμένη πλήρως και μπορεί να δώσει ρεύμα έντασης 5 A για χρόνο (συνεχόμενο ή μη) 20h, έχει χωρητικότητα 100 Ah.

β) Η τάση Η τάση της μπαταρίας όταν είναι φορτισμένη εξαρτάται από το είδος του ηλεκτρολύτη που περιέχει και το είδος και τον αριθμό των πλακών. Οι μπαταρίες περιέχουν πολλά ζεύγη πλακών στη σειρά και δίνουν ανάλογα αυξημένη τάση. Κάθε ζεύγος πλακών μπαταρίας μολύβδου δίνει τάση περίπου 2 V. Έτσι μια μπαταρία μολύβδου με 6 ζεύγη πλακών δίνει τάση περίπου 12 V. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα Φ/β συστήματα μπορεί να έχουν 100 ή και 150 ζεύγη πλακών στη σειρά, που δίνουν τάση συνεχούς ρεύματος 200 V ή 300 V αντίστοιχα.

γ) Το βάθος εκφόρτισης είναι το ποσοστό της εκφόρτισης, στο οποίο μπορεί να φθάνει καθημερινά η μπαταρία, για να διατηρείται σε καλή κατάσταση και να μην ελαττωθεί ο κανονικός χρόνος ζωής της.

Το βάθος εκφόρτισης εξαρτάται από την κατασκευή της μπαταρίας. Οι πλάκες μπορεί να κατασκευασθούν με διαφορετικό πάχος και από διάφορα κράματα μετάλλων, όπως μολύβδου-ασβεστίου, μολύβδου-αντιμονίου, για να ανταποκριθούν σε ορισμένες εφαρμογές. Γενικά όσο πιο χοντρές είναι οι πλάκες τόσο περισσότερο μπορεί να εκφορτιστεί μια μπαταρία και μετά να ξαναφορτιστεί. Υπάρχουν μπαταρίες για τις οποίες συστήνεται από τον κατασκευαστή ότι είναι δυνατό να εκφορτίζονται καθημερινά κατά 10-20% μετά από καθημερινή πλήρη φόρτιση. Υπάρχουν άλλες που μπορεί να εκφορτίζονται μέχρι και 80% του αρχικού φορτίου τους. Οι πρώτες είναι ελαφρές ενώ οι δεύτερες είναι βαριές, πιο ακριβές και προτιμούνται στα Φ/β συστήματα. Μια κατηγορία μπαταριών που μπορούν να εκφορτισθούν πλήρως (100%) χωρίς καμιά βλάβη και να ξαναφορτισθούν είναι εκείνες που έχουν πλάκες από νικέλιο-κάδμιο.

Οι τελευταίες προτιμούνται, στα Φ/β συστήματα, διότι με την πλήρη φόρτιση και εκφόρτιση τους εξυπηρετούν με όλο το φορτίο τους. Εφόσον μάλιστα δεν επηρεάζεται ο χρόνος ζωής τους και κατάσταση τους, είναι δυνατόν να αποφευχθεί και η χρησιμοποίηση ρυθμιστή τάσης.

Κάθε μπαταρία εκτός από την ολική χωρητικότητα της, έχει και τη χρήσιμη (αξιοποιήσιμη) χωρητικότητα της, που είναι το γινόμενο του βάθους εκφόρτισης του επί την ολική χωρητικότητα:

$$C_x = B \times C_{ολ}$$

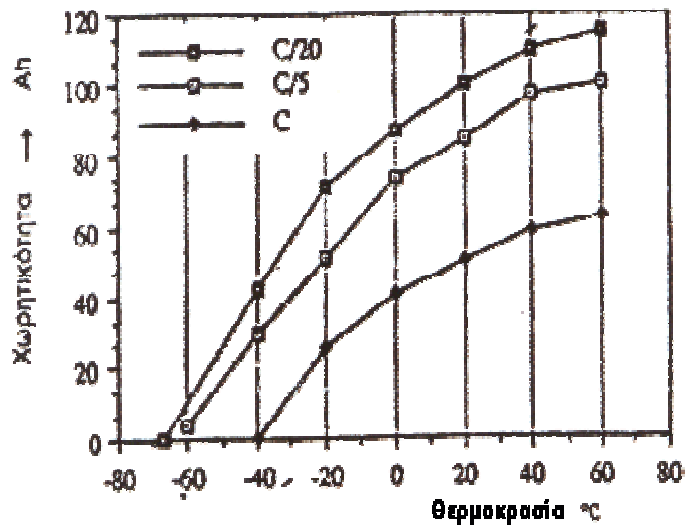
όπου  $C_x$  η χρήσιμη χωρητικότητα,  $B$  το βάθος εκφόρτισης και  $C_{ολ}$  η ολική χωρητικότητα.

δ) Το κόστος για κάθε KWh. Για να βρεθεί η ολική ηλεκτρική ενέργεια  $E_{ολ}$  που θα δώσει μια μπαταρία για όλη τη διάρκεια της ζωής της, πρέπει να πολλαπλασιαστεί η χρήσιμη χωρητικότητα  $C_x$  με την τάση  $U$  και το συνολικό αριθμό  $N$  φορτίσεων-εκφορτίσεων.

$$E_{ολ} = C_x \times U \times N$$

Όταν διαιρεθεί η τιμή της μπαταρίας με την  $E_{ολ}$ , βρίσκεται το κόστος κάθε KWh που δίνει η μπαταρία. Είναι φανερό ότι όσο χαμηλότερο είναι το κόστος αυτό τόσο πιο συμφέρουσα θα είναι η αγορά της μπαταρίας.

ε) Θερμοκρασία λειτουργίας. Η χωρητικότητα της μπαταρίας ελαττώνεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας. Πολλοί κατασκευαστές μαζί με τις άλλες προδιαγραφές δίνουν και την καμπύλη διόρθωσης της μπαταρίας. Ένα παράδειγμα καμπύλης διόρθωσης για μπαταρία θεικού οξέος μολύβδου δίνεται στο **σχήμα 16**.



Συ.16 ... 3 Καμπύλη διόρθωσης για μπαταρία θειικού οξέος-μολύβδου

Η διόρθωση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να έχει η μπαταρία κατά τη διάρκεια του χρόνου και το ρυθμό εκφόρτισης υπό μορφή ρεύματος που θα έχει στο συγκεκριμένο Φ/β σύστημα. Από το σχήμα 55 βρίσκεται ότι, αν για παράδειγμα ο ρυθμός εκφόρτισης είναι C/5 και χαμηλότερη θερμοκρασία 0°C η διορθωμένη χωρητικότητα είναι 73 Ah. Ρυθμός εκφόρτισης C/5 σημαίνει ότι η μπαταρία δίνει 20 A και έχει χωρητικότητα 100 Ah.

Σε μια εκφορτισμένη μπαταρία μολύβδου ο ηλεκτρολύτης στερεοποιείται λίγο κάτω από τους 0°C ενώ σε μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία για να στερεοποιηθεί ο ηλεκτρολύτης πρέπει η θερμοκρασία να κατέβει στους -20 °C.

στ) **Χρόνος ζωής.** ο χρόνος ζωής μιας μπαταρίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι ο ρυθμός φόρτισης, και εκφόρτισης, ο αριθμός φορτίσεων και εκφορτίσεων και οι ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας. Σε ένα Φ/β σύστημα μια μπαταρία μολύβδου έχει διάρκεια ζωής που δεν ξεπερνά τα 5-6 χρόνια, ενώ οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου διαρκούν πολύ περισσότερο όταν λειτουργούν με τις ίδιες συνθήκες.

#### IV Καταναλωτής (Load)

Ο όρος καταναλωτής ή φορτίο περιλαμβάνει όλες τις ηλεκτρικές συσκευές του συστήματος που πρέπει να λειτουργήσουν με την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Για να είναι σωστά σχεδιασμένο ένα Φ/β σύστημα, θα πρέπει η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν όλες



οι συσκευές του σε ένα μήνα, να είναι ίση ή μικρότερη από την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχει το Φ/β σύστημα στην ίδια χρονική περίοδο. Ο σωστός σχεδιασμός προϋποθέτει τη γνώση των πιο κάτω χαρακτηριστικών κάθε ηλεκτρικής συσκευής.

α) Το είδος της τάσης λειτουργίας της. Αν είναι δηλαδή συνεχής ή εναλλασσόμενη και σε περίπτωση εναλλασσόμενης να είναι γνωστή η συχνότητα για την κανονική λειτουργία της.

β) Η τιμή της κανονικής τάσης λειτουργίας της.

γ) Η ισχύς που καταναλώνει υπό την κανονική τάση λειτουργίας της.

Επειδή τα Φ/β πλαίσια και η μπαταρία δίνουν συνεχή τάση, για να αποφεύγονται οι απώλειες κατά τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, θα ήταν καλύτερα να χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με συνεχή τάση. Δυστυχώς με τη μακροχρόνια χρήση του εναλλασσόμενου ρεύματος που δίνουν οι γεννήτριες των συμβατικών ηλεκτροπαραγωγών σταθμών, οι ηλεκτρικές συσκευές που κυκλοφορούν στην αγορά είναι κατασκευασμένες για να λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια κατασκευάζονται ηλεκτρικές συσκευές όλων των ειδών που λειτουργούν με συνεχές ρεύμα. Επειδή όμως η ζήτηση είναι μικρή και η χρήση τους περιορισμένη, είναι προς το παρόν πιο ακριβές από τις αντίστοιχες που λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι συσκευές που λειτουργούν με χαμηλή τάση είναι μικρότερης απόδοσης από εκείνες που λειτουργούν με υψηλότερη συνεχή τάση. Αυτό συμβαίνει διότι οι πρώτες, για την ίδια ισχύ που καταναλώνουν δίνουν μεγαλύτερο ρεύμα σύμφωνα με τον τύπο

**ένταση ρεύματος = Ισχύς / τάση**

και έτσι δημιουργούνται μεγαλύτερες απώλειες στα σύρματα μεταφοράς.

Εάν η ισχύς της συσκευής χαμηλής συνεχούς τάσης είναι μικρή, τα σύρματα σύνδεσης και μεταφοράς του ρεύματος προς τη συσκευή θα είναι κανονικά. Σε περίπτωση όμως που η ισχύς είναι αρκετά μεγάλη και μάλιστα πάνω από 1000 W, τότε το ρεύμα τροφοδότησης γίνεται αρκετά μεγάλο και έτσι χρειάζονται πολύ πιο χονδρά χάλκινα σύρματα για να ελαττωθούν οι απώλειες. Με δεδομένη ισχύ όσο μικρότερη είναι η τάση λειτουργίας της συσκευής τόσο μεγαλύτερο θα είναι το ρεύμα που θα περάσει και τόσο χονδρότερα σύρματα τροφοδότησης θα χρειασθούν.

Η εναλλασσόμενη τάση έχει το πλεονέκτημα ότι, με τη βοήθεια των μετασχηματιστών, μπορεί να αυξηθεί, με συνέπεια να ελαττωθεί το ρεύμα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι να περιορισθεί και το πάχος των χάλκινων συρμάτων. Ελάττωση του πάχους όμως των συρμάτων σημαίνει μικρές απώλειες καθώς και μεγάλη εξοικονόμηση σε χαλκό. Φυσικά ο μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο που παρεμβάλλεται, έχει τις δικές του απώλειες που και αυτές περιορίζονται όσο μεγαλύτερη είναι η συνεχής τάση που δίνουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και η μπαταρία.

Για να υπολογισθεί η μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε μια οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση, πρέπει να ληφθεί υπόψη η ισχύς κάθε συσκευής και οι ώρες λειτουργίας της κατά τη διάρκεια του μήνα.

Στον πιο κάτω πίνακα γίνεται ένας υπολογισμός της μηνιαίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την εξυπηρέτηση των βασικών αναγκών σε ένα σπίτι (No1). Στο σπίτι αυτό όλες σχεδόν οι οικιακές συσκευές λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια.

Σε ένα άλλο σπίτι, το No2, η κατανάλωση μπορεί να γίνει και διπλάσια από την πιο πάνω, εφόσον χρησιμοποιούνται και άλλες δαπανηρές ηλεκτρικές συσκευές. π.χ. δύο ακόμη συσκευές κλιματισμού, ψυκτικό θάλαμο, ηλεκτρικό θερμαντήρα νερού αντί θερμαντήρα πετρελαίου, δεύτερη έγχρωμη τηλεόραση και δεύτερο ηλεκτρικό φούρνο. Είναι φανερό ότι το σπίτι No2 είναι πολύ δαπανηρό από πλευράς ηλεκτρικής ενέργειας γι αυτό και δε συστήνεται να χρησιμοποιηθούν Φ/β πλαίσια για την ηλεκτρική τροφοδότησή του. Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να οδηγήσει στο σπίτι No3 με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά 50% μικρότερη αυτής στο σπίτι No1. Αυτό μπορεί να γίνει με περιορισμό στη χρήση ορισμένων συσκευών όπως είναι η συσκευή κλιματισμού, το πλυντήριο πιάτων καθώς και η αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό και θέρμανση.

Με τον τρόπο αυτό στο σπίτι No3 η κατανάλωση θα είναι, για τους χειμερινούς μήνες 208,2 KW το μήνα και για τους ανοιξιάτικους και φθινοπωρινούς 163,5 KW το μήνα. Κατά μέσον όρο η κατανάλωση για τον χειμώνα θα είναι γύρω στις 7 KWh την ημέρα. Αυτή είναι μια οικονομική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να θεωρηθεί λογική γιατί πλησιάζει το μέσο όρο οικιακής κατανάλωσης. Φυσικά σε ένα εξοχικό σπίτι No4 είναι δυνατό να περιορισθεί η κατανάλωση στα 3,5 Kw την ημέρα με τη χρησιμοποίηση των πλέον απαραίτητων ηλεκτρικών συσκευών, λαμπτήρων φθορισμού και ηλεκτρικής αντλίας νερού για εφοδιασμό του σπιτιού με νερό.

(πίνακας 8)

<b>Ηλεκτρική συσκευή</b>	<b>Ισχύς KW</b>	<b>Ώρες λειτουργίας την ημέρα</b>	<b>KWh το μήνα</b>
<b>Ψυγείο</b>	<b>0,32</b>	<b>24 (ρεύμα 40% το χρόνο)</b>	<b>92,20</b>
<b>Έγχρωμη τηλεόραση</b>	<b>0,20</b>	<b>6</b>	<b>36,00</b>
<b>Πλυντήριο</b>	<b>0,50</b>	<b>0,5</b>	<b>7,50</b>
<b>Ηλεκτρική</b>	<b>0,65</b>	<b>0,12</b>	<b>2,30</b>

σκούπα			
Φρυγανιέρα	1,00	0,1	3,00
Συσκευή κλιματισμού	0,86	10 (10 μέρες το καλοκαίρι)	86,00
Ηλεκτρικός φούρνος	2,60	0,5 (ρεύμα 25% τον χρόνο)	9,80
Mixer	0,15	0,10	0,50
Εξαεριστήρας κουζ.	0,20	1,00	6,00
Ηλεκτρ.σίδερο	1,1	0,3 (ρεύμα 50% τον χρόνο)	5,00
Ηλεκτρ.Κουζίνα	3.7	0,4	54,4
Θερμαντήρας νερού με πετρέλαιο - ηλ.κατανάλωση	0,77	8 (μόνο τον χειμώνα)	89,00
Πλυντήριο πιάτων	1,20	1	36,00
Blender	0,40	0,015	0,20
Φωτισμός			75,00
<b>Ολική κατανάλωση Kwh το μήνα στο σπίτι Νο1</b> <b>Φθινόπωρο και Άνοιξη 327,7KWh</b> <b>Καλοκαίρι 413,0KWh</b> <b>Χειμώνα 416,4KWh</b>			

## V. Μετατροπείας συνεχούς - εναλλασσομένου ( INVERTER)

Η συσκευή αυτή είναι απαραίτητη για τη μετατροπή του συνεχούς (D.C) ρεύματος σε εναλλασσόμενο (A.C) για να μπορούν να λειτουργούν οι διάφορες συσκευές που κυκλοφορούν στην αγορά. Ένας τέτοιος μετατροπείας είναι ο περιστρεφόμενος, στον οποίο το συνεχές ρεύμα προκαλεί περιστροφή ενός κινητήρα που με τη σειρά του μεταδίδει την κίνηση σε μια γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Η συσκευή αυτή δεν χρησιμοποιείται σήμερα διότι με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχουν κατασκευασθεί παρόμοιες συσκευές με ημιαγωγούς και χωρίς κινητά μέρη. Η απόδοση των τελευταίων είναι πολύ μεγαλύτερη, η συντήρησή τους πολύ πιο εύκολη και η ανάγκη για επιδιόρθωση πολύ σπάνια.

Ανάλογα με το είδος του Φ/β συστήματος χρησιμοποιείται και ο κατάλληλος μετατροπείας. Σε ένα αυτοτελές Φ/β σύστημα συνδέεται μετατροπείας που έχει τέτοια κατασκευή ώστε να λειτουργεί με την ηλεκτρική ενέργεια που δίνουν τα Φ/β πλαίσια και να μετατρέπει τη συνεχή μορφή της ενέργειας αυτής σε εναλλασσόμενη. Σε ένα Φ/β σύστημα ενωμένο με το κεντρικό δίκτυο, συνδέεται μετατροπείας που λειτουργεί με την τάση του κεντρικού δικτύου και καθίσταται ικανός να μετατρέπει τη συνεχή τάση των Φ/β πλαισίων σε εναλλασσόμενη ώστε να τροφοδοτούνται οι ηλεκτρικές συσκευές ή ακόμη και το ηλεκτρικό δίκτυο.

### α) Μετατροπείας αυτοτελούς συστήματος

Τα κύρια χαρακτηριστικά μετατροπείας αυτοτελούς φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τα εξής : Η τάση εισόδου, είναι η τάση των Φ/β πλαισίων. Η ισχύς του που καθορίζεται από το μέγεθος του Φ/β συστήματος. Η απόδοσή του που κυμαίνεται μεταξύ του 80 και 90%. Η ικανότητα του να μετατρέπει όσο το δυνατό καλύτερα τη συνεχή τάση εισόδου σε εναλλασσόμενη, χωρίς να εμφανίζονται σήματα παραμόρφωσης και να διατηρεί μια σχετική σταθερότητα στη συχνότητα.

Βασικό κριτήριο στην εκλογή κατάλληλου μετατροπείας που θα τοποθετηθεί σε αυτοτελές Φ/β σύστημα είναι το είδος της εναλλασσόμενης τάσης που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο καταναλωτής. Πολλές συσκευές λειτουργούν και με εναλλασσόμενη τάση διαφορετική της ημιτονοειδούς, υπάρχουν όμως συσκευές, όπως οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, που χρειάζονται τέλεια ημιτονοειδή τάση για να λειτουργήσουν κανονικά. Άλλες συσκευές που έχουν κινητήρα χρειάζονται σταθερότητα στη συχνότητα για αυτό και ο μετατροπείας πρέπει να δίνει εναλλασσόμενη τάση σταθερής συχνότητας.

Η όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόδοση αποτελεί βασικό κριτήριο για την εκλογή του μετατροπείας. Αν ένας μετατροπείας έχει 90% απόδοση τότε στην είσοδό του θα χρειαστεί ισχύς 3,3 Kw για να δώσει στην έξοδό του ισχύ 3 KW. Συνήθως η απόδοση είναι μικρότερη αν η ισχύς που του δίνεται είναι μικρότερη από τη τιμή για την οποία κατασκευάστηκε. Φυσικά είναι πλεονέκτημα για ένα μετατροπείας να έχει σταθερή απόδοση για μεγάλη περιοχή διαφορετικών τιμών ισχύος.

Ένα άλλο πλεονέκτημα που πρέπει να έχει ένας μετατροπείας είναι η αυτόματη διακοπή της λειτουργίας του όταν δεν είναι συνδεδεμένος με καταναλωτή

σε λειτουργία. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται ενέργεια γιατί δεν θα υπάρχουν απώλειες στον ίδιο τον μετατροπέα όταν δεν περνά ρεύμα από αυτόν.

Επίσης, σε περίπτωση που ο μετατροπέας χρειαστεί να τροφοδοτήσει μεγάλο κινητήρα σαν αυτόν που βρίσκεται σε ηλεκτρική αντλία νερού ή σε συμπιεστή ψυγείου, πρέπει να είναι σε θέση να δώσει στην αρχή την απαραίτητη ισχύ που χρειάζεται ο κινητήρας για να ξεκινήσει, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή

Για παράδειγμα ένας κινητήρας ισχύος ενός ίππου (HP), ανάλογα με την απόδοσή του, χρειάζεται 1 μέχρι 1,5 KW για να λειτουργήσει κανονικά. Για να ξεκινήσει όμως είναι δυνατό να χρειασθεί 5 KW ή ακόμη και περισσότερη ισχύ. Κάθε μετατροπέας έχει ως χαρακτηριστικά τη μέγιστη στιγμιαία ισχύ που μπορεί να δώσει σε ένα κινητήρα για να τον ξεκινήσει και τη συνεχή ισχύ που δίνει στον ίδιο κινητήρα για να λειτουργήσει κανονικά.

Άλλο χαρακτηριστικό μετατροπέα αυτοτελούς Φ/β συστήματος, είναι η σταθερότητα τάσης που δίνει στον καταναλωτή. Επειδή η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας δεν είναι πάντοτε η ίδια, υπάρχουν αυξομειώσεις στη τάση που δέχεται ο μετατροπέας. Σήμερα έχουν κατασκευασθεί εξαιρετικοί από πλευράς ποιότητας μετατροπείς που έχουν τη δυνατότητα να δίνουν ημιτονοειδή εναλλασσόμενη τάση με (1- 2%) αυξομείωση στην τάση εξόδου. Οι περισσότερες οικιακές συσκευές λειτουργούν κανονικά με αυξομειώσεις της τάσης γύρω στο 5-10%.

Αυτές είναι συνήθως μικρότερες των αυξομειώσεων της τάσης που δίνει το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο στο σπίτι. Για προστασία τόσο του ιδίου του μετατροπέα, της μπαταρίας αλλά και του καταναλωτή, ένας καλής ποιότητας μετατροπέας έχει μηχανισμό διακοπής της λειτουργίας του εφόσον η τάση στην είσοδο του έχει αστάθεια.

Ο συντελεστής ισχύος είναι ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος που χρησιμοποιεί ο καταναλωτής προς την ισχύ που δίνεται στον καταναλωτή. Η τιμή του συντελεστή ισχύος εξαρτάται από την εκλογή του μετατροπέα και το είδος του καταναλωτή. Ένας καλής ποιότητας μετατροπέας παρουσιάζει συντελεστή ισχύος 0,7 κατά τη σύνδεση του με τους διάφορους καταναλωτές.

Είναι γεγονός όμως ότι πολλοί μετατροπείς παρουσιάζουν προβλήματα στη διατήρηση σταθερότητας μιας αποδεκτής τιμής του συντελεστή ισχύος κάτω από διαφορετικές συνθήκες φόρτισης. Για παράδειγμα αν στο κύκλωμα του καταναλωτή υπάρχουν φώτα και πλυντήριο, είναι δυνατό να χαμηλώσουν τα φώτα λόγω μικρότερης ισχύος που δέχονται αν λειτουργήσει συγχρόνως και το πλυντήριο.

Πολλοί μετατροπείς, όταν λειτουργούν, προκαλούν ηλεκτρομαγνητική ενόχληση σε ηλεκτρονικές συσκευές. Για να αποφευχθεί το άσχημο αυτό επακόλουθο πρέπει να γίνει καλή εκλογή του μετατροπέα ώστε το βασικό εσωτερικό κύκλωμα να μην προκαλεί ηλεκτρομαγνητική εκπομπή.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που πρέπει να έχει ένας μετατροπέας είναι να μη προκαλεί θόρυβο κατά τη λειτουργία του. Στην περίπτωση που προκαλεί κάποιο μικρό θόρυβο, πρέπει να τοποθετείται μακριά από χώρους στους οποίους ο θόρυβος είναι ενοχλητικός.

Είναι πολύ σημαντικό επίσης για το μετατροπέα να λειτουργήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να υποστεί βλάβη αλλά και σε περίπτωση βλάβης ο αντιπρόσωπος να είναι σε θέση να τον επιδιορθώσει.

## β) Μετατροπέας Φ/β συστήματος ενωμένου με δίκτυο

Τα κύρια χαρακτηριστικά μετατροπέα αυτού είναι δύο. Πρώτον έχει απόδοση που είναι γύρω στο 90-95% και δεύτερο μπορεί να μετατρέψει πλήρως τη συνεχή τάση εναλλασσόμενη, γιατί λειτουργεί με βάση το σήμα που παίρνει από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Θα πρέπει να έχει μεγάλη ισχύ για να μπορεί να μετατρέπει σε εναλλασσόμενη όλη την ισχύ που παράγουν τα Φ/β πλαίσια. Θα πρέπει ακόμη να είναι σε θέση να αντεπεξέλθει και σε περιπτώσεις πολύ μεγαλύτερων τιμών ισχύος που μπορεί να εμφανισθούν κατά τη διάρκεια ειδικών καιρικών συνθηκών. Για παράδειγμα, μεγάλη ισχύς μπορεί να δημιουργηθεί όταν ορισμένα σύννεφα που, λειτουργώντας σαν φακός, προκαλούν μεγαλύτερη συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας στα Φ/β πλαίσια από τη κανονική.

Ένα πλεονέκτημα του μετατροπέα που συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο είναι ότι δεν χρειάζεται να αντιμετωπίσει τις μεγάλες τιμές ρεύματος που απαιτούνται για το ξεκίνημα ενός κινητήρα. Σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα τα υψηλά ρεύματα να παρέχονται από το δίκτυο.

Και σε αυτή την περίπτωση όμως ο μετατροπέας πρέπει να έχει σταθερή απόδοση σε πολύ μεγάλη περιοχή τιμών ισχύος.

Άλλο χαρακτηριστικό που πρέπει να έχει ένας τέτοιος μετατροπέας είναι η ικανότητα να προσαρμόζει τη λειτουργία του υπό τέτοια τάση, ώστε με οποιοδήποτε συνθήκες, η ισχύς εξόδου να είναι πάντα η μέγιστη. Γενικά, η καλή απόδοση και η ικανότητα του μετατροπέα να χρησιμοποιεί τη μέγιστη ισχύ που παράγουν τα Φ/β πλαίσια έχει πολύ μεγάλη σημασία γιατί έχει σχέση με το οικονομικό όφελος του ιδιοκτήτη του Φ/β συστήματος.

Επειδή η ηλεκτρική ενέργεια είναι δυνατό να διατεθεί δια μέσου του ηλεκτρικού δικτύου, η μορφή του ηλεκτρικού ρεύματος που δίνει ο μετατροπέας πρέπει να είναι ημιτονοειδής όπως ακριβώς το ρεύμα που κυκλοφορεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Πραγματικά, με την αλματώδη ανάπτυξη της φυσικής της στερεάς κατάστασης της ύλης, έχουν κατασκευασθεί μετατροπείς που δίνουν σχεδόν τέλεια ημιτονοειδή τάση με ελάχιστα αρμονικά σήματα που την παραμορφώνουν. Το αποτέλεσμα είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται με αυτό τον τρόπο δεν προκαλεί προβλήματα στη λειτουργία των κινητήρων και είναι πλήρως δεκτή από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Ένας άλλος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι ο συντελεστής ισχύος. Στην ιδανική περίπτωση ο συντελεστής αυτός πρέπει να είναι ίσος με τη μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι η τάση και το ρεύμα παίρνουν συγχρόνως τη μέγιστη τους τιμή και ότι όλη η ισχύς εξόδου του μετατροπέα είναι ίση με την ισχύ που καταναλώνει το φορτίο. Τελευταία έχουν κατασκευασθεί μετατροπείς που έχουν συντελεστή ισχύος 0,95 που είναι ίσος με αυτόν που έχει το ηλεκτρικό δίκτυο.

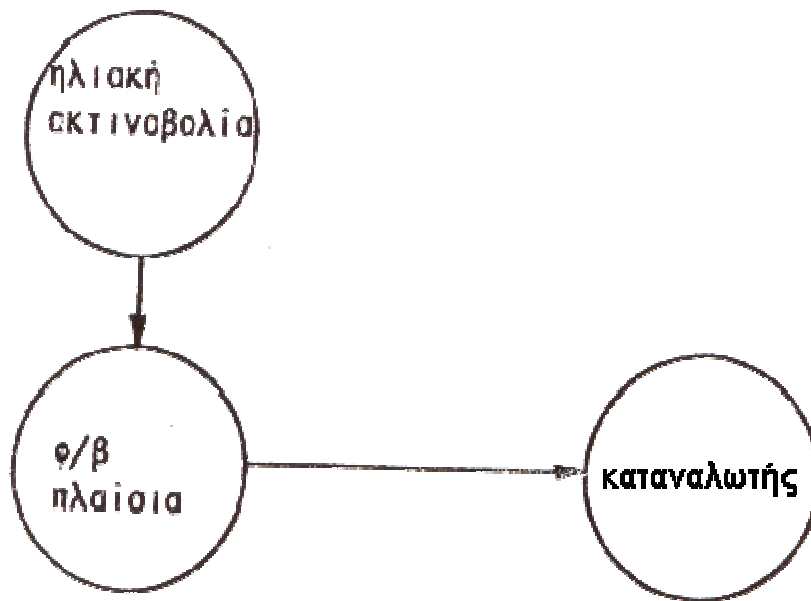
Για την εκλογή του μετατροπέα όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως θα πρέπει να προσεχθεί ώστε κατά τη λειτουργία του να μην προκαλεί εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αυτά είναι δυνατό να επηρεάσουν τη λειτουργία συσκευών όπως είναι οι τηλεοράσεις, τα ραδιόφωνα, τα τηλέφωνα και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

#### 4.4. Παράδειγμα αυτοτελούς φωτοβολταϊκού συστήματος

##### Κατασκευή και λειτουργία

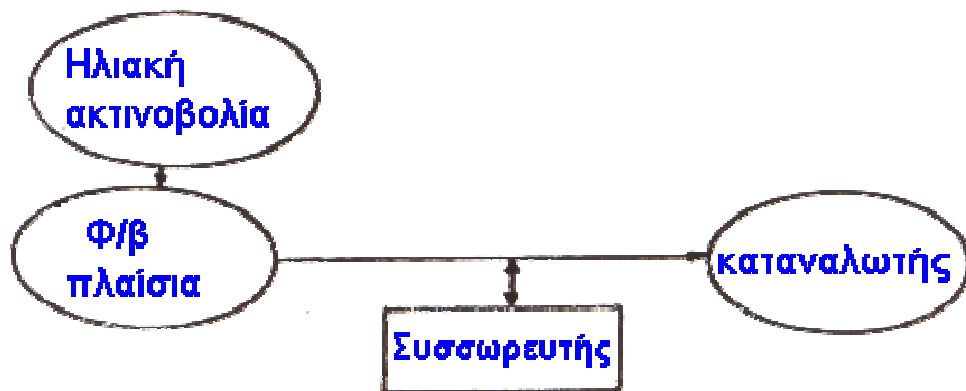
Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι πολύ απλό ή πολύπλοκο ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο κατασκευάζεται.

Το πιο απλό σύστημα είναι εκείνο που αποτελείται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία τροφοδοτούν απ' ευθείας τον καταναλωτή χωρίς να γίνεται αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας ή ρύθμιση της τάσης. Το σύστημα αυτό τροφοδοτεί τον καταναλωτή μόνο όταν υπάρχει φωτισμός στα Φ/β πλαίσια. Τέτοιο σύστημα χρησιμοποιείται στους μικρούς υπολογιστές τσέπης και σε αντλίες νερού που λειτουργούν με κινητήρα συνεχούς τάσης.



**Σχ. 17. Διάγραμμα αυτοτελούς Φ/β συστήματος που αποτελείται μόνο από τα πλαίσια και τον καταναλωτή**

Ένα πιο σύνθετο σύστημα από το προηγούμενο περιλαμβάνει και μια μπαταρία για την αποθήκευση μέρους της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν τα Φ/β πλαίσια. Στην περίπτωση αυτή η ενέργεια των πλαισίων μεταβιβάζεται στον καταναλωτή και αυτή που περισσεύει αποθηκεύεται στην μπαταρία (σχήμα 18).



Σχ. 18

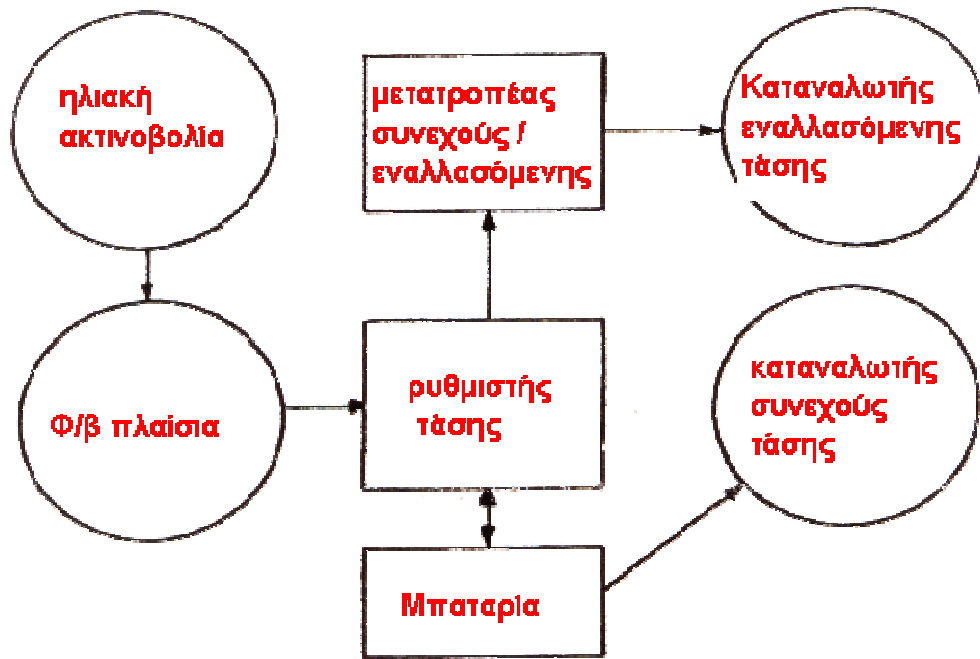
**Διάγραμμα αυτοτελούς Φ/β συστήματος που περιλαμβάνει και συσσωρευτή**

Φυσικά, στη περίπτωση αυτή το μέγεθος των πλαισίων πρέπει να υπολογισθεί κατάλληλα ώστε να γίνεται μια κανονική διοχέτευση ρεύματος στη μπαταρία. Επειδή όμως υπάρχει ο κίνδυνος υπερφόρτισης ή πλήρους εκφόρτισης της μπαταρίας, πρέπει να γίνεται τακτική εξέταση της μπαταρίας γιατί και στις δύο περιπτώσεις λιγότευει ο χρόνος ζωής της .

Για να υπάρχει αυτόματη διατήρηση της τάσης της μπαταρίας και για καλύτερη λειτουργία του συστήματος επιβάλλεται η παρεμβολή του ρυθμιστή τάσης μεταξύ των πλαισίων και της μπαταρίας (σχήμα 18). Η συσκευή αυτή είναι απαραίτητη σε ένα Φ/β σύστημα που δεν παρακολουθείται τακτικά. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σε σταθμούς αναμετάδοσης που κατασκευάζονται σε απομακρυσμένες περιοχές, αλλά και σε οικιακές εγκαταστάσεις στις οποίες δεν είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση της κατάστασης φόρτισης της μπαταρίας.

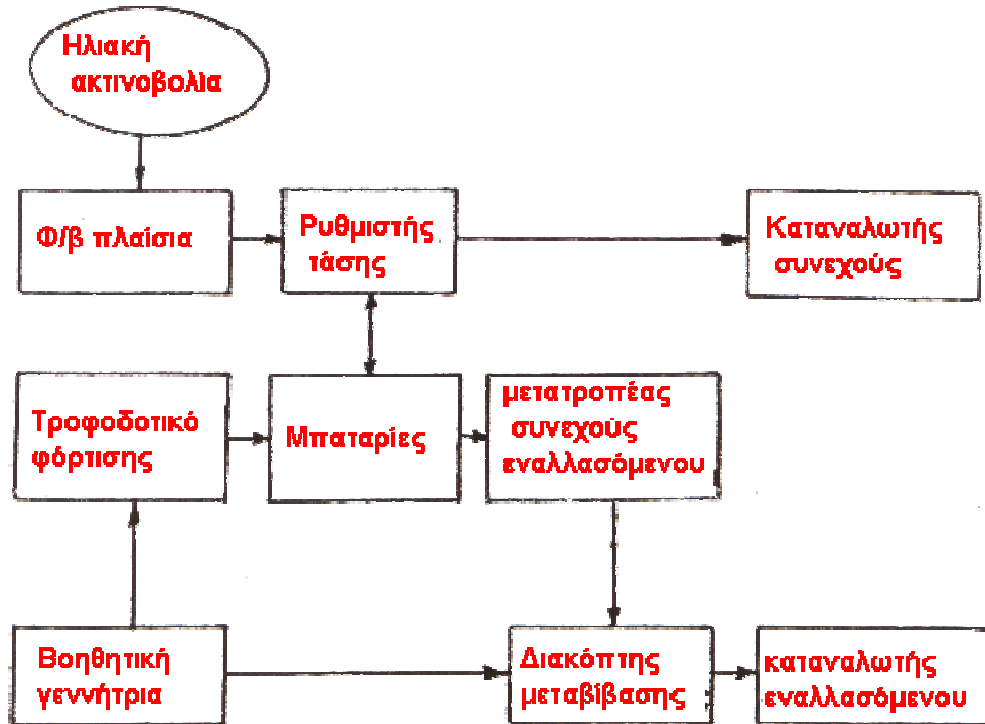
Σε περίπτωση που χρειάζεται εναλλασσόμενη τάση είναι απαραίτητη για τον καταναλωτή η χρησιμοποίηση του μετατροπέα συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος. Η συσκευή αυτή παρεμβάλλεται μεταξύ της μπαταρίας και του καταναλωτή. Αν τυχόν υπάρχει και καταναλωτής συνεχούς τάσης, η τροφοδότηση του γίνεται απ' ευθείας από τη μπαταρία.





**Σχ.19** Διάγραμμα Φ/β συστήματος που περιλαμβάνει μετατροπέα για χρησιμοποίηση καταναλωτή εναλλασσόμενης τάσης . Ο καταναλωτής συνεχούς τάσης τροφοδοτείται απ' ευθείας από τη μπαταρία

Εάν η ισχύς που απαιτείται για την τροφοδότηση του καταναλωτή είναι πολύ μεγάλη, μπορεί τα Φ/β πλαίσια και η αποθηκευμένη ενέργεια να μην έχουν τη δυνατότητα να ανταποκριθούν σε έκτακτες περιστάσεις που μπορεί να παρουσιασθούν. Τέτοιες έκτακτες περιστάσεις, όπως είναι μια απρόβλεπτα μεγάλη περίοδος συννεφιάς ή μια ξαφνική βλάβη του συστήματος, μπορεί να αντιμετωπισθούν με μια βοηθητική γεννήτρια πετρελαίου και ένα τροφοδοτικό μπαταρίας. (Σχήμα 20).



**Σχ.20 3** Διάγραμμα αυτοτελούς Φ/β συστήματος . Περιλαμβάνει βοηθητική γεννήτρια και τροφοδοτικό φόρτισης μπαταριών

Η προσθήκη βοηθητικής γεννήτριας στο σύστημα είναι ένας τρόπος να αντιμετωπισθεί κάποια μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να εμφανισθεί ξαφνικά. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η χρησιμοποίηση μεγάλου αριθμού Φ/β πλαισίων που θα ήταν απαραίτητα μόνο για εξαιρετικές περιπτώσεις χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας ή για προσωρινή χρησιμοποίηση στο σπίτι ηλεκτρικών συσκευών μεγάλης ισχύος. Γενικά, πρέπει να τονισθεί ότι η γεννήτρια είναι μια εφεδρική συσκευή του Φ/β συστήματος και χρησιμοποιείται πολύ αραιά για να φορτίσει τις μπαταρίες. Πάντοτε το μεγαλύτερο ή συνήθως όλο το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται ο καταναλωτής δίνεται από τα Φ/β πλαίσια. Μόνο στη περίπτωση που η απαιτούμενη ισχύς ξεπερνά το 1 KW θα χρειασθεί να χρησιμοποιηθεί εφεδρικά η γεννήτρια.

Όταν πρόκειται να εγκατασταθεί ένα αυτοτελές φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει να περιορισθεί η χρήση ηλεκτρικών συσκευών που παράγουν θερμότητα, γιατί τέτοιες συσκευές προκαλούν μεγάλη αύξηση του ρεύματος και γενικά της ηλεκτρικής ισχύος. Οι συσκευές που θα λειτουργούν με την ηλεκτρική ενέργεια του φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να είναι πολύ καλής απόδοσης. Αν υπάρχουν παλιές αντιοικονομικές συσκευές, πρέπει να αντικατασταθούν με άλλες καλύτερης απόδοσης που φυσικά θα προσφέρουν την ίδια ή ακόμη καλύτερη εξυπηρέτηση.

Πάντα υπάρχει περιθώριο να ελαττωθεί η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς αυτό να προκαλέσει σοβαρή μεταβολή στο τρόπο ζωής μας ή να ελαττωθούν οι βασικές ευκολίες που μας προσφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα. Γενικά πρέπει η κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος να είναι περιορισμένη για να αποφευχθεί έστω και η εφεδρική χρησιμοποίηση γεννήτριας που επιφέρει έξοδα, εκτός από την

αγορά της, για τη τροφοδότηση της με καύσιμα και για τη συντήρηση της ώστε να βρίσκεται συνεχώς σε καλή κατάσταση. Επί πλέον μια γεννήτρια προκαλεί δυνατό και συνεχές ενοχλητικό θόρυβο και δεν έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύσει τα τυχόν περισεύματα ενέργειας που παράγουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Γι' αυτό κατά τη σχεδίαση ενός αυτοτελούς Φ/β συστήματος πρέπει να, γίνουν πολύ ακριβείς υπολογισμοί, κάτι που δεν είναι απαραίτητο για ένα Φ/β σύστημα που πρόκειται να συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Το τελευταίο σύστημα μπορεί να κατασκευασθεί πολύ μεγαλύτερο από αυτό που χρειάζεται για το συγκεκριμένο καταναλωτή της κατοικίας γιατί η επί πλέον ενέργεια που θα παράγει θα παρέχεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να χρησιμοποιηθεί από άλλους καταναλωτές.

Γενικά το αυτοτελές φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να παράγει τόση ηλεκτρική ενέργεια ώστε να δίνει ένα μέρος για την άμεση λειτουργία του καταναλωτή και το υπόλοιπο να αποθηκεύεται στις μπαταρίες για να καλύπτονται οι ανάγκες της νύκτας και γενικά οι ανάγκες που προέρχονται από μεγάλες περιόδους χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας.

### **Σχεδιασμός για συνηθισμένη κατανάλωση**

Μια συνηθισμένη οικονομική κατανάλωση σε οικιακή εγκατάσταση, όπως υπολογίστηκε πιο πριν, είναι 7 KW την ημέρα κατά τη διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού και μικρότερη κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου. Είναι φανερό ότι αν ο σχεδιασμός γίνει για τον χειμώνα ώστε να καλύπτονται τα 7 KW την ημέρα με την περιορισμένη ηλιοφάνεια που υπάρχει, τότε σίγουρα θα καλύπτεται και η κατανάλωση κατά τη διάρκεια των άλλων εποχών του έτους με τη μεγαλύτερη ηλιοφάνεια. Αν υποθεθεί ότι στο σύστημα θα τοποθετηθεί ένας καλής ποιότητας μετατροπέας με απόδοση 90% και με απώλειες στα σύρματα 5%, η ενέργεια που πρέπει να φθάσει στην είσοδο του μετατροπέα είναι:

$$E = 7.000 \text{ Wh}/0,85 \text{ την ημέρα}$$

$$E = 8235 \text{ Wh την ημέρα}$$

Έτσι ο μετατροπέας στην έξοδο του θα δώσει 7.000 Wh

Εφόσον τα πλαίσια προσανατολιστούν κατά  $\phi+15^\circ$  με την οριζόντια διεύθυνση (για Ελλάδα το  $\phi=38^\circ$  και για την Κύπρο το  $\phi=35^\circ$  όπου  $\phi$  είναι το γεωγραφικό πλάτος, τότε η μέγιστη ισχύς που πρέπει να δίνουν τα Φ/β πλαίσια, είναι:

$$\text{για την Ελλάδα} \quad 8235 \text{ Wh/ ημέρα} : 3,5 \text{ h / ημέρα} = 2353 \text{ W}$$

$$\text{και για την Κύπρο} \quad 8235 \text{ Wh / ημέρα} : 4,5 \text{ h / ημέρα} = 1830 \text{ W}$$

Αν ο μετατροπέας που θα εκλεγεί λειτουργεί με τάση εισόδου 48V (συνεχές ρεύμα) η ένταση του ρεύματος που θα δίνουν τα πλαίσια βρίσκεται από τον τύπο:

ένταση = ισχύς / τάση

και

ένταση = 2353 W / 48 V = 49 Α για την Ελλάδα

ένταση = 1830 W / 48 V = 38,1Α για την Κύπρο

(πίνακας 9)

<b><u>ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΤΑ Φ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ</u></b>				
<b><u>ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ /ΗΜΕΡΑ</u></b>				
<b>ΧΩΡΑ</b>	<b>ΧΕΙΜΩΝΑΣ</b>	<b>ΑΝΟΙΞΗ</b>	<b>ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ</b>	<b>ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ</b>
<b>ΕΛΛΑΔΑ</b>	<b>3</b>	<b>5,5</b>	<b>6,5</b>	<b>4</b>
<b>ΚΥΠΡΟΣ</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>6</b>

<b><u>ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΤΑ Φ+15 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ</u></b>				
<b><u>ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ /ΗΜΕΡΑ</u></b>				
<b>ΧΩΡΑ</b>	<b>ΧΕΙΜΩΝΑΣ</b>	<b>ΑΝΟΙΞΗ</b>	<b>ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ</b>	<b>ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ</b>
<b>ΕΛΛΑΔΑ</b>	<b>3,5</b>	<b>5,0</b>	<b>5,5</b>	<b>4,5</b>
<b>ΚΥΠΡΟΣ</b>	<b>4,5</b>	<b>5,5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>

<b>ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΤΑ Φ-15 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ</b>				
<b>ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ /ΗΜΕΡΑ</b>				
<b>ΧΩΡΑ</b>	<b>ΧΕΙΜΩΝΑΣ</b>	<b>ΑΝΟΙΞΗ</b>	<b>ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ</b>	<b>ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ</b>
<b>ΕΛΛΑΔΑ</b>	<b>3,0</b>	<b>6,0</b>	<b>7,5</b>	<b>4,5</b>
<b>ΚΥΠΡΟΣ</b>	<b>3,5</b>	<b>6,5</b>	<b>7,5</b>	<b>5</b>

Εάν τα πλαίσια που θα χρησιμοποιηθούν έχουν χαρακτηριστικά :

Τάση 12 V και ένταση ρεύματος 2,3 A υπό ένταση ηλιακής ακτινοβολίας 1000 W/m<sup>2</sup>, τότε είναι φανερό ότι κάθε σειρά πλαισίων πρέπει να αποτελείται από 4 πλαίσια ώστε μαζί να δίνουν τάση 4 x 12V=48V.

Ο αριθμός των σειρών που θα συνδεθούν παράλληλα καθορίζεται από το ρεύμα που δίνει κάθε σειρά και το ολικό ρεύμα που πρέπει να δώσουν τα πλαίσια για να καλύψουν την κατανάλωση.

**αριθμός σειρών =49A/2,3A /σειρά = 21,3 σειρές για την (Ελλάδα)**

**αριθμός σειρών =38,1A/2,3A/I σειρά = 16,6 σειρές για την(Κύπρο)**

Επομένως θα χρειασθούν :

**4 x 22 = 88 πλαίσια για την Ελλάδα**

**4 x 17 = 68 πλαίσια για την Κύπρο**

Τα πλαίσια αυτά θα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια την ημέρα

**22 x 48Vn x 2,3A x 3,5h = 8500,8Wh για την Ελλάδα**

**17 x 48V x 2,3A x 4,5h = 8445,6 Wh για την Κύπρο**

Το ποσό αυτό της ενέργειας είναι μεγαλύτερο από τις 8235 Wh που χρειάζεται ο καταναλωτής κάθε μέρα.

Τα αμπερόρια που δίνει το σύστημα υπό τάση 48 V είναι:

**22 x 2,3A x 3,5h =177,1 Ah (Ελλάδα)**

$$17 \times 2,3A \times 4,5h = 176 \text{ Ah (Κύπρος)}$$

που είναι περισσότερα από τα

$$7.000 \text{ Wh}/145\text{Ah}=48\text{V}$$

που χρειάζεται ο καταναλωτής κάθε μέρα .Για τον υπολογισμό του αριθμού των μπαταριών που θα χρειαστούν για αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να ληφθεί υπόψη ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες μπορεί να μην υπάρχει ηλιοφάνεια. Για τις μέρες αυτές πρέπει να υπάρχει αποθηκευμένη ενέργεια για να δοθεί στην ηλεκτρική εγκατάσταση. Με την αποθήκευση ενέργειας για τρεις μέρες συννεφιάς μπορεί να αποφευχθεί εντελώς η χρησιμοποίηση γεννήτριας ηλεκτρικού ρεύματος.

Για σίγουρη εξασφάλιση ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιηθούν τόσες μπαταρίες ώστε να μπορούν να δώσουν ηλεκτρική ενέργεια για 7 μέρες συννεφιάς. Εξάλλου, όσο περισσότερες μπαταρίες χρησιμοποιηθούν στο σύστημα για λόγους μεγαλύτερης αποθήκευσης, τόσο μικρότερο θα είναι το καθημερινό ποσοστό εκφόρτισης των μπαταριών με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου ζωής τους σε μεγάλο βαθμό.

Αν θεωρήσουμε ότι η καθημερινή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των πλαισίων, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών, είναι 8500,5 Wh για την Ελλάδα και 8445,5 Wh για Κύπρο, συνεπάγεται ότι υπό τάση 48V κυκλοφορεί φορτίο:

$$8500,5 \text{ Wh} / 48^* = 177,1 \text{ Ah (E) και}$$

$$8445,6 \text{ Wh} / 48^* \text{ V}=176 \text{ Ah (K)}$$

Για να καλυφθούν οι ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας για τρεις μέρες πρέπει να αποθηκευθούν στις μπαταρίες:

$$177,1 \text{ Ah} \times 3 = 531,3 \text{ Ah (E)}$$

$$176 \text{ Ah} \times 3 = 528 \text{ Ah (K)}$$

Ενώ για να καλυφθούν οι ανάγκες για 7 μέρες πρέπει να αποθηκευθούν στις μπαταρίες:

$$177,1 \text{ Ah} \times 7 = 1239,7 \text{ Ah (E)}$$

$$176 \text{ Ah} \times 7 = 1232 \text{ Ah (K)}$$

Εάν υποτεθεί ότι η μπαταρία που θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα έχει τα χαρακτηριστικά : Τάση = 12 V , χωρητικότητα = 140 Ah και είναι βαθιάς εκφόρτισης με μέγιστο ποσοστό ασφαλούς εκφόρτισης 80%, σημαίνει ότι η χρήσιμη χωρητικότητα είναι  $140 \text{ Ah} \times 0,8 = 112 \text{ Ah}$  και αυτό είναι το φορτίο που θα δίνει η μπαταρία κάθε φορά που εκφορτίζεται.

---

\*48V = 4x12V

Εφόσον η τάση που χρησιμοποιεί το σύστημα είναι 48 V , πρέπει οι μπαταρίες να είναι σε σειρές συνδεδεμένες παράλληλα μεταξύ τους με κάθε σειρά να περιέχει 4 μπαταρίες ώστε  $4 \times 12 \text{ V} = 48 \text{ V}$ .

Για 7 μέρες αποθήκευσης, ο αριθμός των σειρών των μπαταριών που χρειάζονται είναι:

$$1239,7 \text{ Ah} / 112 \text{ Ah/σειρά} = 11,1 \text{ σειρές (E)}$$

και

$$1232/112\text{Ah/σειρά} = 11 \text{ σειρές (K)}$$

Είναι φανερό ότι 11 σειρές μπαταριών δηλαδή συνολικά  $11 \times 4 = 44$  μπαταρίες, για την Ελλάδα και Κύπρο, θα αποθηκεύσουν αρκετή ενέργεια για να καλύψει τις ανάγκες μιας βδομάδας χωρίς ηλιοφάνεια.

Μένει να αποδειχθεί ότι ένα τέτοιο σύστημα μπαταριών καλύπτει τις ανάγκες 7 ημερών και από πλευράς κιλοβατωρίων.

Η ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται το σύστημα ,για 7 ημέρες είναι:

$$8235 \text{ Wh} \times 7 = 57645 \text{ Wh}$$

Κάθε σειρά μπαταριών με ποσοστό εκφόρτισης 80% μπορεί να δώσει 48 V χ 112Ah= 537Wh. Οι 11 σειρές μπαταριών μπορεί να δώσουν  $537\text{Wh} \times 11 = 59136\text{Wh}$  που υπερκαλύπτουν τις ανάγκες των 57645Wh τη βδομάδα.

Στο σχεδιασμό αυτό δεν υπολογίστηκαν οι απώλειες στις ίδιες της μπαταρίες διότι χρησιμοποιήθηκαν αμπερώρια υπό τάση 12 V που είναι λίγο μικρότερη από την πραγματική τάση στα άκρα κάθε μπαταρίας μολύβδου. Επειδή η πραγματική τάση κάθε μπαταρίας είναι λίγο μεγαλύτερη των 12 V είναι φανερό ότι τα φορτία έχουν μεγαλύτερη ενέργεια από αυτή που υπολογίστηκε προηγουμένως.

Έτσι μπορεί να θεωρηθεί ότι η διαφορά αυτή καλύπτει ασφαλώς τις διάφορες απώλειες στην μπαταρία.

Φυσικά, σύμφωνα με την πιο πάνω ανάλυση, δε χρειάζεται η παρουσία βοηθητικής γεννήτριας ,για έκτακτες περιστάσεις. Στην περίπτωση όμως που οι συνεχείς μέρες συννεφιάς είναι πολύ περισσότερες, η αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες δεν θα είναι αρκετή ,για να καλύψει τις ανάγκες. Κάτω από τέτοιες συνθήκες είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση βοηθητικής γεννήτριας για ενίσχυση του συστήματος.

#### 4.5. Παράδειγμα σχεδίασης κατανάλωσης εξοχικού σπιτιού

Σχεδιασμός κατανάλωση εξοχικού σπιτιού.

Υποθέτουμε ένα παράδειγμα εξοχικού σπιτιού κτισμένου οπουδήποτε στην ύπαιθρο πολύ μακριά από το ηλεκτρικό δίκτυο. Η κατανάλωση του σε ηλεκτρική ενέργεια περιορίζεται, όπως φαίνεται στον πιο κάτω πίνακα, στις πιο απαραίτητες ηλεκτρικές συσκευές και σε μια αντλία νερού για τις ανάγκες του σπιτιού σε νερό.

Μερικές από τις συσκευές είναι δυνατό να είναι συνεχούς ρεύματος γιατί όπως αναφέρθηκε, καταναλώνουν λιγότερη με ενέργεια. Οι διάφορες ανάγκες σε θερμότητα (μαγείρεμα, θέρμανση χώρων, θέρμανση νερού) καλύπτονται με συσκευές γκαζιού ή πετρελαίου. Το σπίτι θεωρείται ότι θα χρησιμοποιείται συνεχώς κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού καθώς και τρεις συνεχείς μέρες τη βδομάδα κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

(Πίνακας 10)

Ηλεκτρική συσκευή	Ισχύς σε KW	Ώρες λειτουργίας την ημέρα	Κατανάλωση σε KWh τον μήνα
4 Λαμπτήρες φθορισμού των 40 W και 6 των 20W (DC 48V)	0,3	2 καλοκαίρι	0,6 x 30=18
		5 χειμώνα	1,5 x 12=18
Μικρό ψυγείο (DC 48V)	0,1	12 καλοκαίρι	1,2 x 30=36
		10 χειμώνα	1,0 x 12=12
Έγχρωμη τηλεόραση	0,2	4 καλοκαίρι	0,8 x 30=24
		4 χειμώνα	0,8 x 12=96
Μικρό πλυντήριο	0,5	0,5 καλοκαίρι	0,25 x 30=7,5
		0 χειμώνα	0
Αντλία νερού (48 V DC)	0,6	1 καλοκαίρι	0,6 x 30=18
		0,3 χειμώνα	0,2 x 12=2,4

**Καλοκαίρι 103,5 KWh=3,5Kwh/ημέρα**

**Χειμώνα 42KWh/μήνα (12 ημέρες)=3,5KWh/ ημέρα**

Όπως φαίνεται από τον πίνακα υπολογισμού, το φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να καλύπτει ανάγκες 3,5 KWh την ημέρα.



Τα πλαίσια τοποθετούνται με προσανατολισμό προς το νότο σχηματίζοντας γωνία με την οριζόντια διεύθυνση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου δηλαδή 38ο για την Ελλάδα και 35ο για την Κύπρο.

Ο σχεδιασμός γίνεται για τους καλοκαιρινούς μήνες και μετά εξετάζεται αν το σύστημα ικανοποιεί και τις ανάγκες του χειμώνα.

Αυτό είναι και το πιο πιθανό μια και το χειμώνα το σπίτι χρησιμοποιείται μόνο τρεις μέρες τη βδομάδα. Παρατηρούμε ότι το καλοκαίρι η ημερήσια μέση κατανάλωση των συσκευών που λειτουργούν υπό συνεχή τάση 48 V είναι:

$$0,6\text{KWh} + 1,2\text{KWh} + 0,6\text{KWh} = 2,4 \text{ KWh}$$

ενώ των συσκευών που λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση 240 V είναι:

$$0,8\text{KWh} + 0,25\text{KWh} = 1,05 \text{ KWh}$$

Συνολικά η ημερήσια κατανάλωση είναι:

$$2,4\text{KWh} + 1,05 \text{ KWh} = 3,45\text{KWh}$$

Αν χρησιμοποιηθεί μετατροπέας ισχύος 2 KW και απόδοσης 75%,για να δώσει ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος 1,05 KWh πρέπει η ενέργεια συνεχούς που θα φθάσει στην είσοδο του να είναι:

$$1,05 \text{ KWh} / 0,75 = 1,4 \text{ KWh}$$

Ωστε η ενέργεια που πρέπει να δώσουν οι μπαταρίες αποθήκευσης είναι:

$$1,4 \text{ KWh} + 2,4 \text{ KWh} = 3,8\text{Kwh}$$

Αν οι απώλειες στο ρυθμιστή τάσης είναι 10% τότε τα Φ/β πλαίσια πρέπει να παρέχουν ενέργεια

$$3,8\text{KWh} / 0,9 = 4,2 \text{ KWh}$$

Η μέγιστη ισχύς των πλαισίων που θα τοποθετηθούν είναι

$$4200\text{Wh} / 6,5\text{h} = 646 \text{ Wp για την Ελλάδα}$$

$$4200\text{Wh} / 7\text{h} = 600 \text{ Wp για την Κύπρο}$$

Αν χρησιμοποιηθούν πλαίσια με χαρακτηριστικά 36 Wh και 12 V τότε ο αριθμός των πλαισίων για την Ελλάδα και την Κύπρο θα είναι αντίστοιχα:

$$646\text{Wh}/30\text{Wh}/\text{πλαίσιο}=21,6 \text{ πλαίσια (Ελλάδα)}$$

$$600\text{Wh}/30\text{Wh}/\text{πλαίσιο}=20 \text{ πλαίσια (Κύπρος)}$$

Για να είναι η τάση 48 V είναι φανερό ότι κάθε σειρά (βασική μονάδα) πρέπει να περιλαμβάνει 4 πλαίσια. Επομένως για να υπερκαλυφθεί ο αριθμός των πλαισίων θα πρέπει ο αριθμός των σειρών να είναι:

$$24 : 4 = 6 \text{ σειρές για την Ελλάδα}$$

$$20 : 4 = 5 \text{ σειρές για την Κύπρο.}$$

Για τον υπολογισμό του αριθμού των μπαταριών ακολουθείται η ίδια λογική που χρησιμοποιήθηκε στον προηγούμενο σχεδιασμό.

Εφόσον η τάση είναι 48 V η βασική σειρά αποτελείται από 4 μπαταρίες των 12 V. Το ηλεκτρικό φορτίο που πρέπει να δώσουν οι μπαταρίες για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες της ημέρας είναι:

$$4200 \text{ Wh}/48 \text{ V} = 87,5^{\text{A}}$$

Για να καλυφθούν οι ανάγκες 2 ημερών συνεφιάς πρέπει να υπάρχουν 2 x 87,5 Ah=175 Ah στις μπαταρίες. Εφόσον οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται έχουν πάλι χωρητικότητα 140 Ah με ποσοστό εκφόρτισης 80%, σημαίνει ότι η χρήσιμη χωρητικότητα είναι 120 Ah.

Επομένως ο αριθμός σειρών μπαταριών είναι:

$$175 \text{ Ah}/120 \text{ Ah}/\text{σειρές} = 1,6 \text{ σειρές}$$

που σημαίνει ότι πρέπει να τοποθετηθούν 2 σειρές. Και ο αριθμός των μπαταριών είναι 2 σειρές x 4 μπαταρίες = 8 μπαταρίες. Οι μπαταρίες αυτές όταν είναι φορτισμένες πλήρως, μπορούν να δώσουν ηλεκτρικό φορτίο 2 x 120 Ah= 240 Ah υπό τάση 48 V. Και η ηλεκτρική ενέργεια αυτού είναι 240 Ah x 48 V = 11.520 Wh.

Κατά το χειμώνα η ενέργεια που αποθηκεύεται στις μπαταρίες κατά τις 4 μέρες της εβδομάδας που δεν λειτουργεί η οικιακή εγκατάσταση μαζί με την ενέργεια που παράγουν τα πλαίσια τις άλλες 3 μέρες της εβδομάδας που λειτουργεί η εγκατάσταση είναι αρκετή να καλύψει τις ανάγκες της κατανάλωσης των 3 ημερών. Πραγματικά παρατηρούμε ότι τα πλαίσια παράγουν την ημέρα :

$$24 \times 30 \text{ W} \times 3\text{h}=2160 \text{ Wh (E)}$$

$$20 \times 30 \text{ W} \times 4\text{h}=2400 \text{ Wh (K)}$$

Αν θεωρηθεί ότι οι απώλειες στο ρυθμιστή τάσης είναι 10% τότε η ενέργεια που παίρνουν οι μπαταρίες είναι :

$$2160 \text{ Wh} \times 0,9 = 1944 \text{ Wh (E)}$$

$$2400 \text{ Wh} \times 0,9 = 2160 \text{ Wh (K)}$$

Και όταν η τροφοδότηση των μπαταριών γίνεται επί 4 μέρες τότε η ενέργεια που αποθηκεύεται σε αυτές είναι

$$1944 \times 4 = 7776 \text{ Wh (E)}$$

και

$$2160 \times 4 = 8640 \text{ Wh (K)}$$

Για τις 3 ημέρες τη βδομάδα που λειτουργούν οι ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού, χρειάζονται  $3 \times 2700 \text{ Wh} = 8100 \text{ Wh}$  συνεχούς ρεύματος και  $3 \times 800 \text{ Wh} = 2400 \text{ Wh}$  εναλλασσόμενου ρεύματος. Κατά τη διάρκεια των 3 αυτών ημερών τα πλαίσια παρέχουν απ' ευθείας στον καταναλωτή ενέργεια συνεχούς ρεύματος

$$2160 \text{ Wh} \times 3 = 6480 \text{ Wh (E)}$$

$$2400 \text{ Wh} \times 3 = 7200 \text{ Wh (K)}$$

για να καλυφθεί το ποσό των 8100 Wh που χρειάζονται. Την υπόλοιπη ενέργεια

$$8100 \text{ Wh} - 6480 \text{ Wh} = 1620 \text{ (E)}$$

$$8100 \text{ Wh} - 7200 \text{ Wh} = 900 \text{ Wh (K)}$$

ο καταναλωτής θα την πάρει από τις μπαταρίες και έτσι θα παραμείνουν σ' αυτές

$$7776 \text{ Wh} - 1620 \text{ Wh} = 6156 \text{ Wh (E)}$$

$$8640 \text{ Wh} - 900 \text{ Wh} = 7740 \text{ Wh (K)}$$

Αν θεωρηθεί ότι η απώλεια στο μετατροπέα συνεχούς εναλλασσόμενου ρεύματος ανέρχονται στο 25%, η διαθέσιμη ενέργεια για τις συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος είναι

$$6156 \text{ Wh} \times 0,75 = 4617 \text{ Wh (E)}$$

$$7740 \text{ Wh} \times 0,75 = 5805 \text{ Wh (K)}$$

Τα ποσοστά αυτά της ενέργειας είναι αρκετά μεγαλύτερα από τις 2400 Wh που χρειάζεται μια έγχρωμη τηλεόραση για να λειτουργήσει κατά τις 3 μέρες που θα κατοικείται το σπίτι.

**Πίνακας 11.** με ενδεικτικές τιμές για την ισχύ και την περίπου μέση μηνιαία κατανάλωση διαφόρων συνηθισμένων οικιακών ηλεκτρικών συσκευών.

<b>Ηλεκτρική συσκευή</b>	<b>ΙΣΧΥΣ W</b>	<b>Μηνιαία ηλεκτρ. κατανάλωση KWh</b>
Αναμικτήρας τροφών (μίξερ)	150	1,0
Ανεμιστήρας	100	4,0
Απορροφητήρας κουζίνας	250	8,0
Βίντεο	30	1,0
Καταψύκτης τροφών	400	100
Καυστήρας πετρελαίου	250	15,0
Κλιματιστικό	1500	100
Κολλητήρι	50	1,0
Κουζίνα	6.000	120
Λάμπα Φωτισμού πυρακτ.	75	9
Μαγνητόφωνο	100	1,0
Μάτι κουζίνας	500	15,0
Στερεοφωνικό συγκρότημα	150	15
Πλυντήριο πιάτων	1000	30,0
Πλυντήριο ρούχων	3500	9,0
Ηλεκτρ.Υπολογιστής	60	5,0
Σίδερο Σιδερώματος	1000	5,0
Τηλεόραση έγχρωμη	200	20,0
Ψυγείο	350	180,0

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## Α. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Tomas Markvart (Επιμέλεια Παναγιώτης Σκουπλος « *Ηλεκτρισμός από ηλιακή ενέργεια*» Εκδόσεις Ίων, Αθήνα 2003)
2. Ν. Κολλιόπουλος, Αχηλαρη «*Εφαρμογές ηλεκτροτεχνίας*» Εκδόσεις Ίων, Αθήνα 2001
3. Α.Μοσχάτος. «*Ηλιακή ενέργεια*» (Εκδόσεις 'Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας' 1992)
4. Κ.Καγκαρακης «*Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία*», Εκδόσεις Συμμετρία, 1992
5. Καββαδίας Κοσμάς-Καλδέρης Ιωάννης «*Εργαστηριακές εφαρμογές ήπιων μορφών ενέργειας*», Εκδόσεις Σταμούλη 2001

## Β. ΕΡΓΑΣΙΕΣ

1. Α.Νανάκος, διπλωματούχος ηλεκτρολόγος μηχανικός υποψήφιος διδάκτωρ, τμήμα ΗΜ&ΤV,Πανεπιστημίου Πατρών.  
Ι.Καμπούγιας διπλωματούχος ηλεκτρολόγος μηχανικός υποψήφιος διδάκτωρ, τμήμα ΗΜ&ΤV,Πανεπιστημίου Πατρών.  
Ε.Τατακης, Αναπληρωτής καθηγητής, τμήμα τμήμα ΗΜ&ΤV, Πανεπιστημίου Πατρών. «*Εργαστηριακή εξοικονόμηση των χαρακτηριστικών εξόδου ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου*».
2. Παναγιώτης Ζέρβας, χημικός μηχανικός ΕΜΠ υποψήφιος διδάκτορας, τμήμα χημικών μηχανικών τομέα ΙΙ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, «*Σχεδιασμός συνδυασμένης μονάδας ισχύος φωτοβολταϊκών στοιχείων-κελιών καυσίμου (PV-FC)*»

## Γ. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

1. [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
2. [www.seners.gr](http://www.seners.gr)
3. [www.compasolar.gr](http://www.compasolar.gr)
4. [www.eren.doe.gov/pv](http://www.eren.doe.gov/pv)

