

Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ



Ον/μο Σπουδαστή: ΒΑΣΙΛΗΣ ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ Α.Μ.:3970

Επιβλέπων καθηγητής: ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ ΝΙΚΟΣ

Χανιά, ΙΟΥΛΙΟΣ 2013

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	3
1. Ενεργειακό Πρόβλημα - Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	5
1.1. Αειφόρος - Βιώσιμη Ανάπτυξη και Πράσινη Ενέργεια	5
1.2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)	7
2. Ηλιακή Ακτινοβολία	8
2.1. Προέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας	8
2.2. Ηλιακή γεωμετρία και εποχές	10
2.2.1. <i>Ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο</i>	<i>12</i>
2.2.2. <i>Ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο</i>	<i>13</i>
2.4. Εφαρμογές της Ηλιακής Ακτινοβολίας	15
3. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα	19
3.1. Βιοκλιματικός σχεδιασμός	19
3.2. Σχεδιασμός για χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων	20
4. Ενεργητικά ηλιακά συστήματα	23
4.1. Ηλιακοί Συλλέκτες	24
4.2. Συλλογή Μέγιστης Ηλιακής Ακτινοβολίας	30
4.2.1. <i>Άμεση Ακτινοβολία</i>	<i>30</i>
4.2.2. <i>Ολική Ακτινοβολία</i>	<i>31</i>
5. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	32
5.1. Συγκεντρωτικά κάτοπτρα	32
5.2. Ηλιακοί Πύργοι ή Κεντρικός Δέκτης - Ηλιοστάτες	36
6. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	40
6.1. Γενικά	40

6.2.	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Φωτοβολταϊκής Μετατροπής.....	40
6.3.	Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Στοιχείων	42
6.4.	Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	43
6.4.1.	<i>Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά συστήματα</i>	<i>43</i>
6.4.2.	<i>Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο.....</i>	<i>45</i>
6.4.3.	<i>Φωτοβολταϊκά συστήματα με βοηθητική γεννήτρια.....</i>	<i>47</i>
6.4.4.	<i>Υβριδικά συστήματα</i>	<i>48</i>
6.5.	Μεγιστοποίηση απόδοσης φωτοβολταϊκών πλαισίων	48
6.5.1.	<i>Στήριξη με Σταθερή Γωνία Κλίσης του Συλλέκτη</i>	<i>49</i>
6.5.2.	<i>Στήριξη με Εποχιακή Ρύθμιση της Κλίσης του Συλλέκτη</i>	<i>51</i>
6.5.3.	<i>Συστήματα Συνεχούς Ημερήσιας Παρακολούθησης, Ηλιοτρόπια</i>	<i>52</i>
	Βιβλιογραφία	54

Εισαγωγή

Οι ρυθμοί ανάπτυξης της ανθρωπότητας τους τελευταίους αιώνες είναι ταχύτατοι, χάρη σε ένα πολύπλοκο σύστημα ραγδαίων μεταβολών σε τεχνικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς και πνευματικούς τομείς, οδηγώντας στην πλήρη εκβιομηχάνιση της κοινωνίας. Αποτέλεσμα της εκτεταμένης χρήσης πληθώρας νέων μέσων, αυξάνεται έντονα και η παραγωγή, και κατ' επέκταση το κόστος των προϊόντων, θέτοντας τελικά απαραίτητη την αξιοποίηση νέων μορφών ενέργειας. Πλέον λοιπόν έχουν τεθεί ως βασικά οικονομικά στοιχεία μίας χώρας οι πηγές και τα μέσα παραγωγής ενέργειας που έχει στη διάθεσή της, καθότι αυτά θα της εξασφαλίσουν κοινωνική ανάπτυξη, οικονομική ευημερία, αλλά και δυνατότητα πολιτικής ανεξαρτησίας, με την κατανάλωση ενέργειας να αποτελεί ταυτόχρονα δείκτη του βιοτικού επιπέδου της.

Σήμερα παγκοσμίως η παραγωγή ενέργειας εξαρτάται σε μεγάλο ποσοστό από τις «μη ανανεώσιμες» πηγές ενέργειας, όπως είναι το αργό πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, το κάρβουνο. Το μεγαλύτερο μέρος της χρήσιμης ενέργειας π.χ. μηχανική, θερμική, χημική, ηλεκτρική προέρχεται από τις παραπάνω συμβατικές πηγές (πετρέλαιο κτλ) και σε ποσοστό περίπου 80% υπολογίζεται η πρωτογενής παραγωγή που είναι εξαρτημένη από τις πηγές αυτές (Goldemberg, 2005). Το βασικό χαρακτηριστικό των πηγών αυτών είναι ότι υπάρχουν αυτούσιες στην φύση, σε ορισμένες ποσότητες και ανανεώνονται δύσκολα ή και καθόλου.

Σήμερα, ως επί το πλείστον, η ενέργεια παράγεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων άνθρακα και πετρελαίου. Όμως η υπερκατανάλωση αγαθών, λόγω της αύξησης του βιοτικού επιπέδου των αναπτυγμένων χωρών, προκαλεί αύξηση στη ζήτηση ενέργειας, με αποτέλεσμα να χάνονται καθημερινά τεράστια ποσά ενέργειας, εξαντλώντας τα ενεργειακά αποθέματα. Συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι λιγότερο από το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού χρησιμοποιούν το 90% της παγκόσμιας ενέργειας, ενώ οι Η.Π.Α., ενώ αποτελούν το 6% του παγκόσμιου πληθυσμού, χρησιμοποιούν το 1/3 της ενέργειας. Σε συνδυασμό με τον υπερπληθυσμό που παρατηρείται στις αναπτυσσόμενες χώρες (Tanaka, 2008) δημιουργείται κίνδυνος για εξάντληση των υπάρχουσών σημερινών πηγών σε ορατό χρονικό διάστημα, εντείνοντας το λεγόμενο «ενεργειακό πρόβλημα».

Οι πετρελαϊκές κρίσεις το 1973 με το εμπάργκο του αραβικού πετρελαίου, η ιρακινή επανάσταση το 1979 και ο πόλεμος του Περσικού Κόλπου το 1990 επέδειξαν την αποκλειστική διάρθρωση και εξάρτηση της βιομηχανίας και της οικονομίας των αναπτυγμένων και των αναπτυσσόμενων χωρών από τα ορυκτά καύσιμα, με κύριο λόγο το πετρέλαιο, καθότι μέχρι πρότινος γινόταν σχεδόν αποκλειστικά η χρήση των παραπάνω πηγών ενέργειας. Τα παραπάνω γεγονότα όμως κλόνισαν την οικονομική δομή των βιομηχανικών χωρών, επιφέροντας παράλληλα και παγκόσμιες πολιτικές εξελίξεις, μη δίνοντας βέβαια στις αναπτυσσόμενες κανένα περιθώριο αντίδρασης.

Ως εκ τούτου, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται τα τελευταία χρόνια στη βιώσιμη ανάπτυξη και την πράσινη ενέργεια, οι οποίες βασίζονται στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, βασική εκ των οποίων είναι και η ηλιακή, η οποία προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία.

Για το λόγο αυτό, στην εργασία που ακολουθεί, βασική επιδίωξη είναι η προσέγγιση των μεθόδων με τις οποίες η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας και η χρήση της ηλιακής ενέργειας μεγιστοποιείται.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο εξηγείται η ανάγκη για εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, στις οποίες ανήκει η ηλιακή ακτινοβολία, προκειμένου να αντιμετωπιστεί το ενεργειακό πρόβλημα και να εφαρμοστεί η βιώσιμη ανάπτυξη, μέσω της χρήσης της πράσινης ενέργειας. Στο δεύτερο κεφάλαιο εστιάζουμε στην ηλιακή ακτινοβολία, προσεγγίζοντας την προέλευση της, την ηλιακή γεωμετρία ανά εποχές και τα είδη της, ανάλογα με το επίπεδο, ενώ κατηγοριοποιούμε τις εφαρμογές της, τις οποίες θα αναπτύξουμε αναλυτικότερα στα επόμενα κεφάλαια. Έτσι στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα οποία είναι κύριο στοιχείο του βιοκλιματικού σχεδιασμού, δίνοντας έμφαση στον κατάλληλο σχεδιασμό που απαιτείται για τη χρήση των παθητικών ηλιακών συστημάτων. Στο κεφάλαιο τέσσερα προχωρούμε στην ανάδειξη της σημασίας των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων, αναλύοντας τις προδιαγραφές των ηλιακών συλλεκτών που είναι απαραίτητοι για τα εν λόγω συστήματα, ενώ δίνονται λύσεις για τη μεγιστοποίηση της συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας, ανάλογα με το είδος της, δηλαδή για την άμεση και την ολική ακτινοβολία. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναπτύσσεται το ζήτημα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη θερμότητα που παράγεται χάρη στην ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό είναι εφικτό με τη χρήση συγκεντρωτικών κατόπτρων, ηλιακών πύργων ή αλλιώς κεντρικών δεκτών και

ηλιοστατών. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο μελετούμε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, αναφέροντας τις εφαρμογές και τις κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων, ενώ υπογραμμίζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης τους και τίθενται στο επίκεντρο τα στοιχεία που επηρεάζουν τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

1. Ενεργειακό Πρόβλημα - Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.1. Αειφόρος - Βιώσιμη Ανάπτυξη και Πράσινη Ενέργεια

Η έννοια της αειφόρου ή βιώσιμης ανάπτυξης διατυπώθηκε στην έκθεση «Το Κοινό μας Μέλλον» (our Common Future), γνωστή και ως έκθεση Brundland που συντάχθηκε από την Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη των Ηνωμένων Εθνών. Ο ορισμός που δόθηκε αποτέλεσε το σημείο έναρξης της μελλοντικής πορείας και εξέλιξης της βιωσιμότητας. Ως βιώσιμη ανάπτυξη ορίζεται λοιπόν «Η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να υποθηκεύει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες». Έπειτα από την εν λόγω έκθεση, διεθνείς οργανισμοί και κυβερνήσεις κρατών ανταποκρίθηκαν, δεσμευόμενοι να επιδιώξουν το συνδυασμό της οικονομικής ανάπτυξης και της περιβαλλοντικής προστασίας και βελτίωσης (United Nations, 1987).

Βιωσιμότητα με άλλα λόγια είναι η μέριμνα ώστε η σημερινή μεγέθυνση να μην υπονομεύει τις δυνατότητες μεγέθυνσης των επόμενων γενεών και όπως φαίνεται και στην εικόνα 1 έχει τρεις συνιστώσες /άξονες : τον οικονομικό, τον κοινωνικό και τον περιβαλλοντικό. Επομένως μια βιώσιμη τοπική πολιτική θα πρέπει να αγγίζει και τις τρεις αυτές διαστάσεις της βιωσιμότητας με σκοπό να αυξήσει το επίπεδο ζωής των πολιτών.

Περιβαλλοντικό: μείωση της τοπικής ρύπανσης, εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, διατήρηση του οικοσυστήματος.

Οικονομικό: αύξηση του κατά κεφαλή εισοδήματος, βελτίωση του επιπέδου ζωής του τοπικού πληθυσμού, μείωση της ενεργειακής εξάρτησης και αύξηση των εναλλακτικών ενεργειακών πόρων.

Κοινωνικό: βιωσιμότητα στα κοινωνικά και πολιτιστικά συστήματα τα οποία περιλαμβάνουν την κοινωνική συνοχή, σταθερότητα και συμμετοχή, τον σεβασμό στην πολιτιστική ταυτότητα των ατόμων και ανάπτυξη των θεσμών. Θα πρέπει επίσης να προστεθεί η

μείωση της ανεργίας, η βελτίωση των συνθηκών εργασίας, η μείωση της φτώχειας (Del Rio and Burguillo, 2008).

Εικόνα 1: Τρεις Άξονες Βιωσιμότητας



Ακόμα, σημαντικό σημείο για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης αποτελεί η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, η οποία είναι εντονότερη κυρίως σε αναπτυσσόμενες χώρες, λόγω των έντονων ρυθμών ανάπτυξης που τις χαρακτηρίζει (Karakosta & Askounis, 2010).

Προκειμένου να είναι δυνατή η βιωσιμότητα, και συγκεκριμένα η οικονομική και περιβαλλοντική διάσταση της, σπουδαίο ρόλο διαδραματίζει η ενέργεια (Midilli et. al., 2005). Συγκεκριμένα, θα πρέπει να περιοριστούν όσες δραστηριότητες αλλοιώνουν το περιβάλλον, επιδρώντας αρνητικά στην υγεία, την οικολογία, τη βιοποικιλότητα κτλ., ώστε να είναι εφικτή η βιωσιμότητα, αλλά αντίθετα να ενισχυθεί η ανάπτυξη που στηρίζεται σε ενεργειακές πηγές που δεν επιδρούν αρνητικά στο περιβάλλον, όπως η εκπομπή μη επιβλαβών αερίων (Dincer, 2000), βρίσκοντας έτσι τη λύση για ένα βιώσιμο μέλλον στην ανάπτυξη της πράσινης ενέργειας.

Οι έννοιες βιώσιμη ενέργεια και πράσινη ενέργεια ταυτίζονται σχεδόν. Ως πράσινη ενέργεια ορίζεται εκείνη η οποία έχει ελάχιστο ή ακόμα και μηδενικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία, στα οικολογικά συστήματα και στο γενικότερο περιβάλλον, ενώ όσο πιο ήπια είναι η μορφή της ενέργειας τόσο περισσότερο βιώσιμη μπορεί να θεωρηθεί (Omer, 2006). Επομένως,

οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που προέρχονται από την εκμετάλλευση του ήλιου, των ανέμων, της βιομάζας, της γεωθερμίας και των υδατοπτώσεων αποτελούν μορφές πράσινης ενέργειας.

Το πλεονέκτημα αυτών των μορφών ενέργειας είναι ότι επιφέρουν την ελάχιστη επίδραση στο περιβάλλον σε σχέση με τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας, ενώ υπάρχει το περιθώριο επιλογής της καταλληλότερης από αυτές, σύμφωνα με τις υπάρχουσες συνθήκες ανά μέρος. Παράλληλα, είναι, θεωρητικά, ανεξάντλητες και με προσεκτική και σωστή χρήση είναι δυνατό να παρέχουν αξιόπιστη και βιώσιμη ενέργεια έπ' αόριστο. Επιπρόσθετα, ενισχύουν την αποκέντρωση των συστημάτων και δίνουν τοπικές λύσεις σε περιοχές που είναι εξαρτημένες από το εθνικό δίκτυο ενέργειας, παρέχοντας έτσι οικονομικά προνόμια σε απομονωμένους πληθυσμούς και δίνοντας τους τη δυνατότητα για ενεργειακή ανεξαρτησία.

1.2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Η βιώσιμη ανάπτυξη μιας χώρας στηρίζεται ουσιαστικά στην ανάπτυξη και χρήση των πράσινων μορφών ενέργειας, οπότε η εξέλιξη των αντίστοιχων τεχνολογιών, αλλά και η χρήση τους έχει λάβει παγκόσμιες διαστάσεις. Μία στρατηγική για την επίτευξη αυτού αποτελεί η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τόσο σε παραγωγή μεγάλης κλίμακας, όσο και για μικρότερα αυτοδύναμα συστήματα (Zhou et.al.,2010).

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ορίζονται οι μη ορυκτές πηγές ενέργειας, όπως η αιολική ενέργεια, η ενέργεια των κυμάτων, η παλιρροιακή ενέργεια, η βιομάζα, τα αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού, τα βιοαέρια, η γεωθερμική ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς (Οδηγία 2001/77/EK).

Τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ποικίλα. Αρχικά, αναφέρεται ότι επιδρούν λιγότερο κοινωνικά και περιβαλλοντικά σε σύγκριση με τον ηλεκτρισμό που προέρχεται από συμβατικές πηγές όπως τα μη ανανεώσιμα ορυκτά καύσιμα. Το όφελος για το περιβάλλον μπορεί να είναι τόσο τοπικό, συνεισφέροντας λιγότερο στην εκπομπή αιθαλομίχλης, όσο και παγκόσμιο, μειώνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η μικρότερη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα συνεπάγεται χαμηλές εκπομπές επιβλαβών αερίων, ενισχύοντας την προστασία της ατμόσφαιρας και κατ' επέκταση του πλανήτη. Το όφελος για την κοινωνία είναι

οτι η χρήση των ΑΠΕ είναι ασφαλής, σε αντίθεση με την ατομική ενέργεια, η οποία ενέχει κινδύνους (Skoglund et al., 2010), αλλά και οτι, με την ενίσχυση της χρήσης των εγχώριων τεχνολογιών και καυσίμων, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των ΑΠΕ, αποφεύγονται τα προβλήματα και η αναστάτωση σε περιπτώσεις όπου οι τιμές των ορυκτών καυσίμων μεταβάλλονται ή σε περιόδους κρίσης, οπότε οι συμβατικές πηγές δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες.

Στην Ευρώπη, οι φυσικές προϋποθέσεις για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ποικίλουν. Οι χώρες με αρκετές βροχοπτώσεις και σταθερή κατανομή νερού μέσα στο έτος (όπως η Αυστρία, η Σουηδία, η Πορτογαλία, η Ισπανία, η Φιλανδία, η Γαλλία και η Ιταλία), μπορούν να έχουν μεγάλη παραγωγή ενέργειας από τον υδροηλεκτρισμό. Χώρες με έντονους ανέμους (όπως η Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Ιρλανδία) έχουν κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας. Η Ελλάδα τοποθετείται πρώτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση στις θερμικές ηλιακές εφαρμογές, διαθέτοντας το ένα τρίτο των ολικών εγκαταστάσεων στην Ευρώπη (Reiche & Bechberger, 2004).

2. Ηλιακή Ακτινοβολία

2.1. Προέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας

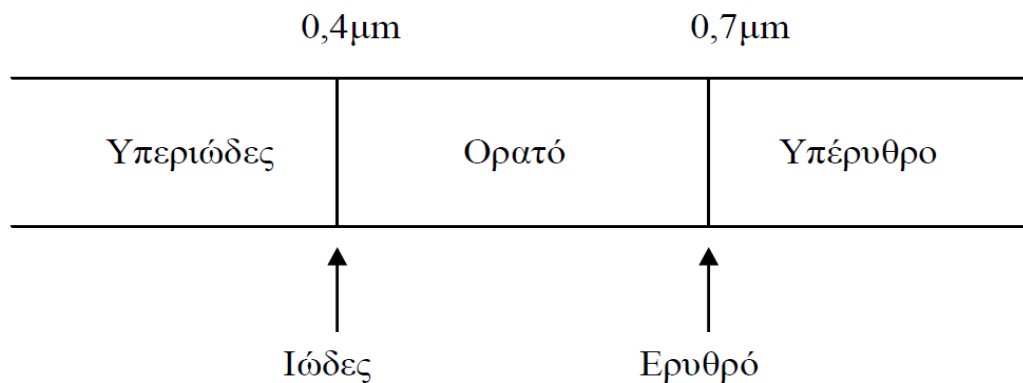
Η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το προϊόν των θερμοπυρηνικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό του Ήλιου, οι οποίες δημιουργούν μεγάλες ποσότητες υδρογόνου. Αυτές στη συνέχεια μετατρέπονται σε ήλιο, ελευθερώνοντας ταυτόχρονα μεγάλες ποσότητες ενέργειας, γεγονός το οποίο ελαττώνει τη μάζα του Ήλιου με ρυθμό $4 \cdot 10^6$ τόνους/sec .

Η συνολική ηλιακή ενέργεια που δέχεται η Γη είναι της τάξης των $3,8 \cdot 10^{24}$ Joule/έτος ή $1,513 \cdot 10^{18}$ kWh/έτος. Η εκμετάλλευση του ενός εκατομμυριοστού αυτής της ενέργειας με βαθμό απόδοσης 10% θα ήταν επαρκής για να καλύψει όλες τις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας. Το 30% της προσπίπτουσας από τον Ήλιο ακτινοβολίας, χωρίς να αλλάξει μήκος κύματος, ανακλάται από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας προς το διάστημα. Το 47% απορροφάται από την ατμόσφαιρα και από την επιφάνεια της γης, αυξάνοντας τη θερμοκρασία

και στην συνέχεια ακτινοβολείται στο διάστημα εκ νέου. Το υπόλοιπο 23% αποτελεί κινητήρια δύναμη των ανέμων, των ρευμάτων και των κυμάτων, συντελώντας στη διαμόρφωση του κλίματος και προκαλώντας τον υδρολογικό κύκλο και στην συνέχεια ακτινοβολείται στο διάστημα εκ νέου επίσης.

Αναλύοντας φασματοσκοπικά την ηλιακή ακτινοβολία, γίνεται εμφανή τα διάφορα χρώματα που περιέχει, τα οποία αποτελούν το ηλιακό φάσμα. Σε κάθε χρώμα αντιστοιχεί μια συχνότητα. Στο ένα άκρο του φάσματος εντοπίζεται το κόκκινο χρώμα με συχνότητα $4,3 \cdot 10^{14}$ ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο και στο άλλο άκρο το ιώδες χρώμα με συχνότητα $7,5 \cdot 10^{14}$ ταλαντώσεις/sec. Μεταξύ τους περιλαμβάνεται το ορατό ηλιακό φάσμα που αποτελείται από όλα τα γνωστά χρώματα, περιλαμβάνοντας μόνο το 44% της ηλιακής ακτινοβολίας. Πέρα από τα δύο αυτά άκρα, τα οποία συνιστούν το ορατό ηλιακό φάσμα, υπάρχουν και αόρατες ακτινοβολίες. Συγκεκριμένα, μετά το κόκκινο υπάρχει η αόρατη υπέρυθη ακτινοβολία με μήκος κύματος μεγαλύτερο των $0,7 \mu\text{m}$, αποτελώντας το 50% της ηλιακής ακτινοβολίας και μετά το άκρο του ιώδους χρώματος υπάρχει η αόρατη υπεριώδης ακτινοβολία με μήκος κύματος μικρότερο των $0,4 \mu\text{m}$, αποτελώντας το 6% της ηλιακής ακτινοβολίας.

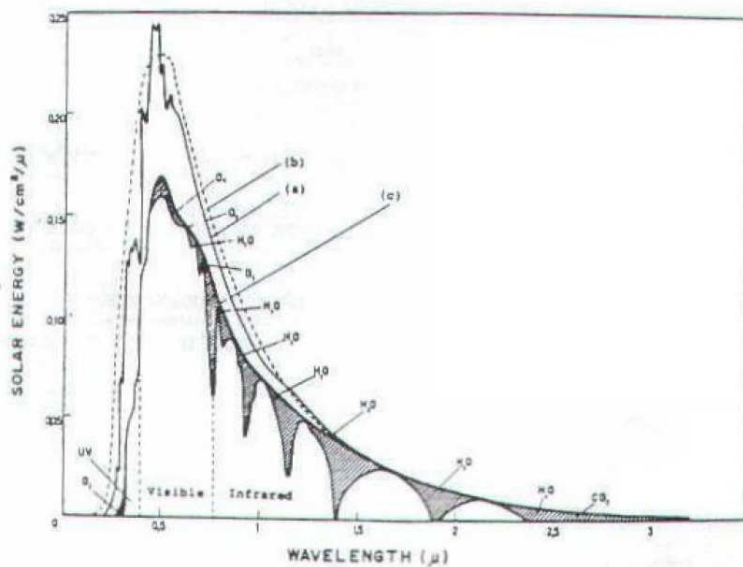
Εικόνα 2: Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας



Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το φάσμα εκπομπής μελανού σώματος που βρίσκεται σε θερμοκρασία 6.000°C περίπου, το οποίο είναι συνεχές και εκτείνεται από τα 200nm , δηλαδή από την υπεριώδη περιοχή, μέχρι τα 3.000nm , δηλαδή την υπέρυθη ακτινοβολία και έχει αιχμή γύρω στα 500 nm . Η απορρόφηση που πραγματοποιείται από την

ατμόσφαιρα είναι εκλεκτική για τα διάφορα μήκη κύματος και αναφέρεται στις περιοχές απορρόφησης των αερίων που περιέχει η ατμόσφαιρα (Νεοκλέους & Κωνσταντινίδη,1999)

Εικόνα 3: Φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας: α) εξωτερικά της ατμόσφαιρας, β) μέλαν σώμα στους 6.000K, γ) στο επίπεδο της θάλασσας



2.2. Ηλιακή γεωμετρία και εποχές

Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει τεράστιες διαφορές ανάλογα με το χρόνο, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες, την υγρασία και παρόμοιες συνθήκες, αλλά και ανάλογα με άλλους παράγοντες, όπως η ρύπανση του περιβάλλοντος και οι ηλιακές κηλίδες (ESCAP).

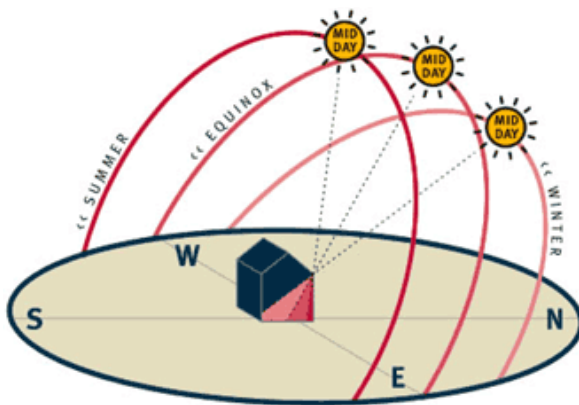
Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει αρκετά μεγάλη χρονική διακύμανση μεταξύ μιας μέγιστης τιμής κατά τη διάρκεια των ευνοϊκότερων συνθηκών της ημέρας και της μηδενικής τιμής που αποκτά τη νύκτα. Επιπλέον, υπάρχει μια σημαντική διακύμανση ανάλογα με την εποχή του χρόνου, οπότε στη Βόρεια Ευρώπη το χειμώνα είναι το 1/10 του καλοκαιριού, ενώ στον Ισημερινό διαφέρει κατά το μισό, όπως επίσης και με τη γεωγραφική θέση, οπότε στον Ισημερινό είναι τριπλάσια από ότι στις βορειότερες χώρες. Η τοποθεσία λοιπόν που δέχεται την

ακτινοβολία. Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο με τον πολικό της άξονα σε κλίση ως προς το επίπεδο περιστροφής (23.5°). Τον Ιούνιο, η γη βρίσκεται με το βόρειο πόλο προς τον ήλιο, οπότε οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν στο βόρειο ημισφαίριο πιο κάθετα και ο ήλιος εμφανίζεται υψηλότερα στον ουρανό. Το Δεκέμβριο, ο βόρειος πόλος έχει απομακρυνθεί από τον ήλιο λόγω της κλίσης, οπότε οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν πιο πλάγια, με αποτέλεσμα η ενεργειακή πυκνότητα, δηλαδή η ενέργεια που προσπίπτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της γης μια χρονική στιγμή να είναι χαμηλότερη (Εικόνα 4).

Άλλο χαρακτηριστικό αποτελεί το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη Γη αποτελεί μια αραιή μορφή ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η θερμική ισχύς που μεταδίδεται με 1m^2 της θερμαινόμενης επιφάνειας ενός ατμολέβητα είναι περίπου 35 φορές μεγαλύτερη από τη μέγιστη τιμή της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο ίδιο εμβαδόν.

Τα χαρακτηριστικά αυτά αποτελούν τα σημαντικότερα ζητήματα που εμφανίζονται στις πρακτικές εφαρμογές για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ή άλλες χρήσιμες μορφές ενέργειας (Καλδέλλης & Καββαδίας, 2001).

Εικόνα 4: Πορεία ήλιου



Κατά την διάρκεια λοιπόν ενός έτους, λόγω της περιφοράς της γης γύρω από τον ήλιο, το ηλιακό ύψος μεταβάλλεται, με αποτέλεσμα να αλλάζει η απόκλιση (δ°), οπότε η γωνία των ακτινών του ήλιου κατά την μεσουράνηση του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη μεταβάλλεται από $+23.45^\circ$ στις 21 Ιουνίου και -23.45° στις 21 Δεκεμβρίου. Τέλος όσο πιο χαμηλά βρίσκεται ο ήλιος στον ουρανό, κάτι το οποίο μεταβάλλεται ανά εποχή, τόσο

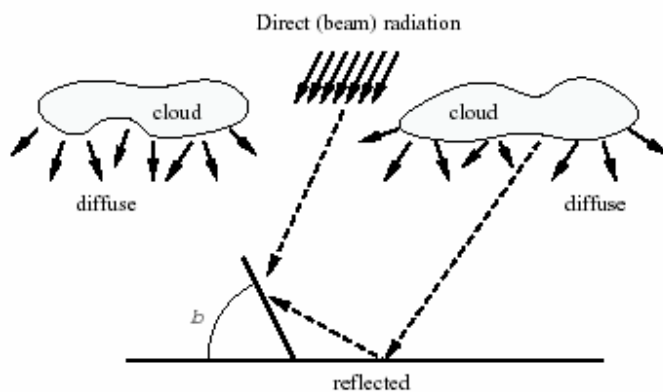
μεγαλύτερη απόσταση πρέπει να διανύσουν οι ακτίνες στην ατμόσφαιρα, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για διάχυσή τους πίσω στο διάστημα.

2.3. Κατηγορίες ηλιακής ακτινοβολίας

2.3.1. Ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

Η συνολική ακτινοβολία (global radiation) που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρία μέρη (Εικόνα 5), την άμεση I_b (direct ή beam radiation) που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο, τη διάχυτη I_d (diffuse radiation) που προέρχεται από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο και γεννάται κατά τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας και την ανακλώμενη I_r (reflected radiation) που προέρχεται από διάφορες όμορες επιφάνειες όταν η επιφάνεια αναφοράς είναι κοντά σε κτίρια, υψώματα ή δεν είναι οριζόντια οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος. Επομένως η συνολική ακτινοβολία είναι: $I = I_b + I_d + I_r$

Εικόνα 5: Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία



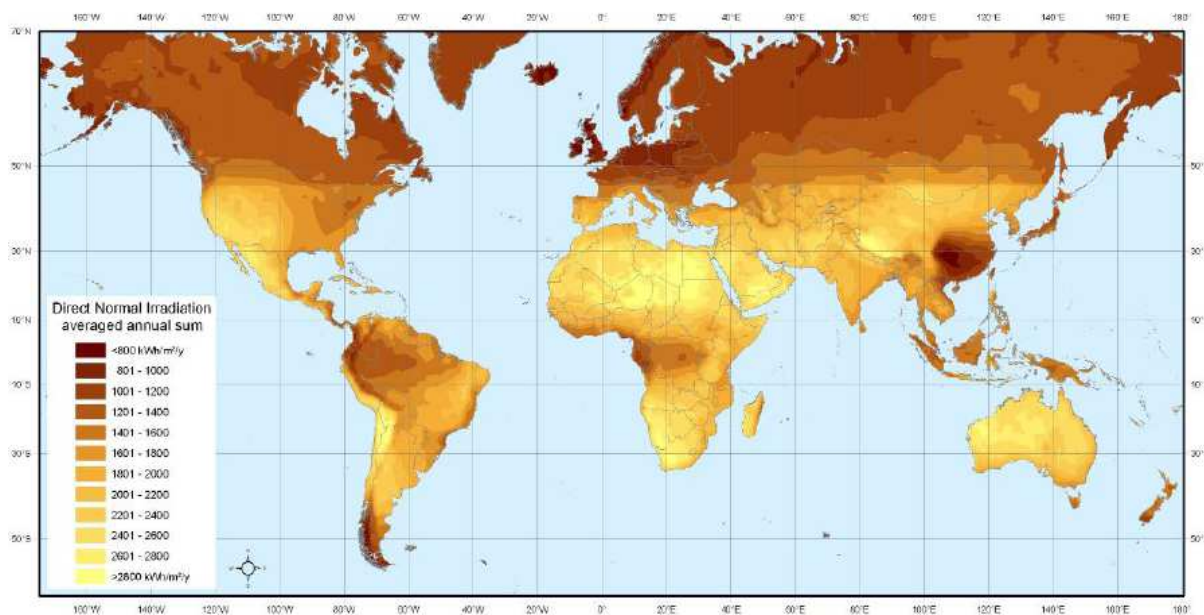
Πιο συγκεκριμένα, άμεση είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο και έχει ορισμένη κατεύθυνση για συγκεκριμένο επίπεδο αναφοράς και συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Όταν ο ουρανός είναι καθαρός, αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο επίπεδο αναφοράς.

Διάχυτη είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από όλο τον υπόλοιπο ουράνιο θόλο, εκτός του ήλιου, λόγω κάλυψης της ατμόσφαιρας από σύννεφα, υδρατμούς, σκόνη. Για το επίπεδο αναφοράς, δεν έχει ορισμένη κατεύθυνση όπως η άμεση ακτινοβολία, αλλά προέρχεται από όλα τα σημεία του ουρανού (Καλδέλλης και Καββαδίας,2001).

Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στο επίπεδο αναφοράς μετά από ανάκλαση σε φυσικές ή τεχνικές επιφάνειες, που υπάρχουν στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι η γνώση της απαιτεί κάθε φορά καλή γνώση της τοπογραφίας του χώρου και του δείκτη ανακλαστικότητας των επιφανειών, που ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Ο δείκτης ανακλαστικότητας του εδάφους είναι $\rho=0.2$ ενώ της επιφάνειας που είναι στρωμένη με χιόνι 0.7 (Liu & Jordan, 1962).

Εικόνα 6: Επίπεδα άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας και η κατανομή τους στον πλανήτη



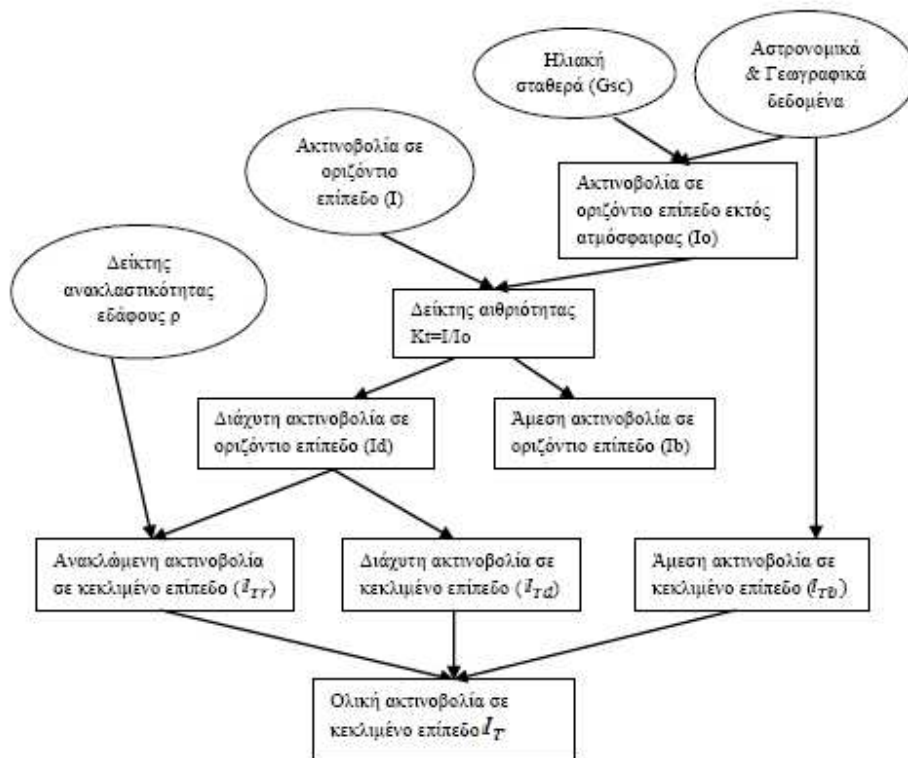
2.3.2. Ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο

Τα παραπάνω δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας αφορούν στην ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο. Ωστόσο, τα φωτοβολταϊκά και ηλιακά πάνελ είναι συνήθως σε κεκλιμένο επίπεδο, οπότε λαμβάνουν διαφορετική ακτινοβολία. Η προσέγγιση για τον υπολογισμό της

ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο λαμβάνει υπόψη ότι υπάρχει για κάθε μία από τις συνιστώσες και ένας διορθωτικός συντελεστής (Duffie & Beckman, 1991). Συγκεκριμένα, ο διορθωτικός συντελεστής για την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (R_b) είναι ο λόγος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο (I_b), προς αυτήν στο οριζόντιο επίπεδο (I_d). Ο υπολογισμός της συνιστώσας για την διάχυτη ακτινοβολία βασίζεται στην υπόθεση ότι η διάχυτη είναι ισοτροπική, δηλαδή είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη απ' τον ουράνιο θόλο. Ο διορθωτικός συντελεστής για την διάχυτη ακτινοβολία (R_d) είναι ο λόγος της διάχυτης ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο (I_b) προς αυτήν στο οριζόντιο I_d . Ο διορθωτικός συντελεστής για την ανακλώμενη ακτινοβολία (R_r), είναι ο λόγος της ανακλώμενης ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο (I_r), προς αυτήν στο οριζόντιο I_r . Η ανακλώμενη όμως στο οριζόντιο επίπεδο είναι το γινόμενο του συντελεστή ανάκλασης ρ του εδάφους της περιοχής μελέτης επί την ολική ηλιακή ακτινοβολία I_T στο οριζόντιο. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση έτσι και εδώ, υποθέτουμε ότι η ανακλώμενη είναι ισοτροπική.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο είναι $I_T = I_b R_b + I_d R_d + I_r \rho R_r$

Εικόνα 7: Διάγραμμα υπολογισμού ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο



2.4. Εφαρμογές της Ηλιακής Ακτινοβολίας

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: τα παθητικά, τα ενεργητικά και τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα.

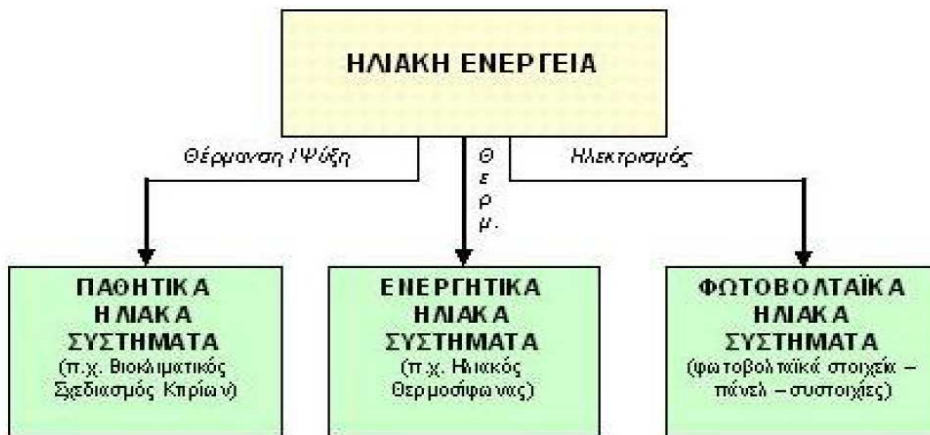
Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι τα δομικά στοιχεία του κτιρίου (παράθυρα, πέτρινοι τοίχοι, ηλιακοί χώροι) που εξυπηρετούν στη βέλτιστη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, αφορούν δηλαδή στο βιοκλιματικό σχεδιασμό των κτιρίων. Προϋπόθεση για

την εφαρμογή τους είναι η θερμομόνωση του κτιρίου, ώστε να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες.

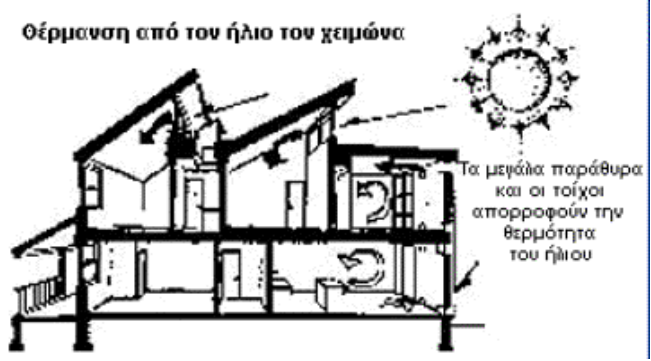
Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι τα μηχανολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, αλλά και για την μετατροπή της σε θερμότητα, τη μεταφορά και την αποθήκευση της, με πιο διαδεδομένο το θερμοσίφωνα.

Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα στηρίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, την άμεση δηλαδή μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα (Ζερβός, 2005)

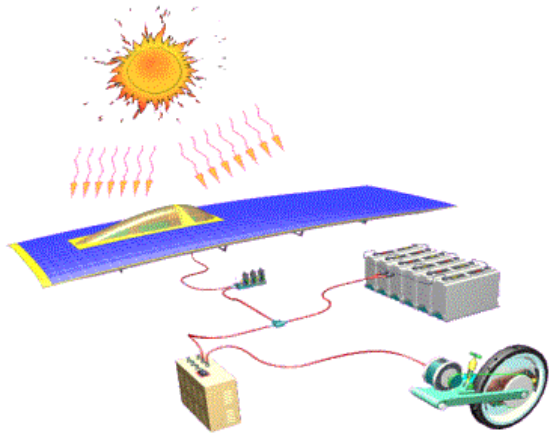
Εικόνα 8: Μορφές ηλιακής ενέργειας.



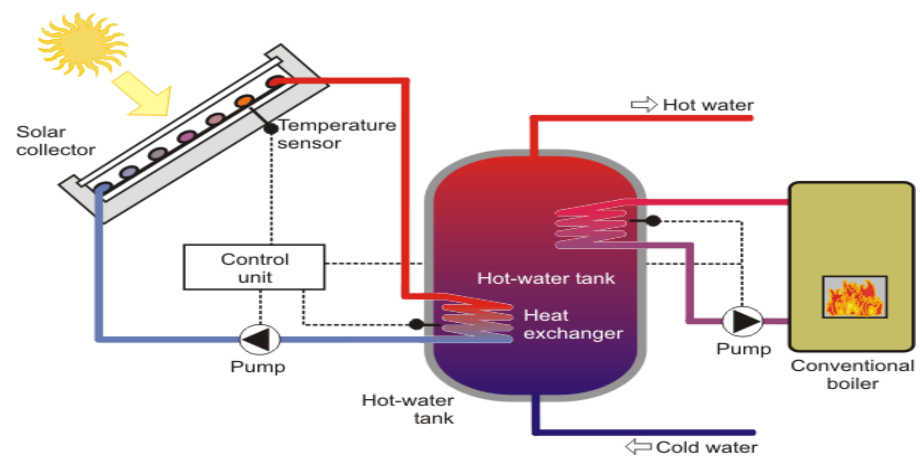
Εικόνα 9: Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας (Παθητικά ηλιακά συστήματα)



Εικόνα 10: Εφαρμογές Ηλιακής Ενέργειας (Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας)



Εικόνα 11: Ηλιακά Θερμικά συστήματα, κλειστό κυκλώματος με εξαναγκασμένη κυκλοφορία



Αναφέρονται τρεις μέθοδοι μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε άλλες χρήσιμες μορφές ενέργειας, οι φωτοχημικές, οι φωτοθερμικές και οι φωτοηλεκτρικές.

Οι φωτοχημικές μέθοδοι βασίζονται στη χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας για την πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων, των όποιων τα προϊόντα αποτελούν πρώτες ύλες για την εύκολη παραγωγή χρήσιμης ενέργειας. Ιδιαίτερα σημαντική θεωρείται η φωτοηλεκτρόλυση του νερού για τη παραγωγή H_2 , το οποίο χρησιμοποιείται ως καύσιμο, με αποδόσεις να φτάνουν σε επίπεδο 2%, αλλά και η προγραμματισμένη ανάπτυξη κατάλληλων φυτών για τη παραγωγή καύσιμης ξυλείας (βιομάζα), όπου οι αποδόσεις είναι περίπου 0,5-2%.

Οι φωτοθερμικές μέθοδοι αφορούν στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα, με απόδοση μεταξύ 40-60 %. Σε αυτή την περίπτωση, η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται σε έναν κεντρικά τοποθετημένο δέκτη, τον εναλλάκτη θερμότητας, με τη βοήθεια ανακλαστικών επιφανειών. Μέσα σε αυτό υπάρχει κάποιο ρευστό, το οποίο, όταν θερμαίνεται, μετατρέπεται σε ατμό και οδηγείται στη μηχανή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (όπως συμβαίνει στην περίπτωση της στροβιλογεννήτριας). Η πιο διαδεδομένη εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες για τη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης.

Οι δύο αυτές μέθοδοι, οι φωτοχημικές και οι φωτοθερμικές, παρουσιάζουν όμως δύο σημαντικά μειονεκτήματα, αφενός εκμεταλλεύονται μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και επομένως όλο το τμήμα της διάχυτης χάνεται, αφετέρου η συγκέντρωση της ακτινοβολίας επιφέρει πρόσθετα προβλήματα, όπως η ανάγκη για πολύ καλή συντήρηση προκειμένου οι απώλειες να ελαχιστοποιούνται.

Η τρίτη περίπτωση, οι φωτοηλεκτρικές διαδικασίες, πλεονεκτούς ως προς την άμεση μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς τη μεσολάβηση ενδιάμεσων σταδίων, θερμοδυναμικών κύκλων ή κινούμενων μερών. Οι κυριότεροι τρόποι για να επιτευχθεί αυτό είναι οι εξής:

Η Θερμοηλεκτρική μέθοδος βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο κατά το οποίο, όταν μια μεταλλική πλάκα, η οποία είναι συγκολλημένη σε δύο ηλεκτρόδια από διαφορετικά θερμοηλεκτρικά υλικά, θερμανθεί από την ηλιακή ακτινοβολία, αναπτύσσεται τάση στα ψυχρά άκρα των ηλεκτροδίων. Η τάση αυτή δεν ξεπερνά τα λίγα δέκατα του Volt και εξαρτάται από το υλικό των ηλεκτροδίων και από τη διαφορά θερμοκρασίας τους ως προς τη μεταλλική πλάκα.

Η Θερμιονική μέθοδος στηρίζεται στο θερμιονικό φαινόμενο, το οποίο αφορά στη θέρμανση μιας μεταλλικής πλάκας υπό κενό, προκειμένου να εκπέμπονται ηλεκτρόνια από την επιφάνειά της. Για την υπερνίκηση του έργου εξόδου των ηλεκτρονίων, απαιτείται η θέρμανση του μετάλλου σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία. Σε πλάκες από καθαρά μέταλλα, η θερμοκρασία απαιτείται να φτάσει τους 2.000-2.700°C, οπότε είναι απαραίτητη η ισχυρή ενίσχυση της ηλιακής ακτινοβολίας με συγκεντρωτικούς φακούς. Η θεωρητική απόδοση των θερμιονικών γεννητριών κυμαίνεται κοντά στο 30%, αν και πρακτικά έχουν πραγματοποιηθεί αποδόσεις 6-8%.

Οι δύο αυτές μέθοδοι, η θερμοηλεκτρική και θερμιονική, δεν βρήκαν αξιόλογες πρακτικές εφαρμογές εξαιτίας προβλημάτων όπως ο μικρός βαθμός απόδοσης κατά τη μετατροπή, το αυξημένο κόστος των διατάξεων και διάφορες άλλες τεχνικές δυσκολίες.

Τέλος, αναφέρεται η φωτοβολταϊκή μέθοδος, η οποία πρόκειται για μια καθαρά φωτονική μέθοδο, εφόσον η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται απευθείας από τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας (Τσιλιγκιρίδης,2000)

3. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

3.1. Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων ή βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά στο σχεδιασμό κτιρίων και εσωτερικών και εξωτερικών – υπαίθριων χώρων σύμφωνα με το τοπικό κλίμα, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι υπάρχουν συνθήκες θερμικής και οπτικής άνεσης, μέσα από μία πλήρη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και λοιπών περιβαλλοντικών πηγών και φυσικών κλιματικών φαινομένων. Συμπεριλαμβάνεται λοιπόν στους σπουδαιότερους παράγοντες της οικολογικής δόμησης, της ενσωμάτωσης, δηλαδή, των παραμέτρων του περιβάλλοντος στο πλαίσιο των κτιριακών μονάδων. Οι βασικές κατευθύνσεις τις οποίες μελετά είναι το δομημένο περιβάλλον και τα προβλήματα που προκαλεί (όπως είναι η αύξηση θερμοκρασίας, η συγκέντρωση αέριων ρύπων και η δυσκολία στην κυκλοφορία αέρα), ο σχεδιασμός των κτιρίων και η επιλογή των δομικών υλικών, δεδομένων των θερμικών και οπτικών τους ιδιοτήτων, όσο και της τοξικολογικής τους δράσης.

Κύρια στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων είναι τα παθητικά συστήματα, ως δομικά στοιχεία ενός κτιρίου, τα οποία θερμαίνουν, αλλά και δροσίζουν τα κτίρια με φυσικό τρόπο, καθότι λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα ή πρόσθετη παροχή ενέργειας. Αυτά ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες, τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης, τα παθητικά συστήματα και τεχνικές φυσικού δροσισμού και τα συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού.

Η συνύπαρξη και η συνδυασμένη λειτουργία όλων αυτών των συστημάτων είναι αποτέλεσμα του βιοκλιματικού σχεδιασμού ενός κτιρίου, συνδυάζοντας τα θερμικά και οπτικά οφέλη σε όλη τη διάρκεια του έτους (Gaitani et al., 2007).

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και των περιβαλλοντικών πηγών μέσω των παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι εφικτή μέσα από τη σχέση κτιρίου του με το περιβάλλον και τη συνολική θερμική λειτουργία του, δηλαδή μία δυναμική κατάσταση, η οποία εξαρτάται από τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους (όπως η ηλιοφάνεια, η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, η σχετική υγρασία, ο άνεμος, η βλάστηση, ο σκιασμός από άλλα κτίρια), αλλά και τις συνθήκες χρήσης του κτιρίου (κατά πόσο αποτελεί κατοικία, γραφείο, νοσοκομείο κλπ.). Αυτή στηρίζεται στην ανάλογη ενεργειακή συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων και των ενσωματωμένων παθητικών ηλιακών συστημάτων, αλλά και στο ενεργειακό προφίλ που προκύπτει από την λειτουργία του κτιρίου.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι ευαίσθητος σε εξωγενείς και μη - τεχνικούς παράγοντες, καθότι η απόδοση του εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, οπότε απαιτούνται ορισμένα κριτήρια για την εφαρμογή του, με κυριότερα την απλότητα χρήσης των εφαρμογών και την αποφυγή πολύπλοκων παθητικών συστημάτων και τεχνικών, τη μικρή συμβολή του χρήστη του κτιρίου στη λειτουργία των συστημάτων και τη χρήση τεχνικό - οικονομικά αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών.

3.2. Σχεδιασμός για χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων

Ως παθητικά ηλιακά συστήματα ορίζονται τα συστήματα που αποβλέπουν στην αξιοποίηση φυσικών πηγών (όπως ο ήλιος και ο άνεμος) για τη θέρμανση, την ψύξη του κτιρίου, την παροχή φυσικού φωτισμού μέσω της ηλιακής ενέργειας, χωρίς την παρέμβαση μηχανικών

μέσων. Αναφέρονται ενδεικτικά το θερμοκήπιο, ο αεριζόμενος τοίχος trombe, το ηλιακό αίθριο, το θερμοσιφωνικό πάνελ και το άμεσο ηλιακό κέρδος από τα ανοίγματα με νότιο προσανατολισμό, η εφαρμογή των οποίων είναι απλή, οικονομική με συμβατικά υλικά και αρκετά οικονομικά και ενεργειακά κέρδη, αλλά και πιο σύνθετα παθητικά συστήματα, όπως οι αεροσυλλέκτες (με απαιτήσεις για ειδική μελέτη, διαστάσεις και δίκτυο σωληνώσεων), οι οποίοι ενσωματώνονται σε δάπεδα ή οροφές ώστε να μεταφέρεται η θερμότητα που έχει συλλεχθεί σε απομακρυσμένους χώρους του σπιτιού. Ορισμένες δοκιμασμένες και αποτελεσματικές εναλλακτικές λύσεις αποτελούν συνδυασμοί συστημάτων (όπως τα φωτοβολταϊκά, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και τα θερμοσιφωνικά πάνελ για παροχή ζεστού νερού), τα οποία απαιτούν συγκεκριμένες γνώσεις, προσεκτική κατασκευή και ορθή εκτίμηση των απαιτούμενων φορτίων προκειμένου να εφαρμοστούν.

Η λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων στηρίζεται στην ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον και περιλαμβάνει την αποθήκευση και διανομή της μέσα στους χώρους του σπιτιού. Ο τρόπος με τον οποίο επιλέγονται τα παθητικά συστήματα, δηλαδή οι διαστάσεις τους, αποσκοπούν στη βελτίωση της θερμικής άνεσης, εξοικονομώντας ταυτόχρονα ενέργεια στο μέγιστο δυνατό χρονικό διάστημα, γι' αυτό το λόγο και προτιμάται η προσάρτηση τους σε όψεις του κτιρίου με νότιο προσανατολισμό, με δυνατότητα απόκλισης μέχρι 30° δυτικά ή ανατολικά του νότου. Επίσης, είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων για την περιστολή των θερμικών απωλειών στα κτίρια, όπως ο νότιος προσανατολισμός και η ισχυρή μόνωση του κελύφους, προτού χρησιμοποιηθούν.

Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα είναι το σύστημα άμεσου (ηλιακού) κέρδους, το οποίο αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση με άμεσο τρόπο, μέσω ανοιγμάτων κατάλληλου (νότιου) προσανατολισμού των χώρων. Παράλληλα, το σύστημα περιλαμβάνει την απαιτούμενη θερμική μάζα μέσω χρήσης υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας, την κατάλληλη θερμική προστασία μέσω θερμομόνωσης κελύφους και διπλούς υαλοπίνακες και την απαραίτητη ηλιοπροστασία κατά τους θερινούς μήνες.

Εντοπίζονται και τα συστήματα έμμεσου κέρδους, τα οποία ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες, Ηλιακοί τοίχοι, Ηλιακά αίθρια και Θερμοκήπια.

Συγκεκριμένα, οι ηλιακοί τοίχοι αποτελούνται από τοιχοποιίες σε συνδυασμό με υαλοστάσιο, τοποθετημένο εξωτερικά, σε απόσταση 5-15cm. Η τοιχοποιία είναι είτε αμόνωτος

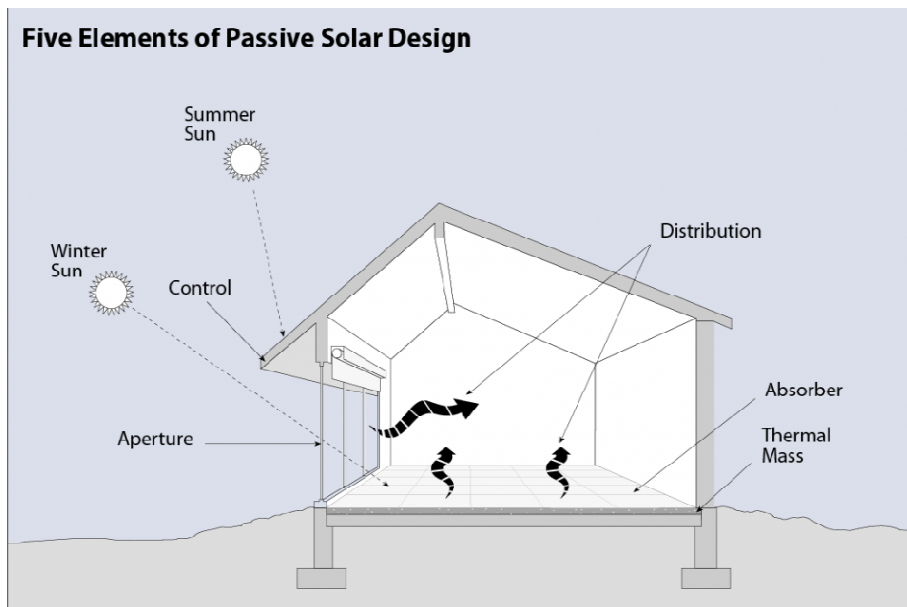
τοίχος μεγάλης θερμικής μάζας, δηλαδή τοίχος θερμικής αποθήκευσης, είτε θερμομονωμένος, όπως το θερμοσιφωνικό πάνελ, ενώ το υαλοστάσιο είναι είτε σταθερό ή ανοιγόμενο με μονούς ή διπλούς υαλοπίνακες. Ο ηλιακός τοίχος λειτουργεί ως ηλιακός συλλέκτης, δημιουργώντας θερμότητα η οποία μεταφέρεται μέσω της μάζας του τοίχου ή μέσω θυρίδων στον προσκείμενο χώρο. Μια ειδική κατηγορία τοίχων θερμικής αποθήκευσης είναι ο τοίχος Trombe-Michel, δηλαδή ο τοίχος μάζας με θυρίδες, ο οποίος συνδυάζει και τις δύο λειτουργίες θερμικής απόδοσης.

Θερμοκήπια, ή αλλιώς ηλιακοί χώροι, είναι κλειστοί χώροι που προσαρτώνται ή ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Από αυτά εισέρχεται ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μετατρέπεται σε θερμική, από την οποία ένα τμήμα αποδίδεται άμεσα στο χώρο αυξάνοντας τη θερμοκρασία αέρα, ενώ άλλο τμήμα αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του χώρου ως θερμική μάζα και αποδίδεται με χρονική υστέρηση. Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας από τον ηλιακό χώρο προς το εσωτερικό του κτιρίου είναι εφικτή με τη χρήση θυρίδων ή ανοιγμάτων του διαχωριστικού δομικού στοιχείου.

Τέλος, τα Ηλιακά αίθρια είναι οι αιθριακοί χώροι του κτιρίου οι οποίοι επικαλύπτονται με υαλοστάσια και η θερμική τους λειτουργία είναι παρόμοια με αυτή των θερμοκηπίων.

Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να συνοδεύονται από την απαραίτητη θερμική προστασία, μία ικανή θερμική μάζα, προκειμένου να αποθηκεύεται μέρος της θερμικής ενέργειας και να αποδίδεται σταδιακά στους χώρους, αλλά και από επαρκή συστήματα ηλιοπροστασίας, δηλαδή σκιασμού και φυσικού αερισμού για το καλοκαίρι, ώστε να αποφεύγονται οι ανεπιθύμητες συνθήκες (Santamouris et al., 2007).

Εικόνα 12: Τα 5 στοιχεία παθητικού ηλιακού σχεδιασμού



4. Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανικές κατασκευές οι οποίες έχουν δυνατότητα συλλογής της ηλιακής ενέργειας, μετατροπής της σε αξιοποιήσιμη μορφή, όπως η θερμική, ψυκτική ή ηλεκτρική, αποθήκευσης τμήματος αυτής και διανομής του προς χρήση. Τα πιο γνωστά ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι οι Ηλιακοί Συλλέκτες, οι οποίοι παράγουν θερμό νερό χρήσης, τα Φωτοβολταϊκά πλαίσια, ένα είδος ηλιακού συλλέκτη, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μικρής ισχύος, οι Ηλιακοί Συλλέκτες Κενού, οι οποίοι, σε συνδυασμό με τους ψύκτες Προσρόφησης (Absorption Chillers) καλύπτουν τις ψυκτικές ανάγκες, καθώς και τα Ηλιακά Υψηλής Ενθαλπίας, τα οποία παράγουν άμεσα ηλεκτρική ενέργεια με χρήση ατμοστρόβιλων ή Οργανικών Κύκλων.

Η χρήση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων κατά κύριο λόγο αποβλέπει στη θέρμανση χώρων ή νερού, με συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας σε χαμηλή θερμοκρασία, μικρότερη από 1.000°C. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης. Επομένως, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και άλλες εφαρμογές αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη προοπτική, δεδομένης της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας, την εποχή μάλιστα που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία. Παράλληλα, αρκετά δημοφιλής είναι η χρήση των

συστημάτων αυτών για ένα συνδυασμό παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων, χρήση η οποία θεωρείται αποδοτική, τεχνικά, αλλά και οικονομικά, όταν συνδυάζεται με κατάλληλη μελέτη και κατασκευή του κτιρίου, περιλαμβάνοντας προδιαγραφές όπως η καλή μόνωση και η εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, με την παράλληλη συνεργασία του χρήστη. Είναι δυνατό με αυτό τον τρόπο να εξοικονομηθεί η συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια όπου έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης.

Πρωτεύοντα ρόλο διαδραματίζει όμως ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης, ώστε να αποφευχθούν λανθασμένες επιλογές και να είναι εφικτή η βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Με τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούμε να παράγουμε και ηλεκτρική ενέργεια, μέσα από μία διαδικασία όπου οι παραβολικοί ανακλαστικοί δίσκοι συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία στο εστιακό σημείο 600 ως 2000 φορές περισσότερο από τη συνήθη, αυξάνοντας τη θερμοκρασία στους 800 ως 1.500 °C. Η θερμότητα που συλλέγεται, στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού, ο οποίος κινεί μια ηλεκτρογεννήτρια. Το βασικό δομικό στοιχείο των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων όμως είναι είναι οι συλλέκτες, τους οποίους θα αναλύσουμε στη συνέχεια (Αλεξιάκης, 2003).

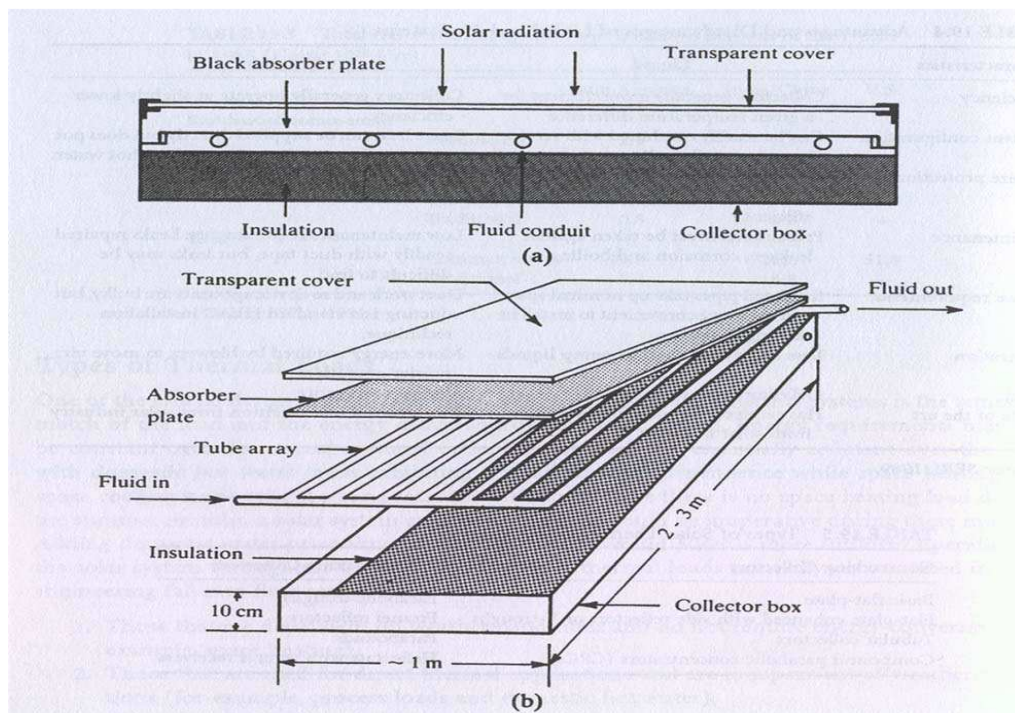
4.1. Ηλιακοί Συλλέκτες

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται από την ατμόσφαιρα, ένα μέρος ανακλάται στο διάστημα ή απορροφάται, ένα μέρος διαχέεται και χαρακτηρίζεται σαν διάχυτη ακτινοβολία, ενώ το υπόλοιπο χαρακτηρίζεται σαν άμεση ακτινοβολία, όπως αναφέραμε παραπάνω, με το άθροισμα τους να αποτελεί την ολική ακτινοβολία. Η ολική ακτινοβολία είναι εκμεταλλεύσιμη από τους επίπεδους συλλέκτες ενώ μόνο η άμεση από τους συγκεντρωτικούς. Στους πρώτους, η επιφάνεια συλλογής αποτελεί και την επιφάνεια μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια και επιδιώκεται η βελτίωση του βαθμού απόδοσης η_R είτε με μείωση των απωλειών μέσω της προσθήκης ενός ή περισσότερων διαφανών καλυμμάτων ή με αύξηση του λόγου της απορροφητικότητας προς την ικανότητα εκπομπής (α/ϵ). Στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες, η αύξηση του βαθμού απόδοσης γίνεται μέσω της συγκέντρωσης της ηλιακής

ακτινοβολίας από την επιφάνεια συλλογής στον δέκτη με πολλαπλάσια ένταση IC και με αύξηση του λόγου α/ε. Παρακάτω αναλύονται οι βασικότεροι τύποι συλλεκτών και αναφέρονται τεχνικά στοιχεία και χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας).

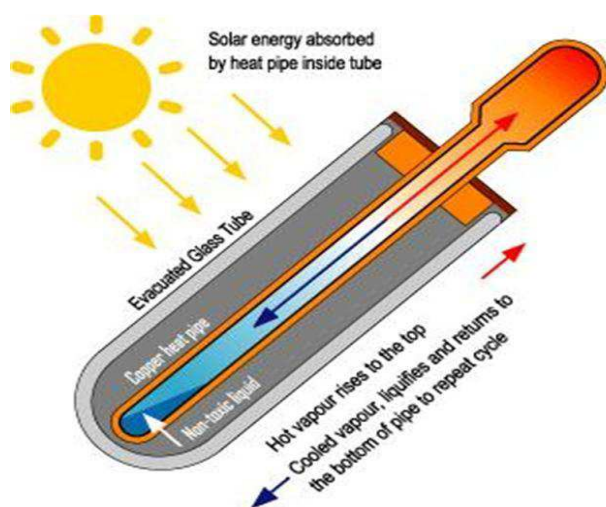
Επίπεδοι συλλέκτες: χωρίζονται ανάλογα με το εργαζόμενο μέσο σε συλλέκτες αέρα και υγρού. Οι περισσότεροι διαθέσιμοι συλλέκτες σήμερα είναι υγρού (εικόνα 13), ενώ οι συλλέκτες αέρα βρίσκονται ακόμη στο στάδιο ανάπτυξης. Υπάρχουν επίσης και παραλλαγές των συλλεκτών, ανάλογα με τον αριθμό των διαφανών καλυμμάτων (0,1,2) και το είδος της απορροφητικής επιφάνειας (απλή, με ειδική βαφή, επικάλυψη με επιλεκτική ουσία).

Εικόνα 13: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης



Σωλήνες Κενού: Αποτελούνται από κυλινδρικό μαύρο γυαλί, τοποθετημένο στο εσωτερικό άλλου προστατευτικού γυαλιού (εικόνα 14). Μεταξύ τους δημιουργείται κενό για την εξάλειψη των απωλειών αγωγιμότητας και συναγωγής, ενώ με κατάλληλο εξωτερικό κάλυμμα περιορίζονται οι απώλειες ακτινοβολίας. Οι συλλέκτες αυτοί αξιοποιούν την ολική ακτινοβολία.

Εικόνα 14: σωλήνας κενού



Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες: Κατηγοριοποιούνται σε γραμμικής και σημειακής εστίας και αξιοποιούν μόνο την άμεση ακτινοβολία, οπότε είναι κατάλληλοι αποκλειστικά για τα νότια, θερμότερα κλίματα. Σε αυτούς, η ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται στον δέκτη με το κατάλληλο σχήμα και διαστάσεις και τοποθετείται στην εστία. Η ισχύς της συγκεντρωτικότητας του συλλέκτη είναι αντιστρόφως ανάλογη με την επιφάνεια στην οποία συγκεντρώνεται η δοσμένη ισχύς. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, επιλέγονται οι διαστάσεις του δέκτη προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες της ακτινοβολίας και συναγωγής για ορισμένη θερμοκρασία, μεγιστοποιώντας επομένως το βαθμό απόδοσης. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες επομένως πλεονεκτούν ως προς το γεγονός ότι λειτουργούν με καλό βαθμό απόδοσης παρέχοντας ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (>300 °C). Οι συλλέκτες γραμμικής εστίας εργάζονται ικανοποιητικά μέχρι περίπου 300 °C, ενώ για μεγαλύτερες θερμοκρασίες απαιτείται σημειακή συγκέντρωση.

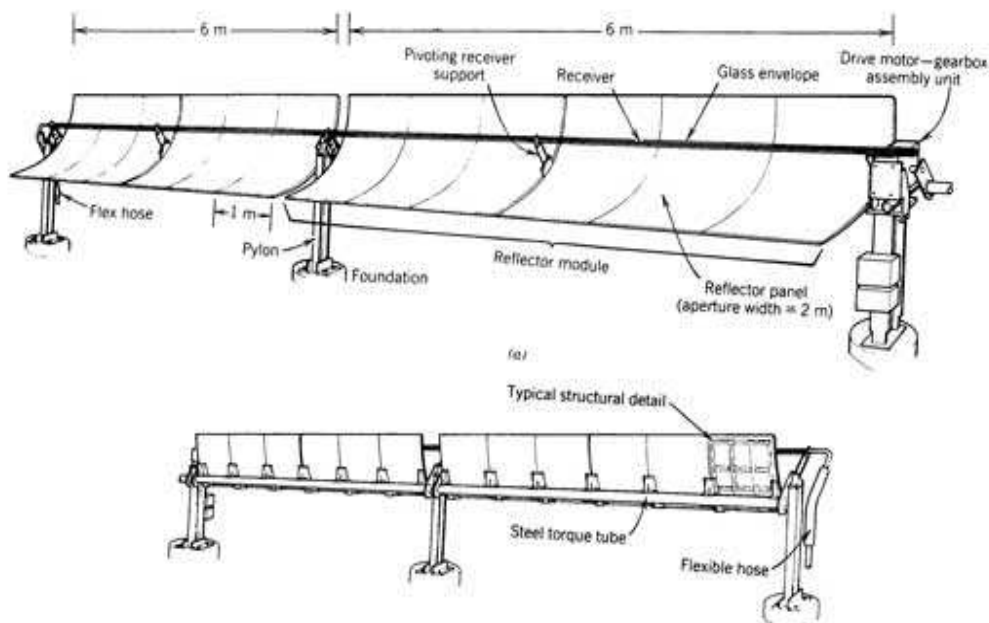
Γενικά οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες πρέπει να παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου, ώστε ο οπτικός άξονας τους να στοχεύει τον ήλιο. Οι σημειακής εστίας απαιτούν οδήγηση γύρω από δύο άξονες ενώ οι γραμμικής εστίας γύρω από τουλάχιστον έναν άξονα. Δίνονται λοιπόν δύο

δυνατότητες ως προς τη διάταξη του συλλέκτη, με τον άξονα είτε στη διεύθυνση Β-Ν με κλίση προς νότο, ή στη διεύθυνση Α-Δ, η οποία παρέχει μεν τη δυνατότητα για πολύ λιγότερες σωληνώσεις, αποδίδει όμως ενεργειακά λιγότερο εξαιτίας των μεγάλων γωνιών πρόσπτωσης το πρωί και το απόγευμα.

Παρατηρείται μια μεγάλη ποικιλία λύσεων που βρίσκονται στο στάδιο ανάπτυξης, πειραματικού ελέγχου ή στα πρώτα στάδια της βιομηχανικής παραγωγής, ανάλογα με το είδος εστίας (γραμμική-σημειακή), την κίνηση τους (ένας ή δύο άξονες), το είδος του δέκτη (κινητός-ακίνητος) και άλλα στοιχεία. Αναφέρονται ενδεικτικά οι παρακάτω:

Ο σύνθετος παραβολικός συγκεντρωτικός συλλέκτης (Compound parabolic concentrating collector) αποτελείται από παραβολικές επιφάνειες (Εικόνα 15), σχεδιασμένες να συλλαμβάνουν την μέγιστη ακτινοβολία που συγκεντρώνουν σε έναν σωλήνα κενού. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 1,8 - 6,0 ενώ για μεγαλύτερες συγκεντρώσεις απαιτείται προσανατολισμός τουλάχιστον μια φορά τον μήνα.

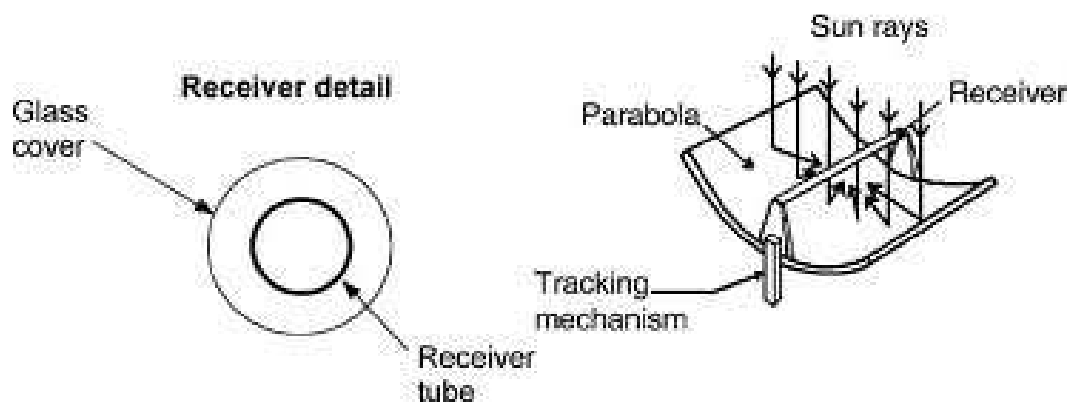
Εικόνα 15: Σύνθετος παραβολικός συγκεντρωτικός συλλέκτης



Ο οδηγούμενος σε έναν άξονα παραβολικός συλλέκτης (Tracking parabolic collector) αποτελείται από έναν κυλινδρικό παραβολικό ανακλαστήρα (parabolic trough) που συγκεντρώνει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στον δέκτη, ένα γυάλινο σωλήνα κενού ή απλό με μόνωση στην πάνω πλευρά (Εικόνα 16). Το μήκος ποικίλει από 4-10 ft, ενώ το άνοιγμα από 1-6ft, αν και οι διαστάσεις αυτές δεν ικανοποιούν σκοπούς βελτιστοποίησης. Αντίθετα, η θεωρητική βέλτιστη τιμή της συγκέντρωσης που επιτυγχάνεται υπολογίζεται περίπου στα 35, παρέχοντας σε αυτό το επίπεδο το μέγιστο θερμικό βαθμό απόδοσης, είναι όμως αρκετά δύσκολο να επιτευχθεί κάτι τέτοιο.

Το κόστος των συλλεκτών αυτών είναι δυνατό να μειωθεί αρκετά, δεδομένου ότι απαιτούνται σημαντικά λιγότερα υλικά σε σύγκριση με τους επίπεδους συλλέκτες, όπως γυαλιά, απορροφητικές επιφάνειες, μονώσεις, ενώ τα βασικά στοιχεία κόστους του είναι ο ανακλαστήρας και ο μηχανισμός οδήγησης. Το σημαντικό μειονέκτημα τους όμως έγκειται στο γεγονός ότι δεν παρέχει δυνατότητες αξιοποίησης της διάχυτης ακτινοβολίας, αρκετά προβληματικό για τα βόρεια κλίματα.

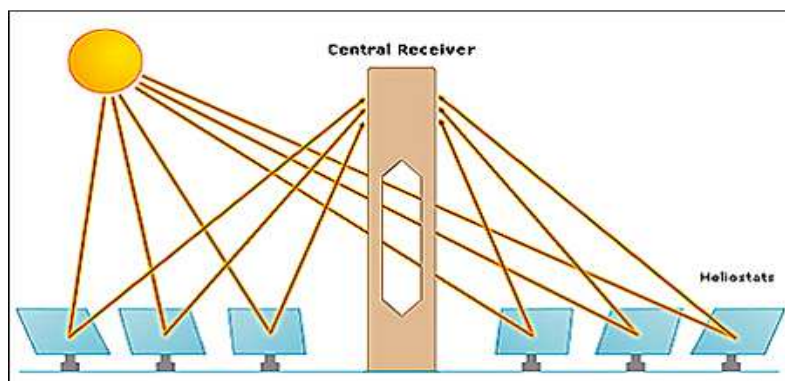
Εικόνα 16: Οδηγούμενος σε άξονα παραβολικός συλλέκτης



Το σύστημα κεντρικού πύργου δίνει πρακτική λύση στην παραγωγή ατμού ή αέρα υψηλών θερμοκρασιών (μεγαλύτερες από 300°C ή και 500°C) σε μεγάλη κλίμακα (Εικόνα 17). Εδώ, ένα πεδίο ανεξάρτητα οδηγούμενων ανακλαστήρων (ηλιοστάτες) κατευθύνει την ανακλώμενη

ακτινοβολία σε έναν κεντρικό δέκτη ο οποίος έχει τοποθετηθεί στην κορυφή ενός πύργου. Οι επιτυγχανόμενες συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερες από 1.000°C και οι θερμοκρασίες μέχρι 1.100 °C.

Εικόνα 17: Σύστημα κεντρικού πύργου



Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά η σύγκριση των επίπεδων και των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων.

Πίνακας 1: σύγκριση των επίπεδων και των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων.

ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
1. επιφάνεια συλλογής των ηλιακών ακτίνων ίση με την επιφάνεια απορρόφησής των.	1.επιφάνεια συλλογής των ακτίνων πολύ μεγαλύτερη από την επιφάνεια απορρόφησης (συγκέντρωση των ακτίνων)
2.λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες (>150 0)	2.λειτουργία σε υψηλότερες θερμοκρασίες (<2000)
3. μεγάλο ποσοστό απώλειων, χαμηλή θερμική απόδοση.	3. μικρότερες απώλειες υψηλότερη Θερμική απόδοση.
4.αξιοποίηση άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας	4. αξιοποίηση μόνο της άμεσης ακτινοβολίας

5.όχι ιδιαίτερες απαιτήσεις για την αντοχή ποιότητα των υλικών	5.απαιτούνται υλικά ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες.
6.απλουστευμένη τεχνολογία και κατασκευή.	6.υψηλή τεχνολογία και πολύπλοκη Κατασκευή
7.όχι κινούμενα μέρη παρακολούθησης του ήλιου	7.απαιτούνται πολύπλοκοι και ακριβείς μηχανισμοί ώστε το σύστημα να παρακολουθεί τον ήλιο κατά την κίνησή του
8.χαμηλό κόστος κατασκευής	8.υψηλό κόστος κατασκευής.
9.μικρό κόστος συντήρησης	9. μεγάλο κόστος συντήρησης.
10.όχι μεγάλη ευπάθεια σε καιρικές συνθήκες	10.ευπάθεια των μεγάλων εγκαταστάσεων στους ανέμους, χαλάζι κλπ.

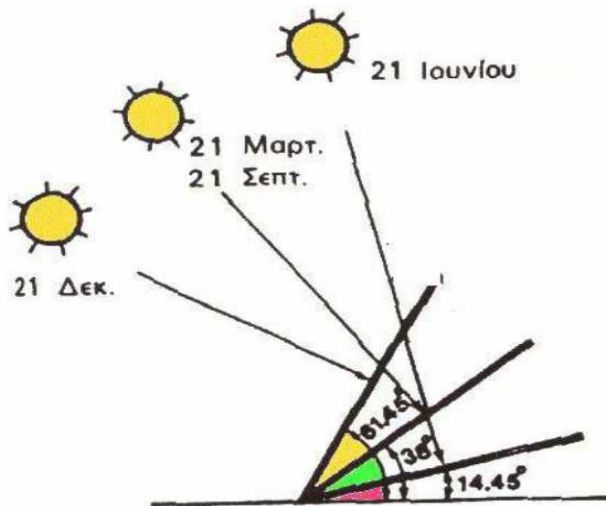
4.2. Συλλογή Μέγιστης Ηλιακής Ακτινοβολίας

4.2.1. Άμεση Ακτινοβολία

Η σωστή κλίση του συλλέκτη, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η απορρόφηση της ετήσιας ηλιακής ενέργειας αναρροφούμενη ακτινοβολία σε μια περιοχή του βόρειου ημισφαιρίου, πρέπει να είναι ίση με τον γεωγραφικό παράλληλο του τόπου, ενώ η αζιμούθια γωνία είναι 0° , με ευθυγράμμιση του συλλέκτη προς το νότο. Δεδομένου όμως ότι κατά τη διάρκεια του έτους η βέλτιστη κλίση αλλάζει, πρέπει να υπάρχουν μεταβολές. Έτσι, κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ), ενώ κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου Η βέλτιστη

γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ) (Αντωνόπουλος, 2004).

Εικόνα 18: Βέλτιστες Γωνίες Συλλέκτη για Ισημερία, Εαρινό και Χειμερινό Ηλιοστάσιο



4.2.2. Ολική Ακτινοβολία

Εκτός από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, για τη συλλογή των υπόλοιπων μορφών της ηλιακής ακτινοβολίας, ο κυριότερος παράγοντας είναι η απόλυτη τιμή της κλίσης του συλλέκτη, ανεξάρτητα από τη θέση του ήλιου. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση α , τόσο μεγιστοποιείται το ποσό της ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος την οποία δέχεται ο συλλέκτης, αλλά και τόσο ελαχιστοποιείται το ποσό διάχυτης ακτινοβολίας από τον ουρανό. Ανάλογα λοιπόν με το κλίμα της κάθε περιοχής, απαιτείται διαφορετικός χειρισμός. Αναφέρεται παραδειγματικά ότι, για τις περιοχές με υγρό κλίμα, όπου, λόγω των σταγονιδίων του νερού στην ατμόσφαιρα ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό, η βέλτιστη κλίση του ηλιακού συλλέκτη για τη διάρκεια ολόκληρου του έτους είναι περίπου 10 - 15% μικρότερη από τη γωνία

του τοπικού γεωγραφικού πλάτους. Με τον τρόπο αυτό, ο συλλέκτης αντικρίζει περισσότερο τον ουρανό και δέχεται αφθονότερα τη διάχυτη ακτινοβολία.

Ένας άλλος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας είναι και το υλικό που καλύπτει την επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία. Η ικανότητα της ανάκλασης μετριέται με ένα συντελεστή που κυμαίνεται από 0, για πλήρη απορρόφηση της ακτινοβολίας, μέχρι 1, για πλήρη ανάκλαση, οπότε και η κλίση θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη. Για τα συνήθη υλικά, η θάλασσα έχει το μεγαλύτερο βαθμό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ το χιόνι έχει το μικρότερο συντελεστή ανάκλασης. Ενδεικτικά δίνονται ορισμένες τιμές του συντελεστή ανάκλασης για ορισμένα από τα είδη επιφανειών που υπάρχουν στο περιβάλλον, στις περιοχές όπου τοποθετούνται οι ηλιακοί συλλέκτες (πίνακας 2) (Τσιλιγκιρίδης, 2002).

Πίνακας 2: Συντελεστές Ανάκλασης ως προς το Είδος της Επιφάνειας

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής ανάκλασης
Επιφάνεια νερού, Θάλασσα	0.05
Ασφαλτόστρωμα	0.07
Αγρός με σκοτεινόχρωμο χώμα	0.08
Πράσινος αγρός	0.15
Βραχώδης επιφάνεια	0.20

5. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

5.1. Συγκεντρωτικά κάτοπτρα

Για τη δημιουργία συγκεντρωτικών παραβολικών κατόπτρων, χρήσιμη είναι η παράλληλη σύνδεση ενός αριθμού κωνικών κατόπτρων, τα οποία κινούνται όλα μαζί για την παρακολούθηση του ήλιου με ειδικό μηχανισμό. Κάθε ένας από αυτά συγκεντρώνει τις ακτίνες του ήλιου στο κέντρο του, ώστε να αθροίζεται όλη η ισχύς που λαμβάνεται από καθένα χωριστά και να δίνεται μεγαλύτερο τελικό αποτέλεσμα. Αναφέρεται παραδειγματικά ότι 12 κώνοι με διαστάσεις 3m διαμέτρο και 160m ύψος αποδίδουν μαζί 300kw ισχύ.

Μία άλλη μέθοδος για δημιουργία συγκεντρωτικών κατόπτρων είναι να συγκεντρώνεται το ηλιακό φως σε ένα γυάλινο σωλήνα κενού, με τη βοήθεια ενός κυλινδρικού φακού Φρένσελ, ο οποίος κινείται με μηχανισμό. Σε αυτόν έχει τοποθετηθεί ένας σωλήνας από χάλυβα με επιλεκτική επίστρωση, ώστε να δημιουργείται απορροφητική επιφάνεια. Η αναπτυσσόμενη θερμότητα απάγεται με μια χημική ουσία όπως το υγρό νάτριο, στο σωλήνα - εστία αγγίζει τους 550°C και διοχετεύεται στη συνέχεια σε ένα δοχείο αποθήκευσης θερμότητας, όπου η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή με τη βοήθεια ενός μείγματος λιωμένων αλάτων, που βρίσκεται μέσα στο δοχείο (Mills & Morrison, 2000).

Στις εστίες των συγκεντρωτικών κατόπτρων, αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες είναι αρκετά δύσκολο να μεταφερθούν στο χώρο όπου πρόκειται να γίνει η παραλαβή ή μετατροπή τους σε έργο και παράλληλα να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια. Το νερό σε μορφή υδρατμών δεν είναι κατάλληλο, οπότε προτιμούνται διάφορες χημικές ενώσεις σε αέρια μορφή και παραμένουν σε τέτοια μορφή και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

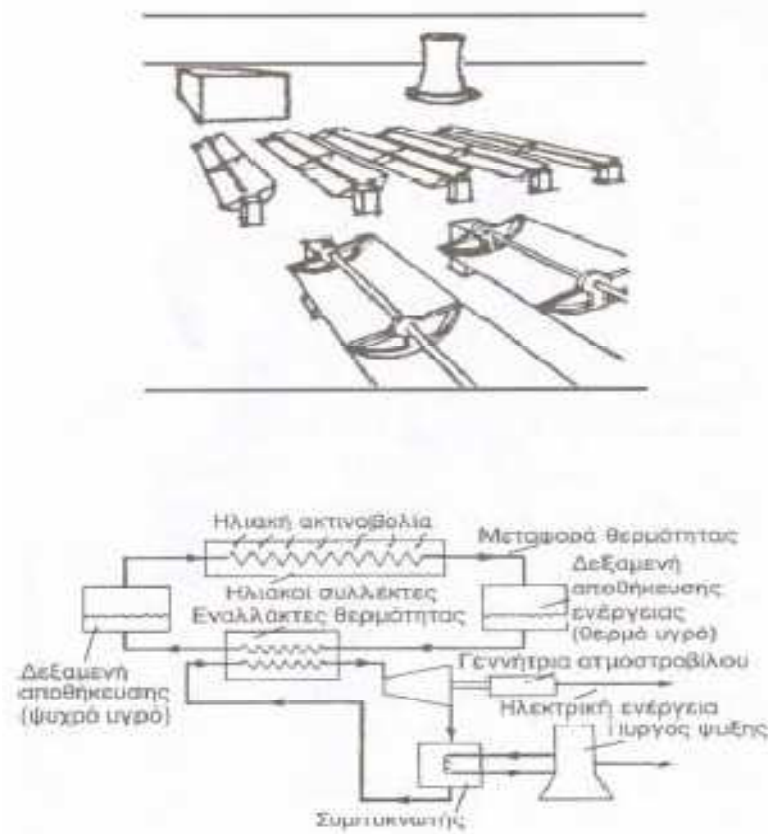
Το πιο διαδεδομένο αέριο με αυτή την ιδιότητα είναι το τριοξείδιο του θείου (SO₃) το οποίο μάλιστα αποδίδει και παραλαμβάνει θερμότητα κατά τη στιγμή της διάσπασης του, όπου δίνει οξυγόνο, αλλά και της επανένωσης του πάλι με οξυγόνο. Η αντίδραση αυτή, όπου δημιουργείται το τριοξείδιο από το διοξείδιο και το οξυγόνο, είναι ευνοϊκή για τη χρήση του σε διάταξη μεταφοράς της θερμότητας τέτοιων υψηλών θερμοκρασιών. Η υψηλή θερμοκρασία που συγκεντρώνεται στην εστία του κατόπτρου προκαλεί την αντίδραση διάσπασης του αερίου τριοξειδίου του θείου σε διοξείδιο του θείου και οξυγόνο. Το μείγμα αυτό μεταφέρεται σε αρκετή απόσταση, σε σωληνώσεις μονωμένες, όπου διατηρείται η θερμοκρασία.

Σε έναν αντιδραστήρα, με τη βοήθεια καταλύτη, επανασυνδέονται τα προϊόντα διάσπασης και συνθέτουν εκ νέου το αέριο τριοξείδιο του θείου (SO₃). Η αντίδραση για την ένωση αποδίδει θερμότητα η οποία φθάνει τους 1.040° Κέλβιν. Στη συνέχεια, το αέριο SO₃ επανέρχεται στο κάτοπτρο για να ακολουθήσει η ίδια διαδικασία. Η θερμοκρασία αυτή της χημικής αντίδρασης είναι από τις πιο μεγάλες και ευνοεί, όπως αναφέρθηκε, τη μεταφορά της θερμότητας από το ηλιακό συγκεντρωτικό κάτοπτρο στο χώρο όπου μπορεί να αξιοποιηθεί.

Γενικά θα λέγαμε ότι, προκειμένου να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια από την υψηλή θερμοκρασία που συλλέγεται από την ηλιακή ακτινοβολία, χρησιμοποιούνται συστήματα με συγκεντρωτικά, επίπεδα κάτοπτρα που κατευθύνουν σε μια εστία (Εικόνα 19). Αυτά κινούνται

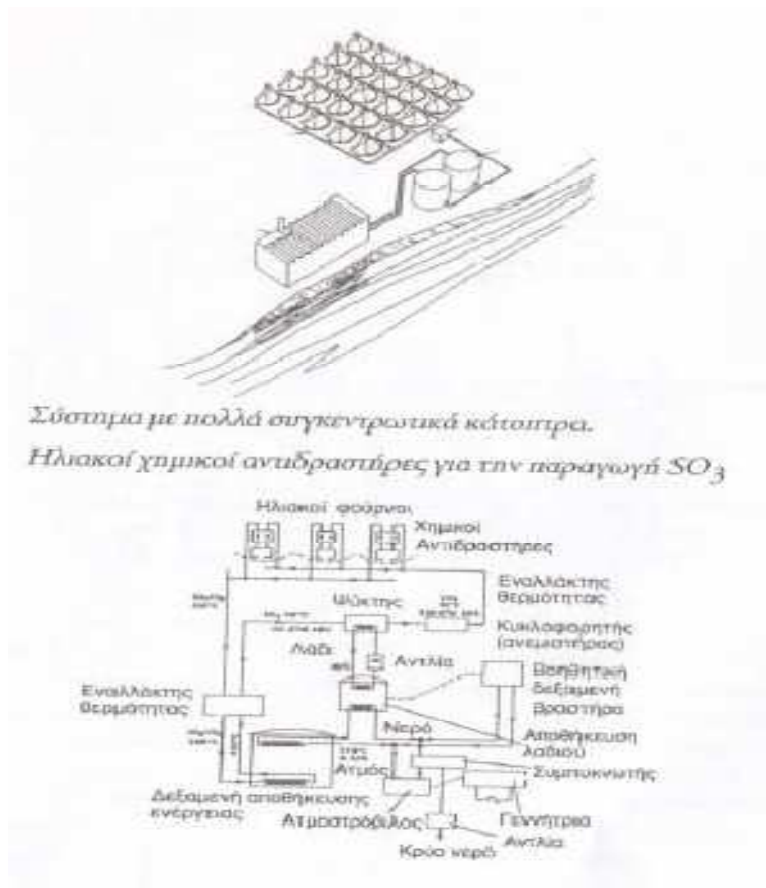
ως προς έναν άξονα κατά μήκος της κύριας εστίας τους. Στο σωλήνα κινείται νερό το οποίο μετατρέπεται σε ατμό και διοχετεύεται στον εναλλάκτη θερμότητας, από όπου τελικά διοχετεύεται στον αμοστρόβιλο, ο οποίος με τη σειρά του κινεί μία ηλεκτρική γεννήτρια (GreenPeace et al. 2010).

Εικόνα 19: Σύστημα παραβολικών κατόπτρων κυλινδρικής εστίας



Πρωταρχικός σκοπός λοιπόν είναι η δημιουργία υψηλών θερμοκρασιών, μέσω ενός θερμοδυναμικού κύκλου. Στο σημείο όπου συγκεντρώνονται οι ακτίνες, η θερμοκρασία φτάνει τους 700°C ενώ σε ορισμένα συστήματα, τους ηλιοστάτες (στους οποίους θα αναφερθούμε εκτενέστερα στη συνέχεια), αγγίζει τους 2.000°C . Από εκεί, η θερμότητα μεταφέρεται μέσω κάποιου υγρού, του αέρα, των χημικών ουσιών ή άλλων αερίων όπως το τριοξείδιο του θείου (SO_3) (Εικόνα 20). Το αντίστοιχο μέσο μεταφέρεται σε μια άλλη μονάδα όπου η θερμότητα του μετατρέπεται σε κίνηση, συνήθως σε αεροστρόβιλο (τουρμπίνα), η οποία με τη σειρά της κινεί τη συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Εικόνα 20: Διάγραμμα ροής του SO₃



Οι εγκαταστάσεις για την παραγωγή ηλεκτρισμού με τα παραβολικά κάτοπτρα και το συγκεντρωτικό ηλιοστάτη έχουν μεγάλη ισχύ και η λειτουργία τους βασίζεται στο μηχανισμό κίνησης των κατόπτρων. Ιδιαίτερα σημαντική για τη διαδικασία είναι η κατασκευή μίας αρκετά καλής ανακλαστικής επιφάνειας. Συνήθως, το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται τα κάτοπτρα είναι καθαρό αλουμίνιο ή γυαλί που έχει υποστεί κατοπτρική επεξεργασία στην επιφάνεια του, δηλαδή σε πλακίδια γυαλιού μικρών επιφανειών, 10cm² περίπου, τοποθετούνται ατμοί διαφόρων μετάλλων, αργύρου, αλουμινίου, χρωμίου κ.ά. υπό ελαττωμένη ατμοσφαιρική πίεση. Επομένως, ο ηλιακός σταθμός ηλεκτροπαραγωγής με κάτοπτρα από καθαρό αλουμίνιο έχει έκταση 1,5km² και παράγει ηλεκτρισμό ισχύος 100.000 κ/ν, ισχύς που, αν παραγόταν σε ένα

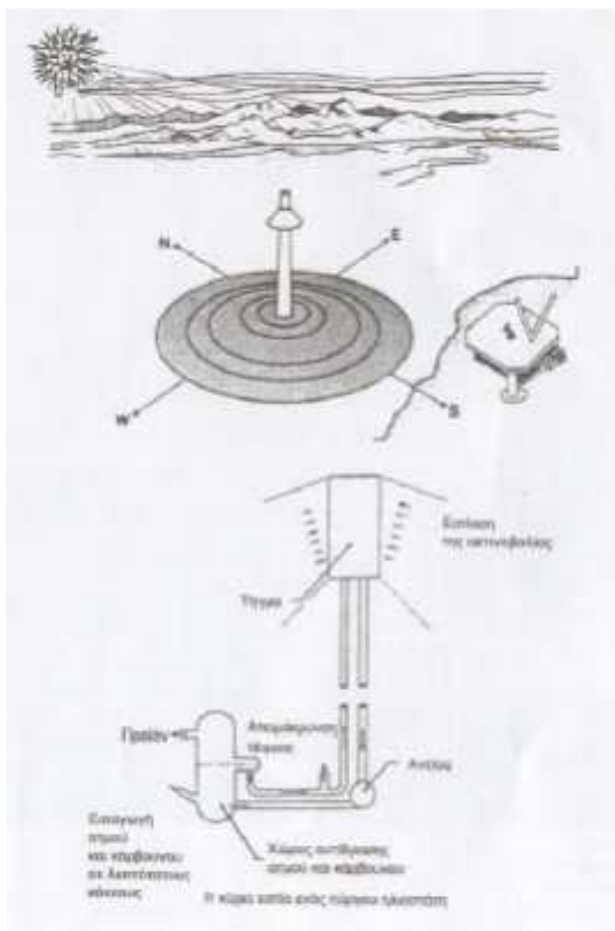
πυρηνικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα απαιτούσε αντίστοιχα κατανάλωση 175 kg ουρανίου το χρόνο (Mills & Morrison, 2000).

5.2. Ηλιακοί Πύργοι ή Κεντρικός Δέκτης - Ηλιοστάτες

Οι Ηλιακοί Πύργοι ή ηλιοστάτες αποτελούν ηλιακούς μεγάλης κλίμακας σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και είναι εγκαταστάσεις με επίπεδα κάτοπτρα και πύργο ύψους 50 με 300 μέτρα. Αυτοί διαθέτουν τρισδιάστατους μηχανοκίνητους καθρέφτες που ακολουθούν την πορεία του ηλίου, συγκεντρώνουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και την κατευθύνουν σε ένα συγκεκριμένο σημείο του κεντρικού συλλέκτη, τον πύργο, η κορυφή του οποίου έχει διαμορφωθεί με τρόπο ώστε να αποτελεί την εστία μιας καμίνου υψηλής θερμοκρασίας (1.000 – 2.000° C). Εκεί θερμαίνεται ένα ρευστό που μπορεί να είναι νερό, αέρας, εύτηκτα άλατα, χημικές ενώσεις κ.λπ. Στη συνέχεια, το ρευστό οδηγείται μακριά, εκτός της περιοχής του ηλιοστασίου, όπου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού και στη συνέχεια με στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Κάθε κάτοπτρο κινείται με ξεχωριστό μηχανισμό, το σύνολο των οποίων συνδέεται με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, οδηγώντας τα κατάλληλα κάθε μέρα και ανάλογα με την εποχή. Όλα τα κάτοπτρα εστιάζουν το ηλιακό φως σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια στην κορυφή του πύργου. Συνολικά, το σύστημα κατασκευής μοιάζει με γιγαντιαίο κούλο κάτοπτρο με σημεία ανάκλασης τα τεμάχια κατόπτρων που κινούνται για την εστίαση των ακτίνων (International Energy Agency, 1999).

Εικόνα 21: Σχηματική απεικόνιση ενός ηλιοστάτη



Ανάλογα με την κατασκευή της εστίας, οι σχεδιασμοί επίπεδων ηλιοστατών διαφοροποιούνται, σύμφωνα με το προς θέρμανση υλικό, τον τρόπο κατανομής του και τον προορισμό τους. Οι βασικές διακρίσεις των εστιών είναι οι εστίες με κλειστό χώρο και οι ακάλυπτες κοίλες, όπου οι ηλιακές ακτίνες προσπίπτουν κατευθείαν στις σωληνώσεις που περιέχουν το προς θέρμανση ρευστό. Σε αυτές, η ακτινοβολία συγκεντρώνεται μέσα από ένα ή περισσότερα ανοίγματα, εγκλωβίζεται και απορροφάται από τις διαδοχικές ανακλάσεις στο εσωτερικό της. Ως εκ τούτου, αναπτύσσονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες, λόγω της τεχνικής των ανακλάσεων, αυξάνεται η απόδοση και βελτιώνεται η διάρκεια ζωής τους.

Το ανώτατο όριο λειτουργίας των ηλιοστατών είναι μόλις 8-10 ώρες την ημέρα, καθότι απαιτείται ηλιοφάνεια, όσο υψηλή παροχή ενέργειας κι αν προσφέρεται. Σημαντικό στοιχείο είναι ο τρόπος αποταμίευσης του αποτελέσματος της λειτουργίας τους. Δίνεται λοιπόν έμφαση στα υλικά που παρέχουν τη δυνατότητα συγκρατήσης της θερμότητας και αποβολής τους κατά

τις νυχτερινές ώρες, όπως είναι τα ευθηκτικά άλατα και διάφορα πετρώματα. Όμως με αυτό τον τρόπο, η τελική κατάληξη είναι ο ηλιοστάτης να χρησιμοποιείται αποκλειστικά και μόνο για την παραγωγή ατμού και στη συνέχεια για την ηλεκτροπαραγωγή, ενώ, δεδομένου ότι τα υλικά αυτά κοστίζουν αρκετά, η όλη εγκατάσταση τελικά θεωρείται ότι δε συμφέρει οικονομικά. Προτείνεται λοιπόν η λειτουργία των ηλιοστατών παράλληλα με χρήση καυσίμων υγρών ή πυρηνικού εργοστασίου, αλλά επικουρικά, βοηθώντας απλώς στην εξοικονόμηση ενέργειας από τις άλλες δύο μεθόδους.

Στην τεχνολογία ηλιακού πύργου είναι δυνατό να αγγίζουμε πολύ υψηλές τιμές συγκέντρωσης ακτινοβολίας, ίσως και 600 με 1.000 φορές υψηλότερες από τις αντίστοιχες στους σταθμούς παραβολικών κατόπτρων. Ο λόγος που δυσμαίνει αυτό είναι ότι, ως μέσο μεταφοράς θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί υγροποιημένο άλας ή αέρας, σε αντίθεση με το συνθετικό έλαιο των σταθμών παραβολικών κατόπτρων, που έχει ανώτερη θερμοκρασία λειτουργίας τους 400°C, το οποίο περιορίζει έτσι την ποιότητα του παραγόμενου ατμού. Η θερμοκρασία που μπορεί να αποδοθεί στο μέσο μεταφοράς θερμότητας έχει αποδειχτεί από σταθμούς σε εμπορική λειτουργία ότι μπορεί να προσεγγίσει τους 565°C, ενώ πειραματικά έχει παρατηρηθεί ότι μπορεί να αγγίξει ακόμη και τους 1000°C. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που είναι διαθέσιμες στους ηλιακούς πύργους, αυτοί οι σταθμοί μπορούν να συνδυαστούν εκτός από αμοστρόβιλο, και με αεριοστρόβιλο αλλά και με σύστημα συνδυασμένου κύκλου. Αν, για παράδειγμα, χρησιμοποιηθεί πεπιεσμένο αέριο πολύ υψηλής θερμοκρασίας, περίπου 1000°C ή περισσότερο, ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας, τότε μπορεί να αντικαταστήσει άμεσα το φυσικό αέριο σε έναν αεριοστρόβιλο, κάνοντας χρήση του εξαιρετικού συνδυασμένου κύκλου αερίου και ατμού με απόδοση της τάξης του 60%. Τέτοιοι σταθμοί συνδυασμένου κύκλου μπορούν να επιτύχουν απόδοση από ηλιακή σε ηλεκτρική ενέργεια μέχρι και 35% στην αιχμή και μέχρι 25% ετησίως. Με πάνω από 15 χρόνια πειραμάτων παγκοσμίως, έχει αποδειχτεί ότι τέτοιοι ηλιοθερμικοί σταθμοί με διαφορετικά μέσα μεταφοράς της θερμότητας και με διαφορετικά είδη σχεδίασης ηλιοστατών είναι τεχνικά εφικτοί

Σε ένα σταθμό ηλιακού πύργου, ο συντελεστής χρήσης, για δεδομένη ισχύ στροβίλου, μπορεί να μεταβληθεί με αύξηση είτε του αριθμού των ηλιοστατών, ή του μεγέθους των δεξαμενών αποθήκευσης, του ύψους του ηλιακού πύργου ή και των διαστάσεων του κεντρικού συλλέκτη.

Οι ηλιοστάτες στην πλειοψηφία τους ενισχύουν την ανάπτυξη της τεχνολογικής γνώσης παρά παρέχουν πραγματικές λύσεις στις ανάγκες, γεγονός το οποίο όμως είναι σημαντικό για να επέλθουν πολλές τεχνολογικές επιτυχίες, αποτελώντας προτεραιότητα, ενώ είναι ακόλουθη η απλοποίηση και ο σχεδιασμός της εξέλιξης του, ενώ η εφαρμογή στην υπόθεση των ενεργειακών αναγκών έρχεται στο τέλος. Εξάλλου, για τη γνώση της λειτουργίας και των οφελών από τον ήλιο απαιτείται γνώση όχι μόνο των τεχνολογικών εφαρμογών, αλλά και συνδυασμού πολλών επιστημονικών κλάδων όπως είναι η μηχανική, η χημεία, η φυσική, η μηχανολογία ή η μεταλλουργία.

Πρόσφατα, μια νέα εξέλιξη στη λειτουργία των ηλιοστασιων κατάφερε να βοηθήσει στην αντιμετώπιση σημαντικών προβλημάτων της χρήσης τους και στην επέκταση της λειτουργίας του στις ώρες μη ηλιοφάνειας. Έγινε αντιληπτό ότι δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται ο ηλιοστάτης για να δώσει ατμό για την κίνηση ηλεκτρογεννήτριας, αλλά μπορεί να παράγεται ένα αέριο καύσιμο (σαν το φυσικό γαιαέριο) το οποίο θα έχει την ιδιότητα να είναι αποθηκεύσιμο το ίδιο, κάτι που είναι πολύ πιο εύκολο από το να αποθηκεύεται η θερμότητα. Πλέον αυτό θα διοχετεύεται σε οποιαδήποτε χρήση και φυσικά όλες τις ώρες και θα τροφοδοτεί τις βιομηχανικές ανάγκες ενός τόπου είτε για ηλεκτροπαραγωγή, είτε για τεχνική θερμική ενέργεια. Το αέριο αυτό είναι το υδαταέριο, το οποίο προκύπτει όταν διαβιβάζεται υδρατμός σε κάρβουνο, οπότε και παράγεται αυτό το καύσιμο μείγμα αερίων. Η χημική του σύσταση είναι άνθρακας, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και μεθάνιο, με τα τρία τελευταία να είναι καύσιμα αέρια. Το υδαταέριο ήταν και παλαιότερα γνωστό και παραγόταν από κάρβουνο διάπυρο, θερμοκρασίας άνω των 1000°C, στο οποίο διαβιβαζόταν υδρατμός. Το προκύπτον αέριο ήταν χρήσιμο ως καύσιμο και διοχετευόταν από τη βιομηχανία σε οικισμούς για θέρμανση. Με τον ηλιοστάτη επανήλθε αυτή η ιδέα και, σύμφωνα με μελέτες, παράγονται διάφορα αέρια καύσιμα προϊόντα από πρώτη ύλη που προέρχεται ακόμη και από βιομάζα (δηλαδή σκουπίδια) ή άλλα αέρια (The World Bank).

6. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

6.1. Γενικά

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, το οποίο ορίζεται ως η άμεση μετατροπή της φωτεινής ενέργειας σε ηλεκτρική και η αρχή λειτουργίας των ηλιακών κυψελών ανακαλύφθηκαν το 1839, από το Γάλλο φυσικό Edmond Becquerel (Goetzberger et al., 2003). Η βασική αρχή του είναι ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, κοινώς τα ηλιακά κύτταρα, μετατρέπουν το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το ηλιακό φως αποτελείται από μικρά πακέτα ενέργειας, τα φωτόνια, τα οποία περιέχουν ποικίλες ποσότητες ενέργειας, ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού φάσματος (Rockett,2010). Όταν αυτά προσκρούονται σε έναν ημιαγωγό, το φωτοβολταϊκό στοιχείο, είτε ανακυκλώνονται, είτε διαπερνούν ή απορροφώνται από αυτό το στοιχείο, οπότε αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση, κάτι το οποίο εξάλλου αποτελεί και τον ηλεκτρισμό, που είναι η κίνηση των ηλεκτρονίων.

6.2. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Φωτοβολταϊκής Μετατροπής

Όταν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία, μετατρέπουν το 5 με 25% της ηλιακής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρική, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία. Το είδος των φωτοβολταϊκών που θα επιλεγθούν εξαρτάται από τις ενεργειακές ανάγκες, το διαθέσιμο χώρο ή ακόμα και την οικονομική ευχέρεια του ενδιαφερόμενου. Ανεξάρτητα όμως από αυτές τις λεπτομέρειες, τα κοινά πλεονεκτήματα είναι η μηδενική ρύπανση, η αθόρυβη λειτουργία, η αξιοπιστία, η μεγάλη διάρκεια ζωής, ακόμα και 30 χρόνια, η ανεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές, η δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες και η ελάχιστη συντήρηση.

Συγκεκριμένα, τα φωτοβολταϊκά συνεπάγονται σημαντικά οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία, τον καταναλωτή, τις αγορές ενέργειας και τη βιώσιμη ανάπτυξη (Περδίδης, 2007). Η λειτουργικότητά τους είναι σημαντική, καθώς επιτρέπουν να επεκτείνεται η ισχύς τους και να αποθηκεύεται η ενέργεια που παράγεται στο δίκτυο ή σε συσσωρευτές, διορθώνοντας έτσι το

μειονέκτημα της ασυνεχούς παραγωγής ενέργειας. Ο καταναλωτής διαθέτει τον απόλυτο έλεγχο και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την ενέργεια που παράγεται και καταναλώνεται, οπότε καθίσταται πιο προσεκτικός ως προς τον τρόπο κατανάλωσης της ενέργειας, με αποτέλεσμα να συμβάλλει στην ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση της ενέργειας.

Παράλληλα, επωφελούνται και οι επιχειρήσεις παραγωγής ηλεκτρισμού, τεχνικά και εμπορικά, από την εγκατάσταση μικρών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Μάλιστα, η αύξηση στο πλήθος των συστημάτων παραγωγής ενέργειας που εγκαθιστούν και συνδέουν με το δίκτυο ηλεκτροδότησης αυξάνει και τα οφέλη για τις επιχειρήσεις, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος και η σταθερότητα της ηλεκτρικής τάσης και να μειώνεται το κόστος των επενδύσεων για νέες γραμμές μεταφοράς.

Ο μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτροπαραγωγών επιτρέπει την αποτελεσματική κάλυψη της διαρκούς αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να απαιτούνται μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ή για γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, κόστος ιδιαίτερα υψηλό, δεδομένης μάλιστα και της εξάντλησης των φυσικών πόρων. Επιπρόσθετα, ενισχύεται η ασφάλεια της παροχής ηλεκτρικού ρεύματος σε απομακρυσμένες περιοχές. Η τοπική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν επιβαρύνεται με δαπανηρές ενεργειακές απώλειες που αντιμετωπίζει το ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, εξομαλύνοντας έτσι τις αιχμές φορτίου, οι οποίες είναι ιδιαίτερα δαπανηρές, οπότε μειώνεται το συνολικό κόστος της ηλεκτροπαραγωγής.

Ένα επιπλέον όφελος για τους παραγωγούς φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ότι, με την καθαρή ενέργεια που παράγουν, προσελκύουν πελάτες (και περισσότερο εκείνους που ενδιαφέρονται γενικά για το περιβάλλον και ειδικότερα για τις κλιματικές αλλαγές) και τους διατηρούν, δείχνοντας αξιοπιστία σε ένα απελευθερωμένο περιβάλλον, χωρίς να απαιτούνται σημαντικά κίνητρα, όπως στην περίπτωση του υψηλά ανταγωνιστικού περιβάλλοντος. Πλέον δεν είναι κριτήριο για τον πελάτη μόνο η χαμηλή τιμή, αλλά και ποιότητα και οι υπηρεσίες.

Παράλληλα, τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας και ελεύθερα διαθέσιμη, κατασκευάζονται από υλικά που βρίσκονται σε αφθονία, δε διαθέτουν κινούμενα μέρη, οπότε δε δημιουργείται ανάγκη επίβλεψης και συντήρησης τους και είναι απλά και ασφαλή στη λειτουργία τους.

Όσον αφορά στα μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων, αναφέρεται αρχικά ότι είναι αρκετά ακριβά για ένα οικιακό καταναλωτή, αφού έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, παρόλο που το λειτουργικό κόστος είναι ασήμαντο, σε αντίθεση με τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες όπου συνήθως ισχύει το αντίστροφο, ενώ δε δίνονται επιδοτήσεις, ιδίως στη χώρα μας. Παράλληλα, το κόστος τους είναι αυξημένο σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, περιορίζοντας ιδιαίτερα την ανάπτυξη της εν λόγω τεχνολογίας, ενώ επίσης αναφέρεται και η χαμηλή απόδοση μετατροπής του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία προκαλεί χαμηλότερες ενεργειακές απολαβές και συνδέεται άμεσα με την ανάγκη εγκατάστασης μεγαλύτερης επιφάνειας φωτοβολταϊκών πλαισίων για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες, αυξάνοντας έτσι τελικά και το κόστος της εγκατάστασης (Τσιλιγκιρίδης,2000).

6.3. Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα «πάνελ», ή αλλιώς «πλαίσια», ή ακόμα και «κρύσταλλα» φωτοβολταϊκών στοιχείων, ή «κυψελών», ή «κυττάρων», και από τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή. Το σχήμα του είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Χρησιμοποιούνται δυο τύποι πυριτίου για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων, το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, από συστήματα μερικών mW για την τροφοδοσία υπολογιστών τσέπης μέχρι και μεγάλα συστήματα ισχύος της τάξης των MW που συναντώνται σε μεγάλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε επίπεδα και τα συγκεντρωτικά. Οι επίπεδοι συλλέκτες αποτελούνται από πλήθος περιοχών κελιών στερεωμένων σε επίπεδη στερεή επιφάνεια, τα οποία έχουν επικαλυφθεί από ένα διαφανές κάλυμμα που αφήνει το φως να περνάει και τα προστατεύει από το περιβάλλον. Η σχεδίαση και η κατασκευή τους είναι απλή, δεν απαιτούνται ειδικά συστήματα για παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου, ενώ χρησιμοποιούν τόσο το απευθείας όσο και το διάχυτο ηλιακό φως που ανακλάται από τα σύννεφα και το έδαφος. Είναι όμως προβληματικό το γεγονός ότι απαιτείται μεγάλος αριθμός

ηλιακών κελιών, καθότι χρειάζονται μεγάλες εκτάσεις γης για να εγκατασταθούν, ανεβάζοντας έτσι σε υψηλά επίπεδα το κόστος του συστήματος. Αυτό το ζήτημα δε συναντάται στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες, καθότι χρησιμοποιούν φακούς, οπότε αυξάνουν την ένταση του ηλιακού φωτός που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό κελί. Αυτοί χρησιμοποιούν φθηνά υλικά για τη συγκέντρωση του ηλιακού φωτός, όπως πλαστικούς φακούς και μεταλλικά στηρίγματα και έχουν αυξημένη απόδοση κελιού. Το πρόβλημα που παρουσιάζεται εδώ είναι ότι πρέπει να παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου κατά τη διάρκεια της μέρας και του χρόνου, οπότε χρειάζονται ακριβά συστήματα ελέγχου της τροχιάς του ήλιου και κατάλληλης περιστροφής του συστήματος, καθώς επίσης, λόγω της μείωσης της απόδοσής τους και του χρόνου ζωής τους με τη θερμοκρασία, είναι απαραίτητα τα συστήματα ψύξης.

6.4. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας μπορούμε να ταξινομήσουμε τα φωτοβολταϊκά συστήματα σε τέσσερις κατηγορίες, τα αυτόνομα, τα συνδεδεμένα στο δίκτυο, τα συστήματα με βοηθητική γεννήτρια και τα υβριδικά συστήματα.

6.4.1. Αυτόνομα Φωτοβολταϊκά συστήματα

Το πιο απλό σύστημα είναι εκείνο που αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια τα οποία τροφοδοτούν απευθείας τον καταναλωτή, χωρίς να αποθηκεύεται η ηλεκτρική ενέργεια, εκτός από την περίπτωση φωτισμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων, όπως συμβαίνει με τους μικρούς υπολογιστές τσέπης και τις αντλίες νερού που λειτουργούν με κινητήρα συνεχούς τάσης (Eltawil & Zhao, 2010).

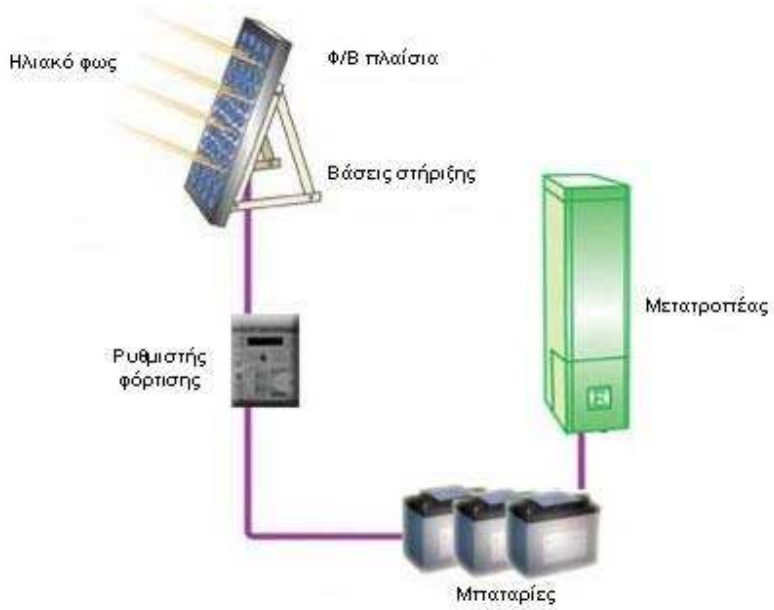
Όταν τα φωτοβολταϊκά πρέπει να καλύπτουν κάποιο φορτίο κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε μέρες με μειωμένη ηλιοφάνεια, απαιτείται η χρήση μπαταρίας, οπότε η ενέργεια των πλαισίων μεταβιβάζεται στον καταναλωτή και η περισσευούμενη αποθηκεύεται στην μπαταρία. Λόγω του κινδύνου υπερφόρτισης ή πλήρους εκφόρτισης της μπαταρίας, πρέπει να εξετάζεται τακτικά, γιατί και στις δυο περιπτώσεις περιορίζεται ο χρόνος ζωής της, βασικό, εξάλλου, πρόβλημα στις αυτόνομες φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Χρειάζεται λοιπόν να προσδιοριστεί η

βέλτιστη σχέση ανάμεσα στη φωτοβολταϊκή συστοιχία και τη μπαταρία, προκειμένου να πραχθεί με αξιοπιστία η απαραίτητη ενέργεια, καλύπτοντας τη ζήτηση και τηρώντας τους περιορισμούς λειτουργίας της μπαταρίας (Lazou & Papatsoris, 2000).

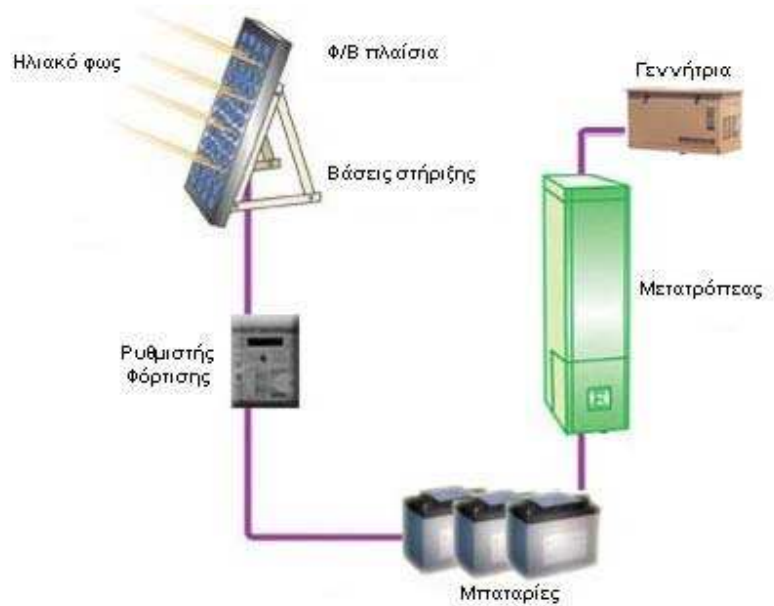
Για να μπορεί να αντιμετωπίζεται η έκτακτα μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, προστίθεται βοηθητική γεννήτρια, οπότε αποφεύγεται η χρήση μεγάλου αριθμού φωτοβολταϊκών πλαισίων, τα οποία θα ήταν απαραίτητα μόνο για εξαιρετικές περιπτώσεις χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας ή για προσωρινή χρήση οικιακών ηλεκτρικών συσκευών μεγάλης ισχύος, αν και γενικά προτείνεται να αποφεύγεται η χρήση της, εφόσον αποτελεί οικονομική επιβάρυνση η αγορά της αλλά και η τροφοδότηση της με καύσιμα και η συντήρησή της (Manolakos et.al., 2004)

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα εφαρμόζονται κυρίως σε περιπτώσεις όπως η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός μεσαίου μεγέθους νοικοκυριού (Lazou & Papatsoris, 2000), απομακρυσμένων καταναλωτών, απομακρυσμένων περιοχών και ολόκληρων αγροτικών περιοχών (Kaldellis & Sotiraki, 1999), σε φάρους και σημαδούρες θαλάσσιων οδών, στις τηλεπικοινωνίες, και συγκεκριμένα στο επαρχιακό τηλεφωνικό δίκτυο (Lamont & Chaar, 2011), σε αναμεταδότες τηλεόρασης, ραδιοφωνίας FM, μικροκυμάτων τηλεπικοινωνιών, στις σημάνσεις των δρόμων και στα φωτεινά σήματα (Tsoutsos et.al., 2004), στην ηλεκτροδότηση μοναχικών διαβάσεων σιδηροδρόμου και σε συστήματα άντλησης και άρδευσης, κυρίως μικρών και απομακρυσμένων συστημάτων (Manolakos, et.al., 2004)

Εικόνα 22: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα AC παροχής ενός κτιρίου



Εικόνα 22: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα AC με γεννήτρια



6.4.2. Φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Το διασυνδεδεμένο δίκτυο φωτοβολταϊκών εφαρμόζεται όλο και περισσότερο παγκοσμίως σε περιπτώσεις όπως σε μεγάλους κεντρικούς σταθμούς, εμπορικά κτίρια, μονοκατοικίες. Η κατασκευή και λειτουργία του διαφέρει από αυτή στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά σύστημα. Η ισχύς και αυτού του συστήματος επηρεάζεται σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες, όμως η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι στην προκειμένη περίπτωση δεν υπάρχουν μπαταρίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε, αν οι ανάγκες του καταναλωτή για ηλεκτρική ενέργεια δε μπορούν να ικανοποιηθούν από το φωτοβολταϊκό σύστημα λόγω π.χ. έλλειψης ηλιοφάνειας, τότε αυτή παρ΄χεται από το συνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο.

Όταν παράγεται περισσότερη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια από την απαραίτητη για τον καταναλωτή του συστήματος, τότε το πλεόνασμα αυτό της ενέργειας τροφοδοτείται σε άλλους καταναλωτές μέσω του ηλεκτρικού δικτύου, μειώνοντας έτσι τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας από το θερμοηλεκτρικό σταθμό, οπότε καίγονται λιγότερα καύσιμα και ελαττώνεται η εκπομπή βλαβερών αερίων CO₂ και SO₂, προϊόντων της καύσης (Lamont & Chaar, 2011). Στο σύστημα αυτό γίνεται αποκλειστική χρήση συσκευών εναλλασσόμενου ρεύματος, οπότε η ηλεκτρική ενέργεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων μετατρέπεται στο σύνολό της μέσω κατάλληλου μετατροπέα από συνεχής σε εναλλασσόμενη.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή ενέργειας από σύστημα διασυνδεδεμένων με το δίκτυο φωτοβολταϊκών είναι τα χαρακτηριστικά του συστήματος, η διαμόρφωση της εγκατάστασης, η γεωγραφική θέση του φωτοβολταϊκά συστήματος και τα ελαττώματα που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία (Carr & Pryor, 2004).

Οι διαδρομές που ακολουθεί το ηλεκτρικό ρεύμα που φτάνει στον καταναλωτή μπορεί να είναι είτε με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τον μετατροπέα ή απευθείας από το ηλεκτρικό δίκτυο. Δεν είναι απαραίτητη η ενίσχυση των φωτοβολταϊκών πλαισίων με τροφοδότηση από το ηλεκτρικό δίκτυο, εφόσον οδηγείται κατευθείαν προς τον καταναλωτή, χωρίς να περνά από τον μετατροπέα. Η τροφοδότηση, όμως, του καταναλωτή από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια δεν μπορεί να γίνει εντελώς ανεξάρτητα από το ηλεκτρικό δίκτυο διότι σε περίπτωση διακοπής της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω βλάβης σε κάποιο σημείο του δικτύου, δεν πρέπει το δίκτυο να τροφοδοτείται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και να παρουσιάζει κινδύνους σε οποιαδήποτε προσπάθεια επιδιόρθωσής του. Επομένως, η πιθανή διακοπή ηλεκτρικού ρεύματος στο δίκτυο αποσυνδέει το φωτοβολταϊκό σύστημα από το δίκτυο (Νεοκλέους & Κωνσταντινίδης, 1999).

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται ανάλογα με τη τάξη μεγέθους της ισχύος αιχμής σε συστήματα μικρής ισχύος αιχμής, τα οποία καλύπτουν τη ζήτηση των κατοικιών, ενώ τοποθετούνται στην οροφή των κατοικιών και έτσι αποφεύγεται η δέσμευση επιπλέον χώρου, αλλά και τα συστήματα μεσαίας ισχύος αιχμής, τα οποία ηλεκτροδοτούν νησιά ή κοινότητες και λειτουργούν σε συνδυασμό με κάποια συμβατική πηγή όπως η ντιζελογεννήτρια ή και άλλη εναλλακτική πηγή, όπως η αιολική γεννήτρια. Η σωστή κατανομή της δυναμικότητας σε κάθε επιμέρους σύστημα είναι απαραίτητη προκειμένου τελικά η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να έχει το χαμηλότερο κόστος. Τέλος, υπάρχουν τα συστήματα μεγάλης ισχύος αιχμής, της τάξης των μερικών MW, τα οποία τροφοδοτούν το δίκτυο. Το κόστος ενέργειας τους είναι αρκετά πιο αυξημένο από το αντίστοιχο της ενέργειας που παράγεται από τους συμβατικούς σταθμούς, όμως θεωρούνται ως ελκυστική εναλλακτική λύση, δεδομένου ότι παράγουν μεγάλα ποσά ενέργειας (Τσιλιγκιρίδης, 2000).

Εικόνα 23: Διασυνδεδεμένο σύστημα με το δίκτυο



6.4.3. Φωτοβολταϊκά συστήματα με βοηθητική γεννήτρια

Με την προσθήκη βοηθητικής γεννήτριας στο σύστημα αντιμετωπίζεται κάποια ξαφνικά εμφανιζόμενη αύξηση της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε αποφεύγεται η χρήση μεγάλου αριθμού φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα ήταν απαραίτητα μόνο για εξαιρετικές περιπτώσεις χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας ή για προσωρινή χρήση στο σπίτι ηλεκτρικών συσκευών μεγάλης ισχύος. Γενικά, η γεννήτρια λειτουργεί εφεδρικά για το φωτοβολταϊκό σύστημα και χρησιμοποιείται πολύ αραιά για να φορτίσει τις μπαταρίες. Παρόλο που η ενσωμάτωση της γεννήτριας στα φωτοβολταϊκά σύστημα γεννήτρια κάνει πιο πολύπλοκο το σύστημα, η λειτουργία του εξακολουθεί να παραμένει εύκολη, καθότι οι σύγχρονοι ρυθμιστές τάσης μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε να θέτουν αυτόματα την γεννήτρια σε λειτουργία.

6.4.4. Υβριδικά συστήματα

Το υβριδικό σύστημα αποτελείται από την υβριδική συστοιχία σε συνδυασμό με άλλες μορφές ενέργειας, όπως είναι η γεννήτρια πετρελαίου ή άλλη μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ανεμογεννήτρια ή η υδρογεννήτρια. Ιδιαίτερη βαρύτητα πρέπει να δοθεί από τους ερευνητές στην ενέργεια που απαιτείται, καθώς και στη διαθεσιμότητα των διαφόρων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή ενέργεια ή ο άνεμος. Τα υβριδικά συστήματα είναι ιδανικά σε εφαρμογές όπως οι απομονωμένοι τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και οι απομακρυσμένες περιοχές (Datta et.al.,2011).

6.5. Μεγιστοποίηση απόδοσης φωτοβολταϊκών πλαισίων

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, προκειμένου να μεγιστοποιήσουν την απόδοσή τους, θα πρέπει να δέχονται διαρκώς τη μέγιστη ακτινοβολία, οπότε είναι απαραίτητο οι ηλιακές ακτίνες να προσπίπτουν πάντα κάθετα στην επιφάνεια του, ώστε να μεγιστοποιείται η πυκνότητα στην μονάδα επιφάνειας και να ελαχιστοποιείται η ανάκλαση στη γυάλινη επικάλυψη του πλαισίου. Εντούτοις, λόγω της συνεχούς κίνησης του ήλιου κατά την διάρκεια της ημέρας, θα πρέπει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο να παρακολουθεί συνεχώς την κίνηση του ήλιου. Ως εκ τούτου, πρέπει να τοποθετούνται και να στηρίζονται με τρόπο ανάλογο με τις απαιτήσεις κάθε συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, και σύμφωνα με στοιχεία όπως η ενέργεια που πρέπει να

παραχθεί, σύμφωνα με την οποία καθορίζεται το πλήθος των φωτοβολταϊκών στοιχείων, ο μηχανολογικός και ηλεκτρικός-ηλεκτρονικός εξοπλισμός που θα τοποθετηθεί στο σύστημα, το περιβάλλον και οι τοπικές καιρικές συνθήκες, οι οποίες καθορίζουν τη θέση και τον τρόπο στήριξης και η οικονομική δυνατότητα, η οποία περιορίζει ή επιτρέπει την εγκατάσταση ενός ακριβού, αλλά αποδοτικότερου συστήματος (Luque & Hegedus, 2003).

Καθώς για την αποδοτική λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων σημαντικό ρόλο παίζει η κατάλληλη τοποθέτηση και διάταξη των πλαισίων, αναφέρονται τρεις τρόποι, ανάλογα με την ενεργειακή απολαβή, η στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη, η εποχιακά ρυθμιζόμενη κλίση και το συνεχούς ημερήσιας παρακολούθησης ηλιοτρόπιο.

6.5.1. Στήριξη με Σταθερή Γωνία Κλίσης του Συλλέκτη

Ο συγκεκριμένος τρόπος είναι ο απλούστερος και οικονομικότερος τρόπος στήριξης που μπορεί να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός, εφόσον το μόνο σημαντικό σημείο είναι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των συλλεκτών.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στο χώρο τοποθέτησης σε όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, η γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου και κατά κανόνα ακολουθείται νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για το βόρειο ημισφαίριο, ενώ στο νότιο ημισφαίριο επιλεγούμε βόρειο.

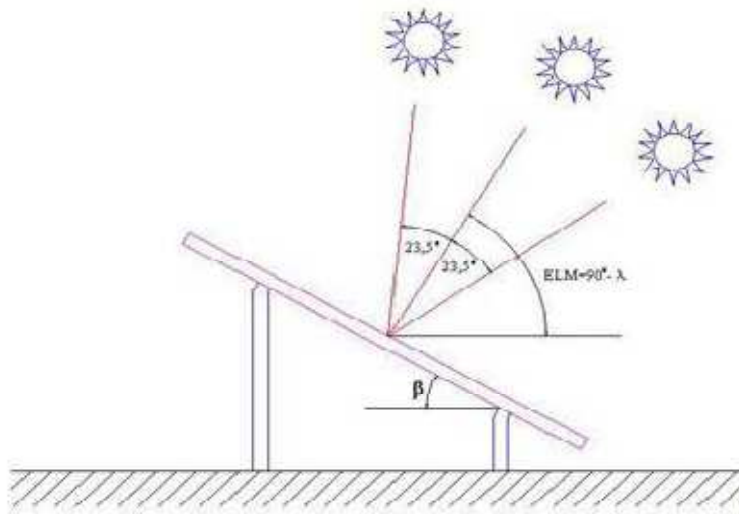
Όταν η γωνία κλίσης είναι ίση με το λ του τόπου, οι ακτίνες πέφτουν κάθετα στους συλλέκτες δυο φορές το χρόνο, το μεσημέρι των ισημεριών, Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου. Κατά το ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος, έχει το μέγιστο ύψος, ELM (maximum elevation), το οποίο μεταβάλλεται καθημερινά, από την ελάχιστη τιμή $ELM_{\text{ελαχ}}=(90^\circ-\lambda)-23,5^\circ$, στις 22 Δεκεμβρίου, μέχρι την μέγιστη $ELM_{\text{μεγ}}=(90^\circ-\lambda)+23,5^\circ$ στις 21 Ιουνίου και στην συνέχεια μειώνεται και παίρνει την τιμή της 22^{ης} Δεκεμβρίου. Η γωνία των ακτίνων κατά την μεσουράνηση του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, μεταβάλλεται από $-23,5^\circ$ έως $+23,5^\circ$.

Όταν ο συλλέκτης έχει κλίση ίση με την γωνία λ του τόπου, η μέση ημερησία τιμή της ετησίας ενεργειακής απολαβής γίνεται μέγιστη.

Για να έχουμε τη βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη, με σταθερή γωνία κλίσης, πρέπει να μελετηθούν οι κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες που επηρεάζουν την ολική διάχυτη και απευθείας ακτινοβολία καθώς και η ανακλαστικότητα του εδάφους. Για να έχουμε τη βέλτιστη γωνία κλίσης, πρέπει να καταγραφούν όλα αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία για αρκετά χρόνια και σε διαφορετικές γωνίες, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό πάντα όμως λόγω κόστους, οπότε οι μετρήσεις γίνονται με έναν αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας, όπως το πυρανόμετρο, σε οριζόντια θέση για το μέγιστο χρονικό διάστημα. Με βάση αυτές τις μετρήσεις προσδιορίζεται η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις για πλησιέστερη περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη την ανακλαστικότητα του εδάφους.

Θα πρέπει βέβαια να ληφθούν υπόψη στοιχεία όπως ότι, για τόπους με μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (>200), οι συλλέκτες τοποθετούνται με γωνία 10° - 15° , για τόπους με μικρά λ, γύρω από τον ισημερινό, η βέλτιστη γωνία είναι 0° , αν και στην πράξη τοποθετούνται με μια μικρή γωνία 5° - 10° ώστε, κατά την πλύση της επιφάνειας από το νερό της βροχής ή της πλύσης να απομακρύνονται τα διαφορά σώματα που επικάθονται (σκόνη, φύλλα, κ.α.) και για τόπους στους οποίους δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα, ο συλλέκτης τοποθετείται σε γωνία $\beta = \lambda - 10^{\circ}$. Εάν πρέπει να καλυφθούν οι χειμερινές ανάγκες για ενέργεια, η καταλληλότερη γωνία είναι $\beta = \lambda + 15^{\circ}$, ενώ εάν πρέπει να καλυφθούν οι θερινές ανάγκες για ενέργεια, τότε οι συλλέκτες τοποθετούνται με κλίση $\beta = \lambda - 15^{\circ}$. Τέλος, σε περιοχές με φυσικά εμπόδια, ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή (Luque & Hegedus, 2003).

Εικόνα 24: Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης



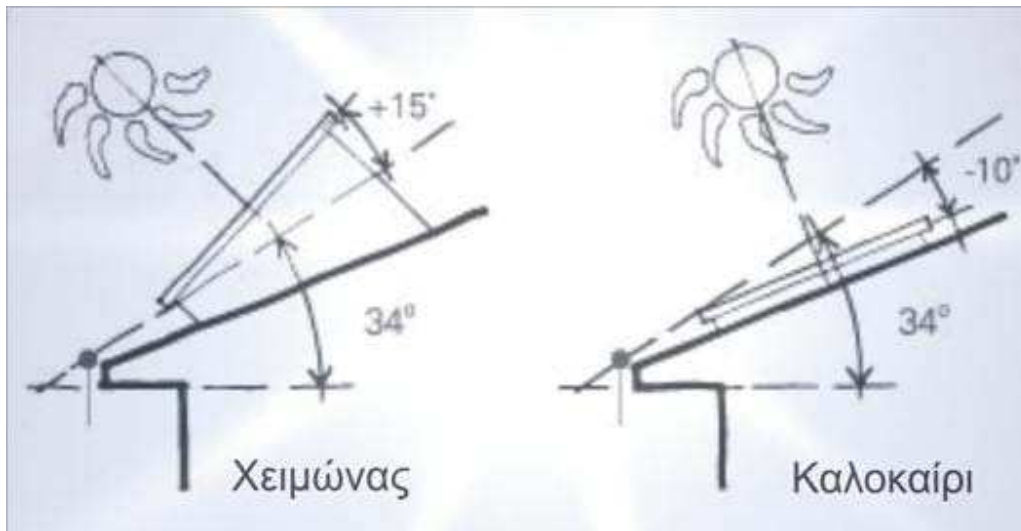
6.5.2. Στήριξη με Εποχιακή Ρύθμιση της Κλίσης του Συλλέκτη

Για να είναι μεγαλύτερη η απόδοση του συστήματος, κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Το κόστος για τη μηχανολογική κατασκευή τους δεν είναι αρκετά υψηλό και πολύπλοκο, οπότε η εποχιακή ρύθμιση μπορεί να γίνεται από τους ίδιους τους χρήστες δυο φορές τον χρόνο, μια κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου - 21 Μαρτίου) και μια κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου - 22 Σεπτεμβρίου). Η αλλαγή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η κλίση μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να πλησιάζει όσο το δυνατόν τις 90° .

Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνιάς του συλλέκτη πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνεια, άνεμοι, θερμοκρασίας, κ.λ.π.), καθώς και η ανακλαστικότητα του εδάφους, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Κατά τη χειμερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι $\beta = \lambda + (10^\circ - 15^\circ)$, ενώ κατά τη θερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία είναι $\beta = \lambda - (10^\circ - 15^\circ)$.

Αναφέρεται ότι, σε περιοχές με φυσικά εμπόδια, ο συλλέκτης τοποθετείται με τρόπο ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή κατά την διάρκεια όλου του έτους, ενώ θα πρέπει να γίνεται σωστή μελέτη και σχεδιασμός της κατασκευής ώστε και στις δυο κλίσεις να επιτυγχάνεται η βέλτιστη γωνία για μέγιστη απόδοση (Luque & Hegedus, 2003).

Εικόνα 25: Στήριξη με δυνατότητα ρύθμισης της γωνίας κλίσης



6.5.3. Συστήματα Συνεχούς Ημερήσιας Παρακολούθησης, Ηλιοτρόπια

Για υψηλότερη απολαβή ισχύος κατασκευάζονται συσκευές διαρκούς παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, οι οποίες στρέφουν τους συλλέκτες με τρόπο ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του συλλέκτη, αυξάνοντας έτσι την αποδιδόμενη ισχύ κατά 30% - 50%, σε σχέση με τους σταθερούς τρόπους στήριξης. Βρίσκουν χρήση τόσο σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές όσο και σε θερμικά συστήματα.

Ανάλογα με το είδος της κίνησης που εκτελούν, τα ηλιοτρόπια ταξινομούνται σε δυο κατηγορίες, αυτά που εκτελούν στροφή γύρω από έναν άξονα και γύρω από δύο άξονες. Στην περίπτωση όπου το σύστημα στρέφεται γύρω από έναν άξονα, ο κατάλληλος μηχανισμός το επιτυγχάνει ξεκινώντας από την ανατολή και παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου στη διάρκεια της ημέρας, καταλήγοντας στη δύση.

Διακρίνονται δυο περιπτώσεις, το αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο και το πολικό ηλιοτρόπιο. Όσον αφορά στο αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο, το σύστημα περιστρέφεται ως προς τον κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε οι ακτίνες του ήλιου να πέφτουν κάθετα στον συλλέκτη, ακολουθώντας την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου. Η επιλογή της γωνίας κλίσης των συλλεκτών έχει παρόμοια λογική με τις προηγούμενες μεθόδους, οπότε τοποθετούνται με σταθερή γωνία, η οποία επιλέγεται βάσει γεωγραφικού πλάτους. Με τη μέθοδο αυτή αυξάνεται η ισχύς περίπου κατά 25-

35%, ανάλογα βέβαια από την τοποθεσία, την ποιότητα του συστήματος και τον τρόπο ελέγχου της κίνησης.

Όσον αφορά στο πολικό ηλιοτρόπιο, το σύστημα περιστρέφεται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης, με αποτέλεσμα ο ήλιος να βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη. Κατά την διάρκεια του έτους η γωνιά μεταξύ των ακτινών του ηλίου και της κάθετης στο συλλέκτη κυμαίνεται από $-23,5^{\circ}$ έως $+23,5^{\circ}$. Η αύξηση της παραγόμενης ενέργειας φτάνει και το 40% ανάλογα την εποχή του έτους, είναι σχετικά απλό στην κατασκευή και στον έλεγχο, όμως δεν παρουσιάζει αντοχή στους ισχυρούς ανέμους, οπότε απαιτούνται ισχυρά συστήματα πέδησης για την προστασία του. Επίσης τα πλαίσια δεν τοποθετούνται ομοιόμορφα, αλλά σε τριγωνικό σχηματισμό, έτσι ώστε να μην εφάπτονται με το έδαφος το πρωί και το απόγευμα. Αν δεν εφαρμοστεί αυτός ο τρόπος τοποθέτησης μένει αρκετός χώρος αναξιοποίητος. Πολλές φορές τοποθετούνται και κάτοπτρα για την αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες (Luque & Hegedus, 2003).

Βιβλιογραφία

- Carr, A.J. & Pryor, T.L. (2004), A comparison of the performance of different PV module types in temperate climates. *Solar Energy*, 76 (1), pp. 285-294.
- Close, D. J. (1962), The performance of solar water heaters with natural circulation, *Solar Energy*, 6, pp. 33-40.
- Datta, M. Senjyu, T. Yona, A. & Funabashi, T. (2011), Photovoltaic Output Power Fluctuations Smoothing by Selecting Optimal Capacity of Battery for a Photovoltaic–Diesel Hybrid System, *Electric Power Components and Systems*, 39, pp. 621–644.
- Dincer, I. (2000), Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, pp. 157-175.
- Duffie, A. J. & Beckman, A. W. (1991), *Solar Engineering of Thermal Processes*, New York: John Wiley.
- Eltawil, M.A. & Zhao Z. (2010), Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp. 112-129.
- Gaitani, N. Mihalakakou, G. & Santamouris, M. (2007), On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces, *Building and Environment*, 42 (1), pp. 317–324
- Goetzberger, A., C. Hebling & Schock, H-W. (2003), Photovoltaic materials, history, status and outlook. *Materials Science and Engineering*, 40, pp. 1-46.
- Goldemberg, J. (2005), The promise of clean energy. *Energy Policy*, 34, pp.2185-2190.
- GreenPeace, Estela & Solar Paces (2010), *Concentrating Solar Power - Global Outlook 2009*
ανακτήθηκε στις 04-07-2013 από το
<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2009/5/concentrating-solar-power-2009.pdf>
- International Energy Agency, *Solar Power And Chemical Energy Systems, Cost Reduction study for solar thermal power plants* (1999), Enermodal Engineering Limited, ανακτήθηκε στις 05-07-2013 από το <http://arabworld.worldbank.org>

- Kaldellis, J.K. & Sotiraki J. (1999), Proceedings of the Sixth National Congress on Soft Energy Applications, Volos, Greece. Autonomous photovoltaic plants for remote islands. *Design proposals and operational study*, 1, pp. 301-308.
- Karakosta, C. & Askounis, D. (2010), Developing countries' energy needs and priorities under a sustainable development perspective: A linguistic decision support approach. *Energy for Sustainable Development*, 14, pp. 330-338.
- Lamont, L.A. & Char, L.E. (2011), Enhancement of a stand-alone photovoltaic system's performance: Reduction of soft and hard shading. *Renewable Energy*, 36, pp.1306-1310.
- Lazou, A.A. & Papatsoris, A.D. (2000), The economics of photovoltaic stand-alone residential households: A case study for various European and Mediterranean locations. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 62, pp. 411- 427
- Liu, B. Y. H. & Jordan, R.C. (1962), Daily Insolation on Surfaces Titled Toward and Equator. *ASHRAE Journal*, 3 (10), pp. 53.
- Luque, A. & Hegedus, S. (2003), *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Chichester: John Wiley & Sons.
- Manolakos, D., Papadakis, G. Papantonis, D. & Kyritsis, S. (2004), A stand-alone photovoltaic power system for remote villages using pumped water energy storage. *Energy*, 29, pp. 57-69.
- Midilli, A., Dincer, I. & Ay, M. (2005), Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy*, 34, pp. 3623-3633
- Mills, D.R. & Morrison, G.L. (2000), Compact Linear Fresnel Reflector Solar Thermal Power Plants, *Solar Energy*, 68 (3), pp. 263-283.
- Omer, A.M. (2006), Green energies and the environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, pp. 1789-1821.
- Reiche, D. & Bechberger, M. (2004), Policy differences in the promotion of renewable energies in the EU member states. *Energy Policy*, 32, pp. 843-849
- Santamouris, M. Pavlou, K. Synnefa, A. Niachou, K. & Kolokotsa, D. (2007), Recent Progress on Passive Cooling Techniques. Advanced Technological Developments to Improve Survivability levels in Low - Income Households. *Energy and Buildings*, 39, pp. 859 – 866

- Skoglund, A. Leijon, M. Rehn, A. Lindahl, M. & Waters, R. (2010), On the physics of power, energy and economics of renewable electric energy sources-Part II. *Renewable Energy*, 35(8), pp. 1735-1740
- Tanaka, S., President of Atomic Energy of Japan (2008), Foreword: For bright future of nuclear energy. *Progress in Nuclear Energy*, 50, p. 63
- The World Bank, Arab World Initiative, *MENA Assesment of the Local Manufacturing Potential for Concentrated Solar Power Projects*, ανακτήθηκε στις 29-06-2013 από το http://arabworld.worldbank.org/content/awi/en/home/research/mena_solar.html
- Tsoutsos, T., I. Mavrogiannis, N. Karapanagiotis, S. Tselepis & Agoris, D. (2004), An analysis of the Greek photovoltaic market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, pp. 49-72.
- United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP), *Renewable Energy Technologies*, ανακτήθηκε στις 29-06-2013 από το http://www.unescap.org/esd/Energy-Security-and-Water-Resources/energy/cap_building/renewable/documents/sppd/Presentation%20docs/pdf1/day3/SESSION%2010/RE%20Technologies_Notes.pdf
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs (DESA) (1987), *Report of the World Commission on Environment and Development, Our Common Future*, ανακτήθηκε στις 03-07-2013 από το http://conspect.nl/pdf/Our_Common_Future-Brundtland_Report_1987.pdf
- Zhou, W., Lou, C. Li, Z. Lu, L. & Yang, H. (2010), Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. *Applied Energy*, 87 (2), pp. 380-389.
- Αλεξιάκης, Α.Σ. (2003), *Ηλιακή ενέργεια*, Αθήνα: Σιδέρη
- Αντωνόπουλος, Κ. Α. (2004), *Θερμικά - Ηλιακά Συστήματα*, Μέρος Πρώτο. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π..
- Ζερβός, Α. (2005), *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Αθήνα: Πολυτεχνιακές Εκδόσεις
- Καλδέλλης, Ι. & Καββαδίας, Κ. (2001), *Εργαστηριακές εφαρμογές μορφών ενέργειας: αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, βιομάζα, γεωθερμία*, Αθήνα: Σταμούλη.
- Νεοκλέους, Α. & Κωνσταντινίδης, Σ. Π. (1999), *Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, Αθήνα: Ίων.

Οδηγία 2001/77/EK

Παπαδόπουλος, Μ. & Αξαρχή, Κ. (1989), *Ενεργειακός σχεδιασμός & παθητικά ηλιακά συστήματα κτιρίων*, Θεσσαλονίκη: Κυριακίδη

Περδίο, Σ. (2007), *Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις*, Αθήνα: Τσελκα-4Μ

ΤΕΕ, *Ηλιακά Συστήματα*, ανακτήθηκε στις 27-06-2013 από το http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHTES/OMADESERGASIAS/OI_PROOPTIKES_TWN_APE_STHN_ELLADA/74-90.pdf

Τσιλιγκιρίδης, Γ. (2002), *Διαχείριση ενεργειακών πόρων*, Διδακτικές Σημειώσεις. Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.