



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΞΟΧΙΚΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΕ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΝΗΣΙ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Samah Mezher

Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού Ε.Μ.Π

Επίβλεψη:
Μαρία - Παρασκευή Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΕΞΟΧΙΚΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΕ
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΝΗΣΙ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Samah Mezher

Διπλωματούχου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού Ε.Μ.Π

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

Μαρία - Παρασκευή Ιωαννίδου

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

(Επιβλέπουσα)

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΥ

Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΤΣΑΡΑΜΠΙΑΡΗΣ

Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2017

Samah Mezher

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Samah Mezher, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου 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 τηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις και εφαρμογή σε εξοχική κατοικία σε ελληνικό νησί» εκπονήθηκε στα πλαίσια του διπλώματος ειδίκευσης, της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα Καθηγήτρια μου Μαρία – Παρασκευή Ιωαννίδου, καθηγήτρια Ε.Μ.Π, για την ευκαιρία που μου έδωσε να εκπονήσω τη παρούσα διπλωματική εργασία, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, καθώς και για την επιστημονική καθοδήγηση και στήριξή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για τη στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και τους στενούς μου φίλους για τη ανεκτίμητη συμπαράσταση και κατανόηση τους.

Αθήνα, Ιούλιος 2017

Samah Mezher

sammouha_09@hotmail.com

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή “ήπιες μορφές ενέργειας” είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η ενέργεια νερού, ηλιακή, αιολική, βιομάζα μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικούς τρόπους παραγωγής ενέργειας. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση των ορυκτών καυσίμων Ως Α.Π.Ε. θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα). Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Κάθε μορφή έχει τις δικές της ιδιομορφίες και μπορούν να εφαρμοστούν είτε σε μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας είτε σε μικρότερες μονάδες όπως στα κτίρια. Οι νέες τεχνολογίες που εξετάζονται σήμερα, κυμαίνονται με βάση την παραγωγή ποσών ενέργειας με παρονομαστή το κόστος, δηλαδή να είναι οικονομικά αποδεκτές και ταυτόχρονα να καλύπτουν υψηλά ποσά ενέργειας. Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και πολλά κράτη υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται σε μια μικρή μελέτη εγκατάστασης Φωτοβολταϊκού σταθμού σε ένα νησί.

Λέξεις κλειδιά:

ιδιοκατανάλωση, φωτοβολταϊκά συστήματα, αυτοκατανάλωση, διεσπαρμένη παραγωγή, αποθήκευση ενέργειας, συσσωρευτής, ανάλυση ευαισθησίας, ανύψωση τάσης

ABSTRACT

Initially, reference is made to the evolution of PV technology over the recent years and the need for energy storage is discussed. An overview of schemes that enable direct consumption of PV production is presented such as net-metering and self-consumption, emphasizing in the context of self-consumption and the further increase of it using storage systems.

After that, the basic characteristics of photovoltaic systems are mentioned, and the impacts of environmental conditions on their operation are briefly explained. We examine the major components of PV systems as well as the impacts of PV connection to LV networks, and the specifications for this connection are mentioned. Furthermore, an introduction to the concept of energy storage in photovoltaic systems is made. The components, the principle of operation and the major characteristics of batteries are illustrated

Keywords:

PV battery systems, distributed generation, photovoltaic, self-consumption,
storage systems, voltage support

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ / ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xi
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ηλιακή ενέργεια	2
1.2.1 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα	6
1.3 Αιολική ενέργεια	8
1.3.1 Οι πρώτοι ευρωπαϊκοί ανεμόμυλοι.....	10
1.3.2 Ανεμογεννήτρια.....	11
1.4 Γεωθερμική ενέργεια.....	15
1.5 Βιομάζα	16
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	19
2.1 Φωτοβολταϊκά Πλαίσια.....	19
2.1.1 Εισαγωγή.....	19
2.1.2 Συστήματα Επίπεδων Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	20
2.1.3 Συστήματα Συγκεντρωτικών Φωτοβολταϊκών Πλαισίων	21
2.1.4 Μηχανισμός Κίνησης	22
2.1.5 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φωτοβολταϊκών Πλαισίων	23
2.1.6 Είδη Φωτοβολταϊκών Πλαισίων.....	29
2.2 Φωτοβολταϊκό σύστημα	30
2.2.1 Το σύστημα	30

2.2.2	Συσσωρευτές	31
2.2.3	Συστήματα Ρύθμισης Ισχύος	33
2.2.4	Είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	34
2	Συστήματα Απομονωμένα από το Δίκτυο	36
2.2.5	Τρόποι Σύνδεσης Φωτοβολταϊκών συστημάτων στο Δίκτυο Εναλλασσομένου Ρεύματος.....	38
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....		40
3.1	Συνδεσμολογία φωτοβολταϊκού συστήματος.....	40
3.1.1.	Φωτοβολταϊκό πάνελ.....	41
3.2	Ο Αντιστροφέας	43
3.2.1	Μονοφασικός αντιστροφέας.....	44
3.2.2	Δομή των αντιστροφέων πηγής τάσης.....	44
3.2.3	Αντιστροφέας τάσης.....	46
3.2.4	Ρυθμιστής φόρτισης και μπαταρία	47
3.2.5	Προϋποθέσεις για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.....	47
3.3.	Τοποθέτηση φωτοβολταϊκού συστήματος	49
3.3.1	Διαδικασία τοποθέτησης φωτοβολταϊκού συστήματος.....	52
3.3.2	Τοποθέτηση σε κτίριο.....	54
3.3.3	Τοποθέτηση σε οικόπεδο.....	56
3.4	Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	57
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....		61
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΕ ΕΞΟΧΙΚΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ Σε Ελληνικό Νησί.....		64
5.1	Εισαγωγή	64
5.2	Απαιτήσεις σχεδιασμού	64
5.3	Σχέδιο - μελέτη τελικής λύσης	65

5.3.1 Διαστασιολόγηση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος	65
5.3.2 Υπολογισμός συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης	67
5.3.3 Υπολογισμός βέλτιστης γωνίας τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων	68
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	70
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ / ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1.1 : Εγκατεστημένοι συλλέκτες ηλιακής ενέργειας.....	2
Εικόνα 1.2 : Ρύθμιση της κατεύθυνσης.....	4
Εικόνα 1.3 : Μονοαξονική διεξαγωγή.....	5
Εικόνα 1.4 : Ελληνικός ανεμόμυλος	11
Εικόνα 1.5 : Αρχικές Εικόνες από την ευρεσιτεχνία τους του G.J.M. Darrieus 1931: καμπύλα πτερύγια (αριστερά) και λεπίδες (δεξιά)	13
Εικόνα 1.6 : Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα	14
Εικόνα 1.7 : Γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας.....	16
Εικόνα 1.8 : Ενεργειακό ισοζύγιο για τη παραγωγή Βιομάζα.....	18
Εικόνα 2.1 : Φωτοβολταϊκό πλαίσιο πυριτίου.....	19
Σχήμα 2.1 : V-I χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού πλαισίου με στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα.....	23
Σχήμα 2.2 : Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού πλαισίου	24
Σχήμα 2.3 : Ποιοτικές καμπύλες τάσης-ρεύματος και τάσης- ισχύος ενός φ/β πλαισίου	25
Σχήμα 2.4 : V-I Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού πλαισίου για διάφορες τιμές ακτινοβολίας E.....	27
Σχήμα 2.5 : Χαρακτηριστικές εξόδου V-I, ενός πλαισίου για διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας του πλαισίου	28
Σχήμα 2.6 : Χαρακτηριστικές εξόδου V-P, ενός πλαισίου για διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας του πλαισίου	29
Εικόνα 2.2 : Συσσωρευτές που αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας.....	32
Εικόνα 2.3 : Είδη συσσωρευτών	33
Εικόνα 2.4 : Συστήματα ρύθμισης ισχύος.....	33
Εικόνα 2.5 : Φωτοβολταϊκό Σύστημα Συνδεδεμένο στο Δίκτυο.....	36
Εικόνα 2.6 : Το Αυτόνομο Υβριδικό Σύστημα της Κύθνου.....	38

Εικόνα 2.7 : Σύστημα φωτοβολταϊκής γεννήτριας με αντιστροφέα συνδεδεμένο στο δημόσιο δίκτυο	39
Εικόνα 3.1 : Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα [πηγή: Ιακωβάκης, Ι. (2010)]	40
Σχήμα 3.1 : Παράλληλη σύνδεση τοποθετημένων σε σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	42
Σχήμα 3.2 : Μονοφασικός αντιστροφέας με πλήρη γέφυρα	45
Εικόνα 3.2 : Ο πύργος CIS στο Manchester της Μ. Βρετανίας με φωτοβολταϊκή πρόσοψη..	49
Εικόνα 3.3 : Το BIQ house στο Αμβούργο, το πρώτο 100% ενεργειακά αυτόνομο κτίριο από φωτοβολταϊκά πάνελ και φύκια.....	50
Εικόνα 3.3: Ηλιακά «κεραμίδια» Με εκτύπωση σε ρολό, εύκαμπτων φωτοβολταϊκών μεμβράνης	50
Εικόνα 3.4 : Εικόνα Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε κεραμίδια	51
Εικόνα 3.5 : Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε στέγαστρα	51
Εικόνα 3.6 : Το μεγαλύτερο ηλιακό πάρκο στην Ιαπωνία, με ισχύ 70 MW	56
Εικόνα 3.7 : Εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε σκάφη.....	59
Εικόνα 3.8 : Φωτοβολταϊκό πεζοδρόμιο στην πόλη Κόμπε της Ιαπωνίας	60
Εικόνα 3.9 : Εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε Αεροπλάνο - Δορυφόρος της αεροναυπηγικής εταιρείας Titan.....	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 : Η τιμή αγοράς της kWh (κυλοβατώρας) από τη ΔΕΗ.....	55
Πίνακας 5.1 : Συνολική ενεργειακή κατανάλωση.....	67
Πίνακας 5.2 : Αναλυτική κατανομή της ισχύος κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας και υπολογισμός της μέγιστης δυνατής για το σύστημα	68
Πίνακας 5.3 : Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε ελληνικό νησί και εκλογή γωνίας κλίσης.....	68

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι μια χώρα ιδιαίτερα ευνοημένη στην ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (κυρίως ηλιακή ενέργεια, αιολική ενέργεια, γεωθερμία και βιομάζα) δεν υπάρχουν οι κατάλληλες υποδομές ώστε να αξιοποιηθούν, κάτι που θα οδηγούσε σε αύξηση της συμμετοχής τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας σε μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τις υπόλοιπες.

Αξιοποιώντας τις Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα μπορούσαν να αναπτυχθούν οι βιομηχανικές δραστηριότητες που έχουν σχέση με αυτές, κάτι που θα επέφερε σημαντικά οφέλη στη χώρα μας, εκτός από τα περιβαλλοντικά και τα οικονομικά, καθώς θα αναπτύσσονταν δραστηριότητες για τις οποίες η συμμετοχή της ενέργειας στο κόστος το τελικού προϊόντος θεωρείται σημαντική με τη χρήση Α.Π.Ε. αντί της συμβατικής τεχνολογίας και θα οδηγούσε την παραγωγή κάποιων προϊόντων, όπως τα οπωροκηπευτικά, τα άνθη, την ιχθυοκομεία κ.α., ανταγωνιστική και συμφέρουσα. Επιπλέον θα αναπτυσσόταν η εθνική βιομηχανία παραγωγής συστημάτων συλλογής και μετατροπής της ηλιακής και αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Από τη δημιουργία αυτών των συστημάτων θα είχαμε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας καθώς και τη συγκράτηση εξαγωγής συναλλάγματος αφού μέχρι πρότινος γινόταν με εισαγωγή αυτών των συστημάτων από το εξωτερικό.

1.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Είναι η ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με τη χρήση μηχανικών μέσων για τη συλλογή, αποθήκευση και διανομή της. Η Ελλάδα, χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια, προσφέρεται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα είναι $4,6 \text{ KWh/m}^2$. Η επιφάνεια των εγκατεστημένων συλλεκτών στη χώρα μας ανέρχεται περίπου σε $2.000.000 \text{ m}^2$ (**Εικόνα 1.1**). Η τιμή αυτή αποτελεί ποσοστό 50% περίπου, της επιφάνειας συλλεκτών εγκατεστημένων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Οι συλλέκτες αυτοί, κυρίως αφορούν σε μικρά οικιακά συστήματα.



Εικόνα 1.1 : Εγκατεστημένοι συλλέκτες ηλιακής ενέργειας

Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε απομακρυσμένες όσο και σε κατοικημένες περιοχές, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον, κάνει ελκυστική τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από :

1. το Φ/Β πλαίσιο (είδος ηλιακού συλλέκτη).
2. το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (μπαταρίες).
3. τα ηλεκτρονικά συστήματα που ελέγχουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/Β συστοιχία.

Μία τυπική συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία τότε αυτά μετατρέπουν ένα 10% περίπου της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Επιπλέον, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και δίχως καμιά επιβάρυνση στο περιβάλλον.

Τα Φ/Β πλαίσια αποτελούνται από κατάλληλα επεξεργασμένους δίσκους πυριτίου (ηλιακά στοιχεία = solar cells) που βρίσκονται ερμητικά σφραγισμένοι μέσα σε πλαστική ύλη για να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες (π.χ. υγρασία). Η μπροστινή όψη του πλαισίου προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί. Η κατασκευή αυτή, που δεν ξεπερνά σε πάχος τα 4 με 5 χιλιοστά του μέτρου, τοποθετείται συνήθως σε πλαίσιο αλουμινίου, όπως στους υαλοπίνακες των κτιρίων. Τα εσωτερικά είναι διασυνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα ανάλογα με την εφαρμογή.

Στις περισσότερες εφαρμογές στο δικό μας παράλληλο, πολλά πλεονεκτήματα παρέχει το σταθερό μοντάρισμα των Φ/Β, με κατεύθυνση προς το νότο και φυσικά με την προϋπόθεση ότι η προσαρμογή γίνεται κάτω από την κατάλληλη γωνία ροής. Τα πλεονεκτήματα είναι τα εξής :

1. Εύκολο και ολιγοδάπανο μοντάρισμα με το μικρότερο κόστος.
2. Καλή μηχανική σταθερότητα της εγκατάστασης ακόμα και κάτω από ισχυρούς ανέμους.

3. Ποικιλία δυνατοτήτων για μια αισθητικά ικανοποιητική ενσωμάτωση στις υφιστάμενες κτιριακές δομές.

Από την άλλη πλευρά, η απόδοση των Φ/Β σε ενέργεια μπορεί να βελτιωθεί με την κατάλληλη κατεύθυνση τους προς τον ήλιο και μάλιστα παρατηρείται μεγαλύτερη βελτίωση όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος της ευθείας ακτινοβολίας στο σύνολο της ακτινοβολίας. Τεχνικά η συνεχής στροφή προς τον ήλιο απαιτεί μια σταθερή κατασκευή με κίνηση και ρύθμιση της κατεύθυνσης (**Εικόνα 1.2**). Αυτό βέβαια συνδέεται πάντα με μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με το σταθερό μοντάρισμα, αλλά και με την κατανάλωση πρόσθετου ρεύματος. Η διεξαγωγή με δύο άξονες λειτουργεί με δύο προωστήρες, ώστε να προσαρμοστεί και η κατεύθυνση (δηλ. η περιστροφή γύρω από κάθετο άξονα) και η κλίση (ροπή γύρω από οριζόντιο άξονα) των Φ/Β στη θέση του ήλιου και να φέρει την καλύτερη δυνατή απόδοση.



Εικόνα 1.2 : Ρύθμιση της κατεύθυνσης

Αντίθετα, στην μονοαξονική διεξαγωγή (**Εικόνα 1.3**) χρησιμοποιείται ένας κυρτός, πολικός (δηλ. κατευθυνόμενος προς το βορρά) άξονας με έναν μόνο προωστήρα. Αυτού του

είδους η διεξαγωγή έχει μικρότερη απόδοση σε ενέργεια, σε σχέση με τη διεξαγωγή των δύο αξόνων.



Εικόνα 1.3 : Μονοαξονική διεξαγωγή

Η ηλιακή ακτινοβολία πάνω στην ηλιακή γεννήτρια ενισχύεται, κατά κύριο λόγο με έναν καθρέφτη, δηλαδή μέσω της συγκέντρωσης του ηλιακού φωτός. Βέβαια η χρήση ανακλαστήρων έχει νόημα μόνο στην κινούμενη εγκατάσταση. Η μορφή αυτή δεν μπόρεσε να επικρατήσει στην χώρα μας γιατί:

1. Η συγκέντρωση του ηλιακού φωτός αξίζει μόνο υπό συνθήκες κινούμενου μονταρίσματος και υψηλού μέρους ευθείας ακτινοβολίας.
2. Οι φωτοκυψέλες θερμαίνονται έντονα μέσω της συγκέντρωσης της ακτινοβολίας, έτσι ώστε όταν ο βαθμός συγκέντρωσης είναι μεγαλύτερος του 2, χωρίς ενεργή ψύξη σε κυψέλες από Silicon, προξενούνται ζημιές στις κυψέλες.
3. Η παραγωγή καθρεφτών είναι φθηνότερη από ό,τι η παραγωγή Φ/Β, αλλά δε φέρνουν τόσο μεγάλη πρόσθετη απόδοση. Επίσης, εκτός αυτού, απαιτούν πολύ χώρο στο μοντάρισμα όταν είναι σε κινούμενη εγκατάσταση.

Στο δικό μας παράλληλο, θα ενισχυόταν ακόμη περισσότερο το μειονέκτημα του κινούμενου μονταρίσματος. Όταν η ύπαρξη ευθείας (άμεσης) ακτινοβολίας είναι μεγάλη, δηλ. κυρίως το καλοκαίρι, παράγεται πολύ ρεύμα, ενώ όταν είναι χαμηλή η ακτινοβολία με μεγάλο ποσοστό σε διάχυτη ακτινοβολία το χειμώνα, δεν επιτυγχάνεται η πρόσθετη απόδοση.

Η ενσωμάτωση των Φ/Β πλαισίων στα κτίρια μπορεί να έχει πολλαπλά οφέλη. Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρισμού τα Φ/Β πλαίσια μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά στοιχεία για την κάλυψη της οροφής, για την επένδυση της πρόσοψης ή και ως σκίαστρα. Το νέο αυτό στοιχείο στην αρχιτεκτονική, θα μπορούσε να οδηγήσει σε πρωτότυπες λύσεις για την εμφάνιση των κτιρίων.

Για την κατάλληλη τοποθέτηση ενός ηλιακού συστήματος, υπολογίζεται πρώτα το μέγεθος της γεννήτριας ρεύματος, ανάλογα με την υφιστάμενη ανάγκη για ενέργεια σε κάθε περίπτωση. Το ηλιακό σύστημα θα πρέπει να προμηθεύει ενέργεια σε επαρκή ποσότητα, ώστε να καλύπτει το ρεύμα που καταναλώνουν στη διάρκεια της ημέρας λάμπες, συσκευές, καθώς επίσης και την ενέργεια που καταναλώνει η ίδια η εγκατάσταση.

1.2.1 ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Με τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων μπορούμε να πετύχουμε παραγωγή ζεστού νερού:

1. Σε βιομηχανίες που απαιτούν ζεστό νερό κατά τη διάρκεια της παραγωγικής τους διαδικασίας όπως σαπωνοποιεία, βυρσοδεψεία, παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων, βαφεία, ζυθοποιεία κ.λ.π.
2. Σε θερμοκήπια για θέρμανση χώρου και εδάφους.
3. Σε μεγάλα κτίρια ιδιωτικά και δημόσια, όπως νοσοκομεία, πολυκατοικίες, κ.λ.π.
4. Σε οικιστικά σύνολα και βιοκλιματικές κατοικίες.

Ενώ το δυναμικό των παθητικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης είναι πολύ μεγάλο, οι εφαρμογές στην Ελλάδα είναι πολύ λίγες. Μέχρι σήμερα αριθμούν λίγο

παραπάνω από 250. Το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελείται από ιδιωτικά κτίρια του οικιακού τομέα ενώ σε δεύτερη βαθμίδα μεγέθους ακολουθούν τα εκπαιδευτικά κτίρια. Οι υπόλοιπες εφαρμογές καλύπτουν άλλες χρήσεις. Τα περισσότερα κτίρια έχουν κτισθεί στη Ζώνη Α (όπως ορίζεται από τον ισχύοντα Κανονισμό Θερμομόνωσης) και το μεγαλύτερο ποσοστό τους στην Κρήτη. Τα υπόλοιπα εντοπίζονται στη Μακεδονία και κυρίτερα στη Θεσσαλονίκη και τα περίχωρά της και στην Αττική.

Τα συστήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι στο μεγαλύτερο ποσοστό τους πολύ απλά. Δεν έχουν χρησιμοποιηθεί υλικά ή δομικά στοιχεία προηγμένης τεχνολογίας ακόμη και σε κτίρια που έτυχαν χρηματοδότησης από τα επιδεικτικά προγράμματα της 17ης Γ.Δ. της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Οι βασικοί παράγοντες αναχαίτισης της εφαρμογής των παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι οι ακόλουθοι:

1. Έλλειψη γνώσεων μεταξύ των αρχιτεκτόνων και των μηχανικών γενικότερα.
2. Έλλειψη ενημέρωσης του κοινού.
3. Έλλειψη βιομηχανοποιημένων προϊόντων απαραίτητων για την κατασκευή και ορθή λειτουργία των παθητικών συστημάτων καθώς και τυποποίησης των δομικών στοιχείων.
4. Γενική τάση των ιδιωτών και του Δημοσίου στην τοποθέτηση όσο το δυνατόν μικρότερου αρχικού κεφαλαίου με συνέπεια το αυξημένο κόστος λειτουργίας των κτιρίων.

Η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα αποτελεί το 30% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης σε εθνικό επίπεδο. Υπάρχει δε, σοβαρή αυξητική τάση η οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο στο μεγάλο ρυθμό εγκατάστασης κλιματιστικών συσκευών. Συγχρόνως πρέπει να σημειωθεί ότι ο κτιριακός τομέας συμμετέχει με 40% στην εκπομπή του CO₂ σε εθνικό επίπεδο. Συνεπώς μια πολιτική μείωσης του CO₂ από πλευράς πολιτείας έτσι ώστε να ακολουθήσει τις δεσμεύσεις της Συνδιάσκεψης του Ρίο, θα πρέπει να αντιμετωπίσει κατά κύριο λόγο τον κτιριακό τομέα. Μία τέτοια πολιτική δημιουργεί συνεπώς πολύ θετικές προϋποθέσεις για τη διεύρυνση της εφαρμογής τους.

Ο κτιριακός τομέας στην Ελλάδα απαριθμεί περίπου 3.500.000 κτίρια (στοιχεία 1988, Εθνική Στατιστική Υπηρεσία). Απ' αυτά μόλις το 3% οικοδομήθηκε μετά το 1981 που ίσχυε

ο Κανονισμός Θερμομόνωσης. Από τα στοιχεία αυτά συνεπάγεται αφ' ενός ότι υπάρχει μεγάλη δυνατότητα μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας σε θέρμανση και ψύξη και αφ' ετέρου ότι ο ρυθμός επιβεβλημένης αντικατάστασης ή ανακαίνισης του κτιριακού αποθέματος αυξάνεται.

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού στον οικιακό τομέα, είναι αρκετά αναπτυγμένη, (ετησίως παράγονται 130.000m² από συλλέκτες), ενώ η χρήση της στον βιομηχανικό τομέα αξιόλογη. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας, υποκαθιστώντας την ηλεκτρική είναι πολύ συμφέρουσα τόσο περιβαλλοντικά όσο και οικονομικά. Θα πρέπει όμως να ενισχυθεί και να αναπτυχθεί περισσότερο .

1. Με την ίδρυση εργαστηρίων ελέγχου ποιότητας και απόδοσης των ηλιακών συστημάτων, ώστε να προστατεύονται οι αγοραστές και οι κατασκευαστές
2. Με τη θέσπιση κινήτρων ώστε να τις εγκαταστήσουν οι ιδιώτες στα σπίτια, τις επιχειρήσεις, τις βιομηχανίες και γενικότερα σε κάθε τομέα.
3. Με την ενίσχυση των βιομηχανιών για την επέκταση των δραστηριοτήτων τους ώστε να καλύψουν τις ανάγκες τις αγοράς και να περιορίσουν τις εισαγωγές αλλά και να δημιουργήσουν εξαγωγικό εμπόριο των συστημάτων τους.

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας στην θέρμανση των εσωτερικών χώρων, με τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων τα οποία ενσωματώνονται στο κτιριακό κέλυφος συμφέρουν οικονομικά. Βέβαια για να έχουμε τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα, θα πρέπει να προηγηθεί σωστή μελέτη και σχεδιασμός του κτιρίου με βάση τις αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, για να επιτευχθεί ο καλύτερος προσανατολισμός, να εξοικονομείται ενέργεια και να μειωθεί η ρύπανση του περιβάλλοντος. Μια ακόμη εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας, είναι η χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων μικρής κλίμακας για ηλεκτροπαραγωγή. Βέβαια αυτή η εφαρμογή είναι ακόμη σε πιλοτικό στάδιο και χρειάζεται περαιτέρω έρευνα. Τέλος η χρήση αγροτικών ηλιακών θερμοκηπίων θα συμβάλλει στην ανάπτυξη της αγροτικής οικονομίας, αφού οι ενεργειακές τους απαιτήσεις θα είναι περιορισμένες, το κόστος κατασκευής και συντήρησης χαμηλό και τα οφέλη πολλά.

1.3 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις παλαιότερες μορφές φυσικής ενέργειας. Αξιοποιήθηκε από πολύ νωρίς για την παραγωγή μηχανικού έργου και έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας.

Η σημασία της ενέργειας του ανέμου φαίνεται στην Ελληνική μυθολογία όπου ο Αίολος διορίζεται από τους Θεούς του Ολύμπου ως «Ταμίας των ανέμων». Ο άνθρωπος πρωτοχρησιμοποίησε την αιολική ενέργεια στα ιστιοφόρα πλοία, γεγονός που συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη της ναυτιλίας.

Μια άλλη εφαρμογή της αιολικής ενέργειας είναι οι ανεμόμυλοι. Μαζί με τους νερόμυλους συγκαταλέγονται στους αρχικούς κινητήρες που αντικατέστησαν τους μυς των ζώων ως πηγές ενέργειας. Διαδόθηκαν πλατιά στην Ευρώπη επί 650 χρόνια, από τον 12^ο μέχρι τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, οπότε άρχισε σταδιακά να περιορίζεται η χρήση τους, λόγω κυρίως της ατμομηχανής. Η οριστική τους εκτόπιση άρχισε μετά τον Α' Παγκόσμιο πόλεμο, παράλληλα με την ανάπτυξη του κινητήρα εσωτερικής καύσεως και την διάδοση του ηλεκτρισμού. Κατά τη δεκαετία του 1970, το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με ανεμογεννήτριες και ανεμόμυλους ανανεώθηκε λόγω της ενεργειακής κρίσης και των προβλημάτων που δημιουργεί η ρύπανση του περιβάλλοντος.

Οι ανεμογεννήτριες είναι τα συγκροτήματα που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου (αιολική ενέργεια) σε ηλεκτρική ενέργεια λέγονται ανεμογεννήτριες ή ανεμοηλεκτρικές γεννήτριες.

Ιστορικά αναφέρεται ότι στη Μέση Ανατολή, οι ανεμογεννήτριες είναι συνέχεια των ανεμόμυλων. Ο ανεμόμυλος είναι μια διάταξη που χρησιμοποιεί ως κινητήρια δύναμη την κινητική ενέργεια του ανέμου (αιολική ενέργεια). Χρησιμοποιείται για την άλεση σιτηρών, την άντληση νερού και σε άλλες εργασίες. Φαίνεται ότι οι αρχαίοι λαοί της Ανατολής χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους, αν και η πρώτη αναφορά σε ανεμόμυλο (ένα περσικό συγκρότημα ανεμόμυλων του 644 μ.Χ.) γίνεται σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9ου μ.Χ. αιώνα. Αυτό το συγκρότημα των ανεμόμυλων βρισκόταν στο Σεστουάν, στα σύνορα της Περσίας και Αφγανιστάν και ήταν «οριζόντιου τύπου», δηλαδή με ιστία (φτερά) τοποθετημένα ακτινικά σε έναν “κατακόρυφο άξονα”. Ο άξονας αυτός στηριζόταν σε ένα

μόνιμο κτίσμα με ανοίγματα σε αντιδιαμετρικά σημεία για την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Κάθε μύλος έδινε απευθείας κίνηση σε ένα μόνο ζεύγος μυλόπετρες. Οι πρώτοι μύλοι είχαν τα ιστία κάτω από τις μυλόπετρες, όπως δηλαδή συμβαίνει και στους οριζόντιους νερόμυλους από τους οποίους φαίνεται ότι προέρχονταν. Σε μερικούς από τους μύλους που σώζονται σήμερα τα ιστία τοποθετούνται πάνω από τις μυλόπετρες. Τον 13ο αιώνα οι μύλοι αυτού του τύπου ήταν γνωστοί στην Βόρεια Κίνα, όπου μέχρι και τον 16ο αιώνα τους χρησιμοποιούσαν για εξάτμιση του θαλασσινού νερού στην παραγωγή αλατιού. Τον τύπο αυτό του μύλου χρησιμοποιούσαν επίσης στην Κριμαία, στις περισσότερες χώρες της Δυτικής Ευρώπης και στις ΗΠΑ, μόνο που λίγοι από αυτούς διασώζονται σήμερα. Ο πιο αντιπροσωπευτικός από όλους αυτούς τους τύπους των ανεμόμυλων είναι ο τύπος με το στροφέιο σχήματος S' (S-Rotor) (εφευρέτης ο Φιλανδός S.J.Savinious) που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιείται σε φτωχές ή απομονωμένες περιοχές λόγω της φτηνής και εύκολης κατασκευής του.

1.3.1 ΟΙ ΠΡΩΤΟΙ ΕΥΡΑΠΑΙΚΟΙ ΑΝΕΜΟΜΥΛΟΙ

Ο ανεμόμυλος έφτασε στην Ευρώπη από τους Άραβες, χρησιμοποιήθηκε δε στον τύπο του κατακόρυφου ρωμαϊκού υδραυλικού τροχού, με τη διαφορά ότι ο ανεμόμυλος είχε στην θέση του τροχού κατακόρυφα φτερά που μετέδιδαν την κίνηση στις μυλόπετρες με ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών. Οι πρώτοι τέτοιοι περιστρεφόμενοι μύλοι εμφανίστηκαν στη Γαλλία το 1180, την Αγγλία το 1191 και τη Συρία την εποχή των Σταυροφοριών (1190).



Εικόνα 1.4 : Ελληνικός ανεμόμυλος

Στις αρχές του 14ου αιώνα αναπτύχθηκε στη Γαλλία ο ανεμόμυλος σε σχήμα πύργου (ξετροχάρης). Σε αυτόν τον τύπο ανεμόμυλου οι μυλόπετρες και οι οδοντωτοί τροχοί ήταν τοποθετημένοι σε ένα σταθερό πύργο με κινητή οροφή ή “κάλυμμα”, στην οποία στηρίζονταν τα ιστία και η οποία μπορούσε να στραφεί επάνω σε ειδική τροχιά, στην κορυφή του πύργου.

Ο «περιστρεφόμενος ανεμόμυλος με κοίλο εσωτερικά άξονα» επινοήθηκε στις Κάτω Χώρες στις αρχές του 15ου αιώνα (**Εικόνα 1.4**). Διέθετε έναν κατακόρυφο άξονα με γρανάζια στα δύο του άκρα ο οποίος περνούσε μέσα από τον κοίλο άξονα και κινούσε ένα τροχό με περιφερειακά διαταγμένα σκαφίδια που μετέφερε το νερό σε υψηλότερη στάθμη.

1.3.2 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

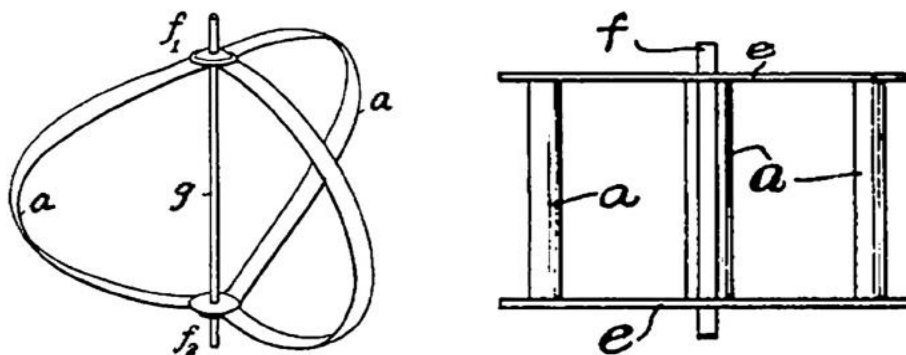
Ο ανεμόμυλος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια το 1890 όταν εγκαταστάθηκε πάνω σε χαλύβδινο πύργο (ο ανεμόμυλος του Π. Λα Κούρ στη Δανία) με ισχία με σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματης μετάπτωσης προς τη διεύθυνση του ανέμου.

Μετά τον Α' Παγκόσμιο πόλεμο, έγιναν πειράματα με ανεμόμυλους που είχαν ισχύ αεροτομής, δηλαδή όμοια με πτερύγια αεροπορικής έλικας. Το 1931 μια τέτοια ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε στην Κριμαία και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διοχετευόταν στο τμήμα χαμηλής τάσης του τοπικού δικτύου. Πραγματικές ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια λειτούργησαν στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1940, στην Αγγλία τη δεκαετία του 1950 καθώς και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία από τον J.Juul με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεδεμένα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής.

Στην Ολλανδία εκτελέστηκαν πειράματα από τον F.G. Pigeaud με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων άλεσης δημητριακών, έτσι ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή. Χρησιμοποιήθηκε ένας ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο (σε περίπτωση άπνοιας) ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούσε.

Ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης περιλάμβανε συμπλέκτη παράκαμψης με σκοπό ο ηλεκτροκινητήρας να μην κινεί τα ιστία παρά μόνο να εκτελεί χρήσιμο έργο. Η οροφή στρεφόταν με τη βοήθεια σερβοκινητήρα που ελεγχόταν από έναν ανεμοδείκτη.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο πολλοί περίμεναν ότι η αιολική ενέργεια θα συνέβαλλε σημαντικά στην παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά οι προσπάθειες ανάπτυξης ανεμογεννητριών ατόνησαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Οι προσπάθειες αυτές ξανάρχισαν πιο έντονες μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση (1973) και στηρίχθηκαν κατά μεγάλο μέρος στην σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία. Έτσι αναπτύχθηκαν διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 διατέθηκαν στο εμπόριο συγκροτήματα μικρής ισχύος (μέχρι 20-25 κιλοβάτ) ενώ είχαν κατασκευαστεί και ανεμογεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος (3-4 μεγαβάτ).



Εικόνα 1.5 : Αρχικές Εικόνες από την ευρεσιτεχνία τους του G.J.M. Darrieus 1931: καμπύλα πτερύγια (αριστερά) και λεπίδες (δεξιά)

Οι ανεμογεννήτριες προηγμένης τεχνολογίας που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι κυρίως δύο τύπων: ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα με πτερύγια και ανεμογεννήτριες Νταριέ (**Εικόνα 1.5**) με κατακόρυφο άξονα (από τον Γάλλο **G.J.M. Darrieus** που τις εφεύρε το 1925).

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα (**Εικόνα 1.6**), που είναι πιο εξελιγμένες και διαδεδομένες, έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια και η ισχύς τους κυμαίνεται από λίγα κιλοβάτ έως μερικά μεγαβάτ.



Εικόνα 1.6 : Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες Νταριέ, είναι απλούστερες και μικρότερης ισχύος. Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν ως εξής: Η ισχύ που αποδίδει, κατ' επέκταση και η ενέργεια που παράγει, μια ανεμογεννήτρια είναι συνάρτηση του κύβου της ταχύτητας του ανέμου, της πυκνότητας του ανέμου και των τεχνικών χαρακτηριστικών του συγκροτήματος. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος και γι αυτό οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται πάντα στην κορυφή υψηλών πύργων στήριξης. Παρ' όλα αυτά οι θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι για την παραγωγή ωφέλιμου έργου μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο το 53,9% της συνολικής ενέργειας του ανέμου. Η ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα με πτερύγια ανταποκρίνεται στις μεταβολές τα ταχύτητας του ανέμου με αυτόματη αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων. Ο άξονας της παραλληλίζεται αυτόματα προς τη διεύθυνση του ανέμου έτσι ώστε ο άνεμος να προσβάλλει κάθετα την επιφάνεια που διαγράφουν τα πτερύγια.

Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται τελικά η βέλτιστη παραγωγή ενέργειας από το άνεμο με συντελεστή μέχρι 46 έως 48% και εξασφαλίζονται ικανοποιητικά όρια στα χαρακτηριστικά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η μηχανική ισχύς που αναπτύσσεται στον άξονα των πτερυγίων από τον άνεμο μεταδίδεται στην ηλεκτρική γεννήτρια με τις κατάλληλες στροφές. Η γεννήτρια, που μπορεί να είναι σύγχρονη ή ασύγχρονη, παράγει την ηλεκτρική ενέργεια και τροφοδοτεί την κατανάλωση.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι χρονικά ασυνεχής, επειδή ακολουθεί τη δίαυτα του ανέμου, ενώ η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις ώρες της ημέρας, την εποχή, την οικονομική και κοινωνική δομή των καταναλωτών, κτλ. Το αποτέλεσμα είναι στις ανεμογεννήτριες να παρουσιάζοντα σημαντικές ταλαντώσεις ισχύος ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ όταν επικρατεί άπνοια ή πολύ ισχυρός άνεμος παύει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον σχεδιασμό ενός αυτόνομου αιολικού ηλεκτρικού συστήματος θα πρέπει να προβλεφθεί αποθήκευση. Ο συνηθέστερος τρόπος είναι η εγκατάσταση συσσωρευτών, αλλά στο μέλλον ίσως χρησιμοποιηθούν και άλλοι μέθοδοι, όπως υδροδυναμική εκμετάλλευση, πεπιεσμένου αέρα, παραγωγή υδρογόνου, κλπ.

1.4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά και σε θερμά - ξηρά πετρώματα. Η Ελλάδα λόγω των ειδικών γεωλογικών συνθηκών της είναι πλούσια σε αυτή τη μορφή ενέργειας (**Εικόνα 1.7**). Εκμεταλλευόμενοι τη γεωθερμική ενέργεια μπορούμε να πετύχουμε τηλεθέρμανση κτιρίων σε ορισμένες περιοχές της χώρας, ανάπτυξη γεωθερμικών θερμοκηπίων, μονάδων ιχθυοκαλλιεργειών, μονάδων αφαλάτωσης, ξηραντήριων κλπ.

Δεν υπάρχει αυτή τη στιγμή ενεργειακή εκμετάλλευση γεωθερμικών ρευστών στην περιοχή. Όμως υπάρχει γεωθερμικό δυναμικό στην περιοχή της Κόνιτσας. Ειδικότερα υπάρχουν δύο πηγές ρευστού χαμηλής ενθαλπίας στην Κόνιτσα. Το δυναμικό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα για παροχή θερμού νερού σε ιχθυοτροφεία. Μέχρι σήμερα έχουν βρεθεί τα παρακάτω γεωθερμικά πεδία:

A. Πηγές Καβασίων:

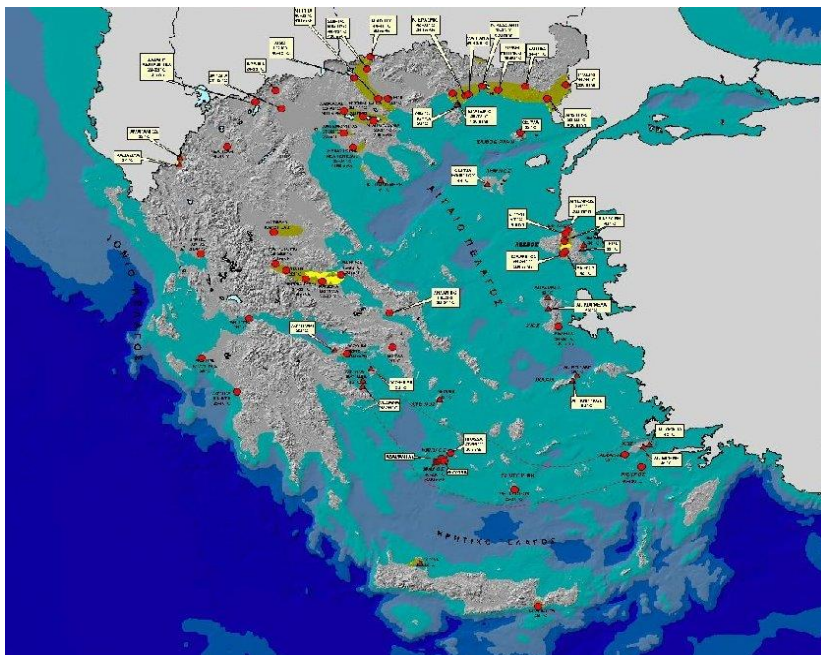
Οι πηγές Καβασίων κοντά στον ποταμό Σαραντάπορο αναλύθηκαν από το ΙΓΜΕ και τα αποτελέσματα δίνονται πιο κάτω:

1. Θερμοκρασία Αέρα: 28.1 °C
2. Θερμοκρασία Νερού: 28.1 °C

B. Πηγές Αμάραντου:

Στα βόρεια της Κόνιτσας κοντά στο Χωριό Αμάραντος υπάρχουν θερμές πηγές. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται στην οροσειρά της Πίνδου. Η θερμοκρασία του ατμού στην έξοδό του μετρήθηκε σε 32°C ενώ η θερμοκρασία στο σημείο εξόδου είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Γ. Περιοχή Συκιών:



Εικόνα 1.7 : Γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας

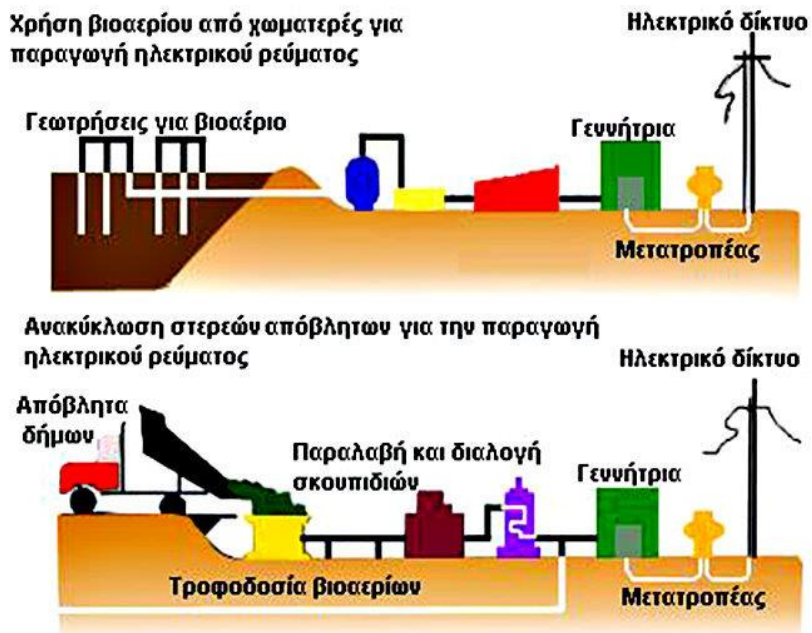
Στην υπό έρευνα ευρύτερη περιοχή Συκιών Άρτας, (200 μέτρα νότια του χωριού Συκιές και περίπου 15 km νότια της Άρτας), πραγματοποιήθηκαν τέσσερις ερευνητικές και μία παραγωγική γεώτρηση βάθους 320 μέτρων. Το τεστ παραγωγής, που έλαβε χώρα την 20η και 21η Οκτωβρίου 1998, έδειξε δυνατότητα άντλησης νερού, έως και 100 κυβικών μέτρων ανά ώρα, θερμοκρασίας 55 °C περίπου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κανονική γεωθερμική βαθμίδα είναι 3.3 °C/100 m, ενώ στην περιοχή ενδιαφέροντος η τιμή της υπολογίζεται στους 17 °C/100 m περίπου. Το γεωθερμικό αυτό πεδίο έχει έκταση 1 km², ενώ η έρευνα θα συνεχιστεί με στόχο τον εντοπισμό της ευρύτερης έκτασής του, που πιθανά να φτάνει κοντά στο πολεοδομικό συγκρότημα της Άρτας.

1.5 BIOMAZA

Η βιομάζα αποτελεί το σύνολο των ενεργειακών πόρων που σχετίζονται με τα αγροτικά, περιβαλλοντικά, δασικά, ζωικά συστήματα μιας περιοχής. Η συνολική ενέργεια της βιομάζας προέρχεται από το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου, που προέρχεται από τα ζωικά παραπροϊόντα, από την καύση σκουπιδιών, ξυλανθράκων, καυσόξυλων, θάμνων και ελαιοπυρηνόξυλου. Για να γίνει αποτίμηση της συμβολής της βιομάζας στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας θα πρέπει να προηγηθεί σειρά μελετών και ερευνών ώστε να προσδιοριστούν οι διαθέσιμες ποσότητες και τα ενεργειακά χαρακτηριστικά που προέρχονται από την καύση των σκουπιδιών, τα αστικά λήμματα, τα βιομηχανικά απόβλητα, τη ζωική παραγωγή, τη δασική παραγωγή και την αγροτική παραγωγή.

Τη δεκαετία του 1960 η συμμετοχή της βιομάζας στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας ανερχόταν σε ποσοστό περίπου 40%. Αντίθετα κατά τη δεκαετία του 1980 το ποσοστό περιορίστηκε στο 8%. Για να αναπτυχθεί η χρήση της βιομάζας και να συμβάλει σε μεγαλύτερο βαθμό στο ενεργειακό ισοζύγιο θα πρέπει να αναπτυχθούν **(Εικόνα 1.8)** οι τεχνολογίες:

1. καύσης σκουπιδιών.
2. παραγωγής βιοαερίου από τη βιομάζα.
3. να συστηματοποιηθεί η χρησιμοποίηση ελαιοπυρηνόξυλου και γεωργικών και δασικών καυσόξυλων ως καύσιμη ύλη .
4. και να καθιερωθεί η συλλογή των δασικών και αγροτικών παραπροϊόντων.



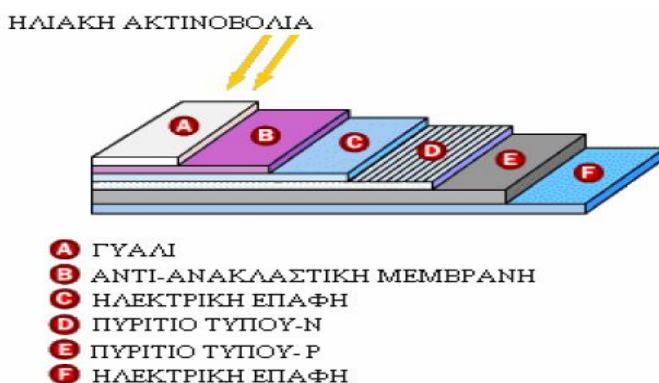
Εικόνα 1.8 : Ενεργειακό ισοζύγιο για τη παραγωγή Βιομάζα

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

2.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πλαίσιο πυριτίου αποτελείται από 36 ηλιακά κύτταρα σε σειρά, έχει έξοδο με συνεχές ρεύμα και συνεχή τάση. Συνήθως τροφοδοτεί συσσωρευτή τάσης 12V. Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 2.1** που ακολουθεί, η επιφάνεια που είναι στραμένη προς τον ήλιο καλύπτεται από γυάλινο κάλυμμα που είναι ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες και στην υπεριώδη ακτινοβολία, προφυλάσσει τα κύτταρα και τις ηλεκτρικές επαφές από την βροχή, το χαλάζι και το χιόνι που μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση. Κάτω από το γυάλινο κάλυμμα υπάρχει αντί-ανακλαστική μεμβράνη, ώστε να μειωθεί το ποσοστό της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Πάνω και κάτω από την επιφάνεια του πυριτίου υπάρχουν ηλεκτρικές επαφές από υλικό μικρής θερμικής αντίστασης που το συνδέουν με το εξωτερικό κύκλωμα. Τέλος, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ασφαρίζεται μέσα σε μια μεταλλική θήκη αλουμινίου.



Εικόνα 2.1 : Φωτοβολταϊκό πλαίσιο πυριτίου

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

α) στα κλασσικά επίπεδα συστήματα και

β) στα συστήματα συγκεντρωτικών συλλεκτών.

2.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Πρόκειται για τον πιο κοινό τύπο φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα πλαίσια μπορούν είτε να είναι μόνιμα σε μια σταθερή γωνία κλίσης είτε να είναι κινητά και να ακολουθούν την κίνηση του ήλιου. Απορροφούν και την διάχυτη και την άμεση ακτινοβολία. Η σημαντικότητα του παραπάνω φαίνεται από το γεγονός ότι ακόμα και με καθαρό ουρανό η διάχυτη ακτινοβολία είναι το 10 με 20 % της συνολικής, σε επίπεδη επιφάνεια. Σε μερικώς συννεφιασμένες μέρες το ποσοστό αυτό φτάνει το 50 % και σε τελείως συννεφιασμένες μέρες φτάνει το 100 %. Τα πιο απλά επίπεδα πλαίσια είναι σε σταθερή θέση. Τα πλεονεκτήματα των σταθερών πλαισίων είναι ότι δεν έχουν κινητά μέρη, πρακτικά δεν υπάρχει ανάγκη για επιπλέον εξοπλισμό, και είναι σχετικά ελαφριά. Αυτά τα χαρακτηριστικά τα κάνουν κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν σε μια σειρά από περιπτώσεις, όπως είναι και οι στέγες των σπιτιών. Ο προσανατολισμός των πλαισίων αυτών ώστε να αποδίδουν ικανοποιητικά πρέπει να είναι προς το Νότο και η κλίση $(\phi + 15^\circ) \pm 5^\circ$ όπου ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Τα επίπεδα πλαίσια με μηχανισμό κίνησης επιτυγχάνουν μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας αφού μπορούν και έχουν την βέλτιστη γωνία κλίσης και προσανατολισμού κάθε χρονική στιγμή. Όμως έχουν επιπλέον κόστος και βάρος λόγω του μηχανισμού κίνησης. Βρίσκοντας μια ισορροπία μεταξύ των δύο μπορεί να γίνει η σωστή επιλογή για την κάθε περίπτωση.

2.1.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Ο κύριος λόγος χρήσης τέτοιων συστημάτων είναι η ικανότητά τους να χρειάζονται λιγότερα ηλιακά κύτταρα από τα επίπεδα συστήματα για την παραγωγή της ίδιας ισχύος. Τα κύτταρα αποτελούν το πιο ακριβό τμήμα ενός συστήματος μετρώντας το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας. Για το σύστημα συγκέντρωσης της ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται φθηνά υλικά, όπως είναι πλαστικά κάτοπτρα και μεταλλικές θήκες, που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια από μια συγκριτικά μεγάλη επιφάνεια και την εστιάζουν σε μια μικρότερη επιφάνεια στην οποία βρίσκεται το κύτταρο. Αρκετά είναι τα πλεονεκτήματα των συγκεντρωτικών συστημάτων έναντι των επίπεδων. Έχουν αυξημένη ισχύ εξόδου και η απόδοση του συστήματος είναι μεγαλύτερη έχοντας ταυτόχρονα μικρότερο μέγεθος κυττάρων ή μικρότερο αριθμό κυττάρων. Το πόσο θα αυξηθεί η απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό απ' το σχήμα του ηλιακού κυττάρου και από το υλικό που είναι κατασκευασμένο. Ακόμα, η δυνατότητα χρήσης μικρών ηλιακών κυττάρων αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα διότι είναι πιο δύσκολο να παραχθούν κύτταρα μεγάλης επιφάνειας με μεγάλη απόδοση απ' ότι μικρής επιφάνειας. Απ' την άλλη πλευρά, υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στο μέλλον. Για παράδειγμα τα απαιτούμενα οπτικά του συστήματος είναι σημαντικά πιο ακριβά από τα καλύμματα των επίπεδων συστημάτων. Επιπλέον, δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν την διάχυτη ακτινοβολία, δηλαδή ακόμη και σε μία ηλιόλουστη μέρα χάνεται το 20% της ακτινοβολίας, οπότε χρειάζεται να ακολουθούν την κίνηση του ήλιου καθ' όλη την διάρκεια της μέρας και συνολικά του έτους. Άρα, για την επίτευξη μεγαλύτερης απόδοσης πρέπει ο μηχανισμός κίνησης να είναι μεγαλύτερης ακρίβειας από αυτούς που χρησιμοποιούνται στα επίπεδα συστήματα. Για την συγκέντρωση του φωτός χρησιμοποιούνται οι ανακλαστήρες και οι φακοί με πιο διαδεδομένο τον φακό FRESNEL που έχουν διατομή σαν δόντι πριονιού για να συγκεντρώσουν το εισερχόμενο φως. Όμως, δεν υπάρχει φακός που να μπορεί να μεταφέρει το 100% του προσπίπτοντος φωτός αλλά συνήθως μεταφέρεται 90-95% ή και λιγότερο (λόγω απορρόφησης και ανακλάσεως).

Ένα άλλο πρόβλημα είναι αυτό της υπερθέρμανσης των κυττάρων που παράγεται από την μεγάλη συγκέντρωση ακτινοβολίας που γενικά είναι επιθυμητή. Η θερμοκρασία των κυττάρων πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα διότι με την αύξηση όχι μόνο μειώνεται

η απόδοσή τους αλλά και μακροπρόθεσμα μπορεί να διαταραχθεί η σταθερότητα στη λειτουργία τους ή ακόμα και να καταστραφούν πρόωρα. Μια από τις πιο σημαντικές προσπάθειες για διατήρηση χαμηλής θερμοκρασίας αποτελεί η ελαχιστοποίηση της ηλεκτρικής αντίστασης των επαφών που μεταφέρουν το ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας επαφές μεγαλύτερης επιφάνειας, το οποίο έχει όμως σαν αποτέλεσμα να προκαλείται σκίαση στο κύτταρο. Γι' αυτό υπάρχουν δύο λύσεις. Η μια είναι η τοποθέτηση πρισματικού καλύμματος πάνω από την επαφή οπότε το φως που θα προσέπιπτε στην επαφή, τώρα προσπίπτει στο πρίσμα, εκτρέπεται και διοχετεύεται στο κύτταρο. Η άλλη λύση είναι να τοποθετηθούν και οι δύο επαφές πίσω από το κύτταρο το οποίο όμως απαιτεί πολύ καλής ποιότητας υλικό πυριτίου.

2.1.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

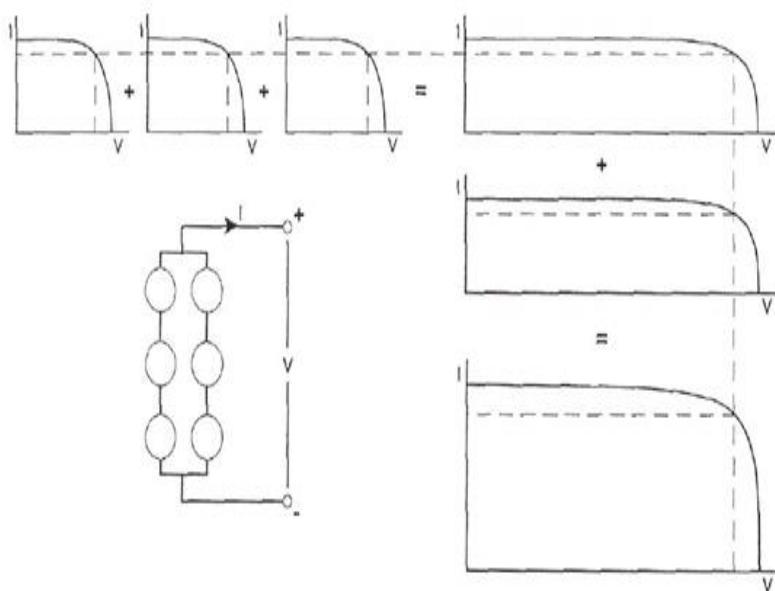
Ο μηχανισμός κίνησης του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να επιτρέπει την κίνηση σε έναν ή σε δύο άξονες.

Τα **συστήματα ενός άξονα** είναι σχεδιασμένα να ακολουθούν την πορεία του ήλιου από την ανατολή στη δύση. Χρησιμοποιούνται κυρίως με συστήματα επίπεδων φωτοβολταϊκών πλαισίων και μερικές φορές με συστήματα συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Τα **συστήματα δύο αξόνων** όχι μόνο κάνουν την παραπάνω λειτουργία, αλλά και παρακολουθούν την μεταβολή της απόκλισης του ήλιου κατά την διάρκεια του έτους. Χρησιμοποιούνται κυρίως με συγκεντρωτικά πλαίσια. Τα συστήματα δύο αξόνων είναι πιο πολύπλοκα, πιο ακριβά και χρειάζονται μεγαλύτερη συντήρηση σε σύγκριση με αυτά του ενός άξονα.

2.1.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η εξίσωση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου προκύπτει από τη βασική εξίσωση του ηλιακού κυττάρου. Είναι γνωστό ότι υπό ιδανικές συνθήκες δύο ή περισσότερες ίδιες πηγές τάσης σε σειρά προστίθενται, όπως και δύο ή περισσότερες ίδιες πηγές ρεύματος παράλληλα. Έτσι όταν τα ηλιακά κύτταρα έχουν τα ίδια ακριβώς ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, η μέγιστη ισχύς που παίρνουμε από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο ισούται με το γινόμενο της μέγιστης ισχύος που μπορεί να τροφοδοτήσει κάθε στοιχείο ξεχωριστά, επί τον αριθμό των στοιχείων. Η μέγιστη τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πλαισίου προσδιορίζεται από τον αριθμό συγκεκριμένων ηλιακών στοιχείων που συνδέονται σε σειρά και το μέγιστο ρεύμα στην έξοδο (για κανονικά επίπεδα ηλιοφάνειας) προσδιορίζεται από τον αριθμό των στοιχείων (ή ομάδα εν σειρά στοιχείων) που συνδέονται παράλληλα. Η χαρακτηριστική V - I καμπύλη ενός συνόλου ίδιων ηλιακών στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά ή παράλληλα, προκύπτει με αντίστοιχο συνδυασμό των χαρακτηριστικών των επιμέρους στοιχείων όπως φαίνεται στο **Σχήμα 2.1**.



Σχήμα 2.1 : V - I χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού πλαισίου με στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα

Στην περίπτωση ενός πλαισίου, αν θεωρήσουμε ότι έχουμε NS ίδια ηλιακά κύτταρα σε σειρά (αλυσίδα) και NP ίδιες αλυσίδες παράλληλα, τότε η σχέση του κυττάρου γίνεται σύμφωνα με την **Εξίσωση 1**:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{NKT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad [1]$$

όπου:

n : $NS \cdot n_{cell}$

I : $NP \cdot I_{cell}$, το ρεύμα στην έξοδο του φ/β πλαισίου

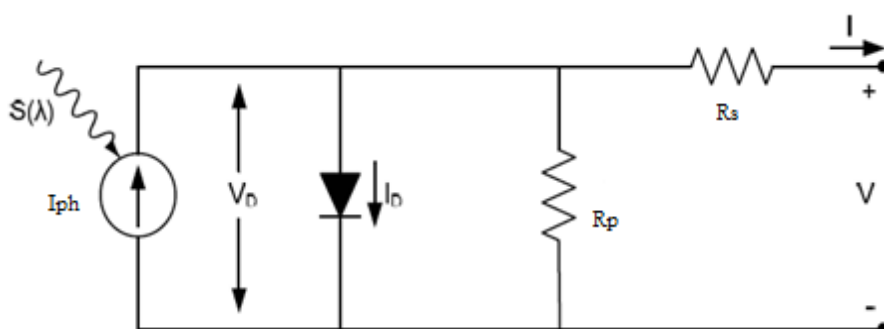
V : $NS \cdot V_{cell}$, η τάση στην έξοδο του φ/β πλαισίου

I_{ph} : $NP \cdot I_{ph, cell}$, το συνολικό ισοδύναμο φωτόρευμα του φ/β πλαισίου

$NP \cdot I_0, cell$ το συνολικό ισοδύναμο ρεύμα κόρου της διόδου

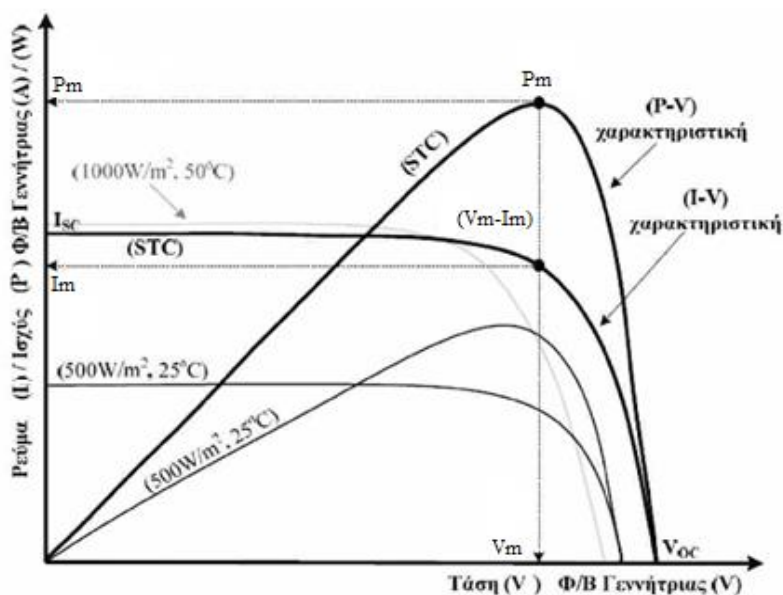
R_s : $(NS/NP) \cdot R_{s, cell}$, η ισοδύναμη εν σειρά αντίσταση του φ/β πλαισίου

R_p : $(NS/NP) \cdot R_{p, cell}$, η ισοδύναμη παράλληλη αντίσταση του φ/β πλαισίου



Σχήμα 2.2 : Ισοδύναμο κύκλωμα φωτοβολταϊκού πλαισίου

Η εξίσωση αυτή είναι μη γραμμική της μορφής $I = f(I, V)$ και είναι πεπλεγμένη. Αποτελεί το μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει την ηλεκτρική συμπεριφορά, σε στατικές καταστάσεις, ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου. Επομένως το ισοδύναμο κύκλωμα του φωτοβολταϊκού πλαισίου, μπορεί να παρασταθεί από το ηλεκτρικό κύκλωμα του **Σχήματος 2.2**.



Σχήμα 2.3 : Ποιοτικές καμπύλες τάσης-ρεύματος και τάσης- ισχύος ενός φ/β πλαισίου

Στο **Σχήμα 2.3** παρουσιάζονται οι τυπικές ποιοτικές χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης-ρεύματος (χαρακτηριστική V-I) και τάσης- ισχύος (χαρακτηριστική V-P) ενός φ/β πλαισίου και πάνω σε αυτές σημειώνονται τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά ηλεκτρικά του μεγέθους, που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και λειτουργίας του πλαισίου και καθορίζουν την απόδοσή του.

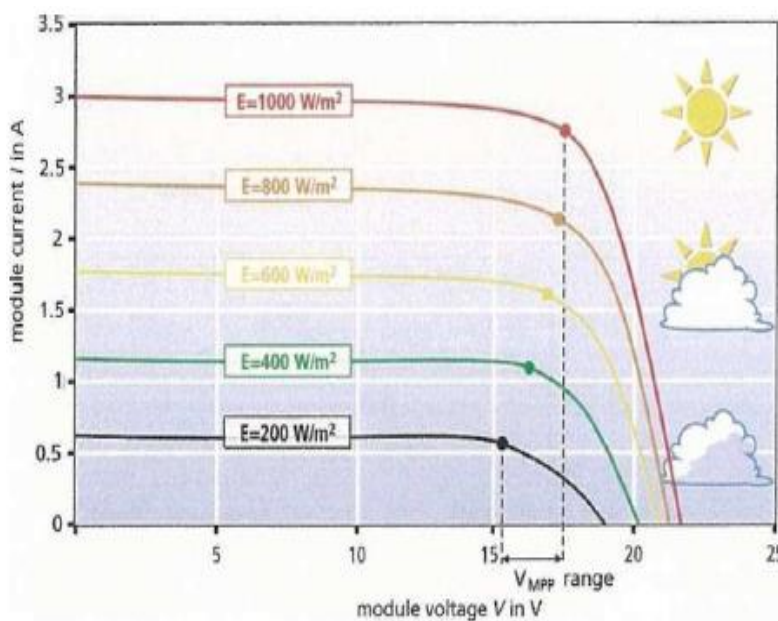
Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας (και θερμοκρασίας) και για μεταβαλλόμενες τιμές στην αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ηλιακό κύτταρο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του κυττάρου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (βραχυκυκλωμένη κατάσταση με μέγιστη τιμή

ρεύματος, I_{sc} και μηδενική τάση) και άπειρη αντίσταση (ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση με μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης, V_{oc}), όπως παρουσιάζεται στο σχήμα. Συνεπώς, στα δύο παραπάνω σημεία λειτουργίας της φωτοβολταϊκής γεννήτριας (ζεύγος τιμών τάσης και ρεύματος), η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς μηδενίζεται. Παράλληλα μεταβάλλεται ομαλά η ισχύς που παράγει το στοιχείο και η μέγιστη τιμή της P_m , επιτυγχάνεται για ένα συγκεκριμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και ρεύματος I_m , για το οποίο η χαρακτηριστική ($V-P$) της ισχύος ως προς την τάση παρουσιάζει μέγιστο. Διαφορετικά μπορεί να ειπωθεί, ότι για τις τιμές αυτές των V_m , I_m , το εμβαδόν του ορθογωνίου που σχηματίζεται από την $V-I$ καμπύλη και τους άξονες τάσης και έντασης ρεύματος, γίνεται μέγιστο.

Από τη μελέτη του παραπάνω σχήματος, διαπιστώνεται ότι οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες παρουσιάζουν μια αρκετά ιδιόμορφη συμπεριφορά συγκριτικά με τις συνήθεις πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές, οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή την τιμή της τάσης τους στην περιοχή κανονικής λειτουργίας τους, η τάση των ϕ/β γεννητριών μεταβάλλεται δραστικά και μάλιστα μη γραμμικά συναρτήσει της έντασης του ρεύματος που παρέχουν σε κάποιο εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα, ακόμα και για σταθερές συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Μια προσεκτικότερη μελέτη της χαρακτηριστικής $V-I$, αποδεικνύει ότι αριστερά από το γόνατο της καμπύλης, η ένταση του ρεύματος που παρέχεται από το ϕ/β πλαίσιο σε ένα εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα μεταβάλλεται ελάχιστα για μεγάλες μεταβολές της τάσης, ενώ αντίθετα δεξιά από το γόνατο το ρεύμα μεταβάλλεται σημαντικά για μικρές μεταβολές της τάσης. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η τάση που εμφανίζεται στα άκρα ενός ηλιακού κυττάρου καθορίζεται από τις ιδιότητες του υλικού κατασκευής του, ενώ το ρεύμα που δύναται να παράσχει σε ένα εξωτερικό κύκλωμα είναι, σχεδόν, ευθέως ανάλογο προς την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα για την εξάρτηση της λειτουργικής συμπεριφοράς των ϕ/β γεννητριών από τις τιμές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας:

α) Εξάρτηση από την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας :

Διατηρώντας σταθερή την θερμοκρασία και την φασματική κατανομή της ακτινοβολίας, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς όπως και η τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} μεταβάλλονται ευθέως ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ η τιμή της V_{oc} δεν επηρεάζεται αξιοσημείωτα. Συνεπώς, η μορφή των χαρακτηριστικών V-I και V-P δεν εξαρτώνται από τις μεταβολές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας αλλά σημειώνεται παράλληλη μετατόπιση των χαρακτηριστικών ως προς τον κατακόρυφο άξονα σύμφωνα με το **Σχήμα 2.4**.

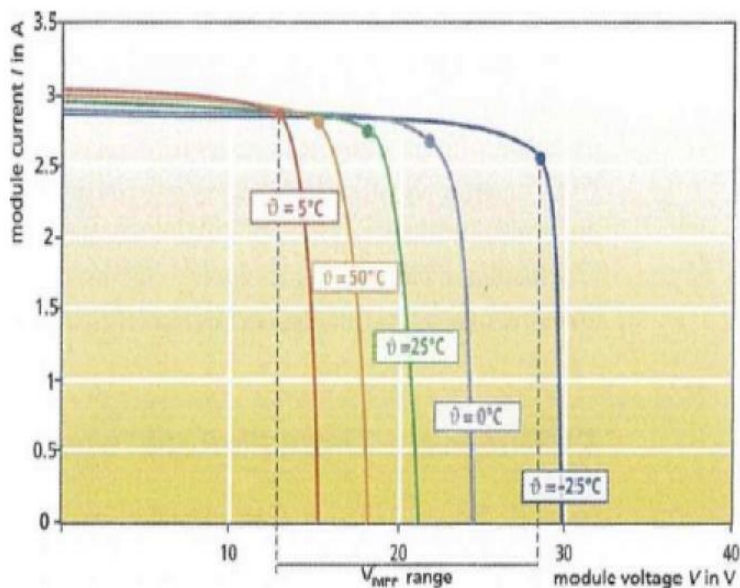


Σχήμα 2.4 : V-I Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού πλαισίου για διάφορες τιμές ακτινοβολίας E

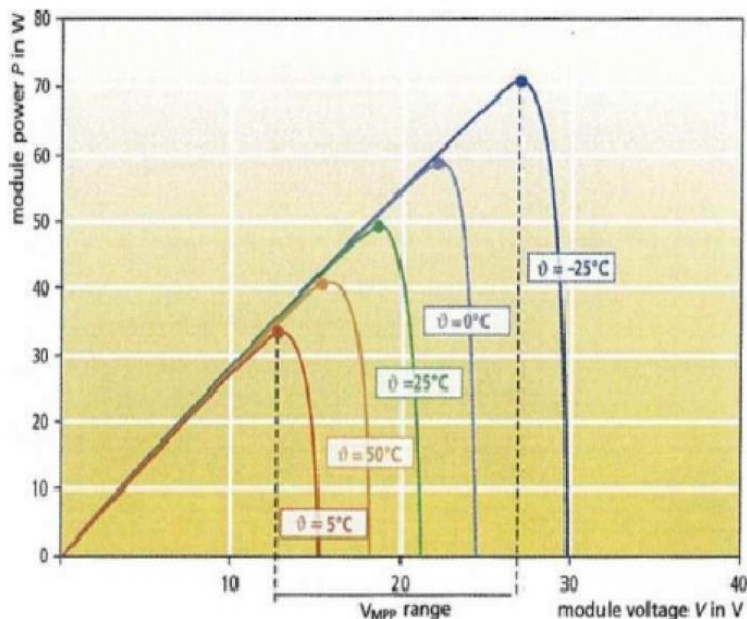
β) Εξάρτηση από τη θερμοκρασία :

Η αύξηση της θερμοκρασίας, υπό την προϋπόθεση ότι η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας διατηρείται σταθερή, επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση του ενεργειακού χάσματος του ημιαγώγιμου υλικού και αύξηση του αριθμού των επανασυνδεδεμένων φορέων φορτίου. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η αισθητή μείωση της V_{oc} και η ελαφριά αύξηση της τιμής του I_{sc} . Απόρροια αυτών των μεταβολών, είναι αφενός

μεν η μείωση της ισχύος εξόδου της φ/β γεννήτριας αφετέρου δε η αλλοίωση της μορφής της χαρακτηριστικής V-I, δηλαδή το γόνατο της καμπύλης αποκτά πιο στρογγυλεμένη μορφή. Η επίδραση της θερμοκρασίας στις τιμές της τάσης, του ρεύματος και της ισχύος εξόδου της φ/β γεννήτριας, προσδιορίζεται από τρεις συντελεστές. Οι δύο πρώτοι εκφράζουν σε απόλυτα μεγέθη τη μείωση της V_{oc} και την αύξηση του I_{sc} αντίστοιχα για μεταβολή της θερμοκρασίας λειτουργίας της φωτοβολταϊκής γεννήτριας ανά βαθμό Κελσίου, ενώ ο τρίτος την επί της εκατό μεταβολή του P_m για ίδια μεταβολή της θερμοκρασίας. Οι συντελεστές αυτοί παρέχονται συνήθως από τον κατασκευαστή μαζί με τα υπόλοιπα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φ/β πλαισίου. Το **Σχήμα 2.5** παρουσιάζει τις χαρακτηριστικές εξόδου V-I ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου για διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας του πλαισίου. Επίσης στο **Σχήμα 2.6** φαίνεται η καμπύλη τάσεως - ισχύος (V-P) του πλαισίου, για διαφορετικές θερμοκρασίες και σταθερή ακτινοβολία 1000W/m^2 .



Σχήμα 2.5 : Χαρακτηριστικές εξόδου V-I, ενός πλαισίου για διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας του πλαισίου



Σχήμα 2.6 : Χαρακτηριστικές εξόδου V-P, ενός πλαισίου για διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας του πλαισίου

2.1.6 ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η διαφοροποίηση των φωτοβολταϊκών (φ/β) πλαισίων πέρα από το υλικό κατασκευής τους, συντελείται βάσει των ηλεκτρικών τους χαρακτηριστικών. Συγκεκριμένα όλοι οι κατασκευαστές δίνουν για κάθε φ/β πλαίσιο ένα πίνακα στον οποίο αναφέρονται οι τιμές της μέγιστης δυνατής αποδιδόμενης ισχύος P_m , της τάσης ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} , του ρεύματος βραχυκυκλώματος I_{sc} καθώς επίσης και οι τιμές της τάσης V_m και του ρεύματος I_m στο σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος. Τα μεγέθη αυτά μετρούνται για συγκεκριμένες συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας (θερμοκρασία 25°C και ακτινοβολία $1000/\text{m}^2$). Από αυτά, εκείνα που θεωρούνται ιδιαίτερης σημασίας προκειμένου να επιλεγεί η κατάλληλη φ/β γεννήτρια για την εκάστοτε εφαρμογή είναι η μέγιστη δυνατή αποδιδόμενη ισχύς και η τιμή της τάσης εξόδου αυτής στο σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος. Ο αριθμός των φ/β πλαισίων που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα καθορίζει την μέγιστη

παραγόμενη 37 ισχύ ενώ η εν σειρά και παράλληλα σύνδεση τους καθορίζει την τιμή της τάσης και του ρεύματος που μπορεί να δώσει το φ/β σύστημα .

2.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

2.2.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το βασικό δομικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι το ηλιακό κύτταρο(solar cell). Ένα κύτταρο παράγει μικρή ποσότητα ισχύος που είναι ίση με 1 έως 2 W. Για να αυξηθεί η ισχύς στην έξοδο των κυττάρων, τοποθετούμε πολλά κύτταρα μαζί (ενώνοντας την θετική επαφή του ενός με την αρνητική του επόμενου, δηλαδή εν σειρά, αυξάνουμε την τάση, ενώ ενώνοντας τις θετικές μεταξύ τους και τις αρνητικές μεταξύ τους, δηλαδή παράλληλα, αυξάνουμε το ρεύμα) και έτσι δημιουργούνται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Με την συνένωση πολλών πλαισίων μαζί δημιουργούνται μονάδες μεγαλύτερης ισχύος που λέγονται συστοιχίες. Συνεχίζοντας αυτήν την διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί οποιαδήποτε ηλεκτρική ισχύς μας χρειάζεται όσο μικρή ή μεγάλη κι αν είναι. Το βασικό στοιχείο στο εμπόριο είναι το φωτοβολταϊκό (φ/β) πλαίσιο (module). Το μέγεθος ενός φ/β πλαισίου χαρακτηρίζεται από την ισχύ που μπορεί να παράγει και συγκεκριμένα με βάση την ισχύ που δίνει υπό καθορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας φ/β κυττάρου (25 °C) και ακτινοβολίας (1000W/m²) και είναι γνωστή ως «ισχύς αιχμής» (peak Watt, Wp). Για παράδειγμα, όταν μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια δύναται να παράγει 10 Wp αυτό σημαίνει ότι παράγει 10W για ηλιακή ακτινοβολία 1000W/m² και θερμοκρασία κυττάρου 25 °C.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούν ένα μέρος του φωτοβολταϊκού συστήματος, το οποίο είναι κάθε φορά σχεδιασμένο για συγκεκριμένες λειτουργίες. Οι άλλες συσκευές που προστίθενται στο πλαίσιο μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες :

1. **Συσσωρευτές**, που χρησιμεύουν στην αποθήκευση ενέργειας και στην απόδοσή της όταν αυτό απαιτείται (το βράδυ ή τις βροχερές μέρες).
2. **Αντιστροφείς**, που απαιτούνται για την αντιστροφή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται στο φωτοβολταϊκό σε εναλλασσόμενο (AC).

3. **Ρυθμιστές**, που διαχειρίζονται την αποθηκευμένη ενέργεια στον συσσωρευτή και διοχετεύουν ενέργεια στο φορτίο.
4. **Μηχανικές Κατασκευές**, που απαιτούνται για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών και των λοιπών συσκευών. Πρακτικά δεν είναι απαραίτητο να υπάρχουν όλες οι παραπάνω συσκευές σε όλα τα συστήματα. Για παράδειγμα, σε συστήματα συνεχούς ρεύματος δεν χρειάζεται αντιστροφάς. Για συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο δεν είναι απαραίτητος ο συσσωρευτής διότι το δίκτυο χρησιμεύει και για αποθήκευση. Δηλαδή, όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας στο σύστημα φωτοβολταϊκών πλαϊσίων-φορτίου, τότε αυτή διοχετεύεται στο δίκτυο, ενώ σε περίπτωση έλλειψης ενέργειας, η επιπλέον ενέργεια που απαιτείται λαμβάνεται από το δίκτυο. Κάποια συστήματα απαιτούν συσκευές που δεν σχετίζονται άμεσα με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Όπως για παράδειγμα είναι μερικά απομονωμένα συστήματα που έχουν ντιζελογεννήτρια για την παροχή ρεύματος όταν εξαντληθεί η ενέργεια των συσσωρευτών.

2.2.2 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Σε συστήματα απομονωμένα από το δίκτυο, το φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να παρέχει κάθε φορά την ενέργεια που απαιτείται ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες (συννεφιά ή ηλιοφάνεια). Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται συσσωρευτές που αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας (**Εικόνα 2.2**). Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι μπαταριών είναι οι μολύβδου-ασβεστίου και μολύβδου-αντιμονίου (**Εικόνα 2.3**). Για περιπτώσεις όπου ο συσσωρευτής είναι εκτεθειμένος σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται οι νικελίου-καδμίου. Εξαιτίας της συνεχώς μεταβαλλόμενης τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας και του φορτίου, οι συσσωρευτές πρέπει να περνούν από πολλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης χωρίς να χάνουν τις ιδιότητές τους γρήγορα. Το ποσοστό της χωρητικότητας του συσσωρευτή που μπορεί να εκφορτιστεί χωρίς να καταστραφεί ονομάζεται βάθος εκφόρτισης και εξαρτάται από τον τύπο του. Οι μολύβδου- ασβεστίου είναι μικρού βάθους εκφόρτισης και αντέχουν 20 % εκφόρτιση σε κάθε κύκλο. Οι νικελίου-καδμίου είναι μεγάλου βάθους εκφόρτισης και αντέχουν 80 % εκφόρτιση σε κάθε κύκλο. Οι συσσωρευτές χρειάζονται αλλαγή κάθε 5 με 10 χρόνια ανάλογα με τον αριθμό των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης που κάνουν. Οι συσσωρευτές παρέχουν αυτονομία στο σύστημα

από μερικές μέρες μέχρι δύο βδομάδες. Η χρονική διάρκεια εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος, δηλαδή από την τοποθεσία του και την ύπαρξη ή όχι γεννήτριας. Οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από την τάση τους, η οποία συνήθως είναι πολλαπλάσιο των 12 V, και από την χωρητικότητά τους, που μετριέται σε αμπερώρια (Ah). Για παράδειγμα συσσωρευτής 50 Ah, 48 V θα αποθηκεύσει υπό ονομαστικές συνθήκες 2400 Wh. Οι συσσωρευτές, πέραν της μείωσης της απόδοσης που προκαλούν, χρειάζονται περιοδική συντήρηση (έλεγχο υγρών) και έναν μεγάλο χώρο για να αποθηκευτούν. Ο σωστός υπολογισμός του μεγέθους του συσσωρευτή του συστήματος είναι καθοριστικός για την επίτευξη\ μεγάλης διάρκειας ζωής του, για την ιδανική απόδοση και για την επίτευξη ονομαστικού κόστους κύκλου ζωής του συστήματος (LCC).



Εικόνα 2.2 : Συσσωρευτές που αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας



Εικόνα 2.3 : Είδη συσσωρευτών

2.2.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Υπάρχουν αρκετά ηλεκτρονικά συστήματα (Εικόνα 2.4) που χρησιμεύουν στον έλεγχο και στην ρύθμιση της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση.



Εικόνα 2.4 : Συστήματα ρύθμισης ισχύος

Πιο συγκεκριμένα είναι :

1. Οι ρυθμιστές φόρτισης μπαταριών για την ρύθμιση των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης της συσσωρευτή. Όταν ο συσσωρευτής είναι τελείως φορτισμένος, ο

ρυθμιστής δεν αφήνει άλλο ρεύμα να εισρεύσει από το φωτοβολταϊκό στοιχείο στον συσσωρευτή. Ομοίως, όταν ο συσσωρευτής έχει αδειάσει σε ένα προαποφασισμένο επίπεδο, το οποίο ελέγχεται με μέτρηση της τάσης του συσσωρευτή, ο ελεγκτής δεν επιτρέπει να δώσουν άλλο ρεύμα οι συσσωρευτές προτού επαναφορτιστούν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου ζωής του συσσωρευτή.

2. **Ο ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT)**, η οποία είναι μια συσκευή που επεξεργάζεται κατάλληλα το ρεύμα και την τάση εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, ώστε σε κάθε χρονική στιγμή το σύστημα, να απορροφά τη μέγιστη δυνατή ισχύ από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια.
3. **Οι αντιστροφείς**, οι οποίοι μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

2.2.4 ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε μία ποικίλες περιπτώσεις. Οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται είναι δύο :

1. Συστήματα που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο.
2. Συστήματα που είναι απομονωμένα από το δίκτυο.

1. Συστήματα Συνδεδεμένα στο Δίκτυο

Στα συνδεδεμένα συστήματα η φωτοβολταϊκή συστοιχία τροφοδοτεί απευθείας με ηλεκτρική ενέργεια το δίκτυο (**Σχήμα 2.11**), οπότε δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη συσσωρευτή.

Τα συστήματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες :

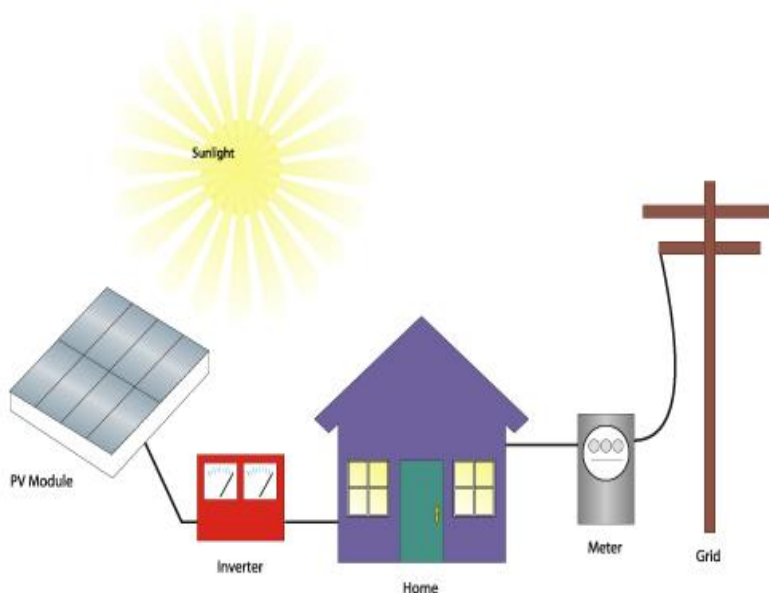
1. Στα συστήματα με καταναμημένες φωτοβολταϊκές συστοιχίες όπου οι συστοιχίες είναι τοποθετημένες στις σκεπές σπιτιών και εμπορικών κέντρων.

2. Στις κεντρικές μονάδες παραγωγής ενέργειας όπου οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες συνδέονται με υποσταθμούς και μετά με το δίκτυο.

Στην πρώτη περίπτωση ο καταναλωτής-ιδιοκτήτης που έχει τη συστοιχία, μπορεί να αγοράζει και να πουλάει ενέργεια κάθε χρονική στιγμή. Είναι σε θέση να παίρνει την ενέργεια που χρειάζεται από τη συστοιχία και να χρησιμοποιεί το δίκτυο μόνο όταν είναι απαραίτητο (κατά την διάρκεια της νύχτας ή σε πολύ συννεφιασμένες μέρες). Αυτό γίνεται εφικτό με την χρήση κατάλληλου μετρητή που έχει την ιδιότητα να είναι αμφίδρομος (διπλό ρολόι). Όταν η συστοιχία τροφοδοτεί το φορτίο του κτιρίου και της περισσεύει ενέργεια, την δίνει στο δίκτυο. Όταν το φορτίο είναι μεγαλύτερο από την παραγωγή της συστοιχίας τότε η ζήτηση ικανοποιείται με εισαγωγή ενέργειας από το δίκτυο. Έτσι, το δίκτυο δρα σαν μονάδα αποθήκευσης για το φωτοβολταϊκό σύστημα. Τυπικές τιμές για οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι 2 με 4 kWp ενώ για μεγάλα δημόσια κτίρια είναι 100 kWp ή και περισσότερο. Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε ολόκληρες μονάδες παραγωγής που αποτελούνται από φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Οι μονάδες αυτές εγκαθίστανται και συνδέονται εύκολα με το δίκτυο, οπότε κατασκευάζονται πολύ πιο γρήγορα από τις συμβατικές. Ακόμα, μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στα σημεία του δικτύου όπου υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη και μπορεί να αυξηθεί το μέγεθός τους προσθέτοντας συστοιχίες όταν αυξηθεί η ζήτηση. Τέλος, έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν καταναλώνουν καύσιμα, δεν παράγουν καυσαέρια ή απόβλητα και επιπλέον είναι αθόρυβες. Τέτοιου είδους μονάδες δεν είναι ακόμα διαδεδομένες παρόλο που έχουν μηδενικά έξοδα καυσίμου διότι το συνολικό κόστος της παραγόμενης ισχύος ευρώ/W παραμένει αυξημένο σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες ορυκτών καυσίμων, οπότε οι εταιρίες παραγωγής δεν τις προτιμούν. Τέλος, πρόβλημα δημιουργεί το ότι η παραγωγή δεν μπορεί να ακολουθήσει την ζήτηση την νύχτα ή όταν δεν έχει ηλιοφάνεια.

Τα πλεονεκτήματα των παραπάνω συστημάτων είναι η προβλεπόμενη μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας και η προστασία του περιβάλλοντος. Με την παραγωγή ενέργειας κοντά στο σημείο ζήτησης μειώνεται η απόσταση που πρέπει να διανύσει το ρεύμα και επιτυγχάνεται μείωση των ενεργειακών απωλειών και των απωλειών ισχύος στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να αποφευχθεί ή να αργήσει σημαντικά η ανάγκη για αναβάθμιση το δικτύου μεταφοράς αφού σε πολλές περιπτώσεις οι ώρες αυξημένης ζήτησης ταυτίζονται με τις ώρες του μεσημεριού για παράδειγμα που η φωτοβολταϊκή συστοιχία

δύναται να παράγει μεγάλη ισχύ. Επίσης, γίνεται προσπάθεια μείωσης του κόστους δομικών υλικών κτιρίων όπως είναι κεραμίδια με προσαρμογή πάνω τους φύλλων φωτοβολταϊκών πλαισίων, ώστε να γίνουν ανταγωνιστικά των συμβατικών δομικών υλικών και να χρησιμοποιηθούν ευρέως.



Εικόνα 2.5 : Φωτοβολταϊκό Σύστημα Συνδεδεμένο στο Δίκτυο

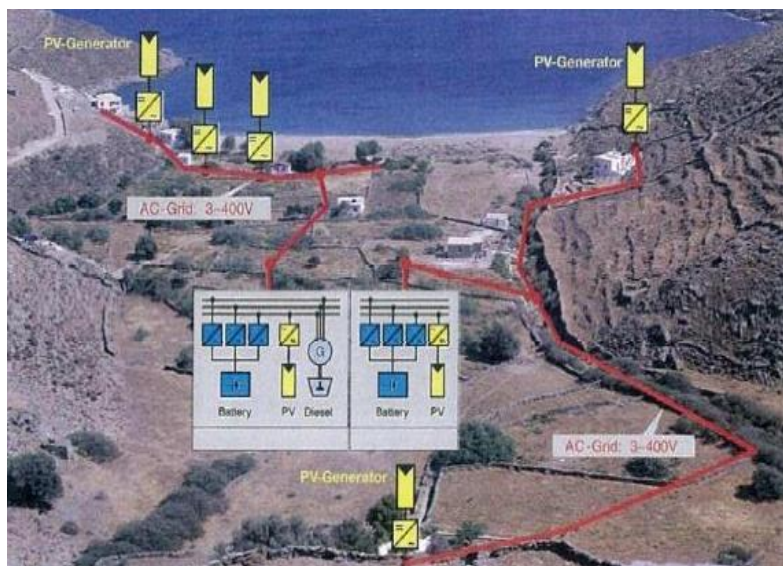
2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Στα απομονωμένα συστήματα το φωτοβολταϊκό δεν συνδέεται με το δίκτυο. Τέτοιου είδους φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει AC δίκτυο, είτε επειδή έχει μεγάλο κόστος να εγκατασταθεί γραμμή σύνδεσης του φωτοβολταϊκού συστήματος μεταξύ της περιοχής και του AC δικτύου είτε τέλος η σύνδεση δεν είναι εφικτή λόγω μεγάλης απόστασης από τις μονάδες παραγωγής. Τα συστήματα αυτά είναι μικρής ισχύος, συνήθως λιγότερο από 10 kWp. Μπορεί να αποτελούνται μόνο από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία ή να έχουν και συσσωρευτή ή αντλία νερού ή ακόμα και γεννήτρια. Τα συστήματα που αποτελούνται μόνο από μία φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συστήματα

που δεν χρειάζονται μονίμως ενέργεια. Εκμεταλλεύονται το γεγονός ότι οι ηλιόλουστες μέρες που κάνουν το σύστημα να έχει μεγάλη παραγωγή ισχύος παράλληλα προκαλούν αυξημένες ανάγκες για ψύξη και εξαερισμό χώρων. Έτσι, συνδέοντας τη συστοιχία με ανεμιστήρες εξαερισμού βελτιώνονται οι συνθήκες του χώρου. Ακόμα, η μεγάλη ηλιοφάνεια αυξάνει τις ανάγκες σε νερό για ύδρευση και άρδευση οπότε η συστοιχία συνδέεται με αντλία νερού για την άντληση νερού από κάποιο χαμηλότερο σημείο και την μεταφορά του είτε εκεί που υπάρχει ανάγκη, είτε για αποθήκευση σε κάποιο ψηλότερο σημείο (δεξαμενή). Στη περίπτωση αυτή η δεξαμενή αποτελεί την αποθήκη ενέργειας. Στη περίπτωση ύπαρξης συσσωρευτή το φωτοβολταϊκό σύστημα παρέχει την ενέργεια κάθε φορά που απαιτείται ανεξαρτήτως αν έχει ήλιο ή όχι διότι οι συσσωρευτές αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας όταν αυτή υπάρχει και την επιστρέφουν όταν χρειάζεται. Το πόση ενέργεια θα επιστρέψει εξαρτάται από το μέγεθος και το είδος του συσσωρευτή. Χρησιμοποιούνται για φωτισμό ή και για άλλες συσκευές, κυρίως σε τροχόσπιτα και ιστιοφόρα.

Όταν υπάρχει άλλου είδους γεννήτρια τότε το σύστημα είναι υβριδικό. Η γεννήτρια μπορεί να είναι πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Στα συστήματα αυτά η γεννήτρια και η φωτοβολταϊκή συστοιχία αλληλοσυμπληρώνονται. Το πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι ότι για να έχουμε επάρκεια σε χρονικές περιόδους μικρής ηλιοφάνειας αντί να βάλουμε φωτοβολταϊκή συστοιχία μεγαλύτερης επιφάνειας και συσσωρευτή μεγαλύτερης χωρητικότητας, παίρνουμε την ισχύ από την γεννήτρια. Επίσης, η κατανάλωση της γεννήτριας και το κόστος συντήρησής της είναι μικρότερο σε σχέση με ένα ίδιας ισχύος σύστημα παραγωγής με μια μόνο γεννήτρια.

Στην **Εικόνα 2.6** που ακολουθεί δίνεται μια φωτογραφία του αυτόνομου υβριδικού συστήματος παραγωγής της Κύθνου. Με τη βοήθεια ανεμογεννητριών, φωτοβολταϊκών και τεράστιων μπαταριών το σύστημα παράγει 600 kW ισχύ, βελτιώνοντας σημαντικά τη ποιότητα του δικτύου τροφοδοσίας του νησιού.



Εικόνα 2.6 : Το Αυτόνομο Υβριδικό Σύστημα της Κύθνου

2.2.5 ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η ισχύς από τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί είτε να εισαχθεί μέσα στο δίκτυο είτε σε ένα συσσωρευτή. Για να συνδεθεί λοιπόν στο δίκτυο η φωτοβολταϊκή γεννήτρια (σχήμα 3.14), η μικρή συνεχής τάση που παράγεται πρέπει να ενισχυθεί σε μια υψηλότερη εναλλασσόμενη τάση, το οποίο συνήθως γίνεται από έναν μετατροπέα. Επίσης ο μετατροπέας τοποθετείται για να ελέγχει συνέχεια το σημείο λειτουργίας των πλαισίων όπως μεταβάλλεται στη καμπύλη V-P, δηλαδή χρησιμοποιείται για την ανίχνευση του σημείου βέλτιστης ισχύος των πλαισίων (Maximum Power Point Tracking-MPPT). Εφόσον η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία μεταβάλλονται διαρκώς κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι χαρακτηριστικές εξόδου (V-I) μετατοπίζονται διαρκώς. Το σημείο λειτουργίας του μετατροπέα δε θα πρέπει απλά να μπορεί να κινηθεί πάνω στις καμπύλες εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, αλλά θα πρέπει να εντοπίζει και να σταθεροποιείται στο εκάστοτε σημείο μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος, για δεδομένη ακτινοβολία και θερμοκρασία.

Τα πλεονεκτήματα της σύνδεσης στο δίκτυο, είναι ότι μπορεί η ισχύς να “αποθηκευτεί” όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση.



Εικόνα 2.7 : Σύστημα φωτοβολταϊκής γεννήτριας με αντιστροφέα συνδεδεμένο στο δημόσιο δίκτυο

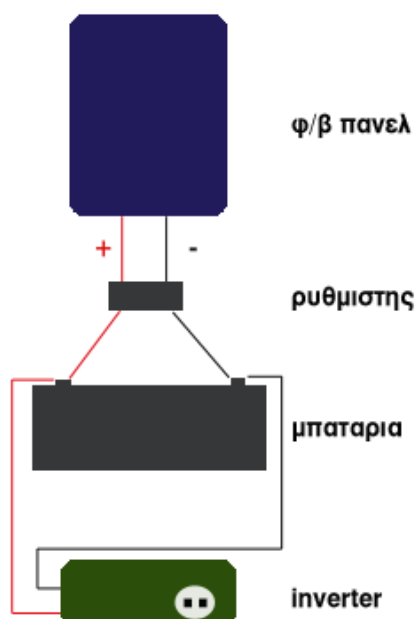
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διάφορες τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων για τη σύνδεση στο δίκτυο (συνδεδεμένο σύστημα). Η διαφοροποίηση των τεχνολογικών τάσεων έγκειται, αφενός μεν στον αριθμό των φωτοβολταϊκών πλαισίων που συνδέονται ανά ηλεκτρονικό μετατροπέα (επίπεδο ισχύος του μετατροπέα), αφετέρου δε στον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (εν σειρά σύνδεση, παράλληλη σύνδεση ή συνδυασμός αυτών). Οι τεχνολογίες που αναλύονται είναι οι εξής :

1. Η Κεντριοποιημένη Τεχνολογία (Centralized Technology)
2. Η Τεχνολογία Αλυσίδας (String Technology)
3. Η Τεχνολογία Πολλαπλών Αλυσίδων (Multistring Technology)
4. Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών Πλαισίων Εναλλασσόμενου Ρεύματος (AC- PV Modules).

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.1 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πάνελ και έναν αντιστροφέα τάσης. Στην περίπτωση που έχουμε αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα χρειαζόμαστε επιπλέον έναν ρυθμιστή φορτίσεως και μία συστοιχία μπαταριών.



Εικόνα 3.1 : Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα [πηγή: Ιακωβάκης, Ι. (2010)]

3.1.1. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΑΝΕΛ

Το φωτοβολταϊκό πανέλ (PV array) αποτελείται από ένα ή περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να τοποθετηθεί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Μπορούν να συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα σχηματίζοντας μια φωτοβολταϊκή συστοιχία. Φωτοβολταϊκή συστοιχία (PV array) είναι μια ομάδα από φωτοβολταϊκά πλαίσια ή πάνελ με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης.

Μπορούμε να συνδέσουμε όσα φωτοβολταϊκά πάνελ θέλουμε σε σειρά ή και παράλληλα, για να πετύχουμε το συνδυασμό Τάσης ρεύματος (Volt), Έντασης ρεύματος (Ampere) και φυσικά την συνολική Ισχύ (Watt) που θέλουμε να έχει το σύστημά μας.

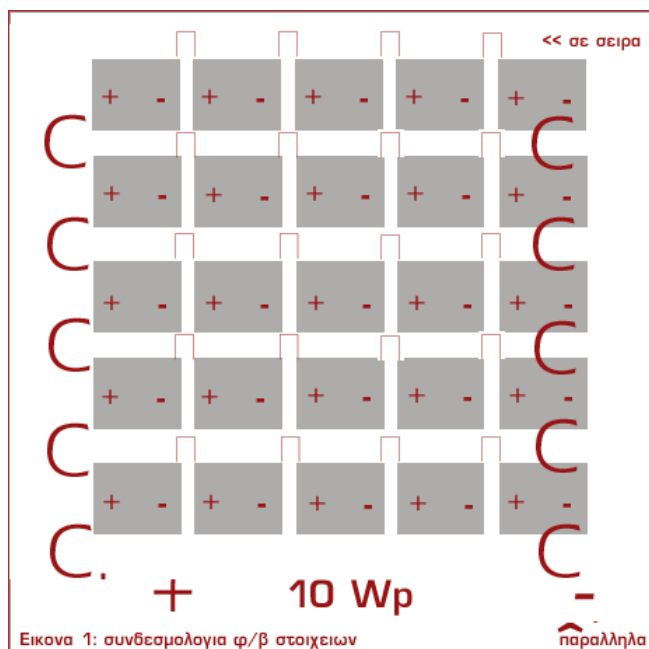
Φωτοβολταϊκά συνδεδεμένα σε σειρά εννοούμε όταν τα έχουμε συνδέσει μεταξύ τους, ενώνοντας το θετικό καλώδιο εξόδου του ενός πάνελ με το αρνητικό του άλλου, δηλαδή εναλλάξ το + με το - κ.ο.κ. Συνδεδεμένα παράλληλα είναι όταν συνδέουμε το θετικό καλώδιο εξόδου του ενός πάνελ με το θετικό του επόμενου και το αρνητικό καλώδιο εξόδου με το αρνητικό του επόμενου.

Σε σειρά αθροίζεται μόνο η τάση (τα Volt), ενώ παράλληλα αθροίζεται μόνο η ένταση (τα Ampere). Αν προορίζονται για αυτόνομο σύστημα με συσσωρευτές (μπαταρίες), τότε η απαιτούμενη τάση εξαρτάται από αυτή των συσσωρευτών ή της συστοιχίας συσσωρευτών. Παρακάτω περιγράφονται δύο παραδείγματα για την κατανόηση του υπολογισμού της συνολικής ισχύος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

Παράδειγμα Α

Στο επόμενο σχήμα, αν υποθέσουμε ότι κάθε τετραγωνάκι αντιπροσωπεύει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο των 4V και 0.5A τότε έχουμε: Πέντε στοιχεία οριζόντια συνδεδεμένα σε σειρά μεταξύ τους. Έτσι τα Ampere παραμένουν σταθερά όσα είναι σε στοιχείο και πολλαπλασιάζονται μόνο τα Volt. Άρα $5 \times 4V = 20V$. Τα Ampere παραμένουν 0.5A.

Πέντε τέτοιες πεντάδες σαν την παραπάνω, συνδεδεμένες σε παράλληλη σύνδεση μεταξύ τους. Έτσι, τα Volt παραμένουν σταθερά όσα είναι σε μια πεντάδα σε σειρά και πολλαπλασιάζονται μόνο τα Ampere. Άρα $5 \times 0.5\text{A} = 2.5\text{ A}$. Τα Volt παραμένουν 20V. Η συνολική ισχύς του φωτοβολταϊκού πάνελ είναι $2.5\text{A} \times 20\text{V} = 50\text{ Watt}$, αφού ο τύπος που μας δίνει την ισχύ είναι Watt ισο με Volt x Ampere σε κάθε περίπτωση.



Σχήμα 3.1 : Παράλληλη σύνδεση τοποθετημένων σε σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων

[πηγή: Ιακωβάκης, Ι. (2010)]

Παράδειγμα Β

Αν για παράδειγμα, έχουμε δύο φωτοβολταϊκά πάνελ ισχύος 100W το καθένα, συνδεδεμένα σε σειρά θα έχουν συνολική τάση περίπου 40V και ένταση 5A. Βλέπουμε, δηλαδή, ότι όταν συνδέουμε σε σειρά, προστίθενται τα Volt και όχι τα Ampere. Η συνολική ισχύς των δύο πάνελ συνδεδεμένων σε σειρά είναι 200W.

Συνδεδεμένα παράλληλα θα έχουν συνολική τάση περίπου 20V και ένταση 10A. Όταν δηλαδή συνδέουμε παράλληλα, προστίθενται τα Ampere και όχι τα Volt. Η συνολική ισχύς των δύο πάνελ συνδεδεμένων παράλληλα είναι και σε αυτή την περίπτωση 200W [Ιακωβάκης, (2010)].

3.2 Ο ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

Οι αντιστροφείς τάσης είναι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται σε συνδεδεμένα με το δίκτυο φ/β συστήματα αλλά και σε αυτόνομα συστήματα με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Ο σχεδιασμός ενός συνδεδεμένου με το δίκτυο φ/β συστήματος αρχίζει με την επιλογή ενός κατάλληλου αντιστροφέα τάσης. Αυτό καθορίζει την τάση του συνεχούς ρεύματος που θα έχει το σύστημα και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα επιλέγονται και οι κατάλληλοι συλλέκτες. Ο αντιστροφέας είναι η δεύτερη σημαντικότερη μονάδα του συστήματος μετά τους συλλέκτες. Δουλειά του είναι να μετατρέπει την συνεχή τάση που παράγεται στους συλλέκτες σε εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50Hz. Σε αντίθεση με τους αντιστροφείς των αυτόνομων συστημάτων, αυτοί των συνδεδεμένων πρέπει να αντιδρούν το ίδιο στις μεταβολές των χαρακτηριστικών του δικτύου ηλεκτροδότησης και στις μεταβολές της απόδοσης των συλλεκτών. Αφού όλο το παραγόμενο ρεύμα περνά από τον αντιστροφέα τα χαρακτηριστικά του επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος.

Εκτός από την απόδοση στη μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, τα ηλεκτρονικά του αντιστροφέα περιλαμβάνουν συστήματα που είναι υπεύθυνα για την ημερήσια λειτουργία του συστήματος. Φροντίζουν η λειτουργία να ξεκινά την κατάλληλη στιγμή το πρωί, όταν οι συλλέκτες παράγουν αρκετή ενέργεια.

Ανεπιτυχής έναρξη της λειτουργίας απαιτεί ενέργεια από το δίκτυο και πρέπει να αποφεύγεται. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας στην καμπύλη V-I μεταβάλλεται ανάλογα με τη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των συλλεκτών. Ο «έξυπνος» έλεγχος του μετατροπέα περιλαμβάνει παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ισχύος και συνεχή ρύθμιση στο βέλτιστο κάθε φορά

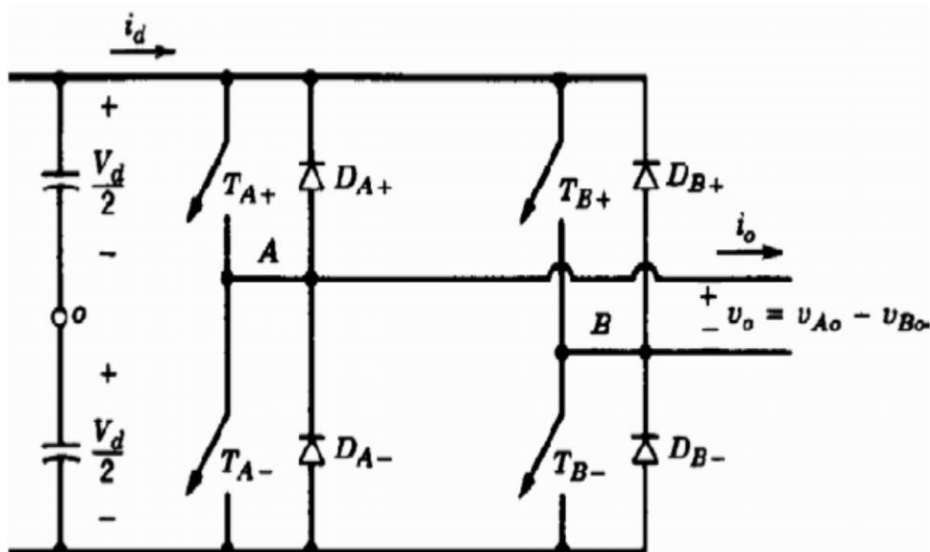
σημείο λειτουργίας. Επίσης υπάρχουν συστήματα που αυτόματα αποσυνδέουν το σύστημα αν εμφανισθούν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στους συλλέκτες. Σήμερα τα περισσότερα μοντέλα αντιστροφών τάσης είναι εξοπλισμένα με συστήματα που επιτρέπουν τη συνεχή μέτρηση της ισχύος, της τάσης, του ρεύματος και άλλων λειτουργικών παραμέτρων του συστήματος. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να συλλεχθούν και να αναλυθούν με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (H/Y).

3.2.1 ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

Οι μονοφασικοί αντιστροφείς (**Σχήμα 3.2**) χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την τοπολογία τους σε αντιστροφείς ημιγέφυρας και πλήρους γέφυρας. Οι πρώτοι υστερούν σαφώς για αυτό και σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων χρησιμοποιούνται οι αντιστροφείς πλήρους γέφυρας. Όταν η είσοδος των αντιστροφών είναι μια πηγή τάσης, αυτοί ονομάζονται αντιστροφείς πηγής τάσης (Voltage Source Inverters VSI) ενώ όταν ως είσοδος λαμβάνεται μια πηγή έντασης ονομάζονται αντιστροφείς πηγής έντασης (Current Source Inverters CSI). Ο χαρακτηρισμός του αντιστροφέα δεν έχει να κάνει απαραίτητα με την ενεργειακή πηγή του συστήματος, αλλά με την τοπολογία. Έτσι είναι δυνατόν να αλλάξει η 50 μορφή της πηγής χρησιμοποιώντας παθητικά στοιχεία. Οι αντιστροφείς πηγής τάσης έχουν έναν πυκνωτή παράλληλα συνδεδεμένο με την πηγή, ενώ οι αντιστροφείς πηγής έντασης ένα πηνίο σε σειρά με την πηγή.

3.2.2 ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ ΠΗΓΗΣ ΤΑΣΗΣ

Οι αντιστροφείς πηγής τάσης τροφοδοτούνται από μία πηγή συνεχούς τάσης(η συνεχής τάση εξόδου των φωτοβολταϊκών στοιχείων) η οποία έχει ιδανικά μηδενική εσωτερική σύνθετη αντίσταση. Στο σχήμα εικονίζεται ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας με χρήση του οποίου υλοποιείται ο μονοφασικός αντιστροφέας.



Σχήμα 3.2 : Μονοφασικός αντιστροφέας με πλήρη γέφυρα

Αποτελείται από δύο ζεύγη διακοπών και διόδων τα οποία λειτουργούν ως εξής (δύο σκέλη): Όταν T_{A+} , T_{B-} βρίσκονται σε αγωγή οι T_{A-} και T_{B+} βρίσκονται σε αποκοπή.

Στην περίπτωση αυτή η τάση εξόδου είναι ίση με V_d , ενώ το ρεύμα ρέει από το σημείο A στο B.

Αντίστροφα, όταν T_{A-} , T_{B+} βρίσκονται σε αγωγή οι T_{A+} , T_{B-} βρίσκονται σε αποκοπή. Η τάση εξόδου τότε αλλάζει πολικότητα, δηλαδή γίνεται ίση με $-V_d$ και το ρεύμα ρέει από το B στο A. Όσον αφορά τις διόδους στην περίπτωση ωμικού φορτίου δεν έχουν ενεργό ρόλο στο κύκλωμα (το ρεύμα εξόδου έχει παρόμοια μορφή με την τάση). Στην περίπτωση επαγωγικού φορτίου όμως έχουμε το εξής φαινόμενο :

Δεν είναι δυνατή η αντιστροφή του ρεύματος αμέσως μετά το κλείσιμο των διακοπών T_{A-} , T_{B+} και το άνοιγμα των T_{A+} , T_{B-} λόγω της καθυστέρησης που εισάγει το επαγωγικό φορτίο (όπως και κατά το άνοιγμα των T_{A-} , T_{B+}). Έτσι υπάρχει ένα χρονικό διάστημα που το ρεύμα ρέει μέσω των διόδων D_{A-} και D_{B+} όταν T_{A-} , T_{B+} κλειστοί και μέσω των διόδων D_{A+} και D_{B-} όταν T_{A+} , T_{B-} κλειστοί επιστρέφοντας ενέργεια στην πηγή τροφοδοσίας.

Στον αντιστροφέα πλήρους γέφυρας του σχήματος δεν πρέπει να είναι ταυτόχρονα κλειστοί οι διακόπτες του ίδιου σκέλους, γιατί τότε προκύπτει βραχυκύκλωμα στη DC πλευρά. Δηλαδή πρέπει να αποφευχθεί η κατάσταση στην οποία οι TA+ και TA- είναι κλειστοί ταυτόχρονα και αντίστοιχα η κατάσταση στην οποία οι TB+ και TB- είναι κλειστοί.

Στη συνδεσμολογία του αντιστροφέα με πλήρη γέφυρα παρατηρούμε στα άκρα της DC εισόδου δύο ίδιους πυκνωτές σε σειρά. Οι πυκνωτές αυτοί πρέπει να έχουν αρκετά μεγάλη χωρητικότητα ώστε να εξασφαλίσουμε σταθερή τάση εισόδου.

$$i_c = c \frac{dU_c}{dt} \Rightarrow \frac{dU_c}{dt} = \frac{i_c}{c} \Rightarrow c \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{dU_c}{dt} = 0 \Rightarrow U_c = \text{σταθ.} \quad [1]$$

Όσον αφορά την αξιοποίηση των διακοπών στους μετατροπείς με πλήρη γέφυρα ανεξάρτητα από το είδος ελέγχου και τη διάταξη μετάβασης που χρησιμοποιείται, οι μέγιστες προδιαγραφές τάσης και ρεύματος των διακοπών που απαιτούνται σ' έναν αντιστροφέα με πλήρη γέφυρα είναι :

$$V_T = V_d$$

$$I_T = i_{\text{opeak}}$$

Αν στην έξοδο του αντιστροφέα υπάρχει μετασχηματιστής δεν δημιουργείται πρόβλημα στους διακόπτες από το ρεύμα μαγνήτισης του μετασχηματιστή καθώς αυτό βρίσκει διέξοδο μέσω των διόδων του.

3.2.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΤΑΣΗΣ

Ο αντιστροφέας ή μετατροπέας (inverter) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο. Η επιλογή του αντιστροφέα εξαρτάται πάντα από το πόσο μεγάλη μπαταρία έχουμε και από το μέγεθος της εγκατάστασης.

3.2.4 ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΚΑΙ ΜΠΑΤΑΡΙΑ

Ο ρυθμιστής φόρτισης (charge controller) είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται κυρίως σε αυτόνομα συστήματα για να ρυθμίζει τη φόρτιση των συσσωρευτών. Ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει για τη σωστή φόρτιση της μπαταρίας. Ακόμη, για μελλοντική επέκταση των φωτοβολταϊκών, μπορούμε να πάρουμε ένα μεγαλύτερο ρυθμιστή. Η μπαταρία πρέπει να είναι πάντα λίγο μεγαλύτερη από την ημερήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών.

3.2.5 ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για να εγκατασταθεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα σε ένα κτίριο ή σε ένα οικόπεδο πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

1. Ύπαρξη κατάλληλου χώρου για :

- Τις μπαταρίες.
- Τα ηλεκτρικά συστήματα.
- Τη διατήρηση της ελάχιστης απαιτούμενης απόστασης μεταξύ των φωτοβολταϊκών πάνελ.

Όσον αφορά την απόσταση των φωτοβολταϊκών πάνελ, η απόσταση μεταξύ της προβολής της μιας σειράς των πάνελ στο έδαφος με την αρχή της επόμενης σειράς πρέπει να είναι το διπλάσιο από το μέγιστο ύψος των πάνελ.

2. Προσανατολισμός: Αν τα φωτοβολταϊκά τοποθετηθούν σε κάθετη επιφάνεια τότε έχουν καλύτερη απόδοση σε Νότιο προσανατολισμό. Αν είναι κεκλιμένη η επιφάνεια τοποθέτησης τότε απαιτείται μια μεγαλύτερη ποικιλία προσανατολισμών για να έχουμε ανεκτά ενεργειακά αποτελέσματα. Σε κάθε περίπτωση ο Βόρειος προσανατολισμός δεν προτιμάται.

3. Η σωστή κλίση των φωτοβολταϊκών πάνελ: Είναι πολύ βασικό να τοποθετούμε τα φωτοβολταϊκά πάνελ με σωστή κλίση ως προς τον ήλιο και το έδαφος. Οι διαφορές στην παραγωγή ρεύματος είναι πολύ σημαντικές. Για παράδειγμα, ένα κεκλιμένο πάνελ δέχεται περισσότερο φως από ένα κατακόρυφο. Οι γωνίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι από ορθή μέχρι και 150° . Η μέγιστη κλίση των 150° , προτείνεται για να επιτρέπεται στη βροχή να ξεπλένει τη σκόνη. Για ένα φωτοβολταϊκό στραμμένο προς το Νότο, η πιο αποτελεσματική γωνία είναι $30 - 40^\circ$ [Ιακωβάκης, (2010)].

Μικρότερη κλίση συνεπάγεται μικρότερες απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ των φωτοβολταϊκών πάνελ, ενώ μεγαλύτερη κλίση συνεπάγεται μεγαλύτερες απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ των φωτοβολταϊκών πάνελ, για την αποφυγή σκιάσεων. Αν δεν υπάρχει περιορισμός χώρου, προτιμούμε τις μεγαλύτερες αποστάσεις παρά την μικρότερη από τη βέλτιστη επιλογή γωνίας κλίσης. Την ημέρα των χειμωνιάτικων μηνών οι σκιές είναι μεγαλύτερες λόγω της χαμηλότερης πορείας του ήλιου [http://www.iqsolarpower.com/apostasi_panel.htm].

4. Αερισμός: Η απόδοση του φωτοβολταϊκού μειώνεται κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος που είναι τοποθετημένο, γι' αυτό και πρέπει το πίσω μέρος του φωτοβολταϊκού να αερίζεται επαρκώς.

5. Σκίαση: Πρέπει να υπάρχει αρκετός ελεύθερος και ασκίαστος χώρος στη θέση τοποθέτησης του φωτοβολταϊκού. Ανάλογα με την κατηγορία που εντάσσεται το φωτοβολταϊκό, απαιτούνται $8 \text{ m}^2/\text{KW}$ για μονοκρυσταλλικά και $10 \text{ m}^2/\text{KW}$ για πολυκρυσταλλικά. Για τα άμορφα φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούνται περίπου το διπλάσιο.

Μικρές σκιάσεις σε περιόδους χαμηλής έντασης του ήλιου είναι αποδεκτές και δεν προκαλούν ιδιαίτερες απώλειες στη συνολική παραγωγή.

6. Βάρος: Ένα πλήρες φωτοβολταϊκό ζυγίζει $15\text{-}20 \text{ kg/m}^2$. Αν κι αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα, καλό είναι να το γνωρίζουμε και να ληφθεί υπ' όψη [<http://eleftheroiellines.blogspot.gr/2012/01/3.html>].

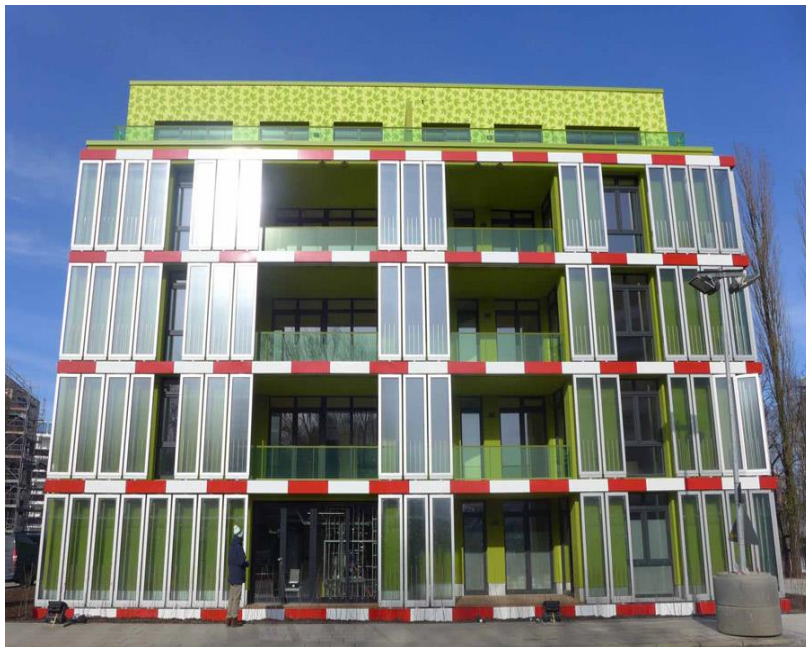
3.3. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να τοποθετηθούν σε οικόπεδα, στέγες (επίπεδες ή κεκλιμένες) ή προσόψεις κτιρίων. Παρέχονται σε διάφορα μεγέθη και μπορούν, για παράδειγμα να υποκαταστήσουν τμήμα μιας κεραμοσκεπής ή τα υαλοστάσια σε μια πρόσοψη ή να χρησιμοποιηθούν σαν φωταγωγοί (skylights).



Εικόνα 3.2 : Ο πύργος CIS στο Manchester της Μ. Βρετανίας με φωτοβολταϊκή πρόσοψη

[πηγή: http://www.4green.gr/data/news/preview_news/88849.asp#photo8]



Εικόνα 3.3 : Το BIQ house στο Αμβούργο, το πρώτο 100% ενεργειακά αυτόνομο κτίριο από φωτοβολταϊκά πάνελ και φύκια

[πηγή: <http://www.mnn.com/your-home/remodeling-design/blogs/algae-powered-apartment-complex-blooms-in-hamburg>]



Εικόνα 3.3: Ηλιακά «κεραμίδια» Με εκτύπωση σε ρολό, εύκαμπτων φωτοβολταϊκών μεμβράνης

[πηγή: <http://www.tovima.gr/science/article/?aid=467879>]

Παρέχονται σε διάφορα χρώματα και σε διάφορα πάχη διαφάνειας για ειδικές αρχιτεκτονικές εφαρμογές. Διατίθενται, επίσης, διαφανή φωτοβολταϊκά, για προσόψεις εμπορικών κτιρίων, με θερμομονωτικές ιδιότητες αντίστοιχες με αυτές των υαλοστασίων χαμηλής εκπεψιμότητας που επιτυγχάνουν πέραν της ηλεκτροπαραγωγής και εξοικονόμηση ενέργειας 15 - 30 % σε σχέση με κτίριο με συμβατικά υαλοστάσια. Ήδη παράγονται και φωτοβολταϊκά κεραμίδια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη θέση των κανονικών κεραμιδιών.



Εικόνα 3.4 : Εικόνα Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε κεραμίδια

[πηγή: http://www.4green.gr/data/news/preview_news/88849.asp#photo8]

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως σκίαστρα πάνω από παράθυρα, σε πέργκολες και στέγαστρα χώρων στάθμευσης



Εικόνα 3.5 : Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών σε στέγαστρα

3.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, όποιος επιθυμεί να τοποθετήσει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει αρχικά να απευθυνθεί σε μία εταιρεία εγκατάστασης φωτοβολταϊκών, η οποία θα του προμηθεύσει τον εξοπλισμό, αλλά και θα τον βοηθήσει σε όλα τα επόμενα βήματα (Δ.Ε.Η., τράπεζες, κ.λπ.). Προτιμάται η συνεργασία με οργανωμένες εταιρείες που εξειδικεύονται στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση θα λειτουργεί για πολλά χρόνια κι έτσι γίνεται φανερό ότι ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να επιλέξει μια εταιρεία με την οποία να μπορεί να επενδύσει στην αρμονική συνεργασία.

Τα σημεία που πρέπει να προσέξει ο ενδιαφερόμενος όταν έρθει σε επαφή με μια εταιρεία είναι :

1. Η αξιοπιστία: τήρηση προδιαγραφών, δεσμεύσεων και υποσχέσεων.
2. Ο επαγγελματισμός: σωστή εξυπηρέτηση, τήρηση χρονοδιαγραμμάτων.
3. Η επιστημονική κατάρτιση και εμπειρία: επάρκεια σε τεχνικές γνώσεις και εμπειρία στις κατασκευές.
4. Τα κατάλληλα μέσα και υποδομές: χρήση κατάλληλων μέσων και εργαλείων κατά τη μελέτη και την εγκατάσταση.

Η εταιρεία εγκατάστασης θα κάνει μια μελέτη και θα δώσει στον ενδιαφερόμενο μια οικονομική προσφορά, ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο και τις δικές του απαιτήσεις.

Αυτή η μελέτη πρέπει να συμπεριλαμβάνει τις εξής πληροφορίες :

1. Πόσα κιλοβάτ μπορούν να εγκατασταθούν στη στέγη, το δώμα ή το οικόπεδο.
2. Πόσα πάνελ και πόσοι μετατροπείς θα χρησιμοποιηθούν, τί ονομαστικής ισχύος, τον κατασκευαστή και τη χώρα προέλευσής τους.

3. Τον τύπο του συστήματος στήριξης και τον κατασκευαστή.
4. Τον τύπο της καλωδίωσης.
5. Τις εγγυήσεις όλων των παραπάνω.
6. Την ετήσια απόδοση του συστήματος σε κιλοβατώρες.
7. Το τελικό κόστος και όφελος του συστήματος.
8. Το χρόνο παράδοσης.

Ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να δώσει προσοχή στις ακόλουθες λεπτομέρειες ώστε να επιλέξει σωστά τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν :

1. επιλογή επώνυμων υλικών, από αξιόπιστες εταιρείες κατασκευής και δοκιμασμένα σε ό,τι αφορά τη λειτουργία και την απόδοσή τους
2. υλικά με τις απαραίτητες πιστοποιήσεις, δηλαδή υλικά που οι πιστοποιήσεις τους να είναι σύμφωνες με τα διεθνή πρότυπα
3. εγγυήσεις λειτουργίας και απόδοσης.
4. υλικά για τα οποία θα μπορεί να βρεθεί εύκολα τεχνική υποστήριξη, τώρα και στο μέλλον.

Ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει επίσης να δώσει προσοχή στα επόμενα βασικά χαρακτηριστικά του προτεινόμενου φωτοβολταϊκού συστήματος :

1. η μέγιστη ισχύς
2. η υψηλή απόδοση
3. η αντίσταση στις διακυμάνσεις θερμοκρασίας
4. η καλύτερη εγγύηση λειτουργίας
5. η αντίσταση στη φθορά
6. η αξιοπιστία της εταιρείας κατασκευής
7. οι δόκιμες διαστάσεις.

Είναι δύσκολο να επιτευχθεί ο βέλτιστος συνδυασμός όλων των παραπάνω, αλλά είναι δυνατό να επιλεγθεί εκείνο που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες του κάθε καταναλωτή. Μετά την επιλογή της κατάλληλης προσφοράς, ο ενδιαφερόμενος απευθύνεται στον ΔΕΔΔΗΕ ώστε να εγκριθεί η πρότασή του για να ξεκινήσει η διαδικασία εγκατάστασης (www.4green.gr).

3.3.2 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ

Για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε ένα κτίριο, υπάρχουν τέσσερις βασικοί τρόποι: α) τοποθέτηση σε κεκλιμένα στηρίγματα, β) τοποθέτηση σε ειδική βάση προσαρμοζόμενη στο εξωτερικό του κελύφους, γ) απ' ευθείας τοποθέτηση, και δ) ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στο κέλυφος του κτιρίου.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να έχουν ή να μην έχουν πλαίσιο. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ με πλαίσιο χρησιμοποιούνται σε κεκλιμένες στέγες ή σε επίπεδες οροφές. Αντίθετα, τα φωτοβολταϊκά πάνελ χωρίς πλαίσιο χρησιμοποιούνται σε προσόψεις ή τοιχώματα.

Με τα φωτοβολταϊκά σε στέγες η Ευρωπαϊκή Ένωση θέλησε να ωθήσει τους πολίτες της να αξιοποιήσουν την ηλιακή ενέργεια. Έτσι, ξεκίνησε το πρόγραμμα «Φωτοβολταϊκά σε Στέγες» με πολύ ευνοϊκές ρυθμίσεις και αρκετά κίνητρα. Το πρόγραμμα αφορά στέγες και δώματα στα οποία μπορούν να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά συνολικής ισχύος 10 kW. Σε αυτό μπορούν να μετέχουν όλοι οι πολίτες και, προκειμένου για την Ελλάδα, να πωλούν το ρεύμα που παράγουν στη ΔΕΗ. Το κέρδος για τον κάτοχο φωτοβολταϊκών είναι διπλό. Εισπράττει χρήματα από τη ΔΕΗ για το ρεύμα που παράγει, ενώ δεν χρειάζεται να πληρώνει για το ρεύμα που καταναλώνει.

Δικαίωμα συμμετοχής στο πρόγραμμα «Φωτοβολταϊκά σε Στέγες» έχουν όλοι οι κάτοικοι της Ελλάδας, ιδιώτες ή μικρές επιχειρήσεις, με μοναδική προϋπόθεση να είναι ιδιοκτήτες του ακινήτου που θα τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά και το ακίνητο τους να είναι σε σύνδεση με την ΔΕΗ. Ο ιδιώτης ή η επιχείρηση που ενδιαφέρεται να τοποθετήσει τα φωτοβολταϊκά πρέπει να απευθυνθεί στα γραφεία της ΔΕΗ της περιοχής του. Αργότερα, θα

κληθεί να υπογράψει δύο συμβάσεις, η πρώτη αφορά την εγκατάσταση του μετρητή ρεύματος και η δεύτερη αφορά την πώληση του ρεύματος στη ΔΕΗ. Εξίσου σημαντικό για όσους αποφασίσουν να τοποθετήσουν φωτοβολταϊκά στις στέγες τους είναι ότι προς το παρόν δεν φορολογούνται για τα έσοδα που προκύπτουν από την πώληση του ρεύματος, λόγω του μικρού μεγέθους του συστήματος που δικαιούται το κάθε κτίριο. Εκτός από τα φωτοβολταϊκά σε στέγες μονοκατοικιών, τοποθετούνται και σε στέγες και δώματα πολυκατοικιών. Απαιτείται η σύμφωνη γνώμη όλων των ιδιοκτητών και η διαδικασία πραγματοποιείται από το διαχειριστή.

Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών είναι μια επένδυση για το μέλλον αφού εξασφαλίζει κέρδη για τον κάτοχο του φωτοβολταϊκού συστήματος για 25 χρόνια τουλάχιστον. Ειδικά σε κάποιες περιοχές της Ελλάδας που επικρατεί ηλιοφάνεια τους περισσότερους μήνες του χρόνου, η απόδοση είναι εγγυημένη. Τα κέρδη εξαρτώνται από το μέγεθος της εγκατάστασης και όσο μεγαλύτερη είναι αυτή, τόσο πιο πολλά τα κέρδη.

Η τιμή αγοράς της kWh (κιλοβατώρας) από τη ΔΕΗ με βάση τον νόμο 3851 ήταν 0.55 ευρώ μέχρι τον Ιούλιο του 2012, ενώ από τον Αύγουστο του 2012 μετά από τροποποίηση του νόμου έπεσε στα 0.25 ευρώ. Η τιμή θα μειώνεται κάθε εξάμηνο ως εξής (**Πίνακας 3.1**) :

Πίνακας 3.1 : Η τιμή αγοράς της kWh (κιλοβατώρας) από τη ΔΕΗ

Έτος / Μήνας	Τιμή Κιλοβατώρας (€)
2012 Αύγουστος	0.25
2013 Φεβρουάριος	0.23875
2013 Αύγουστος	0.22801
2014 Φεβρουάριος	0.21775
2014 Αύγουστος	0.20795
2015 Φεβρουάριος	0.19859
2015 Αύγουστος	0.18965
2016 Φεβρουάριος	0.18112
2016 Αύγουστος	0.17297
2016 Φεβρουάριος	0.16578
2017 Αύγουστος	0.15775
2017 Φεβρουάριος	0 15065
2018 Αύγουστος	0 14387

Η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας παρ' όλες τις προσαρμογές είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την τιμή που πληρώνουμε για ρεύμα. Η χρηματοδότηση από τις τράπεζες

που αφορά το συγκεκριμένο πρόγραμμα, φτάνει έως και το 100%. Εφόσον φυσικά πληροί τις προϋποθέσεις για τραπεζικό δανεισμό. Σε αυτή την περίπτωση το κόστος για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι μηδαμινό για τον κάτοχο του ακινήτου, αφού άμεσα μπορεί από τα κέρδη του να αποπληρώσει το δάνειο.

3.3.3 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΕ ΟΙΚΟΠΕΔΟ

Η κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού πάρκου μπορεί να πραγματοποιηθεί σε έκταση γης που δεν σκιάζεται, δεν είναι δασική, δεν φιλοξενεί αρχαιολογικά ευρήματα και δεν βρίσκεται σε ζώνη υψηλής παραγωγικότητας (www.plasisgroup.com).



Εικόνα 3.6 : Το μεγαλύτερο ηλιακό πάρκο στην Ιαπωνία, με ισχύ 70 MW

[πηγή: <http://www.exitnews.gr/to-megalitero-iliako-parko-tis-iaponias>]

Συγκεκριμένα, για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε εκτός σχεδίου περιοχές :

1. Εξασφαλίζεται ότι οι κατευθύνσεις του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εφαρμόζονται για το σύνολο των φωτοβολταϊκών σταθμών.
2. Αποσαφηνίζονται οι περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται έκδοση οικοδομικής άδειας στην περίπτωση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων.
3. Οι ελάχιστες αποστάσεις των εγκαταστάσεων και του συνοδού οικίσκου από τα όρια γηπέδου γίνονται ρεαλιστικότερες, επιτρέποντας την αξιοποίηση μεγαλύτερου ποσοστού κάλυψης γηπέδου.
4. Καθορίζονται εκ νέου οι απολύτως αναγκαίες κατασκευές, με άρση του περιορισμού ύψους και εισάγεται κατάλληλη ρύθμιση ώστε να καθίσταται δυνατή η εγκατάσταση όσων οικίσκων εγκατάστασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού είναι απαραίτητοι στις εγκαταστάσεις αυτές, ανεξαρτήτως της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος τους.
5. Ιδιαίτερη μέριμνα λαμβάνεται για θέματα ασφαλείας, δεδομένης της σημαντικής αύξησης του ορίου εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών σταθμών από 150kW σε 1MW που εισήγαγε ο πρόσφατος ν.3851/2010 σε συνδυασμό με την κατάργηση για τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας της διαδικασίας έγκρισης εργασιών και αντικατάστασή της από έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας (<http://ered.gr/gr/articlesInside.php?art=17166>) .

3.4 ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας συνδέονται έτσι ώστε να σχηματίζουν παράλληλους κλάδους, που καταλήγουν, μέσω του φορτιστή, στον συσσωρευτή. Προκειμένου να αποκλειστεί, αφενός η εκφόρτιση του συσσωρευτή μέσω των φωτοβολταϊκών πλαισίων του κλάδου κατά τη διάρκεια της νύκτας, αφετέρου η κυκλοφορία ρευμάτων που επιβάλλουν ένας ή περισσότεροι κλάδοι στους υπόλοιπους, κάθε κλάδος εφοδιάζεται με μια δίοδο αντεπιστροφής ή απομόνωσης, τοποθετημένη στο αντίστοιχο κιβώτιο συνδέσεων του κλάδου. Αν οι γραμμές μεταφοράς από κάθε κλάδο καταλήγουν σε

κεντρικό κιβώτιο, τότε σ' αυτό τοποθετούνται και οι δίοδοι αντεπιστροφής [Φραγκιαδάκης, (2009)].

Κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη φωτοβολταϊκή συστοιχία, μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια :

- Είτε χρησιμοποιείται για την απευθείας τροφοδοσία των ηλεκτρικών συσκευών της εφαρμογής, οι οποίες αναφέρονται στη συνέχεια, ως καταναλώσεις ή φορτία (άμεση χρήση).
- Είτε αποθηκεύεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύκτας ή των περιόδων συννεφιάς (έμμεση χρήση).

Επίσης, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, είτε αξιοποιείται ως έχει, δηλαδή, ως ενέργεια συνεχούς ρεύματος, είτε μετατρέπεται σε ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος, μέσω διάταξης που ονομάζεται inverter. Πάντως, στις περισσότερες περιπτώσεις ενδείκνυται η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε εναλλασσόμενο, δεδομένης της ευρείας χρήσης των συσκευών με τροφοδοσία 220 Volt.

Σε κάθε περίπτωση, η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, σε ηλεκτρική και η μεταφορά της στο χώρο τελικής αξιοποίησής της, συνοδεύεται από απώλειες. Μέρος της μεταφερόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε εσωτερική ενέργεια των συσκευών, αυξάνοντας τη θερμοκρασία των καλωδίων και των ηλεκτρονικών διατάξεων του φωτοβολταϊκού συστήματος, αποβαλλόμενη, τελικά, προς το περιβάλλον [Φραγκιαδάκης, (2009)].

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν εφαρμογή σε ποικίλες εγκαταστάσεις, όπως :

1. φάρoi και σηματοδότες θαλασσίων οδών.
2. τηλεπικοινωνίες (τηλεφωνικό δίκτυο δυσπρόσιτων / απομονωμένων περιοχών, αναμεταδότες τηλεόρασης, αναμεταδότες FM, αναμεταδότες μικροκυμάτων τηλεπικοινωνιών, τηλεφωνο εθνικών οδών, τηλεπικοινωνίες Ε.Δ.).

3. μονάδες αναγνώρισης – προειδοποίησης (ανισόπεδες διαβάσεις σιδηροδρόμου, σημάνσεις οδών, φωτεινά σήματα).
4. μετρητικές διατάξεις, κ.λ.π. (σεισμογράφοι, μετρητές κυκλοφορίας).
5. ηλεκτροδότηση κατοικιών, οικισμών, camping, κτηνοτροφικών μονάδων, κ.λ.π.
6. άντληση – άρδευση, κ.ά.

(Τα περισσότερα αυτόνομα συστήματα, στην Ελλάδα, προς το παρόν, βρίσκονται στο Άγιο Όρος [Τσιλιγιάδης, (2008α)].



Εικόνα 3.7 : Εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε σκάφη

[πηγή: http://www.geshellas.gr/el/article_groups/1/articles/11]



Εικόνα 3.8 : Φωτοβολταϊκό πεζοδρόμιο στην πόλη Κόμπε της Ιαπωνίας

[πηγή: <http://www.energypress.gr/news/Fwtoboltaika-pe zodromia-poy-syllegoyn-energeia-kainotomes-efarmoges-sto-programma-toy-YPEKA>]



Εικόνα 3.9 : Εφαρμογή φωτοβολταϊκών σε Αεροπλάνο - Δορυφόρος της αεροναυπηγικής εταιρείας Titan

[πηγή: <http://www.michanikos-online.gr/news.php?aID=9992>]

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Κατά τη διάρκεια της μελέτης σχετικά με τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μας δημιουργήθηκε η ανάγκη να δούμε τα βήματα κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος αξιοποιώντας τις γνώσεις που πήραμε από την ενασχόλησή μας στο συγκεκριμένο θέμα. Αποφασίσαμε, λοιπόν, να κατασκευάσουμε εξ' αρχής ένα δικό μας φωτοβολταϊκό σύστημα. Παρακάτω, περιγράφουμε αναλυτικά τα υλικά που χρειάζονται καθώς και τη διαδικασία κατασκευής του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Για την κατασκευή του φωτοβολταϊκού συστήματος χρειάζονται ένας αντιστροφέας (inverter) και ένα φωτοβολταϊκό πάνελ, η κατασκευή του οποίου περιγράφεται παρακάτω.

Τα υλικά που χρειάζονται για την κατασκευή του φωτοβολταϊκού πάνελ, είναι τα εξής: 1 ξύλο κόντρα πλακέ 1m x 1m, 25 φωτοβολταϊκά στοιχεία, 1 κολλητήρι, καλάι, 2 καλώδια 1.5 m, αλουμινοταινίες, ζεστή κόλλα σιλικόνης, 1 ψαλίδι, 1 μέτρο, 2 καλώδια ακροδέκτες, 1 μολύβι και 1 τζάμι.

Στη συνέχεια περιγράφουμε τα στάδια κατασκευής του φωτοβολταϊκού πάνελ. Σε πρώτη φάση παίρνουμε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο και χρησιμοποιώντας κολλητήρι και καλάι κολλάμε τις αλουμινοταινίες στα 66 σημεία επαφής. Για το κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο χρειαζόμαστε τρεις αλουμινοταινίες.

Αφού κολλήσουμε τις αλουμινοταινίες γυρίζουμε την κυψέλη από την πίσω πλευρά. Τοποθετούμε την επόμενη κυψέλη στη σειρά με την μπροστά πλευρά της να κοιτάζει το έδαφος. Τέλος, κολλάμε τις αλουμινοταινίες της πρώτης κυψέλης στη δεύτερη από την πίσω πλευρά της, όπως φαίνεται στην Εικόνα .

Στη συνέχεια ακολουθούμε την ίδια ακριβώς διαδικασία για τις επόμενες τρεις κυψέλες που συνδέονται σε σειρά με τις προηγούμενες δύο. Έτσι, η πρώτη πεντάδα φωτοβολταϊκών στοιχείων ολοκληρώνεται και είναι έτοιμη να κολληθεί στο κόντρα πλακέ.

Πρώτα όμως σχεδιάζουμε στο κόντρα πλακέ την επιθυμητή θέση στην οποία θα μπει η πεντάδα φωτοβολταϊκών στοιχείων και στη συνέχεια βάζουμε ζεστή σιλικόνη και κολλάμε μία-μία τις κυψέλες.

Με την ολοκλήρωση της προηγούμενης διαδικασίας έχουμε ετοιμάσει την πρώτη σειρά του φωτοβολταϊκού πάνελ. Στο πρώτο και το τελευταίο φωτοβολταϊκό στοιχείο, κάθε σειράς, αφήνουμε αλουμινοταινία για να συνδεθεί με την επόμενη ή την προηγούμενη σειρά. Αν βρισκόμαστε στην πρώτη ή την τελευταία σειρά του φωτοβολταϊκού πάνελ, η αλουμινοταινία που αφήσαμε χρησιμοποιείται για να συνδεθεί το σύστημά μας με τα καλώδια και αυτά με τη σειρά τους με τον αντιστροφέα. Τοποθετούμε με ζεστή κόλλα σιλικόνης στις τελευταίες αλουμινοταινίες ένα κομμάτι αλουμινοταινίας μεγαλύτερου πάχους για καλύτερη μεταφορά ρεύματος.

Τα κομματάκια αλουμινοταινίας που περισσεύουν τα γυρνάμε πάνω στη φαρδιά αλουμινοταινία και τα κολλάμε με το κολλητήρι και το καλάνι, όπως φαίνεται στην επομένη.

Ακολουθώντας τα βήματα αυτά συνδέουμε, σχεδιάζουμε και κολλάμε τις επόμενες τέσσερις πεντάδες του φωτοβολταϊκού πάνελ. Ο τρόπος σύνδεσης όλων των φωτοβολταϊκών μας στοιχείων είναι σε σειρά. Το τελευταίο βήμα για να ολοκληρωθεί το φωτοβολταϊκό πάνελ είναι να τοποθετηθούν με ζεστή κόλλα σιλικόνης στην πρώτη και την τελευταία σειρά οι άκρες των ακροδεκτών ανόδου (+) και ουδέτερου (-). Προαιρετικά, τοποθετούμε ένα τζάμι πάνω στο φωτοβολταϊκό πάνελ και το κολλάμε με ζεστή κόλλα σιλικόνης για προστασία από τυχόν φθορές και διάφορα καιρικά φαινόμενα. Μετά και το βήμα αυτό, το φωτοβολταϊκό μας πάνελ είναι έτοιμο για χρήση. Στη συνέχεια, συνδέουμε τις άκρες των καλωδίων του έτοιμου φωτοβολταϊκού πάνελ στους ακροδέκτες του αντιστροφέα. Έτσι, το φωτοβολταϊκό μας σύστημα είναι έτοιμο για χρήση. Η μέγιστη ισχύς της κάθε κυψέλης ισούται με $0.5V \times 8A = 4Watt$, αφού ο τύπος που μας δίνει την ισχύ είναι $Watt = Volt * Ampere$. Η μέγιστη συνολική ισχύς του φωτοβολταϊκού συστήματος προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των 25 κυψελών με την ισχύ της κάθε κυψέλης, δηλαδή $25 * 4Watt = 100Watt$. Έπειτα, μεταφέρουμε το φωτοβολταϊκό σύστημα σε εξωτερικό χώρο με ηλιοφάνεια

για να εξετάσουμε την αποτελεσματικότητά του. Προαιρετικά, χρησιμοποιούμε έναν μετρητή τάσης ρεύματος που τον τοποθετούμε στην πρίζα του αντιστροφέα για να μετρήσουμε την κατανάλωση, για παράδειγμα, μιας λάμπας 40 Watt.

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΕ ΕΞΟΧΙΚΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΕ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΝΗΣΙ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί μία νέα κατασκευή (new design) οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος σε ελληνικό νησί. Η παρούσα εγκατάσταση γίνεται στα πλαίσια κάλυψης των ηλεκτρικών αναγκών της εξοχικής κατοικίας. Για λόγους οικονομικούς (σχέδιο επένδυσης) αλλά και για λόγους αυτονομίας από το δίκτυο της ΔΕΗ, ο ιδιοκτήτης επιθυμεί την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Επομένως, με τη χρήση των εξαρτημάτων που συνθέτουν το φωτοβολταϊκό σύστημα και με τη βοήθεια της ηλιακής ενέργειας (μεγέθη εισόδου) παρέχεται η ηλεκτρική ενέργεια (μέγεθος εξόδου) χωρίς να παράγεται κανένα απολύτως απόβλητο ή καυσαέριο από όλη την διαδικασία.

5.2 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η μέγιστη ενεργειακή απόδοση της λειτουργίας του συνολικού συστήματος είναι περίπου 14%. Το κόστος αγοράς αναφέρεται στα εξαρτήματα που απαρτίζουν το συνολικό σύστημα και υπολογίζονται διεξοδικά παρακάτω ενώ το κόστος λειτουργίας αναφέρεται στα έξοδα συντήρησης, όπως είναι για παράδειγμα η αντικατάσταση συσσωρευτών μετά από κάποια χρόνια χρήσης. Από περιβαλλοντικής απόψεως η χρήση των φωτοβολταϊκών δεν ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα με εκπομπές αλλά ούτε το έδαφος και το υδάτινο περιβάλλον με στερεά και υγρά απόβλητα αντίστοιχα, 90 δεδομένου ότι οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες ανακυκλώνονται και δεν απορρίπτονται ανεξέλεγκτα στο περιβάλλον.

Τεχνικές προδιαγραφές

Στη παρούσα εργασία θα μελετηθεί ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για την κάλυψη αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια μιας εξοχικής κατοικίας σε ελληνικό νησί. Η οικία δεν είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο. Οπότε για να είναι οικονομικότερη η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος δεν θα εξεταστεί η περίπτωση κάλυψης οικιακής κουζίνας (ηλεκτρική) και θερμοσίφωνα που είναι θερμικές συσκευές μεγάλης ισχύος. Εναλλακτικά, μπορεί να τοποθετηθεί κουζίνα υγραερίου καθώς και τοποθέτηση ηλιακού συλλέκτη για παροχή ζεστού νερού.

Η μελέτη θα γίνει με την προϋπόθεση ότι την εξοχική κατοικία δεν θα παρέχεται για μόνιμη διαμονή, αλλά την περίοδο των καλοκαιρινών μηνών (από Μάη έως Σεπτέμβρη). Ο εξοπλισμός της οικίας είναι ο ακόλουθος:

Εσωτερικός φωτισμός : 5 λαμπτήρες των 20 W

Εξωτερικός φωτισμός : 4 λαμπτήρες των 20 W

Τηλεόραση : 250 W

Ψυγείο : 250 W

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πολυκρυσταλλικά) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα παρακάτω :

Των 60 Watt, με διαστάσεις [751 x 652] [mm x mm]

Των 110 Watt, με διαστάσεις [1425 x 652] [mm x mm]

5.3 ΣΧΕΔΙΟ - ΜΕΛΕΤΗ ΤΕΛΙΚΗΣ ΛΥΣΗΣ

5.3.1 Διαστασιολόγηση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Για να είναι σωστά σχεδιασμένο ένα φ/β σύστημα θα πρέπει η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν όλες οι συσκευές του να είναι ίση ή μικρότερη από

την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει το φ/β στην ίδια χρονική περίοδο. Για τον σωστό σχεδιασμό του συστήματος πρέπει να είναι γνωστά τα παρακάτω μεγέθη για κάθε συσκευή :

- Το είδος της τάσης λειτουργίας της (συνεχής ή εναλλασσόμενη) και η συχνότητα για την κανονική λειτουργία της (για εναλλασσόμενη τάση).
- Η τιμή της κανονικής τάσης λειτουργίας της.
- Η ισχύς που καταναλώνει υπό την κανονική τάση λειτουργίας.

Για να υπολογισθεί η μηνιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε μια οικιακή ηλεκτρική εγκατάσταση πρέπει να ληφθεί υπόψη η ισχύς κάθε συσκευής και η ώρες λειτουργίας της κατά τη διάρκεια του μήνα. Η ενέργεια που καταναλώνει μια συσκευή (KWh) σε κάποια χρονική περίοδο είναι ίση με το γινόμενο της ισχύος της (KW) επί τις ώρες (h) λειτουργίας της την περίοδο αυτή. Για να επιλεγεί το κατάλληλο μέγεθος συστήματος ακολουθείται η εξής διαδικασία :

1. Η παραγόμενη ενέργεια ανά εγκατεστημένη επιφάνεια είναι :

$$\frac{E_p}{S} = n_p \cdot H_T \quad [1]$$

Όπου, H_T η μέση μηνιαία ακτινοβολία στην επιφάνεια των φ/β.

2. Με δεδομένες τις απώλειες του φ/β πλαισίου λ_p η ενέργεια που λαμβάνουμε είναι :

$$\frac{E_A}{S} = \frac{E_p}{S} \cdot (1 - \lambda_p) \quad [2]$$

Έτσι με δεδομένη την ενέργεια E_A που θέλουμε να καλύψουμε τις απώλειες λ_p του φ/β πλαισίου, την απόδοση του πλαισίου και την μέση μηνιαία ακτινοβολία που προσπίπτει στα πλαίσια μπορεί να υπολογιστεί η ονομαστική ισχύς του συστήματος που απαιτείται.

5.3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Υπολογίζεται η συνολική ενεργειακή κατανάλωση με βάση τη χρήση των οικιακών συσκευών. Έτσι λοιπόν γίνεται μία εκτίμηση της χρήσης της τηλεόρασης και του φωτισμού κατά τις απογευματινές και βραδινές ώρες όπως φαίνεται στον **Πίνακα 5.1**. Για τη λειτουργία του ψυγείου θεωρείται πως καταναλώνεται συνέχεια το 30% της συνολικής του ισχύος. Στην πραγματικότητα η λειτουργία του δεν είναι συνεχόμενη, λόγω της ύπαρξης του θερμοστάτη που περιλαμβάνει και διακόπτει την ψύξη προσωρινά μέχρι η θερμοκρασία του εσωτερικού του να φτάσει μια ανώτερη τιμή.

Πίνακας 5.1 : Συνολική ενεργειακή κατανάλωση

Ωρα	Ψυγείο (Watt)	Τηλεόραση (Watt)	Φωτισμός (Watt)	Συβολική ισχύς (Watt)	Συνολική ενέργεια (Watt)
7:00	75	0	0	75	L _{ημέρας} = 1150 Wh/ημέρα
8:00	75	0	0	75	
9:00	75	0	0	75	
10:00	75	0	0	75	
11:00	75	0	0	75	
12:00	75	0	0	75	
13:00	75	0	0	75	
14:00	75	0	0	75	
15:00	75	0	0	75	
16:00	75	0	0	75	
17:00	75	0	0	75	L _{νύχτας} = 4310 Wh/ημέρα
18:00	75	250	0	325	
19:00	75	250	180	505	
20:00	75	250	180	505	
21:00	75	2500	180	505	
22:00	75	2500	180	505	
23:00	75	250	180	505	
24:00	75	2500	180	505	
1:00	75	250	180	505	
2:00	75	0	0	155	
3:00	75	0	0	155	
4:00	75	0	0	155	
5:00	75	0	0	155	
6:00	75	0	0	155	
Σύνολο	1800	2000	1660	5460	

Πίνακας 5.2 : Αναλυτική κατανομή της ισχύος κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας και υπολογισμός της μέγιστης δυνατής για το σύστημα

Ωρα	Ψυγείο (Watt)	Τηλεόραση (Watt)	Φωτισμός (Watt)	Φορτίο (Watt)
7:00	250	0	0	250
8:00	250	0	0	250
9:00	250	0	0	250
10:00	250	0	0	250
11:00	250	0	0	250
12:00	250	0	0	250
13:00	250	0	0	250
14:00	250	0	0	250
15:00	250	0	0	250
16:00	250	0	0	250
17:00	250	250	0	500
18:00	250	250	0	680
19:00	250	250	180	680
20:00	250	250	180	680
21:00	250	250	180	680
22:00	250	250	180	680
23:00	250	250	180	680
24:00	250	250	180	680
1:00	250	250	180	680
2:00	250	0	80	330
3:00	250	0	80	330
4:00	250	0	80	330
5:00	250	0	80	330
6:00	250	0	80	330
Μέγιστη ισχύς που μπορεί να αποδοθεί στο σύστημα				680

5.3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Από βάσεις δεδομένων που περιέχουν την ολική ηλιακή ακτινοβολία για διάφορες κλίσεις και σε διάφορες πόλεις της Ελλάδος στη διάρκεια του χρόνου επιλέγονται οι δύο πιο κοντινές πόλεις για την εξεταζόμενη περιοχή. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας επιλέγεται η Κομοτηνή και η Λήμνος. Αυτό γίνεται διότι δεν υπάρχουν δεδομένα. Οπότε για τους πιο κρίσιμους μήνες διαμονής στην οικία, δηλαδή για τον Μάιο και τον Σεπτέμβριο, τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας φαίνονται παρακάτω **Πίνακα 5.3 :**

Πίνακας 5.3 : Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε ελληνικό νησί και εκλογή γωνίας κλίσης

Μονάδες		0°		30°		40°		60°	
		Μάιος	Σεπτέ- μβριος	Μάιος	Σεπτέ- μβριος	Μάιος	Σεπτέ- μβριος	Μάιος	Σεπτέ- μβριος
Κομοτηνή	Kwh/m ² , Μήνα	165	130	158	150	145	149	125	140
Λήμνος	Kwh/m ² , Μήνα	184	142	176	164	160	137	137	151
Ελληνικό νησί	Kwh/m ² , Μήνα	174.5	136	167	157	152.5	155.5	131	145.5
Ελληνικό νησί	Kwh/m ² , Μήνα	5.83	4.53	5.57	5.06	4.92	5.18	4.35	4.85

Οπότε από τον παραπάνω πίνακα επιλέγεται η κλίση των 30 μοιρών. Αυτό γίνεται γιατί απαιτείται αυτοδυναμία 0 μέρες, δηλαδή η αποθήκευση ενέργειας στις μπαταρίες τη μια μέρα να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της οικίας μόνο εκείνη τη μέρα και όχι τις επόμενες. Έτσι επιλέγεται η καλύτερη λύση από τους μη ευνοϊκούς μήνες που είναι ο Μάιος και τον Σεπτέμβριο. Η βέλτιστη είναι η τιμή 5.18 kWh/m², μέρα για κλίση 40°.

Αλλά σε αυτήν την περίπτωση στον μήνα Μάιο παρατηρείται ότι η ηλιακή ακτινοβολία σε αυτήν την κλίση είναι μικρότερη και ίση με 4.92 kWh/m², μέρα. Γι' αυτό επιλέγεται η αμέσως επόμενη βέλτιστη λύση που είναι αυτή των 30°.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα κερδίζουν συνεχώς έδαφος στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Όντας ευέλικτα, αποκεντρωμένα, με δυνατότητες ενσωμάτωσης σε κτίρια και με την τεχνολογία να αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς, τα ΦΒ συστήματα φαίνεται ότι θα παίξουν πρωταγωνιστικό ρόλο τόσο σε εγχώριο όσο και σε διεθνές επίπεδο. Ήδη στην Ελλάδα το 2010 η νέα εγκατεστημένη ισχύς από φωτοβολταϊκά τριπλασιάστηκε καθότι με το νέο νομικό πλαίσιο ενισχύθηκε η τιμή πώλησης της κιλοβατώρας και απλοποιήθηκαν σε κάποιο βαθμό οι αδειοδοτικές και λοιπές διαδικασίες. Άλλωστε προβλέπεται ότι οι τιμές των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μειώνονται σταδιακά ενώ αντίθετα προσπάθειες καταβάλλονται συνεχώς για την βελτίωση του βαθμού απόδοσής τους
- Διαθέτουν τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον και η ηλιακή ενέργεια είναι
- ανεξάντλητη διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη και έχει σχεδόν μηδενικές
- απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (20-30 χρόνια λειτουργίας)
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η
- στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου,
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως
- αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται
- με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την
- αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας.

1. *4green*. (2015). Ανάκτηση από 4green: <http://www.4green.gr>
2. *Eleftheroiellines.blogspot*. (2012). Ανάκτηση από Eleftheroiellines.blogspot: <https://eleftheroiellines.blogspot.gr/2012/01/3.html>
3. *iqsolarpower*. (2014). Ανάκτηση από iqsolarpower: <http://www.iqsolarpower.com/apostasi-panel/>
4. *plasis ENEPΓEIAKH*. (2016). Ανάκτηση από plasis ENEPΓEIAKH: <http://www.plasisgroup.com/>
5. *Selasenergy*. (2012). Ανάκτηση από HelioSystems: www.selasenergy.gr
6. *Solar Systems*. (2012). Ανάκτηση από Solar Systems: <http://www.fotovoltaika.gr/solar-panel-pv-5.html>
7. Αποστολοποπούλου Α. (2013). *Σύνθετες διατάξεις φωτοβολταϊκών και θερμικών συσκευών*. Πανεπιστήμιο Πατρών: Τμήμα Φυσικής.
8. Δρ. Δ. Τσαλέμης. (9-11/02/2009). Ενεργειακή Αδειοδότηση Μικρών Φωτοβολταϊκών. *Σεμινάριο για Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) ΤΕΕ - ΤΔΕ*. Πάτρα.
9. *HMEPΗΣΙΑ*. (2009). Ανάκτηση από HMEPΗΣΙΑ: <http://www.imerisia.gr/article.asp?catid=27198&subid=2&pubid=10325137>
10. Ιακωβάκης Ι. (2010). The solar guide: The solar guide: Φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, ενέργεια, ηλεκτρονικά, ηλεκτρικό ποδήλατο. *GreenEnergyParts*.
11. ΚΑΠΕ. (2009). *Οδηγίες για την Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού Συστήματος σε Κτιριακές*.
12. Καπλάνης Σ.Ν. (2004). *Ήπιες μορφές ενέργειας III - Μηχανική των φωτοβολταϊκών συστημάτων*. Αθήνα: Εκδόσεις Ίων.
13. *Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας*. (2016). Ανάκτηση από ΚΑΠΕ CRES: <http://www.cres.gr/kape>
14. Κουτσούμπας Χ. (2006). *Ήπιες μορφές ενέργειας. Διδακτική προσέγγιση με το παραδοσιακό και το εποικοδομητικό πρότυπο*. Εκδόσεις Ελληνικά Γράμματα: Αθήνα.
15. *Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών*. (2011). Ανάκτηση από Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών - Ένας Πρακτικός Τεχνικός Οδηγός: www.helapco.gr
16. Τσιλγικιρίδης Γ. (2008α). *Διδακτικές σημειώσεις: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.

17. Τσίλιγκιρίδης Γ. (2008β). *Διδακτικές σημειώσεις: Διαχείριση ενεργειακών πόρων*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης: Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.
18. Φραγκιαδάκης Ι. (2009). *Φωτοβολταϊκά συστήματα*. Θεσσαλονίκη: Τρίτη Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη.
19. Χαραλαμπίδης Γ. (2009). *Εκδομείν: Φωτοβολταϊκά Συστήματα. Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων & εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας*. Αθήνα: Εκδόσεις Ψύχαλου.

