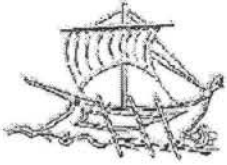


H/Γ  
865



**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**“ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ  
ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ”**

**Installation Study of Photovoltaic System for  
Covering Autonomous Residence**

**Επιβλέπων Καθηγητής:** ΠΕΤΡΟΣ ΒΕΡΝΑΔΟΣ  
**Συνεπιβλέπουσα:** ΖΟΥΝΤΟΥΡΙΔΟΥ ΕΡΙΕΤΤΑ

**Σπουδαστές:** ΝΤΟΥΠΗΣ ΚΛΑΪΝΤΗΣ 34993  
ΣΑΛΗΟΓΛΟΥ ΓΙΛΜΑΖ 34751

**ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**  
**ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**

**Αθήνα,**  
**Μάρτιος 2014**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστούμε θερμότατα τους επιβλέποντες αυτής της πτυχιακής εργασίας κ. Βερνάρδο και κ. Ζουντουρίδου για την συνεργασία και την καθοδήγηση σε όλη την διάρκεια της συγγραφής της πτυχιακής.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες .....	i
Περιεχόμενα.....	ii
Λίστασχημάτων .....	iv
Λίστα πινάκων.....	v
Summary .....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πρόλογος .....	1
<b>1 °Κεφάλαιο “Εισαγωγή” .....</b>	<b>1</b>
1.1 Συμβατικές και Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	1
1.2 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας .....	2
1.2.1 Ηλιακή ενέργεια .....	3
1.2.2 Αιολική ενέργεια .....	4
1.2.3 Υδραυλική ενέργεια.....	5
1.2.4 Γεωθερμική ενέργεια .....	6
1.2.5 Βιομάζα.....	7
1.2.6 Ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκών κινήσεων και θαλασσίων Ρευμάτων .....	8
1.3 Ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων στην Ελληνική και παγκόσμια αγορά .....	9
<b>2 °Κεφάλαιο “ Ηλιακή ενέργεια” .....</b>	<b>12</b>
2.1 Ο ήλιος σαν πηγή ενέργειας .....	12
2.2 Ηλιακή γεωμετρία .....	14
2.3 Ο προσανατολισμός του συλλέκτη .....	17
2.4 Η βέλτιστη κλίση .....	18
2.5 Ροή και ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας .....	20
2.5.1 Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας .....	20
2.5.2 Η ηλιακή σταθερά .....	22
<b>3 ° Κεφάλαιο “ Φωτοβολταϊκή συλλέκτες” .....</b>	<b>23</b>
3.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο .....	23
3.2 Το φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	24
3.3 Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια .....	26
3.3.1 Τύποι φ/β πλαισίων .....	26
3.3.2 Τρόποι σύνδεσης φ/β πλαισίων.....	28
3.3.3 Απόδοση φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	29
3.3.4 Η ισχύς αιχμής του Φωτοβολταϊκού πλαισίου .....	31
<b>4 ° Κεφάλαιο “Ηλεκτρικοί συσσωρευτές” .....</b>	<b>34</b>
4.1 Γενικά .....	34
4.2 Τύποι συσσωρευτών .....	34
4.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του συσσωρευτή .....	35
4.3.1 Χρόνος ζωής συσσωρευτή.....	36
4.3.2 Ρεύμα φόρτισης συσσωρευτή.....	37
4.3.3 Ρεύμα εκφόρτισης συσσωρευτή .....	38
4.3.4 Αυτόεκφόρτιση συσσωρευτή .....	38

4.3.5	Συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή .....	39
4.3.6	Βαθμός απόδοσης .....	39
4.3.7	Συμπεράσματα .....	40
<b>5 °</b>	<b>Κεφάλαιο “ Ηλεκτρονικές διατάξεις” .....</b>	<b>43</b>
5.1	Ρυθμιστές-φορτιστές .....	43
5.2	Μετατροπείς (Converters) .....	46
<b>6 °</b>	<b>Κεφάλαιο “ Υπολογισμοί του φωτοβολταϊκού συστήματος” .....</b>	<b>51</b>
6.1	Εισαγωγή .....	51
6.2	Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις.....	52
6.3	Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια .....	55
6.3.1	Η κλίση των συλλεκτών .....	55
6.3.2	Η ισχύς αιχμής του συστήματος.....	59
6.3.3	Η τάση του συστήματος .....	66
6.4	Οι συσσωρευτές .....	55
6.5	Επιλογή Ρυθμιστή-Φορτιστή.....	55
6.6	Επιλογή Αντιστροφέα.....	55
6.7	Χώρος τοποθέτησης Φ/Β πλαισίων .....	55
6.8	Επιλογή διατομής καλωδίων .....	55
6.9	Επιλογή βοηθητικής ηλεκτρικής πηγής .....	55
6.10	Μορφή φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.....	55
<b>7 °</b>	<b>Κεφάλαιο “ Συμπεράσματα” .....</b>	<b>72</b>
	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>73</b>
	<b>Παράρτημα 1.....</b>	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>
	<b>Παράρτημα 2.....</b>	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>

## ΛΙΣΤΑΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1	Θερμοηλεκτρικός σταθμός Πτολεμαΐδας	2
Σχήμα 1.2	Ηλιακή ακτινοβολία	4
Σχήμα 1.3	Ανεμογεννήτρια	5
Σχήμα 1.4	Υδροηλεκτρικός σταθμός	6
Σχήμα 1.5	Γεωθερμική ενέργεια στη Λεκάνη Σπερχειού	7
Σχήμα 1.6	Κύκλος διεργασίας βιομάζας	7
Σχήμα 1.7	Τουρμπίνα παραγωγής ηλεκτρισμού μέσω των κυμάτων	8
Σχήμα 1.8	Εξέλιξη της παγκόσμιας συνολικής εγκατεστημένης ισχύς φ/β 2010-12 (MW)	9
Σχήμα 1.9	Εξέλιξη της παγκόσμιας ετήσιας εγκατεστημένης ισχύς φ/β 2000-2012 (MW)	10
Σχήμα 1.10	Συνολική εγκατεστημένη ισχύς φ/β στην Ελλάδα, 2008-2010 (MW)	10
Σχήμα 1.11	Ευρωπαϊκή αγορά 2012 (MW)%	11
Σχήμα 1.12	Οι 5 πρώτες ευρωπαϊκές εμπορικές αγορές Φ/Β το 2012 (MW)%	11
Σχήμα 1.13	Οι 5 πρώτες ευρωπαϊκές βιομηχανικές αγορές Φ/Β το 2012 (MW)%	11
Σχήμα 2.1	Ο ήλιος	12
Σχήμα 2.2	Ακτινοβολία του ήλιου προς τα πλαίσια μέσα από την γήινη ατμόσφαιρα	13
Σχήμα 2.3	Ακραία απόκλιση του ηλίου κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο	15
Σχήμα 2.4	Ύψος του ήλιου για διαφορετικές τιμές δ	16
Σχήμα 2.5	Οι γωνίες του ύψους h και του αζιμούθιου	18
Σχήμα 2.6	Η κλίση (β) και η αζιμούθια γωνία (γ)	18
Σχήμα 3.1	Διαδικασία Φωτοβολταϊκού φαινομένου	23
Σχήμα 3.2	Διαδικασία Φωτοβολταϊκού φαινομένου	24
Σχήμα 3.3		25
Σχήμα 3.4	Μονοκρυσταλλικό πλαίσιο και κύταρρο	27
Σχήμα 3.5	Πολυκρυσταλλικό πλαίσιο και κύταρρο	27
Σχήμα 3.6	Πλαίσια άμορφου πυριτίου	28
Σχήμα 3.7		30
Σχήμα 3.8	Χαρακτηριστικές I-V από ένα ηλιακό κύταρρο $2W_p$	32
Σχήμα 3.9	Το ρεύμα και η ισχύς για στάνταρ συνθήκες	33
Σχήμα 4.1		35
Σχήμα 4.2		37
Σχήμα 4.3		37
Σχήμα 4.4		38
Σχήμα 5.1		44
Σχήμα 5.2	Μετατροπείς με εύρος ισχύος από 200W έως 2KW και τάσεως των 12, 24, 48 V	46
Σχήμα 6.1		51
Σχήμα 6.2		62
Σχήμα 6.3		64
Σχήμα 6.4		66
Σχήμα 6.5		71

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Πίνακας 6.1.....	52
Πίνακας 6.2.....	53
Πίνακας6.3.....	54
Πίνακας6.4.....	55
Πίνακας6.5.....	55
Πίνακας6.6.....	55
Πίνακας6.7.....	59
Πίνακας6.8.....	60
Πίνακας 6.9.....	63
Πίνακας 6.10.....	64



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελούν μια μορφή ενέργειας φιλικής προς το περιβάλλον η οποία αντικαθιστά ρυπογόνους τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας και είναι μια ανεξάντλητη πηγή, καθώς προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως ο ηλιακή ενέργεια και ο άνεμος. Έτσι η ανάγκη για αυτονομία ή απεξάρτηση από το δίκτυο για λόγους οικολογικούς η μη ύπαρξης δικτύου μπορεί να καλυφθεί πλήρως με την εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για τις ανάγκες μιας κατοικίας που βρίσκεται στην Ρόδο. Η εγκατάσταση των πλαισίων θα γίνει στην ταράτσα της κατοικίας (150 m<sup>2</sup>) και η περιοχή στην οποία βρίσκεται είναι πεδινή χωρίς σκιάσεις από διπλανά κτίρια ή άλλα εμπόδια. Για τον σχεδιασμό της εγκατάστασης λάβαμε υπόψη τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής μέσα σε ένα έτος, τις ανάγκες κατανάλωσης για ηλεκτρική ενέργεια ανά ημέρα, μήνα και έτος και από αυτά τα δεδομένα υπολογίσαμε τα απαιτούμενα φ/β πλαίσια, τους συσσωρευτές και τις ηλεκτρονικές διατάξεις που θα χρειαστούν.

**Λέξεις κλειδιά:** Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, συσσωρευτές.



# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ΕΙΣΑΓΩΓΗ”

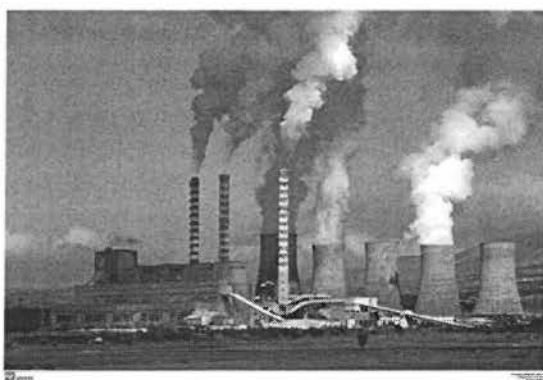
### 1.1 Συμβατικές και Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης μέχρι σήμερα, ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε τα ορυκτά καύσιμα ως μέσο καύσης για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στους μεγάλους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, όπως το κάρβουνο και αργότερα το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, το ουράνιο, και άλλα σχάσιμα υλικά ή υδατοπτώσεις στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Όλες όμως αυτές οι μορφές ενέργειας έχουν περιορισμένες δυνατότητες πλέον, αφού τα συμβατικά και τα πυρηνικά καύσιμα αρχίζουν να εξαντλούνται σταδιακά, και η υδραυλική ενέργεια είναι ποσοτικά καθορισμένη και περιορισμένη γεωγραφικά. Επομένως είναι φανερή η ύπαρξη ενός ενεργειακού προβλήματος και είναι σημαντικό να βρεθούν τρόποι αντιμετώπισης για τις μελλοντικές ανάγκες σε ηλεκτρισμό και ενέργεια.

Το ενδιαφέρον για τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας άρχισε από την δεκαετία του 1970 ως αποτέλεσμα τις πετρελαϊκής κρίσης του 1973 και της συνεχούς αύξησης της τιμής του πετρελαίου τα επόμενα χρόνια, καθώς και των σοβαρών ατυχημάτων που έγιναν στους πυρηνικούς σταθμούς του ThreeMileIsland της Πενσυλβανίας το 1979 και κυρίως του Τσερνομπίλ της Ουκρανίας το 1986, που προκάλεσαν στην κοινή γνώμη μεγάλες αμφιβολίες για την ασφάλεια της λειτουργίας των πυρηνικών σταθμών. Επίσης άρχιζαν με τον χρόνο να παρουσιάζονται οι επιβαρυντικές συνέπειες της χρήσης των συμβατικών καυσίμων στο οικοσύστημα και στην ανθρώπινη υγεία αλλοιώνοντας το περιβάλλον και την ποιότητα ζωής, με την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ή άλλων τοξικών αποβλήτων στην ατμόσφαιρα καθώς και αύξηση της τιμής της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη (φαινόμενο του θερμοκηπίου).

Έτσι η παγκόσμια κοινότητα άρχισε να στέφεται προς τις Ανανεώσιμες ή Ήπιες Μορφές Ενέργειας . Ο όρος << Ανανεώσιμες >> ώστε να μην εξαντλούνται (σε αντιδιαστολή με τα ορυκτά καύσιμα και τις υδατοπτώσεις) και << Ήπιες>> έτσι ώστε

να μην προκαλούν ατυχήματα και για να μην επιβαρύνουν το περιβάλλον μειώνοντας την χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Για την εκμετάλλευση των ΑΠΕ δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση άλλα απλώς εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση, έτσι πρόκειται για <<καθαρές>> μορφές ενέργειας, φιλικές προς το περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδια του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι προηγούμενες πηγές ενέργειας. Περίπου το 16 % της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας προέρχεται σήμερα από τις ανανεώσιμες πηγές.



Σχήμα Σφάλμα! Χρησιμοποιήστε την καρτέλα "Κεντρική σελίδα", για να εφαρμόσετε το StyleHeading 1 στο κείμενο που θέλετε να εμφανίζεται εδώ..1 Θερμοηλεκτρικός σταθμός  
Πτολεμαΐδας

## 1.2 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Τα είδη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, η βιομάζα, η γεωθερμική ενέργεια και η ενέργεια από τις παλίρροιες και τα κύματα.

### 1.2.1 Ηλιακή ενέργεια

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια ξεκίνησε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Τα φωτοβολταϊκά είναι από τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες για την περιβαλλοντικά ήπια παραγωγή ενέργειας και την απεξάρτηση από το πετρέλαιο, ενώ το κόστος τους είναι ήδη ανταγωνιστικό σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής σε αρκετές εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής. Κάθε εγκατεστημένο κιλοβάτ φωτοβολταϊκών συμβάλλει ετησίως στην αποφυγή εκπομπής περίπου 1.5 τόνου CO<sub>2</sub>, προστατεύοντας ουσιαστικά το περιβάλλον και την υγεία των πολιτών.

Η χρήση της για παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης και πριμοδότησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την ευρωπαϊκή ένωση. Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται επίσης και για θερμικές εφαρμογές όπως οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, φούρνοι κ.α. Στο τέλος του 2012 η παραγωγική ικανότητα των φωτοβολταϊκών (PV) ήταν σε παγκόσμιο επίπεδο 100.000 MW

#### ➤ Πλεονεκτήματα

1. Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.
2. Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής
3. Σχετικά εύκολη μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες που αφθονούν.
4. Πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής (τουλάχιστον 20 με 30 χρόνια).
5. Τα ηλιακά στοιχεία δεν έχουν κινούμενα μέρη, επομένως είναι σχεδόν απαλλαγμένα από την ανάγκη επίβλεψης και συντήρησης ( αρκεί συνήθως η επίβλεψη τους μια φορά κάθε εξάμηνο).
6. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο ή άλλη ενόχληση και δεν δημιουργεί απόβλητα ή άλλα άχρηστα παραπροϊόντα.
7. Δίνει την δυνατότητα ανεξαρτησίας από τα κεντρικά δίκτυα διανομής.
8. Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μπορούν να λειτουργήσουν με όσο μικρή ισχύ τους ζητηθεί.

9. Η αναλογία της παραγόμενης ισχύος προς το βάρος της διάταξης είναι αρκετά μεγάλη, περίπου  $100\text{W/kg}$ , που είναι σημαντική ιδιότητα για της διαστημικές εφαρμογές.

➤ Μειονεκτήματα

1. Υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων.
2. Για τις περισσότερες εφαρμογές απαιτείται η δαπανηρή αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της αστάθειας και της μεγάλης διακύμανσης της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.
3. Απαιτείται η χρησιμοποίηση αρκετά μεγάλων επιφανειών.



Σχήμα 1.2 Ηλιακή ακτινοβολία

### 1.2.2 Αιολική ενέργεια

Η εγκατάσταση αιολικών συστημάτων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, με χρήση ανεμογεννητριών οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα πτερυγίων, βρίσκεται σήμερα σε εντυπωσιακή εξέλιξη. Στη χώρα μας λειτουργούν αρκετά αιολικά πάρκα, με ισχύ από μερικές εκατοντάδες kW έως μερικές δεκάδες MW, κυρίως διασυνδεδεμένα με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Το αιολικό δυναμικό, δηλαδή η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου, σε πολλά σημεία της χώρας μας βρίσκεται σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στα νησιά του Αιγαίου το αιολικό δυναμικό παρουσιάζει μια μέση ετησίως τιμή, από 7 έως 11 m/s, το οποίο υπερκαλύπτει την αποδοτική για τις ανεμογεννήτριες, περιοχή ταχυτήτων ανέμου και κατ' επέκταση τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια των νησιών αυτών. Συνεπώς, ο νησιωτικός χώρος αποτελεί ιδανικό πεδίο εφαρμογής της τεχνολογίας των αιολικών συστημάτων.

Η αιολική ενέργεια αυξάνεται με ρυθμό 30% ετησίως, με παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ των 282.000 MW στο τέλος του 2012, και χρησιμοποιείται ευρέως στην Ευρώπη, την Ασία, και τις Ηνωμένες Πολιτείες.



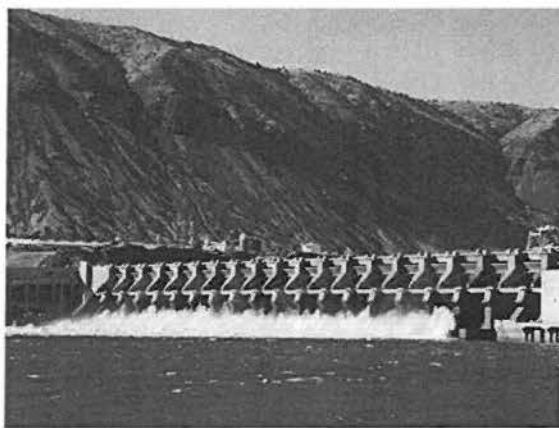
Σχήμα 1.3 Ανεμογεννήτρια

### 1.2.3 Υδραυλική ενέργεια

Η υδραυλική ενέργεια προέρχεται από τα υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας αναφέρεται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.

Αποτελεί έναν από τους πιο φυσικούς τρόπους παραγωγής μεγάλης ισχύος, οικολογικά καθαρής, ηλεκτρικής ενέργειας, με ανανεώσιμη συμπεριφορά. Εκμεταλλευόμαστε την ύπαρξη φυσικών λεκανών συλλογής των όμβριων υδάτων σε συγκεκριμένες περιοχές, με κατάλληλη εδαφική διαμόρφωση, κατασκευάζοντας φράγματα. Η υδατόπτωση κινεί υδροστρόβιλους, που με τη σειρά τους θέτουν σε κίνηση ηλεκτρογεννήτριες. Η δημιουργία

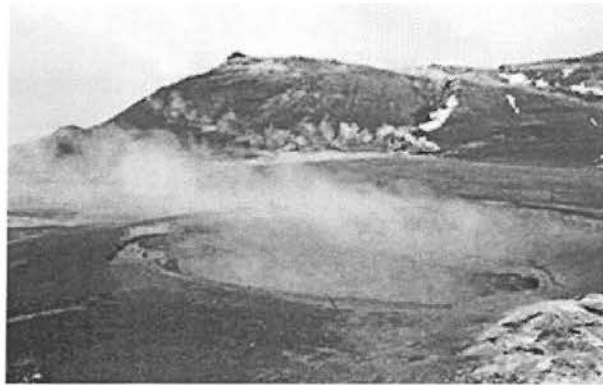
τεχνητών λιμνών με φράγματα έχει περιορισμένη εφαρμογή λόγω των απαιτούμενων ειδικών εδαφικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις η κατασκευή ενός φράγματος, παρότι η περιοχή καλύπτει τα τεχνικά κριτήρια, μπορεί να προκαλέσει σημαντική οικολογική καταστροφή και ενδεχομένως μετακίνηση πληθυσμού, λόγω της κατάκλισης με νερό εκτεταμένων εύφορων και με ιδιαίτερη φυσική ομορφιά περιοχών. Η υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας καλύπτει, περίπου, το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.



Σχήμα 1.4 Υδροηλεκτρικός σταθμός

#### 1.2.4 Γεωθερμική ενέργεια

Αφορά την ενέργεια των θερμών νερών (ή ατμών του νερού), που αναβλύζουν μέσα από ηφαιστειακές διόδους ή ρήγματα του υπεδάφους. Σύμφωνα με την επικρατέστερη θεωρία, η θέρμανση των γεωθερμικών ρευστών αποδίδεται κυρίως, στην εκλυόμενη ενέργεια κατά τη διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων στο στερεό φλοιό της γης. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι χαμηλή, η ενέργειά τους χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών κ.α. , ενώ στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία των ατμών είναι υψηλή ( $>150^{\circ}\text{C}$ ), μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

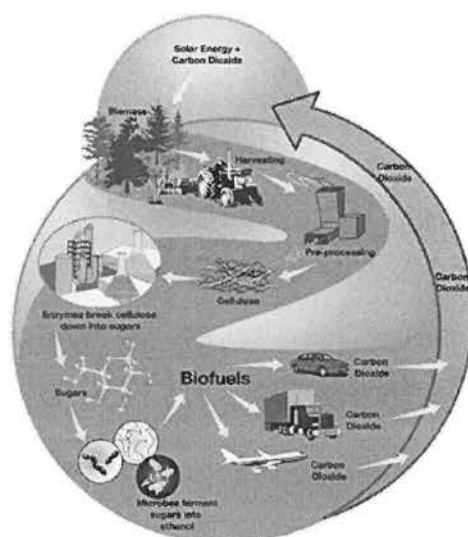


Σχήμα 1.5 Γεωθερμική ενέργεια στη Λεκάνη Σπερχειού

### 1.2.5 Βιομάζα

Η βιομάζα χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.

Η βιομάζα καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας και η καύση του αποτελεί, ουσιαστικά, ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να μη διαταράσσεται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον.



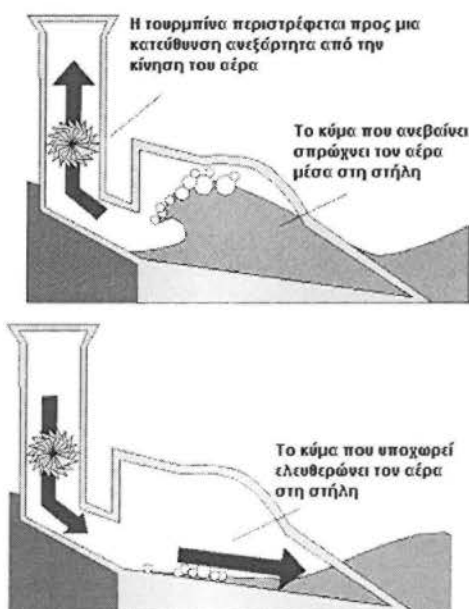
Σχήμα 1.6 Κύκλος διεργασίας βιομάζας

### 1.2.6 Ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκών κινήσεων και θαλασσίων ρευμάτων

Η ενέργεια από παλίρροιες εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.

Η ενέργεια από κύματα εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας. Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, όπου το ύψος των κυμάτων και η διάρκεια κυματισμού καθώς και η ταχύτητα των θαλασσίων ρευμάτων επιτρέπουν την ενεργειακή αξιοποίησή τους.

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, όπου το ύψος των κυμάτων και η διάρκεια κυματισμού καθώς και η ταχύτητα των θαλασσίων ρευμάτων επιτρέπουν την ενεργειακή αξιοποίησή τους.

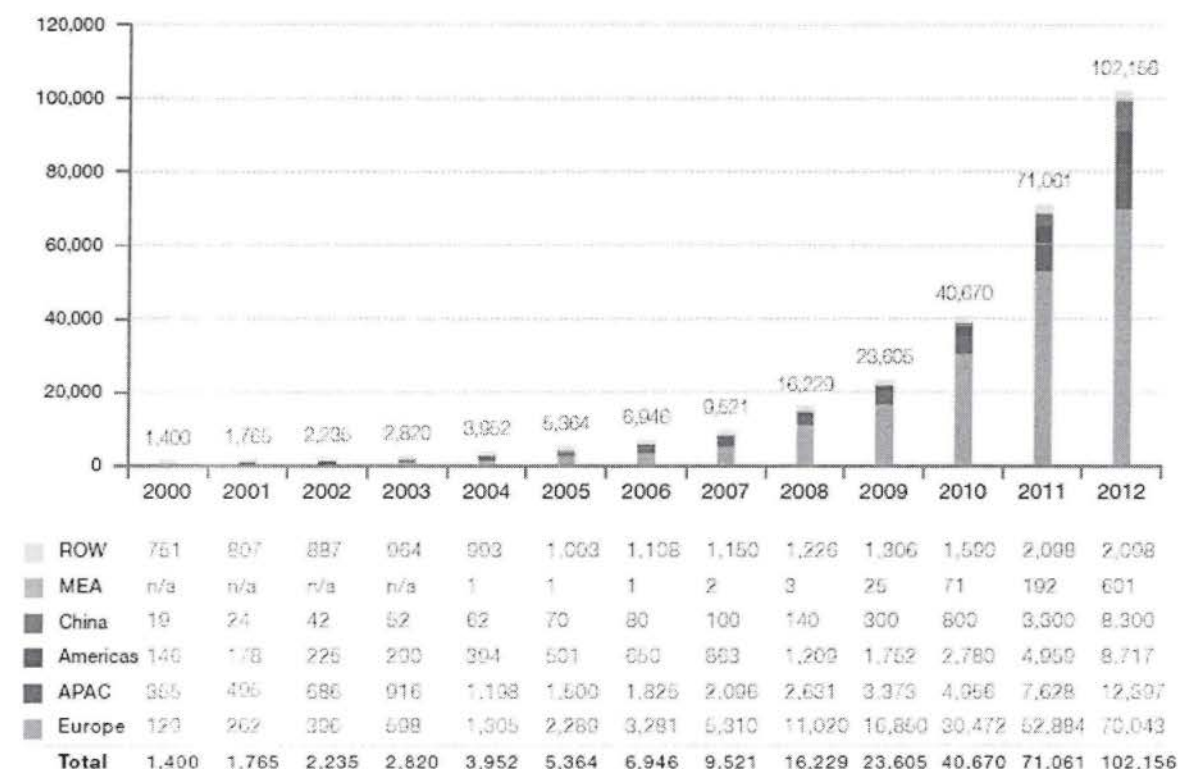


Σχήμα 1.7 Τουρμπίνα παραγωγής ηλεκτρισμού μέσω των κυμάτων



### 1.3 Ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων στην Ελληνική και παγκόσμια αγορά

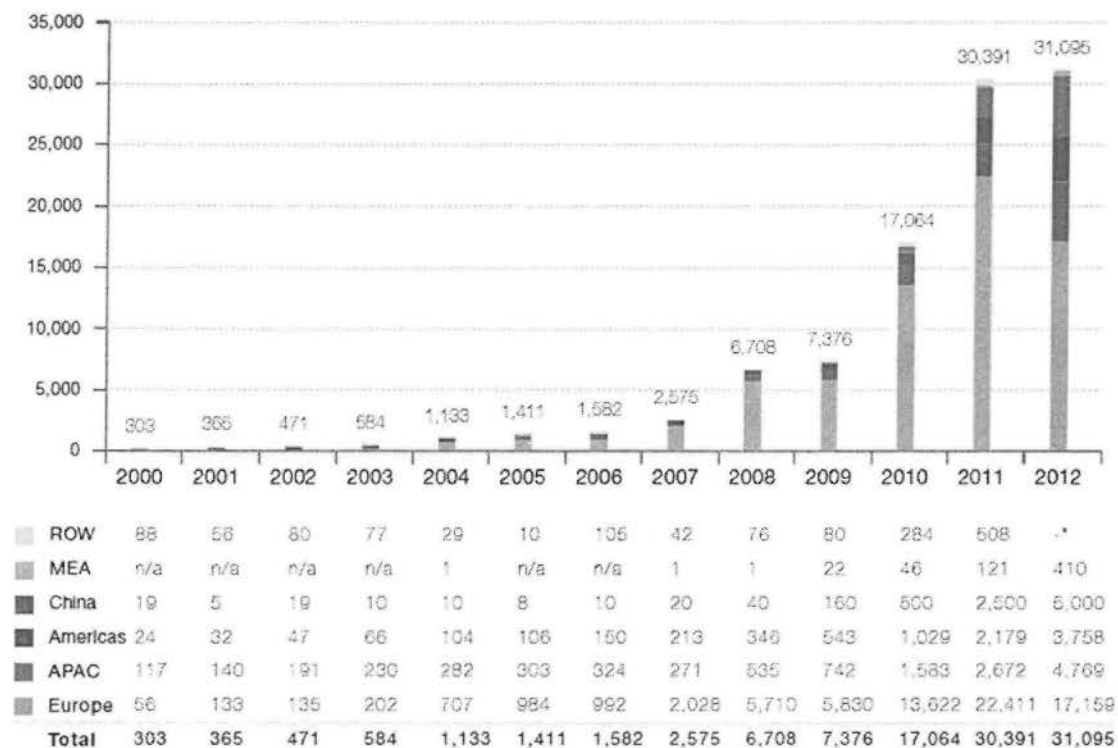
Το έτος 2012 ήταν άλλη μια σημαντική χρονιά για την ηλιακή φωτοβολταϊκή ( PV ) τεχνολογία, η οποία παρουσίασε αξιοσημείωτη ανάπτυξη κατά την τελευταία δεκαετία και είναι βρίσκεται στο δρόμο για να γίνει μια ώριμη και βασική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η Συνολική δυναμικότητα των φωτοβολταϊκών στον κόσμο ξεπέρασε το εντυπωσιακό 100 GW εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ. Αυτή η ικανότητα είναι ικανή να παράγει ετήσια ηλεκτρική ενέργεια όσο 16 μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα ή πυρηνικών αντιδραστήρων 1 GW η κάθε μία. Κάθε χρόνο, οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών αποτρέπουν την εκπομπή 53 εκατομμύριων τόνων CO<sub>2</sub>.



ROW: Rest of the World, MEA: Middle East and Africa, APAC: Asia Pacific.

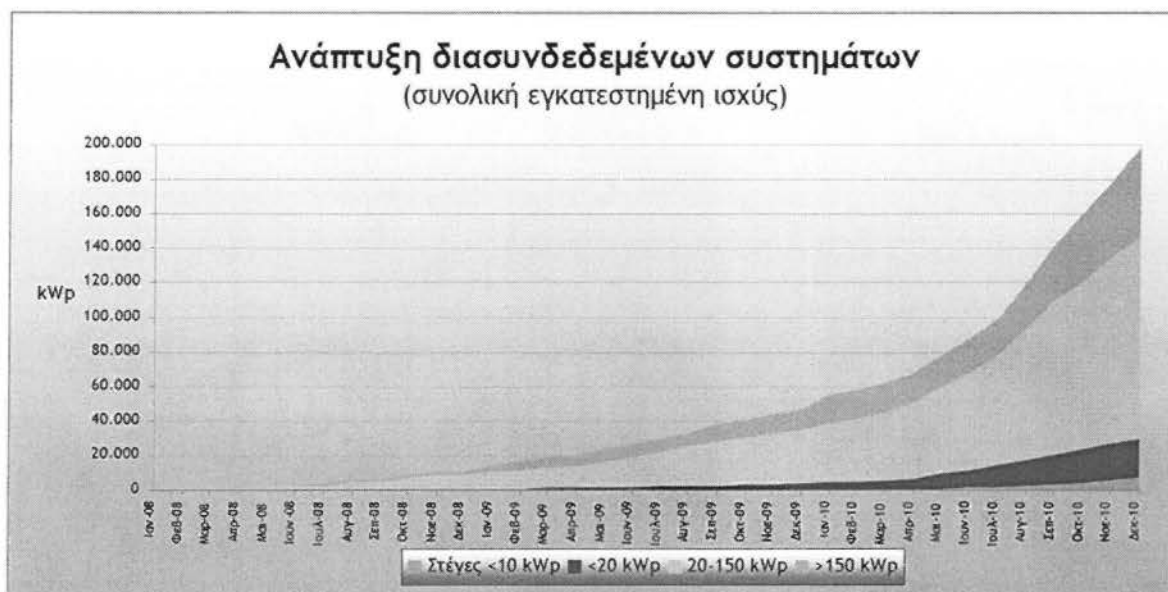
Σχήμα 1.8 : Εξέλιξη της παγκόσμιας συνολικής εγκατεστημένης ισχύς φ/β 2000-2012 (MW)

Τα στοιχεία παρουσιάζονται από το EPIA GlobalMarket -Μάρτιος του 2013



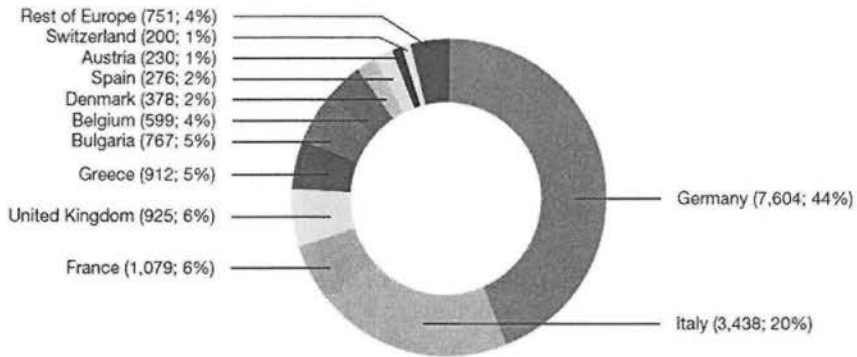
\* From 2012 onwards, these figures are directly integrated into those of the relevant regions.

Σχήμα 1.9: Εξέλιξη της παγκόσμιας ετήσιας εγκατεστημένης ισχύς φ/β 2000-2012 (MW)

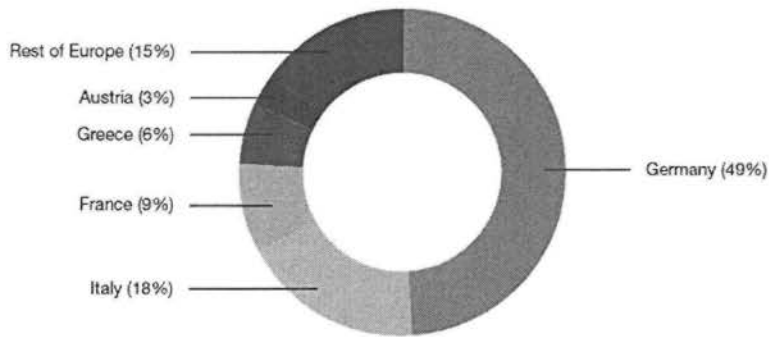


Σχήμα 1.10 : Συνολική εγκατεστημένη ισχύς φ/β στην Ελλάδα ,2008-2010 (MW)

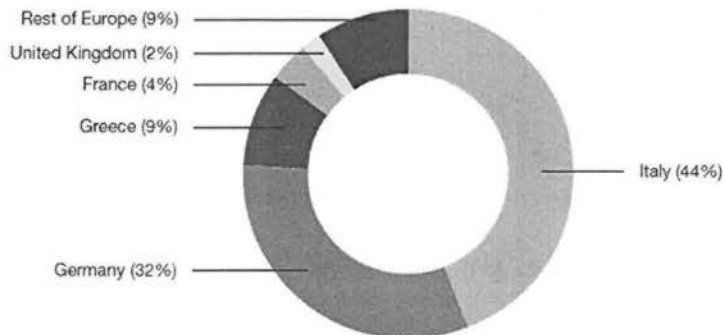
Η Ελλάδα το 2012 εγκατέστησε σχεδόν 1 GW (912 MW). Συγκεκριμένα, εγκαταστάθηκαν 912 νέα μεγαβάτ (MW) φωτοβολταϊκών το 2012 ή αντίστοιχα το 88% όλης της νέας ισχύος ΑΠΕ που προστέθηκε τη χρονιά που πέρασε. Επίσης σημαντικό είναι ότι το 19,4% της νέας ισχύος εγκαταστάθηκε σε οικιακά φωτοβολταϊκά σε στέγες.



Σχήμα 1.11:Ευρωπαϊκή αγορά 2012 (MW)%



Σχήμα 1.12: Οι 5 πρώτες ευρωπαϊκές εμπορικές αγορές Φ/Β το 2012 (MW)%



Σχήμα 1.13:Οι 5 πρώτες ευρωπαϊκές βιομηχανικές αγορές Φ/Β το 2012 (MW)%

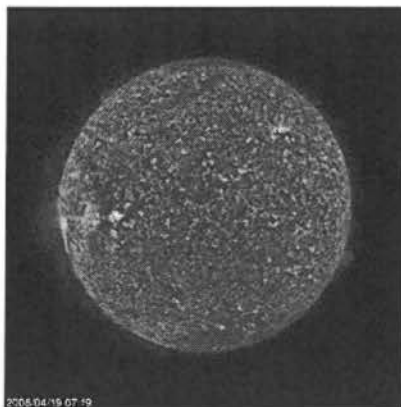
## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ”

#### 2.1 Ο ήλιος σαν πηγή ενέργειας

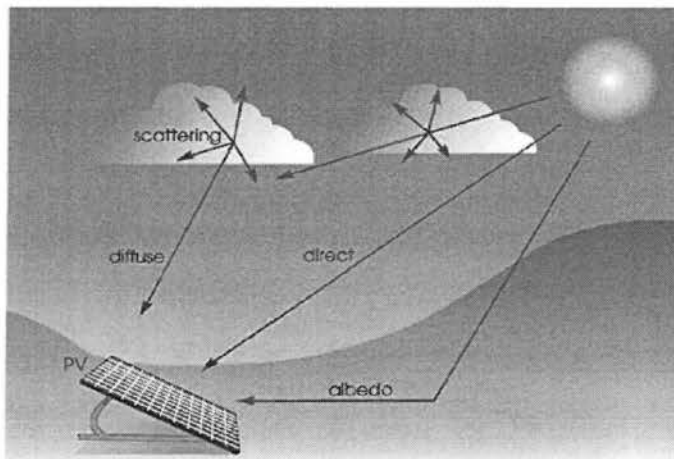
Ο ήλιος μας προμηθεύει ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας και χωρίς αυτή η ζωή στη γη δεν θα μπορούσε να υπάρξει. Η ενέργεια που παράγεται στο πυρήνα του ήλιου οφείλεται, στην σύντηξη ατόμων υδρογόνου σε άτομα ηλίου και μέρος της μάζας υδρογόνου μετατρέπεται σε ενέργεια, με άλλα λόγια ο ήλιος είναι σαν ένας τεράστιος πυρηνικός αντιδραστήρας σύντηξης. Η γη δέχεται ένα μικρό μέρος αυτής της ηλιακής ενέργειας λόγω της μεγάλης απόστασης που έχει (μέση απόσταση  $1,495 \cdot 10^{11} \text{m}$ ), παρόλα αυτά όμως η ποσότητα ενέργειας που φτάνει στη γη ισοδυναμεί με 10.000 φορές τις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα της γης εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ του ήλιου και της γης. Η απόσταση αυτή μεταβάλλεται περιοδικά (επειδή η τροχιά της γης είναι ελλειπτική) κατά την διάρκεια του έτους, μεταξύ της μέγιστης ( $1.52 \times 10^8 \text{km}$ ) και της ελάχιστης ( $1.47 \times 10^8 \text{km}$ ) τιμής της, που ονομάζεται αφήλιο και παρήλιο αντίστοιχα. Σαν μέση απόσταση γης - ηλίου ορίζουμε την αστρονομική μονάδα AU (Astronomical Unit), η οποία ισούται με  $1.495 \cdot 10^{11} \text{m}$ . Η μέση τιμή ηλιακής σταθεράς είναι  $E = 1367 \text{ W/m}^2$ .



Σχήμα 2.1 Ο ήλιος

Αυτά τα επίπεδα ακτινοβολίας όμως δεν καταφέρνουν να φτάσουν στα επιφάνεια της γης και αυτό γιατί η ατμόσφαιρα μειώνει την ακτινοβολία μέσα από την αντανάκλαση, την διάχυση και την σκέδαση. Για καθαρή ατμόσφαιρα και κάθετες ηλιακές ακτίνες ,το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει απ' ευθείας στην επιφάνεια της γης είναι γύρω στο 72%, εκτός από αυτό άλλο ένα 7% φτάνει στην επιφάνεια από διάχυση στα σωματίδια της ατμόσφαιρας, ενώ ένα 18% απορροφάται από το όζον, τους υδρατμούς, τον αέρα και την σκόνη και το υπόλοιπο 3% επιστρέφει πίσω στο διάστημα.



Σχήμα 2.2 Ακτινοβολία του ήλιου προς τα πλαίσια μέσα από την γήινη ατμόσφαιρα.

Η άμεση (Direct) ακτινοβολία που δέχεται η οριζόντια επιφάνεια εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών.

Η διάχυτη (Diffuse) ακτινοβολία που δέχεται ένα πλαίσιο με κλίση, προέρχεται από τον ουράνιο θόλο που βλέπει το πλαίσιο.

Η ανακλώμενη (Albedo) ακτινοβολία προέρχεται από ένα από ένα μέρος του εδάφους της γύρω περιοχής και εξαρτάται από το είδος του εδάφους.

Το άθροισμα της άμεσης, της διάχυτης και της ανακλώμενης ακτινοβολίας μας δίνει την ολική ακτινοβολία που δέχεται το οριζόντιο ή το κεκλιμένο επίπεδο πλαισίου ή συλλέκτη.

## 2.2 Ηλιακή γεωμετρία

Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι των οποίων είναι η σχετική θέση της γης ως προς τον ήλιο (χαρακτηριστική ημέρα του χρόνου και εποχή) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών πάνω στη γη. Κατά τη διάρκεια μιας χρονιάς, η γη κάνει μία περιφορά γύρω από τον ήλιο και η θέση του ήλιου παίρνει διαφορετικές τιμές σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης ( $\delta$ ).

Απόκλιση του ήλιου ( $\delta$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει τα κέντρα γης –ήλιου και του ισημερινού της γης και οι τιμές της γωνίας ( $\delta$ ) κυμαίνονται από  $-23,27''$  μέχρι  $23,27''$ , είναι διαφορετική για κάθε ημέρα του χρόνου και υπολογίζεται από την σχέση :

$$\delta = 23,45 * \sin\left(360 \frac{284 + \nu}{365}\right)$$

Όπου  $\nu$  είναι η χαρακτηριστικός αριθμός της ημέρας του έτους.

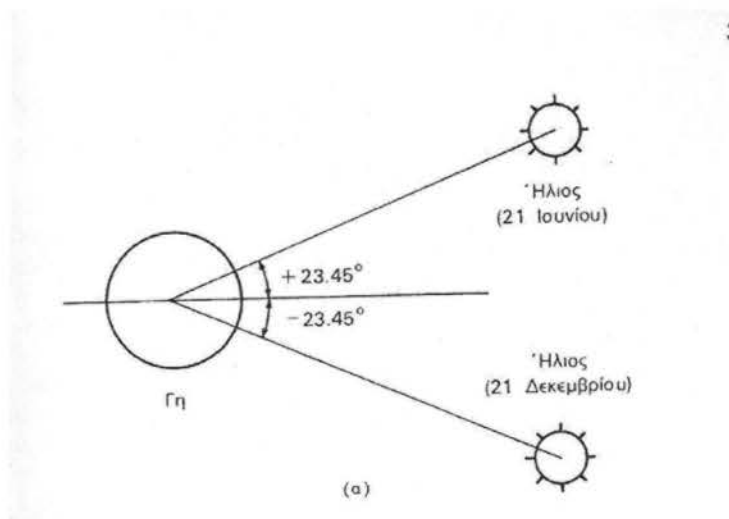
Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες τιμές είναι  $+23.45^\circ$  στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και  $-23.45^\circ$  στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του ηλίου κατά την διάρκεια του έτους είναι ότι οι κυκλικές τροχιές διαγράφονται βορειότερα στον ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ τον χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. Παράλληλα, διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις διάφορες εποχές του έτους. Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για την γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε έναν τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή έως την δύση του ηλίου, η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει τον μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα, ο αριθμός των ημερών με ηλιοφάνεια, στην διάρκεια των

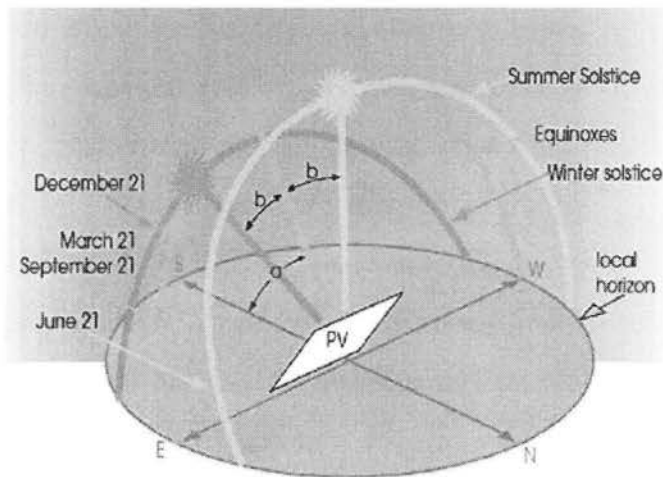
οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται καθόλου από σύννεφα, καθώς και των ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας.

Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες: το ύψος και το αζιμούθιο. Το ύψος του ήλιου ( $h$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα (σχήμα 2.3). Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική της γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ηλίου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση ή ζενιθιακή γωνία του ήλιου. Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου.

Η δεύτερη χαρακτηριστική γωνία του ηλίου, το ηλιακό αζιμούθιο ( $\gamma_s$ ), είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ηλίου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Προς τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές και προς τα αριστερά αρνητικές. Κατά την διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό.



Σχήμα 2.3 Ακραία απόκλιση του ηλίου κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο.



Σχήμα 2.4 Ύψος του ήλιου για διαφορετικές τιμές  $\delta$ .

- Γεωγραφικό πλάτος του τόπου ( $\phi$ ) : Είναι η απόσταση σε μοίρες ενός τόπου από τον ισημερινό της γης. Η γωνία  $\phi$  κυμαίνεται από  $0^\circ$  στη θέση του ισημερινού και  $90^\circ$  ή  $-90^\circ$  στη θέση βόρειου και νότιου πόλου αντίστοιχα. Άρα το γεωγραφικό πλάτος έχει θετικές τιμές για το βόρειο και αρνητικές για το νότιο ημισφαίριο.
- Γεωγραφικό μήκος του τόπου ( $\lambda$ ) : Είναι η απόσταση σε μοίρες ενός τόπου από τον μεσημβρινό του Greenwich. Η γωνία  $\lambda$  κυμαίνεται από  $0^\circ$  στη θέση του πρώτου μεσημβρινού μέχρι  $180^\circ$  ανατολικά και από  $0^\circ$  μέχρι  $180^\circ$  δυτικά. Συνολικά η γη είναι χωρισμένη σε 24 μεσημβρινούς και ανάμεσα σε δύο μεσημβρινούς έχουμε απόσταση ίση με  $15^\circ$  που αντιστοιχούν σε διάστημα μίας ώρας ( $h=1$ ).
- Ωριαία γωνία ( $\omega$ ) : Είναι η γωνία ανάμεσα στον μεσημβρινό του τόπου και της θέσης του ήλιου (γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του μεσημβρινού).
- Αζιμουθιακή γωνία επιφάνειας του συλλέκτη ( $\gamma$ ) : Είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Όταν ο συλλέκτης είναι προσανατολισμένος ακριβώς στο νότο, η γωνία



$\gamma$  είναι ίση με μηδέν ( $\gamma=0$ ). Η γωνία  $\gamma$  ανατολικά είναι αρνητική με τιμές από 0 μέχρι  $-180^\circ$  και δυτικά θετική από 0 μέχρι  $180^\circ$ .

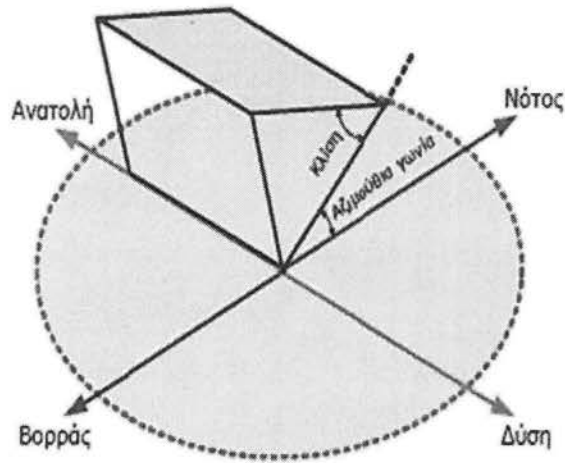
- Κλίση επιφάνειας συλλέκτη ως προς ο οριζόντιο επίπεδο ( $\beta$ ) : Είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην επιφάνεια του συλλέκτη και το οριζόντιο επίπεδο.

### 2.3 Ο προσανατολισμός του συλλέκτη

Η ακριβής θέση της πορείας του ήλιου είναι σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό των τιμών της ακτινοβολίας και της τελικής απόδοσης του  $\phi/\beta$  συστήματος. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επιπέδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες: την κλίση και την αζιμούθια γωνία (σχήμα 2.5). Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ) είναι η δίεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα. Δείχνει πόσο γέρνει ο συλλέκτης και μπορεί να πάρει τιμές από  $0^\circ$  έως  $180^\circ$ . Για γωνίες  $\beta > 90^\circ$  το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω.

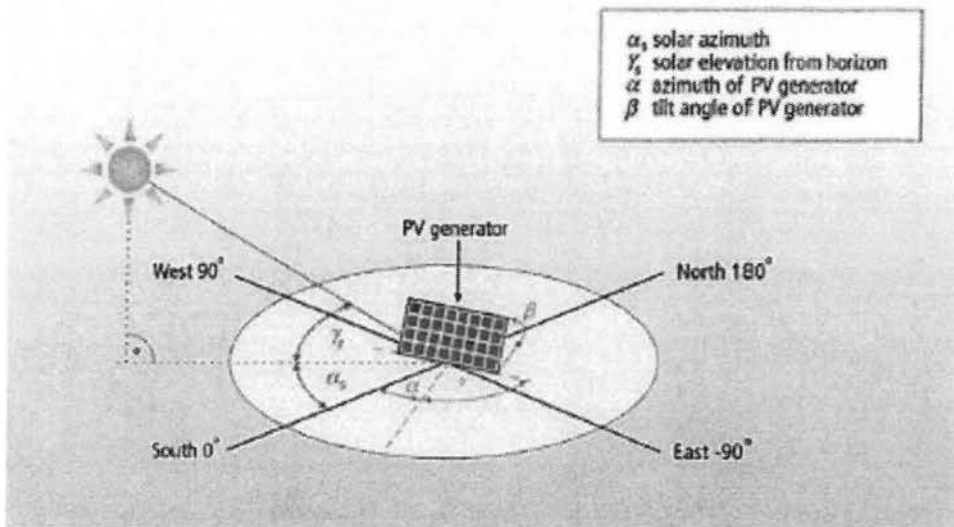
- Αζιμουθιακή γωνία επιφάνειας του συλλέκτη ( $\gamma$ ) : Είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Όταν ο συλλέκτης είναι προσανατολισμένος ακριβώς στο νότο, η γωνία  $\gamma$  είναι ίση με μηδέν ( $\gamma=0$ ). Η γωνία  $\gamma$  ανατολικά είναι αρνητική με τιμές από 0 μέχρι  $-180^\circ$  και δυτικά θετική από 0 μέχρι  $180^\circ$ .

Η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο πλαίσιο ή συλλέκτη εξαρτάται και από τον τόπο και από την εποχή και από την ώρα της ημέρας. Αυτό είναι αποτέλεσμα της συνεχούς μεταβολής του ζενίθ του ήλιου, δηλαδή της γωνίας ( $\theta_z$ ) που σχηματίζουν οι ακτίνες του ήλιου με τη κατακόρυφη ευθεία στο οριζόντιο επίπεδο, πλαίσιο ή συλλέκτη.



Σχήμα 2.5 Οι γωνίες του ύψους  $h$  και του αζιμούθιου  $\gamma$  που περιγράφουν κάθε στιγμή την θέση του ήλιου στον ουρανό.

Depiction of angles in solar techniques



Σχήμα 2.6 Η κλίση ( $\beta$ ) και η αζιμούθια γωνία ( $\gamma$ ) που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη στην επιφάνεια της γης.

## 2.4 Η βέλτιστη κλίση

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι  $\phi/\beta$  συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη κατά την διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας με την σχέση:

$$\cos \theta = \cos(\varphi - \beta) * \cos \delta * \cos \omega + \sin(\varphi - \delta) * \sin \delta$$

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για την διάρκεια ολόκληρου του έτους, είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου (γεωγραφικό πλάτος  $\phi$ ), και η αζιμούθια γωνία είναι  $0^\circ$  (προς νότο). Ωστόσο, εξ' αιτίας της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου κατά την διάρκεια του έτους η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή (σχήμα 2.6).

Έτσι αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στην διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου  $10^\circ$ - $15^\circ$  μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, ενώ για τον χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου  $10^\circ$ - $15^\circ$  μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Τα παραπάνω ισχύουν για την συλλογή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται σαν δέσμη από τον ήλιο. Για τις άλλες, από ενεργειακή άποψη λιγότερο σημαντικές, μορφές της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από την θέση του ήλιου. Έτσι, όσο η κλίση του συλλέκτη απέχει περισσότερο από το οριζόντιο, τόσο μεγαλύτερο ποσό ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο μικρότερο ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό. Για παράδειγμα, σε περιοχές με υγρό κλίμα, όπου λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για την διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου  $10$  - $15\%$  μικρότερη από την γωνία του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Έτσι, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα την διάχυτη ακτινοβολία. Η ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης εκφράζεται από ένα συντελεστή που κυμαίνεται από  $0$ , για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι  $1$ , για πλήρη ανάκλαση. Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή ανάκλασης για ορισμένα από τα είδη επιφανειών που συμβαίνει να έχει το περιβάλλον στις περιοχές, όπου τοποθετούνται ηλιακοί συλλέκτες.

α/α	Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης (ρ)
1	Καθαρό (φρέσκο) χιόνι	0,80 – 0,95
2	Βρώμικο (παλιό) χιόνι	0,40 – 0,70
3	Πάγος	0,20 – 0,40
4	Ήρεμη θάλασσα	0,03 – 0,30
5	Άμμος	0,20 – 0,45
6	Γρασίδι	0,15 – 0,25
7	Δάσος	0,15 – 0,20
8	Τσιμέντο	0,10 – 0,35
9	Άσφαλτος	0,05 – 0,20

Πίνακας 2.1

## 2.5 Ροή και ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

Κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα τροφοδοτείται με ηλιακή ενέργεια και παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Ένα βασικό, όμως, μειονέκτημα του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι, σε αντίθεση με πολλά άλλα συστήματα μετατροπής, η τροφοδοσία του δεν είναι καθόλου σταθερή αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής, ακολουθώντας συχνά απρόβλεπτες και απότομες διακυμάνσεις. Το ποσό της ενέργειας που περιέχεται στο φως του ήλιου ονομάζεται συνήθως ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε αυστηρότερη ορολογία, το μέγεθος που χαρακτηρίζει την ποσότητα της ενέργειας, την οποία μεταφέρει σε έναν τόπο μια ακτινοβολία που μεταδίδεται προς μια κατεύθυνση στον χώρο, ονομάζεται ροή ακτινοβολίας (H). Ορίζεται, συγκεκριμένα, ως το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στην μονάδα του χρόνου από την μονάδα του εμβαδού μιας επιφάνειας, τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Η ροή της ακτινοβολίας εκφράζεται σε  $\text{kW/m}^2$ .

### 2.5.1 Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στο σχήμα 2.8 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.

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 (σχήμα 2.9).

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 2.10. 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. 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 (σχήμα 1.7).

### 2.5.2 Η ηλιακή σταθερά

Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στην μέση απόσταση γης - ηλίου, ενός ηλιακού συστήματος ονομάζεται ηλιακή σταθερά του συγκεκριμένου πλανήτη ( $G_{sc}$ ). Στην πραγματικότητα, η ηλιακή σταθερά είναι η ηλιακή ενέργεια που λαμβάνεται ανά μονάδα επιφάνειας σε επιφάνεια κάθετη στην διεύθυνση διαδόσεως της ακτινοβολίας, κατά την μέση απόσταση γης - ηλίου στο όριο της ατμόσφαιρας. Στην περίπτωση του ηλιακού μας συστήματος, η ηλιακή σταθερά για την γη ορίζεται σε απόσταση 1 AU από τον ήλιο και ισούται με  $1367 \text{ W/m}^2$ , όπως έχει προκύψει από πρόσφατες μετρήσεις. Η μεταβολή της αποστάσεως γης - ηλίου οδηγεί σε εξάρτηση της ακτινοβολίας από την ημέρα του έτους κατά την σχέση:

$$G_{on} = G_{sc} * \left( 1 + 0,033 * \cos \frac{360n}{365} \right)$$

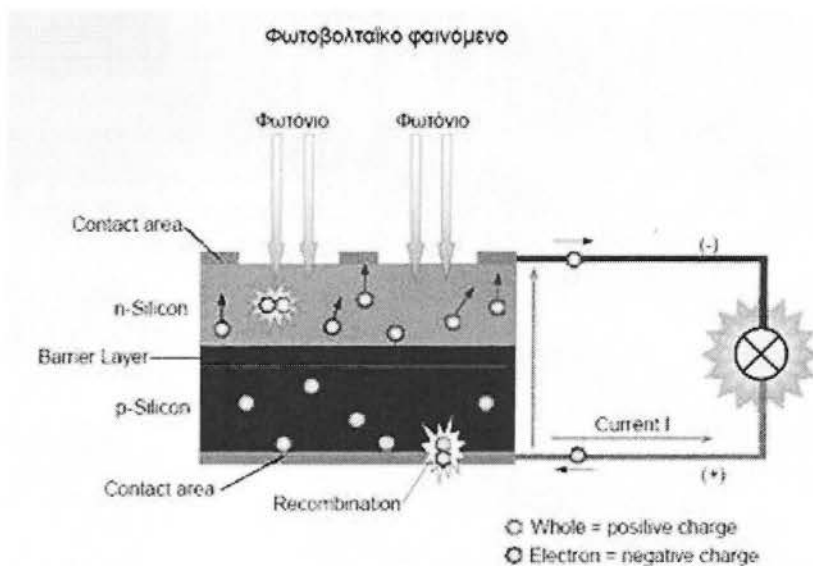
Όπου  $G_{on}$ : η ακτινοβολία στο όριο της ατμόσφαιρας, σε κάθετο επίπεδο κατά την  $n$ -οστή ημέρα του έτους

## 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο

### “ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ”

#### 3.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

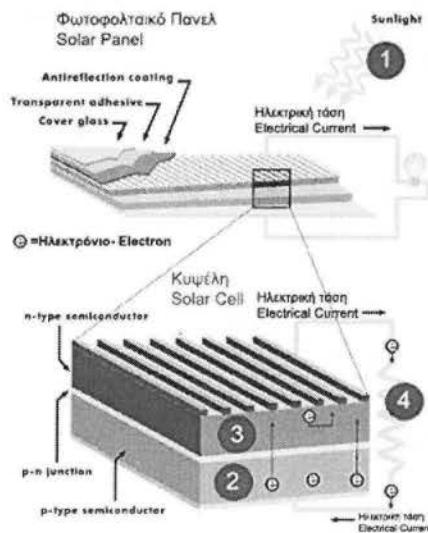
Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία βασίζεται στην άμεση μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της χρήσης των φωτοβολταϊκών κυψελών. Ημιαγωγή όπως το πυρίτιο, το αρσενικούχο γάλλιο, το κάδμιο τελλουριούχο ή σεληνιούχο γάλλιο, είναι μερικά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλιακών κυψελών. Τα στοιχεία αυτά είναι δίοδοι ημιαγωγών σε μορφή δίσκου που όταν δέχονται στην επιφάνεια τους ηλιακή ακτινοβολία εκδηλώνουν μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο πλευρές τους όπου ανάλογα με το υλικό κατασκευής του και την ένταση ακτινοβολίας που δέχεται ένα ηλιακό κύτταρο μπορεί να δώσει τάση 0,5 – 1,0 V και πυκνότητα ρεύματος 20 – 40 mA ανά εκατοστό της επιφάνειας του.



Σχήμα 3.1 Διαδικασία Φωτοβολταϊκού φαινομένου.

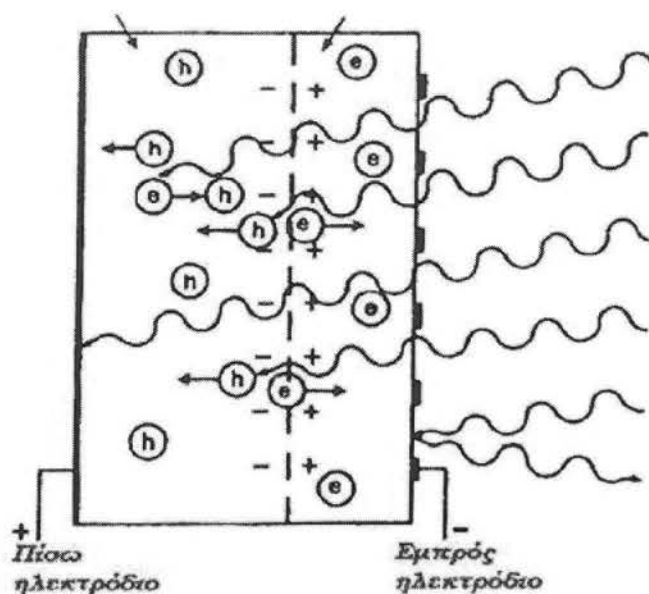
### 3.2 Το φωτοβολταϊκό στοιχείο

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από κρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου. Συγκεκριμένα πρόκειται για την επαφή ενός λεπτού στρώματος ημιαγωγού Si τύπου n και ενός παχύτερου στρώματος ημιαγωγού Si τύπου p που αποτελεί τη βάση του στοιχείου. (Οι ημιαγωγοί τύπου p και n κατασκευάζονται νοθεύοντας το πυρίτιο με Βόριο (B) η Φωσφόρο (Ph) αντίστοιχα. Ο ημιαγωγός πυριτίου τύπου p έχει καλύτερης ποιότητας κρύσταλλο από τον τύπου n για την ίδια συγκέντρωση προσμίξεων γι' αυτό το τοποθετείται στην πλευρά του φωτοβολταϊκού όπου δεν προσπίπτει η φωτεινή ακτινοβολία. Στην εμπρόσθια και την οπίσθια όψη του φωτοβολταϊκού στοιχείου, κατασκευάζονται μεταλλικές επαφές (αρνητικό και θετικό ηλεκτρόδιο αντίστοιχα) , οι οποίες συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα κατά την τοποθέτηση των στοιχείων στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, ενώ η εμπρόσθια όψη είναι καλυμμένη με αντανακλαστικό επίστρωμα, για μέγιστη απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και από διαφανές προστατευτικό υλικό, γυαλί ή πλαστικό. Στο στρώμα τύπου n υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια ενώ στο στρώμα τύπου p οπές. Οπότε, όταν τα αρχικά ηλεκτρικώς ουδέτερα στρώματα ημιαγωγών ενωθούν, ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό τύπου n μεταφέρονται στον ημιαγωγό τύπου p επανασυνδεόμενα με τις οπές. Το αποτέλεσμα είναι στην περιοχή της ένωσης να δημιουργείται διαφορά δυναμικού όπως στο σχήμα.



Σχήμα 3.2 Διαδικασία Φωτοβολταϊκού φαινομένου.





Σχήμα 3.3

Κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στο φ/β στοιχείο, κάθε φωτόνιο που διαθέτει ενέργεια μεγαλύτερη του ενεργειακού διακένου του πυριτίου Si (1,1eV) μπορεί να απορροφηθεί από ένα άτομο πυριτίου, δημιουργώντας ένα ζεύγος οπής-ηλεκτρονίου. Αν αυτοί οι φορείς βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n διαχωρίζονται υπό την επίδραση του δυναμικού, με το ηλεκτρόνιο κατευθυνόμενο στον ημιαγωγό τύπου n και την οπή στον ημιαγωγό τύπου p. Η μέγιστη ισχύς του φωτοβολταϊκού στοιχείου προσδιορίζεται από τη γραφική παράσταση I-V. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός φ/β πλαισίου είναι η μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς που ονομάζεται ισχύς αιχμής  $P_p(W_p)$  ή *peak power*. Αυτό προσδιορίζεται για ένταση ηλιακής ακτινοβολίας  $1\text{kW/m}^2$  και θερμοκρασία στοιχείου  $25^\circ\text{C}$ . Συνήθως, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία η αποδιδόμενη ισχύς μειώνεται κατά 0,4% για κάθε βαθμό Κελσίου πάνω από τους  $25^\circ\text{C}$ .

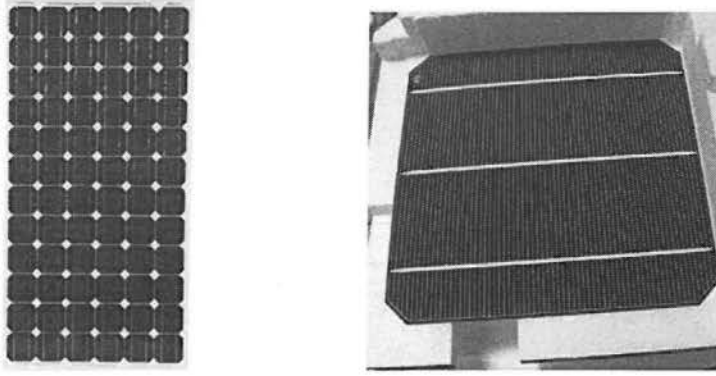
### 3.3 Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια

το Φ/Β πλαίσιο (PV module) απαρτίζεται από πολλά Φ/Β στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους και αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της Φ/Β γεννήτριας. Τα πλαίσια έχουν τυπική ισχύ από 20W έως 300W. Τα Φ/Β πλαίσια συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (strings). Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από δίσκους πυριτίου κατάλληλα επεξεργασμένους, η οποίοι βρίσκονται σφραγισμένοι σε πλαστική ύλη για την προστασία τους από τις καιρικές συνθήκες εσωτερικά στοιχεία τους είναι συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα με την τάση και την ένταση τους, η μπροστινή όψη του πλαισίου προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί, το εξωτερικό του πλαίσιο αποτελείται από αλουμίνιο ενώ η κατασκευή τους δεν ξεπερνά τα 50 χιλιοστά. Η συντήρηση τους είναι σχεδόν μηδενική και η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται στα 25 με 30 χρόνια. Τα Φ/Β πλαίσια πυριτίου διακρίνονται σε μονοκρυσταλλικά με απόδοση 15% και υψηλό κόστος, σε πολυκρυσταλλικά με απόδοση 12% και λιγότερο κόστος και άμορφα με απόδοση 10% και με το χαμηλότερο κόστος από τα άλλα δύο.

#### 3.3.1 Τύποι φ/β πλαισίων

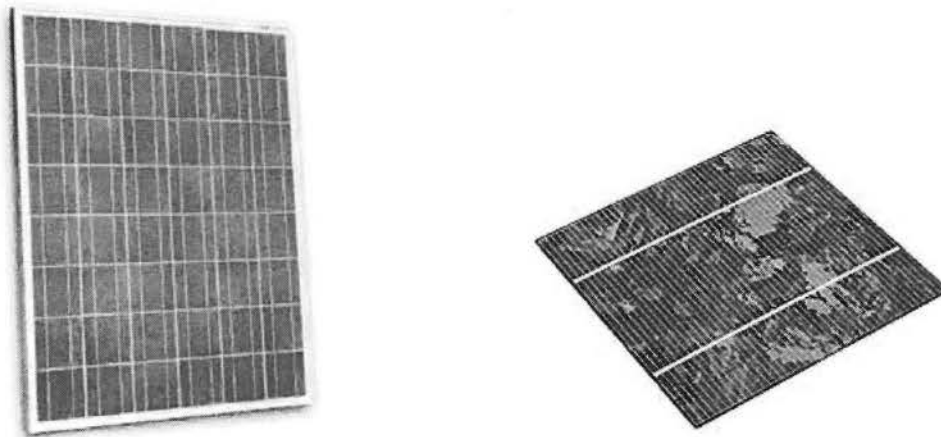
Τα Φ/Β πλαίσια πυριτίου διακρίνονται σε :

Τα Μονοκρυσταλλικά πλαίσια αποτελούνται από πυρίτιο υψηλής καθαρότητας με αδιάσπαστη και συνεχή (ενιαία) δομή κρυστάλλου. Τα μονοκρυσταλλικά δίσκια κόβονται σε φέτες πάχους μισού χιλιοστού, από μια ράβδο ημιαγωγού, συνήθως πυριτίου και έχει προέλθει από διαδικασία χύτευσης στους 1400 βαθμούς. Αυτού του είδους τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από μεγάλη απόδοση (15% - 21% περίπου) άλλα και μεγάλο κόστος κατασκευής.



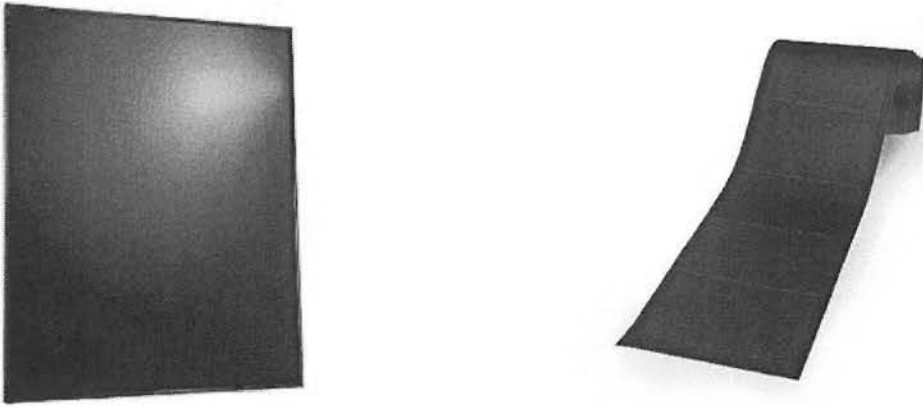
Σχήμα 3.4 Μονοκρυσταλλικό πλαίσιο και κύταρο.

Τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια αποτελούνται από μικρά κρύσταλλα πυριτίου και τα πολυκρυσταλλικά δισκία δεν παρασκευάζονται με χύτευση και έχουν μικρότερη απόδοση από τα μονοκρυσταλλικά (12% - 15% περίπου) με χαμηλότερο όμως κόστος κατασκευής.



Σχήμα 3.5 Πολυκρυσταλλικό πλαίσιο και κύταρο.

Μια Τρίτη τεχνολογία κατασκευής παράγει λεπτές μεμβράνες από εναπόθεση πυριτίου πάνω σε υπόστρωμα γυαλιού, τα πλαίσια άμορφου πυριτίου είναι μια από τις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης (Thin film technology) η οποία δεν έχει κρυσταλλική δομή και το πάχος του είναι ιδιαίτερα μικρό (2-3  $\mu\text{m}$ ). Η απόδοση τους είναι σχετικά καλή (10% περίπου) και το κόστος κατασκευής είναι χαμηλό. Επίσης χαρακτηρίζονται από την δυνατότητα δημιουργίας φωτοβολταϊκών στοιχείων συνεχούς κάλυψης μεγάλων επιφανειών.



Σχήμα 3.6 πλαίσια άμορφού πυριτίου .

### 3.3.2 Τρόποι σύνδεσης φ/β πλαισίων

Ανάλογα με την ισχύ που θέλουμε να επιτύχουμε, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (panels) μπορούν να συνδεθούν σε σειρά, παράλληλα ή σε μεικτή συνδεσμολογία.

Η σύνδεση σε σειρά δύο ή και περισσότερων Φ/Β πλαισίων αυξάνει την τάση στους τελικούς ακροδέκτες του και έχουμε ένα σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοικτού κυκλώματος ( $V_{toc} = n \cdot V_{oc}$ ) . Το ρεύμα του συστήματος (μέγιστο ή βραχυκύκλωσης) είναι ίσο με αυτό του ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ( $I_{tsc} = I_{sc}$  και  $I_{tm} = I_m$ ).

Η σύνδεση παράλληλα δύο ή και περισσότερων Φ/Β πλαισίων αυξάνει την ένταση στους τελικούς ακροδέκτες του και έχουμε ένα σύστημα με ρεύμα (βραχυκύκλωσης ή μέγιστο) που ισούται με  $n$  φορές το ρεύμα (βραχυκύκλωσης ή μέγιστο) του ενός πλαισίου ( $I_{tsc} = n \cdot I_{sc}$  και  $I_{tm} = n \cdot I_m$ ). Η τάση του συστήματος είναι ίδια με την τάση του ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ( $V_{toc} = V_{oc}$ ) .

Η σύνδεση σε σειρά ή παράλληλα πολλών Φ/Β πλαισίων ή panels, σε μία επίπεδη συνήθως επιφάνεια αυξάνει πολύ την τάση και την ένταση στους τελικούς ακροδέκτες του συγκροτήματος, και ονομάζεται στην περίπτωση αυτή φωτοβολταϊκή συστοιχία (array).

Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών συστοιχιών, κατάλληλα συνδεδεμένων (σε σειρά, παράλληλα ή μεικτά) ανάλογα με την επιθυμητή τάση και ένταση στους τελικούς ακροδέκτες του συστήματος, ονομάζεται φωτοβολταϊκό συγκρότημα ή φωτοβολταϊκό πάρκο. Το φωτοβολταϊκό πάρκο μαζί με τις υπόλοιπες διατάξεις που απαιτούνται για τον έλεγχο της φόρτισης των συσσωρευτών και τη μετατροπή του παραγόμενου συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, αποτελούν το φωτοβολταϊκό σταθμό.

Επίσης για την προστασία των τμημάτων του συστήματος από την εκφόρτιση των συσσωρευτών, όταν το σύστημα των πλαισίων δεν παράγει τάση (κατά τη διάρκεια της νύχτας ή στη διάρκεια της ημέρας με πολύ συννεφιά), χρησιμοποιούνται δίοδοι αντεπιστροφής έτσι ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία ρευμάτων μέσα στους παράλληλους κλάδους. Τοποθετούμε διόδους αντεπιστροφής σε κάθε κλάδο και διόδους παράκαμψης σε κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο ενός κλάδου.

Τα καλώδια θα πρέπει να είναι ειδικού τύπου (κατάλληλα για εξωτερικό περιβάλλον), εύκαμπτα και στην αλλαγή διεύθυνσης θα γίνεται σωστή κάμψη. Οι εξωτερικές συνδέσεις των καλωδίων θα πρέπει να γίνονται με ειδικούς στεγανούς συνδετήρες ασφαλείας, ιδιαίτερα σε περιοχές που είναι προσβάσιμες σε παιδιά.

### 3.3.3 Απόδοση φωτοβολταϊκών στοιχείων

Ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου ισούται με το λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ( $P_{max}$ ) προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του  $S$  και δίνεται από την εξίσωση :

$$\eta_{\pi} = \frac{P_{\pi}(W)}{H \left( \frac{W}{m^2} \right) * S(m^2)} = \frac{E(kWh)}{\Pi \left( \frac{kWh}{m^2} \right) * S(m^2)}$$

Όπου  $\Pi$  είναι η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

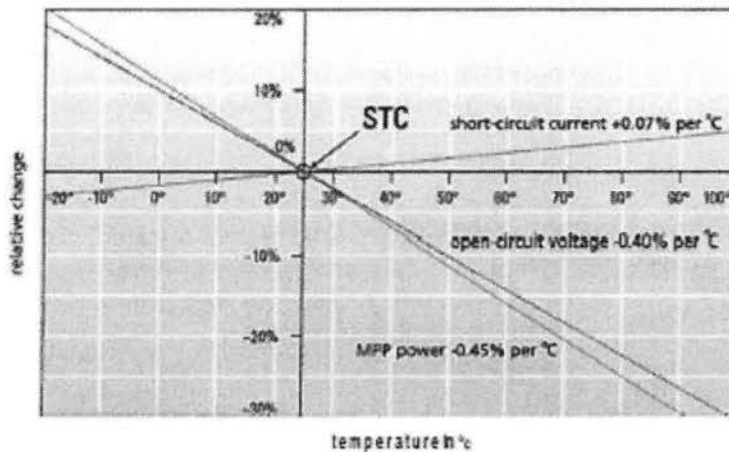
Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από την θερμοκρασία και ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αντιστοιχεί σε μια συμβατική θερμοκρασία (συνήθως 20°C), που στην ουσία διαφέρει αξιόλογα από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου, 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. 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:

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

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 3.7.



Σχήμα 3.7

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 επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από την θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στην γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των 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. Πάντως, σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως με

κλίση  $90^\circ$  (κάθετοι) για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού, ή τουλάχιστον  $45^\circ$  για να μην συγκρατείται η σκόνη.

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  $\eta_\pi$ , που δίνεται για συμβατική θερμοκρασία και καθαρή επιφάνεια, επί τους συντελεστές διόρθωσης για την θερμοκρασία  $\sigma_\theta$  και την ρύπανση  $\sigma_p$ . Τελικά, προκύπτει:

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

### 3.3.4 Η ισχύς αιχμής του Φωτοβολταϊκού πλαισίου

Η μέγιστη ισχύς του φωτοβολταϊκού στοιχείου προσδιορίζεται από τη γραφική παράσταση I-V.

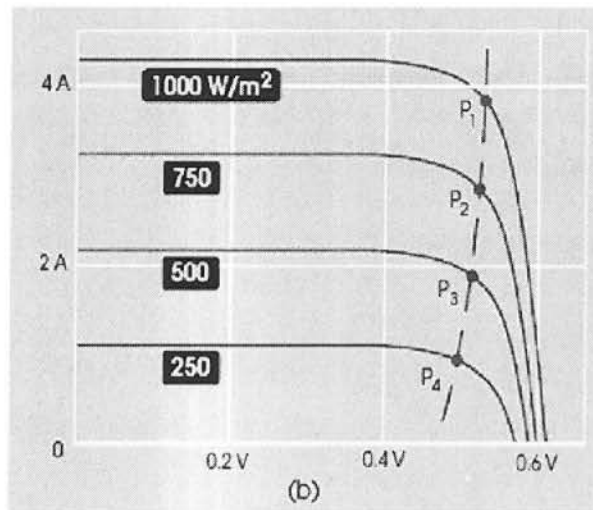
Συχνά, δεν είναι διαθέσιμα όλα τα λεπτομερειακά κατασκευαστικά δεδομένα και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων ( διαστάσεις, συντελεστής κάλυψης, συντελεστής απόδοσης των ηλιακών στοιχείων κλπ.), αλλά δίνεται μόνο μια ενδεικτική ισχύς αιχμής ( $P_a$ ), που αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1 ήλιου, δηλαδή  $1\text{kW/m}^2$ .

Η μονάδα ισχύος, που εκφράζει την ισχύ αιχμής ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, μιας ολόκληρης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ή και ενός ηλιακού στοιχείου, ονομάζεται βρατ αιχμής ( $W_p$ ). Δηλαδή, χρησιμοποιείται ο ίδιος όρος και συμβολισμός όπως και για το μέτρο της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Από τις προηγούμενες σχέσεις, είναι φανερό ότι:

$$P_a(kW_p) = 1 \left( \frac{kW}{m^2} \right) * S(m^2) * \eta_{\pi}$$

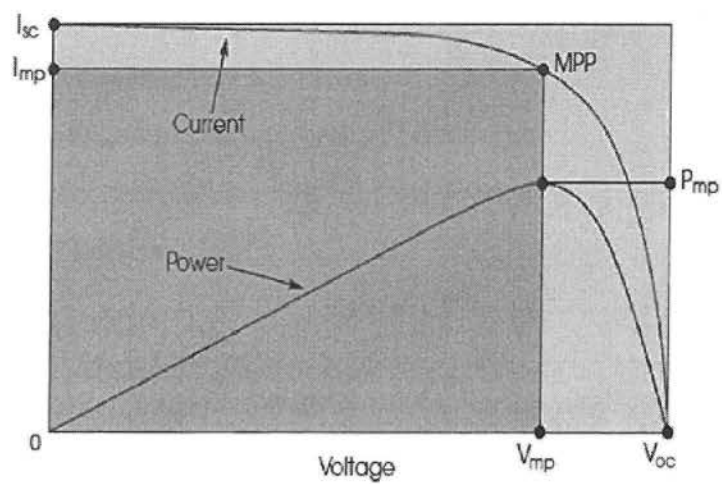
Έτσι, σε περίπτωση που γνωρίζουμε μόνο την ισχύ αιχμής  $P_a$ , για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου, χρησιμοποιούμε την σχέση:

$$E \left( \frac{kWh}{d} \right) = \Pi \left( \frac{Wh}{m^2 d} \right) * \frac{P_a(kW_p)}{1 \left( \frac{kW}{m^2} \right)} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho}$$



Σχήμα 3.8 Χαρακτηριστικές I-V από ένα ηλιακό κύταρο  $2W_p$ .





Σχήμα 3.9 Το ρεύμα και η ισχύς για στάνταρ συνθήκες.

## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ”

#### 4.1 Γενικά

Στα αυτόνομα συστήματα η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας κρίνεται απαραίτητη καθώς η παραγωγή της ενέργειας δεν συμπίπτει πάντοτε με τις ενεργειακές απαιτήσεις και την κατανάλωση αυτής. Η ηλιακή ενέργεια που παράγεται κατά την διάρκεια της ημέρας θα πρέπει να αποθηκεύεται προσωρινά ώστε να καταναλώνεται σε ώρες αιχμής, την νύχτα ή μέρες με μικρή ηλιοφάνεια (π.χ. συννεφιά). Τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα χρησιμοποιούν τους συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας με εξαίρεση τα συστήματα άντλησης νερού, όπου το νερό αντλείται όταν υπάρχει επαρκείς ηλιακή ενέργεια και αποθηκεύεται.

Ο πιο γνωστός τύπος μπαταρίας που χρησιμοποιείται ευρέως στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου, είναι αρκετά οικονομική και μπορούν να δεχτούν μεγάλα και μικρά ρεύματα φόρτισης με υψηλή απόδοση. Άλλη εμπορική τύποι συσσωρευτών είναι και οι νικελίου-καδμίου, νικελίου-υδριδίου μετάλλου και ιόντων λιθίου, αυτά όμως χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρές συσκευές λόγω κυρίως του μεγάλου κόστους. Οι απαιτήσεις για την χωρητικότητα των συσσωρευτών συνήθως κυμαίνονται από 0,1 kWh έως 100 kWh, όμως υπάρχουν και μεγάλα συστήματα όπου φτάνουν μέχρι και αρκετά MWh.

#### 4.2 Τύποι συσσωρευτών

συσσωρευτές μολύβδου

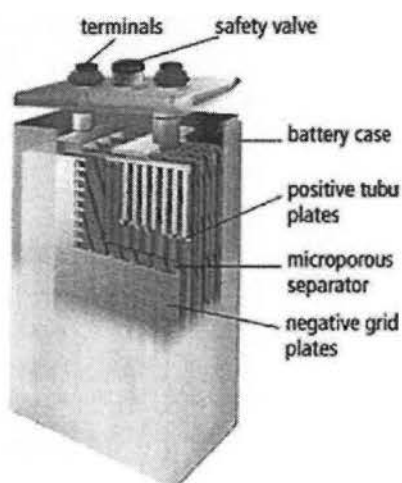
Η συσσωρευτές μολύβδου αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια από τα οποία το θετικό (κάθοδος) είναι κατασκευασμένο από διοξείδιο του μολύβδου ( $PbO_2$ ) και το αρνητικό (άνοδος) από μεταλλικό μόλυβδο ( $Pb$ ). Τα ηλεκτρόδια αυτά τοποθετούνται σε ειδικό

κιβώτιο το οποίο γεμίζεται με ηλεκτρολύτη (διάλυμα  $H_2SO_4$  20% ) σε μορφή ζελέ ή υδαρή. Όταν συνδέουμε μια πηγή συνεχούς ρεύματος στα άκρα των δυο ηλεκτροδίων τότε η κάθοδος καλύπτεται από ένα στρώμα υπεροξειδίου του μολύβδου και η επιφάνεια του αποκτάει ένα σκούρο καφέ χρώμα ενώ η άνοδος παραμένει αμετάβλητη. Τότε αν μετά από κάποιο χρονικό διάστημα αντικαταστήσουμε την πηγή (DC) με ένα βολτόμετρο στους ακροδέκτες διαπιστώσουμε ότι μας δείχνει μια τάση 2V. Αν αντίστοιχα ένα φορτίο συνδεθεί στους ακροδέκτες , τότε ένα φορτίο θα ρέει από το θετικό στο αρνητικό πόλο και θα παρέχει ισχύ στο κύκλωμα.

Συσσωρευτής Νικελίου - Καδμίου

Συσσωρευτής Νικελίου- σιδήρου

Συσσωρευτής Νικελίου-ψευδαργύρου



Σχήμα 4.1.

### 4.3 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του συσσωρευτή

Οι δυνατότητες ενός συσσωρευτή προσδιορίζονται από την ονομαστική τάση στους πόλους του, που εκφράζεται με την έννοια της ηλεκτρεγερτικής δύναμης (ΗΕΔ) και την ονομαστική χωρητικότητά του, C. Η ΗΕΔ μετριέται σε Volt και ισούται με την πολική τάση του συσσωρευτή όταν αυτός δεν είναι συνδεδεμένος σε κάποιο καταναλωτή. Η χωρητικότητα C αφορά το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκευτεί στο εσωτερικό του συσσωρευτή, με την μορφή χημικής ενέργειας, υπό ορισμένες συνθήκες (που καθορίζονται κυρίως από την θερμοκρασία). Με άλλα λόγια, εκφράζει το ποσό του ρεύματος εκφόρτισης που είναι δυνατόν να παραχθεί κατά την διάρκεια μιας καθορισμένης χρονικής περιόδου. Εκφράζεται

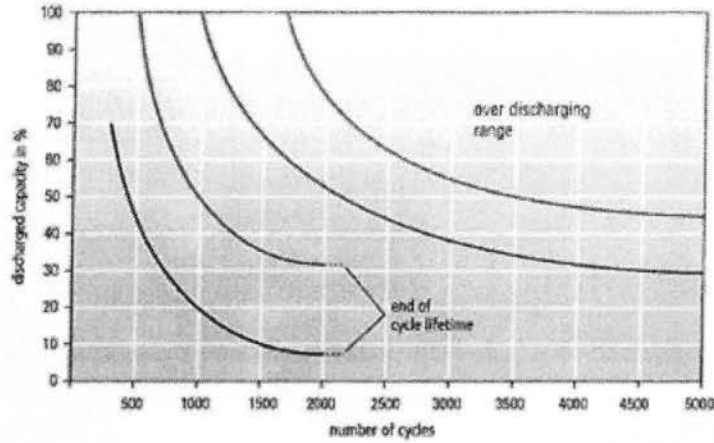
σε αμπερώρια, Ah, και σε ιδανικές συνθήκες ισούται με το γινόμενο της μέσης έντασης του ρεύματος I που δίνει ο συσσωρευτής, ανεξάρτητα από την τάση του, επί το πλήθος των ωρών μέχρι να εκφορτιστεί, ξεκινώντας από πλήρη φόρτιση.

Το ποσό της χωρητικότητας που έχει εκφορτιστεί καλείται βάθος εκφόρτισης (Depth Of Discharge, DOD) και εκφράζεται σε ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας. Αντιθέτως, η διαθέσιμη ακόμη χωρητικότητα καλείται στάθμη φόρτισης (State Of Charge, SOC) και εκφράζεται επίσης σε ποσοστό της ονομαστικής χωρητικότητας. Μια πλήρης εκφόρτιση μαζί με την επόμενη επαναφόρτιση αναφέρεται σαν ένας κύκλος (Cycle). Δυστυχώς κατά την διάρκεια ενός κύκλου συμβαίνουν μη αντιστρέψιμες μεταβολές που προκαλούν βαθμιαία μείωση της διαθέσιμης χωρητικότητας έως ότου το στοιχείο δεν μπορεί να λειτουργήσει πλέον ικανοποιητικά, οπότε και εξαντλείται η διάρκεια ζωής του.

#### **4.3.1 Χρόνος ζωής συσσωρευτή**

Οι συσσωρευτές δεν πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε πολύ υψηλή τάση για αυτούς (overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο (overdischarging). Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει τον χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση έχει ως αποτέλεσμα την ηλεκτρόλυση και συνακόλουθα, την παραγωγή υδρογόνου, με ταυτόχρονη έντονη ελάττωση της στάθμης του ηλεκτρολυτικού διαλύματος (απώλεια νερού). Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας, καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει τις διαδοχικές διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισής του.

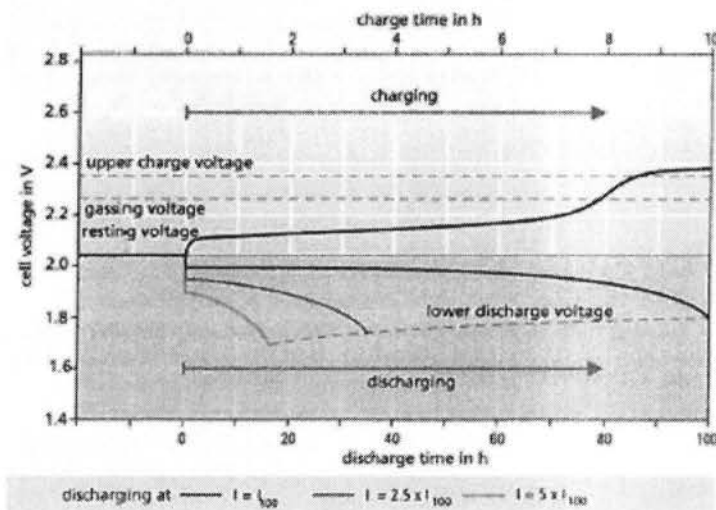
Η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών σε όρους κύκλων δίνεται για κάποιο συγκεκριμένο βάθος εκφόρτισης τους το οποίο στην συνέχεια συνοδεύεται από την πλήρη φόρτισή τους. Ο κύκλος ζωής των συσσωρευτών ορίζεται σαν ο εφικτός αριθμός κύκλων φόρτισης - εκφόρτισης πριν η χωρητικότητα στην φορτισμένη κατάσταση πέσει κάτω από το 80% της αρχικής χωρητικότητας. Μετά από αυτό το σημείο ο συσσωρευτής μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί, ωστόσο η διαθέσιμη χωρητικότητά του μειώνεται συνεχώς με τον κίνδυνο την απότομης κατάρρευσης του να ελλοχεύει.



Σχήμα 4.2

### 4.3.2 Ρεύμα φόρτισης συσσωρευτή

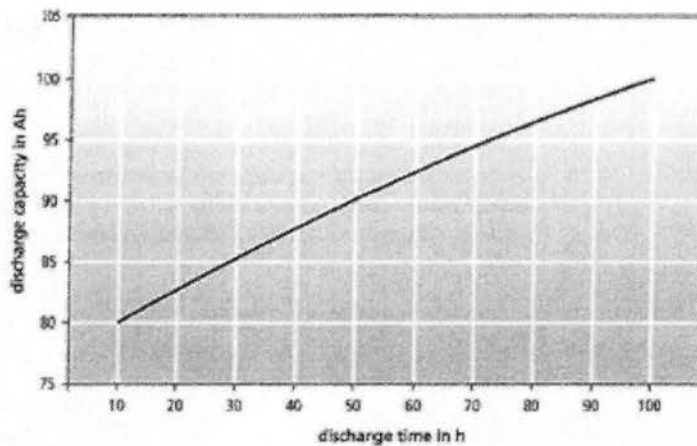
Πολύ σημαντική παράμετρος για την διατήρηση του συσσωρευτή σε καλή κατάσταση είναι η ήπια φόρτίσή του. Όσο μακρύτερη είναι η περίοδος φόρτισης μέχρι το άνω όριο τάσης φόρτισης, τόσο υψηλότερη είναι η τελική στάθμη C χωρητικότητας. Οι ρυθμοί φόρτισης και εκφόρτισης δίνονται από έναν λόγο  $\frac{C}{x}$ , όπου C είναι η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή και x είναι ο αριθμός ωρών φόρτισης/ εκφόρτισης. Για παράδειγμα, αν έχω συσσωρευτή χωρητικότητας  $C=100\text{Ah}$  και οι ώρες εκφόρτισης είναι  $x=20\text{h}$  τότε  $\frac{C}{x} = 5\text{h}$  που σημαίνει ότι για ότι x για διάρκεια 5 ωρών ο συσσωρευτής μπορεί να μας παρέχει ρεύμα 100A.



Σχήμα 4.3

### 4.3.3 Ρεύμα εκφόρτισης συσσωρευτή

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ με την οποία γίνεται η εκφόρτιση τους, δηλαδή από την ένταση του ρεύματος που δίνουν προς κατανάλωση. Όσο μικρότεροι είναι οι ρυθμοί εκφόρτισης τόσο η χωρητικότητα του συσσωρευτή αυξάνεται, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 4.4

### 4.3.4 Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή

Η αυτοεκφόρτιση είναι η διαδικασία κατά την οποία ο συσσωρευτής υφίσταται μείωση της στάθμης φόρτισης, χωρίς να είναι συνδεδεμένος με κάποια κατανάλωση. Οι αιτίες της αυτοεκφόρτισης είναι οι εσωτερικοί χημικοί μηχανισμοί ή άλλες απώλειες της μπαταρίας και σημαντικοί παράγοντες στη διαδικασία της αυτοεκφόρτισης είναι τα ενεργά υλικά και τα στοιχεία του κράματος του πλέγματος που επιλέχθηκαν κατά τον σχεδιασμό του συσσωρευτή. Οι φορτισμένοι συσσωρευτές αυτοεκφορτίζονται με ρυθμό 2-5% της χωρητικότητάς τους τον μήνα. Για τον λόγο αυτό, οι συσσωρευτές πρέπει να βρίσκονται σε συνθήκες συντηρητικής φόρτισης ακόμα και αν δεν υπάρχει κατανάλωση. Το ποσοστό αυτό της αυτοεκφόρτισης αυξάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας του συσσωρευτή καθώς και με αύξηση της ηλικίας του.

#### 4.3.5 Συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου, δηλαδή με την αύξηση του αριθμού των κύκλων λειτουργίας του, εξ' αιτίας της διάβρωσης των πλακών του, του σχηματισμού επικαθήσεων κλπ. Η μείωση αυτή (γήρανση) πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν κατά τον υπολογισμό της αρχικής χωρητικότητας του συσσωρευτή, ώστε μέσα στον χρόνο ζωής του, να διατηρεί την δυνατότητα να καλύπτει ημερησίως την ενέργεια που απαιτούν οι καταναλώσεις της εφαρμογής, με το αυτό βάθος εκφόρτισης,  $\beta$ . Εμπειρικά, η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή μειώνεται σταδιακά και μέχρι το πέρας της ζωής του έχει πέσει στο 80% της αρχικής ονομαστικής χωρητικότητας του. Συνεπώς, ως τυπική τιμή του συντελεστή γήρανσης του συσσωρευτή λαμβάνεται η τιμή  $\eta_{\gamma, B} = 0.8$ .

#### 4.3.6 Βαθμός απόδοσης

Όταν φορτίζεται ένας συσσωρευτής, ένα ποσοστό της τάξης 10-20% της προσφερόμενης σε αυτόν ενέργειας χάνεται θερμαίνοντας τον ηλεκτρολύτη ή προκαλώντας ηλεκτρόλυση. Έτσι, ένας συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης ενέργειας,  $\eta_E$ . Ορίζεται δε, ως ο λόγος του ηλεκτρικού έργου που αποδίδει ο συσσωρευτής κατά την εκφόρτιση ( $W = V * I * t$ ), διά του έργου που του προσφέρθηκε κατά την προηγηθείσα φόρτισή του. Τυπική τιμή 80-85%.

$$\eta_E = \frac{W_{\text{εκφόρτισης}}}{W_{\text{φόρτισης}}}$$

Εκτός από τον βαθμό ενεργειακής απόδοσης χρησιμοποιείται επίσης και ο βαθμός απόδοσης φορτίου,  $\eta_q$ , ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου κατά την εκφόρτιση, προς το φορτίο κατά την φόρτιση:

$$\eta_E = \frac{W_{\text{εκφόρτισης}}}{W_{\text{φόρτισης}}}$$

Τυπική τιμή βαθμού απόδοσης φορτίου  $\eta_q \approx 90\%$ .

#### 4.3.7 Έκλυση ατμών, δημιουργία κρυστάλλων και διάβρωση στους συσσωρευτές μολύβδου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η υπερβολική φόρτιση και το αυξημένο ρεύμα φόρτισης των συσσωρευτών οδηγεί σε έκλυση αερίων. Το φαινόμενο αφορά στον σχηματισμό αερίου οξυγόνου (O<sub>2</sub>) στις θετικές πλάκες και αερίου υδρογόνου (H<sub>2</sub>) στις αρνητικές. Γενικά, αυτό το εκρηκτικό αέριο μίγμα ελευθερώνεται μέσω των βαλβίδων εξαερισμού και οδηγεί στην απώλεια νερού. Σε συσσωρευτές δεσμευμένου ηλεκτρολύτη, ένας εσωτερικός μηχανισμός επιτρέπει τον επανασχηματισμό νερού από το αέριο μίγμα για την αποκατάσταση του διαλύματος του ηλεκτρολύτη. Ωστόσο, αν η πίεση των ατμών αυξηθεί ιδιαίτερα, αυτοί απελευθερώνονται στον αέρα μέσω των βαλβίδων ασφαλείας, χωρίς να υπάρχει δυνατότητα αναπλήρωσης του χαμένου νερού. Για φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούν τέτοιους συσσωρευτές, είναι ανάγκη να γίνεται προσεκτική ρύθμιση στην επιλογή της τάσης πλήρους φόρτισης και στον ρυθμό φόρτισης των συσσωρευτών για να διατηρηθεί η διάρκεια ζωής τους.

Σε κάποιους συσσωρευτές συχνά επιδιώκεται η έκλυση ατμών. Πρόκειται για τους συσσωρευτές υγρού καταλύτη με ανοικτή βαλβίδα εξαερισμού και η αιτία έχει σχέση με τη δημιουργία βαρέως θεικού οξέως, το οποίο σχηματίζεται στις πλάκες και επικάθεται στο πάτο του δοχείου. Με την πάροδο του χρόνου ο ηλεκτρολύτης επικάθεται και δημιουργείται μεγαλύτερη συγκέντρωση στο κάτω μέρος των κυψελίδων, με αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη λειτουργία και τη σταδιακή διάβρωση του πλέγματος που οδηγεί στη συντόμευση της ζωής του συσσωρευτή. Η δημιουργία ατμών, σε τέτοιους συσσωρευτές, έχει αποτέλεσμα την ανάδευση του διαλύματος και αποτελεί μία μέθοδο συντήρησης. Κατά κανόνα, η έκλυση ατμών πρέπει να περιορίζεται ιδιαίτερα αν οι συσσωρευτές βρίσκονται κοντά σε χώρους εργασίας.

#### 4.3.8 Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας, λοιπόν, υπ' όψιν όλα τα παραπάνω καταλήγουμε ότι σε έναν συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας CN , η αξιοποιήσιμη χωρητικότητα C δίνεται από:

$$C = CN \cdot \beta$$

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

Και η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποταμιευτεί και να ανακτηθεί, σε ιδανικές συνθήκες, σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης είναι:



$$E = C \times V = CN \times \beta \times \nu$$

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μολύβδου  $\alpha$ , δηλαδή ο λόγος της μέγιστης ποσότητας της ενέργειας που ανακτάται προς την ενέργεια που είχε απορροφηθεί από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης είναι περίπου 85%. Επομένως, αν η ηλεκτρική ενέργεια που ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι  $E$ , η ενεργός χωρητικότητά του  $C$  θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης  $E_{\varphi}$ , ίση με:

$$E_{\varphi} = \frac{E}{\alpha}$$

Και τότε η ονομαστική του χωρητικότητα είναι:

$$C_N = \frac{E_{\varphi}}{\beta * V} = \frac{E}{\alpha * \beta * V}$$

Ως προς την παρεχόμενη ισχύ, βρίσκουμε εύκολα ότι αν ένας συσσωρευτής απαιτείται να τροφοδοτεί την κατανάλωση με μέση ισχύ  $P$  επί  $\mu$  συνεχείς ημέρες, τότε η ενεργός χωρητικότητα θα πρέπει να είναι:

$$C = \frac{24\mu * P}{a * V}$$

Οι συσσωρευτές στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Για την σωστή εκλογή, σχεδίαση και λειτουργία των συσσωρευτών στα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να ληφθούν υπ' όψη πολλές παράμετροι, όπως: τα χαρακτηριστικά της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, οι συσκευές προσαρμογής και ελέγχου της ισχύος, το φορτίο, οι μετεωρολογικές συνθήκες και ο τύπος του συσσωρευτή. Ειδικότερα, στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου δεν επιτρέπεται η διακοπή της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και η φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι το μόνο σύστημα παραγωγής ενέργειας, οι συσσωρευτές οφείλουν να παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία και κατά την διάρκεια παρατεταμένων περιόδων χαμηλής ή έλλειψης ηλιακής ακτινοβολίας. Η χωρητικότητα αποθήκευσης μπορεί να κυμαίνεται από 1-2 ημέρες μέχρι έναν μήνα και εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες της τοποθεσίας και τον συντελεστή ασφαλείας που επιθυμούμε.

Για τον υπολογισμό των συσσωρευτών ενός φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν η χωρητικότητα που απαιτείται με βάση το φορτίο, ο συντελεστής ασφαλείας, η αυτοεκφόρτιση, οι απώλειες για την λειτουργία των βοηθητικών συσκευών και το γεγονός ότι πολλοί τύποι συσσωρευτών δεν καταστρέφονται απότομα αλλά υφίστανται μια βαθμιαία μείωση της διαθέσιμης χωρητικότητας καθώς πλησιάζουν προς το τέλος της χρήσιμης ζωής τους. Όσο αφορά το τελευταίο, είναι κοινή πρακτική για τους κατασκευαστές των συσσωρευτών μολύβδου να καθορίζουν σαν τέλος του χρόνου ζωής τους το σημείο που η διαθέσιμη χωρητικότητα πέφτει κάτω από το 80% της ονομαστικής χωρητικότητάς τους. Έτσι, για να εξασφαλίσουμε αρκετή διαθέσιμη χωρητικότητα κατά την διάρκεια της ζωής του συσσωρευτή σε ένα αυτόνομο σύστημα για μια κυκλική χρήση, πρέπει να εγκαταστήσουμε, αρχικά, χωρητικότητα ίση τουλάχιστον με το 125% της επιθυμητής.

Σε γενικές γραμμές, οι συσσωρευτές αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων πρέπει να συγκεντρώνουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά: καλή τιμή σε σχέση με την απόδοση, μικρές απαιτήσεις συντήρησης, μεγάλη διάρκεια ζωής, ικανότητα φόρτισης με μικρά ρεύματα, υψηλή ενέργεια και πυκνότητα ισχύος (βάρος και απαιτήσεις χώρου), ανθεκτικότητα σε δονήσεις (για μεταφορά και χρήση εν κινήσει), ανακυκλώσιμες για αποφυγή προβλημάτων υγείας και περιβάλλοντος

Κανένας τύπος συσσωρευτή δεν συγκεντρώνει όλες τις προαναφερθείσες προδιαγραφές στον ίδιο βαθμό. Ωστόσο έχει επικρατήσει, στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα που τροφοδοτούν σπίτια να χρησιμοποιούμε συσσωρευτές μολύβδου.

## 5<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ”

#### 5.1 Ρυθμιστές-φορτιστές

Η διαχείριση της ενέργειας που παράγουν τα Φ/Β συστήματα, απαιτεί την χρήση ηλεκτρονικών διατάξεων κατάλληλων για τη βελτιστοποίηση της αποθήκευσης, της μεταφοράς και της προστασίας του συστήματος και ειδικά των συσσωρευτών από υπερφόρτιση ή από υπερεκφόρτιση. Η ηλεκτρονική διάταξη για τον έλεγχο και την προστασία των συσσωρευτών είναι ο Ελεγκτής - Ρυθμιστής φόρτισης - εκφόρτισης. Η διάταξη αυτή μπορεί να αποτελεί αυτοτελή μονάδα, μπορεί όμως και να βρίσκεται ενσωματωμένη με τον μετατροπέα (inverter), σε μία ολοκληρωμένη ηλεκτρονική μονάδα.

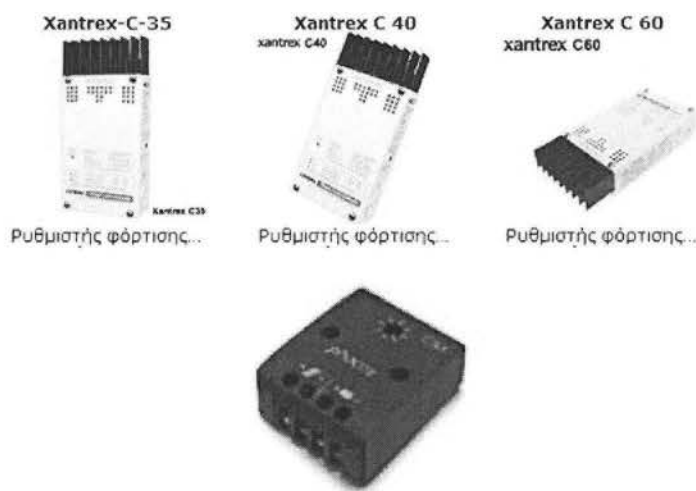
Η φόρτιση των συσσωρευτών, μέσω μιας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας π.χ. Φ/Β σύστημα, ανεμογεννήτρια (Α/Γ), ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (Η/Ζ) ή του κεντρικού δικτύου διανομής ρεύματος, απαιτεί τον συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης, ώστε όταν αυτή φτάσει στη μέγιστη φόρτιση, να διακόπτεται. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, που μπορεί να προκαλέσει την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου, λόγω της ηλεκτρόλυσης.

Η εκφόρτιση των συσσωρευτών προς τις καταναλώσεις απαιτεί τον συνεχή έλεγχο, ώστε να προληφθεί η καταστροφή τους σε περίπτωση υπερεκφόρτισης. Η διακοπή όταν έχουμε υπερφόρτιση ή υπερεκφόρτιση αντίστοιχα, επιτυγχάνεται από ένα σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, ηλεκτρομηχανικούς διακόπτες (relays), ηλεκτρονικά ισχύος (tranzistors, thyristors, triacs κ.λ.π.).

Βασικό στοιχείο, στο ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου, αποτελεί η κατάλληλη σύνδεση δίοδων για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφόρτιση.

Τύποι - Ελεγκτών Ρυθμιστών φόρτισης.

Στο εμπόριο υπάρχουν πολλοί τύποι ελεγκτών - ρυθμιστών φόρτισης, από την πιο απλή τους μορφή, μέχρι την πιο σύνθετη. Η επιλογή του κατάλληλου ελεγκτή - ρυθμιστή φόρτισης έχει σχέση με τις απαιτήσεις του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, το μέγεθος και το κόστος της εγκατάστασης.



Σχήμα 5.1

Ρυθμιστές φόρτισης μικρής ισχύος.

Έχουν σχεδιαστεί για μικρά Φ/Β συστήματα και έχουν την δυνατότητα αποσύνδεσης του συσσωρευτή σε περίπτωση υπερφόρτισης ή υπερεκφόρτισης ή αποσύνδεσης του φορτίου, λόγω χαμηλής τάσης του συσσωρευτή.

Παρέχουν ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο τρόπο φόρτισης με προστασία βαθιάς αποφόρτισης και ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας.

Φέρουν πλήρη ηλεκτρονική προστασία από υπέρταση Φ/Β συλλέκτη, ανάστροφη πολικότητα συλλέκτη ή συσσωρευτή, υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα στην κατανάλωση.

Έχουν ενδείξεις: Κατάσταση φόρτισης, επίπεδο φόρτισης συσσωρευτή, αποσύνδεσης λόγω χαμηλής τάσης συσσωρευτή, υπερφόρτωση / βραχυκύκλωμα.

Είναι κατάλληλοι για μικρές Φ/Β εγκαταστάσεις σε μικρές αγροικίες, τροχόσπιτα και εφαρμογές ελεύθερου χώρου.

Ρυθμιστές φόρτισης χαμηλής ισχύος

Έχουν σχεδιασθεί για Φ/Β συστήματα με ισχύ από 100 μέχρι 1000 W. Παρέχουν εξαιρετικές ενδείξεις, προγραμματισμό και λειτουργίες ασφάλειας.

Το επίπεδο φόρτισης του συσσωρευτή επιδεικνύεται σαφώς με ένα ιστόγραμμα, καθώς επίσης και οι ενεργειακές ροές από και προς το συσσωρευτή και η κατάσταση των καταναλώσεων (π.χ. υπερφόρτωση, βραχυκύκλωμα φορτίου κ.λ.π.).

Η λειτουργία προστασίας βαθιάς αποφόρτισης μπορεί να ρυθμιστεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους: ελεγχόμενη από τάση, ελεγχόμενη από το επίπεδο φόρτισης του συσσωρευτή ή προσαρμοστική ρύθμιση (πολυπλοκότητας).

Έχουν ενσωματωμένη λειτουργία ακουστικής προειδοποίησης όπως επίσης και προγραμματιζόμενη λειτουργία φωτισμού τη νύχτα.

Ελεγκτές - Ρυθμιστές ενεργειακών συστημάτων.

Προσφέρουν πλήρη έλεγχο του κύκλου φόρτισης και τροφοδοσίας φορτίου, φέρουν ελεγκτή πολλαπλών λειτουργιών που μπορεί να ανοίξει ή να κλείσει την ισχύ σύμφωνα με τα κριτήρια που τίθενται από το χρήστη.

Παρέχουν πλήρη ασφάλεια και έχουν τη δυνατότητα για κάθε ένδειξη ή μέτρηση μεγέθους.

Φορτιστές συσσωρευτών

Η φόρτιση των συσσωρευτών μπορεί να γίνει από το δίκτυο διανομής 230/400V, με μονοφασικούς ή τριφασικούς φορτιστές.

Η τροφοδοσία των φορτιστών μπορεί στην πράξη να γίνει και από ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/z) όταν αυτό χρησιμοποιείται ως κύρια ή ως εφεδρική πηγή.

## 5.2 Άμεσοι ανιχνευτές MPP

Η λειτουργία τους βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση των τιμών της τάσης και έντασης εξόδου των φωτοβολταϊκών γεννητριών, προκαλώντας ανά τακτά χρονικά διαστήματα μια διαταραχή της τάσης εξόδου αυτής. Αν διαπιστωθεί ότι με την ανύψωση της τάσης, αυξάνεται η ισχύς που παρέχει η γεννήτρια τότε αυξάνουν την τάση προς τα πάνω ώσπου να έρθει μια ισορροπία. Αυτό είναι και το σημείο μέγιστης λειτουργίας.

Όπως προαναφέρθηκε στην εξέταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, η ένταση που παράγεται από ένα φ/β στοιχείο, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται αντίστροφα απ' ότι μεταβάλλεται η τάση. Για κάποιο συγκεκριμένο ζεύγος τάσης –έντασης, το στοιχείο δίνει τη μέγιστη ισχύ του. Ωστόσο επειδή κάθε στιγμή η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο στοιχείο δεν είναι σταθερή, ομοίως σταθερή δεν είναι και η τάση εξόδου του. Είναι λοιπόν επιθυμητό για κάθε στιγμή το φωτοβολταϊκό στοιχείο να μην παράγει την τάση και την ένταση όπως αυτά καθορίζονται από την αντίσταση του κυκλώματος που υπάρχει στα άκρα του, αλλά να δίνει στην έξοδο αυτό το ζεύγος τάσης – έντασης που μεγιστοποιεί την ισχύ του.

### 5.3 Μετατροπείς (Converters)



Σχήμα 5.2 Μετατροπείς με εύρος ισχύος από 200W έως 2KW και τάσεως των 12, 24, 48 V

Είναι ηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν:

- Συνεχές ρεύμα σε συνεχές οποιοσδήποτε τάσης (DC-DC conversion).
- Συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο οποιοδήποτε πλάτους (DC-AC conversion).
- Εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή (AC-DC conversion).

Στην πράξη μπορεί να αποτελεί χωριστή μονάδα ή να αποτελεί ενιαία ηλεκτρονική διάταξη με τον ελεγκτή – ρυθμιστή φόρτισης. Όταν αποτελεί ενιαία διάταξη, η λειτουργία του είναι να προσαρμόζει την τάση που παράγει το σύστημα, στην τάση

του συστήματος αποθήκευσης, ώστε να γίνεται πλήρη εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας.

Οι συμβολικές παραστάσεις των τριών τύπων μετατροπέων είναι:

#### Μετατροπέας DC- DC

Η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης, σε συνεχή με διαφορετική τιμή (μικρότερη ή μεγαλύτερη) γίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στη μείωση των απωλειών στη γραμμή της μεταφοράς από το χώρο παραγωγής στο χώρο κατανάλωσης.

Στο χώρο των Φ/Β πλαισίων έχουμε σύνδεση των συλλεκτών σε σειρά ή παράλληλα, ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται, με όσο επιτρέπεται, υψηλή τάση για να έχουμε χαμηλό ρεύμα στη γραμμή μεταφοράς και επομένως χαμηλές απώλειες.

Στο χώρο της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ο μετατροπέας DC-DC, προσαρμόζει την τάση των Φ/Β πλαισίων ή της Φ/Β συστοιχίας στην τάση του συσσωρευτή, ώστε να υπάρχει πλήρη εκμετάλλευση της ενέργειας και επί πλέον να μην έχουμε συνθήκες υπέρτασης του συσσωρευτή. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν απόδοση περίπου 90%.

Στη διάταξη ενσωματώνεται μικροελεγκτής, ο οποίος, ελέγχει συνεχώς και επιβάλλει την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος, που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια, με το σημείο μέγιστης ισχύος, που καθορίζεται από τις συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Ο μικροελεγκτής ονομάζεται διάταξη παρακολούθησης Σημείου Μέγιστης Ισχύος (Maximum Power Point Tracking MppT).

#### Μετατροπέας DC-A.C (Inverter).

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (D.C) σε εναλλασσόμενο (A.C) γίνεται πλέον με μία καθαρά ηλεκτρονική διάταξη, το ηλεκτρονικό μετατροπέα DC-AC.

Ο Inverter είναι η ηλεκτρονική διάταξη ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική).

Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ρεύματος και λόγω της επικράτησης του εναλλασσόμενου ρεύματος, σε πάρα πολλές εφαρμογές, πρέπει να γίνει μετατροπή.

Η πιο συνηθισμένη περίπτωση μετατροπής, είναι η παραγόμενη από τα Φ/Β συστήματα συνεχής τάση για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.

Ο inverter είναι μία διάταξη που περιλαμβάνει tranzistors, thyristors κ.λ.π. (ηλεκτρονικοί διακόπτες) που με κατάλληλη ρύθμιση των χρόνων κλεισίματος - ανοίγματος, παράγει ηλεκτρικό σήμα, που πλησιάζει πολύ την ημιτονική μορφή.

Ο inverter έχει πολύ καλή απόδοση (συνήθως κυμαίνεται από 93 έως 97%), η λειτουργία τους όμως συνοδεύεται, κατά περίπτωση, από παραγωγή μεγάλου αριθμού αρμονικών υψηλής συχνότητας. Οι αρμονικές, ιδιαίτερα σε περίπτωση σύνδεσης με το δίκτυο διανομής, προκαλούν προβλήματα και πρέπει πριν την σύνδεση, να τοποθετούνται ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις (φίλτρα). Στην πράξη, έχουμε τους μετατροπείς D.C-A.C δικτύου (μετατρέπουν την D.C τάση των Φ/Β συστημάτων σε A.C τάση δικτύου) και τους μετατροπείς D.C-A.C συσσωρευτών (μετατρέπουν την D.C τάση των Φ/Β συστημάτων σε D.C τάση των συσσωρευτών και την D.C. τάση των συσσωρευτών σε A.C. τάση κατανάλωσης ή δικτύου).

#### Μετατροπείς DC-AC δικτύου

Κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και καλύπτουν μία μεγάλη κατηγορία εφαρμογών. Είναι κατάλληλοι για οικιακές ή βιομηχανικές εφαρμογές και καλύπτουν τις ανάγκες των Φ/Β συστημάτων μικρής, μεσαίας ή μεγάλης ισχύος.

Μετατροπείς DC-AC δικτύου μικρής ισχύος χαμηλής τάσης μονοφασικοί.

Είναι εύκολοι στην εγκατάσταση (μειωμένες σχετικά δαπάνες εγκατάστασης).

Είναι κατάλληλοι και για εσωτερική και εξωτερική εγκατάσταση.

- Φέρουν ειδική αδιάβροχη διάταξη για τη σύνδεση με το συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα.

- Έχουν προστασία από υπέρταση και υπερένταση.

- Έχουν δυνατότητα για διάγνωση και επικοινωνία ενσύρματα ή ασύρματα.

Καλύπτουν ένα εκτεταμένο πεδίο λειτουργίας από  $-25^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $60^{\circ}\text{C}$ .

Μετατροπείς DC- AC μέσης ισχύος χαμηλής τάσης, τριφασικοί.

Δυνατότητα σύνδεσης των συσκευών σε δίκτυο χαμηλής τάσης.

- Φέρουν ηλεκτρομαγνητικό διακόπτη ζεύξης - απόζευξης πεδίο DC με ηλεκτρικό servo κινητήρα.

- Έχουν προστασία υπέρτασης και κρουστικών τάσεων εντάσεων πεδίο DC και AC.



- Έχουν διάταξη διόρθωσης αέργου ισχύος.

Έχουν την δυνατότητα ελέγχου της εγκατάστασης και αξιολόγησης των στοιχείων.

- Έχουν πεδίο τάσης εισαγωγής και επιλογής από 300 V DC μέχρι 600V DC.
- Στην έξοδό τους μας δίνουν τριφασική τάση χαμηλής τιμής 3x400 V και συχνότητα 50Hz.

Μετατροπέας DC- AC μεγάλης ισχύος μέσης τάξης.

Έχουμε αύξηση της απόδοσης παραγωγής και μείωση κόστους λόγω άμεσης σύνδεσης σε μέση τάση.

- Φέρει M/I, M/T και κάλυμμα για υπαίθρια εγκατάσταση.
- Φέρει ηλεκτρομαγνητική διακοπή ισχύος πεδίου DC με ηλεκτροκινητήρες servo.

Έχει προστασία υπέρτασης σε συνεχές και εναλλασσόμενο πεδίο.

- Έχει διάταξη διόρθωσης αέργου ισχύος.
- Έχει δυνατότητα ελέγχου των εγκαταστάσεων και αξιολόγησης στοιχείων.
- Αύξηση της αποδοτικότητας της εγκατάστασης από 1,5 μέχρι 2,0% σε σχέση με εγκαταστάσεις με μετασχηματιστή χαμηλής τάσης.

Μπορεί να κατασκευασθεί και χωρίς κάλυμμα για εσωτερική εγκατάσταση.

Μετατροπές DC-AC συσσωρευτών.

Κατασκευάζονται ως αυτόνομες ηλεκτρονικές διατάξεις που μπορεί να συνδέονται με ρυθμιστές φόρτισης, Φ/Β πλαίσια, συσσωρευτές και φορτιστές όπως στη σχηματική διάταξη

Κατασκευάζονται ως COMPACT ηλεκτρονικές διατάξεις με ενσωματωμένο φορτιστή και ρυθμιστή φόρτισης όπως στη σχηματική διάταξη 8.6.

Συστήματα τροφοδοσίας για αδιάλειπτη λειτουργία.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν ηλεκτρονικές διατάξεις με όλες τις λειτουργίες για τη συνεχή τροφοδοσία με ηλεκτρική ενέργεια πολλών καταναλώσεων (πολυμορφικός σταθμός μετατροπής ισχύος - σύστημα αδιάλειπτης λειτουργίας).

Οι συσκευές αυτές (σχήμα 8.8) μπορούν να είναι συνδεδεμένες ταυτόχρονα με το κεντρικό δίκτυο διανομής (ΔΕΗ), με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/z), με

ανεμογεννήτρια, με φωτοβολταϊκούς συλλέκτες (Φ/Β), με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς και με συσσωρευτές αποθήκευσης.

Κατασκευάζονται για ισχύ από 100 μέχρι 500 KW ή και περισσότερο και έχουν τη δυνατότητα:

1. Υποστήριξης και προστασίας της γεννήτριας.
2. Αυτόματης εκκίνησης της γεννήτριας.
3. Παραλληλισμού με το δίκτυο της ΔΕΗ για διάθεση της πλεονάζουσας παραγόμενης ενέργειας.
4. Παρακολούθησης της παραγόμενης ενέργειας από τους Φ/Β συλλέκτες, την ανεμογεννήτρια ή τον υδροηλεκτρικό σταθμό.
5. Παρακολούθησης και ελέγχου της λειτουργίας των συσσωρευτών (φόρτιση - εκφόρτιση).
6. Παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας του παραγόμενου ρεύματος (από γεννήτρια, ΔΕΗ, ανεμογεννήτρια, υδροηλεκτρικό σταθμό, Φ/Β συλλέκτες ή συσσωρευτές).
7. Να θέτουν εκτός ή εντός οποιαδήποτε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με προγραμματισμό για την προτεραιότητα.
8. Υψηλής υπερφόρτισης, για μικρά χρονικά διαστήματα, που φθάνει μέχρι και το 100% της ονομαστικής ισχύος.

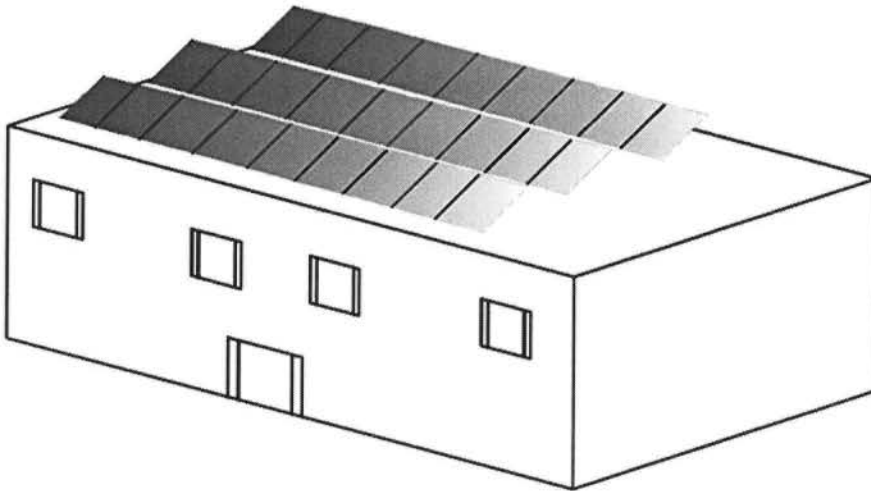
## 6<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ”

#### 6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό ασχοληθήκαμε με τη μελέτη ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος σε μια κατοικία η οποία αποτελείται από μια τετραμελή οικογένεια και βρίσκεται στην Ρόδο, σε μια πόλη με μεγάλη ηλιοφάνεια. Η εγκατάσταση των πλαισίων θα γίνει στην ταράτσα της κατοικίας (150 m<sup>2</sup>) και η περιοχή είναι πεδινή χωρίς σκιάσεις από διπλανά κτίρια ή άλλα εμπόδια.

Οι ιδιοκτήτες της οικίας αποφάσισαν να εγκαταστήσουν τα φωτοβολταϊκά έτσι ώστε να αποκτήσουν αυτονομία και πλήρη απεξάρτηση από το κεντρικό δίκτυο της ΔΕΗ για λόγους κυρίως οικονομικούς και αφετέρου να επενδύσουν σε μια πράσινη ενέργεια.



Σχήμα 6.1

## 6.2 Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις

Για να υπολογίσουμε την παραγόμενη ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα, εκτιμούμε κατά προσέγγιση τις ενεργειακές απαιτήσεις των καταναλωτών ( για μια τετραμελή οικογένεια με μέση συμπεριφορά), απαριθμώντας στο παρακάτω πίνακα τις διάφορες ενδεχόμενες χρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας. Ύστερα καταγράφουμε όλες τις ηλεκτρικές συσκευές, την ισχύ τους, τις πιθανές ώρες λειτουργίας των συσκευών και την ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση. Επίσης καταγράφουμε και την πιθανότητα ταυτόχρονης λειτουργίας περισσοτέρων συσκευών, ώστε να υπολογίσουμε την μέγιστη ισχύ στην ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας.

Επειδή το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελεί μια πράσινη ενέργεια θεωρούμαι ότι δεν κάνουμε κατάχρηση της ενέργειας και επιλέγουμε συσκευές ενεργειακής κλάσης A, χαμηλότερης ηλεκτρικής κατανάλωσης. Για λόγους απόδοσης και οικονομίας αποφεύγεται η χρήση θερμικών ηλεκτρικών συσκευών όπως θερμοσίφωνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ, κουζίνες, θερμοσυσσωρευτές κ.α., μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για τις χρήσεις αυτές υπάρχουν πολύ οικονομικότερες λύσεις που δεν στηρίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια όπως η ηλιακή θερμοσίφωνες, κουζίνες ή θερμάστρες υγραερίου κ.α.

Στον παρακάτω πίνακα καταχωρήθηκαν τα στοιχεία ημερήσιας κατανάλωσης κατά την διάρκεια των χειμερινών και των θερινών μηνών.

α/α	Ονομασία ηλεκτρικού φορτίου	Αριθμός συσκευών	Τυπική ισχύς (W)	Χρόνοι λειτουργίας σε ώρες ανά ημέρα	Ημερήσια κατανάλωση (Wh)	Μηνιαία κατανάλωση (Wh)
1	φωτισμός εσωτερικού χώρου 1	4	18	7	504	15372
2	φωτισμός εσωτερικού χώρου 2	7	15	7	735	22417,5
3	φωτισμός εξωτερικού χώρου	4	23	3	276	8418
4	Τηλεόραση LED μεγάλη	1	66	5	330	10065
5	Μίξερ Καφέ	1	15	0,05	0,75	22,875
6	Μπλέντερ	1	400	0,04	16	488
7	Ψυγείο	1	129	6	774	23607
8	Αποροφητήρας	1	260	1	260	7930
9	Πλυντήριο ρούχων	1	1050	0,5	525	16012,5
10	Πλυντήριο πιάτων	1	1000	1	1000	30500
11	Ατμοσίδηρο	1	1600	0,45	720	21960
12	Στεγνωτήρας Μαλλιών	1	1500	0,245	367,5	11208,75
13	Τηλεόραση LED μικρή	1	50	3	150	4575
14	Υπολογιστής	2	150	5	1500	45750
15	Τοστιέρα	1	700	0,25	175	5337,5
16	Στερεοφωνικό	1	200	1,5	300	9150
17	Φούρνος μικροκυμάτων	1	700	0,1	70	2135
18	Καφετιέρα	1	300	0,22	66	2013
19	Εκτυπωτής	1	20	0,04	0,8	24,4
21	Λοιπα φορτία	1	1500	1	1500	45750
-	<b>Σύνολο</b>		<b>9696</b>		<b>9270,05</b>	<b>282736,525</b>

*Πίνακας 6.1  
Ηλεκτρικών καταναλώσεων κατά την διάρκεια του χειμώνα*

α/α	Ονομασία ηλεκτρικού φορτίου	Αριθμός συσκευών	Τυπική ισχύς (W)	Χρόνοι λειτουργίας σε ώρες ανά ημέρα (h)	Ημερήσια κατανάλωση (Wh)	Μηνιαία κατανάλωση (Wh)
1	φωτισμός εσωτερικού χώρου 1	4	18	7	504	15372
2	φωτισμός εσωτερικού χώρου 2	7	15	7	735	22417,5
3	φωτισμός εξωτερικού χώρου	4	23	3	276	8418
4	Τηλεόραση LED μεγάλη	1	66	5	330	10065
5	Μίχερ Καφέ	1	15	0,05	0,75	22,875
6	Μπλέντερ	1	400	0,04	16	488
7	Ψυγείο	1	129	6	774	23607
8	Αποροφητήρας	1	260	1	260	7930
9	Πλυντήριο ρούχων	1	1050	0,5	525	16012,5
10	Πλυντήριο πιάτων	1	1000	1	1000	30500
11	Ατμοσίδερο	1	1600	0,45	720	21960
12	Στεγνωτήρας Μαλλιών	1	1500	0,245	367,5	11208,75
13	Τηλεόραση LED μικρή	1	50	3	150	4575
14	Υπολογιστής	2	150	5	1500	45750
15	Τοστιέρα	1	700	0,25	175	5337,5
16	Στερεοφωνικό	1	200	1,5	300	9150
17	Φούρνος μικροκυμάτων	1	700	0,1	70	2135
18	Καφετιέρα	1	300	0,22	66	2013
19	Εκτυπωτής	1	20	0,04	0,8	24,4
20	Λοιπα φορτία	1	1500	1	1500	45750
21	Ανεμιστήρας	1	100	3	300	9150
22	Κλιματιστικό Inv. 12000btu	1	1500	3	4500	137250
-	<b>Σύνολο</b>		<b>11296</b>		<b>14070,05</b>	<b>429136,525</b>

*Πίνακας 6.2  
Ηλεκτρικών καταναλώσεων κατά την διάρκεια του καλοκαιριού*

Από τον πίνακα προκύπτει ότι, η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών είναι 9.3 kWh και κατά την διάρκεια των θερινών ημερών είναι 14.1 kWh, με χρήση κλιματιστικού. Ωστόσο, ποτέ δεν μπορούμε να είμαστε πλήρως ακριβείς στις προβλέψεις μας επειδή είναι πολύ πιθανό να προκύψουν και πρόσθετες ηλεκτρικές καταναλώσεις κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως η φόρτιση ενός κινητού τηλεφώνου, η χρήση κάποιας μικροσυσκευής ή ακόμη και η κατανάλωση ενέργειας από κάποια συσκευή που βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής. Έτσι, κρίνεται απαραίτητο να συνεχίσουμε την μελέτη μας θεωρώντας ότι η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση είναι 10 kWh, για τους χειμερινούς και τους θερινούς μήνες, απουσία κλιματιστικού, και 14 kWh για τους θερινούς μήνες, παρουσία κλιματιστικού.

Άρα:

Μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση (χωρίς κλιματιστικό) = 10 kWh

Μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση (με κλιματιστικό) = 14 kWh

Η χρονική περίοδος

Είναι προφανές ότι το σύστημα πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα καθ' όλη την διάρκεια του έτους, αφού η κατοικία που μελετάμε είναι η κύρια κατοικία της οικογένειας. Συνεπώς, τα μεγέθη του φωτοβολταϊκού συστήματος (μέγεθος συλλεκτών, συσσωρευτών και λοιπών διατάξεων) πρέπει να προσαρμόζονται στις συνθήκες του μήνα με την μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία, Δεκέμβριος ή Ιανουάριος, ανάλογα με την κλίση των συλλεκτών που θα επιλέξουμε.

### 6.3 Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια

#### 6.3.1 Η κλίση των συλλεκτών

Η ηλιακή ακτινοβολία που θα δεχθεί μια επιφάνεια εξαρτάται από την κλίση και τον προσανατολισμό της. Για μια επιφάνεια σε έναν συγκεκριμένο τόπο, η αύξηση της κλίσης της έχει σαν αποτέλεσμα να δέχεται περισσότερη ακτινοβολία τον χειμώνα από ότι το καλοκαίρι. Έτσι, είναι σύνηθες σε ηλιακές εφαρμογές που απαιτείται να γίνει χρήση της ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες τον χειμώνα, η κλίση τους να είναι μεγάλη ενώ αν οι συλλέκτες χρησιμοποιούνται το καλοκαίρι η κλίση τους να είναι μικρή.

Το μέρος που θα εγκατασταθεί το φωτοβολταϊκό σύστημα, όπως ήδη αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, είναι στην πόλη της Ρόδου που βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα των Δωδεκανήσων και έχει γεωγραφικό πλάτος  $36^{\circ}$  και  $26'$  Βόρεια και γεωγραφικό μήκος  $28^{\circ}$  και  $05'$  ανατολικά. Στον πίνακα 6.3, που ακολουθεί, αναγράφεται η συνολική μηνιαία και ετήσια ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλέκτες διαφόρων κλίσεων στον προς μελέτη τόπο. Κατόπιν, στον πίνακα 6.4 υπολογίστηκε, μέσω του πίνακα 6.3, η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλέκτες με ετήσια μόνιμη βέλτιστη κλίση.

Κλίση συλλέκτη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ετος
0°	71,00	90,00	140,00	167,00	203,00	217,00	216,00	195,00	162,00	126,00	81,00	62,00	1.730,00
30°	106,26	121,43	166,90	172,34	190,10	193,52	196,45	192,64	183,54	166,99	120,87	94,31	1.905,35
45°	115,81	127,82	167,36	162,19	170,67	169,38	173,70	177,31	179,69	174,14	131,38	103,39	1.852,84
60°	118,98	127,26	158,92	144,20	144,11	138,87	144,08	153,70	166,23	171,53	134,49	106,80	1.709,17
90°	105,74	105,95	118,21	90,48	78,98	70,52	75,27	89,50	114,74	138,40	118,21	96,12	1.202,12

Πίνακας 6.3

Συνολική μηνιαία και ετήσια ηλιακή ακτινοβολία ( $kWh/m^2$ ) στην περιοχή της Ρόδου για διάφορες κλίσεις

Κλίση συλλέκτη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ετος
29°	105,415	120,766	166,554	172,717	191,104	194,859	197,68	193,339	183,447	166,177	119,926	93,521	1.905,51

Πίνακας 6.4

Συνολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία ( $kWh/m^2/day$ ) για μόνιμη βέλτιστη κλίση συλλέκτη

Κλίση συλλέκτη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ετος
29°	2,03	3,00	4,32	5,67	6,74	7,70	7,87	7,13	5,80	3,94	2,63	1,87	4,89

Πίνακας 6.5

Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ( $kWh/m^2/day$ ) για Βέλτιστη κλίση συλλέκτη

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ετος
Μέση θερμοκρασία αέρα	11,7	12	13,6	16,7	20,5	24,7	26,9	26,9	24,6	20,6	16,4	13,4	19

Πίνακας 6.6

Μέση θερμοκρασία αέρα ( $C^{\circ}$ ) στην διάρκεια των φωτεινών ωρών της ημέρας

Από τον πίνακα 6.4 παρατηρούμε ότι την μικρότερη μέση τιμή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας έχει ο μήνας Δεκέμβριος και η μέση θερμοκρασία του αέρα στις φωτεινές ώρες της ημέρας είναι  $13,4^{\circ}C$  (πίνακας 6.5). Δεχόμενοι ότι η θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων είναι κατά  $30T!$  μεγαλύτερη, καταλήγουμε στους  $43,4T!$  για τον μήνα Δεκέμβριο. Επομένως, από το διάγραμμα που ακολουθεί (σχήμα 6.3) εύκολα βρίσκουμε τον συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης  $s\theta$  :



Η από τον τύπο :

$$\sigma_{\theta} = 1 - \left[ \frac{\theta 1 + 10}{200} \right] = 1 - \left[ \frac{13,4 + 10}{200} \right] \approx 0,85$$

$$\sigma_{\theta} \approx 0,85$$

Όσο αφορά την ρύπανση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, προβλέπουμε ότι λόγω των ανέμων και της σκόνης, θα γίνεται επιθεώρηση κι ενδεχομένως καθαρισμός της επιφάνειάς τους σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι, δεχόμαστε για τον συντελεστή καθαρότητας την τιμή 0,9 για όλες τις εποχές του έτους:

$$\sigma_{\rho} \approx 0,90$$

Περίπτωση Α:

Δεδομένου ότι η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία κατά τον μήνα Δεκέμβριο είναι  $3,171 \text{ kWh/m}^2$ , η ιδανική απαιτούμενη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας δίνεται από:

$$P_a(\text{kWh}) = \frac{E \left( \frac{\text{kWh}}{d} \right) * 1 \left( \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right)}{\Pi \left( \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * d \right) * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho}}$$

$$P_a(\text{kWh}) = \frac{10 \left( \frac{\text{kWh}}{d} \right) * 1 \left( \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right)}{3,171 \left( \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * d \right) * 0,85 * 0,9} = 3,895 \text{ kW}$$

Στην συνέχεια παίρνοντας ως συντελεστή απόδοσης 85% για τους συσσωρευτές, 85% για τον αναστροφέα DC/AC και 95% για τους αγωγούς του συστήματος, καταλήγουμε σε συνολικό συντελεστή απόδοσης:

$$a = 0,85 \times 0,85 \times 0,95 = 0,69$$

Επομένως, η ελάχιστη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας πρέπει να είναι:

$$P'_a = \frac{P_a}{a} = \frac{3,895 \text{ kW}}{0,69} = 5,64 \text{ kW}$$

Άρα:

Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής γεννήτριας = 5.64 kW

Περίπτωση Β:

Σε αυτήν την περίπτωση δεν αρκεί να υπολογίσουμε την απαιτούμενη εγκατεστημένη ισχύ συναρτήσει του χειρότερου μήνα του έτους, αφού το χειμερινό από το θερινό φορτίο διαφέρουν σημαντικά. Για αυτόν τον λόγο, θα κάνουμε ξεχωριστούς υπολογισμούς για τους θερινούς και τους χειμερινούς μήνες.

Στην μελέτη των χειμερινών μηνών, όπου το φορτίο ανέρχεται στις 10 kWh ημερησίως, θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα του μήνα Δεκεμβρίου (χειμερινός μήνας με την μικρότερη προσπίπτουσα ακτινοβολία), όπου η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ισούται με 3,171 kWh/m<sup>2</sup>. Τότε:

$$P_a(kW_h) = \frac{10 \left(\frac{kWh}{d}\right) * 1 \left(\frac{kW}{m^2}\right)}{3,171 \left(\frac{kWh}{m^2} * d\right) * 0,85 * 0,9} = 4,13 kW$$

Σαν θερινούς μήνες θα θεωρήσουμε μόνο τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο διότι τότε μόνο συνηθίζεται να χρησιμοποιείται ένα κλιματιστικό, οπότε και το ημερήσιο φορτίο της αγροικίας ανέρχεται στις 17 kWh. Μεταξύ των τριών αυτών μηνών θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα του μήνα Ιουνίου, όπου η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ισούται με 6,490 kWh/m<sup>2</sup> και ο συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης ισούται με 0,85. Οπότε:

$$P_a(kW_h) = \frac{16 \left(\frac{kWh}{d}\right) * 1 \left(\frac{kW}{m^2}\right)}{6,490 \left(\frac{kWh}{m^2} * d\right) * 0,83 * 0,9} = 3,31kW$$

Μεταξύ των δύο παραπάνω αποτελεσμάτων, συνεχίζουμε με βάση το χειρότερο σενάριο. Δηλαδή, θεωρούμε ότι η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος πρέπει να ισούται με 4,13 kW.

Όπως και στην περίπτωση Α, ο συνολικός συντελεστής απόδοσης του συστήματος ισούται με 69%. Συνεπώς:

$$P'_a = \frac{P_a}{a} = \frac{4,13 \text{ kW}}{0.69} = 5.97 \text{ kW}$$

Άρα:

Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής γεννήτριας = 6 kW

### 6.3.2 Η τάση του συστήματος

Η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας πρέπει να ισούται με την τάση των συσσωρευτών, καθώς και με την τάση εισόδου του μετατροπέα. Συνήθως, προτιμούμε τάση 12V, 24V ή 48V. Όσο υψηλότερη τάση χρησιμοποιούμε στο σύστημα τόσο μικρότερο ρεύμα απαιτείται, που συνεπάγεται ελαχιστοποίηση των απωλειών στα καλώδια. Ωστόσο, για να έχουμε υψηλή τάση θα πρέπει να συνδέσουμε μεγάλο πλήθος συσσωρευτών σε σειρά και κάτι τέτοιο αυξάνει υπερβολικά το κόστος εγκατάστασης. Για αυτούς τους λόγους πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί ως προς την επιλογή της τάσης του συστήματος.

Στην παρούσα μελέτη, αποφασίστηκε να εγκαταστήσουμε inverter τάσης εισόδου 48V και, συνεπώς, η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των συσσωρευτών θα είναι και αυτή 48V.

#### Το πλήθος και η οργάνωση των Φωτοβολταϊκών πλαισίων

Επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού τύπου κυψελών της εταιρείας Schüco ονομαστικής ισχύος 225 Wp.

Τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που επιλέξαμε φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος	MPE 225 PS 04 EU
<b>Πολυκρυσταλλικές κυψέλες</b>	
Ονομαστική ισχύς (P <sub>nom</sub> )	225W
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (U <sub>mp</sub> )	29,50V
Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος (I <sub>mp</sub> )	7,63A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (U <sub>oc</sub> )	36,70V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I <sub>sc</sub> )	8,19A
Μέγιστη τάση συστήματος	1000V
Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκής μονάδας (STC)	13,97%
<b>Ασφάλεια</b>	15A
Διαστάσεις (μήκος, πλάτος, πάχος) σε mm	1639x983x42mm
Βάρος	18kg
Τύποι συνδετήρα	MC connector
Αριθμός κυψελών ανα συλλέκτη	60

\*Τα ηλεκτρικά μεγέθη ισχύουν για στάνταρ συνθήκες (STC), ακτινοβολίας 1000 w/m<sup>2</sup>, πυκνότητα αέρα AM1,5 και θερμοκρασία κυψελών 25 βαθμούς Κελσίου.

Πίνακας 6.7

Επειδή η τάση των πλαισίων δεν συμπίπτει με την τάση των φορτιστών θα χρειαστεί να συνδέσουμε 3 πλαίσια σε σειρά. Επίσης πρέπει να υπολογίσουμε τον αριθμό των πλαισίων που θα συνδέσουμε παράλληλα.

Το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων (παράλληλης σύνδεσης) που θα χρειαστούμε δίνεται από:

$$(6 \text{ kW}) / (225 \text{ W}) = 26.6 \cong 27 \text{ φωτοβολταϊκά πλαίσια}$$

Τελικά, η φωτοβολταϊκή γεννήτρια θα δίνει τάση 48V και θα παράγει ισχύ  $27 \times 225W = 6000W = 6kW$ .

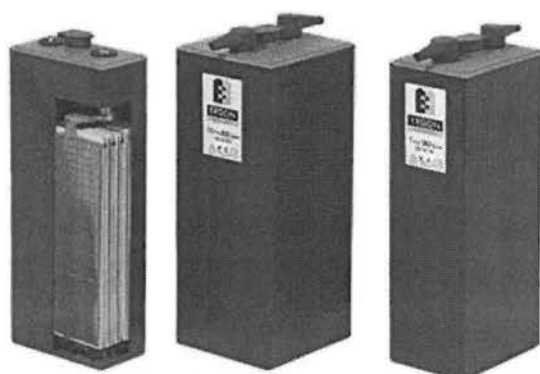
Έτσι, θα φτιάξουμε 3 ομάδες που θα αποτελούνται από 9 πλαίσια η κάθε μία.

#### 6.4 Οι συσσωρευτές

Με γνώμονα τα χαρακτηριστικά που δίνουν οι κατασκευαστές, επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε συσσωρευτές PzSH διότι υπερέχουν έναντι πολλών άλλων συσσωρευτών. Πιο συγκεκριμένα, έχουν μεγάλο βάθος εκφόρτισης, έως και 80%, κι επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής, πάνω από 12-14 χρόνια προσδόκιμα. 720Ah - 972Ah σε κύκλο φόρτισης C5 ωρών και C120 ωρών, μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης 2V. Οι μόνιμοι συσσωρευτές PzS- Solar είναι Σωληνωτού τύπου χαμηλής συντήρησης, και είναι ειδικά σχεδιασμένοι για κύκλους φόρτισης - εκφόρτισης υψηλής αυτονομίας και ασφάλειας. Επίσης καλύπτει τις απαιτήσεις των προδιαγραφών IEC 60896-11 και IEC 61427 για συστήματα ΑΠΕ.

Τύπος Hawker4PzS 320	
Τάση	2V
Ονομαστική Χωρητικότητα	720Ah (C5)
Διαστάσεις (Πλάτος/ βάθος / Ύψος)	83x198x435mm
Βάρος	18.4kg

Πίνακας 6.8  
Χαρακτηριστικά συσσωρευτή Hawker PzS 720



## Σχήμα 6.2 Συσσωρευτές PzS 720

Δεδομένου ότι επιλέξαμε ως τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των συσσωρευτών τα 48V θα πρέπει να συνδέσουμε 24 συσσωρευτές σε σειρά, για κάθε κλάδο συσσωρευτών, αφού η ονομαστική τάση των συσσωρευτών PzS είναι 2V. Συνεπώς, θεωρούμε ότι το βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών είναι  $\beta=80\%$ , ο συντελεστής απόδοσής τους είναι  $\alpha=85\%$  και η τάση τους 48V.

Επιπλέον, επειδή πρόκειται για σύστημα που θα λειτουργεί καθ' όλη την διάρκεια του έτους πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας τις πιθανές διαδοχικές ημέρες συννεφιάς καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Μια αρκετά καλή προσέγγιση είναι να σχεδιάσουμε το σύστημά μας ώστε να παρέχει ενέργεια στην οικία έως και 7 διαδοχικές ημέρες συννεφιάς, κατά τους χειμερινούς μήνες. Τότε, η ικανότητα αποθήκευσης των συσσωρευτών  $E(\text{kWh})$  πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με:

$$E = 7\text{days} * \frac{10\text{kWh}}{\text{day}} = 70\text{kWh}$$

Σε περίπτωση, που τα θερινά από τα χειμερινά φορτία διαφέρουν, όπως μελετάμε στην περίπτωση Β, τότε πρέπει να προβλέψουμε και μια αυτονομία του συστήματος για τους καλοκαιρινούς μήνες και θεωρούμε ότι έχουμε 2 ημέρες συννεφιάς κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Τότε, η ικανότητα αποθήκευσης των συσσωρευτών πρέπει να ισούται με:

$$E = 2\text{days} * \frac{14\text{kWh}}{\text{day}} = 28\text{kWh} < 70\text{kWh}$$

Τελικά, το σύστημά μας θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να δύναται να παρέχει ενέργεια ίση με 70kWh, σε περίπτωση διαδοχικών ημερών συννεφιάς, γεγονός που καλύπτει τόσο τους χειμερινούς όσο και τους θερινούς μήνες. Η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών πρέπει να είναι:

$$C_N = \frac{E}{a * b * V} = \frac{70kWh}{0.85 * 0.8 * 48V} = 2145 Ah$$

Άρα, είναι προφανές ότι θα χρειαστούμε  $2145Ah/720Ah=2,98\cong 3$  παράλληλους κλάδους συσσωρευτών, καθένας από τους οποίους θα αποτελείται από 24 εν σειρά συνδεδεμένους συσσωρευτές. Δηλαδή, συνολικά, η συστοιχία των συσσωρευτών θα αποτελείται από 72 μπαταρίες, ονομαστικής χωρητικότητας:

$$3 \times 720Ah = 2160Ah$$

που είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από την ζητούμενη. Αυτό όμως δεν μας ενοχλεί διότι αφενός η απώλεια σε αμπερώρια είναι πολύ μικρή και αφετέρου δεν θέλουμε να αυξήσουμε το κόστος της εγκατάστασης τοποθετώντας επιπλέον συσσωρευτές.

## 6.5 Επιλογή ρυθμιστή Φόρτισης

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

Στην παρούσα μελέτη, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα οργανωθούν σε 3 ομάδες, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη ενότητα. Είναι προφανές, λοιπόν, ότι απαιτούνται 3 ρυθμιστές φόρτισης για την σωστή λειτουργία της συστοιχίας των συσσωρευτών.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που επιλέξαμε παράγουν ισχύ 225Wr και σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής το ρεύμα και η τάση τους είναι 7.63A και 29,5V, αντίστοιχα.

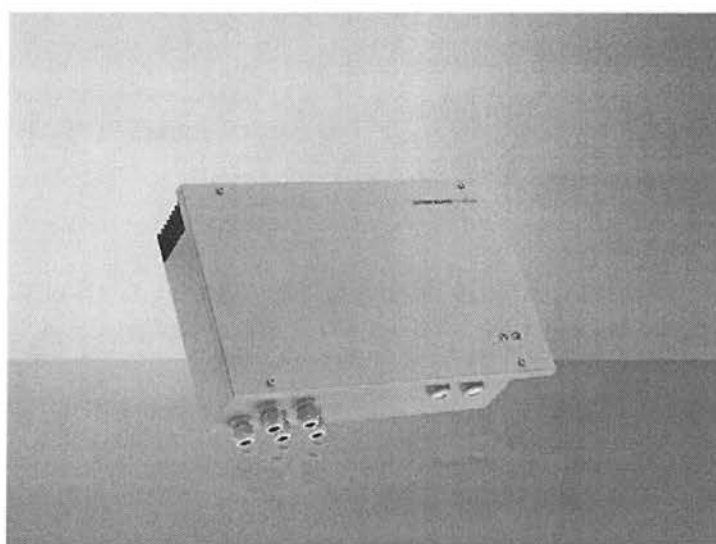
Ο τύπος των ρυθμιστών φόρτισης που θα τοποθετήσουμε στο σύστημά μας εξαρτάται κυρίως από την τάση και το ρεύμα που παράγει η κάθε ομάδα φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα πλαίσια θα οργανωθούν σε 3 ομάδες των 9 πάνελ, που θα παράγουν ρεύμα εντάσεως  $7.45A \times 3 = 22,9A$  και τάση 88,5V η κάθε μία.

Συνεπώς, μια καλή επιλογή θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε ρυθμιστές φόρτισης τύπου SunnyIslandCharger 40. Τα χαρακτηριστικά τους καταγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Τύπος SunnyIslandCharger 40	
Μέγιστη ισχύ εισόδου (P)	2100W
Μέγιστη τάση εισόδου (Udc,max)	140V
Βέλτιστο $M_{ppT}$ πεδίο τάσης	70V- 100V
Μέγιστη ένταση εισόδου (Ipn, max)	30A
Ονομαστική ισχύς εξόδου (Pdc, nom)	2000W
Ονομαστική τάση εξόδου (Vdc, nom)	48V
Προστασία συσκευής	Ναι
Διαστάσεις Πλάτος/Υψος/βάθος	11,81x19,69x6,69mm
Βάρος	19kg

Πίνακας 6.9



Σχήμα 6.4 Φορτιστής SMA S. I. Charger 40



## 6.6 Επιλογή Inverter

Ο inverter είναι η συσκευή που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα του φωτοβολταϊκού συστήματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Έτσι, από τους συσσωρευτές του συστήματος μπορούμε να τροφοδοτήσουμε όλες τις οικιακές συσκευές που απαιτούν 230V. Δεν έχει σημασία πόσες συσκευές θα συνδέσουμε ταυτόχρονα, αρκεί η ισχύς όλων αυτών των συσκευών που λειτουργούν συγχρόνως να μην ξεπερνά την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ του μετατροπέα. Ένας μετατροπέας καλής ποιότητας κλείνει αν από λάθος συνδεθεί μια συσκευή μεγαλύτερης ισχύος από αυτήν που μπορεί να αντέξει, προστατεύοντας, κατ' αυτόν τον τρόπο, τις ηλεκτρικές συσκευές. Το ίδιο γίνεται και σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι οι μπαταρίες του συστήματος τείνουν να αδειάσουν.

Επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε έναν inverter SMA SUNNY ISLAND 8.0H, με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οποίου καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Τύπος SMA SUNNY ISLAND 8.0H	
Είσοδος DC συσσωρευτή	
Μέγιστη ισχύς (P <sub>pn</sub> )	6000W
Μέγιστη τάση εισόδου (U <sub>dc,max</sub> )	48V
Μέγιστη ένταση εισόδου (I <sub>pn, max</sub> )	140A
Πεδίο τάσης (U <sub>pn, range</sub> )	41V- 63V
Έξοδος AC (καταναλωτής/αυτόνομο δίκτυο)	
Ονομαστική ισχύς (P <sub>ac, nom</sub> )	6000W
Ονομαστική τάση δικτύου / Εύρος τάσης AC	230V /202V – 253V
Ονομαστική συχνότητα / Εύρος συχνοτήτων (ρυθμιζόμενο)	50Hz / 45Hz - 65Hz)
Βαθμός απόδοσης	95%
Είσοδος AC (γεννήτρια, δίκτυο ή MC-Box)	Ναι
Προστασία AC υπέρτασης	Ναι
Διαστάσεις Πλάτος/Υψος/βάθος	467x612x242mm
Βάρος	63kg

Πίνακας 6.10



Σχήμα 6.4 Αντιστροφέας SMA Sunny Island

### 6.7 Τοποθέτηση Φ/Β πλαισίων

Για να τοποθετήσουμε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε παράλληλες σειρές, θα πρέπει να υπολογίσουμε τις αποστάσεις μεταξύ των σειρών, για να αποφύγουμε το φαινόμενο της σκίασης των συλλεκτών.

Η δυσμενέστερη περίπτωση για την σκίαση είναι όταν ο ήλιος βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο του ορίζοντα (στις 21 Δεκεμβρίου) όπου έχει και το χαμηλότερο ύψος. Γι' αυτό αν ο υπολογισμός για την αποφυγή σκίασης των Φ/Β πλαισίων (που είναι τοποθετημένα σε σειρές) γίνει για της 21 Δεκεμβρίου, δεν θα έχουμε πρόβλημα σκίασης σε όλη την διάρκεια του έτους.

Οπότε από την σχέση  $\eta = 90 - \theta$  για  $\theta = \phi - \delta$  θα υπολογίσουμε την γωνία  $\eta$  που μας δίνει το ύψος του ήλιου για το ηλιακό μεσημέρι ( $\omega=0$ ).

Το γεωγραφικό πλάτος για την πόλη της ρόδου με βάση τα στοιχεία του πίνακα είναι  $\phi = 36', 26''$  ή  $\phi = 36,43^\circ$ .

Η απόκλιση  $\delta$  για την δυσμενέστερη περίπτωση είναι (που ο ήλιος είναι στο χαμηλότερο σημείο) είναι  $\delta = -23',27''$  ή  $-23,45^\circ$ .

Επομένως :  $\theta = \phi - \delta = 36,43 - (-23,45) = 59,48^\circ$

$\eta = 90 - \theta = 90 - 59,48 = 30,12^\circ$

Η τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων θα γίνει σε δυο σειρές με απόσταση  $X$  μεταξύ τους και με κλίση  $\beta$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Συμφώνα με τον νόμο των ημιτόνων και επειδή οι παραπληρωματικές γωνίες έχουν το ίδιο ημίτονο [ $\eta\mu\alpha = \eta\mu(\eta + \beta)$ ] ισχύει :

$$\frac{X}{\sin(\eta + \beta)} = \frac{h}{\sin \eta}$$

Οπότε για την απόσταση  $\chi$  θα έχουμε :

$$\chi = h \frac{\sin(\eta + \beta)}{\sin \eta} = h * h1$$

$$\chi = 1,639 \frac{\sin(30,12 + 29)}{\sin 30,12} = 1,639 \frac{0,858}{0,502} = 1,639 * 1,709 = 2,801 \text{ m}$$

Για την απόσταση  $\chi'$  θα έχουμε :

$$\cos \beta = \frac{\chi'}{h}$$

$$\chi' = h * \cos \beta = 1,639 * 0,875 = 1,434 \text{ m}$$

Την συνολική έκταση που απαιτείται για την τοποθέτηση , χωρίς σκίαση, των σειρών των Φ/Β πλαισίων, την υπολογίζουμε από την σχέση :

$$\begin{aligned} F_s &= [(v - 1) * x + x'] * y = \left[ \frac{(v - 1) * h \sin(\eta + \beta)}{\sin \eta} + h * \cos \beta \right] y \\ &= [(3 - 1) * 1,639 * 1,709 + 1,639 * 0,875] 9 * 0,983 = 7,05 * 8,85 \\ &= 60 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Στην έκταση  $F_s$  όμως, προσθέτουμε και την αναγκαία έκταση για τον έλεγχο και την συντήρηση των πλαισίων, έτσι ώστε να έχει πρόσβαση κάποιος περιμετρικά γύρω από τα όρια της ιδιοκτησίας.

$$F_s = [(v - 1) * x + x' + xa + xb] * (y + ya + yb) = (7,05 + 1 + 1) * (8,85 + 1 + 1) = 98m^2$$

## 6.8 Επιλογή διατομής καλωδίων

Η επιτρεπόμενη πτώση τάσης με βάση τους διεθνείς κανόνες πρέπει να είναι κάτω του 5 % ( $U_{πτ} < 5\% * U_{ον}$ )

α. Διαδρομή από ομάδα Φ/Β συλλεκτών μέχρι τον Ρυθμιστή – φορτιστή.

1. Έλεγχος με βάση την πυκνότητα ρεύματος.

Για ένταση ρεύματος  $I_{σ} = 3 * 7,63A = 22,9A$  και για τύπο καλωδίου H07RN-F με βάση τα στοιχεία του πίνακα 52-K1 του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384, η διατομή θα είναι  $S = 2,5mm^2$ . Επειδή τα καλώδια αυτά θα τοποθετηθούν εξωτερικά (στήριξη και δέσιμο στο πίσω μέρος των συλλεκτών), με βάση τα στοιχεία των πινάκων 52-Δ1 και 52-Ε1 του προτύπου θα έχουμε :

Β) Έλεγχος με βάση την επιτρεπόμενη πτώση τάσης ( $U_{πτ} < 5\% * U_{ον}$ ).

Η απόσταση από τους Φ/Β συλλέκτες μέχρι το ηλεκτροστάσιο της οικίας είναι  $l' = 10m$  και το συνολικό μήκος των καλωδίων είναι  $l = 2l' = 2 * 10 = 20m$

Η αντίσταση του καλωδίου θα είναι :

$$\text{Για } l = 20m, R1 = \rho * \frac{l}{S} = 0,018 * \frac{20}{2,5} = 0,144\Omega$$

$$U_{πτ} = I_{σ} * R1 = 22,9 * 0,144 = 3,3V$$

$$U_{επ} < U_{σ} * 5\% < 88,5 * 0,05 = 4,425$$

Από τους υπολογισμούς προκύπτει  $U_{πτ} < U_{επ}$  ή  $3,3V < 4,425V$

Επομένως με καλώδιο διατομής  $2X2,5mm^2$ , έχουμε πτώση τάσης πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη.

Το ίδιο ισχύει και για τις άλλες 2 σειρές.

2) Διαδρομή από τους Ρυθμιστές – φορτιστές στην συστοιχία των συσσωρευτών.

Η συνολική χωρητικότητα της συστοιχίας είναι :

$$Q = 720 \text{ Ah}$$

Για ταχεία φόρτιση ή εκφόρτιση (0,2C), έχουμε :

$$I' \phi = 0,2 * 720 = 144 \text{ A}$$

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 52-K2 του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384 για υλικό EPR και δυο φορτιζόμενους αγωγούς (για ένταση 144 A) η διατομή θα είναι  $S=25\text{mm}^2$ .

3) Διαδρομή από τον συσσωρευτή στον μετατροπέα.

Μέγιστη τάση εισόδου :  $U_{pn, \max} = U_{\sigma} = 48\text{V}$ .

Μέγιστη ένταση εισόδου :  $U_{pn, \max} = 125\text{A}$

Μέγιστη ισχύς εισόδου:  $P_{pn, \max} = U_{pn, \max} * I_{pn, \max} = 48 * 125 = 6,3\text{KW}$

Μέγιστη ισχύς εξόδου :  $P_{\max} = P_{pn} * \eta' \delta$

Όπου  $\eta' \delta$  είναι το γινόμενο βαθμού απόδοσης του μετατροπέα ( $\eta_1=96\%$ ) και του βαθμού απόδοσης πινάκων ( $\eta_3=98\%$ ).

$$\text{Επομένως } \eta' \delta = \eta_1 * \eta_3 = 0,96 * 0,98 = 0,94$$

$$P_{\max} = 5930\text{KW} \text{ ή } 6\text{KW}$$

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 52-K2 του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384 για υλικό EPR και δυο φορτιζόμενους αγωγούς (για ένταση 125 A) η διατομή θα είναι  $S=25\text{mm}^2$ .

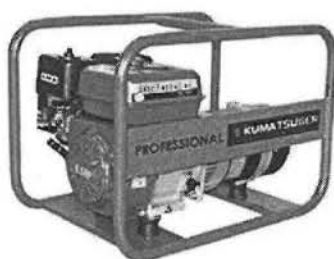
## 6.9 Επιλογή βοηθητικής ηλεκτρικής πηγής

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.

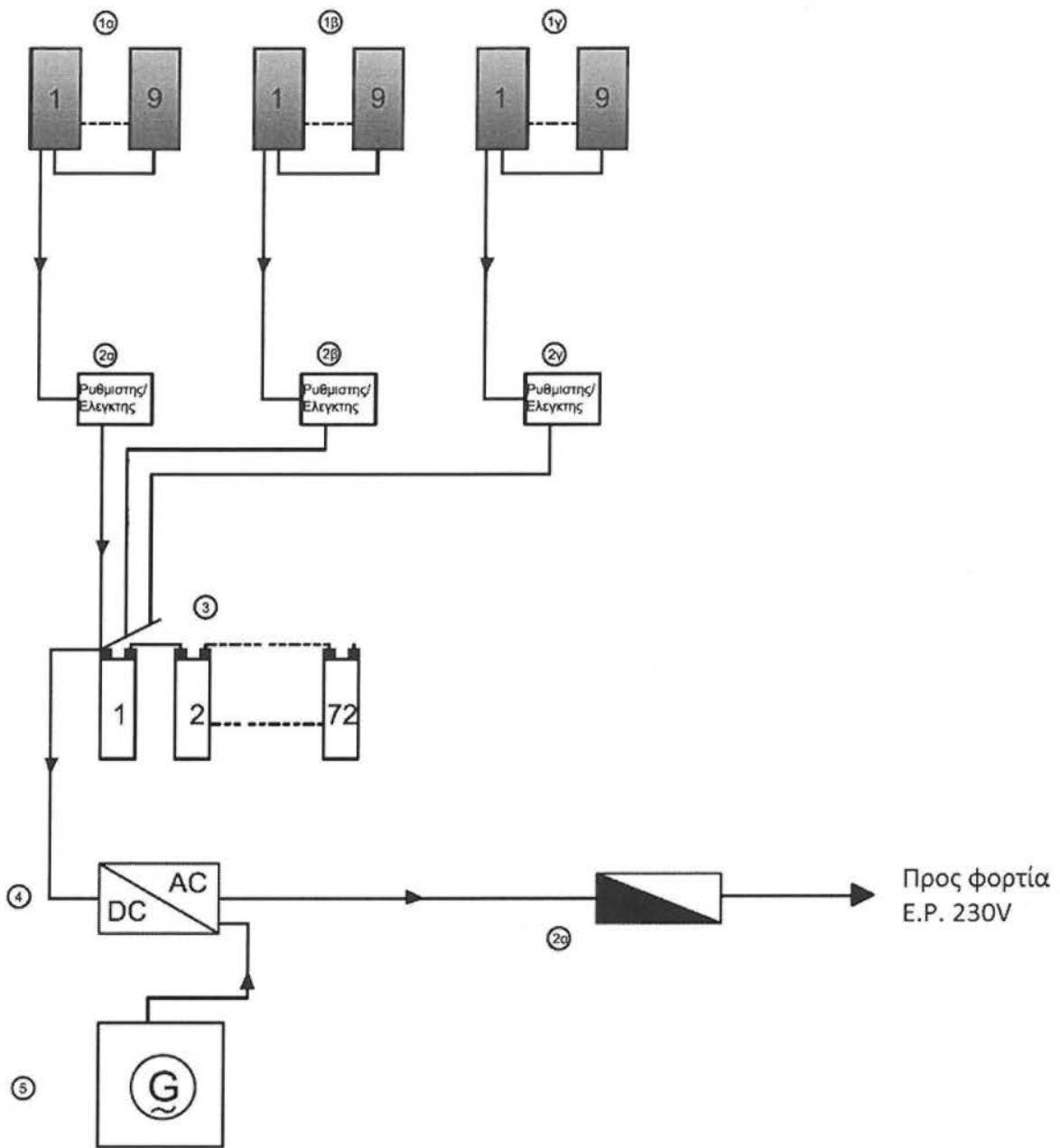
Ενδεικτικά, μπορούμε να προτείνουμε μια γεννήτρια της τάξεως των 4,1kW, όπως είναι η Kumatsu KP4200. Μια τέτοια γεννήτρια αρκεί για να καλύψουμε κάποιες ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα όπως είναι η λειτουργία του ψυγείου, ο εσωτερικός φωτισμός, η τηλεόραση και ο φορητός υπολογιστής.



Σχήμα 6.5 Γεννήτρια

### 6.10 Μορφή φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, καταλήξαμε ότι για την συγκεκριμένη εγκατάσταση θα χρειαστούμε 27 φωτοβολταϊκά πλαίσια οργανωμένα σε 3 ομάδες. Τα πλαίσια της κάθε ομάδας θα είναι συνδεδεμένα παράλληλα και θα συνδέονται με έναν ελεγκτή φόρτισης ο οποίος θα καταλήγει στους συσσωρευτές. Οι συσσωρευτές αποτελούνται από 3 παράλληλους κλάδους, καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει 24 συσσωρευτές σε σειρά. Η συστοιχία των συσσωρευτών συνδέεται με έναν inverter, στους οποίους έχει γίνει ισοκατανομή των ηλεκτρικών καταναλώσεως της οικίας. Σε περιπτώσεις μηδενικής ηλιοφάνειας, αν κριθεί απαραίτητο, στους αντιστροφείς μπορεί να συνδεθεί μια γεννήτρια ντίζελ.



Σχήμα 6.5 Μονογραμμικό σχέδιο του συστήματος

## 7<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ”

Ολοκληρώνοντας την μελέτη αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση της οικίας 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.

Οι ενδιαφερόμενοι πρέπει να κατανοήσουν ότι, εφόσον η ηλεκτρική τροφοδότησή τους βασίζεται αποκλειστικά σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, πρέπει να περιορίσουν τις ανάγκες τους σε ηλεκτρική ενέργεια στον μέγιστο δυνατό βαθμό. Ο μηχανικός οφείλει να τους προτείνει εναλλακτικές λύσεις σε ότι αφορά την χρήση συσκευών που μπορούν να αντικατασταθούν από άλλες που δεν απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια, όπου αυτό είναι δυνατόν, προκειμένου να πάρει μια τελική και συγχρόνως ικανοποιητική απόφαση ως προς το μέγεθος της εγκατάστασης.

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 έχουν κάποια όρια ύπαρξης και 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

- (1) “Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας”, Β. Μπιτζιώνης, εκδόσεις ΤΖιόλα
- (2) “ Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία”, Κ. Καγκαράκη, εκδόσεις Συμμετρία, 1992
- (3) “ Planning and Installing Photovoltaic Systems ”, second edition, Earthscan
- (4) “Electricity from Sunlight:An Introduction toPhotovoltaics”,Paul A.Lynn, WILEY
- (5) “Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών ”, Π. Ντοκόπουλος, εκδόσεις Ζήτη

Internet – Διάφορα Άρθρα φωτοβολταϊκών

[http://www.epia.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/GMO\\_2013 -  
\\_Final\\_PDF.pdf](http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf)

<http://www.seia.org/research-resources/solar-industry-data>

<http://www.voria.gr/index.php?module=news&func=display&sid=120466>

[http://helapco.gr/pdf/pv-stats\\_greece\\_2010.pdf](http://helapco.gr/pdf/pv-stats_greece_2010.pdf)

Εφαρμογές

PVsys, Sunny Design, AutoCAD, MS Excel, MS word