



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΨΗΛΗΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΠΙΕΡΡΑΚΕΑ ΠΕΤΡΟΥ

Επιβλέπων καθηγητής: Μαυροματάκης Φώτης

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ "ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΡΚΟ"

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ. Μαυροματάκη Φώτη για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια , καθοδήγηση την οποία μου προσέφερε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της Πτυχιακής καθώς και Πρακτικής μου εργασίας στο Φωτοβολταϊκό Πάρκο του τμήματος Ηλεκτρολογίας στο Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Φραγκιαδάκη υπεύθυνο καθηγητή εργαστηρίου του Φωτοβολταϊκού Πάρκου Τ.Ε.Ι Κρήτης.

Επιπροσθέτως, ευχαριστώ πολύ τους γονείς μου για την συμπαράσταση και την υποστήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ και τους συμφοιτητές μου για την αρμονική συνύπαρξη και αλληλοϋποστήριξη .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	7
1.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	7
1.2 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	7
1.3 Μέλαν σώμα.....	9
1.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	10
1.5 Ο ήλιος	12
1.6 Ηλιακή σταθερά	12
1.7 Ολική, απ' ευθείας, διάχυτη και διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	16
2.1 Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	16
2.2 Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	17
2.2.1 Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου	19
2.2.2 Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου.....	19
2.2.3 Στοιχεία ταινίας πυριτίου	20
2.2.4 Στοιχεία άμορφου πυριτίου	20
2.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	21
2.3.1 Εκτός δικτύου ή αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	23
2.3.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο	24
2.4 Σύνδεση πλαισίων-σύνδεση με δίκτυο.....	24
2.5 Ηλεκτρονικά.....	27
2.5.1 Ελεγκτής φόρτισης.....	27
2.5.2 Μετατροπείς DC-DC, DC-AC και AC-DC.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Πειραματική διάταξη	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	39

4.1 Ενέργεια	39
4.2 Απόδοση των αντιστοφών τάσης	47
4.3 Εκτιμώμενο ποσοστό εκμετάλλευσης ηλιακής ακτινοβολίας.....	53
4.4 Λόγος επίδοσης (PR).....	56
4.5 Συμπεράσματα	58
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄	70

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μόλις το 1769 ο Βρετανός Τζέιμς Βάτ κατοχύρωσε την πατέντα της πρώτης ατμομηχανής. Στην ουσία τη χρονική αυτή περίοδο τοποθετείται και η απαρχή της βιομηχανικής επανάστασης στην Αγγλία που υποδηλώνει τη συστηματική εγκατάσταση και λειτουργία της εργοστασιακής βιομηχανίας.

Το 1807 για πρώτη φορά εισάγεται στη Φυσική η έννοια και ο ορισμός της ενέργειας ως φυσικού μεγέθους.

Το 1829 στο Κεντάκι των ΗΠΑ αναβλύζει η πρώτη πετρελαιοπηγή και τέλος το 1859 στη Πενσυλβάνια εξορύσσεται πετρέλαιο από βάθος 211 μέτρων με ρυθμό 20 βαρέλια ημερησίως.

Όπως φαίνεται από τις χρονολογίες που αναφέρθηκαν το ενεργειακό με τη μορφή που το ξέρουμε σήμερα είναι σχετικά πρόσφατο και η ανθρωπότητα επί δύο περίπου αιώνες ζούσε και κατανάλωνε ενέργεια με μια αφελή ανεμελιά, έως το 1960-70 συνειδητοποιήσαμε όλοι μας δύο πράγματα, πρώτον ότι τα ορυκτά καύσιμα, άνθρακας και πετρέλαιο, έχουν πεπερασμένα αποθέματα και δεύτερον ότι η καύση τους προξενεί ανεπανόρθωτες αλλοιώσεις στο κλίμα και κατ' επέκταση στη σύσταση και τη μορφή του πλανήτη.

Έτσι γίναμε γνώστες των δύο προβλημάτων τα οποία συνδέονται με την ενέργεια που καθημερινά αναλώνουμε, του Ενεργειακού και του Οικολογικού.

Το οικολογικό πρόβλημα δημιουργείται με την καύση των ορυκτών καυσίμων όπως του άνθρακα του πετρελαίου του φυσικού αερίου κλπ και την έκλυση στην ατμόσφαιρα μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου και μονοξειδίου του άνθρακα τα οποία είναι υπεύθυνα κατά κύριο λόγο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου που υπερθερμαίνει τον πλανήτη και προκαλεί τις παρατηρούμενες ήδη σήμερα κλιματικές αλλαγές. Παράλληλα η ρύπανση της ατμόσφαιρας με τα δύο αέρια, μαζί και με τα στερεά αιωρούμενα σωματίδια τα οποία επίσης εκλύονται κατά την καύση, ή και από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, επιδρούν στη ζωή και την παρουσία πολλών ειδών της χλωρίδας και της πανίδας της γης.

Εάν η ανθρωπότητα εγκαίρως είχε στραφεί και είχε προσανατολίσει σημαντικούς πόρους και μέσα, στην έρευνα για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ενδεχομένως σήμερα να είμαστε σε πολύ καλύτερη περιβαλλοντική κατάσταση έχοντας επιτύχει να παράγουμε μεγάλο μέρος από την απαιτούμενη ενέργειά μας από καθαρές οικολογικά πηγές. Οι λόγοι που δεν στραφήκαμε εγκαίρως ήταν αφ' ενός η χαμηλή τιμή του πετρελαίου που δεν δημιουργούσε προβληματισμούς, αφ' ετέρου τα συμφέροντα των μεγάλων εταιρειών πετρελαίου που είχαν πραγματοποιήσει τεράστιες επενδύσεις στον τομέα της εξόρυξης και εμπορίας πετρελαίου και δεν επιθυμούσαν μια εξέλιξη που θα έθετε τις επενδύσεις αυτές σε ρίσκο.

Δεν αποκλείεται η πρόσφατη αφύσικη ανατίμηση του πετρελαίου να αποβλέπει ακριβώς στο να κάνει πλέον συμφέρουσα τη στροφή προς τις ΑΠΕ.

Για να περιοριστεί η ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος από την παραγωγή ενέργειας, γίνονται πολλές προτάσεις, μια από τις οποίες είναι οι ΑΠΕ. Καταρχήν πρέπει να τονίσουμε ότι και οι ΑΠΕ έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όμως σε πολύ μικρότερο βαθμό από την παραγωγή ενέργειας με καύσιμη πρώτη ύλη. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που έχουν οι ΑΠΕ έναντι των καυσίμων είναι ότι δεν έχουν ημερομηνία λήξης, αφού έχουν διαρκή ανανέωση. Αντίθετα τα καύσιμα, που σήμερα καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό σε ενέργεια, έχουν εξαντλήσιμα αποθέματα. Π.χ. τα υγρά καύσιμα και το φυσικό αέριο προβλέπεται ότι θα εξαντληθούν σε λιγότερο από 1 αιώνα. Στις ΑΠΕ υπάγονται:

- ❖ η ενέργεια του νερού
- ❖ η ηλιακή ενέργεια
- ❖ η αιολική ενέργεια
- ❖ η γεωθερμία και
- ❖ η βιομάζα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

1.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

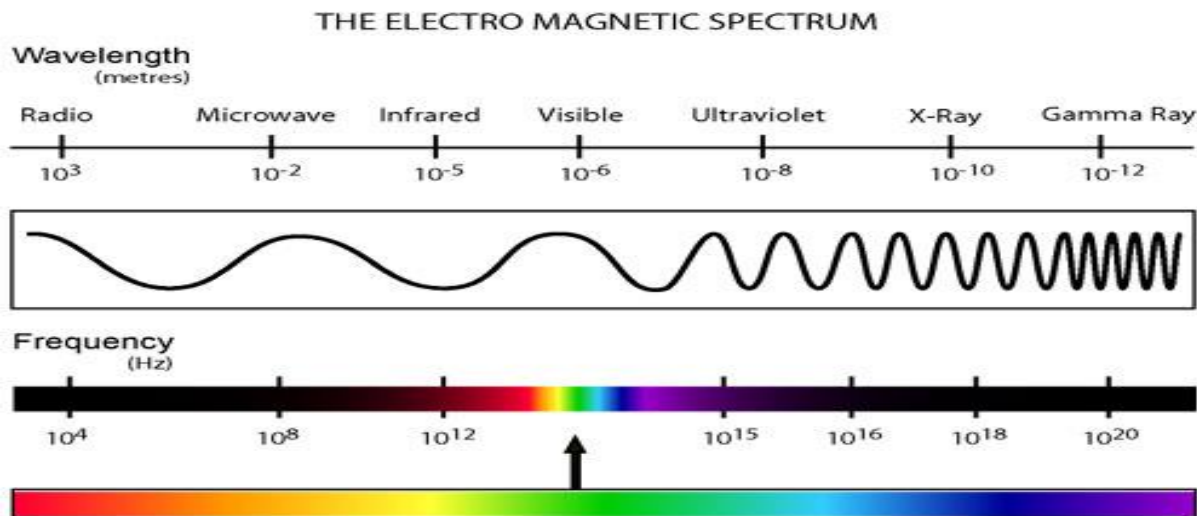
Η **Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία** είναι εκπομπή στον χώρο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας υπό μορφή κυμάτων που ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι συγχρονισμένα ταλαντούμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους και κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης. Διαδίδονται στο κενό με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός αλλά και μέσα στην ύλη με ταχύτητα λίγο μικρότερη απ' την ταχύτητα του φωτός.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται από επιταχυνόμενα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργούνται επίσης όταν ένα ηλεκτρόνιο κάποιου ατόμου χάνει μέρος της ενέργειάς του και μεταπίπτει σε χαμηλότερη τροχιά ή ενεργειακή στάθμη κοντά στον πυρήνα. Αυτό έχει ως συνέπεια να δημιουργηθεί μια ταλάντωση που διαδίδεται πλέον στο χώρο με τη μορφή ενός ταυτόχρονα ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Τα δύο αυτά πεδία είναι, αφενός μεν, κάθετα μεταξύ τους, αφετέρου και κάθετα με τη διεύθυνση διάδοσης του παραγόμενου κύματος, του λεγόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούσει σε κάποιο άτομο τα δύο συνδυαζόμενα αυτού πεδία μπορούν να προσφέρουν μεταφερόμενη ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο με αποτέλεσμα να το εξαναγκάσουν να μεταπηδήσει αυτό σε ανώτερη ενεργειακή στάθμη.

1.2 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες. Αυτές είναι **τα ραδιοκύματα** , **τα μικροκύματα**, **η υπέρυθρη ακτινοβολία**, **η ορατή ακτινοβολία (φως)**, **η υπεριώδης ακτινοβολία**, **οι ακτίνες X** και **οι ακτίνες γ**.

ΦΑΣΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ



Ζώνες ηλεκτρομαγνητικού φάσματος		
Περιοχή του φάσματος	Περιοχή συχνοτήτων	Ενέργεια φωτονίων
Ραδιοκύματα	0-300 MHz	$0 - 10^{-5} eV$
Μικροκύματα	300 MHz - 300 GHz	$10^{-5} - 10^{-3} eV$
Υπέρυθρη ακτινοβολία	300 GHz - 400 THz	$10^{-3} - 1,6 eV$
Ορατή ακτινοβολία	400-800 THz	$1,6 - 3,2 eV$
Υπεριώδης ακτινοβολία	800 THz - $3 \cdot 10^{17} Hz$	$3 - 2000 eV$
Ακτίνες X	$3 \cdot 10^{17} Hz - 5 \cdot 10^{19} Hz$	$1200 - 2,4 \cdot 10^5 eV$
Ακτίνες γ	$5 \cdot 10^{19} Hz - 3 \cdot 10^{22} Hz$	$10^5 - 10^7 eV$

1.3 Μέλαν σώμα

Ο όρος **μέλαν σώμα** στη φυσική, περιγράφει ένα ιδανικό σώμα το οποίο απορροφά όλο το φως που προσπίπτει πάνω του (και κατ' επέκταση, όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία). Αυτό σημαίνει ότι ένα τέτοιο σώμα δεν ανακλά ούτε διαχέει το προσπίπτον σε αυτό φως (ή άλλης μορφής ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) ούτε αφήνει το φως να το διαπεράσει και γι' αυτές του τις ιδιότητες ονομάζεται **μέλαν σώμα**. Ωστόσο, σε αντίθεση με την εικόνα που δίνεται από την ονομασία του, το ίδιο το σώμα εκπέμπει κάποια ακτινοβολία, το φάσμα της οποίας εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία του. Στην ουσία **το μέλαν σώμα** αποτελεί ένα εξιδανικευμένο μοντέλο της ύλης, που επινοήθηκε για να διευκολυνθεί η μελέτη της θερμικής ακτινοβολίας των πραγματικών σωμάτων. Ο όρος εισήχθη από τον Γκούσταβ Ρόμπερτ Κίρχοφ (γερμ. *Gustav Robert Kirchhoff*) το 1860 και η μελέτη της ακτινοβολίας του έπαιξε μεγάλο ρόλο στη ανάπτυξη της κβαντομηχανικής.

Γενικά, ένα οποιοδήποτε σώμα, σε κάποια μη μηδενική θερμοκρασία, εκπέμπει ακτινοβολία. Αν είναι τέλει μέλαν σώμα, ο συντελεστής εκπομπής του θα είναι ίσος με την μονάδα. Για κάθε πραγματικό σώμα όμως ο συντελεστής εκπομπής είναι μικρότερος από την μονάδα. Ως συντελεστής εκπομπής ενός σώματος ορίζεται ο λόγος της ακτινοβολούμενης ενέργειας από το σώμα σε σχέση με την ακτινοβολούμενη ενέργεια ενός μελανού σώματος που βρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία. Έτσι, το **μέλαν σώμα** αποτελεί ένα όριο το οποίο μπορούν να προσεγγίσουν σε κάποιο βαθμό τα φυσικά σώματα. Ο συντελεστής εκπομπής ενός πραγματικού σώματος μεταβάλλεται με την θερμοκρασία, την γωνία εκπομπής και το εξεταζόμενο μήκος κύματος. Πολλές φορές όμως είναι χρήσιμο να υποθέτουμε ότι είναι σταθερός. Αυτή παραδοχή αποτελεί ένα άλλο εξιδανικευμένο μοντέλο για τα υλικά σώματα, και για να περιγραφεί αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται ο όρος «φαιό σώμα».

1.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία των σωμάτων, που οφείλεται στην θερμοκρασία τους, περιγράφεται ποσοτικά, με χρήση χαρακτηριστικών μεγεθών, που αφορούν την ίδια και την πηγή ακτινοβολίας. Αντίστοιχα μεγέθη χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της φωτεινής ακτινοβολίας, που προσπίπτει σε δεδομένη επιφάνεια.

Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται ο όρος φωτομετρία. Αν και στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών στοιχείων χρησιμοποιούνται κατ' αποκλειστικότητα τα γενικά μεγέθη ακτινοβολίας για λόγους πληρότητας της παρουσίασης και αντιδιαστολής εννοιών μεταξύ των δύο κατηγοριών μεγεθών.

α. Ισχύς ή ροή ακτινοβολίας, P (Radiant Power)

Ορίζεται ως το πηλίκο της ακτινοβολούμενης, σε χρόνο dt , ενέργειας dU , μέσα σε στερεά γωνία $d\Omega$. Δηλαδή

$$P = \frac{dU}{dt}$$

Η μονάδα μέτρησης της ισχύος της ακτινοβολίας, στο SI, είναι το 1 W.

β. Πυκνότητα ισχύος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, E (Irradiance, Emittance)

Το μέγεθος αυτό καθορίζεται από την συνολική και από διάφορες κατευθύνσεις, ροή ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από μια επιφάνεια ή προσπίπτει σε μια επιφάνεια ή διαπερνά την μονάδα της επιφάνειας, ανεξάρτητα από τη γωνία των ακτινών ως προς την επιφάνεια αυτή. Προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$E = \frac{dP}{dS}$$

Όπου dS η στοιχειώδης επιφάνεια, μέσα από την οποία διέρχεται ή πάνω στην οποία προσπίπτει ή από την οποία εκπέμπεται, η στοιχειώδης ισχύς ακτινοβολίας dP .

Η μονάδα μέτρησης της στο SI, είναι το $1 \text{ W} / \text{m}^2$.

γ. Ένταση ακτινοβολίας, J

Ένταση ακτινοβολίας ονομάζουμε την ισχύ που διαπερνά κάθετα την μονάδα επιφάνειας, τοποθετημένη στην θέση προσδιορισμού και δίνεται από την σχέση:

$$J = \frac{dP}{dS_{\perp}}$$

Όπου dP , η στοιχειώδης ισχύς ακτινοβολίας, η οποία διαπερνά κάθετα την επιφάνεια dS_{\perp} . Μονάδα της έντασης ακτινοβολίας στο SI, είναι το $1 \text{ W} / \text{m}^2$.

δ. Γωνιακή κατανομή ροής ή ισχύος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, I (Radiant Intensity)

Καθορίζει το ποσό της ροής ακτινοβολίας dP , ανά μονάδα στερεάς γωνίας και υπολογίζεται από την σχέση:

$$I = \frac{dP}{d\Omega}$$

Η μονάδα μέτρησης της, στο SI, είναι το $1 \text{ W} / \text{sr}$.

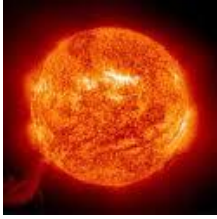
ε. Γωνιακή αφετική ικανότητα, L (Radiance)

Το μέγεθος αυτό αφορά είτε την εκπομπή ακτινοβολίας από επιφάνεια είτε τη δίοδο της ακτινοβολίας από επιφάνεια και ιδιαίτερα αναφέρεται σε εκτεταμένες πηγές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ορίζεται ως η ισχύς ακτινοβολίας, dP , ανά μονάδα φαινόμενης επιφάνειας και ανά μονάδα στερεάς γωνίας,

$$L = \frac{d^2P}{dS_{\perp} \cdot d\Omega} = \frac{d^2P}{dS \cdot \cos\theta \cdot d\Omega}$$

Όπου dS_{\perp} (φαινόμενη επιφάνεια), η προβολή της στοιχειώδους επιφάνειας της πηγής dS , σε επίπεδο κάθετο στην διεύθυνση παρατήρησης ή μέτρησης της διαδιδόμενης ροής και θ η γωνία της κατεύθυνσης παρατήρησης και της καθέτου στην επιφάνεια της πηγής.

Η μονάδα μέτρησης της, στο SI, είναι το $1 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{sr}$.



1.5 Ο ήλιος

Ο ήλιος είναι ένα τυπικό αστέρι, με μάζα $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, ακτίνα 700.000 ηλικά $5 \cdot 10^9$ χρόνια και υπολογίζεται ότι έχει μπροστά του άλλα 5 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια ζωής. Η επιφανειακή θερμοκρασία του είναι $\sim 5,800\text{K}$, ενώ η εσωτερική, περίπου, $15.000.000 \text{ K}$. Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κατά τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο. Ο Ήλιος δεν περιστρέφεται σαν στερεό σώμα. Η ύλη της φωτόσφαιρας στην περιοχή του ισημερινού κινείται ταχύτερα απ' ότι στους πόλους. Αυτή η «διαφορική περιστροφή» του Ήλιου επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο του. Στο συνδυασμό διαφορικής περιστροφής και μαγνητικού πεδίου οφείλονται όλοι οι εντυπωσιακοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στην επιφάνεια του, όπως κηλίδες, βρόχοι, προεξοχές, εκλάμψεις.

1.6 Ηλιακή σταθερά

Ηλιακή σταθερά ενός πλανήτη είναι η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στη μέση απόσταση πλανήτη-ήλιου, ενός συστήματος. Για την Γη η πρότυπη τιμή της ηλιακής σταθεράς είναι 1367 W/m^2 . Η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ ήλιου και γης, από την εμφάνιση ηλιακών κηλίδων και από την περιστροφή του ήλιου γύρω από τον άξονά του.

Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης του σημείου που μετράται. Μονάδα της είναι το 1W/m^2 που προκύπτει από τη σχέση :

$$J = \frac{dP}{dS}$$

Και για την περίπτωση της ομόκεντρης σφαιρικής επιφάνειας ακτίνας R και εμβαδού $S=4\pi R^2$, η σχέση γίνεται ως εξής:

$$J = \frac{P}{4\pi R^2}$$

Όπου $P=H$ ολική ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από όλη την επιφάνεια του σε όλα τα μήκη κύματος.

Η ηλιακή ακτινοβολία μετριέται συνήθως με πυρανόμετρο ή με πυρηλιόμετρο.

Ένα από τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι **το πυρανόμετρο (Εικόνα 1)**.

Το πυρανόμετρο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ροής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ολόκληρο το ηλιακό φάσμα, η οποία προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια και προέρχεται τόσο απευθείας από τον ήλιο όσο και από την σκέδαση στα συστατικά της ατμόσφαιρας. Είναι σχεδιασμένο να δέχεται ακτινοβολία από ένα οπτικό πεδίο 180 μοιρών και δεν απαιτεί τροφοδοσία για να λειτουργήσει.

Τοποθετείται πλήρως οριζοντιωμένο και μετρά συγχρόνως την άμεση και τη διάχυτη συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες όμως γίνονται αισθητές σαν το γινόμενο της ροής της ακτινοβολίας και του συνημίτονου της γωνίας πρόσπτωσης, λόγω της κλίσης της αισθητήριας επιφάνειας σε σχέση με τις ακτίνες του φωτός. Για την καλύτερη αξιοπιστία των μετρήσεων το πυρανόμετρο πρέπει να τοποθετείται σε θέση με ελάχιστα εμπόδια ώστε να δέχεται ακτινοβολία από όσο το δυνατόν μεγαλύτερο τμήμα του ουράνιου θόλου, να έχει δηλαδή ελεύθερο οριζόντια.

Τα πυρανόμετρα είναι τα όργανα που χρησιμοποιούνται κατεξοχήν για μετρήσεις σχετικές με την ηλιακή ενέργεια, λόγω του ότι ανταποκρίνονται σε ολόκληρο το ηλιακό φάσμα, η δε γεωμετρία τους προσομοιάζει τη γεωμετρία πολλών από τις διατάξεις συλλογής της ηλιακής ενέργειας. Συχνά το πυρανόμετρο τοποθετείται στο ίδιο επίπεδο με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ώστε να είναι σε θέση να μετράει την επικείμενη ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτή την επιφάνεια. Το ακτινόμετρο που μετρά την "άμεση ακτινοβολία" επειδή σκοπεύει τον Ήλιο ονομάζεται και Πυρηλιόμετρο(Εικόνα 2). Τέτοιο όργανο είναι και το Πυρηλιόμετρο Kirp and Zonnen ή Kirp-Zonnen του οποίου η χρήση είναι ευρύτατη.



Εικόνα 1: Πυρανόμετρο



Εικόνα 2: Πυρηλιόμετρο

1.7 Ολική, απ' ευθείας, διάχυτη και διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία

Η **ακτινοβολία** αρχικά χωρίζεται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ολική ακτινοβολία
- Απ' ευθείας ακτινοβολία
- Διάχυτη ακτινοβολία και
- Διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία

Η **ολική ακτινοβολία** αναλύεται σε τρεις υποκατηγορίες:

- **Κάθετη ολική ακτινοβολία** η οποία υπολογίζεται σε συλλέκτη προσανατολισμένο κάθετα στην απευθείας ακτινοβολία του ήλιου. Αποτελείται από την απευθείας ακτινοβολία και τη διάχυτη από όλα τα σημεία του ουράνιου θόλου πάνω από το επίπεδο του συλλέκτη καθώς και από τη διάχυτα ανακλώμενη στο έδαφος.
- **Οριζόντια ολική ακτινοβολία** η οποία απαρτίζεται από την απευθείας και διάχυτη από όλα τα σημεία του ουράνιου θόλου καθώς και διάχυτα ανακλώμενη από τα σημεία του εδάφους που είναι πάνω από το επίπεδο του συλλέκτη, ο οποίος είναι τοποθετημένος οριζόντια.
- **Ολική ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη** η οποία απαρτίζεται από την απευθείας και διάχυτη από όλα τα σημεία του ουράνιου θόλου καθώς και διάχυτα ανακλώμενη από τα σημεία του εδάφους που είναι πάνω από το επίπεδο του συλλέκτη.

Η **απευθείας ακτινοβολία** αναλύεται και αυτή σε τρεις υποκατηγορίες:

- **Απευθείας κάθετη ακτινοβολία** στην οποία η επιφάνεια του συλλέκτη προσανατολίζεται κάθετα προς τις ακτίνες της απευθείας ακτινοβολίας.
- **Απευθείας οριζόντια ακτινοβολία** στην οποία η επιφάνεια του συλλέκτη προσανατολίζεται οριζόντια προς τις ακτίνες της απευθείας ακτινοβολίας.
- **Απευθείας στο επίπεδο του συλλέκτη** η οποία αφορά στην απευθείας συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη.

Η **διάχυτη ακτινοβολία** αναλύεται και αυτή σε δύο υποκατηγορίες:

- **Διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντιο συλλέκτη**
- **Διάχυτη ακτινοβολία σε κεκλιμένο συλλέκτη**

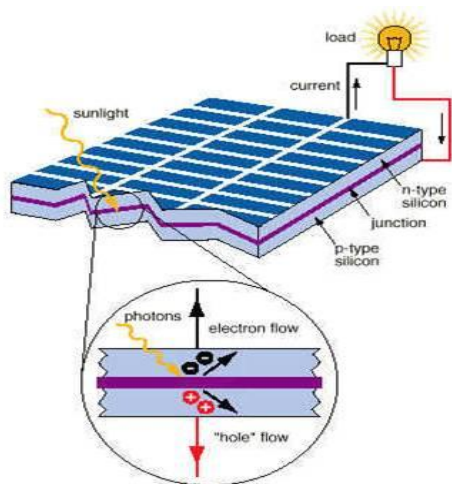
Η **διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία** αναλύεται και αυτή σε δύο υποκατηγορίες:

- **Από το έδαφος στον κεκλιμένο συλλέκτη**
- **Από τα σύννεφα**

Και οι δύο αυτές υποκατηγορίες αναφέρονται σε ακτινοβολία η οποία προέρχεται από το διάχυτα ανακλώμενο φως στο έδαφος και σε ότι το καλύπτει (π.χ. φυτά, κτιριακές κατασκευές κ.ά.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

2.1 Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκού στοιχείου



Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι ένα σύστημα δύο υλικών σε επαφή, το οποίο όταν φωτίζεται εμφανίζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι ουσιαστικά δύο ημιαγωγία στρώματα τα οποία βρίσκονται σε επαφή, τύπου p και τύπου n ,και εξωτερικά αυτών τοποθετούνται ηλεκτρόδια. Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο

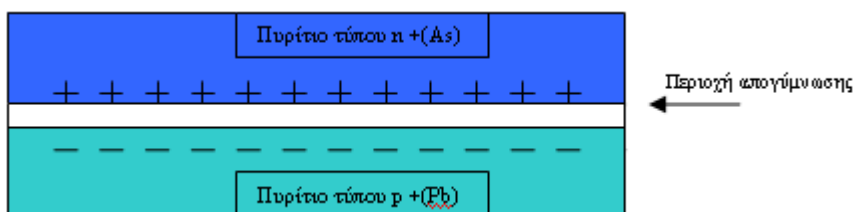
Γάλλος φυσικός **Edmond Becquerel** (1820 - 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια. Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1876 όταν οι **Adams** (1836 - 1915) και ο φοιτητής του **Day** παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως. Το 1918 ο Πολωνός **Czochralski** (1885 - 1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και σήμερα. Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι **Mott** και **Schottky** ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει. Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους **Chapin, Fuller και Pearson**. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας..

Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που λέγονται φωτόνια. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας “ημιαγωγός”), άλλα ανακλώνται,

άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και ως γνωστόν ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά κίνηση ηλεκτρονίων.

Σ' αυτή την απλή αρχή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου **τύπου n** και **τύπου p** το ένα απέναντι από το άλλο δημιουργείται μια δίοδος ή αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.



Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής **n** έλκονται από τις «οπές» τις επαφής **p**. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το **δομικό στοιχείο** του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

2.2 Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία στην βιομηχανία είναι το **πυρίτιο**. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα **πλεονεκτήματα** του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το *διοξείδιο του πυριτίου* (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.

- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.

- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125oC κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

- Μια κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου χωρίζονται στους ακόλουθους τύπους:

- i) Πολυκρυσταλλικά(polycrystalline Silicon)
- ii) Μονοκρυσταλλικά(single-crystal Silicon)
- iii) Ταινίας(Ribbon Silicon),και τα
- iv) Άμορφα(amorphous or thin film Silicon)

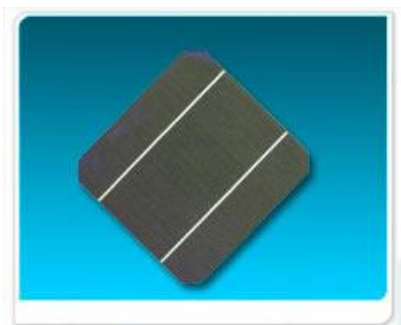
2.2.1 Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου



Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά

κελιά.

Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.



2.2.2 Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέση απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.



2.2.3 Στοιχεία ταινίας πυριτίου

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την Evergreen Solar. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου.

Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.



Thin-film Junction Thin-Film Solar Cell Module (prototype)

2.2.4 Στοιχεία άμορφου πυριτίου

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 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 ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα

κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

2.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα

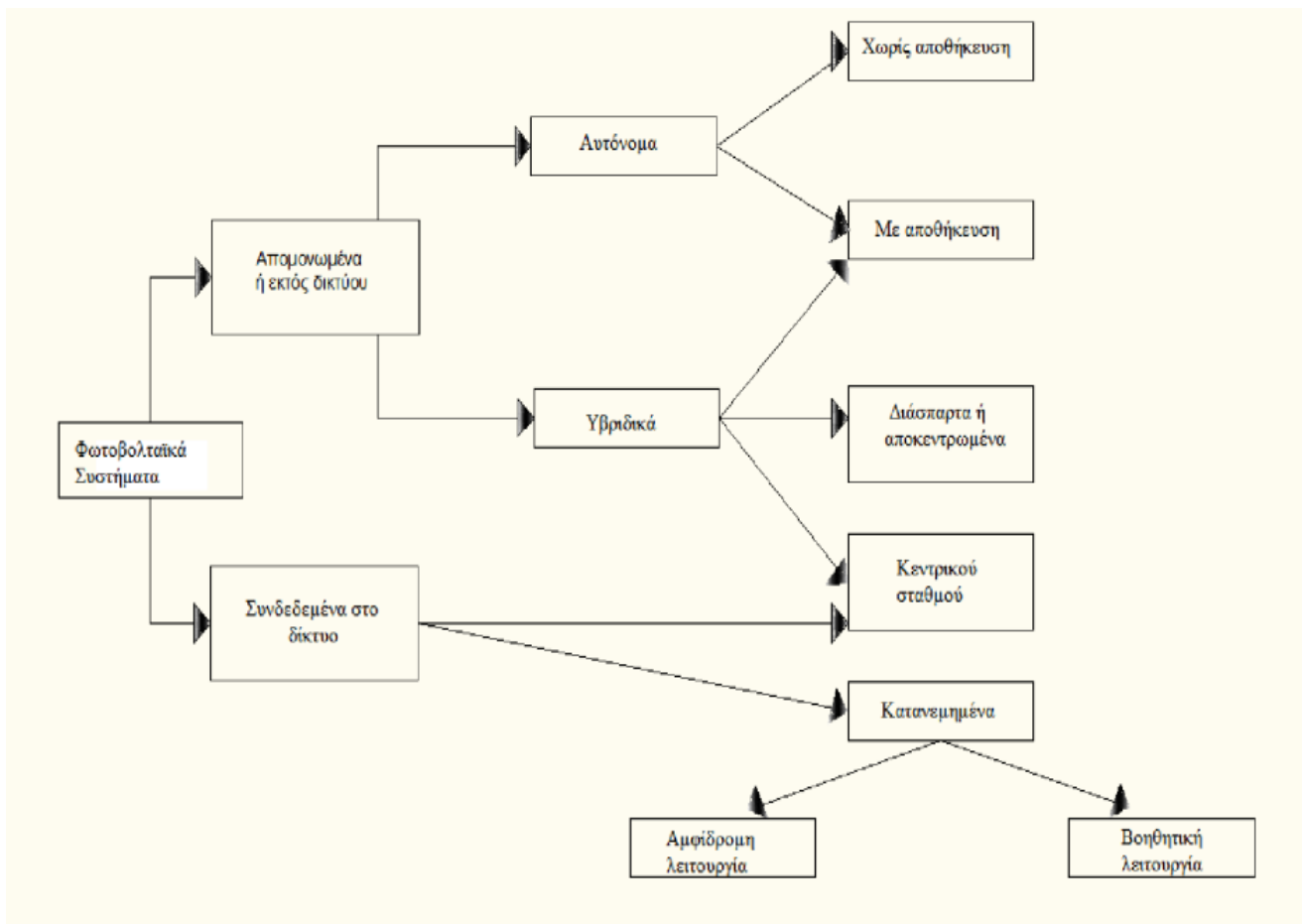
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μπορούν να αξιοποιηθούν σε πλήθος ηλεκτρικών εφαρμογών. Καλύπτουν μεγάλη περιοχή ισχύος, από το μέγεθος της πολύ χαμηλής ισχύος ευρείας χρήσεως καταναλωτικών προϊόντων, όπως είναι οι αριθμητικοί υπολογιστές, τα μικρά φωτιστικά κήπου κ.α., έως συστήματα μεγάλης ισχύος για την τροφοδοσία νησιών ή πρότυπων μεγάλων κτηριακών συγκροτημάτων συνδεδεμένα ή όχι στο δίκτυο.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε **δύο βασικές κατηγορίες**:

- Τα απομονωμένα ή εκτός δικτύου συστήματα και
- Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Τα απομονωμένα ή εκτός δικτύου φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται επίσης σε **αυτόνομα** και **υβριδικά**. Το κριτήριο για τον προσδιορισμό της σύνθεσης του καταλληλότερου φωτοβολταϊκού συστήματος στις κατηγορίες αυτές, προκύπτει με βάση την απαίτηση για πλήρη ή μερική κάλυψη(αυτονομία) των ενεργειακών καταναλώσεων της εφαρμογής μηνιαίως ή ετησίως.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τις κατηγορίες και την λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Τα φωτοβολταϊκά συστήματα-συγκροτήματα έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- ✓ Άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή ή μεγάλη ισχύ
- ✓ Δυνατότητα σταδιακής υλοποίησης του συστήματος
- ✓ Μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά την λειτουργία τους
- ✓ Αθόρυβη λειτουργία
- ✓ Ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης
- ✓ Μεγάλη αξιοπιστία
- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής
- ✓ Αποδεκτή αισθητική παρουσία

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης

2.3.1 Εκτός δικτύου ή αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Χαρακτηρίζονται έτσι τα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια **χωρίς** να είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Διακρίνονται σε **αυτόνομα**, στα οποία η φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελεί την αποκλειστική πηγή ενέργειας και σε **υβριδικά**, στα οποία περιλαμβάνεται και άλλη πηγή ΑΠΕ ή συμβατική ηλεκτρική πηγή.

2.3.1.1 Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται εξολοκλήρου από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, χωρίς την συμμετοχή άλλων ΑΠΕ και μπορεί να περιλαμβάνονται ή όχι ηλεκτρικοί συσσωρευτές. Αφορούν εφαρμογές μη συνδεδεμένες στο εθνικό δίκτυο. Η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι είτε συνεχούς (DC) είτε εναλλασσόμενης (AC) τάσεως.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε **δύο κατηγορίες**:

- Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου της εφαρμογής
- Αυτόνομα συστήματα με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

2.3.1.2 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Στα **υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα** η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από τον συνδυασμό Φωτοβολταϊκής συστοιχίας με άλλες πηγές ενέργειας, δηλαδή, ΑΠΕ (π.χ. ανεμογεννήτρια) ή πηγές συμβατικών καυσίμων (π.χ. ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος). Ο προσδιορισμός των συνιστωσών ΑΠΕ προκύπτει με ολοκληρωμένη οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος, με κριτήριο τον βαθμό συμμετοχής του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους στην διασφάλιση της κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων της εφαρμογής. Στις περισσότερες των περιπτώσεων στο σύστημα προβλέπεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές (αυτονομία αποθηκευμένης ενέργειας).

2.3.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Τα συστήματα αυτά **συνδέονται απευθείας** στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής (AC). Το δίκτυο αποτελεί για το φωτοβολταϊκό σύστημα, ένα τεράστιο απόθεμα ηλεκτρικής ενέργειας, σταθερής ηλεκτρικής τάσης. Άρα, στα συστήματα αυτά δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ως κατανεμημένα συστήματα και σε εκείνα που συνιστούν κεντρικούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο. Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών συστημάτων παγκοσμίως.

Τα κατανεμημένα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας και σε εκείνα που λειτουργούν σε συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο, διοχετεύοντας την επιπλέον παραγόμενη ενέργεια σε αυτό.

Στην πρώτη περίπτωση το φωτοβολταϊκό σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει κατά μέσο όρο της μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Το δίκτυο καλύπτει έκτακτη ενεργειακή ζήτηση ή καταστάσεις αστοχίας του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Στη δεύτερη περίπτωση, το βασικότερο κριτήριο αφορά στην επιλογή εκείνης της φωτοβολταϊκής συστοιχίας η οποία καλύπτει, κατά μέσο όρο, τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Στις χρονικές περιόδους που το φωτοβολταϊκό σύστημα υστερεί στην κάλυψη των καταναλώσεων της εφαρμογής, η απαιτούμενη ενέργεια παρέχεται από το δίκτυο.

2.4 Σύνδεση πλαισίων-σύνδεση με δίκτυο

Σήμερα χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τρόποι εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών συστημάτων:

α) Αυτοδύναμα ή Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά συστήματα

Είναι ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο και όπου είναι δύσκολη η μεταφορά καυσίμου σε περίπτωση χρήσης γεννήτριας ντίζελ. Το σύστημα απαιτεί και την ύπαρξη μονάδας αποθήκευσης (μπαταρίας) για την συνεχή λειτουργία του κατά τις νυκτερινές ώρες ή ώρες συννεφιάς.

Ένας ειδικός ρυθμιστής φόρτισης ρυθμίζει την ενέργεια των φωτοβολταϊκών για να εξασφαλίσει την άριστη φόρτιση των μπαταριών. Σε απλές εγκαταστάσεις, η ενέργεια απορροφάται κατευθείαν από τις μπαταρίες από DC καταναλωτές, ενώ σε εγκαταστάσεις με AC καταναλωτές, το ρεύμα της μπαταρίας μετατρέπεται από συνεχές σε εναλλασσόμενο με αντιστροφή τάσης (inverter).

Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται σήμερα:

Σε αναμεταδότες(ραδιοφώνου ή TV),σε συστήματα επιτήρησης, σε τηλεφωνικούς θαλάμους, σε κεραιές κινητής τηλεφωνίας, σε φάρους, σε διαφημιστικές πινακίδες, στάσεις συγκοινωνίας και σε φωτισμό δρόμων και εθνικών οδών. Επίσης σε βάρκες και τροχόσπιτα, σε αρδεύσεις, γεωτρήσεις και σε σιντριβάνια .Όλες αυτές οι εφαρμογές χρησιμοποιούν μπαταρίες για αποθήκευση, αλλά αν απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας, μπορούν να συνδυαστούν με γεννήτριες βιομάζας, με ανεμογεννήτριες ή με γεννήτριες ντίζελ, ώστε να έχουμε ένα υβριδικό σύστημα τροφοδότησης ενέργειας.

β)Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο Φωτοβολταϊκά συστήματα

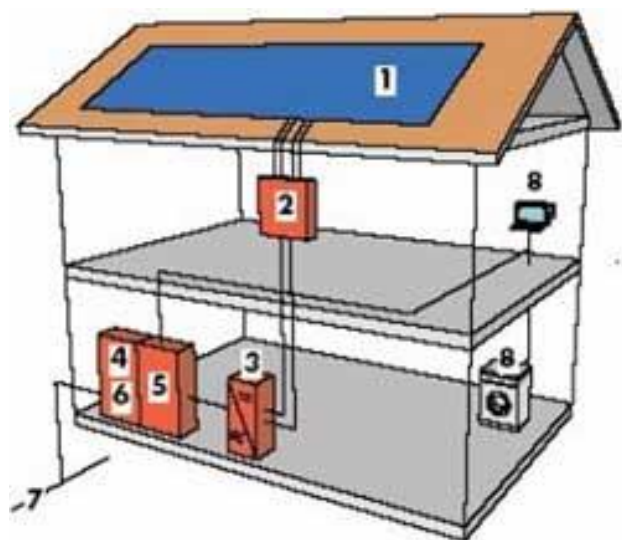
Θα αποτελέσουν, την κύρια περιοχή ενδιαφέροντος για τα επόμενα χρόνια, όταν επιτέλους αλλάξει η ελληνική νομοθεσία και δώσει κίνητρα, όπως σε όλες τις προηγμένες χώρες, και στις μικρές οικιακές Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις(<5KW).

Αυτά τα συστήματα συνδέονται με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι κατά την διάρκεια της ημέρας ο ηλεκτρισμός που παράγεται από ένα Φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί ή να χρησιμοποιηθεί άμεσα(κάτι που είναι σύνηθες για συστήματα που εγκαθίστανται σε κτίρια γραφείων και άλλων εμπορικών χρήσεων) ή μπορεί να πωληθεί στην ΔΕΗ(κάτι που είναι σύνηθες για οικιακά συστήματα που ο ιδιοκτήτης μπορεί να λείπει κατά τη διάρκεια της ημέρας).Τη νύχτα, όταν το Φωτοβολταϊκό δεν μπορεί πια να παράγει ενέργεια, μπορεί να αγοραστεί πλέον ενέργεια από τη ΔΕΗ. Στην

πράξη δηλαδή η ΔΕΗ λειτουργεί σαν μια αποθήκη ενέργειας, γι' αυτό αυτά τα συστήματα δεν χρειάζονται μπαταρίες για αποθήκευση. Μπορούμε όμως, αν θέλουμε, να τοποθετήσουμε μπαταρίες, οπότε πλέον το Φωτοβολταϊκό μας σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν σύστημα Αδιάλειπτης Παροχής Ενέργειας(UPS),σε περίπτωση διακοπής ρεύματος.

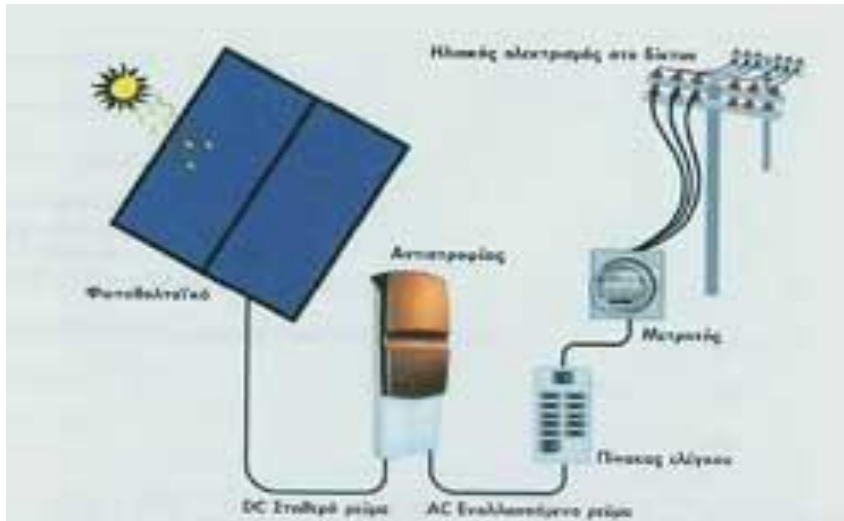
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι στην αντιμετώπιση από την ηλεκτρική εταιρεία ενός διασυνδεδεμένου συστήματος Φωτοβολταϊκών. Για παράδειγμα, στην Γερμανία, όλη η ενέργεια που παράγεται πωλείται στην ηλεκτρική εταιρεία και ο καταναλωτής αγοράζει για τις ανάγκες του. Αντίθετα στην Αυστρία, η ενέργεια που παράγεται, πρώτα καλύπτει τις ανάγκες του παραγωγού και το περίσσειμα πωλείται στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Τέτοια διασυνδεδεμένα συστήματα με τα εξαρτήματα τους(με ένα ή δύο μετρητές) φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



1. Φωτοβολταϊκή γεννήτρια
2. Ηλεκτρολογικός πίνακας
3. Αντιστροφέας(inverter)
4. Ασφάλειες
5. Μετρητής παραγωγής
6. Υφιστάμενος μετρητής
7. Δίκτυο ΔΕΗ

8. Εσωτερικές καταναλώσεις



2.5 Ηλεκτρονικά

Για την σωστή διαχείριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, απαιτείται η παρεμβολή κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών, με σκοπό την βελτιστοποίηση της μεταφοράς ενέργειας με όσο το δυνατόν οικονομικότερο τρόπο αλλά και την προστασία των συσσωρευτών από υπερφόρτιση ή από υπεκφόρτιση. Οι δύο βασικότερες ηλεκτρονικές διατάξεις είναι : **ο ελεγκτής ή επιτηρητής φόρτισης-εκφόρτισης και οι μετατροπείς τάσεως (inverters)**. Ο ελεγκτής φόρτισης τοποθετείται συνήθως σε χωριστή μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις, μπορεί όμως να βρίσκεται και ενσωματωμένος με τον inverter σε μια μονάδα.

2.5.1 Ελεγκτής φόρτισης

Η φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών, μέσω μιας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους ώστε όταν φτάσουν στην κατάσταση μέγιστης φόρτισης να διακόπτεται η διαδικασία. Έτσι αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, η οποία θα είχε σαν συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου, λόγω ηλεκτρόλυσης με αποτέλεσμα την μείωση της στάθμης

του διαλύματος. Επίσης απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση ώστε να προληφθεί η καταστροφική κατάσταση υπερεφόρτισης.

Μια μονάδα ελέγχου φόρτισης-εκφόρτισης, περιλαμβάνει ένα σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε **μικροελεγκτές**, που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε **ηλεκτρομηχανικούς**(relays), είτε **ηλεκτρονικούς ισχύος** (Mosfets, thyristors, triacs).

Σε κάθε περίπτωση στο κύκλωμα παρεμβάλλεται μια δίοδος για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφόρτιση, μέσω των κυκλωμάτων της διάταξης ή του υπόλοιπου συστήματος.

Ειδικότερα στα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία χαρακτηρίζονται ως πηγές σταθερού ρεύματος, χρησιμοποιούνται διατάξεις παράλληλου ρυθμιστή φόρτισης() με γραμμικό και με διακοπτικό στοιχείο. Χαρακτηριστικό αυτού του ρυθμιστή είναι ότι το ελεγχόμενο στοιχείο είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το φωτοβολταϊκό σύστημα με δυνατότητα να λειτουργεί, είτε μεταβαλλόμενο γραμμικά ανάλογα με την μέγιστη φόρτιση είτε ως διακόπτης ON/OFF. Στην περίπτωση του παράλληλου ρυθμιστή, όταν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση, το ελεγχόμενο στοιχείο βραχυκυκλώνει το Φωτοβολταϊκό σύστημα χωρίς να προκαλείται καμία βλάβη σε αυτό. Έτσι απομονώνεται το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα αποθήκευσής της.

2.5.2 Μετατροπείς DC-DC, DC-AC και AC-DC

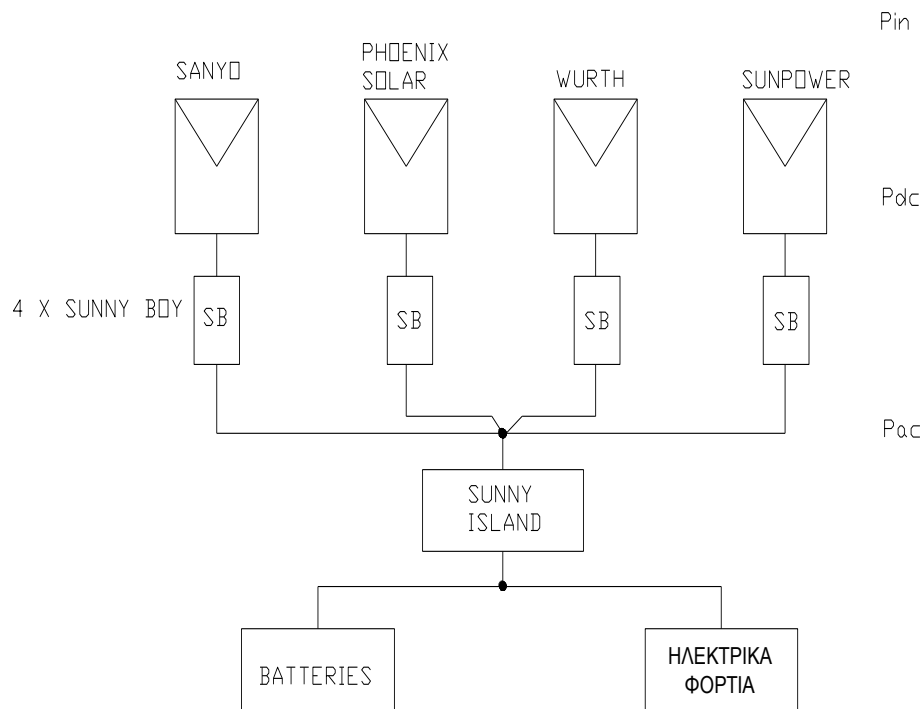
Είναι ηλεκτρονικές διατάξεις μετατροπής :

- Συνεχούς ρεύματος σε συνεχές(DC-DC converter) οποιασδήποτε τάσης
- Συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο(DC-AC converter),οποιοδήποτε πλάτους και
- Εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC- DC converter).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Πειραματική διάταξη

Εδώ βλέπουμε μια μονογραμμική απεικόνιση της εγκατάστασης μας η οποία λειτουργεί ως εξής:

- Κατά τη διάρκεια της ημέρας εμφανίζεται μια συνεχής τάση στα άκρα κάθε συστοιχίας
- Αμέσως μετά αυτή η συνεχής τάση καταλήγει στους inverter και μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη.
- Ύστερα αυτή η εναλλασσόμενη ισχύς μεταφέρεται σε μια ειδική συσκευή η οποία κατά τη διάρκεια της ημέρας, μετατρέπει με την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή και φορτίζει τους συσσωρευτές, τους οποίους και αποθηκεύεται η παραγόμενη ενέργεια. Φορτία εναλλασσομένου μπορούν να καλυφθούν κατευθείαν από την εισερχόμενη ισχύ των αντιστροφέων τάσης.
- Τέλος κατά την διάρκεια της νύχτας για την λειτουργία των εξωτερικών λαμπτήρων οι συσσωρευτές παρέχουν συνεχή τάση στον inverter(Sunny Island) και αυτός με την σειρά του την μετατρέπει σε εναλλασσόμενη για την τροφοδότηση και λειτουργία των λαμπτήρων μας.



Παρακάτω θα δούμε τις φωτογραφίες της εγκατάστασης με σκοπό την καλύτερη κατανόηση όλου του συστήματος.

Συστοιγία Phoenix Solar

Ισχύος: $15 \cdot 85W = 1275W$



Sensor box



Θερμόμετρο



Συστοιχία Sanyo

Ισχύος: $5 \cdot 230W = 1150W$



Συστοιχία Wuerth

Ισχύος: $15 \cdot 70W = 1050W$



Συστοιχία Sunpower

Ισχύος: $5 \cdot 215W = 1075W$



Sunny Boy (αντιστροφείς τάσης)

Πίσω ακριβώς από κάθε συστοιχία μας είναι τοποθετημένος ένας inverter(sunny boy) άρα σε όλη μας την εγκατάσταση έχουμε τέσσερεις.



Διακόπτες

Επίσης έχουμε και τέσσερις περιστροφικούς διακόπτες ON/OFF της παρακάτω μορφής που απομονώνουν τα ΦΒ πλαίσια στην είσοδο του κάθε αντιστροφέα τάσης



α:

Συσσωρευτές

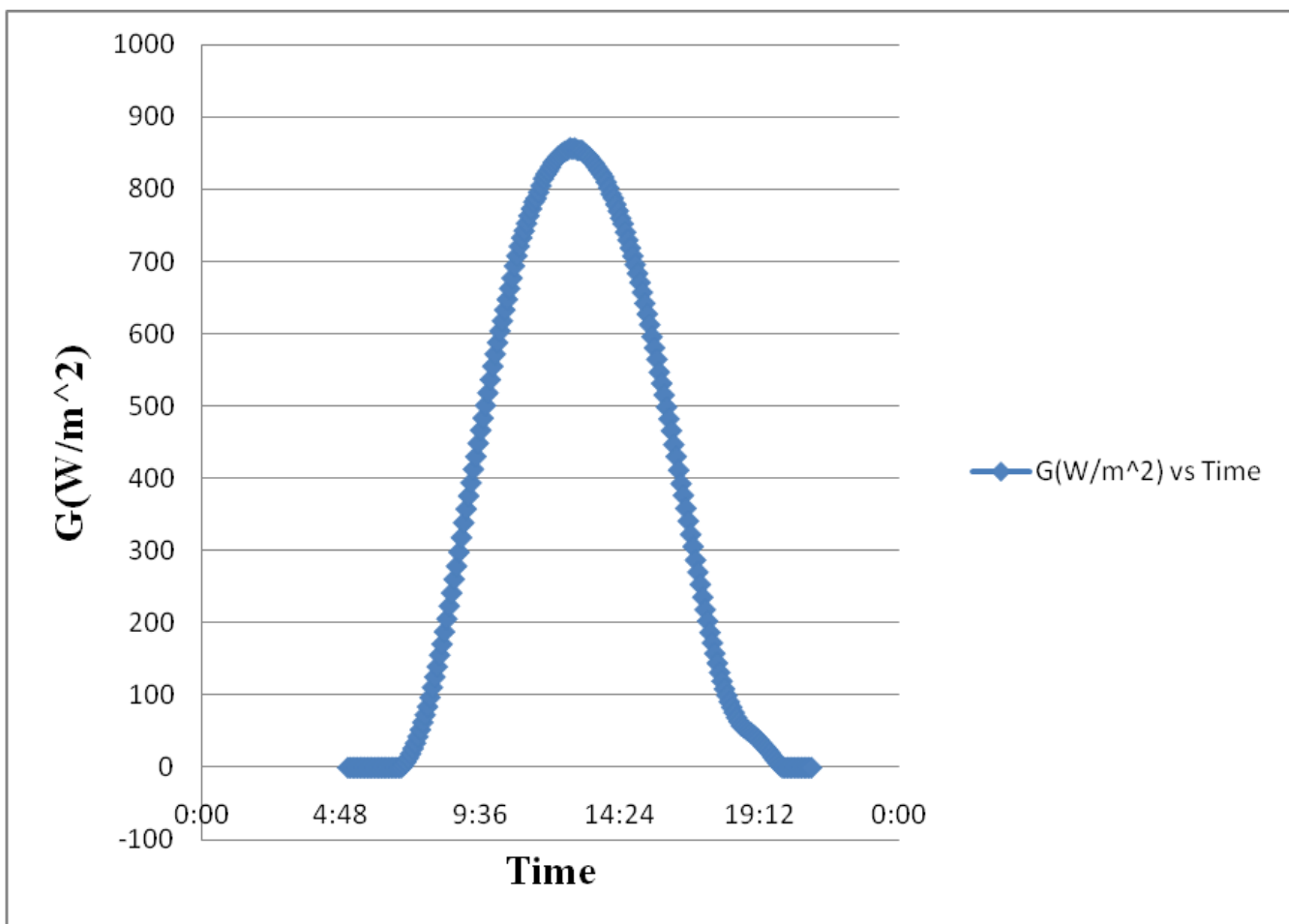


Παρακάτω θα δούμε κάποια γραφήματα από αυτές τις συστοιχίες και την συμπεριφορά τους μέσα στο εικοσιτετράωρο:

Εδώ βλέπουμε την πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας(**G**) για μια σχετικά **αίθρια μέρα** κατά την οποία έχουν παραχθεί **10.6 kWh** και οι μετατροπείς μας (inverters) έχουν απόδοση, **AC->DC 93,2%** και **DC->AC 94,2%** για τις **18/8/2009**.

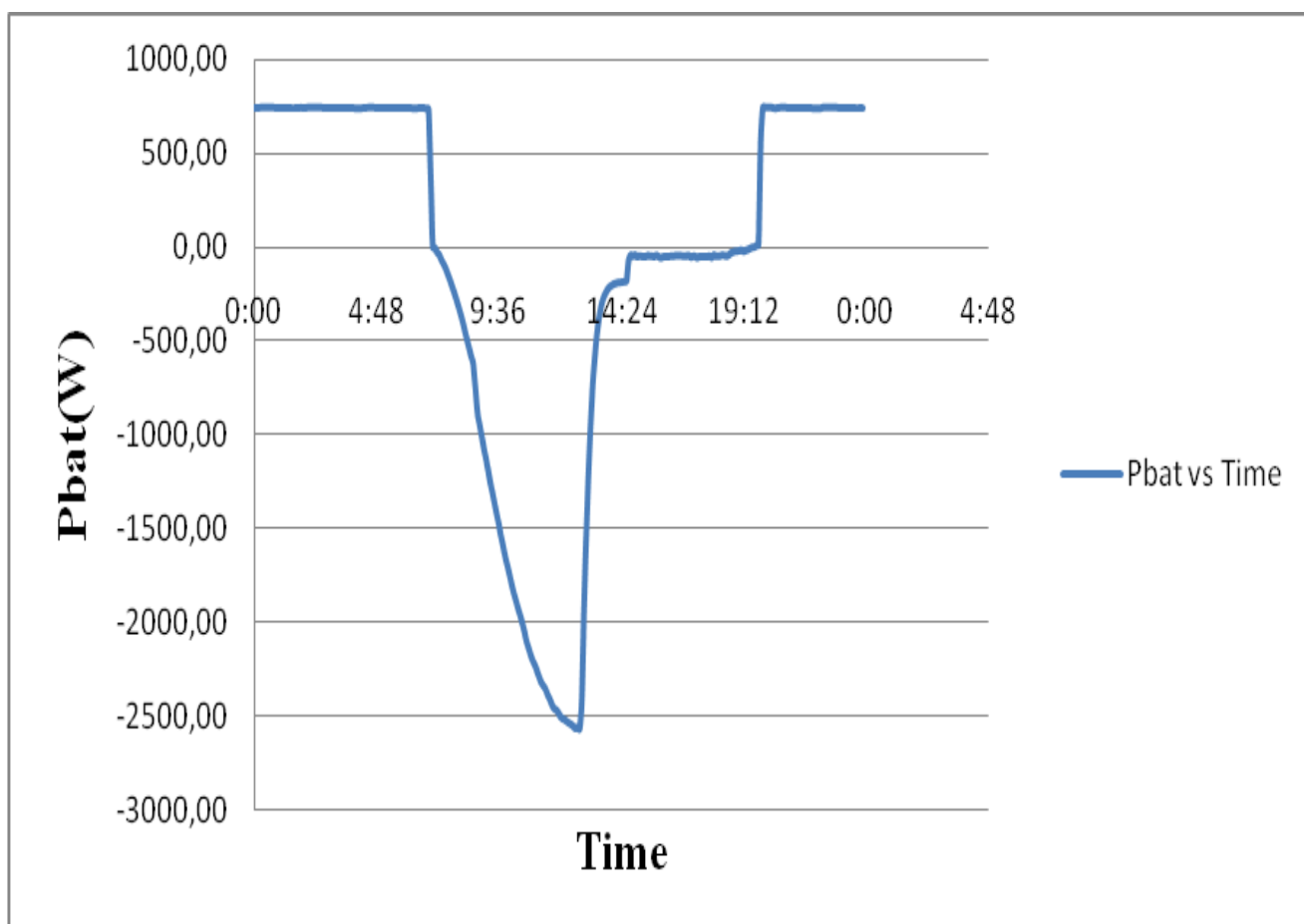
Ο συντελεστής απόδοσης , **AC->DC** ορίζεται ως ο λόγος της μέσης τιμής της ενέργειας η οποία φτάνει στην είσοδο του μετατροπέα προς την μέση τιμή της συνολικής ενέργειας η οποία έχει παραχθεί..

Ο συντελεστής απόδοσης , **DC->AC** ορίζεται ως ο λόγος της μέσης τιμής της ενέργειας του φορτίου προς την μέση τιμή της ενέργειας η οποία εξέρχεται από τους συσσωρευτές.



Ενώ παρακάτω θα μπορούσαμε να δούμε την συνολική ισχύ που εισέρχεται και εξέρχεται από τους συσσωρευτές κατά την διάρκεια μιας **σχετικά καλής μέρας** όπως η **18/8/2009**(όταν η τιμή της ισχύος είναι θετική τότε έχουμε λειτουργία των φορτίων άρα εξερχόμενη ισχύ από τους συσσωρευτές, ενώ όταν είναι αρνητική η ισχύς αυτή αποθηκεύεται στους συσσωρευτές):

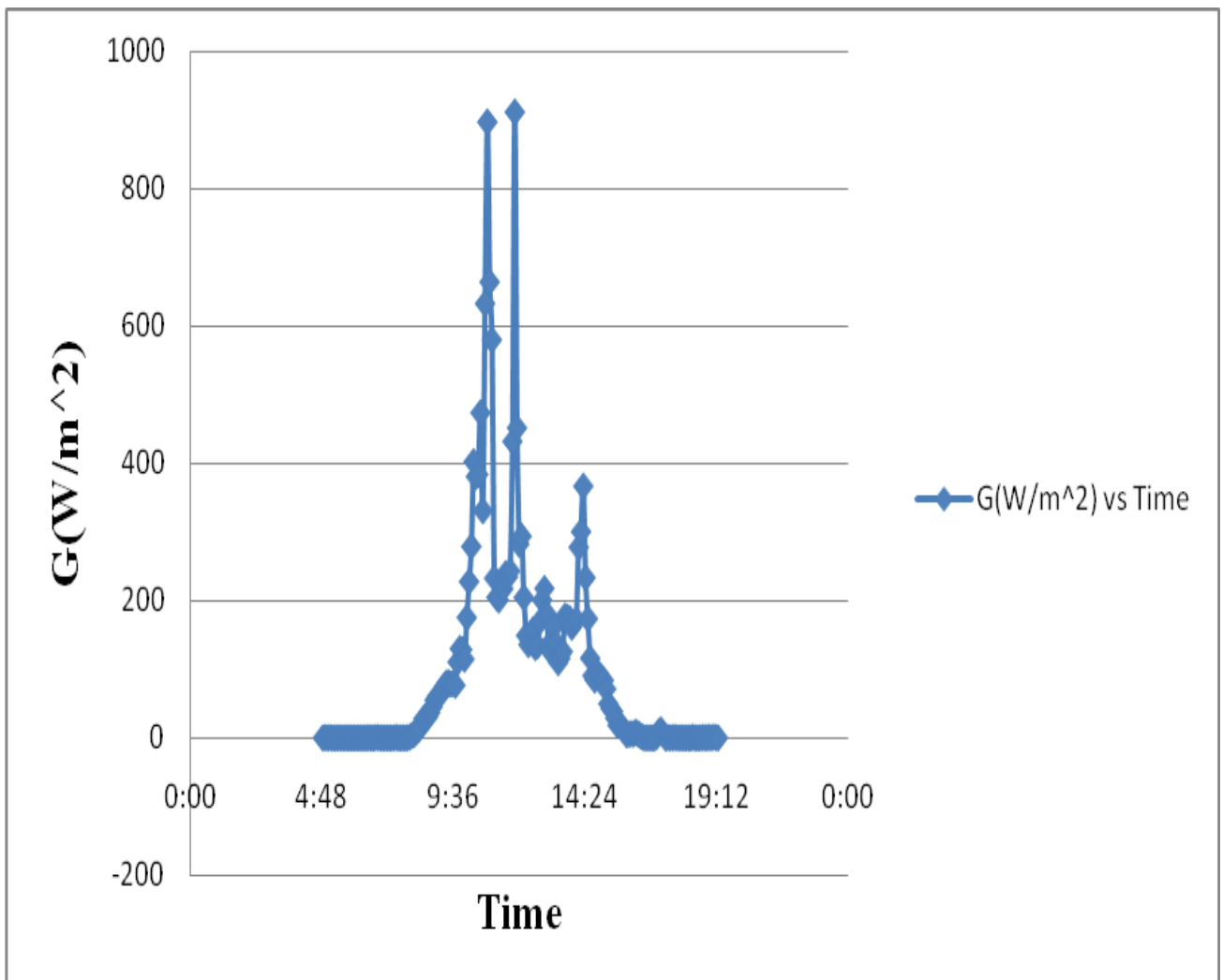
Ημερήσια Ισχύς στους συσσωρευτές



Εδώ βλέπουμε την πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας(**G**) για μια **μέρα με αρκετή νέφωση** κατά την οποία έχουν παραχθεί **4.1 kWh** ενώ οι μετατροπείς μας(inverters) έχουν απόδοση, **AC->DC 95,5%** και **DC->AC 83,8%** για τις **16/1/2010**.

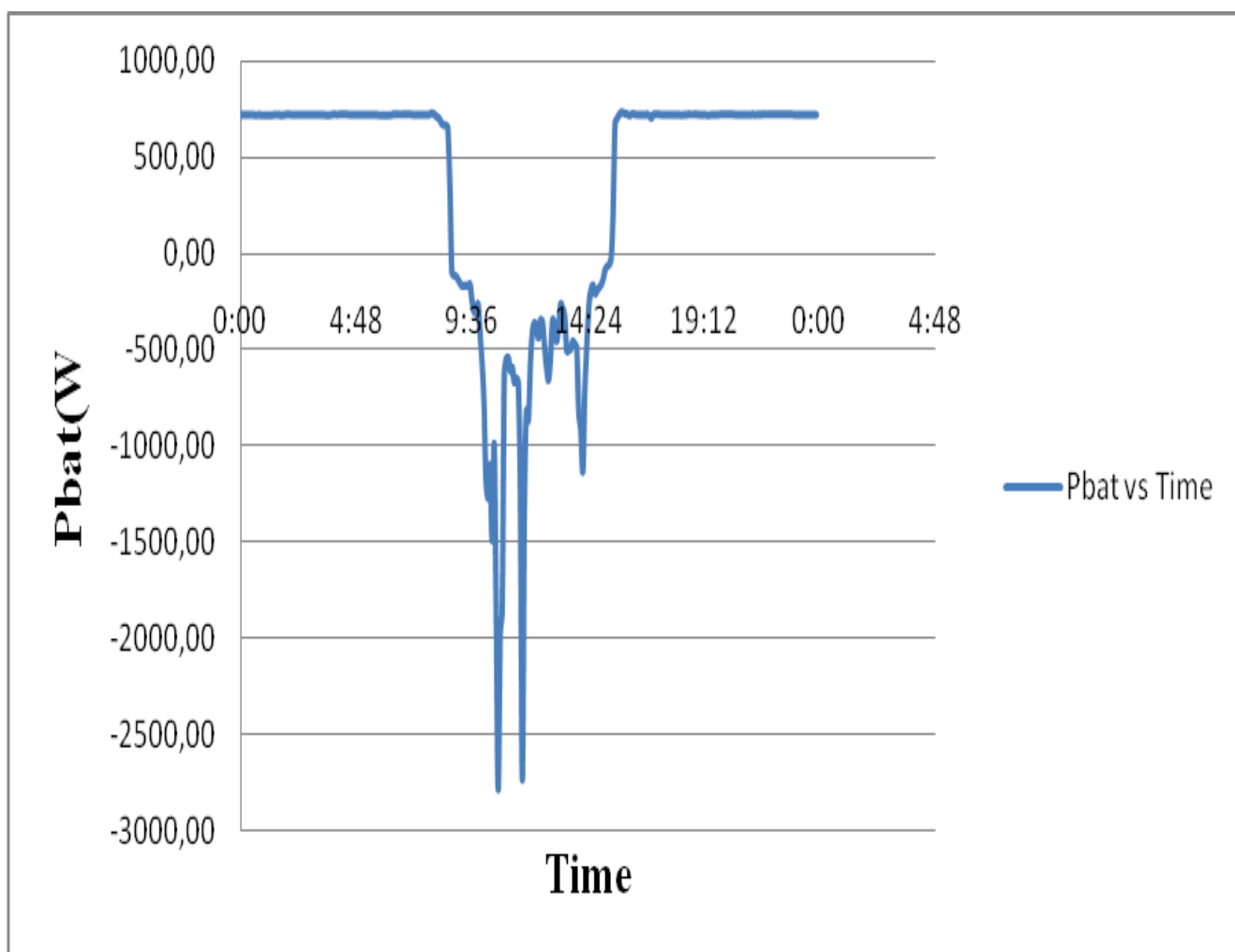
Ο συντελεστής απόδοσης , **AC->DC** ορίζεται ως ο λόγος της μέσης τιμής της ενέργειας η οποία φτάνει στην είσοδο του μετατροπέα προς την μέση τιμή της συνολικής ενέργειας η οποία έχει παραχθεί.

Ο συντελεστής απόδοσης , **DC->AC** ορίζεται ως ο λόγος της μέσης τιμής της ενέργειας του φορτίου προς την μέση τιμή της ενέργειας η οποία εξέρχεται από τους συσσωρευτές.



Ενώ παρακάτω θα μπορέσουμε να δούμε την συνολική ισχύ που εισέρχεται και εξέρχεται από τους συσσωρευτές κατά την διάρκεια μιας **σχετικά κακής μέρας** όπως η **16/1/2010** (όταν η τιμή της ισχύος είναι θετική τότε έχουμε λειτουργία των φορτίων άρα εξερχόμενη ισχύ από τους συσσωρευτές, ενώ όταν είναι αρνητική η ισχύς αυτή αποθηκεύεται στους συσσωρευτές):

Ημερήσια Ισχύς στους συσσωρευτές



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Ενέργεια

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα οχτώ μηνών καθώς και τους μέσους όρους των μεγεθών όπως αναλύονται παρακάτω:

ΜΗΝΕΣ	$\overline{H_t}$	$\sum H_T$	E_{SB}	$E_{bat(in)}$	$E_{bat(out)}$	$\overline{V_{bat}}$	$\overline{S_{oc}}$
	kwh/m ²	kwh/m ²	kwh	kwh	kwh	Volts	%
ΑΠΡΙΛΙΟΣ*	5.9	47.3	13.5	12.6	11.5	50.9	80.7
ΜΑΙΟΣ*	5.2	41.2	10.5	9.9	9.2	51.1	81.5
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ*	5.9	94.3	10.1	9.4	8.8	52.1	80.9
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ*	5	19.9	11.3	10.7	9.6	51.3	82.9
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ*	4.4	47.7	11.1	10.3	8.6	50.8	73.5
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	3.6	89.5	9.2	8.5	7.1	50.6	59.3
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	4.5	118.1	12.9	12	9.9	51.1	73
ΜΑΡΤΙΟΣ	4	47.9	11.8	10.9	9.3	51	76.2

*ΜΕ ΑΣΤΕΡΙΣΚΟ ΕΙΝΑΙ ΜΗΝΕΣ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ 2009

$\overline{H_t}$: Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία

$\sum H_T$: Συνολική ηλιακή ακτινοβολία

E_{SB} : Ενέργεια η οποία έφυγε από τους inverter(sunny boy)

$E_{bat(in)}$: Ενέργεια εισερχόμενη στις μπαταρίες

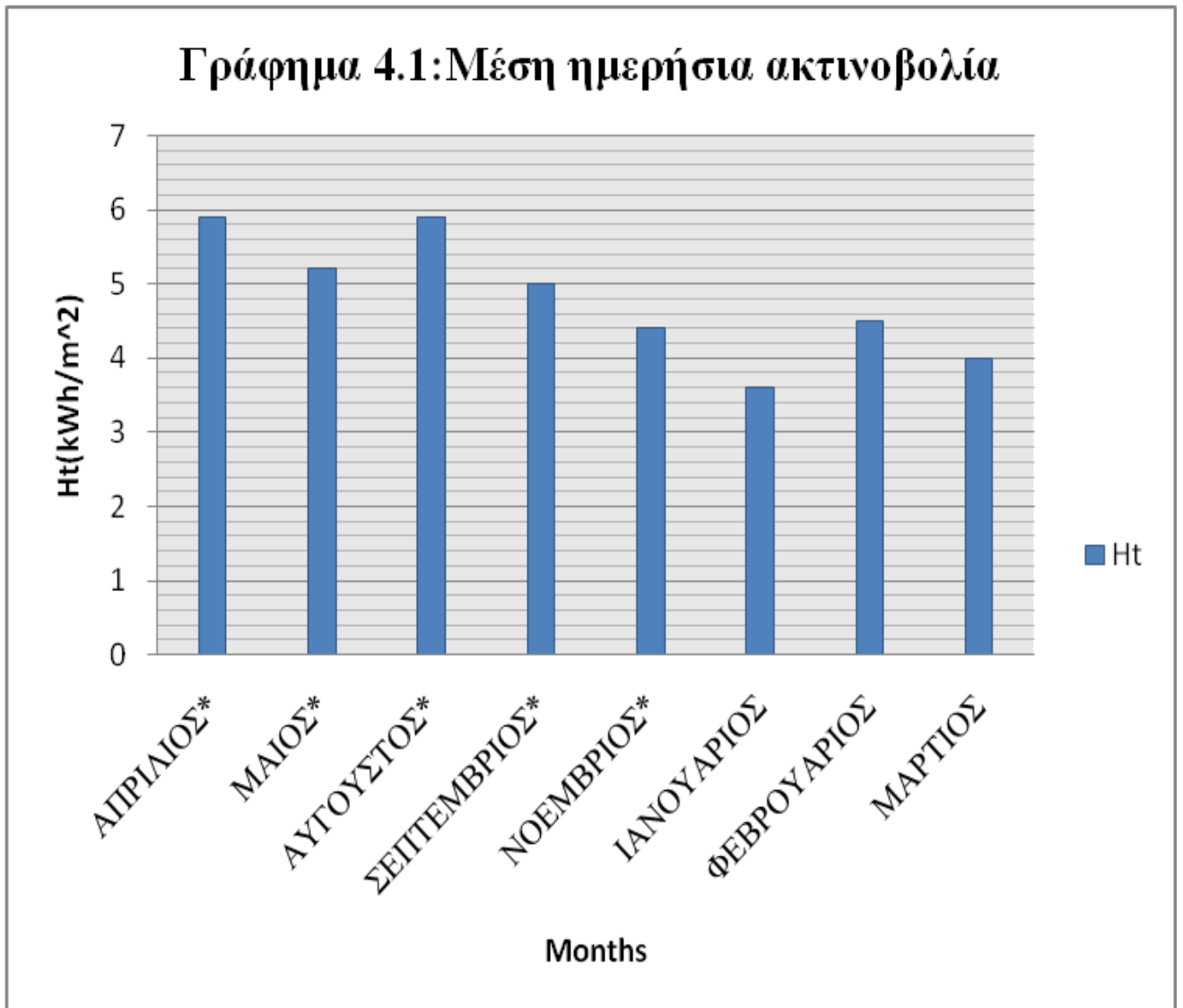
$E_{bat(out)}$: Ενέργεια εξερχόμενη από τις μπαταρίες

$\overline{V_{bat}}$: Μέση τιμή της τάσης των μπαταριών

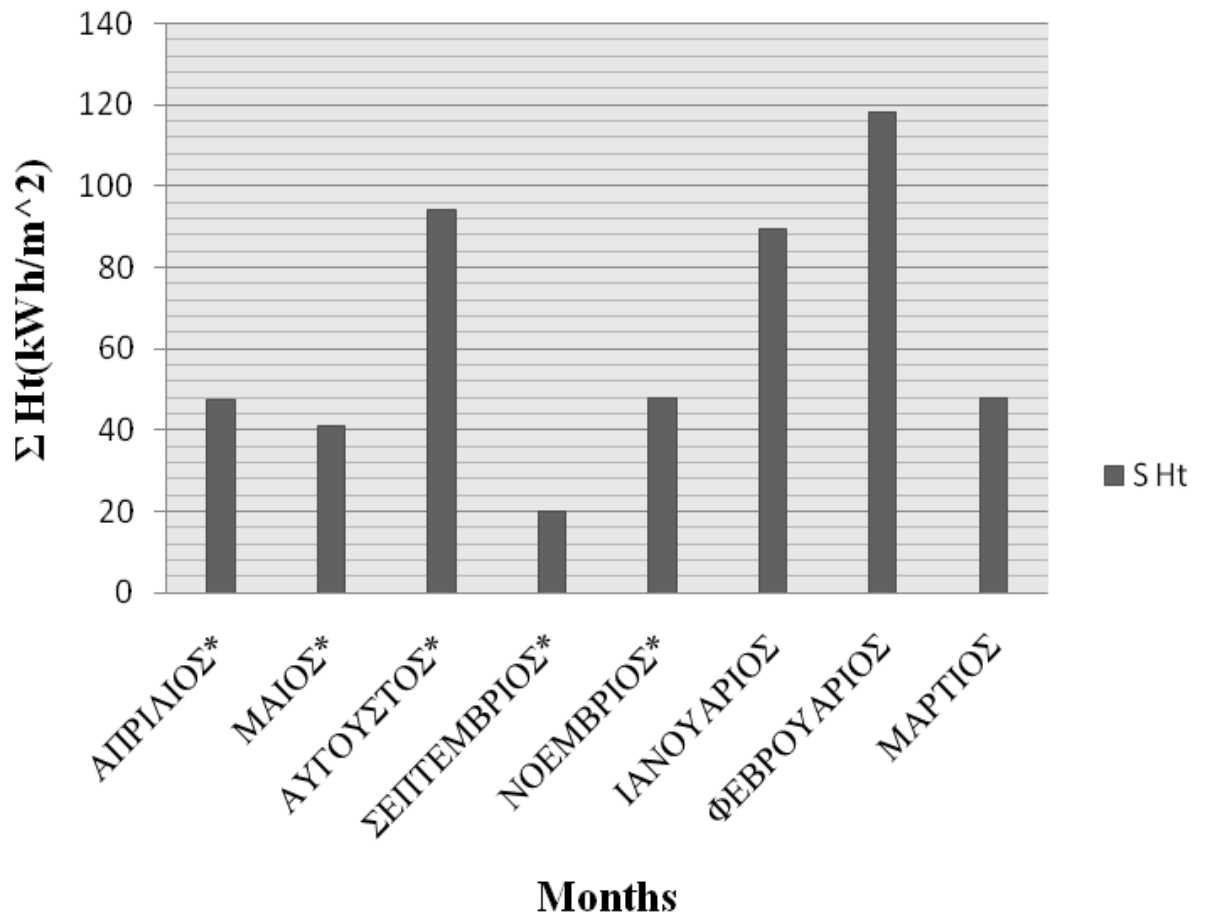
$\overline{S_{oc}}$: Μέση τιμή του S_{oc}

Στα γραφήματα παρακάτω φαίνονται όλα τα μεγέθη του άνωθεν πίνακα.

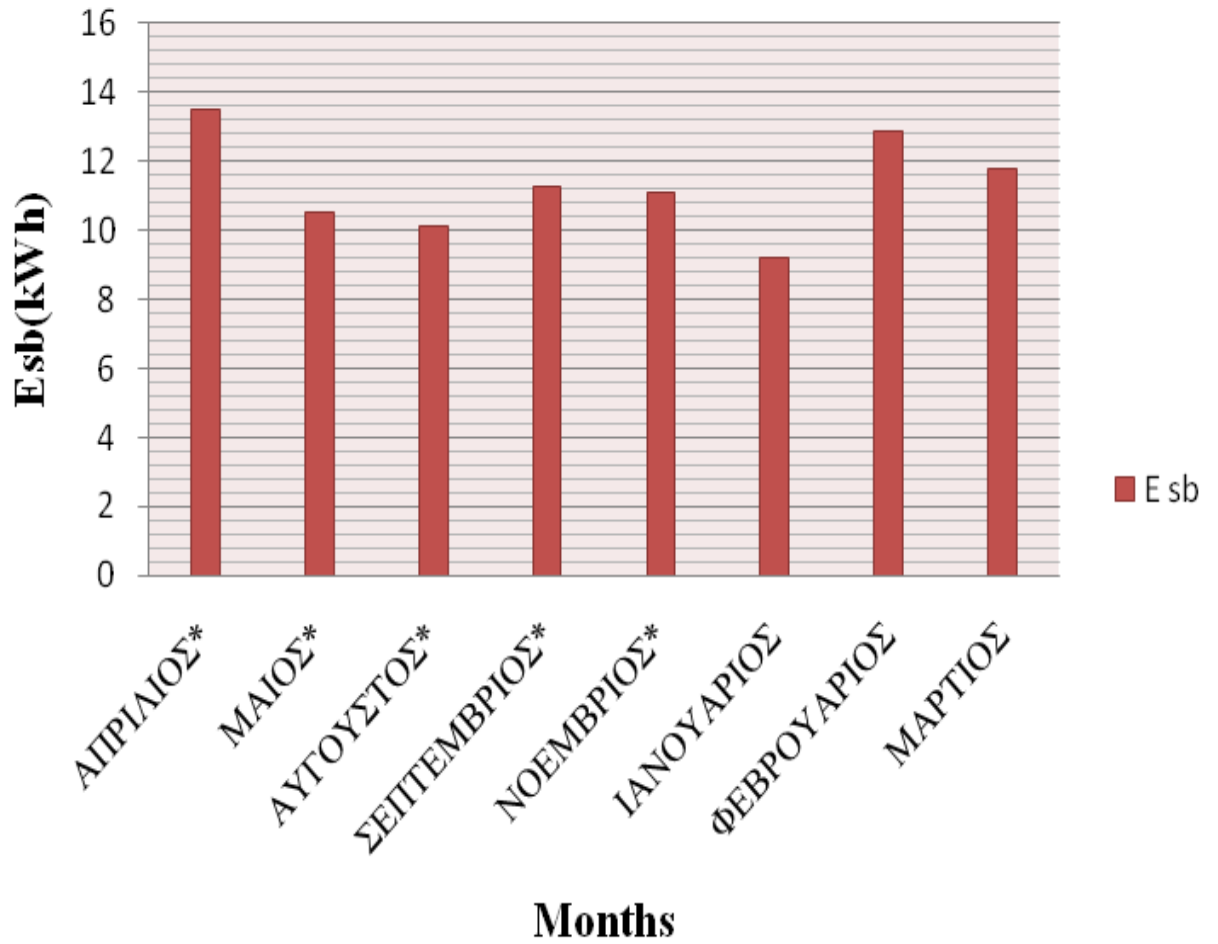
Στον άξονα Ψ βλέπουμε κάθε φορά τα μεγέθη που απεικονίζονται ενώ στον άξονα Χ κάθε σημείο του γραφήματος αντιστοιχεί σε κάθε ένα μήνα με την σειρά που φαίνεται στον πίνακα.



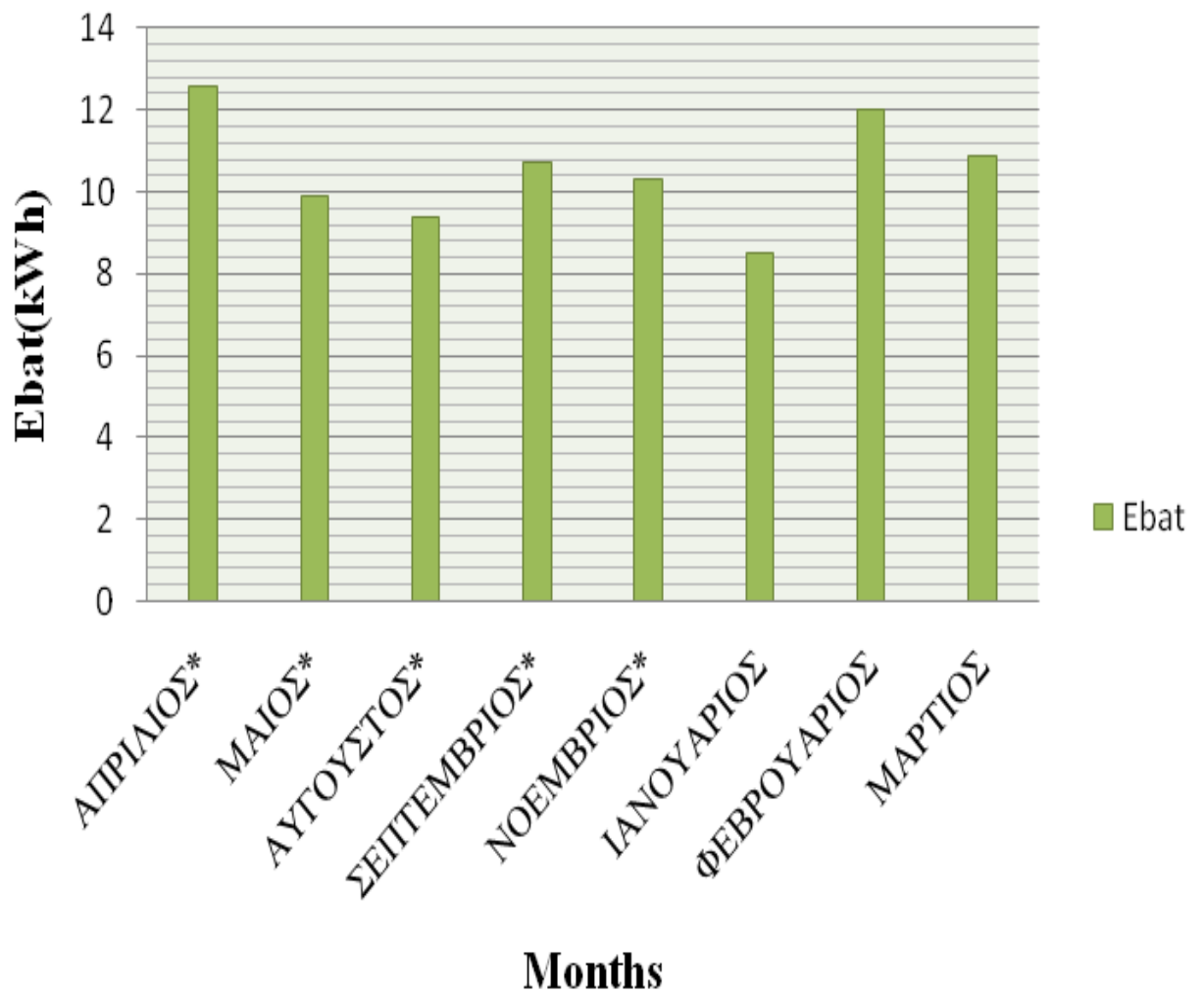
Γράφημα 4.2: Ενεργειακή Απολαβή



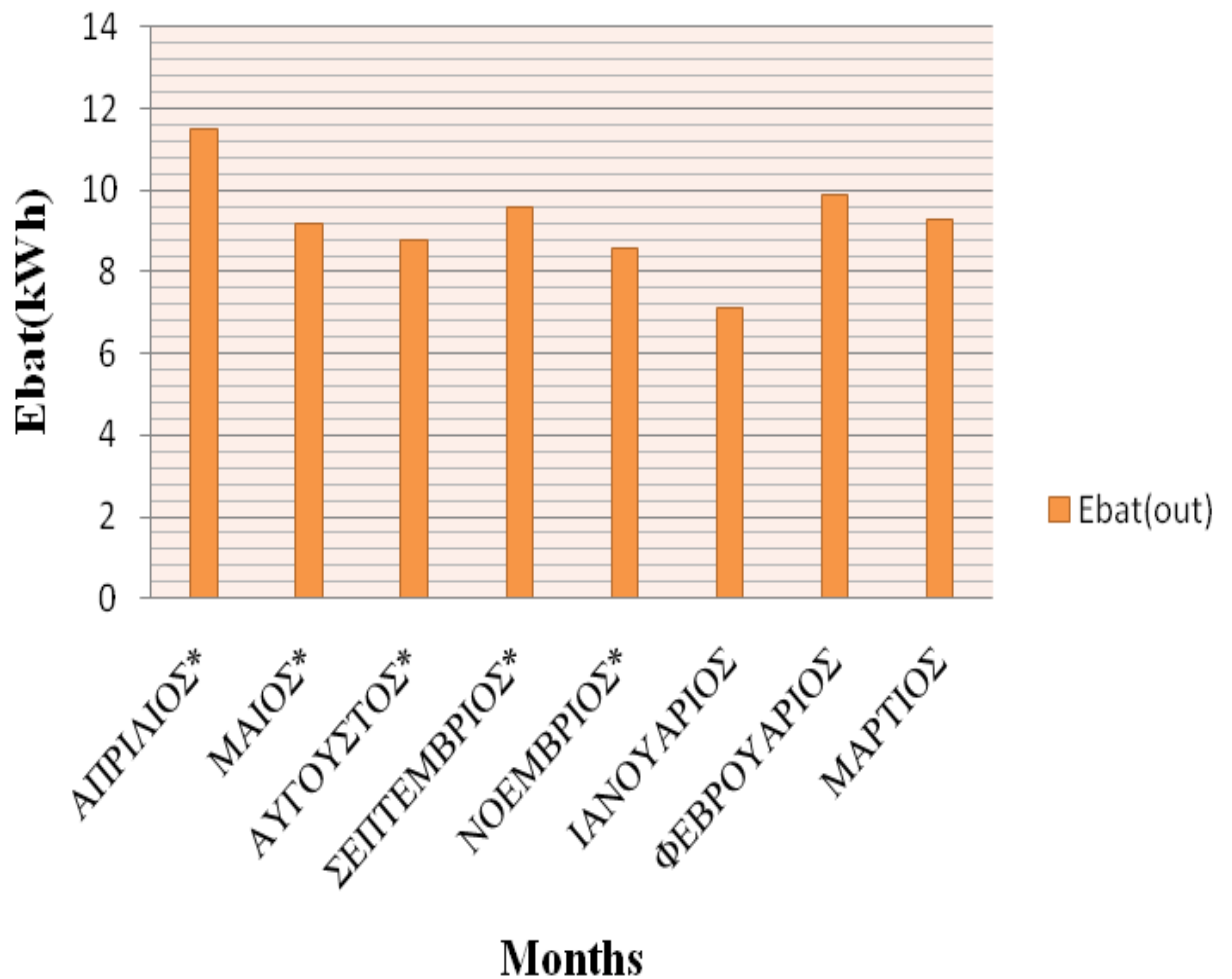
Γράφημα 4.3: Παραγωγή ενέργειας απο τους inverter



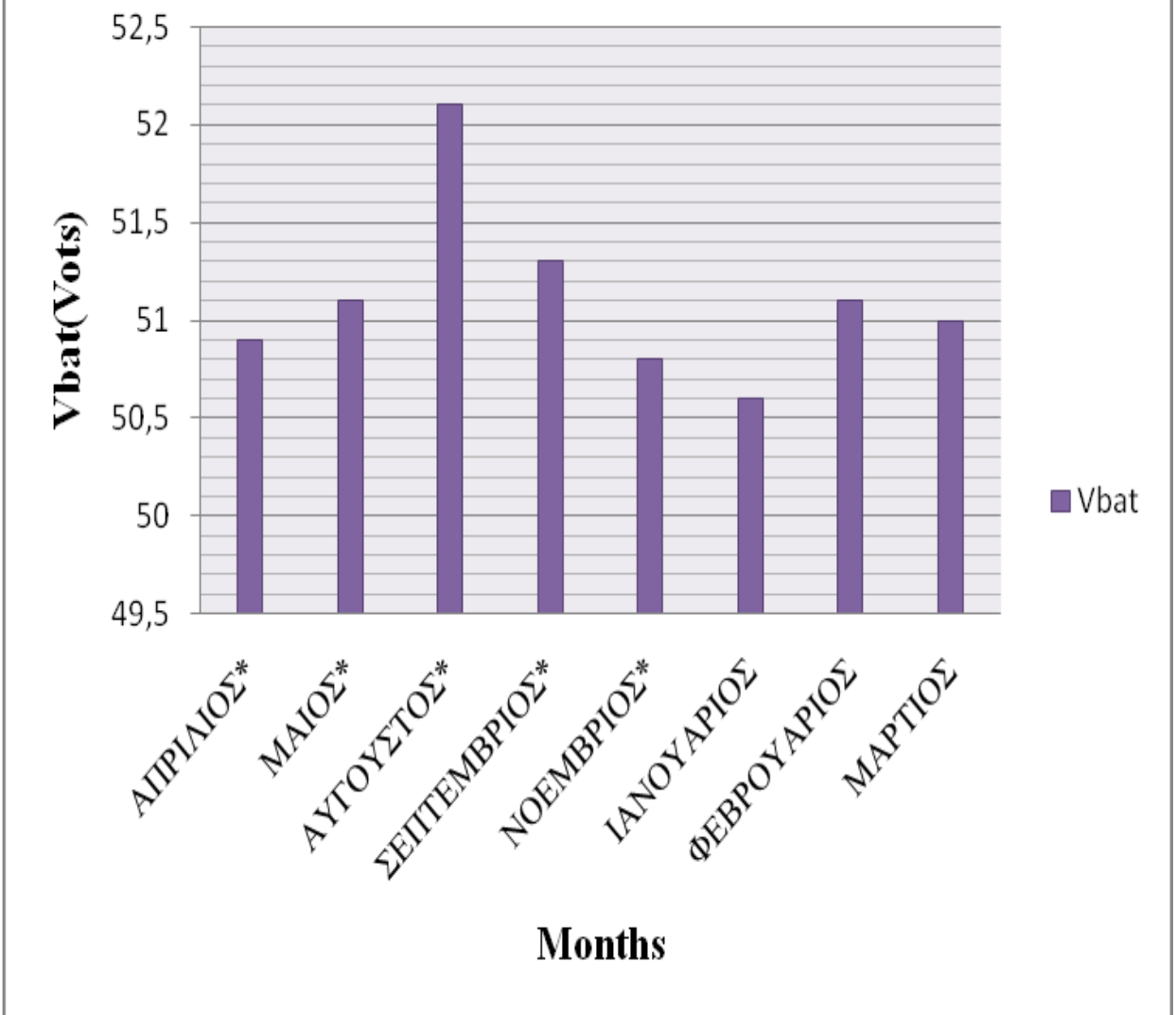
**Γράφημα 4.4: Εισερχόμενη ενέργεια
συσσωρευτών**



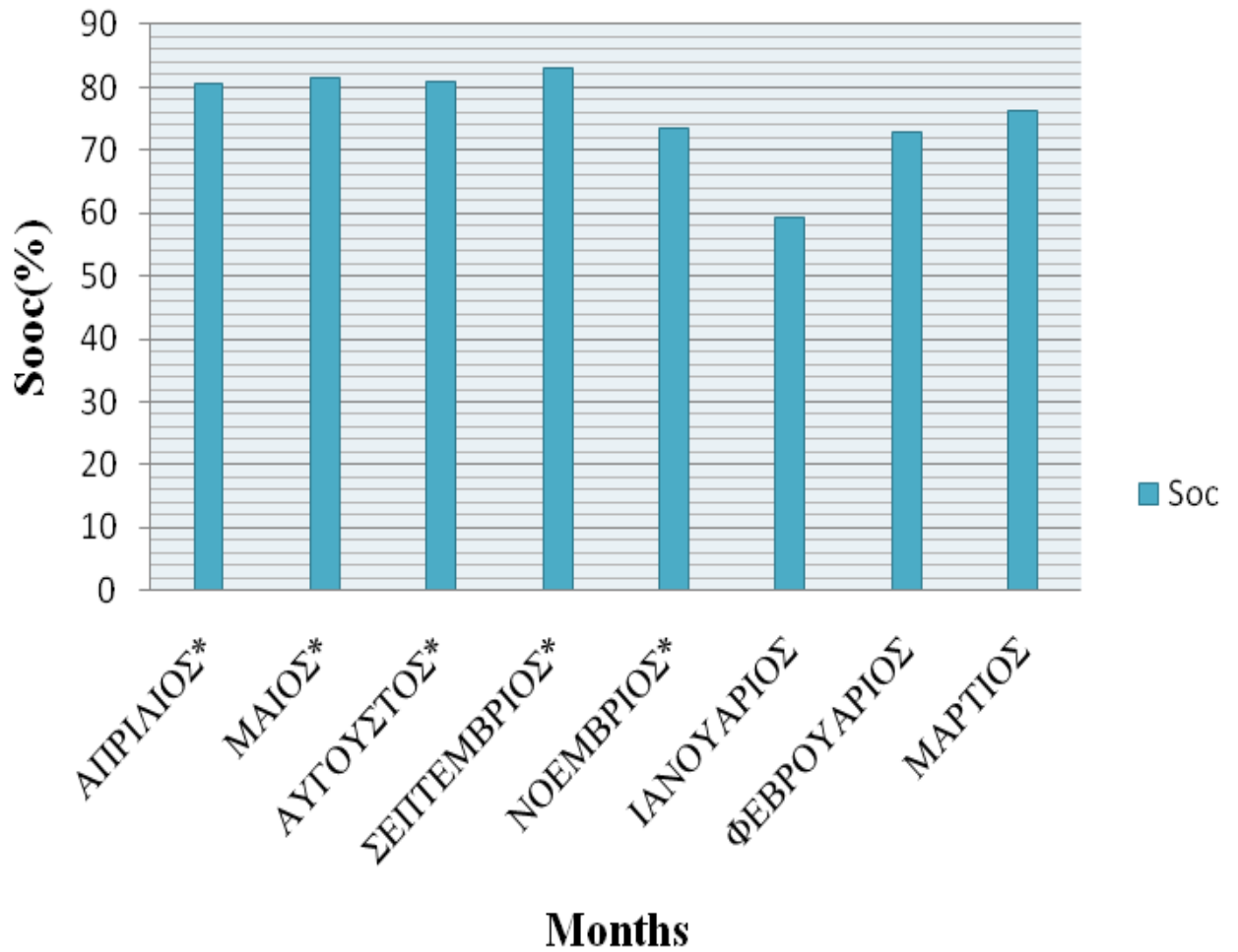
**Γράφημα 4.5: Εξεργάσιμη ενέργεια
συσσωρευτών**



Γράφημα 4.6: Μέση τιμή τάσης συσσωρευτών



Γράφημα 4.7: Μέση τιμή κατάστασης φόρτισης συσσωρευτών



4.2 Απόδοση των αντιστροφών τάσης

Οι αντιστροφείς τάσης χρησιμοποιούνται για την εναλλαγή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη. Κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με την μορφή της τάσης εξόδου η οποία μπορεί να είναι ορθογώνια παραλληλόγραμμη, τραπεζοειδής ή ημιτονική. Οι πιο ακριβοί και ταυτόχρονα καλύτερης ποιότητας inverters, είναι αυτοί με τάση εξόδου ημιτονική. Η τάση εισόδου των inverters εξαρτάται από την ισχύ εισόδου, για μικρή ισχύ της τάξεως μερικών εκατοντάδων Watt, η τάση είναι 12 ή 24 και 48 Volts ή ακόμη περισσότερο για μεγαλύτερη ισχύ. Μεγαλύτεροι αντιστροφείς τάσης μπορούν να συνδεθούν παράλληλα όταν απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά ισχύος.

Για μεγάλα συστήματα τριφασικοί αντιστροφείς τάσης είναι διαθέσιμοι στην αγορά. Οι αντιστροφείς τάσης οι οποίοι συνδέονται σε φωτοβολταϊκά συστήματα και φωτοβολταϊκά πεδία είναι σχεδιασμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν μεταφορά ενέργειας από αλλά και προς τα πεδία.

Ανάλογα με την εργασία έχουμε πολλούς διαφορετικούς τύπους αντιστροφών τάσης, όπως τους κεντρικούς αντιστροφείς τάσης για ευρύ ενεργειακό φάσμα από 1 kW έως 100 kW ή και για ακόμη περισσότερο έχουμε τους αντιστροφείς τάσης σειράς και ενότητας.

Οι κεντρικοί αντιστροφείς τάσης χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εφαρμογές, πολλές φορές συνδέονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ‘‘Master-slave inverter’’. Ο ‘‘slave inverter’’ μπαίνει σε λειτουργία μόνο εφόσον υπάρχει αρκετή ηλιακή ακτινοβολία ή δυσλειτουργία του κεντρικού αντιστροφέα τάσης.

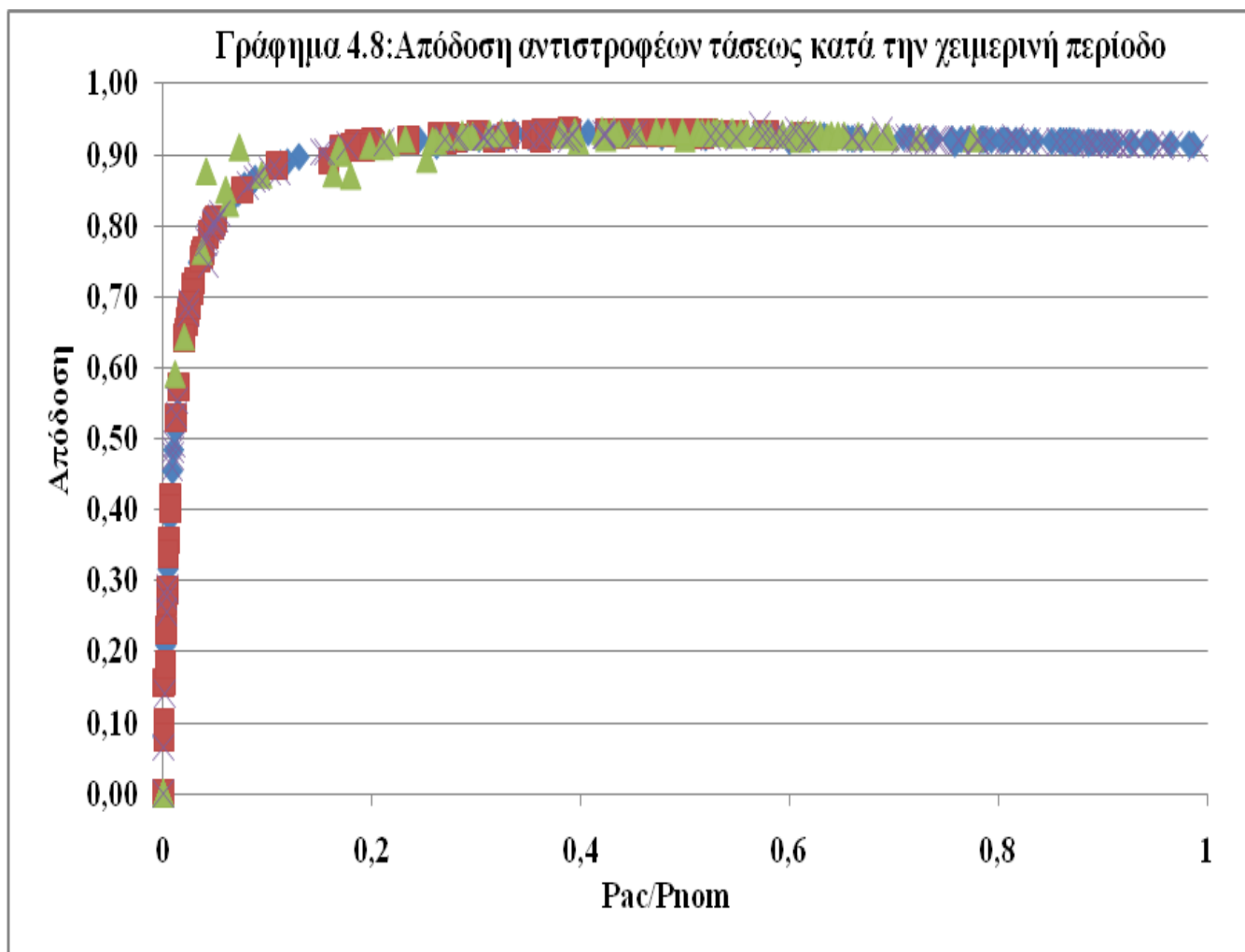
Οι αντιστροφείς τάσης οι οποίοι συνδέονται σε σειρά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ισχύος ευρείας κλίμακας ή σε περισσότερο αξιόπιστες εφαρμογές. Οι αντιστροφείς τάσης αυτοί χρησιμοποιούνται σε μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα. Τέτοιες λύσεις είναι εφαρμόσιμες σε μεγαλύτερα συστήματα, παρόλα αυτά στην πράξη χρησιμοποιείται η φθηνότερη και λιγότερο αξιόπιστη λύση των κεντρικών αντιστροφών τάσης ή των αντιστροφών τάσης σε σειρά.

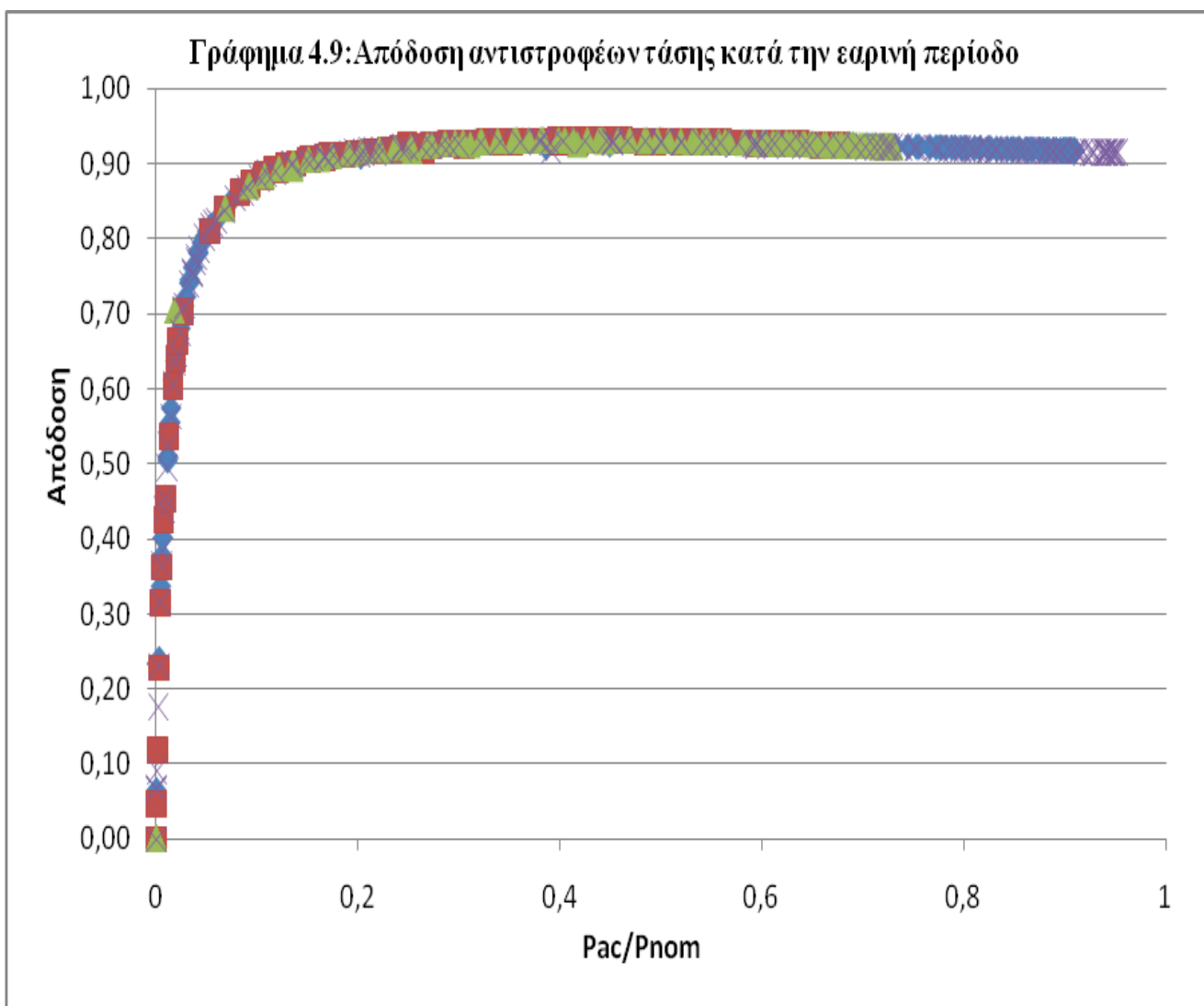
Ειδικά σχεδιασμένοι αντιστροφείς τάσης είναι διαθέσιμοι και προτείνονται για χρήση σε υβριδικά συστήματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις ένας ισχυρός αντιστροφέας τάσης περιέχει ηλεκτρονικούς ρυθμιστές φόρτισης και όχι μόνο απλά τον μετατροπέα.

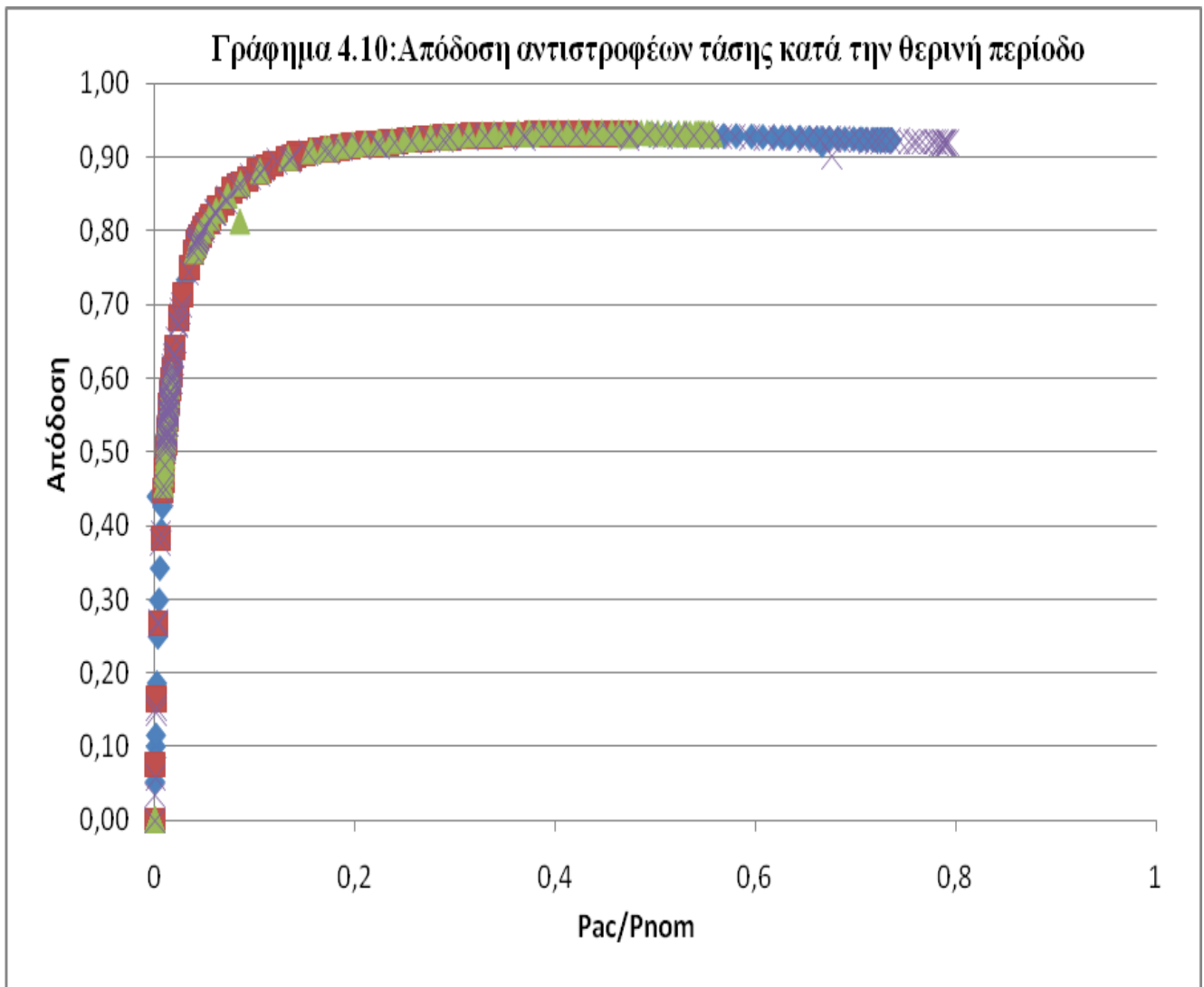
Οι σύγχρονοι αντιστροφείς τάσης είναι οι πιο εξελιγμένες ηλεκτρονικές συσκευές που εφαρμόζονται στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

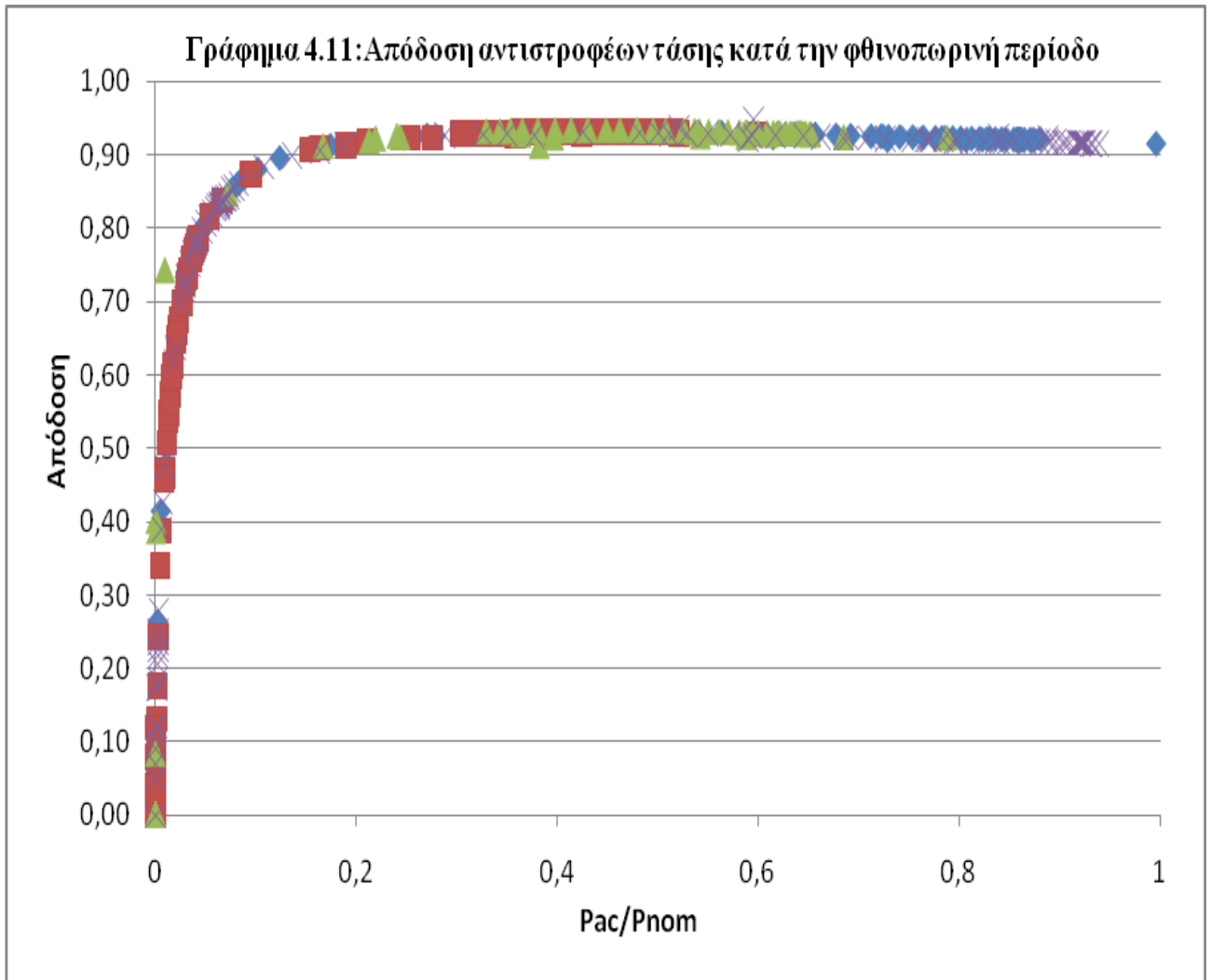
Τέλος, οι αντιστροφείς τάσης βασίζονται σε κυκλώματα μικροεπεξεργαστών, κλασικά η RISC, ή σε ηλεκτρονικά ισχύος όπως τα MOS και IGBT τρανζίστορ.

Παρακάτω θα δούμε κάποια γραφήματα της απόδοσης των αντιστροφών τάσης κατά περιόδους









Γενικότερα, παρατηρούμε πως σύμφωνα με τον **κατασκευαστή** το σύστημά μας ανταποκρίνεται άνογα στις περιοχές υψηλής απόδοσης διότι από τον κατασκευαστή έχουμε πως ο μέγιστος βαθμός απόδοσης αγγίζει το **93%**. Στα παραπάνω γραφήματα βλέπουμε ότι στις περιοχές υψηλής απόδοσης οι πειραματικές τιμές μας είναι πολύ κοντά στα δεδομένα του κατασκευαστή.

Ειδικότερα στις περιοχές όπου **Pac/Pnom** βρίσκεται από **0.4-0.7** μπορούμε να πούμε πως έχουμε απόδοση πολύ κοντά στο μέγιστο του βαθμό απόδοσης του κατασκευαστή.

Αναλυτικότερα, στην διάταξη μας και σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα κατά την **χειμερινή** περίοδο ο βαθμός απόδοσης του συστήματός μας για **A/Pnom 0.4-0.7** είναι στο **92,6%**.

Κατά την **εαρινή** περίοδο έχουμε **91,5%**.

Κατά την **θερινή** περίοδο **91,8%**.

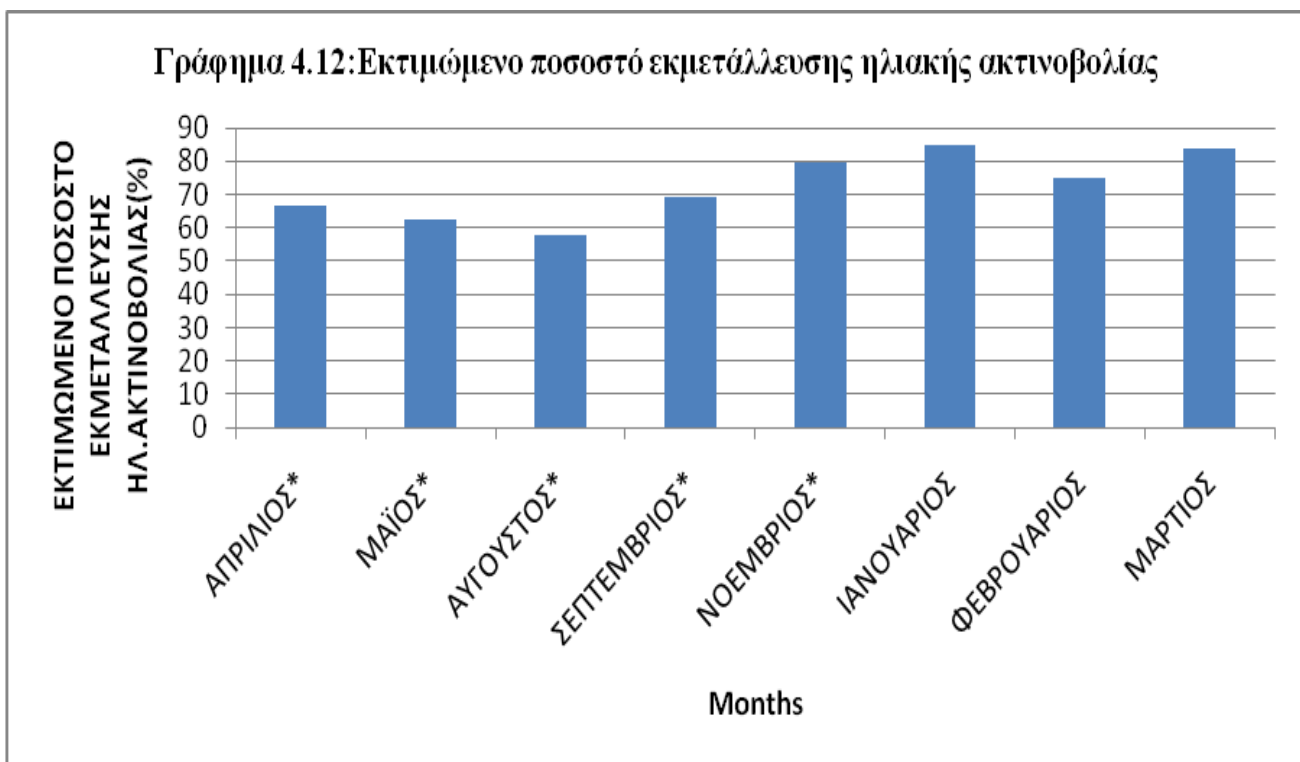
Και τέλος κατά την **φθινοπωρινή** περίοδο **93.1%**.

4.3 Εκτιμώμενο ποσοστό εκμετάλλευσης ηλιακής ακτινοβολίας

Σε αυτή την παράγραφο θα προσπαθήσουμε να εκτιμήσουμε την ενέργεια την οποία χάνουμε. Αυτό συμβαίνει διότι, η ενέργεια η οποία συσσωρεύεται κατά την διάρκεια της μέρας υπερκαλύπτει τα φορτία μας, δηλαδή την νυχτερινή λειτουργία των λαμπτήρων. Επειδή όμως δεν έχουμε στην διάθεσή μας τον αλγόριθμο φόρτισης των συσσωρευτών ο υπολογισμός αυτός έγινε με τον εξής τρόπο:

- Αρχικά, υπολογίσαμε την συνολική ισχύ P_{ac} η οποία αποτελείται από το άθροισμα της ισχύος σε κάθε συστοιχία.
- Έπειτα, υπολογίσαμε το ηλιόκο $P_{ac}/P_{ac(in)}$, δηλαδή το ηλιόκο της συνολικής ισχύος προς την εισερχόμενη ισχύ στους inverter.
- Στην συνέχεια, δημιουργήσαμε μια στήλη η οποία απεικονίζει τους συντελεστές θερμικής μεταβολής.
- Επίσης, υπολογίσαμε την συνολική ενέργεια η οποία έχει παραχθεί σε μια μέρα.
- Στην συνέχεια, υπολογίσαμε την συνολική ενέργεια και πως αυτή διαμορφώνεται εάν συνυπολογίσουμε και τους συντελεστές θερμικής μεταβολής.
- Έπειτα, υπολογίσαμε τον λόγο της συνολικής ενέργειας στην οποία έχουμε συμπεριλάβει τους συντελεστές θερμικής μεταβολής προς την συνολική ενέργεια η οποία έχει παραχθεί και έτσι δημιουργήθηκε ο λόγος του εκτιμώμενου ποσοστού εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Τέλος, αφού επαναλάβουμε την διαδικασία αυτή για κάθε μέρα μετρήσεων για την οποία έχουμε πειραματικά δεδομένα, υπολογίσαμε τον μέσο όρο ανά μήνα και προκύπτουν τα αποτελέσματα του γραφήματος 4.12.

Στο παρακάτω γράφημα θα δούμε μια απεικόνιση του εκτιμώμενου ποσοστού εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μήνα.



Σε όλους μας τους υπολογισμούς έχουν συνυπολογιστεί και οι συντελεστές θερμικής μεταβολής της ισχύος. Αυτό έγινε διότι όπως βλέπουμε στην παρακάτω σχέση υπάρχει εξάρτηση της ισχύος από τους συντελεστές.

$$P = P_0 * \frac{G}{G_{stc}} (1 + \gamma * (T_{cell} - 25^0))$$

$$n_T = 1 + \gamma * (T_{Cell} - 25^0)$$

$\gamma = -0.45\%$ ανά βαθμό Κελσίου → θερμικός συντελεστής απόδοσης

T_{cell} → θερμοκρασία κυψελίδας

Έτσι βλέπουμε ότι υπάρχει διαφοροποίηση στην απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου λόγω της διαφορετικής θερμοκρασίας λειτουργίας της κυψελίδας σε σχέση με την θερμοκρασία της σε πρότυπες συνθήκες (STC).

Η εξάρτηση της θερμοκρασίας της φωτοβολταϊκής κυψελίδας, από τις συνθήκες περιβάλλοντος, του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι η ακόλουθη:

- Η θερμοκρασία του περιβάλλοντα αέρα
- Η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου
- Η ταχύτητα του ανέμου
- Εμπειρικοί συντελεστές που προσδιορίζονται με βάση τις οριακές τιμές της θερμοκρασίας κυψελίδας σε χαμηλές και υψηλές ταχύτητες ανέμου αντίστοιχα
- Η διαφορά θερμοκρασιών κυψελίδας και πίσω επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

4.4 Λόγος επίδοσης (PR)

Η απόδοση ενός ενεργειακού συστήματος προσδιορίζει το ποσοστό της διαθέσιμης ενέργειας που μετατρέπεται από το σύστημα, σε αξιοποιήσιμη μορφή. Το πρακτικό αποτέλεσμα όμως, που αποτελεί και το ζητούμενο κατά την αξιοποίηση κάθε ενεργειακής πηγής, είναι η σχέση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς αυτή που θα μπορούσε να αποδοθεί κάτω από ιδανική λειτουργία του συστήματος, μέσα σε μια ολοκληρωμένη χρονική μονάδα, όπως είναι η ημέρα, ο μήνας ή το έτος. Η σχέση αυτή προσδιορίζεται από μια παράμετρο που ονομάζεται **λόγος επίδοσης** (Performance Ratio, **PR**). Στη δική μας διάταξη θα υπολογίσουμε τον λόγο επίδοσης ανά μήνα με ένα δείγμα 10 ημερών από κάθε μήνα.

Στον παρακάτω πίνακα θα δούμε πως συμπεριφέρεται υπολογίζοντας τον, για τις ώρες πλήρους λειτουργίας του συστήματος, αλλά και για τις ώρες όπου δεν εκμεταλλευόμαστε τον ήλιο λόγω των φορτισμένων συσσωρευτών, ανά μήνα για κάθε συστοιχία μας.

Η πρώτη στήλη του πίνακα μας απεικονίζει τον μήνα.

Η δεύτερη στήλη (λόγος επίδοσης) απεικονίζει τον λόγο επίδοσης για την διάρκεια της ημέρας κατά την οποία έχουμε παραγωγή ισχύος.

Ενώ η τρίτη στήλη (λόγος επίδοσης 2) απεικονίζει τον λόγο επίδοσης για όλη την διάρκεια της ημέρας.

ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ PHOENIX SOLAR

ΜΗΝΑΣ	ΛΟΓΟΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ(PR)	ΛΟΓΟΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ (2) (PR)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0.76	0.63
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0.75	0.61
ΜΑΡΤΙΟΣ	0.80	0.54
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0.76	0.51
ΜΑΪΟΣ	0.73	0.44
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0.78	0.40
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0.79	0.43
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0.78	0.51

ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ WUERTH CIS

ΜΗΝΑΣ	ΛΟΓΟΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ(PR)	ΛΟΓΟΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ (2) (PR)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0.62	0.57
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0.64	0.60
ΜΑΡΤΙΟΣ	0.66	0.59
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0.61	0.51
ΜΑΪΟΣ	0.54	0.42
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0.61	0.35
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0.61	0.45
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0.57	0.44

ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ SANYO

ΜΗΝΑΣ	ΛΟΓΟΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ(PR)	ΛΟΓΟΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ (2) (PR)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0.84	0.80
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0.83	0.77
ΜΑΡΤΙΟΣ	0.86	0.80
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0.69	0.60
ΜΑΪΟΣ	0.62	0.50
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0.76	0.43
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0.76	0.50
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0.72	0.58

4.5 Συμπεράσματα

Συνολικά, παρατηρούμε ότι σχεδόν σε όλες τις μετρήσεις μας ότι ενώ οι συσσωρευτές μας φορτίζονται από την αρχή της ηλιοφάνειας, η φόρτιση τους σταματάει τους **χειμερινούς** μήνες κατά μέσο όρο στις 2:30 μ.μ., τους **εαρινούς** μήνες στη 1:30 μ.μ., τους **καλοκαιρινούς** μήνες στις 12:30 μ.μ. και τέλος στους **φθινοπωρινούς** μήνες στις 2:00 μ.μ. Αυτό συμβαίνει διότι, οι συσσωρευτές μας έχουν φορτιστεί επαρκώς για την νυχτερινή λειτουργία των φορτίων μας με αποτέλεσμα να σταματάει η φόρτιση τους. Αυτό συμβαίνει διότι, το νυχτερινό φορτίο είναι σχετικά μικρό και η ενέργεια που αφαιρείται από τους συσσωρευτές αναπληρώνεται γρήγορα την διάρκεια της ημέρας και έτσι σταματάει η φόρτιση τους. Το γεγονός αυτό αποτελεί πρόβλημα διότι, χάνεται ενέργεια η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί. Έτσι είναι δυνατόν είτε να προστεθούν επιπλέον φορτία είτε να επιλέξουμε να διοχετεύσουμε την πλεονάζουσα ενέργεια στο δίκτυο, λειτουργία η οποία έχουμε επιλέξει εμείς να μην πραγματοποιείται.

Επίσης, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σύμφωνα με τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε πως η απόδοση των αντιστροφών είναι πάρα πολύ κοντά με εκείνες του κατασκευαστή για τις περιοχές υψηλής απόδοσης των αντιστροφών τάσης.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια λειτουργούν καλύτερα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, όταν δηλαδή η θερμοκρασία τους δεν υπερβαίνει κατά πολύ τη συμβατικά σχεδιαζόμενη θερμοκρασία λειτουργίας (25 °C). Η θερμοκρασία τους όμως αυξάνεται λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών. Ένας λόγος ακόμα για την αύξηση της θερμοκρασίας είναι η μετατροπή, μέσα σε αυτά, της ηλιακής ενέργειας σε θερμική. Έτσι έχει αποδειχθεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού ελαττώνει τελικά την αποδιδόμενη από την μέγιστη ισχύ κατά περίπου 0.3%-0.5% ανά βαθμό Κελσίου.

Ακόμα, διαπιστώνεται ότι το ποσοστό εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο κατά τους χειμερινούς μήνες παρότι στους θερινούς. Αυτό είναι λογικό διότι η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία είναι λιγότερη τη χειμερινή περίοδο ενώ η κατανάλωση είτε είναι σταθερή είτε αυξάνεται λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας της νύχτας με αποτέλεσμα οι συσσωρευτές να μην αναπληρώνουν σύντομα την ενέργεια που αποδίδουν. Κατά συνέπεια η διαδικασία της φόρτισης διαρκεί μεγαλύτερο διάστημα τη χειμερινή περίοδο.

Ο λόγος επίδοσης(PR), βλέπουμε πως μεταβάλλεται μέσα στην διάρκεια του έτους δηλαδή η σχέση της αποδιδόμενης ενέργειας ως προς αυτή που θα μπορούσε να αποδοθεί κάτω από την ιδανική λειτουργία του συστήματος και όπως είναι λογικό ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος για τους χειμερινούς μήνες του έτους στη διάρκεια των οποίων έχουμε λιγότερες απώλειες σε σχέση με τους θερινούς. Επίσης, για την χειμερινή περίοδο του έτους βλέπουμε ότι ο λόγος επίδοσης σε σχέση με τον λόγο επίδοσης (2), έχουν πάρα πολύ μικρή απόκλιση, ενώ όσο μεταβαίνουμε προς την θερινή περίοδο η διαφορά τους αυτή όλο και μεγαλώνει με την διαφορά τους να φτάνει στο μέγιστο κατά τον μήνα Αύγουστο δηλαδή ακόμη και στο μισό του λόγου επίδοσης, όπως είναι λογικό.

Γενικότερα μια συνήθης τιμή του λόγου επίδοσης για ένα διασυνδεδεμένο σύστημα είναι κοντά στο **0.75** ή μεγαλύτερη. Η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση που μελετήθηκε καλύπτει αυτή την τιμή ενώ αρκετές φορές είδαμε να την ξεπερνάμε. Σε ένα ημιαυτόνομο σύστημα όμως, όπως είναι το δικό μας είναι λογικό να υπάρχουν τιμές μικρότερες του 0.75 λόγω της απώλειας ενέργειας από την πλήρη φόρτιση των συσσωρευτών.

Ακόμα, μπορούμε να προτείνουμε όπως αναφέρθηκε την προσθήκη επιπλέον φορτίων για να μην έχουμε αυτή την απώλεια ενέργειας η οποία παρατηρείται. Η προσθήκη φορτίων σύμφωνα με υπολογισμούς του οποίους πραγματοποιήσαμε για μια διάρκεια δέκα ημερών ανά μήνα είναι η εξής:

ΜΗΝΑΣ	ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ(kWh)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ(h)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΦΟΡΤΙΟΥ(W)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1,5	15	100
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	3,1	14	220
ΜΑΡΤΙΟΣ	1,9	13	146
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	4,7	12	390
ΜΑΪΟΣ	4	11	364
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	4,5	10	450
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	3,5	11	318
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	2	12	166

Όπως είναι λογικό, η προσθήκη του φορτίου η οποία απαιτείται είναι μεγαλύτερη όσο μεταβαίνουμε από τους χειμερινούς προς τους θερινούς μήνες, διότι κατά τους θερινούς μήνες το ποσοστό εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντικά μικρότερο απ' ότι κατά τους χειμερινούς.

Τέλος, μπορούμε να υπολογίσουμε το οικονομικό όφελος ανά μήνα αλλά και για το ετήσιο οικονομικό εάν διοχετεύαμε τελικά την περίσσεια ενέργειας την οποία έχουμε στον δίκτυο με 0,50 €/ kWh.

ΜΗΝΑΣ	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ (€)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	22,5
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	46,5
ΜΑΡΤΙΟΣ	28,5
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	70,5
ΜΑΪΟΣ	60
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	67,5
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	52,5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30

Άρα, το συνολικό **οικονομικό όφελος** το οποίο θα είχαμε, εάν η περίσσεια ενέργειας διοχετεύονταν στο κεντρικό **δίκτυο** με τιμή πώλησης **0,50 €/ kWh**, θα ήταν ένα ποσό της τάξεως των **378 €**. Ανάγοντας το ποσό αυτό στους **12 μήνες** τότε ενδεικτικά θα είχαμε ένα όφελος περίπου **567 €**.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α΄

SPECIFICATIONS

Στο παράρτημα αυτό μπορούμε να δούμε τα χαρακτηριστικά όλων των στοιχείων της εγκατάστασης μας.

Εδώ βλέπουμε τα χαρακτηριστικά του inverter(**Sunny Island 5048**) :

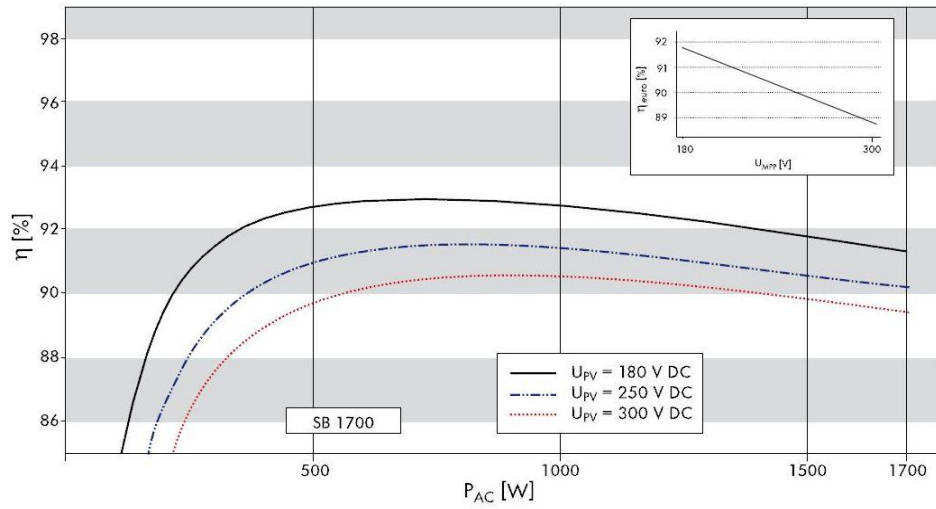
	SI 5048
Output data	
Nominal AC voltage (adjustable)	230 V (202 - 253 V)
Grid frequency adjustable	45 - 65 Hz
Continuous AC output at 25 °C / 45 °C	5000 / 4000 W
Continuous AC output at 25 °C for 30 / 5 / 1 min	6500 / 7200 / 8400 W
Nominal AC current	21.7 A
Max. current	100 A (for 100 ms)
Output voltage harmonic distortion factor	< 3 %
Power factor	-1 to +1
Input data	
Input voltage (range)	230 V (172.5 - 250 V)
Input frequency	40 - 70 Hz
Max. AC input current (adjustable)	56 A (2 - 56 A)
Max. input power	12.8 kW
Battery data	
Battery voltage (range)	48 V (41 - 63 V)
Max. battery charging current	120 A
Continuous charging current	100 A
Battery capacity	100 - 10 000 Ah
Charge control	IU ₀ U with automatic full and equalization charge
Efficiency/power consumption	
Max. efficiency (typical)	95 %
Own consumption with no load (standby)	25 W (< 4 W)
Protection type (DIN EN 60529)	IP40
Certification	CE
Device protection	short-circuit, overload, overtemperature
Interfaces	2 LEDs, 4 buttons, 2-line display, 2 multifunction relays, RS485 / RS232 / CAN electrically separated (optional), MMC/SD card
Mechanical data	
Width/height/depth	467 / 612 / 235 mm
Weight	63 kg
Ambient conditions	
Ambient temperature	-25 °C ... +50 °C
Warranty (EU)	5 years
Accessories	
Ext. battery temperature sensor	included
"GenMan" generator manager	optional

All figures comply with the state of the art applicable when printing. Subject to technical changes. We accept no liability for typographical and other errors. Printed on chlorine-free paper.

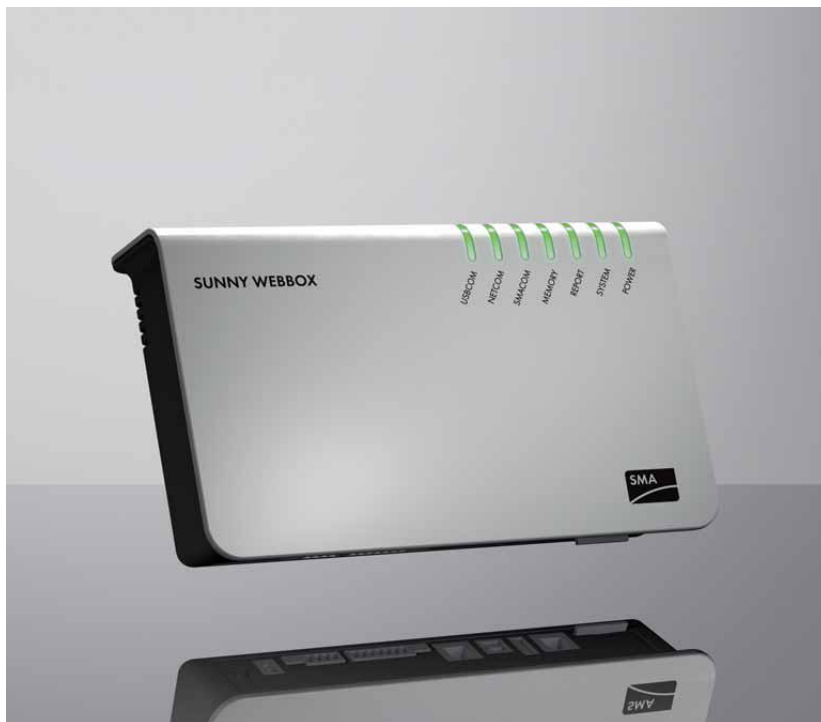
Τώρα βλέπουμε τα χαρακτηριστικά του inverter(**Sunny Boy 1100**) :

	SB 1100
Είσοδος (DC)	
Μέγ. ισχύς DC	1210 W
Μέγ. τάση DC	400 V
Περιοχή φωτοβολταϊκής τάσης, σημείου μέγιστης ισχύος (μέσω ανιχνευτή MPP)	139 V - 320 V
Μέγ. ρεύμα εισόδου	10 A
Αριθμός των ανιχνευτών σημείου μέγιστης ισχύος	1
Μέγ. αριθμός στοιχειοσειρών (παράλληλη σύνδεση)	2
Έξοδος (AC)	
Ονομαστική ισχύς AC	1000 W
Μέγ. ισχύς AC	1100 W
Μέγ. ρεύμα εξόδου	5,6 A
Ονομαστική τάση / Περιοχή τάσεων AC	220 V - 240 V / 180 V - 260 V
Συχνότητα δικτύου AC (αυτορυθμιζόμενη) / Περιοχή	50 Hz / 60 Hz / ± 4,5 Hz
Συντελεστής ισχύος (cos φ)	1
Σύνδεση AC	μονοφασικό
Βαθμός απόδοσης	
Μέγ. βαθμός απόδοσης	93,0 %
Euro-eta	91,6 %
Συστήματα προστασίας	
Προστασία αντιστροφής πόλων DC	●
Διακόπτης ESS απομόνωσης φορτίου DC	●
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα AC	●
Επιτήρηση βραχυκυκλώματος γης	●
Επιτήρηση δικτύου (SMA grid guard)	●
Γαλβανικά μονωμένος	●
Γενικά στοιχεία	
Διαστάσεις (Πλάτος / Ύψος / Βάθος) σε mm	434 / 295 / 214
Βάρος	22 kg
Περιοχή θερμοκρασιών λειτουργίας	-25 °C ... +60 °C
Ίδια κατανάλωση: Λειτουργία (Αναμονής) / νυχτερινή	< 4 W / 0,1 W
Τοπολογικά στοιχεία	Μετασχηματιστής NF (χαμηλής συχνότητας)
Τρόπος ψύξης	Μεταφορά θερμότητας
Χώρος τοποθέτησης: εσωτερικά / εξωτερικά (Προστασία IP65)	●/●
Εξοπλισμός	
Σύνδεση DC: MC3 / MC4 / Τυσο	●/○/○
Σύνδεση AC: Βύσμα σύνδεσης	●
Οθόνη LCD	●
Χρώμα καπακιού: κόκκινο	●
Διεπαφές: RS485 / Ασύρματη	○/○
Εγγύηση: 5 έτη / 10 έτη	●/○
Πιστοποιητικά και εγκρίσεις	www.SMA-Hellas.com

Καμπύλη βαθμού απόδοσης



Τα δεδομένα μας συλλέγονται στο **Sunny Webbox**:



Ενώ τα δεδομένα σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία τα παίρνουμε από το **Sunny Sensorbox** :



Και τώρα ας δούμε τα χαρακτηριστικά των πλαισίων μας ξεχωριστά:

Πλαίσια Sunpower(SRP-215-WHT-I):

SUNPOWER

215 SOLARMODUL

HERVORRAGENDER WIRKUNGSGRAD UND EXZELLENTLE LEISTUNG



Elektrische Eigenschaften

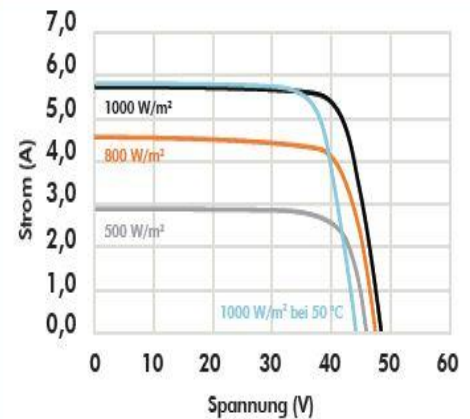
Bei Standardtestbedingungen (STC): Bestrahlungsstärke 1000 W/m², Luftmasse 1,5 g und Zelltemperatur von 25°C.

Max. Nennleistung (+/-3%) P _{max}	215 W
Nennspannung V _{mp}	39,8 V
Nennstrom I _{mp}	5,40 A
Leerlaufspannung V _{oc}	48,3 V
Kurzschlussstrom I _{sc}	5,80 A
Max. Systemspannung IEC, UL	1000 V
Temperaturkoeffizienten	
Leistung	-0,38% /°C
Spannung (V _{oc})	-136,8 mV/°C
Strom (I _{sc})	3,5 mA/°C
Sicherung bei Reihenschaltung	15 A
Max. Nennleistung pro Flächeneinheit	173 W/m ²

Mechanische Daten

Solarzellen	72 monokristalline SunPower-Rückseitenkontakt-Solarzellen
Frontglass	3,2 mm (1/8 in) gehärtetes Glas
Anschlussdose	Schutzklasse IP-65 mit 3 Bypass-Dioden
Anschlusskabel	900 mm langes Kabel / Multi-Contact-Stecker
Rahmen	Elaxierte Aluminiumlegierung Typ 6063
Gewicht	15kg

I/U-Kennlinie



Spannungs-/Stromkennzahlen in Abhängigkeit von Strahlungsstärke und Temperatur des Moduls.

Geprüfte Betriebsbedingungen

Temperatur	- 40° C bis + 85° C
Max. Beanspruchung	2400 Pa auf Vorder- und Rückseite
Schlagfestigkeit	Hagel - 25 mm bei 23 m/s

Garantie und Zertifizierungen

Garantie	25 Jahre eingeschränkte Leistungsgarantie 10 Jahre eingeschränkte Produktgarantie
Zertifizierungen	IEC 61730 / IEC 61215 / SKI

Πλαίσια Wuerth CIS(WSG0036E070):



TECHNICAL DATA

Electrical data in STC	
Nominal output according to STC	70 W
MPP voltage (Umpp)	33 V
Current at max. capacity (Impp)	2.12 A
Open circuit voltage (Uoc)	42.3 V
Short circuit current (Isc)	2.4 A

Electrical data at NOCT	
NOCT	47 (+/- 3) °C

Systems	
Maximum Voltage systems	1,000 V
Performance tolerance	-2 / +5 %
Reverse current stability	3 x Isc
SysUoc, open circuit voltage (Uoc) at -10 °C	46.6 V
MPP voltage (Umpp) at 70 °C	27.8 V
Temperature coefficient (Pmpp)	-0.36 % / °C
Temperature coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Cell material	CIS
Cell technology	CIS
Mechanical assembly	Glass-glass module with black anodised aluminium frame
Front cover	White glass
Framing	Aluminium frame with inner groove
Frame height	35 mm
Max. distortion	1.2 °
Max. surface pressure	2,400 N/m ²
DC connection	MC4 plug connector
Ambient operating temperature	-40 ... +85 °C
Weight	12.71 kg
Dimensions (W x L x D)	605 x 1,205 x 35 mm

Electrical data under standard test conditions (STC): I=1,000 W/m², AM 1.5, Tu=25°C
Cell operating temperature (NOCT): I=800 W/m², Tu=20°C, Vw =1 m/s

Πλαίσια Sanyo(HIP230HDE1):



SANYO

HIP-220HDE1 HIP-225HDE1 HIP-230HDE1



Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά	HIP-220HDE1	HIP-225HDE1	HIP-230HDE1
Όνομαστική ισχύς (P_{nom})	220 Wp	225 Wp	230 Wp
Ανοχή ισχύος	+ 10 / - 5 %	+ 10 / - 5 %	+ 10 / - 5 %
Τάση στο σημείο μεγ. ισχύος (U_{mp})	33.5 V	33.9 V	34.3 V
Ρεύμα στο σημείο μεγ. ισχύος (I_{mp})	6.57 A	6.64 A	6.71 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (U_{oc})	41.4 V	41.8 V	42.3 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc})	7.07 A	7.14 A	7.22 A
Μέγιστη τάση συστήματος		1000 V DC	
Μέγιστο αντίστροφο ρεύμα (I_r)		15 A	

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά αναφέρονται στις συνθήκες STC (Standard Test Conditions): Ένταση Ηλιακής Ακτινοβολίας $1000W/m^2$, Θερμοκρασία πλάνα $25^{\circ}C$, $AM=1.5$.

Θερμοκρασιακοί συντελεστές

Ισχύος TK (P_n)	- 0.30 %/°C	- 0.30 %/°C	- 0.30 %/°C
Τάσης ανοιχτού κυκλώματος TK (U_{oc})	- 0.104 V/°C	- 0.105 V/°C	- 0.106 V/°C
Ρεύματος βραχυκύκλωσης TK (I_{sc})	+ 2.12 mA/°C	+ 2.14 mA/°C	+ 2.17 mA/°C

Προδιαγραφές / Εγγύηση κατασκευαστή

Τα πάνελ HIP-215/220/225/230HDE1 εναρμονίζονται με τις απαιτήσεις των προτύπων IEC 61215 και IEC 61730, την Ηλεκτρική Κλάση Προστασίας II και τις οδηγίες CE.

Εγγύηση προϊόντος: 2 έτη, εγγύηση απόδοσης 90%: 10 έτη, εγγύηση απόδοσης 80%: 20 έτη.

* Ισχύουν αποκλειστικά και μόνο οι εγγυήσεις του κατασκευαστή.

Μηχανικά χαρακτηριστικά

Διαστάσεις	1610 mm x 861 mm x 35 mm
Βάρος	16.5 kg
Κυψέλες	HIT: Υβριδικές μονοκρυσταλλικές κυψέλες περικλειόμενες από υπέρλεπτες στρώσεις αμόρφου πυριτίου, 125 mm x 125 mm
Αριθ. κυψελών	62
Καλώδια εξόδου	Ακροδέκτες MC3, μήκος καλωδίου 960 mm για κάθε πόλο, καλώδιο 4 mm ²

Πλαίσια Phoenix Solar(PHX-85):



Electrical parameters

Electrical parameters for STC (1000 W/m², 25 (+/- 2)°C, AM 1.5 according to EN 6090-4) stabilised conditions

Article number	100293	100294
Power output [P_{mpp}]	85	90
Power output tolerances [%]	+/- 10	+/- 10
Efficiency [%]	8	8.50
Max. voltage V_{mpp} [V]	49.00	49.30
Max. current I_{mpp} [A]	1.74	1.83
Open circuit voltage V_{oc} [V]	63.80	62.50
Short circuit current I_{sc} [A]	2.11	2.11

Electrical parameters before stable condition

Max. power output P_{max} [Wp]	100	103
Max. voltage V_{max} [V]	52.00	52.10
Max. current I_{mpp} [A]	1.92	2.00
Open circuit voltage V_{oc} [V]	65.00	63.70
Short circuit current I_{sc} [A]	2.20	2.20
Reverse current loading capability I_r [A]	string diodes required	
Max. permissible system voltage V_{max} [V]	600	

Parameters of the thermal characteristics

NOCT [°C]	45
Temperature coefficient of the short circuit current I_{sc} [%/K]	+ 0.07
Temperature coefficient of the open circuit voltage V_{oc} [%/K]	- 0.30
Temperature coefficient of the MPP power P_{mpp} [%/K]	- 0.24

Operating conditions

Max. operating temperature [°C]	- 40 to + 90
Max. snow load [Pa]	according to IEC 61646
Max. wind load [Pa]	according to IEC 61646

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β΄

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Ι.Ε. ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ**
- [HTTP://WWW.SELASENERGY.GR/FUNDAMENTALS.PHP](http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php)
- ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ , Σ. ΤΡΑΧΑΝΑ
- ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΦΥΣΙΚΗ - ΑΛΟΝΣΟ ΦΙΝΝ
- PHYSICS - RAYMOND A. SERWAY, ΤΟΜΟΣ ΙΙ
- ΦΥΣΙΚΗ Β΄ ΛΥΚΕΙΟΥ, Α. ΜΑΖΗΣ, ΟΕΔΒ, 1994
- THE HISTORICAL DEVELOPMENT OF QUANTUM THEORY, JAGDISH MEHRA, HELMUT RECHENBERG, SPRINGER-VERLAG NEW YORK INC, 1982, VOLUME 1, CHAPTER 1, ΣΕΛ.24). ISBN 0-387-90642-8 ΚΑΙ ISBN 3-540-90642-8.
- ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, Χ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ, Α. ΛΙΟΛΙΟΣ, Κ. ΖΙΟΥΤΑΣ, Η. ΣΑΒΒΙΑΔΗΣ. ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΑΤΩΝ, 1998.
- [HTTP://WWW.COMPASOLAR.GR/PHOTOVOLTAIC.HTM](http://www.compasolar.gr/photovoltaic.htm)
- [HTTP://WWW.SOLAR-SYSTEMS.GR/SOLAR-PANEL-PV-8.HTML](http://www.solar-systems.gr/solar-panel-pv-8.html)
- [HTTP://WWW.SELASENERGY.GR/FV_SYSTEMS.PHP](http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php)
- [HTTP://WWW.WIKIPEDIA.COM](http://www.wikipedia.com)