

Τεχνικό-οικονομική μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων στα κτίρια του Ξενία

Αικατερίνη Ρωμ. Πολυχρονιάδου

ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Που υποβλήθηκε στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση
του Τμήματος Περιβάλλοντος ως μέρος
των απαιτήσεων για την απόκτηση
Διπλώματος Ειδίκευσης
στην Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση

**Μυτιλήνη
Φεβρουάριος 2004**

ΕΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ

Ο Διευθυντής του Μεταπτυχιακού

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Μ. Σκούρτος

Δ. Χαραλαμπίδης

Στους γονείς μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να Ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Χαραλαμπόπουλο Δία για την πολύτιμη βοήθεια του, καθώς επίσης και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής μου τον κ. Κ. Χαλβαδάκη και τον κ. Ι. Πηλίνη.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ιγνάτιο Κοτζαγκιόζη, τον Μάνο Σεραφειμίδη, τον Γιώργο Βάσειο και τον Χρήστο Δημόπουλο για τις σημαντικές πληροφορίες που μου παρείχαν.

Δεν θα μπορούσα φυσικά να μην ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου, που ήταν πάντα δίπλα μου και με στήριζαν...

Μυτιλήνη, Φεβρουάριος 2004

ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η Αικατερίνη Πολυχρονιάδου του Ρωμύλου γεννήθηκε στην Τρίπολη Αρκαδίας το 1977. Αποφοίτησε από το 2^ο Γενικό Λύκειο Α.Τούμπας Θεσσαλονίκης το 1995. Σπούδασε στο Τμήμα «Μηχανολογίας» στη Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Καβάλας, ακολουθώντας την κατασκευαστική κατεύθυνση του τμήματος. Αποφοίτησε το 2002, αφού προηγουμένως, ολοκλήρωσε την βμηνη πρακτική της άσκηση στην πολυεθνική εταιρία Hellas Can (ΒΙ.ΠΕ.Θ.) και συνέχισε τις σπουδές της στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση» στο τμήμα Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τεχνικό-οικονομική μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων στα κτίρια του Ξενία

Αικατερίνη Πολυχρονιάδου

Μία από τις σημαντικότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας θεωρείται η ηλιακή ενέργεια. Η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια επιτυγχάνεται με τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται η αρχή λειτουργίας και η τεχνολογία αυτών των συστημάτων, καθώς επίσης, και η βιωσιμότητα μιας τέτοιας εγκατάστασης στα κτίρια του Ξενία. Εξετάζονται οι οικονομικές και οι ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων, τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από μια τέτοια εγκατάσταση, αλλά και το υψηλό κόστος των συστημάτων αυτών συγκριτικά πάντα με τα συμβατικά καύσιμα.

ABSTRACT

Techno-Economical study of solar energy systems on Xenia's Buildings

Aikaterini Polychroniadou

One of the most important Renewable Energy Source is considered the solar energy. Her transformation in electrical energy is achieved by the photovoltaic systems. In the present work are examined the authority of operation and the technology of those systems, as well as, the viability of such installation in Xenia's buildings. There are also examined the economic and energy requirements of the buildings, the environmental benefits that follow such an installation, but also the high cost of those systems always in comparison with the conventional fuels.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1 ^ο ΜΕΡΟΣ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	3
1. ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	3
1.1. Διαφορές μεταξύ συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	6
1.2 Η ηλιακή ενέργεια.....	6
1.2.1 Τα ηλιακά θερμικά συστήματα.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	11
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.....	11
2.2 Ιστορία του φωτοβολταϊκού φαινομένου.....	12
2.3 Τεχνολογία φωτοβολταϊκού κυττάρου.....	13
2.3.1 Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών κυττάρων.....	14
2.3.2 Φωτοβολταϊκές γεννήτριες κρυσταλλικού πυριτίου και λεπτών μεμβρανών.....	15
2.3.3 Φωτοβολταϊκά πολλαπλών στρωμάτων.....	17
2.3.4 Οι βασικοί τύποι ηλιακών κυττάρων.....	17
2.3.5 Συνδυασμοί φωτοβολταϊκών κυττάρων.....	20
2.3.6 Βαθμός αυτονομίας φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	20
2.3.7 Βασική λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος.....	23
2.3.7.1 Συσσωρευτές ενέργειας (μπαταρίες).....	24
2.3.7.2 Εναλλάκτες (μετατροπείς) συνεχούς εναλλασσόμενο ρεύματος.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	27
3. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ - ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	27
3.2 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στις στέγες.....	27
3.2.1 Ανταγωνιστικές τεχνολογίες Φ/Β οροφής.....	28
3.2.2 Προσανατολισμός του συλλέκτη.....	30
3.3 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	31
3.3.1 Εκτίμηση ισχύς εξόδου.....	32
3.4 Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	32
3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός Φ/Β συστήματος.....	33
3.6 Η αγορά φωτοβολταϊκών.....	34
3.7 Βασικά χαρακτηριστικά Φ/Β υπομονάδων.....	34

3.7.1 Κόστος Φ/Β συστημάτων.....	35
3.9 Η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην απόδοση των Φ/Β συσκευών.....	36
3.10 Η επίδραση των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον.....	37
3.11 Ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα.....	38
3.12 Περιβαλλοντικά οφέλη.....	39
3.13 Εφαρμογές στην Ελλάδα.....	39
3.14 Εταιρίες παροχής Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα.....	40
3.15 Τι κάνει τα φωτοβολταϊκά συστήματα να ξεχωρίζουν!.....	42
2 ^ο ΜΕΡΟΣ.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	43
4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	43
4.1 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Μυτιλήνης (σε οριζόντιο επίπεδο).....	43
4.2 Η μέση ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο.....	44
4.3 Γωνίες κεκλιμένων επιφανειών και το αζιμούθιο τους.....	46
4.4 Υπολογισμός του ηλιακού δυναμικού στα κτίρια του λόφου.....	47
4.4.1 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο Ξενία.....	48
4.4.2 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο της Γεωγραφίας.....	48
4.4.3 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο της Κεντρικής Διοίκησης.....	49
4.4.4 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο της Φοιτητικής Λέσχης.....	49
4.4.5 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο Επιστήμη της Θάλασσας.....	50
4.5 Η πραγματική απόδοση των Φ/Β διατάξεων.....	51
4.6 Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις των κτιρίων.....	52
4.7 Σύγκριση μεταξύ παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας.....	54
4.8 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών εξαρτημάτων.....	54
4.8.1 Κόστος φωτοβολταϊκού συστήματος.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	57
5. ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ.....	57
5.1 Σύγκριση κόστους συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	57
5.2 Περιβαλλοντικά οφέλη φωτοβολταϊκής διάταξης.....	57
5.3 Εξοικονόμηση ενέργειας.....	58
5.4 Προτάσεις.....	59
5.5 Συμπεράσματα.....	59

Βιβλιογραφία.....	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	63

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<u>ΠΙΝΑΚΑΣ</u>	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
Πίνακας 2.3.1 Απόδοση μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό.....	15
Πίνακας 2.3.2: Συγκριτικά στοιχεία ανάμεσα στις Φ/Β γεννήτριες κρυσταλλικού πυριτίου και Λεπτών μεμβρανών.....	16
Πίνακας 4.1 Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Πηγή: κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (μονάδες μέτρησης σε kWh/m ²).....	43
Πίνακας 4.2 Μηνιαίες τιμές του K_t , του τ και του λόγου H_d/H	45
Πίνακας 4.2.2 Αποτελέσματα ηλιακής απόκλισης δ για κάθε μήνα του έτους.....	46
Πίνακας 4.3 Κλίσεις κεκλιμένων επιφανειών και το αζιμούθιο.....	47
Πίνακας 4.4.1 Ηλιακό δυναμικό επιφάνειας Ξενία.....	48
Πίνακας 4.4.2 Ηλιακό δυναμικό κτιρίου Γεωγραφίας.....	49
Πίνακας 4.4.3 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο της Κεντρικής Διοίκησης.....	49
Πίνακας 4.4.4 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο της Φοιτητικής Λέσχης.....	50
Πίνακας 4.4.4 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο Επιστημών της Θάλασσας.....	50
Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια του Ξενία με απόδοση Φ/Β συστήματος 15%.....	51
Πίνακας 4.6 Καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια του πανεπιστημίου ανά μήνα.....	53
Πίνακας 4.8.1 Αριθμός και κόστος πλαισίων και εναλλακτών ενέργειας ανά κτίριο.....	55

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

<u>ΓΡΑΦΗΜΑ/ΕΙΚΟΝΑ</u>	<u>ΣΕΛΙΔΑ</u>
Εικόνα 1. Ένταση της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα (σε KWh/m ²).....	8
Εικόνα 2. Λειτουργία φωτοβολταϊκού κυττάρου.....	14
Διάγραμμα 1. Μέση απόδοση Φ/Β, Απόδοση παραγωγής, Τεχνολογία-κόστος (Πηγή: Τεχνική επιθεώρηση, τεύχος 112 2001).....	15
Εικόνα 3. Μονό-κρυσταλλική υπομονάδα 140Watt.....	18
Εικόνα 4. Πολύ-κρυσταλλική ηλιακή υπομονάδα των 9Watt, Shell.....	19
Εικόνα 5. Ηλιακή υπομονάδα λεπτής μεμβράνης.....	19
Εικόνα 6. Φωτοβολταϊκά κύτταρα, υπομονάδες, πλαίσια και διατάξεις.....	20
Διάγραμμα 2. Αυτόνομο φωτοβολταϊκό συστήματος με μπαταρία αποθήκευσης ενέργειας συνεχούς και εναλλακτικού φορτίου.....	21
Διάγραμμα 3. Συνδεδεμένου ηλεκτρικού δικτύου (ισχύος) φωτοβολταϊκού συστήματος...	22
Διάγραμμα 4. Υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος.....	23
Εικόνα 7. Συνθέσεις μεγάλου φωτοβολταϊκού συστήματος.....	24
Εικόνα 8 Χαρακτηριστική ηλιακή μπαταρία 12V, 33AH.....	25
Εικόνα 9 Εναλλάκτης ηλεκτρικής ενέργειας από συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση 2500Watts.....	26
Εικόνα 10.Φ/Β σύστημα εγκατεστημένο ως μετασκευή αφήνοντας τα ήδη υπάρχον κεραμίδια στη θέση τους.....	29
Εικόνα 11.Εγκατάσταση Φ/Β πλαισίου βασισμένη στο σύστημα της εικόνας 8 που απεικονίζει το Φ/Β σύστημα.....	29
Εικόνα 12. Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών υπομονάδων σε επίπεδη οροφή.....	30
Διάγραμμα 4.1 Η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ανά μήνα.....	44
Διάγραμμα 4.5 Παραγόμενη ενέργεια Φ/Β συστήματος ανά μήνα.....	52
Διάγραμμα 4.6 Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα.....	53
Διάγραμμα 4.7 Η διαφορά της καταναλισκόμενης ενέργειας των κτιρίων με την παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β πλαίσια.....	54

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξάντληση των συμβατικών καυσίμων στις μέρες μας λόγω της απερίσκεπτης χρήσης τους, έχει κάνει επιτακτική την εύρεση νέων μορφών ενέργειας. Οι επιστήμονες έχουν στραφεί προς την αξιοποίηση όλο και περισσότερων Ανανεώσιμων Μορφών Ενέργειας. Στην εργασία αυτή, αναφερόμαστε σε μία από τις πολύ σημαντικές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, στην ηλιακή ενέργεια, καθώς και στους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με την βοήθεια των φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία έχουν ουσιαστικά την δυνατότητα να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Η τεχνολογία αυτών των συστημάτων θα αναλυθεί στην παρούσα εργασία, καθώς επίσης, και η δυνατότητα εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος στα κτίρια του Πανεπιστημίου Αιγαίου στην περιοχή του Ξενία στην Μυτιλήνη.

Αναλυτικότερα, η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη, με το πρώτο μέρος να περιλαμβάνει την βιβλιογραφική έρευνα που αφορά τα φωτοβολταϊκά συστήματα, και το δεύτερο μέρος να παρουσιάζει τη μελέτη εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Το πρώτο μέρος της εργασίας αποτελείται από τρία κεφάλαια. Στο **1^ο Κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή στις Α.Π.Ε, με μεγαλύτερη ανάλυση της ηλιακής ενέργειας και των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από την χρήση της. Στη συνέχεια, στο **2^ο Κεφάλαιο** γίνεται μια αναφορά στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, και πιο συγκεκριμένα, στην αρχή λειτουργίας των Φ/Β συστημάτων, στα υλικά κατασκευής τους, στις αποδόσεις αυτών των υλικών, στους διάφορους τύπους των ηλιακών πλαισίων, καθώς επίσης, και στον βαθμό αυτονομίας που μπορεί να έχει το κάθε Φ/Β σύστημα.

Πολύ σημαντικό, πέρα από την αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών συστημάτων και των υλικών κατασκευής τους, είναι και η διάταξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων στον εξωτερικό χώρο, δηλαδή η εγκατάστασή τους επάνω στις σκεπές των κτιρίων, καθώς και ο προσανατολισμός τους. Η κατάλληλη τοποθέτησή τους, όπως θα δούμε και στην εργασία αυτή, έχει άμεση σχέση με την απόδοσή τους, για το λόγο αυτό τα στοιχεία που αναφέρονται στον τρόπο τοποθέτησης των πλαισίων είναι πολύ σημαντικό να διερευνηθούν. Τα στοιχεία αυτά, λοιπόν, δίνονται στο **3^ο κεφάλαιο**, όπως επίσης και πληροφορίες που αφορούν τις απώλειες των Φ/Β συστημάτων, την αγορά τους, το κόστος τους, τα προγράμματα επιδοτήσεών τους και τις εφαρμογές τους στην Ελλάδα.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, στο **4^ο Κεφάλαιο** διεξάγεται μια οικονομοτεχνική μελέτη εγκατάστασης των Φ/Β γεννητριών στα κτίρια του Πανεπιστημίου και πιο συγκεκριμένα στα κτίρια: του Ξενία, της Γεωγραφίας, της Επιστήμης της Θάλασσας, της Φοιτητικής Λέσχης και στο κτίριο της Κεντρικής Διοίκησης. Γίνονται οι υπολογισμοί για το ηλιακό δυναμικό της περιοχής, όπου θα εγκατασταθούν τα Φ/Β πλαίσια, αναφέρονται οι

ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων, καθώς επίσης, και οι οικονομικές απαιτήσεις της εγκατάστασης.

Στο **5^ο Κεφάλαιο**, που αποτελεί και το τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας, γίνεται μια συγκριτική τεχνικοοικονομική ανάλυση μεταξύ των ανανεώσιμων και των συμβατικών καυσίμων. Αναφέρονται τα περιβαλλοντικά οφέλη ως αποτέλεσμα αυτής της εγκατάστασης, τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας, προτάσεις που αφορούν την αποτελεσματικότερη λειτουργία της εγκατάστασης, αλλά και τα συμπεράσματα που τελικά προκύπτουν από αυτή τη μελέτη.

Η δυνατότητα εγκατάστασης Φ/Β συστημάτων στις οροφές αυτών των κτιρίων είναι εφικτή, όχι μόνο στις επίπεδες επιφάνειες που διαθέτουν, αλλά και στις κεκλιμένες επιφάνειές τους που είναι σημαντικά εκτάσιμες. Πρέπει να επισημάνουμε, ότι πρόκειται για μια θεωρητική μελέτη εγκατάστασης, μιας και σε κάποιες επιφάνειες των κτιρίων υπάρχουν ήδη κάποιες άλλες εγκαταστάσεις (αεραγωγοί, μετεωρολογικός σταθμός κτλ.), που περιορίζουν την υψηλή απαίτηση επιφάνειας των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Μελλοντικά, βέβαια, ίσως η εγκατάστασή αυτή να μπορέσει να υλοποιηθεί, με σκοπό πάντα την βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιράς της Μυτιλήνης, από τη συνεχή ρύπανσή της εξαιτίας του υποσταθμού ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ.

1^ο ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το πρόβλημα, που στις μέρες μας ονομάζουμε <<Ενεργειακή κρίση>>, έχει πολλές πτυχές. Πρώτα από όλα είναι πρόβλημα ενεργειακό, έχει να κάνει με την αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας και με τον κίνδυνο να εξαντληθούν στις επόμενες δεκαετίες τα ενεργειακά διαθέσιμα της γης, με άμεση συνέπεια να διαταραχθεί επικίνδυνα η ισορροπία στο οικοσύστημα. Επίσης είναι πρόβλημα πολιτιστικό, αφού συνδέεται με την ικανοποίηση ενός διψασμένου για ενέργεια πολιτισμού, όπως είναι ο σημερινός πολιτισμός. Είναι όμως και πρόβλημα κοινωνικό, γιατί οι ανάγκες σε ενέργεια είναι άνισα κατανεμημένες στον πλανήτη.

Οι επιστήμονες έχουν επισημάνει το πρόβλημα προ πολλού και έχουν στραφεί στην αναζήτηση άλλων μορφών ενέργειας πέρα από τις συμβατικές μορφές που δεν είναι άλλες από το πετρέλαιο, τους γαιάνθρακες, το φυσικό αέριο και την πυρηνική ενέργεια. Η ανθρωπότητα έχει εναποθέσει τις ελπίδες της στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμία, η βιομάζα και η κυματική.

Τα συμβατικά καύσιμα, όπως το πετρέλαιο και το κάρβουνο εξαντλούνται, η ανάγκη για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) γίνεται όλο και πιο επιτακτική. Η υποστήριξη αυτής της ανάγκης γίνεται όλο και μεγαλύτερη καθώς η τεχνολογία των Α.Π.Ε., εκτός του ότι είναι ευεργετική, είναι και οικονομικά εφικτή. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ανεξάντλητες και χαμηλής ή μηδενικής οικονομικής αξίας πριν μετατραπούν σε χρήσιμες μορφές (ενέργειας). Ενώ το κόστος τους περιορίζεται μόνο από τη συσκευή που είναι απαραίτητη για τη συλλογή ενέργειας, όπως για παράδειγμα η κατασκευή δικτύου για τη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας (Christopher Koroneos et al, 28 2003).

Η προέλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η σημαντικότητά τους για την κάλυψη των υψηλών ανθρωπίνων αναγκών σε ενέργεια περιγράφεται παρακάτω :

❖ Αιολική ενέργεια

Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο, προκαλεί την κίνηση του ανέμου. Περίπου το 2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη γη, μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια, η οποία υπολογίζεται σε 3,6 δις. MW, ενέργεια τεράστια συγκρινόμενη με τις ανάγκες της ανθρωπότητας. Σήμερα έχουν κατασκευαστεί σύγχρονες ανεμογεννήτριες με προηγμένη τεχνολογία, που παράγουν ηλεκτρισμό λειτουργώντας είτε αυτόνομα είτε συνδεδεμένες με ένα ευρύτερο δίκτυο. Η αιολική ενέργεια που είναι μια από τις πιο ελκυστικές μορφές ενέργειας, αναμένεται να αναπτυχθεί ακόμα περισσότερο με την κατασκευή νέων ανεμογεννητριών, που θα μειώσουν το κόστος και θα κάνουν την αιολική

ενέργεια ανταγωνιστική σε ακόμα περισσότερα μέρη.(Δίας Χαραλαμπόπουλος et al. 2001 σελ. 47).

❖ Υδροηλεκτρική ενέργεια

Το νερό που τρέχει στα ποτάμια και τα ρυάκια προς τη θάλασσα, έχει κινητική ενέργεια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει έργο. Για χιλιάδες χρόνια, το χρησιμοποιούσαν για να γυρίζουν νερόμυλους που άλεθαν σιτάρι. Σήμερα το χρησιμοποιούμε για να παράγουμε ηλεκτρισμό. Για την καλύτερη εκμετάλλευση της ενέργειας του νερού χτίζονται φράγματα, που δημιουργούν τεχνικές λίμνες και στις οποίες το νερό ανέρχεται σε μεγάλο ύψος, αποκτώντας με τον τρόπο αυτό δυναμική ενέργεια. Στη συνέχεια το νερό οδηγείται μέσα από αγωγούς και, αφού αποκτήσει μεγάλη κινητική ενέργεια με την πτώση από το μεγάλο ύψος, προσπίπτει στα περύγια υδροστροβίλων, που αναγκάζονται να περιστραφούν. Με την περιστροφή αυτή, στρέφονται οι γεννήτριες που είναι συνδεδεμένες στον ίδιο άξονα και παράγεται έτσι ηλεκτρικό ρεύμα. Οι πολύ υψηλοί βαθμοί απόδοσης των υδροστροβίλων, που μερικές φορές υπερβαίνουν και το 90%, και οι πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των μικροϋδροηλεκτρικών έργων, που μπορεί να υπερβαίνει και τα 100 έτη, αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες ενεργειακής αποτελεσματικότητας και τεχνολογικής ωριμότητας των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά υδροηλεκτρικά εργοστάσια, που παράγουν το 10% περίπου της ενέργειας που καταναλίσκεται στη χώρα.(Δίας Χαραλαμπόπουλος et al. 2001 σελ.61)

❖ Η Γεωθερμία

Η γεωθερμική ενέργεια, είναι η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Η θερμότητα αυτή της γης προέρχεται από δύο πηγές : από την θερμότητα του αρχικού σχηματισμού της γης και από τη ραδιενεργό διάσπαση ασταθών στοιχείων που υπάρχουν στον φλοιό, όπως το ουράνιο, θόριο και πλουτόνιο. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το νερό για ιαματικούς σκοπούς ή για τη θέρμανση διάφορων εφαρμογών, όπως σπίτια, θερμοκήπια, πισίνες κλπ. Η πιο σημαντική ίσως εφαρμογή της γεωθερμίας είναι όμως για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Στην Ελλάδα, η γεωθερμία χρησιμοποιείται για ιαματικούς σκοπούς και για τη θέρμανση θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Λέσβος, Θράκη κ.α). Το ζεστό νερό της γεωθερμίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ψύξη κτιρίων (Δίας Χαραλαμπόπουλος et al. 2001 σελ.56).

❖ Η βιομάζα

Η θέρμανση με ξύλα στο τζάκι, είναι ένα παράδειγμα χρησιμοποίησης της βιομάζας ως ενεργειακής πηγής, Σήμερα περίπου το 50% της γης μαγειρεύει με βιομάζα. Ως βιομάζα, θεωρείται γενικά η οργανική ύλη που μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια. Εκτός από τα ξύλα, στη βιομάζα συγκαταλέγονται τα αγροτικά υπολείμματα (κλαδιά δέντρων, υπολείμματα ξυλείας, υπολείμματα σιτηρών, το πυρηνόξυλο της ελιάς, κλπ) και τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά για την παραγωγή ενέργειας. Επίσης, είναι δυνατόν να παράγουμε

χρήσιμα καύσιμα (βιοαέριο), από την μετατροπή των στερεών αποβλήτων, των αποβλήτων των ζώων και από τα υγρά απόβλητα. Η βιομάζα αποτελείται κυρίως από ενώσεις, που βασικά στοιχεία έχουν τον άνθρακα και το υδρογόνο. Στη χώρα μας, 10εκατ. στρέμματα γης, έχουν ήδη ή προβλέπεται να περιθωριοποιηθούν και να εγκαταλειφθούν. Εάν η έκταση αυτή αξιοποιηθεί για την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών, η καθαρή ωφέλεια σε ενέργεια που μπορεί να αναμένεται, είναι περίπου στο 50-60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου (Δίας Χαραλαμπίδης et al. 2001 σελ.52).

❖ Η κυματική ενέργεια

Οι ωκεανοί καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, και μπορεί να αποτελέσουν μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Η ενέργεια αυτή έχει τη μορφή κινητικής ενέργειας που λαμβάνεται από τα κύματα, τις παλίρροιας, τα θαλάσσια ρεύματα, καθώς και τη μορφή θερμικής ενέργειας, που λαμβάνεται από τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ωκεανών.

➤ Ενέργεια από κύματα : Η ενέργεια που περικλείουν τα κύματα, η οποία ακόμα αποτελεί αντικείμενο έρευνας και πειραματισμού για τον ικανοποιητικό τρόπο αξιοποίησης της, αποτελεί μια άλλη μορφή ενέργειας, που έμμεσα οφείλεται στον ήλιο. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος και το μήκος ενός κύματος, τόσο μεγαλύτερα ποσά ενέργειας μεταφέρει.

➤ Ενέργεια από την παλίρροια : Η παλίρροια, δηλαδή το να αποσύρεται η θάλασσα (άμπωτη) και μετά από ορισμένες ώρες, να επιστρέφει (πλημμυρίδα), αποτελεί μορφή έμμεσης ηλιακής ενέργειας. Οι παλίρροιας, οφείλονται σε δυνάμεις που δημιουργούνται στις υδάτινες μάζες από το πεδίο βαρύτητας, καθώς και από την περιστροφή της γης. Διαρκούν για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και έχουν συγκεκριμένη κατεύθυνση. Σήμερα, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας και περιβαλλοντικούς, το ενδιαφέρον γι' αυτή τη μορφή ενέργειας είναι έντονο. Το κόστος των εγκαταστάσεων παλιρροϊκής ενέργειας είναι πολύ μεγάλο. Εντούτοις, μακροπρόθεσμα θεωρείται μια ενδιαφέρουσα επένδυση επειδή οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, όπως επίσης και το γεγονός ότι δεν υπάρχει κόστος καυσίμου και δεν δημιουργούνται καυσαέρια.

➤ Θερμική ενέργεια από τους ωκεανούς : Εκεί όπου υπάρχουν θαλάσσια ρεύματα από τους πόλους προς τον ισημερινό, και όπου ο ήλιος, μεταφέροντας μεγάλα ποσά θερμότητας, θερμαίνει το νερό στην επιφάνεια της θάλασσας μέχρι και 25°C. (Στις τροπικές περιοχές, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ επιφάνειας και βόθρου 600 μέτρων, μπορεί να φθάσει τους 20°C. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας μπορεί να γίνει μια εκμεταλλεύσιμη πηγή ενέργειας σε ορισμένες περιοχές του κόσμου).

➤ Ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα : Αυτά αποτελούν ένα τεράστιο ενεργειακό δυναμικό, το οποίο όμως για να αξιοποιηθεί, απαιτεί εξελιγμένη τεχνολογία, έρευνα και μελέτη. Προς το παρόν έχουν εκπονηθεί πειραματικά σχέδια για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας, με την αγκυροβόληση γιγαντιαίων, χαμηλής ταχύτητας τουρμπίνων, σε διάφορες περιοχές των

Η.Π.Α. αξιοποιώντας το θαλάσσιο ρεύμα του Γκολφ-Στρημ (Δίας Χαραλαμπίδης et al. 2001 σελ.64-66).

1.1. Διαφορές μεταξύ συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα στη χρήση των ανανεώσιμων συστημάτων ενέργειας είναι ότι είναι περιβαλλοντικά φιλικά, από τη στιγμή που εκπέμπουν πολύ λίγους επικίνδυνους ρύπους. Από την άλλη πλευρά, το κύριο μειονέκτημά τους είναι η ανικανότητά τους να εκμεταλλευτούν το μεγάλο μέρος της διαθέσιμης ενέργειας. Αυτό όμως ισορροπείται από το γεγονός ότι οι Α.Π.Ε. είναι ανεξάντλητες. Όσον αφορά την Ελλάδα, είναι μία χώρα που έχει ηλιοφάνεια τον περισσότερο χρόνο. Επιπλέον, τα νησιά της, όπως και οι ακτές της, υποστηρίζουν την εγκατάσταση ανεμογεννητριών λόγω της υψηλής έντασης του ανέμου σε αυτές τις περιοχές. Τέλος, υπάρχουν και μερικές γεωθερμικές πηγές, που δυστυχώς ακόμα μένουν ανεκμετάλλευτες. Χρησιμοποιώντας αυτές τις πηγές ενέργειας, η Ελλάδα θα μπορέσει να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών της, κάνοντας την εξάρτησή της από τα συμβατικά καύσιμα σημαντικά μικρότερη. (Christopher Koroneos et al 28 2003).

1.2 Η ηλιακή ενέργεια

Είναι ευρέως γνωστό ότι η μεγαλύτερή μας πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος. Ο ήλιος είναι μία τεράστια και σχεδόν διαρκής πυρηνική αντίδραση που μεταφέρει τεράστια ποσά ενέργειας (περίπου $2.1 \cdot 10^{15}$ kWh per day) στη γη σε μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, είναι ενέργεια που περιλαμβάνει ακτίνες Χ, ακτίνες γάμμα, φως και χαμηλής συχνότητας ραδιοκύματα. Μετατρέπεται από άλλες μορφές και πηγές ενέργειας, είτε φυσικά, όπως από τις πυρηνικές αντιδράσεις του ήλιου, ή μέσω ανθρώπινων συσκευών όπως από τη λάμπα και από πηγές θέρμανσης, από μεταβιβαστές και από πυρηνικούς αντιδραστήρες. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συγκροτείται από ηλεκτρικά και κάθετα μαγνητικά κύματα. Αυτά τα ενεργητικά κύματα έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε πάρα πολύ μεγάλες αποστάσεις. (Mark. E. Hazen 1996 Page 41).

Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας είναι παντού σταθερή, δεν συμβαίνει το ίδιο με αυτή που φτάνει στο έδαφος, η ισχύς της οποίας σπάνια ξεπερνά τα 1000Watt ανά τετραγωνικό μέτρο. Αυτή εξαρτάται από την εποχή του έτους, την ώρα της ημέρας, την παρουσία νεφών, ομίχλης και σκόνης, ενώ εξασθενεί τόσο περισσότερη είναι η γωνία πρόσπτωσης της στην επιφάνεια του εδάφους και, συνεπώς, μεγαλύτερη η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Ο τελευταίος αυτός παράγοντας είναι και ο σημαντικότερος για τη διαμόρφωση της μέσης έντασης της ηλιακής ενέργειας που

φτάνει στο έδαφος. Γι' αυτό, άλλωστε, το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο μιας περιοχής παίζουν τόσο σπουδαίο ρόλο στη διαμόρφωση του καιρού σ' αυτήν, καθώς επίσης και των εποχών στα δύο ημισφαίρια της γης. Όσο πιο κοντά στον ισημερινό βρίσκεται αυτή, τόσο μικραίνει η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας και αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης έως τις 90°, με αποτέλεσμα οι συνέπειες της να γίνονται πιο έντονες (Κ.Α.Π.Ε.).

Από αυτή την άποψη, η Ελλάδα είναι μία από τις πλέον ευνοημένες περιοχές του πλανήτη μας. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού πλάτους και της υψηλής ηλιοφάνειας έχει ως αποτέλεσμα να προσπίπτουν ημερησίως, κατά μέσο όρο, 4,3kWh ηλιακής ενέργειας σε κάθε τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειάς της (εικόνα 1) . Στο μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας, η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της, κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι δυνατή, σε όλη την ελληνική επικράτεια, η οικονομική επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για θερμικές χρήσεις, όπως είναι η ευρεία διάδοση των ηλιακών θερμικών συστημάτων, γνώριμοι ως ηλιακοί θερμοσίφωνες (Κ.Α.Π.Ε.).



Εικόνα 1. Ένταση της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα (σε kWh/m²)

Τα κύρια πλεονεκτήματα χρήσης ηλιακής ενέργειας είναι τα εξής:

- Η ηλιακή ενέργεια εμφανίζεται αρκετά απλή στη δέσμευσή της, και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της,
- εύκολα ζεσταίνει νερό σε νοσοκομεία, στρατώνες, θερμοκήπια κτλ,
- είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή η αξιοποίησή της,
- η χρήση της, εξοικονομεί συμβατικά καύσιμα,
- παρέχει ικανοποιητική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας,
- αποφεύγεται η εκπομπή περισσότερων από 1,5 εκατ. τόνων CO₂ στη γη, από τη χρήση της, σήμερα και
- έχει τεράστιο οικονομικό όφελος για την εθνική οικονομία. (Δίας Χαραλαμπίδης et al 2001 σελ.44).

1.2.1 Τα ηλιακά θερμικά συστήματα

Τα ηλιακά θερμικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν στα παθητικά ηλιακά συστήματα και στα ενεργητικά ηλιακά συστήματα:

- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται στη δομή των κτηρίων (στους τοίχους, στα παράθυρα, στα πατώματα κ.τ.λ.) για να συλλέγουν, να αποθηκεύουν και να διανέμουν την ηλιακή ακτινοβολία και
- Τα ενεργειακά ηλιακά συστήματα περιλαμβάνουν τις επιπλέον συσκευές των κτιρίων που έχουν ως στόχο τη συλλογή, αποθήκευση, και διανομή θέρμανσης, ή ακόμα και την παροχή βοηθητικής ενέργειας σε αντλίες, έλικες κ.τ.λ.

Όταν τα κτίρια θερμαίνονται κατά το μεγαλύτερο μέρος από την ακτινοβολία, η τεχνολογία των παθητικών συστημάτων μπορούν να αυξήσουν την συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας στις ανάγκες θέρμανσης, ελαττώνοντας την κατανάλωση καυσίμου για τη θέρμανση του χώρου. Μερικά, χαρακτηριστικά παθητικών ηλιακών συστημάτων προσθέτουν λίγο ή και καθόλου στο κόστος κατασκευής του κτιρίου και μπορούν να επιτύχουν αποτελεσματική απόσβεση κόστους σε μικρή ή σε σχετικά μικρή χρονική περίοδο (www.lior-int.com).

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, αλλά και για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Για να επιτευχθούν οι μεγάλες σχετικά θερμοκρασίες που απαιτούνται για το σκοπό αυτό, η ηλιακή ακτινοβολία πρέπει με κάποιο τρόπο να συγκεντρωθεί σε ένα σημείο της συλλεκτικής επιφάνειας ή σε κάποια σχετικά μικρής έκτασης περιοχής της. (Κ.Α.Π.Ε.).

Οι εφαρμογές στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι πολλές. Το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών ενός χρήστη σε ζεστό νερό μπορεί να καλυφθεί από τέτοια συστήματα, σε συνδυασμό με κάποιο συμβατικό σύστημα για τις ανάγκες αιχμής ή τις περιόδους περιορισμένης ηλιοφάνειας. Σε χώρες όπως η Ελλάδα, η περίοδος απόσβεσης είναι αρκετά μικρή, ώστε η επένδυση να γίνεται ελκυστική. Παρά το κόστος αγοράς και εγκατάστασης ενός ηλιακού συστήματος είναι μεγαλύτερο από αυτό ενός ανάλογου συστήματος που χρησιμοποιεί συμβατικά καύσιμα, το κόστος λειτουργίας του είναι σχεδόν μηδενικό. Με τις σύγχρονες εξελίξεις της τεχνολογίας και τη μαζική παραγωγή των συστημάτων αυτών, η απόδοση τους συνεχώς βελτιώνεται και το κόστος τους περιορίζεται. Επιπλέον, καθ' όλη τη διάρκεια της υπηρεσιακής τους ζωής, μπορεί να εξοικονομηθεί σημαντική ποσότητα συμβατικών καυσίμων και, συγχρόνως, να αποτραπεί η εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Επιπροσθέτως, η κατασκευή ενεργητικών ηλιακών συστημάτων δημιουργεί σημαντικό αριθμό θέσεων εργασίας, καθώς,

μάλιστα, το μεγαλύτερο μέρος των συστημάτων που εγκαθίστανται στην Ελλάδα είναι εγχώριας προέλευσης. Σε μια εποχή, λοιπόν, που τα περιβαλλοντικά προβλήματα εντείνονται και οι συμβατικές πηγές ενέργειας έχουν αρχίσει να εξαντλούνται, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες εναλλακτικής δράσης. (Κ.Α.Π.Ε.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Γενικά, ο όρος ηλιακή ενέργεια περιλαμβάνει όλη την ενέργεια που φτάνει στη γη από τον ήλιο. Η ηλιακή ενέργεια χωρίζεται σε δύο τύπους χρήσης, την ηλιακή θέρμανση και το ηλιακό ρεύμα. Η σημαντικότερη χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι ο ηλιακός ηλεκτρισμός. Αυτός ο ηλεκτρισμός παράγεται απευθείας από το ηλιακό φως με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων*. Η λέξη ‘φωτοβολταϊκά’ αναφέρεται σε μια ηλεκτρική τάση που προκαλείται από το φως. Τα ηλιακά κύτταρα κατ’ αρχάς αναπτύχθηκαν για να δίνουν ισχύ στους δορυφόρους για τα προγράμματα του διαστήματος κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 50⁷. Τώρα χρησιμοποιούνται στη γη και κατασκευάζονται από διάφορες εταιρίες σε όλο τον κόσμο. Τα περισσότερα ηλιακά κύτταρα φτιάχνονται από ένα είδος πυριτίου. Καθώς το ηλιακό φως εκπέμπεται στην επιφάνεια του πυριτίου, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από μια διαδικασία που είναι γνωστή ως *φωτοβολταϊκό φαινόμενο*. Μεμονωμένα τα ηλιακά κύτταρα μπορούν να συγκριθούν με μπαταρίες που χρησιμοποιούνται στα ράδιο και σε άλλες μικροσυσκευές σε αυτές μόνο που παράγουν χαμηλή τάση συνεχούς ρεύματος. Κάθε ηλιακό κύτταρο πυριτίου παράγει περίπου 0.5-0.6V. Έτσι όπως χρειάζονται όμως αρκετές μπαταρίες τα ράδιο και τα κασετόφωνα για να αυξήσουν την τάση τους, έτσι και τα ηλιακά κύτταρα συνδέονται μεταξύ τους (σε συστοιχίες) για να παράγουν υψηλότερη τάση που είναι περισσότερο χρήσιμη. Συνδεδεμένα κατά αυτόν τον τρόπο, πολύ συχνά ονομάζονται *ηλιακά πλαίσια* αλλά τα ονόματα που χρησιμοποιούνται από τους προμηθευτές είναι συνήθως *υπομονάδες ηλιακού κυττάρου*, *φωτοβολταϊκές υπομονάδες*, ή Φ/Β υπομονάδες (Simon Roberts 1991 page 3-4).

Μόνα τους τα Φ/Β κύτταρα ή αλλιώς “ηλιακά κύτταρα” ενώνονται ηλεκτρικά για να σχηματίσουν Φ/Β υπομονάδες, που είναι οι οικοδομικοί λίθοι των Φ/Β συστημάτων. Η υπομονάδα είναι η μικρότερη Φ/Β υπομονάδα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει σημαντικό ποσό Φ/Β ενέργειας και κατασκευάστηκε με διαφορετικές ηλεκτρικές αποδόσεις που κυμαίνονται από μερικά watts ως και περισσότερα από 100 watts συνεχούς ρεύματος (DC). Οι υπομονάδες μπορούν να συνδέονται σε Φ/Β διατάξεις για να τροφοδοτούν μία ευρεία ποικιλία ηλεκτρικού εξοπλισμού. Δύο βασικοί τύποι Φ/Β τεχνολογιών που είναι διαθέσιμοι εμπορικά είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο και η λεπτή μεμβράνη. Όσον αφορά την τεχνολογία του κρυσταλλικού πυριτίου, κάθε ένα κύτταρο είναι κομμένο σε μεγάλα μονά κρύσταλλα ή σε ράβδους από κρυσταλλικό πυρίτιο. Στην τεχνολογία των Φ/Β του άμορφου πυριτίου, το υλικό των Φ/Β είναι τοποθετημένο σε γυαλί ή σε λεπτό μέταλλο που μηχανικά υποστηρίζει το κύτταρο ή την υπομονάδα. Επιπροσθέτως,

* Χρησιμοποιούνται επίσης οι συνώνυμοι όροι: ηλιακό στοιχείο, κυψελίδα ή κυψέλη.

στις Φ/Β υπομονάδες, η σύνθεση που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένα Φ/Β σύστημα πρέπει να συμπεριλαμβάνει έναν ελεγκτή της φορτιζόμενης μπαταρίας, μπαταρίες, έναν μετατροπέα συνεχούς-εναλλασσόμενης τάσης ή μονάδα προσαρμογής ηλεκτροπαραγωγής PCU-power conditioning unit (για εναλλακτική-συνεχή φόρτιση), διακόπτες ασφαλείας και ηλεκτρικές ασφάλειες, ηλεκτρικό κύκλωμα εδάφους και ηλεκτρικές συνδέσεις (U.S. Department of Energy).

2.2 Ιστορία του φωτοβολταϊκού φαινομένου

Τα φωτοβολταϊκά ανακαλύφθηκαν από τον Γάλλο φυσικό Alexandre Edmund Becquerel το 1839. Αυτή η ανακάλυψη δεν είχε γίνει πλήρως αντιληπτή μέχρι της αρχές της δεκαετίας του 50', όταν τα αποτελέσματα των Φ/Β χρησιμοποιήθηκαν ως πηγή ενέργειας για διαστημικές εφαρμογές. Στις αρχές της δεκαετίας του 70', υπήρξε μια ραγδαία ανάπτυξη των Φ/Β που οφειλόταν στην χρηματοδότηση για την έρευνα και την ανάπτυξη προγραμμάτων για την μετατροπή ενέργειας ως αποτέλεσμα της κρίσης του πετρελαίου το 1973. Από τότε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 90', ο στόχος ήταν η εξασφάλιση της μέγιστης απόδοσης μετατροπής του φωτός σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η απόδοση των κυττάρων πυριτίου στο εργαστήριο κυμαίνεται περίπου στο 24 τοις εκατό, με μέση παραγωγή υπομονάδων με απόδοση που φτάνει το 17 τοις εκατό. Στις αρχές της δεκαετίας των 90', η σκέψη ενσωμάτωσης Φ/Β διατάξεων στη δομή των κτηρίων και η σύνδεση του συστήματος με το ηλεκτρικό δίκτυο ισχύος εξασφαλίζει μία τεράστια αύξηση για τα αποτελέσματα της τεχνολογίας στα 15-30% χρόνο με το χρόνο μεγαλώνοντας όλο και πιο πολύ την τελευταία δεκαετία. Οι διεθνείς αγορές για το έτος του 2000 ήταν πάνω από 200MWp. Στα επόμενα χρόνια αναμένεται η ικανότητα παραγωγής Φ/Β σε όλον τον κόσμο να αυξηθεί στα 350MWp (A. S. Bahaj 27 2002).

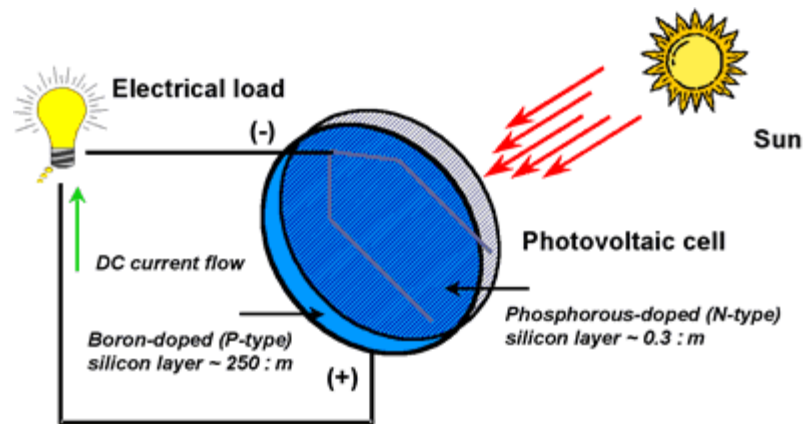
Το κίνητρο για αυτή την επέκταση είναι η αναγνώριση από αρκετές χώρες ότι η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών δεν είναι ελκυστική μόνο για το μεγάλο αντίκτυπο που έχει λόγω παροχής ενέργειας στο μέλλον αλλά επίσης λόγω εξαγωγών αλλά και λόγω απασχόλησης. Αρκετές χώρες, όπως η Γερμανία, η Ιαπωνία και οι Η.Π.Α. έχουν τοποθετηθεί ώστε να έχουν τεχνολογική διεύθυνση θέτοντας σε εφαρμογή εθνικά προγράμματα που προωθούν τη χρήση Φ/Β, τα οποία θα φέρουν αναμφίβολα αποτελέσματα σε μια επέκταση της ικανότητας κατασκευής και στη μείωση του κόστους. Μεγάλες πολυεθνικές πετρελαίου υιοθετούν την ηλιακή ενέργεια ως μία δεσπόζουσα υπόθεση. Όπως προαναφέρθηκε, υπάρχει και μία προοπτική που αφορά τη συνεχή μείωση του κόστους των Φ/Β. Κάποια στιγμή στα επόμενα χρόνια, που προβλέπεται να είναι μέσα στην επόμενη δεκαετία, αυτή η μείωση του κόστους θα κάνει τα Φ/Β που παράγουν ενέργεια ανταγωνιστικά με το συμβατικό ηλεκτρισμό. Η ενέργεια των Φ/Β που παράγεται από την κάλυψη των κτιρίων θα μπορούσε

να χρησιμοποιηθεί για να ικανοποιήσει κτιριακές απαιτήσεις και το πλεόνασμα του να εξαχθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο ισχύος. Το τελευταίο θα προαγγείλει μία νέα γενιά καταναλωτών που θα επιλέξουν το δρόμο την ηλιακής ενέργειας προτιμώντας την από τη συνηθισμένη παροχή με αποτέλεσμα τον περαιτέρω ανταγωνισμό και το άνοιγμα της αγοράς του ηλεκτρισμού (Α. S. Bahaj 27 2002).

2.3 Τεχνολογία φωτοβολταϊκού κυττάρου

Η τεχνολογία των ηλιακών κυττάρων, όπως αναφέραμε, είναι μία διάταξη ηλεκτρικής μετατροπής που είναι ικανή να μετατρέψει την ηλιακή ενέργεια (βομβαρδισμό φωτονίων) σε ηλεκτρική ενέργεια, παράγοντας μια ροή ηλεκτρονίων όταν είναι συνδεδεμένη με συσκευή φόρτισης. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι πολύ εντονότερο στα μέταλλα που είναι αγωγοί, ενώ πραγματοποιείται δυσκολότερα σε υλικά που χαρακτηρίζονται ως μονωτές. Κάτι τέτοιο συμβαίνει γιατί το φράγμα δυναμικού που χωρίζει την ζώνη σθένους από τη ζώνη αγωγιμότητας, είναι πολύ μικρότερο στους αγωγούς από ότι στους μονωτές. Έτσι, τα ηλεκτρόνια των αγωγών απελευθερώνονται με την ελάχιστη ενέργεια, ενώ αυτά των μονωτών απαιτούν τεράστια ποσά ενέργειας. Η ενδιάμεση κατάσταση περιγράφεται από υλικά γνωστά ως ημιαγωγοί, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για την κατασκευή φωτοβολταϊκών κυττάρων (Αργύρης Νομικός 2001).

Το φωτοβολταϊκό ηλιακό κύτταρο, λοιπόν, είναι φτιαγμένο κυρίως από ένα ημιαγωγίμο υλικό που ονομάζεται πυρίτιο(Silicon-Si). Πριν από τη χρήση των ημιαγωγών για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυττάρων, απαραίτητος είναι ο εμποτισμός του, από ξένα σώματα. Ανάλογα με το είδος της πρόσμιξης που θα χρησιμοποιηθεί, ο ημιαγωγός χαρακτηρίζεται είτε ως τύπου n (negative-αρνητικού), είτε ως τύπου p (positive-θετικού). Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του n-τύπου χρησιμοποιείται ο φώσφορος, ενώ ως πρώτη ύλη για την παραγωγή του p-τύπου χρησιμοποιείται το βόριο. Οι ημιαγωγοί τύπου p διαθέτουν περίσσεια θετικών φορτίων ή οπών, ενώ στους ημιαγωγούς τύπου n πλειοψηφούν τα αρνητικά φορτία, δηλαδή τα ηλεκτρόνια. Όταν τα δύο αυτά διαφορετικά στρώματα των ημιαγωγών έρθουν σε επαφή, στο σημείο επαφής δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο, καθώς από τη μια πλευρά υπάρχουν ελεύθερα θετικά φορτία(τύπου p) και από την άλλη ελεύθερα αρνητικά (τύπου n). Συνήθως ο ημιαγωγός που εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία είναι ο p, και έτσι τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται από τον ημιαγωγό τύπου p οδηγούνται στον ημιαγωγό τύπου n, μέσω της επαφής p-n. Αν αυτές οι δύο επιφάνειες των ημιαγωγών συνδεθούν μεταξύ τους μέσω κάποιων ακροδεκτών και παρεμβληθεί ανάμεσά τους μία αντίσταση φορτίου, είναι προφανές ότι τα ηλεκτρόνια που έχουν μαζευτεί στον ημιαγωγό τύπου n θα κινηθούν μέσω των καλωδίων προς τον ημιαγωγό τύπου p, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος (Αργύρης Νομικός 2001).



Εικόνα 2. Λειτουργία φωτοβολταϊκού κυττάρου

2.3.1 Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών κυττάρων

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μπορούν να κατασκευαστούν με πολλούς τρόπους, αλλά και με διάφορα υλικά. Το πιο διαδεδομένο υλικό κατασκευής όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω είναι το πυρίτιο (Silicon), κάτι λογικό, αφού η έρευνα στα ημιαγώγιμα υλικά που απαρτίζουν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα για πολλά χρόνια είχε επικεντρωθεί σε αυτό. Έτσι, κατασκευάζονται φωτοβολταϊκά κύτταρα από μονό-κρυσταλλικό ή πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο, όπως και από άμορφο πυρίτιο. Φωτοβολταϊκά κύτταρα όμως κατασκευάζονται και από συνδυασμούς άλλων υλικών, όπως γαλλίου-Αρσενίου (GaAs), καδμίου-τελλουρίου (CdTe) και χαλκού-ινδίου-δισεληνίου (CuInSe₂ ή CIS). Έτσι, παρέχεται μια μεγάλη γκάμα φωτοβολταϊκών που διαφέρουν τόσο σε κόστος, όσο και σε βαθμό απόδοσης, στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται τα κόστη, οι μέσες αποδόσεις των βασικότερων υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ηλιακών κυττάρων, καθώς και τα κόστη συναρμολόγησης ανά τεχνολογία Φ/Β (Αργύρης Νομικός 413 2001).

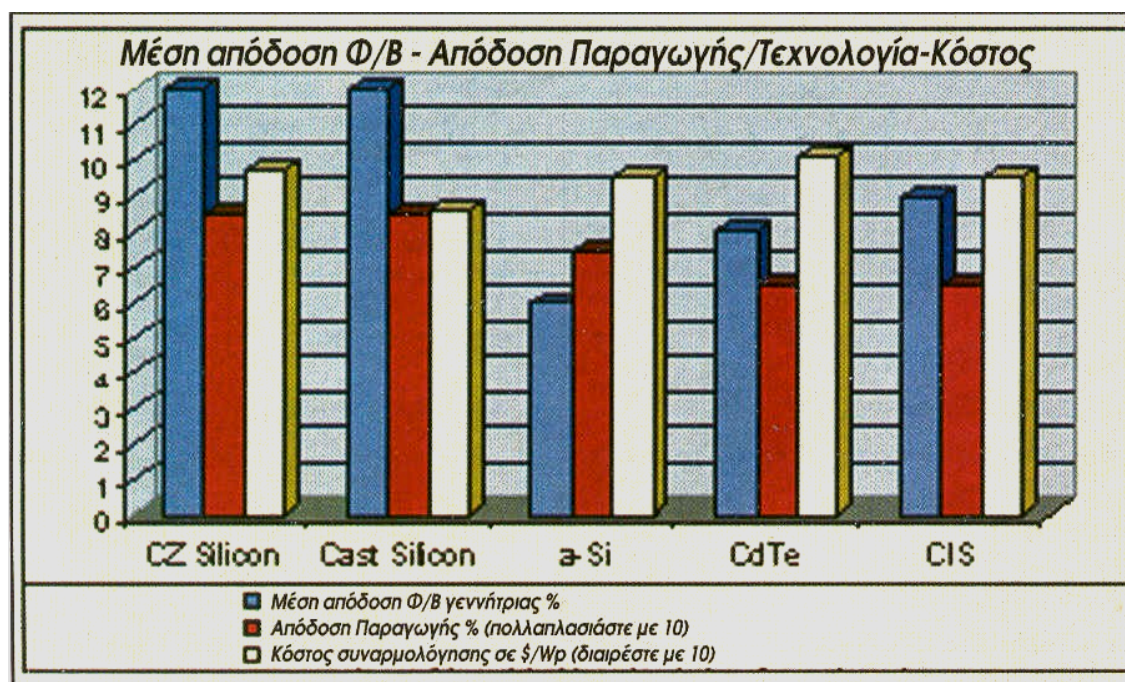
Ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής τους, τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μπορούν να διακριθούν σε δύο διαφορετικές ομάδες. Η πρώτη ομάδα, η οποία χρησιμοποιείται συνήθως σε οικιακές εφαρμογές, χρησιμοποιεί την τεχνολογία thick film και υλοποιεί τα φωτοβολταϊκά από συνδυασμό διακριτών κυττάρων, ενώ η δεύτερη ομάδα χρησιμοποιεί την τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών (thin film) (Αργύρης Νομικός 413 2001).

Η απόδοση της thick film μπορεί να πλησιάσει αυτές που χρησιμοποιούνται στα ηλιακά κελιά που είναι εκατοντάδες ως πολλές εκατοντάδες μικρά σε πάχος. Αυτές οι προσεγγίσεις βασίζονται γενικά στην τεχνολογία του πυριτίου. Η απόδοση της λεπτής Φ/Β μεμβράνης συνήθως πλησιάζει αυτές που χρησιμοποιούν ενεργά ημι-αγώγιμα υλικά σε πάχος περίπου τον 10μm ή και μικρότερα σε πάχος. Τα πιο κοινά υλικά για αυτά τα ηλιακά κελιά είναι το άμορφο πυρίτιο και τα μείγματα όπως κάδμιο-τελλούριο και χαλκός ίνδιο γάλλιο και δισελήνιο. Υπάρχουν επίσης υβριδικές προσεγγίσεις όπως ο συνδυασμός κελιών με

κρυσταλλικό και άμορφο πυρίτιο. Γίνονται επίσης προσπάθειες για την εξέλιξη των thin film ηλιακών στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου. Υπό το φως αυτών των διαφορετικών Φ/Β τεχνολογιών, η διαφορά μεταξύ της χοντρής και της λεπτής μεμβράνης μπορεί καμιά φορά να φαίνεται μηδαμινή. Ο πίνακας 2 παρουσιάζει μερικές τυπικές δραστηριότητες για τις περισσότερες κοινές προσεγγίσεις λεπτής μεμβράνης (thin film) (C. Edwin Witt et al 23 2001).

Thin-film PV απόδοση μετατροπής (% της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό κάτω από κανονικές συνθήκες).		
Υλικά	Κύτταρα	Υπομονάδες
Άμορφο πυρίτιο	12-13	7-8
CdTe κάδμιο-τελλούριο	15-16	9-10
CuInSe ₂ (CIS) Χαλκού-ινδίου-δισεληνίου	18-19	10-12
Si-Film	16-17	10

Πίνακας 2.3.1 Απόδοση μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό



Διάγραμμα 1. Μέση απόδοση Φ/Β, Απόδοση παραγωγής, Τεχνολογία-κόστος (Πηγή: Τεχνική επιθεώρηση, τεύχος 112 2001)

2.3.2 Φωτοβολταϊκές γεννήτριες κρυσταλλικού πυριτίου και λεπτών μεμβρανών

Η πρώτη σημαντική διάκριση στις τεχνολογίες Φ/Β γεννητριών είναι ανάμεσα στο κρυσταλλικό πυρίτιο και τα νέα υλικά λεπτών μεμβρανών (διάταξη ημιαγωγών λεπτών στρωμάτων-Thin films). Η μικρότερη ενεργειακή μονάδα μιας ηλιακής γεννήτριας, όπως

έχουμε αναφέρει, είναι το (φωτοβολταϊκό) ηλιακό στοιχείο. Κάθε φωτοβολταϊκή γεννήτρια κρυσταλλικού πυριτίου αποτελείται συνήθως από 30 με 36 ηλιακά κύτταρα, τα οποία είναι εν σειρά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα ηλιακά κύτταρα εγκλείονται με θερμική διεργασία μέσα σε διαφανή ερμητικά σφραγισμένη πολυμερή μεμβράνη που στην εμπρός πλευρά προσαρμόζεται ανθεκτικό γυαλί ειδικών προδιαγραφών. Το πάχος της όλης κατασκευής μαζί με το γυαλί δεν ξεπερνά τα 5 χιλιοστά και συνήθως τοποθετείται σε πλαίσιο αλουμινίου για εύκολη τοποθέτηση και για να αποκτήσει μηχανική αντοχή. Η διαδικασία παραγωγής του κρυσταλλικού πυριτίου έχει πολλά και ενεργειοφόρα βήματα. Η διαδικασία παραγωγής των Φ/Β γεννητριών λεπτών μεμβρανών χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη δυνατότητα αυτοματισμού της παραγωγής και οικονομία πρώτων υλών, λόγω του μικρού πάχους των ενεργών υλικών. Ομοίως, τα ηλιακά κύτταρα λεπτών μεμβρανών εγκλείονται σε ερμητικά σφραγισμένη συσκευασία για προστασία από την υγρασία. Βασική διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι η επίστρωση των υλικών γίνεται κατ' αρχήν σε ολόκληρη την επιφάνεια της ηλιακής γεννήτριας (συνήθως σε κατάλληλα προετοιμασμένη γυάλινη επιφάνεια) και κατόπιν με ακτίνες λέιζερ, αφαιρούνται λεπτές λωρίδες υλικού και δημιουργούνται τα ηλιακά κύτταρα που ύστερα συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους και συνθέτουν την Φ/Β γεννήτρια. Στον πίνακα 2 παρουσιάζονται συνοπτικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου και Φ/Β λεπτών μεμβρανών (Σ. Τσελέπη 112 2001).

	Κρυσταλλικό πυρίτιο	Λεπτή μεμβράνη
Πάχος ηλιακών στοιχείων	200-350 μm	2-10 μm
Χρήση πρώτων υλών για τα ηλιακά στοιχεία	Υψηλή	Χαμηλή
Διαδικασία παραγωγής	Πολλών ξεχωριστών βημάτων	Ολοκληρωμένη διαδικασία παραγωγής
Αρχική επένδυση εξοπλισμού ολοκληρωμένης γραμμής παραγωγής (>10MW _p /έτος)	3-8 Euro/W _p	0,5-3 Euro/W _p
Απόδοση Φ/Β γεννητριών	12-16%	4-10%
Συνήθης εγγύηση από τους κατασκευαστές για την ισχύ των Φ/Β γεννητριών	20-25 χρόνια	5-10 χρόνια

Πίνακας 2.3.2: Συγκριτικά στοιχεία ανάμεσα στις Φ/Β γεννήτριες κρυσταλλικού πυριτίου και λεπτών μεμβρανών.

Σύμφωνα με τον πίνακα 2, το κόστος αρχικής επένδυσης σε γραμμή παραγωγής Φ/Β είναι σημαντικό. Για να προχωρήσει λοιπόν μία επιχείρηση σε επένδυση θα πρέπει να διαγράφεται κάποια αγορά Φ/Β, η οποία θα απορροφήσει τα προϊόντα της τουλάχιστον για 10 χρόνια, ώστε να αποσβεστεί η επένδυση και να υπάρχει κέρδος. Επίσης, με βάση πάντα τον

πίνακα 2, όσον αφορά την ανάγκη πρώτης ύλης για την τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών, εδώ πλεονεκτεί σε σχέση με το κρυσταλλικό πυρίτιο, διότι χρειάζεται ελάχιστο υλικό. Η ανάγκη κατασκευής ηλιακών στοιχείων στο άμεσο μέλλον, θα οδηγήσει στην αναγκαία ανακύκλωση υλικών απαραίτητων για τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες, και αυτό, διότι κατά πρώτον ενδείκνυται για περιβαλλοντικούς λόγους (καθώς ορισμένα από τα στοιχεία είναι τοξικά, Cd, Te, Se, As), και κατά δεύτερον, διότι η ετήσια αγορά φωτοβολταϊκών αναμένεται να ξεπεράσει πριν το 2005 τα 500MW_p.

2.3.3 Φωτοβολταϊκά πολλαπλών στρωμάτων

Το πρώτο άμορφο πυρίτιο (a-Si) φωτοβολταϊκής συσκευής κατασκευάστηκε στα εργαστήρια RCA το 1974. Η πρώτη συσκευή παρουσίασε ένα ανοιχτό κύκλωμα τάσης περίπου στα 150mV, και η απόδοση μετατροπής ήταν λιγότερη από το 0.01%. Σε λιγότερο από δύο χρόνια, η απόδοση μετατροπής αυξήθηκε στο 5.5% κατασκευάζοντας μια μικρή επιφάνεια ηλιακών κυττάρων (περίπου 0.2m²). Σε περαιτέρω έρευνες σε πολλά εργαστήρια σε όλον τον κόσμο, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν καθοδηγηθεί στην ανάπτυξη των πολλαπλών στρωμάτων ημιαγωγών (multi junction cells) άμορφου πυριτίου με σταθεροποιημένη την απόδοση μετατροπής στα υψηλότερα επίπεδα του 13% (μέσα στα εργαστήρια) (D.E. Carlon 78 2003).

Τα φωτοβολταϊκά πολλαπλών στρωμάτων ημιαγωγών εκμεταλλεύονται και τα φωτόνια χαμηλότερης ενέργειας, αφού το κάθε υλικό έχει διαφορετικό φράγμα δυναμικού, δηλαδή απαιτείται διαφορετικό έργο εξόδου για τον κάθε ημιαγωγό ώστε να διαφύγουν τα ηλεκτρόνια. Συνήθως το υλικό με το υψηλότερο φράγμα δυναμικού τοποθετείται στην κορυφή, ενώ στη συνέχεια ακολουθούν οι υπόλοιποι αγωγοί κατά φθίνουσα σειρά του έργου εξόδου. Έτσι, ένα φωτόνιο που δεν θα απορροφηθεί από ένα ημιαγωγό του πρώτου Φ/Β κυττάρου, ενδέχεται να απορροφηθεί από κάποιο από τα επόμενα στρώματα ημιαγωγών, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση του φωτοβολταϊκού. Σήμερα, τα φωτοβολταϊκά πολλαπλών στρωμάτων ημιαγωγών χρησιμοποιούν τουλάχιστον μία επαφή γαλλίου-αρσενίου(GaAs). Ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών αυτών αγγίζει τα 33%. Άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται σε διατάξεις με πολλαπλούς ημιαγωγούς χρησιμοποιούν άμορφο πυρίτιο ή επαφές χαλκού-ινδίου-δισεληνίου (CuInSe₂) (Αργύρης Νομικός 413 2001).

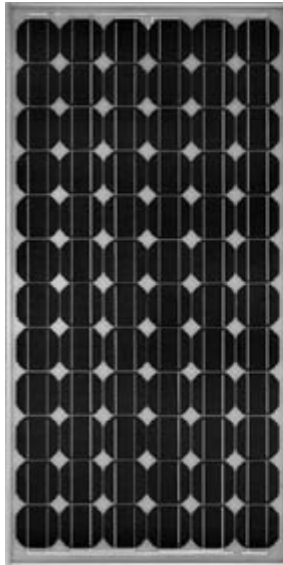
2.3.4 Οι βασικοί τύποι ηλιακών κυττάρων

Οι βασικότεροι τύποι ηλιακών κυττάρων, όπως αναφέραμε και παραπάνω είναι τα :

- Μονό-κρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα (x-Si) πυριτίου,
- Πολύ-κρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα (P-Si) πυριτίου (με λιγότερο καλή κρυσταλλογραφική ποιότητα και τελικώς με μικρότερη καθαρότητα από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο) και τα

➤ Αμορφα ηλιακά κύτταρα (a-Si) πυριτίου.

Τα μονά κρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου είναι τα παλαιότερα και τα πιο ακριβά, αλλά με την πιο αποδοτική τεχνολογία. Τα πολύ-κρυσταλλικά κύτταρα πυριτίου είναι κατασκευαστικά φτηνότερα και έχουν μικρότερη απόδοση μετατροπής σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 12-13%. Όσον αφορά την τεχνολογία του άμορφου πυριτίου έχει κερδίσει πολύ έδαφος από τα μέσα της δεκαετίας το '80 (Mark. E. Hazen 1996, Page 43-46).



Εικόνα 3. Μονό-κρυσταλλική υπομονάδα 140Watt.

Σήμερα χρησιμοποιείται σε πολλές συσκευές είτε σε επίπεδες οθόνες, όπως στους υγρούς κρυστάλλους των φορητών υπολογιστών, είτε στα φωτοβολταϊκά κύτταρα. Πολλές φορές αναφέρεται ως τεχνολογία λεπτής μεμβράνης. Το άμορφο πυρίτιο δεν είναι συνήθως κοντά στην απόδοση με το μονοκρυσταλλικό ή το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. Ο βαθμός της απόδοσής του είναι χίλιες φορές ή πολύ λιγότερος από ότι στο μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Εν τούτοις, με τα νέα ημιαγώγιμα υλικά και τις τεχνικές σχεδίου των κυττάρων έχει γίνει δυνατό για τα a-Si λεπτής μεμβράνης Φ/Β κύτταρα να συναγωνίζονται την απόδοση μετατροπής με άλλες τεχνολογίες, με πολύ μικρότερο κόστος. Πολλοί πιστεύουν ότι τα κύτταρα a-Si είναι η υπέρβαση των Φ/Β που περιμέναμε για να γίνει η ηλιακή τεχνολογία οικονομικά εφικτή. Οι αποδόσεις στην κορυφή των 5-10%, και το άμεσο μελλοντικό κόστος να κυμαίνεται από 1 ως 2 ευρώ για τη μέγιστη ισχύ τους, κάνει την τεχνολογία αυτή πολύ ελκυστική και πρακτική, όταν την ίδια στιγμή τα κόστη για τις άλλες τεχνολογίες κυμαίνονται από 3 ως 10 ευρώ (Mark. E. Hazen 1996, Page 43-46).



Εικόνα 4. Πολύ-κρυσταλλική ηλιακή υπομονάδα των 9Watt, Shell.



Εικόνα 5. Ηλιακή υπομονάδα λεπτής μεμβράνης (άμορφου πυριτίου) των 10Watt

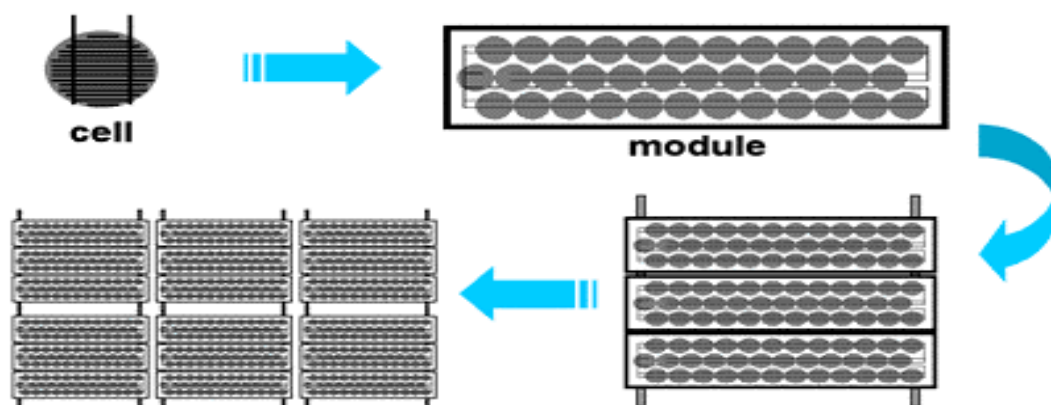
Ανεξάρτητα από το μέγεθος, ένα χαρακτηριστικό Φ/Β κύτταρο πυριτίου παράγει περίπου συνεχές ρεύμα της τάξεως των 0,5 - 0,6 Volt σε ανοικτό- κύκλωμα, χωρίς κάποιο αρχικό φορτίο. Η έξοδος ρεύματος (ισχύος) ενός Φ/Β κυττάρου εξαρτάται από την αποδοτικότητα και το μέγεθος (της περιοχής της επιφάνειας), και είναι ανάλογη της έντασης του ηλιακού φωτός που χτυπά την επιφάνεια του κυττάρου. (U.S. Department of Energy).

Ακόμα και κατά τις περιόδους συννεφιάς, ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο εξακολουθεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, έχοντας όμως κατά πολύ μειωμένη απόδοση. Από την άλλη μεριά, σε περιόδους καύσωνα η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου ελαττώνεται επίσης αισθητά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι, σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται από το φωτοβολταϊκό κύτταρο σε ηλεκτρικό ρεύμα μειώνεται σημαντικά, πιο συγκεκριμένα, ο βαθμός απόδοσης ενός ηλιακού κυττάρου είναι ίσος με τη μονάδα στους 20°C, σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας, έχουμε μείωση της απόδοσης κατά 0.004-0.005 ανά βαθμό °C. Το τελευταίο αποτελεί και ένα βασικό μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών συστημάτων. (Κ.Α.Π.Ε.).

Σε μια κατάσταση αιχμής, επίσης, αν ένα χαρακτηριστικό εμπορικό Φ/Β κύτταρο με μια περιοχή επιφάνειας 160 cm² (~25 ίρ2) παράγει περίπου μέγιστη ισχύ 2 Watt και κάποια άλλη στιγμή μειωθεί η ένταση του ηλιακού φωτός στο 40 τοις εκατό της μέγιστης έντασης του, τότε αυτό το κύτταρο θα παράγει περίπου 0,8 Watts (U.S. Department of Energy).

2.3.5 Συνδυασμοί φωτοβολταϊκών κυττάρων

Για να αυξηθεί η τάση στο επιθυμητό επίπεδο, που συνήθως είναι από 14V μέχρι 18V ανά υπομονάδα, τα κύτταρα θα πρέπει να συνδυάζονται σε σειρές (σε μορφή αλυσιδωτής μαργαρίτας), με τον αρνητικό πόλο του ενός κυττάρου να είναι ενωμένο με τον θετικό πόλο του επόμενου κυττάρου. Έπειτα, αυτές οι υπομονάδες μπορούν να συνδυαστούν σε μια παράλληλη καλωδίωση, για να πετύχουν μια υψηλότερη τάση ρεύματος, που είναι γνωστά ως πλαίσια. Για την ακρίβεια, οι υπομονάδες των πλαισίων μπορούν να καλωδιωθούν σε συστοιχίες και να πετύχουν μια ακόμα υψηλότερη τάση, εάν επιθυμείται. Τα Φ/Β κύτταρα συνδέονται ηλεκτρικά σε σειρά διάταξης ή/ και παράλληλα σε κυκλώματα με τα υψηλότερα επίπεδα ηλεκτρικών τάσεων, ρευμάτων και επιπέδων ισχύος. Μια φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι μια πλήρης μονάδα ισχύος, που αποτελείται από οποιοδήποτε αριθμό Φ/Β πλαισίων. Μια μορφή της φωτοβολταϊκής συστοιχίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Mark. E. Hazen 1996, Page 55-57).



Εικόνα 6. Φωτοβολταϊκά κύτταρα, υπομονάδες, πλαίσια και διατάξεις.

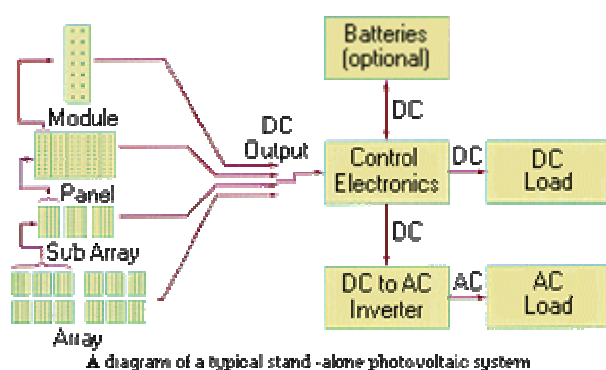
2.3.6 Βαθμός αυτονομίας φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ανάλογα με τη διάταξη υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων:

- Τα αυτόνομα ή μη διασυνδεδεμένα συστήματα. με το δίκτυο Φ/Β σύστημα,
- Τα διασυνδεδεμένα Φ/Β σύστημα με το δίκτυο και
- Τα υβριδικά Φ/Β σύστημα

Όταν μια διάταξη είναι εγκατεστημένη, με όλα τα συστήματα ηλεκτρικών καλωδίων, ηλεκτρικών συνδέσεων, και τα μέσα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), τότε έχουμε ένα Φ/Β σύστημα που έχει μορφοποιηθεί για πρακτική χρήση. Η ισχύς που παραδίνεται από μία Φ/Β διάταξη έχει τάση συνεχούς ρεύματος DC. Ένας ρυθμιστής φόρτισης χρησιμοποιείται για να ελέγχει το ποσό του φορτίου που αποταμιεύεται στους συσσωρευτές (μπαταρίες). Η αποθήκευση ενέργειας στις μπαταρίες γίνεται προκειμένου να υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια κατά τη διάρκεια της νύχτας ή, ακόμα, τις ημέρες κατά τις οποίες η ηλιοφάνεια είναι

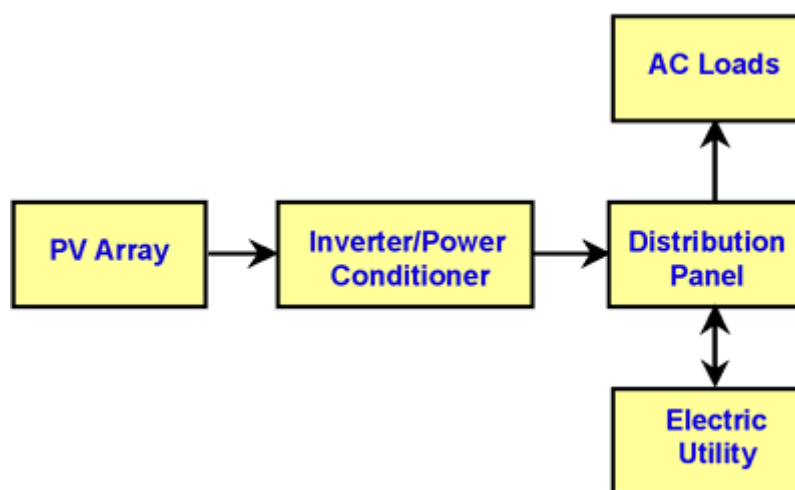
περιορισμένη και δεν επαρκεί για την κάλυψη των προβλεπόμενων αναγκών. Ο μετατροπέας χρησιμοποιείται για να μετατρέψει το συνεχές ρεύμα DC των μπαταριών στο κατάλληλο εναλλασσόμενο ρεύμα AC και στη συχνότητα που απαιτείται για τις ηλεκτρικές συσκευές, τα φώτα, κτλ. Ένα τέτοιο σύστημα συνήθως αναφέρεται ως αυτόνομο σύστημα (stand-alone, SA), λόγω της χρήσης της συχνότητας, του εναλλάκτη ρύθμισης φορτίου και των συσσωρευτών ενέργειας. Ένα από τα μεγαλύτερα έξοδα που εμπλέκονται σε ένα Φ/Β σύστημα, πέρα από τη διάταξη από μόνη της, είναι και οι μπαταρίες. Μερικοί κατασκευαστές σε βιομηχανικό βαθμό υποστηρίζουν ότι ο κύκλος ζωής των μπαταριών κυμαίνεται περίπου στα 10 χρόνια. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν μπαταρίες και μεμονωμένα ηλιακά κύτταρα που είναι ακριβά. Το ετήσιο κόστος τους είναι υψηλό, με τη συνηθισμένη συντήρηση, και με αναπόφευκτη την αντικατάστασή τους (Mark. E. Hazen 1996, Page 57-58).



Διάγραμμα 2. Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα με μπαταρία αποθήκευσης ενέργειας συνεχούς και εναλλακτικού φορτίου.

Σε μερικά Φ/Β συστήματα, οι μπαταρίες δεν χρειάζονται ή δεν επιθυμούνται. Ένα ιδιόκτητο σπίτι, παραδείγματος χάριν, μπορεί να χρησιμοποιήσει την τοπική επιχείρηση ηλεκτρισμού για τις Φ/Β του ανάγκες αποθήκευσης ενέργειας, αντί να χρησιμοποιεί μπαταρίες, χρησιμοποιώντας έναν σύγχρονο μετατροπέα. Ο σύγχρονος μετατροπέας τοποθετείται μεταξύ της Φ/Β διάταξης και της επιχείρησης ηλεκτρισμού που δίνει την ενέργεια. Ο μετατροπέας μετατρέπει τη συνεχή τάση DC από την Φ/Β διάταξη σε εναλλασσόμενη AC, στην κατάλληλη τάση και συχνότητα, και τροφοδοτεί αυτή την τάση μέσω του μετρητή ενέργειας στις γραμμές της επιχείρησης ηλεκτρισμού. Καθώς, ο μετατροπέας τάσης συγχρονίζεται με τη συχνότητα του δικτύου του εναλλασσόμενου AC ρεύματος, η ποσότητα της μετρούμενης ποσότητας ενέργειας ελαττώνεται ή σταματά, ή στις περιπτώσεις που η απαιτούμενη ενέργεια στο σπίτι είναι πολύ χαμηλή, η μετρούμενη ποσότητα στην πραγματικότητα αντιστρέφεται. Όταν η ακτινοβολία του ήλιου είναι ισχυρή, η ενέργεια επιστρέφει στην επιχείρηση ηλεκτρισμού. Το βράδυ ή τις μέρες με συννεφιά, η

ενέργεια ανακτάται από την εταιρία ηλεκτροδότησης. Γι' αυτό το λόγο, η επιχείρηση ηλεκτρισμού παρέχει την αποθηκευμένη ενέργεια και περιορίζει την ανάγκη συσσώρευσης ενέργειας (αποθήκευσης σε μπαταρία). Τα συστήματα που κάνουν χρήση της ενέργειας του ηλεκτρικού δικτύου ισχύος για αποθήκευση ενέργειας, πολύ συχνά αναφέρονται ως utility-interactive UI. Σήμερα, πολλές εταιρίες παροχής ενέργειας πληρώνουν ένα μικρό ποσό στους καταναλωτές για την παραπάνω χρήση της ενέργειάς τους (Mark. E. Hazen 1996, Page 58).

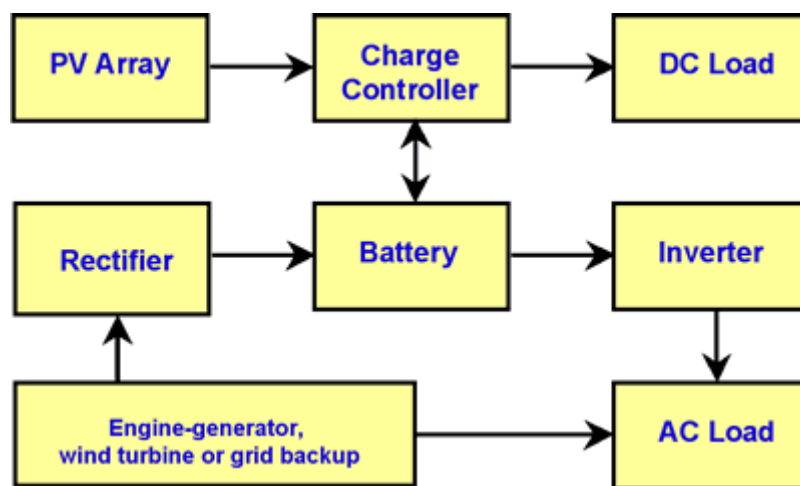


Διάγραμμα 3. Συνδεδεμένου ηλεκτρικού δικτύου (ισχύος) φωτοβολταϊκού συστήματος.

Υπάρχει, επίσης, και το υβριδικό Φ/Β σύστημα, που είναι ένα αυτόνομο σύστημα, το οποίο αποτελείται από τη Φ/Β συστοιχία σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας, όπως μια γεννήτρια πετρελαίου ή άλλη μορφή ΑΠΕ (π.χ. ανεμογεννήτρια) (ΚΑΠΕ).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα υβριδικού Φ/Β συστήματος που χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις είναι αυτό που αποτελείται από τη Φ/Β συστοιχία σε συνδυασμό με μια γεννήτρια πετρελαίου και μια μπαταρία αποθήκευσης ενέργειας. Σε κανονικές συνθήκες η Φ/Β διάταξη δίνει το απαιτούμενο φορτίο. Στην περίπτωση που παράγεται επιπλέον ενέργεια από τη διάταξη, αποθηκεύεται στην μπαταρία μέχρι αυτή να φτάσει τη μέγιστη ικανότητα αποθήκευσης, μέχρι δηλαδή να πάρει η μπαταρία τη μέγιστη φόρτιση. Ο βασικός λόγος αποθήκευσης ενέργειας είναι για την εισαγωγή ή την εξαγωγή ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος κάθε φορά. Στην περίπτωση, που η έξοδος του Φ/Β υπερβαίνει το απαιτούμενο φορτίο και η κατάσταση φόρτισης της μπαταρίας είναι στο μέγιστο, τότε αυτή η παραπάνω ενέργεια τροφοδοτείται σε μερικές άλλες αποθήκες φορτίου ή μένει ανεκμετάλλευτη. Όσον αφορά, τη γεννήτρια πετρελαίου μπαίνει σε λειτουργία όταν η Φ/Β διάταξη δεν μπορεί να ικανοποιήσει τις ανάγκες του απαιτούμενου φορτίου και όταν η αποθηκευμένη ενέργεια της μπαταρίας έχει εξαντληθεί. Η σύνθεση του υβριδικού συστήματος

που αποτελείται από τη Φ/Β διάταξη, τη μπαταρία και τη γεννήτρια πετρελαίου, έχει διάφορα πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι ότι, το φορτίο του συστήματος μπορεί να ικανοποιηθεί με τον ευνοϊκότερο τρόπο, επίσης, η απόδοση της γεννήτριας πετρελαίου μπορεί να μεγιστοποιηθεί, ενώ η συντήρησή της να ελαχιστοποιηθεί.. Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται ένα υβριδικό Φ/Β σύστημα που λειτουργεί σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο, δείχνοντάς μας επίσης τα φορτία ισχύος που είναι αποθηκευμένα στην τράπεζα της μπαταρίας όταν το δίκτυο ηλεκτροπαραγωγής είναι απενεργοποιημένο (S.M. Shaahid, M.A. Elhadidy 29 2004).

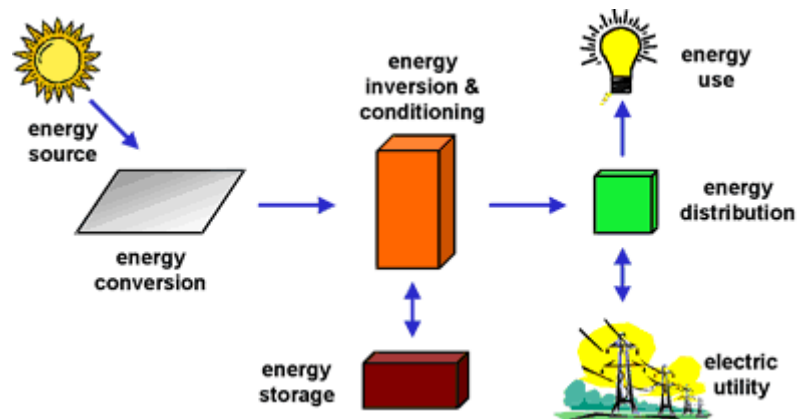


Διάγραμμα 4. Υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος.

2.3.7 Βασική λειτουργία ενός Φ/Β συστήματος

Τα Φ/Β συστήματα είναι όπως οποιαδήποτε άλλα συστήματα που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια, μόνο που ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι διαφορετικός από αυτόν που χρησιμοποιείται για τα συμβατικά ηλεκτρομηχανικά παραγωγικά συστήματα. Εντούτοις, οι αρχές της λειτουργίας και της διασύνδεσης με άλλα ηλεκτρικά συστήματα παραμένουν το ίδιο πράγμα, και καθοδηγούνται από ένα καθιερωμένο σώμα των ηλεκτρικών κωδικών και προτύπων. Αν και μια Φ/Β διάταξη παράγει την ισχύ όταν εκτίθεται στο φως του ήλιου, διάφορα άλλα στοιχεία απαιτούνται για να διευθύνουν κατάλληλα, να ελέγξουν, να μετατρέψουν, να διανείμουν, και να καταχωρήσουν την ενέργεια που παράγεται από τη διάταξη. Ανάλογα με τη λειτουργικότητα και τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, τα συγκεκριμένα στοιχεία που απαιτούνται, και μπορούν να περιλάβουν τα σημαντικά συστατικά όπως έναν μετατροπέα ισχύος συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος, μια τράπεζα μπαταρίας, έναν ελεγκτή του συστήματος και της μπαταρίας, βοηθητικές πηγές ενέργειας και μερικές φορές το προσδιορισμένο ηλεκτρικό. Επιπλέον, μια ταξινόμηση της ισορροπίας του υλικού του συστήματος (Balance Of System BOS), συμπεριλαμβανομένης της καλωδίωσης, πιθανής υπερφόρτωσης, προστασία κύματος και αποσύνδεση συσκευών, και άλλο εξοπλισμό

επεξεργασίας ισχύος. Η εικόνα 7 εμφανίζει ένα βασικό διάγραμμα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος και της σχέσης των μεμονωμένων συστατικών (U.S. Department of Energy).



Εικόνα 7. Συνθέσεις μεγάλου φωτοβολταϊκού συστήματος.

I. 2.3.7.1 Συσσωρευτές ενέργειας (μπαταρίες)

Οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται συχνά στα Φ/Β συστήματα με σκοπό την αποθήκευση της ενέργειας που παράγεται από τη Φ/Β διάταξη κατά τη διάρκεια της ημέρας, και για να την παρέχουν στα ηλεκτρικά φορτία όπου χρειάζεται (κατά τη διάρκεια της νύχτας και των περιόδων νεφελώδους καιρού). Για άλλους λόγους που οι μπαταρίες χρησιμοποιούνται στα Φ/Β συστήματα είναι για την λειτουργία της Φ/Β διάταξης κοντά στο μέγιστο σημείο ισχύος της, για την ισχύ των ηλεκτρικών φορτίων με σταθερές ηλεκτρικές τάσεις, και για τον ανεφοδιασμό κυμάτων ρεύματος με ηλεκτρικά φορτία και για τους μετατροπείς. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένας ελεγκτής που ελέγχει την χρήση της μπαταρίας χρησιμοποιείται σε αυτά τα συστήματα για να προστατεύσει την μπαταρία από την υπερφόρτωση και την εκφόρτιση (U.S. Department of Energy).



Εικόνα 8 Χαρακτηριστική ηλιακή μπαταρία 12V, 33AH

II. 2.3.7.2 Εναλλάκτες (μετατροπείς) συνεχούς εναλλασσόμενο ρεύματος

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ένα Φ/Β πλαίσιο είναι σε μορφή συνεχής τάσης (D.C). Η μετατροπή της συνεχής τάσης σε εναλλασσόμενη (A.C), που απαιτείται, και από πολλές κοινές συσκευές και από τη σύνδεση του δικτύου, επιτυγχάνεται με τον μετατροπέα . Η αποδοτικότητα των μετατροπέων είναι γενικά μεγαλύτερη από 90%, ενώ όταν λειτουργεί πάνω από το 10% της εκτιμημένης εξόδου του, μπορεί να φτάσει ως και το 96%. Οι μετατροπείς συνδέονται άμεσα με το πλαίσιο ενσωματώνοντας έναν μέγιστο ιχνηλάτη σημείου ισχύος (Maximum Power Point Tracker-MPPT), ο οποίος ρυθμίζει συνεχώς τη σύνθετη αντίσταση φορτίων, έτσι ώστε ο μετατροπέας να εξάγει πάντα τη μέγιστη ισχύ από το Φ/Β σύστημα. Οι μετατροπείς ανήκουν στις δύο-βασικές κατηγορίες: αυτόματου μετατροπέα και σε μετατροπέα γραμμής συγχρονισμού. Ο πρώτος μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα, ενεργοποιημένος απλώς από την πηγή ισχύος εισόδου, οι συγχρονισμένοι μετατροπείς προκαλούνται άμεσα από το σύστημα. Βοήθημα απαιτείται όταν ο μετατροπέας που είναι συνδεδεμένος με σύστημα πρέπει να περιέχει κατάλληλο έλεγχο και προστασία για να εξασφαλίζεται ότι το Φ/Β σύστημα είναι εγκατεστημένο ασφαλές και για να μην υπάρχουν επιπτώσεις ενάντια στην ποιότητα ισχύος. Παραδοσιακά, ένας μετατροπέας χρησιμοποιούταν για μια ολόκληρη Φ/Β διάταξη. Τώρα οι χωριστοί μετατροπείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν κάθε "σειρά" των πλαισίων ή ακόμα και να επικοληθούν στην πλάτη των μεμονωμένων πλαισίων ("πλαίσια εναλλασσόμενου ρεύματος"). Οι σειρές των μετατροπέων και τα πλαίσια εναλλασσόμενου ρεύματος είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν όλο και περισσότερο στην αγορά ενσωματωμένων Φ/Β συστημάτων σε κτήρια επειδή επιτρέπουν την

εύκολη επέκταση του συστήματος, την ανεξάρτητη λειτουργία και την ευκολότερη εγκατάσταση (www.nrel.gov).



Εικόνα 9 Εναλλάκτης ηλεκτρικής ενέργειας από συνεχή σε εναλλασσόμενη τάση 2500Watts

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ - ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, με την κατασκευή Φ/Β γεννητριών. Ανάλογα με τον βαθμό πολυπλοκότητας στην κατασκευή και τη λειτουργία, μπορούμε να κατατάξουμε τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες σε τρεις κυρίως κατηγορίες:

- 1 Τις απλές διατάξεις, όπου τα ηλιακά κύτταρα είναι τοποθετημένα σε σταθερά επίπεδα πλαίσια και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με την φυσική πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας.
- 2 Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά κύτταρα να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα ηλιακό κύτταρο μέχρι 50% περίπου, αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία, ανά μονάδα εμβαδού της επιφανείας του.
- 3 Τις διατάξεις που με τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την στέλνουν πολύ συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά κύτταρα. Για την αποφυγή θέρμανσης, στις συγκεντρωτικές διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνητή ψύξη των ηλιακών κυττάρων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών (Καγκαράκης Κ. 1992 σελ.2-3).

Οι αλληλοσυνδέσεις των ηλιακών κυττάρων, επάνω στα πλαίσια έχουν τρεις διατάξεις και είναι οι εξής:

1. Σε απλές παράλληλες σειρές (series-parallel, SP),
2. Σε διατάξεις αθροιστικές σταυρωτού δεσμού (total-crossed-tied, TCT), που προκύπτει από την SP διάταξη συνδέοντας τα ηλεκτρικά συστήματα σταυρωτά σε κάθε σειρά του σημείου συνάντησης και
3. Σε διάταξη γεφυρωτής διασύνδεσης (bridge-linked) στην οποία όλα τα κύτταρα αλληλοσυνδέονται με γεφυρωτή διαμόρφωση ανορθωτή (ρεύματος) (Nalin K Ggautam and N.D. Kaushika 72 2002).

3.2 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στις στέγες

Η παραγωγή της δυναμικής ηλεκτρικής ενέργειας από την ενσωμάτωση Φ/Β στα κτίρια είναι τεράστια. Αν η απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας από αρκετές χώρες είναι να συμπληρώνεται από τη χρήση Φ/Β, κρίνεται απαραίτητο να ενσωματωθούν τέτοια συστήματα στους φακέλους των οικοδομών. Αρκετές μεγάλες κατασκευές όπως τα πολυκαταστήματα, τα δημόσια κτίρια και τα περισσότερα σπίτια χρησιμοποιούν ποσότητες

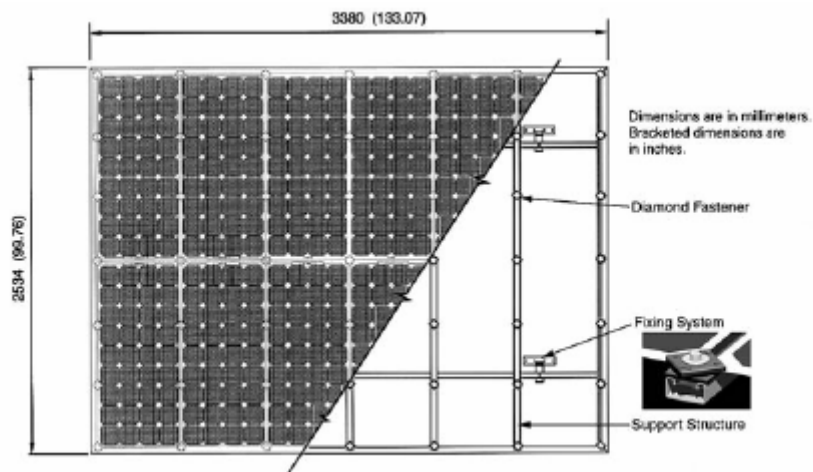
κεραμικών προϊόντων στις οροφές τους. Τέτοια εμβαδά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μια πολύ-λειτουργική διαμόρφωση, κάνοντάς τα χρήσιμα στη συνεισφορά της ενέργειας που χρησιμοποιείται στα κτίρια ή για την εξαγωγή της στα ηλεκτρικό δίκτυο. (AbuBakr S. Bahaj 28 2003).

Η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στις οικιακές, αλλά και στις εμπορικές οροφές προσφέρουν την μεγαλύτερη δυναμική αγορά για τα Φ/Β ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες. Πολυάριθμα προγράμματα για Φ/Β οροφών επιχειρούν να παρακινήσουν τη γενική αγορά για μεγαλύτερη δεκτικότητα και για μείωση κόστους. Τα τελευταία πέντε χρόνια η παραγωγή ηλιακών κυττάρων έχει αυξηθεί ραγδαία παγκοσμίως ακολουθώντας διεθνή προγράμματα και εφαρμογή ενσωματωμένων Φ/Β συστημάτων σε κτίρια. (AbuBakr S. Bahaj 28 2003).

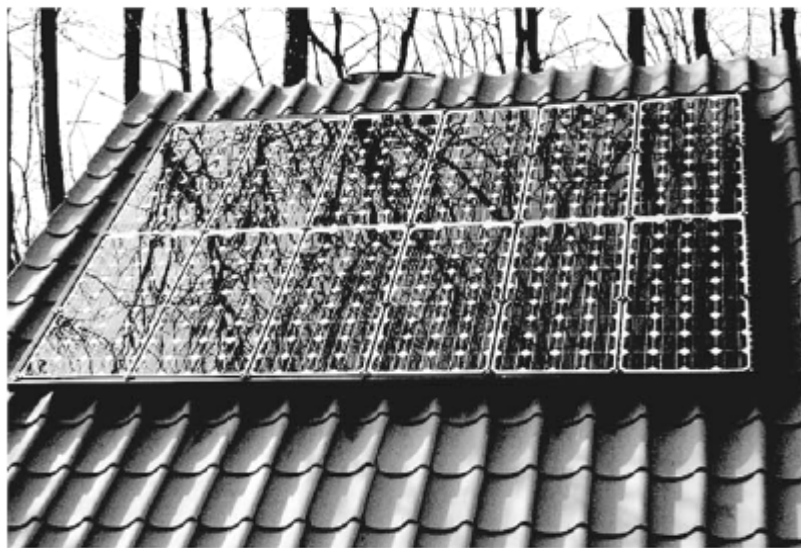
3.2.1 Ανταγωνιστικές τεχνολογίες Φ/Β οροφής

Τα συστήματα φωτοβολταϊκών οροφής βασίζονται σε στάνταρ υπομονάδες που εξελίχθηκαν για να εξασφαλίσουν γρήγορες λύσεις για την υλοποίηση εθνικών κεφαλοποιημένων προγραμμάτων. Αυτές οι λύσεις είναι χωρισμένες σε δύο κατηγορίες που είναι οι εξής :

- Συστήματα φωτοβολταϊκών οροφής εγκατεστημένα σε επικλινείς οροφές :
Για επικλινείς οροφές, υπάρχουν ποικιλόμορφα συστήματα αναχωρητών διαθέσιμα σε αλουμίνιο, που αναπτύχθηκαν για να επιτρέψουν ελασματοποίηση διαφορετικών τύπων για να γαντζωθούν στην οροφή των κτιρίων. Η διάθεση του συστήματος αλουμινίου φτιάχνεται απ' ευθείας στη δομή της οροφής είτε λαμβάνοντας την ελασματοποίηση που αντικαθιστά τα κεραμίδια της οροφής είτε χρησιμοποιώντας ένα μεταλλικό σύστημα αγκίστρωσης που φτιάχνεται κάτω από τα ήδη υπάρχον κεραμίδια. Στην πρώτη περίπτωση, οι μεμβράνες και οι στεγανοποιημένοι δίσκοι χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν φράγματα κατά του καιρού, που δημιουργούν ένα αναπόσπαστο μέρος του συνολικού ενσωματωμένου συστήματος Φ/Β που είναι μέσα στην οροφή. Στην τελευταία περίπτωση οι ελασματοποιήσεις έχουν εγκατασταθεί σαν μια μετασκευή με την τελική κατασκευή να καταλαμβάνει μια επίπεδη επιφάνεια πάνω από τα ήδη υπάρχον κεραμίδια. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι χρησιμοποιούν βίδες για να φτιάξουν την αλουμινένια κατασκευή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεταβολή της κλίσης, μεταξύ 20-50° ως προς τον ορίζοντα. (AbuBakr S. Bahaj 28 2003).



Εικόνα 10.Φ/Β σύστημα εγκατεστημένο ως μετασκευή αφήνοντας τα ήδη υπάρχον κεραμίδια στη θέση τους. Χρησιμοποιούνται διαμαντένιοι συνδετήρες (όπως παρουσιάζεται στην εικόνα).



Εικόνα 11.Εγκατάσταση Φ/Β πλαισίου βασισμένη στο σύστημα της εικόνας 8 που απεικονίζει το Φ/Β σύστημα.

- Συστήματα φωτοβολταϊκών οροφής εγκατεστημένα σε επίπεδες οροφές :
Υπάρχουν πολλά παραδείγματα Φ/Β και συστήματα με βάση για επίπεδες οροφές. Το άνοιγμα των κλασικών υπομονάδων ή των ιδιοκτησιακές υπομονάδων, είναι σε μέγεθος είτε μεγαλύτερο είτε μικρότερο από την κλασική υπομονάδα. Γενικά, οι υπομονάδες φτιάχνονται σε αλουμινένια κατασκευή η οποία διαδοχικά πρέπει να αγκιστρωθεί στην επίπεδη κατασκευή οροφής. Ένα καινοτομικό παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος αναπτύχθηκε για ανάγλυφες βάσεις σε επίπεδες οροφές σε σταθερά τιμωμένα οικοδομήματα για να επιτευχθεί η αντίσταση του ισχυρού ανέμου. Τέτοια συστήματα είναι περιορισμένης χρήσης αλλά μπορούν να παρέχουν λύσεις στη χρήση των Φ/Β σε επίπεδες οροφές σε βιομηχανικές

μονάδες, σε εργοστάσια, σε νοσοκομεία και πιθανόν σε σχολεία. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων οφείλεται στο χαμηλό κόστος της κατασκευής της βάσης και της εύκολης εγκατάστασης. Σε μερικά από τα συστήματα που είναι διαθέσιμα στην αγορά, τα πλαίσια αλουμινίου χρησιμοποιούνται απευθείας στην κατασκευή της οροφής. Μικρότερη διάθεση υπομονάδων φτιάχνονται σε αλουμινένια πλαίσια με σφήνες και κάνουν στεγανά με ελαστικές ασφάλειες. (AbuBakr S. Bahaj 28 2003).



Εικόνα 12. Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών υπομονάδων σε επίπεδη οροφή.

3.2.2 Προσανατολισμός του συλλέκτη

Για έναν παρατηρητή στη γη ο ήλιος εκτελεί δύο κινήσεις, την ημερήσια, από την ανατολή προς τη δύση και την εποχιακή, κατά την οποία μεταβάλλει καθημερινά το μεσημβρινό του ύψος. Ο συλλέκτης για να έχει όλη τη μέρα τη μέγιστη απόδοση, θα πρέπει να δέχεται συνεχώς τη μέγιστη ακτινοβολία, δηλαδή οι ηλιακές ακτίνες θα πρέπει να πέφτουν πάντα κάθετα στην επιφάνειά του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ηλιακές ακτίνες τότε έχουν την μεγαλύτερη πυκνότητα στην μονάδα επιφάνειας και δεν ανακλώνται στην γυάλινη επικάλυψη του συλλέκτη. Για να επιτευχθεί όμως αυτό στην πράξη θα πρέπει ο συλλέκτης να παρακολουθεί συνεχώς την κίνηση του ήλιου και επομένως να στρέφεται σε δύο άξονες αφ' ενός για να παρακολουθεί την ημερήσια τροχιά του ήλιου από την ανατολή προς τη δύση και αφετέρου να μεταβάλλει την γωνία του ως προς το οριζόντιο επίπεδο για να παρακολουθεί την μεταβολή του ύψους του ήλιου προς τον ορίζοντα. Αυτό για πρακτικούς λόγους δεν είναι εύκολο. Μπορούμε όμως να δώσουμε στον συλλέκτη σταθερό προσανατολισμό,

φροντίζοντας να είναι ο προσφορότερος. Για το βόρειο ημισφαίριο τοποθετείται ο συλλέκτης με τη επιφάνεια του στραμμένη ακριβώς προς το Νότο, οπότε την μεσημβρία θα δέχεται κάθετα τις ηλιακές ακτίνες, εφ' όσον και η κλίση του προς το οριζόντιο επίπεδο είναι καταλλήλως για το εποχιακό ύψος του ήλιου δηλαδή $90^\circ - h$ (Φ. Κωτσιάνας, Δ. Χούντρας 1994 σελ.111-112).

3.3 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου

Το κάθε Φ/Β πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του χαρακτηριστικά (απόδοση, τάση, ισχύ κτλ.) που προφανώς διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των χωριστών ηλιακών κυττάρων που περιέχει. Επομένως, ο συντελεστής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου εκφράζει το λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/Β πλαίσιο (P_π), 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:

$$n_\pi = P_\pi(W) / H(W/m^2) * S(m^2) = E(kWh) / \Pi(kWh/m^2) * S(m^2),$$

όπου Π είναι η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου. Η τιμή του n_π είναι φανερό ότι εξαρτάται μόνο από τη μέση απόδοση των ηλιακών κυττάρων (n), αλλά και από τον συντελεστή κάλυψης του πλαισίου (σ_κ), που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών κυττάρων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου. Ισχύει η σχέση:

$$n_\pi = n * \sigma_\kappa$$

όπου η τιμή του σ_κ εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της τοποθέτησης των ηλιακών κυττάρων πάνω από το Φ/Β πλαίσιο. Συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0,78, για κυκλικά κύτταρα σε παράλληλες στοιχισμένες σειρές, και φτάνει μέχρι σχεδόν 1,00 (πρακτικά μέχρι 0.98), για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά κύτταρα (Καγκαράκης Κ. 1992 σελ.78).

Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, λοιπόν, είναι ο βαθμός απόδοσης. Ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται άμεσα από την εκτιθέμενη επιφάνεια στην ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι, είναι λογικό, όσο αυξάνεται η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, τόσο να αυξάνεται και ο βαθμός απόδοσής του, αφού περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία θα προσπέσει σε αυτό. Γι' αυτό, κατά την αγορά ενός φωτοβολταϊκού συστήματος θα πρέπει πάντα να ελέγχουμε τον βαθμό απόδοσης σε σχέση με την επιφάνεια.

3.3.1 Εκτίμηση ισχύς εξόδου

Η απόδοση των Φ/Β υπομονάδων και οι συστοιχίες εκτιμώνται γενικά σύμφωνα με τη μέγιστη έξοδο συνεχούς ισχύος τους (σε Watt) κάτω από πρότυπες καταστάσεις δοκιμής (Standard Test Conditions STC). Οι πρότυπες καταστάσεις δοκιμής καθορίζονται από μια υπομονάδα (κύτταρο) που λειτουργεί σε θερμοκρασία των 25°C (77 F), και συναφές ακτινοβολούμενο ηλιακό επίπεδο 1000 W/m² και υπό μάζα αέρα 1,5 φασματικής διανομής. Δεδομένου ότι αυτές οι συνθήκες είναι όχι πάντα χαρακτηριστικές για το πώς οι Φ/Β υπομονάδες και οι διατάξεις λειτουργούν στο πεδίο, η πραγματική απόδοση εκτιμάται ότι είναι συνήθως 85 έως 90 τοις εκατό της πρότυπης δοκιμαστικής κατάστασης (STC). Οι σημερινές φωτοβολταϊκές υπομονάδες είναι εξαιρετικά ασφαλείς και αξιόπιστα προϊόντα, με ελάχιστα ποσοστά αποτυχίας και με προβαλλόμενη διάρκεια ζωής 20 έως 30 έτη. Οι περισσότεροι σημαντικοί κατασκευαστές προσφέρουν τις εγγυήσεις των είκοσι ή περισσότερων ετών για τη διατήρηση ενός υψηλού ποσοστού ονομαστικής ισχύς εξόδου της συσκευής (U.S. Department of Energy).

Η εκτίμηση και η αποτίμηση της απόδοσης των Φ/Β κυττάρων ουσιαστικά απαιτεί τη μέτρηση του ρεύματος ως λειτουργία της ηλεκτρικής τάσης, της θερμοκρασίας, της έντασης, της ταχύτητας του ανέμου και της ακτινοβολία του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι περισσότερο αξιοσημείωτες παράμετροι είναι η απόδοση η της Φ/Β μετατροπής, που ορίστηκε ως η μέγιστη ηλεκτρική ισχύ P_{max} που παράγεται από τα Φ/Β κύτταρα που χωρίζονται από την επικείμενη ενέργεια φωτονίων P_{in} , που μετριέται σε σχέση με τις πρότυπες καταστάσεις δοκιμής (STC) (A.Q. Malik, Salmi Jan Bin Haji Damit 28 2003).

Οι πρότυπες καταστάσεις δοκιμής (STC) συνδυάζουν την ακτινοβολία μιας θερινής ημέρας, την θερμοκρασία κυττάρου/ υπομονάδας μιας χειμερινής ημέρας και το ηλιακό ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μιας ανοιξιάτικης μέρας. Αυτές οι καταστάσεις μέτρησης προφανώς δεν αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές καταστάσεις λειτουργίας των Φ/Β συσκευών στην περιοχή της εγκατάστασης. Για το βέλτιστο σχέδιο των Φ/Β συστημάτων, είναι επιθυμητό να μετρηθούν οι μακροπρόθεσμες αποδόσεις τους στην περιοχή της εγκατάστασης (A.Q. Malik, Salmi Jan Bin Haji Damit 28 2003).

3.4 Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα

Στον υπολογισμό της επιφάνειας των Φ/Β συλλεκτών παίρνουμε συνήθως υπ' όψιν τη θερμοκρασία και τη ρυπαρότητα, πρέπει όμως να λάβουμε υπ' όψιν και 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 κτλ.) Πρόσθετες, και μάλιστα σημαντικότερες απώλειες μπορεί να

οφείλονται στη λειτουργία αυτών των άλλων μερών του συστήματος, και κυρίως στη φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών. Όσον αφορά την τιμή του συντελεστή απόδοσης των Φ/Β πλαισίων που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, αναφέρεται 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 τη λειτουργία του θα υπάρχει μια αξιόλογη απόκλιση από τις ιδανικές αυτές συνθήκες, με αποτέλεσμα την εμφάνιση της αντίστοιχης απώλειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Καγκαράκης Κ. 1992 σελ.85).

Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των Φ/Β συλλεκτών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση, και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξεως του 20-30% 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 1-2% για κάθε χρόνο (Καγκαράκης Κ. 1992 σελ.85).

3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός Φ/Β συστήματος

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν διάφορες αξίες και μοναδικά πλεονεκτήματα πέρα από τις συμβατικές τεχνολογίες ισχύος. Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν για ποικίλες εφαρμογές και λειτουργικές απαιτήσεις, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για τη συγκέντρωση ή τη διανομή της παραγόμενης ισχύος. Τα Φ/Β συστήματα δεν έχουν κανένα κινούμενο μέρος, είναι μορφωτικά, εύκολα εκτάσιμα και ακόμα ικανά να μεταφέρονται σε μερικές περιπτώσεις. Η ενεργειακή ανεξαρτησία τους και η περιβαλλοντική συμβατότητα τους είναι δύο ελκυστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα των Φ/Β συστημάτων. Το καύσιμο (φως του ήλιου) είναι δωρεάν, και κατά την διάρκεια της λειτουργίας του Φ/Β συστήματος κανένας θόρυβος ή ρύπανση δεν δημιουργείται. Γενικά, τα Φ/Β συστήματα που σχεδιάζονται σωστά και εγκαθίστανται κατάλληλα απαιτούν την ελάχιστη συντήρηση και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Αυτή τη στιγμή, το υψηλό κόστος των Φ/Β πλαισίων και ο εξοπλισμός (σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας) είναι ο αρχικός περιοριστικός παράγοντας για αυτή τη τεχνολογία. Συνεπώς, η οικονομική αξία των Φ/Β συστημάτων γίνεται αντιληπτή μετά από πολλά χρόνια. Σε μερικές περιπτώσεις, οι απαιτήσεις επιφάνειας για τις διατάξεις των Φ/Β μπορούν να είναι ένας περιοριστικός παράγοντας. Λόγο της διάχυτης φύσης του φωτός του ήλιου και του υπάρχοντος φωτός του ήλιου στην απόδοση μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών συσκευών, οι επιφάνειας που απαιτούνται για την εγκατάσταση Φ/Β διατάξεων είναι στην κατάταξη των 8 έως 12 m² (86 έως 129 ft²) ανά kW της μέγιστης εγκατάστασης δυναμικού διάταξης. (U.S. Department of Energy).

3.6 Η αγορά φωτοβολταϊκών

Τα τελευταία χρόνια η ετήσια αύξηση των πωλήσεων Φ/Β, ήταν εντυπωσιακή και έφτασε το 38% το 1997 και το 25% το 2000. Τα τρία τελευταία χρόνια είχαμε διπλασιασμό των πωλήσεων και όλα δείχνουν ότι η τεχνολογία Φ/Β εισέρχεται στη φάση της εμπορικής εκμετάλλευσης. Από την άλλη πλευρά, στην Ελλάδα οι πωλήσεις Φ/Β, αν εξαιρέσουμε επιδεικτικά και ερευνητικά προγράμματα δεν ξεπερνούν τα 100kW ετησίως. Στις εμπορικά βιώσιμες εφαρμογές των Φ/Β συστημάτων συγκαταλέγονται οι αυτόνομες εφαρμογές σε απομακρυσμένες από το δίκτυο ηλεκτρισμού περιοχές, όπως σε απομονωμένες κατοικίες, εγκαταστάσεις αναμεταδοτών του ΟΤΕ, εταιριών κινητής τηλεφωνίας και ραδιοφωνικών σταθμών. Σημαντική εξάπλωση γνωρίζουν στην Ελλάδα τα Φ/Β στην ηλεκτροδότηση φάρων και σημαντήρων στα λιμάνια όλης της χώρας. Η υπηρεσία φάρων του πολεμικού ναυτικού έχει εγκαταστήσει πάνω από 890 Φ/Β συστήματα σε όλη την Ελλάδα συνολικής ισχύος 64KW_p, έχοντας ηλεκτροδοτήσει με Φ/Β σχεδόν όλους τους φάρους. Από στοιχεία του 1998 προκύπτει, ότι από τα 157.8MW_p των διακινηθέντων Φ/Β γεννητριών ανά τον κόσμο, το 85.5% αυτών ήταν κρυσταλλικού πυριτίου(μονό ή πολύ- κρυσταλλικό). Ένα ποσοστό 13% αφορούσε Φ/Β γεννήτριες Άμορφου-Πυριτίου, 0.14% CdTe(Τελλουριούχου Καδμίου) και 0.01% CIS(Δισελινιούχου Ινδικού Χαλκού) κλπ. Η αγορά στο μεγαλύτερο της μέρος κινείται από προγράμματα που προσφέρουν κίνητρα για την αγορά και εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων (Σ. Τσελέπη 112 2001).

Οι μεγάλες επιχειρήσεις που ασχολούνται με την παραγωγή Φ/Β γεννητριών, ενώ διατηρούν και επεκτείνουν το δυναμικό παραγωγής τους σε κρυσταλλικό πυρίτιο, έχουν ήδη επενδύσει σε μια τουλάχιστον από τις τεχνολογίες των λεπτών μεμβρανών. Η ωριμότερη τεχνολογία από αυτές είναι του άμορφου πυριτίου, η οποία είναι εμπορικό προϊόν εδώ και 10 χρόνια. Οι επόμενες τεχνολογίες Φ/Β που βρίσκονται στα πρώτα βήματα της εμπορικής εκμετάλλευσης είναι το CdTe και το CIS/CIGS. Τα τελευταία υλικά βρίσκονται στο στάδιο της πιλοτικής γραμμής παραγωγής. Η πρόοδος όσον αφορά την απόδοση του άμορφου πυριτίου (a-Si) είναι στάσιμη, αλλά έχει αποκτηθεί εμπειρία στην κατασκευή γεννητριών μεγάλης επιφάνειας, οι οποίες είναι συγχρόνως κατάλληλες για ενσωμάτωση σε κτίρια (Σ. Τσελέπη 112 2001).

3.7 Βασικά χαρακτηριστικά Φ/Β υπομονάδων

Τα βασικά κλειδιά πίσω από την επίγεια αγορά Φ/Β είναι η απόδοση της υπομονάδας, η τιμή πώλησης της και η αξιοπιστία της. Η σταθεροποιημένη απόδοση μετατροπής των Φ/Β υπομονάδων (άμορφου πυριτίου) a-Si, χαρακτηριστικά κυμαίνεται μεταξύ 6-8% ενώ οι αποδόσεις των κρυστάλλινων Φ/Β υπομονάδων πυριτίου συνήθως κυμαίνονται μεταξύ του

11-14%. Η τιμή πώλησης των Φ/Β α-Si είναι συνήθως περίπου 10-20% λιγότερο από αυτό των κρυστάλλινων υπομονάδων πυριτίου σε ευρώ/W_p. Εντούτοις, η συνολική τιμή μερικών Φ/Β συστημάτων (σε ευρώ/W_p) μπορεί να είναι χαμηλότερη στις κρυστάλλινες υπομονάδες πυριτίου από ότι στις υπομονάδες άμορφου πυριτίου α-Si ειδικά εάν το κόστος ισοζυγίου (ισορροπίας) του συστήματος είναι υψηλό. Ενώ οι Φ/Β κρυστάλλινες υπομονάδες πυριτίου έχουν ένα αποδεδειγμένο αρχείο αξιοπιστίας με πολλές διατάξεις που λειτουργούν περισσότερο από δύο δεκαετίες στο πεδίο, η αξιοπιστία των πρόσφατων υπομονάδων λεπτής μεμβράνης δεν έχει αποδειχθεί ακόμα δεδομένου ότι οι υπομονάδες έχουν τεθεί σε λειτουργία στο πεδίο μόνο για μερικά χρόνια. Αυτήν την περίοδο το μέγεθος των Φ/Β α-Si αντιπροσωπεύουν μόνο το 11% της συνολικής αγοράς. Με στόχο τα Φ/Β α-Si να συλλάβουν ένα μεγαλύτερο ποσοστό της αγοράς, η σταθεροποιημένη απόδοση πρέπει να βελτιωθεί, το κόστος κατασκευής θα χαμηλώσει και η μακροπρόθεσμη αξιοπιστία θα βελτιωθεί. Σαφώς, περισσότερη έρευνα και ανάπτυξη απαιτούνται για να βεβαιώσουν ότι όλες οι Φ/Β υπομονάδες λεπτής μεμβράνης μπορούν να αντέξουν για εκτενόμενες περιόδους (> 20 έτη) σε δύσκολο περιβάλλον όπως οι διατάξεις υψηλών ηλεκτρικών τάσεων που λειτουργούν στα τροπικά κλίματα (D.E. Carlson 78 2003).

Τέλος, ενώ τα φορτία των Φ/Β υπομονάδων α-Si έφθασαν περίπου τα 40MW_p το 2001, η περαιτέρω έρευνα, η ανάπτυξη και η εφαρμοσμένη μηχανική θα απαιτήσει αύξηση της απόδοσης, χαμηλότερο κόστος κατασκευής και βελτίωση της αξιοπιστίας προκειμένου να βεβαιωθεί ότι τα φωτοβολταϊκά α-Si θα διαδραματίσουν έναν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας στο μέλλον (D.E. Carlson 78 2003).

3.7.1 Κόστος Φ/Β συστημάτων

Το κόστος, συνήθως, των Φ/Β συστημάτων εκφράζεται σε ευρώ ανά εγκαταστημένο βατ αιχμής (ευρώ/W_p). Η κυριότερη συνιστώσα του κόστους ενός Φ/Β συστήματος είναι το κόστος των Φ/Β πλαισίων. Το κόστος των Φ/Β πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου κυμαίνεται στα 5ευρώ/W_p. Σε σχέση με την επιφάνεια που καλύπτουν, το κόστος κυμαίνεται στα 587ευρώ/m². Μια γενική διάκριση στο κόστος των Φ/Β συστημάτων, αφορά τα αυτόνομα και τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα. Το κόστος είναι συνήθως χαμηλότερο για τα τελευταία και η διαφορά οφείλεται στην αποφυγή του κόστους για το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Επίσης, η μεγαλύτερη κλίμακα εφαρμογής των διασυνδεδεμένων συστημάτων επιδρά θετικά στο κόστος ανά W_p. Από υπολογισμούς προκύπτει ότι η κατανομή του κόστους για ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα έχει ως εξής:

Φ/Β πλαίσια	50-70%
Σύστημα συσσωρευτών	15-25%
Αντιστροφείς-Μετατροπείς	10-15%
Υποδομή στήριξης	10-15%
Σχεδιασμός εγκατάσταση	8-12%

Η διάρκεια ζωής των Φ/Β πλαισίων μπορεί να φτάσει τα 20 χρόνια, χωρίς ιδιαίτερη συντήρηση. Οι συσσωρευτές όπως φαίνεται παραπάνω αντιπροσωπεύουν το 15-25% του κόστους αρχικής επένδυσης του Φ/Β συστήματος, ενώ προβλέπεται αντικατάστασή τους 3-5 φορές στα 20 χρόνια ζωής του όλου συστήματος. Το κόστος των συσκευών ελέγχου και μετατροπής ισχύος αντιπροσωπεύει το 10 με 15% του συνολικού κόστους. Η κατασκευή προβλέπεται να έχει θετικές επιπτώσεις στο συνολικό κόστος ενός Φ/Β συστήματος (Πρωτογερόπουλος Χ. et al 2001).

Στην Ελλάδα, το κόστος των αυτόνομων Φ/Β συστημάτων συμπεριλαμβανομένου του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και των εξόδων εγκατάστασης, είναι της τάξεως των 8.200 με 9.400 ευρώ ανά kW_p (συμπερ/νου Φ.Π.Α.). Το κόστος διασυνδεδεμένων με το δίκτυο Φ/Β συστημάτων, είναι της τάξεως των 7.350 ευρώ ανά kW_p. Πρόσφατες εκτιμήσεις σχετικά με το κόστος παραγόμενης ενέργειας από τα Φ/Β ανέρχεται στα 0.44 ευρώ/ kWh για διασυνδεδεμένο σύστημα και στα 0.65 ευρώ/ kWh για αυτόνομο σύστημα, για συστήματα μεγέθους μερικών kW_p. Όσον αφορά, το πρόβλημα της ηλεκτροδότησης στα περισσότερα νησιά του Ελλαδικού χώρου είναι έντονο, το κόστος ηλεκτροπαραγωγής κατά τις ώρες αιχμής είναι δύο και τρεις φορές μεγαλύτερο από το μέσο κόστος. Αυτό δείχνει ότι η χρήση Φ/Β συστημάτων στα νησιά πιθανόν να αποτελέσει ανταγωνιστική πρόταση στο μέλλον και πιθανόν την πλέον συμφέρουσα λύση σε περιπτώσεις ενίσχυσης του τοπικού δικτύου της ΔΕΗ (Πρωτογερόπουλος Χ. et al 2001).

3.9 Η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην απόδοση των Φ/Β συσκευών

Για να λειτουργήσουν φωτοβολταϊκές συσκευές επιτυχώς κατά τη διάρκεια μιας αναμενόμενης διάρκειας ζωής 30 ετών, απαιτείται έρευνα σε όλες τις πτυχές αυτών των συσκευών. Οι εκτιμήσεις ισχύος των Φ/Β συσκευών δεν δίνουν συνήθως μια ακριβή ένδειξη της υπαίθριας απόδοσής τους. Τα αποτελέσματα ερευνών, επίσης, έδειξαν ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες θα μπορούσαν να προκαλέσουν μέχρι και μείωση 18% της πιθανής ισχύς των υπομονάδων. Η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία είναι οι δύο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φ/Β συσκευών. Άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως ο αέρας, η βροχή, η κάλυψη σύννεφων και η διανομή του ηλιακού

φάσματος, με τον ένα τρόπο ή με τον άλλο, επηρεάζουν τη θερμοκρασία στην οποία οι συσκευές λειτουργούν ή την επικείμενη ηλιακή ακτινοβολία των συσκευών.

➤ **Η θερμοκρασία**

Οι Φ/Β υπομονάδων λειτουργούν συνήθως σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C, σε περίπτωση που θα λειτουργούσαν σε θερμοκρασίες πάνω από την ενδεικτική τιμή τότε μπορεί να χανόταν περισσότερο από το 14% της δυναμικής της παραγωγικής τους ενέργειας. Χαρακτηριστικά, η ονομαστική λειτουργική θερμοκρασία των κυττάρων (nominal operating cell temperature-NOCT) μιας μονής κρυσταλλικής υπομονάδας πυριτίου υπερβαίνει τους 40°C. Η ονομαστική λειτουργική θερμοκρασία των κυττάρων καθορίζεται ως κακή θερμοκρασία επιφανειών επαφής ηλιακών κυττάρων στο πρότυπο περιβάλλον αναφοράς (standard reference environment-SRE).

➤ **Ηλιακή ακτινοβολία**

Η επιρροή της ηλιακής ακτινοβολίας διαφέρει για τις διάφορες παραμέτρους εξόδου. Η επίδραση μπορεί να εξηγηθεί καλύτερα λαμβάνοντας υπ' όψιν την διαφορά του ρεύματος και της ηλεκτρικής τάσης που δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Παρατηρείται, μια γραμμική αύξηση στο ρεύμα που οφείλεται στην αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρονίων (λόγω της αυξανόμενης ροής των φωτονίων) (E.E. van Dyk et al 25 2002).

Η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά στην αποτελεσματικότητα των ηλιακών κυττάρων και πιο συγκεκριμένα στα κρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα, όπου συμβαίνουν τα εξής:

- Αύξηση της ταλάντωσης της κρυσταλλικής δομής, με αποτέλεσμα το ηλεκτροφωτόνιο να διασκορπιστεί,
- Μείωση της φόρτισης της κινητικότητας του φορέα,
- Μείωση στην ένωση p-n της ενσωματωμένης τάσης και της ικανότητας της ένωσης να διαχωρίσει τα ηλεκτρόνια από τις οπές στα ζευγάρια των παράγωγων φωτονίων (E. Radziemska 28 2003).

3.10 Η επίδραση των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον σε τρεις φάσεις:

1. κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής τους,
2. κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους και
3. ως αποτέλεσμα της ανάρμοστης διάθεσης των σπασμένων ή ξεπερασμένων υπομονάδων.

Η επεξεργασία κατασκευής των περισσότερων Φ/Β υπομονάδων απαιτεί τη χρήση μερικών τοξικών υλικών, και τα κατάλληλα Φ/Β συστήματα και οι διαδικασίες πρέπει να καθιερώνονται για να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο για τους υπαλλήλους. Στην επεξεργασία α-Si/a-SiGe διαδοχικών υπομονάδων, τα BP Solar χρησιμοποιούν τοξικά αέρια. Το αέριο

υλικό πρόσμιξης για τα θετικά-στρώματα είναι λιγότερο τοξικό. Εάν υπάρξει διαρροή στις γραμμές αερίου, τότε θα αναφλεχθεί, και το αέριο υλικό πρόσμιξης θα οξειδωθεί. Όλα τα αέρια εξάτμισης περνούν μέσω ενός κιβωτίου και η σκόνη συλλέγεται σε ένα χώρο διάθεσης. Η σκόνη αποτελείται κυρίως από το διοξείδιο πυριτίων που λιώνεται με τα μικρά ποσά οξειδίων του γερμανίου, του βορίου και του φωσφόρου. Η διαδικασία που χρησιμοποιείται από την BP Solar για την κατασκευή των υπομονάδων α-Si δεν χρησιμοποιεί οποιοδήποτε διαλύτη, οξέα ή άλλες υγρές χημικές ουσίες (εκτός από τα απορρυπαντικά στο νερό για τον καθαρισμό των υποστρωμάτων). Δεδομένου ότι όλες υπομονάδες διαμορφώνονται και αλληλοσυνδέονται, εκτελούνται χρησιμοποιώντας τα λέιζερ, δεν υπάρχουν επιβλαβές προϊόντα αποβλήτων ή εκροές που παράγονται στην κατασκευαστική διαδικασία. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι Φ/Β υπομονάδες α-Si δεν περιέχουν οποιαδήποτε τοξικά υλικά, δεν υπάρχει κανένας περιβαλλοντικός κίνδυνος που συνδέεται με τη θραύση υπομονάδων, φωτιές ή τη μακροπρόθεσμη διάθεση σε επιχωματώσεις σκουπιδιών (D.E. Carlson 78 2003).

3.11 Ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα

Οι μέχρι σήμερα ειδικές δράσεις Εθνικών Φορέων δεν αφορούν την ανάπτυξη και προώθηση των Φ/Β συστημάτων. Τα προγράμματα και τα διάφορα μέτρα που υπάρχουν αφορούν συνολικά τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), πολλές φορές σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας και την χρήση φυσικού αερίου. Από αυτά προωθούνται έμμεσα οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η παγκόσμια αναγνώριση ότι οι δραστηριότητες του ανθρώπου προκαλούν κλιματικές αλλαγές, επιβάλλουν την μείωση των εκπομπών των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αλλά και άλλων αερίων παρουσιάζουν αισθητή αύξηση τα τελευταία χρόνια. Το 2000, μετρήθηκαν συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) 107.6Mtons, εκ των οποίων το 89% προέρχεται από ενεργειακές χρήσεις. Με βάση πάντα το 1990, ως έτος αρχικών μετρήσεων παρατηρείται και μια σταδιακή αύξηση των αέριων ρύπων και ιδιαίτερα του CO_2 κατά 23.4%. Βασική αιτία αυτής της μεταβολής είναι η αύξηση των εκπομπών από τις δραστηριότητες του ενεργειακού τομέα (ΚΑΠΕ).

Η στρατηγική που προωθείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και αντιμετωπίζεται θετικά από όλες τις κυβερνήσεις μέλη προβλέπει μείωση μέχρι 15% των εκπομπών του Διοξειδίου του Άνθρακα CO_2 το 2010 από τα επίπεδα του 1990. Το υπουργείο ανάπτυξης για να προωθήσει επενδύσεις που αφορούν εξοικονόμηση ενέργειας, συμπαραγωγή ηλεκτρισμού/θερμότητας/ ψύξης, ώστε να υποκατασταθούν οι συμβατικές μορφές ενέργειας και να αναπτυχθούν οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, με σκοπό την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, δημιούργησε κάποια προγράμματα που εντάσσονται στο Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο

Στήριξης όπως το ΕΠΑν (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα 'ΑΝταγωνιστικότητα'), που λειτουργεί εδώ και δύο χρόνια. Το πρόγραμμα αυτό δίνει ένα πολύ υψηλό ποσοστό επιχορήγησης σε τέτοιες επενδύσεις που αγγίζει το 30%-50%. Το πρόγραμμα αυτό συγχρηματοδοτείται από το Ταμείο Ευρωπαϊκής Ανάπτυξης, το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο, το Ελληνικό Δημόσιο και Ελληνικές Ιδιωτικές Επιχειρήσεις. Ουσιαστικά χρηματοδοτείται κατά 30% από κοινοτικούς πόρους, 20% από εθνικούς δημόσιους πόρους και 50% από ιδιωτικούς πόρους,

Με την βοήθεια αυτών των επιδοτήσεων μπορούν να πραγματοποιηθούν τέτοιες εγκαταστάσεις χωρίς υπερβολικό κόστος και να βελτιωθούν οι περιοχές που βάλλονται από ρυπογόνα αέρια που υποβαθμίζουν τον περιβάλλοντα χώρο.

3.12 Περιβαλλοντικά οφέλη

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και άλλων αερίων παρουσιάζουν αισθητή αύξηση τα τελευταία χρόνια. Το 2000, μετρήθηκαν συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) 107.6Mtons, εκ των οποίων το 89% προέρχεται από ενεργειακές χρήσεις. Με βάση το 1990, ως έτος αρχικών μετρήσεων παρατηρείται σταδιακή αύξηση των αερίων ρύπων και ιδιαίτερα του CO₂ κατά 23.4%. Βασική αιτία αυτής της μεταβολής είναι η αύξηση των εκπομπών από τις δραστηριότητες του ενεργειακού τομέα (ΚΑΠΕ). Με τη χρήση ηλιακών ενεργητικών συλλεκτών με στόχο την αντικατάσταση του ηλεκτρικού ρεύματος θα έχουμε τα εξής περιβαλλοντικά οφέλη:

- ✓ Εξοικονόμηση καυσίμων που ισοδυναμεί με 50-70kg πετρελαίου ανά m² ηλιακού συλλέκτη ανά έτος,
- ✓ Μείωση εκπομπών CO₂ άνω των 750kg/m² ηλιακού συλλέκτη ανά έτος (όταν υποκαθιστούμε ηλεκτρικό ρεύμα),
- ✓ Μείωση εκπομπών CO₂ άνω των 250kg/m² ηλιακού συλλέκτη ανά έτος (όταν υποκαθιστούμε πετρέλαιο).

Τα περιβαλλοντικά οφέλη που θα προκύψουν με την χρήση των ηλιακών συλλεκτών είναι πολύ σημαντικά, γι 'αυτό μια εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων θα πρέπει πριν απορριφθεί λόγω υψηλού κόστους να μελετηθεί, διότι μπορεί να δώσει λύσεις στα περιβαλλοντικά προβλήματα της εποχής μας, την εξάντληση των συμβατών καυσίμων και την ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα.

3.13 Εφαρμογές στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, μπορεί να μην έχουν εγκατασταθεί ακόμα μεγάλες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, αλλά στον κλάδο των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων υπάρχει πολύ σημαντική πρόοδος. Υπάρχουν χαρακτηριστικές καινοτομικές εγκαταστάσεις, όπως, είναι το ηλιακό χωριό που είναι ένας οικισμός του Οργανισμού Εργατικής Κατοικίας που

κατασκευάστηκε το 1988 στην Πεύκη και αποτελεί τη μεγαλύτερη από τις πιλοτικές εφαρμογές μαζικής χρήσης ενεργητικών και άλλων ηλιακών συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί στην χώρα μας. Τα ηλιακά συστήματα που εγκαταστάθηκαν στο ηλιακό χωριό λειτουργούν εδώ και μια δεκαετία, εξοικονομώντας σημαντικά ποσά συμβατικών καυσίμων και εξασφαλίζοντας υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης στους χρήστες τους. Αποδεικνύεται έτσι εμπράκτως ότι είναι δυνατή η αποτελεσματική και ταυτόχρονα οικονομικά βιώσιμη χρήση των συστημάτων αυτών σε ευρεία κλίμακα στην Ελλάδα. Άλλες σημαντικές εμπορικές εφαρμογές ηλιακών συστημάτων βρίσκονται εγκαταστημένες σε ξενοδοχεία, σχολεία ή/ και νοσοκομεία και συμβάλλουν στην κάλυψη μεγάλου ποσοστού των ενεργειακών αναγκών τους (κυρίως για την παραγωγή ζεστού νερού). Μία τέτοια εγκατάσταση, 300 τετραγωνικών μέτρων επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, βρίσκεται σε λειτουργία στο στάδιο Ειρήνης και Φιλίας και καλύπτει τις ανάγκες του κόσμου που το χρησιμοποιεί για το ζεστό νερό (Κ.Α.Π.Ε.)

3.14 Εταιρίες παροχής Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα

Οι σημαντικότερες εταιρίες που παρέχουν Φ/Β συστήματα αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα είναι:

- Ο Όμιλος Γερμανού, μέσω της θυγατρικής του στα ενεργειακά ζητήματα Sunlight, γνωστή από τις μπαταρίες. Στην Ελλάδα αντιπροσωπεύει τη διεθνούς φήμης Ιταλική εταιρία κατασκευής και διανομής φωτοβολταϊκών συστημάτων Eurosolare¹.
- ΔΗΣΙΟΣ ΑΕΒΕ, αυτή η εταιρία αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες ελληνικές εταιρίες εισαγωγής φωτοβολταϊκών, αφού από τα μέσα της δεκαετίας του 80 αντιπροσωπεύει τον αμερικάνικο οίκο Solarex. Πέρα από την Solarex η ΔΗΣΙΟΣ ΑΕΒΕ συνεργάζεται με την FIAMM, Morning Star, Trace Engineering και SMA. Η εταιρία διαθέτει μια πλήρη γκάμα προϊόντων για την εγκατάσταση ενός ολοκληρωμένου Φ/Β συστήματος αφού παρέχει inverters, μπαταρίες, αλλά και ρυθμιστές τάσης.
- Η Energotech S.A. ιδρύθηκε το 1933, έχει μια δυναμική παρουσία στο χώρο των Α.Π.Ε. Η εταιρία, αυτή, ασχολείται με τις συσκευές εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τόσο σε επίπεδο κατασκευής και διανομής, όσο και σε επίπεδο έρευνας. Έτσι πέρα από Φ/Β συστήματα έχει αναπτύξει ανεμογεννήτριες και υδρογεννήτριες.
- Η Ηλιοδύναμη Επιστημονικές Συσκευές ΑΕ είναι μία από τις σημαντικότερες εταιρίες παροχής φωτοβολταϊκών συστημάτων στη χώρα μας.

¹ Η Eurosolare αποτελεί μία από τις ελάχιστες εταιρίες του πλανήτη που καλύπτει όλους τους κύκλους εργασίας για την παραγωγή ενός Φ/Β συστήματος. Η τροφοδοσία της Eurosolare γίνεται από τη διεθνούς φήμης πετρελαϊκή εταιρία Agip.

Δραστηριοποιήθηκε στη χώρα μας από το 1983 στους τομείς μελετών, κατασκευών και εμπορίας συστημάτων ήπιων μορφών ενέργειας. Εισάγει και διανέμει στην Ελλάδα τα Φ/Β συστήματα της παγκοσμίου φήμης ιαπωνικής Kyocera². Η εταιρία περικλείει τα Φ/Β της με μια πλήρη σειρά προϊόντων. Έτσι, διανέμει τους απαραίτητους inverters, τους απαραίτητους ρυθμιστές τάσης και τους συσσωρευτές VARTA, οι οποίοι είναι τύπου OPzS.

➤ Η Photovoltaic είναι μια σχετικά νέα εταιρία στη χώρα μας, αφού ιδρύθηκε μόλις το 1995. Παρόλα αυτά, παίζει σημαντικό ρόλο στην διακίνηση των Φ/Β της χώρας, αφού αντιπροσωπεύει το τμήμα φωτοβολταϊκών της διάσημης Siemens³. Έχει συμμετάσχει, εκτός των άλλων, σε προγράμματα που έχουν σχέση με την ηλεκτροδότηση απομονωμένων περιοχών και νησιών, σε συνεργασία με την ΔΕΗ, με την ηλεκτροδότηση των σταθμών ελέγχου του φυσικού αερίου ΔΕΠΑ κτλ. Η εταιρία εκτός από τα φωτοβολταϊκά διανέμει και τους απαραίτητους συσσωρευτές, ενώ έχει αναπτύξει και ειδικό λογισμικό που αφορά τη Φ/Β τεχνολογία.

➤ Τέλος έχουμε την ΤΗΛΕΠΑΝ Εμπορική-Τεχνική που είναι μία από τις μεγαλύτερες εταιρίες της χώρας μας στο χώρο των συσκευών περισυλλογής ενέργειας που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές (αφορά τόσο τα Φ/Β συστήματα όσο και τις αναμογενήτριες). Ασχολείται με τις ΑΠΕ εδώ και 22 χρόνια και παρέχει μια πλήρη γκάμα Φ/Β συστημάτων. Τα Φ/Β της εταιρίας, αυτής, χρησιμοποιούνται κυρίως σε σκάφη, τροχόσπιτα, σπίτια, σε αυτόνομα ηλιακά τηλέφωνα ανάγκης, καθώς και για τον αυτόματο φωτισμό των προβολέων που χρησιμοποιούνται στους δρόμους. Ο βασικός εξοπλισμός που διαθέτει η εταιρία είναι οι inverters, οι συσσωρευτές ενέργειας, αλλά και οι ελεγκτές φόρτισης για την προστασία των μπαταριών και του ηλεκτρικού δικτύου (Αργύρης Νομικός 413 2001).

Όλες, αυτές, οι εταιρίες που παρέχουν φωτοβολταϊκά συστήματα στη χώρα μας, χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη το πυρίτιο, το οποίο μπορεί να είναι είτε μονό-κρυσταλλικό, είτε πολύ-κρυσταλλικό, είτε άμορφο πυρίτιο. Η μόνη εταιρία που χρησιμοποιεί μόνο πολύ-κρυσταλλικό πυρίτιο είναι η Ηλιοδύναμη, και χαρακτηρίζεται από τον πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης, που ξεπερνά το 14%.

² Τα φωτοβολταϊκά της Kyocera πληρούν τόσο τις ιαπωνικές προδιαγραφές, όσο και τις αντίστοιχες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

³ Η Γερμανική Siemens Solar είναι ένας από τους πιο διάσημους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών του πλανήτη με πολύ μεγάλη αξιοπιστία, που σήμερα έχει μετονομαστεί σε Shell Solar.

3.15 Τι κάνει τα φωτοβολταϊκά συστήματα να ξεχωρίζουν!

Τα Φ/Β συστήματα πλεονεκτούν σε σχέση με τις άλλες πηγές ενέργειας και οι λόγοι που τα κάνουν να ξεχωρίζουν είναι οι εξής:

- Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε μικρή ή σε μεγάλη κλίμακα,
- Εύκολη εγκατάσταση ακόμα και μέσα σε πόλεις χωρίς να προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον,
- Δυνατότητα εγκατάστασης των συστημάτων και από τους ίδιους τους χρήστες,
- Συνδυάζονται και με άλλες πηγές ενέργειας(τα γνωστά υβριδικά συστήματα),
- Έχουν την δυνατότητα να επεκταθούν σε περίπτωση που αντιμετωπίζουν αυξημένες ανάγκες ενέργειας,
- Είναι αθόρυβα και το σημαντικότερο είναι ότι έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων,
- Δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις συντήρησης,
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής,
- Είναι αξιόπιστα,
- Ένα άλλο μεγάλο πλεονεκτήματα τους είναι η ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη, όπου και να βρίσκεται αυτός,
- Αποφεύγονται οι δυσμενείς συνέπειες από απότομες αυξήσεις των τιμών των καυσίμων

Το μόνο που τελικά εμποδίζει την επέκταση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων είναι το κόστος των Φ/Β πλαισίων, που μπορεί βέβαια να είναι πολύ υψηλό, αλλά σίγουρα δεν μιλάμε για ένα απαγορευτικό κόστος.

2^ο ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, θα υπολογίσουμε τις δυνατότητες εγκατάστασης φωτοβολταϊκών διατάξεων στα κτίρια του Ξενία. Για τον υπολογισμό αυτό, απαραίτητοι είναι οι υπολογισμοί, που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η επιφάνεια, στην οποία θα τοποθετηθεί η Φ/Β διάταξη. Για τις οριζόντιες επιφάνειες δεν υπάρχει δυσκολία, εκεί που χρειάζονται αρκετοί υπολογισμοί είναι στις κεκλιμένες επιφάνειες, αναλυτικότερα τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών θα τα δούμε στα παρακάτω υποκεφάλαια.

4.1 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Μυτιλήνης (σε οριζόντιο επίπεδο)

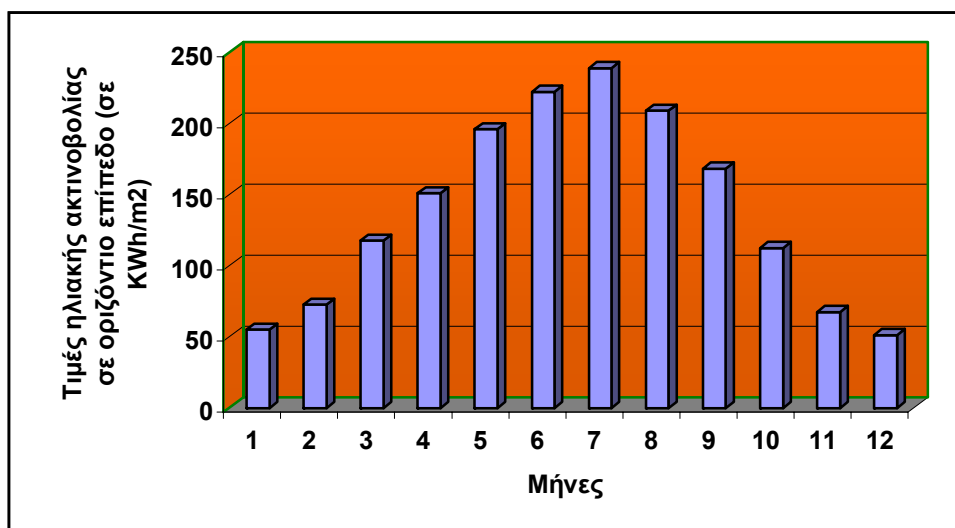
Αφού λοιπόν έχουμε κάνει μια πρώτη διερεύνηση για την τεχνολογία αυτών των συστημάτων, για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τις δυνατότητες εγκατάστασης Φ/Β διατάξεων θα πρέπει να υπολογίσουμε το ηλιακό δυναμικό της περιοχής καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Η ηλιακή ακτινοβολία για οριζόντια επίπεδα μας δίνεται βάση μετεωρολογικών πινάκων.

Πιο συγκεκριμένα, η διαθέσιμη ακτινοβολία για οριζόντιες επιφάνειες στην περιοχή της Μυτιλήνης δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

μήνας	Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο
1 Ιανουάριος	55,2
2 Φεβρουάριος	72,7
3 Μάρτιος	117,7
4 Απρίλιος	150,8
5 Μάιος	195,7
6 Ιούνιος	222,1
7 Ιούλιος	238,8
8 Αύγουστος	208,7
9 Σεπτέμβριος	168,2
10 Οκτώβριος	112,4
11 Νοέμβριος	67,4
12 Δεκέμβριος	51,3
Σύνολο	1661,2

Πίνακας 4.1 Πηγή: κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (μονάδες μέτρησης σε kWh/m²)

Για την καλύτερη κατανόηση της κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της Μυτιλήνης, ανά μήνα παίρνουμε το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.1 Η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο ανά μήνα

Η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ομοιόμορφη, κάτι αναμενόμενο αφού γνωρίζουμε ότι, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνεται τους θερινούς μήνες και μειώνεται τους χειμερινούς.

4.2 Η μέση ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο

Όσον αφορά τα κεκλιμένα επίπεδα η ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται με τη βοήθεια μια σειρά συναρτήσεων, που αναφέρονται στις διάφορες γωνίες των κεκλιμένων επιφανειών.

Ο υπολογισμός της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$H_t = R \cdot H, \text{ όπου}$$

R: ο συντελεστής μετατροπής και

H: η μέση μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Η μέση μηνιαία ακτινοβολία μας δίνεται από τον πίνακα 4.1, επομένως αυτό που απομένει να υπολογιστεί είναι ο συντελεστής μετατροπής που υπολογίζεται ως εξής:

$$R = (1 - H_d/H) \cdot R_b + H_d/H \cdot (1 + \cos s)/2 + r \cdot (1 - \cos s)/2, \text{ όπου}$$

H_d: η μέση μηνιαία έμμεση ακτινοβολία,

R_b: ο λόγος της μέσης μηνιαίας άμεσης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο προς αυτή σε οριζόντιο επίπεδο,

s: η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο,

r : ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους. Οι τιμές κυμαίνονται από 0,2 μέχρι 0,7 (η τιμή 0,7 ισχύει για κάλυψη εδάφους με χιόνι).

Ο λόγος H_d/H εκφράζεται σαν συνάρτηση του συντελεστή αιθριότητας K_τ , που είναι ο λόγος της ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο H , προς αυτή που θα έφτανε σε οριζόντιο επίπεδο αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα H_0 . Ισχύει επίσης: $H_d/H=1,27-1,45 \cdot K_\tau$.

Κάποιες μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας στις κεκλιμένες επιφάνειες των κτιρίων είναι εύκολο να υπολογιστούν με την βοήθεια των δεδομένων που έχουμε, οι τιμές των μεταβλητών δίνονται στον παρακάτω πίνακα :

μήνας	K_τ	r	H_d/H	$1-H_d/H$
1 Ιανουαρ.	0,4	0,5	0,69	0,31
2 Φεβρ.	0,44	0,5	0,632	0,368
3 Μαρτ.	0,48	0,4	0,574	0,426
4 Απρ.	0,53	0,3	0,5	0,5
5 Μάιος	0,59	0,2	0,4145	0,5855
6 Ιούνιος	0,6	0,2	0,4	0,6
7 Ιούλιος	0,61	0,2	0,385	0,615
8 Αύγουσ.	0,6	0,2	0,4	0,6
9 Σεπτ.	0,59	0,2	0,4145	0,5855
10 Οκτ.	0,53	0,2	0,5	0,5
11 Νοέμβ.	0,47	0,3	0,5885	0,4115
12 Δεκέμ.	0,41	0,4	0,675	0,325

Πίνακας 4.2 Μηνιαίες τιμές του K_τ , του r και του λόγου H_d/H

Το R_b για επιφάνειες που δεν είναι απόλυτα στραμμένες στο Νότο δίνεται σαν συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους ϕ , της κλίσης της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο $s=\beta$, την αζιμούθιο γωνία της κεκλιμένης επιφάνειας γ , η συνάρτηση είναι η εξής:

$$R_b = \frac{\begin{cases} (\cos\beta \cdot \sin\delta \cdot \sin\phi) \cdot (\omega_{ss} - \omega_{sr}) \cdot (\pi/180) \\ -(\sin\delta \cdot \cos\phi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma) \cdot (\omega_{ss} - \omega_{sr}) \cdot (\pi/180) \\ +(\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\beta) \cdot (\sin\omega_{ss} - \sin\omega_{sr}) \\ +(\cos\delta \cdot \cos\gamma \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta) \cdot (\sin\omega_{ss} - \sin\omega_{sr}) \\ -(\cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma) \cdot (\cos\omega_{ss} - \cos\omega_{sr}) \end{cases}}{2(\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + (\pi/180) \cdot \omega_s \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta)}$$

Όπου ω_{ss} , ω_{sr} οι ωριαίες γωνίες που ανατείλει και δύει ο ήλιος αντίστοιχα στο κεκλιμένο επίπεδο, και ω_s η ωριαία γωνία που δύει ο ήλιος σε οριζόντιο επίπεδο. $\Omega_s \delta$ δίνεται η ηλιακή

απόκλιση που ισούται με: $\delta=23,45*\sin\{(360*(284+n)/365)\}$, όπου n η ημέρα του έτους. Τα αποτελέσματα της ηλιακής απόκλισης για κάθε μήνα δίνονται παρακάτω:

μήνας	Ιαν.	Φεβρ.	Μαρτ.	Απρ.	Μάιος	Ιούν.	Ιούλ.	Αύγ.	Σεπτ.	Οκτ.	Νοέμ.	Δεκ.
δ σε °	-21,3	-14,27	-3,22	9,04	18,78	23,27	21,67	14,1	3,02	-9,23	-18,67	-23,4

Πίνακας 4.2.2 Αποτελέσματα ηλιακής απόκλισης δ για κάθε μήνα του έτους

Πρέπει να επισημάνουμε, επίσης, ότι οι υπολογισμοί των ωριαίων γωνιών όπου ανατέλλει και δύει ο ήλιος ως προς τις επιφάνειες, όπου θα τοποθετηθούν τα Φ/Β πλαίσια, όπως επίσης, και οι υπολογισμοί του R_b , του R και του H_t είναι πολύπλοκοι, για τον λόγο στη συνέχεια της εργασίας θα αναφερθούμε απ' ευθείας στα τελικά αποτελέσματα των μεταβλητών αυτών.

4.3 Γωνίες κεκλιμένων επιφανειών και το αζιμούθιο τους

Οι τέσσερις κατόψεις (της Γεωγραφίας, της Επιστήμης της Θάλασσας, της Φοιτητικής Λέσχης και της Κεντρικής Διοίκησης) μας δίνονται σε κλίμακα 1:100, ενώ η κάτοψη του Ξενία είναι σε κλίμακα 1:50. Πέρα από το κτίριο του Ξενία που διαθέτει μόνο επίπεδες επιφάνειες, τα άλλα κτίρια έχουν και κεκλιμένες επιφάνειες. Από τις κεκλιμένες επιφάνειες των κτιρίων αυτών θα εκμεταλλευτούμε μόνο αυτές που έχουν προσανατολισμό προς το Νότο, έτσι ώστε να έχουμε όσο το δυνατό καλύτερες αποδόσεις στις διατάξεις που θα εγκαταστήσουμε, αλλά και το μικρότερο δυνατό κόστος.

Τα σχέδια των κατόψεων βρίσκονται στο παράρτημα της εργασίας, ώστε να μας βοηθήσουν στην καλύτερη αντίληψη των διαθέσιμων επιφανειών, ενώ ταυτοχρόνως μπορούμε να έχουμε και μια εικόνα για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για τον υπολογισμό του R_b , θα πρέπει, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω να έχουμε πληροφορίες για τις κλίσεις των κεκλιμένων επιφανειών ως προς το οριζόντιο επίπεδο, αλλά και ως προς τον Βορρά. Αυτές οι πληροφορίες δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Κτίρια	Κλίση σκεπής (νοτιοδυτικά) β_1	Κλίση σκεπής (νοτιοανατολικά) β_2	Αζιμούθιο (νοτιοδυτικά) γ_1	Αζιμούθιο (νοτιοανατολ.) γ_2
Γεωγραφίας	$17,47^0$ (μήκος σκεπής 7m)	$17,47^0$ (μήκος σκεπής 21m)	45^0	-45^0
Επιστημών της Θάλασσας	$19,36^0$ (μήκος σκεπής 35m)	$17,47^0$ (μήκος σκεπής 17,4m) $19,36^0$ (μήκος σκεπής 13,8m)	45^0	-45^0
Κεντρικής Διοίκησης	$16,80^0$ (μήκος σκεπής 27,7m)	$16,80^0$ (μήκος σκεπής 14,2m)	45^0	-45^0
Φοιτητικής Λέσχης	—————	$16,80^0$ (μήκος σκεπής 10,8m)	—————	-45^0
Το γεωγραφικό πλάτος παραμένει το ίδιο και είναι $\varphi=39,06^0$				

Πίνακας 4.3 Κλίσεις κεκλιμένων επιφανειών και το αζιμούθιο

4.4 Υπολογισμός του ηλιακού δυναμικού στα κτίρια του λόφου

Η τεχνολογία του φωτοβολταϊκού συστήματος που θα χρησιμοποιήσουμε για τα κτίρια του Ξενία θα είναι κρυσταλλικού πυριτίου. Η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος κυμαίνεται από 12 ως 15% και έχει διάρκεια ζωής 20-25 χρόνια. Πιο συγκεκριμένα, στη μελέτη θα χρησιμοποιήσουμε τεχνολογία μονό-κρυσταλλικού πυριτίου με απόδοση που φτάνει το 15%.

Αφού, λοιπόν, έχουμε καθορίσει την τεχνολογία που θα χρησιμοποιήσουμε, ο υπολογισμός του ηλιακού δυναμικού στα κτίρια του πανεπιστημίου θα γίνει με την βοήθεια της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας της περιοχής και του εμβαδού της επιφάνειας, όπου θα εγκατασταθούν τα Φ/Β πλαίσια. Για τις οριζόντιες επιφάνειες ο υπολογισμός είναι εύκολος, αρκεί να πάρουμε το γινόμενο της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας της περιοχής (που έχει βρεθεί στον πίνακα 4.1) και το εμβαδόν της επιφάνειας, όπου θα τοποθετήσουμε τις Φ/Β διατάξεις. Αντιθέτως, για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένες επιφάνειες, θα πρέπει κατ' αρχάς να πάρουμε πληροφορίες για τις γωνίες που ζητούνται στην συνάρτηση του R_b , δηλαδή για τις κλίσεις των κεκλιμένων επιφανειών ως προς το οριζόντιο επίπεδο β , αλλά και τη γωνία των κεκλιμένων επιφανειών ως προς το Βορρά γ και ύστερα αφού βρούμε και τα εμβαδά των κεκλιμένων επιφανειών μπορούμε να υπολογίσουμε το αντίστοιχο ηλιακό δυναμικό κατά τον ίδιο τρόπο.

4.4.1 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο Ξενία

Τα κτίριο Ξενία δεν διαθέτει κεκλιμένες επιφάνειες, το δυναμικό που μπορεί να μας δώσει η εγκατάσταση ενός Φ/Β συστήματος στο Ξενία για τον κάθε μήνα θα είναι:

μήνας	Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (σε KWh/m ²)	Εμβαδόν οριζόντιας επιφάνειας (σε m ²)	Ηλιακό δυναμικό επιφάνειας (σε KWh)
1	55,2	308,61	17035,27
2	72,7	308,61	22435,95
3	117,7	308,61	36323,4
4	150,8	308,61	46538,39
5	195,7	308,61	60394,98
6	222,1	308,61	68542,28
7	238,8	308,61	73696,07
8	208,7	308,61	64406,91
9	168,2	308,61	51908,2
10	112,4	308,61	34687,76
11	67,4	308,61	20800,31
12	51,3	308,61	15831,69

Πίνακας 4.4.1 Ηλιακό δυναμικό επιφάνειας Ξενία

Αντιθέτως με το κτίριο του Ξενία τα υπόλοιπα τέσσερα κτίρια διαθέτουν και κεκλιμένες επιφάνειες με νοτιοανατολικό και νοτιοδυτικό προσανατολισμό. Η ύπαρξη επιφανειών με διαφορετικές κλίσεις κάνει τον υπολογισμό του ηλιακού δυναμικού αυτών ακόμα πιο περίπλοκο.

4.4.2 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο της Γεωγραφίας

Το ηλιακό δυναμικό που προκύπτει για το κτίριο της Γεωγραφίας, που διαθέτει τρεις εκμεταλλεύσιμες επιφάνειες είναι:

Ηλιακό δυναμικό σε KWh				
μήνες	νοτιοδυτικής πλευράς	νοτιοανατολικής πλευράς	οριζόντιας επιφάνειας	Ολικό ηλιακό δυναμικό
1	2462,581	7427,729	13575,89	23466,2
2	3155,916	9527,378	17879,84	30563,13
3	4839,91	14552,63	28947,14	48339,68
4	5823,666	17298,32	37087,75	60209,74

5	7100,188	20630,83	48130,46	75861,48
6	7827,197	22382,42	54623,27	84832,89
7	8477,919	24361,35	58730,47	91569,74
8	7775,632	22833,33	51327,68	81936,64
9	6718,041	20086,39	41367,11	68171,54
10	4828,134	14577,7	27643,66	47049,49
11	3044,946	9202,032	16576,36	28823,33
12	2335,387	7041,258	12616,72	21993,37

Πίνακας 4.4.2 Ηλιακό δυναμικό κτιρίου Γεωγραφίας

4.4.3 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο της Κεντρικής Διοίκησης

Ομοίως, το κτίριο της Κεντρικής Διοίκησης διαθέτει τρεις επιφάνειες στις οποίες υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων και το συνολικό δυναμικό που μπορεί να μας δώσουν αυτές οι επιφάνειες δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Ηλιακό δυναμικό σε KWh				
μήνες	νοτιοδυτικής πλευράς	νοτιοανατολικής πλευράς	Οριζόντια επιφάνειας	Ολικό ηλιακό δυναμικό
1	9481,693	4887,831	16526,33	30895,85
2	12153,32	6270,53	21765,65	40189,51
3	18648,58	9582,211	35238,2	63469
4	22445,38	11389,8	45148,01	78983,2
5	27364,34	13572,97	58590,62	99527,93
6	30169,27	14714,55	66494,52	111378,3
7	32670,77	16017,18	71494,33	120182,3
8	29956,11	15022,51	62482,69	107461,3
9	25865,99	13214,31	50357,4	89437,7
10	18584,21	9589,912	33651,44	61825,55
11	11716,04	6051,576	20178,89	37946,51
12	8987,977	4631,522	15358,71	28978,21

Πίνακας 4.4.3 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο της Κεντρικής Διοίκησης

4.4.4 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο της Φοιτητικής Λέσχης

Το κτίριο της Φοιτητικής Λέσχης διαθέτει μόνο μία κεκλιμένη επιφάνεια στην οποία μπορούν να εγκατασταθούν Φ/Β πλαίσια και το δυναμικό των επιφανειών θα είναι:

Ηλιακό δυναμικό σε KWh			
μήνες	νοτιοδυτικής πλευράς	Οριζόντιας επιφάνειας	Ολικό ηλιακό δυναμικό

1	3622,226	6955,2	10577,43
2	4646,904	9160,2	13807,1
3	7101,092	14830,2	21931,29
4	8440,645	19000,8	27441,44
5	10058,52	24658,2	34716,72
6	10904,51	27984,6	38889,11
7	11869,86	30088,8	41958,66
8	11132,73	26296,2	37428,93
9	9792,733	21193,2	30985,93
10	7106,799	14162,4	21269,2
11	4484,643	8492,4	12977,04
12	3432,283	6463,8	9896,083

Πίνακας 4.4.4 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο της Φοιτητικής Λέσχης

4.4.5 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο Επιστήμη της Θάλασσας

Το κτίριο της Θάλασσας διαθέτει μεγάλη επιφάνεια που μπορεί να εκμεταλλευτεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των Φ/Β συστημάτων. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για το ηλιακό δυναμικό του κτιρίου είναι τα εξής:

Ηλιακό δυναμικό σε KWh					
μήνες	νοτιοδυτική πλευρά	νοτιοανατολική πλευρά 1	νοτιοανατολική πλευρά 2	οριζόντιας επιφάνειας	Ολικό ηλιακό δυναμικό
1	8615,959	2056,708	3411,62	27473,59	41557,88
2	11035,95	2638,092	4373,766	36183,52	54231,32
3	16897	4029,564	6671,893	58580,47	86178,93
4	20312,52	4789,835	7930,681	75054,67	108087,7
5	24762,91	5712,593	9478,331	97401,85	137355,7
6	27289,4	6197,602	10301,71	110541,4	154330,1
7	29574,85	6745,56	11210,45	118853,1	166384
8	27147,86	6322,456	10489,55	103872,1	147831,9
9	23497,07	5561,841	9229,714	83714,82	122003,4
10	16902,34	4036,507	6699,69	55942,6	83581,15
11	10672,15	2548,005	4233,427	33545,65	50999,24
12	8180,676	1949,696	3237,869	25532,52	38900,76

Πίνακας 4.4.4 Ηλιακό δυναμικό στο κτίριο Επιστημών της Θάλασσας

Τα αποτελέσματα του ηλιακού δυναμικού που υπολογίστηκαν παραπάνω αφορούν ένα Φ/Β σύστημα που θα απέδιδε την ενέργεια της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας με ένα ποσοστό απόδοσης 100%. Σύμφωνα, όμως, με την έρευνά μας οι Φ/Β γεννήτριες έχουν ένα ποσοστό απόδοσης περίπου 15%.

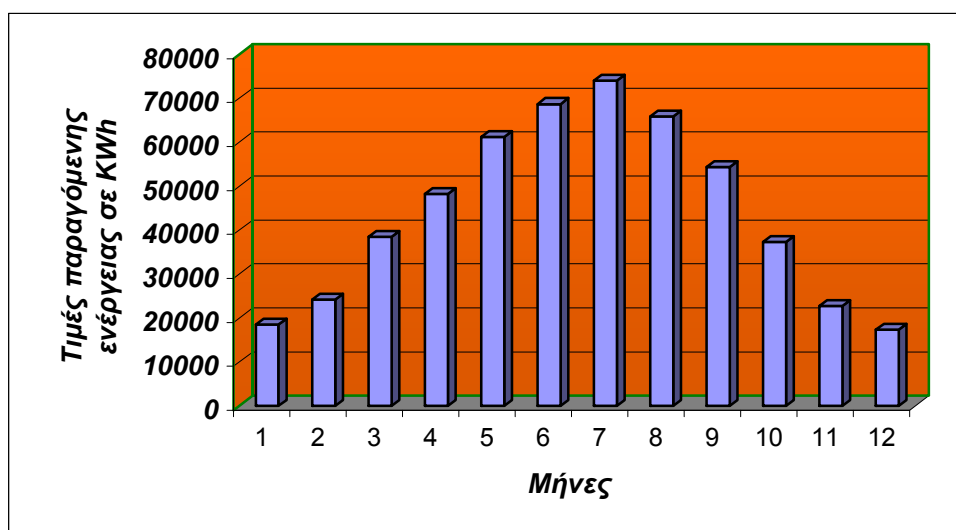
4.5 Η πραγματική απόδοση των Φ/Β διατάξεων

Η πραγματική ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να μας δώσει, επομένως, μια Φ/Β εγκατάσταση στην κτιριακή μονάδα του Ξενία με απόδοση 15%, θα είναι:

Παραγόμενο δυναμικό Φ/Β διατάξεων στα κτίρια του Ξενία (μονάδες μέτρησης KWh)						
μήνας	Ξενία	Γεωγραφίας	Κεντρικής Διοίκησης	Φοιτητικής Λέσχης	Επιστήμη της Θάλασσας	Ολικό Δυναμικό εγκατάστασης
1	2555,291	3519,93	4634,378	1586,614	6233,682	18529,89
2	3365,392	4584,47	6028,426	2071,066	8134,698	24184,05
3	5448,51	7250,951	9520,349	3289,694	12926,84	38436,34
4	6980,758	9031,461	11847,48	4116,217	16213,16	48189,07
5	9059,247	11379,22	14929,19	5207,508	20603,35	61178,52
6	10281,34	12724,93	16706,75	5833,367	23149,52	68695,91
7	11054,41	13735,46	18027,34	6293,799	24957,6	74068,61
8	9661,036	12290,5	16119,2	5614,34	22174,79	65859,86
9	7786,23	10225,73	13415,65	4647,89	18300,52	54376,02
10	5203,165	7057,424	9273,833	3190,38	12537,17	37261,97
11	3120,047	4323,5	5691,976	1946,556	7649,886	22731,97
12	2374,754	3299,005	4346,731	1484,412	5835,115	17340,02

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια του Ξενία με απόδοση Φ/Β συστήματος 15%

Στο γράφημα που ακολουθεί, μπορούμε να δούμε την κλιμάκωση της παραγόμενης ενέργειας που προκύπτει από την εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος. Παρατηρούμε, την μεγάλη διαφορά μεταξύ των χειμερινών και των θερινών μηνών και την σταδιακή αύξηση της παραγόμενης ενέργειας που κορυφώνεται τον έβδομο μήνα του έτους, δηλαδή τον Ιούλιο που είναι και ο μήνας με την μεγαλύτερη ηλιοφάνεια. Αυτή η αυξομείωση της ενέργειας που παρατηρείται από το σύστημά μας, σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι αναμενόμενη.



Διάγραμμα 4.5 Παραγόμενη ενέργεια Φ/Β συστήματος ανά μήνα

Πριν επιλέξουμε τα τεχνικά στοιχεία που ολοκληρώνουν μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση δηλαδή τις μπαταρίες τους εναλλάκτες και τους ελεγκτές του συστήματος, θα διερευνήσουμε τις ενεργειακές καταναλώσεις των κτιρίων για να δούμε αν τελικά η χρήση μπαταριών είναι απαραίτητη.

4.6 Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις των κτιρίων

Τα κτίρια του λόφου αποτελούν μια μεγάλη κτιριακή μονάδα που άρχισε να λειτουργεί στις αρχές του 2003, δηλαδή τον τελευταίο χρόνο. Το χρονικό διάστημα στο οποίο θα βασιστούμε για να υπολογίσουμε τις ενεργειακές καταναλώσεις των κτιρίων ξεκινά από την 1^η Ιανουαρίου του 2003 ως την 31 Δεκεμβρίου του 2003.

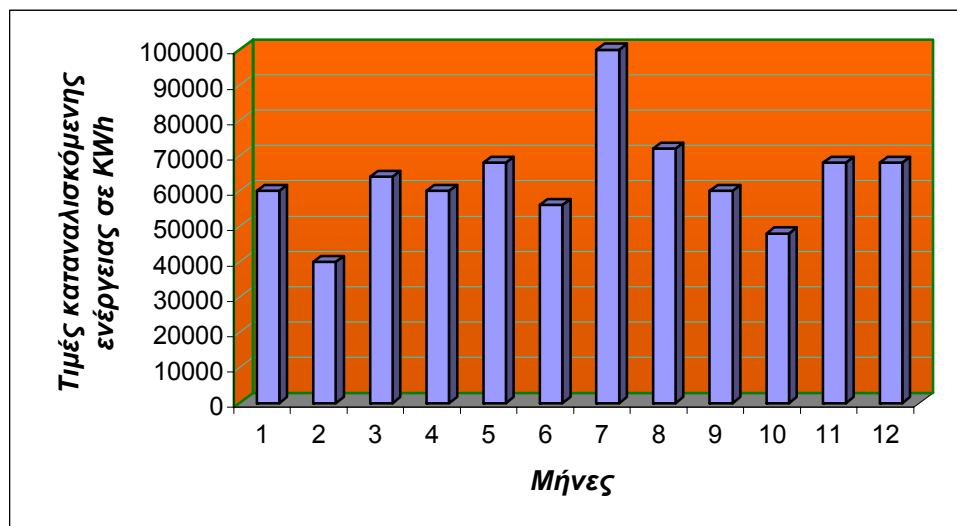
Οι ενεργειακές καταναλώσεις των κτιρίων σε ηλεκτρική ενέργεια είναι πολύ υψηλές, διότι υποστηρίζουν έναν ηλεκτρονικό εξοπλισμό, που αποτελείται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές, που λειτουργούν όλο το χρόνο, από ψυκτικά μηχανήματα, που λειτουργούν εντατικά, όπως είναι λογικό τους θερινούς μήνες του έτους, αλλά και από λάμπες που χρησιμοποιούνται τόσο στους κοινόχρηστους χώρους, όσο και στα γραφεία (κυρίως τους χειμερινούς μήνες).

Για τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας πήραμε τις μηνιαίες ενδείξεις από την Δημόσια επιχείρηση Ηλεκτρισμού, δηλαδή τις καταναλισκόμενες KWh για τον κάθε μήνα και στα πέντε κτίρια και είναι οι εξής:

μήνας	KWh	Καθαρή αξία ισχύος (σε ευρώ)	Φ.Π.Α	Διάφορα	Πληρωτέο ποσό σε ευρώ
1 Ιανουάριος	60000	4651,96	279,12	4645,65	9576,73
2 Φεβρουάριος	40000	3286,19	197,17	4633,65	8117,01
3 Μάρτιος	64000	5221,58	313,29	4648,05	10182,92
4 Απρίλιος	60000	4161,16	249,67	4645,65	9056,48
5 Μάιος	68000	5241,39	314,48	4650,45	10206,32
6 Ιούνιος	56000	7474,2	448,45	4643,25	12565,9
7 Ιούλιος	100000	10829,6	649,78	4669,65	16149,03
8 Αύγουστος	72000	9279,69	556,78	4652,85	14489,32
9 Σεπτέμβριος	60000	8481,76	508,91	4645,65	13636,32
10 Οκτώβριος	48000	5166,87	310,01	4638,45	10115,33
11 Νοέμβριος	68000	5396,64	323,8	4650,45	10370,89
12 Δεκέμβριος	68000	5268,06	316,08	4650,45	10234,59
Πληρωτέο ποσό ετησίως στη ΔΕΗ:					134700,84

Πίνακας 4.6 Καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια του πανεπιστημίου ανά μήνα

Με την βοήθεια των τιμών αυτών πήραμε το παρακάτω διάγραμμα που μας βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση της καταναλισκόμενης ενέργειας της κτιριακής μονάδας.



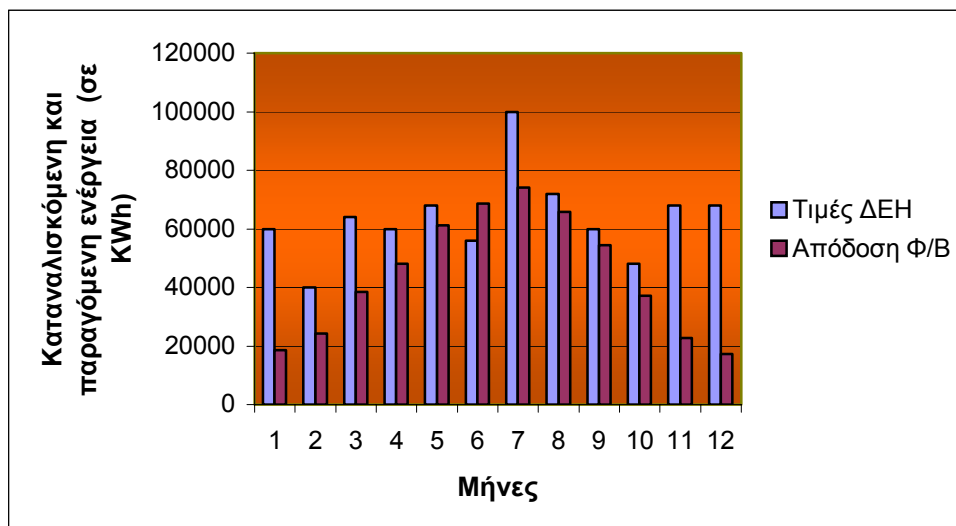
Διάγραμμα 4.6 Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μήνα

Οι καταναλώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες και αυτό διότι οι απαιτήσεις του κάθε μήνα διαφέρουν. Παρατηρούμε ότι, η μέγιστη κατανάλωση γίνεται τον Ιούλιο, και αυτό εξαιτίας της αυξημένης χρήσης των ψυκτικών μηχανημάτων. Επίσης, βλέπουμε ότι και τους χειμερινούς μήνες έχουμε υψηλές καταναλώσεις, αυτό οφείλεται στο ότι είναι μία περίοδος που γίνεται πλήρης χρήση των κτιρίων, οπότε και σημαντική χρήση υπολογιστών και φωτισμού μιας και πρόκειται για χειμερινή περίοδο (όπου έχουμε περιορισμένο φωτισμό).

4.7 Σύγκριση μεταξύ παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ενέργειας που παράγεται από την φωτοβολταϊκή διάταξη έχοντας απόδοση 15%, αλλά και σύμφωνα με τις μετρήσεις τις καταναλισκόμενης ενέργειας από τα κτίρια, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η παραγόμενη ενέργεια δεν επαρκεί για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων. Από τη στιγμή, λοιπόν, που δεν υπάρχει περίσσεια ενέργειας από τις Φ/Β γεννήτριες, το σύστημα που θα εγκαταστήσουμε θα είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, οπότε δεν θα είναι απαραίτητη η ύπαρξη συσσωρευτών ενέργειας και κατ' επέκταση ελεγκτών συστήματος. Το κόστος, επομένως, της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης θα μειωθεί σημαντικά, μιας και η τιμή μιας 24V, στα 700AH μπαταρίας αγγίζει τα €2500 και η απαίτηση του συστήματός μας για συσσώρευση ενέργειας είναι πολύ υψηλή.

Για την καλύτερη κατανόηση, λοιπόν, της παραγόμενης και της καταναλισκόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα κτίρια αντίστοιχα, βλέπουμε το διάγραμμα 4.6 που ακολουθεί:



Διάγραμμα 4.7 Η διαφορά της καταναλισκόμενης ενέργειας των κτιρίων με την παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β πλαίσια

4.8 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών εξαρτημάτων

Η φωτοβολταϊκή μας διάταξη σύμφωνα με τα παραπάνω θα αποτελείται μόνο από τα Φ/Β πλαίσια και από τους εναλλάκτες (μετατροπή DC ρεύματος που μας δίνει το σύστημα σε AC). Θα είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο, για να έχει πάντα την ενέργεια που χρειάζεται και το κόστος της θα είναι ανάλογο με την έκταση όπου θα εγκατασταθούν τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Η εταιρεία που αντιπροσωπεύει αποκλειστικά τα Φ/Β πλαίσια στην Ελλάδα είναι η Photovoltaic, και πιο συγκεκριμένα τα πλαίσια της Shell Solar (πρώην Siemens Solar). Τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου εμφανίζουν τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης σε ηλεκτρική ενέργεια και τη μεγαλύτερη διάρκεια εγγυημένης απόδοσης (25 έτη). Επίσης η Shell Solar χρησιμοποιεί την Τεχνολογία PowerMax®, που αυξάνει την ενεργειακή απόδοση ακόμη και σε συνθήκες μειωμένης ηλιοφάνειας, και η επιφάνεια των κυττάρων της συγκεκριμένης εταιρίας έχει πυραμιδική μορφή, η οποία πολλαπλασιάζει το βαθμό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Όσον αφορά τους εναλλάκτες που θα χρησιμοποιήσουμε εξαρτώνται από τον τύπο των Φ/Β πλαισίων που θα επιλέξουμε.

4.8.1 Κόστος φωτοβολταϊκού συστήματος

Το κόστος των Φ/Β πλαισίων που θα εγκατασταθούν στο κάθε κτίριο, θα υπολογιστούν βάση του εμβαδού που θα καλύψουν, ενώ το κόστος των μετατροπέων θα εξαρτηθεί από τον τύπο των Φ/Β πλαισίων που θα τοποθετήσουμε. Επιλέξαμε πλαίσια και εναλλάκτες των 24V, αναλυτικότερα, πήραμε πλαίσια της Shell και εναλλάκτες της Xantrex. Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι: Shell SP140, 140Watts, 24V για τα πλαίσια και DR3624, 3600Watts, 24V για τους εναλλάκτες, στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τον αριθμό των πλαισίων που χρειάζονται για να πάρουμε την ηλεκτρική ενέργεια που υπολογίσαμε και τον αριθμό των εναλλακτών που απαιτούνται για να στηρίξουν αυτή την εγκατάσταση. Όσον αφορά την τιμή, για το κάθε πλαίσιο είναι €680, ενώ για τον κάθε εναλλάκτη €999.

κτίρια	Ξενία	Γεωγραφίας	Κεντρική Διοίκηση	Φοιτητικής Λέσχης	Επιστήμη της Θάλασσας
Εμβαδόν	308,65m ²	404,7 m ²	531,39 m ²	184,3 m ²	722,01 m ²
Αριθμός πλαισίων	242	317	416	145	566
Αριθμός εναλλακτών	10	12	16	6	22
Κόστος πλαισίων	€164560	€215560	€282880	€98600	€384880
Κόστος εναλλακτών	€9990	€11988	€15984	€5994	€21978
Συνολικό κόστος	€174550	€227548	€298864	€104594	€406858

Πίνακας 4.8.1 Αριθμός και κόστος πλαισίων και εναλλακτών ενέργειας ανά κτίριο

Με την βοήθεια του πίνακα 4.7.1 μπορούμε να υπολογίσουμε το συνολικό κόστος του φωτοβολταϊκού συστήματος που θα εγκαταστήσουμε (Φ/Β πλαίσια και εναλλάκτες), το οποίο υπολογίζεται περίπου στα €1.212.414. Αυτή δεν είναι η ακριβής τιμή του συστήματος, διότι δεν έχει συνυπολογιστεί το κόστος των καλωδίων που είναι απαραίτητα για την μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας. Το κόστος των καλωδίων δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό συγκριτικά πάντα με το κόστος του Φ/Β συστήματος που θα εγκαταστήσουμε, και είναι περίπου (€18000). Επομένως το συνολικό κόστος ενός διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος με το δίκτυο, χωρίς σύστημα συσσωρευτών και υποδομή στήριξης θα είναι: **€1.230.414**.

Αναλυτικότερα, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλαισίων και των εναλλακτών θα είναι:

➤ Πλάισια Shell Solar

Product Code: SHE140-SP140
Weight: 34.00
Unit of Measure: EACH

Size: 63.76L 32.05W H

Brand: SHELL SOLAR

Model: SP140

Manufacturer: SHELL

Category: [100 WATTS & UP](#)

➤ Εναλλάκτες Xantrex

Χαρακτηριστικά:

Model	Watts	Volts	Weight
DR 3624	3600	24	49 lbs

- 3.600 Watt συνεχούς ισχύος
- ενσωματωμένος προγραμματίσιμος φορτιστής
- ισχύς εξόδου 240 VAC
- εγγύηση δύο ετών
- χαμηλή ισχύος αναζήτησης μετατροπή μεταφοράς τρόπου
- αυτόματη, γρήγορη εφεδρική υπερφόρτωση
- σύστημα προστασίας θερμοκρασίας ισχύος SPS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Μετά την πρώτη διερεύνηση της τεχνολογίας και του δυναμικού των φωτοβολταϊκών συστημάτων και αφού υπολογίσαμε το δυναμικό εγκατάστασης και την τεχνολογία που θα εγκαταστήσουμε στα κτίρια, όπως επίσης, και τις οικονομικές, ενεργειακές και περιβαλλοντικές απαιτήσεις τους, θα διεξάγουμε μια τεχνικοοικονομική συγκριτική ανάλυση μεταξύ των ανανεώσιμων (ηλιακή ενέργεια) και των συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο).

5.1 Σύγκριση κόστους συμβατικών και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση πετρελαίου συνοδεύεται από ένα μηνιαίο κόστος κατανάλωσης, αλλά και από την εκπομπή ρυπογόνων αερίων, κυρίως CO₂, λόγω καύσης. Αντιθέτως, με την χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν έχουμε καθόλου εκπομπές επικίνδυνων αερίων και το μόνο κόστος, είναι το κόστος εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος που είναι απαραίτητο για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Σύμφωνα με την έρευνά μας το κόστος για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος στα κτίρια του Ξενία, χρησιμοποιώντας μόνο Φ/Β πλαίσια και μετατροπείς ισχύος, είναι **€1.230.414**. Ενώ για τα συμβατικά καύσιμα το ετήσιο κόστος που έχει καταμετρηθεί για τα κτίρια αυτά από τον υποσταθμό της ΔΕΗ αγγίζει τα **134.700,84 ευρώ**. Για να αποσβεστεί το κόστος εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος αν το σύστημά μας ήταν αυτόνομο θα απαιτούνταν 8,6 χρόνια. Στην περίπτωση των κτιρίων του Ξενία το σύστημα είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο, διότι οι ενεργειακές τους ανάγκες δεν μπορούν να καλυφθούν εξ' ολοκλήρου από την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα το κόστος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης να χρειάζεται περισσότερο από 8,6 χρόνια για να αποσβεστεί.

5.2 Περιβαλλοντικά οφέλη φωτοβολταϊκής διάταξης

Με τη χρήση του Φ/Β συστήματος θα προκύψουν πολλά περιβαλλοντικά οφέλη, που θα αφορούν τόσο τη μείωση εκπομπών CO₂, όσο και την εξοικονόμηση καυσίμων πετρελαίου. Σύμφωνα με την έρευνά μας, οι ηλιακοί συλλέκτες θα καλύψουν συνολικά μια περιοχή 2.151m² μειώνοντας σημαντικά τις **εκπομπές CO₂** (όταν υποκαθιστούμε ηλεκτρικό ρεύμα) **κατά 1.613.250kg ανά έτος**. Ενώ θα **εξοικονομηθεί** και συμβατικό **καύσιμο πετρελαίου** περίπου **107.550-150.570Kg ανά έτος**. Τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την

εγκατάσταση της φωτοβολταϊκής διάταξης είναι πολύ σημαντικά για την ήδη επιβαρημένη ατμόσφαιρα της Μυτιλήνης, γι' αυτό μια τέτοια εγκατάσταση θα πρέπει να μελετηθεί προσεκτικά για την φιλικότητά της ως προς το περιβάλλον και να μην απορριφθεί αμέσως λόγω υψηλού κόστους εγκατάστασης.

5.3 Εξοικονόμηση ενέργειας

Ένας ακόμα τρόπος για να αποφευχθεί ο αφανισμός των ενεργειακών αποθεμάτων και για να προστατευτεί το περιβάλλον από τις εκπομπές είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλη πληροφόρηση δημιουργώντας έτσι περιβαλλοντική συνείδηση στους καταναλωτές, αλλά και με την βοήθεια κάποιων αυτοματισμών που μπορούν να εγκατασταθούν στα κτίρια με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Στα κτίρια του λόφου η βασική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται από τους λαμπτήρες που υπάρχουν στις αίθουσες διδασκαλίας, στους κοινόχρηστους χώρους αλλά και στα γραφεία. Από την χρήση των υπολογιστών που είναι σε λειτουργία τις περισσότερες ώρες της ημέρας, είτε στις αίθουσες διδασκαλίας, είτε στα γραφεία, αλλά και από τα ψυκτικά που λειτουργούν κυρίως τους θερινούς μήνες

Επειδή τα κτίρια είναι καινούρια έχει ήδη γίνει μια εγκατάσταση που εξοικονομεί σημαντικό ποσό ενέργειας και είναι η τοποθέτηση λαμπτήρων φθορίου που είναι 5 φορές πιο αποδοτικές από τις κοινές λάμπες, διότι μετατρέπουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια σε φως και λιγότερη σε θερμότητα. Επίσης τα κτίρια διαθέτουν μεγάλα ανοίγματα (παράθυρα-πόρτες) που εξασφαλίζουν άπλετο φως για τον χειμώνα, αλλά και φεγγίτες που βοηθούν στην πολύ σωστή διάχυση του φωτός στους κοινόχρηστους χώρους των κτιρίων⁴.

Για να έχουμε άμεσα αποτελέσματα θα πρέπει να αυτοματοποιήσουμε κάποιους μηχανισμούς και να μην στηριχτούμε στην καλή θέληση του κάθε ατόμου, διότι αυτή η κατεύθυνση μπορεί να μην είναι τόσο αποτελεσματική. Η μείωση της φωτορύπανσης και της καταναλισκόμενης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση αυτόματου φωτισμού που να αποτελείται από:

- χρονοδιακόπτες,
- ανιχνευτές κίνησης και
- φωτοκύτταρα στάθμης φωτισμού (μείωση φωτορύπανσης).

Αυτό θα εξοικονομούσε υψηλά ποσοστά ενέργειας φωτισμού που σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ημερίδας: 'Φωτισμός και εξοικονόμηση ενέργειας', που διεξήχθη στις 28 Νοεμβρίου από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη Θεσσαλονίκη, σε χώρους γραφείων αλλά και στις αίθουσες διδασκαλίας με τη χρήση τοπικών διακοπών,

⁴ Η ύπαρξη μεγάλων ανοιγμάτων δεν είναι πάντα επιθυμητή ειδικά σε χώρους όπου υπάρχουν ηλεκτρονικοί υπολογιστές

χρονοδιακοπών και αισθητήρων κίνησης θα εξοικονομούνταν ένα ποσοστό ενέργειας φωτισμού 40%. Ενώ στους κοινόχρηστους χώρους, θα είχαμε μία μείωση ενέργειας φωτισμού 35% (αν χρησιμοποιούνταν αισθητήρες κίνησης και χρονοδιακόπτες). Πολύ σημαντικά ποσοστά αν σκεφτούμε ότι το ποσοστό φωτισμού επί της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στα γραφεία και στις αίθουσες διδασκαλίας είναι περίπου το 30-50%.

5.4 Προτάσεις

Η ενεργειακή απαίτηση των κτιρίων στην περιοχή του Ξενία όπως είδαμε είναι πολύ υψηλή. Η προσπάθεια για εξοικονόμηση ενέργειας από την άλλη θα βοηθούσε σημαντικά στην αποδοτικότερη λειτουργία του Φ/Β συστήματος, αλλά θα απαιτούσε και ένα επιπλέον κόστος (λόγω της εγκατάστασης των αυτοματισμών). Μια ενδιαφέρουσα πρόταση για την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας θα ήταν μια επιπλέον εγκατάσταση φωτοβολταϊκών γεννητριών. Το μόνο πρόβλημα στην πρόταση αυτή είναι η μεγάλη απαίτηση έκτασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Στον υπαίθριο χώρο περιμετρικά του πανεπιστημίου υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης Φ/Β διατάξεων. Για να βοηθήσουν το ήδη υπάρχον σύστημα τα Φ/Β πλαίσια θα πρέπει να τοποθετηθούν έχοντας κλίση 45° , προσανατολισμό προς το Νότο και φυσικά μακριά από αντικείμενα που μπορούν να τα σκιάζουν, όπως δέντρα ή παρακείμενα κτίρια, κυρίως τις ώρες υψηλής ακτινοβολίας⁵.

Επειδή η περιοχή περιμετρικά του πανεπιστημίου μπορεί μελλοντικά να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση κάποιων άλλων κτιριακών εγκαταστάσεων, φωτοβολταϊκά πλαίσια θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε σκέπαστρα στην περιοχή στάθμευσης των αυτοκινήτων, λειτουργώντας ως υπόστεγα, αλλά και σαν μια μικρή γεννήτρια παραγωγής ενέργειας, βοηθώντας έτσι την υψηλή ενεργειακή απαίτηση των κτιρίων.

Όπως μπορούμε να δούμε το πραγματικό πρόβλημα πέρα από το κόστος των Φ/Β συστημάτων, που είναι πολύ υψηλό, είναι και η απαίτηση μεγάλων εκτάσεων που να μην σκιάζονται, έτσι ώστε τα Φ/Β πλαίσια να αποδίδουν το μέγιστο δυνατό των δυνατοτήτων τους.

5.5 Συμπεράσματα

Με τις σύγχρονες εξελίξεις της τεχνολογίας, η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων συνεχώς βελτιώνεται και το κόστος τους μειώνεται σημαντικά. Κατά την διάρκεια της υπηρεσιακής τους ζωής, δηλαδή στα 20-25 χρόνια, μπορούν να εξοικονομήσουν

⁵ έστω και μικρός σκιασμός των Φ/Β πλαισίων μπορεί να προκαλεί σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος

σημαντική ποσότητα συμβατικών καυσίμων και συγχρόνως να αποτρέψουν την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος στα κτίρια του Ξενία θα είναι τα εξής:

- ✓ Ανεπαρκή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων,
- ✓ Πολύ υψηλό κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος,
- ✓ Ύπαρξη δέντρων στην περιοχή που περιορίζουν σημαντικά την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων,
- ✓ Οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις (αεραγωγών, μετεωρολογικού σταθμού) στις οροφές των κτιρίων καθιστά αδύνατη την ολική εκμετάλλευσή τους,
- ✓ Σημαντική εξοικονόμηση ποσότητας συμβατικού καυσίμου,
- ✓ Σημαντική βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στην περιοχή της Μυτιλήνης

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και η αύξηση των αποδόσεων των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθιστά ικανή μια τέτοια εγκατάσταση στο άμεσο μέλλον. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, λοιπόν, προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες εναλλακτικής δράσης σε μια εποχή που τα περιβαλλοντικά προβλήματα εντείνονται και οι συμβατικές πηγές ενέργειας έχουν αρχίσει να εξαντλούνται.

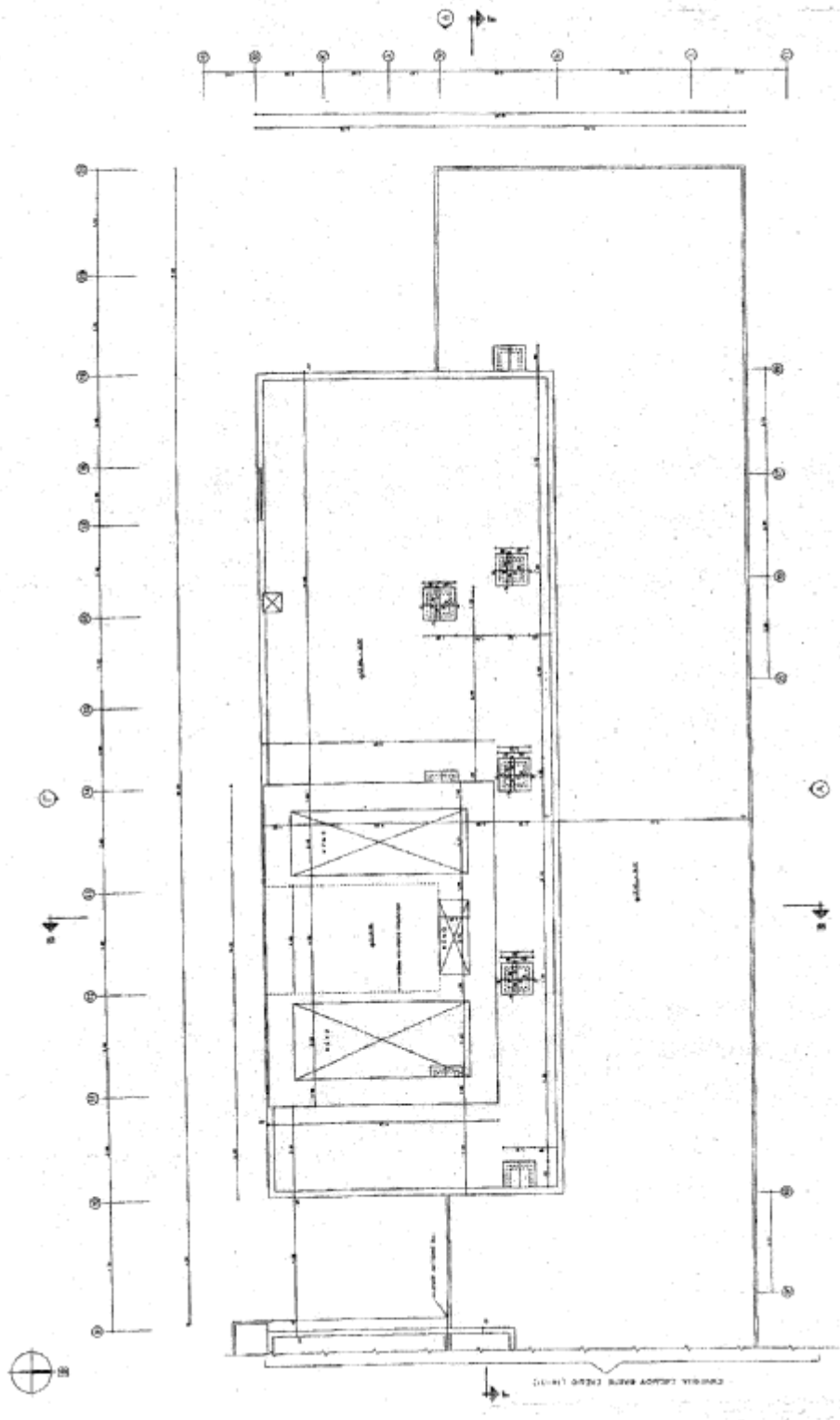
Βιβλιογραφία

- Δίας Χαραλαμπίδης, Βασίλης Π. Κονταράς, Νανά Παυλακέλλη 2001, Αειφόρος χρήση ενέργειας,
- Mark E. Hazen 1996, Alternative Energy,
- Simon Roberts 1991, Solar Electricity,
- S.M. Shaahid, M.A. Elhadidy, Prospects of autonomous/stand-alone hybrid (photo-voltaic + diesel +battery) power systems in commercial applications in hot regions, Renewable Energy vol. 29, pp. 165-177, 2003,
- Τμήμα Ενεργητικών Ηλιακών Συστημάτων του ΚΑΠΕ 1998, Creation of Visual Education Material in the Field of Renewable Energy Sources,
- Christopher Koroneos et al, Exergy analysis of renewable energy sources, Renewable Energy vol. 28, pp. 295-310, 2003,
- www.eere.energy.gov, US Department of Energy, Photovoltaics: Basic Design Principles and Components,
- Σ. Τσελέπης, Αύγουστος 2001, Τεχνική Επιθεώρηση τεύχος 112, Τεχνολογίες παραγωγής φωτοβολταϊκών γεννητριών κρυσταλλικού πυριτίου και λεπτών μεμβρανών και η τρέχουσα κατάσταση στην αγορά φωτοβολταϊκών,
- Φ. Κωτσιάνας, Δ. Χούντρας 1994, Συλλέκτες ηλιακής ενέργειας: Θεωρία κατασκευής συστήματος θέρμανσης,
- Α. Νομικός Μάιος 2001, Τεχνική εκλογή τεύχος 413, Ο οικολογικός δρόμος της ενέργειας,
- www.lior-int.com,
- Χ. Πρωτογερόπουλος, Σ. Τσελεπής, Α. Ζαχαρίου, (Μάρτιος 2001), 'Επιδεικτικό Έργο Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων σε Κτίριο του ΚΑΠΕ, συνολικής Ισχύος 5 kW_p,
- A.S. Bahaj, Meanw of enchancing and promoting the use of solar energy, Renewable Energy vol.27, pp. 97-105, 2002,
- D.E. Carlson, Monolithic amorphous silicon alloy solar modules, Solar Energy Materials and Solar Cells vol.78, pp. 627-645, 2003,
- A.Q. Malik, Salmi Jan Bin Haji Damit, Outdoor testing of single crystal silicon solar cells, Renewable Energy vol. 28, pp. 14433-14445, 2003,
- Κ. Καγκαράκης 1992, Φ/Β Τεχνολογία,
- Αργύρης Νομικός, Ο οικολογικός δρόμος της ενέργειας, Τεχνική εκλογή τεύχος 413, Μαΐος 2001,
- E.E. van Dyk, E.L. Meyer, F.J. Vorster, A.W.R.. Leitch, Long-term monitoring of photovoltaic devices, 2002

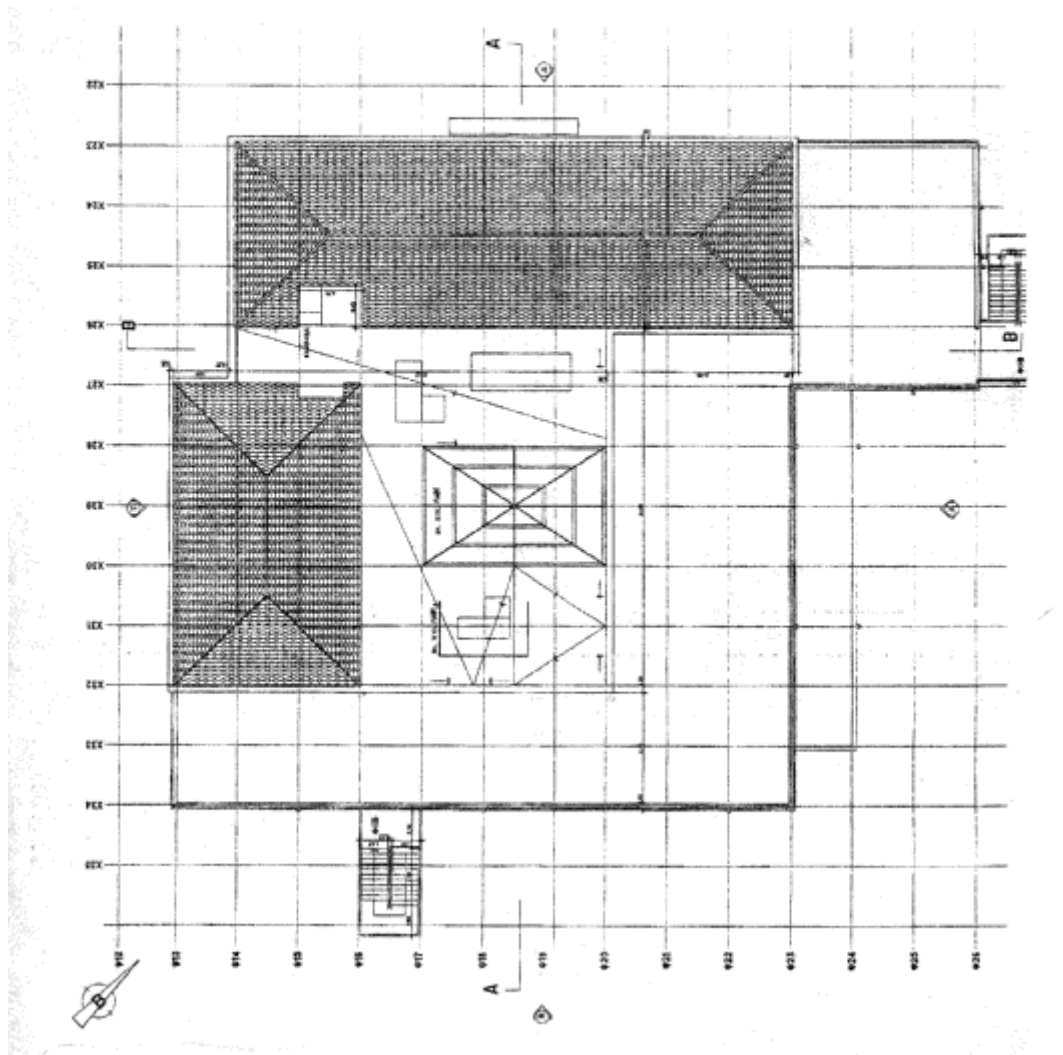
- Nalin K Ggautam and N.D. Kaushika, Reability evaluation of solar photovoltaic arrays, solar energy vol.72, No. 2, pp. 129-141, 2002,
- E. Radziemska, The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells, Renewable Energy vol.28, pp 1-12, 2003,
- C. Edwin Witt, Richard L. Mitchell, Holly P. Thomas, Martha Symko-Davies, Terrestrial photovoltaic technologies update, Renewable energy vol. 23, pp. 349-353, 2001

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

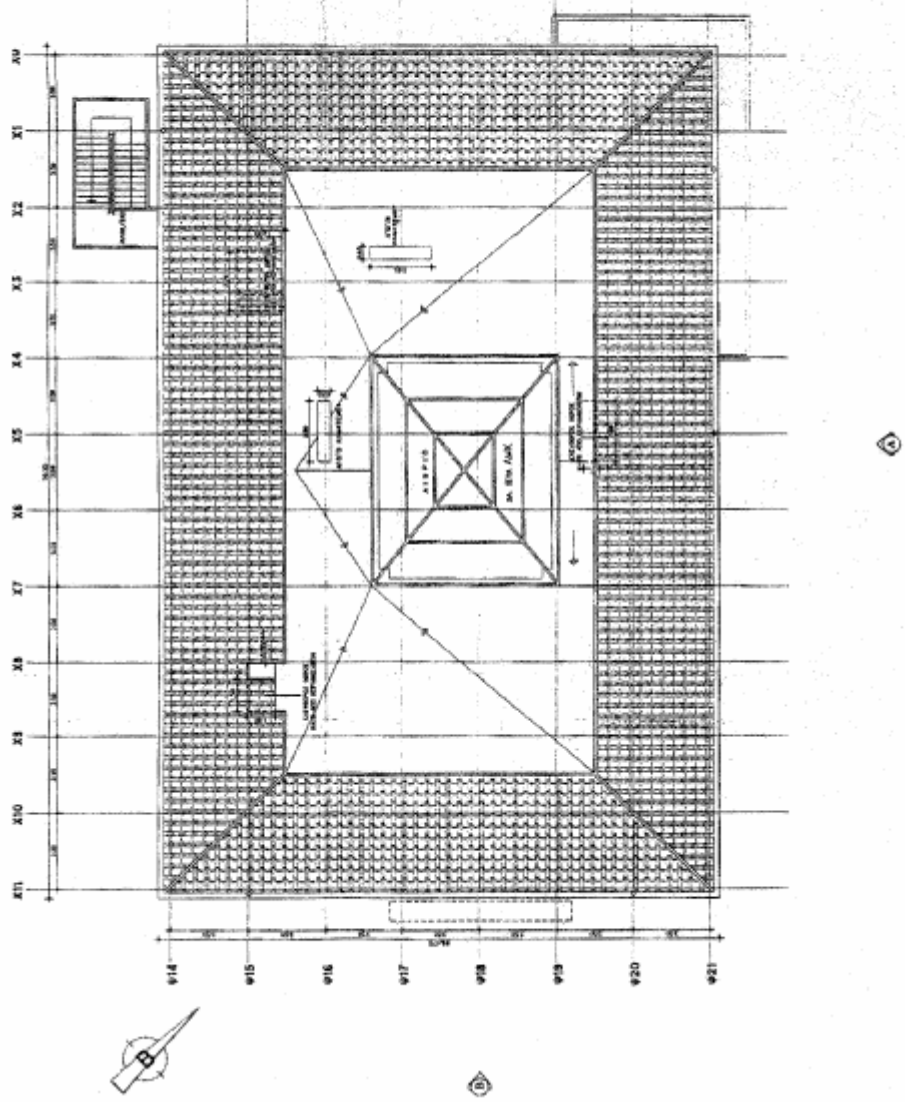
Evia

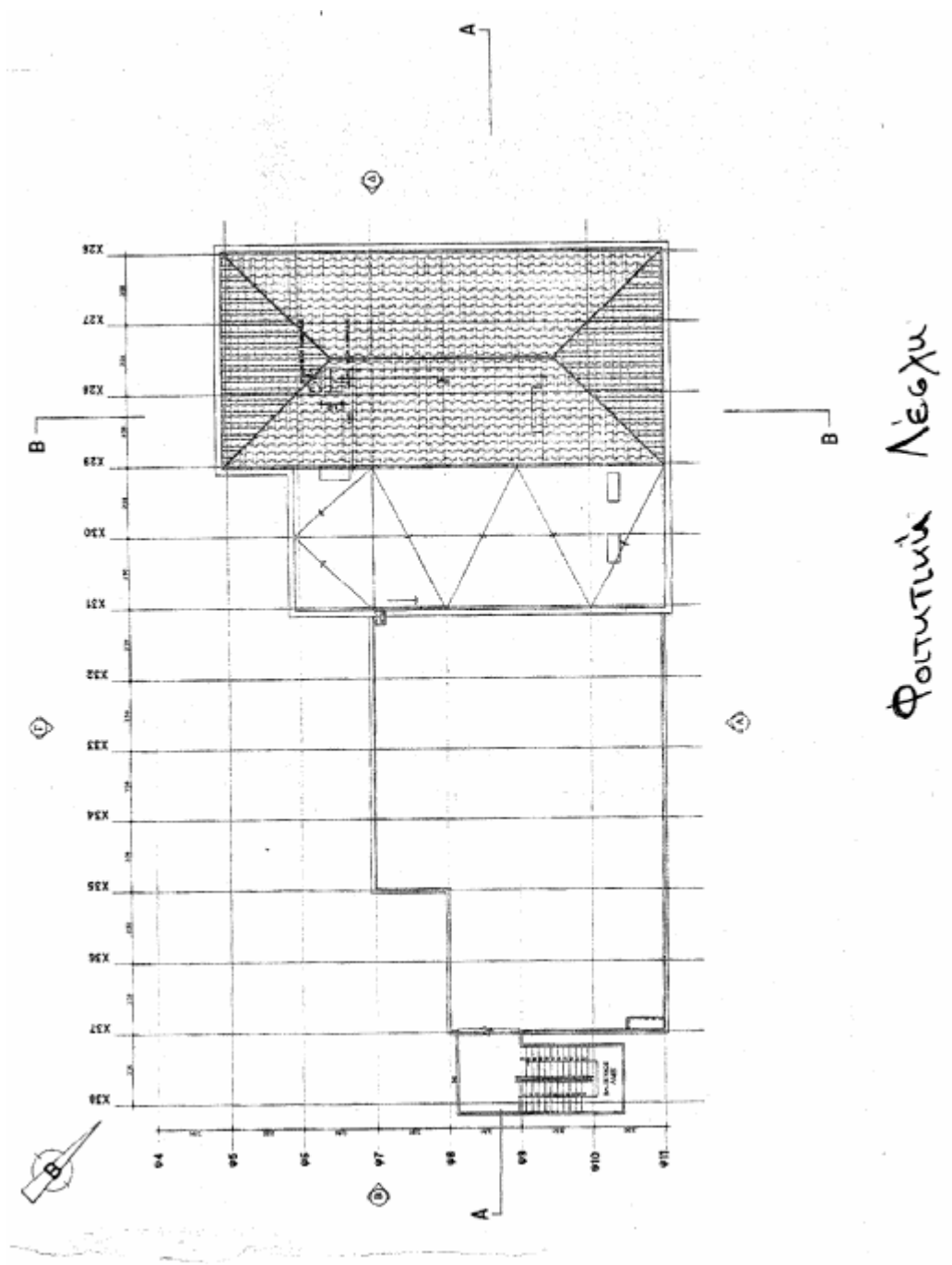


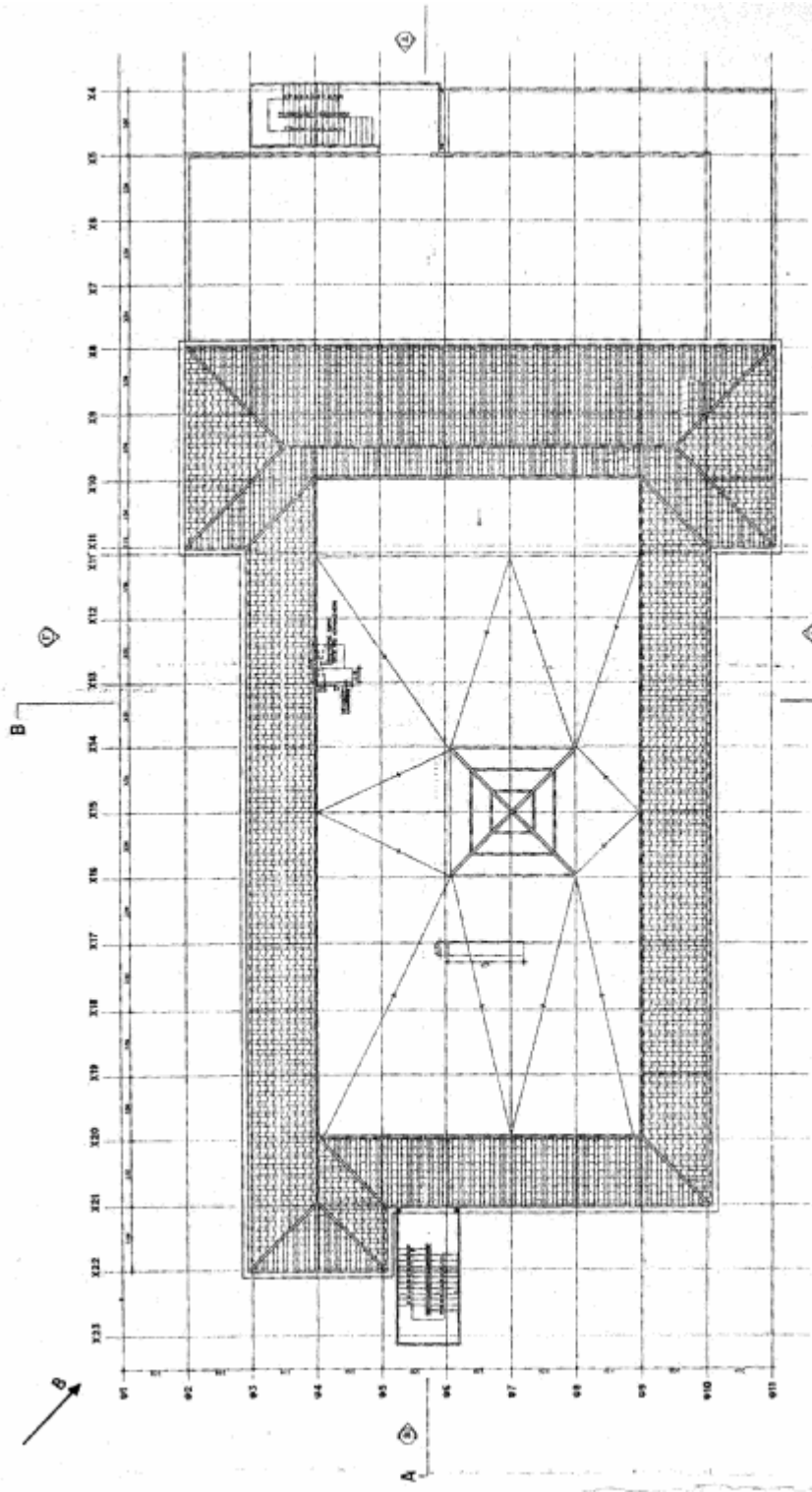
Γεωγραφία



Κεντρική Δοκίμα







Επιστήμη της Οδοποιίας