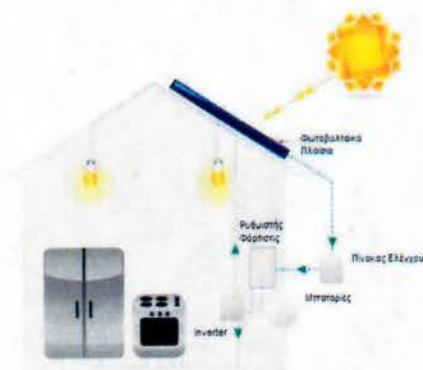




**ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ**  
**ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**



**ΝΙΚΟΛΑΟΣ Σ. ΔΡΑΓΑΝΗΣ**

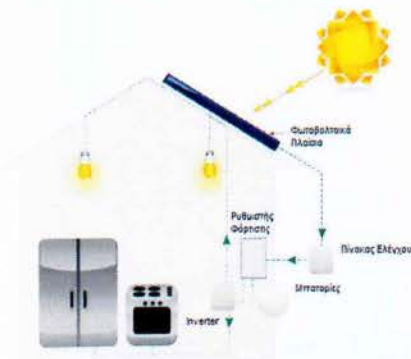
Επιβλέπων Καθηγητής: Καμινάρης Σταύρος

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2011



**ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ**  
**ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**



**ΝΙΚΟΛΑΟΣ Σ. ΔΡΑΓΑΝΗΣ**

Επιβλέπων Καθηγητής: Καμινάρης Σταύρος

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2011

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ. Σταύρο Καμινάρη για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια καθοδήγηση την οποία μου πρόσφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της Πτυχιακής μου εργασίας.

Επιπροσθέτως, ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου για τη συμπαράσταση και την υποστήριξη σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

**«ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»**

**Πίνακας περιεχομένων**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	4
1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	4
1.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ.....	5
2. Τη διαπραγμάτευση-εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών, .....	6
3. Το πρόγραμμα από κοινού, και.....	6
4. Το μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης. ....	6
1.3 Εξέλιξη Θεσμικού Πλαισίου στην Ελλάδα.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	8
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	8
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ .....	14
2.3 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ.....	14
2.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ .....	17
2.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ.....	18
□ Ρεύμα Βραχυκύκλωσης $I_{SC}$ .....	21
□ Τάση ανοιχτού κυκλώματος $V_{OC}$ .....	21
□ Σημείο Μέγιστης Ισχύος $P_{mp}$ .....	22
□ Συντελεστής Πλήρωσης FF .....	22
□ Ένταση Ακτινοβολίας .....	22
□ Θερμοκρασία .....	23
□ Ισχύς αιχμής $W_p$ ή $P_o$ .....	24
2.6 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ .....	25
2.7 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ .....	25
2.8 ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ .....	27
2.9 Η ΗΛΙΑΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΗΜΕΡΑ.....	30
2.10 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	40
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ .....	40
3.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ .....	40
3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ.....	40
3.2.1 Τύποι συσσωρευτών .....	42



3.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ .....	43
3.3.1	Χωρητικότητα .....	43
3.3.2	Εκφόρτιση και επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης .....	44
3.3.3	Αυτοεκφόρτιση .....	45
3.3.4	Φόρτιση.....	45
3.3.5	Συντελεστής φόρτισης και απόδοση ισχύος.....	45
3.4	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ .....	46
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	47
	ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....	47
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	47
4.2	ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ .....	48
4.2.1	ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ DC/AC .....	50
	□ Τύποι αντιστροφών .....	50
	□ ΜΕΘΟΔΟΣ PWM .....	51
	□ ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ .....	52
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	54
	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑ.....	54
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	54
5.2	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ-ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	55
5.2.1	Χρονική περίοδος.....	55
5.2.2	Ηλεκτρικές Καταναλώσεις .....	56
5.2.3	Η ηλιακή ενέργεια.....	58
5.2.4	Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια .....	61
5.2.4.1	Κλίση των συλλεκτών .....	61
5.2.4.2	Η απαιτούμενη ισχύς αιχμής .....	61
5.2.4.3	Το πλήθος και η οργάνωση των φ/β πλαισίων.....	63
5.2.5	Οι συσσωρευτές .....	65
5.2.6	Ρυθμιστής Φόρτισης .....	67
5.2.7	Inverter.....	69
5.3	Επιλογή Βοηθητικής Πηγής.....	70
5.4	Έκταση Φ/Β Εγκατάστασης.....	71
5.5	Κόστος συστήματος και Οδηγίες Λειτουργίας και Συντήρησης .....	74
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	75
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	75
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	78

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη λειτουργίας ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Στο πλαίσιο αυτό θα αναλυθεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και πως το εκμεταλλευόμαστε για να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης θα εξηγηθεί η λειτουργία των ηλεκτρικών συσσωρευτών ως μέσο αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα. Τέλος θα περιγραφούν ένα προς ένα όλοι οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς που είναι υπεύθυνοι για την προσαρμογή και μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα στο φορτίο, και θα αναλυθεί η λειτουργία τους και ο έλεγχος τους.

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με μια από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την ηλιακή. Άμεσα **η ηλιακή ενέργεια** μπορεί να μετατραπεί είτε σε **θερμική** με τους ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες είτε **σε ηλεκτρική** με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα οποία θα μας απασχολήσουν εκτενέστερα. Η θερμική ενέργεια δε μπορεί να μεταφερθεί χωρίς απώλειες σε μεγάλες αποστάσεις σε αντίθεση με την ηλεκτρική ενέργεια. Μπορεί να μεταφέρεται εύκολα με σχετικά μικρές απώλειες, μπορεί να μετατρέπεται σε άλλες μορφές αλλά και να αποθηκεύεται σε κάποιες μονάδες με ικανοποιητική απόδοση. Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών.

Κάθε ώρα ο πλανήτης λαμβάνει από τον ήλιο ενέργεια της τάξης των 150 με 200 δισεκατομμύρια MW. Βέβαια στην επιφάνεια δεν φτάνει όλη αυτή η ποσότητα καθώς ένα ποσοστό ανακλάται από την ατμόσφαιρα, τα σύννεφα, τους ωκεανούς, το έδαφος ή και απορροφάται για να θερμάνει την επιφάνεια της γης . Έστω πάντως ότι η ωφέλιμη ενέργεια είναι το 1/5 αυτής που φθάνει στα όρια της ατμόσφαιρας αρκεί και με το παραπάνω για να καλύψει τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ενέργεια, τουλάχιστον με τα σημερινά δεδομένα κατανάλωσης. Βέβαια ο άνθρωπος εννοείται πως είναι αδύνατον και πάλι να εκμεταλλευτεί με τέτοιο τρόπο την ηλιακή ενέργεια, ώστε να εξαρτάται αποκλειστικά από αυτή, καθώς κάτι τέτοιο θα απαιτούσε την κάλυψη τεράστιων εκτάσεων γης με ηλιακά στοιχεία.



Η ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε) και κυρίως της αιολικής και της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας προωθείται και ενισχύεται με ισχυρά κίνητρα και υψηλούς ρυθμούς σε όλον τον ανεπτυγμένο κόσμο. Μεταξύ των δυο αυτών μορφών η αιολική εμφανίζεται οικονομικότερη άρα και περισσότερο προσιτή, κυρίως με την μορφή αιολικών πάρκων συνδεδεμένων στο δίκτυο της ΔΕΗ. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματά τους όπως ότι δεν έχουν κινούμενα μέρη, παρουσιάζουν ακόμα υψηλό κατασκευαστικό κόστος. Η διάφορα κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ΚWh από πετρέλαιο και από ανανεώσιμες πηγές μειώνεται σταδιακά, ώστε σύντομα μέσα στην επόμενη δεκαετία να μπορεί να προβλεφθεί μια απευθείας σύγκριση κόστους ενέργειας. Ήδη το κόστος εγκατάστασης τους παρουσιάζεται ανταγωνιστικό απέναντι στη συμβατική παραγωγή ενέργειας σε περιπτώσεις μη συνδεδεμένων με το δίκτυο περιοχών, όπως σε απομονωμένα νησιά ή οικισμούς.

## 1.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΙΟΤΟ

Σημαντικό καρπό των προσπαθειών που συντελέστηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο για την προστασία του περιβάλλοντος και κατ'επέκταση την προώθηση των ΑΠΕ αποτέλεσε το Πρωτόκολλο του Κιότο, που υπογράφηκε στις 10/12/1997 στο Κιότο της Ιαπωνίας αλλά τέθηκε σε ισχύ πολύ αργότερα, στις 16/02/2005 μετά την επικύρωση του και από τη Ρωσία. Το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο έχει πλέον την υποστήριξη 141 χωρών και είναι νόμιμα δεσμευτικό, προβλέπει ότι μέχρι το 2012 η παγκόσμια εκπομπή των 6 αερίων του θερμοκηπίου, με κυριότερο το CO<sub>2</sub>, θα έχει μειωθεί κατά 5.2% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Η Ευρωπαϊκή Ένωση υποχρεώνεται από το Πρωτόκολλο του Κιότο να μειώσει τις εκπομπές κατά 8% συνολικά. Στα πλαίσια του πρωτοκόλλου και με βάση τις εσωτερικές συμφωνίες σε επίπεδο Ε.Ε, η Ελλάδα έχει δεσμευθεί σε επίπεδο εσωτερικής συμφωνίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ότι οι συγκεκριμένες εκπομπές που ευθύνονται για τις κλιματικές αλλαγές, εντός της ελληνικής επικράτειας, δεν θα αυξηθούν περισσότερο από 25% ως το 2010, σε σχέση με τις εκπομπές του έτους βάσης που είναι το 1990. Πρόσφατη μελέτη του Αστεροσκοπείου Αθηνών προβλέπει αύξηση κατά 39.2% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα, ποσοστό που υπερβαίνει κατά πολύ τα ανώτερα όρια. Σύμφωνα με την μελέτη αυτή, αν ο στόχος που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για συνολική μείωση κατά 8% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου επιτευχθεί, τότε στη χώρα μας θα μειωθούν το SO<sub>2</sub> (κατά 6-7%) και τα οξείδια του αζώτου (κατά 3.2-3.7%).



Η υλοποίηση του Πρωτοκόλλου επιχειρείται με τρεις ευέλικτους μηχανισμούς:

2. Τη διαπραγμάτευση-εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών,
3. Το πρόγραμμα από κοινού, και
4. Το μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης.

Το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αέριων του θερμοκηπίου αποτελεί έναν από τους τρεις «ευέλικτους μηχανισμούς» που έχουν προβλεφθεί στο Πρωτόκολλο για την διευκόλυνση της επίτευξης των στόχων του και για την εξασφάλιση της μείωσης, με το μικρότερο δυνατό κόστος για την οικονομία, των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στους τομείς της ενέργειας και της βιομηχανίας. Αρχικά το σύστημα θα λειτουργήσει μόνο για το CO<sub>2</sub>, το οποίο αποτελεί το πρώτο σε σειρά σπουδαιότητας αέριο του θερμοκηπίου. Στόχος του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων είναι να ενθαρρύνει τις εγκαταστάσεις να περιορίσουν την εκπομπή αερίων ρύπων περισσότερο από ότι απαιτείται με βάση τη διεθνή συμφωνία, οπότε και θα μπορούν να δημιουργούν πρόσθετα έσοδα, πωλώντας το υπόλοιπο του μεριδίου τους. Παράλληλα, εγκαταστάσεις που αντιμετωπίζουν δυσκολίες συγκράτησης των εκπομπών τους εντός των ορίων των δικαιωμάτων εκπομπής που τους έχουν διατεθεί, θα μπορέσουν να το επιτύχουν αγοράζοντας δικαιώματα ρύπανσης από άλλους που έχουν πλεόνασμα. Τέλος, εγκαταστάσεις που ακόμα και έτσι υπερβαίνουν τα όρια θα καταβάλλουν πρόστιμο για κάθε επιπλέον τόνο CO<sub>2</sub> που παράγουν.

### **1.3 Εξέλιξη Θεσμικού Πλαισίου στην Ελλάδα**

Το 1985 άρχισαν να εμφανίζονται οι Α.Π.Ε. στη χώρα και έτσι ήταν αναγκαία η ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Η εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών στην Ελλάδα έγινε με τη Δ.Ε.Η να κάνει την αρχή εγκαθιστώντας 24MW ανανεώσιμων πηγών, κυρίως μικρά αιολικά πάρκα και φ/β συστήματα μικρής ισχύος, ενώ και η τοπική αυτοδιοίκηση εγκατέστησε 3MW μέχρι το 1995. Για την διαμόρφωση της σχετικής νομοθεσίας, η ελληνική πολιτεία χρησιμοποίησε ως πρότυπο το γερμανικό νόμο (Stromeinspeisungsgesetz) και το 1994 προτάθηκε η «ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις». Το 1999 επικυρώθηκε ο νόμος για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.



Το 2001 μια νέα ρύθμιση επέφερε την απλοποίηση στις διαδικασίες ίδρυσης εταιρειών και τη διευθέτηση κενών στον αδειοδοτικό μηχανισμό ενώ το 2002 ψηφίστηκε αναθεωρητικός νόμος για τη διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης. Το 2004 αποφασίστηκε ότι εγκαταστάσεις ανανεώσιμης ηλεκτροπαραγωγής μικρού μεγέθους ανήκουν στην κατηγορία μηδενικής όχλησης με συνέπεια να είναι δυνατή η ένταξη τους στον οικιστικό ιστό. Το 2006 θεσμοθετήθηκε ένας νόμος που οργάνωσε ουσιαστικά την κατάσταση στις ΑΠΕ. Ορίστηκε ο περιορισμός των γνωμοδοτούντων φορέων στα στάδια της αδειοδοτικής διαδικασίας και τέθηκε ο εθνικός στόχος για τη συμμετοχή της ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. το 2010 στο 20,1% και το 2020 στο 29%. Παράλληλα ο νόμος τροποποίησε τις τιμές πώλησης ενέργειας από ΑΠΕ με σκοπό να τονωθεί κυρίως η αγορά των φωτοβολταϊκών και βελτίωσε τους όρους αγοραπωλησίας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό τη διευκόλυνση της τραπεζικής χρηματοδότησης των έργων. Τέλος ορίστηκε η αδειοδότηση υβριδικών σταθμών χωρίς διαγωνιστική διαδικασία.

Η έκθεση του **Εθνικού Σχεδίου Δράσης** για την επίτευξη του «**20-20-20**» περιλαμβάνει εκτιμήσεις για την εξέλιξη του ενεργειακού τομέα και τη διείσδυση των τεχνολογιών **των ΑΠΕ έως το 2020**. Ο στόχος για τις εκπομπές αερίων ρύπων του θερμοκηπίου είναι μείωση κατά 4% στους τομείς εκτός εμπορίας σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση. Για να μιλήσουμε όμως με αριθμούς, οι εθνικοί στόχοι για το 2020 για την ηλεκτροπαραγωγή διαμορφώνονται στην ανάπτυξη περίπου 13300MW από ΑΠΕ, με τα αιολικά πάρκα στα 7500MW, τα υδροηλεκτρικά στα 3000MW και τα ηλιακά στα περίπου 2500MW. Η Ελληνική κυβέρνηση με το Νόμο 3851/2010 προχώρησε στην αύξηση του εθνικού στόχου συμμετοχής των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 20%, ο οποίος και εξειδικεύεται σε 40% συμμετοχή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή, 20% σε ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και 10 % στις μεταφορές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

#### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το **φωτοβολταϊκό φαινόμενο** ανακαλύφθηκε το 1839, όταν ο δεκαεννιάχρονος Γάλλος φυσικός Edmund Becquerel πέτυχε την εμφάνιση τάσης, όταν φώτισε ένα μεταλλικό ηλεκτρόδιο σε ένα αραιό ηλεκτρολυτικό διάλυμα.

Το 1986 οι Adams και Day ήταν οι πρώτοι που μελέτησαν το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στα στερεά. Κατασκεύασαν φωτοβολταϊκά στοιχεία από σελήνιο (Se) με απόδοση 1-2%.

Το 1904 ο Albert Einstein δημοσίευσε μια θεωρητική εξήγηση για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, που τον οδήγησε στο βραβείο Nobel το 1923. Περίπου την ίδια περίοδο ένας Πολωνός επιστήμονας με το όνομα Czochralski άρχισε να αναπτύσσει μια μέθοδο για την κατασκευή τέλειων κρυστάλλων από πυρίτιο, γεγονός που θα αποτελούσε το θεμέλιο λίθο για τη σύγχρονη ηλεκτρονική, και κατά συνέπεια για τα φωτοβολταϊκά.

Στη δεκαετία του 1940 και 1950 η μέθοδος Czochralski άρχισε να χρησιμοποιείται για την κατασκευή της πρώτης γενιάς μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών από πυρίτιο, μια μέθοδος που κυριαρχεί ακόμα και σήμερα.

Το 1952 ανακαλύφθηκε η μέθοδος τετηγμένης ζώνης για την κατασκευή στερεών πολύ μεγάλης καθαρότητας που αργότερα χρησιμοποιήθηκε ευρέως αν και ακριβή ενώ το 1953 ανακαλύφθηκε η μέθοδος σχηματισμού ενώσεων p-n με διάχυση προσμίξεων. Σο 1954 κατασκευάστηκε το πρώτο ηλιακό κελί από Si με σχηματισμό ένωσης p-n με διάχυση προσμίξεων στα εργαστήρια της Bell από τους Chapin, Fuller και Pearson με απόδοση 6%. Σο 1956 ξεκίνησε η μαζική παραγωγή ηλιακών στοιχείων από την εταιρεία Hoffmann.

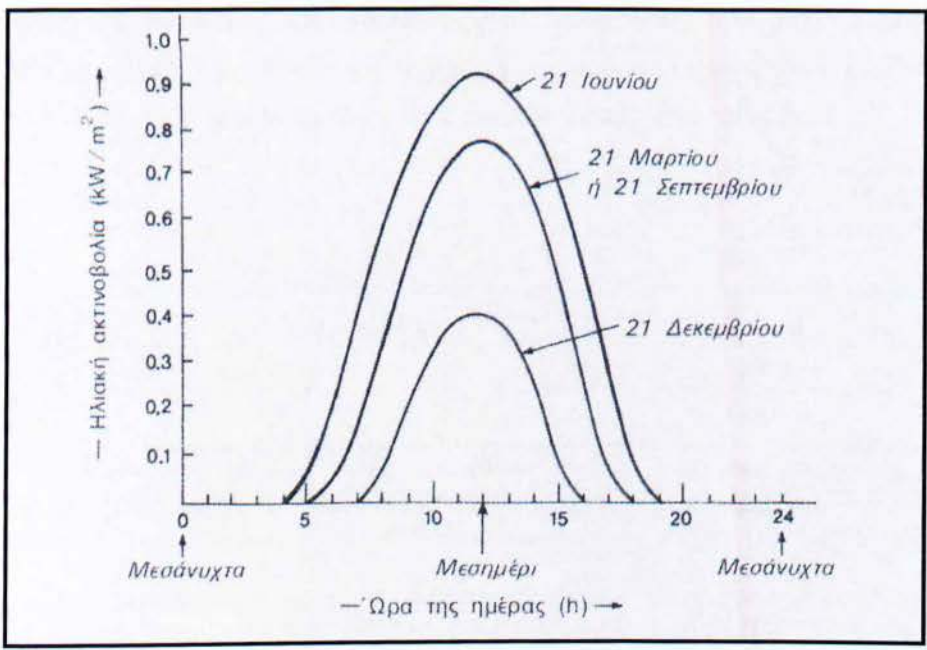
Το έτος σταθμός για την αρχή της μαζικής παραγωγής των φωτοβολταϊκών είναι το 2004 και φέρνει ως αποτέλεσμα την κατακόρυφη μείωση της τιμής του εξπολιισμού στα 6,5 ευρώ/Wp, με τη συνολική παραγωγή να φτάνει τα 1.200 MegaWatt ΦΒ στοιχείων και το τζίρο να αγγίζει τα 6.500.000.000\$.

Ένα **βασικό μειονέκτημα** ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι, σε αντίθεση με πολλά άλλα συστήματα μετατροπής, **η τροφοδοσία του (ηλιακή ακτινοβολία)** δεν είναι καθόλου σταθερή αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής.



Το ποσό της ενέργειας που περιέχεται στο φως του ήλιου, ονομάζεται ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και με μία πιο αυστηρή ορολογία, ροή ακτινοβολίας που ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα εμβαδού μιας επιφάνειας τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας και εκφράζεται συνήθως σε  $\text{kW}/\text{m}^2$ . Επίσης στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους. Ένα μέρος από την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον, ενώ από τη ακτινοβολία που διεισδύει ένα μέρος πάλι συμβάλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, **η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις**. Στο Σχήμα 2.1 δείχνονται παραδείγματα της ομαλής μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας για τρεις ενδεικτικές ημερομηνίες (καλοκαίρι, άνοιξη και φθινόπωρο, χειμώνας) σε συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού.



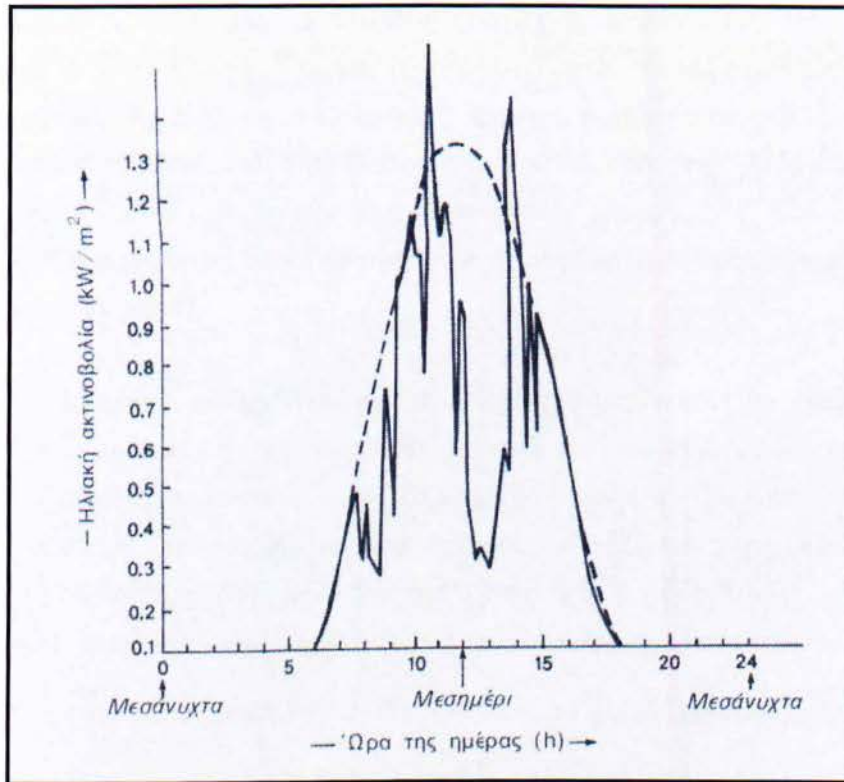
**Σχήμα 2.1:** Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια των φωτεινών ωρών τριών χαρακτηριστικών ημερομηνιών

Χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η τιμή της μέγιστης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση αιχμής), που μετράται στο ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή όταν ο ήλιος βρίσκεται στο μεγαλύτερο ύψος του ορίζοντα, το οποίο δεν συμπίπτει κατ' ανάγκη με το ωρολογιακό μεσημέρι.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επίπεδη επιφάνεια γίνεται σημαντικά μεγαλύτερη όταν βρίσκεται σε κατάλληλη κλίση, ώστε η πρόσπτωση των ακτινών να γίνεται περισσότερο κάθετα. Έτσι, η μέγιστη ισχύς της ακτινοβολίας το ηλιακό μεσημέρι στις ευνοϊκότερες ημέρες του έτους, δεν διαφέρει πάρα πολύ από τόπο σε τόπο και η τιμή  $1 \text{ kW/m}^2$  αποτελεί μια πολύ χονδρική, αλλά γενικά αποδεκτή προσέγγιση.

Όταν ο ουρανός έχει σύννεφα, η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης γίνεται ανώμαλη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος. Επίσης το γρήγορο πέρασμα ενός σμήνους πουλιών ή ενός αεροπλάνου μέσα από την δέσμη του ηλιακού φωτός που δέχεται ο συλλέκτης, καταγράφεται σαν μια πολύ οξεία στιγμιαία πτώση της έντασης της ακτινοβολίας. Παρατηρούμε, ακόμη, εξάρσεις που ξεπερνούν τις κανονικές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνθήκες καθαρού ουρανού. Προφανώς, στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα θα συμβαίνει αθροιστική επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας από τον ήλιο, μέσα από ένα άνοιγμα των νεφών, και της ανακλώμενης από τα σύννεφα.





**Σχήμα 2.2:** Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατ’α τη διάρκεια των φωτεινών ωρών μιας ημέρας με μερική νέφωση

Κατά την διάρκεια του έτους, στο βόρειο ημισφαίριο, ο αριθμός των φωτεινών ωρών της ημέρας, η μέγιστη ισχύς καθώς και η συνολική ημερήσια ενέργεια που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια φτάνουν στις μέγιστες τιμές τους στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο) και πέφτουν στις αντίστοιχες ελάχιστες τιμές τους στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Στις επιφάνειες, όμως, πχ που βρίσκονται σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, η μέγιστη τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι στα ηλιακά μεσημέρια των ισημεριών (21 Μαρτίου και 21 Σεπτεμβρίου) διότι τότε δέχονται κάθετα τις ακτίνες του ήλιου.

Κατά την διέλευση των ηλιακών ακτίνων, από την γήινη ατμόσφαιρα, **η έντασή τους ελαττώνεται εξ’ αιτίας κάποιων παραγόντων**, οι κυριότεροι εκ των οποίων είναι:

- α) μεταβολές στην ακτινοβολία που φτάνει στο όριο της ατμόσφαιρας.
- β) σκέδαση στην ατμόσφαιρα από τα μόρια αέρος, υδρατμούς και σκόνη και
- γ) απορρόφηση στην ατμόσφαιρα από  $H_2O$ ,  $CO_2$  και  $O_3$  (κυρίως στο υπεριώδες).

Ως αποτέλεσμα, σε κάθε τόπο της επιφάνειας της γης, φτάνουν δύο συνιστώσες του ηλιακού φωτός: η απευθείας, ή άμεση (b -7Beam) και η σκεδαζόμενη στα μόρια του αέρα, η οποία λέγεται διάχυτη (d -7 Diffuse). Σε έναν αισθητήρα ή συλλέκτη, λοιπόν, η προσπίπτουσα ακτινοβολία αποτελείται από την **άμεση, την διάχυτη και την διάχυτα ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία** (Σχήμα 2.3). Η συνολική αυτή ακτινοβολία αναφέρεται ως ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο και συμβολίζεται με G (Global Irradiation).

Η διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία εξαρτάται από την μορφολογία και το χρώμα του εδάφους ή της επικάλυψής του (γρασίδι ή χιόνι) και την πυκνότητα των νεφών. Αντιθέτως, η ολική, η απευθείας και η διάχυτη εξαρτώνται από άλλους παράγοντες, όπως α) η σύσταση- κατάσταση της ατμόσφαιρας, την δεδομένη χρονική στιγμή, β) την ημέρα κατά την διάρκεια του έτους και γ) την γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνεια του συλλέκτη (ύψος του ήλιου κατά την διάρκεια της ημέρας).

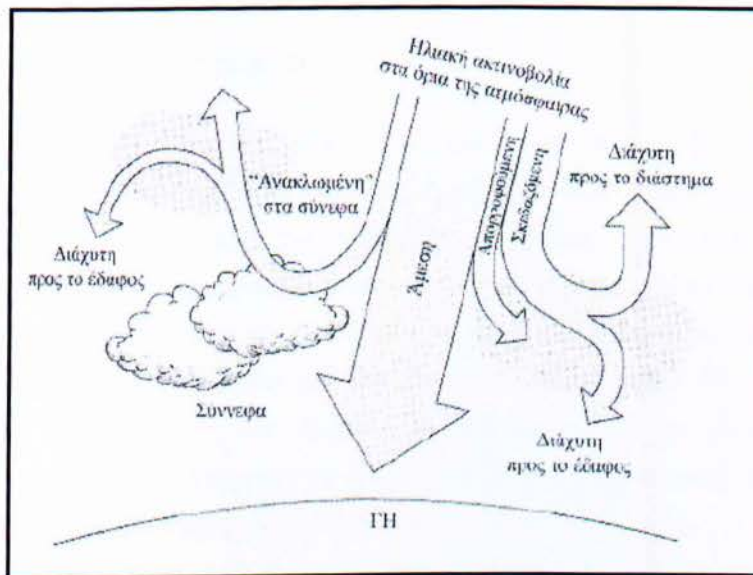
Συμβατικά το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα μέχρι τη στάθμη της θάλασσας, χαρακτηρίζεται από μια **κλίμακα μάζας αέρα AM (air mass)**. Αυτή η κλίμακα είναι βαθμονομημένη με το αντίστροφο του συνημίτονου της ζενιθιακής απόστασης ζ, δηλαδή της γωνίας ανάμεσα στη θέση του ήλιου και την κατακόρυφο. Ουσιαστικά η κλίμακα AM δείχνει πόσες φορές είναι μεγαλύτερη η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα από την

κατακόρυφη διαδρομή της. Συνεπώς η AM υπολογίζεται από τη σχέση 
$$AM = \frac{1}{\cos \theta} .$$

Ακολουθεί ο πίνακας με τις πρότυπες τιμές της AM:



Τιμή AM	Συμβατικές συνθήκες	Ισχύς ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ )
<b>AM0</b>	Στο διάστημα, έξω από την ατμόσφαιρα.	<b>1350</b>
<b>AM1</b>	Ο ήλιος στο ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	<b>1060</b>
<b>AM2</b>	Απόσταση ήλιου $60^\circ$ από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.	<b>880</b>
<b>AM3</b>	<b>Απόσταση ήλιου <math>70,5^\circ</math> από το ζενίθ. Κάθετη πρόσπτωση σε επιφάνεια στη στάθμη της θάλασσας. Ξηρή ατμόσφαιρα.</b>	<b>750</b>



**Σχήμα 2.3:** Κατανομή της ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία **AM 1,5** έχει πυκνότητα  $935 W/m^2$  και αποτελεί μια αρκετά αντιπροσωπευτική προσέγγιση της μέσης μέγιστης ισχύος που δέχεται μια επιφάνεια κάθετη προς την ακτινοβολία σε ευνοϊκές συνθήκες. Για απλοποίηση, η παραπάνω πυκνότητα ισχύος στρογγυλεύεται στα  **$1000 W/m^2$** , και ονομάζεται συμβατικά ακτινοβολία ενός ήλιου.

**Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε διασυνδεδεμένα** και αυτόνομα:

- ✓ Τα διασυνδεδεμένα συστήματα συνδέονται και λειτουργούν παράλληλα με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ δε διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Χρησιμοποιούνται για παραγωγή και πώληση της ενέργειας στο δίκτυο.
- ✓ Τα αυτόνομα συστήματα απευθύνονται σε εφαρμογές που είναι εκτός κεντρικού ηλεκτρικού δικτύου, κυρίως σε απομακρυσμένες περιοχές. Συνήθως διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες). Το μέγεθος των συστημάτων αυτών είναι ανάλογο με την ηλεκτρική κατανάλωση των φορτίων της εφαρμογής καθώς και με την περιοχή εγκατάστασης.

## 2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ

Τα κύρια συστατικά των φωτοβολταϊκών γεννητριών είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή φωτοστοιχεία ή ηλιακά κύτταρα ή κυψελίδες. Αυτά είναι δίοδοι ημιαγωγών που καθώς δέχονται στην επιφάνεια τους την ηλιακή ακτινοβολία, εκδηλώνει μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και στην πίσω όψη τους. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και την ένταση ακτινοβολίας που δέχονται, ένα ηλιακό κύτταρο μπορεί να δώσει μέχρι 0,5-1,0 Volt και πυκνότητα ρεύματος μέχρι 20-40mA ανά cm<sup>2</sup> της επιφάνειάς του. Το είδος του ημιαγωγού που επιλέγεται ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων, καθορίζεται από την τιμή του ενεργειακού διακένου του η οποία καθορίζει και την απόδοση του στοιχείου.

Το πυρίτιο αποτελεί το βασικότερο υλικό για την κατασκευή ηλιακών κυττάρων μια και αποτελεί το κυρίαρχο υλικό στην κατασκευή ημιαγωγών.

## 2.3 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

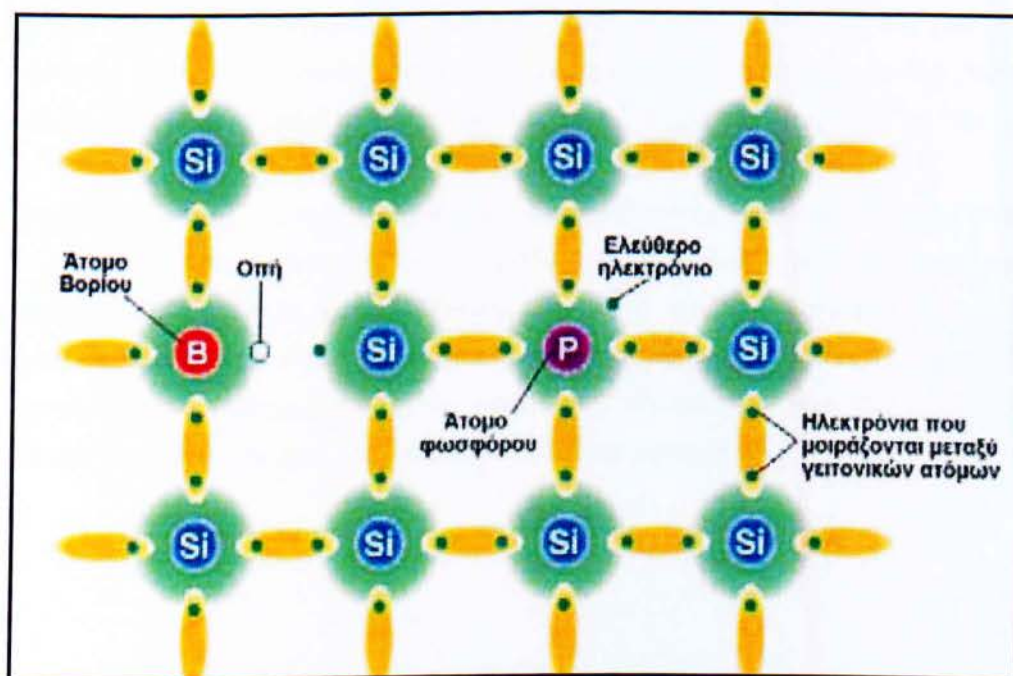
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όπως αναφέρθηκε προηγουμένως κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή όπως το πυρίτιο (Si). Στα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δε διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα. Όταν όμως απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή. Η ενέργεια προκαλεί την ελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς.



Τα ηλεκτρόνια αυτά σθένους απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους στο κρυσταλλικό πλέγμα, χάρη στην κινητική ενέργεια που απόκτησαν και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι φανερό ότι το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στη ζώνη σθένους και στη ζώνη αγωγιμότητας εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής.

Αν στα ηλεκτρόνια προσφερθεί μια ποσότητα ενέργειας π.χ. αν δεχθούν μια δέσμη από φωτόνια με ενέργεια  $h\nu$  μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο ( $E_g > h\nu$ ), δε μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Αν όμως τα ενεργειακά κβάντα που προσφέρονται είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού ( $E_g < h\nu$ ), τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και να το διεγείρει προς τη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μία οπή. Ο παραπάνω μηχανισμός διέγερσης εξαρτάται και από το αν ο ημιαγωγός είναι άμεσος ή έμμεσος.

Αν τώρα ο τετρασθενής ημιαγωγός Si, νοθευτεί με κάποιο πεντασθενές στοιχείο (φώσφορος, P) ή με κάποιο τρισθενές στοιχείο (βόριο, B), τότε έχουμε ημιαγωγό προσμίξεως τύπου-n και τύπου-p αντίστοιχα.



**Σχήμα 2.3.1:** Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης

Όταν σε μια περιοχή του ημιαγωγού υπάρχει δημιουργία ή έκχυση φορέων σε περίσσεια, αυτοί διαχέονται προς τις άλλες περιοχές του ημιαγωγού όπου η συγκέντρωση των αντίστοιχων φορέων είναι μικρότερη. Επίσης όταν έλθουν σε στενή επαφή ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου p με ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου n, δηλαδή σχηματιστεί μια ένωση p-n (διάταξη διόδου ημιαγωγού), τότε ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n όπου οι οπές είναι λιγότερες και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου n διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου p όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι πολύ λιγότερα. Η ανάμιξη αυτή των φορέων και η αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας στις περιοχές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια (περιοχή αραιώσης) των τεμαχίων τύπου p και n, ανατρέπουν την ισορροπία που υπήρχε πριν. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις των φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που να ικανοποιούν τον νόμο δράσης των μαζών. Η συγκέντρωση των κατιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι αποδέκτες στο τμήμα τύπου p και n, παραμένουν αμετάβλητες αφού τα ιόντα, όπως συνήθως όλα τα άτομα στα στερεά, μένουν ακίνητα στο σώμα. Έτσι το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική ουδετερότητα και οι δύο πλευρές της ένωσης p-n φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργείται λοιπόν μια διαφορά δυναμικού, που η τιμή της είναι σχετικά μικρή, αλλά το ενσωματωμένο αυτό ηλεκτροστατικό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η διόδος που περιέχει την ένωση p-n, παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με την φορά του.

Το σημείο εκκίνησης για τις περισσότερες φωτοβολταϊκές συσκευές σήμερα είναι το πυρίτιο (Si). Βρίσκεται στην τέταρτη ομάδα του περιοδικού πίνακα, όπως και το γερμάνιο (Ge), το οποίο χρησιμοποιείται και αυτό για την κατασκευή διατάξεων ημιαγωγών. Συνήθως στο πυρίτιο δημιουργούνται προσμίξεις βόριου (B) ή φωσφόρου (P), στοιχείων της τρίτης ομάδας του περιοδικού πίνακα. Επιπλέον στην κατασκευή των φωτοβολταϊκών μπορεί να χρησιμοποιηθεί το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) ή το CdTe.



## 2.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

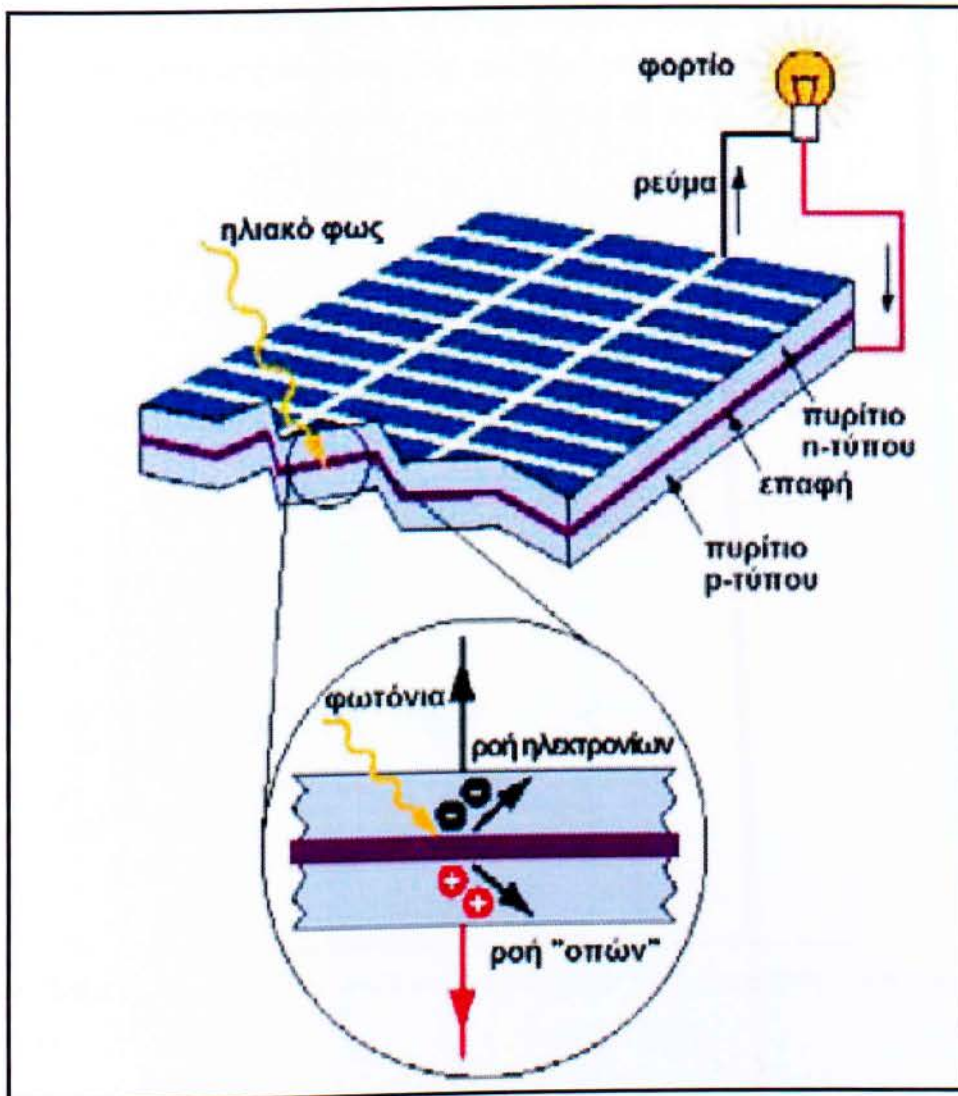
Ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο ορίζουμε την κατάσταση κατά την οποία μια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (**ημιαγωγός**) και μετατρέπεται απ' ευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το **ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού**, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία, μια περίσσεια από ζεύγη φορέων πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου προσήμου, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n, οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ηλεκτροστατικού της πεδίου. Με τον τρόπο αυτό, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Η εκδήλωση της τάσης αυτής ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η διάταξη αποτελεί μια πηγή ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου.

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται κατάλληλη ακτινοβολία, διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, **το φωτόρευμα  $I_{\phi}$** , που η τιμή του θα είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. Η πυκνότητα του φωτορεύματος δίνεται από τη σχέση 2.1:

$$I_{\phi} = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda) [1 - R(\lambda)] \Phi(\lambda) d\lambda \quad (2.1)$$

όπου  $e$ , είναι το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο και  $\lambda_g$ , το μέγιστο χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος ακτινοβολίας στον ημιαγωγό.  $S(\lambda)$  είναι η φασματική απόκριση που ορίζεται ως το πλήθος των φορέων που συλλέγονται στα ηλεκτρόδια του φωτοβολταϊκού στοιχείου σε σχέση με τη φωτονική ροή  $\Phi(\lambda)$ , δηλαδή με το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από  $\lambda$  μέχρι  $\lambda+d\lambda$ .  $R(\lambda)$  είναι ο δείκτης ανάκλασης της επιφάνειας του στοιχείου.



Σχήμα 2.4.1: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

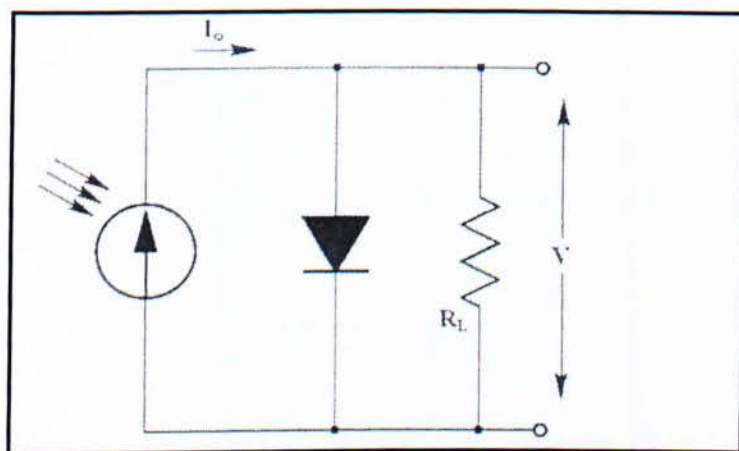
## 2.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Για να γίνει μια εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία διόδο και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα του σχήματος 2.5.1 παρακάτω. Στο ισοδύναμο αυτό δεν συμπεριλαμβάνεται η αντίσταση λόγω της κίνησης των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια, όπως ακόμα και η μη άπειρη αντίσταση διαμέσου της διόδου και τα αναπόφευκτα ρεύματα διαρροής.



Σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί ισορροπία όταν η τάση που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα, για το οποίο και θα ισχύει:

$$I_{\phi} = I_0 \left( e^{\frac{eV}{\gamma kT}} - 1 \right) \quad (2.2)$$



**Σχήμα 2.5.1:** Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Όπου  $I_0$ , είναι το ανάστροφο ρεύμα κόρου,  $e$  το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο,  $k$  η σταθερά Boltzmann,  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία και  $\gamma$  ένας συντελεστής που ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα της διόδου παίρνει συνήθως τιμές μεταξύ 1 και 2. Από την παραπάνω σχέση, η τάση ανοιχτοκυκλώματος θα είναι:

$$V_{oc} = \frac{\gamma kT}{e} \ln \left( \frac{I_{\phi}}{I_0} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Η παραπάνω σχέση δείχνει τη λογαριθμική μεταβολή της  $V_{oc}$  σε συνάρτηση με το  $I_{\phi}$ , δηλαδή με την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και την εξάρτηση της από τις διάφορες ιδιότητες του ημιαγωγού. Στην άλλη ακραία περίπτωση, δηλαδή σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, το ρεύμα βραχυκύκλωσης θα ισούται με το παραγόμενο φωτόρρευμα,  $I_{sc}=I_{\phi}$ .

Όταν το κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου κλείσει διαμέσου μιας εξωτερικής αντίστασης  $R_L$ , το ρεύμα θα πάρει μια μικρότερη τιμή  $I_L$  που βρίσκεται με τη λύση της εξίσωσης :

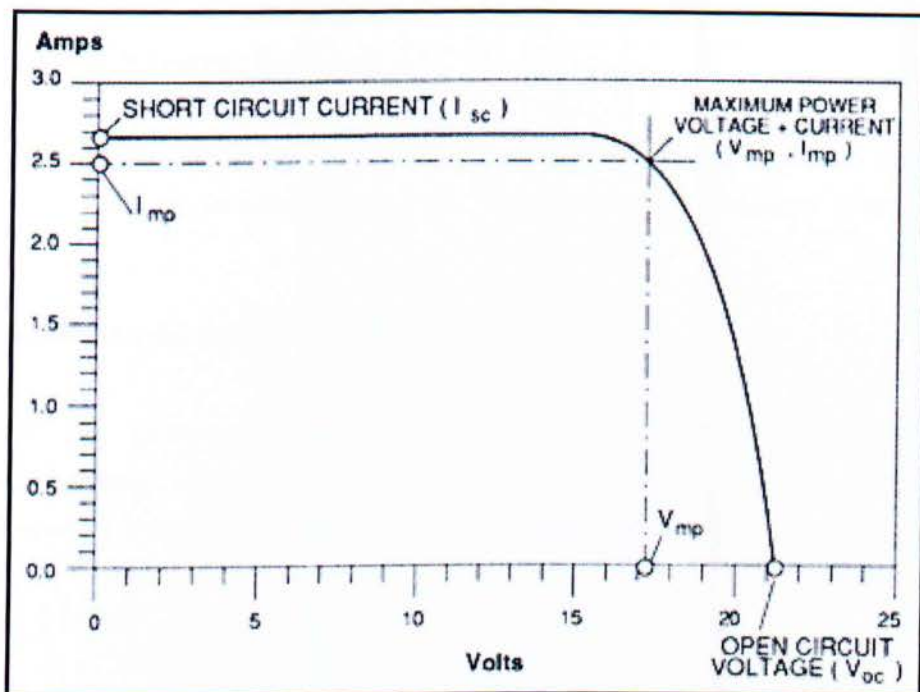
$$I_L = I_{\phi} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{e \cdot I_L \cdot R_L}{\gamma \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (2.4)$$

Προφανώς θα υπάρχει κάποια τιμή της αντίστασης, δηλαδή του φορτίου του κυκλώματος, για την οποία η ισχύς που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο θα γίνεται μέγιστη ( $P_m=I_m \cdot V_m$ ). Στις συνθήκες αυτές, θα αντιστοιχεί μια βέλτιστη τάση  $V_m$ , που δίνεται από τη λύση της εξίσωσης:

$$\frac{I_{\phi}}{I_0} + 1 = \left( 1 + \frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T} \right) \cdot e^{\frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T}} \quad (2.5)$$

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας (και θερμοκρασίας) και για μεταβαλλόμενες τιμές στην αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ηλιακό κύτταρο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του κυττάρου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (**βραχυκυκλωμένη** κατάσταση με μέγιστη τιμή ρεύματος,  **$I_{sc}$  και μηδενική τάση**) και άπειρη αντίσταση (**ανοιχτοκυκλωμένη** κατάσταση με μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης,  **$V_{oc}$** ), όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 2.5.2.





**Σχήμα 2.5.2:** Καμπύλες I-V και P-V φωτοβολταϊκού στοιχείου Si για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την I-V χαρακτηριστική ενός ηλιακού κυττάρου είναι οι ακόλουθοι:

- **Ρεύμα Βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$**

Είναι το ρεύμα για  $V = 0$  και αν θεωρήσουμε την  $R_L$  πολύ μικρή τότε ισούται με το φωτορεύμα  $I_\phi$ .

- **Τάση ανοιχτού κυκλώματος  $V_{oc}$**

Είναι η τάση για  $I = 0$  και αν θεωρήσουμε την  $R_L$  πολύ μεγάλη προκύπτει:

$$V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln \left( \frac{I_\phi}{I_0} - 1 \right)$$

- **Σημείο Μέγιστης Ισχύος  $P_{mp}$**

Σε αυτό το σημείο αντιστοιχεί ρεύμα  $I_{mp}$  και τάση  $V_{mp}$  και αποτελεί το σημείο στο οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε με τη μεγαλύτερη επιφάνεια μέσα στη I-V καμπύλη.

- **Συντελεστής Πλήρωσης FF**

Ο λόγος της μέγιστης Ηλεκτρικής Ισχύος  $P_m=I_m \cdot V_m$  προς το γινόμενο της βραχυκυκλωμένης έντασης και της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης  $I_{sc} \cdot V_{oc}$  ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης FF:

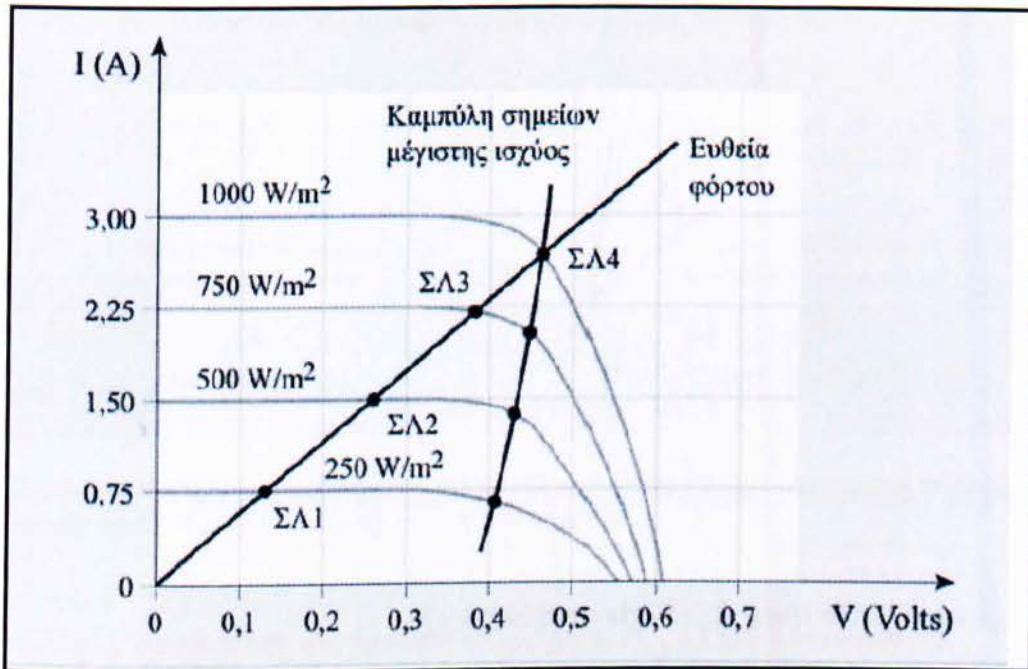
$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

Οι τιμές του κυμαίνονται από 0 έως 1 αλλά όσο πλησιάζουν τη μονάδα τόσο περισσότερο η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος στη περιοχή τάσεων 0- $V_{oc}$ . Τυπικές τιμές βρίσκονται μεταξύ 0,7 και 0,85 και χαρακτηρίζουν φωτοβολταϊκά στοιχεία με καλή ενεργειακή απόδοση.

- **Ένταση Ακτινοβολίας**

Όταν μεταβάλλεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία του κυττάρου και τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας) μεταβάλλεται και η I-V χαρακτηριστική καμπύλη.





Σχήμα 2.5.3: Καμπύλες I-V για μεταβαλλόμενες συνθήκες ακτινοβολίας.

▪ **Θερμοκρασία**

Όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του κυττάρου προκαλούνται οι παρακάτω μεταβολές στις παραμέτρους της I-V χαρακτηριστικής. Με αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας:

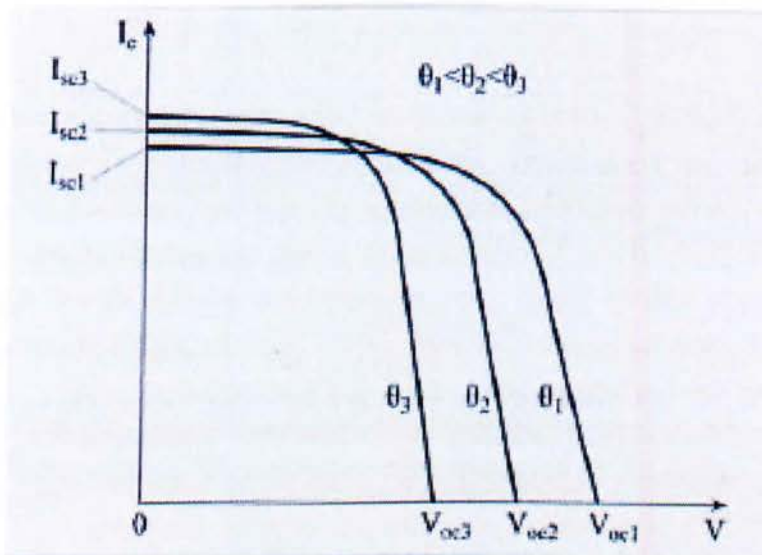
α) Το ρεύμα Βραχυκύκλωσης  $I_{sc}$  **αυξάνεται ελαφρά. Τυπικές τιμές:**

$$\frac{dI_{sc}}{dT} = 0.01 [mA \cdot cm^{-2} / ^\circ C] \text{ ή } 0.1\% / ^\circ C$$

β) Η Τάση Ανοιχτού Κυκλώματος  $V_{oc}$  **μειώνεται** και οφείλεται σε μεταβολή των χαρακτηριστικών αγωγής της διόδου. Τυπικές τιμές:

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -2.2 [mV / ^\circ C] \text{ ή } -0.4\% / ^\circ C$$

γ) Η Ισχύς  $P_{mp}$  μειώνεται ενώ μεταβάλλεται και η μορφή της καμπύλης.



**Σχήμα 2.5.4:** Μεταβολή της καμπύλης I-V με την αύξηση της θερμοκρασίας.

- **Ισχύς αιχμής  $W_p$  ή  $P_a$**

Ως Ισχύς Αιχμής του φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζουμε την μέγιστη ηλεκτρική ισχύ που μπορεί να αποδώσει υπό πρότυπες συνθήκες ελέγχου (Θερμοκρασία 25 °C και ακτινοβολία 1000W/m<sup>2</sup>).

Για να βοηθήσουν στον υπολογισμό της απόδοσης των φωτοβολταϊκών ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, οι κατασκευαστές παρέχουν τον δείκτη NOCT (nominal operating cell temperature, δηλαδή ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κελιού). Η NOCT είναι η θερμοκρασία του κελιού σε ένα πλαίσιο όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι 20°C, η ηλιακή ακτινοβολία είναι 0,8 kW/m<sup>2</sup>, και η ταχύτητα του ανέμου 1 m/s. Για υπολογισμό σε άλλες συνθήκες μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$T_{\text{κελιου}} = T_{\text{περιβαλλοντος}} + \left( \frac{NOCT - 20^\circ}{0,8} \right) S$$

όπου  $T$  οι θερμοκρασίες κελιού και περιβάλλοντος αντίστοιχα σε °C και  $S$  η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας σε kW/m<sup>2</sup>.



## 2.6 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

Ο **Βαθμός Απόδοσης ενός ηλιακού κυττάρου** δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{P_{in}} = \frac{V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF}{P_{in}}$$

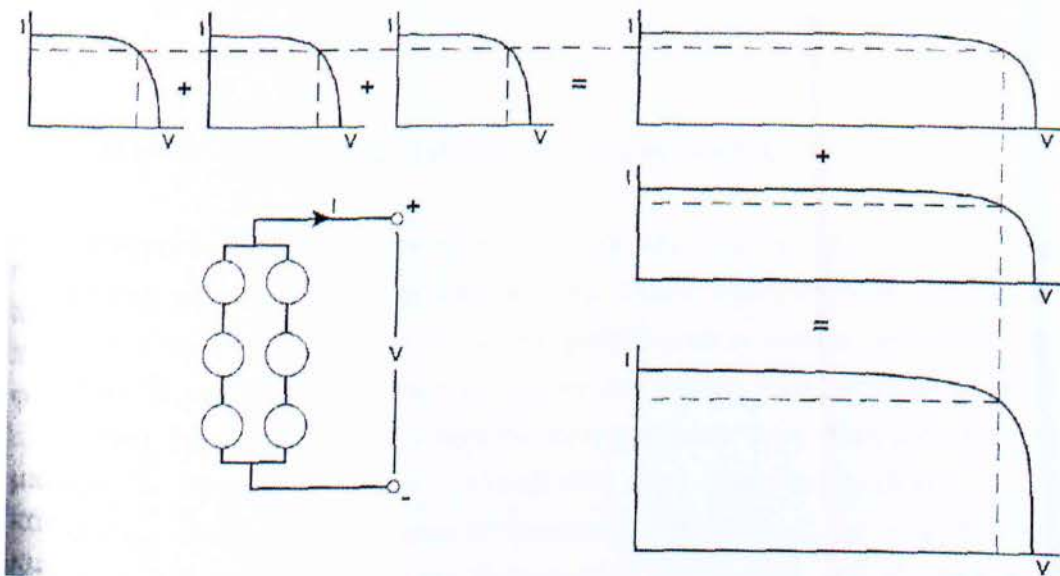
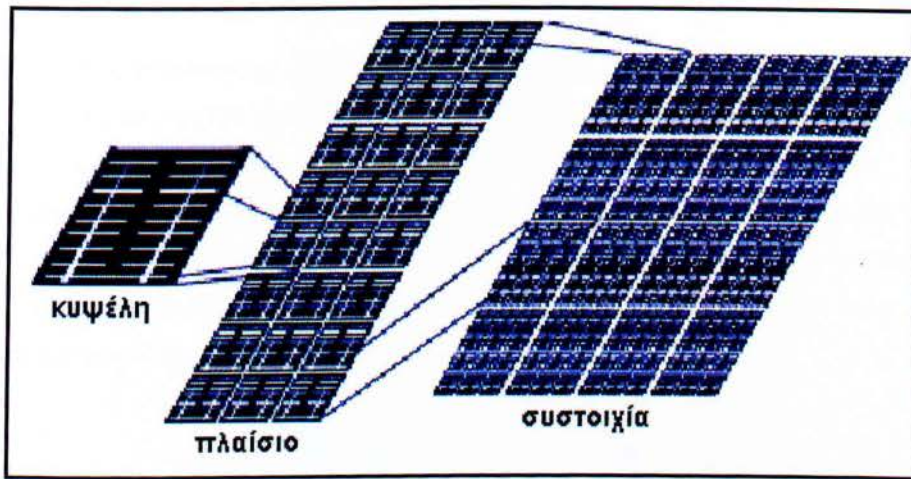
όπου  $P_{in}$  η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει στο κύτταρο. Ο Βαθμός απόδοσης των ηλιακών κυττάρων του εμπορίου δεν ξεπερνά το 18% ενώ σε πειραματικά μοντέλα έχουν επιτευχτεί μεγαλύτερες τιμές. Οι παράγοντες που ευθύνονται για την χαμηλή απόδοση των ηλιακών κυττάρων είναι οι εξής:

- α) Ανάκλαση**
- β) Σκίαση από τις επαφές**
- γ) Ατελής εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων:**
- δ) Αντίσταση**
- ε) Θερμοκρασία**

## 2.7 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Το κάθε ηλιακό κελί παράγει τάση της τάξης του 0,5 V, συνεπώς είναι ελάχιστες οι εφαρμογές που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο του. Αντί για αυτό, η δομική μονάδα των φωτοβολταϊκών διατάξεων είναι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που αποτελείται από ένα αριθμό προκαλωδιωμένων ηλιακών κελιών σε σειρά, πακεταρισμένων σε ανθεκτικά περιβλήματα. Ένα τυπικό πλαίσιο έχει 36 κελιά σε σειρά και συχνά ονομάζεται πλαίσιο των 12 V, αν και συχνά έχει την ικανότητα να παράγει αρκετά μεγαλύτερες τάσεις. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος των ηλιακών στοιχείων που περιέχουν. Τυπικές τιμές ισχύος εξόδου για ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι 10-250 W<sub>peak</sub>.

**Πολλά πλαίσια μπορούν να συνδυαστούν σε σειρά για να αυξηθεί η τάση, αλλά και παράλληλα έτσι ώστε να αυξηθεί το παραγόμενο ρεύμα, το γινόμενο των οποίων είναι η ισχύς. Τέτοιοι συνδυασμοί ονομάζονται φωτοβολταϊκές συστοιχίες.** Πολλές φωτοβολταϊκές συστοιχίες αποτελούν μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια.



**Σχήμα 2.7.1:** I-V χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού πλαισίου με στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα.

Η μέγιστη τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου προσδιορίζεται από τον αριθμό συγκεκριμένων ηλιακών στοιχείων που συνδέονται σε σειρά και το μέγιστο ρεύμα στην έξοδο (για κανονικά επίπεδα ηλιοφάνειας) προσδιορίζεται από τον αριθμό των στοιχείων (ή ομάδα εν σειρά στοιχείων) που συνδέονται παράλληλα. Η χαρακτηριστική I-V καμπύλη ενός συνόλου ίδιων ηλιακών στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά ή/και παράλληλα, προκύπτει με αντίστοιχο συνδυασμό των χαρακτηριστικών των επιμέρους στοιχείων όπως φαίνεται στο σχήμα 2.7.1.



## 2.8 ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Ο **συντελεστής απόδοσης ενός φ/β πλαισίου ( $\eta_{\pi}$ )**, ορίζεται με παρόμοιο τρόπο με αυτόν του ηλιακού κυττάρου. Εκφράζει το **λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος ( $P_p$ ) την οποία παράγει το φ/β πλαίσιο, προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας την οποία δέχεται στην επιφάνεια του ( $S$ )**. Την ίδια τιμή θα έχει και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας  $E$  που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα προς τη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το ίδιο χρονικό διάστημα:

$$\eta_{\pi} = \frac{P_p (W)}{H(W/m^2) \cdot S(m^2)} = \frac{E(kWh)}{\Pi(kWh/m^2) \cdot S(m^2)}$$

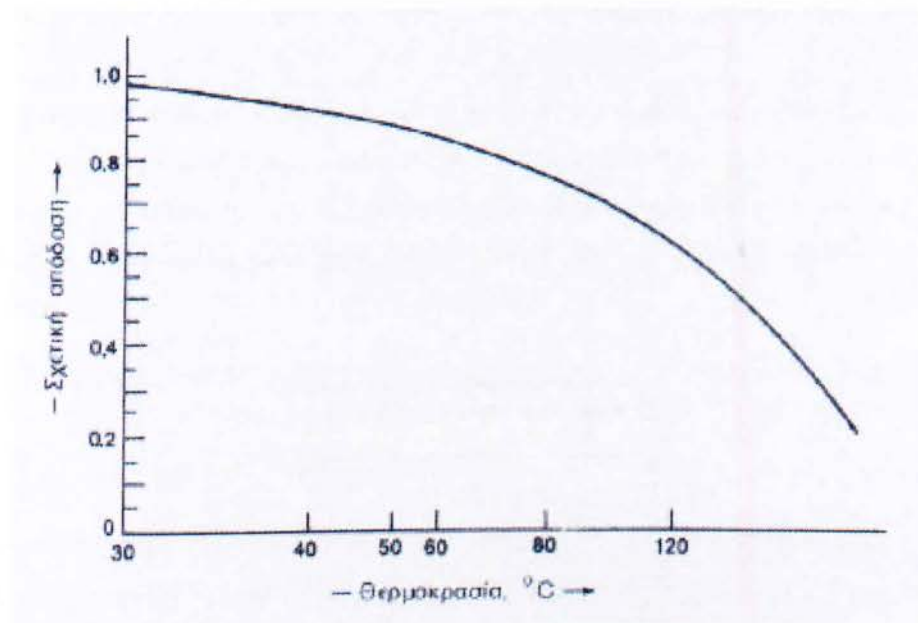
Όπου  $\Pi$ : η Πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του πλαισίου.

### ➤ Η επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης στην απόδοση

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από την θερμοκρασία. Όμως, ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αντιστοιχεί σε μια συμβατική θερμοκρασία (συνήθως 20°C), που στην ουσία διαφέρει αξιολογικά από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου, ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες. Έχει μετρηθεί ότι λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25-30°C, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Ως μέσο όρο, στους υπολογισμούς μας, παίρνουμε συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας κατά 30°C. Για την διόρθωση του παραπάνω σφάλματος χρησιμοποιείται ένας αδιάστατος συντελεστής  $\sigma_{\theta}$ , με τον οποίο πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή απόδοσης των ηλιακών στοιχείων ( $\eta_{\pi}$ ). Το ίδιο εφαρμόζουμε και για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Δηλαδή, για θερμοκρασίες διαφορετικές από την συμβατική, ως συντελεστή απόδοσης ( $\eta_{\theta}$ ) των φωτοβολταϊκών πλαισίων παίρνουμε το γινόμενο:

$$\eta_{\theta} = \sigma_{\theta} \times \eta_{\pi}$$

Στην συμβατική θερμοκρασία, ο συντελεστής διόρθωσης  $\sigma_{\theta}$  είναι ίσος με την μονάδα. Όμως, για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας ο  $\sigma_{\theta}$  μειώνεται κατά 0.005 για τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου. Ο συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί, επίσης, να βρεθεί και από το διάγραμμα του Σχήματος 2.8.1:



**Σχήμα 2.8.1:** Καμπύλη μεταβολής της απόδοσης του φ/β στοιχείου σε σχέση με τη θερμοκρασία

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των φωτοβολταϊκών πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειάς τους από την επικάθηση σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από την θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στην γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να τα ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνεται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων με απορρυπαντικό.



Όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια βρίσκεται σε μια περιοχή όπου εκτιμάμε ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς μας η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, με την χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας ( $\sigma_p$ ), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνειά του είναι εντελώς καθαρή. Η τιμή του  $\sigma_p$  είναι τόσο μικρότερη από την μονάδα, όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κλπ. Έτσι, όταν κρίνεται απαραίτητο, ως συντελεστή απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων για τους υπολογισμούς μας, παίρνουμε το γινόμενο του ενδεικτικού συντελεστή απόδοσης  $\eta_p$ , που δίνεται για συμβατική θερμοκρασία και καθαρή επιφάνεια, επί τους συντελεστές διόρθωσης για την θερμοκρασία  $\sigma_\theta$  και την ρύπανση  $\sigma_p$ . Τελικά, προκύπτει:

$$E = \Pi \times S \times \eta_p \times \sigma_\theta \times \sigma_p$$

Σε περίπτωση που γνωρίζουμε την ισχύ αιχμής  $P_a$  για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του φ/β πλαισίου χρησιμοποιούμε τη σχέση:

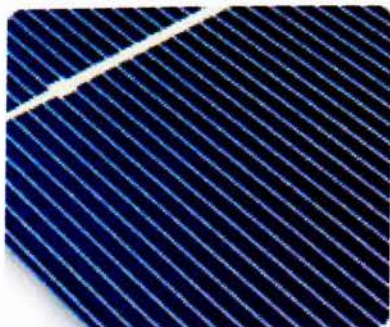
$$E(kWh/d) = \Pi(kWh/m^2 \cdot d) \times \frac{P_a(kW)}{1(kW/m^2)} \times \sigma_\theta \times \sigma_p$$

## 2.9 Η ΗΛΙΑΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΗΜΕΡΑ

Τα είδη φ/β στοιχείων τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στο εμπόριο είναι τα ακόλουθα:

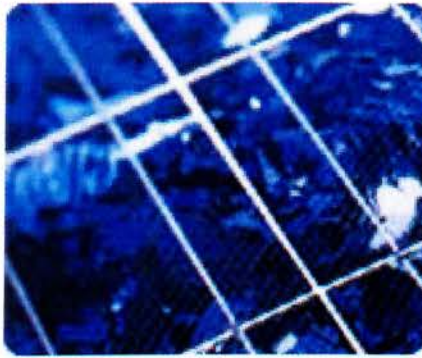
- ✓ **Μονοκρυσταλλικού πυριτίου**
- ✓ **Πολυκρυσταλλικού πυριτίου**
- ✓ **Λεπού υμενίου (Thin-film)**
- ✓ **Υβριδικά (HIT)**

**1. Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο:** Το πάχος τους είναι γύρω στα 0.3mm. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται μεταξύ του 15% - 18% για το εκάστοτε πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής εν συγκρίσει με τα πολυκρυσταλλικά.



**2. Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο:** Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών για αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση αυτές οι περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ αντίστοιχα στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13% έως και 15% για το εκάστοτε φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Οι βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι : η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS, η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση") και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

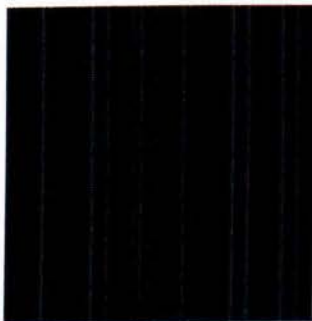




### 3. Στοιχεία Λεπού Υμενίου

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί πολύ λεπτά στρώματα (πάχος λίγων μικρών) του ημιαγωγού ούτως ώστε να μειώνεται το κόστος. Τα πιο γνωστά υλικά αυτής της κατηγορίας είναι τα κάτωθι:

**Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CIS):** Ο Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές δεν υπερβαίνει το 11%, για κάθε πλαίσιο. Εργαστηριακά έγινε επιτυχή απόδοση στο επίπεδο του 18,8%, η οποία είναι η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα το οποίο προκύπτει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στη φύση.



**3.1 Άμορφο πυρίτιο (a-Si):** Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Η απόδοση κυμαίνεται για το πλαίσιο από 6% έως και 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες.

Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά φ/β, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι το οποίο σημαίνει ότι, για να παράγουμε την ίδια ενέργεια, χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3mm.



**3.2 Τελοριούχο κάδμιο (CdTe):** Το τελοριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι το οποίο του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι, το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Επίσης προβληματίζει η έλλειψη τελλουρίου.





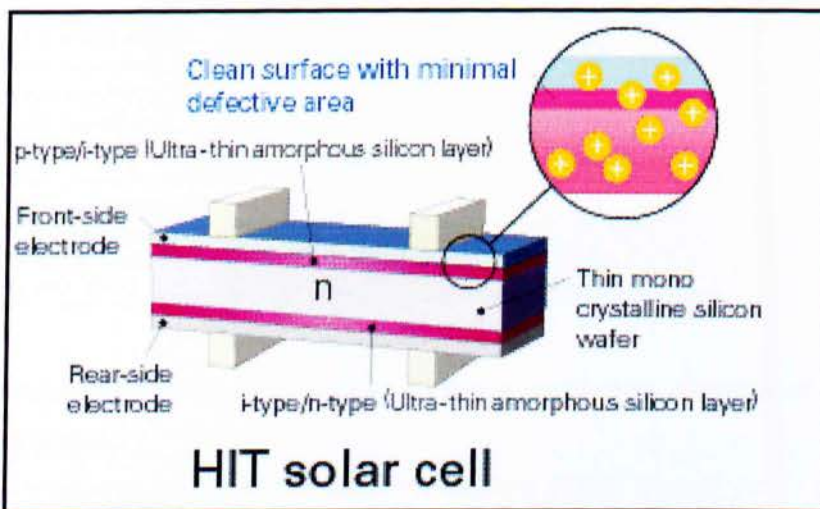
**3.3 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs):** Το γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από το χρυσό. Το αρσένιο δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43 eV το οποίο είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στη μορφή πολλαπλών συνενώσεων είναι η υψηλότερη η οποία έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός το οποίο, επιβάλλει σχεδόν τη χρήση τους.



#### 4. Υβριδικά στοιχεία


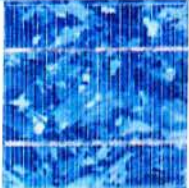

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου, ο οποίος φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2%, κατά συνέπεια χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Αλλά πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η εξαιρετική τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Το υβριδικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.



Στο κάτωθι σχήμα παρουσιάζεται ένας πίνακας ο οποίος συνοψίζει τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά, των ανωτέρω φωτοβολταϊκών τεχνολογιών:



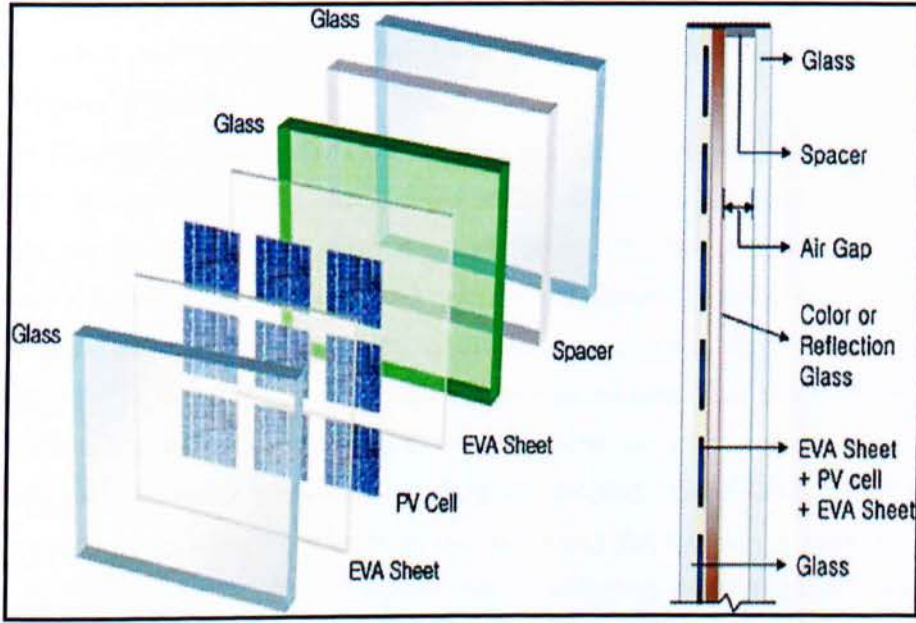
<b>Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών</b> (εξοπλισμός που κυκλοφορεί στην αγορά στις αρχές 2008)			
ΤΥΠΟΣ	'Λεπού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	α-Si: 4,2-6,6% μ-Si: 8,1-8,5% CIS-CIGS: 6-11% CdTe: 6-11,1%	11-14,8%	11-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	9-25 m <sup>2</sup>	7-9 m <sup>2</sup>	5,5-9 m <sup>2</sup>
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	1.300-1.450	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m <sup>2</sup> ) <small>(μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)</small>	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> ανά kWp)	1.300-1.450	1.300	1.300

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται από διάφορα στρώματα, τα οποία είναι:

- ✓ Ειδικό γυαλί
- ✓ Συμπυκνωμένο υλικό (Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Sheet) για την
- ✓ ενθυλάκωση των κυψελών
- ✓ Ηλιακές κυψέλες
- ✓ Συμπυκνωμένο υλικό (EVA)
- ✓ Ειδικό γυαλί
- ✓ Κενό αέρος
- ✓ Ειδικό γυαλί

Οι ηλιακές κυψέλες περικλείονται συνήθως από δυο κομμάτια γυαλιού ή ένα φύλλο γυαλιού και ένα πλαστικού, ενώ μερικές φορές εξ ολοκλήρου από πλαστικό. Τα είδη των γυαλιών που χρησιμοποιούνται είναι διαφανή, χρωματισμένα και αντανακλούν την θερμότητα.

Το συμπυκνωμένο υλικό είναι συνήθως EVA, υλικό που εμφανίζει πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση και μεγάλη διαπερατότητα στο φως. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Σχήμα 2.9.1.



**Σχήμα 2.9.1:** Δομή Φ/Β πλασίου

Για να μπορεί να γίνει κάποια ασφαλής σύγκριση μεταξύ των διαφόρων ειδών Φ/Β στοιχείων οι ονομαστικές τιμές απόδοσης τους υπολογίζονται κάτω από τις πρότυπες συνθήκες STC (Standard Test Conditions):

Συνθήκες STC	
Μέγεθος	Τιμή
Πυκνότητα ακτινοβολίας	1000 W/m <sup>2</sup>
Μάζα αέρα AM	1.5
Θερμοκρασία στοιχείου	25 °C



## 2.10 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ο κύκλος ζωής τους είναι 30 χρόνια. Ωστόσο, όπως αποδεικνύεται η λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων για 30 χρόνια δεν είναι εφικτή. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε διάφορα σφάλματα που παρατηρούνται στην λειτουργία των φωτοβολταϊκών πλαισίων τα οποία όχι μόνο μειώνουν τον χρόνο ζωής αλλά μειώνουν και την απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Για να κατανοηθεί ο όρος αστοχία ή σφάλμα που αναφέρεται παραπάνω είναι απαραίτητο να καθορισθεί ο όρος αξιοπιστία. Όταν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αναφέρεται ως αξιόπιστο, τότε αυτό σημαίνει ότι το πλαίσιο έχει μεγάλη πιθανότητα να λειτουργήσει επαρκώς για τον σκοπό που έχει σχεδιαστεί, στον αναμενόμενο χρόνο ζωής του και με την αναμενόμενη απόδοση όπως αυτή έχει οριστεί από τον κατασκευαστή. Για παράδειγμα, ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο δεν είναι αξιόπιστο όταν εμφανίζει κάποια αστοχία και η απόδοση του μειώνεται για κάθε χρόνο χρήσης του.

Τα σφάλματα μπορούν να χωριστούν σε δυο κατηγορίες. Η μια κατηγορία αφορά την ηλιακή κυψέλη, και η άλλη σχετίζεται με το περίβλημα της ηλιακής κυψέλης.

Η πρώτη κατηγορία αφορά σε σφάλματα που σχετίζονται με την ηλιακή κυψέλη και μπορεί να προκληθούν από μερικώς ή ολικώς κατεστραμμένες ηλιακές κυψέλες. Τα σφάλματα αυτά προκαλούνται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, από την οποία η ηλιακή κυψέλη μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά και δεν είναι δυνατόν να προστατευτεί ανεξαρτήτως του περιβλήματος. Επίσης, στις ηλιακές κυψέλες μπορεί να υπάρχουν ρωγμές οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από την μηχανική κοπή των κυψελών κατά την δημιουργία τους. Τέλος, από την κακή σύνδεση των ηλιακών κυψελών μπορεί να υπάρξει μείωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Τα σφάλματα που σχετίζονται με το περίβλημα της ηλιακής κυψέλης μπορεί να οφείλονται στην αστοχία υλικού (υλικά κακής ποιότητας) των δομικών στοιχείων του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Επίσης, η έλλειψη ακεραιότητας της δομής του πλαισίου μπορεί να προκαλέσει την μείωση της αντοχής του σε φορτία ανέμου και την εύκολη στρέβλωση του. Με αποτέλεσμα ρυπασμένα αέρια ή υγρασία να εισχωρούν στο εσωτερικό του πλαισίου και να προκαλούν την μείωση της απόδοσης του πλαισίου σε ποσοστό μεγαλύτερο του 1% για κάθε χρόνο χρήσης. Ιδιαίτερα, η υγρασία μπορεί να προκαλέσει διάβρωση των ηλιακών κυψελών και των συνδέσεων τους.

Τέλος, η κακή ποιότητα ή η καταστροφή της μόνωσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να προκαλέσει διαρροή ρεύματος, το οποίο με τη σειρά του να οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα.

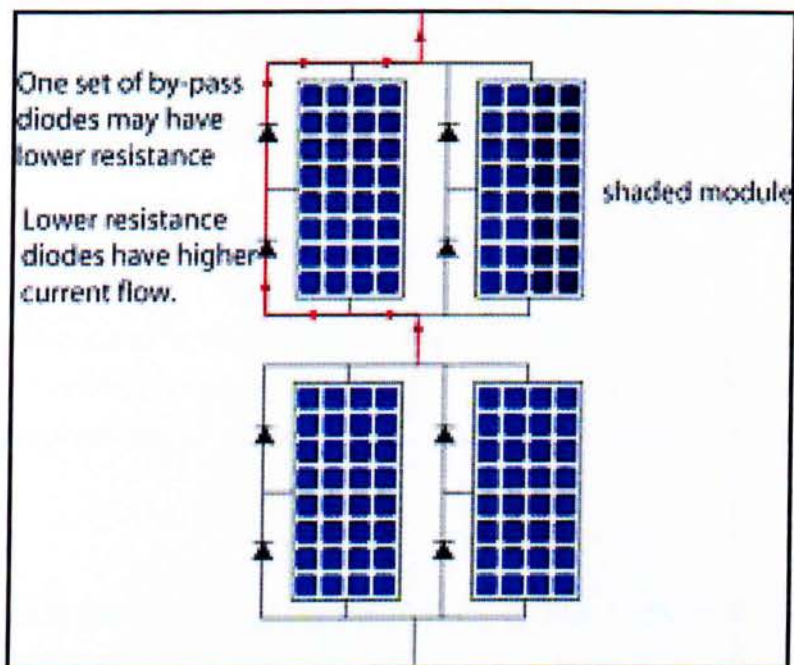
Εκτός από τα είδη των σφαλμάτων που αναφέρονται παραπάνω, υπάρχει μια ξεχωριστή κατηγορία που είναι πολύ σημαντική και η οποία παρατηρείται συχνά. Η κατηγορία αυτή ονομάζεται **φαινόμενο θερμής κηλίδας (hot spot)**. Για την σωστή παρουσίαση του φαινόμενου θερμής κηλίδας είναι απαραίτητη η εξήγηση της λειτουργίας της ηλιακής κυψέλης.

Όπως αναφέρεται και στην αρχή του κεφαλαίου, η ηλιακή κυψέλη είναι ουσιαστικά μια επαφή P-N. Όταν δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, λειτουργεί σαν μια πηγή ρεύματος σε κλειστό κύκλωμα. Αν συνδεθούν σε σειρά ηλιακές κυψέλες, οι τάσεις στα άκρα τους αθροίζονται και συμπεριφέρονται σαν μια ενιαία πηγή. **Όταν μια ηλιακή κυψέλη σκιάζεται**, τότε αυτή δεν συμπεριφέρεται σαν μια πηγή ρεύματος αλλά σαν μια δίοδο που μάλιστα είναι πολωμένη ανάστροφα αφού η συνολική τάση των υπολοίπων κυψελών εφαρμόζεται πάνω της με αντίστροφη φορά. Η **σκιασμένη ηλιακή κυψέλη με την σειρά της εμποδίζει την ροή του ηλεκτρικού ρεύματος**. Άρα, η συνολική συμπεριφορά του πλαισίου καθορίζεται από την συγκεκριμένη ηλιακή κυψέλη.

Το ανάστροφο ρεύμα αυξάνει την θερμοκρασία της κυψέλης και μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή της. Το **φαινόμενο αυτό ονομάζεται φαινόμενο θερμής κηλίδας**.

Όλο αυτό αποτρέπεται με την παράλληλη σύνδεση, σε τμήματα των εν σειρά φ/β στοιχείων, μιας **διόδου παράκαμψης (by-pass diode)**. Έτσι το φβ πλαίσιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί (διότι διατηρείται η ανάστροφη τάση σε μικρά επίπεδα) ακόμα και αν κάποιο στοιχείο του υστερεί. Παρακάτω παρουσιάζεται το αντίστοιχο σχήμα:





Έχουν αναπτυχθεί, και μάλιστα σε υψηλό επίπεδο, τρόποι για τον έλεγχο των σφαλμάτων στα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Μερικοί από τους τρόπους ανίχνευσης σφαλμάτων είναι:

- ❖ Υπέρυθρη απεικόνιση
- ❖ P-Spice προσομοίωση
- ❖ AMPS προσομοίωση
- ❖ Ανάλυση καμπύλης τάσης-ρεύματος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

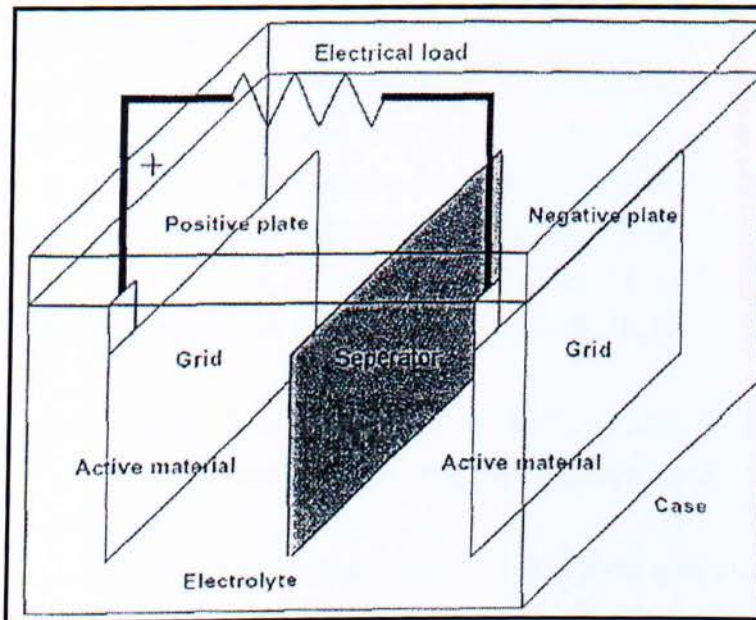
### ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

#### 3.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές είναι **μετατροπείς χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική** και έχουν δε τη δυνατότητα να εκτελούν αυτή τη μετατροπή και προς την αντίθετη κατεύθυνση παρέχοντας με άμεσο τρόπο τη δυνατότητα συσσώρευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

#### 3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Αν και η διαδικασία κατασκευής των συσσωρευτών ποικίλει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή, ορισμένα χαρακτηριστικά είναι κοινά σε όλες σχεδόν τις μπαταρίες.



Σχήμα 3.2.1:Κυψελίδα συσσωρευτή

**Δομική μονάδα του συσσωρευτή είναι η κυψελίδα cell** (σχήμα 3.2.1.)



Η **κυψελίδα** συνίσταται από μία θετική και μία αρνητική πλάκα που είναι βυθισμένες σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη και περικλείονται σε ένα δοχείο.

**Ενεργό Υλικό (Active Material):** Το ενεργό υλικό είναι ένας συνδυασμός υλικών τα οποία από τη θετική και την αρνητική πλάκα, είναι οι βασικοί συντελεστές της ηλεκτροχημικής αντίδρασης μέσα στην κυψελίδα. Η ποσότητα του ενεργού υλικού σε μία μπαταρία είναι ανάλογη της χωρητικότητας της. Σε μία τυπική μπαταρία μολύβδου, όπως είναι και η περίπτωση της μπαταρίας που χρησιμοποιούμε, το ενεργό υλικό είναι συνδυασμός διοξειδίου του μολύβδου ( $PbO_2$ ) στη θετική πλάκα με μεταλλικό πορώδη μόλυβδο ( $Pb$ ) στην αρνητική, που αντιδρούν σε διάλυμα θειικού οξέος ( $H_2SO_4$ ) κατά τη λειτουργία της μπαταρίας.

**Ηλεκτρολύτης:** Ο ηλεκτρολύτης είναι το αγωγίμο μέσο που επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ιοντικής ανταλλαγής ή της ανταλλαγής ηλεκτρονίων, επάνω στις πλάκες της κυψελίδας. Σε περιπτώσεις που ο ηλεκτρολύτης είναι υγρό διάλυμα, συχνά, απαιτείται η αναπλήρωση νερού λόγω του φαινομένου της εξαέρωσης.

**Πλέγμα (Grid):** Σε μία μπαταρία μολύβδου, το πλέγμα συνήθως είναι ένα πλαίσιο από κράμα μολύβδου το οποίο υποστηρίζει το ενεργό υλικό επάνω στις πλάκες και είναι αγωγός ηλεκτρικού ρεύματος. Υλικά κράματος όπως το αντιμόνιο ( $Sb$ ) ή το ασβέστιο ( $Ca$ ) συχνά χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν τη μηχανική αντοχή των πλακών και έχουν χαρακτηριστική επίδραση στις επιδόσεις της μπαταρίας.

**Πλάκες (Plates):** Οι πλάκες, που συνίστανται από το πλέγμα και από το ενεργό υλικό, είναι το βασικό στοιχείο της μπαταρίας και αναφέρονται ως ηλεκτρόδια. Γενικά, υπάρχει ένα πλήθος αρνητικών και θετικών πλακών, συνδεδεμένων παράλληλα, μέσα σε μία κυψελίδα.

**Διαχωριστής (Separator):** Ο διαχωριστής είναι ένα πορώδες απομονωτικό μέσο μεταξύ των πλακών της μπαταρίας που εμποδίζει την αγωγή επαφή μεταξύ θετικού και αρνητικού ηλεκτροδίου.

**Πόλοι ή Τερματικοί Πόλοι (Terminal Poles):** Οι πόλοι είναι οι εξωτερικές θετικές ή αρνητικές, ηλεκτρικές συνδέσεις της μπαταρίας. Ένα φορτίο ή ένα φωτοβολταϊκό σύστημα συνδέεται με τη μπαταρία μέσω των πόλων.

Ο τύπος των συσσωρευτών μπορεί να αναφέρεται ως Μολύβδου-Οξειδίου (lead-acid ή απλά  $Pb$ ), Νικελίου-Καδμίου ( $Ni-Cd$ ), Αργύρου-Ψευδαργύρου κτλ, ανάλογα με το υλικό κατασκευής των ηλεκτροδίων τους.



Σε όποιον τύπο και αν ανήκουν οι συσσωρευτές, ο μηχανισμός της λειτουργίας τους στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία.

### **3.2.1 Τύποι συσσωρευτών**

Γνωστοί τύποι συσσωρευτών μολύβδου είναι: οι συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb), οι συσσωρευτές μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca) οι οποίοι χωρίζονται σε υγρού καταλύτη με ανοικτή ή με σφραγισμένη βαλβίδα εξαέρωσης, οι υβριδικοί συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου / μολύβδου-ασβεστίου, οι μολύβδου με δεσμευμένο καταλύτη που μπορεί να είναι gelled ή absorbed glass material (AGM).

Για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων κατάλληλοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν τη δυνατότητα να υποστούν βαθιά εκφόρτιση χωρίς να αλλοιώνεται η χωρητικότητα τους και να μειώνεται η διάρκεια ζωής. Αναλόγως του φορτίου, άλλοτε είναι απαραίτητη η δυνατότητα παροχής εντόνου ρεύματος για μικρά χρονικά διαστήματα και άλλοτε η παροχή μίας κανονικής τιμής ρεύματος για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Ιδιαίτερα για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και όπου οι μεταβολές της ηλιοφάνειας μπορούν να είναι έντονες και μακρόχρονες, απαραίτητοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση και συχνά απαιτείται μία καλή σχέση κόστους και διάρκειας ζωής. Για ένα τέτοιο σύστημα, καλή επιλογή θα αποτελούσε ένας συσσωρευτής μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sd). Αυτοί είναι συσσωρευτές με εξαιρετικά χαρακτηριστικά, όσο αφορά τις δυνατότητες βαθιάς εκφόρτισης και υψηλού ρυθμού εκφόρτισης. Έχουν, επίσης, μεγάλη διάρκεια ζωής και υφίστανται μικρή διάχυση των ενεργών υλικών τους. Μειονέκτημα τους είναι ο μεγάλος βαθμός αυτοεκφόρτισης που υφίστανται και που οδηγεί στην ανάγκη να υπερφορτίζονται με αποτέλεσμα τη μεγάλη απώλεια υγρών που εξαρτάται και από τις θερμοκρασίες λειτουργίας.

Καλή επιλογή για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη, λόγω της στεγανότητας τους και της ευκολίας μετακίνησης που παρουσιάζουν. Έχουν βαλβίδα εξαέρωσης, που ανοίγει σε ορισμένη πίεση όταν υπερφορτιστούν, για να απελευθερωθούν τα αέρια που δημιουργήθηκαν όμως, δεν υπάρχει δυνατότητα αναπλήρωσης του ηλεκτρολύτη.



Το γεγονός ότι δεν έχουν απαιτήσεις συντήρησης (ούτε και δυνατότητα), σε συνδυασμό με την ευκολία στη μετακίνηση, τις καθιστά ιδανικές για συστήματα σε απομακρυσμένα ή δυσπρόσιτα μέρη. Εκτός από το πρόβλημα της υπερφόρτισης, η απώλεια ηλεκτρολύτη μπορεί να επιταχυνθεί λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα της αναπλήρωσης του, ειδικά μέτρα πρέπει να ληφθούν. Είναι δυνατόν να γίνει θερμοκρασιακή αντιστάθμιση και ρύθμιση ακριβείας ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτιση και η υπερβολική εκφόρτιση και μέσω του περιορισμού του φορτίου να αποφευχθεί ο μεγάλος ρυθμός εκφόρτισης. Οι συσσωρευτές μολύβδου δεσμευμένου ηλεκτρολύτη δεν αντιμετωπίζουν τόσο μεγάλο πρόβλημα μείωσης χωρητικότητας σε ψυχρότερο περιβάλλον όσο αυτοί του υγρού ηλεκτρολύτη, παρέχονται σε δύο τύπους (gelled electrolyte, AGM) και πάνω από τα μισά απομακρυσμένα μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα τους χρησιμοποιούν.

### 3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

#### 3.3.1 Χωρητικότητα

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή ή που μπορεί να αποδοθεί από αυτόν, είναι η χωρητικότητα C του συσσωρευτή. Η χωρητικότητα συνήθως καθορίζεται για ένα συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης ή περίοδο εκφόρτισης.

Η μονάδα έκφρασης της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι το Amber-hour (Ah) και ο ρυθμός εκφόρτισης εκφράζεται ως το κλάσμα της χωρητικότητας C προς τη διάρκεια της περιόδου εκφόρτισης σε ώρες (π.χ. εκφόρτιση σε 120 ώρες ισοδυναμεί με ρυθμό εκφόρτισης C/120). Η μονάδα του ρυθμού εκφόρτισης είναι το Amber. Έτσι, μία μπαταρία με χωρητικότητα C=375 Ah ορισμένη σε ρυθμό εκφόρτισης C/120, δηλαδή 375A, μπορεί να αποδίδει 375A για χρονικό διάστημα 120 ωρών. Μερικές φορές η χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια του συσσωρευτή, εκφράζεται σε Kilowatt-hour (KWh) και υπολογίζεται προσεγγιστικά πολλαπλασιάζοντας τη χωρητικότητα σε Ah με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή και διαιρώντας με 1000. Για παράδειγμα, συσσωρευτής 12V, 100Ah, έχει χωρητικότητα σε αποθηκευμένη ενέργεια  $12 \times 100 / 1000 = 1.2 \text{KWh}$ . Ο υπολογισμός της απαιτούμενης χωρητικότητας, είναι ένας καθοριστικός παράγοντας στην επιλογή του αριθμού των κυψελίδων και του τύπου του συσσωρευτή.



Δεδομένου του μέγιστου ρεύματος που μπορεί ένα φορτίο να καταναλώσει και του χρονικού διαστήματος που το φορτίο μπορεί να εξαρτάται αποκλειστικά από τον συσσωρευτή (δηλαδή την αυτονομία του), η χωρητικότητα που απαιτείται πρέπει να είναι ορισμένη για ρυθμό εκφόρτισης τουλάχιστον ίσο με το μέγιστο ρεύμα κατανάλωσης ή για χρόνο εκφόρτισης τουλάχιστον ίσο με τον χρόνο που το φορτίο θα καταναλώνει αποκλειστικά από τον συσσωρευτή.

Άλλο μέτρο της χωρητικότητας του συσσωρευτή είναι η κατάσταση φόρτισης (state of charge ή SOC), που ορίζεται σαν το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας και εκφράζεται ως το ποσοστό της ενέργειας ενός πλήρως φορτισμένου συσσωρευτή. Έτσι, ένας συσσωρευτής του οποίου τα  $\frac{3}{4}$  της ενέργειας του έχουν αφαιρεθεί, δηλαδή έχει εκφορτιστεί κατά 75%, λέγεται ότι βρίσκεται στο 25% SOC.

### **3.3.2 Εκφόρτιση και επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης**

Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης (depth of discharge ή DOD) είναι το μέγιστο ποσοστό της χωρητικότητας το οποίο μπορεί να αποδοθεί από τη μπαταρία. Συνήθως καταδεικνύεται από την τάση αποκοπής ή τάση βάθους εκφόρτισης και από τον ρυθμό εκφόρτισης. Στα τυπικά φωτοβολταϊκά συστήματα, προβλέπεται μία τάση αποκοπής του φορτίου από τη συσκευή του ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών και έτσι καθορίζεται το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης για δεδομένο ρυθμό εκφόρτισης. Οι τιμές του επιτρεπόμενου DOD μπορούν να είναι από 80% έως και 15% της χωρητικότητας ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας.

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, κατά την εκφόρτιση της μπαταρίας μειώνεται η πυκνότητα του διαλύματος του ηλεκτρολύτη, δηλαδή μειώνεται το ειδικό του βάρος. Το φαινόμενο της μείωσης του ειδικού βάρους του ηλεκτρολύτη πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη για λειτουργία του συσσωρευτή σε θερμοκρασίες που πλησιάζουν τη θερμοκρασία στερεοποίησης του νερού (0°C). Σε έναν πλήρως φορτισμένο συσσωρευτή μολύβδου, η συγκέντρωση ηλεκτρολύτη στο διάλυμα είναι περίπου 35% κατά βάρος και το σημείο στερεοποίησης του διαλύματος είναι πολύ χαμηλό (περίπου -60°C). Καθώς ο συσσωρευτής εκφορτίζεται, το διάλυμα του ηλεκτρολύτη αραιώνεται και το σημείο στερεοποίησης του διαλύματος πλησιάζει το σημείο στερεοποίησης του νερού (0°C). Υπάρχει λοιπόν το ενδεχόμενο της στερεοποίησης του με αποτέλεσμα τη διαστολή και την πιθανή διάρρηξη των τοιχωμάτων του δοχείου της κυψελίδας.



Για να αποφευχθεί αυτή η εξέλιξη, το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης πρέπει να μειώνεται θέτοντας την τάση αποκοπής του φορτίου στην συσκευή ρυθμιστή φόρτισης σε κατάλληλο σημείο. Το αποτέλεσμα θα είναι ο συσσωρευτής να μην εκφορτίζεται πλήρως και η θερμοκρασία στερεοποίησης να διατηρείται χαμηλά. Το κόστος θα είναι η μείωση της αυτονομίας του συστήματος μπαταρίας-συσσωρευτή.

### **3.3.3 Αυτοεκφόρτιση**

Η αυτοεκφόρτιση είναι η διαδικασία κατά την οποία ο συσσωρευτής υφίσταται μείωση του SOC (state of charge), χωρίς να είναι συνδεδεμένος με κάποια κατανάλωση. Τυπικό μέγεθος αυτοεκφόρτισης είναι η απώλεια του 0.7% του SOC ανά ημέρα και για τον λόγο αυτό, οι συσσωρευτές πρέπει να βρίσκονται σε συνθήκες συντηρητικής φόρτισης ακόμα και αν δεν υπάρχει κατανάλωση.

### **3.3.4 Φόρτιση**

Η φόρτιση του συσσωρευτή είναι η διαδικασία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος προς τον συσσωρευτή. Οι μέθοδοι φόρτισης που εφαρμόζονται από τους ρυθμιστές φόρτισης στα φωτοβολταϊκά συστήματα, διαφέρουν γενικά από αυτές που εφαρμόζουν οι κατασκευαστές για να καθορίσουν τις επιδόσεις της μπαταρίας.

Για σωστή φόρτιση του συσσωρευτή ένα σωστό σημείο ισορροπίας πρέπει να αναζητείται μεταξύ της μέγιστης δυνατής φόρτισης και της τάσης εκλύσεως αερίων, αφού και οι δύο είναι παράγοντες που σχετίζονται με τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή. Άλλος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για το επιδιωκόμενο SOC είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η χωρητικότητα του συσσωρευτή, μειώνεται όμως η τάση εκλύσεως αερίων. Έτσι, το μέγιστο SOC που μπορεί να επιτευχθεί σε δεδομένη θερμοκρασία, κατά κάποιο τρόπο φράσσεται από την τάση εκλύσεως αερίων.

### **3.3.5 Συντελεστής φόρτισης και απόδοση ισχύος**

Τα αμπερώρια (Ah) που είναι απαραίτητα για τη φόρτιση ενός συσσωρευτή και την αύξηση του SOC κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό είναι, κατά κανόνα, περισσότερα από τα Ah που αποδίδει όταν εκφορτιστεί κατά το ίδιο ποσοστό του SOC.

Ο συντελεστής φόρτισης ορίζεται ως το κλάσμα της εισερχόμενης ποσότητας Ah προς την εξερχόμενη ποσότητα Ah, δηλαδή ισχύει:

$$\text{Συντελεστής Φόρτισης} = \frac{\text{Εισερχόμενη Ποσότητα (Ah)}}{\text{Εξερχόμενη Ποσότητα (Ah)}} \quad (3.3)$$

Αντίστοιχα, ο λόγος της ισχύος που δίνει ένας πλήρως φορτισμένος συντελεστής προς την ενέργεια που απαιτείται για να φορτιστεί πλήρως ονομάζεται απόδοση ισχύος:

$$\text{Απόδοση Ισχύος} = \frac{\text{Εξερχόμενη Ενέργεια (kW)}}{\text{Εισερχόμενη Ενέργεια (kW)}} \quad (3.4)$$

### 3.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω καταλήγουμε σε ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας  $C_N$ , όπου η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα  $C$  δίνεται από τη σχέση:

$$C = C_N \times \beta$$

Όπου  $\beta$  είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή.

Η μέγιστη Ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποταμιευτεί και να ανακτηθεί σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης είναι:

$$E = C \times V = C_N \times \beta \times V$$

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μολύβδου  $\alpha$ , δηλαδή ο λόγος της μέγιστης ποσότητας ενέργειας που ανακτάται προς την ενέργεια που είχε απορροφηθεί από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια είναι περίπου 85%. Επομένως αν η ενέργεια που ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι  $E$  τότε η ονομαστική του χωρητικότητα  $C_N$  είναι:

$$C_N = \frac{E_\Phi}{\beta \times V} = \frac{E}{\alpha \times \beta \times V}$$

Ως προς τη παρεχόμενη ισχύ βρίσκουμε ότι εάν ένας συσσωρευτής απαιτείται να τροφοδοτεί τη κατανάλωση με μέση ισχύ  $P$  επί  $\mu$  μέρες τότε η ενεργός χωρητικότητα θα πρέπει να είναι:

$$C = \frac{24\mu \times P}{\alpha \times V}$$



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

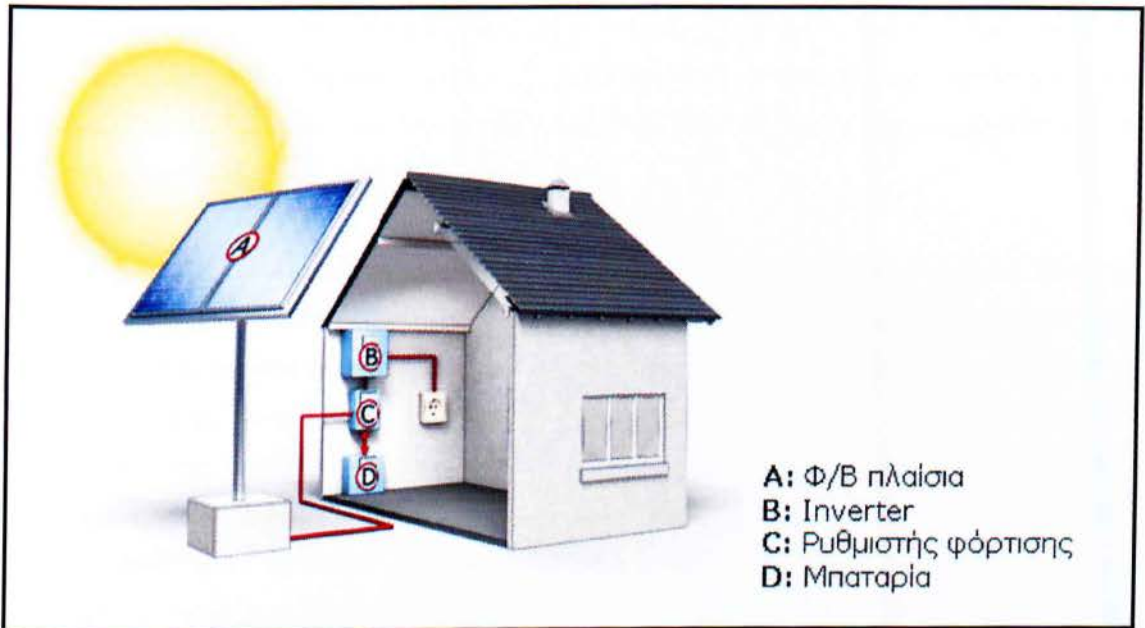
#### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

Κάποιες από αυτές είναι:

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

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



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

Οι ηλιογεννήτριες παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα (DC) από το φως. Το ρεύμα αυτό, φορτίζει τις μπαταρίες, με τη βοήθεια του ρυθμιστή φόρτισης. Ο μετατροπέας αλλάζει το ρεύμα των συσσωρευτών από συνεχές DC, σε εναλλασσόμενο AC 230V. Ειδικότερα για τον ελλαδικό χώρο, ο οποίος έχει πολυάριθμα μικρά νησιά και μικρούς οικισμούς, τα αυτόνομα φ/β συστήματα έχουν βρει πολλές εφαρμογές, ενώ υπάρχουν ακόμα πολλές δυνατότητες ανάπτυξης.

Τα συστήματα που καλούνται υβριδικά φ/β συστήματα μπορεί να περιέχουν και άλλες εναλλακτικές βοηθητικές πηγές ενέργειας (π.χ. ανεμογεννήτρια). Τα υβριδικά μπορούν επίσης να αποτελέσουν μια λογική προσέγγιση σε καταστάσεις όπου οι περιστασιακές αιχμές ζήτησης είναι σημαντικά υψηλότερες από τη ζήτηση φορτίου βάσης.

#### 4.2 ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

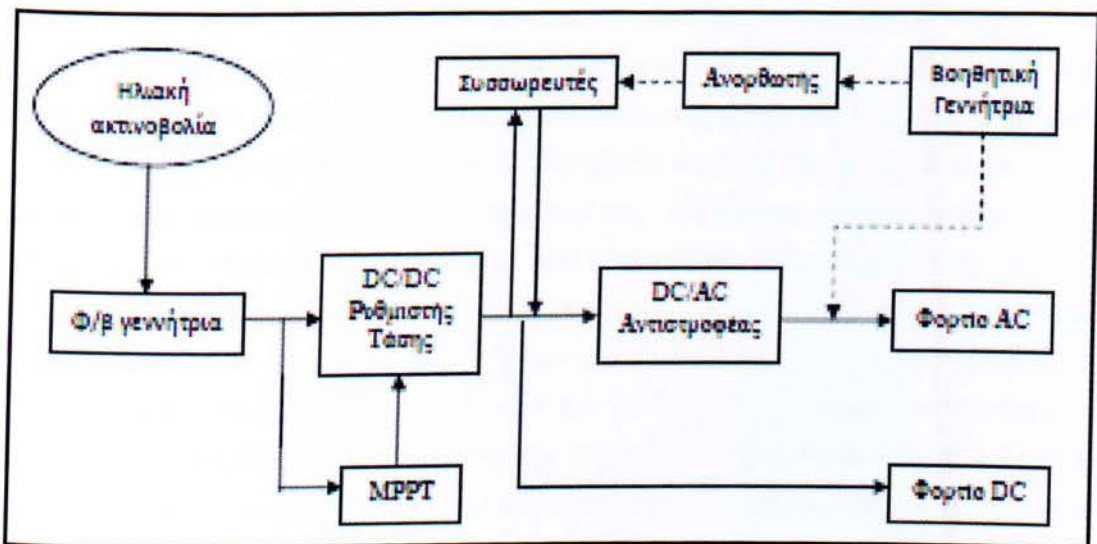
Σε πολλά DC συστήματα οι μεταβολές της τάσης που οφείλονται σε μεταβολή των καιρικών συνθηκών και μείωση του βαθμού απόδοσης των φ/β, αντισταθμίζονται με έλεγχο της τάσης της συστοιχίας με τη βοήθεια DC/DC ρυθμιστών τάσης.



Έτσι παρέχεται ισχύς σε σταθερή τάση με σκοπό τη προστασία των συσσωρευτών και των φορτίων από ακραίες τιμές. Οι μετατροπείς μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το αν η τάση εξόδου που βγάζουν είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την τάση εισόδου

Σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα θέλουμε να εξάγουμε από τη συστοιχία το μέγιστο δυνατό ποσό ενέργειας δηλαδή σε κάθε χρονική στιγμή το σημείο λειτουργίας να αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μια μονάδα που ονομάζεται Ανιχνευτής Σημείου Μέγιστης Ισχύος (MPPT). Η τεχνολογία της ανίχνευσης της μέγιστης ισχύος, άρχισε να χρησιμοποιείται σχετικά πρόσφατα στις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών και αποτελεί πλέον χαρακτηριστικό κάθε καλού αντιστροφέα για σύνδεση με το δίκτυο ή φορτιστή συσσωρευτών. Σήμερα χρησιμοποιούνται πολυάριθμες τεχνικές και αλγόριθμοι για την εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος.

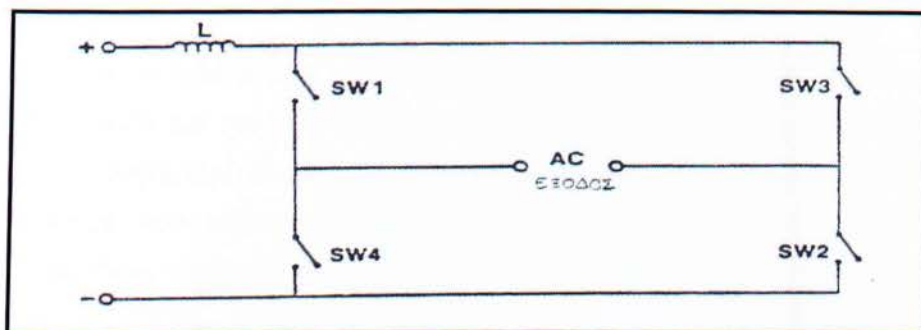
Αν οι ανάγκες του φορτίου απαιτούν AC ισχύ χρησιμοποιείται και ένας αντιστροφέας inverter ώστε να μετατρέπει την DC σε AC ισχύ. Τα χαρακτηριστικά που θέλουμε να επιτύχουμε στην έξοδο του αντιστροφέα είναι ημιτονοειδής ισχύς εξόδου σταθερού πλάτους, σταθερής συχνότητας και χωρίς απώλειες.



**Σχήμα 4.2:** Απλοποιημένο διάγραμμα αυτόνομου φ/β συστήματος. Εάν χρησιμοποιηθεί μια βοηθητική πηγή ενέργειας, όπως φαίνεται στο σχήμα με την διακεκομμένη γραμμή, τότε το σύστημα καλείται υβριδικό φ/β σύστημα.

#### 4.2.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ DC/AC

Τα χαρακτηριστικά που θέλουμε να επιτύχουμε στην έξοδο του αντιστροφέα είναι ημιτονοειδής ισχύς εξόδου σταθερού πλάτους, σταθερής συχνότητας και χωρίς απώλειες. Συνήθως για τη μετατροπή αυτή χρησιμοποιούμε ημιαγωγικά στοιχεία ισχύος σαν διακόπτες όπως τρανζίστορ ή θυρίστορ και η γενική τοπολογία του κυκλώματος του αντιστροφέα φαίνεται στο σχήμα 4.2.1:



**Σχήμα 4.2.1:** Διάταξη μονοφασικού αντιστροφέα.

##### • Τύποι αντιστροφέων

Υπάρχουν διάφορες τοπολογίες που μπορεί να υλοποιηθεί ένας αντιστροφέας. Η απλή τοπολογία παρουσιάζει υψηλό βαθμό απόδοσης αλλά η κυματομορφή και η σταθεροποίηση της τάσης εξόδου δεν είναι αποδεκτή για τις περισσότερες εφαρμογές. Τα μειονεκτήματα αυτά μπορούν να εξαλειφθούν εν μέρει με τη βοήθεια φίλτρων τα οποία όμως έχουν μεγάλο όγκο και κόστος. Άλλες πιο προχωρημένες τεχνικές μειώνουν τις απαιτήσεις σε φίλτρα αλλά παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες. Συνεπώς η επιλογή της τοπολογίας βασίζεται στην εύρεση της χρυσής τομής ανάμεσα σε αντικρουόμενες απαιτήσεις όσον αφορά το κόστος, την ποιότητα της τάσης εξόδου, το περιεχόμενο σε αρμονικές, τον όγκο κ.λ.π. Αν και η τεχνολογία των αντιστροφέων είναι αρκετά ανεπτυγμένη, εν τούτοις δεν είναι αρκετά ξεκάθαρο ποια από τις πολλές τοπολογίες που υπάρχουν είναι η καταλληλότερη για κάθε φωτοβολταϊκή εφαρμογή. Ένας αντιστροφέας πρέπει να εκτελεί τρεις λειτουργίες που είναι α) αντιστροφή, β) ρύθμιση της τάσης και γ) διαμόρφωση της κυματομορφής.

Οι αντιστροφείς που υπάρχουν μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το σβήσιμο των διακοπτικών τους στοιχείων όταν αυτά είναι θυρίστορ. Όταν η ενέργεια για το σβήσιμο των θυρίστορ παρέχεται από μια εξωτερική πηγή (δίκτυο) τότε ανήκουν στην κατηγορία των αντιστροφέων οδηγούμενων από το δίκτυο ή με φυσική μετάβαση.



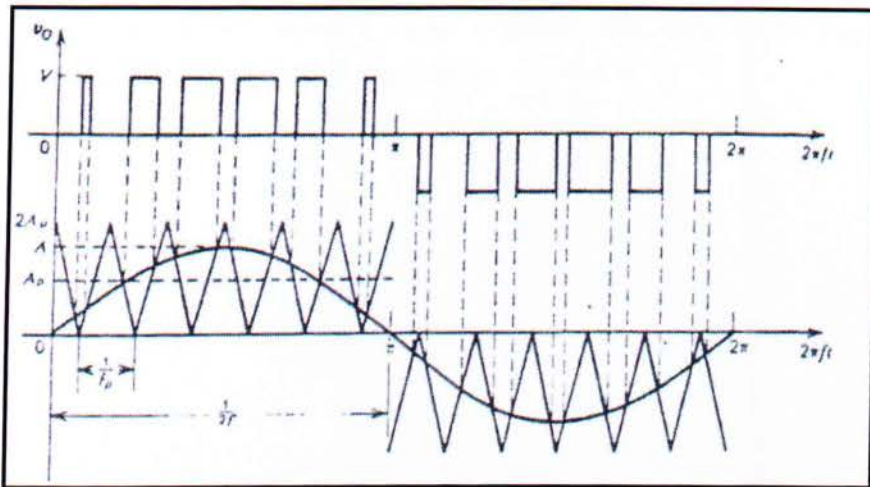
Όταν η ενέργεια αυτή προέρχεται από εσωτερικά κυκλώματα που περιέχουν στοιχεία όπως πυκνωτές τότε ανήκουν στην κατηγορία των αντιστροφών με εξαναγκασμένη μετάβαση ή αυτοοδηγούμενοι αντιστροφείς. Οι αντιστροφείς που περιέχουν τρανζίστορες ανήκουν πάντα στην κατηγορία των φυσικά αυτοοδηγούμενων αντιστροφών.

#### • ΜΕΘΟΔΟΣ PWM

Ένας τρόπος να μεταβάλλουμε τον λόγο μεταξύ της DC τάσης εισόδου προς την AC τάση εξόδου είναι με την βοήθεια του κυκλώματος ελέγχου του αντιστροφέα. Οι τεχνικές που υπάρχουν διαφέρουν ως προς το αρμονικό περιεχόμενο της τάσης εξόδου πράγμα που καθορίζει την κατάλληλη κάθε φορά επιλογή. Οι τρεις πιο γνωστές τεχνικές χρησιμοποιούν διαμόρφωση εύρους παλμού (Pulse Width Modulation ή PWM) η οποία απαιτεί εξαναγκασμένη μεταγωγή και είναι: 1) διαμόρφωση με έναν παλμό, 2) διαμόρφωση με πολλούς παλμούς και 3) διαμόρφωση με ημιτονοειδή παλμό.

Το κύκλωμα έλεγχου ελέγχει την έναυση και σβέση των διακοπτικών στοιχείων του αντιστροφέα που συνήθως είναι MOSFET ή IGBT για τέτοιες εφαρμογές. Στην εργασία αυτή θα χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο PWM με διαμόρφωση με ημιτονοειδή παλμό γιατί θέλουμε να πάρουμε μια τάση στην έξοδο που να πλησιάζει όσο το δυνατό περισσότερο το ημίτονο. Οι συναρτήσεις ελέγχου αποτελούνται από ένα ημίτονο μεταβλητού πλάτους και μια τριγωνική κυματομορφή σταθερού πλάτους με μια συνεχή συνιστώσα, η οποία αναστρέφεται σε πολικότητα στο τέλος κάθε ημικύκλιου της τάσης εξόδου. Οι γωνίες έναυσης και σβέσης των διακοπτικών στοιχείων καθορίζονται από την τομή αυτών των δυο κυματομορφών ελέγχου. Η τάση εξόδου ελέγχεται με μεταβολή του πλάτους του ημίτονου. Αν αυτό γίνει πολύ μεγάλο τότε η χρονική μεταβολή της τάσης εξόδου πλησιάζει την τετραγωνική κυματομορφή που φαίνεται στο σχήμα 4.2.2.

Το ημίτονο (λέγεται σήμα αναφοράς) έχει μεταβλητό πλάτος  $A$  και συχνότητα  $f$ , ενώ η τριγωνική κυματομορφή (λέγεται και φορέας) έχει σταθερό πλάτος  $A_p$ , δηλαδή μια συνεχή συνιστώσα με μέτρο  $A_p$  και συχνότητα  $f_p$ . Το πλάτος του ημίτονου  $A$  γενικά μπορεί να πάρει τιμή μεγαλύτερη από το πλάτος του τριγώνου  $A_p$ . Ο αριθμός των παλμών ανά ημικύκλο δίνεται από την σχέση  $2N = f_p/f$  και είναι πάντα ακέραιος. Στο σχήμα 4.13 φαίνεται η τάση εξόδου και τα σήματα ελέγχου για  $N=6$ .

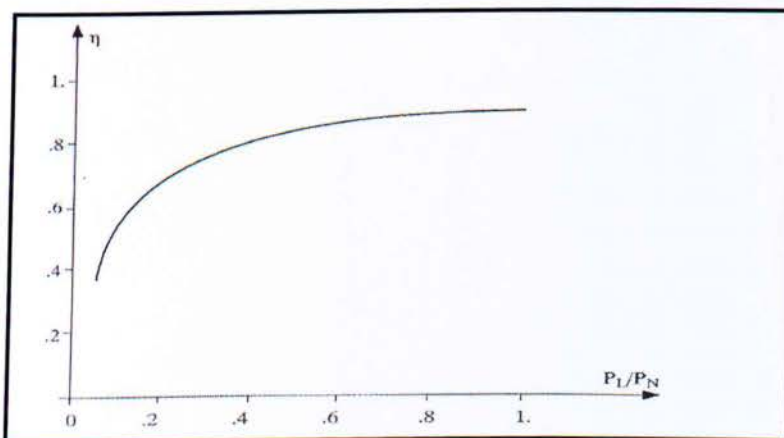


**Σχήμα 4.2.2:** Τάση εξόδου, σήμα αναφοράς και φορέας.

- **ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ**

Η λειτουργική συμπεριφορά του μετατροπέα χαρακτηρίζεται από την ονομαστική ισχύ στην έξοδο του, την αντοχή του σε απότομη αύξηση της ισχύος εισόδου, την απόδοσή του και την παραμόρφωση των αρμονικών (ηλεκτρονική παραμόρφωση).

Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι η μέγιστη απόδοση του αντιστροφέα επιτυγχάνεται πλησίον της ονομαστικής ισχύος εξόδου. Για αυτό το λόγο είναι εύλογο να εξετάζεται η καμπύλη απόδοσης ενός αντιστροφέα συναρτήσει της ισχύος στην έξοδό του  $P_L$  όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2.3 όπου  $P_N$  η ονομαστική ισχύς του μετατροπέα:



**Σχήμα 4.2.3:** Απόδοση αντιστροφέα συναρτήσει της ισχύος εξόδου.



Το μειονέκτημα των περισσότερων αντιστροφών είναι ότι έχουν πολύ μικρή απόδοση ή δεν λειτουργούν καθόλου όταν η ισχύς εισόδου τους είναι πολύ μικρότερη της ονομαστικής ισχύος τους (της τάξης του 10%).

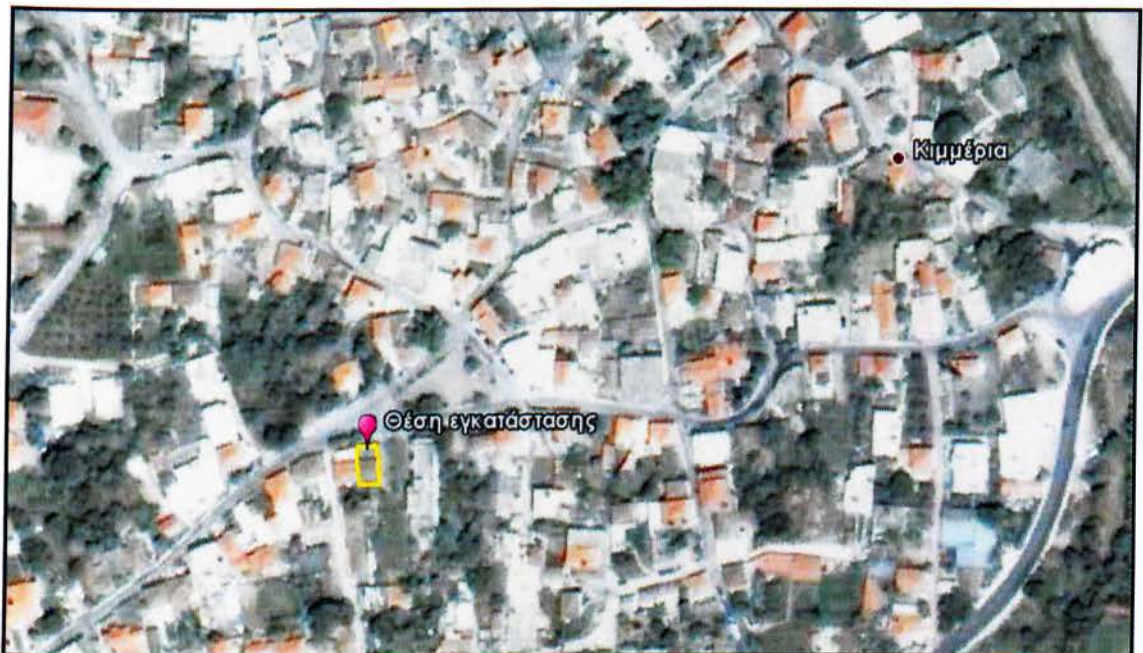
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑ

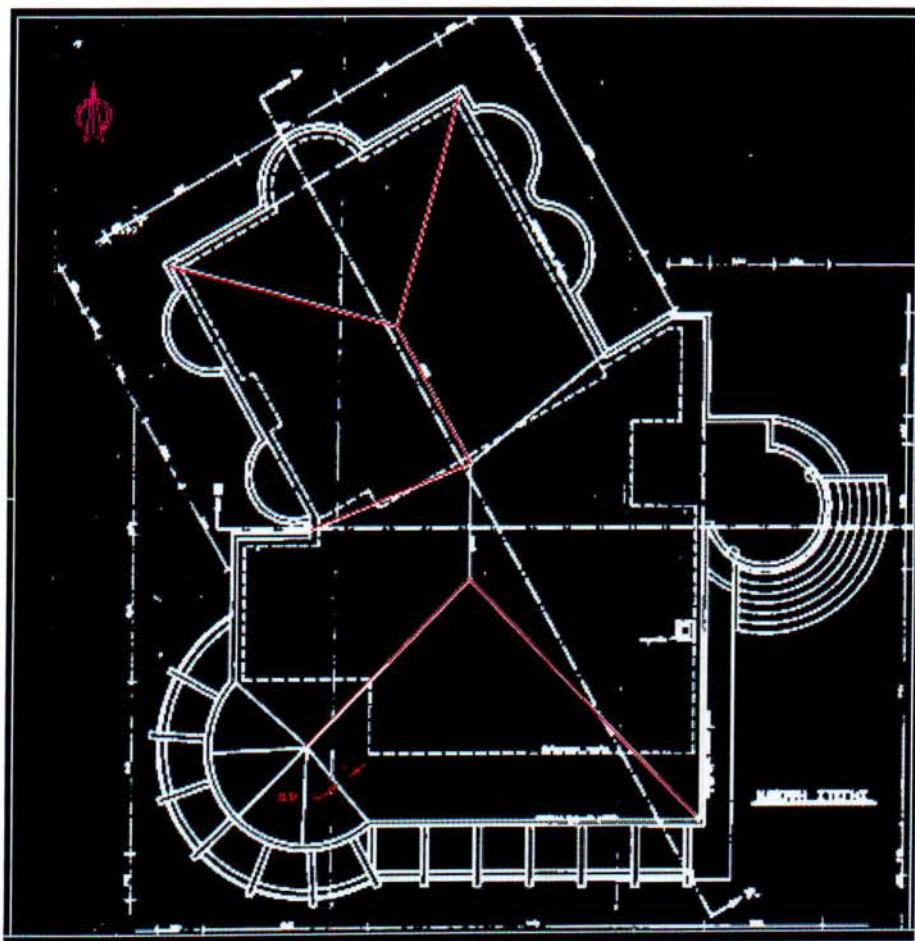
#### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατοικία που μελετάμε στεγάζει μια οικογένεια στο νομό Ξάνθης κοντά στον οικισμό Κιμμέρια. Η κατοικία έχει εμβαδόν  $156 \text{ m}^2$  και αποτελείται από 3 υπνοδωμάτια, 1 μπάνιο, κουζίνα και σαλόνι.

**Σχήμα 5.1.1:** Περιοχή μελέτης (Google Earth)







**Σχήμα 5.1.1:** Κάτοψη της οικίας

## 5.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ-ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Για να έχουμε ένα σωστό σχεδιασμό θα πρέπει καταρχήν να αποφανθούμε για τη χρονική λειτουργία του συστήματος. Εν συνεχεία θα καθοριστεί το φορτίο. Κατόπιν με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα επιλέγεται η κλίση των συλλεκτών και έτσι καθορίζεται η απαιτούμενη ισχύς αιχμής, το πλήθος και η οργάνωση των φ/β πλαισίων, καθώς και η χωρητικότητα των συσσωρευτών.

### 5.2.1 Χρονική περίοδος

Είναι φανερό ότι το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα **καθ' όλη τη διάρκεια του έτους**, θα πρέπει δηλαδή κάθε μέρα να καλύπτει το φορτίο.

### 5.2.2 Ηλεκτρικές Καταναλώσεις

Στους πίνακες που ακολουθούν καταχωρήθηκαν τα στοιχεία ημερήσιας κατανάλωσης κατά τη διάρκεια των χειμερινών και θερινών μηνών.

Περιγραφή φορτίου	Αριθμός συσκευών	Ισχύς (W)	Ώρες λειτουργίας (h)	Ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση (Wh)
Ψυγειοκαταψύκτης	1	150	24	3600 *10% = 360
Απορροφητήρας	1	240	1	240
Αναδευτήρας καφέ	1	15	0,05	0,75
πλύντερ moulipex	1	200	0,036	7,2
Τοστιέρα	1	650	0,25	162,5
Καφετιέρα	1	700	0,33	231
Πλυντήριο ρούχων	1	1200	0,43	516
Ατμοσίδηρο	1	2000	0,43	860
Τηλεόραση LCD 32"	1	80	4	320
Στεγνωτήρας μαλλιών	1	1800	0,25	450
Laptop	1	50	5	250
Εκτυπωτής	1	20	0,0024	0,048
Στερεοφωνικό	1	100	2	200
Φωτισμός (εσωτερικός)	2	15	6	180
Φωτισμός (εσωτερικός)	8	18	6	864
Φωτισμός (εξωτερικός)	3	60	3	540
<b>Σύνολο</b>		<b>7298</b>		<b>5181,498</b>

**Πίνακας 5.2.2.1:** Πίνακας ημερήσιας κατανάλωσης κατά τους χειμερινούς μήνες.



Περιγραφή φορτίου	Αριθμός συσκευών	Ισχύς (W)	Ώρες λειτουργίας (h)	Ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση (Wh)
Ψυγειοκαταψύκτης	1	150	24	3600*50% = 1800
Απορροφητήρας	1	240	1	240
Αναδευτήρας καφέ	1	15	0,05	0,75
πλύντερ moulinex	1	200	0,036	7,2
Τοστιέρα	1	650	0,25	162,5
Πλυντήριο ρούχων	1	1200	0,43	516
Ατμοσίδερο	1	2000	0,43	860
Ηλεκτρική σκούπα	1	1400	0,14	196
Τηλεόραση LCD 32"	1	80	4	320
Στεγνωτήρας μαλλιών	1	1800	0,25	450
Laptop	1	50	8	400
Εκτυπωτής	1	20	0,0024	0,048
Στερεοφωνικό	1	100	3	300
Φωτισμός (εσωτερικός)	2	15	6	180
Φωτισμός (εσωτερικός)	8	18	6	864
Φωτισμός (εξωτερικός)	3	60	3	540
Ανεμιστήρας	3	60	3	540
Κλιματιστικό (12000 Btu)	2	1500	3	9000
<b>Σύνολο</b>		<b>9558</b>		<b>16376,498</b>

**Πίνακας 5.2.2.2:** Πίνακας ημερήσιας κατανάλωσης κατά τους θερινούς μήνες.

**Σημείωση:** Για τη διατήρηση της ψύξης το μηχάνημα θα λειτουργεί το 10% του χρόνου τους χειμερινούς μήνες και το 50% του θερινούς μήνες.

Οι εκτιμήσεις των παραπάνω ημερήσιων χειμερινών και θερινών καταναλώσεων αθροίζονται και βρίσκουμε ότι η **μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση είναι 5,1 KWh τον χειμώνα και 16.3 KWh το καλοκαίρι.**

### 5.2.3 Η ηλιακή ενέργεια

Θεωρούμε ότι το σύστημα θα εγκατασταθεί στην **Ξάνθη** και σύμφωνα με τα δεδομένα του **PVGIS** (γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών για Φωτοβολταϊκά) που αποτελεί στην ουσία μια Βάση δεδομένων ερευνητικού Κέντρου (joint research centre –renewable energies unit) της Ευρωπαϊκής Ένωση το οποίο ερευνά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπληρώνεται ο Πινάκας 5.5.3 για πέντε διαφορετικές κλίσεις μεταξύ των οποίων και η βέλτιστη.

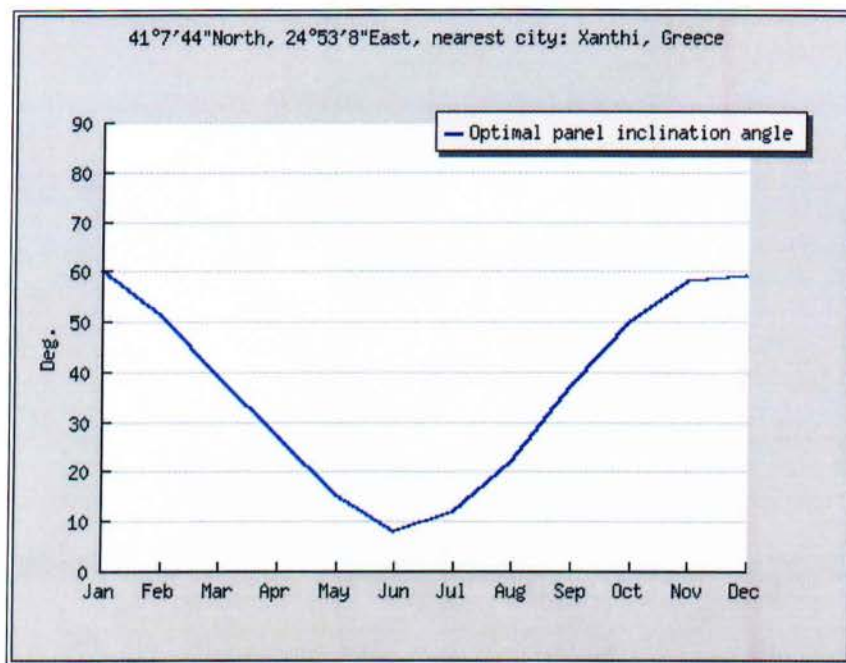
Το PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) είναι ένα ερευνητικό εργαλείο το οποίο αποτιμώντας τα γεωγραφικά δεδομένα και επεξεργαζόμενο την ηλιακή ακτινοβολία παραθέτει κάποιες αναλύσεις. Το PVGIS συνδυάζει την εμπειρία εργαστηριακών ερευνών, έλεγχου και δοκίμων με την γεωγραφική εμπειρία ούτως ώστε μπορεί να προβεί στην ανάλυση τεχνικών, περιβαλλοντολογικών και πολιτικό-οικονομικών παραγόντων σχετικών με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ακτινοβολία. Το **PVGIS** είναι μέρος του SOLAREC το οποίο με την σειρά του ανήκει στο **JRC Renewable Energies Unit**.

	Ιαν	Φεβρ	Μαρτ	Απριλ	Μαιος	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ
<b>Κλίση 0°</b>	1,51	2,18	3,22	4,59	5,39	5,99	6,05	5,34	4,12	2,89	1,74	1,19	<b>3,69</b>
<b>Κλίση 25°</b>	2,13	2,79	3,75	4,96	5,45	5,86	6,04	5,64	4,79	3,71	2,39	<b>1,64</b>	<b>4,10</b>
<b>Κλίση 40°</b>	2,36	2,98	3,84	4,87	5,15	5,42	5,65	5,45	4,86	3,96	2,63	1,8	<b>4,09</b>
<b>Κλίση 90°</b>	2,21	2,50	2,78	2,90	2,57	2,40	2,60	2,96	3,30	3,22	2,39	1,68	<b>2,62</b>
<b>Βέλτιστη Κλίση (°)</b>	60	51	39	27	15	8	12	22	37	50	58	59	<b>32</b>
<b>Κλίση 32°</b>	2,2	2,9	3,81	4,95	5,34	5,68	5,89	5,59	4,85	3,85	2,52	1,73	<b>4,12</b>
<b>Θερμοκρασία (°C)</b>	<b>4,6</b>	<b>6,3</b>	<b>8,9</b>	<b>13,6</b>	<b>19,2</b>	<b>23,8</b>	<b>26,4</b>	<b>26</b>	<b>21,2</b>	<b>16,3</b>	<b>10,8</b>	<b>6,0</b>	<b>15,3</b>

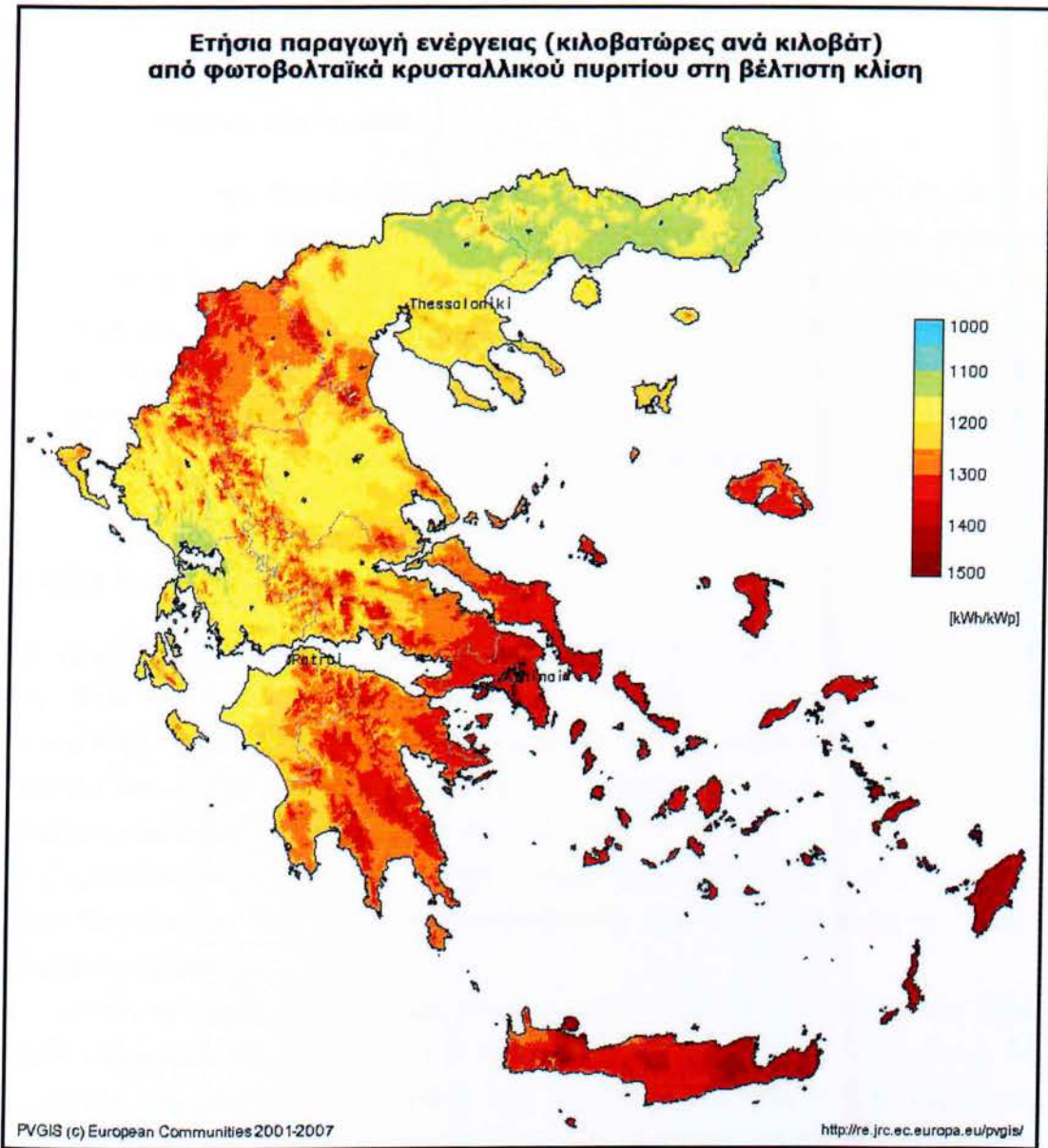
**Πίνακας 5.2.3:** Η μέση ημερησία ακτινοβολία (kWh/m<sup>2</sup>/d), για διαφορετικές κλίσεις του συλλέκτη, η βέλτιστη κλίση και η μέση θερμοκρασία του αέρα (°).



Στην Εικόνα 5.2.3 παρατηρούμε την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh/kWp) στη βέλτιστη Κλίση σύμφωνα με το παραπάνω Ιστοτιούτο.



**Σχήμα 5.2.3:** Βέλτιστη Κλίση στη Περιοχή της Ξάνθης



**Εικόνα 5.2.3:** Ετήσια Παραγωγή ενέργειας από Φ/Β στη Βέλτιστη Κλίση



## 5.2.4 Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια

### 5.2.4.1 Κλίση των συλλεκτών

Κατ' αρχάς εφ' όσον βρισκόμαστε στο βόρειο ημισφαίριο τα Φ/Β πάνελα θα κοιτούν προς Νότο. Από τους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε ότι η χρήση επίπεδων συλλεκτών (κλίση 0°) απορρίπτεται διότι η ηλιακή ακτινοβολία τους ακραίους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις υπόλοιπες κλίσεις. Επιπλέον αν τοποθετήσουμε τους συλλέκτες σε κλίση 90° δεν θα εκμεταλλευτούμε στο έπακρο την ηλιακή ακτινοβολία. Από τον πίνακα βλέπουμε ότι **η βέλτιστη κλίση καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι αυτή των 32°**.

### 5.2.4.2 Η απαιτούμενη ισχύς αιχμής

Για να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ισχύ των Φ/Β πάνελ χρησιμοποιούμε τη σχέση που δίνει την ισχύ αυτή σε συνάρτηση με την μέση ημερησία προσπίπτουσα ακτινοβολία του μήνα με τις χειρότερες συνθήκες, με την ημερησία κατανάλωση του φορτίου και με δυο συντελεστές που έχουν να κάνουν με απώλειες ρύπανσης και απώλειες που έχουν να κάνουν με τη θερμοκρασία.

Στη περίπτωση μας το θερινό και χειμερινό φορτίο διαφέρει σημαντικά και για αυτό το λόγο θα κάνουμε **ξεχωριστούς υπολογισμούς για τους θερινούς και τους χειμερινούς μήνες**.

Στη μελέτη των **χειμερινών μηνών** όπου το φορτίο ανέρχεται ημερησίως στις **5,18 KWh** επιλεγούμε το χειρότερο μήνα ούτως ώστε να μπορούμε να καλύψουμε τις απαιτήσεις του φορτίου όλο το χρόνο. Από τον πίνακα βλέπουμε ότι **τη μικρότερη μέση τιμή της ημερησίας ακτινοβολίας για τη βέλτιστη κλίση που επιλέξαμε έχει ο Δεκέμβρης με 1,73 kWh/m<sup>2</sup>**. Η μέση **θερμοκρασία του αέρα** στις φωτεινές ώρες την ημέρα είναι **6 C°**. Δεχόμενοι ότι η θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων θα είναι περίπου 30 °C περισσότερο, καταλήγουμε στους περίπου 36 °C, και από το **Σχήμα 2.8.1** βρίσκουμε την αντίστοιχη τιμή του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης  **$\sigma_{\theta}=0,94$**  περίπου. Ως προς τη ρύπανση των φ/β συλλεκτών, προβλέπουμε ότι λόγω των ανέμων και της σκόνης, θα γίνεται περιοδική επιθεώρηση και ενδεχομένως καθαρισμός της επιφάνειάς τους, και δεχόμαστε για τον συντελεστή καθαρότητας την τιμή  **$\sigma_p=0,97$** .

Τότε εφαρμόζουμε τη σχέση:

$$P_{\alpha} = \frac{E(\text{kWh/d}) \times 1(\text{kW} / \text{m}^2)}{\Pi(\text{kWh/m}^2 \cdot \text{d}) \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho}}$$

Όπου:

E: είναι η ημερήσια κατανάλωση του φορτίου

Π: η μέση ημερήσια ακτινοβολία (του Δεκεμβρίου)

Υπολογίζουμε την ιδανικά απαιτούμενη ισχύ της φ/β εγκατάστασης και βρίσκουμε για τον Σεπτέμβρη την τιμή:

---

$$P_{\alpha} = 3.28 \text{ KWp}$$

---

Στη μελέτη των **θερινών μηνών (Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο)** όπου το φορτίο ανέρχεται ημερησίως στις **16,3 KWh** λόγω της χρήσης του κλιματιστικού, επιλεγούμε να **χρησιμοποιήσουμε μήνα Αύγουστο**. Από τον πίνακα βλέπουμε ότι **η μέση τιμή της ημερησίας ακτινοβολίας για τη βέλτιστη κλίση που επιλέξαμε είναι 5,59 kWh/m<sup>2</sup>**. Η μέση **θερμοκρασία του αέρα** στις φωτεινές ώρες την ημέρα είναι **26 C°**. Δεχόμενοι ότι η θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων θα είναι περίπου 30 °C περισσότερο, καταλήγουμε στους περίπου 56 °C, και από το **Σχήμα 2.8.1** βρίσκουμε την αντίστοιχη τιμή του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης **σ<sub>θ</sub>=0,89** περίπου. Ως προς τη ρύπανση των φ/β συλλεκτών, προβλέπουμε ότι λογά των ανέμων και της σκόνης, θα γίνεται περιοδική επιθεώρηση και ενδεχομένως καθαρισμός της επιφάνειας τους, και δεχόμαστε για τον συντελεστή καθαρότητας την τιμή **σ<sub>ρ</sub>=0,97**.

Τότε εφαρμόζουμε τη σχέση:

$$P_{\alpha} = \frac{E(\text{kWh/d}) \times 1(\text{kW} / \text{m}^2)}{\Pi(\text{kWh/m}^2 \cdot \text{d}) \times \sigma_{\theta} \times \sigma_{\rho}}$$

Όπου:

E: είναι η ημερήσια κατανάλωση του φορτίου

Π: η μέση ημερήσια ακτινοβολία (του Αυγούστου)

Υπολογίζουμε την ιδανικά απαιτούμενη ισχύ της φ/β εγκατάστασης και βρίσκουμε για τον Αύγουστο την τιμή:

---

$$P_{\alpha} = 3.37 \text{ KWp}$$

---



Μεταξύ των δύο αποτελεσμάτων συνεχίζουμε με το χειρότερο σενάριο. Δηλαδή θεωρούμε ότι η **εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος πρέπει να ισούται με 3,37 KW.**

Στη συνέχεια προχωράμε σε μια **χονδρική εκτίμηση των απωλειών του συστήματος**. Θεωρούμε συντελεστή απόδοσης 85% για τους συσσωρευτές, 90% για τον αντιστροφέα DC/ACν και 95% για τους αγωγούς του συστήματος (5% απώλειες). Καταλήγουμε σε συνολικό συντελεστή απόδοσης:

---

$$\alpha = 0,85 \times 0,90 \times 0,95 = 0,72$$

---

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

---

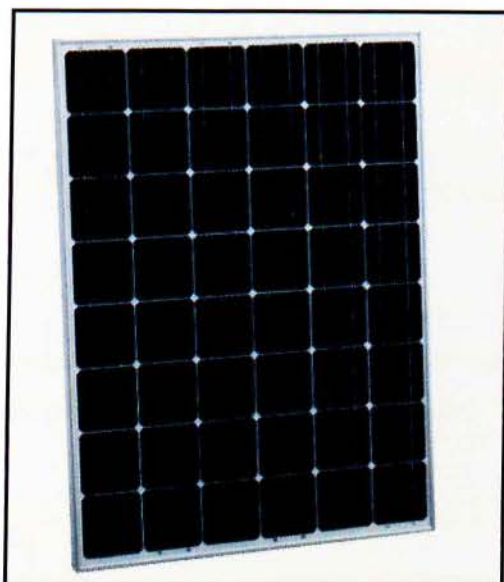
$$P' = \frac{P_{\alpha}}{\alpha} = \frac{3,37}{0,72} \approx 4,7 \text{KW}$$

---

#### 5.2.4.3 Το πλήθος και η οργάνωση των φ/β πλαισίων

Η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας πρέπει να ισούται με τη τάση των συσσωρευτών καθώς και με τη τάση εισόδου του μετατροπέα. Συνήθως προτιμούμε τάση 12V, 24 V ή 48V. Όσο υψηλότερη τάση χρησιμοποιούμε τόσο μικρότερο ρεύμα απαιτείται που συνεπάγεται ότι ελαχιστοποίηση των απωλειών στα καλώδια. Ωστόσο για να έχουμε υψηλή τάση θα πρέπει να συνδέσουμε μεγάλο πλήθος συσσωρευτών σε σειρά, κάτι που αυξάνει το κόστος.

Στη παρούσα μελέτη θα εγκαταστήσουμε **inverter τάσης εισόδου 24 V** και συνεπώς η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των συσσωρευτών θα είναι και αυτή 24 V. Αναφορικά με την εγκατάσταση επιλέξαμε μονοκρυσταλλικού τύπου πάνελ της εταιρίας SHARP ισχύος 185W (NU185E1). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στην εικόνα που ακολουθεί:



### Specifications NUSSE3E / NU185E1

Cell	Monocrystalline silicon solar cells, 155,5 mm square
No. of cells and connections	48 in series
Maximum system voltage	1,000 V DC
Nominal power	185 W
Dimensions	1,318 x 994 x 46 mm
Weight	16.0 kg
Type of output terminal	Lead wire with connector

### Ambient conditions

Parameters	Rating	Unit
Operating temperature	-40 to +90	°C
Storage temperature	-40 to +90	°C
Storage humidity	up to 90	%

### Temperature coefficients

$\alpha P_m$	-0.485% / °C
$\alpha I_{sc}$	+0.053% / °C
$\alpha V_{oc}$	-104 mV / °C

### Electrical data

Parameters	Symbol	Min.	Typ.	Unit
Open circuit voltage	$V_{oc}$	–	30.2	V
Maximum power voltage	$V_{pm}$	–	24.0	V
Short circuit current	$I_{sc}$	–	8.54	A
Maximum power current	$I_{pm}$	–	7.71	A
Nominal power	$P_m$	175.8	185.0	W
Module efficiency	$\eta_m$	–	14.1	%

The electrical data applies under Standard Test Conditions (STC): Radiation 1,000 W/m<sup>2</sup> with a spectrum of AM 1.5 and at a cell temperature of 25 °C.

Εικόνα 5.2.4.3: Data Sheet φωτοβολταϊκού πλαισίου Sharp



Αφού η τάση του πλαισίου συμπίπτει με την επιθυμητή (24V) δεν θα χρειαστεί να συνδέσουμε πλαίσια στη σειρά. Το πλήθος δε των φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα συνδεθούν παράλληλα είναι:

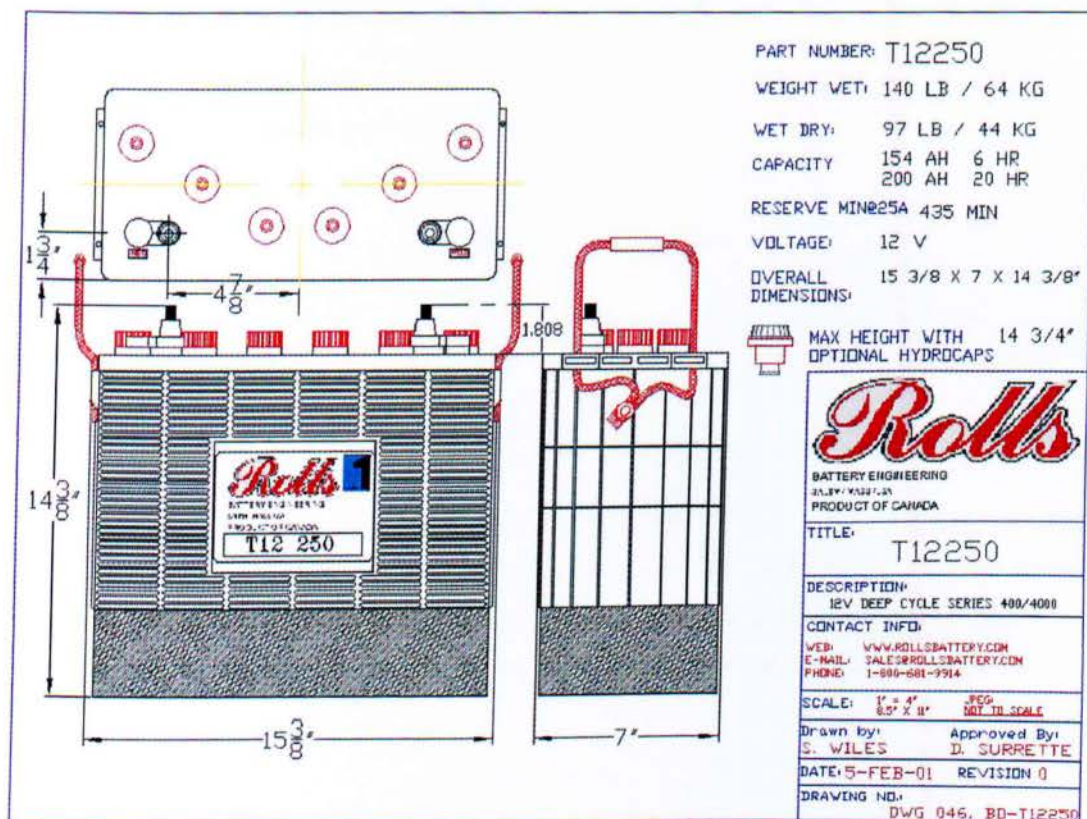
$$\frac{4700W}{185W} \approx 26 \text{ φωτοβολταϊκά πλαίσια}$$

$$26 \times 185W = 4810W$$

Επειδή ο αριθμός των πλαισίων είναι μεγάλος θα οργανώσουμε 4 ομάδες των 5 φωτοβολταϊκών πλαισίων και μια ομάδα των 6 φωτοβολταϊκών πλαισίων.

### 5.2.5 Οι συσσωρευτές

Βάση των χαρακτηριστικών που δίνουν οι κατασκευαστές επιλέγουμε συσσωρευτές Rolls τύπου T 12250, 12 V, 200Ah με βάθος εκφόρτισης 80% και συντελεστή απόδοσης 85%. Με δεδομένο ότι η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι 24 V, **θα πρέπει να συνδέσουμε 2 συσσωρευτές σε σειρά** για κάθε κλάδο συσσωρευτών.





**Εικόνα 5.2.5:** Data Sheet συσσωρευτή

Οι συσσωρευτές θα πρέπει να αποθηκεύουν επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για να καλύψουν την κατανάλωση τουλάχιστον **5 διαδοχικών χειμερινών ή 2 διαδοχικών θερινών ημερών**. Δηλαδή να έχουν ικανότητα αποθήκευσης:

$$E_x = 5 \times 5,18 \text{KWh} = 25,9 \text{ KWh.}$$

$$E_\theta = 2 \times 16,3 \text{KWh} = 32,6 \text{ KWh.}$$

Επιλέγουμε τη μεγαλύτερη από τις παραπάνω τιμές και υπολογίζουμε την ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών από τη σχέση:

$$C_N = \frac{E_\theta}{\beta \times V} = \frac{E}{a \times \beta \times V}$$

Έχουμε:

$$C_N = \frac{E}{a \times \beta \times V} = \frac{32600 \text{Wh}}{0,85 \times 0,8 \times 24} = 1.998 \text{ Ah}$$

Επομένως θα χρειαστούμε 1998 Ah / 200 Ah ~ **10 παράλληλοι κλάδοι συσσωρευτών καθένας από τους οποίους θα αποτελείται από 2 εν σειρά συνδεδεμένους συσσωρευτές**. Δηλαδή, η συστοιχία των συσσωρευτών θα αποτελείται από 20 μπαταρίες ονομαστικής χωρητικότητας 10 × 200 Ah = 2000 Ah



### 5.2.6 Ρυθμιστής Φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος. Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και τη διακόπτει όταν διαπιστωθεί ότι η μπαταρία έχει φορτιστή πλήρως. Εάν η φόρτιση συνεχιστεί ελλοχεύει κίνδυνος καταστροφής των συσσωρευτών. Επειδή οι μπαταρίες έχουν τη τάση να εκφορτίζονται σταδιακά ακόμα και όταν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή (αυτοεκφόρτιση), ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει να ξαναρχίζει αυτόματα η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστωθεί ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο πλήρους φόρτισης.

Το μέγεθος του ρυθμιστή φόρτισης εξαρτάται από το μέγεθος των φωτοβολταϊκών που θα συνδέουμε πάνω του. Πρέπει να υπερκαλύπτει την συνολική ένταση σε Amperes των φωτοβολταϊκών. Αν, για παράδειγμα, η ονομαστική ένταση σε Amperes των φωτοβολταϊκών είναι 10A, τότε πρέπει να επιλέξουμε ένα ρυθμιστή φόρτισης 12A. Επίσης, πρέπει να είναι κατάλληλος και για την τάση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Αν τα φωτοβολταϊκα βγάζουν συνολική τάση 12V, επιλέγουμε ρυθμιστή για φωτοβολταϊκα 12V. Αν τα φωτοβολταϊκα μας βγάζουν συνολική τάση 24V, επιλέγουμε ρυθμιστή για φωτοβολταϊκά 24V.

Στη παρούσα διπλωματική τα φωτοβολταϊκά πλαίσια Sharp που επιλέξαμε παράγουν ισχύ 180W<sub>p</sub> και έχουν ρεύμα και τάση 7,71 A και 24 V αντίστοιχα.

Όπως ήδη αναφέραμε τύπος των ρυθμιστών φόρτισης εξαρτάται από τη τάση και το ρεύμα των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Στην εν λόγω εγκατάσταση απαιτούνται 26 φωτοβολταϊκά πλαίσια **συνδεδεμένα εν παραλλήλω** καθώς κάθε ένα από αυτά έχει την επιθυμητή τάση των 24 V. Για να αποφύγουμε μεγάλες τιμές ρευμάτων ( $24 \times 7,71 = 185$  A και 24V) θα οργανώσουμε **4 ομάδες των 5 εν παραλλήλω** φωτοβολταϊκών πλαισίων ( $5 \times 7,71 = 38,5$  A και 24V) και **μια ομάδα των 6 εν παραλλήλω φωτοβολταϊκών πλαισίων** ( $6 \times 7,71 = 46,2$ A και 24 V). Συνολικά θα απαιτηθούν πέντε ρυθμιστές φόρτισης δηλαδή ένας για κάθε ομάδα.

Επιλέγουμε το ρυθμιστή φόρτισης της εταιρείας Xantrex και το τύπο C60 του οποίου τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται παρακάτω.



## C Series Controllers

**xantrex**

### Charge, Diversion, or Load Controllers

#### Electrical Specifications

Model	C35	C40	C60
Voltage Configurations	12 and 24 VDC	12, 24, and 48 VDC	12 and 24 VDC
Max. PV Open Circuit Array Voltage	55 VDC	125 VDC	55 VDC
Charging / Load Current (@ 25 °C)	35 amps DC	40 amps DC	60 amps DC
Max. Peak Current	85 amps	85 amps	85 amps
Max. Voltage Drop Through Controller	0.30 volts	0.30 volts	0.30 volts
Typical Operating Consumption	15 ma	15 ma	15 ma
Typical Idle Consumption	3 ma	3 ma	3 ma
Recommended Breaker Size	45 amps	50 amps	60 amps rated at 100% continuous duty
Recommended Wire Size	#8 AWG	#8 AWG	#6 AWG rated at 90 °C
Lead Acid Battery Settings	Adjustable	Adjustable	Adjustable
NiCad Battery Settings	Adjustable	Adjustable	Adjustable
Load Control Mode	Low Voltage Reconnect - Adjustable (sticker provided with unit) all models Low Voltage Disconnect - User selectable manual or automatic reconnection - Includes warning flash before disconnect and provides a one time, user selected grace period) all models		

Εικόνα 5.2.6: Data Sheet ρυθμιστή φόρτισης



### 5.2.7 Inverter

Ο inverter είναι η συσκευή που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Έτσι μπορούμε να τροφοδοτήσουμε όλες τις οικιακές συσκευές που απαιτούν 220V. Δεν έχει σημασία πόσες συσκευές θα συνδεθούν ταυτόχρονα αρκεί η συνολική ισχύς τους να μην ξεπερνά τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ του μετατροπέα.

Επειδή τα φορτία της οικίας είναι πολυάριθμα και η συνολική ισχύς υψηλή θα αναγκαστούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μετατροπέα μεγάλης ισχύος ο οποίος όμως θα έχει υψηλό κόστος.

Αποφασίζουμε λοιπόν να χρησιμοποιήσουμε δύο (2) μετατροπείς ώστε σε περίπτωση βλάβης του ενός η παροχή ρεύματος στην οικία δεν θα χρειαστεί να σταματήσει εντελώς.

Λόγω ετεροχρονισμού των ηλεκτρικών καταναλώσεων δεν υπάρχει περίπτωση να λειτουργήσουν όλες οι συσκευές ταυτόχρονα. Χονδρικά εκτιμάται ότι δεν θα ξεπεράσουμε τα 35000 W. Λαμβάνοντας υπόψιν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατασκευαστών inverter επιλέγουμε δύο τεμάχια μετατροπέα Phoenix 24/5000.



Phoenix Inverter	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Parallel and 3-phase operation	Yes				
INVERTER					
Input voltage range (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Output	Output voltage: 230 VAC ±2% Frequency: 50 Hz ±0,1% (1)				
Cont. output power at 25 °C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Cont. output power at 25 °C (W)	1000	1300	1600	2500	4500
Cont. output power at 40 °C (W)	900	1200	1450	2200	4000
Peak power (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Max. efficiency 12/ 24 /48 V (%)	92 / 94	92 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Zero-load power 12 / 24 / 48 V (W)	8 / 10	8 / 10	9 / 11	15 / 15 / 16	25 / 25
Zero-load power in AES mode (W)	5 / 8	5 / 8	7 / 9	10 / 10 / 12	20 / 20
Zero-load power in Search mode (W)	2 / 3	2 / 3	3 / 4	4 / 5 / 5	5 / 6

### Έλεγχος Συμβατότητας φωτοβολταϊκής συστοιχίας και μετατροπέα

Προκειμένου να ελεγχθεί η συμβατότητα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του μετατροπέα ελέγχουμε:

1. Η μέγιστη τάση της συστοιχίας (24 V) βρίσκεται εντός των ορίων της τάσης του inverter  
Πράγματι:  $19V \leq 24V \leq 33V$
2. Η τάση του ανοιχτού κυκλώματος της φ/β συστοιχίας είναι μικρότερη από τη τάση εισόδου του μετατροπέα  
Πράγματι:  $30,2V \leq 33V$
3. Ο αριθμός των εν σειρά συνδεδεμένων πλαισίων είναι μικρότερος ή ίσος από

$$\text{το λόγο: } \frac{V_{inv}}{V_{oc}} = \frac{33}{30.2} = 1.1$$

Πράγματι κάθε συστοιχία αποτελείται από 1 πλαίσιο.

### 5.3 Επιλογή Βοηθητικής Πηγής

Συνήθως, το σύστημα συμπληρώνεται με μια βοηθητική πηγή ηλεκτροπαραγωγής, για την αντιμετώπιση ανώμαλων καταστάσεων, όπως μια σοβαρή βλάβη του συστήματος, ένα υπερβολικά παρατεταμένο διάστημα συνεχούς συννεφιάς κλπ. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται γεννήτριες ντίζελ. Ο λόγος που προτιμούμε αυτές τις γεννήτριες είναι ότι λειτουργούν με πετρέλαιο, στο οποίο όλοι έχουμε πρόσβαση ανά πάσα στιγμή.



Το μέγεθος της γεννήτριας εξαρτάται από τις ανάγκες που θέλουμε να ικανοποιήσουμε σε περίπτωση που η παροχή ρεύματος από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια διακοπεί. Είναι αυτονόητο, βέβαια, πως σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο η οικογένεια θα περιορίσει τα ηλεκτρικά φορτία αφού η γεννήτρια μπορεί να παρέχει πολύ μικρότερη ισχύ από αυτήν που η οικογένεια καταναλώνει σε καθημερινή βάση. Ως εκ τούτου, συμβουλεύουμε την οικογένεια να μην κάνει χρήση συσκευών μεγάλης ισχύος, όπως είναι το πλυντήριο ρούχων, η ηλεκτρική σκούπα και τα κλιματιστικά χώρων. Αλλά ακόμη και αν κάτι τέτοιο κριθεί απαραίτητο μπορεί να διακοπεί η λειτουργία των υπολοίπων συσκευών και να λειτουργήσει προσωρινά μια από τις συσκευές μεγάλης ισχύος.

Ενδεικτικά, μπορούμε να προτείνουμε μια γεννήτρια της τάξεως των 3.5kW, όπως είναι η Honda EC400. Για τέτοια γεννήτρια αρκεί για να καλύψουμε κάποιες ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα όπως είναι η λειτουργία του ψυγείου, ο εσωτερικός φωτισμός, η τηλεόραση και ο φορητός υπολογιστής.

#### 5.4 Έκταση Φ/Β Εγκατάστασης

Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων πραγματοποιείται σε ελεύθερους χώρους με νότιο προσανατολισμό και ανοιχτό οριζόντα προκειμένου να μη υπάρχουν προβλήματα σκιάσεων (Πίνακας 5.4).

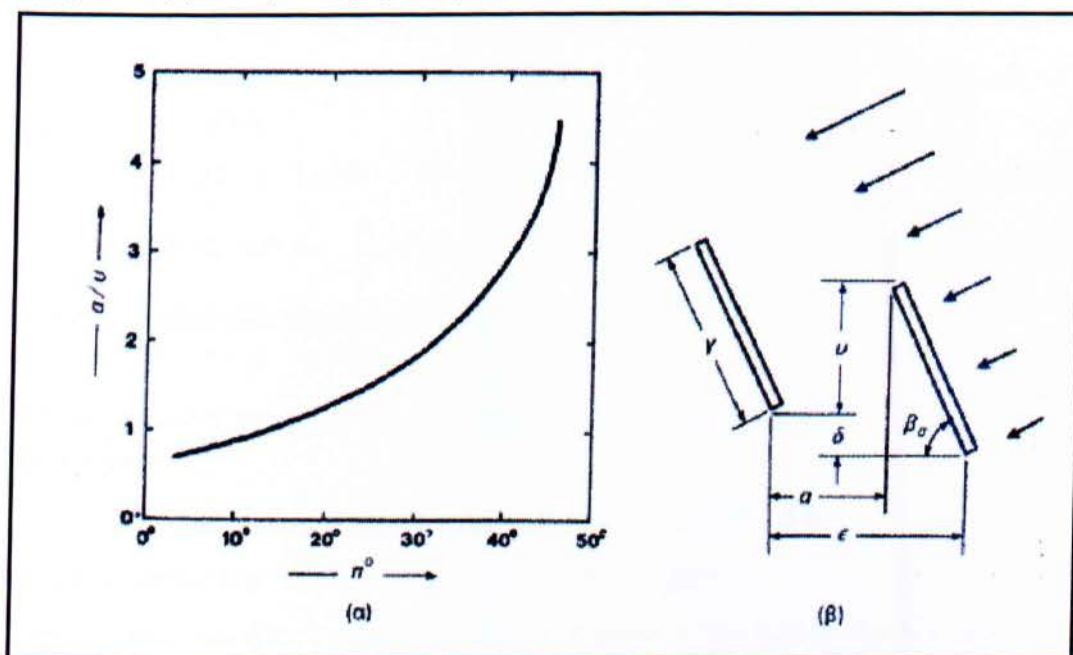
Προσανατολισμός των panels	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	0°	30°	90°
Απόδοση %			
Ανατολικός – Δυτικός	90	85	50
Νοτιοανατολικός- Νοτιοδυτικός	90	95	60
<b>Νότιος</b>	90	<b>100</b>	60
Βορειοανατολικός- Βορειοδυτικός	90	67	30
Βόρειος	90	60	20

**Πίνακας 5.4:** Σχέση απόδοσης Φ/Β πλαισίων με τον προσανατολισμό

Σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος  $n^\circ$  η προϋπόθεση του ανοιχτού οριζοντα εξασφαλίζεται όταν η γωνία ύψους ( $\beta_\epsilon$ ) των γειτονικών εμποδίων ικανοποιεί τη σχέση:

$$\beta_\epsilon \leq 48^\circ - n^\circ$$

Το **Σχήμα 5.4.1** μας βοηθά να υπολογίσουμε την απόσταση ανάμεσα στις παράλληλες σειρές ώστε η μία σειρά να μη σιάζεται από την επόμενη.



**Σχήμα 5.4.1:** α) Η καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης  $a$  ανάμεσα στις γειτονικές σειρές των πλαισίων προς την επικάλυψη του ύψους  $u$ , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου  $n$ . β) η έννοια των μηκών  $a$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  και  $\epsilon$  και της γωνίας κλίσης  $\beta_\sigma$



Αν  $\gamma$  είναι το πλάτος του συλλέκτη,  $\beta_\sigma$  είναι η κλίση του και  $\delta$  η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών τότε το  $u$  δίνεται από τη σχέση:

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

Το πλαίσιο Sharp που επιλέξαμε έχει διαστάσεις  $1,318 \times 0,994 \times 0,046\text{m}$  σύμφωνα με τα στοιχεία του κατασκευαστή και θα τοποθετηθεί υπό κλίση  $32^\circ$ . Η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα είναι μηδενική δηλαδή βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής του Νομού Ξάνθης είναι  $\sim 41^\circ$

Το ύψος επομένως της κατασκευής θα είναι:  $u = \gamma \cdot \sin \beta_\sigma - \delta = 1,318\text{m} \cdot \sin 32^\circ = 1,318 \cdot 0,52 = 0,68\text{m}$

Στη συνέχεια με τη βοήθεια του διαγράμματος στο Σχήμα 5.4.1 υπολογίζουμε προσεγγιστικά τη τιμή  $\alpha$ :  $\frac{\alpha}{u} \approx 2,8 \Rightarrow \alpha = 2,8 \times 0,68 = 1,9\text{m}$  που εκφράζει την ελεύθερη απόσταση μεταξύ των παράλληλων σειρών.

Η ελάχιστη απόσταση  $\varepsilon$  μεταξύ των σειρών των φωτοβολταϊκών συστοιχιών δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma \cdot \cos \beta_\sigma = 1,9 + 1,318 \cdot \cos 32^\circ = 3\text{m}$$

Η συνολική επιφάνεια των πανέλων δίνεται από τη σχέση:

$$S = \text{συνολικός αριθμός panel} \times \text{εμβαδο κάθε panel} = 26 \times 1,318 \times 0,994 = 34\text{m}^2$$

Η οριζόντια προβολή τους:  $S_o = S \times \cos \beta_\sigma = 34 \times 0,84 = 28,56\text{m}^2$

Το εμβαδόν επομένως της έκτασης που απαιτείται για να αναπτυχθεί η εν λόγω φωτοβολταϊκή

εγκατάσταση δίνεται από τη σχέση:  $S_E = \frac{\varepsilon}{\gamma \cdot \cos \beta_\sigma} \times S_o = \frac{3}{1,318 \cdot 0,84} \times 28,5 \approx 70\text{m}^2$

σχέση:

Επομένως η εγκατάσταση του συστήματος απαιτηθεί μια έκταση  $\sim 70\text{m}^2$ .

### 5.5 Κόστος συστήματος και Οδηγίες Λειτουργίας και Συντήρησης

Τα **συνολικά έξοδα** για την αγορά ενός Φ/Β συστήματος ισχύος αιχμής 5KWp, μαζί με τις μπαταρίες των 24 ή 48V και τον inverter **ανέρχεται συνολικά στις 20000 €.**

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

α) Καθαρισμός των επιφανειών των συλλεκτών μία φορά το μήνα.

β) Έλεγχος και ενδεχόμενη συμπλήρωση της στάθμης του ηλεκτρολύτη (θειικό οξύ) στους συσσωρευτές κάθε τρεις μήνες.

Είναι αναγκαίο αυτές οι οδηγίες να πραγματοποιούνται ώστε το σύστημα μας να δουλεύει αποδοτικότερα και να μην δημιουργούνται προβλήματα τα οποία με λίγη προσπάθεια μπορούν να αποφευχθούν.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας την μελέτη αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση αγροικίας συμπεραίνουμε ότι τέτοιου είδους μελέτες δεν είναι ιδιαίτερα απλές. Ο μηχανικός πρέπει να λάβει υπόψη του ένα πλήθος παραγόντων πριν προχωρήσει στην επιλογή των μονάδων και το μέγεθος της εγκατάστασης. Βασικό κριτήριο στις επιλογές του αποτελεί η επιθυμητή αξιοπιστία του μελετώμενου συστήματος που όμως αντικρούεται με το αυξημένο κόστος των απαραίτητων μονάδων για την συγκρότηση του.

Σήμερα, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε ελάχιστες περιπτώσεις εξαιτίας της μικρής αξιοπιστίας τους και του υπέρογκου ποσού χρημάτων που πρέπει να δαπανηθεί για την μελέτη και εγκατάστασή τους. Συνήθως, τα συναντάμε σε κατοικίες απομακρυσμένες από το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο ή εξοχικά σπίτια που κατοικούνται κυρίως κατά τους θερινούς μήνες και οι απαιτήσεις σε ενέργεια και αποθήκευσή αυτής είναι πολύ περιορισμένες.

Δεδομένου ότι τα συμβατικά καύσιμα κάποτε θα εξαντληθούν η τεχνολογία έχει ήδη στραφεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δίνοντας έμφαση στην ηλιακή. Αυτό είναι πολύ ενθαρρυντικό διότι η φωτοβολταϊκή τεχνολογία θα εξελιχθεί και στο μέλλον θα μπορούσε να αποτελέσει την κύρια πηγή ηλεκτρικής τροφοδότησης του ανθρώπου.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ**

1. Ήπιες μορφές ενέργειας Ι του Ζαχαρία Θωμά (πανεπιστημιακές εκδόσεις)
2. Ανάλυση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας Ι Του Γ. Γιαννακόπουλου (πανεπιστημιακές εκδόσεις)
3. Φωτοβολταϊκή τεχνολογία Του Κ.Καγκαράκη (εκδόσεις ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ)
4. Φωτοβολταϊκά συστήματα των Α.Νεοκλέους και Σ.Π. Κωνσταντινίδη(εκδόσεις ΙΩΝ)
5. Φωτοβολταϊκά συστήματα το Ι.Ε. Φραγκιαδάκη (εκδόσεις ΖΗΤΗ)
6. Νέες τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών στοιχείων της Βασιλικής Περράκη (πανεπιστημιακές εκδόσεις)
7. Ηλιακή ενέργεια Του Αλέξανδρου Σ. Αλεξάκη(εκδόσεις Μιχάλη Σιδέρη)
8. Ήπιες μορφές ενέργειας : ΄Περιβάλλον και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας΄
9. Του Σ.Ν.Καπλάνη(εκδόσεις ΙΩΝ)
10. ΄Ηπιες μορφές ενέργειας ΙΙΙ: ΄Μηχανική των φωτοβολταϊκών συστημάτων΄
11. Του Σ.Ν.Καπλάνη (εκδόσεις ΙΩΝ)
12. Εργαστηριακές εφαρμογές ήπιων μορφών ενέργειας Των Ιωάννη Καλδέλλη και Κοσμά Α. Καββαδία
13. Ηλεκτρικές Μηχανές (ΜΕΡΟΣ Α) Του Αθανάσιου Σαφάκα (πανεπιστημιακές εκδόσεις)
14. Ηλεκτρικές Μηχανές DC-AC ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Του Stephen J. Chapman (2<sup>η</sup> ΕΚΔΟΣΗ) (ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ)
15. Πανελλήνιο Συνέδριο Απελευθερώσιμων Πηγών Ενέργειας(ΜΕΡΟΣ Α) ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΗΛΙΑΚΗΣ

### **ΞΕΝΗ**

1. Generating electricity from the sun edited by Fred C Treble
2. Renewable energy:power for a sustainable future(second edition) edited by Godfrey boyle
3. SOLAR ENERGY CONVERSION:THE SOLAR CELL(second edition) edited by Richard C. Neville



4. SOLAR ENERGY ENGINEERING edited by A.A.M.SAYIGH
5. POWER ELECTRONICS(third edition) edited by CYRIL W. LANDER
6. McMahon, T.J, (2008), Solar Cell/ Module Degradation And Failur Diagnostics, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado

### **Internet**

7. [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr)
8. [www.dei.gr/ecpage.aspx?id=1223&nt=18&lang](http://www.dei.gr/ecpage.aspx?id=1223&nt=18&lang)
9. [www.heliosres.gr/index.php?lang=gr&id=35](http://www.heliosres.gr/index.php?lang=gr&id=35)
10. [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
11. [www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**



# SHARP

NUS5E3E / NU185E1

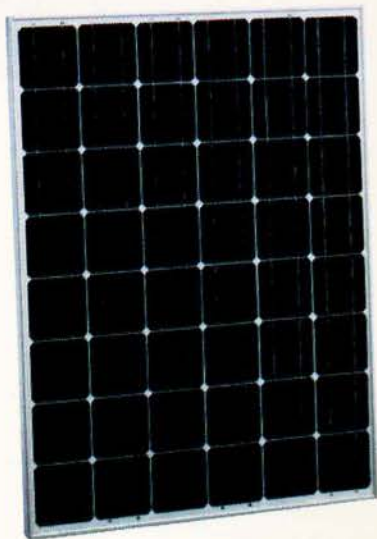
185 W

Photovoltaic module monocrystalline



## MONOCRYSTALLINE SILICON PHOTOVOLTAIC MODULE WITH 185 W NOMINAL POWER

Sharp's NUS5E3E / NU185E1 photovoltaic module is designed for large electrical power requirements. Based on the technology of crystal silicon solar cells cultivated for over 40 years, this module has superb durability to withstand rigorous operating conditions and is suitable for grid connected systems.



### Features

- High-power module (185 W) using 155.5 mm square monocrystalline silicon solar cells with 14.1 % module conversion efficiency.
- Photovoltaic module with bypass diode minimises the power drop caused by shade. Textured cell surface to reduce the reflection of sunlight and BSF (Back Surface Field) structure to improve cell conversion efficiency.
- Using white tempered glass, EVA resin, and a weather-proof film along with an aluminium frame for extended outdoor use.
- Output terminal: Lead wire with waterproof connector.
- NUS5E3E: manufactured in Japan  
NU185E1: manufactured in UK  
Apart from the place of manufacture the models are identical in construction.
- Hail damage resistance tested by TÜV in accordance with IEC61215.

## Specifications NUS5E3E / NU185E1

Cell	Monocrystalline silicon solar cells, 155.5 mm square
No. of cells and connections	48 in series
Maximum system voltage	1,000 V DC
Nominal power	185 W
Dimensions	1,318 x 994 x 46 mm
Weight	16.0 kg
Type of output terminal	Lead wire with connector

## Ambient conditions

Parameters	Rating	Unit
Operating temperature	-40 to +90	°C
Storage temperature	-40 to +90	°C
Storage humidity	up to 90	%

## Temperature coefficients

$\alpha P_m$	-0.485% / °C
$\alpha I_{sc}$	+0.053% / °C
$\alpha V_{oc}$	-104 mV / °C

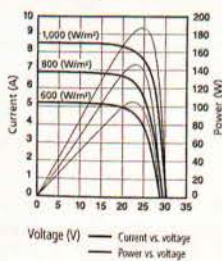
## Electrical data

Parameters	Symbol	Min.	Typ.	Unit
Open circuit voltage	$V_{oc}$	-	30.2	V
Maximum power voltage	$V_{pm}$	-	24.0	V
Short circuit current	$I_{sc}$	-	8.54	A
Maximum power current	$I_{pm}$	-	7.71	A
Nominal power	$P_m$	175.8	185.0	W
Module efficiency	$\eta_m$	-	14.1	%

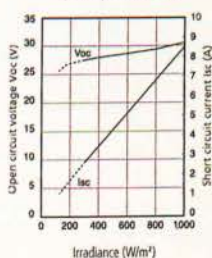
The electrical data applies under Standard Test Conditions (STC): Radiation 1,000 W/m<sup>2</sup> with a spectrum of AM 1.5 and at a cell temperature of 25 °C.

## Characteristics

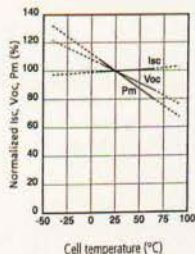
Current, power vs. voltage characteristics (cell temperature: 25 °C)



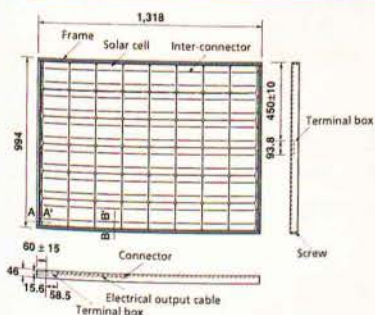
Open circuit voltage, short circuit current vs. irradiance characteristics (cell temperature: 25 °C)



Normalized  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $P_m$  vs. cell temperature characteristics

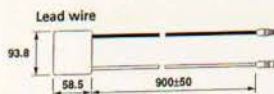
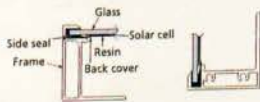


## Outline dimensions



A-A' Cross section

B-B' Cross section



## Application options

- Grid connected residential systems
- Office buildings
- Solar power stations
- Solar villages
- Villas, mountain cottages
- Lighting equipment
- Traffic signs
- Radio relay stations
- Beacons
- Telemeter systems
- Telecommunication systems

This module should not be connected to any direct load.

In the absence of confirmation by specification sheets, Sharp takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any Sharp products shown in catalogs, data books, etc. Contact Sharp in order to obtain the latest specification sheets before using any Sharp products.

Specifications are subject to change without notice.

# SHARP

### Central & Eastern Europe

Tel: +43-(0)1-72 71 90 · Fax: +43-(0)1-72 71 91 21  
www.sharp-cee.com

### France

Tel: +33-(0)1-49 90 34 00 · Fax: +33-(0)1-48 63 26 21  
www.sharp.fr

### Germany & Austria

Tel. Germany: +49-(0)18 05-01 52 22 (0,12 €/min.)  
Tel. Austria: +49-(0)8 20-40 06 40 (0,345 €/min.)  
www.sharp.de

### Italy

Tel: +39-02-89 59 51 · Fax: +39-02-89 53 08 95  
www.sharp.it

### Spain & Portugal

Tel: +34-(0)93-5 81 97 00 · Fax: +34-(0)93-6 75 46 11  
www.sharp.es

### Nordic countries

Tel: +46-(0)8-6 34 36 00 · Fax: +46-(0)8-6 34 36 10

### Switzerland

Tel: +41-(0)1-8 46 61 11 · Fax: +41-(0)1-8 46 62 25  
www.sharp.ch

### Benelux

Tel: +31-(0)30-6 35 95 00 · Fax: +31-(0)30-6 35 95 95  
www.sharp.nl | www.sharp.be

### United Kingdom

Tel: +44-(0)1 61-2 05 23 33 · Fax: +44-(0)1 61-2 05 70 76  
www.sharp.co.uk/solar



# Phoenix Inverters

1200VA – 5000VA (per module)

[www.victronenergy.com](http://www.victronenergy.com)



Phoenix Inverter  
24/5000

### SinusMax - Superior engineering

Developed for professional duty, the Phoenix range of inverters is suitable for the widest range of applications. The design criteria have been to produce a true sine wave inverter with optimised efficiency but without compromise in performance. Employing hybrid HF technology, the result is a top quality product with compact dimensions, light in weight and capable of supplying power, problem-free, to any load.

### Extra start-up power

A unique feature of the SinusMax technology is very high start-up power. Conventional high frequency technology does not offer such extreme performance. Phoenix inverters, however, are well suited to power up difficult loads such as refrigeration compressors, electric motors and similar appliances.

### Virtually unlimited power thanks to parallel and 3-phase operation capability

Up to 6 units inverters can operate in parallel to achieve higher power output. Six 24/5000 units, for example, will provide 24kW / 30kVA output power. Operation in 3-phase configuration is also possible.

### To transfer the load to another AC source: the automatic transfer switch

If an automatic transfer switch is required we recommend using the MultiPlus inverter/charger instead. The switch is included in these products and the charger function of the MultiPlus can be disabled. Computers and other electronic equipment will continue to operate without disruption because the MultiPlus features a very short switchover time (less than 20 milliseconds).

### Computer interface

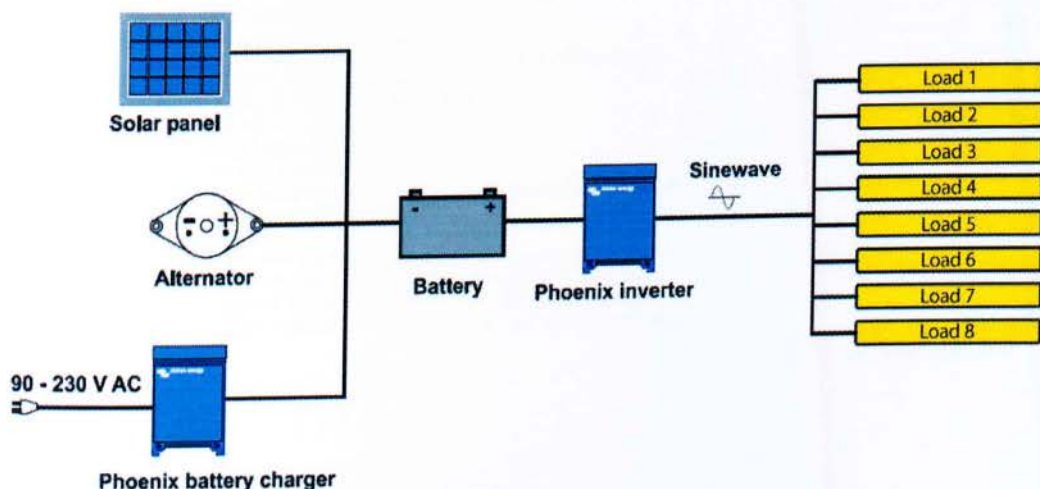
All models have a RS-485 port. All you need to connect to your PC is our MK2 interface (see under accessories). This interface takes care of galvanic isolation between the inverter and the computer, and converts from RS-485 to RS-232. A RS-232 to USB conversion cable is also available. Together with our VEConfigure software, which can be downloaded free of charge from our website, all parameters of the inverters can be customised. This includes output voltage and frequency, over and under voltage settings and programming the relay. This relay can for example be used to signal several alarm conditions, or to start a generator. The inverters can also be connected to VENet, the new power control network of Victron Energy, or to other computerised monitoring and control systems.

### New applications of high power inverters

The possibilities of paralleled high power inverters are truly amazing. For ideas, examples and battery capacity calculations please refer to our book "Energy Unlimited" (available free of charge from Victron Energy and downloadable from [www.victronenergy.com](http://www.victronenergy.com)).



Phoenix Inverter Compact  
24/1600





Phoenix Inverter	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Parallel and 3-phase operation	Yes				
INVERTER					
Input voltage range (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Output	Output voltage: 230 VAC ±2% Frequency: 50 Hz ± 0,1% (1)				
Cont. output power at 25 °C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Cont. output power at 25 °C (W)	1000	1300	1600	2500	4500
Cont. output power at 40 °C (W)	900	1200	1450	2200	4000
Peak power (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Max. efficiency 12 / 24 / 48 V (%)	92 / 94	92 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Zero-load power 12 / 24 / 48 V (W)	8 / 10	8 / 10	9 / 11	15 / 15 / 16	25 / 25
Zero-load power in AES mode (W)	5 / 8	5 / 8	7 / 9	10 / 10 / 12	20 / 20
Zero-load power in Search mode (W)	2 / 3	2 / 3	3 / 4	4 / 5 / 5	5 / 6
GENERAL					
Programmable relay (3)	Yes				
Protection (4)	a - g				
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration				
Common Characteristics	Operating temperature range: -20 to +50 °C (fan assisted cooling) Humidity (non condensing): max 95%				
ENCLOSURE					
Common Characteristics	Material & Colour: aluminum (blue RAL 5012) Protection category: IP 21				
Battery-connection	battery cables of 1.5 meter included		M8 bolts	2+2 M8 bolts	
230 V AC-connection	G-ST18i plug		Spring-clamp	Screw terminals	
Weight (kg)	10		12	18	30
Dimensions (hxwxd in mm)	375x214x110		520x255x125	362x258x218	444x328x240
STANDARDS					
Safety	EN 60335-1				
Emission Immunity	EN 55014-1 / EN 55014-2				
Automotive Directive	2004/104/EC	2004/104/EC		2004/104/EC	
1) Can be adjusted to 60Hz and to 240V 2) Non linear load, crest factor 3:1 3) Programable relay that can a.o. be set for general alarm, DC undervoltage or genset start/stop function. AC rating: 230V/4A DC rating: 4a up to 35VDC, 1A up to 60VDC	4) Protection key: a) output short circuit b) overload c) battery voltage too high d) battery voltage too low e) temperature too high f) 230 V AC on inverter output g) input voltage ripple too high				



**Phoenix Inverter Control**  
This panel can also be used on a MultiPlus inverter/charger when an automatic transfer switch but no charger function is desired. The brightness of the LEDs is automatically reduced during night time.



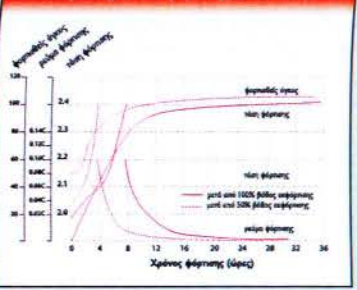
**Computer controlled operation and monitoring**  
Several interfaces are available:  
- **MK2.2 VE.Bus to RS232 converter**  
Connects to the RS232 port of a computer (see 'A guide to VEConfigure')  
- **MK2-USB VE.Bus to USB converter**  
Connects to a USB port (see 'A guide to VEConfigure')  
- **VE.Net to VE.Bus converter**  
Interface to VE.Net (see VE.Net documentation)  
- **VE.Bus to E-PLEX converter**  
Interface to the E-PLEX System. The world's most advanced and field proven digital switching and monitoring system.  
- **Victron Global Remote**  
The Global Remote is a modem which sends alarms, warnings and system status reports to cellular phones via text messages (SMS). It can also log data from Victron Battery Monitors, Multi's, Quattro's and Inverters to a website through a GPRS connection. Access to this website is free of charge.



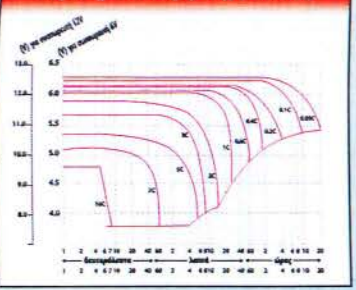
**BMV-600 Battery Monitor**  
The BMV-600 Battery Monitor features an advanced microprocessor control system combined with high resolution measuring systems for battery voltage and charge / discharge current. Besides this, the software includes complex calculation algorithms, like Peukert's formula, to exactly determine the state of charge of the battery. The BMV-600 selectively displays battery voltage, current, consumed Ah or time to go. The monitor also stores a host of data regarding performance and use of the battery.  
Several models available (see battery monitor documentation).



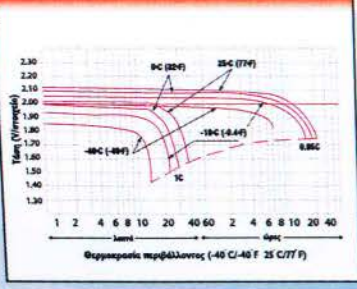
Χαρακτηριστικά φόρτισης (25 C/77 F)



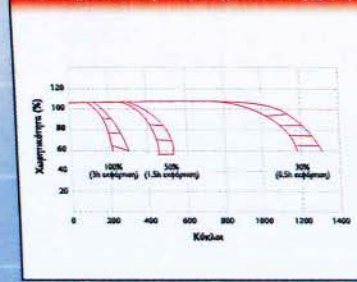
Χαρακτηριστικά εκφόρτισης (25 C/77 F)



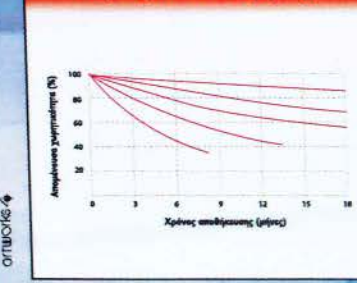
Θερμοκρασιακή επίδραση στη χωρητικότητα



Χαρακτηριστικά διάρκειας ζωής σε κυκλική χρήση



Χαρακτηριστικά αυτοεκφόρτισης



**ΦΟΡΤΙΣΗ**

**Κυκλική εφαρμογή**

- ✓ Φορτίστε στα 2,5 V/ στοιχείο
- ✓ Η μέγιστη έξοδος του φορτιστή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,25C A
- ✓ Μέγιστος χρόνος φόρτισης 24h
- ✓ Τελικό ρεύμα φόρτισης στα 2,5V από 0,03C A έως 0,06C A

**Stand by εφαρμογή**

- ✓ Φορτίστε στα 2,25 V έως 2,3V/ στοιχείο διαρκώς
- ✓ Ένας πλήρως αφορτιστος ασοσρευτής μπορεί να εκκινήσει φόρτιση με ρεύμα 2C A
- ✓ Τελικό ρεύμα φόρτισης στα 2,25V έως 2,3V μπορεί να κυμαίνεται από 0,0005C A έως 0,004C A

**ΠΡΟΣΟΧΗ**

1. Μη τοποθετείτε τους ασοσρευτές SB κοντά σε φωτιά
2. Αποφύγετε το βραχυκύκλωμα
3. Μην καθαρίζετε τους ασοσρευτές με λάδι ή οποιο άλλο διαλυτικό υγρό
4. Μην πλησιάζετε μεταλλικά αντικείμενα κοντά στους πόλους
5. Μη συνδέετε ασοσρευτές SB διαφορετικών χωρητικότητας



**Συσσωρευτές Μολύβδου Κλειστού Τύπου**

Απόλυτα στεγανοί - ελεύθεροι συντήρησης



## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι συσσωρευτές **SB**, με άριστη συμπεριφορά σε περιπτώσεις βαθιών εκφόρτισεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε κυκλικές εφαρμογές. Ταυτόχρονα, λόγω του σύγχρονου σχεδιασμού των πλακών, έχουν μεγαλύτερη πραγματική διάρκεια ζωής σε stand by εφαρμογές. Ετσι είναι απόλυτα κατάλληλοι για χρήση σε:

Συστήματα ασφαλείας			Ναυτιλιακές εφαρμογές
UPS			Ιατρικό εξοπλισμό
Τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές			Παιχνίδια
Συστήματα αυτοματισμών			Ηλεκτρονικό εξοπλισμό

Και σε μια πλειάδα άλλων εφαρμογών

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τύπος συσσωρευτή	Τάση (V)	Χωρητικότητα C10 (Ah)	Ύψος (mm)	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm)	Συνολικός ύψος (mm)	Βάρος (Kg)	Τύπος ακροδεκτών	Μέγιστη ροπή φόρτισης (A)	Ευαισθησία αντιστάσεων (mOhm)	Ταχύτητα φόρτισης
SB 6-1,3	6	1,3	98,0	25,0	52,0	56,0	0,30	FO-01	0,52	40,0	40
SB 6-3,4	6	3,4	134,0	34,0	60,0	66,0	0,70	FO-01	1,34	30,0	10
SB 6-5	6	5	70,0	48,0	101,0	106,0	0,80	FO-01	1,80	18,0	20
SB 6-12	6	12	151,0	50,0	94,0	100,0	2,00	FO-01	4,80	10,0	10
SB 12-1,3	12	1,3	98,0	45,0	50,0	56,0	0,60	FO-01	0,52	75,0	20
SB 12-2,3	12	2,3	178,0	34,0	60,0	66,0	0,86	FO-01	0,80	45,0	20
SB 12-3,4	12	3,4	134,0	66,0	60,0	66,0	1,00	FO-01	1,36	50,0	10
SB 12-5	12	5	90,0	70,0	101,0	106,0	1,70	FO-01	2,00	25,0	10
SB 12-7	12	7	151,0	65,0	94,0	100,0	2,35	FO-01	2,80	22,0	5
SB 12-7,2	12	7,2	150,0	65,0	94,0	100,0	2,40	FO-01	2,92	20,0	5
SB 12-12	12	12	151,0	98,0	94,0	100,0	3,70	FO-01	4,80	14,0	4
SB 12-18	12	18	181,0	77,0	167,0	167,0	5,60	M5	7,20	13,0	2
SB 12-26 LL	12	26	175,0	166,0	125,0	125,0	8,00	M5	10,40	9,0	1
SB 12-40 LL	12	40	196,0	166,0	171,0	171,0	14,00	M6	16,00	9,0	1
SB 12-70 LL	12	70	350,0	166,0	179,0	179,0	22,00	M6	27,00	5,0	1
SB 12-100 LL	12	100	331,0	173,0	213,0	213,0	32,00	M6	40,00	3,0	1
SB 12-120 LL	12	120	407,0	174,0	209,0	233,0	38,00	M6	48,00	2,5	1
SB 12-150 LL	12	150	484,0	171,0	241,0	241,0	44,00	M8	60,00	2,0	1
SB 12-200 LL	12	200	522,0	240,0	216,0	236,0	64,00	M8	80,00	1,0	1

Οι συσσωρευτές **SB** παράγονται σύμφωνα με την πλέον σύγχρονη διαθέσιμη VRLA τεχνολογία και τεχνολογία και βεβαίως στις πλέον εξελιγμένες γραμμές παραγωγής. Η πλέον των 10 ετών συσσωρευμένη εμπειρία, η συνεχής και διαρκής βελτίωση των προϊόντων και των διαδικασιών παραγωγής, μέσω εξειδικευμένου R&D, εξασφαλίζουν την απόλυτη και ύψιστη αξιοπιστία. Η υψηλή πυκνότητα ενέργειας, ο εξελιγμένος σχεδιασμός των πλακών, η απόλυτα στεγανή κατασκευή εγγυώνται τη βέλτιστη απόδοση και την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Όλα τα παραπάνω καθιστούν την επιλογή των συσσωρευτών **SB** την πλέον ασφαλή και αξιόπιστη επιλογή σε συσσωρευτές Μολύβδου Κλειστού Τύπου.



### Στεγανοί και Ασφαλείς

Οι συσσωρευτές **SB** παράγονται με τις πλέον σύγχρονες τεχνικές και μεθόδους όσον αφορά στις πλάκες και στη στεγανοποίηση. Εφαρμόζεται η πλέον σύγχρονη glass matte τεχνολογία απορρόφησης ηλεκτρολύτη. Συνεπώς ελαχιστοποιείται η περίπτωση διαρροής ηλεκτρολύτη ανεξαρτήτως θέσης και προσανατολισμού εγκατάστασης.

### Υψηλή αντοχή

Οι συσσωρευτές **SB** έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και υψηλή αντοχή σε συνθήκες υπερφόρτισης. Ο βαθμός ανακύκλωσης ηλεκτρολύτη (recombination rate) είναι μεγαλύτερος από 99%. Το πλαστικό δοχείο είναι άκαυστο σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα UL94.

### Μεγάλη διάρκεια ζωής

Οι συσσωρευτές **SB** μπορούν να κάνουν πάνω από 1000 κύκλους, με βασική παράμετρο το βάθος της εκφόρτισης.

### Δυνατότητα αποθήκευσης

Οι συσσωρευτές **SB** εμφανίζουν πολύ μικρό βαθμό αυτοεκφόρτισης. Ο βαθμός είναι μικρότερος του 1% ανά μήνα στους 20°C. Συνεπώς μπορούν να αποθηκευθούν πλέον των 12 μηνών σε φυσιολογικές θερμοκρασιακές συνθήκες. Μετά από αυτό το χρονικό διάστημα οι συσσωρευτές είναι κατάλληλοι για χρήση μετά από προληπτική φόρτιση, η οποία και συνιστάται.

### Ευρύ θερμοκρασιακό εύρος

Οι συσσωρευτές **SB** μπορούν να λειτουργήσουν σε όποια εφαρμογή από -15oC έως +45oC.

### Ποιότητα

Οι συσσωρευτές **SB** παράγονται σύμφωνα με προδιαγραφές ISO 9001 αλλά και ISO 14001. Επίσης συνοδεύονται από πιστοποιητικά ικανοποιώντας όλες τις σύγχρονες UL και IEC προδιαγραφές.

### Εγγύηση

Οι τύποι **SB** των συσσωρευτών **SB** έχουν αναμενόμενο χρόνο ζωής έως 9 χρόνια και πλήρη εγγύηση 1 έτους. Οι τύποι **SB...LL** των συσσωρευτών **SB** έχουν αναμενόμενο χρόνο ζωής πλέον των 10 χρόνων και πλήρη εγγύηση 2 ετών. Είναι σαφές πως οι εγγυήσεις εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά αποθήκευσης και λειτουργίας κατά την εφαρμογή.







**Τεχνική Περιγραφή Συσσωρευτών Οξέως Μολύβδου (Vented Lead-Acid Batteries - VLA) ανοικτού τύπου, χαμηλού αντιμονίου (1,6%).**



## 1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

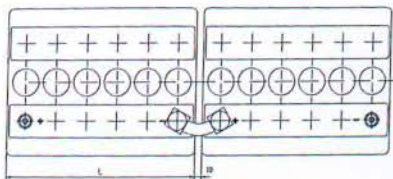
Για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω φωτοβολταϊκών συστημάτων, για:

- εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας σε απομακρυσμένα χωριά, σπίτια σε βουνά κ.λ.π.
- εγκαταστάσεις επικοινωνιών σε αέρα, θάλασσα, δρόμους και τρένα κ.λ.π.
- εγκαταστάσεις ραδιοτηλεοπτικών σταθμών, κεραίες κινητής τηλεφωνίας κ.λ.π.

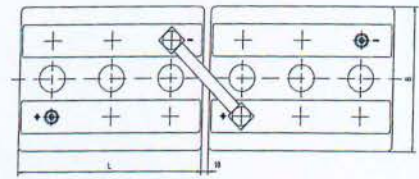
Υβριδική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες και γεννήτριες diesel). Σ' αυτές τις περιπτώσεις ο συσσωρευτής χρησιμεύει για αποθήκευση του ρεύματος καθώς και για μείωση του χρόνου λειτουργίας των γεννητριών σε χαμηλή ζήτηση ρεύματος.

## 2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 6V ΚΑΙ 12V (ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 20°C)

	C 100	C 20	C 10	C 5	C 1	Ri	I <sub>k</sub>	Βάρος	Διαστάσεις
	Ah	Ah	Ah	Ah	Ah	mΩ	kA	kg	mm
U <sub>e</sub> 80%	1,91V	1,91V	1,90V	1,87V	1,74V				Π x Β x Υ
U <sub>e</sub> 100%	1,80V	1,80V	1,80V	1,77V	1,67V				
12V 1 PVS 70	72	60	51	41,5	28,5	19,2	0,64	40	272 x 205 x 385
12V 2 PVS 140	145	120	103	84	56,5	9,60	1,28	51	272 x 205 x 385
12V 3 PVS 210	215	180	154	125	85	6,40	1,92	71	380 x 205 x 385
6V 4 PVS 280	290	240	205	167	115	2,40	2,56	48	272 x 205 x 385
6V 5 PVS 350	360	300	256	208	143	1,92	3,20	62	380 x 205 x 385
6V 6 PVS 420	430	360	308	250	172	1,60	3,84	69	380 x 205 x 385



12V 1 PVS 70 to 12V 3 PVS 210

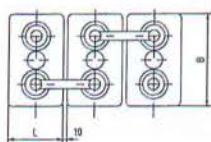


6V 4 PVS 280 to 6V 6 PVS 420

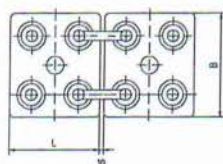


## 3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ 2V (ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 20°C)

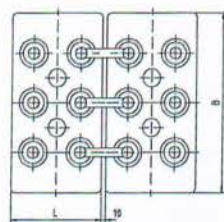
	C 100	C 20	C 10	C 5	C 1	Ri	I <sub>k</sub>	Βάρος	Διαστάσεις
	Ah	Ah	Ah	Ah	Ah	mΩ	kA	kg	mm
U <sub>e</sub> 80%	1,91V	1,91V	1,90V	1,87V	1,74V				Π x Β x Υ
U <sub>e</sub> 100%	1,80V	1,80V	1,80V	1,77V	1,67V				
<b>4 PVS 280</b>	290	225	210	175	114	0,95	2,16	17,2	105 x 208 x 420
<b>5 PVS 350</b>	370	305	270	220	143	0,76	2,70	20,8	126 x 208 x 420
<b>6 PVS 420</b>	440	365	320	262	170	0,63	3,24	24,3	147 x 208 x 420
<b>5 PVS 550</b>	550	455	400	336	205	0,70	2,90	26,9	126 x 208 x 535
<b>6 PVS 660</b>	680	560	490	400	245	0,58	3,48	31,5	147 x 208 x 535
<b>7 PVS 770</b>	790	650	570	470	285	0,50	4,06	36,1	168 x 208 x 535
<b>6 PVS 900</b>	930	760	670	560	330	0,47	4,32	44,8	147 x 208 x 710
<b>8 PVS 1200</b>	1230	1020	890	740	440	0,35	5,76	61,3	215 x 193 x 710
<b>10 PVS 1500</b>	1550	1280	1120	930	550	0,28	7,20	74,5	215 x 235 x 710
<b>12 PVS 1800</b>	1860	1530	1340	1100	660	0,23	8,64	88	215 x 277 x 710
<b>12 PVS 2280</b>	2350	1930	1690	1400	820	0,23	9,18	114,3	215 x 277 x 855
<b>16 PVS 3040</b>	3130	2580	2250	1850	1100	0,17	12,2	151,5	215 x 400 x 815
<b>20 PVS 3800</b>	3900	3220	2810	2300	1375	0,14	15,3	193,0	215 x 490 x 815
<b>24 PVS 4560</b>	4700	3870	3380	2800	1640	0,11	18,4	234,5	215 x 580 x 815



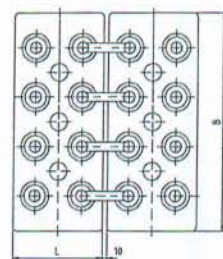
4 PVS 280 to 6 PVS 900



8 PVS 1200 to 12 PVS 2280



16 PVS 3040



20 PVS 3800 to 24 PVS 4560

## 4. ΚΥΚΛΟΙ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗΣ (DOD - DEPTH OF DISCHARGE)

Depth of discharge [DOD]	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
Cycles PVS-cell	1500	1800	2200	2800	3750	5200	8100	18000
Cycles PVS block	1200	1450	1750	2250	3000	4160	6480	14400

## 5. ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Θερμοκρασία	20°C	15°C	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-20°C
C100	100%	98%	94%	90%	85%	79%	72%	55%

## 6. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Σε αποφόρτιση πάνω από 80%, μπορεί να προκληθεί μόνιμη βλάβη έως και καταστροφή του συσσωρευτή.

Το ρεύμα φόρτισης μπορεί να κυμανθεί από 0,01 x I<sub>10</sub> έως 5 x I<sub>10</sub>.

Η τάση φόρτισης πρέπει να περιορίζεται από 2,30V έως 2,40V.

Για ημερήσια αποφόρτιση έως και 20% → Τάση φόρτισης 2,30V - 2,35V ανά στοιχείο.

Για ημερήσια αποφόρτιση πάνω από 20% → Τάση φόρτισης 2,35V - 2,40V ανά στοιχείο.

Για ημερήσια αποφόρτιση μεγαλύτερη από 50%, θα πρέπει να εκτελείται φόρτιση βρασμού ημερησίως ή να χρησιμοποιηθεί σύστημα τεχνητής ανατάραξης του ηλεκτρολύτη.





# HEAVY DUTY DEEP CYCLE SERIES 4000

**BATTERY TYPE**

**VOLTS 12**

**T12 250**

**DIMENSIONS**

LENGTH	391 MM	15 3/8	INCHES
WIDTH	178 MM	7	INCHES
HEIGHT	365 MM	14 3/8	INCHES

**WEIGHT DRY**

64 KG 140 LBS.

**WEIGHT WET**

44 KG 97 LBS.

**CONTAINER CONSTRUCTION**

CONTAINER	POLYPROPYLENE
COVER	POLYPROPYLENE
HANDLES	ROPE

**PLATES PER CELL**

9

**ELECTROLYTE RESERVE**

ABOVE PLATES

51 MM 2 INCHES

**DESIGN CRITERIA**

7 YEAR WARRANTY

1300 CYCLES 10 YEAR LIFE

**POSITIVE PLATE DIMENSION**

HEIGHT	254 MM	10	INCHES
WIDTH	143 MM	5.625	INCHES
THICKNESS	4.32 MM	0.170	INCHES

**NEGATIVE PLATE DIMENSION**

HEIGHT	254 MM	10	INCHES
WIDTH	143 MM	5.625	INCHES
THICKNESS	3.05 MM	0.12	INCHES

**SEPARATOR INSULATION**

SEPARATOR THICKNESS  
0.020" GLASS MAT

0.081 INCH

**TERMINALS**

AUTOMOTIVE (FLAG IF SPECIFIED)

**COLD CRANK**

CCA	0°F / -17.8°C	648
MCA	32°F / 0°C	810

**RESERVE**

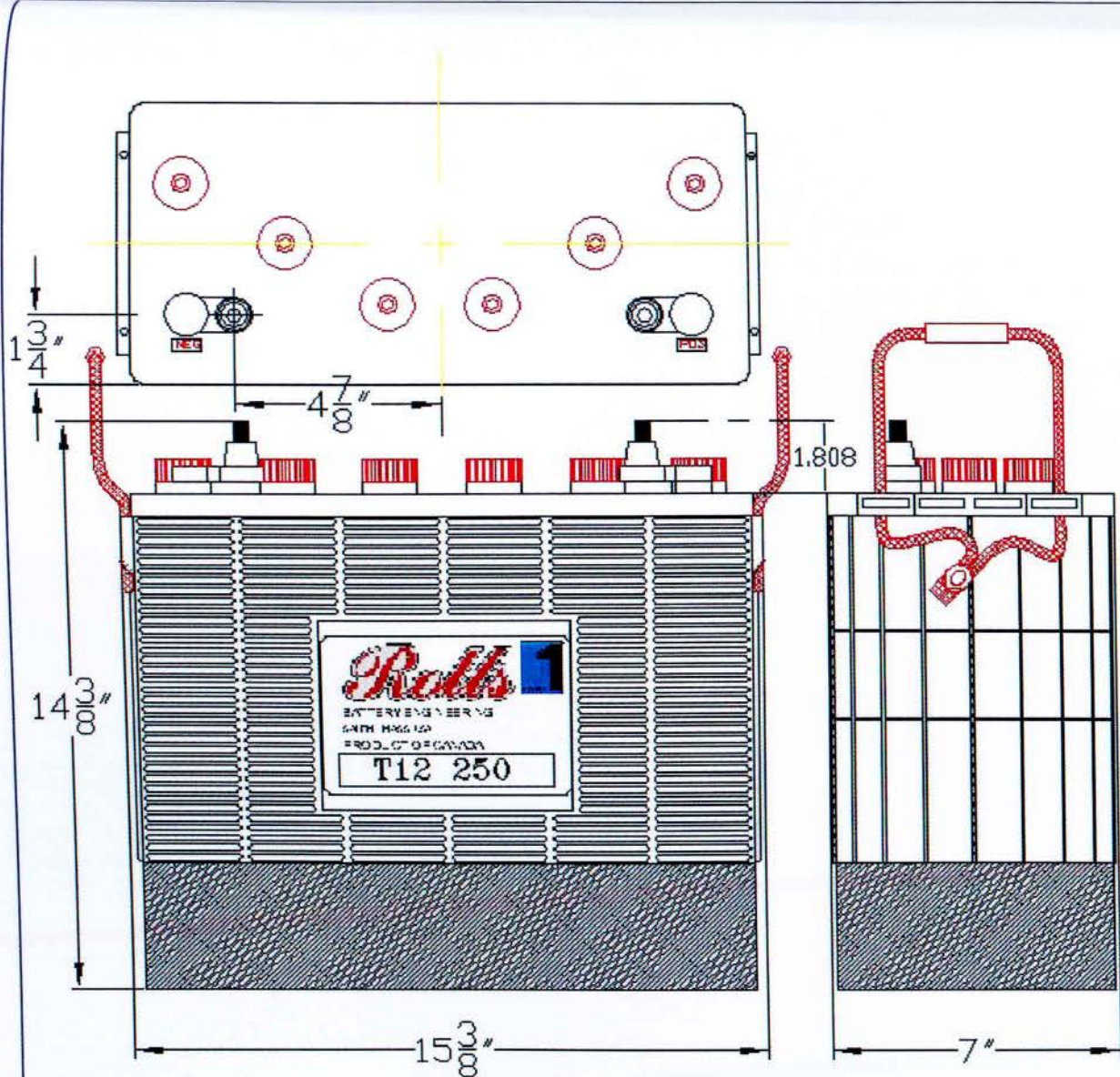
**MINUTES AT 25A** 435

**CAPACITY**

20 HR RATE 200

CAP / AH CURRENT / AMPS

<b>CAPACITY AT THE 20 HOUR RATE</b>	<b>1.265 SP. GR.</b>	<b>200</b>	<b>10.0</b>
CAPACITY AT THE 15 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	188	12.5
CAPACITY AT THE 12 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	178	14.8
CAPACITY AT THE 10 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	170	17.0
CAPACITY AT THE 8 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	160	20.0
CAPACITY AT THE 6 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	148	24.7
CAPACITY AT THE 5 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	140	28
CAPACITY AT THE 4 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	130	33
CAPACITY AT THE 3 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	118	39
CAPACITY AT THE 2 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	102	51
CAPACITY AT THE 1 HOUR RATE	1.265 SP. GR.	72	72



PART NUMBER: T12250

WEIGHT WET: 140 LB / 64 KG

WET DRY: 97 LB / 44 KG

CAPACITY 154 AH 6 HR  
200 AH 20 HR

RESERVE MIN@25A 435 MIN

VOLTAGE: 12 V

OVERALL DIMENSIONS: 15 3/8 X 7 X 14 3/8"



MAX HEIGHT WITH OPTIONAL HYDROCAPS 14 3/4"

**Rolls**

BATTERY ENGINEERING  
5470 HURON ST.  
MISSISSAUGA, ONT. L4R 1A1  
PRODUCT OF CANADA

TITLE:

T12250

DESCRIPTION:

12V DEEP CYCLE SERIES 400/4000

CONTACT INFO:

WEB: WWW.ROLLSBATTERY.COM  
E-MAIL: SALES@ROLLSBATTERY.COM  
PHONE: 1-800-681-9914

SCALE: 1" = 4" 8.5" X 11"

JPEG  
NOT TO SCALE

Drawn by:  
S. WILES

Approved By:  
D. SURRETTE

DATE: 5-FEB-01 REVISION 0

DRAWING NO.:

DWG 046, BD-T12250