

ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

Επιβλέπων: ΗΡΑΚΛΗΣ Α.ΒΙΛΛΙΩΤΗΣ, Καθηγητής Εφαρμογών

**ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΦΑΡΟΥ ΑΠΟ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
AUTONOMOUS FUNCTIONING LIGHTHOUSE FROM SOLAR
ENERGY**



**Πτυχιακή Εργασία:
ΓΚΙΟΚΑΣ Α. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (Α.Μ. 24376)**

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013

Copyright © Κωνσταντίνος Γκιόκας 2013 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια ο τομέας των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) αρχίζει και κερδίζει όλο και μεγαλύτερο έδαφος στην καθημερινότητα του ανθρώπου. Η σωρεία προβλημάτων που συνεπάγεται η χρήση τους όπως η διαφαινόμενη εξάντληση των αποθεμάτων τους, τα τεράστια οικολογικά προβλήματα, η διαθεσιμότητα τους καθώς και τα αλλοπρόσβαλα σκαμπανεβάσματα της τιμής των συμβατικών μορφών ενέργειας ωθούν την παγκόσμια κοινότητα στην πεποίθηση ότι οι ΑΠΕ αποτελούν την μοναδική αυτή τη στιγμή λύση στο τομέα της ενέργειας.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται σε μια από τις πιο διαδεδομένες μορφές ΑΠΕ: την ηλιακή. Πιο συγκεκριμένα η εργασία πραγματεύεται την μελέτη και σχεδίαση ενός συστήματος φωτοβολταϊκών. Το σύστημα αυτό προορίζεται να εξυπηρετεί τις ενεργειακές ενός φάρου. Αναλυτικότερα η πτυχιακή διαρθρώνεται ως εξής: . Η παρούσα διατριβή ασχολείται με τον σχεδιασμό και την κατασκευή των φάρων στον Ελλαδικό χώρο και παράλληλα διερευνάται η γέννηση του φαρικού δικτύου. Αρχικά, γίνεται μια εκτενής αναφορά και περιγραφή στους φάρους, παρουσιάζοντας την μορφολογία και τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά.

Τα κεφάλαια 1,2,3,4,5 και 6 αποτελούν τη θεωρητική διερεύνηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Περιγράφεται η εξέλιξη των φωτοβολταϊκών στην πάροδο του χρόνου, η ηλιακή ακτινοβολία και ζητήματα που έχουν να κάνουν με τη φύση του φωτός και του ήλιου, γίνεται ανάλυση του φωτοβολταϊκού φαινομένου και των διαφόρων τύπων φωτοβολταϊκών συλλεκτών, και τέλος αναφέρονται οι κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων και οι βασικοί υπολογισμοί μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Το κύριο μέρος της εργασίας ολοκληρώνεται με τα κεφάλαια 7 και 8. Εδώ παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για τους φάρους και η μελέτη που πραγματοποιήθηκε και ο σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος. Γίνεται διαστασιολόγηση του φωτοβολταϊκού συστήματος των φάρων και περιγράφεται ολοκληρωμένο το υβριδικό σύστημα και ο τρόπος λειτουργίας του.

Η πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με τα παραρτήματα τα οποία περιέχουν τους πίνακες των μεγεθών που χρησιμοποιήθηκαν.

Abstract

In recent years the sector of Renewable Energy Sources (RES) is gaining increasing ground in everyday human . The multitude of problems associated with their use as the looming depletion of reserves , huge ecological problems , their availability and the fickle ups and downs of the price of conventional energy pushing the global community on the belief that renewable are the only currently solution to the energy sector.

This project relates to one of the most prevalent forms of RES solar. More specifically, the paper discusses the study and design of a photovoltaic system. The system is intended to serve the energy of a lighthouse. Specifically, the thesis is structured as follows: . This thesis deals with the design and construction of lighthouses in Greece and also explores the birth of the lighthouse network. Initially, there is a comprehensive reference and description lighthouses, showing the morphology and structural characteristics.

Chapters 1,2,3,4,5 and 6 are the theoretical investigation of photovoltaic systems. Describes the evolution of PV over time, solar radiation and issues having to do with the nature of light and the sun , an analysis of the photovoltaic effect and the various types of photovoltaic panels, and finally lists the categories of PV systems and basic calculations of a PV system .

The main part of the paper concludes with chapters 7 and 8. Here are general data for the lighthouses and the study conducted and the design of the hybrid system . Is sizing the photovoltaic system of lighthouses and described integrated hybrid system and the way it works.

The thesis concludes with appendices containing tables of sizes used.

Ευχαριστίες

Μέσω αυτών των γραμμών θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες αλλά και την ευγνωμοσύνη μου απέναντι στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ.Βιλλιώτη Ηρακλή για την αποφασιστική συμβολή του στην εκπόνηση της εργασίας μου καθ' όλη την εξέλιξη της.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1.....	10
Η εξέλιξη των φωτοβολταϊκών.....	11
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	12
1.2 Εξέλιξη απόδοσης και κόστους των φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	16
1.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα στην Ελλάδα.....	18
1.4 Ηλιακή Ενέργεια.....	20
1.5 Παθητικά ηλιακά συστήματα.....	21
1.6 Ενεργειακά ηλιακά συστήματα.....	23
1.7 Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	24
Κεφάλαιο 2.....	26
Ηλιακή Ακτινοβολία.....	27
2.1 Ηλιακή ακτινοβολία και η Ένταση της.....	27
2.2 Η δομή του Ήλιου.....	27
2.3 Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας.....	30
2.4 Διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	31
2.5 Οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας.....	33
2.6 Ηλιακή γεωμετρία.....	34
2.7 Προσανατολισμός του συλλέκτη.....	36
2.8 Βέλτιστη κλίση του συλλέκτη.....	38
2.9 Προσανατολισμός του συλλέκτη ως προς τον αληθή νότο.....	39
2.10 Όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας.....	39
2.11 Ηλιακή ακτινοβολία στη χώρα μας.....	42
Κεφάλαιο 3.....	44
Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	44
3.1 Ημιαγωγοί.....	45
3.2 Ημιαγωγοί πρόσμειξης.....	48
3.3 Επαφή ημιαγωγών τύπου p-η.....	49
3.4 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	50
3.5 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ΦΒ στοιχείου.....	52
3.6 Τάση ανοικτού κυκλώματος - ρεύμα βραχυκύκλωσης.....	54
3.7 Ηλεκτρική συμπεριφορά φωτιζόμενου ΦΒ στοιχείου.....	55
3.8 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	57
3.9 Σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος.....	59
3.10 Καμπύλη φόρτου.....	59
3.11 Πρότυπες συνθήκες ελέγχου - ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	61
3.12 Παράγων πλήρωσης FF φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	62
3.13 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	62

Κεφάλαιο 4.....	66
Φωτοβολταϊκοί Συλλέκτες	67
4.1 Φωτοβολταϊκός συλλέκτης πυριτίου (πλαίσιο).....	67
4.2 Ονομαστική ισχύς ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου	69
4.3 Απόδοση ΦΒ πλαισίου και παράγοντες που την επηρεάζουν	70
4.4 Σημείο λειτουργίας ΦΒ πλαισίου κάτω από διαφορετικές πυκνότητες ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας	72
4.5 Διάκριση φωτοβολταϊκών πλαισίων	73
4.6 Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών πλαισίων	74
4.7 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συλλεκτών	78
Κεφάλαιο 5.....	89
Κατηγορίες Φωτοβολταϊκών Συστημάτων	81
5.1 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα	82
5.2 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (με δυνατότητα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας)	84
5.3 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται εξολοκλή-ρου στο κεντρικό δίκτυο).....	85
5.4 Υβριδικό σύστημα αυτόνομο.....	87
5.5 Υβριδικό σύστημα διασυνδεδεμένο.....	89
5.6 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες)	89
5.7 Συσσωρευτές μολύβδου ($Pb - H_2SO_4$)	90
5.8 Συνδεσμολογία συσσωρευτών	93
5.9 Ελεγκτής φόρτισης-εκφόρτισης.....	96
5.10 Τύποι ελεγκτών φόρτισης-εκφόρτισης.....	97
5.11 Μετατροπείς (converters)	99
5.12 Μετατροπέας DC-DC.....	100
5.13 Μετατροπέας DC-AC (inverter).....	100
5.14 Μετατροπείς DC-AC δικτύου	101
Κεφάλαιο 6	107
Υπολογισμοί φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης	108
6.1 Μελέτη φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.....	108
6.2 Εκτίμηση του μεγέθους των ενεργειακών αναγκών.....	109
6.3 Εκτίμηση του συνολικού βαθμού απόδοσης του Φ/Β συστήματος	111

Κεφάλαιο 7.....	113
Φάροι.....	113
7.1 Εισαγωγή.....	114
7.2 Σκοπός.....	115
7.3 Ορισμοί.....	116
7.4 Ιστορία και εξέλιξη του φαρικού δικτύου.....	119
7.4.1 Εισαγωγή.....	119
7.5 Προέλευση.....	120
7.6 Το Φαρικό δίκτυο της Ελλάδος.....	121
7.7 Τεχνολογικά στοιχεία.....	125
7.7.1 Εξέλιξη φαρικών συστημάτων και συστημάτων ναυσιπλοΐας.....	125
7.8.1 Είδη Φάρων.....	127
7.8.2 Μέτρηση χαρακτηριστικού.....	128
7.8.3 Τομείς Φάρων.....	128
7.9 Ισχύς Φάρων.....	129
7.10 Πιλοτικό σύστημα τηλεπαρακολούθησης και τηλεέγχου της λειτουργίας των Ελληνικών Φάρων.....	131
7.11 Σύστημα λειτουργίας Φάρων.....	132
7.11.1 Εξέλιξη Φαρικών οπτικών συστημάτων : Ανακλαστήρας.....	132
7.11.2 Εξέλιξη οπτικών συστημάτων: Λαμπτήρες Fresnel, σήμερα.....	133
7.11.3 Φάροι πετρελαίου, ασετιλίνης, ηλεκτρικοί και ηλιακοί Φάροι.....	134
7.12 Εξέλιξη Ελληνικών φαρικών οπτικών συστημάτων.....	135
7.13 Φαρικό δίκτυο σήμερα.....	136
Κεφάλαιο 8.....	138
Υπολογισμός Φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	139
8.1 Εισαγωγή.....	139
8.2 Ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης κατοικίας.....	140
8.3 Υπολογισμός φωτοβολταϊκού Συστήματος.....	146
8.4 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συλλεκτών με βέλτιστη κλίση 55°, για όλο το χρόνο.....	154
8.5 Υπολογισμός χωρητικότητας συσσωρευτών.....	158
8.6 Επιλογή Ρυθμιστή Φόρτισης.....	161
8.7 Επιλογή μετατροπέα τάσης (inverter).....	164
8.8 Υπολογισμός διατομής καλωδίων.....	166

Παράρτημα 1.....	168
Στοιχεία Μηνιαίας Ακτινοβολίας.....	168
Παράρτημα 2.....	184
Κλιματολογικά δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού Πάρνηθας	184
Βιβλιογραφία.....	197

Κεφάλαιο 1^ο

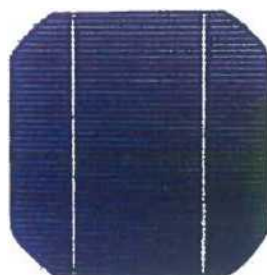
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Στις μέρες μας είναι επιτακτική η ανάγκη για εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτό γιατί (1^ο) πέρα από την ενέργεια που αντλούμε και θα αντλούμε για δεσεκατομύρια χρόνια ακόμα αφού έχουμε να κάνουμε με ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μάλιστα σε μία περίοδο που όπως όλα δείχνουν ότι οι συμβατικές πηγές ενέργειας πλησιάζουν στο τέλος τους, (2^ο) προστατεύουμε το φυσικό μας περιβάλλον, αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό αν σκεφτεί κανείς ότι για κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που λαμβάνουμε από το δίκτυο της ΔΕΗ και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης με την χρήση της ηλιακής ενέργειας συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων όπως τα καρκινογόνα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου. Οι ρύποι αυτοί επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία μας, και το περιβάλλον.

Οι προοπτικές για την ηλιακή ενέργεια είναι τεράστιες, καθώς η καθημερινή πρόσληψη ηλιακής ενέργειας από την Γη είναι περίπου 200.000 φορές μεγαλύτερη από το παγκόσμιο ημερήσιο δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής.

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, με την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων (ονομάζονται επίσης φωτοστοιχεία ή ηλιακά κύτταρα ή κυψελίδες). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγών σχεδόν τετραγωνικής μορφής ώστε η εσωτερική επαφή των ημιαγωγών να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια του πλακιδίου, (παλαιότερα τα συναντάμε και σε κυκλική μορφή δίσκου). Τα στοιχεία αυτά βασίζονται στην δημιουργία δύο ημιαγωγικών στρωμάτων σε επαφή. Συνήθως, τα δύο στρώματα αποτελούνται από το ίδιο κύριο υλικό, το ένα στρώμα είναι ημιαγωγός τύπου η και το άλλο τύπου ρ.

Όταν το φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται στην επιφάνεια του την ηλιακή ακτινοβολία, εκδηλώνεται μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και στην πίσω όψη του. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής του και την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται, ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μπορεί να δώσει τάση από 0,5 μέχρι και 0,8 Volts και πυκνότητα ρεύματος από 10 μέχρι 40 mA/cm² της επιφάνειας του.



Σχήμα 1.1. Τυπική μορφή φωτοβολταϊκού στοιχείου

Πολλά ΦΒ στοιχεία (33-36) συνδέονται σε σειρά, ώστε, όταν η διάταξη αυτή φωτίζεται προκύπτει συνολική τάση ανοικτού κυκλώματος (Open circuit) 17-22 Volts. Το πλήθος των ΦΒ στοιχείων επιλέγεται έτσι ώστε να ταιριάζει με την απαιτούμενη τάση φόρτισης ενός κοινού ηλεκτρικού συσσωρευτή μολύβδου-θεικού οξέως (Pb/H₂SO₄), ονομαστικής τάσης 12V. Η ολοκληρωμένη αυτή φωτοβολταϊκή διάταξη ονομάζεται Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module). Χρησιμοποιείται επίσης, σπανιότερα, η ορολογία, φωτοβολταϊκή γεννήτρια (Photovoltaic generator). Στο εμπόριο διατίθενται ΦΒ πλαίσια σε ευρεία περιοχή τιμών ισχύος αιχμής. Μικρές κατασκευές ΦΒ στοιχείων, μερικών W_p, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή ηλεκτρική ισχύ, όπως λ.χ. οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές «τσέπης». Σε εφαρμογές αυτόνομων ή συνδεδεμένων με το δίκτυο της ΔΕΗ, ΦΒ συστημάτων, χρησιμοποιούνται συνήθως, ΦΒ πλαίσια ισχύος αιχμής από 30 έως ~300W_p.



Σχήμα 1.2 Τοπική μορφή φωτοβολταϊκού πλαισίου

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Γύρω στο 1891, είχε αρχίσει να γίνεται αισθητή η μόλυνση του περιβάλλοντος στις μεγάλες βιομηχανικές πόλεις, μάλιστα εκείνη την εποχή το κυριότερο καύσιμο ήταν το κάρβουνο, ενώ δεν είχε αρχίσει ακόμα η μαζική χρήση του πετρελαίου. Η μεγάλη ώθηση για πρακτικές εφαρμογές της φωτοβολταϊκής μετατροπής δόθηκε με την πραγματοποίηση ορισμένων κρίσιμων τεχνολογικών προόδων, όπως η εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου από τον Albert Einstein (1904), η παρασκευή καθαρού πυριτίου με τη μέθοδο της τηγμένης ζώνης (1952), ο σχηματισμός διόδων πυριτίου με διάχυση προσμίξεων (1953), που οδήγησαν τελικά στην κατασκευή ηλιακών στοιχείων

σημαντικής απόδοσης 6% (1954) και ακόμα μεγαλύτερης 14% (1972). Συγκεκριμένα οι κυριότεροι σταθμοί στην εξέλιξη της φωτοβολταϊκής μετατροπής είναι:

1839 Παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε μεταλλικά ηλεκτρόδια (Pt, Ag) βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες από τον Γάλλο Φυσικό επιστήμονα Edmund Becquerel.



Edmund Becquerel (1820-1891)

1904 Ο Γερμανοεβραϊκής καταγωγής φυσικός Albert Einstein δημοσίευσε εργασία με την οποία έδωσε την εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Για αυτή του την προσπάθεια τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ το 1921.



*Albert Einstein
(1879-1955)*

1937 Κατασκευή ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου από Pb S από τους Fisher και Godden.

1939 Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Se με απόδοση 1% από τον Αμερικανό μηχανικό Russell Shoemaker Ohl.



Russell Ohl (1898-1987)

1941 Κατασκευή του πρώτου ηλιακού στοιχείου από Πυρίτιο Si, πάλι από τον Russell Ohl.



Ο Russell Ohl αρκετά νεότερος στο εργαστήριό του.

1952 Ανακάλυψη σταθμός στην εξέλιξη της φωτοβολταϊκής μετατροπής υπήρξε η μέθοδος της τηγμένης ζώνης για την κατασκευή στερεών πολύ μεγάλης καθαρότητας από τον ηλεκτροχημικό William Gardner Pfann γεννημένος στο Brooklyn της Νέας Υόρκης.



*William G. Pfann
(1917-1982)*

1953 Μια εξίσου σημαντική ανακάλυψη υπήρξε η μέθοδος σχηματισμού ενώσεων p-n με διάχυση προσμίξεων από τον Αμερικανό Φυσικοχημικό Calvin Souther Fuller.



Calvin Souther Fuller (1902-1904)

1954 Ανακοινώθηκε η πρώτη κατασκευή ηλιακού στοιχείου Πυριτίου Si, με σχηματισμό επαφής p-n, με διάχυση προσμίξεων και με απόδοση 6% από τους Fuller, Pearson και Charin στα εργαστήρια AT&T Bell Laboratories του New Jersey των Η.Π.Α.



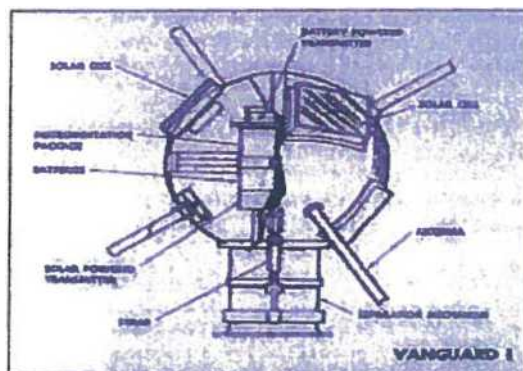
Σχήμα 1.3 Fuller, Pearson και Chapin στα Bell Laboratories των ΗΠΑ.

1956 Εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων Πυριτίου Si, από την εταιρεία Hoffman.



Σχήμα 1.4 Φωτογραφία από το Αμερικανικό περιοδικό Look Magazine 1956. Από τις πρώτες διαφημίσεις Φωτοβολταϊκής γεννήτριας της εποχής.

1958 Εκτόξευση του Αμερικανικού τεχνητού δορυφόρου Vanguard 1, εξοπλισμένου με έξι μικρά στοιχεία Si, ισχύος 5 mW, ως βοηθητική ενεργειακή πηγή. Ο δορυφόρος όχι μόνο έβγαλε εις πέρας την προβλεπόμενη λιγόμηνη διάρκεια του προγράμματος, αλλά εξακολούθησε να λειτουργεί χωρίς πρόβλημα επί έξι συνολικά χρόνια. Έτσι από το 1969 και μετά όλοι οι τεχνητοί δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με φωτοβολταϊκά στοιχεία.



Σχήμα 1.5 Πάνω αριστερά ο δορυφόρος και πάνω δεξιά αναλυτικότερα τα χαρακτηριστικά του.

1958 Εκτόξευση Σοβιετικού τεχνητού δορυφόρου με αποκλειστική τροφοδότηση από ηλιακά στοιχεία.

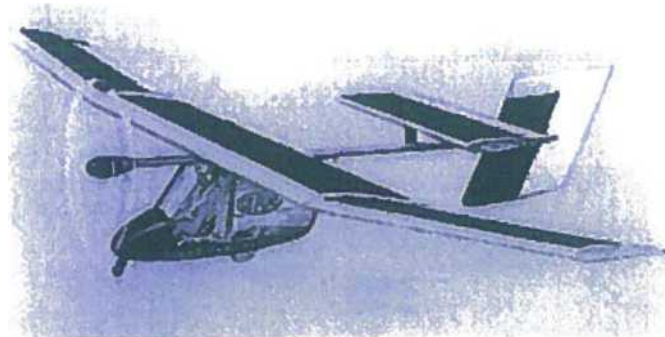
1959 Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από CdS, με απόδοση 5% από τον Hammond.

1972 Κατασκευή «ιώδους» ηλιακού στοιχείου από Si, με απόδοση 14% από Lindmayer και Allison.

1976 Κατασκευή ηλιακού στοιχείου άμορφου πυριτίου, με απόδοση 0,01% από Carlson και Wronski.

1977 Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs, με απόδοση 16% από τον Kameth.

1981 Πτήση πάνω από τη Μάγνη του αεροπλάνου Solar Challenger, εξοπλισμένου με 16128 ηλιακά στοιχεία Πυριτίου Si, ισχύος 2,7 kW. Η πτήση ήταν 163 μίλια και διήρκησε 5 ώρες και 23 λεπτά.



Σχήμα 1.6 7 Ιουλίου του 1981 το Solar Challenger πέταξε πάνω από τη Μάγνη.

1983 Έναρξη εμπορικής λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σταθμού της Βικτροβίλ, ισχύος 1MW.

1984 Έναρξη βιομηχανικής παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων στην Ιαπωνία από άμορφο πυρίτιο με απόδοση 5%.

1.2 Εξέλιξη απόδοσης και κόστους των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Ως απόδοση (η) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το στοιχείο προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του. Η απόδοση των ηλιακών στοιχείων δεν είναι πάντα σταθερή αλλά όπως θα δούμε στο κεφ. 4.3 μεταβάλλεται σημαντικά από διάφορους παράγοντες.

Για την εκτίμηση του **κόστους** των ηλιακών στοιχείων χρησιμοποιείται συμβατικά ο όρος Watt αιχμής (W_p , peak Watt) που είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που μπορεί να αποδώσει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες

ελέγχου (STC, $P_p = p_{m,STC}$)· (η έννοια αυτή, STC, πρότυπες συνθήκες ελέγχου ορίζεται στο κεφ. 3.11).

Αρχικά, το 1956 οι πρώτες εμπορικές κατασκευές Φωτοβολταϊκών στοιχείων, κυρίως διαστημικές, ήταν πολύ υψηλού κόστους ($1000\$/W_p$ ή σε ευρώ $759\text{€}W_p$) με σχετικά μικρή απόδοση 5-10%, το δε υλικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν κυρίως το κρυσταλλικό Πυρίτιο (c-Si) όπως και στις μέρες μας. Στην συνέχεια όμως, από το 1956 και μετά με την αύξηση της παραγωγής και τη βελτίωση της τεχνολογίας, πραγματοποιήθηκε ραγδαία μείωση του κόστους όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα Ει. Αμέσως εκτός από τις διαστημικές εφαρμογές άρχισαν σταδιακά και οι επίγειες εφαρμογές της φωτοβολταϊκής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι στις μέρες μας το κόστος των Φωτοβολταϊκών στοιχείων κυμαίνεται περί τα $1,9\$/W_p$ ή σε ευρώ $1,5\text{€}W_p$. Η δε απόδοση έχει αυξηθεί στο 22% σε ΦΒ στοιχεία για διαστημικές εφαρμογές και στο 14-18% σε ΦΒ στοιχεία για βιομηχανική-οικιακή χρήση.

Τύπος	Κόστος ανα W_p (σε S)
1956	1000
1960	400
1970	100
1975	40
1980	10
1985	6
2012	1,9

Σχήμα 1.7 Εξέλιξη του κόστους των ηλιακών στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου.

Κατά την δεκαετία του 1980, η τάση μείωσης του κόστους βιομηχανικής παραγωγής των ΦΒ στοιχείων, οδήγησε στη χρησιμοποίηση οικονομικότερων μεθόδων παρασκευής του βασικού φωτοαγωγίμου υλικού. Έτσι έχουμε την εμφάνιση κατηγορίας ΦΒ στοιχείων από **άμορφο Πυρίτιο** (a-Si), αυτά χαρακτηρίζονται από τη δημιουργία πολύ λεπτών στρωμάτων ή υμενίων υλικού (films), κυρίως πυριτίου, σε επιμελημένα καθαρισμένη επιφάνεια, που επιτρέπει την πρόσφυση του αποτιθέμενου υλικού. Επίσης οι προσπάθειες μείωσης του κόστους κατασκευής ενός ΦΒ στοιχείου οδήγησαν τελικά σε νέες διαφορετικές μεθόδους εναπόθεσης, με πολύ καλά αποτελέσματα, έτσι παρασκευάστηκαν ΦΒ στοιχεία με σχηματισμό ταινιών υλικού, από λειωμένη φάση, με εργαστηριακή απόδοση -15%. Η επιφάνεια τους εμφανίζει μονοκρυσταλλικότητα κατά περιοχές, το δε υλικό ονομάζεται **πολύκρυσταλλικό Πυρίτιο** (mc-Si). Το πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο, χρησιμοποιείται για την παρασκευή ΦΒ στοιχείων, που μπορούν να καλύψουν μεγάλη επιφάνεια, με βιομηχανική απόδοση 12%-13%, πολύ κοντά στην βιομηχανική απόδοση ΦΒ στοιχείων μονοκρυσταλλικού Πυριτίου.

1.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα στην Ελλάδα

Στην χώρα μας, η συνολική εγκαταστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων διασυνδεδεμένων στο δίκτυο μέχρι και το Μάρτιο του 2011, ανερχόταν σε 274,2 MW_p, η δε συνολική εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων περιλαμβανόμενων των αυτόνομων, ανερχόταν σε 281,1 MW_p. Στο νησιωτικό χώρο εξελίσσεται σχέδιο εγκατάστασης 200 MW_p, εκ των οποίων 52,5 MW_p στην Κρήτη. Μερικά από τα εγκατεστημένα συστήματα αποτελούνται από μικρούς ΦΒ σταθμούς σε συνεργασία με αιολικά συστήματα και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, όπως π.χ. στη νήσο Κύθνο (100 kW_p), στη νήσο Γαύδο (30kW_p) καθώς και ΦΒ αντλητικά συστήματα σε διάφορα νησιά. Μέχρι το 1991, οπότε και άρχισε η σταδιακή απόσυρση των εγκαταστάσεων του, βρισκόταν σε λειτουργία στην Αγία Ρουμέλη, κοντά στα Σφακιά (Νοτιοδυτική Κρήτη), ο πρώτος στην Ευρώπη (1982), πιλοτικός ΦΒ σταθμός με ισχύ 50 kW_p, υπό την ευθύνη της ΔΕΗ. Μικρής ισχύος ΦΒ συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε φάρους αυτόνομης λειτουργίας. Στις αρχές του 2011 ανακοινώθηκε η δημιουργία Φωτοβολταϊκού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στην Κοζάνη, ονομαστικής ισχύος 200 MW. Ενδιαφέρουσα εφαρμογή αποτελούν τα ΦΒ ψυγεία πρόψυξης γάλακτος, σε κτηνοτροφικές περιοχές (Πρασές Χανίων Κρήτης, 8 kW_p).

α/α	Ιδιοκτήτης	Νομός - Θέση - Χρήση	Ισχύς αιχμής (kW _p)	Έτος έναρξης λειτ/γίας
1	ΔΕΗ	Χανιά, Αγία Ρουμέλη	50	1982
2	ΔΕΗ	Κύνθος	100	1983
3	ΔΕΗ	Αντικύθηρα	27,6	1987
4	ΔΕΗ	Γαύδος	30	1987
5	ΔΕΗ	Αρκοί	37,5	1988
6	ΔΕΗ	24 μικρά νησιά στο Αιγαίο	53	1990-1993
7	ΟΤΕ	Αντικύθηρα	33,4	1987
8	ΕΤΒΑ	Μενετές, Κάρπαθος, άντληση νερού	10	1986
9	Υπηρεσία Φάρων (Π.Ν.)	Διάφοροι φάροι	26,7	1989-1995
10	ΚΑΠΕ	Πικέρμι	4,3	1990
11	Ιερά μονή Σίμωνος Πέτρα	Άγιο Όρος	45	1994

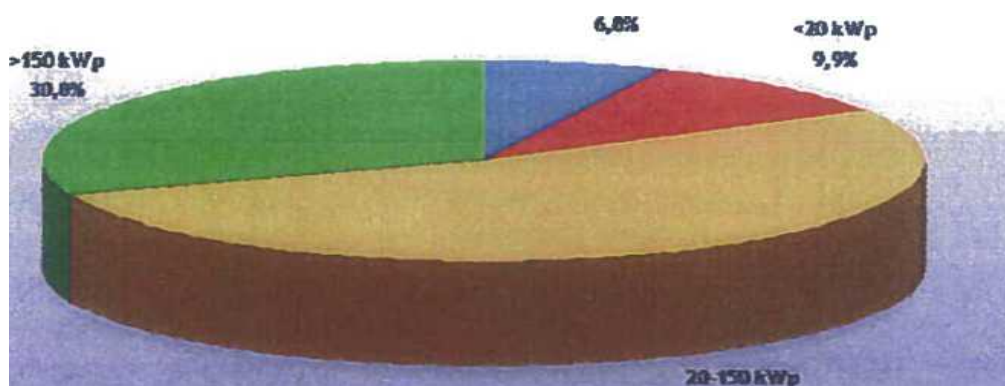
α/α	Ιδιοκτήτης	Νομός - Θέση - Χρήση	Ισχύς αιχμής (kW _p)	Έτος έναρξης λειτουργίας
12	Κέντρο γεωργικής έρευνας Κρήτη	Κοινότητα Πρασές (Χανιά), ψυγείο κτηνοτροφικών προϊόντων	8	1995
13	ΤΕΙ Κρήτης	Φωτοβολταϊκό Πάρκο, Ερευνητικό εργαστήριο	7	1992
14	ΤΕΙ Πάτρας	Ερύμανθος Αχαΐας, Ψυγείο κτηνοτροφικών προϊόντων	3	1995
15	INTRACOM	19 συστ. τηλεπικοινωνιών, Άγιο Όρος	12,5	1995
16	-	Νήσος Δονούσα	18	1995
17	ΙΤΕ-Π.Κ.	Αστεροσκοπείο Σκίνακα, Ψηλορείτης Ρέθυμνο	9	2000
18	Ρόκας Αιολική ΑΒΕΕ	Γλακοκερατιά Μιτάτου, Ιτάνου, Λασιθί	171,6	2001
19	Γερμανός ΑΒΕΕ	Μεσοχωριό, Αστερουσίων Ηράκλειο Κρήτης	170	2001
20	Λευκοσιδηρουργεία Κρήτης ΑΒΕΕ-CRETE CUN	ΒΠΠΕ, Ηράκλειο Κρήτης	130	2001
21	Αρτοποιία Κλαπάκη ΟΕ	Πλατάνια Χανίων	60	2001
22	Δρίνας ΑΕ	ΒΠΠΕ Κιλκίς	200	2002
23	Αγγελάκης Ι.	Καρτερός-Καλιθέα, Ηράκλειο Κρήτης	140	2002
24	Κάμινος ΑΕ	Λιθάρια Ν. Ιωνίας Αττικής	160	2003
25	ΕΜΠ (Κτήριο Χημ. Μηχαν.)	Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου	50	2002
26	Δήμος Ταύρου	Ταύρος	11,9	2002
27	Χαρμή ΑΕ hotel	Πάρος	10	2002
28	ΗΛΠΡΑ	Θεσσαλονίκη	6,5	2002
29	Μη καταγραμμένα ΦΒ συστήματα (εκτίμηση)	Μικρά ΦΒ συστήματα σε κατοικίες, αγρικές, καταστήματα, αντλιακά συστήματα, γήπεδα, δρόμους, εκπαιδευτικά ιδρύματα, κα.	~200	

Σχήμα 1.8 Αρχικές εγκαταστάσεις ΦΒ Συστημάτων στην Ελλάδα.

Μέχρι τέλους του 2009, είχαν υποβληθεί για έγκριση στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), περισσότερες από 7900 αιτήσεις εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σταθμών, συνολικής ισχύος -3700 MW_p. Έχουν εγκριθεί αδειοδοτήσεις, συνολικά για -200 MW_p και έχουν εγκατασταθεί 55 MW_p.

Μέχρι και τον Μάρτιο του 2011 στην Ελλάδα, η συνολική εγκαταστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών συστημάτων διασυνδεδεμένων στο δίκτυο ανερχόταν σε 274,2 MW_p, εκ των οποίων όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα ποσοστό 6,8% αντιστοιχεί σε διασυνδεδεμένα συστήματα μέχρι 10 kW_p (στέγες), το 9,9% σε διασυνδεδεμένα συστήματα από 10 έως 20 kW_p, ποσοστό 52,5% σε συστήματα από 20 έως 150 kW_p, και τέλος ποσοστό 30,8% αφορά διασυνδεδεμένα συστήματα ισχύς μεγαλύτερης των 150 kW_p.

Κατανομή διασυνδεδεμένων συστημάτων ανά ισχύ

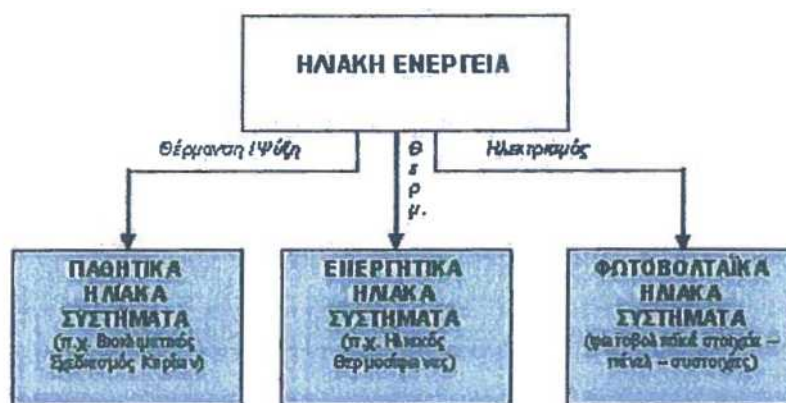


(Πηγές: ΔΕΣΜΗΕ, ΔΕΗ)

1.4 Ηλιακή Ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι η φωτεινή ενέργεια (φως), η θερμική ενέργεια (θερμότητα) καθώς και η ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν, κυρίως με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλλά και με σωματιδιακή μορφή. Στο σύνολο της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο και πρόκειται για Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας. Ο Ήλιος είναι εξαιρετικά ισχυρή ενεργειακή πηγή, και το ηλιακό φως με μεγάλη διαφορά η πλουσιότερη πηγή ενέργειας που προσλαμβάνεται από τη Γη, αλλά η ένταση της στην επιφάνεια της Γης είναι στην πραγματικότητα πολύ χαμηλή. Αυτό οφείλεται κυρίως στην τεράστια αξονική διασπορά ακτινοβολίας από τον μακρινό Ήλιο. Μία σχετικώς ελάχιστων πρόσθετη απώλεια οφείλεται στην ατμόσφαιρα της Γης και στα σύννεφα, τα οποία απορροφούν ή σκεδάζουν μέχρι και 54% του προσπίπτοντος ηλιακού φωτός. Παρ' όλα αυτά η συνολική ποσότητα της προσπίπτουσας στη Γη ηλιακής ενέργειας

υπερβαίνει κατά πολύ τις τρέχουσες και προβλεπόμενες παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες. Οι προοπτικές για την ηλιακή ενέργεια είναι τεράστιες, καθώς η καθημερινή πρόσληψη ηλιακής ενέργειας από την Γη είναι περίπου 200.000 φορές μεγαλύτερη από το παγκόσμιο ημερήσιο δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής. Αν τιθασευτεί καταλλήλως, αυτή η εξαιρετικά διάχυτη πηγή διαθέτει **το** δυναμικό κάλυψης όλων των μελλοντικών ενεργειακών αναγκών. Κατά τον 21ο αιώνα η ηλιακή ενέργεια αναμένεται να καταστεί όλο και περισσότερο ελκυστική ως ενεργειακή πηγή λόγω της ανεξάντλητης παροχής της και του μη ρυπαντικού της χαρακτήρα, σε έντονη αντίθεση προς τα πεπερασμένα ορυκτά καύσιμα άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Την ηλιακή ενέργεια την εκμεταλλευόμαστε όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, μέσω **παθητικών** ηλιακών συστημάτων, **ενεργητικών** ηλιακών συστημάτων και **φωτοβολταϊκών** ηλιακών συστημάτων.

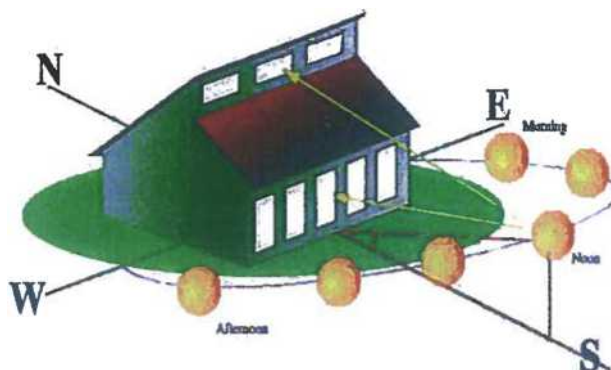


1.5 Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δομικά στοιχεία του κτηρίου. Αφορά την παθητική εκμετάλλευση των θερμοσυσσωρευτών ιδιοτήτων των κοινών αρχιτεκτονικών στοιχείων της οικοδομής (κουφωμάτων, στεγών τοίχων, δαπέδων). Αναγκαία προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων ώστε να αξιοποιήσουν όσο το δυνατό περισσότερο την ηλιακή ενέργεια, είναι ένας κατάλληλος σχεδιασμός του κτηρίου. Αυτό σημαίνει ότι το κέλυφος *πρέπει* να επιτυγχάνει τη μέγιστη **ηλιακή συλλογή**, τη μέγιστη **θερμοχωρητικότητα**, τις ελάχιστες **θερμικές απώλειες**. Η λειτουργία των παθητικών συστημάτων βασίζεται σε 3 μηχανισμούς, (α) στη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και διατήρησης της στο εσωτερικό του κτιρίου για την θέρμανση χώρων (φαινόμενο του θερμοκηπίου), (β) στη θερμική υστέρηση των υλικών (θερμοχωρητικότητα), (γ) στην ιδιότητα της θερμότητας να μεταφέρεται από το θερμό στο κρύο αντικείμενο (αρχές μετάδοσης της θερμότητας).

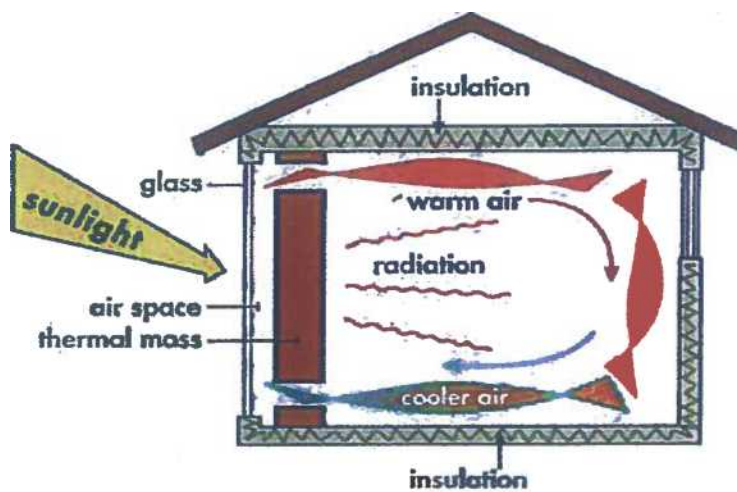
Έχουμε είδη παθητικών συστημάτων για θέρμανση Άμεσου κέρδους, Έμμεσου κέρδους και Απομονωμένου κέρδους.

Θέρμανση μέσω συστημάτων άμεσου κέρδους, έχουμε με την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας για θέρμανση του κτιρίου μέσω των νότια προσανατολισμένων ανοιγμάτων. Η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου συστήματος επηρεάζεται από τον προσανατολισμό, την θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων.



Σχήμα 1.9 Νότιος προσανατολισμός ανοιγμάτων.

Τα συστήματα έμμεσου κέρδους, αξιοποιούν έμμεσα τα ηλιακά οφέλη για θέρμανση του κτηρίου. Αυτά τα συστήματα απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο κέλυφος και ύστερα επιτρέπουν στη θερμότητα να διεισδύσει στους χώρους διαβίωσης. Ο θερμικός τοίχος (Trombe, ή τοίχος νερού), το δώμα θερμικής αποθήκευσης, είναι οι κυριότερες εφαρμογές των μηχανισμών έμμεσου κέρδους.



Σχήμα 2.10 Μηχανισμοί έμμεσου κέρδους

Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους, η επιφάνεια ηλιοσυλλογής δεν βρίσκεται σε επαφή με τον χώρο που επιθυμούμε να θερμάνουμε. Μεταξύ αυτής της επιφάνειας και το χώρο διαβίωσης υπάρχει ένας μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας όπως για παράδειγμα ένας ανεμιστήρας. Στα πραγματικά παθητικά ηλιακά συστήματα η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με μη μηχανικά μέσα και βασίζεται κυρίως στην άνωση, μεταγωγή και ακτινοβολία της θερμότητας. Παράδειγμα απομονωμένου κέρδους είναι το θερμοσιφωνικό πάνελο.

1.6 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα ονομάζονται τα συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και στη συνέχεια την μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας, σε νερό, αέρα, ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών.

Το ηλιακό φως που φτάνει στο έδαφος αποτελείται από σχεδόν 50% ορατό φως, 45% υπέρυθη ακτινοβολία και μικρότερες ποσότητες υπεριώδους και άλλων μορφών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτή η ακτινοβολία μπορεί να μετατραπεί είτε σε θερμική ενέργεια είτε σε ηλεκτρική. Δύο είναι οι τύποι συσκευών που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατροπή της σε θερμική ενέργεια: επίπεδοι συλλέκτες και συγκεντρωτικοί συλλέκτες.

Οι πιο διαδεδομένοι επίπεδοι συλλέκτες αποτελούνται από αμαυρωμένο μεταλλικό έλασμα, καλυμμένο με ένα ή δύο φύλλα γυαλιού, το οποίο θερμαίνεται από την πρόσπτωση του ηλιακού φωτός. Αυτή η θερμότητα μεταφέρεται σε αέρα ή νερό, αποκαλούμενα θερμιδοφόρα ρευστά, που ρέουν πίσω από το αμαυρωμένο έλασμα. Η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιείται απ' ευθείας ή να μεταφέρεται σε άλλο μέσο προς αποθήκευση. Οι επίπεδοι συλλέκτες θερμαίνουν τυπικά τα θερμιδοφόρα ρευστά σε θερμοκρασίες μεταξύ 66 και 93 °C. Ο βαθμός απόδοσης αυτών των συλλεκτών (δηλαδή, το ποσοστό της προσλαμβανόμενης ενέργειας που μπορούν να μετατρέψουν σε ωφέλιμη ενέργεια) κυμαίνεται μεταξύ 20 και 80%, αναλόγως της διαμόρφωσης του συλλέκτη.

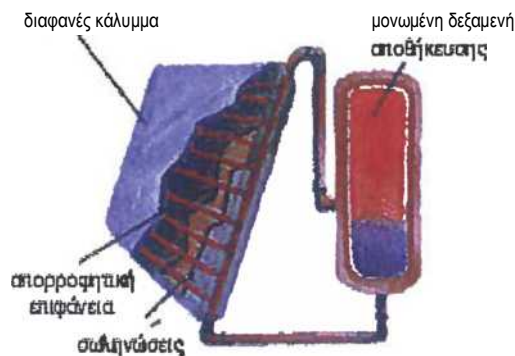
Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δύο βασικά μέρη. Το πρώτο είναι το τμήμα συλλογής με τους ηλιακούς συλλέκτες και την επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ το δεύτερο είναι το τμήμα αποθήκευσης με τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού, που συνήθως διαθέτει και ηλεκτρική αντίσταση με θερμοστάτη ώστε να μπορεί να παράγει ζεστό νερό ακόμη και σε περιόδους μικρής ή μηδενικής ηλιοφάνειας. Διαχωρισμός υπάρχει, επίσης, με βάση το κύκλωμα κυκλοφορίας του θερμαινόμενου μέσου, και έτσι έχουμε αφενός τα ανοιχτού κυκλώματος στα οποία γίνεται απ' ευθείας η θέρμανση του νερού χρήσης, καθώς το θερμαινόμενο μέσο είναι το ίδιο το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε, και αφετέρου τα κλειστού κυκλώματος, όπου η θέρμανση του νερού χρήσης είναι έμμεση, με το θερμαινόμενο μέσο να κυκλοφορεί σε ξεχωριστό κύκλωμα, το οποίο θερμαίνει το νερό που θα χρησιμοποιήσουμε μέσω εναλλάκτη θερμότητας, χωρίς να γίνεται ανάμιξη τους. Για να πετύχουμε μεγαλύτερη απόδοση της απορρόφησης υπάρχουν δύο βασικές παράμετροι τις οποίες μπορούμε να ρυθμίσουμε:

Πρώτη είναι, λοιπόν, να επιλέξουμε τον προσανατολισμό του συλλέκτη, με βέλτιστο προσανατολισμό το νότιο ($\gamma=0^\circ$) για το βόρειο ημισφαίριο και το βόρειο ($\gamma=180^\circ$) για το νότιο ημισφαίριο, δηλαδή πάντοτε ο συλλέκτης πρέπει να είναι στραμμένος προς τον ισημερινό. Να σημειώσουμε εδώ ότι αποκλίσεις μέχρι και 20°

προκαλούν μικρές μειώσεις της προσπίπτουσας ενέργειας. Μια επόμενη παράμετρος είναι η κλίση που θα πρέπει να έχει ο συλλέκτης σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο (γωνία κλίσης β), δηλαδή:

- Για μέγιστη ετήσια ενέργεια απαιτείται κλίση συλλέκτη ίση με το γεωγραφικό πλάτος, ($\beta=\varphi$).
- Για μέγιστη ενέργεια θέρους απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά 15° μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους, ($\beta=\varphi-15^\circ$).
- Για μέγιστη ενέργεια χειμónος απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά 15° μεγαλύτερη του γεωγραφικού πλάτους, ($\beta=\varphi+15^\circ$).

Το πιο απλό και διαδεδομένο ηλιακό ενεργητικό σύστημα είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας. Η αρχή λειτουργίας του είναι απλή και βασίζεται στο γεγονός ότι το νερό θερμαίνεται στο συλλέκτη διαστέλλεται και γίνεται ελαφρύτερο από το χαμηλότερης θερμοκρασίας νερό της δεξαμενής. Αυτή η διαφορά πυκνότητας του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη φυσική κυκλοφορία του μέσου του συλλέκτη και τη μεταφορά του θερμού νερού στην αποθηκευτική δεξαμενή. Την ίδια στιγμή το κρύο νερό της δεξαμενής ωθείται προς το συλλέκτη. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη φυσική ροή του νερού είναι η τοποθέτηση της δεξαμενής σε σημείο ψηλότερο από τους συλλέκτες.



Σχήμα 1.11 Ηλιακός θερμοσίφωνας.

1.7 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί απ' ευθείας σε ηλεκτρισμό μέσω των φωτοβολταϊκών στοιχείων όπως αναφερθήκαμε και παραπάνω. Αυτά γενικά αποτελούνται από ένα σύστημα δύο υλικών σε επαφή, το οποίο όταν φωτίζεται εμφανίζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση. Σήμερα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία των οποίων η βιομηχανική παραγωγή έχει προωθηθεί, είναι αυτά που βασίζονται στη δημιουργία δύο ημιαγωγικών στρώματων σε επαφή. Συνήθως, τα δύο στρώματα αποτελούνται από το ίδιο κύριο υλικό, το ένα στρώμα ημιαγωγός τύπου n και το άλλο τύπου p. Εξωτερικά τοποθετούνται κατάλληλα ηλεκτρόδια.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από ένα μοναδικό φωτοβολταϊκό κύτταρο ανέρχεται τυπικά σε μόλις περίπου 2,5 W. Η δε συνεχής ηλεκτρική τάση ανοιχτού κυκλώματος, βρίσκεται στην περιοχή 0,5-0,6 Volts, ενώ το αντίστοιχο ηλεκτρικό ρεύμα στην περιοχή των 10-40 mA/cm², για πυκνότητα ισχύος ηλιακού φωτός 1 kW/m². Ωστόσο, διά της συνένωσης μεγάλου αριθμού ΦΒ κυττάρων (μεταξύ τους ηλεκτρική σύνδεση σε σειρά) μπορούν να παράγονται εκατοντάδες βαττ, και διά της συνένωσης των ΦΒ πλαισίων μπορούν να παράγονται χιλιάδες κιλοβάτ ηλεκτρικής ισχύος. Με τα ΦΒ στοιχεία θα ασχοληθούμε εκτενέστερα σε παρακάτω κεφάλαια.



Κεφάλαιο 2^ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.1 Ηλιακή ακτινοβολία και η Ένταση της

Η ηλιακή ακτινοβολία, (solar radiation), είναι ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εκπεμπόμενη από τον ήλιο, στην οποία συμπεριλαμβάνονται ακτίνες X, υπεριώδης, ορατή και υπέρυθη φωτεινή ακτινοβολία καθώς επίσης και εκπομπές ραδιοκυμάτων. Από την ενέργεια των $3,8 \cdot 10^{33}$ εργίων, τα οποία εκπέμπονται ανά δευτερόλεπτο από τον Ήλιο, οι γειτονικοί του πλανήτες και δορυφόροι τους δέχονται μόνο ένα εξαιρετικά μικρό μέρος. Το μικρό τμήμα αυτής της ενέργειας που αναλογεί στην γη, (1 κιλοβάτ περίπου ανά τετραγωνικό μέτρο) είναι καθοριστικής σημασίας για τη διατήρηση των πάσης φύσεως διεργασιών στην επιφάνεια του πλανήτη μας.

Η τροχιά της γης, κατά την κίνηση της γύρω απ' τον ήλιο, είναι έλλειψη, με τον ήλιο στη μία των εστιών της, με μήκος μεγάλου ημιάξονα, $a=149,6 \cdot 10^6$ km και εκκεντρότητα, $e \sim 0,01673$. Η απόσταση Γης-Ήλιου μεταβάλλεται περιοδικά, κατά τη διάρκεια του έτους, μεταξύ της μέγιστης τιμής της (~ 4 Ιουλίου), που ονομάζεται αφήλιο ($\sim 152,1 \cdot 10^6$ km) και ελάχιστης (~ 3 Ιανουαρίου), που ονομάζεται περιήλιο ($147,1 \cdot 10^6$ km). Το μήκος του μεγάλου ημιάξονα, a , προσεγγιστικά $150.000.000$ km, λαμβάνεται ως μονάδα μήκους σε διαστημικές αποστάσεις, ονομάζεται Αστρονομική Μονάδα και συμβολίζεται ως 1AU (Astronomical Unit). Για να διανύσει την απόσταση αυτή το φως, με την ταχύτητα των 300.000 km/s, απαιτούνται $-8,5$ min. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία απομακρύνεται ακτινικά από τον αστέρα προς το διάστημα και άρα η πυκνότητα ισχύος E , της ακτινοβολίας του, μεταβάλλεται αντιστρόφως αναλόγως με το τετράγωνο της απόστασης:

$$E = \frac{P}{4\pi d^2}$$

Όπου P η ολική, σ' όλα τα μήκη κύματος, εκπεμπόμενη απ' όλη την επιφάνεια του, ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και d η απόσταση από τον Ήλιο, στην οποία μετράται η ένταση της ακτινοβολίας.

2.2 Η δομή του Ήλιου

Ο ήλιος είναι ένα τυπικό αστέρι, με μάζα $2 \cdot 10^{30}$ kg, ακτίνα 700.000 km, ηλικία $5 \cdot 10^9$ χρόνια και υπολογίζεται ότι έχει μπροστά του άλλα 5 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια ζωής.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η δομή του Ήλιου στην οποία ξεχωρίζουν τα εξής τμήματα:

Πυρήνας: Βρίσκεται στο κέντρο και εκτείνεται σε διάμετρο 400.000 km με θερμοκρασίες που φτάνουν τους 15.000.000 K.

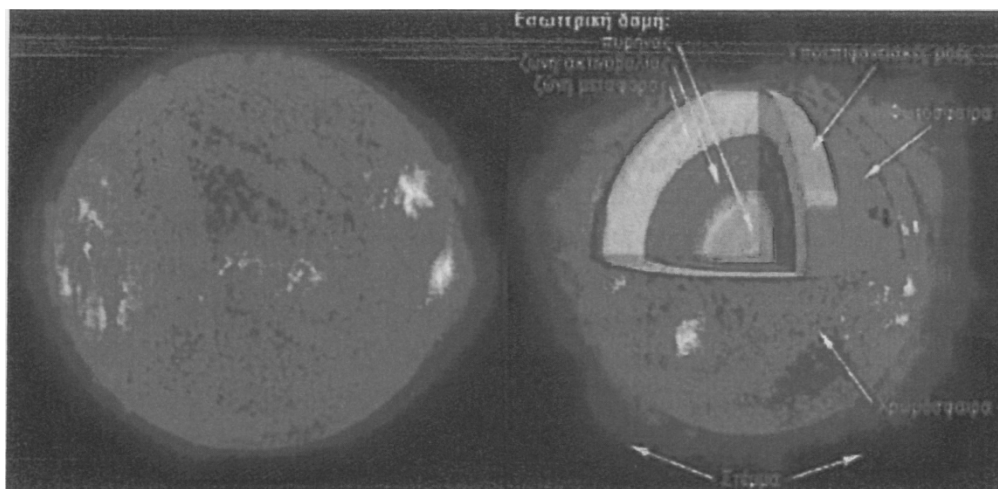
Ζώνη ακτινοβολίας: Καταλαμβάνει το 55% της ακτίνας του Ήλιου. Σε αυτή τη ζώνη η ενέργεια από τον πυρήνα μεταφέρεται προς τα έξω από τα φωτόνια.

Ζώνη μεταφοράς: Εδώ υπάρχει σχετικά ψυχρό και αραιό αέριο και κυριαρχεί η μεταφορά ενέργειας με συναγωγή.

Φωτόσφαιρα: Αποτελεί τον ορατό δίσκο του ηλίου πάχους 500 km.

Χρωμόσφαιρα: Είναι διαφανής στο φως γιατί έχει πυκνότητα 1000 φορές μικρότερη από την φωτόσφαιρα.

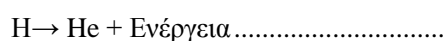
Στέμμα: Εκτείνεται προς το μεσοπλανητικό χώρο σχηματίζοντας την ηλιόσφαιρα.



Σχήμα 2.1 Πάνω αριστερά ο ήλιος και πάνω δεξιά η δομή του ήλιου.

Ο ήλιος αποτελείται ως επί το πλείστον από υδρογόνο κατά 70%, ήλιον κατά 28% και το υπόλοιπο 2% από βαρέα στοιχεία. Η επιφανειακή θερμοκρασία του είναι 5800 K, ενώ η εσωτερική, περίπου, 15.000.000 K. Σε αυτήν την θερμοκρασία και σε πίεση 250 δισεκατομμύρια ατμόσφαιρες στον πυρήνα του ήλιου, ο οποίος έχει διάμετρο 400.000 km, πραγματοποιείται πυρηνική σύντηξη παράγοντας ενέργεια ως εξής. Δύο πυρήνες ελαφρών στοιχείων ευρισκόμενοι σε μια συνεχή κατάσταση διέγερσης συγκρούονται σε μεγάλες ταχύτητες, κάτω από συνθήκες πολύ υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης, συγκροτώντας έτσι ένα νέο πυρήνα βαρύτερου στοιχείου.

Από την ένωση αυτή προκύπτει, όμως, ένα έλλειμμα μάζας, καθώς η μάζα του νέου ατόμου δεν είναι ακριβώς ίση με το άθροισμα των δύο αρχικών. Το μικροσκοπικό αυτό κομμάτι της μαζικής απώλειας, πολλαπλασιαζόμενο με το τετράγωνο της ταχύτητας του φωτός μας δίνει την ενέργεια που παράγεται από τη σχάση. Έτσι έχουμε την μετατροπή του υδρογόνου σε ήλιο:



Η παραπάνω πυρηνική αντίδραση δικαιολογεί με το έλλειμμα μάζας, την εκλυόμενη ενέργεια σύμφωνα με τη γνωστή σχέση $E=\Delta m \cdot c^2$, από την ειδική θεωρία της σχετικότητας του Einstein. Υπολογίζεται ότι για κάθε γραμμάριο υδρογόνου, που μετατρέπεται σε He, εκλύεται ενέργεια ίση με $1,67 \cdot 10^5$ kWh. Η ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο χαρακτηρίζεται από ένα μέγιστο σε μήκος κύματος 0,47 μικρών, ενώ η ισχύς της ακτινοβολίας του γύρω στα 8 κιλοβάτ, ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο της επιφάνειας του.

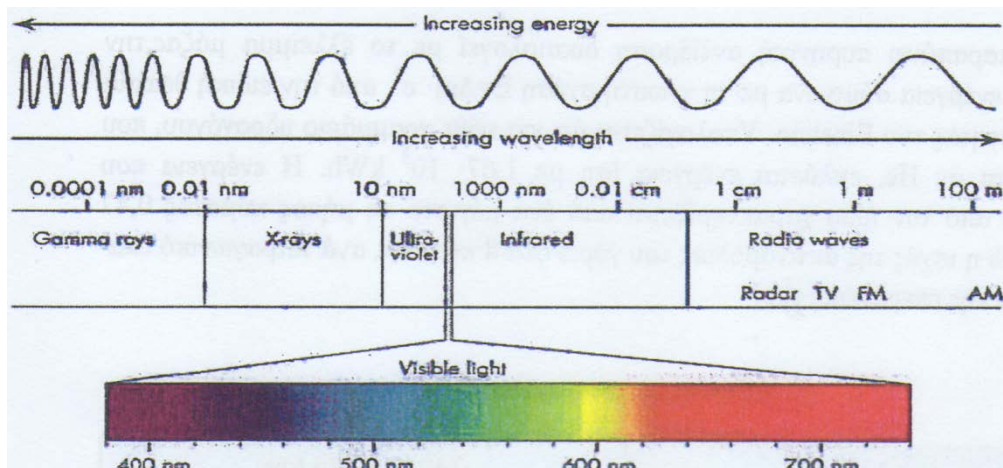
Σχήμα 3.2 Στοιχεία για τον ήλιο

Απόσταση	149.600.000 km
Διάμετρος	1.392.000 km (109,3 φορές η διάμετρος της Γης)
Επιφάνεια	$6,087 \times 10^{12}$ km ² (12.000 φορές η επιφάνεια της Γης)
Όγκος	$1,412 \times 10^{18}$ km ³ (1.306.000 φορές ο όγκος της γης)
Μάζα	$1,99 \times 10^{30}$ kg ³ (333.400 φορές η μάζα της Γης)
Ταχύτητα διαφυγής από την επιφάνεια του ήλιου	618 km/s
Ενεργός θερμοκρασία	5.740 K
Ολική παραγωγή ενέργειας	$3,86 \times 10^{33}$ erg/s
Ακτινοβολία απο την επιφάνεια του ήλιου	$6,35 \times 10^{10}$ erg/cm ² .s
Λαμπρότητα του κέντρου του δίσκου	$8,23 \times 10^5$ lambert
Ροή φώτος (μέσος φωτισμός από τον ήλιο στο ζενίθ)	141.400 lux-στη μέση απόσταση της γης 103.000 lux-έξω από την ατμόσφαιρα της
Πυκνότητα	150 g/cm ³
Θερμοκρασία	15.000.000 K*
Πίεση	4×10^{17} dyn/cm ² (4×10^{11} atm)

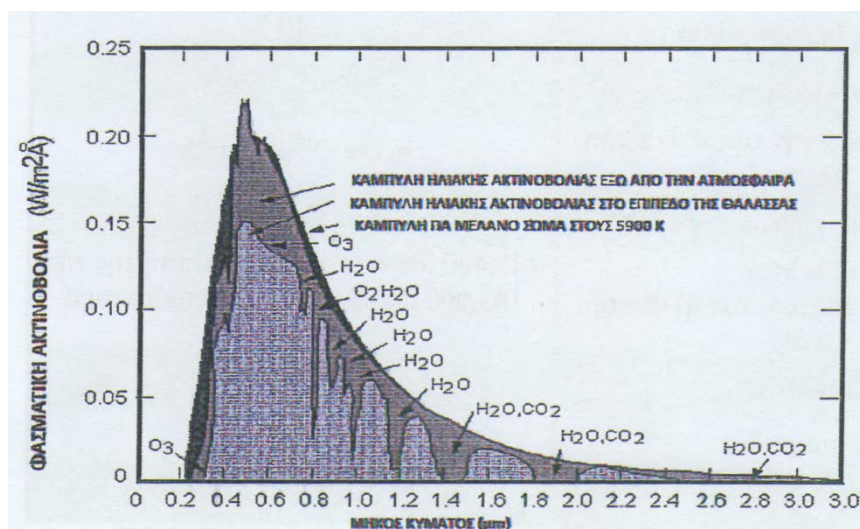
*Διαφορετικοί υπολογισμοί δίνουν αποτελέσματα από 13.000.000 K έως 25.000.000 K

2.3 Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας

Το φάσμα του ηλιακού φωτός, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, εκτείνεται πρακτικά, στα όρια της ατμόσφαιρας της Γης, από 0,1 μη (ακτίνες X) μέχρι 100 m (μακρά ραδιοκύματα).



Το φάσμα αυτό, έξω από την ατμόσφαιρα της γης, προσεγγίζεται με το φάσμα μελανός σώματος θερμοκρασίας $T_H \sim 5900 \text{ K}$, με μέγιστο στο μήκος κύματος λμεγ $\sim 480 \text{ nm}$. Στο αριστερό μέρος των φασμάτων (στα όρια της ατμόσφαιρας της γης, αλλά και στο επίπεδο της θάλασσας) διακρίνονται γραμμές απορρόφησης, που οφείλονται σε χαμηλής θερμοκρασίας αέρια στοιχεία (Fe, Mg, Ca), της χρωμόσφαιρας του ήλιου. Οι απορροφήσεις στο δεξιό τμήμα των φασμάτων προέρχονται από τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας της γης (υδρατμοί, CO_2 , οξείδια του αζώτου κ.α.). Το όζον ελαττώνει ισχυρά την πυκνότητα ισχύος της διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή 0,3-0.4 μm.

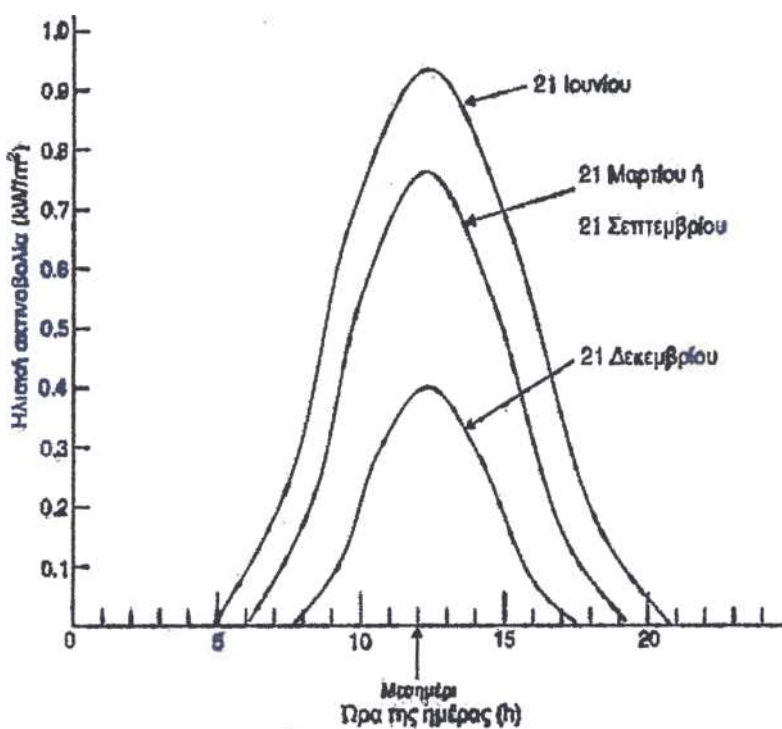


Σχήμα 2.3 Φάσμα μέλανος σώματος θερμοκρασίας $T=5900 \text{ K}$, φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα, φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο της θάλασσας.

Το τμήμα του, που αφορά την ανάπτυξη της ζωής και τις πρακτικές εφαρμογές στη Γη, περιορίζεται στο διάστημα 0,3- 5 μm, μικρό μέρος του οποίου αποτελεί η περιοχή του ορατού φάσματος (0,38- 0,75 μm). Η απορρόφηση σ' αυτή τη φασματική περιοχή, είναι μειωμένη, επιτρέποντας τη διόδο προς τη γη, στο μέρος εκείνο του ηλιακού φάσματος γύρω από το μέγιστο, που είναι πολύ σημαντικό για τη ζωή στον πλανήτη.

2.4 Διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

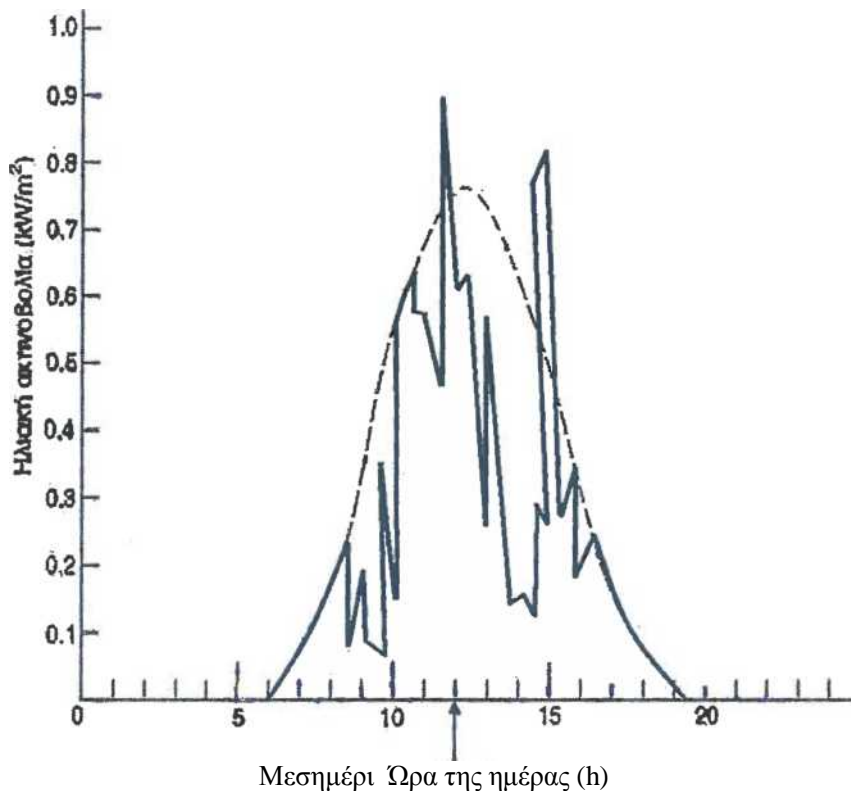
Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Στο σχήμα 2.4 δείχνονται παραδείγματα της ομαλής μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας για 3 ενδεικτικές ημερομηνίες (καλοκαίρι, άνοιξη και φθινόπωρο-χειμώνα) σε συνθήκες ιδανικά καθαρού ουρανού.



Σχήμα 2.4 Παράδειγμα της διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια στη διάρκεια των φωτεινών ωρών τριών χαρακτηριστικών ημερομηνιών, με εντελώς καθαρό ουρανό. Οι ώρες είναι σε ηλιακές τιμές.

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 είναι αναγκαστικό να συμπίπτει με το ωρολογιακό μεσημέρι. π.χ. στην Αθήνα έχουμε ηλιακό μεσημέρι όταν το ρολόι δείχνει 12:25' τον χειμώνα, και 13:25' το καλοκαίρι, όταν ισχύει η θερινή ώρα.

Όταν ο ουρανός έχει σύννεφα, η μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης γίνεται ανώμαλη, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.5 Παράδειγμα της διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη διάρκεια των φωτεινών ωρών μιας ημέρας με μερική νέφωση. Η ασυνεχής καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη διακύμανση με εντελώς καθαρό ουρανό.

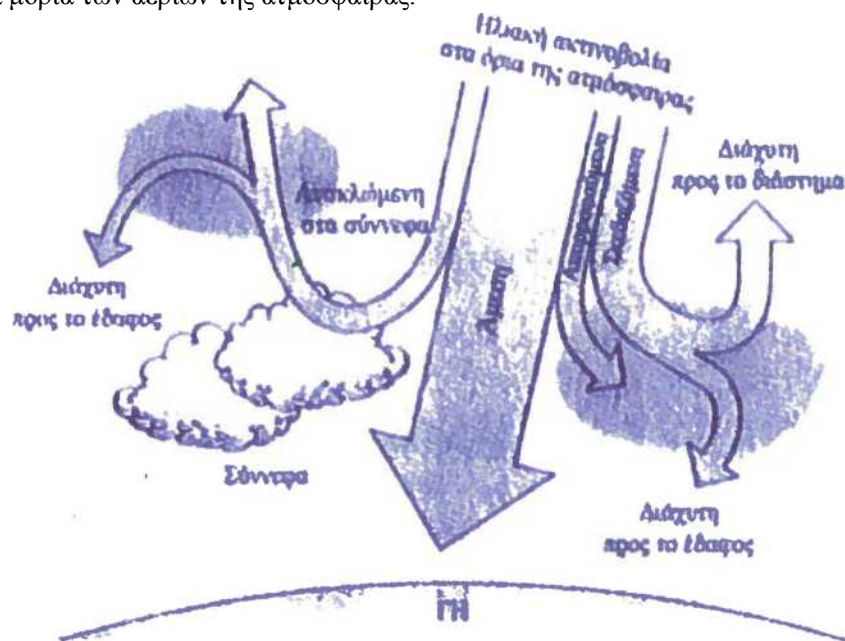
Οι παρατηρούμενες απότομες πτώσεις της έντασης οφείλονται στην παρεμβολή ενός νέφους που μετακινεί ο άνεμος. Επίσης το γρήγορο πέρασμα ενός σμήνους πουλιών ή ενός αεροπλάνου μέσα από τη δέσμη του ηλιακού φωτός που δέχεται ο συλλέκτης, καταγράφεται σαν μια πολύ οξεία στιγμιαία πτώση της έντασης της ακτινοβολίας. 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.

Στη διάρκεια του έτους, στο βόρειο ημισφαίριο, ο αριθμός των φωτεινών ωρών της ημέρας, η μέγιστη ισχύς καθώς και η συνολική ημερήσια ενέργεια που δέχεται μία 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, π.χ. που βρίσκονται σε κλίση ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο 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.

2.5 Οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας

Κατά την εισχώρηση των ηλιακών ακτινών, στην γήινη ατμόσφαιρα, η έντασή τους ελαττώνεται, καθώς τα φωτόνια σκεδάζονται αφενός στα μόρια της ατμόσφαιρας και στα πολύ μικρής διαμέτρου d , σωματίδια ($d < \lambda$, σκέδαση Rayleigh), αφετέρου, στα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρήματα της, δηλαδή, τους υδρατμούς, τη σκόνη και τον καπνό (σκέδαση Mie ή Tyndall). Ένα άλλο μέρος της ακτινοβολίας, απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας. Παραδείγματος χάριν, η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του όζοντος, στα ανώτερα στρώματα της κύριας μάζας της ατμόσφαιρας, έτσι ώστε η ένταση των ακτινών αυτών, στην επιφάνεια της γης, να είναι εξαιρετικά μειωμένη και η καρκινογόνος δράση της αρκετά περιορισμένη. Ομοίως απορροφούν οι υδρατμοί το CO_2 , τα οξείδια του αζώτου κ.α., σε άλλες περιοχές του φάσματος. Τέλος, μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης.

Συνεπώς σε κάθε τόπο της επιφάνειας της γης, φτάνουν όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα δύο συνιστώσες του ηλιακού φωτός: Η άμεση ή απευθείας, (Beam) που αφορά τις ακτίνες που φτάνουν απευθείας από τον ήλιο και η διάχυτη (Diffuse), που αφορά τις ακτίνες που φτάνουν στην επιφάνεια αφού υποστούν πολλαπλές σκεδάσεις στα μόρια των αερίων της ατμόσφαιρας.



Σχήμα 2.6 Οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας

Η διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια, προέρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο (πάνω από το φυσικό ορίζοντα) και σε πρώτη εκτίμηση, μπορεί να θεωρηθεί ισότροπη. Γενικά λοιπόν η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα συλλέκτη ή ένα αισθητήρα, αποτελείται από την απευθείας, τη διάχυτη και την διάχυτα “ανακλώμενη” από το έδαφος.

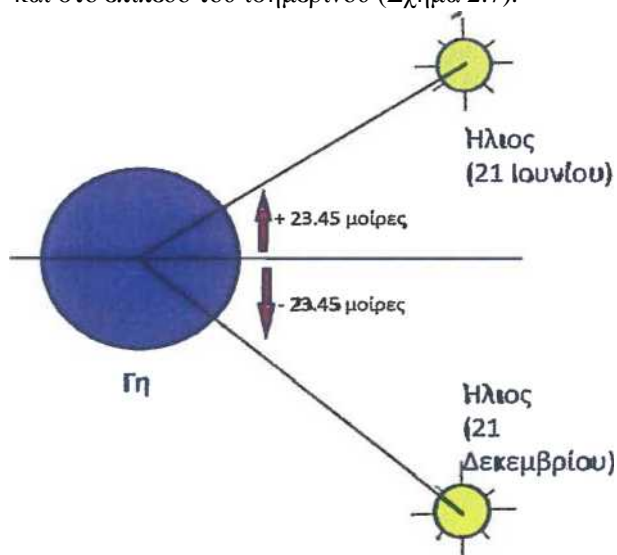
Η διάχυτα ανακλώμενη εξαρτάται από τη μορφολογία και το χρώμα του εδάφους ή της επικάλυψης του (γρασίδι ή χιόνι) και την πυκνότητα των νεφών, ενώ η ολική, απευθείας και διάχυτη, εξαρτώνται, σε γενικές γραμμές από τους εξής παράγοντες:

- α) τη σύσταση- κατάσταση της ατμόσφαιρας, τη δεδομένη χρονική στιγμή (υγρασία και γενικά, τα αιωρήματα της ατμόσφαιρας)
- β) την ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους.
- γ) τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στη συλλεκτική επιφάνεια, η οποία μεταβάλλεται καθώς αλλάζει το ύψος του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

2.6 Ηλιακή γεωμετρία

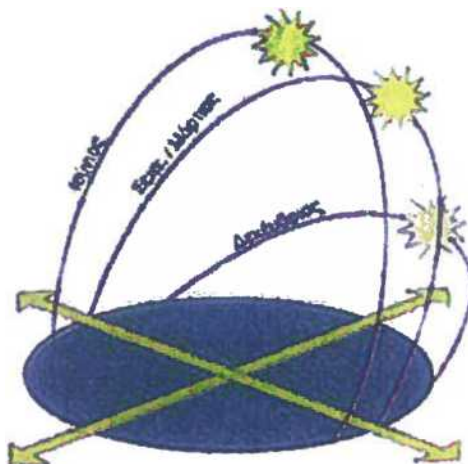
Όπως αναφερθήκαμε παραπάνω, η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας και η φωτονική της σύσταση παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές ανάλογα με την ώρα, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες και την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία, σε αιωρούμενα σωματίδια και σε άλλα συστατικά. Επίσης, επηρεάζονται σε αξιόλογο βαθμό από άλλους προβλεπόμενους ή απρόβλεπτους παράγοντες, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, το πέρασμα σμήνους πουλιών ή αεροπλάνου κλπ.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Κατά την διάρκεια μιας χρονιάς, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές, σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης (δ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού (Σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7 Η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο

Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο ημισφαίριο. Οι ακραίες τιμές είναι $+23.45^\circ$ στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και -23.45° στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Άμεση συνέπεια των διαφορετικών τιμών της απόκλισης του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους είναι οι κυκλικές τροχιές του διαγράφονται βορειότερα στον ουρανό το καλοκαίρι, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ τον χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο.



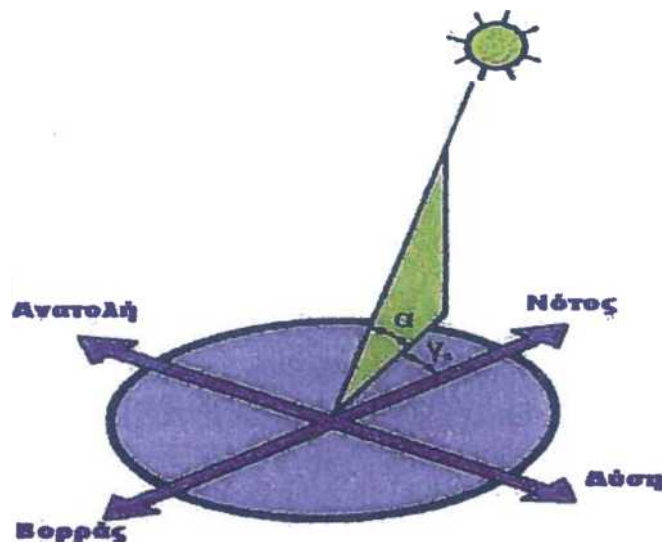
Σχήμα 2.8 Παράδειγμα των αντίστοιχων τροχιών που διαγράφει ο ήλιος στον ουρανό [σ] διάρκεια της ημέρας, κατά τα ηλιοστάσια καθώς και τις ισημερίες (21 Ιουνίου, 21 Σεπτεμβρίου και 21 Μαρτίου, 21 Δεκεμβρίου).

Παράλληλα, διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις διάφορες εποχές του έτους. Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε έναν τόπο, είναι η θεωρητική **ηλιοφάνεια**, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου. Ενδεικτικά έχουμε μετεωρολογικά και κλιματολογικά χαρακτηριστικά για την Αθήνα, (πίνακας 2.9)

Ημερομηνία	Ύψος του ήλιου το μεσημέρι ($^\circ$)	Θεωρητική ηλιοφάνεια (h)	Μέση θερμοκρασία ($^\circ\text{C}$)
21 Μαρτίου (εαρινή ισημερία)	51,08	11,9	13
21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο)	75,25	14,8	25
21 Σεπτεμβρίου (Φθινοπωρινή ισημερία)	51,08	11,9	23
21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο)	28,35	9,5	11

Σχήμα 3.9 Ύψος του ήλιου, θεωρητική ηλιοφάνεια, και μέση θερμοκρασία του αέρα στις φωτεινές ώρες της ημέρας.

Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες: το ύψος και το αζιμούθιο (Σχήμα 3.10). Το **ύψος** του ήλιου (α), είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα. Αντί για ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική της γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, αυτή, ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση (ή ζενιθιακή γωνία) του ήλιου. Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου, και ο όρος προέρχεται από την αραβική λέξη *senit* που σημαίνει ευθεία οδός. Η δεύτερη χαρακτηριστική γωνία του ήλιου, είναι το ηλιακό αζιμούθιο (Y_s), είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Ο όρος προέρχεται από την αραβική έκφραση *as summūt*, που σημαίνει κατεύθυνση. Προς τα δεξιά από το νότο το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, ενώ προς τα αριστερά, αρνητικές. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς, καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό.



Σχήμα 2.10 Οι γωνίες του ύψους (α) και τον αζιμούθιο (Y_s), που περιγράφουν κάθε στιγμή τη θέση του ήλιου στον ουρανό.

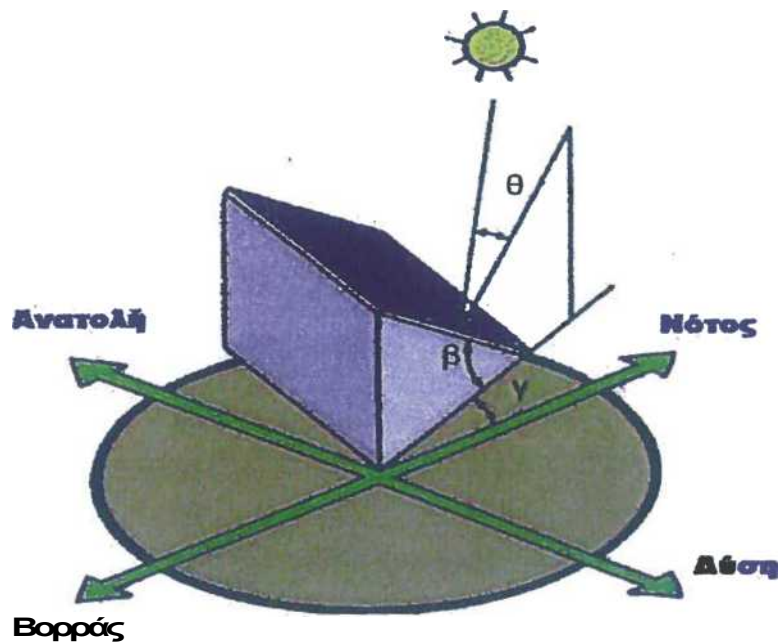
2.7 Προσανατολισμός του συλλέκτη

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Βασικά στοιχεία καθορισμού του προσανατολισμού ενός συλλέκτη είναι η κλίση και η αζιμούθια γωνία του, μετρούμενο ως

προς την κατεύθυνση του νότου. Η κατεύθυνση αυτή χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη τιμή της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας, κατά τη διάρκεια μιας αίθριας ημέρας.

Η **κλίση** του συλλέκτη (β) είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα. Δείχνει πόσο γέρνει ο συλλέκτης και μπορεί να πάρει τιμές από 0° μέχρι 180° . Για γωνίες $\beta > 90^\circ$ το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω. (Σχήμα 3.11)

Η **αξιμούθια γωνία** του συλλέκτη (γ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$. Η γωνία -180° (που συμπίπτει με τη $+180^\circ$) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία -90° προς την ανατολή, η γωνία 0° προς το νότο και η γωνία $+90^\circ$ προς τη δύση (Σχήμα 2.11).



Σχήμα 2.11 Η κλίση (β) και η αξιμούθια γωνία (γ) που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός ηλιακού συλλέκτη στην επιφάνεια της γης.

Προφανώς, η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε έναν επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλαδή όταν η γωνία πρόσπτωσης θ είναι 0° . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Υπάρχουν μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς τον συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια φαγοκυττάρων ή σύγχρονου αυτοματισμού, PLC) ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει συνεχώς κάθετα τις ακτίνες του ήλιου. Οι διατάξεις αυτές είναι πολυσύνθετες και πολύ πιο δαπανηρές από αυτές του σταθερού τύπου καθώς απαιτείται επιπλέον ηλ. κινητήρας για την στρέψη των πλαισίων, επιπλέον σύστημα παρακολούθησης του ήλιου με προγραμματισμό PLC επεξεργαστή, βραχίονες και υδραυλικές μπουκάλες, καθώς και ηλ. πίνακας για την ασφάλεια του όλου συστήματος. Η διάταξη (πάνω σε δύο άξονες) παρακολούθησης του ήλιου μπορεί να

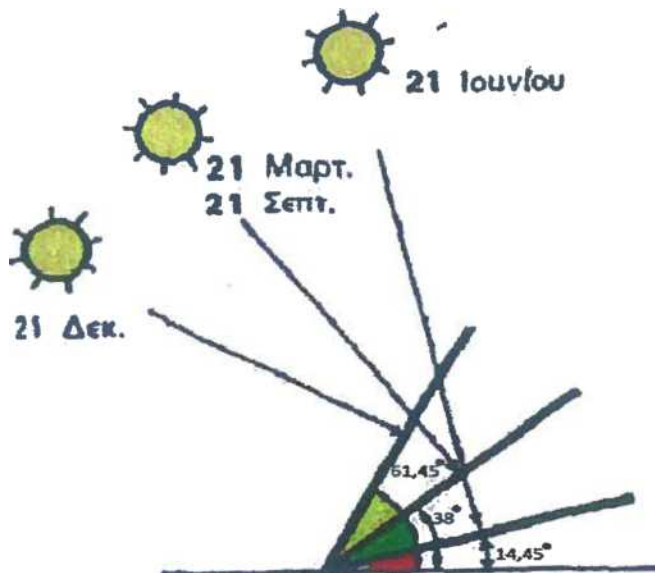
συλλέξει μέχρι και 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Έχει διαπιστωθεί όμως ότι αν ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, σε κλίματα με ηλιοφάνεια, τότε μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας σταθερού τύπου που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δύο φορές την ημέρα και να παίρνει κατάλληλη κλίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί και συλλαμβάνει το 95% της ενέργειας, που συλλέγετε από ένα σύστημα παρακολούθησης δύο αξόνων.

2.8 Βέλτιστη κλίση του συλλέκτη

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας, που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τη σχέση:

$$\text{συν}\theta = \text{συν}\beta_{\alpha} \cdot \eta\mu\beta - \text{συν}(\gamma - \gamma_{\alpha}) + \eta\mu\beta_{\alpha} \text{συν}\beta$$

Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους, είναι ίση με την γεωγραφική παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι 0° (προς το νότο). Αλλά λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή (Σχήμα 3.12).



Σχήμα 2.12 Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη στο θερινό (21 Ιουνίου) και το χειμερινό (21 Δεκεμβρίου) ηλιοστάσιο και στην εαρινή (21 Μαρτίου) και στη φθινοπωρινή (21 Σεπτεμβρίου) ισημερία,

σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος 38° όπως η Αθήνα. Τα ύψη του ήλιου που εικονίζονται

αφορούν στα αντίστοιχα ηλιακά μεσημέρια.

Έτσι, αν επιδιώκεται να παράγει το σύστημα όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια στη διάρκεια του καλοκαιριού, η κλίση του συλλέκτη επιλέγεται περίπου 10° ως 15° μικρότερη από την παράλληλο του τόπου, ενώ για το χειμώνα η κλίση επιλέγεται περίπου 10° με 15° μεγαλύτερη από την παράλληλο του τόπου.

2.9 Προσανατολισμός του συλλέκτη ως προς τον αληθή νότο

Ο προσδιορισμός της αληθούς διεύθυνσης βορρά — νότου μπορεί να γίνει είτε με τη βοήθεια σχετικών οργάνων, όπως είναι η μαγνητική και η γυροσκοπική πυξίδα είτε με το προσδιορισμό της χρονικής στιγμής του ηλιακού μεσημεριού. Η χρησιμοποίηση της πυξίδας προϋποθέτει τη γνώση της μαγνητικής απόκλισης για τον δεδομένο τόπο, με βάση στοιχεία από σχετικούς πίνακες ή χάρτες. Για τον ακριβή προσδιορισμό των γωνιών χρησιμοποιούνται γωνιομετρικά όργανα ακρίβειας, όπως ο θεοδόλιχος ή το ταχύμετρο, σε συνδυασμό με την πυξίδα.

Η μέθοδος προσδιορισμού της κατεύθυνσης του αληθούς νότου σ' ένα τόπο, με βάση το ηλιακό μεσημέρι βασίζεται στον προσδιορισμό της διεύθυνσης της σκιάς που δημιουργεί μια κατακόρυφη, λεπτή ράβδος, σε οριζόντιο επίπεδο, τη στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο ψηλότερο σημείο της φαινόμενης ημερήσιας τροχιάς του. Ο καθορισμός της κατάστασης αυτής απαιτεί γνώση, της αντίστοιχης χρονικής στιγμής, με βάση τον τοπικό χρόνο, όπως τον δείχνει ένα ρολόι (Επίσημος ή Πολιτικός χρόνος). Για να προσδιοριστεί η χρονική στιγμή του ηλιακού μεσημεριού, με βάση τον επίσημο χρόνο απαιτούνται: .

α) η ζώνη πολιτικού χρόνου και το γεωγραφικό μήκος του τόπου, β) Η χρονική διόρθωση με βάση την εξίσωση του χρόνου, για τη συγκεκριμένη ημέρα του έτους.

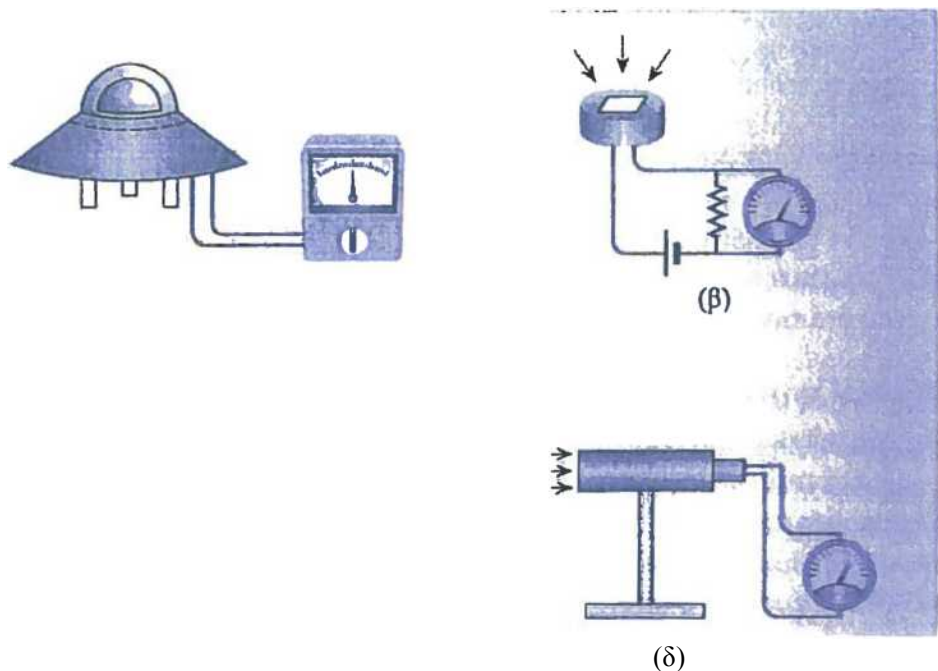
2.10 Όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας

Τα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στους θερμικούς αισθητήρες, των οποίων η ένδειξη οφείλεται στη θέρμανση της φωτιζόμενης (μαύρης) επιφάνειας, μιας πλάκας από ορισμένο υλικό και στους αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης, στους οποίους η μέτρηση οφείλεται στις ενεργειακές μεταβάσεις των ηλεκτρονίων του υλικού, κατά την απορρόφηση φωτονίων.

I. Θερμικοί ανιχνευτές (Thermal detectors): Για μεγαλύτερη ευαισθησία των θερμικών αισθητήρων, φροντίζουμε η μάζα της πλάκας που απορροφά την ακτινοβολία να είναι μικρή, ώστε μικρά ποσά αναρροφούμενης ενέργειας να προκαλούν μεγάλη μεταβολή στη θερμοκρασία της.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν α) το πυρανόμετρο β) ο πυροηλεκτρικός κρύσταλλος γ) τα βολόμετρα, μεταξύ των οποίων και το thermistor.

- Πυρανόμετρο: Η αρχή λειτουργίας του (Σχήμα 2.13α), βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Η ακτινοβολία που προσπίπτει, στην ενεργό επιφάνεια (μαύρη), απορροφούμενη θερμαίνει την πλάκα αυτή. Έτσι δημιουργείται διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ της εκτεθειμένης στο φως και μιας άλλης στο εσωτερικό, η οποία παραμένει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Σχήμα 2.13 (α) Πυρανόμετρο, (β) Φωτοδίοδος, (γ) Φασματοραδιόμετρο, (δ) Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος

- Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος: Η αρχή λειτουργίας του (Σχήμα 2.13δ), βασίζεται στην τροποποίηση της διπολικής ηλεκτρικής ροπής διηλεκτρικών υλικών, που ονομάζονται πυροηλεκτρικά (πυροηλεκτρικό φαινόμενο). Η αύξηση της θερμοκρασίας του πυροηλεκτρικού υλικού οδηγεί σε εμφάνιση ηλεκτρισμού, δηλαδή, πόλωσης του υλικού λόγω θέρμανσης του. Χαρακτηρίζεται από σταθερή απόκριση (Ampere/Watt), σε ευρεία περιοχή μηκών κύματος, δηλαδή, απόκριση ανεξάρτητη του μήκους κύματος, λ κι αυτό τον καθιστά ιδανικό για καταγραφή φασμάτων στην περιοχή ευαισθησίας του.
- Βολόμετρα: Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, με την θερμοκρασία του, λόγω απορρόφησης της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για αυξημένη απόκριση του αισθητήρα, το υλικό του πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή απορροφητικότητα της ακτινοβολίας, σε

ευρύ φάσμα συχνοτήτων και μικρή θερμοχωρητικότητα. Κατασκευάζονται από ποικιλία υλικών, τόσο σε στοιχειακή (π.χ. Si, Ge, Bi, Au) όσο και σε σύνθετη μορφή (Bi σε συνδυασμό με ίνες από Nylon, Ge με προσμίξεις και ίνες nylon). Μια πολύ σημαντική κατηγορία βολομέτρων είναι τα μεταλλικά (π.χ. λευκόχρυσου ή πλατίνας Pt).

- Thermistor: Είναι ένα βολόμετρο, του οποίου το βασικό υλικό αποτελείται από μεταλλικά οξειδία (οξειδία μαγνησίου, νικελίου κοβαλτίου, χαλκού, σιδήρου και τιτανίου). Η χρήση τους περιορίζεται σε θερμοκρασίες κάτω των 300 °C, επειδή πάνω απ' τη θερμοκρασία αυτή μειώνεται η σταθερότητα της δομής τους. Μπορούν να κατασκευαστούν με διάφορες μορφές (με τη μορφή δίσκου, λεπτής φέτας, ράβδου) και σε μικρό μέγεθος, για καλή απόκριση στις μετρήσεις. Χαρακτηρίζονται από υψηλή διακριτική ικανότητα και δέκα (10) φορές πιο μεγάλη ευαισθησία από τα μεταλλικά βολόμετρα.

Π. Αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης (Quantum detectors): Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται είτε στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή την εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός μετάλλου, είτε στη διέγερση ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, στην περίπτωση των ημιαγωγών. Στην κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ανήκουν, οι φωτοδιόδοι κενού ή φωτοκύτταρα και οι φωτοπολλαπλασιαστές, ενώ στην κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στη φωτοαγωγιμότητα του υλικού ανήκουν οι φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις, η φωτοδιόδος ημιαγωγών, η φωτοβολταϊκή κυψελίδα ή φωτοβολταϊκό στοιχείο.

- Φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις: Είναι ημιαγωγοί, ενδογενείς ή προσμίξεων, οι οποίοι εμφανίζουν έντονη φωτοαγωγιμότητα. Δηλαδή, η απορρόφηση φωτός στο ημιαγωγικό υλικό διεγείρει ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, αυξάνοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα του ημιαγωγού.
- Φωτοδιόδος ημιαγωγών: Είναι μία διόδος επαφής ημιαγωγών, (Σχήμα 3.13β) που όταν φωτίζεται στο εσωτερικό της παράγονται επιπλέον ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής, τα οποία διαχωριζόμενα από το πεδίο επαφής, συμβάλλουν στη δημιουργία αυξημένου ηλεκτρικού ρεύματος. Στο κύκλωμα περιλαμβάνονται η ηλεκτρική πηγή, η διόδος, και μία αντίσταση.
- Φωτοβολταϊκή κυψελίδα ή φωτοβολταϊκό στοιχείο: συγκεκριμένα διαφέρει από την φωτοδιόδο, καθώς η επιφάνεια της διόδου είναι πολύ μικρή. Αντίθετα το ΦΒ στοιχείο χαρακτηρίζεται από όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια και ο λόγος είναι ότι προορίζεται για πηγή ηλεκτρικής ενέργειας κι όχι αισθητήρας.
- Φασματογράφος: Διάταξη με την οποία αναλύεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μιας πηγής (ηλεκτρομαγνητικό φάσμα). Η ανάλυση βασίζεται στη χρήση είτε πρίσματος είτε οπτικών φραγμάτων (ανάκλασης ή διέλευσης).
- Φασματοραδιόμετρο: Είναι ένα φασματοσκόπιο εφοδιασμένο με μηχανισμούς κίνησης (Σχήμα 3.13γ) ώστε το φάσμα να σαρώνεται σ' όλο το λειτουργικό εύρος μηκών κύματος και να καταγράφεται σε ηλεκτρονική «μνήμη». Ο χρόνος καταγραφής του ηλιακού φάσματος είναι 1-2 min. Στο σημείο εισόδου

του φασματογράφου τοποθετείται μια «σφαίρα ολοκλήρωσης», προκειμένου η προσπίπτουσα ακτινοβολία να καταγράφεται ανεξάρτητα από τη γωνία πρόσπτωσης.

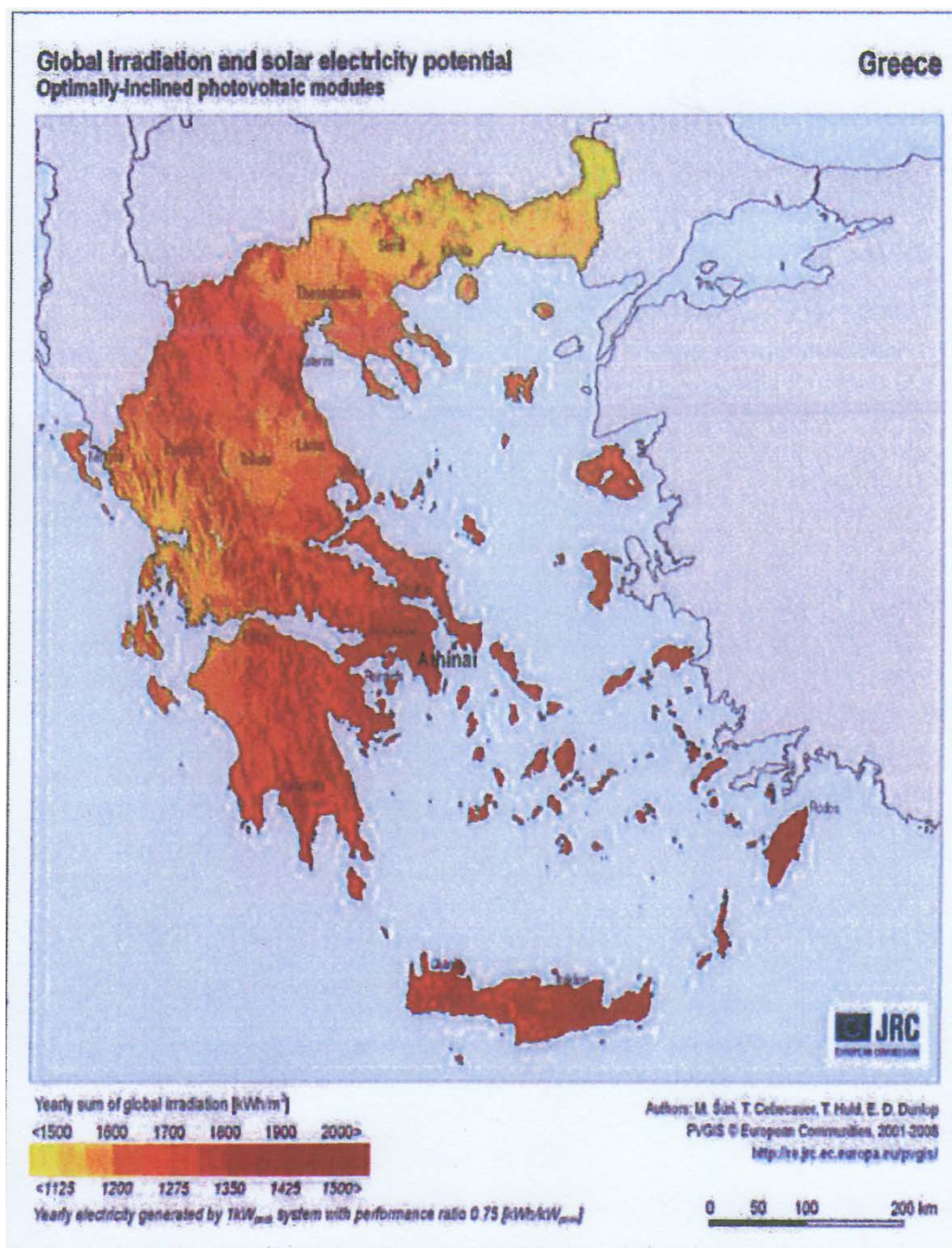
2.11 Ηλιακή ακτινοβολία στη χώρα μας

Όπως αναφερθήκαμε και παραπάνω η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στην χώρα μας κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα τόσο κατά την καλοκαιρινή όσο και κατά την χειμερινή περίοδο. Η μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε μερικές αντιπροσωπευτικές περιοχές παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Μήνας	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Αθήνα (kWh/m ²)	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Θεσσαλονίκη (kWh/m ²)	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Κρήτη (kWh/m ²)	Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Ρόδος (kWh/m ²)
Ιανουάριος	91,99	85,16	92,59	91,53
Φεβρουάριος	103,74	94,49	107,72	105,99
Μάρτιος	138,94	128,34	146,85	144,58
Απρίλιος	156,97	144,38	171,17	168,03
Μάιος	179,01	166,69	197,67	194,27
Ιούνιος	176,60	166,03	195,51	192,45
Ιούλιος	184,75	176,44	200,81	198,52
Αύγουστος	184,19	176,86	195,57	193,84
Σεπτέμβριος	166,22	157,38	173,61	171,81
Οκτώβριος	139,06	131,02	141,68	140,32
Νοέμβριος	107,64	95,92	111,38	109,30
Δεκέμβριος	88,51	80,42	89,71	88,40
Μέση ετήσια	143,13	133,59	152,02	149,92

Σχήμα 3.14 Μέση μηνιαία και μέση ετήσια διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m^2) σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Κρήτη και Ρόδο.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η κατανομή ετησίων τιμών ενεργειακής απολαβής ($kWh/m^2 \cdot y$) ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια νότια προσανατολισμένου συλλέκτη, σε βέλτιστη γωνία κλίσης και αντίστοιχης ενεργειακής αποδοτικότητας ($kWh/kW_p \cdot y$) ΦΒ συστοιχίων, στην Ελλάδα.

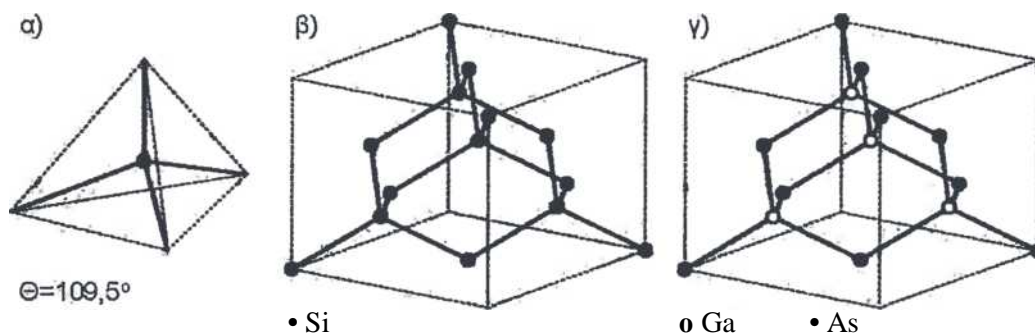


Κεφάλαιο 3^ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

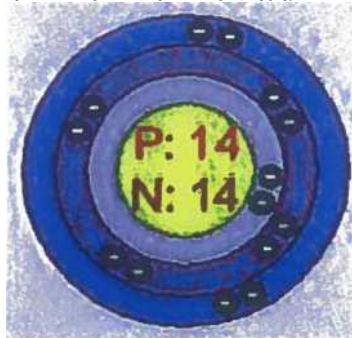
3.1 Ημιαγωγοί

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς, που είναι σώματα με ενδιάμεση ηλεκτρική αγωγιμότητα, ανάμεσα στους αγωγούς (δηλαδή στα μέταλλα) και στους μονωτές (π.χ. τα πολυμερή και τα κεραμικά υλικά). Οι κυριότεροι ημιαγωγοί είναι τετρασθενή στοιχεία όπως το πυρίτιο και το γερμάνιο, ή χημικές ενώσεις όπως το αρσενικούχο γάλλιο και το θειούχο κάδμιο, με τετραεδρική κρυσταλλική δομή, δηλαδή τα γειτονικά άτομα βρίσκονται σε θέσεις του κρυσταλλικού πλέγματος που αντιστοιχούν στο κέντρο και στις κορυφές ενός κανονικού τετραέδρου και κάθε άτομο είναι ενωμένο με χημικούς δεσμούς με τέσσερα γειτονικά άτομα (σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 α) Η κρυσταλλική δομή των κυριότερων ημιαγωγών είναι τετραεδρική. β) Στους στοιχειακούς ημιαγωγούς (π.χ. στο πυρίτιο) όλα τα άτομα του πλέγματος είναι ίδια. γ) Στις ημιαγωγικές χημικές ενώσεις (π.χ. στο αρσενικούχο γάλλιο) τα άτομα που βρίσκονται στις γειτονικές θέσεις είναι διαφορετικά.

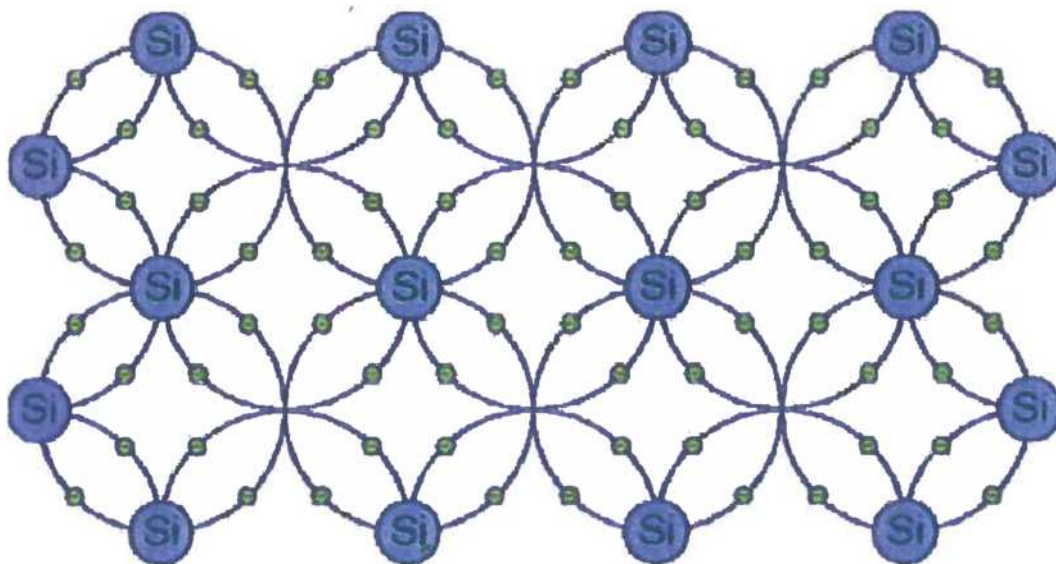
Ο ημιαγωγός με την μεγαλύτερη χρήση όχι μόνο για τα ηλιακά στοιχεία αλλά και για πλήθος ηλεκτρονικών εφαρμογών, είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο έχει κάποιες ιδιαίτερες χημικές ιδιότητες στην κρυσταλλική του δομή. Έχει 14 ηλεκτρόνια καταναμημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 Άτομο πυριτίου.

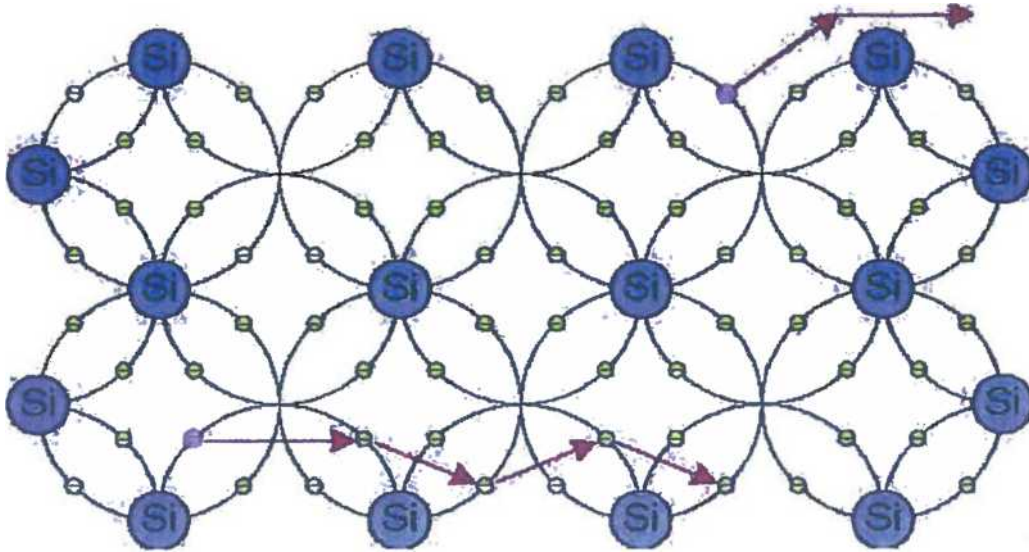
Οι πρώτες δύο, εσωτερικές στοιβάδες του ατόμου, είναι συμπληρωμένες με 2 και 8 ηλεκτρόνια αντίστοιχα, είναι λιγότερο ενεργές και δεν συμμετέχουν σε

μηχανισμούς αγωγιμότητας. Η εξωτερική στιβάδα όμως δεν είναι συμπληρωμένη, σε αυτή βρίσκονται τα ηλεκτρόνια σθένους (4 ηλεκτρόνια) του ατόμου που σχηματίζουν τους δεσμούς και τα οποία μπορούν να μετακινηθούν μόνο προς τις οπές γειτονικών δεσμών ή να ανταλλάξουν θέσεις με άλλα ηλεκτρόνια σθένους γειτονικών δεσμών. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, κάθε άτομο πυριτίου είναι ενωμένο με 4 γειτονικά άτομα και ο κάθε χημικός δεσμός αποτελείται από 2 ηλεκτρόνια. Επομένως όλα τα ηλεκτρόνια σθένους των ατόμων είναι απασχολημένα στους δεσμούς, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθεροι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος και το σώμα να μη διαθέτει ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η εικόνα όμως αυτή ισχύει μόνο στην υποθετική περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά, π.χ. σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, κοντά στο απόλυτο μηδέν, πράγματι οι ημιαγωγοί μετατρέπονται σε μονωτές.



Σχήμα 3.3 Απλοποιημένη απεικόνιση, σε δυο διαστάσεις, του πλέγματος του πυριτίου, με τα ηλεκτρόνια σθένους εντοπισμένα στους δεσμούς. Στην πραγματικότητα, τα ηλεκτρόνια εναλλάσσουν συνεχώς θέσεις μεταξύ τους, στους γειτονικούς δεσμούς του στερεού.

Όταν όμως οι ημιαγωγοί απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή. Έτσι στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η θερμική ενέργεια που παρέχεται στο σώμα και κατανέμεται στα άτομα του, προκαλεί την ελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Δηλαδή, καθώς η θερμική ενέργεια ανακατανέμεται συνεχώς από το ένα άτομο στο άλλο, μπορεί να επαρκέσει στιγμιαία σε μερικές τυχαίες θέσεις για να διεγείρει και να ελευθερώσει από ένα ηλεκτρόνιο σθένους σε μερικούς από τους δεσμούς του σώματος. Τα ελευθερωμένα αυτά ηλεκτρόνια απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους, χάρη στην κινητική ενέργεια που απέκτησαν από τη θερμότητα και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα (σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4 Επίδραση της θερμικής διέγερσης στο πυρίτιο. Πάνω δεξιά: ελευθέρωση ενός ηλεκτρονίου από ένα δεσμό. Κάτω: από δεξιά προς αριστερά έχουμε την διαδοχική μετατόπιση μιας οπής, σαν αποτέλεσμα μιας σειράς αντίθετων μετακινήσεων ηλεκτρονίων σθένους προς την εκάστοτε κενή θέση σε ένα γειτονικό δεσμό.

Η απομάκρυνση ηλεκτρονίων από μερικούς δεσμούς του σώματος και η αποδυνάμωση, έτσι, ενός σχετικά μικρού πλήθους δεσμών στα σώματα που μελετάμε, δεν συνεπάγεται την απώλεια της συνοχής των ατόμων τους και την κατάρρευση του κρυσταλλικού τους πλέγματος. Όπως είδαμε στο σχήμα 3.4 τα άτομα που συνδέει ένας από τους δεσμούς από τους οποίους ελευθερώθηκαν ηλεκτρόνια, εξακολουθούν να συνδέονται με τα γειτονικά τους άτομα με τρεις άθικτους δεσμούς καθώς και με έναν ατελή δεσμό ενός ηλεκτρονίου (θα μπορούσαμε να πούμε, συνολικά με «τρισήμιση» δεσμούς). Οι δεσμοί αυτοί επαρκούν για τη συγκράτηση των ατόμων στις θέσεις τους. Άλλωστε το πλήθος των ελεύθερων ηλεκτρονίων και επομένως και των "διασπασμένων δεσμών των σωμάτων που μελετάμε, είναι ένα μικρό ποσοστό του συνόλου των δεσμών των ατόμων τους, π.χ. για το πυρίτιο στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η αναλογία είναι της τάξης του $1:10^{13}$!

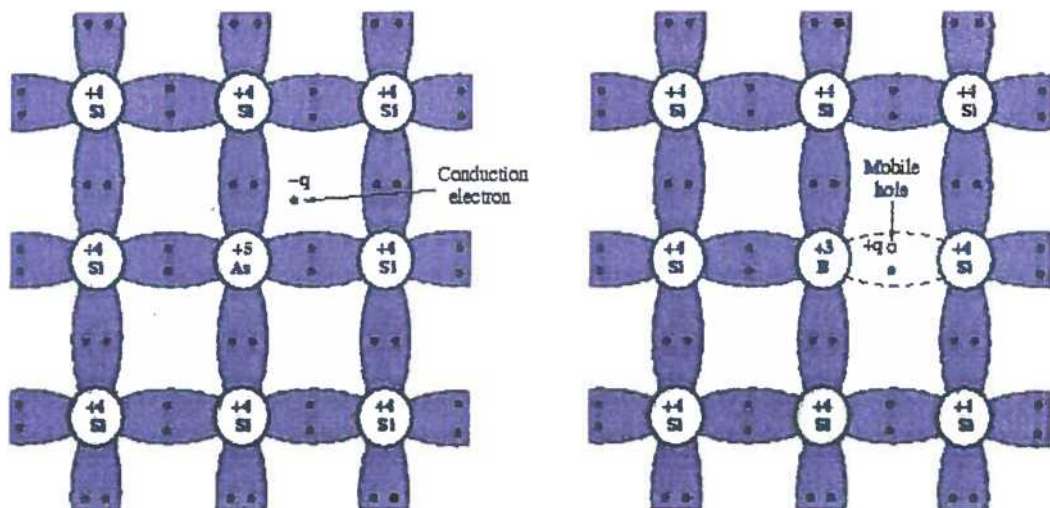
Κατά τη μελέτη ηλεκτρικής συμπεριφοράς των ημιαγωγών και της εμφάνισης του φωτοβολταϊκού φαινομένου σ' αυτούς, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ροή ηλεκτρονίων φορέων, λόγω της **διάχυσης** τους. Διάχυση λοιπόν είναι η διαδικασία διασποράς των μελών (μορίων, ιόντων ή ηλεκτρονίων) ενός συστήματος A, μέσα σ' ένα άλλο σύστημα B, λόγω διάφορων της συγκέντρωσης της ουσίας A, στις δύο θέσεις. Η διάχυση συνεχίζεται μέχρις ότου η συγκέντρωση του σώματος A, ισοκατανεμηθεί μέσα στη μάζα του σώματος B. Η τάση διάχυσης ενός συστατικού μέσα σ' ένα σύνθετο σύστημα, καθορίζεται με το χημικό δυναμικό, μ , το οποίο εκφράζει το ποσό της ελεύθερης ενέργειας, F , που απαιτείται για να μεταβληθούν κατά ένα, τα μέλη του συστατικού αυτού, χωρίς να αλλάξει η θερμοκρασία, ο όγκος και το πλήθος των μελών των υπολοίπων συστατικών του συνολικού συστήματος. Συνήθως, μετρείται σε eV/μέλος του δεδομένου συστατικού.

3.2 Ημιαγωγοί πρόσμειξης

Μεταξύ των ημιαγωγών, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι λεγόμενοι ημιαγωγοί πρόσμειξης (Extrinsic semiconductors), που μέσα στο κρυσταλλικό τους πλέγμα περιέχουν διασπαρμένα άτομα από επιλεγμένο διαφορετικό υλικό. Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων ημιαγωγών: **τύπου n** και **τύπου p**.

Ο ημιαγωγός τύπου η, προκύπτει από τον αντίστοιχο ενδογενή ημιαγωγό, αν αντικατασταθούν μερικά από τα άτομα του, με άτομα άλλου υλικού, με μεγαλύτερο σθένος. Παραδείγματος χάριν, αν μερικά άτομα του κρυσταλλικού πυριτίου Si, τα οποία χαρακτηρίζονται από σθένος 4, αντικατασταθούν, με άτομα αρσενικού As, με σθένος 5 (σχήμα 3.5), τότε δημιουργείται ο ημιαγωγός τύπου η του πυριτίου. Η αντικατάσταση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα να μένει ένα ηλεκτρόνιο ανά άτομο πρόσμειξης, μη συμμετέχον σε δεσμό και το οποίο στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, εγκαταλείπει το άτομο As και γίνεται ελεύθερο. Έτσι ο ημιαγωγός τύπου η, περιέχει περισσότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια σε σχέση με τον ενδογενή (ενδογενής: καθαρός ημιαγωγός που η αγωγιμότητα του δεν οφείλεται σε ξένους παράγοντες αλλά προέρχεται από την ενδογενή διέγερση ηλεκτρονίων σθένους προς την ζώνη αγωγιμότητας). Τα άτομα της 5σθενούς πρόσμειξης ονομάζονται δότες.

Οι ηλεκτρονικές στάθμες των ατόμων των δοτών βρίσκονται λίγο κάτω από τον πυθμένα της ζώνης αγωγιμότητας, κατά το ποσό των ~ 50 meV, αφού με αυτό το ποσό ενέργειας, τα ηλεκτρόνια των σταθμών αυτών γίνονται «ελεύθερα» στο εσωτερικό του υλικού. Παριστάνονται με μικρές διακριτές γραμμές, για να τονιστεί ότι πρόκειται για μεμονωμένα άτομα μέσα στο σύνολο των ατόμων του κυρίως υλικού, σ' όλη την έκταση του ημιαγωγού αυτού.



Σχήμα. 3.5 Πάνω αριστερά βλέπουμε ένα άτομο πυριτίου Si να έχει αντικατασταθεί από ένα άτομο αρσενικού As, δημιουργείται έτσι ο ημιαγωγός τύπου η του πυριτίου. Πάνω δεξιά βλέπουμε ένα άτομο πυριτίου Si να έχει αντικατασταθεί από ένα άτομο βορίου B, δημιουργείται έτσι ο ημιαγωγός τύπου p του πυριτίου.

Ο ημιαγωγός τύπου ρ, δημιουργείται αν μερικά από τα άτομα του κυρίου υλικού αντικατασταθούν με άτομα μικρότερου σθένους (π.χ. βορίου B, αλουμινίου Al, γαλλίου Ga, ινδίου In). Έτσι με την αντικατάσταση ενός ατόμου πυριτίου Si με ένα άτομο βορίου B, το οποίο έχει σθένος 3, δημιουργείται υλικό, στο οποίο υπάρχουν άτομα που μπορούν να δεχθούν ένα ηλεκτρόνιο, προκειμένου να συμπληρωθεί ο ελεύθερος δεσμός (σχήμα 3.5). Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι δημιουργείται μια οπή (hole).

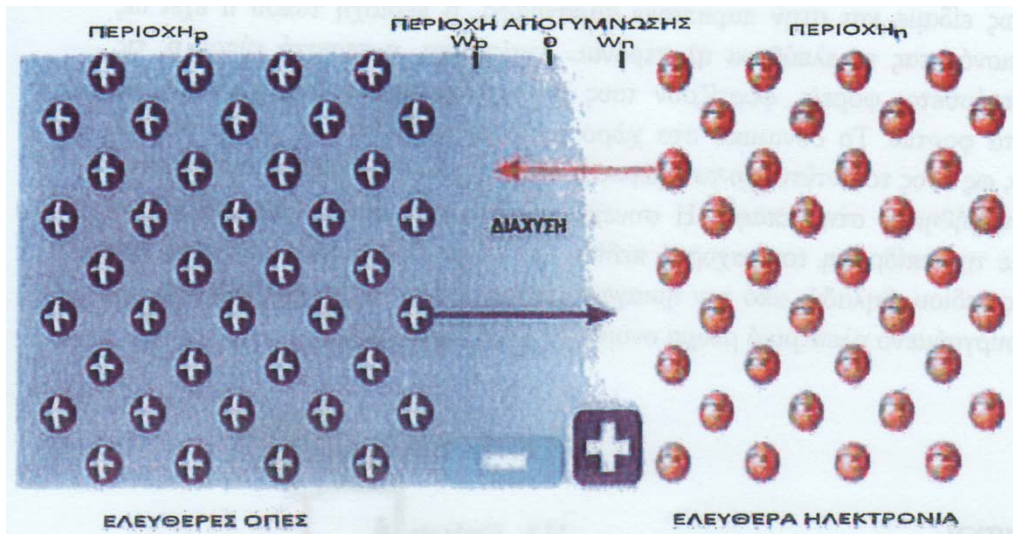
Από τα γειτονικά άτομα Si, στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αποσπάται κάποιο απ' τα ηλεκτρόνια σθένους και αποδίδοντας, όπως στην περίπτωση των δοτών, αντίστοιχα μικρή ενέργεια, μεταβαίνει για κάλυψη του δεσμού στο βόριο. Στη συνέχεια η κάλυψη του δημιουργούμενου κενού του ατόμου Si, γίνεται με μεταπήδηση ενός ηλεκτρονίου «σθένους», από άλλο άτομο Si. Άρα η εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου, θέτει μερικά από τα ηλεκτρόνια σθένους σε κίνηση, η οποία ισοδυναμεί με κίνηση της οπής προς την αντίθετη κατεύθυνση (στην πραγματικότητα δεν υπάρχει μετακίνηση των οπών, αλλά μόνο μετακίνηση των ηλεκτρονίων, ωστόσο με την μετακίνηση αυτή φαίνεται σαν να μετακινούνται και οι οπές). Έτσι, είναι πιο βολικό, αντί να αναφερόμαστε στην κίνηση των ηλεκτρονίων σθένους, από άτομο σε άτομο, να χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη και πολύ πιο πρακτική εικόνα της οπής.

Τα άτομα των προσμείξεων αυτών ονομάζονται αποδέκτες. Οι ηλεκτρονικές στάθμες των αποδεκτών βρίσκονται αμέσως πάνω από την ζώνη σθένους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, λοιπόν, οι ηλεκτρικοί φορείς ενός ημιαγωγού, που μπορούν να συμβάλλουν σε ρεύμα είναι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της ζώνης αγωγιμότητας και οι οπές της ζώνης σθένους.

3.3 Επαφή ημιαγωγών τύπου p-n

Όταν δημιουργηθεί επαφή μεταξύ δύο ημιαγωγών τύπου ρ και η αντίστοιχα, του ίδιου κυρίως, υλικού π.χ. Si, τότε, ηλεκτρόνια από τον ημιαγωγό τύπου n του πυριτίου, μεταβαίνουν, με διάχυση (diffusion) στον ημιαγωγό ρ του πυριτίου. Αυτό σημαίνει ότι, στο τμήμα n-Si κι εκεί απ' όπου έφυγαν τα ηλεκτρόνια, παραμένουν θετικά φορτισμένα ιόντα. Ομοίως, οπές του χώρου p-Si, περνούν, με διάχυση, στην απέναντι μεριά αφήνοντας ακάλυπτα τα αντίστοιχα αρνητικά ιόντα του χώρου τους. Η μετακίνηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα να παραμείνουν ιόντα στις γειτονικές περιοχές, δεξιά και αριστερά της μεταλλουργικής επαφής (σχήμα 4.6 επίπεδο στη θέση 0). Αρνητικά ιόντα σε μέρος της περιοχής του ημιαγωγού τύπου ρ και θετικά, σε μέρος της περιοχής του ημιαγωγού τύπου η. Έτσι, δημιουργείται η **περιοχή απογύμνωσης** (depletion region)(σχήμα 3.6), δηλαδή, περιοχή απογυμνωμένη από ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές.



Σχήμα 3.6 Επαφή δύο ημιαγωγών τύπου p και n. Διακρίνεται επίσης η περιοχή απογύμνωσης, δεξιά και αριστερά της μεταλλουργικής επαφής.

Το μήκος απογύμνωσης μέσα στην περιοχή p, συμβολίζεται όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα με w_p και αντίστοιχα, το μήκος απογύμνωσης μέσα στην περιοχή η με w_n . Η συνολική περιοχή $w = w_p + w_n$, έχει έκταση από κλάσμα του μm , μέχρι αρκετές δεκάδες μm (π.χ. 0,1- 10 μm , για το Si), εξαρτώμενη, από το υλικό, τις πυκνότητες των προσμείξεων και την εφαρμοζόμενη τάση.

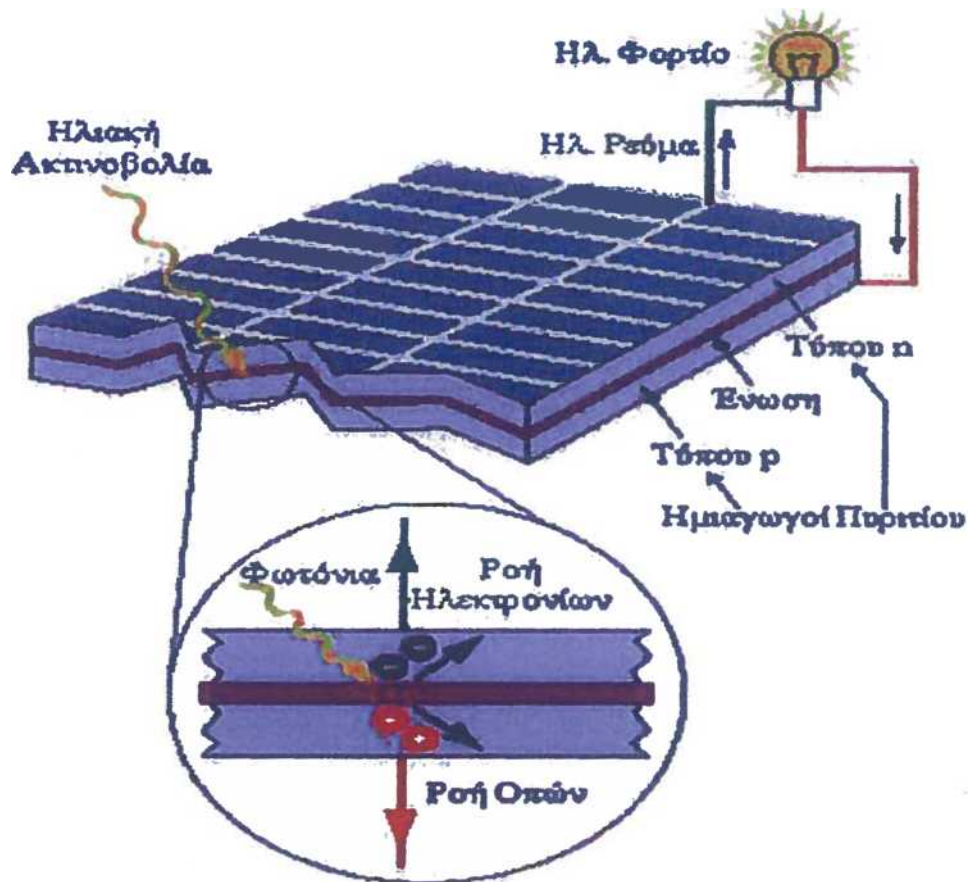
3.4 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Στην περιοχή της ημιαγωγικής επαφής, δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών σ' όλο το χώρο των ημιαγωγών που είναι σε επαφή, με δύο βασικούς τρόπους:

- α) Θερμικά (εξαιτίας του ότι η διάταξη βρίσκεται σε ορισμένη θερμοκρασία).
- β) Με τη δράση εξωτερικού φωτισμού, (φωτονίων) κατάλληλου μήκους κύματος.

Διακρίνουμε τα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών, που δημιουργούνται μέσα στην περιοχή επαφής, λόγο του ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου (περιοχή απογύμνωσης), αλλά και έξω από αυτήν, πολύ κοντά στα σύνορα των περιοχών τύπου p και η αντίστοιχα. Πολλοί από τους φορείς αυτούς έχουν πολύ μεγάλη πιθανότητα να φτάσουν στις περιοχές όπου υπερτερούν οι όμοιοι προς αυτούς τους φορείς (φορείς πλειονότητας), και να παραμείνουν ως «ελεύθεροι» ηλεκτρικοί φορείς, αφού η πιθανότητα να συναντήσουν φορέα μειονότητας και να επανασυνδεθούν, είναι πολύ μικρή. Οι υπόλοιποι που θα συναντήσουν αντίθετο φορέα, με τον οποίο θα επανασυνδεθούν, δεν θα συμβάλουν στη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος, μέσα στην ημιαγωγική διάταξη.

Όπως είδαμε και στην παραπάνω παράγραφο, η περιοχή τύπου n έχει ως φορείς πλειονότητας τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αντίστοιχα, η περιοχή τύπου p , τις οπές. Οι πρόσθετοι φορείς, φορτίζουν τους χώρους στους οποίους φτάνουν, με πλεονάζοντα φορτία. Το δυναμικό στο χώρο p , λόγω των επιπλέον οπών, γίνεται θετικότερο, ως προς το αντίστοιχο του χώρου n , όπου έχουν καταλήξει τα ηλεκτρόνια που δημιουργήθηκαν στην επαφή. Η συνεχής κίνηση των φωτοδημιουργούμενων φορέων, με την επίδραση του ισχυρού πεδίου, αποτελεί ρεύμα, με φορά αυτή του ενδογενούς πεδίου, δηλαδή, από τον ημιαγωγό τύπου n στον ημιαγωγό τύπου p . Το φωτοδημιουργούμενο ηλεκτρικό ρεύμα ονομάζεται **φωτόρεύμα I_L** .

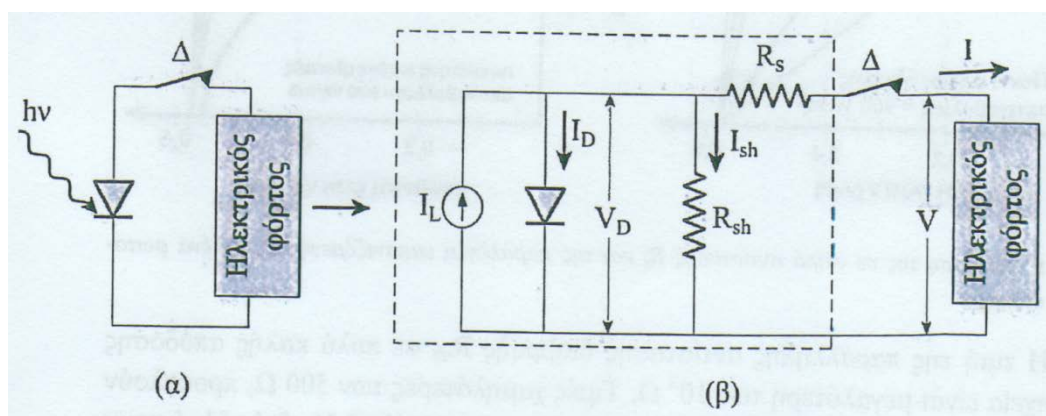


Σχήμα 3.7 Ο μηχανισμός εκδήλωσης του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε ένα ηλιακό στοιχείο. Τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας, που δέχεται το στοιχείο στην εμπρός του όψη, τύπου n , παράγουν ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές). Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στην ημιαγώγιμη πλάκα (και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου πρόσημου) μπορεί να βρεθούν κοντά στην περιοχή της ένωσης p - n και να δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου. Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς τα εμπρός (τμήμα τύπου n) και οι οπές προς τα πίσω (τμήμα τύπου p), με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του ΦB στοιχείου.

Η τιμή του δημιουργούμενου φωτορεύματος Π είναι ευθέως ανάλογη του πλήθους των απορροφούμενων φωτονίων, το οποίο είναι, επίσης ευθέως ανάλογο των προσπίπτόντων φωτονίων, των οποίων η συνολική ενέργεια, ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας, αποτελεί την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Συνεπώς εξαρτάται από την πυκνότητα ισχύος E (W/m^2), της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που προσπίπτει στην ημιαγωγική διάταξη, καθώς επίσης και του εμβαδού της επαφής των δύο ημιαγωγών.

3.5 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ΦΒ στοιχείου

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα μέσα στο πλαίσιο της διακεκομμένης γραμμής. Περιλαμβάνει μια πηγή σταθερού ρεύματος (Π) σε συνδυασμό με μια ιδανική δίοδο. Στη συνέχεια τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα του ΦΒ στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει, αφενός, την αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του ΦΒ στοιχείου, η οποία τίθεται παράλληλα συνδεδεμένη, στα άκρα της διόδου αφετέρου, την αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της διόδου, που αντιπροσωπεύεται από αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με τη δίοδο.



Σχήμα 3.8 (α) Απλό ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ΦΒ στοιχείου. (β) Πλήρες ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός ΦΒ στοιχείου. Η εσωτερική αντίσταση διαρροής της επαφής είναι η R_{sh} και η εσωτερική αντίσταση σε σειρά, η R_s .

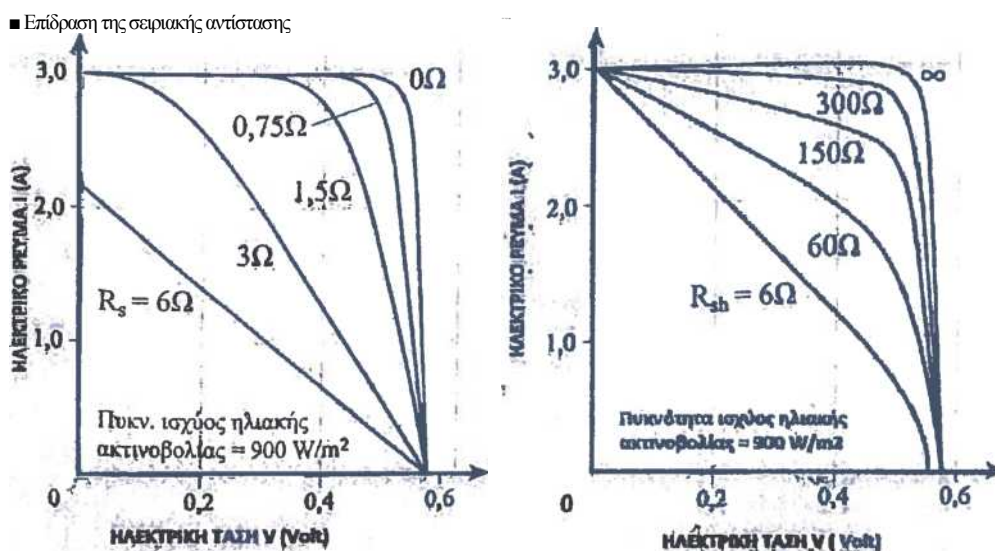
Η **παράλληλη αντίσταση R_{sh}** (Shunt resistance) συνδέεται με τη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής p-η και αφορά διαδρομές ρεύματος διαρροής στο εσωτερικό της επαφής p-η, μεταξύ σημείων που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού ίση με την τάση στα άκρα της διόδου. Αναλυτικότερα, οι διαδρομές αυτές αφορούν ρεύματα:

1. Διαμέσου του σώματος της διάταξης επαφής
2. Δια των εξωτερικών επιφανειών της επαφής, παράλληλα προς το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής και
3. Διαμέσου ηλεκτρικής διάβασης που δημιουργούν οι προσμείξεις της επαφής

Η **σειριακή αντίσταση R_s** (Series resistance) αφορά στην αντίσταση που παρουσιάζει η επαφή:

1. Κατά τη διόδο του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το σώμα της διόδου
2. Στις ωμικές αντιστάσεις των σημείων προσφυγής των ηλεκτροδίων της επαφής καθώς και κατά μήκος των μεταλλικών κλάδων τους

Στις παρακάτω χαρακτηριστικές I-V, φαίνεται η επίδραση της σειριακής αντίστασης, R_s και της παράλληλης αντίστασης διαρροής, R_{sh} .



Σχήμα 3.9 Επίδραση της σε σειρά αντίστασης R_s και της παράλληλα εμφανιζόμενης R_{sh} σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο.

Η τιμή της παράλληλης αντίστασης διαρροής R_{sh} σε πολύ καλής απόδοσης ΦΒ στοιχεία είναι μεγαλύτερη των $10^3 \Omega$. Τιμές χαμηλότερες των 500Ω , προκαλούν έντονη κλίση του οριζόντιου τμήματος της χαρακτηριστικής I-V, δηλαδή έντονη ελάττωση του ρεύματος καθώς προχωρούμε προς την τάση ανοιχτού κυκλώματος, V_{oc} .

Η ελάττωση είναι εντονότερη όσο η R_{sh} ελαττώνεται (σχήμα 3.9). Μικρή R_{sh} χαρακτηρίζει καμπύλη I-V με αντίστοιχα μικρό παραλληλόγραμμο $I_m \cdot V_m$, μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος, P_m , και άρα χαμηλότερη τιμή του παράγοντα πλήρωσης, FF.

Αύξηση της τιμής της σειριακής αντίστασης R_s περιορίζει την περιοχή τάσεων στην οποία αντιστοιχεί σταθερό ρεύμα βραχυκύκλωσης, ίσο με αυτό που αντιστοιχεί στην ιδανική περίπτωση (σχήμα 3.9). Άμεσο αποτέλεσμα της αύξησης της R_s είναι η δραστική ελάττωση της αντίστοιχης μέγιστης ισχύος που αποδίδει το στοιχείο. Τυπικές τιμές της R_s , για καλής ποιότητας ΦΒ στοιχεία είναι: $0,1 \Omega$ έως $0,3 \Omega$.

3.6 Τάση ανοικτού κυκλώματος - ρεύμα βραχυκύκλωσης

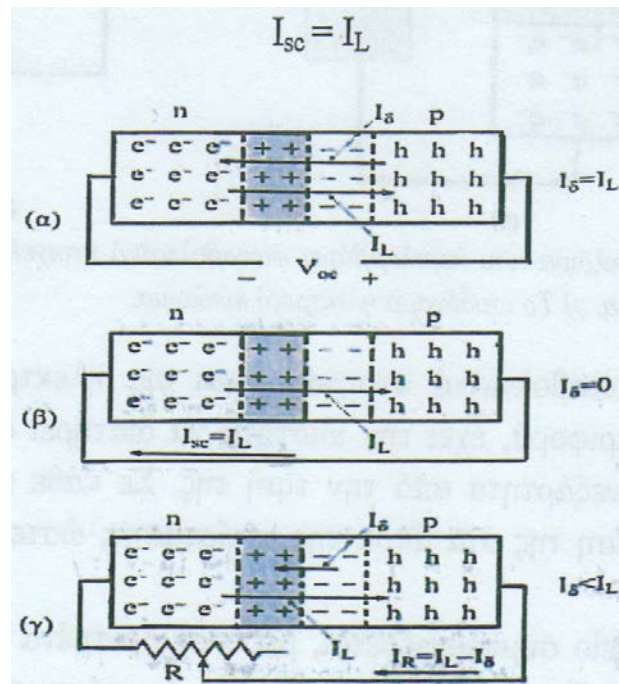
Στην περίπτωση που το φωτοβολταϊκό στοιχείο βρίσκεται σε **ανοικτό κύκλωμα** και σε κατάσταση σταθερού φωτισμού, τα δύο ρεύματα που κυκλοφορούν μέσα στην επαφή, είναι αντίθετης φοράς και ίσα κατά απόλυτη τιμή $I_s = -I_L$ (σχήμα 3.10α). Αυτή η ισότητα ρευμάτων, τα οποία επιβάλλονται αφενός από τη διάχυση, λόγω αύξησης των πυκνοτήτων των φορέων πλειονότητας, αφετέρου από την ηλεκτρική τάση του ενδογενούς ηλεκτρικού φραγμού, έχει σαν αποτέλεσμα η ηλεκτρική τάση στα άκρα της επαφής p-n, να προσεγγίζει το ύψος της τάσης V_{bi} (τάση διάχυσης: η τάση που διακόπτει το φαινόμενο της διάχυσης από το ένα τμήμα της επαφής στο άλλο) με φορά αντίθετη αυτής. Ονομάζεται τάση ανοικτού κυκλώματος, V_{oc} και ισχύει:

$$V_{oc} \leq V_{bi}$$

όπου η ισότητα αφορά στην ιδανική περίπτωση που δεν συμβαίνουν επανασυνδέσεις.

Περίπτωση όπου το φωτοβολταϊκό στοιχείο βρίσκεται σε **κλειστό κύκλωμα**, μπορεί να υπάρξει, με την βραχυκύκλωση των άκρων του (χάλκινο σύρμα) ή με σύνδεση αντίστασης R στα άκρα του.

Αν τα άκρα της επαφής p-n, που φωτίζεται όπως και πριν κάτω από σταθερές συνθήκες φωτισμού, είναι βραχυκυκλωμένα μεταξύ τους με ένα χάλκινο σύρμα μεγάλης διατομής και μηδενικής πρακτικά αντίστασης, τότε θα περάσει μέσα από το σύρμα ρεύμα ίσο με το I_L (σχήμα 3.10β). Οι αυξημένες πυκνότητες των φορέων πλειονότητας στα άκρα της επαφής, δημιουργούν έκχυση τους είτε μέσα από την επαφή, που παρουσιάζει φραγμό, είτε μέσα από το σύρμα, που δεν παρουσιάζει φραγμό ($AV=0$). Άρα κατά το βραχυκύκλωμα το φωτόρευμα I_L , διέρχεται από τον αγωγό βραχυκύκλωσης και κατά συνέπεια, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , του φωτοβολταϊκού στοιχείου ισούται, ιδανικά, με I_L .

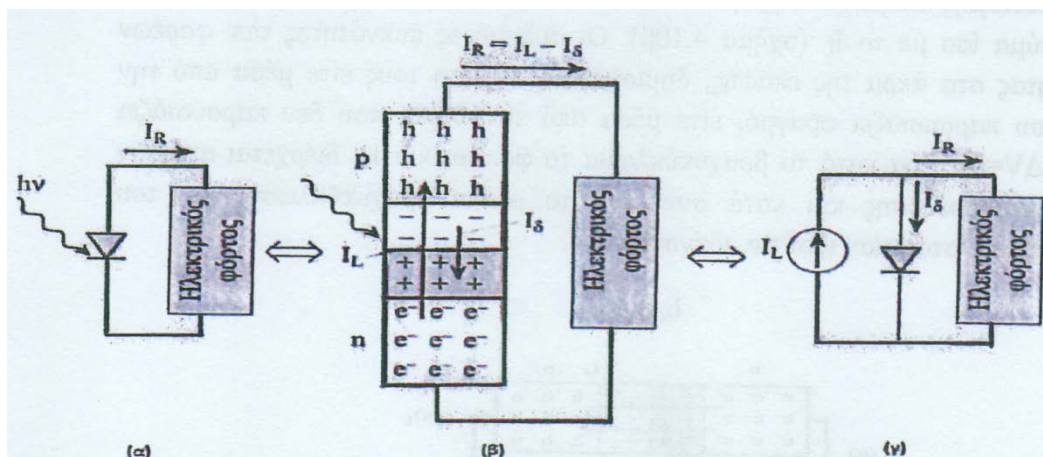


Σχήμα 3.10 α) Ανοικτό κύκλωμα, β) Επαφή βραχυκυκλωμένη, γ) Επαφή συνδεδεμένη με ανάλσταση R .

Όταν στα άκρα της φωτιζόμενης επαφής συνδέσουμε μια αντίσταση R (σχήμα 3.10γ) τότε αυτή θα διαρρέεται από ρεύμα I_R , που αποτελεί τη διαφορά του φωτορεύματος I_L από τη συνιστώσα του ρεύματος διάχυσης I_δ ($I_R = I_L - I_\delta$). Δηλαδή, το ρεύμα I_R εξαρτάται από την τιμή της αντίστασης που συνδέουμε στα άκρα των επαφών p-n.

3.7 Ηλεκτρική συμπεριφορά φωτιζόμενου ΦΒ στοιχείου

Σύμφωνα με τα όσα αναφέραμε παραπάνω, φως, δεδομένης πυκνότητας ισχύος και φάσματος, δημιουργεί μέσα στο σώμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου ηλεκτρικό ρεύμα I , του οποίου η ένταση μένει σταθερή καθώς αλλάζει η ωμική αντίσταση, που είναι συνδεδεμένη στα άκρα του. Έτσι η λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι ισοδύναμη με εκείνη, που θα δημιουργούσε η σύνδεση μιας πηγής σταθερού ρεύματος στα άκρα της διόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.11γ. Στο σχήμα 3.11α δίδεται η τυπική μορφή ηλεκτρικού κυκλώματος που περιλαμβάνει φωτοβολταϊκό στοιχείο και ωμικό καταναλωτή και στο σχήμα 3.11β φαίνεται η πραγματική κατάσταση των ρευμάτων μέσα στο φωτοβολταϊκό στοιχείο εξαιτίας της δράσης του φωτός.



Σχήμα 3.11 α) Τυπικό ηλεκτρικό κύκλωμα που περιλαμβάνει φωτοβολταϊκό στοιχείο, β) Αναλυτική παρουσίαση των ρευμάτων στο κύκλωμα γ) Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα

Συμπερασματικά, το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι μια ηλεκτρική πηγή, η οποία, στην ιδανική της συμπεριφορά, έχει την ιδιότητα να διατηρεί σταθερή τιμή ρεύματος σε μια αντίσταση, ανεξάρτητα από την τιμή της. Σε κάθε περίπτωση, η πηγή αυτή προσαρμόζει την τάση της στα άκρα της αντίστασης, ώστε το ρεύμα να μένει, πρακτικά, σταθερό.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο συμπεριφέρεται, μέσα σε ορισμένα όρια τάσεων, ως πηγή σταθερού ρεύματος. Το παρεχόμενο ηλεκτρικό ρεύμα είναι περίπου σταθερό, σε ευρεία περιοχή τάσεων. Στη συνέχεια, και μέχρι την τάση ανοικτού κυκλώματος, το ρεύμα μειώνεται ραγδαία, προσεγγίζοντας, σε μια στενή περιοχή τάσεων, τη συμπεριφορά πηγής σταθερής τάσης.

Στον αντίποδα βρίσκεται η ηλεκτρική πηγή σταθερής τάσης, π.χ. ο ηλεκτρικός συσσωρευτής. Η τάση του μένει, περίπου σταθερή, σε μεγάλο εύρος εντάσεων ρευμάτων, που δημιουργεί σε καταναλωτές-φορτία, που τροφοδοτεί. Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, υπό δεδομένη πυκνότητα ισχύος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, παράγει δεδομένο μέγιστο ρεύμα, ίσο με το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Αντίθετα, ένας συσσωρευτής μπορεί να δώσει πολύ μεγάλα ρεύματα. Στην περίπτωση βραχυκύκλωσης των άκρων του, δίδει εξαιρετικά μεγάλο ηλεκτρικό ρεύμα, περιορισμένο μόνο από την εσωτερική του αντίσταση.

Η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου μοιάζει με την αντίστοιχη ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή. Μπορούμε λοιπόν να διακρίνουμε ομοιότητες και διαφορές φωτοβολταϊκού στοιχείου και ηλεκτρικού συσσωρευτή καθώς και οι δύο διατάξεις μπορούν να δώσουν ηλεκτρική ενέργεια, αλλά η δυνατότητα παροχής ενέργειας, στις δύο περιπτώσεις, οφείλεται σε διαφορετικές αιτίες.

α) Στον ηλεκτρικό συσσωρευτή έχουμε χημικές δράσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων και του διαλύματος, με αποτέλεσμα την αποταμίευση ενέργειας στα αλλοιωμένα ηλεκτρόδια, ενώ στα φωτοβολταϊκά στοιχεία, το ηλεκτρικό πεδίο της επαφής προκαλεί διαχωρισμό των πρόσθετων ηλεκτρικών φορτίων, που δημιουργεί το απορροφούμενο φως, χωρίς αποταμίευση ενέργειας.

β) Ο ηλεκτρικός συσσωρευτής αποδίδει ηλεκτρική ενέργεια με, περίπου, σταθερή ηλεκτρική τάση και με δυνατότητα να δώσει στο φορτίο (ανάλογα με την αντίσταση του), από πολύ μικρά έως πολύ μεγάλα ηλεκτρικά ρεύματα. Αντίθετα, το μέγιστο ρεύμα (ρεύμα βραχυκύκλωσης) που μπορεί να δώσει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο εξαρτάται, κυρίως, από την πυκνότητα ισχύος 1 kw/m^2 και φθάνει, σε εργαστηριακή μορφή, τα 30 έως 40 mA/cm^2 . Ο ηλεκτρικός συσσωρευτής χαρακτηρίζεται ως πηγή σταθερής ηλεκτρικής τάσης ενώ το φωτοβολταϊκό στοιχείο, κατά κύριο λόγο, ως πηγή σταθερού ηλεκτρικού ρεύματος.

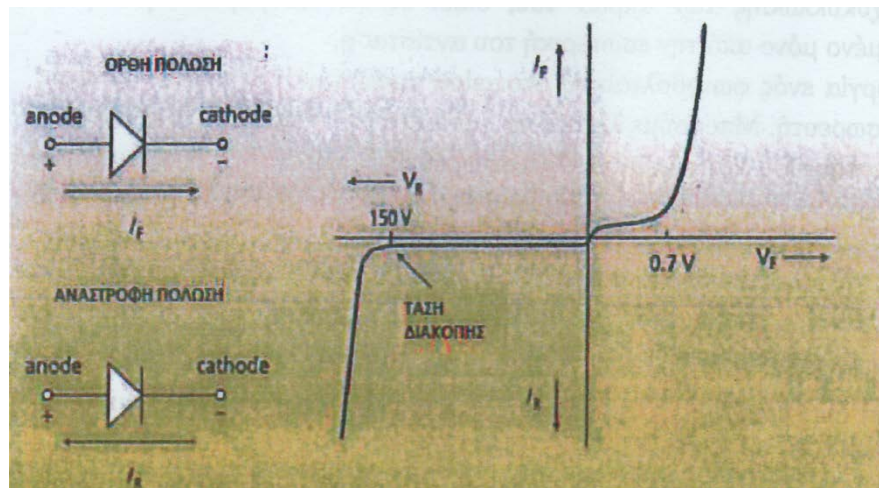
3.8 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Σύμφωνα με προηγούμενη ανάλυση, το ρεύμα I_{δ} , είναι σαν να προέρχεται από μια ορθή τάση V_F , επειδή οφείλεται στην αύξηση των πυκνοτήτων των φορέων πλειονότητας. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι οι τιμές του I_{δ} ακολουθούν την καμπύλη I-V της διόδου (σχήμα 3.12).

Έτσι για να κατασκευάσουμε την καμπύλη I-V, της φωτιζόμενης διόδου, θα πρέπει να προσθέσουμε την καμπύλη I-V της μη φωτιζόμενης διόδου και την ευθεία $I = -I_L$, του φωτορεύματος, που αποτελεί την I-V της πηγής σταθερού ρεύματος. Το ρεύμα I_R όμως έχει αντίθετη φορά από το επιβαλλόμενο στη δίοδο από μια εξωτερική πηγή με ορθή πόλωση. Συνεπώς, στο διάγραμμα I-V, της μη φωτιζόμενης επαφής, θα τοποθετήσουμε τις τιμές I_R , στον αρνητικό ημιάξονα. Σε κάθε τιμή του I_{δ} , προσθέτουμε το $-I_L$ και θα βρούμε το I_R , το οποίο το συμβολίζουμε πιο απλά ως I .

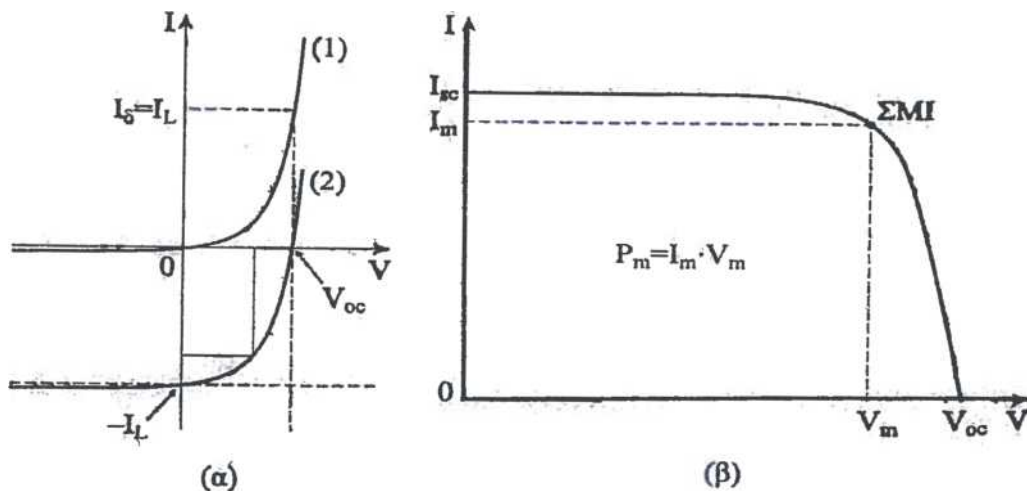
$$I = I_S \left\{ \exp\left(\frac{eV}{\eta_{i\delta} k_B T}\right) - 1 \right\} - I_L$$

(όπου η & ο παράγων ιδανικότητας της διόδου)



Σχήμα 3.12 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V της διόδου, σε ορθή και ανάστροφη πόλωση

Στο παρακάτω σχήμα 4.13α φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη I-V, ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, στο σκοτάδι (1) και στο φως (2), ενώ στο σχήμα 3.13β δίδεται σε μεγέθυνση το τμήμα της καμπύλης που βρίσκεται στο τέταρτο τεταρτημόριο ανεστραμμένο ως προς τις τιμές του ρεύματος, στο οποίο η επαφή p-n συμπεριφέρεται ως φωτοβολταϊκό στοιχείο. Σε αυτή την περιοχή η φωτοβολταϊκή κυψέλη συμπεριφέρεται ως πηγή ενέργειας και άρα παρέχει ενέργεια σε ένα καταναλωτή ($P = V \cdot I < 0$).

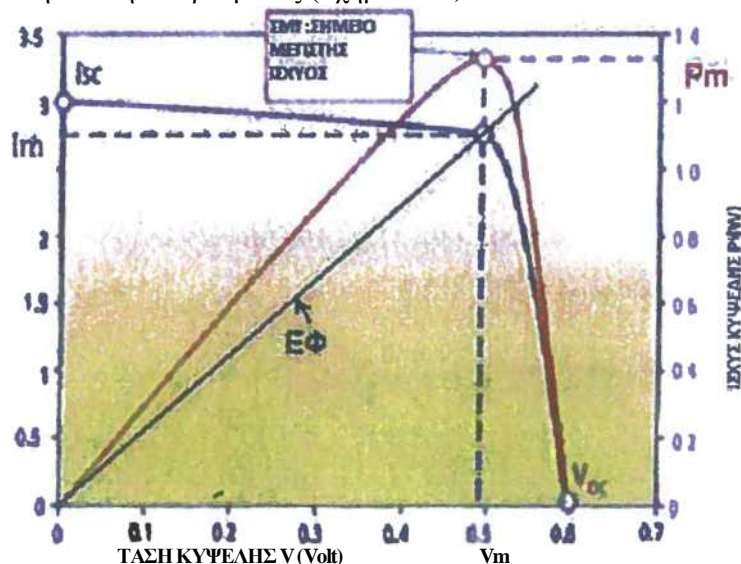


Σχήμα 3.13 α) Χαρακτηριστική καμπύλη I-V, ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, στο σκοτάδι (1) και στο φως (2). β) Μεγέθυνση του τμήματος της καμπύλης που βρίσκεται στο τέταρτο τεταρτημόριο.

3.9 Σημείο λειτουργίας μεγίστης ισχύος

Για την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του φωτοβολταϊκού στοιχείου, πρέπει να προσαρμόσουμε την αντίσταση του καταναλωτή, που επιθυμούμε να συνδέσουμε στα άκρα του φωτοβολταϊκού στοιχείου, ώστε η τάση και το ρεύμα σ' αυτόν να αντιστοιχούν στο σημείο μεγίστης ισχύος, ΣΜΙ (Maximum Power Point, Mpp).

Υπολογίζουμε την ισχύ που παρέχει το φωτοβολταϊκό στοιχείο, στην αντίσταση R σε συνάρτηση με την τάση στα άκρα του φωτοβολταϊκού στοιχείου και κατασκευάζουμε το γράφημα της σε συνάρτηση με την τάση V . Στις ακραίες τιμές τάσης, 0 και V_{oc} η παρεχόμενη ισχύς είναι μηδέν. Συνεπώς, είναι αναμενόμενο, η καμπύλη $P=f(V)$ να εμφανίζει μέγιστο, το οποίο παρουσιάζεται κοντά στο σημείο όπου αρχίζει η έντονη πτώση του ρεύματος (σχήμα 3.14).



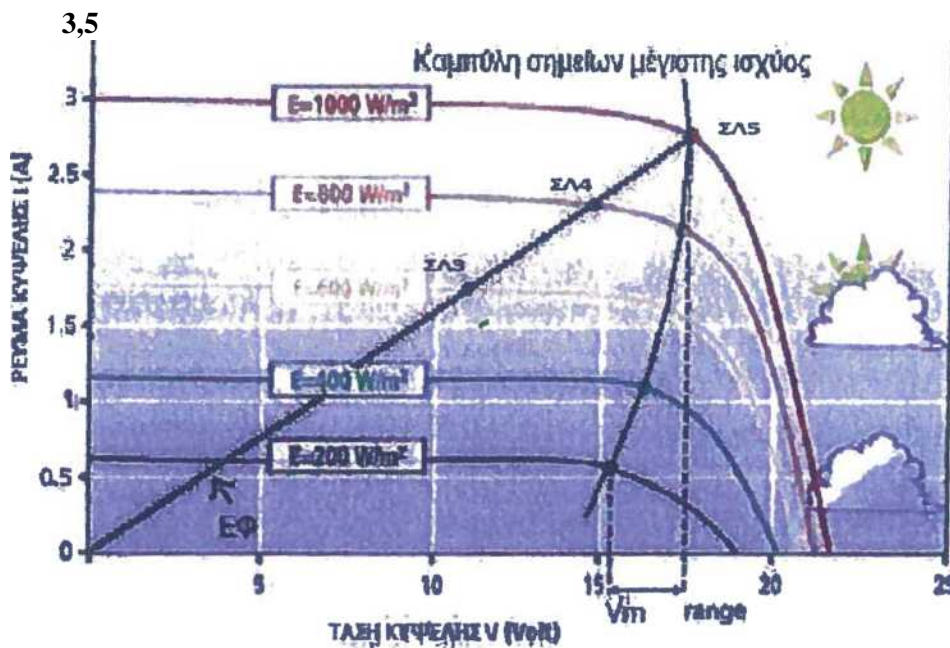
Σχήμα 3.14 Ανεστραμμένη $I-V$ φωτοβολταϊκού στοιχείου, στο τεταρτημόριο που αυτό παρέχει ενέργεια, επίσης η καμπύλη ισχύος και η ευθεία φόρτου $E\Phi$, για ένα ωμικό καταναλωτή με αντίσταση R αντίστοιχη του ΣΜΙ ($R=V_m/I_m$)

3.10 Καμπύλη φόρτου

Μία χρήσιμη γραφική παράσταση, η οποία ενσωματώνεται και συνδυάζεται με τα διαγράμματα $I-V$ της ηλεκτρικής πηγής που τροφοδοτεί μία διάταξη, η οποία αξιοποιεί την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, (π.χ. μία ωμική αντίσταση, ένα ηλεκτρικό συσσωρευτή, ένα ηλεκτρικό κινητήρα κ.α.) είναι η **καμπύλη φόρτου** της διάταξης. Είναι η καμπύλη που προκύπτει ως γραφική παράσταση, του ρεύματος I που διαρρέει τη διάταξη, σε συνάρτηση με την εφαρμοζόμενη στην είσοδο της

ηλεκτρική τάση V , $I = f(V)$. Η καμπύλη φόρτου, τοποθετημένη στο διάγραμμα I-V του φωτοβολταϊκού στοιχείου, τέμνει την χαρακτηριστική καμπύλη του, σ' ένα σημείο, που αποτελεί κοινή λύση για τις εξισώσεις που αντιστοιχούν στις δύο καμπύλες. Το σημείο αυτό καθορίζει το ρεύμα και την τάση στο φόρτο και ονομάζεται σημείο λειτουργίας του συστήματος. Στην περίπτωση που το φορτίο είναι ωμική αντίσταση, η σχέση $I = f(V)$, είναι αναλογική και η γραφική παράσταση της ευθεία γραμμή. Σε περίπτωση που μεταβληθεί η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό στοιχείο, η καμπύλη I-V αλλάζει και για το δεδομένο φορτίο, το σημείο λειτουργίας δεν θα συμπίπτει πλέον με το σημείο μέγιστης ισχύος, ΣΜΙ.

Για τον έλεγχο της αποδοτικής λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου αλλά και για τον σχεδιάσμό των ηλεκτρονικών που συνδυάζονται μ' αυτό, προσδιορίζουμε τα σημεία μέγιστης ισχύος, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του στοιχείου. Επιδιώκουμε το σημείο λειτουργίας του σε κάθε διαφορετική κατάσταση, που θα προκύψει, (π.χ. από μεταβολή της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας, E) να αποτελεί και το σημείο μέγιστης ισχύος, P_m , για τη δεδομένη κατάσταση. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 4.15, το σημείο λειτουργίας 5, (ΣΛ5), αποτελεί και το σημείο μέγιστης ισχύος P_m , για πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, $E = 1 \text{ kW/m}^2$.



Σχήμα. 3.15 Καμπύλη I-V φωτοβολταϊκού στοιχείου για πέντε διαφορετικές τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, επίσης η καμπύλη σημείων μέγιστης ισχύος, ΣΜΙ και η ευθεία φόρτου, ΕΦ, για ωμική αντίσταση.

Σύμφωνα λοιπόν με το παραπάνω σχήμα 3.15, όταν αλλάζει η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, που τροφοδοτεί μια ηλεκτρική αντίσταση, το σημείο λειτουργίας μετατοπίζεται. Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς αποδίδεται στην αντίσταση, μόνο για ορισμένο επίπεδο ακτινοβολίας. Σε διαφορετικές τιμές της έντασης, της ακτινοβολίας, αποδίδεται ισχύς μικρότερη από την αντίστοιχη μέγιστη ισχύ.

Μόνο το ΣΛ5 συμπίπτει με το ΣΜΙ της I-V, στις υπόλοιπες καμπύλες I-V, τα δύο σημεία δεν συμπίπτουν. Για να συμβεί κάτι τέτοιο, πρέπει να αλλάξει η ωμική αντίσταση, έτσι ώστε η νέα ευθεία φόρτου, να περνά από το αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος της νέας καμπύλης I-V. Οι τιμές ρεύματος- τάσης, στο σημείο μέγιστης ισχύος, συμβολίζονται με I_m και V_m . Η μέγιστη ισχύς, που μπορεί να δώσει το φωτοβολταϊκό στοιχείο, υπό δεδομένη προσπίπτουσα πυκνότητα ακτινοβολίας E, ισούται με, $P_m = I_m \cdot V_m$.

3.11 Πρότυπες συνθήκες ελέγχου - ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκού στοιχείου

Τα βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία ελέγχονται σε ένα εργαστηριακά παρασκευασμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο καθώς επίσης και στο τελικά διατιθέμενο βιομηχανικό προϊόν (ΦΒ πλαίσιο), είναι ο παράγων πλήρωσης FF, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , και η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} , σε συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας του στοιχείου. Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών μεγεθών, επιτρέπει τον έλεγχο της αποδοτικότητας του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Για το σκοπό αυτό, καθορίστηκαν διεθνώς, οι ακόλουθες **πρότυπες συνθήκες ελέγχου** των χαρακτηριστικών ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ή πλαισίου (Standard Test Conditions, STC).

Πρότυπες συνθήκες ελέγχου:

- Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δέσμης παράλληλων ακτινών (Beam), πυκνότητας ισχύος $E = 1 \text{ kW/m}^2$, και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με AM1,5.
- Κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας στην όψη του φωτοβολταϊκού στοιχείου.
- Θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού στοιχείου: $\theta_{STC} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Στα ειδικά εργαστήρια ελέγχου και πιστοποίησης των χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών στοιχείων, ο χώρος ελέγχου βρίσκεται στην προκαθορισμένη θερμοκρασία των $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Το φάσμα εκπομπής της χρησιμοποιούμενης πηγής φωτισμού, προσομοιάζει προς το ηλιακό. Η πηγή αυτή λειτουργεί στιγμιαία (Flash), ώστε η θερμοκρασία του υλικού του φωτοβολταϊκού στοιχείου να παραμένει στα προκαθορισμένα όρια των πρότυπων συνθηκών, επιπλέον, η ακτινοβολία από την τεχνητή πηγή, προσπίπτει κάθετα στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Στην πραγματικότητα, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, λειτουργούν κάτω από φυσικό ηλιακό φως, του οποίου τα χαρακτηριστικά μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας καθ' όλο το έτος. Επιπλέον, η αποδιδόμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και από τις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες του τόπου εγκατάστασης.

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες, εισάγεται η έννοια της **ισχύς αιχμής** (Peak power, P_p), ως χαρακτηριστικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου, η δε μονάδα στο SI, γράφεται, W_p , (Peak Watt, Watt αιχμής)

Ισχύς αιχμής λοιπόν, ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, που μπορεί να αποδώσει, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC, $P_p=P_m,STC$).

Η έννοια αυτή χρησιμοποιείται ομοίως, για το χαρακτηρισμό ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ή μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Αποτελεί το χαρακτηριστικό στοιχείο με βάση το οποίο προσδιορίζεται το μέγεθος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

3.12 Παράγων πλήρωσης FF φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το διαγραμμισμένο "παραλληλόγραμμο" μέσα στην καμπύλη I-V, με πλευρές I_m και V_m , έχει "εμβαδόν" ίσο με τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ από το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Το πηλίκο του εμβαδού αυτού προς το εμβαδό ενός άλλου παραλληλογράμμου με πλευρές I_{sc} και V_{oc} , που περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού στοιχείου, ως πηγή σταθερού ρεύματος, δίνει το μέτρο προσέγγισης αυτής της λειτουργίας της επαφής και λέγεται **παράγων πλήρωσης FF** (Fill Factor). Οι τιμές του, καθορίζονται από το υλικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου και τις συνθήκες, είναι δε μεταξύ 0 και 1. Η τιμή αναφοράς του δίδεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC) και όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του FF, τόσο περισσότερο η λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος, στην περιοχή τάσεων 0- V_{oc} . Σ' αυτές τις περιπτώσεις η διάταξη χαρακτηρίζεται αφενός από μικρή ισοδύναμη αντίσταση σε σειρά, αφετέρου από μεγάλη τιμή παράλληλης αντίστασης. Τυπικές τιμές 0,7 έως 0,9 χαρακτηρίζουν φωτοβολταϊκά στοιχεία με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση, αντίστοιχα.

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

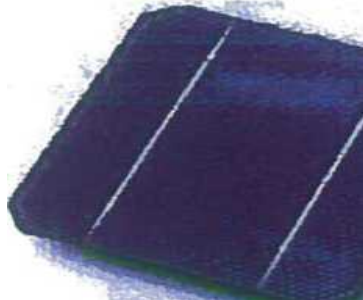
3.13 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών στοιχείων

Το υλικό, που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των φωτοβολταϊκών κυψελίδων, είναι το πυρίτιο (**Si**). Ως στοιχείο, το πυρίτιο βρίσκεται ελεύθερο στη

φύση σε αφθονία. Τα διάφορα ορυκτά και πετρώματα του πυριτίου αποτελούν το 87% του φλοιού της Γης, ενώ είναι το δεύτερο σε αφθονία χημικό στοιχείο στη Γη, μετά το οξυγόνο, με ποσοστό 28%. Στην άμμο το πυρίτιο περιέχεται με τη μορφή του οξειδίου του πυριτίου (SiO_2). Το τελικό προϊόν χαρακτηρίζεται από υψηλή (99,99999%) έως και πολύ υψηλή καθαρότητα (99,9999999%). Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής. Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι εξής:

Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (single-crystal silicon):

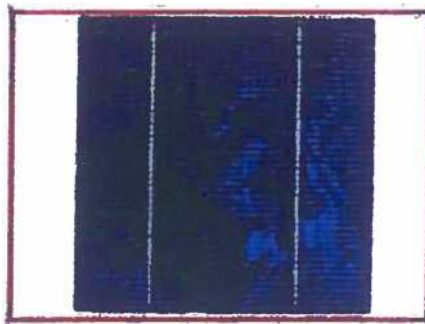
Το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο (Wafer~300 μm). Η απόδοσή τους, με τη μορφή κυψελίδας, κυμαίνεται από -21% έως -24%. Χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής και έχουν χρώμα σκούρο μπλε.



Σχήμα 3.16 Φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (multicrystalline silicon mc-Si):

Έχουν δυνατότητα κατασκευής μεγάλων επιφανειών. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία και αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα, πάχους 10 έως 50 μm .



Σχήμα 3.17 Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Στην επιφάνεια της κυψελίδας, διακρίνονται οι διαφορετικές μονοκρυσταλλικές περιοχές. Τα όρια τους αποτελούν θέσεις παγίδευσης των φορέων και άρα όσο μικρότερο είναι το συνολικό μήκος των οριακών περιοχών μέσα στο δεδομένης διάστασης φωτοβολταϊκό στοιχείο, τόσο καλύτερη είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του. Γενικά, όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού στοιχείου, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοση

του, η οποία κυμαίνεται από 17% έως ~20% σε εργαστηριακή μορφή κυψελίδας. Χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα. Το δε κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το χρώμα τους είναι γαλάζιο.

Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (amorphous ή thin film silicon):

Διαθέτουν τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων ή υμενίων (films), έχουν θεωρητικά πολύ χαμηλό κόστος παραγωγής, εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Η απόδοση των φωτοβολταϊκών αυτών στοιχείων, μειώνεται έντονα, στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα του 6 με 8%. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων φωτοβολταϊκών στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος. Έτσι παρασκευάζονται φωτοβολταϊκά στοιχεία από κράμα πυριτίου με άνθρακα και γερμάνιο, τριών επαφών a-SiGe (~1,4 eV), a-SiC (1,85 eV), με σταθεροποιημένη απόδοση ~13%. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών φωτοβολταϊκών στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες φωτοβολταϊκών πλαισίων.



Σχήμα 3.18 Φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου.

Εκτός των φωτοβολταϊκών στοιχείων άμορφου πυριτίου (a-Si), τα οποία σήμερα αποτελούν τα περισσότερο διαδεδομένα στο κόσμο, για την κατηγορία αυτή, κατασκευάζονται φωτοβολταϊκά στοιχεία και από άλλα ημιαγώγιμα υλικά, κυρίως με συνδυασμό μεταξύ τους. Ο συνδυασμός επιλέγεται έτσι ώστε να προκύπτει διάταξη με καλύτερη αξιοποίηση του ηλιακού φάσματος. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, παρά τα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματά τους σε σχέση με το πυρίτιο (φασματική απόκριση, σταθερότητα απόδοσης, χαμηλό θερμικό συντελεστής μέγιστης ισχύος κ.α.), εμφανίζουν ακόμα περιορισμένη χρήση, κυρίως λόγω των δυσκολιών που συνδέονται με την πολυπλοκότητα των μεθόδων που χρησιμοποιούνται. Πάντως, η συντελούμενη πρόοδος στον τομέα βελτίωσης των μεθόδων παρασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων λεπτών επιστρώσεων ενισχύει την πρόβλεψη για ισχυρή διεξόδου τους στην αγορά, πιθανότατα μέχρι το 2020 και μάλιστα σε ανταγωνιστικό βαθμό σε σχέση με το κρυσταλλικό πυρίτιο. Ο επόμενος πίνακας 3.19 παρουσιάζει τα πιο σημαντικά απ' αυτά τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, το καθένα με τα πλεονεκτήματά του και τα μειονεκτήματά του.

a/a	Βασικά υλικά ΦΒ στοιχείου	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
1	Ετεροένωση Cu_2S/CdS	Πολυκρυσταλλικό $E_g = 1,2 \text{ eV}/2,3 \text{ eV}$ απόδοση ~10%.	Μικρό κόστος κατασκευής.	Μη σταθερής απόδοσης ΦΒ στοιχείο.
2	Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός $CuInSe_2$ ή CIS	Εργαστηριακή απόδοση 12-13%. Με προσθήκη Ga, βελτιώνονται τα χαρακτηριστικά του και φτάνει απόδοση 17%. Η απόδοση βιομηχανικού πλαισίου είναι 8-11%.	Χαμηλό κόστος κατασκευής, σταθερότητα ισοδύναμη του c-Si. Υψηλή ετήσια ενεργειακή αποδοτικότητα.	Χαμηλή απόδοση βιομηχανικού προϊόντος.
3	Τελουριούχο κάδμιο $CdTe$	Ιδανικό ενεργειακό διάκενο.	Εξαιρετική εκμετάλλευση του ηλιακού φάσματος.	Μη επαναλήψιμες ιδιότητες. Δυσκολία δημιουργίας μεταλλικών επαφών.
4	Αρσενικούχο γάλλιο $GaAs$	Παρουσιάζει την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση ~25,5%. Χρήση σε διαστημικές εφαρμογές.	Υψηλή ενεργειακή απόδοση βιομηχανικού ΦΒ πλαισίου, 22%.	Υψηλό κόστος κατασκευής.

Σχήμα 3.19 Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτών επιστρωμάτων

Κεφάλαιο 4^ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

4.1 Φωτοβολταϊκός συλλέκτης πυριτίου (πλαίσιο)

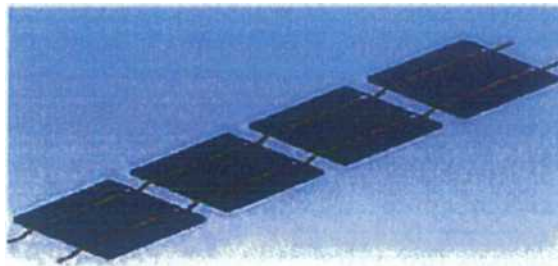
Το πυρίτιο αποτελεί το πιο διαδεδομένο τύπο ημιαγωγού στοιχείου και η χρήση του έχει επικρατήσει σχεδόν στο σύνολο των ηλεκτρονικών και φωτοβολταϊκών εφαρμογών. Η ηλιακή ακτινοβολία (ηλιακό φως) μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων πυριτίου. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων τα οποία είναι συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα, ανάλογα με το αποτέλεσμα που θέλουμε να έχουμε.

Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι, σύνδεση σε σειρά N , καθ' όλα όμοιων φωτοβολταϊκών στοιχείων, οδηγεί σε σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοικτού κυκλώματος, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο του ενός ($V_{toc} = NV_{0C}$ και $I_{tsc} = I_{sc}$). Η παράλληλη σύνδεση N όμοιων φωτοβολταϊκών στοιχείων, δίδει ένα σύνολο με την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος, ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ισούται με N φορές το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ενός ($V_{toc} = V_{0C}$ και $I_{tsc} = NI_{sc}$).

Ο φωτοβολταϊκός συλλέκτης θα πρέπει να πληροί κάποια επιθυμητά ηλεκτρικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά. Τα βασικά κριτήρια των χαρακτηριστικών αυτών είναι:

1. Για τα μεν ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, η δυνατότητα συνδυασμού της μονάδας αυτής με συσσωρευτή τυπικής ονομαστικής τάσης 12V, για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Για τα δε μορφολογικά χαρακτηριστικά, οι διαστάσεις της μονάδας, η ευκολία κατασκευής, μεταφοράς και ενσωμάτωσης τους σε σύνολα (συστοιχίες) καθώς και το μειωμένο κόστος αντικατάστασης του, στην περίπτωση βλάβης.

Στην πράξη ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά (σχήμα 4.1) βρίσκονται σφραγισμένα ερμητικά κλειστά, μέσα σε πλαστική ύλη για προστασία από τις καιρικές συνθήκες (π.χ. υγρασία), ενώ η μπροστινή όψη του πλαισίου προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί υψηλής διαφάνειας. Η κατασκευή αυτή, που έχει πάχος περίπου 5 χιλιοστά, τοποθετείται συνήθως σε πλαίσιο από αλουμίνιο.



Ηλεκτρική σύνδεση ηλιακών στοιχείων

Σχήμα 4.1 Συνδέω/ σε σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Συγκεκριμένα, σε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου, ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, δίδει τάση $\sim 0,6$ Volts σε θερμοκρασία $\theta_c = 25$ °C, το δε σύνολο 36 τέτοιων στοιχείων σε σύνδεση σειράς, δίδει τάση ανοικτού κυκλώματος $V_{oc} = 36 \cdot 0,6 \text{ V} = 21,6$ Volts, που είναι απαραίτητη, για την φόρτιση συσσωρευτή τυπικής ονομαστικής τάσης 12 Volts. Η τελική κατασκευή φωτοβολταϊκού πλαισίου πληροί ειδικές προδιαγραφές, ώστε να διαθέτει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, τις κατάλληλες υποδοχές στήριξης και επιπλέον την αυξημένη στεγανότητα για προστασία από την υγρασία. Μια τέτοια κατασκευή χρειάζεται σχεδόν μηδενική συντήρηση και έχει διάρκεια ζωής που φτάνει τα τριάντα χρόνια.

Η διάταξη αυτή αποτελεί την τυπική βιομηχανική μονάδα (module) και ονομάζεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο (photovoltaic module). Σπανιότερα, χρησιμοποιείται ο όρος φωτοβολταϊκή γεννήτρια (photovoltaic generator), ενώ αποτελεί τη βασική δομική μονάδα κάθε μεγαλύτερης εγκατάστασης παραγωγής φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή της φωτοβολταϊκής συστοιχίας (array). Στο εμπόριο υπάρχουν τυπικές τιμές ισχύος αιχμής από μερικά W_p έως τα 150 W_p . Διατίθενται δε σε μεγαλύτερες διαστάσεις, με περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία, σε σειρά και παράλληλη εσωτερική σύνδεση, με τη μορφή σύνθετων διατάξεων, που χαρακτηρίζονται από υψηλή ισχύ αιχμής και συνήθως υψηλή τάση ανοικτού κυκλώματος, κατάλληλα για ειδικές εφαρμογές.

Η αρχική μορφή των φωτοβολταϊκών στοιχείων σ' ένα συλλέκτη, ήταν κυκλική, με αποτέλεσμα να μένει αρκετή μη ενεργός επιφάνεια του πλαισίου. Σήμερα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, έχουν τετραγωνικής μορφής σχήμα, ώστε να ελαχιστοποιείται η μη αξιοποιήσιμη επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Όσον αφορά την επιλογή του αριθμού των φωτοβολταϊκών στοιχείων απ' τα οποία θα κατασκευαστεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, αναφέρθηκε προηγουμένως ότι, αυτό έχει άμεση σχέση με την ονομαστική ηλεκτρική τάση 12 V στους πόλους των ηλεκτρικών συσσωρευτών Pb/H_2SO_4 , οι οποίοι κατέχουν την πρώτη θέση στην παγκόσμια αγορά. Έτσι για την φόρτιση ενός συσσωρευτή μολύβδου-θεικού οξέως (Pb/H_2SO_4 , ονομαστικής τάσης 12 V, απαιτείται τάση περίπου 14,2-14,4 Volts. Στο σύστημα αυτό είναι απαραίτητη η παρεμβολή μιας απλής ηλεκτρονικής διάταξης, για τον έλεγχο των ορίων τάσης φόρτισης και εκφόρτισης του συσσωρευτή καθώς και μιας διόδου αντεπιστροφής, ώστε να αποτρέπεται η εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, όταν αυτή δεν φωτίζεται. Αυτά τα πρόσθετα ηλεκτρονικά και οι γραμμές μεταφοράς, απαιτούν μία επιπλέον τάση 1-2 V. Άρα το ΣΜΙ της πιο απλής φωτοβολταϊκής συστοιχίας, δηλαδή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον τάση, 15 με 17 Volts. ($14,4V + 1$ έως 2 V).

Έτσι τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων, οδηγούν στην επιλογή συγκεκριμένων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Η τάση όπου επιθυμούμε να λειτουργεί ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, σε διάφορα επίπεδα φωτισμού, βρίσκεται στην περιοχή 14V-17V, ενώ η αντίστοιχη τάση ανοικτού κυκλώματος είναι στην περιοχή 19V-22V.

Με στόχο τα φωτοβολταϊκά πλαίσια να προσαρμοστούν περισσότερο στην αρχιτεκτονική μορφή των κτηρίων, οι εταιρείες κατασκεύασαν πλαίσια που ταιριάζουν με τις απαιτήσεις της πρακτικότητας και της αισθητικής. Παραδείγματος χάριν, για τις στέγες των κτιρίων παραδοσιακής μορφής, προτείνεται η χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων, με τη μορφή κεραμιδιών (εικόνα 4.2).



Σχήμα 4.2 Πάνω αριστερά η τοποθέτηση και πάνω δεξιά η ολοκλήρωση της εγκατάστασης, με τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων, με τη μορφή κεραμιδιών.

Στις πλευρές του κτηρίου, μπορούν να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά πλαίσια - ζωγραφικοί πίνακες. Φωτοβολταϊκά πλαίσια ημιπερατά στο ηλιακό φως μπορούν να τοποθετηθούν σε διαδρόμους μεγάλων κτηριακών συγκροτημάτων, συνδυάζοντας τη δυνατότητα φυσικού ημερήσιου φωτισμού του διαδρόμου με τη δυνατότητα τεχνητού φωτισμού, από αποθηκευμένη φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια, κατά τη διάρκεια της νύκτας ή των συνεφιασμένων ημερών.

4.2 Ονομαστική ισχύς ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου

Το κυριότερο τυπικό ηλεκτρικό χαρακτηριστικό ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, βάση του οποίου θα το ψάξουμε στο εμπόριο, ώστε να καλύψει τις ανάγκες μιας συγκεκριμένης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης καθώς και η εμπορική του τιμή, καθορίζονται από την έννοια της **ισχύος αιχμής** (peak power), όπως αυτή ορίστηκε και για το φωτοβολταϊκό στοιχείο.

Ισχύς αιχμής, P_p , ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, είναι η μέγιστη ισχύς με την οποία αυτό αποδίδει ηλεκτρική ενέργεια, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου. Έστω, π.χ. ότι η ισχύς αιχμής ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου μονοκρυσταλλικού

πυριτίου, είναι $75 W_p$, τότε αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, όταν δέχεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πυκνότητας ισχύος, $E=1 kW/m^2$, φάσματος AM 1,5 και η θερμοκρασία του είναι $25 ^\circ C$, τότε θα παράγει ηλεκτρική ενέργεια με ισχύ $75 W$. Είναι προφανές ότι ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, το οποίο βρίσκεται στην ύπαιθρο, δεν λειτουργεί πάντα σε αυτές τις ιδανικές συνθήκες.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά ενός μονοκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού πλαισίου ισχύς αιχμής $P_p=80W$. Είναι τα βασικά χαρακτηριστικά όπου θα πρέπει να ερευνησουμε για την αγορά του φωτοβολταϊκού μας πλαισίου, τέτοια είναι η ισχύς P_p , η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} , η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} , επίσης, αναγράφεται και η θερμοκρασία NOCT, την οποία αποκτά το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, ευρισκόμενο σε καθορισμένες συνθήκες περιβάλλοντος, που προσεγγίζουν μία μέση πραγματική κατάσταση. Συνεπώς, όσο μικρότερη η τιμή της για ένα πλαίσιο, τόσο μικρότερη η μείωση της παρεχόμενης ηλεκτρικής ισχύς, σε σχέση με άλλο ίδιας ισχύος αιχμής, του οποίου όμως, η θερμοκρασία NOCT είναι μεγαλύτερη.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΤΙΜΗ
Τυπική ισχύς αιχμής, P_p (Peak power)	80 W
Εγγύηση για ελάχιστο της ισχύος αιχμής	76 W
Ηλεκτρική τάση στο σημείο ισχύος αιχμής ($V_{m,sc}$)	16,9V
Ηλεκτρικό ρεύμα στο σημείο ισχύος αιχμής ($I_{m,STC}$)	4,73 A
Τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_{oc,STC}$)	21,5 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης ($I_{sc,STC}$)	4,97 A
Θερμικός συντελεστής ρεύματος βραχυκύκλωσης	0,05%/K
Θερμικός συντελεστής τάσης ανοικτού κυκλώματος	-0,5%/K
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	49 $^\circ C$
Διαστάσεις (μήκος · πλάτος · πάχος) σε mm	1425 · 652 · 36
Βάρος, kg	11,9

Πίνακας 4.3 Τυπικά χαρακτηριστικά μονοκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού πλαισίου, ισχύς αιχμής 80W.

4.3 Απόδοση ΦΒ πλαισίου και παράγοντες που την επηρεάζουν

Ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης (η_m) ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, εμβαδού S , προσδιορίζεται από το πηλίκο της αποδιδόμενης μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος, P_m , προς την προσπίπτουσα στο πλαίσιο, ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας $E \cdot S$,

όπου E , η πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου :

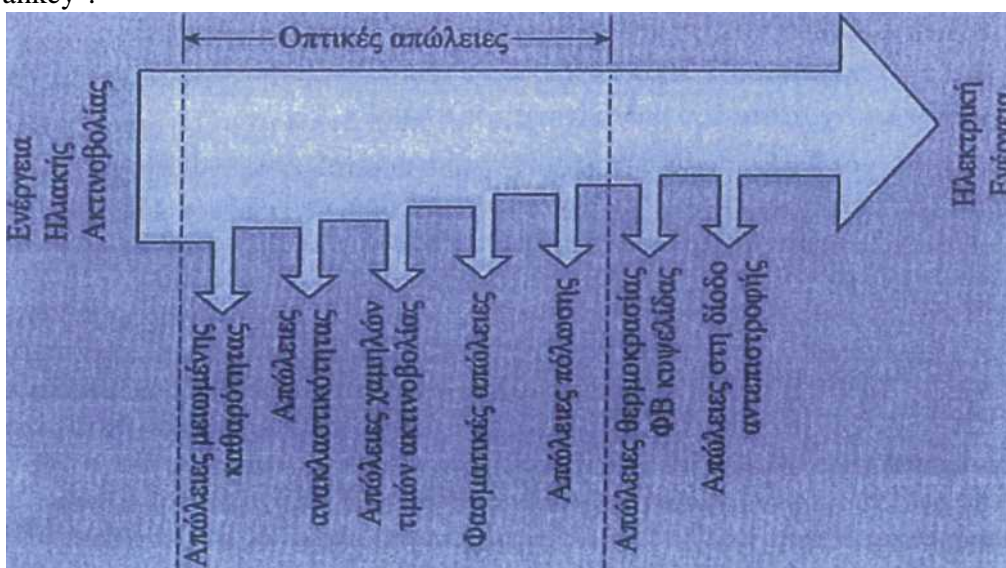
$$\eta_m = \frac{P_m}{E \cdot S}$$

Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών παρασκευής του, τη θερμοκρασία των κυψελίδων και την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η τιμή αναφοράς του καθορίζεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC). Σε συνθήκες διαφορετικές από τις πρότυπες, η τιμή του καθορίζεται από τη διαφορά θερμοκρασιών της κυψελίδας στη δεδομένη κατάσταση φωτισμού και στην κατάσταση STC (25 °C), αντίστοιχα, καθώς και από την πυκνότητα ισχύος E , της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η τιμή του στιγμιαίου συντελεστή απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου, (η_m), καθορίζεται από τις αποκλίσεις που υφίσταται από την τιμή $\eta_{m,STC}$, που προσδιορίζεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC). Οι απώλειες αυτές αφορούν:

- Τη γήρανση του φωτοβολταϊκού πλαισίου, δηλαδή στη μείωση της απόδοσης του λόγω αλλοίωσης των υλικών κατασκευής των κυψελίδων του φωτοβολταϊκού πλαισίου.
- Στις απώλειες οπτικού δρόμου και θερμοκρασίας κυψελίδας, που προκύπτουν λόγω της διαφοροποίησης των χαρακτηριστικών της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντα αέρα, των πραγματικών συνθηκών λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με αυτά των πρότυπων συνθηκών.
- Στις απώλειες στη δίοδο αντεπιστροφής του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Οι ενεργειακές απώλειες φαίνονται στο παρακάτω σχήμα, με τη μορφή διαγράμματος, "Sankey".



Σχήμα 4.4 Διάγραμμα Sankey για τη ροή ενέργειας σε φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι μικρότερη της αντίστοιχης του φωτοβολταϊκού στοιχείου εργαστηριακής παρασκευής. Οι βασικότεροι λόγοι είναι:

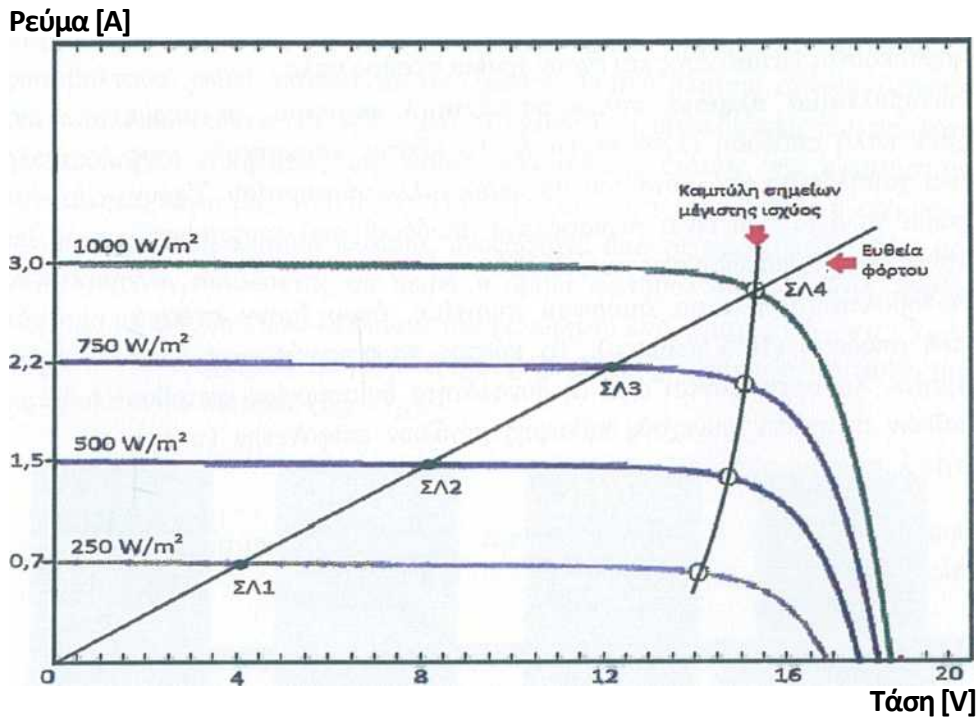
- Η μη πλήρης κάλυψη της γεωμετρικής επιφάνειας του, από την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων, η οποία καθορίζεται από τον παράγοντα κάλυψης, (Ο παράγον κάλυψης φωτοβολταϊκού πλαισίου ισούται με το πηλίκο της πραγματικής επιφάνειας των φωτοβολταϊκών στοιχείων που αποτελούν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, προς την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου).
- Η ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών στοιχείων, που συνθέτουν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.
- Η ανακλαστικότητα του υαλοπίνακα του πλαισίου.

Σήμερα, η απόδοση για φωτοβολταϊκά πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι περίπου 15%, ενώ πολυκρυσταλλικού πυριτίου πλαίσια -12%. Για άμορφου πυριτίου φωτοβολταϊκά πλαίσια συναντάμε απόδοση γύρω στο 10%.

Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά, και προκαλούν μείωση της απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, είναι, η αναπτυσσόμενη υψηλή θερμοκρασία κάτω από την οποία μπορεί να λειτουργούν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του πλαισίου, η εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό τους και οι συνακόλουθες αλλοιώσεις δομής της φωτοβολταϊκής κυψελίδας. Επίσης, σκόνες και άλλα σώματα που προσκολλούν στην επιφάνεια όψης των πλαισίων, μειώνουν την ενεργειακή τους απόδοση. Το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται, από το υλικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου, τον τύπο του και την διαχρονική του αξιοπιστία της μηχανικής κατασκευής και των ηλεκτρολογικών και μονωτικών υλικών.

4.4 Σημείο λειτουργία ΦΒ πλαισίου κάτω από διαφορετικές πυκνότητες ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας

Στο παρακάτω σχήμα 4.5 αποδίδονται μερικές χαρακτηριστικές καμπύλες I-V, σε διαφορετικές πυκνότητες ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Στο ίδιο σχήμα φαίνονται τα διαφορετικά σημεία λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, που τροφοδοτεί μια σταθερή αντίσταση, σε διαφορετικές πυκνότητες ισχύος προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Παρατηρούμε ότι στα σημεία μέγιστης ισχύος, σε διαφορετικά επίπεδα πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας, ορίζουν μια περιοχή ηλεκτρικών τάσεων, μέσα στην οποία κυμαίνεται η τάση στα άκρα της αντίστασης φόρτου. Η περιοχή αυτή εκτείνεται, συνήθως, μεταξύ 14 V και 17 V και, όπως έχει αναφερθεί καλύπτει τις απαιτήσεις φόρτισης ενός τυπικού ηλεκτρικού συσσωρευτή ονομαστικής τάσης 12 V.



Σχήμα 4.5 Για δεδομένο ωμικό φορτίο, τα σημεία λειτουργίας ΣΛ (1,2,3), που αντιστοιχούν σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού του φωτοβολταϊκού πλαισίου, δεν συμπίπτουν με τα αντίστοιχα σημεία μέγιστης ισχύος, με εξαίρεση, στη συγκεκριμένη περίπτωση, το ΣΛ4, αντίστοιχο της πυκνότητας ισχύος ακτινοβολίας 1kW/m^2 .

Το σημείο λειτουργίας του φωτοβολταϊκού πλαισίου, που τροφοδοτεί ένα καταναλωτή διαφορετικό από ωμική αντίσταση, προσδιορίζεται με όμοιο τρόπο. Στο διάγραμμα, που περιέχει την καμπύλη I-V του φωτοβολταϊκού πλαισίου, σχεδιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη φόρτου του καταναλωτή. Το σημείο τομής των δύο καμπυλών αποτελεί το σημείο λειτουργίας του συστήματος.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση συστήματος στο οποίο το φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι συνδεδεμένο σε ηλεκτρικό συσσωρευτή. Η καμπύλη φόρτου, πάνω στην οποία βρίσκονται τα σημεία λειτουργίας του συστήματος, στην περίπτωση αυτή, βρίσκεται πολύ κοντά στην καμπύλη των σημείων μέγιστης ισχύος του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Συνεπώς, με την παρουσία του συσσωρευτή, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, παρέχει στο φόρτο ενέργεια με ισχύ πολύ κοντά στη μέγιστη τιμή, σε αντιστοιχία με την πυκνότητα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.

4.5 Διάκριση φωτοβολταϊκών πλαισίων

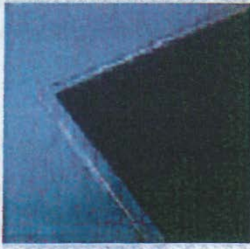
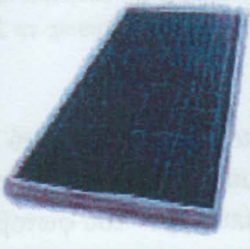

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια διακρίνονται, όπως και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου, τα οποία

έχουν πολύ καλή απόδοση (15% περίπου). Χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής και έχουν χρώμα σκούρο μπλε.

- **Φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου**, τα οποία έχουν καλή απόδοση (12% περίπου). Το κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλότερο από αυτό του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Έχουν χρώμα γαλάζιο που είναι περισσότερο αποδεκτό από τους αρχιτέκτονες για ενσωμάτωση στις κατοικίες.
- **Φωτοβολταϊκά πλαίσια άμορφου πυριτίου**, όπου έχουν σχετικά καλή απόδοση (10% περίπου). Το κόστος παρασκευής τους είναι χαμηλό. Χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητα δημιουργίας φωτοβολταϊκών στοιχείων συνεχούς κάλυψης μεγάλων επιφανειών (τεχνολογία λεπτών υμενίων - films).

Στον παρακάτω πίνακα 4.6 αποτυπώνεται η διάκριση αυτή των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

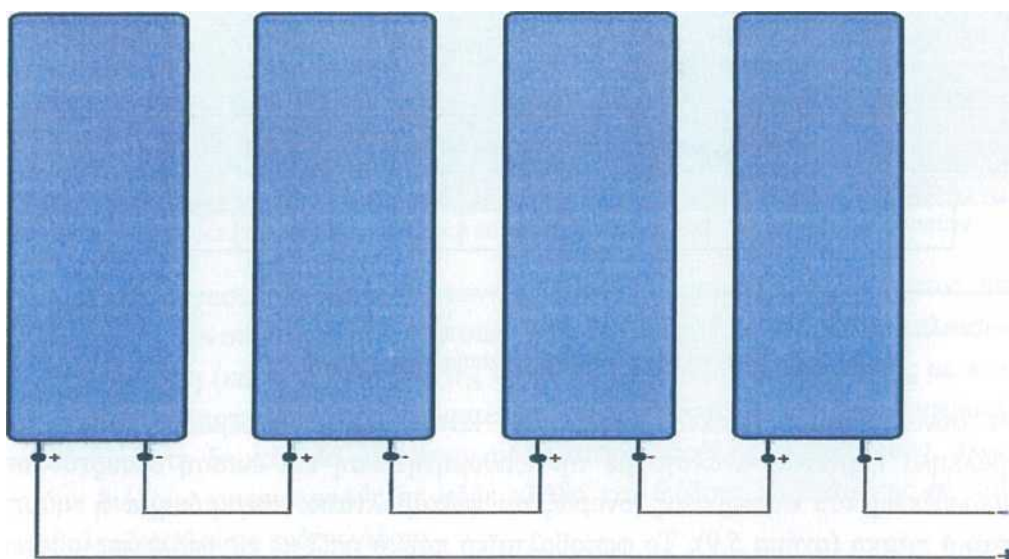
ΤΥΠΟΣ	'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας	~10%	~12%	~15%
Επιφάνεια ανά kWp	9-25 m ²	7-9 m ²	5,5-9 m ²

Πίνακας 4.6

4.6 Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχουμε, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά, παράλληλα ή σε μεικτή σύνδεση.

Η σύνδεση σε σειρά δύο ή και περισσότερων φωτοβολταϊκών πλαισίων αυξάνει την τάση στους τελικούς ακροδέκτες του συγκροτήματος, που ονομάζεται στην περίπτωση αυτή φωτοβολταϊκό panel (σύνθετο), (σχήμα 4.7). Το φωτοβολταϊκό panel αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια συναρμολόγηση μένα σε ένα μεταλλικό πλαίσιο (συνήθως από αλουμίνιο), με καλωδιώσεις που απολήγουν σε ηλεκτρολογικό κιβώτιο, ως ενιαία κατασκευή, έτοιμη για εγκατάσταση, με δυνατότητα, λόγω μικρού βάρους, εύκολης αφαίρεσης, μεταφοράς ή επέμβασης στα επί μέρους φωτοβολταϊκά πλαίσια, ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες όμοιες μονάδες. Συγκεκριμένα, συνδέοντας σε σειρά n όμοια φωτοβολταϊκά πλαίσια, έχουμε ένα σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_{toc} = n \cdot V_{oc}$). Το δε ρεύμα του συστήματος (μέγιστο ή βραχυκύκλωσης) είναι ίσο με αυτό του ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ($I_{tsc} = I_{sc}$).



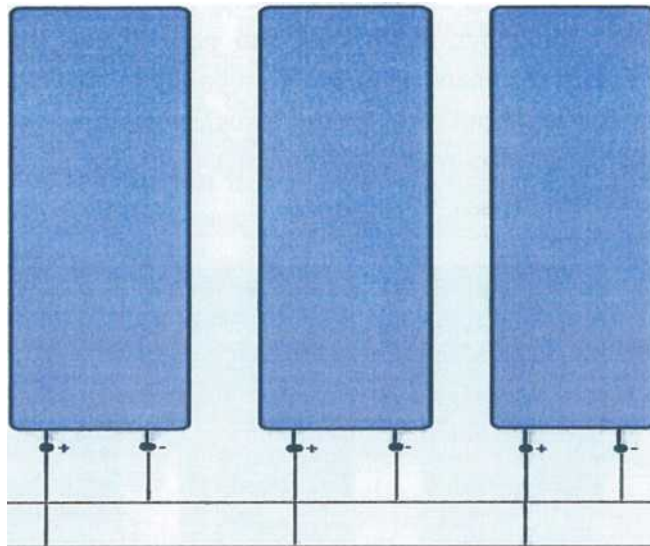
Σχήμα 4.7 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά.

Συνδέοντας σε σειρά δύο και περισσότερων καθ' όλα όμοιων φωτοβολταϊκών πλαισίων, δημιουργούμε έναν κλάδο σύνδεσης. Η σύνδεση δε σε σειρά πολλών φωτοβολταϊκών πλαισίων ή panel, σε μία επίπεδη συνήθως επιφάνεια αυξάνει πολύ την τάση στους τελικούς ακροδέκτες του συγκροτήματος, που ονομάζεται στην περίπτωση αυτή **φωτοβολταϊκή συστοιχία** (array).

Η σύνδεση παράλληλα δύο ή και περισσότερων φωτοβολταϊκών πλαισίων αυξάνει την ένταση στους τελικούς ακροδέκτες του συγκροτήματος, που ονομάζεται στην περίπτωση αυτή φωτοβολταϊκό panel. Συγκεκριμένα, συνδέοντας παράλληλα n όμοια φωτοβολταϊκά πλαίσια, έχουμε ένα σύστημα με ρεύμα (βραχυκύκλωσης ή μέγιστο) που ισούται με n φορές το ρεύμα (βραχυκύκλωσης ή μέγιστο) του ενός πλαισίου ($I_{tsc} = n \cdot I_{sc}$). Η τάση του συστήματος είναι ίδια με την τάση του ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου ($V_{toc} = V_{oc}$), (σχήμα 4.8).

Η παράλληλη σύνδεση πολλών φωτοβολταϊκών πλαισίων ή panel, σε μία επίπεδη συνήθως επιφάνεια αυξάνει πολύ την ένταση στους τελικούς ακροδέκτες του συγκροτήματος, που ονομάζεται στην περίπτωση αυτή φωτοβολταϊκή

συστοιχία (array). Πάντως, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε μία συστοιχία, συνδιάζονται (μεικτή σύνδεση) έτσι ώστε η μεταφορά της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται με τις μικρότερες δυνατές απώλειες στη γραμμική μεταφοράς, δηλαδή, με χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη ηλεκτρική τάση, μέσα στα επιτρεπτά όρια.

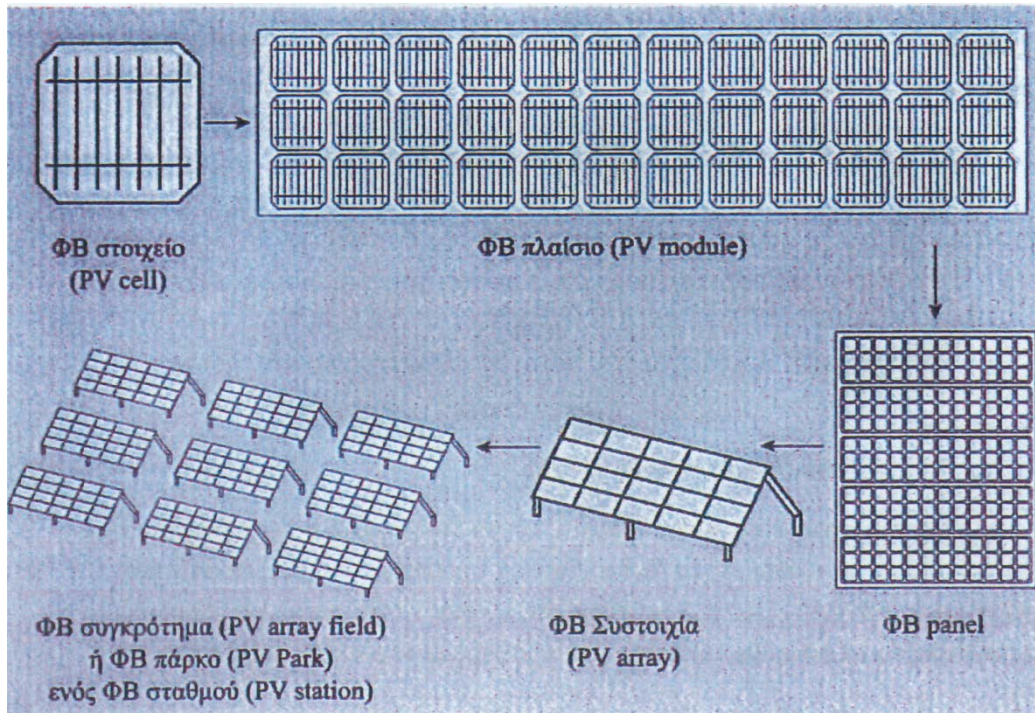


Σχήμα 4.8 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα.

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** (σχήμα 4.9). 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**.

Η επιλογή του τρόπου σύνδεσης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών μεταξύ τους, γίνεται με βάση την ονομαστική τάση λειτουργίας της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης (όπως θα δούμε στο επόμενο ΚΕΦ, με την ονομαστική τάση στην είσοδο του μετατροπέα, φορτιστή, συσσωρευτών κλπ.). Η επιλογή του τρόπου σύνδεσης έχει σχέση (ανάλογα και με το μέγεθος της εγκατάστασης) και με τον περιορισμό των απωλειών. Συνδέοντας πολλούς φωτοβολταϊκούς συλλέκτες σε σειρά αυξάνουμε την τάση λειτουργίας της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης μειώνοντας αντίστοιχα το ονομαστικό ρεύμα του κάθε κλάδου. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης σ' αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερο.

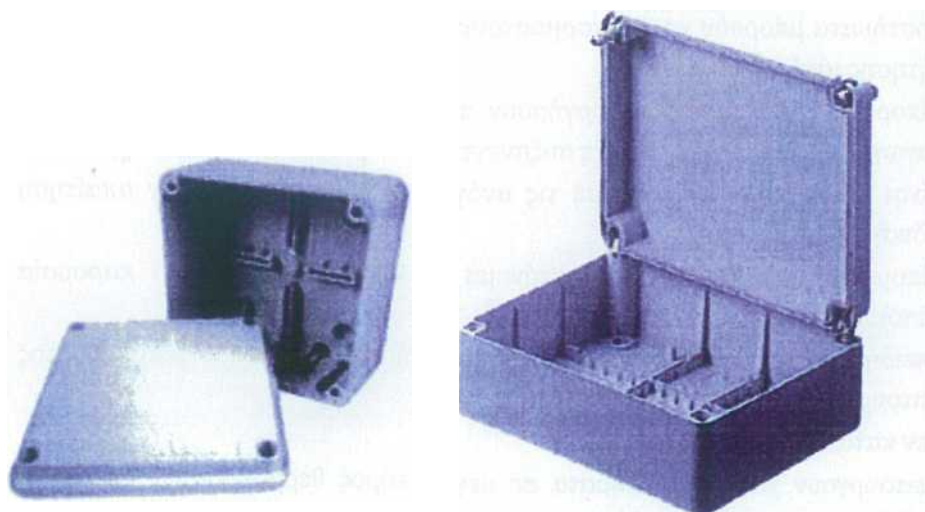
Στο παρακάτω σχήμα 4.9 φαίνονται οι τυπικοί σχηματισμοί σύνθεσης φωτοβολταϊκών στοιχείων και πλαισίων.



Σχήμα 4.9 Ορολογία και τυπικοί σχηματισμοί σύνθεσης φωτοβολταϊκών στοιχείων και πλαισίων.

Για την προστασία των τμημάτων ενός φωτοβολταϊκού συγκροτήματος, από την εκφόρτιση του συσσωρευτή ή 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. Με τις διόδους αντεπιστροφής αποφεύγουμε τη δημιουργία ρευμάτων μέσα στους παράλληλους κλάδους. Τοποθετούμε διόδους αντεπιστροφής σε κάθε κλάδο και διόδους παράκαμψης σε κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο ενός κλάδου.

Όλες οι συνδεσμολογίες (δίοδοι παράκαμψης ή αντεπιστροφής, γραμμές ισχύος κλπ.) πρέπει να γίνονται μέσα σε στεγανά κουτιά αυξημένης προστασίας (IP68) (σχήμα 4.10).



Σχήμα 4.10 Στεγανά κουτιά αυξημένης προστασίας.

Οι συνδέσεις πρέπει να είναι σταθερές, για την αποφυγή δημιουργίας τοπικών αντιστάσεων (πτώση τάσης, ανάπτυξη θερμότητας) και η είσοδος - έξοδος των καλωδίων, γίνεται με χρήση ειδικών στεγανών στυπιοθλιπτιών, (σχήμα 4.11).



Σχήμα 4.11 Απεικόνιση; στυπιοθλιπτιών.

Τα καλώδια θα πρέπει να είναι ειδικού τύπου (κατάλληλα για εξωτερικό περιβάλλον), εύκαμπτα και στην αλλαγή διεύθυνσης πρέπει να 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.

4.7 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών συλλεκτών

Τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συλλεκτών είναι τα ακόλουθα:

- Δεν έχουν κινούμενα μέρη και παράγουν ισχύ αθόρυβα.
- Δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον **με** αέρια ή με άλλα κατάλοιπα, αφού δεν λαμβάνει χώρα κάποια χημική αντίδραση.
- Λόγω του σπονδυλωτού τρόπου κατασκευής τους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να προσαρμοστούν σε όλες τις απαιτήσεις μεγέθους και ζήτησης ισχύος.
- Μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν παράλληλα με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνοντας την αξιοπιστία των συστημάτων.
- Είναι επεκτάσιμα ανάλογα με τις ανάγκες σε φορτίο χωρίς την απαίτηση ειδικής εγκατάστασης.
- Μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα και αξιόπιστα χωρίς την παρουσία κάποιου χειριστή.
- Επειδή δεν χρειάζονται διαρκή παρακολούθηση, έχουν πολύ μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Δεν καταναλώνουν καύσιμο.
- Λειτουργούν χωρίς προβλήματα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες.

- Το ηλιακό κύτταρο δεν αλλοιώνεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του και έχει επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής.

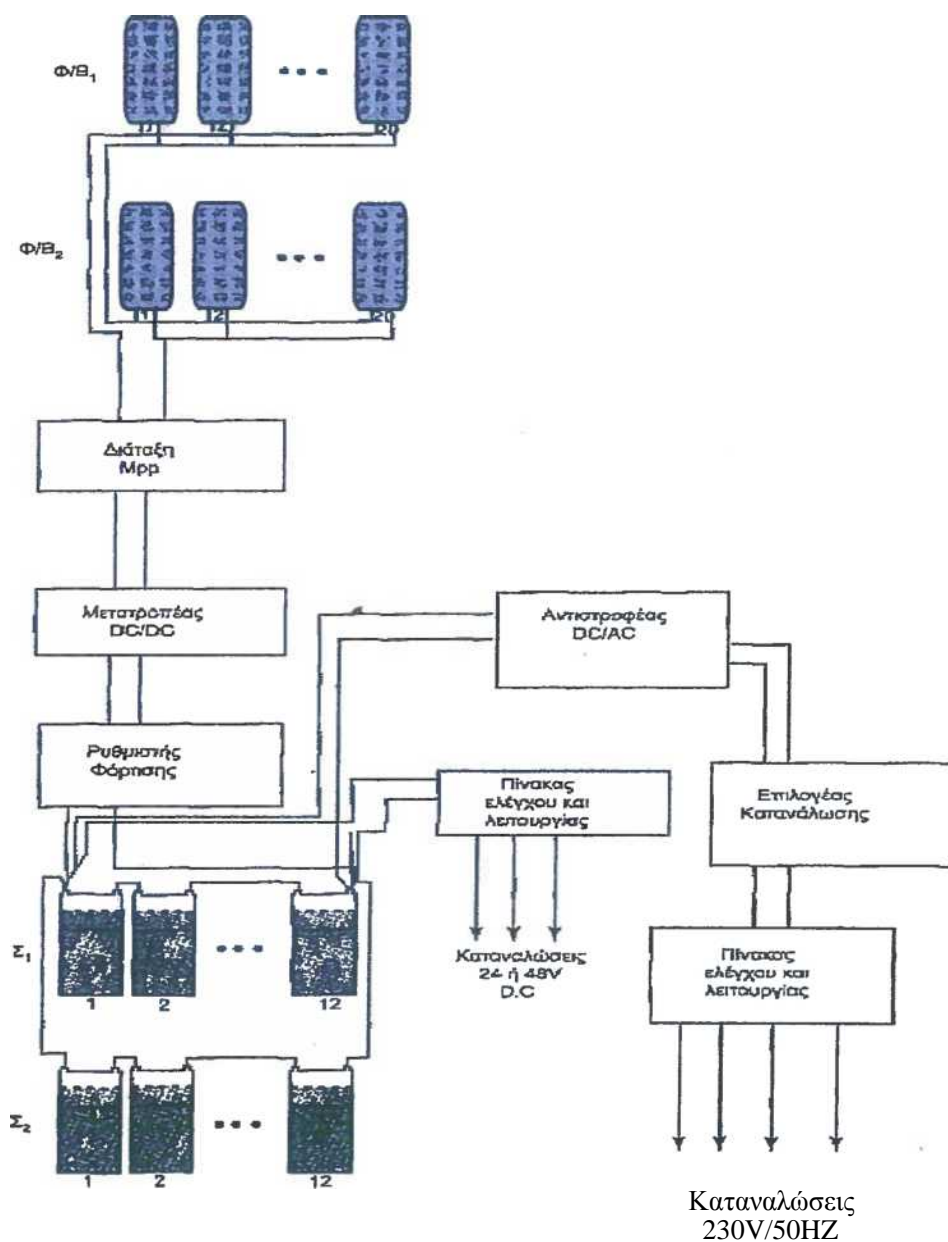
Κεφάλαιο 5^ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

5.1 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

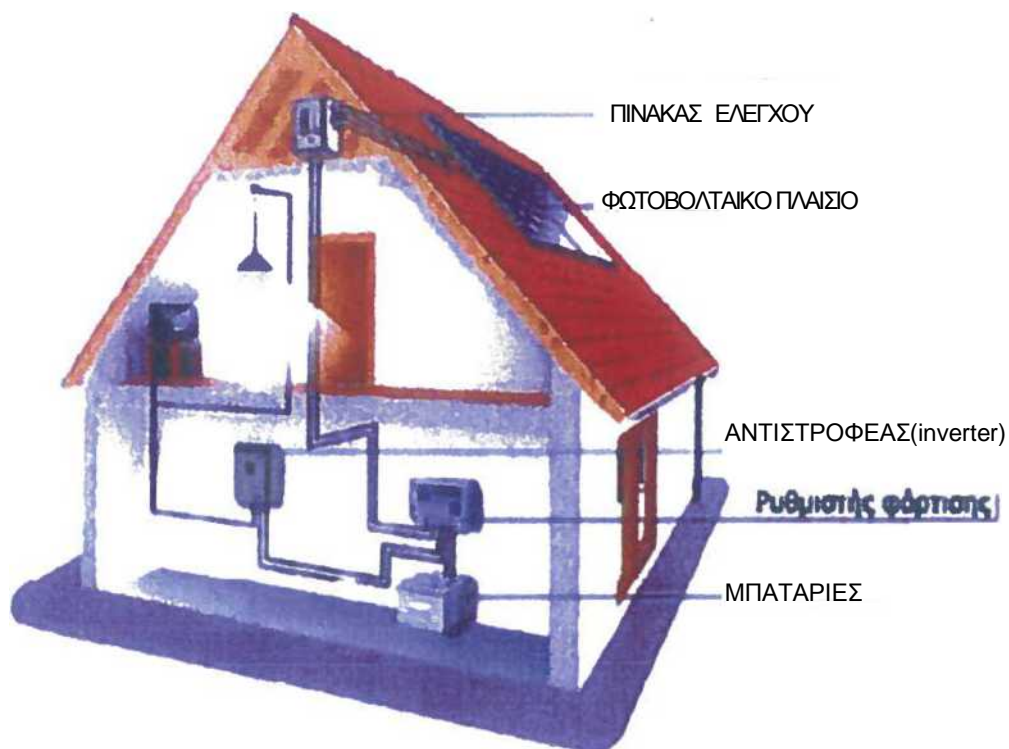
Το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα (σχήμα 5.1 και 5.2), είναι συνήθως εγκατεστημένο μόνιμα και μπορεί να καλύψει τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό εξοχικών κατοικιών, σκαφών, αγροικιών, θερμοκηπίων, τροχόσπιτων και απομακρυσμένων σταθμών διαφόρων μετρήσεων.



Σχίσμα 5.1 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα. Φ/B_1 , Φ/B_2 , ομάδες φωτοβολταϊκών πλαισίων και Σ_1 , Σ_2 , συστοιχίες συσσωρευτών βιομηχανικού τύπου.

Με σωστό υπολογισμό της αναγκαίας σε αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να καλύψει ακόμα και μόνιμες κατοικίες για απεξάρτηση από το βασικό δίκτυο ηλεκτροδότησης. Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται:

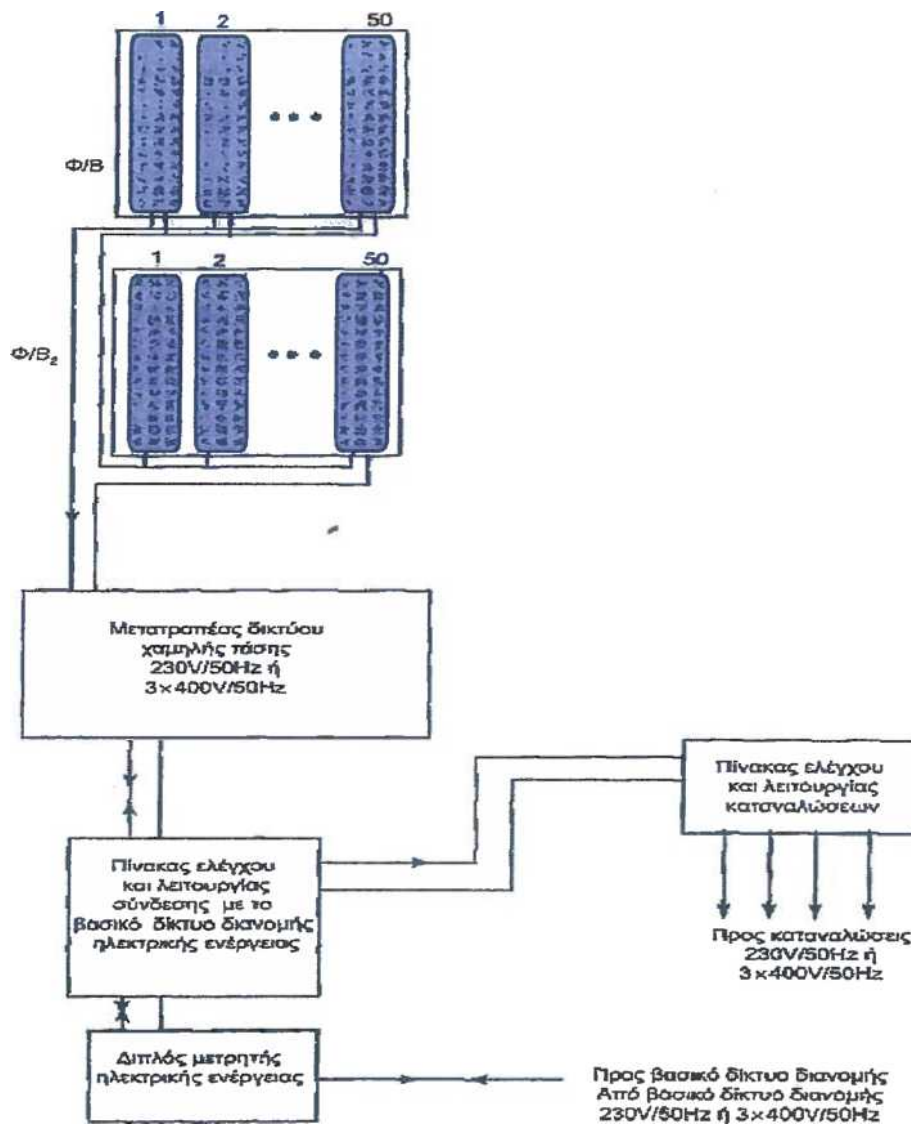
- Από τις ομάδες φωτοβολταϊκών πλαισίων για την παραγωγή της αναγκαίας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας.
- Από την διάταξη λειτουργίας MPp (προσαρμόζει τη λειτουργία γύρω από το σημείο μεγίστης ισχύος).
- Από τον μετατροπέα DC/DC (προσαρμόζει την τάση εξόδου από τις ομάδες των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην επιθυμητή τάση εισόδου του ρυθμιστή-φορτιστή).
- Από τον αυτόνομο ρυθμιστή-φορτιστή των συσσωρευτών αποθήκευσης (ελέγχει και ρυθμίζει τη διαδικασία φόρτισης και αποφόρτισης των συσσωρευτών αποθήκευσης).
- Από τον ηλεκτρονικό αντιστροφέα (inverter) που μετατρέπει τη συνεχή τάση εισόδου σε εναλλασσόμενη 230V/50Hz.
- Από τον επιλογέα κατανάλωσης (ελέγχει τη λειτουργία των καταναλώσεων και έχει τη δυνατότητα επιλογής των φορτίων σε περιπτώσεις περιορισμού της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας).
- Από τον πίνακα ελέγχου και λειτουργίας των καταναλώσεων της ηλεκτρικής εγκατάστασης (φορτία 230V/50Hz).
- Από τον πίνακα ελέγχου και λειτουργίας ορισμένων καταναλώσεων που θα λειτουργούν με συνεχή τάση 24V ή 48V.



Σχήμα 5.2 Γενική μορφή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

5.2 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (με δυνατότητα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας)

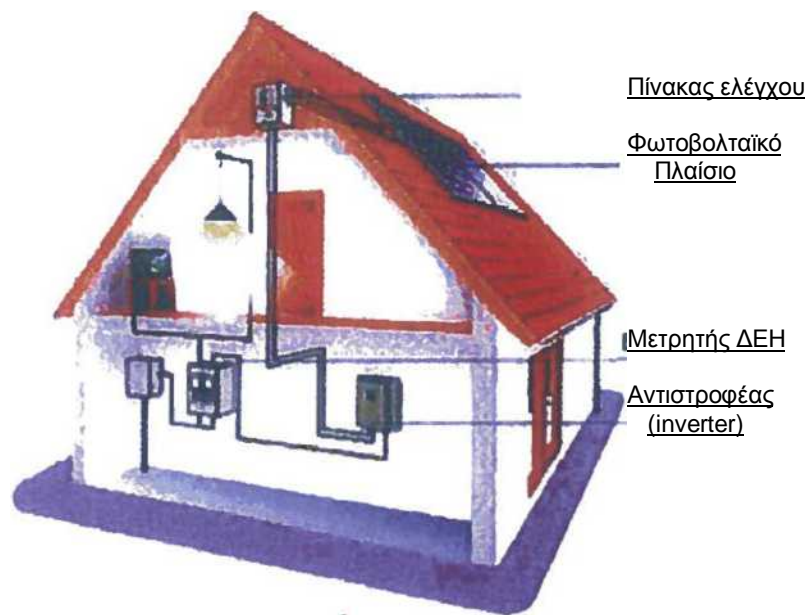
Κατασκευάζεται συνήθως για ισχύ από 10kW_p και πάνω, με σύνδεση στο βασικό δίκτυο (σχήμα 5.3). Ο ιδιοκτήτης του συστήματος που είναι αυτοπαραγωγός, μπορεί εφόσον το επιθυμεί, να καταναλώνει όσο ηλεκτρική ενέργεια χρειάζεται και να πουλάει την υπόλοιπη, έναντι προσυμφωνημένης τιμής (με κέρδος) στο βασικό δίκτυο (π.χ. τις ηλιόλουστες ημέρες ή όταν απουσιάζει). Επίσης έχει τη δυνατότητα όταν δεν παράγει ηλεκτρική ενέργεια, να καλύπτει τις ανάγκες του από το βασικό δίκτυο, με χρέωση σ' αυτόν από την εταιρεία που εκμεταλλεύεται το βασικό δίκτυο (όταν έχει συννεφιά ή κατά τη διάρκεια της νύχτας).



Σχήμα 5.3 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα με δυνατότητα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Φ/B_j , Φ/B_2 , ομάδες φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι ότι δεν απαιτούνται συσσωρευτές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται:

- Από τις ομάδες φωτοβολταϊκών πλαισίων για την παραγωγή μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας.
- Από τον μετατροπέα δικτύου, χαμηλής τάσης, μονοφασικό (230V, 50Hz) ή τριφασικό (3 · 400 V, 50Hz).
- Από τον πίνακα ελέγχου και λειτουργίας, σύνδεσης με το βασικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Από το διπλό μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Από τον πίνακα ελέγχου και λειτουργίας των καταναλώσεων.



Σχήμα 5.4 Γενική μορφή διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος με δυνατότητα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

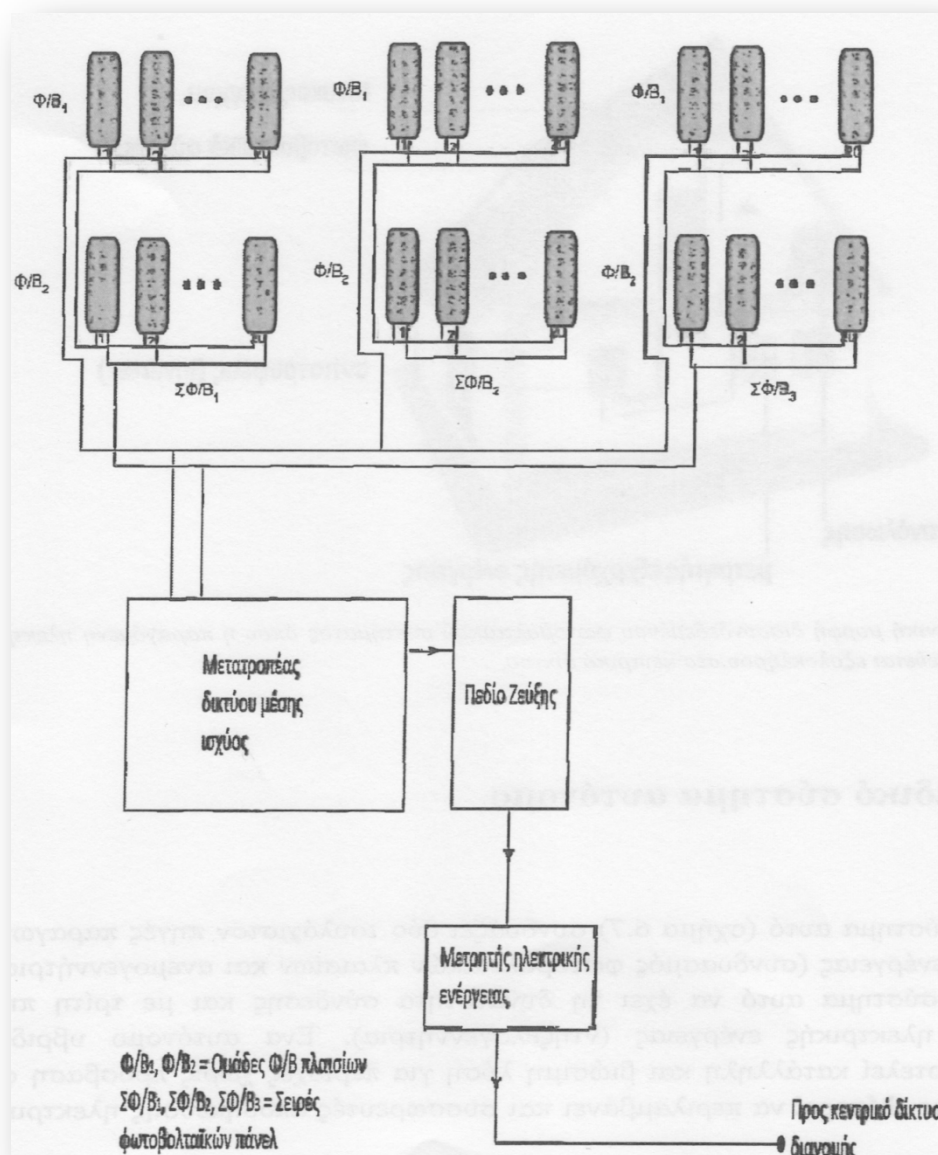
5.3 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται εξολοκλήρου στο κεντρικό δίκτυο)

Κατασκευάζεται συνήθως για ισχύ από 50kW_p και πάνω με σκοπό να διοχετεύει όλη την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο κεντρικό δίκτυο (σχήμα 5.5 και).

Ανάλογα με την ισχύ των φωτοβολταϊκών συλλεκτών ο μετατροπέας δικτύου μπορεί να είναι:

- Μικρής ισχύος χαμηλής τάσης, μονοφασικός ή τριφασικός.
- Μέσης ισχύος χαμηλής τάσης τριφασικός ($3 \cdot 400 \text{ V}$).
- Μεγάλης ισχύος μέσης τάσης τριφασικός ($3 \cdot 20 \text{ KV}$).

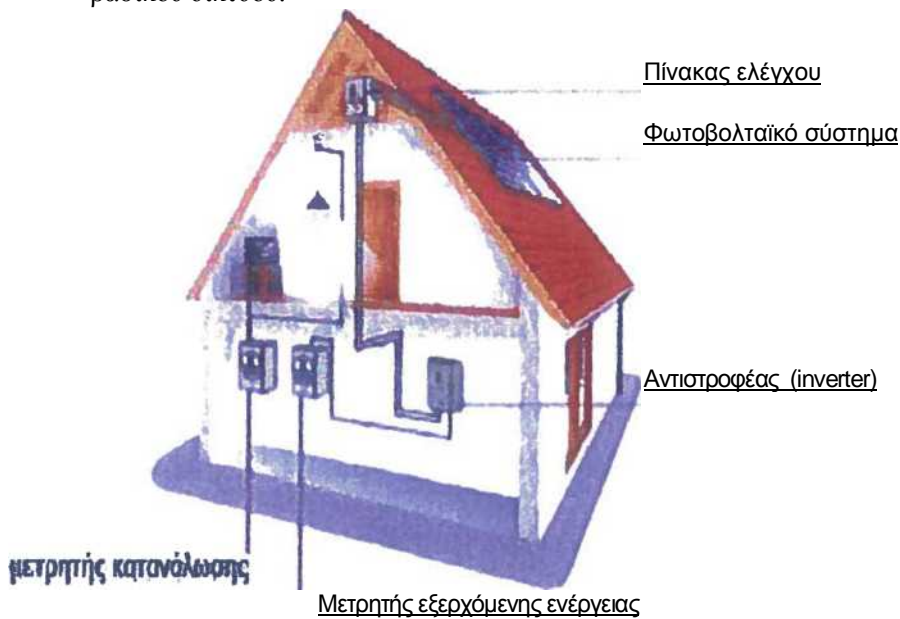
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μορφή των περισσότερων διασυνδεδεμένων φωτοβολταϊκών συστημάτων, που κατασκευάζονται από ιδιώτες, με αποκλειστικό σκοπό την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στην ΔΕΗ.



Σχήμα 5.5 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται εξολοκλήρου στο κεντρικό δίκτυο.

Ο μετατροπέας δικτύου συνδέεται με το πεδίο ζεύξης και φέρει ηλεκτρονική διάταξη, που σε περίπτωση διακοπής ρεύματος του κεντρικού δικτύου διανομής, θέτει την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αυτομάτως εκτός. Ένα τέτοιο διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται:

- Από τις ομάδες (σειρές) των φωτοβολταϊκών πάνελ για εγκαταστημένη ισχύ από 50kW_p και πάνω.
- Από τον μετατροπέα δικτύου με το πεδίο ζεύξης και τον μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Από την κεντρική παροχή σύνδεσης πεδίου ζεύξης και μετασχηματιστή κεντρικού βασικού δικτύου.



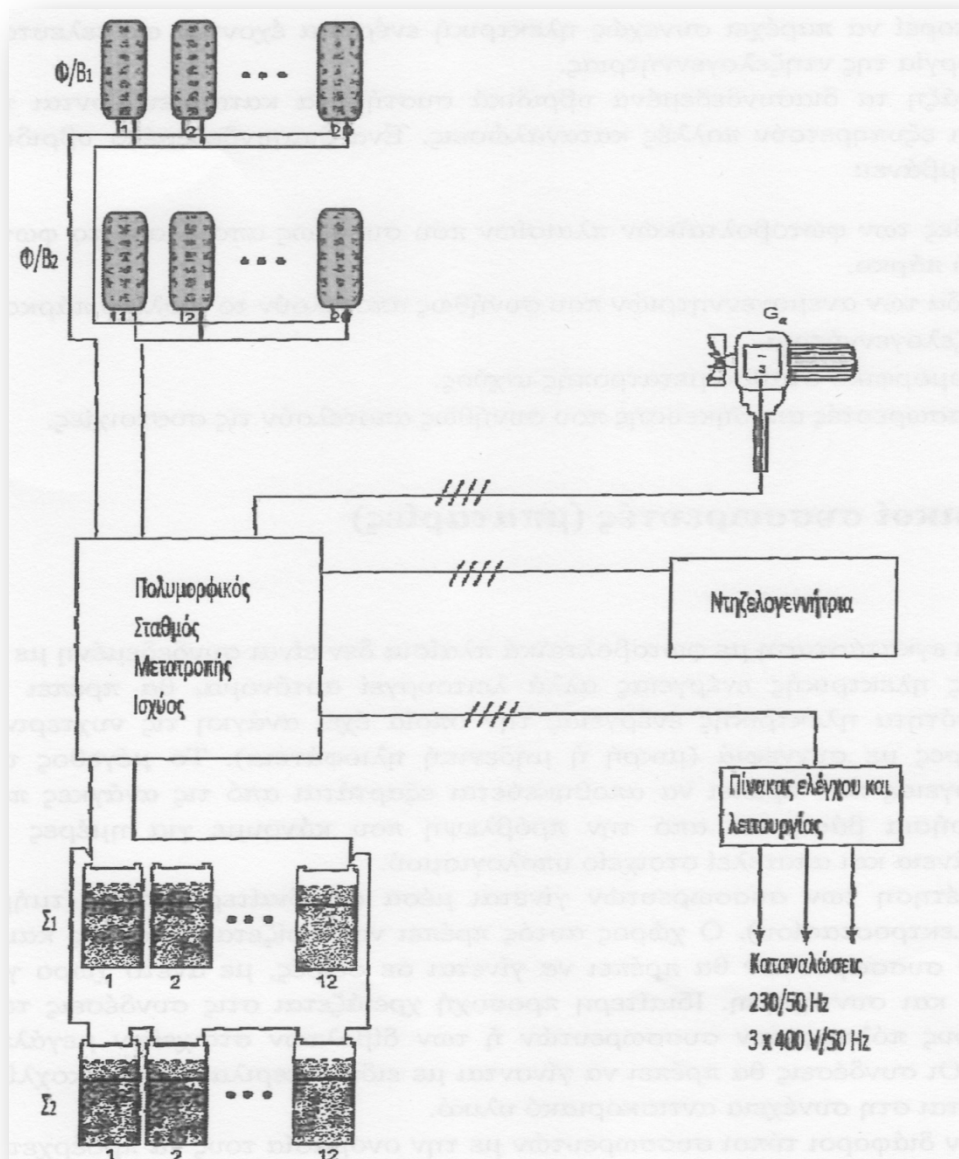
Σχήμα 5.6 Γενική μορφή διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται εξολοκλήρου στο κεντρικό δίκτυο.

5.4 Υβριδικό σύστημα αυτόνομο

Το σύστημα αυτό (σχήμα 5.7) συνδυάζει δύο τουλάχιστον πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (συνδυασμός φωτοβολταϊκών πλαϊσίων και ανεμογεννήτριας). Μπορεί το σύστημα αυτό να έχει τη δυνατότητα σύνδεσης και με τρίτη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ντηζελογεννήτρια). Ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα αποτελεί κατάλληλη και βιώσιμη λύση για περιοχές χωρίς πρόσβαση στο βασικό δίκτυο. Μπορεί να περιλαμβάνει και συσσωρευτές αποθήκευσης ηλεκτρικής

ενέργειας για αδιάλειπτη λειτουργία των εγκαταστάσεων που τροφοδοτεί. Ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει:

- Τις ομάδες των φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- Την ανεμογεννήτρια.
- Τον πολυμορφικό σταθμό μετατροπής ισχύος και αδιάλειπτης λειτουργίας.
- Τους συσσωρευτές αποθήκευσης.
- Τον πίνακα τροφοδοσίας των καταναλώσεων.



Σχήμα 5.7 Υβριδικό σύστημα αυτόνομο, Φ/B_1 , Φ/B_2 , ομάδες φωτοβολταϊκών πλαισίων, G_a ανεμογεννήτρια, Σ_1 , Σ_2 , συσσωρευτές αποθήκευσης.

5.5 Υβριδικό σύστημα διασυνδεδεμένο

Συνδυάζει δύο ή και περισσότερες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (συνδυασμός φωτοβολταϊκών πλαισίων, ανεμογεννήτριας, νηξελογεννήτριας και συσσωρευτών αποθήκευσης). Όταν ένα υβριδικό σύστημα συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο διανομής ή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι αναγκαία η νηξελογεννήτρια και οι συσσωρευτές αποθήκευσης.

Το σύστημα αυτό, αποτελεί την καλύτερη δυνατή λύση για νησιωτικές περιοχές και μπορεί να παρέχει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια έχοντας ως τελευταία λύση την λειτουργία της νηξελογεννήτριας.

Στην πράξη τα διασυνδεδεμένα υβριδικά συστήματα κατασκευάζονται για μεγάλη ισχύ και εξυπηρετούν πολλές καταναλώσεις. Ένα διασυνδεδεμένο υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει:

- Τις ομάδες των φωτοβολταϊκών πλαισίων που συνήθως αποτελούν το φωτοβολταϊκό πάρκο.
 - Την ομάδα των ανεμογεννητριών που συνήθως αποτελούν το αιολικό πάρκο.
- Την νηξελογεννήτρια.
- Τον πολυμορφικό σταθμό μετατροπής ισχύος.
 - Τους συσσωρευτές αποθήκευσης που συνήθως αποτελούν τις συστοιχίες.

5.6 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες)

Όταν μία εγκατάσταση με φωτοβολταϊκό πλαίσιο δεν είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά λειτουργεί αυτόνομα, θα πρέπει να αποθηκεύει ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας την οποία έχει ανάγκη τις νυχτερινές ώρες ή τις ημέρες με συννεφιά (μικρή ή μηδενική ηλιοφάνεια). Το μέγεθος της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποθηκεύεται εξαρτάται από τις ανάγκες που έχουμε σε ημερήσια βάση και από την πρόβλεψη που κάνουμε για ημέρες με μηδενική ηλιοφάνεια και αποτελεί στοιχείο υπολογισμού.

Η τοποθέτηση των συσσωρευτών γίνεται μέσα σε ιδιαίτερο χώρο (τμήμα αποθήκευσης ηλεκτροστασίου). Ο χώρος αυτός πρέπει να αερίζεται επαρκώς και η τοποθέτηση των συσσωρευτών θα πρέπει να γίνεται σε σειρές, με άνετο χώρο για παρακολούθηση και συντήρηση. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στις συνδέσεις των ακροδεκτών στους πόλους των συσσωρευτών ή των δίβολτων στοιχείων μεγάλης χωρητικότητας. Οι συνδέσεις θα πρέπει να γίνονται με ειδικά περιλαίμια και κοχλίες και να τοποθετείται στη συνέχεια αντισκοριακό υλικό.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσσωρευτών με την ονομασία τους να προέρχεται από τον τύπο των ηλεκτροδίων κατασκευής τους. Έτσι έχουμε τους συσσωρευτές μολύβδου (Pb,-H₂SO₄), που είναι οι πιο διαδεδομένοι στα φωτοβολταϊκά συστήματα, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που έχουν και του μικρού σχετικά κόστους.

Επίσης άλλοι τύποι συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ο νικελίου-καδμίου (Nid), νατρίου-θείου, ψευδαργύρου-βρωμίου, ψευδαργύρου-χλωρίου κ.λπ.

5.7 Συσσωρευτές μολύβδου (Pb - H₂SO₄)

Οι συσσωρευτές μολύβδου αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια από τα οποία το θετικό (κάθοδος), είναι κατασκευασμένο από διοξείδιο του μολύβδου (PbO₂) και το αρνητικό (άνοδος), από μεταλλικό μολύβδο (Pb). Τα δύο ηλεκτρόδια τοποθετούνται μέσα σε ειδικό ανθεκτικό κιβώτιο το οποίο γεμίζεται με ηλεκτρολύτη (διάλυμα H₂SO₄ 20%) που μπορεί να είναι σε μορφή ζελέ ή σε υδαρή μορφή.

Κατά τη διαδικασία της φόρτισης, δηλαδή τη σύνδεση των πόλων του συσσωρευτή με πηγή συνεχούς ρεύματος ελεγχόμενης τάσης, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική. Ενώ κατά τη διαδικασία της εκφόρτισης, δηλαδή την σύνδεση των πόλων του συσσωρευτή με ηλεκτρική κατανάλωση, η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Στο παρακάτω σχήμα 5.8 φαίνεται σε τομή ένας συσσωρευτής μολύβδου.



Σχήμα 5.8 Συσσωρευτής μολύβδου σε τομή 1) Το κέλυφος 2) Πλάκες εσωτερικά θετικές και αρνητικές από μολύβδο και οξείδιο του Μολύβδου 3) Διαχωριστικές πλάκες από συνθετικό υλικό 4) Διάλυμα θεικού οξέος σε νερό, ηλεκτρολύτης 5) Τους πόλους από μολύβδο, οι πόλοι είναι τα σημεία σύνδεσης της μπαταρίας με τα φορτία.

Κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών μολύβδου είναι:

α) **Ονομαστική τάση συσσωρευτή (U_n).** Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου συσσωρευτή μολύβδου είναι 2,25 V περίπου. Ανάλογα με τα στοιχεία που έχουμε συνδεδεμένα σε σειρά, έχουμε συσσωρευτές με ονομαστικές τάσεις 2,6,12, και 24 V.

β) **Τάση φόρτισης.** Ο συσσωρευτής μολύβδου πρέπει να φορτίζεται με ειδικό φορτιστή και με τάση που ορίζεται από τον κατασκευαστή. Η τάση φόρτισης θα πρέπει να είναι σταθερή. Ο συσσωρευτής γενικά θεωρείται φορτισμένος όταν η τάση του κάθε στοιχείου φτάσει τα 2,4 V, δηλαδή σε μία μπαταρία των έξι στοιχείων ονομαστικής χάσης U_n=12 V, η τάση στους πόλους φθάνει τα 14,4 V.

γ) **Τάση συντήρησης.** Είναι η τάση που πρέπει να εφαρμόζεται από μία πηγή συνεχούς ρεύματος, στους πόλους του συσσωρευτή, έτσι ώστε αυτός να παραμένει συνεχώς φορτισμένος.

δ) **Ρεύμα φόρτισης.** Το ρεύμα φόρτισης ορίζεται από τον κατασκευαστή και είναι αυτό με το οποίο πρέπει να φορτίζεται για να έχουμε μέγιστη διάρκεια ζωής. Το ρεύμα φόρτισης θα πρέπει να κυμαίνεται από 0,1 C μέχρι 0,2 C. Για παράδειγμα, σε ένα τυπικό συσσωρευτή μολύβδου 12 Volts και χωρητικότητα 18 Ah, το ρεύμα φόρτισης θα πρέπει να είναι $I = 0.1 \cdot 18 = 1.8A$, όπου είναι το ιδανικό ρεύμα φόρτισης για να έχουμε μέγιστη διάρκεια ζωής. Στην περίπτωση αυτή ο χρόνος φόρτισης του συσσωρευτή θα είναι $t_f = 18/1.8 = 10h$. Σε περιπτώσεις όπου το ρεύμα φόρτισης ξεπερνά το 0,2 C, τότε ο χρόνος φόρτισης είναι μικρότερος, όμως η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή μειώνεται αισθητά. Γενικά, όσο μακρύτερη είναι η περίοδος φόρτισης, τόσο υψηλότερη είναι η τελική στάθμη της χωρητικότητας και τόσο καλύτερη είναι η κατάσταση του συσσωρευτή. Οι συσσωρευτές μολύβδου δεν πρέπει να υπερφορτίζονται. Κατά την υπερφόρτιση ο υδατικός ηλεκτρολύτης εξατμίζεται και πρέπει να συμπληρωθεί με αποσταγμένο νερό. Αν ο συσσωρευτής είναι σφραγισμένος αυξάνεται η πίεση και ανοίγει η βαλβίδα ανακούφισης για να φύγουν τα αέρια.

ε) **Τάση εκφόρτισης.** Ως τάση εκφόρτισης ορίζεται η μικρότερη τιμή που μπορεί να υπάρχει στους ακροδέκτες του συσσωρευτή χωρίς αυτός να κινδυνεύει να καταστραφεί. Αν για οποιοδήποτε λόγο η τάση στους ακροδέκτες κατέβει κάτω από αυτή την τιμή (ορίζεται από τον κατασκευαστή και είναι συνήθως 2,00 V ανά στοιχείο), θα πρέπει μέσω ειδικής διάταξης (κατάλληλος αυτοματισμός) να αποσυνδεθούν τα φορτία από τον συσσωρευτή.

στ) **Ρεύμα εκφόρτισης.** Ορίζεται ως το ρεύμα εκείνο που εξαντλεί την χωρητικότητα του συσσωρευτή χωρίς αυτός να κινδυνεύει (τάση ανά στοιχείο από 2,4 σε 2 V). Το ρεύμα αυτό ισούται με το 1/20 της ονομαστικής χωρητικότητας του συσσωρευτή.

ζ) **Χρόνος ζωής συσσωρευτή.** Οι συσσωρευτές δεν πρέπει να φορτίζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα με πολύ υψηλή τάση γι' αυτούς (overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα κρίσιμο γι' αυτούς όριο (over discharging). Η διαδικασία αυτή καθορίζει το χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση έχει σαν αποτέλεσμα την ηλεκτρόλυση και την παραγωγή υδρογόνου με ταυτόχρονη έντονη ελάττωση της στάθμης του ηλεκτρολυτικού διαλύματος (απώλεια νερού). Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας (φόρτιση-εκφόρτιση).

η) **Ονομαστική και πρακτική χωρητικότητα.**

Ονομαστική χωρητικότητα είναι η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον συσσωρευτή και τη μετράμε σε αμπερώρια (Ah). Η χωρητικότητα των συσσωρευτών καθορίζεται με 0,05 C, που σημαίνει ότι για χωρητικότητα 50Ah μπορεί να εκφορτίζεται με 2,5A για χρόνο 20 ώρες.

Πρακτική χωρητικότητα είναι η ενέργεια που παίρνουμε από τον συσσωρευτή με τις συγκεκριμένες συνθήκες εργασίας. Στην πράξη οι συσσωρευτές εκφορτίζονται με πολύ μεγάλα ρεύματα, με αντίστοιχη μείωση της χωρητικότητας τους. Ένας συσσωρευτής με ονομαστική χωρητικότητα 50Ah, όταν εκφορτίζεται με 1C ($I_M = 50Ah$) μπορεί να αποδώσει μόνο το 30% της ονομαστικής του χωρητικότητας. Δηλαδή 15 Ah.

θ) **Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή.** Ένας φορτισμένος συσσωρευτής εκφορτίζεται ακόμη και αν δεν είναι συνδεδεμένος σε φορτίο (αυτοεκφόρτιση). Η αυτοεκφόρτιση οφείλεται στη συνεχή δράση του θειικού οξέος (H₂SO₄), στα ηλεκτρόδια του συσσωρευτή κατά την οποία ο μόλυβδος (Pb) και το διοξείδιο του μολύβδου (PbO₂), μετατρέπονται σε θειικό μόλυβδο (PbSO₄) με εκλυόμενα αέρια υδρογόνο (H₂) και οξυγόνο (O₂). Η αυτοεκφόρτιση αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του συσσωρευτή. Σε θερμοκρασία 5 °C, το ηλεκτρικό φορτίο ελαττώνεται κατά 2% περίπου το μήνα. Σε θερμοκρασία 15 °C, το ηλεκτρικό φορτίο ελαττώνεται κατά 4% περίπου το μήνα, ενώ σε θερμοκρασία 25 °C, το ηλεκτρικό φορτίο ελαττώνεται κατά 10% περίπου το μήνα.

ι) **Ενέργεια που αποδίδει ένας συσσωρευτής.** Θεωρητικά η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε έναν συσσωρευτή υπολογίζεται από το γινόμενο της τάσης επί την χωρητικότητά του. Η ενέργεια που μας δίνει στην πράξη ένας συσσωρευτής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_k = \beta \cdot Q \cdot U_p \cdot h_\sigma$$

όπου:

E_k = η ενέργεια που μας δίνει στην πράξη ο συσσωρευτής σε Wh.

β = το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή.

Q = η χωρητικότητά του συσσωρευτή σε Ah.

U_p = η τάση εκφόρτισης του συσσωρευτή σε V.

h_σ = ο βαθμός απόδοσης του συσσωρευτή που συνήθως λαμβάνεται 0,85.

ία) **Αναγκαία χωρητικότητα συσσωρευτή.** Όταν λέμε αναγκαία χωρητικότητα συσσωρευτή, εννοούμε τη χωρητικότητα εκείνη, που πρέπει να έχει ο συσσωρευτής ή η συστοιχία των συσσωρευτών, για να έχουμε ενέργεια ικανή να καλύψει τις ανάγκες μας, στην πιο δυσμενή περίπτωση συνεχούς νέφωσης. Σύμφωνα με τα στοιχεία της μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας (θεωρητικός και πραγματικός αριθμός ωρών ηλιοφάνειας), τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο έχουμε την μικρότερη ηλιοφάνεια, ενώ τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο, τη μεγαλύτερη. Έτσι η δυσμενέστερη περίπτωση παρουσιάζεται τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο όπου η χωρητικότητα των συσσωρευτών πρέπει να είναι τέτοια, που να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των φορτίων, για διάρκεια μίας εβδομάδας. Παράδειγμα, για ημερήσια αναγκαία φορτία που η μέση τιμή τους είναι 50 kWh για τους μήνες Δεκέμβριο ή Ιανουάριο, θα πρέπει η συστοιχία των συσσωρευτών να είναι σε θέση να μας δώσει (για μία εβδομάδα με μηδενική ηλιοφάνεια), $E_k = 50 \cdot 7 = 350 \text{ kWh}$ ή 350.000 Wh. Για να επιτύχουμε τόσο μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας αποθηκευμένη, θα πρέπει να συνδέσουμε κατάλληλα, περισσότερους από έναν συσσωρευτές.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι διαφορετικές κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται οι συσσωρευτές μολύβδου, ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις των εφαρμογών, για τις οποίες προορίζονται.

a/a	Σύστημα χρήσης	Εφαρμογές	Παρατηρήσεις
1	Εκκίνησης, φωτισμού και έναυσης (Starting, Lighting and Ignition, SLI)	Αυτοκίνητα, σκάφη και αεροσκάφη	Υψηλά ρεύματα σύντομης διάρκειας, δηλαδή αβαθείς εκφορτίσεις.
2	Διατάξεις ακτής τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας	UPS, τηλεφωνία, κ.α.	Αβαθείς εκφορτίσεις
3	Στατικής ή βιομηχανικής χρήσης	Υποβρύχια, τραίνα	Σχετικά μικρά ρεύματα εκφόρτισης, βαθιές εκφορτίσεις, μεγάλος χρόνος ζωής (πολλοί κύκλοι λειτουργίας)
4	Ηλεκτρικών οχημάτων	Οχήματα φόρτωσης, εκφόρτωσης και μεταφοράς εμπορευμάτων, ηλεκτρικά αυτοκίνητα κ.α.	Βαθείς εκφορτίσεις, μεγάλος χρόνος ζωής (πολλοί κύκλοι λειτουργίας)
5	Αποθήκευσης ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας (ΦΒ· συσσωρευτές)	Αυτόνομα ΦΒ συστήματα (Stand alone PV systems) και υβριδικά συστήματα	Ίδιας κατηγορίας όπως οι συσσωρευτές βιομηχανικής χρήσης και ηλεκτρικών οχημάτων

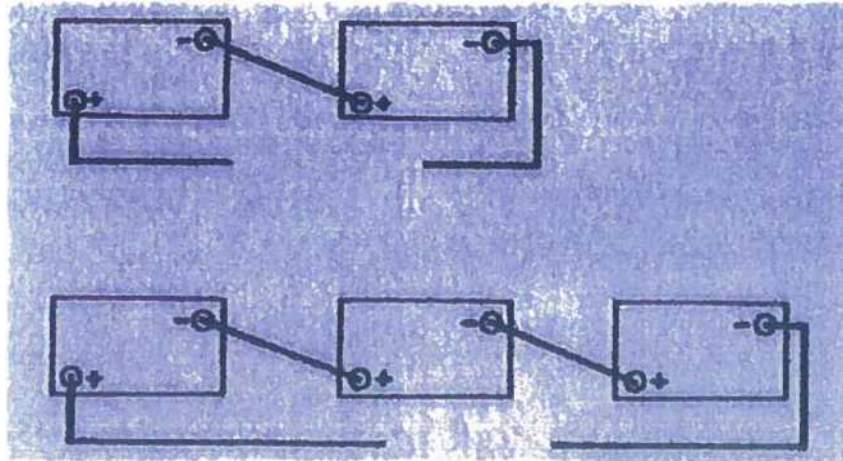
5.8 Συνδεσμολογία συσσωρευτών

Στις μικρές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, όπου η ανάγκη για αποθηκευμένη ενέργεια δεν είναι ιδιαίτερα αυξημένη, μπορούμε και με έναν συσσωρευτή, κατάλληλης ονομαστικής τάσης και χωρητικότητας να έχουμε κάλυψη.

Στις μεσαίες και ιδιαίτερα στις μεγάλες εγκαταστάσεις με φωτοβολταϊκά και στις περιπτώσεις αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων, η ανάγκη για αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγάλη. Σ' αυτές τις περιπτώσεις συνδέουμε κατάλληλα περισσότερους από έναν συσσωρευτές. Η σύνδεση γίνεται με τη βοήθεια ειδικών εξαρτημάτων (συνδετήρες) τα οποία τοποθετούμε στους πόλους των συσσωρευτών (θετικός + και αρνητικός -). Οι συσσωρευτές συνδέονται μεταξύ τους με τρεις τρόπους:

α) Σύνδεση σε σειρά.

Στην περίπτωση αυτή (σχήμα 5.9), συνδέουμε τον αρνητικό πόλο του πρώτου συσσωρευτή με τον θετικό του δεύτερου και συνεχίζουμε έτσι με όλους τους προς σύνδεση συσσωρευτές. Ο θετικός πόλος του πρώτου συσσωρευτή και ο αρνητικός του τελευταίου, μας δίνουν τους τελικούς ακροδέκτες τροφοδοσίας της συγκεκριμένης συστοιχίας των συσσωρευτών.



Σχήμα 5.9 Σύνδεση δύο ή και περισσότερων συσσωρευτών σε σειρά.

Η συνολική ονομαστική τάση της συστοιχίας είναι ίση με το άθροισμα των ονομαστικών τάσεων όλων των συσσωρευτών που συνδέονται σε σειρά. Ενώ η συνολική ονομαστική χωρητικότητα της συστοιχίας είναι ίση με τη χωρητικότητα του ενός συσσωρευτή, δηλαδή:

$$U_{ολ} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$Q_{ολ} = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$$

Η συνολική ένταση της συστοιχίας είναι παντού η ίδια και είναι ίση με την ονομαστική ένταση του ενός συσσωρευτή, δηλαδή :

$$I_{ολ} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

Για την συνδεσμολογία σε σειρά, οι συσσωρευτές θα πρέπει να έχουν τα ίδια ονομαστικά μεγέθη (τάση, ένταση, χωρητικότητα). Στην πράξη συνδέουμε τους συσσωρευτές σε σειρά, όταν θέλουμε να έχουμε μεγάλη τάση και μικρή σχετικά ένταση.

β) Παράλληλη σύνδεση

Στην περίπτωση αυτή συνδέουμε μαζί όλους τους θετικούς πόλους των συσσωρευτών και έχουμε τον θετικό πόλο της συστοιχίας και όλους τους αρνητικούς και έχουμε τον αρνητικό πόλο της συστοιχίας (σχήμα 6.10).

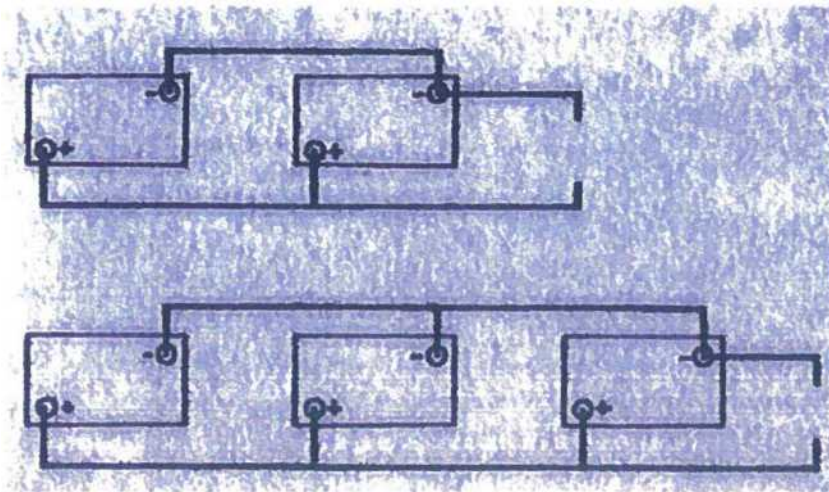
Η συνολική ονομαστική χωρητικότητα της συστοιχίας είναι ίση με το άθροισμα των επί μέρους χωρητικότητων των συσσωρευτών που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα, ενώ η συνολική ονομαστική τάση της συστοιχίας είναι ίση με την τάση του ενός συσσωρευτή, δηλαδή:

$$Q_{ολ} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

$$U_{ολ} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

Η συνολική ονομαστική ένταση της συστοιχίας είναι ίση με το άθροισμα των επί μέρους εντάσεων των συσσωρευτών που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα, δηλαδή:

$$I_{ολ} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

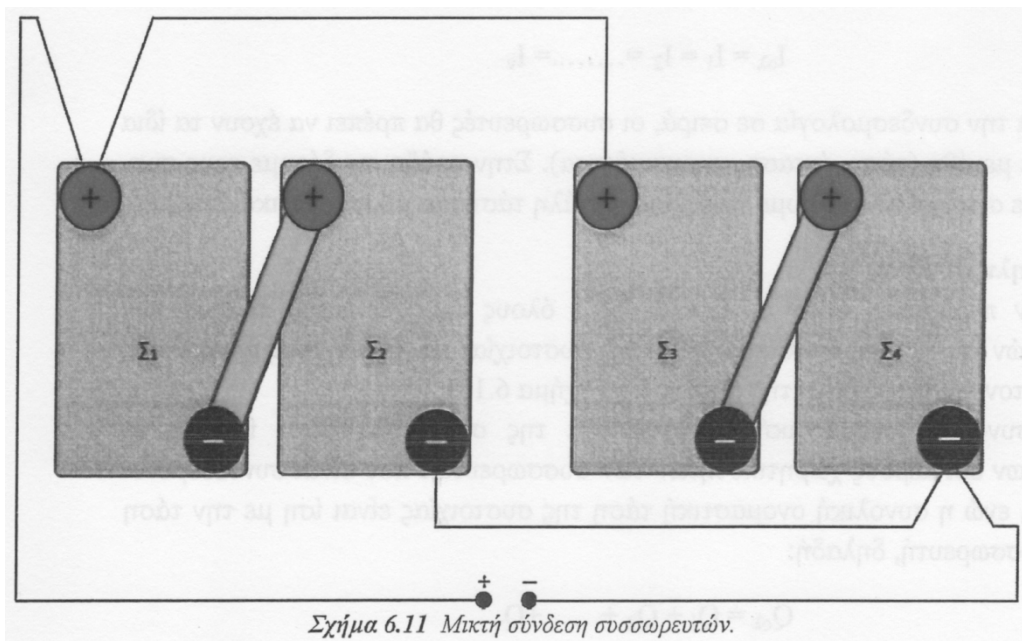


Σχήμα 5.10 Σύνδεση δύο ή και περισσότερων συσσωρευτών παράλληλα.

Για την παράλληλη σύνδεση, οι συσσωρευτές θα πρέπει να έχουν τα ίδια ονομαστικά μεγέθη (τάση, ένταση, χωρητικότητα). Στην πράξη συνδέουμε τους συσσωρευτές παράλληλα, όταν θέλουμε να έχουμε μεγάλη χωρητικότητα (μεγάλη ένταση) και μικρή σχετικά τάση.

γ) Μικτή σύνδεση

Η μικτή σύνδεση (σχήμα 5.11) χρησιμοποιείται για να έχουμε τη δυνατότητα σε μία συστοιχία να πάρουμε τελικά και μεγάλη τάση και μεγάλη χωρητικότητα (μεγάλη ένταση).



Σχήμα 6.11 Μικτή σύνδεση συσσωρευτών.

Η σύνδεση αυτή συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της σύνδεσης σε σειρά και της σύνδεσης παράλληλα. Έτσι στην περίπτωση αυτή έχουμε:

- $U_{1,2} = U_1 + U_2$ και $U_{3,4} = U_3 + U_4$
- $U_{ολ} = U_{1,2} = U_{3,4}$
- $I_{1,2} = I_1 = I_2$ και $I_{3,4} = I_3 = I_4$
- $I_{ολ} = I_{1,2} = I_{3,4}$
- $Q_{1,2} = Q_1 = Q_2$ και $Q_{3,4} = Q_3 = Q_4$
- $Q_{ολ} = Q_{1,2} = Q_{3,4}$

Στην πράξη στην μικτή σύνδεση χρησιμοποιούμε τα ίδια ονομαστικά μεγέθη (τάση, ένταση, χωρητικότητα).

5.9 Ελεγκτής φόρτισης-εκφόρτισης

Η διαχείριση της ενέργειας που παράγουν τα φωτοβολταϊκά 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» (charge controller). 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. φωτοβολταϊκής συστοιχίας, ανεμογεννήτριας, ή ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, απαιτεί το συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους, ώστε, όταν αυτοί φτάσουν στην κατάσταση μέγιστης φόρτισης, να διακόπτεται η διαδικασία. Έτσι, αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, η οποία θα είχε ως συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου, λόγω ηλεκτρόλυσης και συνακόλουθα μείωση της στάθμης του διαλύματος. Αντίστοιχα, απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή, όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση, ώστε να προληφθεί η καταστροφική για τον συσσωρευτή, κατάσταση υπερεκφόρτισης (ελεγκτής εκφόρτισης).

Γενικά ο ελεγκτής φόρτισης - εκφόρτισης, στην πιο περιορισμένη του μορφή, εποπτεύει τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ώστε να απομονώνει το σύστημα αποθήκευσης, αφενός από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, στην περίπτωση της υπερφόρτισης, και αφετέρου από το σύστημα κατανάλωσης, στην περίπτωση της υπερεκφόρτισης. Και στις δύο περιπτώσεις, η διακοπή αυτή προκαλείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει, προς τα άνω και αντίστοιχα προς τα κάτω, ορισμένα όρια τάσης (setpoints). Η διακοπή αυτή όταν έχουμε υπερφόρτιση ή υπερεκφόρτιση αντίστοιχα, επιτυγχάνεται από ένα σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, ήλεκτρο μηχανικούς διακόπτες (relays), ηλεκτρονικά ισχύος (transistors, thyristors, triacs κ.λ.π.).

5.10 Τύποι ελεγκτών φόρτισης-εκφόρτισης

Στο εμπόριο υπάρχουν πολλοί τύποι ελεγκτών - ρυθμιστών φόρτισης, από την πιο απλή 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.

- **Ρυθμιστές φόρτισης μικρής ισχύος.**

Έχουν σχεδιαστεί για μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα, με ισχύ από 10 W μέχρι και 100 W (σχήμα 6.12), 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 φωτοβολταϊκού συλλέκτη, ανάστροφη πολικότητα συλλέκτη ή συσσωρευτή, υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα στην κατανάλωση. Έχουν ενδείξεις, κατάσταση φόρτισης, επίπεδο φόρτισης συσσωρευτή, αποσύνδεσης λόγω χαμηλής τάσης συσσωρευτή, υπερφόρτιση / βραχυκύκλωμα. Οι ρυθμιστές αυτοί, είναι κατάλληλοι για μικρές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σε μικρές αγροικίες, τροχόσπιτα και εφαρμογές ελεύθερου χώρου.

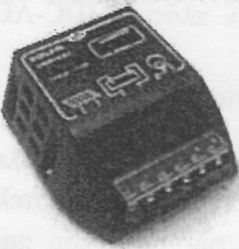
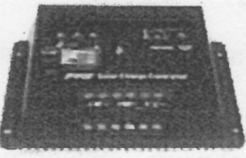

- **Ρυθμιστές φόρτισης χαμηλής ισχύος.**

Έχουν σχεδιαστεί για φωτοβολταϊκά συστήματα με ισχύ από 100 W μέχρι 1000 W (σχήμα 6.12). 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. υπερφόρτιση, βραχυκύκλωμα φορτίου κ.λπ.).

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.

- **Ρυθμιστές ενεργειακών συστημάτων.**

Προσφέρουν πλήρη έλεγχο του κύκλου φόρτισης και τροφοδοσίας φορτίου (σχήμα 6.12), φέρουν ελεγκτή πολλαπλών λειτουργιών που μπορεί να ανοίξει ή να κλείσει την ισχύ σύμφωνα με τα κριτήρια που τίθενται από το χρηστή. Παρέχουν πλήρη ασφάλεια και έχουν την δυνατότητα για κάθε ένδειξη ή μέτρηση μεγέθους.

Τύπος	Ρυθμιστές μικρής ισχύος	Ρυθμιστές χαμηλής ισχύος	Ρυθμιστές ενεργειακών συστημάτων
Εικόνα			
Τάση συστήματος	12 V ή 24 V	12 V ή 24 V	48 V
Μέγιστο ρεύμα φόρτισης	8 A	30 A	40 A
Μέγιστο ρεύμα κατανάλωσης	8 A	30 A	40 A
Τάση εκκινήσεως φόρτισης	11.8 V ή 23.6 V	11.1 V ή 22.2 V	42.8 V
Τάση διακοπής φόρτισης	14 V ή 27.2 V	13.1 V ή 25.2 V	50.4 V
Αυτοκατανάλωση	< 4 mA	< 4 mA	< 4 mA
Θερμοκρασία λειτουργίας	-20 έως +60 °C	-30 έως +70 °C	-30 έως +70 °C
Διαστάσεις (ΠxΥxΜ)	95x101x35 mm	142x96x34 mm	188x90x48 mm
Βάρος (g)	120 g	270 g	370 g

Σχήμα 5.12 Ρυθμιστές φόρτισης για μέγιστη υποστήριξη ισχύς εισόδου φωτοβολταϊκών, έως και 100 W, 720 W και 2000 W αντίστοιχα

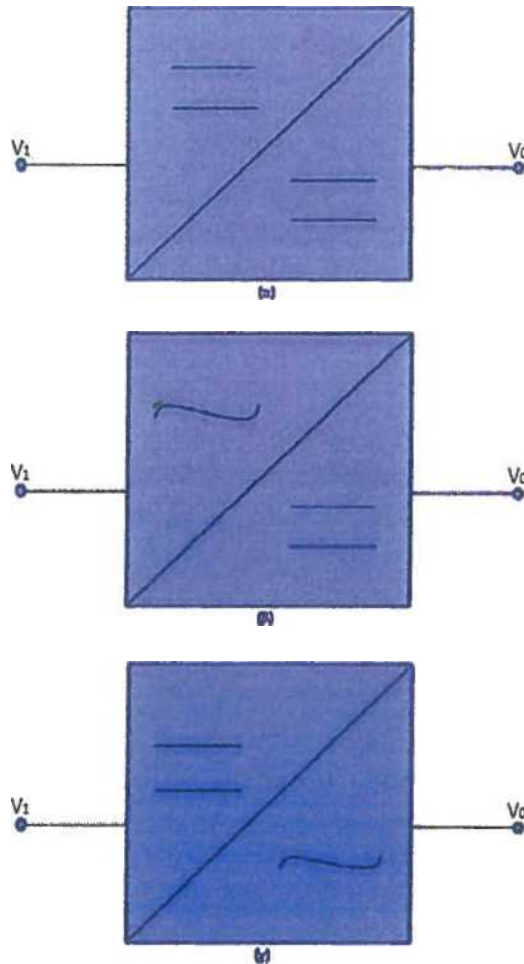
5.11 Μετατροπείς (converters)

Οι μετατροπείς (converters), είναι ηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν:

- > Συνεχές ρεύμα σε συνεχές οποιασδήποτε 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:



a) DC-DC β) AC-DC γ) DC-AC

5.12 Μετατροπείας DC - DC

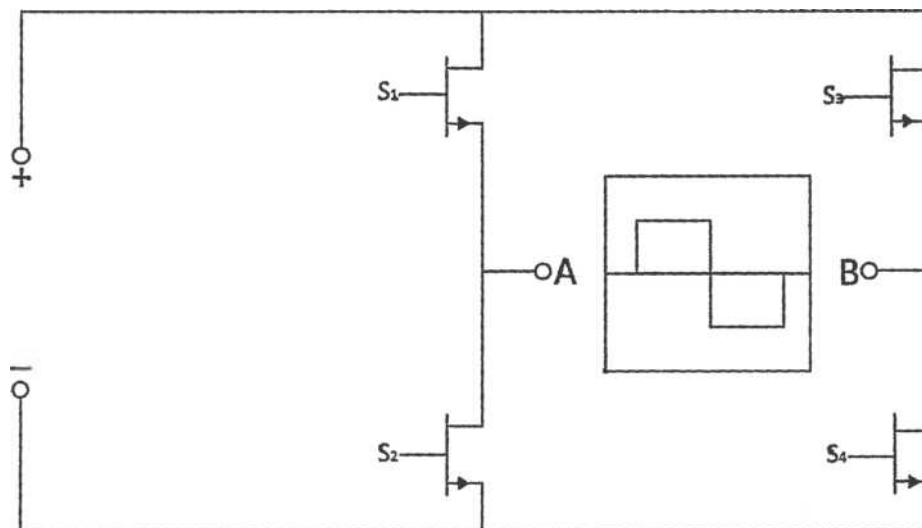
Η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης, σε συνεχή με διαφορετική τιμή (μικρότερη ή μεγαλύτερη) γίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στη μείωση των απωλειών στη γραμμή μεταφοράς, από το χώρο παραγωγής στο χώρο κατανάλωσης.

Στο χώρο των φωτοβολταϊκών 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 μετατροπείας DC-DC, προσαρμόζει την τάση των φωτοβολταϊκών πλαισίων ή της φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην τάση του συσσωρευτή, ώστε να υπάρχει πλήρη εκμετάλλευση της ενέργειας και επιπλέον 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 μεγίστης ισχύος, που καθορίζεται από τις συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Ο μικροελεγκτής ονομάζεται διάταξη παρακολούθησης Σημείου Μεγίστης Ισχύος (Maximum Power Point Tracking Mpp_T).

5.13 Μετατροπείας DC-AC (inverter)

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) σε εναλλασσόμενο (AC) γίνεται πλέον με μία καθαρά ηλεκτρονική διάταξη, τον ηλεκτρονικό μετατροπέα DC-AC (inverter). Ο μετατροπέας αυτός είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική). Η βασική αρχή λειτουργίας του περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα 5.13. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και καταναλωτές εναλλασσόμενης, όπως συμβαίνει π.χ. στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές οικιακής ή βιομηχανικής χρήσεως. Αποτελείται από ηλεκτρονικούς διακόπτες (π.χ. bipolar transistors ισχύος, MOSFETs, thyristors κ.λπ.), η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών, διαδοχικά ορθών και ανεστραμμένων (Inversion), παράγοντας έτσι ηλεκτρικό σήμα, που πλησιάζει πολύ την ημιτονική μορφή.



Σχήμα 5.13 Βασική αρχή λειτουργίας του inverter. S_1, S_2, S_3, S_4 , τα διακοπτικά στοιχεία. Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC conversion), επιτυγχάνεται με κλείσιμο — άνοιγμα των διακοπικών στοιχείων, ανά δύο, χιαστί (1, 4 και 2, 3). Όσο τα S_1, S_4 είναι αγώγιμα και τα S_2, S_3 σε αποκοπή, τα σημεία A και B έχουν πρόσημα + και - αντίστοιχα. Όταν συμβαίνει το αντίστροφο, τα A και B έχουν πρόσημα - και + αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται η εναλλασσόμενη τετραγωνική τάση (κέντρο του διαγράμματος).

Ο inverter έχει πολύ καλή απόδοση που κυμαίνεται συνήθως από 93 έως 97%, η λειτουργία τους όμως συνοδεύεται, κατά περίπτωση, από παραγωγή μεγάλου πλήθους 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 DC-AC δικτύου (μετατρέπουν την DC τάση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε AC τάση δικτύου) και τους μετατροπείς DC-AC συσσωρευτών (μετατρέπουν την DC τάση των φωτοβολταϊκών συστημάτων σε DC τάση των συσσωρευτών και την DC τάση των συσσωρευτών σε AC τάση κατανάλωσης ή δικτύου).

5.14 Μετατροπείς DC-AC δικτύου

Οι 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 φωτοβολταϊκών 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 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ μέχρι $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

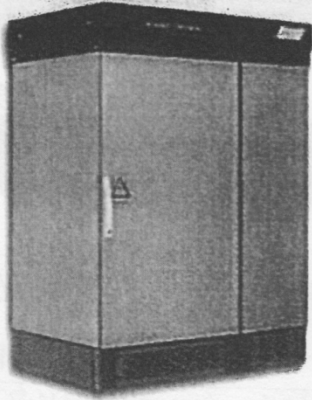

Τύπος	SB-3000TL	SB-5000TL
Εικόνα		
ΜΕΓΕΘΗ ΕΙΣΟΔΟΥ (INPUT DC)		
Μέγιστη Φ/Β ισχύς (P_{pv})	4000 W	6250 W
Μέγιστη DC ισχύς ($P_{DC, max}$)	3200 W	5300 W
Μέγιστη DC τάση ($U_{DC, max}$)	550 V	600 V
Φ/Β περιοχή λειτουργίας MPPT (U_{pv})	188V – 440 V	250 V – 480 V
Ελάχιστη DC τάση εισόδου (min. DC Voltage)	125 V	250 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου ($I_{pv, max}$)	17 A	21 A
Μέγιστος αριθμός strings (παράλληλα)	2	4
DC αποσύνδεση	Συνδετήρες καλωδίων Snap	Συνδετήρες καλωδίων Snap
Θερμικά ελεγχόμενα varistors	ναι	ναι
Έλεγχος διαρροής ρεύματος	ναι	ναι

Τύπος	SB-3000TL	SB-5000TL
ΜΕΓΕΘΗ ΕΞΟΔΟΥ (OUTPUT AC)		
Μέγιστη AC ισχύς ($P_{AC, max}$)	3000 W	5000 W
Ονομαστική AC ισχύς ($P_{AC, nom}$)	3000 W	5000 W
Περιοχή λειτουργίας της AC (τάσης U_{AC})	198 V – 260 V	211 V – 260 V
Αρμονικές	< 4 %	< 4 %
AC συχνότητα (FAC)	59.5 Hz – 60.5 Hz	59.3 Hz – 60.5 Hz
Διαφορά φάσης (cosφ)	1	1
Προστασία βραχυκυκλώματος	Ναι, έλεγχος ρεύματος	Ναι, έλεγχος ρεύματος
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Μέγιστη απόδοση	97 %	96,8 %
ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ		
Διαστάσεις (Π/Υ/Μ)	470/445/180 (mm)	470/490/225 (mm)
Βάρος	22 kg	31 kg

Πίνακας 5.14 Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέων δικτύου μικρής ισχύος, SB-4000TL και SB-5000TL (μονοφασικοί χαμηλής τάσης).

> Μετατροπείς DC-AC μέσης ισχύος χαμηλής τάσης, τριφασικοί

- Δυνατότητα σύνδεσης των συσκευών σε δίκτυο χαμηλής τάσης.
- Φέρουν ηλεκτρομαγνητικό διακόπτη ζεύξης - απόζεύξης πεδίο DC με ηλεκτρικό servo κινητήρα.
- Έχουν προστασία υπέρτασης και κρουστικών τάσεων εντάσεων πεδίο DC και AC
- Έχουν διάταξη διόρθωσης άεργου ισχύος.
- Έχουν την δυνατότητα ελέγχου της εγκατάστασης και αξιολόγησης των στοιχείων.
- Έχουν πεδίο τάσης εισαγωγής και επιλογής από 300V DC μέχρι 600V DC.
- Στην έξοδο τους μας δίνουν τριφασική τάση χαμηλής τιμής 3 400 V και συχνότητα 50 Hz.

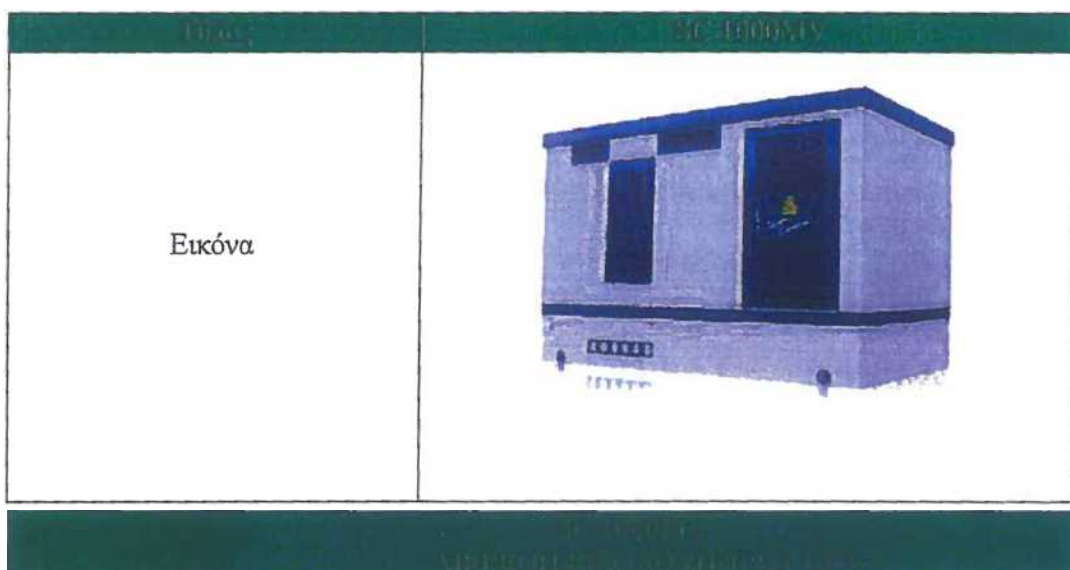
Τύπος	SMA-SC100	SC125LV
Εικόνα		
SMA Solar Technology AG		
ΜΕΓΕΘΗ ΕΙΣΟΔΟΥ (INPUT DC)		
Προτεινόμενη μέγιστη PV- ισχύς (P_{PV})	110 kW _p	145 kW _p
Περιοχή DC τάσης MPPT (U_{PV})	250 V – 600 V	300V – 600V
Μέγιστη τάση εισόδου ($U_{PV, max}$)	650 V	650 V
Μέγιστη ένταση εισόδου ($I_{PV, max}$)	430 A	448 A
Μέγιστος αριθμός strings (παράλληλα)	3	5
Προστασία DC υπέρτασης	ναι	ναι
ΜΕΓΕΘΗ ΕΞΟΔΟΥ (OUTPUT AC)		
Ονομαστική AC ισχύς ($P_{AC, nom}$)	100 kW	125 kW
Λειτουργική τάση ± 10 %	400 V	400 V
Ονομαστική AC ένταση ($I_{AC, nom}$)	145 A	180 A
AC συχνότητα (FAC)	50 Hz – 60 Hz	50 Hz – 60 Hz
Αρμονικές	< 3 %	< 3 %
Μετατόπιση φάσης (cosφ)	1	1
Προστασία AC υπέρτασης	ναι	ναι

Τύπος	SMA-SC110	SC125LV
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ		
Μέγιστη απόδοση	95 %	94 %
ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ		
Διαστάσεις (Πλάτος/Υψος/Βάθος)	1800/2000/850 (mm)	2000/2120/850 (mm)
Βάρος	1160 kg	1460kg

Πίνακας 5.15 Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέων δικτύου μέσης ισχύος, SMA-SC100 και SC125LV (τριφασικοί χαμηλής τάσης).

> 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.



SC 1000MV ΜΕΓΕΘΗ ΕΙΣΟΔΟΥ (INPUT DC)	
Προτεινόμενη μέγιστη PV-ισχύς (P_{PV})	1160 kWp
Περιοχή DC τάσης MPPT (U_{PV})	450 V – 820 V
Μέγιστη τάση εισόδου ($U_{PV, max}$)	880 V
Μέγιστη ένταση εισόδου ($I_{PV, max}$)	2364 A
DC κυματισμός τάσης (U_{pp})	< 3 %
Μέγιστος αριθμός strings (παράλληλα)	4
Προστασία DC υπέρτασης	ναι
ΜΕΓΕΘΗ ΕΞΟΔΟΥ (OUTPUT AC)	
Ονομαστική AC ισχύς ($P_{AC, nom}$)	1000 kW
Λειτουργική τάση ± 10 %	3 x 20 kV
Ονομαστική AC ένταση ($I_{AC, nom}$)	28,8 A
Αρμονικές	< 3 %
Μετατόπιση φάσης (cosφ)	1
Προστασία AC υπέρτασης	ναι
ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	
Μέγιστη απόδοση	97,3 %
ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
Διαστάσεις (Πλάτος/Υψος/Βάθος)	5400/3620/3000 (mm)
Βάρος	35 ton
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΟΗΚΕΣ	
Θερμοκρασία	-20 °C έως +40 °C
Υγρασία	0 έως 100 %

Κεφάλαιο 6^ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

6.1 Μελέτη φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Για να προχωρήσουμε στους υπολογισμούς (μελέτη) μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, θα πρέπει να γνωρίζουμε:

- α) Το μέγεθος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης (μικρή, μεσαία, μεγάλη) β) Τον προορισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (οικιακή χρήση, βιομηχανική χρήση, παραγωγή για τροφοδότηση οικισμού, παραγωγή για διοχέτευση στο κεντρικό δίκτυο διανομής κ.λπ.).
- γ) Πότε θα λειτουργεί η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση (χειμερινή περίοδο ή καλοκαιρινή περίοδο ή όλο το χρόνο).
- δ) Αν θα χρησιμοποιηθεί ή όχι βοηθητική πηγή ενέργειας (Ντηζελογεννήτρια).
- ε) Αν θα έχουμε υβριδικό σύστημα παραγωγής (φωτοβολταϊκά πλαίσια και ανεμογεννήτρια κ.λπ.).
- στ) Αν θα γίνεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας (χρήση συσσωρευτών).
- ζ) Ποια θα είναι η μέγιστη ισχύς ζήτησης, η) Ποιο θα είναι το είδος του φορτίου (φωτισμός ή κίνηση) . θ) Το χρόνο λειτουργίας του φορτίου (ημέρα ή νύχτα ή όλο το 24ωρο). ι) Αν η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση θα είναι ή όχι συνδεδεμένη με το κεντρικό δίκτυο διανομής.
- ια) Που θα τοποθετηθεί η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση και ποιο θα είναι το κόστος γης.
- ιβ) Τι είδους βάσεις θα χρησιμοποιηθούν (σταθερές με ετήσια βέλτιστη κλίση, σταθερές με μηνιαία βέλτιστη κλίση, περιστρεφόμενες με χειροκίνητη κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, περιστρεφόμενες με αυτόματη παρακολούθηση της πορείας του ήλιου για συνεχή κάθετη πρόσπτωση), ιγ) Το είδος των φωτοβολταϊκών συλλεκτών που θα χρησιμοποιήσουμε (μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά, λεπτού υμένα).
- ιδ) Το είδος των ηλεκτρονικών διατάξεων και των συσκευών που θα χρησιμοποιήσουμε (στοιχεία από κατασκευαστή) ιε) Τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής.

Μια ολοκληρωμένη τεχνικό-οικονομική μελέτη για εφαρμογή φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις ή σε υπαίθριους χώρους, με βάση και το ισχύον νομοθετικό και επενδυτικό πλαίσιο, περιλαμβάνει:

- Τον υπολογισμό της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στη θέση της εγκατάστασης με βάση την ετήσια ή την μηνιαία βέλτιστη κλίση για σταθερές βάσεις ή τους αντίστοιχους υπολογισμούς για τις περιπτώσεις περιστρεφόμενων βάσεων.

- Τους τρόπους τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών στον οικοπεδικό χώρο ή στα κτίρια.
- Τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, σε ετήσια βάση, ανά KW εγκαταστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών για κάθε μία από τις περιπτώσεις του τρόπου τοποθέτησης των συλλεκτών στον οικοπεδικό χώρο ή στα κτίρια.
- Τα ηλεκτρολογικά σχέδια της εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών καθώς και τις προδιαγραφές των υλικών και των συσκευών που θα χρησιμοποιηθούν.
- Τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων.
- Την εξέταση των συνθηκών που υπάρχουν στην περιοχή για την δυνατότητα σύνδεσης με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο (χαμηλής ή μέσης τάσης).
- Την οικονομική αξιολόγηση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σύμφωνα με το νομικό πλαίσιο που ισχύει.
- Την διαδικασία για την ένταξη του έργου στον αναπτυξιακό νόμο.
- Την προετοιμασία των φακέλων για την αδειοδότηση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

6.2 Εκτίμηση του μεγέθους των ενεργειακών αναγκών

Αν είναι γνωστός ο προορισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε κατά προσέγγιση να εκτιμήσουμε τις ενεργειακές απαιτήσεις των καταναλωτών.

Όταν η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αφορά έναν καταναλωτή (όπως η τροφοδότηση μιας οικίας για τετραμελή οικογένεια με μέση συμπεριφορά) θα έχουμε τις ενεργειακές ανάγκες που προκύπτουν από τον παρακάτω πίνακα 6.1.

Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας για τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο είναι 5 74000Wh ή 574KWh ανά μήνα, ενώ το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας για τους υπόλοιπους μήνες είναι 264000Wh ή 264 KWh ανά μήνα.

Πάντως, για λόγους απόδοσης και οικονομίας δεν συνιστάται η χρήση φωτοβολταϊκών για την κάλυψη ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη ηλεκτρική κατανάλωση, όπως θερμοσίφωνα, ηλεκτρικό καλοριφέρ, ηλεκτρική κουζίνα, κλιματιστικό κ.λπ. Για τις χρήσεις αυτές υπάρχουν οικονομικότερες λύσεις που δεν στηρίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια, όπως ηλιακός θερμοσίφοντας, κουζίνα υγραερίου, ενεργειακό τζάκι κ.λπ.

α/α	Όνομασία ηλεκτρικής συσκευής	Τυπική ισχύς (W)	Χρόνοι λειτουργίας σε ώρες ανά μήνα	Μηνιαία κατανάλωση (Wh)	Παρατηρήσεις
1	Ψυγείο	300	200	60000	
2	Καταψύκτης	300	200	60000	
3	Ανεμιστήρας	100	100	10000	Μόνο για τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο και Αύγουστο
4	Λαμπήρες υψηλής απόδοσης	100	300	30000	
5	Λαμπτήρες φθορισμού	50	300	15000	
6	Πλυντήριο ρούχων	2500	10	25000	
7	Πλυντήριο πιάτων	1000	20	20000	
8	Ηλεκτρικό σίδερο	1000	10	10000	
9	Στεγνωτήρας μαλλιών	1000	2	2000	
10	Τηλεόραση	100	200	20000	
11	Υπολογιστής	100	50	5000	
12	Κλιματιστικό	3000	100	300000	Μόνο για τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο και Αύγουστο
13	Τοστιέρα	1000	5	5000	
14	Στερεοφωνικό	100	60	6000	
15	Φούρνος μικροκυμάτων	1500	4	6000	
	Σύνολο	12150			

Πίνακας 6.1 Ενεργειακές ανάγκες κατοικίας τεσσάρων ατόμων με μέση συμπεριφορά.

Από τον παραπάνω πίνακα 6.1 προκύπτει ότι η μέγιστη εγκαταστημένη ισχύς είναι $P_m = 12150 \text{ W}$ ή $12,150 \text{ KW}$. Επειδή οι καταναλωτές δεν λειτουργούν ταυτόχρονα, υπολογίζουμε την μέγιστη απαιτούμενη ισχύ παίρνοντας υπόψη τον συντελεστή ετεροχρονισμού, που για την περίπτωση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων για οικίες λαμβάνεται περίπου στην τιμή $\sigma_{\text{ετ}} = 0,40$. Επομένως:

$$P_{\text{ma}} = P_m \cdot \sigma_{\text{ετ}} = 0,40 P_m \Rightarrow$$

$$P_{\text{ma}} = 0,40 \cdot 12,15 = 4,86 \text{ KW}$$

Η μέγιστη απαιτούμενη ισχύς που προκύπτει από την παραπάνω σχέση, θα πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερη από την ισχύ της κάθε συσκευής του πίνακα 7.1 ($4860 \text{ W} > 3000 \text{ W}$).

6.3 Εκτίμηση του συνολικού βαθμού απόδοσης του Φ/Β συστήματος

Η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων θεωρητικά υπολογίζεται από το πηλίκο της μηνιαίας ενεργειακής απαίτησης προς την ολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία, σε KWh/m², που προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Επομένως θεωρητικά έχουμε:

$$F_a = \frac{E_a}{H_m k}$$

Όπου, F_a = η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε m².

E_a = ενεργειακή απαίτηση σε KWh.

$H_m k$ = μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε KWh/m².

Η παραπάνω σχέση μας δίνει την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, θεωρώντας ότι ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι ίσος με την μονάδα. Στην πράξη ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και η τιμή του είναι πολύ μικρότερη από τη μονάδα. Έτσι θα αναφερθούμε στον βαθμό απόδοσης φωτοβολταϊκού συλλέκτη και στον βαθμό απόδοσης των ηλεκτρονικών διατάξεων σχετικά με τους παράγοντες επιρροής τους.

- **Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού συλλέκτη**

Ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού συλλέκτη εξαρτάται από το υλικό και τον τρόπο κατασκευής και δίνεται από τον κατασκευαστή. Έτσι για φωτοβολταϊκά πλαίσια πυριτίου έχουμε:

- Άμορφο $\eta_{\pi\lambda} = 5 - 7 \%$
- Πολυκρυσταλλικά $\eta_{\pi\lambda} = 10 - 14\%$
- Μονοκρυσταλλικά $\eta_{\pi\lambda} = 14 - 17 \%$

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και εξαρτάται από τον συντελεστή σ_{θ} (συντελεστής θερμοκρασίας περιβάλλοντος), για τον οποίο έχουμε τις τιμές:

- $\sigma_{\theta} \sim 0,80$ για τους καλοκαιρινούς μήνες.
- $\sigma_{\theta} \sim 0,90$ για τους χειμερινούς μήνες.
- $\sigma_{\theta} \sim 0,85$ μέση ετήσια τιμή.

Η απόδοση όμως των φωτοβολταϊκών πλαισίων επηρεάζεται και από την ρύπανση των συλλεκτών και εξαρτάται από τον συντελεστή σ_p (συντελεστής ρύπανσης), για τον οποίο έχουμε τις τιμές:

- $\sigma_p \sim 1$ για πολύ μικρή έως μηδενική ρύπανση.
- $\sigma_p \sim 0,90$ για μέτρια ρύπανση.
- $\sigma_p \sim 0,80$ για υψηλή ρύπανση.

Επειδή σε περιοχές με υψηλούς δείκτες ρύπανσης έχουμε μεγάλη μείωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, περίπου 20%, θα πρέπει να γίνεται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας τους με απορρυπαντικό.

Επομένως: $\eta_\sigma = \eta_{\pi\lambda} \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_p$

- **Βαθμός απόδοσης των ηλεκτρονικών διατάξεων και των εγκαταστάσεων τροφοδοσίας και ελέγχου ενός φωτοβολταϊκού συστήματος**

Ο βαθμός αυτός προκύπτει από το γινόμενο των βαθμών απόδοσης των επί μέρους διατάξεων που έχουν σχέση με την παρακολούθηση, φόρτιση - εκφόρτιση, μετατροπή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως:

$$n_s = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \dots n_v$$

Στην πράξη, συνήθως, έχουμε:

- Βαθμός απόδοσης μετατροπέων περίπου 0,90.
- Βαθμός απόδοσης συσσωρευτών περίπου 0,85.
- Βαθμός απόδοσης διατάξεων παρακολούθησης και ελέγχου περίπου 0,98.
 - Βαθμός απόδοσης εγκαταστάσεων (καλωδιώσεις κ.λπ.) περίπου 0,97.

Στους υπολογισμούς λαμβάνουμε μία τιμή που ανάλογα με το είδος και το πλήθος των ηλεκτρονικών διατάξεων και των συσκευών κυμαίνεται από $n_\delta = 0,65$ μέχρι $n_\delta = 0,80$.

- **Υπολογισμός του συνολικού βαθμού απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος.**

Ο συνολικός βαθμός του φωτοβολταϊκού συστήματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$n_{\sigma\lambda} = n_\sigma \cdot n_\delta$$

Η σχέση αυτή μας δίνει την αναγκαία επιφάνεια των φωτοβολταϊκών συλλεκτών ή πλαισίων που είναι:

$$F_\sigma = \frac{F_\alpha}{n_{\sigma\lambda}} = \frac{E_\alpha}{H_{mk} \cdot n_\sigma \cdot n_\delta}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΦΑΡΟΙ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ΦΑΡΟΙ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πυρσός, φρυκτωρία, φανός, φάρος. Από τότε που ο άνθρωπος άνοιξε πανιά στη θάλασσα, αναζητούσε σημεία για να καθορίσει τη ρότα των πλοίων του. Η ανάγκη αυτή τον οδήγησε στο να ανάβει φωτιές στα επικίνδυνα ακρωτήρια και στο χτίσιμο των πύργων των φάρων.



Εικόνα 1. Φάρος στο Μεγάλο Έμβολο, Αγγελοχώρι.



Εικόνα 2. Φαροφύλακες με τις χαρακτηριστικές στολές και πλατύγυρα καπέλα μπροστά στο Φάρο Ζύρα Υδρας.

Οι φάροι αποτελούν εξέχουσα μορφή της ευρωπαϊκής κουλτούρας, ένα κομμάτι πολιτιστικής κληρονομιάς που ταυτίζεται ιστορικά με την εξέλιξη της ναυσιπλοΐας, της οικονομίας και των κοινωνικών επιτευγμάτων του χώρου αυτού. Πολλές διαχρονικές αξίες «φωτίζονται» από το φως του φάρου: μύθος, ιστορία, φυσικό κάλλος, λιτή αρχιτεκτονική, ποίηση, μουσική, εικαστικές τέχνες.

7.2 Σκοπός

Σκοπός της εργασίας είναι πρωταρχικά η αναζήτηση στοιχείων που αποκαλύπτουν την παθολογία των φάρων και την μεθοδολογία αποκατάστασής τους με απώτερο σκοπό μέσω της αναζήτησης εναλλακτικών οπτικών γωνιών, να αναδειχθεί η μοναδικότητα των φάρων ως αρχιτεκτονικών κατασκευών και η άμεση σχέση τους με το περιβάλλον.

Οι ενότητες στις οποίες χωρίζεται η παρούσα εργασία πραγματεύονται το φάρο ως ορόσημο ιστορικής, λειτουργικής και τεχνολογικής αξίας και ως μνημείο της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς. Ουσιαστικά πραγματοποιείται μια αναδρομή στην εξελικτική πορεία του φάρου, από την απαρχή της λειτουργίας του ως πύργου ανοικτής φλόγας, ως τα τεχνολογικά επιτεύγματα του 18^{ου} αιώνα και την καθιέρωση της σημερινής μορφής του.



Εικόνα 3. Φάρος Φάναντ Χεντ, Ιρλανδία (1817), κυκλική κάτοψη, σε επαφή-γεινίαση με άλλα βοηθητικά κτίσματα.

7.3 Ορισμοί

Φάρος (lighthouse) ονομάζεται ειδικής και τυποποιημένης κατασκευής κτίσμα που οικοδομείται σε διάφορα σημεία των ηπειρωτικών ή νησιωτικών ακτών ή και επί βραχονησίδων στο επάνω μέρος του οποίου φέρεται ειδικός μηχανισμός που φωτοβολεί, (εκπέμπει), συνήθως περιοδικό φως, χαρακτηριζόμενο εκ του σκοπού του ως ιδιαίτερο βοηθητικό μέσο στην ασφαλή ναυσιπλοΐα. Με το όνομα Φάρος χαρακτηρίζεται τόσο το κτίσμα όσο και η μηχανή φωτοβολίας που είναι εγκατεστημένη σε αυτό.

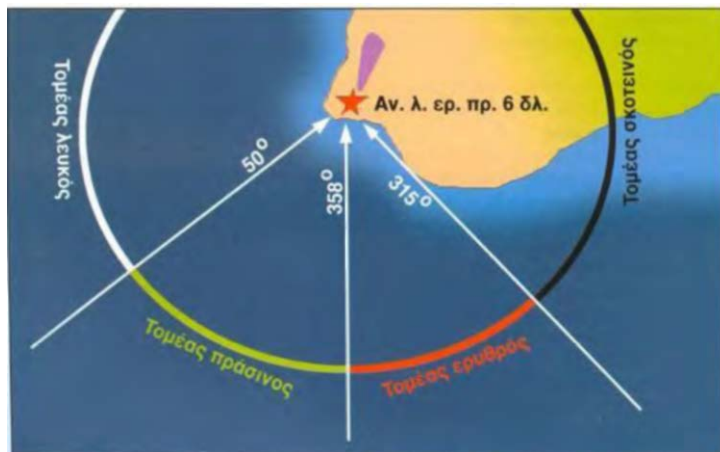
Οι φάροι εκπέμπουν ισχυρό φως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Με τη βοήθειά τους κάθε ναυτιλλόμενος μπορεί να αναγνωρίσει τη θέση του και να κατευθυνθεί με ασφάλεια στον προορισμό του. Οι φανοί που είναι τοποθετημένοι πάνω σε αγκυροβολημένες σημαδούρες ονομάζονται **φωτοσημαντήρες**. Κάθε φάρος εκπέμπει το δικό του φωτισμό, ο οποίος τον χαρακτηρίζει και αποτελεί την "ταυτότητά" του. Είναι, λοιπόν, απαραίτητο για κάθε ιστιοπλόο να είναι σε θέση να αναγνωρίσει κάθε φάρο που θα συναντήσει στο ταξίδι του.

Ας σημειωθεί, επίσης, ότι στην ίδια περιοχή ενός ναυτικού χάρτη δεν θα βρούμε ποτέ δύο ή περισσότερους φάρους που να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Έτσι αποφεύγεται η σύγχυση και η λανθασμένη αναγνώριση. **Περίοδος** ενός φάρου είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο αναπτύσσεται πλήρως το φωτεινό χαρακτηριστικό του φάρου. Ένας φάρος ενδέχεται να έχει δύο ή και περισσότερα χρώματα φωτός, τα οποία φωτίζουν ορισμένους τομείς που απεικονίζονται επακριβώς στο ναυτικό χάρτη, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.

Σημαντικότεροι Φάροι στην αρχαιότητα ήταν ο Φάρος της Αλεξάνδρειας και ο Κολοσσός της Ρόδου, ενώ σήμερα αναμφίβολα θεωρείται το Άγαλμα της Ελευθερίας στη Νέα Υόρκη στις ΗΠΑ, έστω κι αν ουσιαστικά δεν φωτοβολεί. Στην Ελλάδα σε κάποιες πόλεις οι υφιστάμενοι φάροι αποτελούν τα σύμβολά τους όπως ο Φάρος της Αλεξανδρούπολης για την Αλεξανδρούπολη, ο Φάρος της Κρανάης για το Γύθειο, ο Φάρος της Πάτρας για την Πάτρα κ.λπ.

Ο **φάρος** είναι «η κατασκευή με χαρακτηριστικό πύργο, εγκατεστημένη στην ακτή ή σε αβαθή νερά, στην κορυφή της οποίας υπάρχει φωτιστική συσκευή που στέλνει φωτεινές αναλαμπές μέσω συστήματος λαμπτήρων, φακών, και κατόπτρων προς βοήθεια των ναυτιλλομένων. Αναγνωρίζεται κατά την ημέρα από τα χρώματα της κατασκευής του, ενώ τη νύχτα από το χρώμα του φωτός και τον αριθμό των αναλαμπών σε συνάρτηση με το χρόνο που διαρκούν και το ενδιάμεσο νεκρό διάστημα».

Το Αγγλικό λεξικό ορίζει ότι ο **φάρος** είναι «ένας πύργος ή άλλη δομή που περιέχει φως αναγνωριστικών σημάτων για να προειδοποιήσει ή να καθοδηγήσει τα σκάφη εν πλω». Σύμφωνα με το IALA «ένας φάρος έχει **ιστορικό ενδιαφέρον και σημασία** όταν ικανοποιεί τουλάχιστον τρία από τα ακόλουθα κριτήρια: ηλικία, κατασκευή και τεχνολογικά επιτεύγματα σε σχέση με την τοποθεσία και την ημερομηνία κατασκευής, την αρχιτεκτονική μόρφωση, την σημασία σε εθνικό και τοπικό επίπεδο αλλά και την αρχαιολογική σημασία.



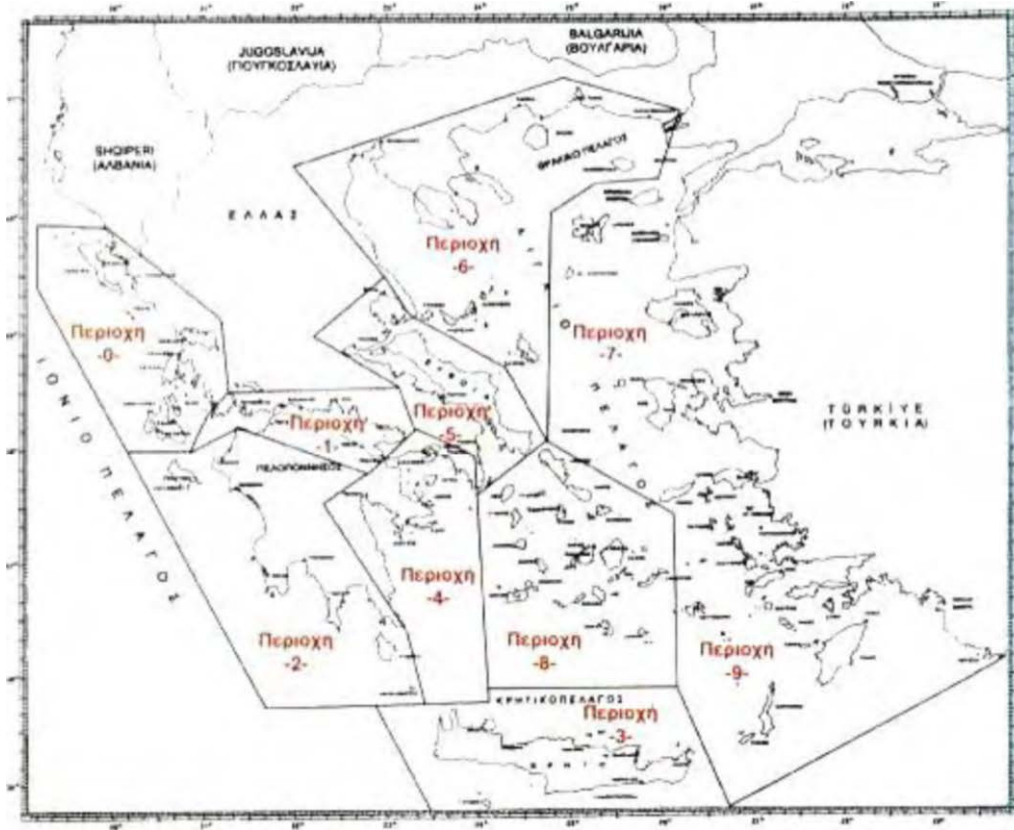
Εικόνα 4. Ναυτικός χάρτης

I.



Εικόνα 5 . Σχηματική περιγραφή φάρου.

ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΤΟΥ ΦΑΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ



Εικόνα 6. Διάρθρωση φαρικού δικτύου της Ελλάδας σε περιοχές.



Εικόνα 7. Φάρος της Αλεξάνδρειας-τρισδιάστατη απεικόνιση.

7.4 ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΦΑΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

7.4.1 Εισαγωγή

Μεταξύ ουρανού και θάλασσας, οι φάροι απλώνουν στη νύχτα το σημάδι τους σε πλοία περαστικά, ανοίγουν διάλογο με την ρότα μέχρι το σύθαμπο, ενώ, καθώς η μέρα προβάλλει, σεμνά υποτάσσονται στο μεγαλείο του άπλετου φωτός. Εκπέμπουν πατροπαράδοτα το μήνυμα της ασφαλούς ή μη πορείας, παραδομένοι οι ίδιοι στην μοίρα της μοναξιάς. Είναι ίσως το μοναδικό δείγμα αρχιτεκτονικής κατασκευής που έχει αποθητική αποστολή ως πρωτογενή του σκοπό, παρασύροντας σε στιγμές ερημιάς αλλά όχι σιωπής και τον μοναδικό του κάτοικο, το φαροφύλακα.



Εικόνα 8. Τα υπολείμματα του φάρου της Μονεμβασιάς

Η έναρξη λειτουργίας του αναγγέλθηκε στις 30 Δεκεμβρίου 1896, στέκεται στη ρίζα του βράχου, εκτός χρήσεως από τη στιγμή που εγκαταστάθηκε νέος μεταλλικός φάρος.

Ανακαλύπτουμε φάρους από το 2 αιώνα π.χ. μέχρι και σήμερα, άλλους με πολύ καλή αρχιτεκτονική σύνθεση και άλλους με καθαρά βιομηχανικό σχεδιασμό (φανοί) με πρωταγωνιστή το στατικό φορέα τους. Ξεκινούν από τα βάθη της ιστορίας με ξεχωριστές μορφές που άλλοτε αφομοιώνονται από τα τοπικά αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και άλλοτε αναβροσβήνουν στο δικό τους χρώμα.

Τις πιο πολλές φορές οι φάροι παραμονεύουν σε δύσβατες και απομακρυσμένες περιοχές, με αποτέλεσμα την εποχή που δεν είχε λυθεί το ζήτημα της ενεργειακής αυτονομίας τους να απαιτούν την ανθρώπινη παρουσία. Έτσι ήταν αναγκαίο να υπάρχει σε αυτούς χώρος φιλοξενίας για τους φαροφύλακες. Ο ξενώνας και ο πύργος (εκτός εξαιρέσεων) λειτουργούν σαν ένας οργανισμός με άμεση επικοινωνία. Οι χώροι της οικίας διαθέτουν δωμάτια, μαγειρείο και αποθήκες καυσίμων (ασετιλίνη) και χώρου υγιεινής. Οι υψίκορμοι πύργοι παρουσιάζουν άλλοτε ορθογωνικές κατόψεις και άλλοτε πολυγωνικές ή κυκλικές διατομές με σπειροειδή εξέλιξη κλιμακοστασίου που οδηγεί στον φανό.

Μια ξεχωριστή περίπτωση είναι ο φάρος στους Αγίους Θεοδώρους της Κεφαλονιάς που κατασκευάστηκε το 1828 από τους Άγγλους όπου διακρίνονται έντονα χαρακτηριστικά ναού⁸. Συνοψίζοντας η εξέταση του ιστορικού παρελθόντος, της κατασκευαστικής τεχνολογίας και αρχιτεκτονικής τυπολογίας κρίνεται απαραίτητη ώστε να γίνει αντιληπτή η επιπακτική ανάγκη αποκατάστασης των φάρων σε συνδυασμό με την ένταξη σε αυτούς νέων χρήσεων.

7.5 Προέλευση

Οι πρώτοι φάροι του κόσμου εμφανίζονται στη Μεσόγειο. Τα με το φως της ημέρας (στην αρχή) ταξίδια, εξελίχθηκαν και σε νυχτερινά με τη βοήθεια των πυρσών, που οι πρώτοι ναυτικοί (Λίβυοι, Φοίνικες και αργότερα Έλληνες) φρόντιζαν να ανάβουν στις κορυφές λόφων και στις εισόδους των πόλεων. Οι πυρσοί, τα Τιθ (κυλινδρικοί πύργοι) για τους Λίβυους, παίρνοντας διάφορες μορφές, μετασχηματίστηκαν στους γνωστούς φάρους.

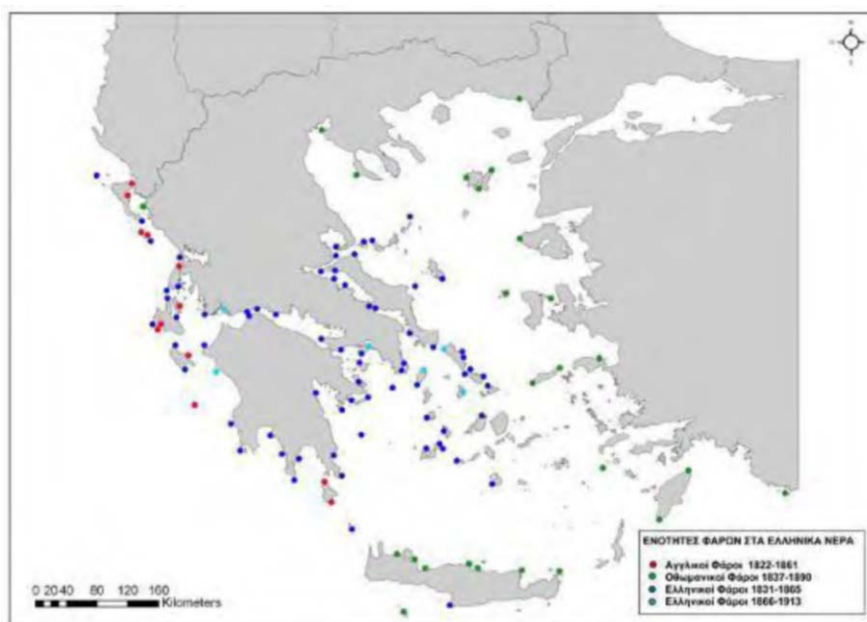
Η ονομασία των φάρων συνδέεται άμεσα με τον πύργο που έκτισε στο Αιγυπτιακό νησί Φάρος, στα ανατολικά της εισόδου του λιμανιού της Αλεξάνδρειας, ο μεγάλος Αρχιτέκτονας των Ελληνιστικών χρόνων Σώστρατος. Ο πύργος κτίστηκε στις αρχές του 3^{ου} π.Χ. αιώνα και κατέρρευσε από σεισμό τον 8^ο μ. Χ. αιώνα. Από το όνομα αυτού του νησιού της Αιγύπτου πήραν την ονομασία τους όλοι οι πυρσοφόροι πύργοι, οι οποίοι χρησίμευαν για την επισήμανση της πορείας των πλοίων εκτοπίζοντας κάθε άλλη γνωστή μέχρι τότε ονομασία.

Από τη ρωμαϊκή εποχή και μέχρι τον 11ο αι. αρκετοί φάροι κατασκευάστηκαν στις ευρωπαϊκές ακτές, ενώ κατά επόμενους αιώνες άρχισε η καταγραφή τους στους ναυτικούς δρόμους. Μεταξύ 16ου και 17ου αι. στη Βαλτική, στη Μάγνη, στις ισπανικές, στις γαλλικές και στις ιταλικές ακτές υπάρχουν εκατοντάδες φάροι, ενώ στα τέλη του 18ου αι. οι οργανωμένες υδρογραφικές υπηρεσίες των ευρωπαϊκών χωρών σχεδίαζαν πλέον τα φαρικά δίκτυα. Μέχρι τον 18ο αιώνα στη λειτουργία των φάρων χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή της φλόγας, ως καύσιμη ύλη, τα ξύλα, τα κάρβουνα, ή ακόμη και διάφορες ρητίνες. Από τον 18ο αιώνα και μετά αντικαταστάθηκε η παραπάνω καύσιμη ύλη και καθιερώθηκε το λάδι και κυρίως το πετρέλαιο 1819 ο Fresnel επινόησε και παρουσίασε το πρώτο καταδιοπτρικό μηχανήμα φάρου, ενώ το 1925 ο Le Pante πέτυχε τη ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του φωτιστικού μηχανήματος. Κατά το 19ο αιώνα η ανάγκη της ασφαλούς κίνησης των πλοίων οδήγησε στην εδραίωση του φαρικού δικτύου. Φάροι κατασκευάζονται σε επικίνδυνα περάσματα, εισόδους λιμανιών, απόκρημνες ακτές, βάσει οργανωμένου σχεδίου και ειδικών προδιαγραφών λειτουργίας. Κατά την διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης κατασκευάστηκαν οι πρώτοι λαμπτήρες αερίου, που μπορούσαν να εφαρμοστούν και σε φάρους χωρίς μόνιμο προσωπικό (σε δύσβατες περιοχές), με μια ετήσια επίσκεψη για την αντικατάσταση των φιαλών αερίου.

Οι απαιτήσεις όμως της ασφαλούς ναυσιπλοΐας για ανεγέρσεις φάρων σε δυσπρόσιτες περιοχές όπως οι ύφαλοι, οι σκόπελοι, οι βραχονησίδες κ.ά. και η ανάγκη επάνδρωσης των φάρων αυτών, οδήγησε την έρευνα στην κατασκευή φωτιστικών μηχανημάτων που δεν απαιτούσαν την καθημερινή ανθρώπινη παρουσία. Έτσι το 1911 η Σουηδική εταιρεία AGA παρουσίασε μία τέτοια συσκευή που λειτουργούσε με αέριο ασετιλίνης. Η συσκευή αυτή άναβε αυτόματα τη νύχτα και τις μέρες με πυκνή συννεφιά και έσβηνε πάλι αυτόματα όταν υπήρχε επαρκής ορατότητα.

Την περίοδο 1913-16 εγκαταστάθηκαν 25 τέτοιοι αυτόματοι φάροι σε ισάριθμες περιοχές της χώρας μας. Από το 1946 έχουμε τη χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος στη λειτουργία των φάρων, εκεί όπου τα κτίσματα αυτά ήταν προσιτά και η ηλεκτροδότησή τους ήταν εύκολη. Τα τελευταία χρόνια σταδιακά εγκαταλείπεται και η ηλεκτρική ενέργεια και αντικαθίσταται με φωτοβολταϊκά στοιχεία που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.

7.6 Το φαρικό δίκτυο της Ελλάδας



Εικόνα 9. Ενότητες σύμφωνα με τη χρονολογία των φάρων στα ελληνικά πελάγη.

Οι φάροι του Ιονίου κατασκευάστηκαν κατά την περίοδο της αγγλικής κυριαρχίας, ενώ οι φάροι της Κρήτης, του ανατολικού Αιγαίου και της βόρειας Ελλάδας προ της προσάρτησης των περιοχών αυτών στο ελληνικό κράτος.

Το φαρικό δίκτυο της χώρας μας θεωρείται από τα μεγαλύτερα και πιο οργανωμένα στον κόσμο. Αυτό αποτελείται από 1309 φάρους, φανούς και φωτοσημαντήρες εκ των οποίων οι 57 είναι επιτηρούμενοι, ενώ οι 6 είναι μόνιμα επανδρωμένοι. Η ακριβής χρονολογία κατασκευής του πρώτου Ελληνικού φάρου δεν μας είναι γνωστή. Η προφορική παράδοση αναφέρει ότι ο **πρώτος φάρος κτίστηκε στην Αίγινα το 1827** όταν ο Καποδίστριας την όρισε πρωτεύουσα του νεοσύστατου Ελληνικού κράτους. Το 1831 τοποθετήθηκαν ακόμη δύο φανοί στα λιμάνια των Σπετσών και της Κέας αντίστοιχα και το 1934 κατασκευάστηκε ο φάρος στο Γαϊδουρονήσι της Σύρου που είναι ο ψηλότερος του Ελληνικού δικτύου με ύψος 29 μέτρων περίπου, ενώ ακολούθησε και η κατασκευή και πολλών άλλων. Έτσι το 1863 το φαρικό δίκτυο στην Ελλάδα αριθμούσε 29 φάρους και φανούς, ενώ τον επόμενο χρόνο με την απελευθέρωση των Ιονίων νήσων προστέθηκαν άλλοι 15 που είχαν κατασκευαστεί ήδη από το 1822 από τη Μεγάλη Βρετανία στην οποία ανήκαν μέχρι τότε τα Επτάνησα.



Εικόνα 10. Το 1782 η Μυτιλήνη διαθέτει φάρο που φωτίζει το λιμάνι της (Γκραβούρα του Choiseul - Gouffier από το βιβλίο *Voyage pittoresque de la Grece*, Paris(1782-1822).



Εικόνα 11. Στην είσοδο του λιμανιού της Κέας, δίπλα στο εκκλησάκι του Αγίου Νικολάου, κτίστηκε το 1831 ένας από τους πρώτους ελληνικούς φάρους. Ο φάρος υπέστη δύο αλλαγές, το 1860 και το 1893, και το παλαιό εκκλησάκι επεκτάθηκε.

Μέχρι το 1887, χρονολογία σταθμό για την ιστορία των Ελληνικών φάρων, προστέθηκαν άλλοι 25 φάροι και φανοί (σύνολο 49) ανάμεσά τους και δύο στη Μαγνησία (ένας στο Τρίκερι και ένας στο Βόλο), πρώην Τούρκοι, που αποκτήθηκαν με την προσάρτηση της Θεσσαλίας το 1881. Το 1887 επί Χαριλάου Τρικούπη θα ψηφιστεί ο νόμος «περί συστάσεως ταμείου φάρων» ο οποίος θα λύσει οριστικά όλα τα μέχρι τότε προβλήματα και θα δώσει νέα ώθηση στην ανάπτυξή τους. Μετά τους Βαλκανικούς πολέμους 1912-13 θα προστεθούν και άλλοι 35 φάροι και φανοί που είχαν κατασκευαστεί από τους Γάλλους για λογαριασμό της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας με την ενσωμάτωση των «νέων Χωρών» στο Ελληνικό Κράτος και ο συνολικός αριθμός θα ανέλθει στους 193.

Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και λειτουργία του φαρικού δικτύου θα διαδραματίσει ο Στυλιανός Λυκούδης ο οποίος υπηρέτησε στην υπηρεσία φάρων⁹ για περισσότερο από 50 χρόνια μέχρι και την αποστρατεία του το 1939. Έτσι κατά την 25ετία 1913-1936 με την αναδιοργάνωση της υπηρεσίας φάρων υπό την ευθύνη και την καθοδήγηση του Στυλιανού Λυκούδη θα προστεθούν άλλοι 191 πυρσοί, αριθμός αρκετά σημαντικός στην ολοκλήρωση του φαρικού δικτύου. Στα χρόνια του Β' παγκοσμίου πολέμου οι φάροι θα υποστούν σημαντικές φθορές, αφού αποτελούσαν εύκολο και εμφανή στόχο τόσο στις αεροπορικές, όσο και στις ναυτικές επιδρομές. Μετά την απελευθέρωση, από του 400 φάρους και φανούς που υπήρχαν σε λειτουργία στις Ελληνικές θάλασσες βρέθηκαν να λειτουργούν μόνον 28.

Το 1945 άρχισε μία συστηματική προσπάθεια για την αποκατάσταση των ζημιών και το 1946 λειτουργούσαν ήδη 374 φάροι, φανοί και φωτοσημαντήρες. Η έρευνα βασίστηκε κυρίως στις εκδόσεις («φαροδείκτες») της Υπηρεσίας Φάρων του Πολεμικού Ναυτικού των ετών 1912 και 1957. Ο φαροδείκτης του 1912 είναι ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικός, αφού οι περισσότεροι «φάροι μετά οικίας φαροφυλάκων» κτίστηκαν μεταξύ του 1822 και του 1910. Το 1957 επιλέχτηκε ως χρονολογία αφ' ενός επειδή περιέχει όσους φάρους προσαρτήθηκαν με τις Νέες Χώρες μετά τους Βαλκανικούς πολέμους του 1912-1913, όπως επίσης και αυτούς των Δωδεκανήσων, που εντάχθηκαν στο ελληνικό φαρικό δίκτυο το 1947, και αφ' ετέρου διότι το ιδιαίτερο επάγγελμα του φαροφύλακα αρχίζει από την εποχή αυτή να φθίνει, καθώς η εξέλιξη της τεχνολογίας δεν απαιτεί πλέον μόνιμη επιτήρηση στους φάρους, με αποτέλεσμα να τοποθετούνται όλο και περισσότεροι αυτόματοι μεταλλικοί φανοί, ενώ παράλληλα τα πέτρινα κτίρια αρχίζουν να παρακαμάζουν. Εξάλλου, η περιπέτεια των φάρων

είχε ήδη ξεκινήσει το 1941, όπως προαναφέρθηκε, όταν κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου οι Γερμανοί τούς βομβάρδιζαν κατά κόρον, προσπαθώντας να κρατήσουν τις θάλασσες των Συμμάχων σκοτεινές.

Η ιστορία των φάρων στην Ελλάδα ταυτίζεται με την ιστορία της ναυσιπλοΐας¹⁰, δείγματα ύπαρξης της οποίας εμφανίζονται σε παράκτιους οικισμούς από τη νεολιθική κιόλας περίοδο. Οι φάροι συνέχιζαν να εξελίσσονται παράλληλα με την ναυσιπλοΐα και στους αρχαίους χρόνους, με σημεία αναφοράς κάποιες μνημειακές κατασκευές σε εισόδους σημαντικών λιμένων (Ρόδος, Αλεξάνδρεια, κλπ). Έκτοτε και για πολλά χρόνια, η φαροδομία συνδέθηκε με την οχυρωματική αρχιτεκτονική, καθώς οι περισσότεροι φάροι βρίσκονταν φιλοξενούνταν στην κορυφή κάποιου οχυρωμένου λιμανιού ή παράκτιας φρουκτωρίας.

«Οι φάροι άρχισαν να αυτονομούνται ως κατασκευές στα μέσα του 18^{ου} αιώνα, όταν έληξαν οι πολεμικές συγκρούσεις και οι εδαφικές διεκδικήσεις στον ευρύτερο χώρο, οπότε και αναπτύχθηκε συστηματική εμπορική ναυσιπλοΐα»¹¹, στην Ελλάδα η συστηματική ανέγερση αυτόνομων φάρων ξεκίνησε στο χώρο του Ιονίου στις αρχές του 19^{ου} αιώνα υπό τη μέριμνα του αγγλικού στέμματος.

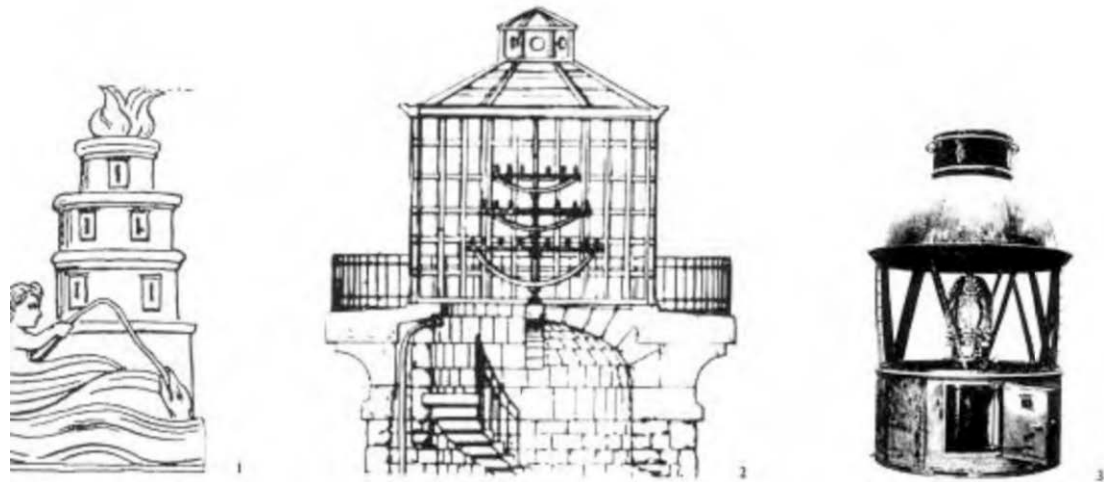
Η φαροδομία εντάθηκε την πενταετία 1860-1865 λόγω του νεοσύστατου συμβολαίου της Γαλλικής Εταιρείας Οθωμανικών Φάρων με την Οθωμανική Αυτοκρατορία (1860) και κορυφώθηκε την εικοσαετία 1880-1900 με την καθιέρωση νέων πελαγοδρομιών που προέκυψαν από τη διάνοιξη του Σουέζ. Η κατασκευή λιθόκτιστων φάρων διήρκεσε ως και τις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα. Σήμερα, σώζεται από την περίοδο αυτή (1822-1923) ένα πολύ αξιόλογο αρχιτεκτονικά κτιριακό απόθεμα, περίπου 110 κατασκευές, η πλειοψηφία των οποίων βρίσκονται δυστυχώς σε κακή κατάσταση. Κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης κατασκευάστηκαν οι πρώτοι λαμπτήρες αερίου. Οι λαμπτήρες αυτοί μπορούσαν να εφαρμοστούν και σε φάρους χωρίς μόνιμο προσωπικό (σε δύσβατες περιοχές) με ετήσια απλή επίσκεψη για την αντικατάσταση των φιαλών αερίου.

Η πρώτη χρήση λαμπτήρα αερίου έγινε στην Τεργέστη (Ιταλία) στο φάρο Torre Salvo, ενώ διαδόθηκε γρήγορα σε όλη την Ευρώπη. Το αέριο ασετιλίνης απέδιδε φλόγα με καθαρό οπτικό σήμα, όπως η φλόγα από καύση λαδιού. Το 1906 κατασκευάστηκε ο πρώτος φανός που τροφοδοτούνταν με ασετιλίνη από τη σουηδική εταιρία Aga. Η χρήση ασετιλίνης κάλυπτε τις ανάγκες φωτοβολίας των φάρων σε πολλές απομακρυσμένες περιοχές μέχρι και τα μέσα του 20ού αιώνα. Προκειμένου να αποδοθεί η χαρακτηριστική αναλαμπή σε κάθε φάρο χρησιμοποιούνταν περιστροφικοί μηχανισμοί (ωρολογιακά γρανάζια, βαρίδια). Ο πρώτος που εφαρμόστηκε ήταν κατά το τέλος του 18ου αι. από το γάλλο ωρολογοποιό Carcel.

7.7 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

7.7.1 Εξέλιξη φαρικών συστημάτων και συστημάτων ναυσιπλοΐας

Η εξέλιξη του συστήματος φωτισμού των φάρων παρακολουθεί στενά την εξέλιξη των επιστημών και της τεχνολογίας σε τέτοιο βαθμό ώστε να αναγνωρίζεται χρονολογικά η εποχή κατασκευής τους.



Εικόνα 12 . 1. σύστημα ανοιχτής φωτιάς στο φάρο της Όστιας
2. σχέδιο του φανού με κεριά του φάρου Torre Salvore
3. Τύπος φανού με φωτιά από κάρβουνο

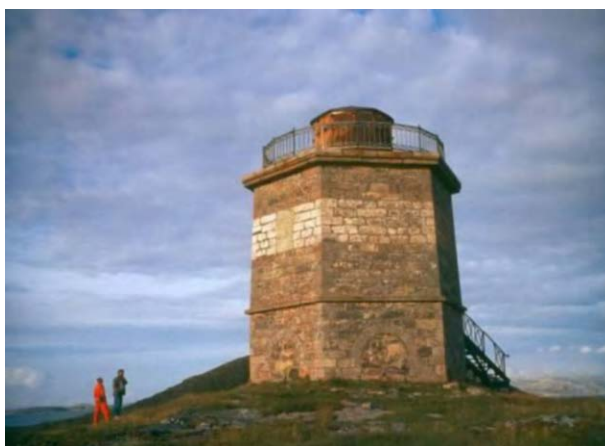
Το τεχνολογικό σύστημα φωτισμού των φάρων αποτελείται από τα επιμέρους αλληλοεξαρτώμενα συστήματα:

- πηγή ενέργειας
- εστία/λαμπτήρας φωτισμού
- κάτοπτρα/ανακλαστήρες
- συγκεντρωτικοί φακοί Fresnel
- περιστροφικοί ωρολογιακοί μηχανισμοί
- υποστηρικτικός εξοπλισμός για τη συνεχή λειτουργία και
- φωτοσήμανση



Εικόνα 13. Φαρικό οπτικό (μηχανή) τύπου Φρενέλ όπου διακρίνονται οι επάλληλοι οριζόντιοι (πάνω και κάτω) και κάθετοι ομόκεντροι δακτύλιοι (διοπτρικά στοιχεία) περιμετρικά. (<http://el.wikipedia.org/wiki/>)

Κατά το 18ο και 19ο αιώνα πολλές εφευρέσεις όπως ο λαμπτήρας Argand, οι φακοί του Fresnel, ο περιστροφικός μηχανισμός του Carcel, βελτίωσαν και συστηματοποίησαν τη φωτοσήμανση των φάρων ώστε να είναι ασφαλή τα υπερπόντια ταξίδια των (Diesel) μηχανοκίνητων караβιών. Οι πρώτοι φάροι λειτουργούσαν με ανοιχτή εστία φωτιάς και είχαν, έως το 1800, ως καύσιμο το ξύλο. Η διατήρηση της αναμμένης φωτιάς ήταν συνήθως το έργο μοναστικών κοινοτήτων και ερημιτών που διέμεναν κοντά στους φάρους. Η θέση του φάρου συνήθως γινόταν αντιληπτή από την κατακόρυφη στήλη καπνού που δημιουργούνταν πάνω από αυτόν, που ωστόσο άλλαζε διεύθυνση ή δεν ήταν ορατή σε περιπτώσεις ατμοσφαιρικών νεφώσεων ή άλλων κλιματικών αλλαγών.



Εικόνα 14. Φάρος στο Villa, ο παλιότερος νορβηγικός φάρος με σύστημα ανοιχτής.

Στην Ευρώπη το κάρβουνο αντικατέστησε το ξύλο ως υλικό περισσότερο συμπαγές (απαιτούνταν μικρότεροι χώροι αποθήκευσης) και μεγαλύτερης διάρκειας καύσης, Ωστόσο, ένας φάρος απαιτούσε για τη λειτουργία του περίπου 300 τόνους κάρβουνο το χρόνο. Η φωτιά από κάρβουνο ήταν καθαρότερη, αλλά προκαλούσε το μαύρισμα του υαλοπετάσματος των φανών από προϊόντα καύσης, με συνέπεια τη σημαντική μείωση της εμβέλειας του φωτεινού σήματος.

Μία παραλλαγή της ανοιχτής φωτιάς ήταν η φλόγα των κεριών. Χαρακτηριστική περίπτωση ο φάρος του Eddystone με σύστημα 24 κεριών. Η εισαγωγή των λαμπτήρων λαδιού διασφάλιζε την προβολή του σήματος του φάρου, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες, ενώ το φως διατηρούνταν με μικρές ποσότητες πρώτης ύλης. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε λάδι ζωικής και στη συνέχεια φυτικής προέλευσης (ηλιέλαιο, ελαιόλαδο κλπ). Εξέλιξη αυτού, αποτελεί ο λαμπτήρας λαδιού του Ελβετού επιστήμονα Aime Argand (1782) που αποτελούνταν από ένα κυκλικό φυτίλι και μία γυάλινη καμινάδα. Κάποιοι λαμπτήρες είχαν μέχρι και 10 φυτίλια. Η καύσιμη ύλη ήταν αρχικά λάδι ψαριών (φάλαινας).

Κάθε Φάρος φέρει ιδιαίτερο όνομα (συνήθως της περιοχής εγκατάστασης), και γεωγραφικό στίγμα. Επίσης ιδιαίτερα στοιχεία εκάστου είναι το ύψος του (της φωτιστικής εστίας του από της μέσης πλήμμης της στάθμης της Θάλασσας) και η περιοδικότητα διαδοχής φωτοβολίας και σκότους.

Το τελευταίο αυτό γνώρισμα καλείται χαρακτηριστικό φάρου (characteristic). Η περίπτωση ύπαρξης δύο φάρων με ίδιο χαρακτηριστικό στην ίδια γεωγραφική περιοχή πρέπει να θεωρείται αποκλεισμένη.

Ο απαιτούμενος χρόνος για μια πλήρη επανάληψη του χαρακτηριστικού του Φάρου ονομάζεται περίοδος φάρου. Η περιοδικότητα φάρου μετριέται σε λεπτά ή δευτερόλεπτα της ώρας. Τα ύψη των φάρων για λόγους ασφαλείας μετρώνται συνήθως σε πόδια ή μέτρα και αντιπροσωπεύουν το ύψος της εστίας και όχι όλου του κτίσματος από τη μέση πλήμμη (MHV) της θάλασσας. Όλα τα παραπάνω στοιχεία που προσδιορίζουν κάθε φάρο καθώς και των εγκαταστάσεων αυτών περιλαμβάνονται στους Φαροδείκτες. Στους ναυτικούς χάρτες οι φάροι συμβολίζονται με κόκκινο μικρό κύκλο ή με αστερίσκο συνοδευόμενο με κόκκινο λωβό στη γεωγραφική του θέση.

7.8.1 Είδη Φάρων

Ανάλογα του «χαρακτηριστικού» τους οι φάροι διακρίνονται σε:

- Σταθερού φωτός (Fixed /F): Είναι οι φάροι με συνεχές φως και σταθερής έντασης.
- Αναλαμπόντες (Flashing /Fl): Εκείνοι με περιοδικό ζωηρό φως διάρκειας μικρότερης του σκότους.
- Διαλείποντες (Occulting /Occ): Παρουσιάζουν περιοδικό σταθερό φως διάρκειας μεγαλύτερης ή ίσης του σκότους.
- Εκλάμποντες (Quick Flashing/Qk.Fl): ή τάχιστα αναλάμποντες, κοινώς «σπίθες». Ο αριθμός των αναλαμπών τους υπερβαίνει τις 60/λεπτό.

- Με δέσμη αναλαμπών (Group Flashing/Gr.Fl.): Εκείνοι που εκπέμπουν περιοδικά ομάδα 2 ή περισσότερων αναλαμπών.
- Με δέσμη διαλείψεων (P^Λ): Εκπέμπουν περιοδικά ομάδα 2 ή περισσότερων διαλείψεων.
- Με δέσμη εκλάμψεων (Interrupted quick Flashing/I.Qk.Fl.): οι τάχιστα αναλάμποντες επί 4 sec και που διακόπτουν επί 4 sec.

Συνδυασμοί των παραπάνω χαρακτηριστικών είναι οι φάροι:

- Σταθεροί μετ' αναλαμπών (**Fixed flashing/F.Fl**)
- Σταθεροί με δέσμη αναλαμπών (Fixed group flashing/F.Gr.Fl.).

Επίσης ανάλογα του χρώματος φωτός που εκπέμπουν οι φάροι διακρίνονται σε:

- λευκούς (White/W),
- ερυθρούς (Red/R)
- πράσινους (Green/G) και
- εναλλάσσοντες όταν κάποιος εναλλάσσει το χρώμα τους (Alternating/Alt), (το χρώμα των λευκών φάρων δεν σημειώνεται στους χάρτες).

Τέλος υφίστανται και οι Φάροι που εκπέμπουν με βραχείες αναλαμπές μακράς διάρκειας καλούμενοι ως βραχειών και μακρών αναλαμπών (Short-long Flashing/S-L Fl).

7.8.2 Μέτρηση χαρακτηριστικού

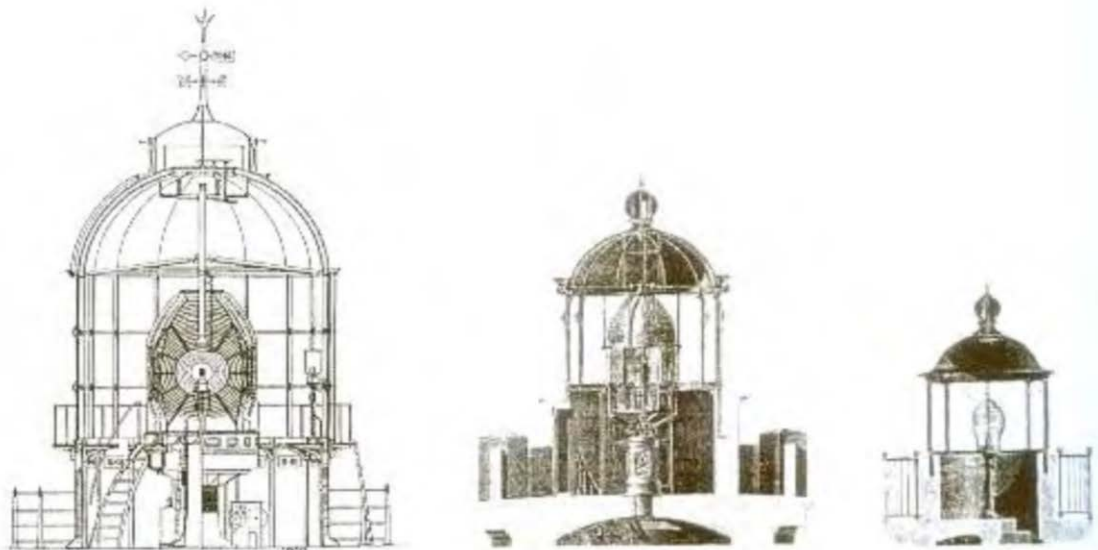
Για την μέτρηση του «χαρακτηριστικού» ενός Φάρου προς αποφυγή λάθους χρησιμοποιείται ένα στιγμόμετρο. Ένας εμπειρικός επίσης τρόπος που ακολουθούν οι ναύτες οπτήρες (παρατηρητές) είναι η ρυθμική μέτρηση: «μισό ένα», «μισό δύο», «μισό τρία» κ.ο.κ., ή «και ένα», «και δύο», «και τρία» κ.ο.κ. Η μέτρηση αρχίζει από την πρώτη αναλαμπή και σταματά στην πρώτη της περιοδικής επανάληψης.

7.8.3 Τομείς Φάρων

Πολλοί Φάροι δεν είναι ορατοί από όλα τα σημεία του ορίζοντα, ή όπως λέμε δεν είναι «περίβλεπτοι» και τούτο διότι παρεμβάλλεται συνήθως τμήμα ξηράς. Έτσι αυτοί παρουσιάζουν σκοτεινό (obscured) τομέα (sector).

Άλλοι πάλι παρουσιάζουν τομείς διαφορετικών χρωμάτων προκειμένου να επιδείξουν ελεύθερη πλευσίμη περιοχή, με πράσινο χρώμα, και τα αβαθή ή κάποια ξέρα η ναυάγιο με ερυθρό χρώμα. Τέλος υφίστανται και οι φανοί καλούμενοι direction lights που δεικνύουν λευκό φώς σε διαπλεύσιμο χώρο των στενών εισόδων λιμένων και ερυθρό ή πράσινο εκατέρωθεν της εισόδου. Τα όρια αυτών των τομέων αναφέρονται κατά διοπτύσεις πάντα από την θάλασσα τόσο στους χάρτες όσο και στους Φαροδείκτες και στους Πλοηγούς (βοηθήματα).

7.9 Ισχύς Φάρων



Εικόνα 15. Σχέδια οπτικών συστημάτων φάρων 1^{ης}, 3^{ης} και 6^{ης} κλάσης στην ίδια κλίμακα σχεδίου.

Η ισχύς των Φάρων (power of lights) αποτελεί μια ένδειξη της λαμπρότητάς των, δηλαδή της φωτιστικής τους ικανότητας που εκφράζεται σε «κηρία» (candles) και αποτελεί στοιχείο της ταυτότητάς των. Τα φωτιστικά μηχανήματα των φάρων είναι είτε αυτόματα (ανεπιτήρητοι), είτε λειτουργούν δι' ηλεκτρισμού. Τελευταία άρχισαν να λειτουργούν και Φάροι με ατομική ενέργεια όπως εκείνος της εισόδου του K. Chesapeake των ΗΠΑ.



ΕΙΚΟΝΑ 16. 50 Μίλια βόρεια του Σαν Φρανσίσκο βρίσκεται ο 35m φάρος με τον εκπληκτικό φωτισμό.



ΕΙΚΟΝΑ 17. Σκαρφαλωμένο σε ένα βράχο στην κεντρική ακτή της Καλιφόρνιας των Η.Π.Α. από τα 15m Καθοδηγεί τους ναυτικούς από το 1872

A. Αναλυτικό το ελληνικό φαρικό δίκτυο αποτελείται από

1.	Σταθεροί φάροι	228
2.	Αναλάμποντες πυρσοί κάτω	100 cd 676
3.	Αναλάμποντες πυρσοί πάνω	100 cd 303
4.	Επιτηρούμενοι φάροι	57
5.	Φωτοσημαντήρες	143
6.	Σχεδίες, πλωτοί στόχοι	2
7.	Racon	2

Το σύνολο είναι 1411

B. Οι παραπάνω πυρσοί και φωτοσημαντήρες λειτουργούν με τις ακόλουθες πηγές ενέργειας

1.	Ηλιακή ενέργεια	1081
2.	Ηλεκτρικό ρεύμα (ΔΕΗ)	330

Η επιθεώρηση και η επισκευή των μηχανημάτων των πυρσών εκτελείται στα συνεργεία της Φαρικής Βάσεως. Η λειτουργία των επιτηρουμένων φάρων ελέγχεται και ρυθμίζεται από τους Φαροφύλακες που υπηρετούν σε κάθε φάρο. Οι φαροφύλακες αποτελούν σώμα μονίμων στελεχών Π.Ν., «Το Σώμα των Φαροφυλάκων». Η ομαλή λειτουργία των αυτόματων φάρων ελέγχεται από τα σκάφη που εκτελούν ναυσιπλοΐα στην περιοχή και αναφέρουν τυχόν προβλήματα λειτουργίας στις λιμενικές Αρχές, οι οποίες στη συνέχεια ενημερώνουν την Υπηρεσία Φάρων, για να επιληφθεί της αποκατάστασης. Τυχόν προβλήματα λειτουργίας ή σβέσεις πυρσών αντιμετωπίζονται άμεσα με επείγουσα αποστολή κινητού συνεργείου. Μελλοντικά, προβλέπεται η εγκατάσταση συστήματος τηλεμετρίας

(Τηλεέλεγχος και τηλεχειρισμός) στο σύνολο του φαρικού δικτύου για τη βέλτιστη λειτουργία της υπηρεσίας.

7.10 Πιλοτικό σύστημα τηλεπαρακολούθησης και τηλεελέγχου της λειτουργίας των Ελληνικών Φάρων

Στα πλαίσια της προσπάθειας εκσυγχρονισμού των παρεχομένων υπηρεσιών της, η Υπηρεσία Φάρων σε συνεργασία με το ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών (ΕΠΙΣΕΥ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, εκπόνησε μελέτη και υπέβαλλε πρόταση για πιλοτική εγκατάσταση ενός συστήματος τηλεπαρακολούθησης και τηλεελέγχου της λειτουργίας των Ελληνικών Φάρων. Στην μελέτη που υπέβαλλε η Υπηρεσία Φάρων και το ΕΜΠ προτείνεται η πιλοτική εγκατάσταση του συστήματος σε 5 Φάρους και η μελέτη της λειτουργίας του με σκοπό να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος σε δυσμενείς συνθήκες, να διερευνηθούν αναλυτικά δυνατές επεκτάσεις του συστήματος και να εξαχθούν συμπεράσματα για την λειτουργικότητά του ώστε μελλοντικά να υλοποιηθεί η διασύνδεση όλων των ελληνικών Φάρων σε ένα ενοποιημένο δίκτυο ελέγχου της λειτουργίας τους.

Η λειτουργία και εκμετάλλευση ενός συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου των Φάρων θα προσφέρει την δυνατότητα για άμεσο εντοπισμό βλαβών στους Φάρους και την έγκαιρη και ταχεία επισκευή τους. Η εποπτεύουσα αρχή θα είναι σε θέση να γνωρίζει και να καταγράφει την κατάσταση της λειτουργίας των Φάρων και των εξοπλισμών του ανά πάσα στιγμή, να ενημερώνεται σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας του Φάρου, για την ακριβή αιτία και το είδος της βλάβης. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται δραστικά ο χρόνος απόκρισης (response time) μεταξύ αναφοράς μιας βλάβης και επισκευής της, που με τις σημερινές συνθήκες ο εντοπισμός γίνεται από τα διερχόμενα πλοία μέσω των κατά τόπους Λιμενικών Αρχών.

Η σκοπιμότητα εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος έχει γίνει αντιληπτή σε πολλές χώρες ανά τον κόσμο, όπως π.χ. ΗΠΑ, Χιλή, Καναδάς, Αγγλία, Ιταλία, Νορβηγία, Εσθονία, Αυστραλία κ.α, οι οποίες διαθέτουν μεγάλες ακτογραμμές και κατά συνέπεια μεγάλο αριθμό Φάρων. Η λειτουργία παρόμοιων συστημάτων που έχουν εγκατασταθεί στις προαναφερθείσες χώρες, έδειξε τα αναμενόμενα αποτελέσματα και έκανε φανερά τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την εγκατάστασή τους. Στις 30 Ιουνίου 2004 παραδόθηκε η εγκατάσταση και λειτουργία του πιλοτικού προγράμματος τηλεπαρακολούθησης σε πέντε (5) φάρους.

7.11 Σύστημα λειτουργίας φάρων

7.11.1 Εξέλιξη φαρικών οπτικών συστημάτων: Ανακλαστήρες

Προκειμένου να ενισχυθεί το σήμα και να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, εφαρμόστηκαν οι αρχές της οπτικής των ανακλαστήρων (καθρεφτών), που μπορούσαν να στέλνουν το σήμα σε συγκεκριμένες διευθύνσεις. Η πρώτη γραπτή πηγή για την εφαρμογή της λειτουργίας ενός ανακλαστήρα ανήκει στον Πλίνιο¹⁶, που περιγράφει τη λειτουργία ενός καθρέφτη ως ανακλαστήρα, με την ιδιότητα να στέλνει φωτεινό σήμα σε ναυτιλλόμενους ακόμη και σε απόσταση χιλιομέτρων. Η ιδέα του Πλίνιου επανεξετάστηκε το 1700, όταν διαπιστώθηκε ότι με τη χρήση καθρεφτών παραβολικού σχήματος, όχι μόνο ήταν δυνατόν να κατευθυνθεί η δέσμη φωτός από τη φωτιά σε μεγάλες αποστάσεις στη θάλασσα και μέσω εμποδίων, αλλά γινόταν ταυτόχρονα και εξοικονόμηση πρώτων υλών καύσης.

Το κατοπτρικό σύστημα άρχισε να βρίσκει εφαρμογή με την περαιτέρω επεξεργασία του φαινομένου της ανάκλασης. Συγκεκριμένος αριθμός κατόπτρων εφαρμόστηκαν σε ένα μεταλλικό σύστημα με αντίστοιχες πηγές φωτός, με αποτέλεσμα την ευκολότερη διεύθυνση της κατεύθυνσης της φωτεινής δέσμης. Το σύστημα βασιζόταν στην αρχή ότι όταν μία δέσμη φωτός προσπέσει σε μία διάφανη, περισσότερο συμπαγή επιφάνεια, τότε αλλάζει διεύθυνση ανάλογα με την πυκνότητα της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει. Το 1819 άρχισαν να κατασκευάζονται στη Γαλλία τα πρώτα εξειδικευμένα οπτικά συστήματα φάρων με ανακλαστήρες.

7.11.2 Εξέλιξη οπτικών συστημάτων: Λαμπτήρες Fresnel, σήμερα

Η επανάσταση στα οπτικά σύστημα των φάρων, πραγματοποιήθηκε με το καταδιοπτρικό σύστημα φακών Fresnel. Ο Fresnel (1788 - 1827), γάλλος φυσικός δημιούργησε το 1822 ένα οπτικό σύστημα που σύντομα αντικατέστησε όλα τα προγενέστερα στους ευρωπαϊκούς και παγκόσμιους φάρους. Πρωτοτοποθετήθηκε στον ιστορικό γαλλικό φάρο του Cordouan.

Το οπτικό σύστημα του Fresnel αποτελείται στα ανώτερο τμήμα του από ομόκεντρους δακτυλίους από πρίσματα γυαλιού και στο κατώτερο από ένα κεντρικό τύμπανο που οδηγεί τη φωτεινή δέσμη σε ένα στενό άνοιγμα. Πειραματικές προσεγγίσεις απέδειξαν ότι ενώ στην περίπτωση ανοιχτής φλόγας και φλόγας με ανακλαστήρα χάνεται αντίστοιχα 97% και 83% της συνολικής ποσότητας φωτός, στην περίπτωση του συστήματος Fresnel χάνεται μόνο τα 17%. Παράλληλα, το σύστημα Fresnel είναι δυνατόν να εκπέμπει φωτεινή δέσμη σε ακτίνα 20 μιλίων. Δημιουργήθηκαν διάφορα οπτικά συστήματα Fresnel τα οποία διακρίνονται σε εφτά κλάσεις (orders). Η καθεμία χαρακτηρίζεται από την εστιακή απόσταση (οριζόντια) του κατακόρυφου άξονα της φωτεινής πηγής (εστίας) από την εσωτερική επιφάνεια των κάτοπτρων (μετρούμενη σε χιλ.), με μεγαλύτερη την 1^η τάξη και μειούμενο μέγεθος στη συνέχεια (2η, 3η, 4η κλπ.).

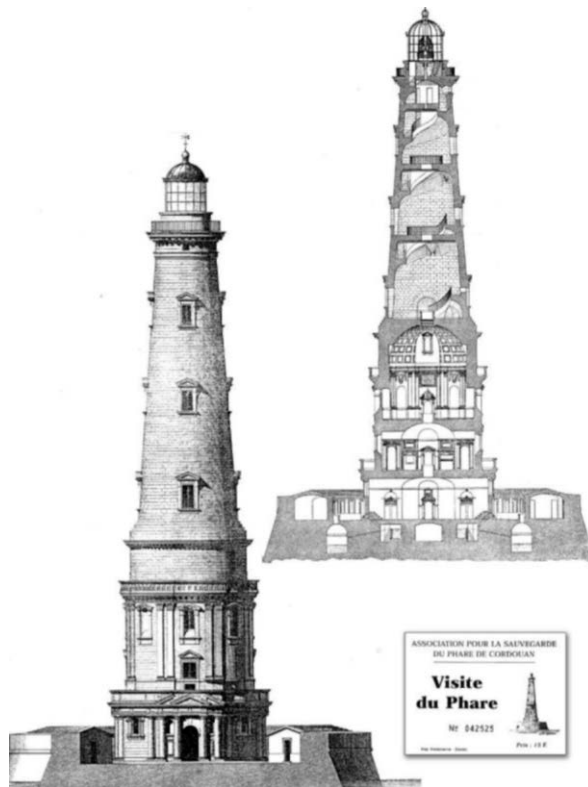


Εικόνα 18. Ο ιστορικός γαλλικός φάρος του Cordouan, καταδιοπτρικό σύστημα φακών Fresnel

Εικόνα 19. Ο ιστορικός γαλλικός φάρος του Cordouan, κλιμακοστάσιο

Εικόνα 20. Ο ιστορικός γαλλικός φάρος του Cordouan

Με την τεχνολογική ανάπτυξη του 20ού αι. και την επικράτηση του ηλεκτρισμού εισήχθησαν πολλοί αυτοματισμοί στο μηχανολογικό εξοπλισμό, ώστε να μην απαιτείται πλέον η ύπαρξη μόνιμου προσωπικού, αλλά μόνο περιοδικός ανεφοδιασμός με πηγή ενέργειας. Σήμερα χρησιμοποιούνται σε πολλούς φάρους εναλλακτικές μορφές ενέργειας, ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά τόξα.



Εικόνα 21. Ο ιστορικός γαλλικός φάρος του Cordouan

7.11.3 Φάροι πετρελαίου, ασετιλίνης, ηλεκτρικοί και ηλιακοί φάροι

Οι φάροι πετρελαίου:

- Λειτούργησαν από το 1830
- Ήταν όλοι επιτηρούμενοι και έδιναν σταθερό και αναλάμπον φως
- Για την αναλαμπή χρησιμοποιούνταν κατάλληλη μηχανή ωρολογιακού τύπου που κουρδίζονταν από τον φαροφύλακα
- Ήταν τοποθετημένοι κυρίως σε λιμάνια και έδιναν φωτοβολία σε αποστάσεις 15-25 νμ.
- Έχουν όλοι καταργηθεί

Οι φάροι ασετιλίνης:

- Λειτουργούν από το 1915
- Είναι αυτόματοι αναλάμποντες και οι πλέον αξιόπιστοι
- Έχουν καταργηθεί λόγω υψηλού κόστους συντήρησης και λειτουργίας Ο εφοδιασμός των φάρων με αέριο γίνεται κάθε χρόνο

Οι ηλεκτρικοί φάροι:

- Λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα του δικτύου ΔΕΗ AC το οποίο τροφοδοτεί ηλεκτρικό λαμπτήρα(AC ή DC με φορτιστή και συσσωρευτές)
Αξιοπίστοι φάροι με μεγάλη φωτοβολία και πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης λειτουργίας

Οι ηλιακοί φάροι:

Φάροι νέας τεχνολογίας η οποία άρχισε να εφαρμόζεται από το 1980 Οι ηλιακοί αντικαθιστούν τους φάρους ασετιλίνης, οι οποίοι και διεθνώς καταργούνται Το μέγεθος της λυχνίας και η ισχύς της ηλιακής γεννήτριας καθορίζεται από την επιθυμητή φωτοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία συλλέγεται από τα ηλιακά κάτοπτρα και αποθηκεύεται στους συσσωρευτές

Ο λαμπτήρας δημιουργεί τις αναλαμπές και μπαίνει σε λειτουργία με τη βοήθεια φωτοκύτταρου ώστε να λειτουργεί μόνο τη νύχτα

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών υπολογίζεται έτσι ώστε ο φάρος να λειτουργεί χωρίς πρόβλημα για 15 μέρες, διάστημα κατά το οποίο θα επικρατούν δυσμενείς καιρικές συνθήκες

7.12 Εξέλιξη ελληνικών φαρικών οπτικών συστημάτων

Στις 2 Φεβρουαρίου του 1859 "άρχεται η αυτοψία" του πρώτου περιστροφικού φάρου του ελληνικού δικτύου στη Φάσσα της Άνδρου, εφοδιασμένου με κατοδιοπτρικό σύστημα Α' τάξεως. Το οπτικό σύστημα είχε ύψος 3,7 μ. και διάμετρο 1,84 μ. Ήταν κατασκευασμένο από κρύσταλλο και μπρούντζο και αποτελούσε το ακριβότερο και ομορφότερο μοντέλο της εποχής. Εξασφάλιζε τη μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση ενέργειας και περιστρεφόταν αργά πάνω σε τροχούς ολίσθησης, των οποίων την κίνηση έδινε ένας πολύπλοκος ωρολογιακός μηχανισμός που έμπαινε σε κίνηση με ένα βαρίδι. Το βαρίδιο, στην άκρη ενός συρματόσχοινου, ανεβοκατέβαινε στο εσωτερικό του πύργου μετά το περιοδικό κούρδισμα του φαροφύλακα.

Μέχρι το 1926, το ελληνικό Φαρικό Δίκτυο είχε εφοδιαστεί με περισσότερα από 110 κατοδιοπτρικά όλων των τάξεων. Το πέρας όμως του Β' Παγκοσμίου Πολέμου άφησε σε λειτουργία 28 μόνο φάρους, από τους 400 που φώτιζαν τις ελληνικές ακτές. Από τη δεκαετία του 1980 άρχισαν σταδιακά να καταργούνται τα παλαιά φαρικά συστήματα. Τη θέση τους πήραν σύγχρονα φωτιστικά μηχανήματα που σε κανένα τους σημείο δε θυμίζουν την αισθητική λειτουργική των παλαιών με το πλήθος των γριναζιών, τριβαίων και αξόνων που έμπαιναν σε λειτουργία με τη βοήθεια μονάχα της βαρύτητας. Πολλά φανάρια έπαψαν να είναι περιστροφικά και μετατράπηκαν σε σπίθες. Μέχρι το τέλος του 2000 όλοι οι φάροι του ελληνικού Δικτύου είχαν αυτοματοποιηθεί. Τα οπτικά τους συστήματα φυλάσσονται σε ειδικά διαμορφωμένες αίθουσες της Φαρικής Υπηρεσίας.

Σήμερα, με το σύστημα "ΔΙΟΓΕΝΗΣ" επιτηρούνται και ελέγχονται πιλοτικά 5 ελληνικοί φάροι, με την καταγραφή της λειτουργίας τους μέσω τηλεπικοινωνιακών μεθόδων, καθιστώντας δυνατή την άμεση επέμβαση τεχνικού προσωπικού σε περίπτωση βλάβης.

7.13 ΦΑΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΗΜΕΡΑ

Επίσης, πενήντα έξι (56) εξ αυτών είναι επανδρωμένοι ή επιτηρούμενοι από Φαροφύλακες. Η συντήρηση τους εκτελείται από την Υπηρεσία Φάρων ανάλογα με τις εκάστοτε διατιθέμενες πιστώσεις. Η κατάσταση τους φαίνεται στον συνημμένο πίνακα που παρατίθεται. Από τον λειτουργικό προϋπολογισμό (Π/Υ) 2010 του ΓΕΝ κατά την τριετία 2008 – 2010, διατέθηκαν για τη συντήρησή τους συνολικά 80.000 €. Επιπλέον, μέσω ενεργειών της Υ. Φάρων αποκαταστάθηκαν την τριετία 2008-2010 δέκα τρεις Φάροι. Οι οκτώ από αυτούς με χρηματοδότηση εξ ιδίων πόρων (Λιμενικά Ταμεία της Υ. Φάρων) συνολικού κόστους 260.000 € περίπου, οι τρεις με δημόσια χρηματοδότηση μέσω τοπικών φορέων Δήμων και Νομαρχιών και οι δύο με ιδιωτική χρηματοδότηση μέσω του Μη Κερδοσκοπικού Ιδρύματος «Αικατερίνης Λασκαρίδη».

Λόγω των εγγενών αδυναμιών χρηματοδότησης για την αποκατάσταση και συντήρηση των κτιριακών εγκαταστάσεων όλου του εκτεταμένου Φαρικού Δικτύου, προτάθηκε το 2007 από την Υ. Φάρων, η ένταξη, στο ΕΣΠΑ 2007-2013 (μέσω του προγράμματος «Ανάδειξη Πολιτισμικής Αξίας Πέτρινων Φάρων»), για αποκατάσταση σαράντα έξι (46) Φάρων, συνολικού προϋπολογισμού 6.197.000 €. Εκτιμήθηκε δε ότι για την σύνταξη μελετών και αδειοδοτήσεων ωρίμανσης του ανωτέρω προγράμματος απαιτούνται 2.500.000 € περίπου. Από τους παραπάνω, τέθηκαν από το ΓΕΝ σε προτεραιότητα για ένταξη στο ΕΣΠΑ 2007-2013 δέκα τρεις Φάροι ανά περιφέρεια. Επίσης, προωθήθηκαν για χρηματοδότηση αποκατάστασης, μέσω ΕΣΠΑ 2007-2013, δύο ώριμα έργα Φάρων (Τρίκερι Μαγνησίας και Αγ. Ηλίας Αμοργού), ενώ συντάσσονται μελέτες ωρίμανσης για έργα δύο επιπλέον Φάρων (Κόγχη Σαλαμίνας και Κοκκινόπουλο Ψαρών).

Τέλος, η Υ. Φάρων, στα πλαίσια ενημέρωσης νέων τεχνολογιών και εμπλουτισμού της τεχνογνωσίας της στις μεθόδους αποκατάστασης Πέτρινων Φάρων, συνεργάζεται με πανεπιστημιακά ιδρύματα (ΑΠΘ, ΕΜΠ, Π. Πατρών, Π. Κρήτης και Π. Ιονίου), για την σύνταξη μελετών παθογένειας και προτάσεων αποκατάστασης.

ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΟΙ / ΕΠΙΤΗΡΟΥΜΕΝΟΙ ΦΑΡΟΙ

A/A	ΑΕΦ	Όνομασία Φάρου	A/A	ΑΕΦ	Όνομασία Φάρου
1	8760	ΑΚΡΩΤΗΡΙ	29	0010	ΚΑΣΤΡΙ
2	0310	ΛΑΚΚΑ	30	4360	ΖΟΥΡΒΑ
3	1250	ΜΕΛΑΓΚΑΒΙ	31	5630	ΚΑΚΗ ΚΕΦΑΛΗ
4	1330	ΔΡΕΠΑΝΟ	32	8600	ΚΟΡΑΚΑΣ
5	2010	ΣΚΙΝΑΡΙ	33	4260	ΣΠΕΤΣΑΙ
6	2040	ΚΕΡΙ	34	1180	ΨΑΡΟΜΥΤΑ
7	2090	ΚΑΤΑΚΩΛΟ	35	5550	ΣΤΡΟΓΓΥΛΗ
8	2350	ΚΡΑΝΑΗ	36	4660	ΨΥΤΑΛΛΕΙΑ
9	3110	ΔΡΕΠΑΝΟ	37	6160	ΨΑΘΟΥΡΑ
10	8300	ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ	38	9640	ΠΡΑΣΣΟ
11	5250	ΑΥΛΙΑΔΑ	39	8040	ΦΑΣΣΑ
12	5540	ΒΑΣΙΛΙΝΑ	40	0350	ΑΝΤΙΠΑΞΟΙ
13	5670	ΑΡΚΙΤΣΑ	41	5510	ΠΟΝΤΙΚΟΝΗΣΙ
14	5140	ΒΡΥΣΑΚΙ	42	9540	ΣΤΡΟΓΓΥΛΗ
15	6410	ΚΑΣΣΑΝΔΡΑ	43	8050	ΓΡΗΑ
16	7010	ΠΛΑΚΑ	44	3330	ΣΙΔΕΡΟΣ
17	4570	ΣΟΥΣΑΚΙ	45	8380	ΣΠΑΘΙ
18	6090	ΓΟΥΡΟΥΝΙ	46	6340	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
19	6360	ΜΕΓ. ΕΜΒΟΛΟ	47	6840	ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗΣ
20	2320	ΤΑΙΝΑΡΟ	48	6210	ΑΞΙΟΣ
21	4010	ΜΑΛΕΑΣ	49	8320	ΤΑΜΕΛΟΣ
22	2465	ΚΑΨΑΛΙ	50	0320	ΠΑΝΑΓΙΑ
23	1020	ΑΓ. ΣΩΣΤΗΣ	51	8530	ΠΟΛΥΑΙΓΟΣ
24	0980	ΓΕΡΟΓΟΜΠΟΣ	52	5515	ΑΡΓΥΡΟΝΗΣΟΣ
25	7125	ΣΙΓΡΙ	53	5700	ΧΙΛΙΟΜΙΛΙ
26	7540	ΠΑΠΙΑΣ	54	5770	ΤΡΙΚΚΕΡΙ
27	7400	ΠΑΣΣΑΣ	55	6020	ΛΙΘΑΡΙ
28	2430	ΜΟΥΔΑΡΙ	56	0650	ΔΟΥΚΑΤΟ

ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

1. ΟΙ Α/Α 1 ΕΩΣ ΚΑΙ Α/Α 34 ΕΙΝΑΙ ΣΕ ΚΑΛΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
2. ΟΙ Α/Α 35 ΕΩΣ ΚΑΙ Α/Α 47 ΕΙΝΑΙ ΣΕ ΜΕΤΡΙΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
3. ΟΙ Α/Α 48 ΕΩΣ ΚΑΙ Α/Α 56 ΕΙΝΑΙ ΣΕ ΚΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Ο πρώτος φάρος στην Ελλάδα άναψε το 1829. Σήμερα οι περισσότεροι φάροι εμφανίζουν έντονα στοιχεία εγκατάλειψης, Σαφώς έχουν εκσυγχρονιστεί σε ο,τι αφορά τη λειτουργία τους, συνεχίζουν, ωστόσο, να δείχνουν φθαρμένοι, Δεδομένου ότι αποτελούν πραγματικά ιστορικά κειμήλια της χώρας μας.

Κεφάλαιο 8^ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 Μελέτη Αυτόνομου Υβριδικού Συστήματος για τη Τροφοδότηση του Ορειβατικού Καταφυγίου.

8.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί μελετάται το πρόβλημα της ηλεκτρικής τροφοδότησης του ορειβατικού καταφυγίου Φλαμπούρι Πάρνηθας. Το εν λόγω καταφύγιο βρίσκεται εντελώς απομακρυσμένο από το δίκτυο της ΔΕΗ και επομένως είναι απαραίτητη η εξασφάλιση της ηλεκτρικής ενέργειας που θα το τροφοδοτεί από άλλες πηγές. Η χρήση ντιζελογεννήτριας εκτός από το μεγάλο κόστος που επιφέρει λόγω της αυξημένης τιμής πετρελαίου που κατά κανόνα υπάρχει τα τελευταία χρόνια, έχει και μια σειρά άλλων μειονεκτημάτων όπως η υψηλή στάθμη θορύβου που δεν ταιριάζει στο χώρο του καταφυγίου, το οποίο προορίζεται για ξεκούραση και ανάπαυση ορειβατών και εκδρομέων. Το υψηλό κόστος συντήρησης της ντιζελογεννήτριας, ιδίως μετά την πάροδο κάποιων χρόνων είναι επίσης μεγάλο αφού τείνουν να χρειάζονται συχνά αλλαγή διαφόρων εξαρτημάτων τους, να εμφανίζουν τακτικά βλάβες ενώ πρέπει να συμπεριληφθεί στα προβλήματα που συνεπάγεται η χρήση τους και το πρόβλημα της συχνής μεταφοράς καυσίμων καθώς και της φύλαξης τους με ότι κινδύνους συνεπάγεται η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων εύφλεκτων υλικών.

Απ' την άλλη, η μεγάλη απόσταση που χωρίζει το ορειβατικό καταφύγιο με το δίκτυο διανομής της ΔΕΗ κάνει πολύ μεγάλο το κόστος επέκτασης του δικτύου προς τη μεριά του καταφυγίου και επομένως αυτή κρίνεται ως η πιο ασύμφορη λύση στο πρόβλημα της ηλεκτρικής τροφοδότησης.

Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσφέρει μια ικανοποιητική λύση στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του καταφυγίου. Η βελτίωση των τεχνολογιών στον τομέα των ΑΠΕ, η αύξηση του βαθμού απόδοσης τους και οι πιο προσιτές τιμές που υπάρχουν σήμερα δείχνουν πως αποτελεί μονόδρομο η χρησιμοποίησή τους. Σε αυτά όλα προστίθεται φυσικά και το μηδαμινό κόστος καυσίμου που έχουν αυτές οι τεχνολογίες.

Το πρόβλημα που ανακύπτει στην χρήση των ΑΠΕ είναι ότι μία πηγή από μόνη της δεν μπορεί να εξασφαλίσει αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή του καταφυγίου. Έτσι πχ. μια συστοιχία φωτοβολταϊκών θα παρείχε μεν ικανοποιητική ενέργεια κατά τους καλοκαιρινούς μήνες που υπάρχει μεγάλη ηλιοφάνεια, αλλά κατά την περίοδο του χειμώνα όπου ίσως και για εβδομάδες ο ήλιος δεν κάνει την εμφάνισή του θα υπήρχε παντελής έλλειψη ηλεκτρικού ρεύματος. Παρόμοια προβλήματα θα υπήρχαν και από τη χρήση κάποιας άλλης τεχνολογίας ΑΠΕ όπως πχ. μιας ανεμογεννήτριας όπου τους καλοκαιρινούς μήνες η ένταση των ανέμων πέφτει αρκετά.

Άρα η μόνη αξιόλογη λύση στο πρόβλημα της ηλεκτρικής τροφοδότησης είναι ο συνδυασμός περισσοτέρων της μιας πηγών ΑΠΕ ή αλλιώς η χρήση υβριδικού συστήματος. Με τη χρήση Υβριδικού συστήματος ξεπερνάμε τις προαναφερθείσες δυσκολίες αφού η μία πηγή ενέργειας αλληλοσυμπληρώνει την άλλη παρέχοντας συνεχή ροή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην δικιά μας τη περίπτωση, το ορειβατικό καταφύγιο Φλαμπούρι Πάρνηθας, επιλέξαμε την εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος το οποίο αποτελείται από Φωτοβολταϊκά - Ανεμογεννήτρια- Ντιζελογεννήτρια. Ο συνδυασμός των τριών αυτών διαφορετικών πηγών ενέργειας μας εξασφαλίζει μόνιμη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος και χαμηλού κόστους λειτουργίας. Το βάρος της τροφοδότησης του καταφυγίου αναλαμβάνουν τα φωτοβολταϊκά και η ανεμογεννήτρια αναλόγως της πιο συμφέρουσας κατά περίπτωση λύσης. Όταν αδυνατεί η μία πηγή να ανταπεξέλθει στην ηλεκτρική τροφοδότηση αναλαμβάνει αυτομάτως η άλλη. Η ντιζελογεννήτρια θα υπάρχει μόνο σαν εφεδρική πηγή σε περίπτωση που κανένα από τα δύο άλλα μέσα δεν επαρκεί για την τροφοδότηση του καταφυγίου ή στην σπάνια περίπτωση ταυτόχρονης βλάβης και των δύο άλλων πηγών.

Το υβριδικό σύστημα θα περιλαμβάνει και συσσωρευτές αποθήκευσης της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας που θα αρκούν για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων του καταφυγίου για 24 ώρες. Έτσι μειώνονται και άλλο οι πιθανότητες χρησιμοποίησης της ντιζελογεννήτριας και επομένως του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται.

Το ορειβατικό καταφύγιο Φλαμπούρι αποτελείται από δύο κτίρια, ένα κύριο και ένα βοηθητικό. Κάθε κτίριο περιλαμβάνει και σοφίτα. Καθημερινά μπορεί να φιλοξενηθούν έως και 30 άτομα στο καταφύγιο πράγμα που σημαίνει ότι οι απαιτήσεις του για ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι ευκαταφρόνητες.

8.2 Ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης κατοικίας

Για να μπορέσουμε να προχωρήσουμε στην σχεδίαση του Υβριδικού συστήματος πρέπει να υπολογίσουμε την ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης του ορειβατικού καταφυγίου. Για το λόγο αυτό εργαζόμαστε ως εξής:

- α. Γίνεται λεπτομερής καταγραφή όλων των ηλεκτρικών συσκευών που προβλέπεται να τροφοδοτηθούν στο καταφύγιο, της ισχύος του καθενός από αυτά καθώς και του πιθανού χρόνου λειτουργίας τους σε διάστημα ενός εικοσιτετραώρου.
- β. Υπολογίζεται η ημερήσια ενέργεια κατανάλωσης του καταφυγίου. Για να γίνει αυτό πολλαπλασιάζουμε την ηλεκτρική ισχύ κάθε συσκευής ξεχωριστά με το χρόνο που αναμένεται να λειτουργήσει. Έτσι υπολογίζεται η ηλεκτρική της κατανάλωση σε διάστημα ενός εικοσιτετραώρου ($E_k = P_k \cdot T$). Από το άθροισμα των καταναλώσεων προκύπτει η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης του καταφυγίου.
- γ. Εκτίμηση της μέγιστης ισχύος στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή καταγράφεται η πιθανότητα της ταυτόχρονης λειτουργίας περισσότερων συσκευών και υπολογίζεται η μέγιστη απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς.

Το αυτόνομο υβριδικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί όπως είδαμε έχει σαν στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του ορειβατικού καταφυγίου Φλαμπούρι Πάρνηθας. Επειδή τα κτίρια είναι δύο και τα άτομα το χρησιμοποιούν καθημερινά είναι πολλά, είναι λογικό οι ενεργειακές απαιτήσεις να είναι πολύ υψηλές. Για αυτό θα πρέπει να ακολουθηθούν κάποιοι βασικοί κανόνες ώστε το σύστημα μας να είναι οικονομικότερο:

- Είναι ασύμφορο να επιδιώκεται η χρήση υβριδικού συστήματος για τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη θερμική κατανάλωση (ηλεκτρικές κουζίνες, ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ). Οι ανάγκες αυτές πρέπει να καλύπτονται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως υγραέριο, πετρέλαιο ήλιος κλπ. Στην δική μας τη περίπτωση χρησιμοποιήσαμε ενεργειακό καλοριφέρ για θέρμανση, ηλιακό θερμοσίφωνα και boiler για τη θέρμανση νερού και φούρνο υγραερίου.
- Χρησιμοποιούμε ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/Z) για την αντιμετώπιση αιχμών ζήτησης από το να επιδιώκεται η πλήρης ικανοποίηση των καταναλώσεων με αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από μεγάλο βάρος και κόστος. Με το H/Z χρησιμοποιούμε συσσωρευτές μικρότερης χωρητικότητας και φωτοβολταϊκής συστοιχίας και ανεμογεννήτριας μικρότερης ισχύος.
- Χρησιμοποιούμε συσκευές υψηλής ενεργειακής απόδοσης, δηλαδή από ενεργειακή κλάση A και πάνω (A+, A++). Ειδικά για τους λαμπτήρες όπου είναι δυνατόν χρησιμοποιούνται τύπου LED, όπου έχουμε εξαιρετικά μικρή ισχύ κατανάλωσης.

Για να ξεκινήσει η μελέτη του υβριδικού μας συστήματος είναι απαραίτητο να γίνει καταγραφή των καταναλώσεων που λειτουργούν στο χώρο του καταφυγίου. Επειδή οι ενεργειακές ανάγκες του καταφυγίου κατά τη διάρκεια του έτους αλλάζουν σημαντικά από εποχή σε εποχή, όπως και οι συσκευές που λειτουργούν εντός αυτού είναι αναγκαίο να χωριστεί η μελέτη στις πιο χαρακτηριστικές περιόδους λειτουργίας του. Για το λόγο αυτό γίνεται μια λεπτομερής καταγραφή των ηλεκτρικών συσκευών του καταφυγίου, της ισχύος καθενός από αυτά καθώς και του πιθανού χρόνου λειτουργίας τους κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου. Η καταγραφή αυτή χωρίζεται σε ένα τυπικό χειμερινό και ένα καλοκαιρινό μήνα όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες αποκλίσεις στη λειτουργία του καταφυγίου. Τέλος υπολογίζεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των συσκευών που λειτουργούν, η εκτιμώμενη ημερήσια ενεργειακή κατανάλωση κάθε συσκευής καθώς και όλου του καταφυγίου.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh)
Εσωτερικός Φωτισμός Κεντρικού Κτιρίου 1	0,196	7	1,372
Εσωτερικός Φωτισμός Κεντρικού Κτιρίου 2	0,214	1,5	0,321
Εξωτερικός Φωτισμός Κεντρικού Κτιρίου	0,043	1	0,043
Φωτισμός Βοηθητικού Κτιρίου	0,17	0,1	0,017
Κυκλοφορητής Τζακιού - Καλοριφέρ	0,1	16	1,6
Αντλία Πίεσης Νερού	0,65	1,2	0,78
Ψυγείο	0,09	9	0,81
Καταψύκτης	0,15	12	1,8
Απορροφητήρας Κουζίνας	0,1	1,3	0,13
Φως Απορροφητήρα	0,0038	0,2	0,00076
Καφετιέρα	0,7	0,5	0,35
Υπολογιστής (φορητός)	0,05	1,5	0,075
Εκτυπωτής	0,01	0,05	0,0005
Τηλεόραση (LED)	0,056	0,3	0,0168
DVD player	0,01	0,3	0,003
Σtereοφωνικό Συγκρότημα	0,12	1,5	0,18
Φούρνος Μικροκυμάτων	0,6	0,15	0,09
Τοστιέρα	0,75	0,3	0,225
Αναμικτήρας Τροφών	0,3	0,05	0,015
Φορτιστής Κινητού	0,012	1,3	0,0156
Άλλοι Υπολογιστές (φορητοί)	0,1	1	0,1
Άλλοι Φορτιστές Κινητών	0,048	1,3	0,0624
Έκτακτες Καταναλώσεις	0,2	0,3	0,06
Σύνολο	4,673		8,067

Σχήμα 8.1 Χρησιμοποιούμενες ηλεκτρικές συσκευές, ισχύς και χρόνος λειτουργίας τους, ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση τους, συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους και ολική κατανάλωση του καταφυγίου για ένα τοπικό χειμερινό μήνα.

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση: 8.067 KWh

Συνολική ισχύς Φορτίων: 4,673 KW

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ	ΙΣΧΥΣ (kW)	ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (kWh)
Εσωτερικός Φωτισμός Κεντρικού Κτιρίου 1	0,196	4,5	0,882
Εσωτερικός Φωτισμός Κεντρικού Κτιρίου 2	0,214	1,5	0,321
Εξωτερικός Φωτισμός Κεντρικού Κτιρίου	0,043	2,3	0,0989
Φωτισμός Βοηθητικού Κτιρίου	0,17	0,1	0,017
Κυκλοφορητής Τζακιού - Καλοριφέρ	0	0	0
Αντλία Πίεσης Νερού	0,65	1,5	0,975
Ψυγείο	0,09	15	1,35
Καταψύκτης	0,15	15	2,25
Απορροφητήρας Κουζίνας	0,1	1,3	0,13
Φως Απορροφητήρα Καφετιέρα	0,0038	0,2	0,00076
Υπολογιστής (φορητός)	0,7	0,5	0,35
Εκτυπωτής	0,05	1,5	0,075
Τηλεόραση (LED)	0,01	0,05	0,0005
DVD player	0,056	0,3	0,0168
Στερεοφωνικό Συγκρότημα	0,01	0,3	0,003
Φούρνος Μικροκυμάτων	0,12	1,5	0,18
Τοστιέρα	0,6	0,15	0,09
Αναμικτήρας Τροφών	0,75 *	0,3	0,225
Φορτιστής Κινητού	0,3	0,05	0,015
Άλλοι Υπολογιστές (φορητοί)	0,012	1,3	0,0156
Άλλοι Φορτιστές Κινητών	0,1	1	0,1
Έκτακτες Καταναλώσεις	0,048	1,3	0,0624
Σύνολο	0,2	0,3	0,06
	4,573		7,218

Σχήμα 8.2 Χρησιμοποιούμενες ηλεκτρικές συσκευές, ισχύς και χρόνος λειτουργίας τους, ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση τους, συνολική εγκατεστημένη ισχύς τους και ολική κατανάλωση του καταφυγίου για ένα τοπικό καλοκαιρινό μήνα

Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση: 7,218KWh

Συνολική ισχύς Φορτίων: 4.573 KW

Όπου

- Εσωτερικός φωτισμός Κεντρικού Κτιρίου 1 : Τραπεζαρία, Κουζίνα, Προθάλαμος κεντρικού κτιρίου.
- Εσωτερικός Φωτισμός Κεντρικού Κτιρίου 2 : Ξενώνας, Τουαλέτα, Σκάλα -προθάλαμος ξενώνα, Υπόγεια αποθήκη, Κτίριο κολλητά κυρίως κτιρίου.
- Εξωτερικός Φωτισμός Κεντρικού Κτιρίου : Φως έξω από πόρτα, Φώτα βεράντας.

Παρατηρώντας τους πίνακες διαπιστώνουμε ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι λίγο μεγαλύτερη τον χειμερινό μήνα. Αυτό οφείλεται στη λειτουργία του κυκλοφορητή ο οποίος απουσιάζει παντελώς κατά τους καλοκαιρινούς μήνες αφού δεν υπάρχουν ανάγκες για θέρμανση τότε. Κάτι ανάλογο παρατηρείται και με τη συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια η οποία είναι μεγαλύτερη τους χειμερινούς μήνες. Αποφασίσαμε συνεπώς η μελέτη της υβριδικής εγκατάστασης να γίνει για το μήνα Δεκέμβριο αφού τότε έχουμε τις υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις και παράλληλα τις δυσμενέστερες κλιματολογικές συνθήκες (πολύ μικρός χρόνος ηλιοφάνειας).

Το πρώτο βήμα στην μελέτη του υβριδικού συστήματος αποτελεί η επιλογή της κλίσης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών. Για τη επιλογή μας αυτή χρησιμοποιούμε το πρόγραμμα **PV GIS**. Το πρόγραμμα αυτό λειτουργεί υπό της αιγίδα της European Commission και αποτελεί ένα εργαλείο για την σωστή εκτίμηση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών και της ισχύος που παρέχουν με βάση τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής.

Αφού βρούμε το ορειβατικό καταφύγιο μέσω δορυφόρου και το μαρκάρουμε στο πρόγραμμα PV GIS αρχίζουμε να προσθέτουμε τις υπόλοιπες παραμέτρους για τον υπολογισμό της εγκατάστασης μας. Συγκεκριμένα ορίζουμε ως τεχνολογία φωτοβολταϊκών το κρυσταλλικό πυρίτιο, εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών συλλεκτών **4,3 KW** όπως προέκυψαν από τους πίνακες ηλεκτρικών καταναλώσεων. Τρόπος τοποθέτησης των συλλεκτών στο έδαφος πάνω σε διαμορφωμένες βάσεις και αζιμούθιο μηδέν καθώς βρισκόμαστε στο βόρειο ημισφαίριο.

Μετά από διαδοχικές δοκιμές στο πρόγραμμα καταλήξαμε στην επιλογή της κλίσης των **55°** για τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, διότι του χειμερινούς μήνες (κατά τους οποίους έχουμε την ελάχιστη παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια), η κλίση αυτή δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.



Σχήμα 8.3 Το ορειβατικό καταφύγιο Φλαμπόρι Πάρνηθας όπως φαίνεται απ' το δορυφόρο πρόγραμμα PVGIS.

Radiation database: **Classic PVGIS** [v]
 [What is this?]
 PV technology: **Crystalline silicon** [v]
 Installed peak PV power **4.3** kWp
 Estimated system losses [0;100] **28.5** %
Fixed mounting options:
 Mounting position: **Free-standing** [v]
 Slope [0;90] **55** ° Optimize slope
 Azimuth **0** ° Also optimize azimuth
(Azimuth angle from -180 to 180. East=-90, South=0)
Tracking options:
 Vertical axis Slope [0;90] **0** ° Optimize
 Inclined axis Slope [0;90] **0** ° Optimize
 2-axis tracking
 Horizon file
 Δεν έχει επιλεγεί κανένα αρχείο
Output options
 Show graphs Show horizon
 Web page Text file PDF
 [help]

Σχήμα 8.4 Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα PVGIS.

8.3 Υπολογισμός Φωτοβολταϊκού Συστήματος

Στην προηγούμενη ενότητα επιλέξαμε με τη χρήση του προγράμματος PV GIS κλίση 55° για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και Νότιο προσανατολισμό. Επιπλέον, δείξαμε ότι η μικρότερη μέση ημερήσια ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας για την περιοχή του καταφυγίου σ' αυτή τη κλίση είναι:

$$E_{HA} = 2.83 \text{ kWh/m}^2/\text{day} \text{ (για το μήνα Δεκέμβριο)}$$

Η ισχύς αιχμής $P_{P\Sigma}$ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων μιας ημέρας αυτονομίας είναι:

$$P_{P\Sigma} = \frac{E_k \cdot P_{STC} \cdot N}{E_{HA} \cdot \sigma_{AS} \cdot \sigma_\mu \cdot (N - n)}$$

όπου,

$P_{STC} = 1 \text{ KW/m}^2$, ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες STC.

$E_k = 8,067 \text{ KWh}$, η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης το Χειμώνα.

$E_{HA} = 2.83 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ (για το μήνα Δεκέμβριο), ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

$\sigma_{AS} = 0.95 \cdot \sigma_\theta$, συντελεστής απωλειών συστοιχίας για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα

Συντελεστής θερμοκρασίας:

$$\sigma_\theta = 1 - [(t_a + 30) - 25] \cdot 0,004 = 0,94 \text{ με}$$

$t_a = 7,9^\circ\text{C}$, μέση μηνιαία θερμοκρασία ημέρας αέρα για το μήνα Δεκέμβριο

$\sigma_\mu = n_{conv} \cdot n_w \cdot n_{inv} \cdot \eta_E = 0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,94 \cdot 0,85 = 0,7$, συντελεστής μεταφοράς απωλειών ενέργειας της εγκατάστασης, η οποία περιλαμβάνει ηλεκτρικό συσσωρευτή, ελεγκτή φόρτισης, γραμμές μεταφοράς και inverter

$N = 31$ ημέρες (χρονική περίοδος αναφοράς)

$n = 1$ ημέρα (αριθμός ημερών αυτονομίας)

Μετά τους απαραίτητους υπολογισμούς προκύπτει ότι:

$$P_{P\Sigma} = 4,33 \text{ KW}_P$$

Άρα η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών πλαισίων πρέπει να είναι κοντά σε αυτή την τιμή για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών για τους χειμερινούς μήνες.

Για τους καλοκαιρινούς μήνες ισχύει:

$$\sigma_{\theta} = 0,88 \text{ (αφού } \dot{i}_{-} = 25,6^{\circ} \text{ C)}.$$

$$E_{\kappa} = 7,218 \text{ KWh.}$$

$$E_{HA} = 5,62 \text{ KWh/m}^2 / \text{day}$$

Άρα η απαιτούμενη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για το καλοκαίρι είναι:

$$P_{\rho\sigma} = 2,693 \text{ KW}_V$$

Συνεπώς αρκεί η κάλυψη των αναγκών μας το μήνα Δεκέμβριο για να καλύψουμε όλο το έτος.

Επιλέγουμε τη χρήση Φωτοβολταϊκών πλαισίων της εταιρίας Luxor γερμανικής προέλευσης, σειράς Eco Line, μοντέλο LX-240P .Το συγκεκριμένο πλαίσιο είναι κατασκευασμένο από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, αποτελείται από 60 κύτταρα, έχει ονομαστική τάση $240W_P$ και βαθμό απόδοσης 14,89%.



Σχήμα 8.5 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο Luxor Eco Line LX-240P.

Ηλεκτρικά δεδομένα LX-240P

- ✚ Ονομαστική ισχύς P_{mp} [Wp] 240,00
- ✚ Εύρος P_{mp} 241,50 - 246,49
- ✚ Ονομαστικό ρεύμα I_{mp} [A] 7,95
- ✚ Ονομαστική τάση V_{mp} [V] 30,40
- ✚ Ρεύμα βραχυκυκλώματος I_{sc} [A] 8,49
- ✚ Τάση άνευ φορτίου [V] 37,76
- ✚ Βαθμός απόδοσης σε STC 14,89 %
- ✚ Βαθμός απόδοσης σε 200 W/m² 14,18 %
- ✚ NOCT[°C]47±2°C

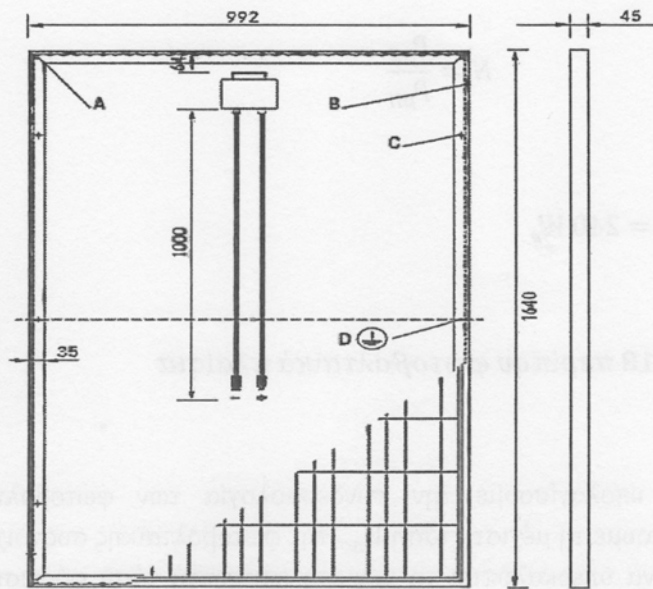
Οριακές Τιμές LX-240P

- ✚ Μέγιστη τάση συστήματος [V] 1000 V
- ✚ Μέγιστο ρεύμα επιστροφής [Γ] 15 A
- ✚ Εύρος θερμοκρασίας - 40 έως 85°C
- ✚ Ζώνη φορτίου χιονιού 1 άδεια έως SLZ 3 (σύμφωνα με DIN 1055)
- ✚ Μέγιστο φορτίο πίεσης 5400 Pa
- ✚ Συντελεστής θερμοκρασίας LX - 240P
- ✚ Συντελεστής θερμοκρασίας [U] | [I] | [P] - 0,32 % /°C | 0,05 % /°C | - 0,45 % /°C

Τεχνικές πληροφορίες LX-240P

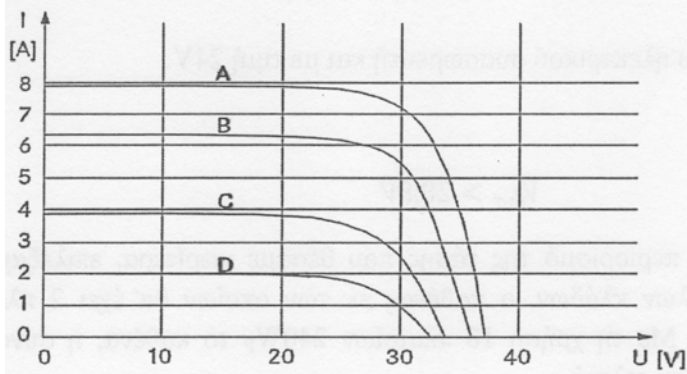
- ✚ Αριθμός κυψελών 6x10, τρία strings σε σειρά at
Μέγεθος κυψελών 156 χιλ. x 156 χιλ.
- ✚ Διαστάσεις πλαισίου (M x Π x Y)2 | Βάρος 1640 χιλ. x 992 χιλ. x 45 χιλ. | 21,0 κιλά
- ✚ Μπροστινό κάλυμμα 3,2 χιλ. σκληρυμένο, ηλιακό γυαλί με ελάχιστο ποσοστό σιδήρου
- ✚ Πλαίσιο ανθεκτικό, ανοδιωμένο αλουμινένιο πλαίσιο σε κατασκευή κοίλου θαλάμου
- ✚ Κουτί σύνδεσης πλαστικό (PPO) (Οξειδίο πολυφαινλενίου), ΓΡ65, αεριζόμενο
- ✚ Καλώδια σύνδεσης 4 mm² ηλιακό καλώδιο, μήκος καλωδίου 1,0 μ.
- ✚ Σύνδεση υψηλής ποιότητας σύστημα σύνδεσης, (IP65) MC4 ή ισότιμο
- ✚ Τεστ χαλαζόπτωσης 0 45 mm | Ταχύτητα 23 m/s
- ✚ Πυρασφάλιση στην περίπτωση BROOF(ti) κατά DIN EN 13501-5

Πίσω όψη / Μπροστινή όψη / Πλαϊνή όψη²

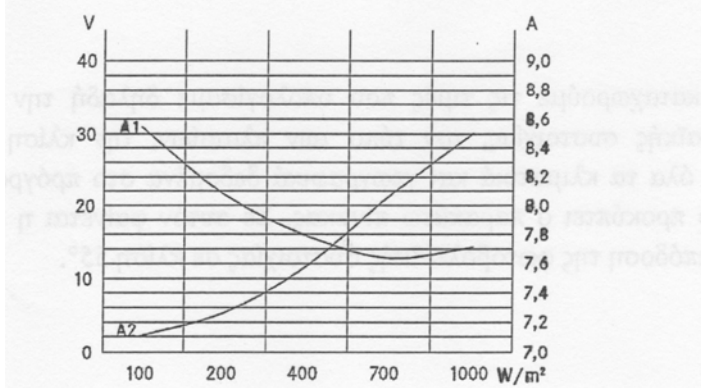


- A: 4 x Αποστράγγιση 10*10 χιλ
- B: 8 x Άνοιγμα εξερισμού 3*7 χιλ
- C: 8 x Οπή συναρμολόγησης³ d = 7 χιλ
- D: 2 x Γείωση d = 2 χιλ

Χαρακτηριστικές καμπύλες



- A: 1000 W/m² | B: 800 W/m²
- C: 500 W/m² | D: 250 W/m²



A1: I_{mpp} | A2: V_{mpp}

Με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πίνακα το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτούνται είναι:

$$N = \frac{P_{\rho\Sigma}}{P_{\rho\Pi}}$$

όπου:

$$P_{\rho\Sigma} = 4,33 \text{KW}_p \text{ και } P_{\rho\Pi} = 240 \text{ W}_p$$

Επομένως

$$N \approx 18 \text{περίπου φωτοβολταϊκά πλαίσια}$$

Στη συνέχεια για να υπολογίσουμε την συνδεσμολογία των φωτοβολταϊκών πλαισίων, πρέπει να ορίσουμε τη μέγιστη τάση $V_{m\sigma}$ της φωτοβολταϊκής συστοιχίας. Η τάση $V_{m\sigma}$ φροντίζουμε να υπερκαλύπτει τη μέγιστη επιτρεπτή τάση φόρτισης του συσσωρευτή, η οποία προσεγγιστικά ισούται με $\sim 1,2V_B$, όπου V_B η ονομαστική τάση του συσσωρευτή. Επομένως ισχύει:

$$V_{m\sigma} > 1,2V_B$$

όπου,

V_B ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή και με τιμή 24V.

Επομένως έχουμε:

$$V_{m\sigma} > 28,8V$$

Για να καλύπτουμε το περιορισμό «της τάσης που θέσαμε νωρίτερα, επιλέξαμε τη δημιουργία 9 παράλληλων κλάδων, ο καθένας εκ των οποίων θα έχει 2 πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Με τη χρήση 18 πλαισίων 240Wp το καθένα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι τελικά:

$$P_m = n \cdot P_{mI} = 18 \cdot 240 = 4,32 \text{ KW}_p$$

Στη συνέχεια καταχωρούμε τις τιμές που υπολογίσαμε δηλαδή την ισχύ αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, τον τύπο των πλαισίων, την κλίση των συλλεκτών καθώς και όλα τα κλιματικά και γεωγραφικά δεδομένα στο πρόγραμμα PV GIS, απ' το οποίο προκύπτει ο παρακάτω πίνακας. Σε αυτόν φαίνεται η μέση ημερήσια ενεργειακή απόδοση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε κλίση 55°.

Performance of Grid-connected PV

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 38°9'41" North, 23°44'49" East, Elevation: 1143 m a.s.l.,
Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 4.3 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 9.3% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.8%

Other losses (cables, inverter etc.): 28.5%

Combined PV system losses: 37.0%

Fixed system: Inclination=55 deg, orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	9.38	291	3.28	102
Feb	10.60	297	3.76	105
Mar	12.90	400	4.61	143
Apr	14.50	434	5.27	158
May	14.20	441	5.34	165
Jun	14.30	428	5.48	165
Jul	14.50	449	5.62	174
Aug	15.00	465	5.80	180
Sep	15.30	458	5.75	173
Oct	12.50	388	4.61	143
Nov	9.44	283	3.39	102
Dec	8.06	250	2.83	87.6
Year	12.60	382	4.65	141
Total for year		4580		1700

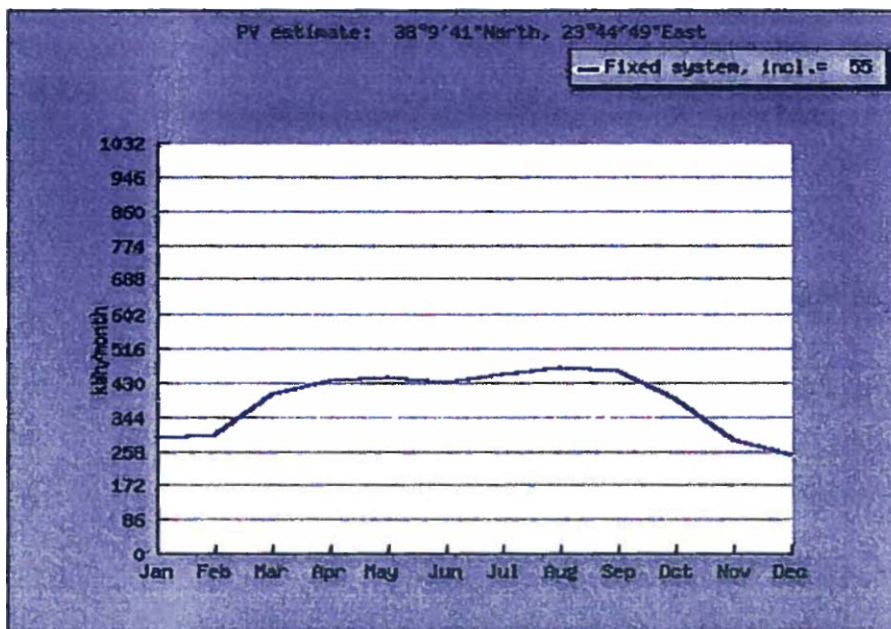
Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh)

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh)

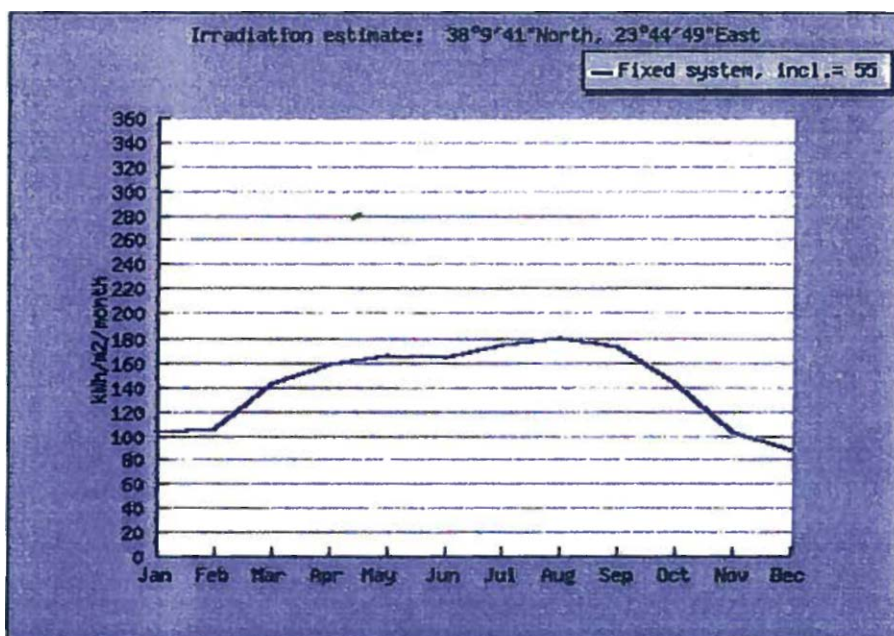
Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

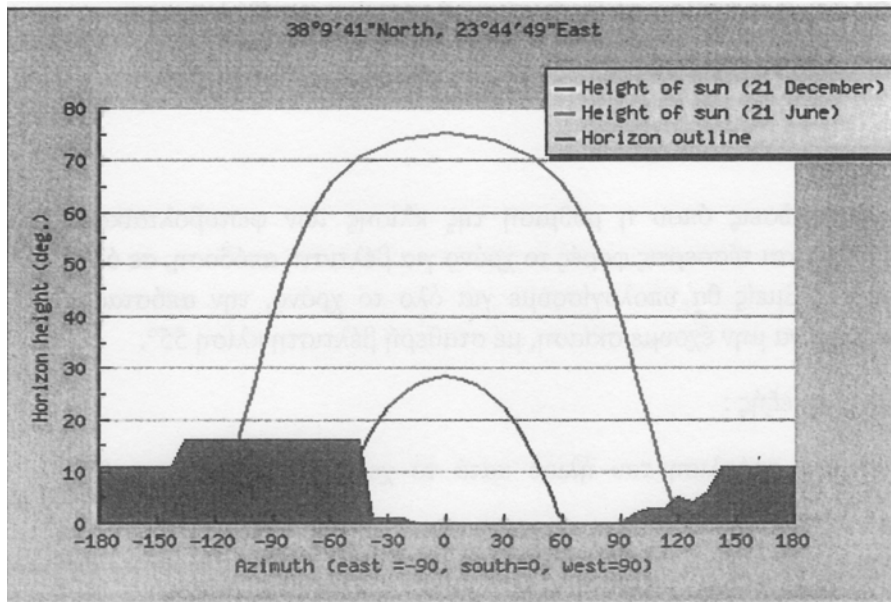
Σχήμα 8.6 Ενεργειακές απολαβές της εγκατεστημένης φωτοβολταϊκής συστοιχίας στην περιοχή του καταφυγίου.



Σχήμα 8.7 Παραγωγή ενέργειας σε KWh απ'τη φωτοβολταϊκή συστοιχία για κάθε μήνα του έτους σε κλίση 55°.



Σχήμα 16.8 Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε KWh/m² για κλίση 55°.



Σχήμα 8.9 Μεταβολή του ύψους του ορίζοντα στην περιοχή του καταφυγίου σε μοίρες στο θερινό ηλιοστάσιο και στο χειμερινό ηλιοστάσιο.

Απ' τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται ότι η εγκατάσταση καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές μας ανάγκες, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, και μάλιστα το μήνα Δεκέμβριο κατά τον οποίο έχουμε τις δυσμενέστερες συνθήκες, η ενέργεια που παράγεται είναι ακριβώς ίση με τις ενεργειακές μας απαιτήσεις. Επομένως δεν έχει γίνει υπερδιαστασιολόγηση του εν λόγω συστήματος και οι εφεδρικές πηγές που θα υπάρξουν θα έχουν στόχο να καλύψουν τις αιχμές ζήτησης μέσα στη μέρα και τις ημέρες αυτονομίας.

8.4 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συλλεκτών με βέλτιστη κλίση 55°, για όλο το χρόνο.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η ρύθμιση της κλίσης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών γίνεται δύο ή και τέσσερις φορές το χρόνο για βέλτιστη απόδοση, σε όλη τη διάρκεια του έτους. Εμείς θα υπολογίσουμε για όλο το χρόνο, την απόσταση ανάμεσα στις σειρές, για να μην έχουμε σκίαση, με σταθερή βέλτιστη κλίση 55°.

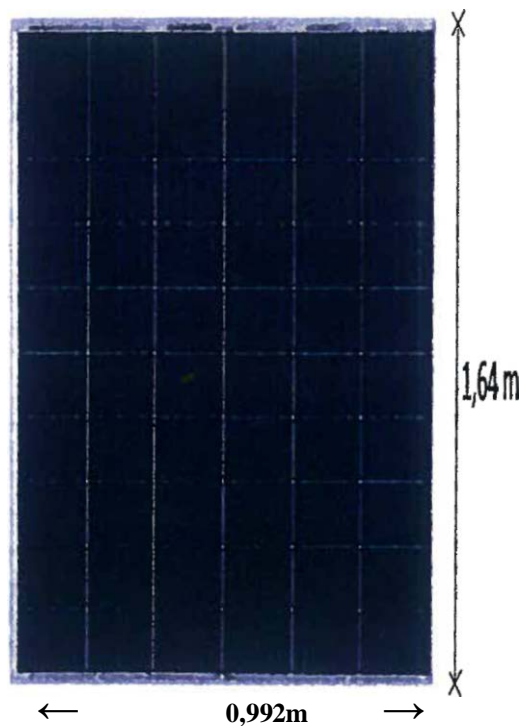
Τα δεδομένα μας είναι τα εξής :

$\delta = - 23,45^\circ$, η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο (21 Δεκεμβρίου).

$\Phi = 38^\circ$, το γεωγραφικό πλάτος για την περιοχή του ορεινού καταφυγίου.

$B = 55^\circ$, Η βέλτιστη κλίση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών για όλο τον χρόνο.

Διαστάσεις φωτοβολταϊκού συλλέκτη :



Σχήμα 8.10 Φωτοβολταϊκά πλαίσιο Luxor Eco Line LX-240P.

Μήκος $h = 1,64 \text{ m}$ - Πλάτος $L = 0,992 \text{ m}$ - Πάχος $v = 0,045 \text{ m}$.

Όπως υπολογίσαμε παραπάνω θα χρησιμοποιήσουμε 18 τέτοια, φωτοβολταϊκά πλαίσια για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του ορεινού καταφυγίου. Κατά την τοποθέτηση στον ειδικά μελετημένο χώρο δίπλα από το ορεινό καταφύγιο, θα κατασκευάσουμε φωτοβολταϊκό πάνελ το οποίο θα αποτελείται από δύο φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετημένα οριζόντια. Δηλαδή το ύψος του φωτοβολταϊκού πάνελ θα είναι $2L = 1,984 \text{ m}$ και το πλάτος θα είναι $h = 1,64 \text{ m}$. Έτσι θα σχηματίσουμε δύο σειρές (συστοιχίες) με 5 στην πρώτη και 4 στην δεύτερη φωτοβολταϊκά πάνελ (σχήμα 8.12).

Έχουμε επίσης, γωνία $\theta = \varphi - \delta = 38^\circ - (-23,45^\circ) \Rightarrow \theta = 61,45^\circ$.

Το ύψος του Ήλιου κατά την ηλιακή μεσημβρία, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση,

$$n_n = 90^\circ - \theta = 90^\circ - 61,45^\circ \Rightarrow n_n = 28,55^\circ. \text{ Η}$$

απόσταση ανάμεσα στις σειρές θα είναι:

$$x = 2L \left[\frac{\eta\mu(n_n + B)}{\eta\mu n_n} \right] = 1,984 \left[\frac{\eta\mu(28,55^\circ + 55^\circ)}{\eta\mu 28,55^\circ} \right] \Rightarrow$$

$$x = 1,984 \left[\frac{\eta\mu 83,5^\circ}{\eta\mu 28,55^\circ} \right] = 1,984 \left[\frac{0,99}{0,47} \right] \Rightarrow$$

$$x = 4,12 \text{ m.}$$

Η απόσταση στη βάση θα είναι:

Πλάτος βάσης :

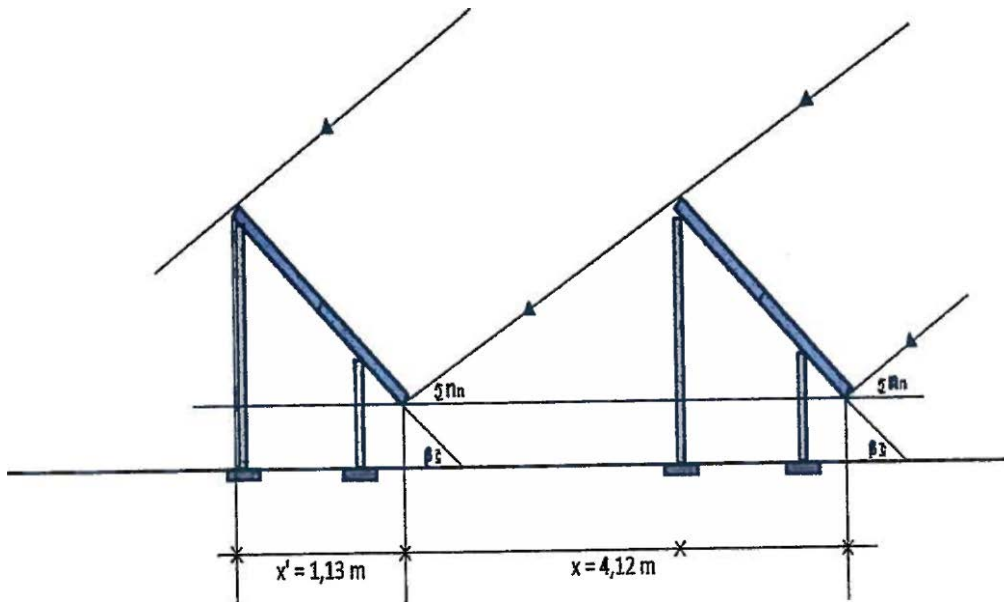
$$x' = 2L \cdot \sigma\upsilon\nu B = 1,984 \cdot \sigma\upsilon\nu 55^\circ \Rightarrow$$

$$\chi' = 1,13 \text{ m.}$$

Το πλάτος Y' που καταλαμβάνουν ' στο έδαφος οι δύο σειρές θα είναι:

$$Y' = [(v-1) \cdot \chi + \chi'] = [(2-1) \cdot 4,12 + 1,13] \Rightarrow$$

$$Y' = 5,25 \text{ m.}$$



Σχήμα 8.11 Τρόπος στήριξης συλλεκτών στο έδαφος, πλάγια όψη, (τοποθέτηση μεταλλικών βάσεων) για μόνιμη κλίση, για γωνία 55° .

Το μήκος y_1 της 1^{ης} σειράς θα είναι:

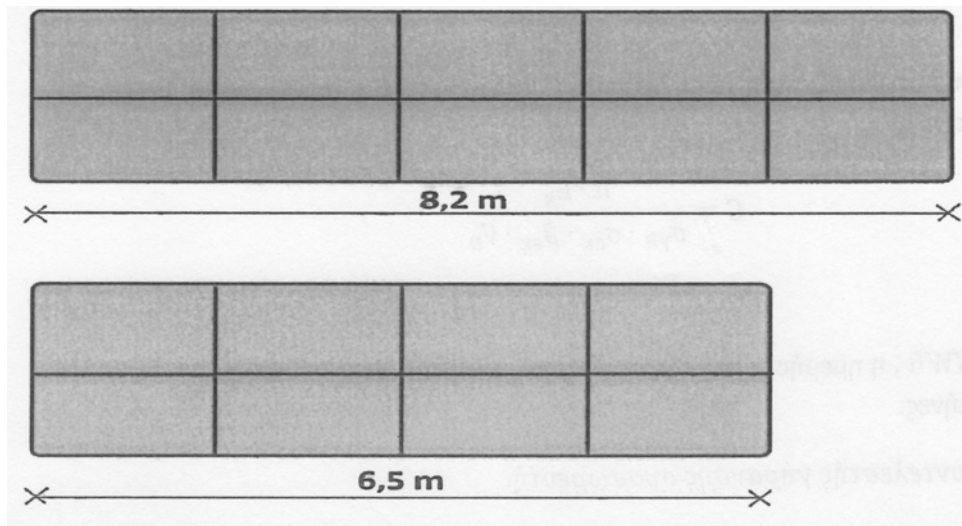
$$y_1 = K \cdot h = 5 \cdot 1,64 \Rightarrow$$

$$y_1 = 8,2 \text{ m.}$$

Το μήκος y_2 της 2^{ης} σειράς θα είναι

$$Y_2 = K \cdot h = 4 \cdot 1,64 \Rightarrow$$

$$y_2 = 6,5 \text{ m.}$$



^η
Σχήμα 8.12 Πρόσοψη φωτοβολταϊκών συλλεκτών.

Υπολογισμός εμβαδού 1^{ης} σειράς (5 φωτοβολταϊκά πάνελ).

$$F_{s1} = y_1 \cdot x' = 8, 2 \cdot 1, 13 \Rightarrow$$

$$F_{s1} = 9,266 \text{ τμ.}$$

Υπολογισμός εμβαδού 2^{ης} σειράς (4 φωτοβολταϊκά πάνελ).

$$F_{s2} = y_2 \cdot x' = 6, 5 \cdot 1, 13 \Rightarrow$$

$$F_{s2} = 7,345$$

Διαφορά μεταξύ 1^{ης} και 2^{ης} σειράς:

$$F_{s1-s2} = 9,266 - 7,345 = 1,921 \text{ τμ}$$

Η συνολική έκταση που απαιτείται για την τοποθέτηση των 9 φωτοβολταϊκών πάνελ (18 Φ/Β πλαίσια), σε 2 σειρές, χωρίς να έχουμε σκίαση, είναι:

$$F_s = y_1 - y' = 8, 2 \cdot 5, 25 \Rightarrow$$

$$F_s = 43, 05 \text{ τμ.}$$

Αφαιρώντας από το F_s το F_{s1-s2} , θα έχουμε τελικά το εμβαδόν που απαιτείται για την τοποθέτηση των 9 φωτοβολταϊκών πλαισίων :

$$F_{es} = F_s - F_{s1-s2} = 43, 05 - 1,921 \Rightarrow$$

$$F_{ES} = \mathbf{41,129 \text{ τμ.}}$$

8.5 Υπολογισμός χωρητικότητας συσσωρευτών

Κατόπιν υπολογίζεται η χωρητικότητα C του ηλεκτρικού συσσωρευτή. Ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$C = \frac{n \cdot E_k}{\sigma_{\gamma B} \cdot \sigma_{εκ} \cdot \beta_{εκ} \cdot V_B}$$

όπου,

$E_k = 8,067 \text{ KWh}$, η ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης για τους χειμερινούς μήνες.

$\sigma_{\gamma B} = 0,8$, συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή.

$\sigma_{εκ} = 0,91$, συντελεστής μεταφοράς ενέργειας στο κύκλωμα εκφόρτισης

$\beta_{εκ} = 0,6$, βάθος εκφόρτισης συσσωρευτών για 1 ημέρα αυτονομίας

$n = 1$ ημέρα

$V_B = 24V$ η ονομαστική τάση συσσωρευτή

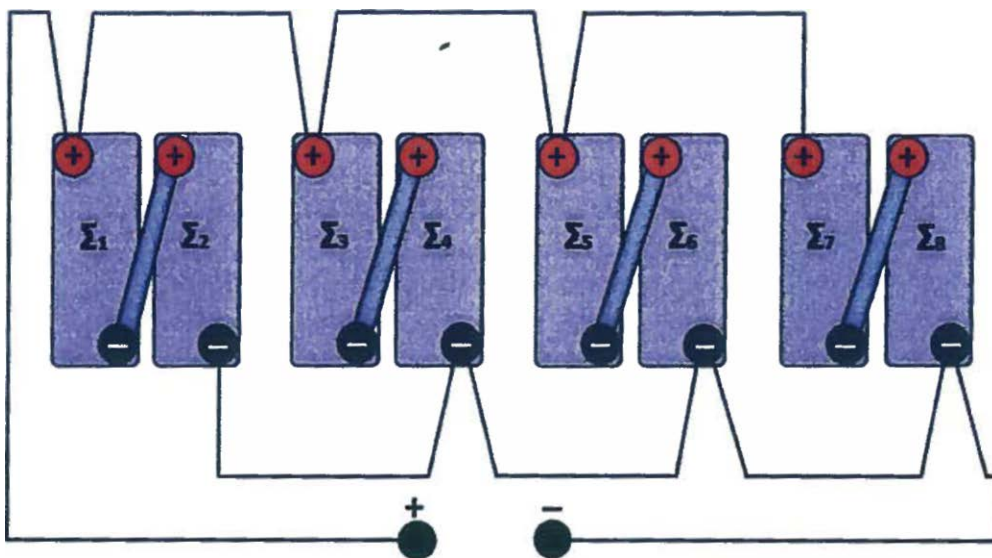
Από την παραπάνω σχέση η χωρητικότητα προκύπτει $C = 769,53Ah$

Θα χρησιμοποιήσουμε στο σύστημα μας συσσωρευτές της εταιρίας Solar Systems τύπου AGM 200AH με τάση 12V και χωρητικότητα 200Ah/4h. Προτιμήθηκαν συσσωρευτές τύπου AGM διότι χρησιμοποιούν Boron-Silicate Glass Mat μεταξύ των πλακών. Ο ηλεκτρολύτης είναι μέσα στο Glass Mat και δεν υπάρχει κίνδυνος διαρροής σε περίπτωση σπασίματος της μπαταρίας. Επίσης δεν υπάρχει κίνδυνος παγώματος της μπαταρίας σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες αφού δεν υπάρχουν υγρά μέσα. Η τάση φόρτισης είναι η ίδια όπως για κάθε απλή μπαταρία και λόγω του ότι η εσωτερική αντίσταση είναι εξαιρετικά μικρή δεν υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης της μπαταρίας κάτω από συνθήκες γρήγορη φόρτισης ή εκφόρτισης. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης είναι πολύ χαμηλός της τάξης του 1-3% μηνιαία που σημαίνει ότι μπορούν να μείνουν εκτός φόρτισης για περισσότερο χρονικό διάστημα χωρίς να πέσει ιδιαίτερα η απόδοση της. Οι πλάκες στην AGM είναι ιδιαίτερα συμπαγείς και αντέχουν περισσότερους κραδασμούς από κάθε άλλη μπαταρία. Έχουν διάρκεια ζωής 10-12 χρόνια ενώ είναι κατάλληλες για κυκλικές, πολλαπλές φορτίσεις με εφαρμογές σε φωτοβολταϊκά συστήματα.



Σχήμα 8.13 Συσσωρευτής Solar Systems AGM200A Ητάσης 12V και χωρητικότητας 200Ah

Η συστοιχία των συσσωρευτών θα περιλαμβάνει 4 παράλληλους κλάδους με 2 συσσωρευτές σε σειρά ανά κλάδο, δηλαδή συνολικά απαιτούνται 8 συσσωρευτές. Η σύνδεση σε σειρά καθορίζει την ονομαστική τάση ($V_B = 2 \cdot 12 = 24V$) και η παράλληλη σύνδεση καθορίζει την ονομαστική χωρητικότητα ($C = 4 \cdot 200 = 800.4/i$). Τα καλώδια θα πρέπει να έχουν κατάλληλη διατομή για να μεταφέρουν με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες (πτώση τάσης, ανάπτυξη θερμότητας κλπ) το ηλεκτρικό ρεύμα από τον αυτόματο ρυθμιστή - φορτιστή προς τους συσσωρευτές και από εκεί στον ηλεκτρονικό αναστροφέα. Στα σημεία σύνδεσης με τους πόλους θα πρέπει να γίνεται χρήση ακροδεκτών - σφικτήρων και θα εξασφαλίζεται πολύ καλή ηλεκτρική σύνδεση. Οι πόλοι πριν από τη σύνδεση θα πρέπει να καθαρίζονται με βούρτσα και να πλένονται με διάλυμα σόδας. Πριν και μετά τη σύσφιξη των ακροδεκτών πρέπει να αλείφονται με αντιδιαβρωτικό γράσο ή βαζελίνη.



Σχήμα 8.14 Τρόπος σύνδεσης συσσωρευτών υβριδικού συστήματος.

Η κάθε συστοιχία έχει μέγιστο ρυθμό εκφόρτισης:

$$200Ah/4h = 50A$$

και συνολικά οι 4 συστοιχίες $50 \cdot 4 = 200A$. Η συνολική ισχύς που μας παρέχουν σ'αυτή την περίπτωση είναι:

$$P = V \cdot I \Rightarrow P = 24 \cdot 200 \Rightarrow P = 4800W$$

Επομένως υπερκαλύπτεται η ισχύς αιχμής των 4673W.

8.6 Επιλογή Ρυθμιστή Φόρτισης

Το επόμενο βήμα μας είναι η επιλογή του κατάλληλου ελεγκτή - ρυθμιστή φόρτισης. Η τάση του ρυθμιστή φόρτισης πρέπει να είναι ίση με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή, δηλαδή στην περίπτωση μας 24V. Το μέγιστο ρεύμα εισόδου του ρυθμιστή φόρτισης προκύπτει αν πολλαπλασιάσουμε τη μέγιστη ένταση ρεύματος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας με το συντελεστή ασφαλείας 1,2. Ισχύει:

$$I_{m\Sigma} = I_{m\Pi} \cdot N_{\Pi} = 7,95 \cdot 9 = 71,55 \text{ A}$$

όπου

$I_{m\Sigma}$ η μέγιστη ένταση ρεύματος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας .

$I_{m\Pi} = 7,95$ η μέγιστη ένταση ρεύματος του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

$N_{\Pi} = 9$, ο αριθμός των παράλληλων κλάδων της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Άρα το μέγιστο ρεύμα εισόδου του ρυθμιστή φόρτισης είναι: $1,2 \cdot I_{m\Sigma} = 85,86 \text{ A}$

Η ονομαστική τάση στην είσοδο του ρυθμιστή φόρτισης προκύπτει αν πολλαπλασιάσουμε την ονομαστική τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας με το συντελεστή ασφαλείας 1,2. Ισχύει:

$$V_{m\Sigma} = V_{m\Pi} \cdot N_{\Sigma} = 30,4 \cdot 2 = 60,8 \text{ V}$$

όπου

$V_{m\Sigma}$ η ονομαστική τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας

$V_{m\Pi} = 30,4$, η ονομαστική τάση του φωτοβολταϊκού πλαισίου

$N_{\Sigma} = 2$, ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά

Άρα η ονομαστική τάση εισόδου του ρυθμιστή φόρτισης είναι: $1,2 \cdot V_{m\Sigma} = 72,96 \text{ V}$

Αντίστοιχα προκύπτει και η τάση στη λειτουργία χωρίς φορτίο η οποία είναι 90,6 V.

Το ρεύμα εξόδου του ελεγκτή φόρτισης πρέπει να μπορεί να δώσει το μέγιστο ρεύμα στα φορτία κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα. Θεωρούμε ότι η μέγιστη απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύς για την ταυτόχρονη λειτουργία συσκευών είναι

$P_K = 4,673 \text{ KW}$. Η τάση κατανάλωσης είναι $V_K = 230 \text{ V}$. Άρα το ρεύμα εξόδου θα είναι $P_K/V_K = 20,3 \text{ A}$. Επομένως το μέγιστο ρεύμα εξόδου είναι $20,3 \cdot 1,2 = 24,36 \text{ A}$.

Συνεπώς, θα πρέπει να επιλέξουμε ελεγκτή - ρυθμιστή φόρτισης με τα εξής χαρακτηριστικά:

- μέγιστο ρεύμα εισόδου: 85,86 A
- ονομαστική τάση εισόδου: 72,96 V
- τάση στη λειτουργία χωρίς φορτίο: 90,6 V
- μέγιστο ρεύμα εξόδου: 24,36 A

Επιλέγεται ο ρυθμιστής FM80-150VDC Charge Controller, της εταιρίας FLEXmax.



Σχήμα 8.15 Ο ρυθμιστής φόρτισης FM80-150VDC Charge Controller, της εταιρίας FLEXmax.

FLEXmax	F.M80-150VDC Specifications
Max PV Input Current	95 A
Maximum Output Current	80 A at 104° F (40°C) with adjustable current limit
Maximum Solar Array STC Nameplate	7500 Watts
NEC Recommended Solar Array STC Nameplate	5000 Watts
PV Open Circuit Voltage (VOQ)	150 VDC absolute maximum coldest conditions /145 VDC start-up and operating maximum
Power Conversion Efficiency	97.5% at 80 A in a 48 VDC System - Typical
Charging Regulation	Five Stages: Bulk, Absorption, Float, Silent and Equalization
Voltage Regulation Set points	10 to 60 VDC user adjustable with password protection
Equalization Charging	Programmable Voltage Setpoint and Duration - Automatic Termination when completed
Battery Temperature Compensation	Automatic with optional RTS installed / 5.0 mV per °C per 2V battery cell
Voltage Step-Down Capability	Can charge a lower voltage battery from a higher voltage PV array - Max 150 VDC input
Programmable Auxiliary Control Output	12 VDC output signal which can be programmed for different control applications (Maximum of 0.2 amps DC)
Status Display	3.1" (8 cm) backlit LCD screen - 4 lines with 80 alphanumeric characters total
Remote Display and Controller	Optional Mate or Mate2 with RS232 Serial Communications Port
Network Cabeling	Proprietary network system using RJ 45 Modular Connectors with CAT 5e Cable (8 wires)
Data Logging	Last 128 days of Operation - Amp Hours, Watt Hours, Time in Float, Peak Watts, Amps, Solar Array Voltage, Max Battery Voltage Min Battery Voltage and Absorb for each day along with total Accumulated Amp Hours, and kW Hours of production
Hydro Turbine Applications	Consult factory for approved Turbines
Positive Ground Applications	Requires two Pole Breakers for switching both positive and Negative Conductors on both Solar Array and Battery Connections (HUB 4 and HUB 10 can not be used for use in positive ground applications)
Operating Temperature Range	Minimum -40° to maximum 60° C (Power capacity of the controller is automatically derated when operated above 40° C)
Environmental Rating	Indoor Type 1
Conduit Knockouts	One 1" (35mm) on the back; One 1" (35mm) on the left side; Two 1" (35mm) on the bottom
Warranty	Standard 5 year / Available 10 Year
Weight	15.75 lbs (7.10 kg)
Dimensions	21" x 10.5" x 9.75" (53 x 27 x 25 cm)
Options	Remote Temperature Sensor (RTS), HUB 4, HUB 10, MATE, MATE 2
Certifications	ETL Listed to UL1741, CSA C22.2 No. 107.1

Σχήμα 8.16 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών του ροθμιστή φόρτισης FLEXmax FM80-150VDC.

8.7 Επιλογή μετατροπέα τάσης (Inverter)

Στη συνέχεια, προχωρούμε στην επιλογή του κατάλληλου μετατροπέα τάσεως DC/AC (inverter). Ο μετατροπέας αυτός θα πρέπει να καλύπτει τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Τάση εισόδου ίση με την ονομαστική τάση των συσσωρευτών (δηλαδή 24 V).
- Η ισχύς στην έξοδο του μετατροπέα θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ P_k των φορτίων που λειτουργούν ταυτόχρονα (δηλαδή 4,673 KW όπως θεωρήσαμε νωρίτερα).
- Ο μετατροπέας θα πρέπει να έχει απόδοση τριπλάσιας ισχύος για τουλάχιστον 10sec.
- Η τάση εξόδου του μετατροπέα θα πρέπει να είναι ίση με την τάση των φορτίων κατανάλωσης, δηλαδή 230 V.
- Η κυματομορφή της εξόδου θα πρέπει να είναι τροποποιημένο ή διαμορφωμένο ημίτονο ή πλήρες ημίτονο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω επιλέγουμε τον inverter Quattro 24/3000/70-50/30. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του μετατροπέα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.



Σχήμα 8.17 Ο μετατροπέας τάσεως DC/AC (inverter) Quattro 24/3000/70-50/30.

INVERTER QUATTRO 24/3000/70-50/30	
PowerControl / PowerAssist	Yes
Integrated Transfer switch	Yes
AC inputs (2x)	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz
Maximum feed through current (A)	2x100
Input voltage range (V DC)	19 – 33V
Output	Output voltage: 230 VAC ± 2% Frequency: 50 Hz ± 0,1%
Cont. output power at 25 °C (W)	7000
Cont. output power at 40 °C (W)	6300
Peak power (W)	16000
Maximum efficiency (%)	96
Zero-load power (W)	35
Zero load power in AES mode (W)	30
Zero load power in Search mode (W)	10
GENERAL	
Auxiliary output (A)	50
Programmable relay	3x
Protection	a-g
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration
General purpose com. port	2x
Characteristics	Operating temp.: -20 to +50 °C Humidity (non condensing): max. 95%
ENCLOSURE	
Characteristics	Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012) Protection category: IP 21
Battery-connection	Four M8 bolts (2 plus and 2 minus connections)
230 V AC-connection	Screw terminals 13 mm ² (6 AWG)
Weight (kg)	45
Dimensions (h x w x d in mm)	470 x 350 x 280
STANDARDS	
Safety	EN 60335-1, EN 60335-2-29
Emission, Immunity	EN55014-1, EN 55014-2, EN 61000-3-3

Σχήμα 16.18 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών inverter Quattro 24/3000/70-50/30.

8.8 Υπολογισμός διατομής καλωδίων, (έλεγχος με βάση την πυκνότητα ρεύματος, πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 και έλεγχος με βάση την επιτρεπόμενη πτώση τάσης που σύμφωνα με τους διεθνείς ηλεκτρικούς κανόνες National Electric Code, πρέπει να είναι μικρότερη του 5%.)

A) Διαδρομή από ομάδα φωτοβολταϊκών συλλεκτών μέχρι το μετατροπέα.

1. Έλεγχος με βάση την πυκνότητα ρεύματος.

$$I_{\Sigma} = 9 \cdot 7,95 = 71,55 \text{ A.}$$

Επειδή η θερμοκρασία του εδάφους κατά την καλοκαιρινή περίοδο είναι 25 °C περίπου, με βάση τα στοιχεία του πίνακα 52-Δ2, του προτύπου ΕΛΟΤ HD384, θα έχουμε συντελεστή διόρθωσης $f_2 = 0,95$.

Επίσης συντελεστής διόρθωσης λόγω διαφορετικής ειδικής θερμικής αντίστασης του εδάφους (3 k.m/W), $f_6 = 0,96$ (πίνακας 52-Δ2).

Επομένως :

$$I_{\Sigma} = I_{\Sigma} / f_2 \cdot f_6$$

$$I_{\Sigma} = 71,55 / 0,95 \cdot 0,96 = 78,45 \text{ A.}$$

Από τον πίνακα 52-K₃, βάση πρότυπου ΕΛΟΤ HD384, στήλη 3^η, θα έχουμε διατομή καλωδίου 16 mm². Το καλώδιο που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι H07RN-F με μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση στα 95 A. Με βάση λοιπόν την πυκνότητα ρεύματος και τις συνθήκες λειτουργίας, έχουμε τύπο και διατομή καλωδίου:

$$\mathbf{H07RN-F 2 \times 16 \text{ mm}^2}$$

2. Έλεγχος με βάση την επιτρεπόμενη πτώση τάσης ($U_{\text{πτ}} \% < 5\% U_{\text{nom}}$).

Η απόσταση από τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες μέχρι το ηλεκτροστάσιο του καταφυγίου, είναι $l = 15 \text{ m}$ και το συνολικό μήκος αγωγών καλωδίου, $L = 2l = 2 \cdot 15 \text{ m} = 30 \text{ m}$.

Η αντίσταση του καλωδίου θα είναι:

$$R = \rho \cdot L / S$$

ρ : Ειδική αντίσταση αγωγών του χαλκού (0,018 Ω / mm²).

L : συνολικό μήκος αγωγών καλωδίου.

S : διατομή καλωδίου με βάση την πυκνότητα ρεύματος.

Επομένως :

$$R = \rho \cdot L / S = 0,018 \cdot 30 / 16 = 0,03 \Omega.$$

Η πτώση τάσης στην διαδρομή του καλωδίου θα είναι:

$$U_{\text{πT}} = I_{\Sigma} \cdot R = 71,55 \cdot 0,03 = 2,14 \text{ V}.$$

$$U_{\text{επ}} < U_{\text{ον}} \cdot 5\% \quad \rightarrow \quad U_{\text{επ}} < 60,8 \cdot 0,05 \quad \rightarrow \quad U_{\text{επ}} < 3,04 \text{ V}$$

Από τους υπολογισμούς προκύπτει $U_{\text{πT}} < U_{\text{επ}}$ δηλαδή, $2,14\text{V} < 3,04\text{V}$.

Επομένως με καλώδιο διατομής $2 \times 16 \text{ mm}^2$, έχουμε πτώση τάσης μικρότερη από την επιτρεπόμενη. Τελικά επιλέγουμε διατομή καλωδίου $S = 16 \text{ mm}^2$ (καλώδιο H07RN-F $2 \times 16 \text{ mm}^2$).

B) Διαδρομή από το μετατροπέα μέχρι τη συστοιχία των συσσωρευτών.

Η συνολική χωρητικότητα της συστοιχίας είναι:

$$Q = 800 \text{ Ah}.$$

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

$$I_{\phi} = 0,2 \cdot Q \Rightarrow I_{\phi} = 0,2 \cdot 800 = 160 \text{ A}.$$

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 52-K.2, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD384, για υλικό EPR και δύο φορτιζόμενους αγωγούς (στήλη 3) για ένταση 160 A, έχω διατομή αγωγών καλωδίου $S = 35 \text{ mm}^2$.

Παράρτημα 1

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Monthly Solar Irradiation

PVGIS Estimates of long-term monthly averages

Location: 38⁰ 9'41 "N, 23 ° 44'49" East, Elevation: 1143 m a.s.l.

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 4.3 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature: 9.3% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.8%

Other losses (cables, inverter etc.): 28.5%

Combined PV system losses: 37.0%

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 10° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	1.97	61.1	2.44	75.7
Feb	2.51	70.4	3.14	88.0
Mar	3.44	107	4.36	135
Apr	4.40	132	5.72	172
May	4.88	151	6.54	203
Jun	5.25	157	7.20	216
Jul	5.17	160	7.17	222
Aug	4.78	148	6.59	204
Sep	4.16	125	5.58	167
Oct	3.01	93.2	3.92	122
Nov	2.06	61.7	2.62	78.5
Dec	1.67	51.9	2.09	64.8
Yearly average	3.61	110	4.79	146
Total for year	1320		1750	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 15° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.10	65.3	2.60	80.6
Feb	2.63	73.6	3.29	92.1
Mar	3.53	109	4.49	139
Apr	4.45	133	5.79	174
May	4.87	151	6.54	203
Jun	5.21	156	7.16	215
Jul	5.15	160	7.15	222
Aug	4.82	149	6.66	206
Sep	4.27	128	5.74	172
Oct	3.14	97.2	4.10	127
Nov	2.18	65.5	2.77	83.1
Dec	1.79	55.5	2.23	69.1
Yearly, average	3.68	112	4.88	149
Total for year	1340		1780	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 15° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.22	68.9	2.75	85.1
Feb	2.73	76.3	3.42	95.7
Mar	3.61	112	4.60	143
Apr	4.47	134	5.84	175
May	4.84	150	6.51	202
Jun	5.14	154	7.07	212
Jul	5.10	158	7.09	220
Aug	4.83	150	6.68	207
Sep	4.36	131	5.86	176
Oct	3.25	101	4.25	132
Nov	2.29	68.7	2.91	87.3
Dec	1.89	58.7	2.35	73.0
Yearly average	3.73	114	4.95	151
Total for year	1360		1810	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 25° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.32	72.1	2.87	89.1
Feb	2.81	78.6	3.53	98,8
Mar	3.66	114	4.68	145
Apr	4.48	134	5.86	176
May	4.79	149	6.44	200
Jun	5.05	152	6.95	209
Jul	5.03	156	6.99	217
Aug	4.81	149	6.67	207
Sep	4.42	133	5.96	179
Oct	3.34	104	4.38	136
Nov	2.38	71.5	3.03	91.0
Dec	1.98	61.5	2.47	76.4
Yearly average	3.76	114	4.99	152
Total for year	1370		1820	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 30° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Μήνας	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2,41	74,7	2,99	92,6
Φεβρουάριος	2,87	80,5	3,62	101
Μαρ	3,70	115	4,73	147
Απρίλιος	4,46	134	5,84	175
Μάιος	4,72	146	6,34	197
Ιούνιος	4,94	148	6,80	204
Ιούλιος	4,93	153	6,85	212
Αύγουστος	4,77	148	6,62	205
Σεπτέμβριος	4,45	134	6,01	180
Οκτώβριο	3,42	106	4,49	139
Νοέμβριος	2,46	73,9	3,14	94,2
Δεκέμβριος	2,06	63,9	2,56	79,5
Ετήσιος μέσος όρος	3,77	115	5,01	152
	1380		1830	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 35° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.48	77.0	3.08	95.6
Feb	2.92	81.9	3.69	103
Mar	3.72	115	4.76	148
Apr	4.43	133	5.79	174
May	4.62	143	6.21	192
Jun	4.80	144	6.61	198
Jul	4.80	149	6.68	207
Aug	4.71	146	6.53	202
Sep	4.47	134	6.04	181
Oct	3.47	108	4.57	142
Nov	2.53	75.9	3.23	96.8
Dec	2.12	65.9	2.65	82.1
Yearly, average	3.76	114	4.99	152
Total for year	1370		1820	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 40° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Mounth	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.54	78.7	3.16	98.0
Feb	2.96	82.8	3.74	105
Mar	3.72	115	4.77	148
Apr	4.37	131	5.71	171
May	4.49	139	6.04	187

Jun	4.64	139	6.37	191
Jul	4.65	144	6.46	200
Aug	4.62	143	6.40	198
Sep	4.46	134	6.02	181
Oct	3.51	109	4.62	143
Nov	2.58	77.4	3.30	98.9
Dec	2.18	67.4	2.72	84.3
Yearly average	3.73	113	4.95	151
Total for year	1360		1810	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 42° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.56	79.3	3.19	98.8
Feb	2.97	83.1	3.76	105
Mar	3.71	115	4.76	148
Apr	4.33	130	5.67	170
May	4.44	138	5.96	185
Jun	4.56	137	6.27	188
Jul	4.58	142	6.37	197
Aug	4.58	142	6.34	197
Sep	4.44	133	6.00	180
Oct	3.52	109	4.64	144
Nov	2.59	77.8	3.32	99.6
Dec	2.19	68.0	2.74	85.0
Yearly average	3.71	113	4.92	150
Total for year	1350		1800	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh) .

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 43° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.57	79.6	3.20	99.1
Feb	2.97	83.2	3.76	105
Mar	3.71	115	4.75	147
Apr	4.32	130	5.64	169
May	4.41	137	5.92	184
Jun	4.53	136	6.22	187
Jul	4.55	141	6.32	196
Aug	4.55	141	6.31	195
Sep	4.44	133	5.99	180
Qct	3.52	109	4.64	144
Nov	2.60	78.0	3.33	99.9
Dec	2.20	68.2	2.75	85.3
Yearly average	3.70	113	4.91	149
Total for year	1350		1790	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 44° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.58	79.8	3.21	99.5
Feb	2.97	83.3	3.77	105
Mar	3.71	115	4.75	147
Apr	4.30	129	5.62	169
May	4.38	136	5.88	182
Jun	4.49	135	6.17	185
Jul	4.51	140	6.27	194
Aug	4.53	140	6.27	194
Sep	4.43	133	5.98	179
Oct	3.52	109	4.64	144
Nov	2.61	78.2	3.34	100
Dec	2.21	68.4	2.76	85.6
Yearly average	3.69	112	4.89	149
Total for year	1350		1790	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 45° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.58	80.1	3.22	99.8
Feb	2.98	83.4	3.77	106
Mar	3.70	115	4.74	147
Apr	4.28	128	5.59	168
May	4.35	135	5.84	181
Jun	4.45	133	6.11	183
Jul	4.48	139	6.22	193
Aug	4.51	140	6.24	193
Sep	4.42	133	5.97	179
Oct	3.52	109	4.65	144
Nov	2.61	78.4	3.35	100
Dec	2.21	68.6	2.77	85.9
Yearly average	3.68	112	4.88	148
Total for year	1340		1780	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 46° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	FH	Em	Hd	Hm
Jan	2.59	80.3	3.23	100
Feb	2.98	83.4	3.77	106
Mar	3.69	115	4.73	147
Apr	4.26	128	5.57	167
May	4.32	134	5.79	180
Jun	4.41	132	6.05	182
Jul	4.44	138	6.16	191
Aug	4.48	139	6.20	192
Sep	4.41	132	5.95	179
Oct	3.53	109	4.65	144
Nov	2.62	78.6	3.35	101
Dec	2.22	68.8	2.78	86.2
Yearly average	3.66	111	4.86	148
Total for year	1340		1770	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 47° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	W	Em	Hd	Hm
Jan	2.60	80.4	3.24	100
Feb	2.98	83.5	3.78	106
Mar	3.69	114	4.72	146
Apr	4.24	127	5.54	166
May	4.28	133	5.75	178
Jun	4.36	131	5.99	180
Jul	4.40	136	6.11	189
Aug	4.45	138	6.16	191
Sep	4.40	132	5.94	178
Oct	3.53	109	4.65	144
Nov	2.62	78.7	3.36	101
Dec	2.23	69.0	2.79	86.4
Yearly average	3.65	111	4.84	147
Total for year	1330		1770	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 48° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.60	80.6	3.24	101
Feb	2.98	83.5	3.78	106
Mar	3.68	114	4.71	146
Apr	4.22	127	5.51	165
May	4.25	132	5.70	177
Jun	4.32	130	5.94	178
Jul	4.36	135	6.05	188
Aug	4.42	137	6.12	190
Sep	4.39	132	5.92	178
Oct	3.53	109	4.65	144
Nov	2.63	78.8	3.37	101
Dec	2.23	69.2	2.79	86.6
Yearly average	3.64	111	4.82	147
	1330		1760	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 49° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	<i>Ed</i>	Em	Hd	Hm
Jan	2.61	80.8	3.25	101
Feb	2.98	83.5	3.78	106
Mar	3.67	114	4.70	146
Apr	4.20	126	5.48	164
May	4.21	131	5.65	175
Jun	4.28	128	5.87	176
Jul	4.32	134	5.99	186
Aug	4.39	136	6.08	188
Sep	4.37	131	5.90	177
Oct	3.52	109	4.65	144
Nov	2.63	78.9	3.37	101
Dec	2.24	69.3	2.80	86.8
Yearly average	3.62	110	4.80	146
Total for year	1320		1750	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 50° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.61	80.9	3.26	101
Feb	2.98	83.5	3.78	106
Mar	3.66	114	4.69	145
Apr	4.17	125	5.45	163
May	4.18	129	5.60	174

Jun	4.23	127	5.81	174
Jul	4.27	132	5.93	184
Aug	4.36	135	6.03	187
Sep	4.36	131	5.88	176
Act	3.52	109	4.64	144
Nov	2.63	79.0	3.38	101
Dec	2.24	69.4	2.81	87.0
Yearly average	3.60	110	4.78	145
Total for year	1320		1740	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 51° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.61	81.0	3.26	101
Feb	2.98	83.4	3.78	106
Mar	3.65	113	4.68	145
Apr	4.15	125	5.41	162
May	4.14	128	5.55	172
Jun	4.19	126	5.75	172
Jul	4.23	131	5.87	182
Aug	4.33	134	5.99	186
Sep	4.34	130	5.86	176
Oct	3.52	109	4.64	144
Nov	2.64	79.1	3.38	101
Dec	2.24	69.6	2.81	87.2
Yearly average	3.59	109	4.75	145
Total for year	1310		1730	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 52° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.62	81.1	3.27	101
Feb	2.98	83.4	3.77	106
Mar	3.64	113	4.66	144
Apr	4.13	124	5.38	161
May	4.10	127	5.50	170
Jun	4.14	124	5.68	171
Jul	4.19	130	5.81	180
Aug	4.30	133	5.94	184
Sep	4.33	130	5.83	175
Oct	3.52	109	4.63	144
Nov	2.64	79.1	3.38	101
Dec	2.25	69.7	2.82	87.3
Yearly average	3.57	109	4.73	144
Total for year	1300		1730	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 53° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.62	81.2	3.27	101
Feb	2.97	83.3	3.77	106
Mar	3.63	113	4.64	144
Apr	4.10	123	5.34	160
May	4.06	126	5.45	169
Jun	4.09	123	5.62	169
Jul	4.14	128	5.75	178
Aug	4.27	132	5.90	183
Sep	4.31	129	5.81	174
Oct	3.51	109	4.63	143
Nov	2.64	79.2	3.38	102
Dec	2.25	69.7	2.82	87.4
Yearly average	3.55	108	4.70	143
Total for year	1300		1720	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 54° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.62	81.3	3.27	101
Feb	2.97	83.2	3.77	105
Mar	3.62	112	4.63	143
Apr	4.07	122	5.31	159
May	4.02	125	5.39	167
Jun	4.04	121	5.55	167
Jul	4.09	127	5.68	176
Aug	4.23	131	5.85	181
Sep	4.29	129	5.78	173
Oct	3.51	109	4.62	143
Nov	2.64	79.2	3.39	102
Dec	2.25	69.8	2.82	87.5
Yearly average	3.53	107	4.68	142
Total for year	1290		1710	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh) .

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 55° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.62	81.3	3.28	102
Feb	2.97	83.1	3.76	105
Mar	3.61	112	4.61	143
Apr	4.04	121	5.27	158
May	3.98	123	5.34	165
Jun	3.99	120	5.48	165
Jul	4.05	125	5.62	174
Aug	4.20	130	5.80	180
Sep	4.27	128	5.75	173
Oct	3.50	108	4.61	143
Nov	2.64	79.2	3.39	102
Dec	2.25	69.9	2.83	87.6
Yearly average	3.51	107	4.65	141
Total for year	1280		1700	

--	--	--	--

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 56° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.62	81.3	3.28	102
Feb	2.96	83.0	3.75	105
Mar	3.59	111	4.59	142
Apr	4.02	120	5.23	157
May	3.94	122	5.28	164
Jun	3.94	118	5.41	162
Jul	4.00	124	5.55	172
Aug	4.16	129	5.75	178
Sep	4.25	127	5.73	172
Oct	3.49	108	4.60	143
Nov	2.64	79.2	3.38	102
Dec	2.25	69.9	2.83	87.7
Yearly average	3.49	106	4.62	140
total for year 1270			1690	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 57° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.62	81.3	3.28	102
Feb	2.96	82.8	3.75	105
Mar	3.58	111	4.57	142
Apr	3.99	120	5.19	156
May	3.90	121	5.22	162
Jun	3.89	117	5.34	160
Jul	3.95	122	5.48	170
Aug	4.12	128	5.69	176
Sep	4.23	127	5.69	171
Oct	3.49	108	4.59	142
Nov	2.64	79.1	3.38	101

Dec	2.26	69.9	2.83	87.7
Yearly average	3.47	106	4.59	140
Total for year	1270		1670	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 58° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.62	81.3	3.28	102
Feb	2.95	82.7	3.74	105
Mar	3.56	110	4.55	141
Apr	3.95	119	5.15	154
May	3.85	119	5.16	160
Jun	3.84	115	5.27	158
Jul	3.90	121	5.41	168
Aug	4.08	127	5.64	175
Sep	4.21	126	5.66	170
Oct	3.48	108	4.58	142
Nov	2.64	79.1	3.38	101
Dec	2.26	69.9	2.83	87.7
Yearly average	3.45	105	4.56	139
Total for year	1260		1660	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 59° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.62	81.3	3.28	102
Feb	2.95	82.5	3.73	104
Mar	3.55	110	4.53	140
Apr	3.92	118	5.11	153
May	3.81	118	5.10	158
Jun	3.78	114	5.20	156
Jul	3.85	119	5.34	166

Aug	4.04	125	5.58	173
Sep	4.18	125	5.63	169
Oct	3.47	107	4.57	142
Nov	2.63	79.0	3.38	101
Dec	2.25	69.9	2.83	87.7
Yearly average	3.42	104	4.53	138
Total for year	1250		1650	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Στοιχεία μηνιαίας ακτινοβολίας για κλίση 60° για την περιοχή της Πάρνηθας.

Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	2.62	81.2	3.27	102
Feb	2.94	82.3	3.72	104
Mar	3.53	109	4.50	140
Apr	3.89	117	5.06	152
May	3.76	117	5.04	156
Jun	3.73	112	5.12	154
Jul	3.79	118	5.27	163
Aug	4.00	124	5.53	171
Sep	4.16	125	5.59	168
Oct	3.46	107	4.55	141
Nov	2.63	78.9	3.37	101
Dec	2.25	69.9	2.83	87.7
Yearly average	3.40	103	4.49	137
Total for year	1240		1640	

Ed: Average daily electricity production from the given system (kWh).

Em: Average monthly electricity production from the given system (kWh).

Hd: Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Hm: Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²).

Παράρτημα 2

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Κλιματολογικά δεδομένα μετεωρολογικού σταθμού Πάρνηθας

NAME: PARNITHA CITY: STATE

ELEV: 1220 m LAT: 38° 09' 48" N LONG: 23° 43' 05" E

Τιμές Ιανουαρίου 2011

KE&H DAY	HIG	TIME	LOW	TIME	HEAT	COO	RAIN	AVG	TIME	DOM		
TEMP	H				BEG	L		WIHD		DIR		
					DAYS	DEG		SPEED HIGH				
1	2.3	4.7	13:00	0.4	6:10	16.0	0.0	11.4	27.4	3:00	HW	
2	3.5	4.6	15:10	2.7	5:20	14.8	0.0	17.4	17.	56.3	s	
3	2.9	4.9	13:10	0.5	00:00	15.4	0.0	2.2	18.0	46.7	mm	
4	-0.8	0.7	0:30	-1.6	22:30	19.1	0.0	0.2	23.8	46.7	NEW	
5	-0.8	1.1	12:00	-1.9	6:50	19.1	0.0	0.2	8.2	30.6	H	
6	-0.1	2.2	14:10	-1.8	8:00	18.4	0.0	0.0	13.5	33.8	HNW	
7	1.2	3.8	13:30	-0.2	0:20	17.1	0.0	0.0	17.4	41.8	HW	
8	5.2	9.1	13:20	1.9	0:10	13.2	0.0	0.0	18.3	46.7	ram	
9	8.3	10.	12:00	6.2	0:20	10.1	0.0	0.0	13.2	35.4	HHW	
10	8.4	10.	9:00	7.1	18:20	9.9	0.0	0.0	4.8	25.7	HHW	
11	4.4	7.8	0:10	2.9	6:40	13.9	0.0	0.0	11.7	27.4	WHW	
12	4.4	5.3	11:40	3.6	6:30	13.9	0.0	3.0	11.1	29.0	S5E	
13	3.7	4.6	0:10	2.9	4:40	14.7	0.0	8.2	21.2	43.5	H	
14	4.1	7.2	9:40	3.0	1:10	14.2	0.0	0.2	23.0	64.4	EUR	
15	6.2	9.9	23:20	3.7	0:30	12.2	0.0	0.0	22.0	53.1	HUH	
16	2.1	7.5	0:30	0.2	14:10	16.2	0.0	32.8	41.7	114.	HW	
17	0.6	1.5	13:50	0.1	7:30	17.7	0.0	0.4	49.1	112.	H	
18	4.3	6.6	14:50	0.1	1:00	14.1	0.0	0.2	32.5	66.0	H	
19	7.6	11.	12:00	5.7	7:20	10.7	0.0	0.0	10.5	30.6	H	
20	5.2	7.1	0:10	3.1	22:10	13.1	0.0	0.0	8.2	24.1	s	
21	4.2	7.1	12:00	2.9	6:40	14.2	0.0	3.6	14.0	53.1	5	
22	4.7	7.1	14:10	3.4	00:00	13.6	0.0	4.2	21.6	61.2	FSW	
23	2.9	4.6	13:30	1.7	23:40	<15.	0.0	0.2	22.2	62.8	WSW	
24	1.2	3.6	12:00	-1.6	23:00	17.2	0.0	2.8	17.7	38.6	WHW	
25	-3.0	-	5:10	-5.2	23:20	21.3	0.0	0.2	22.5	59.5	HHW	
26	-3.8	-	13:40	-6.6	5:00	22.1	0.0	0.0	11.7	29.0	HW	
27	-0.4	2.3	12:10	-2.8	1:50	18.8	0.0	0.4	13.4	43.5	SE	
28	0.1	0.9	5:10	-0.3	1:50	18.2	0.0	13.0	44.3	88.5	HI	
29	-1.6	-	0:50	-2.7	21:40	19.9	0.0	9.0	1.6	32.2	0:20	HHW
30	-2.4	-	14:10	-3.4	7:50	20.7	0.0	0.2	0.0	0.0	----	----
31	-1.4	-	13:50	-2.2	6:10	19.8	0.0	1.0	0.0	1.6	12:30	HHE
<hr/>												
	11.	19	-6.6	26	495.	0.0	100.0	17.6	114.	16	HHW	

Τιμές Φεβρουάριου 2011

HEAT COOL		AVG			DEG DEG			HIHD			DOM				
MESH	TEMP	HIGH	TIME	LOH	TIME	DAYS	DAY	RAIN	SPEED	HIGH	TIME	DIR			
1	-3.8	-2.2	0	10	-5.6	0	00	22.1	0.0	0.4	18.8	78.9	17	50	H
2	-3.3	-0.6	14	30	-6.2	0	00	21.6	0.0	0.0	36.4	80.5	2	00	NEE
3	-0.5	-0.1	19	50	-1.6	0	10	1a.a	0.0	54.2	40.4	99.8	21	20	HE
4	-2.5	-0.9	0	10	-3.3	2	40	20.8	0.0	4.8	19.0	90.1	4	20	ERE
5	-2.2	-0.4	16	00	-3.2	0	20	20.5	0.0	2.8	15.0	57.9	20	30	HE
6	3.7	7.6	13	20	-1.6	1	20	14.6	0.0	0.0	21.6	49.9	20	00	HE
7	5.1	6.5	0	50	3.7	7	20	13.3	0.0	0.0	35.7	66.0	17	40	H
a	6.3	8.7	15	30	4.3	1	40	12.0	0.0	0.0	27.2	69.2	5	20	HE
9	7.1	10.a	12	00	4.2	2	50	11.3	0.0	0.0	15.4	48.3	20	10	HUE
10	2.4	4.5	0	30	0.4	0	00	15.9	0.0	0.0	32.7	64.4	8	50	H
11	2.8	6.4	15	50	-0.7	7	10	15.6	0.0	0.0	18.3	59.5	1	40	m
12	5.9	8.5	6	00	3.7	0	10	12.4	0.0	0.2	27.2	61.2	22	20	m
13	5.3	9.3	12	40	3.2	2	10	13.0	0.0	0.0	15.8	57.9	3	00	SSE
14	3.7	6.6	13	30	2.4	7	00	14.7	0.0	0.0	6.6	22.8	14	20	s
15	1.5	3.1	0	20	-0.3	2	10	16.8	0.0	0.8	27.4	53.1	22	30	H
16	0.8	3.5	12	50	-0.9	4	50	17.5	0.0	0.4	16.7	51.5	0	40	SB
17	4.4	6.7	13	20	1.7	0	10	13.9	0.0	0.0	17.4	46.7	22	10	SSH
18	5.3	7.1	18	40	2.2	2	30	13.1	0.0	5.8	35.1	104.6	21	30	BE
19	3.1	3.7	6	20	2.2	2	40	15.3	0.0	29.8	32.3	103.0	15	30	HSH
20	2.0	3.0	13	50	1.4	2	30	16.3	0.0	3.0	20.3	75.6	0	30	H
21	2.4	4.2	00	00	1.0	4	50	15.9	0.0	3.2	9.7	59.5	22	50	SE
22	3.8	5.6	13	40	2.6	7	40	14.6	0.0	16.6	18.5	61.2	0	40	SSE
23	3.0	4.4	13	10	1.7	2	50	15.3	0.0	0.8	23.3	48.3	21	30	B
24	3.0	4.2	12	10	1.7	1	20	15.3	0.0	35.6	29.3	75.6	23	10	HE
25	-0.2	2.6	0	10	-0.9	0	00	18.5	0.0	21.2	28.5	90.1	12	40	R
26	-1.7	-0.9	0	10	-2.9	2	20	20.0	0.0	0.0	2.9	46.7	11	40	HKW
27	-2.6	-1.4	13	10	-3.2	2	30	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0			----
28	-1.6	-0.3	14	10	-2.9	0	10	19.9	0.0	0.6	0.0	0.0		---	-----
1.9		10.8	9	-6.2	2	459.9	0.0	180.2	21.1	104.6	18	H			

Τιμές Μαρτίου 2011

HEAT MEAN	COOL		AVG		QEG	DEG		WXHD		DCM			
DAY	TEMP	HIGH	TIME	tow	TIME	DATS	DAX	RAT	SPEED	HIGH	TIME	DIR	
1	-1.3	-0.7	14:20	-1.9	19	00	19.6	0.0	6.0	0.8	32.2	13:20	BE
2	0.4	2.9	17:10	-1.4	0	10	17.9	0.0	10.	7.1	41.8	23:00	N
3	2.0	4.7	11:30	0.4	23	50	16.3	0.0	0.2	15.3	54.7	00:00	NNW
4	-0.1	2.8	23:40	-0.9	2	20	18.4	0.0	0.0	28.8	59.5	15:00	N
5	3.3	7.4	10:00	0.1	6	50	15.0	0.0	0.0	9.3	41.8	6:40	ME
6	3.1	4.9	16:10	0.0	0	00	15.3	0.0	2.8	21.9	64.4	23:40	W
7	-2.7	0.8	1:50	-4.6	19	20	21.0	0.0	5.4	32.3	77.2	0:20	WNW
8	-6.1	-4.4	08:10	-7.4	2	10	24.4	0.0	0.8	31.9	80.5	2:20	ESE
9	-7.5	-6.2	14:10	-8.4	9	50	25.8	0.0	0.8	11.7	48.3	5:40	S
10	-6.2	-4.4	16:30	-8.2	1	20	24.6	0.0	0.2	19.5	56.3	22:20	S
11	-1.1	1.8	00:00	-5.2	0	50	19.4	0.0	0.0	27.0	49.9	14:00	NH
12	4.4	8.3	14:40	0.8	1	10	13.9	0.0	0.0	9.0	32.2	4:00	S
13	5.9	8.3	13:40	3.5	e	30	12.4	0.0	0.0	3.7	14.5	11:00	S
14	7.7	10.3	16:00	5.6	8	00	10.7	0.0	0.0	10.1	27.4	8:00	SSW
15	8.5	11.0	15:20	6.7	3	50	9.8	0.0	0.0	11.6	30.6	19:20	SSH
16	8.9	11.2	16:00	7.2	7	20	9.4	0.0	0.0	15.3	38.6	6:00	SSW
17	a.i	10.8	1:00	5.6	2	00	10.3	0.0	1.4	18.8	46.7	16:40	S
18	7.8	11.5	15:00	5.8	2	10	10.4	0.0	0.0	18.6	41.8	21:30	SSH
19	6.7	10.6	12:30	5.1	1	20	11.6	0.0	0.6	12.2	41.8	2:10	SSH
20	3.6	5.6	07:10	1.8	2	30	14.a	0.0	2.8	22.9	61.2	16:50	EH
21	0.2	1.9	0(10	-1.8	0	00	18.1	0.0	5.4	49.4	82.1	9:00	EHE
22	-2.1	-1.1	13:10	-3.0	9	00	20.4	0.0	0.0	43.1	78.9	18:00	HSH
23	-0.9	0.7	00:00	-2.3	4	30	19.2	0.0	0.2	43.5	80.5	9:30	H
24	2.8	6.1	23:00	0.3	4	20	15.6	0.0	0.0	24.5	80.5	15:00	H
25	7.9	11.8	13:50	5.8	0	30	10.4	0.0	0.0	17.7	69.2	7:20	NNW
26	7.7	11.1	16:00	5.3	2	30	10.7	0.0	0.0	21.9	49.9	21:20	SSW
27	6.9	10.4	15:40	3.8	5	10	10.9	0.0	0.0	25.9	56.3	8:50	HSH
28	8.6	12.2	14:20	6.0	0	40	9.8	0.0	0.0	13.4	46.7	22:10	SSH
29	7.9	10.2	17:50	6.1	2	40	10.4	0.0	1.0	19.2	49.9	17:00	SSH
30	8.3	11.1	12:40	6.8	6	50	10.1	0.0	0.0	12.9	38.6	15:30	ESE
31	7.0	7.7	16:10	6.1	9	40	11.3	0.0	17.	15.6	56.3	11:10	H
	3.2	12.2	28	-8.4			468.1	0.0	55.	19.7	82.1	21	5

Τιμές Απριλίου 2011

MEAN DAY TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAY 5	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG		TIME	DOM DIR		
								WIND SPEED	HIGH				
1	5.7	6.9	6	40	4.0	00:00	12.7	0.0	9.4	40.1	77.2	0 00	H
2	2.9	4.2	2	30	2.2	15:50	13.4	0.0	11.0	33.6	95.0	1 50	---
3	4.2	6.7	17	30	2.1	7:50	14.1	0.0	0.2	14.0	62.8	1 00	----
4	4.6	8.1	17	00	1.3	2:20	13.8	0.0	0.2	18.5	61.2	1 00	----
5	8.5	12.0	14	10	6.1	1:40	9.8	0.0	0.0	17.9	43.5	7 00	---
6	4.8	6.6	0	10	3.3	21:50	13.5	0.0	0.8	33.3	83.7	1 30	---
7	3.7	5.7	16	40	2.0	6:10	14.7	0.0	0.8	43.5	85.3	5 20	---
8	10.6	15.1	15	40	5.0	0:10	7.8	0.0	0.0	24.1	49.9	0 50	----
9	13.4	16.9	17	10	10.6	4:20	4.9	0.0	0.0	20.3	49.9	1 20	---
10	8.8	12.6	17	40	6.3	9:10	9.5	0.0	0.0	24.1	80.5	9 10	---
11	4.7	7.8	2	20	1.4	22:20	13.7	0.0	0.0	27.8	106.2	1 10	---
12	5.4	9.3	16	00	1.8	4:20	12.9	0.0	0.0	20.3	53.1	0 50	---
13	9.1	12.4	16	30	6.7	23:10	9.3	0.0	0.0	18.5	59.5	2 10	---
14	5.6	9.1	18	10	2.6	23:10	12.7	0.0	1.6	24.6	86.9	8 10	---
15	4.5	7.5	11	50	2.4	1:10	13.3	0.0	0.2	6.0	27.4	1 50	rw.
16	4.2	6.9	16	00	1.8	22:50	14.1	0.0	4.2	14.8	45.1	0 00	HHE
17	1.9	2.6	15	00	0.8	8:20	16.4	0.0	22.6	37.0	62.8	4 50	SHE
18	0.5	1.6	0	10	-0.3	21:50	17.8	0.0	4.8	38.1	72.4	1 10	HUB
19	0.6	2.2	17	50	-0.5	0:40	17.7	0.0	4.0	13.8	77.2	1 00	B9
20	2.8	4.3	21	30	1.4	0:40	15.5	0.0	2.8	26.1	80.5	2 00	HHH
21	2.8	4.7	15	00	1.2	6:50	15.5	0.0	0.0	38.6	95.0	1 30	H
22	4.9	8.1	16	30	1.6	2:40	13.4	0.0	0.0	37.8	75.6	1 30	S
23	6.6	10.3	15	50	3.4	00:00	11.8	0.0	0.0	25.4	62.8	5 20	H
24	7.0	11.5	15	40	3.4	1:00	11.3	0.0	0.0	24.0	57.9	3 00	HHE
25	6.8	10.6	14	10	4.6	ae:50	11.6	0.0	0.0	32.0	75.6	2 00	H
26	6.3	10.2	15	30	2.9	1:10	12.1	0.0	5.8	20.6	66.0	1 40	H
27	6.2	7.1	13	40	4.0	3:10	12.2	0.0	17.6	11.7	33.8	1 30	HE
28	6.5	7.8	13	20	5.7	20:30	11.8	0.0	0.4	20.4	46.7	2 40	HHE
29	7.4	12.6	17	10	4.7	4:10	10.9	0.0	0.6	20.8	48.3	0:10	HHH
30	9.6	12.9	17	00	7.6	3:30	8.7	0.0	0.0	11.7	30.6	14:40	SSE
5.7		16.9	9		-0.5	19	379.0	0.0	87.0	24.7	106.2	11	H

Τιμές Μάιος 2011

MEAH	DAY	HIGH	TIME	LOST	TIME	HEAT	COO	SAIN	AVG	TIME	DOM		
	TEMP					DEG	L		WIND		DIR		
						DAYS	DEG		STEED	HIGH			
1	10.6	12.1	17:50	8.1	8	10	7.8	0.0	1.0	16.7	49.9	13:10	SSE
2	12,2	15.7	17:10	9.3	4	20	6.2	0.0	0.0	20.9	41.8	5:00	HH
3	11.9	14.2	2:20	9.6	7	30	6.4	0.0	4.4	21.2	62.8	16:30	S
4	10.7	12.6	12s40	8.7	6	20	7.7	0.0	0.2	22.4	48.3	14:00	WNW
5	8.2	10.9	11:40	4.6	2	10	10.2	0.0	4.0	20.9	78.9	23:50	HHW
6	3.8	4.8	0:10	3.1	1	50	14.6	0.0	3.6	38.9	98.2	5:10	K
7	6.6	10.1	18:20	3.2	3	30	11.7	0.0	0.0	23.8	64.4	1:20	HUE
8	10.6	14.3	12:50	8.1	1	10	7.7	0.0	0.0	17.2	41.8	5:50	sm
9	7.5	9.8	14:40	3.6	2	20	10.8	0.0	0.0	21.4	77.2	23;40	HUE
10	4.9	7.1	14:50	3.5	5	30	13.4	0.0	0.0	51.8	85.3	17:10	HHE
11	6.6	9.3	14:20	5.1	3	00	11.8	0.0	0.0	36.5	77.2	5:10	H
12	5.6	7.3	18:40	4.2	1	50	12.8	0.0	5.2	21.4	75.6	5:40	m
13	8.3	11.7	17:40	5.4	3	30	10.1	0.0	0.0	16.4	53.1	3:00	sw
14	12.5	16.1	13:20	9.2	1	10	5.8	0.0	0.0	12.4	35.4	16:10	m
IS	14.2	17.6	13:20	12.1	3	20	4.2	0.0	0.0	10.1	27.4	16:10	SSE
16	14.6	17.a	14:10	12.7	5	30	3.7	0.0	0.0	16.1	38.6	22:20	SSB
17	11.9	14.6	15:40	9.2	0	00	6.4	0.0	0.0	10.6	38.6	15:20	5
18	9.3	12.8	11:20	6.3	4	30	9.0	0.0	0.0	13.4	38.6	12:50	ESE
19	7.8	9.9	18:40	6.2	1	00	10.6	0.0	17.2	20.9	51.5	19:20	sm
20	10.4	14.2	14:40	7.1	1	30	7.9	0.0	0.4	25.3	53.1	1:40	HUH
21	13.1	16.6	12:50	10.9	2	10	5.2	0.0	0.0	21.7	45.1	4:20	HHE
22	13.2	15.7	14:10	11.3	3	30	5.2	0.0	0.0	36.2	70.8	11:20	HHE
23	14.2	17.0	16:10	12.7	6	10	4.2	0.0	0.0	35.9	64.4	9:50	HHE
24	14.4	18.4	15:10	12.1	6	30	3.9	0.0	0.0	27.7	61.2	3:10	H
25	14.9	17.2	15120	12.2	7	50	3.4	0.0	0.0	27.5	53.1	11:10	HHE
26	13.3	15.3	11:00	11.9	0	00	5.1	0.0	5.0	35.4	62.8	7:10	HHE
27	10.8	13.2	13:00	9.8	6	30	7.5	0.0	11.0	35.9	80.5	3:00	HUH
28	11.2	13.6	18:00	9.6	5	50	7.1	0.0	0.8	27.8	57.9	4:00	HHE?
29	13.€	16.5	17:50	11.6	6	20	4.7	0.0	0.0	13.2	38.6	3:50	H
30	13.3	16.2	18:00	11.4	5	30	5.1	0.0	0.0	16.7	43.5	11:40	HHE
31	13.5	16.5	10:40	11.8	3	50	4.8	0.0	0.0	11.3	35.4	0:30	ERE
	10.8	18.4	24	3.1	6		234.8	0.0	52.8	23.5	9a.2	6	HHE

Τιμές Ιουνίου 2011

HEAT COOL		AVG			DEG DEG			WIED			IX»		DIR
MEM	DM TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	DAY S	DAY S	RAI N	SPEED	HIGH	TIME		
1	14.8	17.4	13:50	12.9	0:10	3.5	0.0	17.6	8.9	29.0	1	40	MB
2	15.6	18.4	13:30	13.6	22:30	2.7	0.0	3.8	11.7	35.4	1	50	H
3	15.3	18.4	12:30	13.6	5:00	3.1	0.0	14.8	11.7	38.4	5	10	N
4	15.1	19.5	15:10	13.3	2:50	3.2	0.0	0.0	15.1	40.2	2	00	H
5	16.1	19.5	12:40	13.4	4:10	2.2	0.0	0.0	15.0	43.5	3	10	ME
6	17.3	20.5	14:40	14.4	6:20	1.3	0.3	0.0	17.8	48.3	1	20	HE
7	18.3	21.4	14:40	15.2	6:50	0.7	0.7	0.0	9.3	37.0	6	50	H
8	20.3	21.9	12:10	18.4	0:20	0.0	2.0	0.0	14.0	51.5	2	40	3SW
9	22.2	25.6	15:40	18.2	00:00	0.0	3.8	0.0	20.8	46.7	2	00	wm
10	16.9	20.4	17:00	14.3	7:00	1.7	0.3	0.2	27.0	56.3	9	10	HW
11	15.4	19.3	14:50	12.8	7:00	3.0	0.1	0.0	19.6	56.3	4	40	MW
12	13.4	17.8	13:10	8.1	14:50	4.9	0.0	22.2	22.4	66.0	1	50	NH
13	13.2	16.5	17:50	10.6	6:30	5.2	0.0	0.2	22.4	70.8	1	10	KF
14	14.7	18.4	12:20	12.9	4:20	3.6	0.0	1.8	11.7	33.8	6	50	H
15	13.7	15.6	13:10	11.8	5:00	4.7	0.0	0.2	25.1	51.5	7	20	HUE
16	13.2	16.1	17:30	10.9	7:20	5.2	0.0	0.4	25.1	51.5	7	00	NSW
17	15.5	19.1	16:40	12.6	4:20	2.8	0.0	0.0	20.1	48.3	3	10	H
18	18.0	21.9	16:40	15.6	5:40	1.0	0.7	0.0	11.6	83.8	6	10	III
19	19.5	22.7	15:30	16.9	0:30	0.2	1.3	0.0	11.4	32.2	2	20	MR
20	20.7	24.4	14:40	17.6	1:40	0.1	2.4	0.0	11.4	32.2	0	10	SSE
21	17.5	19.3	11:10	15.2	8:50	1.0	0.2	0.0	28.2	54.7	1	50	N
22	15.3	17.9	16:00	13.1	6:20	3.0	0.0	0.0	43.0	72.4	6	40	H
23	16.3	18.9	16:50	13.5	5:10	2.1	0.1	0.0	46.5	78.8	0	20	MW
24	17.9	20.7	15:50	15.6	5:50	0.9	0.5	0.0	40.4	69.2	7	10	H
25	20.6	24.4	17:10	17.0	00:00	0.1	2.3	0.0	22.0	54.7	0	40	N
26	11.4	17.0	0:10	9.6	13:10	6.9	0.0	6.8	34.4	80.5	1	30	H
27	11.8	14.4	15:10	9.4	6:50	6.5	0.0	0.0	20.8	66.0	9	30	H
28	13.4	17.1	17:00	10.5	6:20	4.9	0.0	0.0	12.1	37.0	1	30	MW
29	13.7	16.8	13:10	12.0	5:50	4.7	0.0	0.8	11.7	43.5	3	10	SW
30	16.7	20.7	14:10	13.0	3:00	1.9	0.3	0.0	15.3	43.5	2	40	SW
	16.1	25.6	9	8.1	12	80.9	14.8	68.8	20.2	80.5	26		H

Τιμές Ιουλίου 2011

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOS?	TIME	HEAT DEG DAY	COOL BEG DAYS	fia IH	AVG HIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIH
1	ia.6	22.0	13:20	16.0	1:00	0.6	o.a	0.0	15.3	38.6	2:00	SSE
2	17.3	20.1	13:10	15.2	5120	1.2	0.2	0.0	12.6	37.0	3:40	SSE
3	18.3	22.2	14:10	15.1	7:00	0.9	0.9	0.0	15.8	43.5	16:10	sw
4	17.3	22.0	16:40	14.2	7:30	1.6	0.5	0.0	20.0	48.3	1:50	HPT
5	19.2	23.6	16:30	15.6	0:10	0.4	1.4	0.0	12.9	38.6	21:10	sw
6	19.2	23.2	13:50	17.3	4:50	0.2	1.1	0.0	15.8	46.7	9:50	NW
7	18.9	23.1	16:50	16.7	5:50	0.3	0.9	0.0	13.8	41.8	8:30	H
8	18.7	21.8	14:30	15.8	5:00	0.6	1.0	0.0	23.3	54.7	10:50	N
9	19.5	22.8	16:00	17.1	4:50	0.2	1.3	0.0	40.1	67.6	5:50	SHE
10	19.7	22.8	15:30	16.9	6:30	0.2	1.6	0.0	43.8	69.2	0:10	H
11	19.9	22.3	15:10	18.3	4:30	0.0	1.6	0.0	41.2	67.6	0:50	N
12	18.9	21.4	17:00	16.5	7:30	0.4	1.0	0.0	37.2	74.0	8:10	H
13	19.3	22.4	14:30	17.3	7:30	0.2	1.1	0.0	29.5	67.6	4:40	H
14	19.3	22.8	15:40	16.5	6:50	0.3	1.3	0.0	23.5	57.9	12:10	N
15	20.3	23.6	14:30	17.6	5:00	0.1	2.1	0.0	24.5	59.5	6:00	S
16	22.2	26.2	16:10	18.6	4:10	0.0	3.8	0.0	20.8	49.9	1:10	NW
17	24.2	28.6	13:40	22.2	1:50	0.0	5.9	0.0	18.8	40.2	6:30	HHH
ia	22.5	26.6	12:00	19.7	6:40	0.0	4.2	0.0	16.9	46.7	4:40	NEW
19	23.6	27.6	13:40	20.7	6:00	0.0	5.3	0.0	10.9	35.4	14:40	N
20	25.3	29.9	14:20	21.1	00:0	0.0	6.9	0.0	16.9	45.1	23:50	NNW
21	20.2	25.4	17:40	16.8	8:00	0.2	2.1	0.0	21.6	61.2	1:50	HW
22	20.7	26.4	17:20	17.1	5:40	0.2	2.6	0.0	18.5	46.7	19:50	saw
23	20.8	25.9	15;	ia.i	2:10	0.0	2.6	0.0	17.4	41.8	5:20	NSW
24	21.2	24.9	16:10	18.7	1:20	0.0	2.8	0.0	8.7	38.6	00:00	sw
25	20.7	24.7	14:10	17.7	23:3	0.1	2.3	0.0	17.1	48.3	0:50	SH
26	19.2	23.2	16:00	15.9	4:50	0.4	1.3	0.0	17.9	49.9	5:10	ft
27	19.8	24.7	15:40	15.8	5:10	^ 0.5	2.0	0.0	13.2	35.4	2:10	55E
28	21.7	25.2	16:30	19.2	6:20	0.0	3.4	0.0	18.0	43.5	8:40	H
29	21.4	27.2	14:50	18.7	3:20	0.0	3.1	0.0	15.1	37.0	0:20	N
30	21.1	26.3	14:10	18.2	7:10	0.0	2.8	0.0	15.3	38.6	5:10	uw
31	20.7	25.0	13:40	18.5	4:10	0.0	2.4	0.0	10.6	33.8	17:20	SSE
<hr/>												
	20.3	29.9	20	14.2	4	8.4	70.3	0.0	20.2	74.0	12	N

Τιμές Αυγούστου 2011

MEAH D &i TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG OTHD SPEED HIGH	TIME	DOM DIR			
1	19.9	23.3	12:50	17.9	5:20	0.0	1.6	0.0	8.9	30.6	13	50	SSE
2	18.2	21.7	15:40	15.1	3:00	0.8	0.7	0.0	20.0	48.3	1	50	H
3	16.9	20.3	16:00	14.2	6:£0	1.6	0.2	0.0	23.3	54.7	7	40	N
4	18.7	23.0	16:10	15.8	6:30	0.8	1.2	0.0	16.6	46.7	4	30	m
5	19.9	23.3	15:40	18.1	00:00	0.0	1.6	0.0	19.5	43.5	10	20	N
6	17.2	20.4	16:00	14.4	7:30	1.4	0.2	0.0	25.6	62.8	1	20	H
7	18.1	21.9	16:520	14.9	4:50	0.9	0.7	0.0	25.4	56.3	8	50	H
8	20.1	23.1	16:40	17.7	6:50	0.1	1.8	0.0	23.3	59.5	20	10	H
9	22.7	27.5	15:30	19.3	4:30	0.0	4.3	0.0	17.9	48.3	3	50	H
10	22.9	27.5	16:30	18.6	00:00	0.0	4.6	0.0	16.4	48.3	6	50	HHE
11	13.9	18.6	0:10	11.6	7:10	4.4	0.0	0.8	32.8	80.5	11	00	M
12	15.6	19.5	17:40	12.5	7:50	2.8	0.1	0.0	18.5	59.3	0	20	H
13	17.6	22.5	15:40	14.3	5:30	1.4	0.7	0.0	18.8	45.1	5	50	HHE
14	19.2	24.2	16:50	15.8	4:00	0.6	1.5	0.0	16.3	40.2	19	00	ME
15	20.4	25.4	15:40	17.2	6:40	0.1	2.2	0.0	10.5	33.8	15	50	N
16	21.3	25.9	14:30	18.7	5:20	0.0	2.9	0.0	12.4	35.4	13	00	SHE
17	19.4	22.1	15:50	17.4	8:00	0.1	1.2	0.0	29.1	78.9	12	40	H
18	19.4	22.3	15:30	17.6	23:50	0.1	1.2	0.0	38.1	72.4	12	30	HHE
19	17.4	19.2	16:00	16.2	00:00	0.9	0.1	0.0	30.4	69.2	20	30	H
20	16.9	19.6	14:20	14.2	7:00	1.6	0.2	0.0	35.9	80.5	8	40	H
21	18.3	21.2	15:20	16.1	7:10	0.6	0.6	0.0	40.9	83.7	23	30	H
22	17.9	20.2	15:40	16.3	8:20	0.8	0.3	0.0	48.6	95.0	8	10	H
23	17.9	21.5	14:30	15.3	6:10	0.9	0.6	0.0	43.5	78.9	8	00	H
24	18.6	21.7	14:30	16.4	7:30	0.6	0.8	0.0	44.9	91.7	11	r40	H
25	19.3	22.4	15:40	17.3	.3:30	0.2	1.2	0.0	44.4	90.1	5	40	HHE
26	17.5	19.6	14:40	15.2	00:00	0.9	0.1	0.0	50.2	90.1	1	40	HHE
27	14.9	17.3	15:50	12.6	8:00	3.4	0.0	0.0	49.1	85.3	4	50	me
28	14.4	16.8	16:10	12.9	6:50	3.9	0.0	0.0	41.2	66.0	0	20	HEW
29	15.2	18.2	16:20	12.7	6:40	3.1	0.0	0.0	36.2	75.6	7	00	HUH
30	18.1	22.7	14:30	13.9	5:40	1.2	0.9	0.0	12.6	43.5	2	40	SSE
31	20.1	24.2	13:40	15.9	23:20	0.2	1.9	0.0	16.6	56.3	2	10	SSE
<hr/>													
	18.3	27.5	s	11.6	11	33.6	33.4	0.8	28.0	95.0	22		H

Τιμές Σεπτεμβρίου 2011

HEAT MEAN DA?	COOL		AVG		DEG TIME	DEG DAYS	DEG DAYS	RIND			DOM		DIB
	TEMP	HIGH	TIME	LOB				RAIN	SPEED	HIGH	TIME		
1	20.8	25.2	13:00	17.5	6	50	0.0	2.4	0.0	14.3	38.6	3:00	H
2	21.6	25.0	12:30	19.3	0	10	0.0	3.3	0.0	9.0	25.7	12:40	SSE
3	20.0	23.6	14:10	17.3	2	30	0.1	1.7	0.0	18.0	54.7	18:10	HUH
4	17.0	19.8	15:30	14.4	7	20	1.4	0.1	0.0	34.3	72.4	8:40	H
5	18.2	21.6	14:40	14.9	7	20	1.1	0.9	0.0	30.6	69.2	2:10	N
6	20.9	26.3	15:30	17.8	1	50	0.0	2.7	0.0	14.3	33.8	0:30	N
7	15.8	17.7	0:10	14.1	2	30	2.6	0.0	0.0	29.0	61.2	3:30	N
8	16.8	20.3	17:00	13.6	7	30	1.9	0.3	0.0	29.5	66.0	7:40	N
9	20.1	24.8	12:30	17.2	5	10	0.1	1.8	0.0	11.9	30.6	7:00	SSE
10	19.2	21.3	15:30	16.8	7	20	0.1	0.9	0.0	19.3	41.8	10:20	N
11	18.7	21.8	16:10	16.9	2	50	0.4	0.8	0.0	28.0	64.4	23:50	HUE
12	18.5	22.1	17:20	16.6	6	10	0.6	0.7	0.0	32.	66.0	3:20	HHE
13	18.2	21.2	15:30	15.6	6	40	0.9	0.8	0.0	33.0	64.4	8:00	N
14	20.1	23.8	15:30	18.3	2	10	0.0	1.8	0.0	30.6	62.8	5:20	HHE
15	20.8	25.8	15:00	18.5	7	20	0.0	2.4	0.0	20.6	53.1	5:20	HE
16	17.9	20.2	14:10	16.3	8	20	0.7	0.3	0.0	37.8	77.2	14:30	N
17	18.4	21.2	14:20	15.4	8	10	0.6	0.7	0.0	34.6	67.6	5:40	N
18	17.7	20.1	16:10	15.1	8	40	0.9	0.3	0.0	32.0	64.4	1:50	N
19	18.6	24.3	15:40	16.0	2	40	0.8	1.1	0.0	17.5	49.9	0:10	HHE
20	17.6	22.7	11:10	13.6	2	10	1.2	0.5	3.6	16.1	57.9	21:40	SSE
21	12.9	16.5	12:00	9.9	2	50	5.4	0.0	0.4	18.5	48.3	23:00	R
22	11.0	13.1	14:20	9.7	1	30	7.3	0.0	7.0	27.5	57.9	0:50	H
23	13.2	15.6	15:30	11.0	1	10	5.1	0.0	0.2	32.2	69.2	3:50	N
24	14.8	17.9	14:20	13.4	1	10	3.6	0.0	0.0	24.6	56.3	6:10	N
25	14.1	16.8	16:00	12.3	7	10	4,3	0.0	0.0	38.9	74.0	13:40	N
26	12.5	14.8	15:10	10.3	2	50	5.8	0.0	0.0	42.0	80.5	1:30	H
27	10.5	12.7	14:30	9.4	7	30	7.8	0.0	0.0	47.3	80.5	7:10	N
28	10.4	13.0	14:30	8.7	7	10	7.9	0.0	0.0	43.8	74.0	6:40	H
29	11.4	13.9	13:50	9.4	7	20	6.9	0.0	0.0	45.2	78.9	6:00	N
30	11.4	14.0	14:00	8.9	2	20	6.9	0.0	0.0	31.1	66.0	0:10	N
	16.6	26.3	6	8.7	28	74.5	23.6	11.2	28.1	80.5	26	N	

Τιμές Οκτωβρίου 2011

	MEAN DAT TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DATS	GOQ L DEG	RAIN	AVG HIND SPEED HIGH	TIME	DOM DIB
1	9.4	11,0	14:50	7.9	3:50	8.9	0.0	0.0	37.2 77.2	8:30	N
2	10.7	13.1	16:20	9.4	6:50	7.6	0.0	0.0	25.4 66.0	2:10	H
3	11.6	14.6	13:20	9.9	22:00	6.7	0.0	0.0	31.9 67.6	9:50	H
4	11.2	14,5	18:20	9.2	8:10	7.1	0.0	0.0	30.7 70.8	4:50	HHE
5	12.2	15.9	14:40	10.3	3:40	6.1	0.0	0.0	20.6 53.1	7:40	HHE
6	14.0	18.8	15:10	10.9	1:40	4.3	0.0	0.0	15.9 41.8	0:20	SSE
7	14.3	17.8	12:50	11.9	0:10	4.1	0.0	0.0	15.3 38.6	21:10	WSH
8	13.1	16.9	13:50	11.1	5:00	5.2	0.0	0.4	22.7 69.2	19:20	S
9	11.1	14.7	13:40	8.7	19:30	7.3	0.0	6.8	24.9 74.0	1:00	SB
10	5.5	9.3	1:50	3.7	22:40	12.8	0.0	58.0	32.5 80.5	21,50	HH
11	4.4	5.5	23:30	3.7	6:30	13.9	0.0	18.6	43.9 85.3	3:10	HR
12	8.3	11.4	17:50	5.0	1:40	10.0	0.0	0.2	23.3 61.2	10:20	HR
13	12.8	17.7	15:40	10.6	1:40	5.5	0.0	0.0	10.9 48.3	1:30	HI '
14	10.1	13.4	3:50	8.2	00:00	8.2	0.0	1.8	31.2 59.5	19:30	HHE
15	7.2	8.2	0:10	5.6	22:20	11.2	0.0	10.6	36.9 69.2	16;10	HHE
16	3.3	5.9	0(40	0.2	00:00	15.1	0.0	35.8	42.3 83.7	23:50	HHE
17	-0.3	0.4	0:50	-1.2	9:30	18.6	0.0	3.0	35.2 85.3	0:10	H
18	3.4	7.6	17:20	0.1	0:20	14.9	0.0	1.2	20.1 48.3	1:30	HHH
19	8.3	12.6	16:00	3.9	1:40	10.1	0.0	0.0	10.5 29.0	20:50	WSH
20	11.3	14.6	13:30	9.0	19:30	7.1	0.0	0.0	5.3 17.7	12;10	SSE
21	11.5	14.8	11:30	9.5	19:00	6.8	0.0	0.0	9.0 22.5	20:50	SSE
22	11.2	15.1	12:40	8.1	00:00	7.2	0.0	0.0	12.7 40.2	18:30	H
23	6.9	8.9	1:50	5.5	23:10	11.4	0.0	0.0	38.6 56.3	7:20	H
24	6.4	8.6	15:10	5.4	7:40	11.9	0.0	0.0	37.2 62.8	3:10	H
25	6.3	8.1	14:20	5.4	21:10	12.1	0.0	0.4	39.8 69.2	10:20	HHE
26	5.5	6.9	14:10	4.3	23:50	12.8	0.0	0.8	48.8 98.2	20140	H
27	3.7	5.1	13:30	2.5	ftt1Q	14.6	0.0	0.8	58.7 98.2	2:40	H
28	3.9	5.8	14:10	2.9	4:50	14.4	0.0	0.8	52.8 83.7	3:00	MB
29	3.6	4.7	13:10	2.8	19:20	14.8	0.0	0.8	59.4 86.9	6:00	H
30	3.3	4.2	11:30	2.3	23:50	15.1	0.0	0.0	51.7 82.1	1:40	H
31	3.6	6.9	11:20	2.0	5:50	14.7	0.0	0.0	23.7 77.2	2:30	H
	8.0	18.8	€	-1.2	17	320.6	0.0	139.9	30.6 98.2	26	H

Τιμές Νοεμβρίου 2011

HEAT MEAH DAS	COOL TEMP	SVG HIGH	SVG TIME	LOW	DEG TIME	DEG DAYS	DAYS	WIND			DOM	
								RAZH	SPEED	HIGH	TIME	DIR
1	5.2	9.6	13:40	2,2	7:00	13.2	0.0	0.0	7.6	29.0	20:10	NNW
2	4.3	6.4	1t10	2.5	5:50	14.1	0.0	0.0	35.4	72.4	23:10	H
3	3.6	4.9	13:20	2.6	7:30	14.a	0.0	0.4	43.1	77.2	5:30	H
4	3.9	6.1	00:00	2.4	2:50	14.4	0.0	0.0	33.6	54.7	1:50	H
5	8.4	11.4	11:30	3.1	5:10	9.9	0.0	0.0	11.1	40.2	2:20	EKE
6	11.1	12.6	13:40	9.2	17:00	7.3	0.0	0.0	5.6	16.1	1:30	ENE
7	11-1	14.2	10:30	8.2	23:30	7.2	0.0	0.0	5.1	25.7	6(00	HE
8	11.0	13.1	9:10	8.2	0:10	7.3	0.0	0.0	4.3	20.9	3:40	HUE
9	12.8	15.1	13:50	10.8	6:10	5.6	0.0	0.0	10.5	40.2	18:50	NHE
10	11.2	15.6	10;40	6.8	23:00	7.1	0.0	0.0	10.5	41.8	23:00	H
11	4.3	7.3	0:10	0.9	23:50	14.1	0.0	3.6	47.3	98.2	23:50	NHE
12	-0.7	1.0	0;1Q	-1.6	10 .-	19.0	0.0	1.8	43.5	101.4	3(30	NHE
13	-0.8	-0.4	15:50	-1.6	0:10	19.2	0.0	0.4	43.0	91.7	17:30	H
14	-0.4	-0.1	19:20	-0.8	6:10	18.7	0.0	0.2	37.7	98.2	21:10	H
15	-0.3	-0.1	0:10	-0.6	7:20	18.7	0.0	15.6	0.0	1.6	10:30	W
16	-0.€	-0.1	12:30	-1.4	21:40	18.9	0.0	5.0	11.9	66.0	00:00	KNW
17	-0.4	0.2	8:40	-1.3	0:10	18.7	0.0	3.8	31.2	67.6	0:30	H
18	-0.€	-0.1	14:30	-1.1	2:30	18.9	0.0	0.0	40.9	72.4	17:00	H
19	3.9	7.1	13:50	-0.6	0:10	14.4	0.0	0.0	25.3	62.8	0:20	H
20	5.5	7.8	12:40	3.4	22:10	12.8	0.0	0.0	15.6	40.2	0:10	NNW
21	3.6	6.3	12:10	1.3	6:30	14.7	0.0	0.0	7.9	35.4	2:20	HNW
22	4.3	7.1	22:30	1.8	3:10	14.1	0.0	0.0	7.2	20.9	17:30	HW
23	5.2	8.3	12:00	2.6	6:40	13.2	0.0	0.0	10.6	43.5	23:20	H
24	1.9	5.0	0:40	0.8	23:40	16.4	0.0	0.0	48.8	72.4	11:40	H
25	0.1	1.2	3:20	-1.2	21:20	ft.3	0.0	0.0	48.6	82.1	6:50	H
26	0.2	1.6	12:40	-0.9	2:20	18.2	0.0	0.0	33.2	75.6	23:30	H
27	1.6	4.2	23:20	-0.2	0:50	16.8	0.0	0.0	42.8	77.2	5:20	H
28	6.9	10.3	13:40	2.9	1:00	11.4	0.0	0.0	24.0	57.9	7:20	H
29	5.4	9.3	0:40	2.6	21:30	12.9	0.0	0.0	46.2	74.0	12:00	H
30	5.8	10.4	13:50	2.0	2:40	12.5	0.0	0.0	27.5	54.7	2:30	H
	4.2	15.6	10	-1.6	12	422.8	0.0	30.8	25.3	101.4	12	H

Τιμές Δεκεμβρίου 2011

	MEAN DAY TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COO L DEG DAY	RAIN	AVG BIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	8.0	12.4	11:30	6.0	0:20	10.3	0.0	0.0	17.7	38.6	0:10	NNW
2	8.8	12.0	11:40	7.3	4:00	9.5	0.0	0.0	13.4	35.4	3:00	N
3	7.1	9.7	13:20	3.5	21:50	11.2	0.0	0.0	13.4	27.4	18:10	WHW
4	6.7	10.1	11:10	3.2	2:40	11.7	0.0	0.0	20.0	41.8	17:10	N
5	6.9	9.4	13:40	5.3	7:00	11.4	0.0	0.0	22.2	49.9	2:30	SW
6	6.8	8.4	13:30	6.0	6:30	11.5	0.0	0.0	27.0	57.9	16:50	N
7	5.5	8.9	10:50	1.9	00:00	12.8	0.0	5.0	30.3	91.7	20:40	N
8	3.6	7.3	13:20	0.5	00:00	14.8	0.0	0.2	31.1	77.2	21:50	HW
9	1.6	5.8	14:10	-1.6	7:20	16.7	0.0	0.0	20.3	77.2	0:10	HW
10	6.4	10.6	11:40	1.9	0:30	11.9	0.0	0.0	13.0	43.5	00:00	WHW
11	7.9	10.5	13:50	6.2	2:20	10.4	0.0	0.0	26.4	48.3	0:30	W
12	8.3	11.1	14:40	6.8	00:00	10.0	0.0	0.0	15.0	30.6	2:40	SW
13	7.1	9.3	14:10	5.8	23:40	11.3	0.0	0.0	14.6	35.4	10:20	N
14	7.1	10.0	14:10	5.8	1:20	11.2	0.0	0.0	12.7	40.2	19:50	HW
15	6.6	8.8	13:00	4.9	3:40	11.8	0.0	0.0	24.8	57.9	21:00	N
16	6.1	7.8	21:30	4.2	8:00	12.3	0.0	4.0	28.8	85.3	8:00	N
17	6.4	8.8	14:30	4.5	3:20	11.9	0.0	2.6	36.9	77.2	12:00	N
18	4.9	6.4	12:30	2.9	19:10	13.4	0.0	0.4	17.7	56.3	2:00	W
19	5.3	6.7	12:20	3.1	00:00	13.1	0.0	30.8	26.7	82.1	15:40	N
20	1.9	3.9	12:30	-0.8	23:10	16.4	0.0	0.2	29.8	69.2	14:10	SSW
21	1.7	4.8	23:40	-0.8	1:10	16.7	0.0	11.6	27.8	72.4	0:30	W
22	2.3	5.4	2:50	-2.3	23:40	16.0	0.0	21.6	33.2	99.8	7:00	N
23	-1.7	-0.1	12:30	-3.4	7:20	20.0	0.0	30.0	12.9	54.7	2:40	NEW
24	-1.8	-0.3	12:20	-2.9	2:40	20.2	0.0	2.2	3.9	41.8	22:00	HW
25	-2.7	-1.8	0:10	-4.6	00:00	21.1	0.0	0.4	5.1	30.6	0:10	HHE
26	-3.3	-2.3	13:40	-4.5	0:10	21.7	0.0	0.0	23.3	49.9	14:00	N
27	-2.1	-1.1	12:40	-3.2	0:10	20.4	0.0	0.0	15.8	43.5	20:50	W
28	-0.9	0.1	14:20	-2.0	21:30	19.3	0.0	1.4	12.2	41.8	16:00	EQ9W
29	-0.7	1.0	14:40	-2.3	1:10	19.0	0.0	0.0	6.1	19.3	0:40	WSW
30	1.6	2.8	21:50	0.2	0:10	16.7	0.0	3.8	12.9	43.5	21:00	SSW
31	1.0	3.4	11:30	-1.2	00:00	17.3	0.0	1.6	21.4	64.4	18:10	BHW
	3.8	12.4	1	-4.6	25	452.1	0.0	115.8	19.9	99.8	22	N

Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφία

- [1] «Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας», Β. Μπιτζιώνης, εκδόσεις Τζιόλα, 2011.
- [2] «Σύγχρονες Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις», Β. Μπιτζιώνης, εκδόσεις Τζιόλα, 2008.
- [3] «Ανεμοκινητήρες», Γ. Μπεργελές, εκδόσεις Συμεών, 2005.
- [4] «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Ι. Φραγκιαδάκης, εκδόσεις Ζήτη, 2007.
- [5] «Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία», Κ. Καγκαράκη, εκδόσεις Συμμετρία, 1992.
- [6] «Ήπιες Μορφές Ενέργειας Ι», Θωμάς Ζαχαρίας, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006.
- [7] «Ήπιες Μορφές Ενέργειας ΙΙ», Θωμάς Ζαχαρίας, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2007.
- [8] «φυσική των φ/β στοιχείων», Βασιλική Περράκη, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2008.
- [9] «Νέες τεχνολογίες των φ/β στοιχείων», Βασιλική Περράκη, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2008.
- [10] «Ένας πρακτικός οδηγός για τα φωτοβολταϊκά», Σύνδεσμος Εταιρειών Φωτοβολταϊκών.
- [11] «Σύγχρονες εξελίξεις σε φ/β συστήματα για διεσπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας», Ι. Κομπογιάς, Α. Κυρίτσης, Α. Νανάκος, Ε. Τατάκης.
- [12] «Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Νεοκλέους-Κωνσταντινίδη, Ίων, 1991.
- [13] «Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα», ΙΜεοκλέους-Κωνσταντινίδη, Ίων, 1991.
- [14] «Επενδύσεις Φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα», Α. Ζαχαρίου, ΤΕΕ, 2010.
- [15] Μιχ. Π. Παπαδόπουλος, "Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές", Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997.
- [16] Σταύρος Παπαθανασίου, "Ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας", Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2008.
- [17] Στέφανος Μανιάς, "Ηλεκτρονικά Ισχύος", 6η έκδοση, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2007.
- [18] Μ. Ντρέκο, Χ. Πάτσιος, Α. Χανιώτης, Α. Κλαδάς "Ανάλυση Λειτουργίας και σ'Έλεγχος Συστήματος Ανεμογεννήτριας Μεταβλητών Στροφών Διασυνδεδεμένης στο Δίκτυο" Ελληνική επιτροπή CIGRE, σύνοδος Αθήνα 2009.
- [19] P.C. Krause, "Analysis of Electric Machinery", McGraw-Hill, 1986.
- [20] Chee-Mun Ong, "Dynamic Simulation of Electric Machinery using Matlab/Simulink", Prentice Hall PTR, 1998.
- [21] V. Akhmatov, "Analysis of Dynamic Behavior of Electric Power Systems with Large Amount of Wind Power", PhD Thesis, Technical University of Denmark, April 2003.

- [22] J.G. Slootweg, "Wind Power - Modeling and Impact on Power System Dynamics", PhD Thesis, Delft, October 2003.
- [23] M. R. Patel, "Wind and Solar Power Systems", CRC Press, 1999.
- [24] P. M. Anderson, "Analysis of Faulted Power Systems", IEEE Press, Power Systems Engineering Series, 1995.
- [25] T. Petru and T. Thiringer, "Modelling of Wind Turbines for Power System Studies", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.17, No.4, November 2002.
- [26] M. Papadopoulos, P. Malatestas, N. Hatziargyriou, "Simulation and analysis of small and medium size power systems containing wind turbines", IEEE Trans on Power Systems, vol. 6, pp. 1453 -1458 Nov. 1991.
- [27] "Power Quality Improvements of Wind Farms", Fredericia, June 1998.
- [28] L.L. Freris, "Wind Energy Conversion Systems", Prentice Hall, 1990.
- [29] S. Heier, "Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems", John Willey & Sons, 1998.
- [30] Papathanassiou S.A., Papadopoulos, M.P., "Dynamic behaviour of variable speed wind turbines under stochastic wind", IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.: 14, issue: 4, pages: 1617 -1623, Dec. 1999.
- [31] European Wind Energy Conference, "Proceeding of the International Conference held at Dublin Castle", Ireland, October 1997.
- [32] "Wind Energy for the Next Millenium", Proceedings of the European Wind Energy Conference, Nice^France, 1-5 March 1999.
- [33] T. Ackermann, "Wind Power in Power Systems". John Wiley & Sons,Ltd., 2005.
- [34] H. Slootweg, E. de Vries, "Fixed vs. Variable", Renewable Energy World, January-February 2003.
- [35] L. H. Hansen, L. Helle, F. Blaabjerg, E. Ritchie, S. Munk-Nielsen, H.Bindner, P.S0rensen, B. Bak-Jensen, "Conceptual survey ofgenerators and power electronics for wind turbines", Ris0 National Laboratory, Roskilde, Denmark, December 2001.
- [36] J. G. Slootweg; H. Polinder; W. L. Kling, "Representing Wind Turbine Electrical Generating Systems in Fundamental Frequency Simulations", IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 18, no.4, pp. 516-524, 2003.
- [37] Siegfried Heier, "Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems", 2nd ed., John Wiley & Sons, England, 2006.
- [38] V. Valtchev, A. Bossche, J. Ghijselen, and J. Melkebeek, "Autonomous renewable energy conversion system," Renew. Energy, vol. 19, no. 1, pp. 259-275, Jan. 2000.
- [39] S. Kim, and E. Kim, "PSCAD/EMTDC - Based modeling and analysis of a gearless variable speed wind turbine", IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol. 22, no. 2, pp. 421-430, June 2007.
- [40] N. Yamamura, M. Ishida, and T. Hori, "A simple wind power generating system with permanent magnet type synchronous generator", IEEE International Conf.

on Power Electronics and Drive Systems, PEDS '99, Hong Kong, July 1999.

- [41] C. Patsios, A. Chaniotis, A. Kladas, "A hybrid maximum power point tracking system for grid-connected variable speed wind-generators" Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008. IEEE 15-19, June 2008, p.p. 1749 - 1754.
- [42] Justin Wilkes, Jacopo Moccia, "Wind in power: 2009 European statistics", The European energy association, February 2010.
- [43] Othman B.k Hasnaoui, Jamel Belhadj, Mohamed Elleuch, "Direct Drive PMSG Wind Turbine investigation-Low Voltage Ride Through capability Dynamic behavior in presence of grid disturbance", Journal of Electrical Systems, August 2008.
- [44] Md. Wasi Uddin, Md. Yiasin Sumon, Rajib Goswami, Md. Rahimul Hasan Asif, K. M. Rahman "Sensorless peak power point tracking system for small scale wind turbine generators", 1st International Conference on the Developments in Renewable Energy echnology (ICDRET), December 2009.
- [45] Liang Ma, Wang Ran, Trillion Q. Z "Modeling and Control of three-phase Grid-connected Photovoltaic Inverter" 8th IEEE International Conference on control and Automation, Xiamen, China, June 2010.
- [46] «Σχεδίαση αυτόνομου υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος», Διπλωματική Εργασία της Μαρκάτου Μαρίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2011.
- [47] «Τεχνικό - οικονομική διερεύνηση φωτοβολταϊκών για οικιακή χρήση», Διπλωματική Εργασία του Δημητρίου Γ. Παναγόπουλου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011.
- [48] «Παραμετρική Μελέτη Μηδενισμού Σκίασης Ηλιακών Συλλεκτών-Κώδικας-Εφαρμογές», διπλωματική εργασία του Σταμάτιου Καλάκιου, Εθνικό Μετσόβιο Πλυτεχνείο,2010.
- [49] «Διαχείριση Δεδομένων Μέτρησης της Ηλιακής Ακτινοβολίας», διπλωματική εργασία του Παναγιώτη Κεραμιτζή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010.
- [50] «Τεχνοοικονομική Μελέτη και Σύγκριση Υβριδικών Συστημάτων. Εφαρμογή σε Αυτόνομη Κατοικία», διπλωματική εργασία των Δ. Σαραφιανού και Μ. Σειραγάκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009.
- [51] **«Σχεδιασμός Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος για την Τροφοδότηση Αγροικίας», διπλωματική εργασία της Φ. Μπουγιούκου, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2010.**
- [52] **Σ. Α. Παπαθανασίου, "Συμβολή στην Ανάλυση Ανεμογεννητριών Μεταβλητών Στροφών με Ασύγχρονη Γεννήτρια για την επιλογή του Ηλεκτρικού Σχήματος", Διδακτορική Διατριβή, Φεβρουάριος 1997, Αθήνα.**
- [53] **φ. Δ. Κανέλλος, "Συμβολή στην Προσομοίωση και Αναγνώριση Ανεμογεννητριών με Ασύγχρονη Γεννήτρια για τη Δημιουργία Μειωμένης Τάξης Ισοδυνάμων Μοντέλων", Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα, Οκτώβριος 2003.**

- [54] Σωτήριος Ι. Νάνου, "Μοντέλο Ανεμο γεννήτριας με Πλήρη Μετατροπέα για Μελέτες Ευστάθειας", Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. Ιούλιος 2009 .
- [55] Χρήστος Π. Πατσιούρας, " Τεχνικές Απαιτήσεις Κωδίκων για τη Σύνδεση Μεγάλων Αιολικών Πάρκων στο Σύστημα", Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. Σεπτέμβριος 2007.
- [56] Μαρία Σ. Ρώτα, " Σύγκριση Κλασσικού και Ελέγχου βασισμένου σε Ασαφή λογική Ανεμογεννήτριας Μόνιμων Μαγνητών", Διπλωματική Εργασία Ε.Μ.Π. Οκτώβριος 2008.
- [57] <http://www.eooa.gr/ppageId=540>
- [58] <http://dasi.koxo.rion.press.com/%CF%84%CE%B9>
- [59] <http://www.timbertrail.gr/sports/oreivatika-katafvgia.html>
- [60] <http://www.sportsmag.gr/shelters>
- [61] <http://www.buildings.gr/oreivatein/oreivatein.htm>
- [62] http://www.proskop?smos.com/index.php?option=com_content&task=view&id=399&Itemid=74
- [63] <http://www.seoreivatou.gr/index.{sp?CMCCode=100601&extLang=>
- [64] <http://www.xwmatinos.gr/xwma/modules.php?name=News&file=article&sid=1277>
- [65] http://katafygioagrafon.blogspot.com/p/blog-page_31.html
- [66] <http://www.pvtech.gr/pvgis.html>
- [67] <http://www.cocoon.gr/photovoltaic-svstemno6.html>
- [68] <http://www.cres.gr/energvsaving/images/pdf/Analvtikospinakas timoloeiou deh.pdf>
- [69] <http://www.energomixaniki.gr/fvprosdiorismos.php>
- [70] <http://www.gardena.com/gr/water-management/irrigation-pump/classic-pressure-tank-unit-3000-4/>
- [71] <http://www.iasoiarpower.com/anemogennitries.htm>
- [72] <http://www.anemogennitria.gr/articfes.htm>
- [73] <http://toolserver.org/~geohack/geohack.php?ianguage=ei&pagename=%CE>
- [74] <http://portal.tee.gr/portai/page/portai/teetkm/DRASTHRIOTHTES/OMADESERGASIAS/fwtovoltaika erewn.pdf>

- [75] [http://www.ebooks4greete.gr/2011.Download free-books/kathlghths/Eldikes Hlektrikes Egkatastaseis B Downloaded f eBooks4Greeks.er.pdf](http://www.ebooks4greete.gr/2011.Download%20free-books/kathlghths/Eldikes%20Hlektrikes%20Egkatastaseis%20B%20Downloaded%20f%20eBooks4Greeks.er.pdf)
- [76] [http://www.greenenergyparts.com/PDFManuals/solar panel.pdf](http://www.greenenergyparts.com/PDFManuals/solar%20panel.pdf)
- [77] [http://www.eoing-green.gr/gi off grfd.html](http://www.eoing-green.gr/gi%20off%20grfd.html)
- [78] <http://lkon.aeromodelHng.gr/ninter-073a.htm>
- [79] <http://www.eshops.gr/index.php?act=viewProd&prodId=470>
- [80] http://www.alexstore.gr/index.php?product_id=5872&page=shop.product_details&category_id=450&fh/page=flvpage.tpl&option=com_virtuemart&Itemid=71
- [81] http://www.solarfree.gr/index.php?pages=shop.product_details&flvpage=flvpage.tpl&product_id=424&category_id=134&option=com_virtuemart&Itemid=18&vmcchk=1&Itemid=18
- [82] <http://www.dcacPowerinverters.com/itemdesc.asp?ic=ML3500-24>
- [83] [http://www.cres.gr/perch/pdf/guide homeowners greek.pdf](http://www.cres.gr/perch/pdf/guide%20homeowners%20greek.pdf)
- [84] [http://www.eng.auth.gr/IHT/B%20Tomos/B01%20-%20A10LQKH%20ENERGEIA/05-Carabelas Daskalakis MEL-EGETAST%20ANW%20MQYLIA.pdf](http://www.eng.auth.gr/IHT/B%20Tomos/B01%20-%20A10LQKH%20ENERGEIA/05-Carabelas%20Daskalakis%20MEL-EGETAST%20ANW%20MQYLIA.pdf)
- [85] [http://www.wlndrose.gr/WindRose Greek Users Guide.pdf](http://www.wlndrose.gr/WindRose%20Greek%20Users%20Guide.pdf)
- [86] [http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatologv/climatologv region diagrams.html?dr citv=Tatol](http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatologv/climatologv%20region%20diagrams.html?dr%20citv=Tatol)
- [87] <http://aims.cres.gr/grwind150/viewer.htm>
- [88] <http://www.scribd.com/doc/81453529/3/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%>
- [89] <http://www.scribd.com/doc/81453529/3/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%>
- [90] [http://dSPACE.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/4762/3/papandreoug windfarm.pdf](http://dSPACE.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/4762/3/papandreoug%20windfarm.pdf)
- [91] <http://penteli.meteo.gr/stations/parnitha/NOAAPRYR.TXT>
- [92] <http://www.leaderexpo.gr/ENERTECH%20'11%20-%201%20OCTOBER/E%20SESSION/TZEN.pdf>
- [93] [http://wiki.answers.com/Q/Convert kmh to ms](http://wiki.answers.com/Q/Convert%20kmh%20to%20ms)
- [94] <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/iAxBE8.pdf>
- [95] physics.auth.gr/pms/upload/PEP_wind_power_12-2010.pdf
- [96] <http://www.ecowatt.gr/images/stories/proionta/air/swt7500dc-td-eng-0608.pdf>
- [97] [http://www.2004ewec.info/files/23 1400 soenkesiegfriedsen Ol.pdf](http://www.2004ewec.info/files/23%201400%20soenkesiegfriedsen%20Ol.pdf)
- [98] [http://www.hlektronika.gr/index.php?pages=theory7powersupplies](http://www.hlektronika.gr/index.php?pages=theory7%20powersupplies)
- [99] http://www.linksa.gr/index.php?option=com_content&view=category&id=180&start=0&limit=10&layout=blog&Itemid=282

- [100] <http://www.directIndustrv.com/prod/siemens-ag/ac-dc-switch-mode-power-supplies-modular-converters-17494-862341.html>
- [101] http://www.toolhouse.gr/index.php?page=shop.product_details&category_id=44&flypage=ilvm_flv2_blue.tpl&product_id=2989&option=com_virtuemart&Itemid=67&vmchk=1&Itemid=67
- [102] http://www.e-ergaleio.gr/product_info.php?cPath=182&products_id=13539
- [103] <http://www.mrtool.gr/epaggelmatika-blomichanika/gennitries/gennitria-epaggelmatiki-diesel-dhv600Qle-10hp-230v-hvundal-2080.htm> #