

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

715
Μ/Χ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπουδαστές:

Μπόρου Σοφία

Αποστολόπουλος Γεώργιος

με θέμα:

ΜΗΧΑΤΡΟΝΙΚΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΘΕΡΜΙΚΗΣ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Εισηγητής: Καθηγητής

Γ. Π. Δημητρόπουλος

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετώνται μηχαντρονικά υποσυστήματα φωτοθερμικής παραγωγής ενέργειας. Αρχικά γίνεται αναφορά στην ηλιακή ενέργεια και στην εκμετάλλευσή της. Η φωτοθερμική παραγωγή ενέργεια βασίζεται πάνω στην αρχή ότι το φως διεγείρει κάποιο υλικό και αυτό παράγει θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια. Οι πιο γνωστές εφαρμογές του φωτοθερμικού φαινομένου είναι τα ηλιακά συστήματα με πιο γνωστό εκπρόσωπο τους ηλιακούς θερμοσίφωνες και τα laser, και το φωτοβολταϊκά συστήματα. Στη συνέχεια μελετάται η περίπτωση ενός πρότυπου ηλιακού συλλέκτη που συνδυάζει την παραγωγή και των δύο μορφών ενέργειας. Χρησιμοποιείται στο πανεπιστήμιο Ben-Gurion National Solar Energy Center και αφορά ένα πρωτοποριακό σύστημα «συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας», μέθοδος που είναι έως και πέντε φορές πιο αποτελεσματική από την συμβατική τεχνολογία που χρησιμοποιείται σήμερα, γιατί στηρίζεται στην κυρτότητα των συλλεκτών και στα υλικά κατασκευής τους. Στη συνέχεια γίνεται συζήτηση για τα μηχαντρονικά συστήματα τα οποία στηρίζονται στους συλλέκτες και στους ελεγκτές. Σήμερα υπάρχουν αρκετά εξελιγμένοι ελεγκτές που επιτρέπουν μέχρι και την απομακρυσμένη σύνδεση με το εξεταζόμενο σύστημα. Συστήματα σαν και αυτά που μελετώνται στην παρούσα εργασία, αν και είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο, έχουν γίνει δεκτά με ενθουσιασμό και έχει αρχίσει να γίνονται οι πρώτες προσπάθειες μαζικής παραγωγής τους. Τέλος στο παράρτημα παρουσιάζονται οι ερωτήσεις που δόθηκαν στον καθηγητή David Fairman του πανεπιστημίου Ben-Gurion University of the Negev, ο οποίος ηγείται του προγράμματος για τα Ηλιακά πιάτα (Solar Dishes).



Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	7
Εισαγωγή - Φωτοθερμικές Διατάξεις Παραγωγής Ενέργειας	7
1.1. Εισαγωγή	7
1.2. Αξιοποίηση Ηλιακής Ενέργειας	8
1.2.1. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα	9
1.2.2. Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα	10
1.2.3. Φωτοβολταϊκά Συστήματα	11
1.3. Φωτοθερμικές Διατάξεις Παραγωγής Ενέργειας	14
1.3.1. Φωτοθερμικά Ηλιακά Συστήματα	14
1.3.2. Φωτοθερμική Δράση των Laser	19
1.4. Μηχαντρονικά Συστήματα	23
1.4.1. Ορισμοί	23
1.4.2. Μηχαντρονικό Σύστημα	24
1.4.3. Παραδείγματα Μηχαντρονικών Συστημάτων	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο	30
Επισκόπηση Βιβλιογραφίας στα Μηχαντρονικά υποσυστήματα για την Παραγωγή Φωτοθερμικής Ενέργειας	30
2.1. Λογισμικό καταγραφής δεδομένων και ελέγχου μιας διάταξης	30
2.2. Συλλέκτης	32
2.2.1. Θεωρία συλλέκτη	32
2.2.2. Τεχνολογική εξέλιξη συλλεκτών	36
2.3. Ελεγκτές	39
2.4. Απομακρυσμένη διαχείριση φωτοθερμικού συστήματος	40
Κεφάλαιο 3 ^ο	44
Μελέτη Περίπτωσης Φωτοβολταϊκής Μονάδας	44
3.1. Εισαγωγικά για το Ίδρυμα Ben-Gurion National Solar Energy Center	44
3.2. Χρήση συγκεντρωμένης ηλεκτρικής ενέργειας	46

Μηχατρονικά Υποσυστήματα Φωτοθερμικής Παραγωγής Ενέργειας

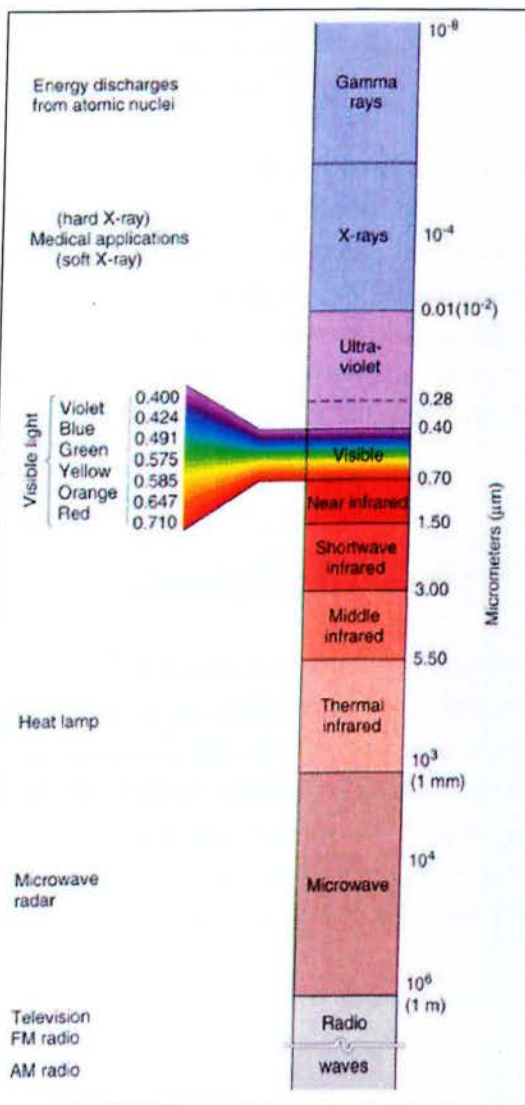
3.2.1. Ισραηλινή Παροχή Ενέργειας.....	47
Κεφάλαιο 4 ^ο Παρουσίαση Στοιχείων.....	51
4.1 Φωτοβολταϊκά Υλικά	51
4.1.1. Φωτοβολταϊκά κελια	51
4.2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα	53
4.3. Ηλιακό Σύστημα Θέρμανσης	54
4.4. Ηλιακή Οπτική	55
Κεφάλαιο 5 ^ο Συμπεράσματα Μονάδας Ηλιακού Πιάτου	56
Κεφάλαιο 6 ^ο Συμπεράσματα.....	57
Βιβλιογραφία.....	58
Παράρτημα	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Εισαγωγή - Φωτοθερμικές Διατάξεις Παραγωγής Ενέργειας

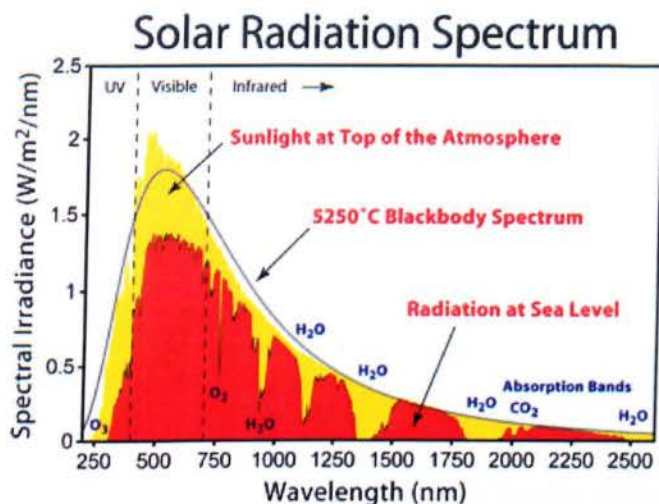
1.1. Εισαγωγή

Ο ήλιος είναι η πιο βασική πηγή ενέργειας για τον πλανήτη. Είναι μια πύρινη σφαίρα με διάμετρο 1.392.000 km, σε απόσταση $150 \cdot 10^9$ m από τον πλανήτη Γη. Συνεχώς ακτινοβολούνται προς το διάστημα τεράστιες ποσοτητες ενέργειας, διαφόρων μηκών κύματος, αποτελούμενη από φως και θερμότητα. Στη γη φτάνει με τη μορφή ακτινοβολίας μόλις το μισό του δισεκατομμυριοστού της συνολικής ακτινοβολίας και η ιονόσφαιρα και ορισμένα τμήματα της ατμόσφαιρας απορροφούν ένα μέρος της. Η ακτινοβολία διακρίνεται εύκολα από τα άλλα είδη μεταφοράς ενέργειας, καθώς α) δεν



απαιτείται παρουσία υλικού μέσου για τη διάδοση της και β) η ακτινοβολία διαδίδεται με την ταχύτητα του φωτός. Στην Εικόνα 1.1 φαίνεται το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το ηλιακό φάσμα αποτελείται από τρεις ζώνες: την υπεριώδη, την ορατή και την υπέρυθη, οι οποίες φαίνονται στην Εικόνα 1.2 μαζί με την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην κορυφή της ατμόσφαιρας της Γης και στο επίπεδο της θάλασσας. Η μέση τιμή της έντασης της ακτινοβολίας, που προσπίπτει σε κάθετο επίπεδο στις ακτίνες του ήλιου, στα όρια της ατμόσφαιρας είναι 1353 W/m^2 (ηλιακή σταθερά).

Εικ 1.1: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας [1]



Εικ 1.2: Η ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Γη [5]

Η ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται από το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο κυρίως με την μορφή ακτινοβολίας και θεωρείται μία μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι μορφές ενέργειας είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας. Η τεχνολογία σήμερα αξιοποιεί ένα μηδαμινό ποσοστό της καταφθάνουσας στην επιφάνεια του πλανήτη ηλιακής ενέργειας με τριών ειδών συστήματα: τα θερμικά ηλιακά, τα παθητικά ηλιακά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα [2].

1.2. Αξιοποίηση Ηλιακής Ενέργειας

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας έχει πάρα πολλά θετικά στοιχεία, γιατί θα υπάρχει για πάντα και δεν μολύνει καθόλου την ατμόσφαιρα της γης. Χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

1.2.1. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα στα κτίρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων το χειμώνα, καθώς και για παροχή φυσικού φωτισμού. Είναι δομικά στοιχεία του κτιρίου, που, αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο.

Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα. Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, όπως πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την «προσφέρει» στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες. Ένα νότιο οριζόντιο σκίαστρο μπορεί να εμποδίσει τον καλοκαιρινό ήλιο που έρχεται από πιο ψηλά να μπει απ' ευθείας στο χώρο. Τα υπόλοιπα παθητικά συστήματα είναι συστήματα έμμεσου κέρδους και ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ηλιακοί τοίχοι :** Έχουν στην εξωτερική τους πλευρά, σε μικρή απόσταση από την τοιχοποιία τζάμι (υαλοπίνακα) και λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού του τοίχου (τοίχος θερμικής αποθήκευσης), είτε μέσω θυρίδων (θερμοσιφωνικό πανέλο) στον εσωτερικό χώρο. Συνδυασμός των δύο λειτουργιών είναι ο τοίχος μάζας με θυρίδες τοίχος Trombe - Michel.
- **Θερμοκήπια (ηλιακοί χώροι) :** Είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή θερμότητα από το θερμοκήπιο μεταφέρεται στους κυρίως χώρους του κτιρίου μέσω ανοιγμάτων ή και διαπερνά τον τοίχο.
- **Ηλιακά αίθρια:** είναι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου οι οποίοι έχουν στην οροφή τους τζάμι και λειτουργούν όπως τα θερμοκήπια. Όλα τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού. [3]

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα συνδυάζονται και με τεχνικές φυσικού φωτισμού και με τεχνικές για το φυσικό δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι. Μπορούν δε να εφαρμοστούν τόσο σε καινούργια, όσο και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια.

1.2.2. Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα ενεργητικά ή θερμικά ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα που συλλέγουν, την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες κ.λ.π. Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες.

Η επιφάνεια ηλιακών συστημάτων που βρίσκονται σε λειτουργία στη χώρα είναι περίπου 2.800.000 m^2 (στοιχεία 2001). Ήδη, περισσότερες από 1.000.000 ελληνικές οικογένειες καλύπτουν περίπου 80% των ετησίων αναγκών τους σε ζεστό νερό χρήσης με ηλιακό θερμοσίφωνα. Η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών και η ποιότητα τους γενικά έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια. Η Ελλάδα είναι ο μεγαλύτερος εξαγωγέας σε όλη την Ευρώπη και μάλιστα σε χώρες με ιδιαίτερη βιομηχανική παράδοση, όπως η Γερμανία.

Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, ένα δοχείο αποθήκευσης της θερμότητας και σωληνώσεις. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30°-60° ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως.

Πέρα από την οικιακή χρήση, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη σήμερα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης. Έτσι, η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μία από τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία. Υπάρχουν ήδη μερικές επιτυχημένες εφαρμογές τέτοιων συστημάτων στη χώρα μας και αναμένεται να έχουν ταχεία ανάπτυξη.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην Ευρωπαϊκή αγορά είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών, κ.λπ.) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης. Είναι πάντως, πολύ σημαντικός ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος και η προσεκτική εξέταση της οικονομικότητας της εγκατάστασης για την αποφυγή λανθασμένων επιλογών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης. [4]

1.2.3. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Φ/Β) μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, εκμεταλλευόμενα το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια) φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία. Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο - Τελλούριο (CdTe) και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός. Σε αυτές τις κατασκευές, η μορφή του στοιχείου διαφέρει σημαντικά από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου, και έχει συνήθως τη μορφή λωρίδας πλάτους μερικών χιλιοστών και μήκους αρκετών εκατοστών.

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ – τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο – σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική

ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω. Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης («κομπιουτεράκι») και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές – οι αναστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φ/Β σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, μονάδα παραγωγής κλπ.) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

Σήμερα ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 – 19%.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου,
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου.

Μηχατρονικά Υποσυστήματα Φωτοθερμικής Παραγωγής Ενέργειας

Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογίσει κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 4000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά ειδικότερα, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο της για το 2020 το 20% της κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Ως προς την ηλιοθερμική ενέργεια η Ελλάδα ήταν πρωτοπόρος χώρα στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες με περίπου ένα εκατομμύριο εγκατεστημένους ηλιακούς θερμοσίφωνες, που συμβάλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας το ανεξάντλητο ηλιακό δυναμικό. Τώρα μένει να γίνει το ίδιο και ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προϋποθέσεις μάλιστα για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι ακόμα καλύτερες, αφού τα Φ/Β συστήματα παρουσιάζουν την μέγιστη παραγωγή ακριβώς εκείνες τις ώρες της ημέρας που και η κατανάλωση (ζήτηση) φτάνει στο μέγιστο και η ΔΕΗ ζητά από όλους τους καταναλωτές να περιορίσουν την ζήτηση ή αναγκάζεται να κάνει περικοπές (ελεγχόμενη συσκότιση). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα επιδοτούνται από το Ελληνικό κράτος μέσω του νέου επενδυτικού νόμου Ν. 3522/06 και του αναπτυξιακού νόμου Ν. 3299/04 για επενδυτές μεσαίας και μεγάλης κλίμακας (επιδότηση αγοράς εξοπλισμού έως και 40% ανάλογα με την περιοχή της εγκατάστασης και τα επιχειρηματικά κριτήρια που ικανοποιούνται). Στη συνέχεια, με βάση το νόμο Ν. 3468/06 για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ο επενδυτής συνάπτει δεκαετές συμβόλαιο – με μονομερή δυνατότητα ανανέωσης της σύμβασης από την πλευρά του επενδυτή για ακόμη δέκα χρόνια – για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει στον ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) για τις διασυνδεδεμένες περιοχές, ή απευθείας στη ΔΕΗ για τις μη-διασυνδεδεμένες περιοχές. Η τιμή πώλησης κυμαίνεται από 0,40 έως 0,50 Ευρώ ανά κιλοβατώρα (kWh) ανάλογα με το μέγεθος και την περιοχή της εγκατάστασης. Όμως, και ο ιδιώτης μπορεί να επωφεληθεί του νόμου 3468, πουλώντας την πλεονάζουσα ενέργεια της εγκατάστασης ιδιόχρησης που διαθέτει στις ίδιες ανταγωνιστικές τιμές, με επιπλέον όφελος φοροελάφρυνση έως και 700 Ευρώ.

Τα κίνητρα αυτά έχουν ήδη δείξει τα πρώτα αποτελέσματα, και πλέον φαίνεται η δημιουργία φωτοβολταϊκών πάρκων σε πολλές περιοχές της χώρας, και την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε καινούργια ή και παλιότερα σπίτια. [5]

1.3. Φωτοθερμικές Διατάξεις Παραγωγής Ενέργειας

Το φωτοθερμικό φαινόμενο σχετίζεται με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το φως διεγείρει κάποιο υλικό και αυτό παράγει θερμική ενέργεια (θερμότητα). Οι δύο πιο γνωστές εφαρμογές του φωτοθερμικού φαινομένου είναι τα ηλιακά συστήματα με πιο γνωστό εκπρόσωπο τους ηλιακούς θερμοσίφωνες και τα laser.

1.3.1. Φωτοθερμικά Ηλιακά Συστήματα

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή θερμότητας χρησιμοποιείται για:

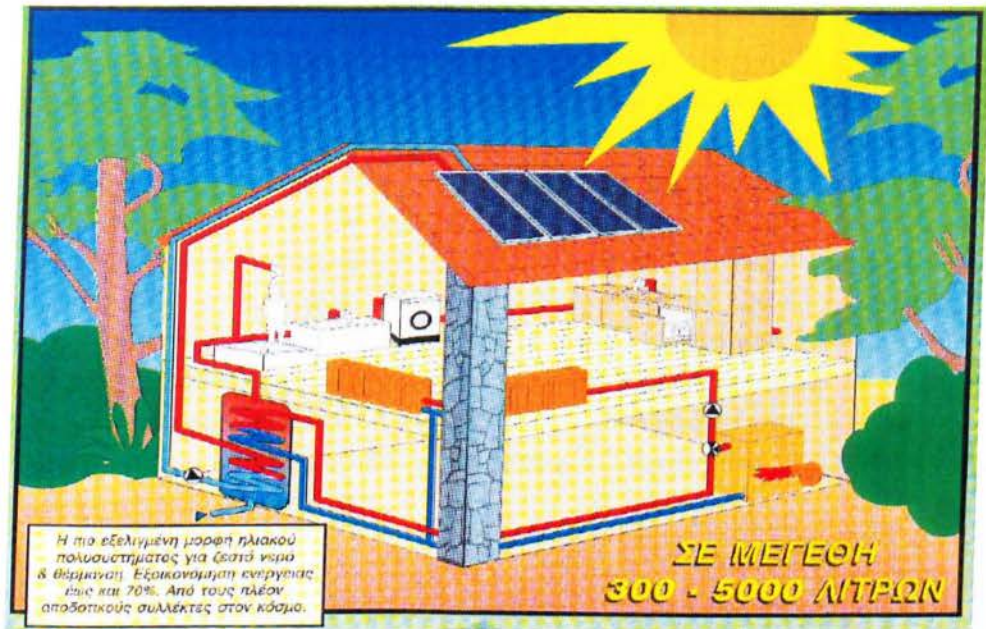
- την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (υποκατάσταση ηλεκτρισμού – καυσίμων),
- την θέρμανση χώρων (βελτίωση COP αντλιών θερμότητας - υποκατάσταση καυσίμων),
- την ψύξη χώρων (διατάξεις απορρόφησης ή αφύγρανσης, υποκατάσταση ηλεκτρικής ενέργειας) και
- την παραγωγή μηχανικού έργου (κίνηση στροβίλων).

Η Ελλάδα κατέχει μία από τις πρώτες θέσεις στην Ευρώπη τόσο στη χρήση όσο και στην παραγωγή ηλιακών συστημάτων, αφού εξάγεται περισσότερο από το 40% της εγχώριας παραγωγής συλλεκτών σε δεκάδες χώρες και σε δύσκολες αγορές (Γερμανία, Αυστρία, Κύπρος, Ισραήλ, Τουρκία). Συνολικά στον ελλαδικό χώρο λειτουργούν γύρω στα 3 εκ. m² συλλεκτών, αφού χρησιμοποιούν ηλιακό θερμοσίφωνα περισσότερα από 1.000.000 νοικοκυριά.

Οι τομείς εφαρμογών των τεχνολογιών ενεργητικών ηλιακών συστημάτων:

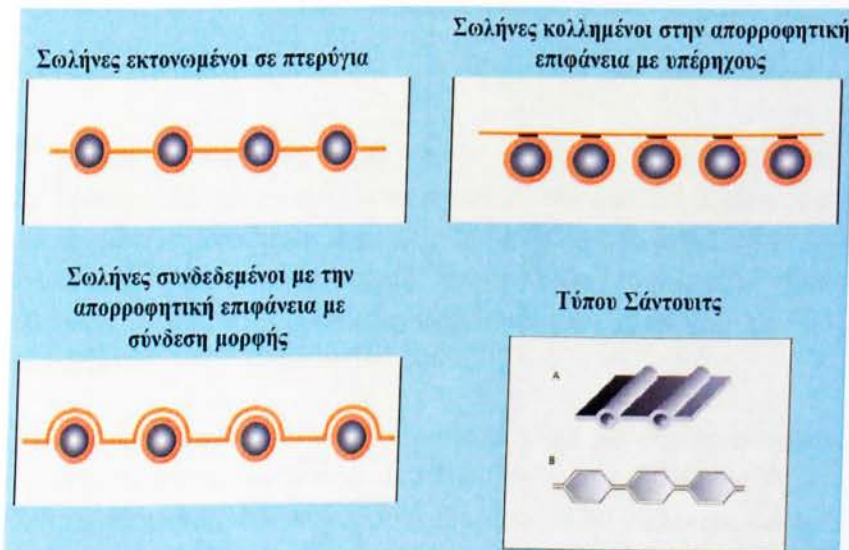
- Θέρμανση νερού χρήσης
- Θέρμανση χώρου
- Θερμοκήπια
- Ξήρανση
- Θερμότητα για βιομηχανικές εφαρμογές
- Αφαλάτωση

Το 95% της συνολικής εγκαταστημένης συλλεκτικής επιφάνειας αφορά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης στον οικιακό τομέα. Στην Εικόνα 1.3 φαίνεται το ηλιακό σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας σε νερό και θέρμανση.



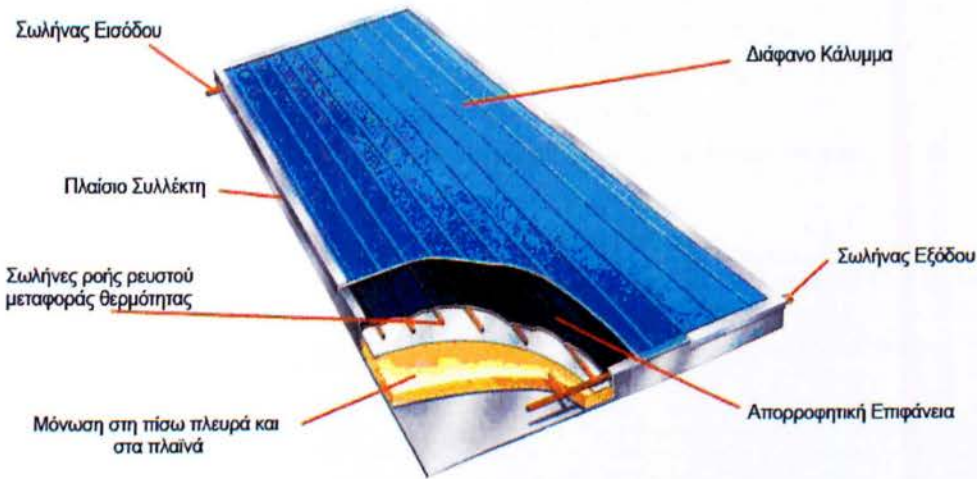
Εικ 1.3: Ηλιακό σύστημα για ζεστό νερό και θέρμανση [7]

Οι κοινοί ηλιακοί θερμοσίφωνες για τη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης χρησιμοποιούν επίπεδους συλλέκτες και αποτελούν την πιο διαδεδομένη εφαρμογή για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας με μετατροπή σε θερμότητα. Η μέση ετήσια απόδοση μετατροπής είναι περίπου 30 – 40%. Οι επίπεδοι συλλέκτες εκμεταλλεύονται την ολική ακτινοβολία και στους συλλέκτες αυτούς, επιδιώκεται βελτίωση του βαθμού απόδοσης ηR με μείωση των απωλειών ή / και με αύξηση του λόγου της απορροφητικότητας προς την ικανότητα εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας. Στην Εικόνα 1.4 φαίνονται τα διάφορα είδη απορροφητικής επιφάνειας ενός ηλιακού συστήματος.



Εικ 1.4: Είδη απορροφητικής επιφάνειας ηλιακού συστήματος[8]

Ένας τυπικός επίπεδος συλλέκτης αποτελείται από την μαύρη απορροφητική επιφάνεια στην οποία γίνεται μετατροπή της απορροφημένης ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα. Για την αύξηση της αποδοτικότητας του ηλιακού συλλέκτη η επιφάνεια του απορροφητή, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται μαύρη ματ μη επιλεκτική ηλιακή πούδρα. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό το οποίο κυκλοφορεί μέσα στους αγωγούς διέλευσης του ρευστού που είναι ενσωματωμένοι στον απορροφητή. Ο απορροφητής καλύπτεται στην πάνω πλευρά από ένα διαφανές κάλυμμα που μειώνει τις απώλειες λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας προς την ατμόσφαιρα, η πλάτη και τα πλαϊνά του απορροφητή είναι μονωμένα για περιορισμό των απωλειών προς το περιβάλλον. Όλα τα παραπάνω βρίσκονται «συσκευασμένα» σε ένα μεταλλικό συνήθως πλαίσιο που προσφέρει προστασία από τις καιρικές συνθήκες και ακαμψία. Στην Εικόνα 1.5 φαίνεται η τομή ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.



Εικ 1.5: Η τομή ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη [8]

Οι επίπεδοι συλλέκτες χωρίζονται ανάλογα με το ρευστό που θερμαίνουν σε συλλέκτες αέρα και σε συλλέκτες υγρού. Η συντριπτική πλειοψηφία των διαθέσιμων συλλεκτών σήμερα είναι υγρού, ενώ οι συλλέκτες αέρα είναι ακόμα στο στάδιο ανάπτυξης. Για την κατασκευή των επίπεδων συλλεκτών χρησιμοποιείται μια πληθώρα υλικών στην οποία περιλαμβάνονται ο χαλκός, ο χάλυβας, το αλουμίνιο, διάφορα είδη γυαλιού, μονωτικά κ.α.

Παρόλο που στην Ελλάδα δεν υφίσταντο μέχρι πρόσφατα πιστοποιητικά ποιότητας για τους ηλιακούς συλλέκτες, από την ίδρυση της EBHE το 1978 και μετά για να γίνει κανείς μέλος, αναγκαία προϋπόθεση αποτελεί ο έλεγχος και η πιστοποίηση των προϊόντων του. Με αυτόν τον τρόπο επιχειρείται η διασφάλιση της αγοράς των φωτοθερμικών συστημάτων μετά τις συχνά ελαττωματικές εγκαταστάσεις των

Μηχατρονικά Υποσυστήματα Φωτοθερμικής Παραγωγής Ενέργειας

πρώτων χρόνων. Στη χώρα υπάρχει μόνο ένα εργαστήριο πιστοποίησης συλλεκτών το οποίο κάνει ελέγχους σύμφωνα με το EN 45001. Ανήκει στο κρατικό ερευνητικό κέντρο «Δημόκριτος» και παρέχει πιστοποιητικά για ISO 9806-1, ISO 9806-2 και ISO 9459-2. Το 2001 ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ) αντικατέστησε τα προηγούμενα πρότυπα με τα: ELOT EN 12975-1 & 2, ELOT EN 12976-1 & 2 και ELOT EN 12977-1, 2 & 3.

Τα πιο κοινά υλικά κατασκευής ενός ηλιακού συστήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Σήμερα στην πλειοψηφία τους οι Ελληνικές κατασκευαστικές εταιρείες χρησιμοποιούν σωλήνες χαλκού με πτερύγια για να κατασκευάσουν τον απορροφητή ενώ λίγοι είναι σήμερα οι παραγόμενοι συλλέκτες τύπου σάντουιτς, οι οποίοι αποτελούσαν την πλειοψηφία τα πρώτα χρόνια.

Πίνακας 1: Υλικά κατασκευής ενός συστήματος παραγωγής ζεστού νερού [17]

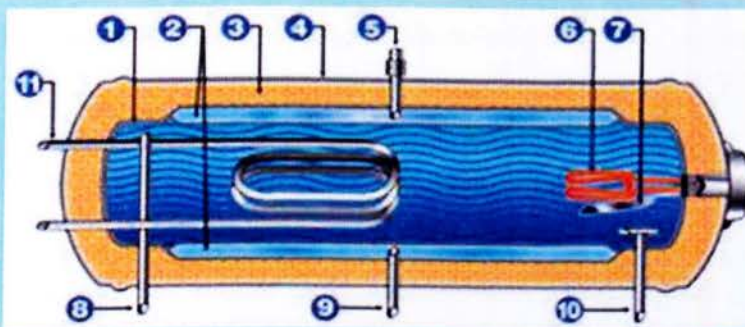
Υλικά απορροφητή	Χαλυβδοέλασμα ή ανοξείδωτη λαμαρίνα Πτερύγια αλουμινίου ή χαλκού συγκολλημένα σε σωλήνες ανοξείδωτου χάλυβα Σωλήνες χαλκού εκτονωμένοι σε πτερύγια αλουμινίου
Επιφάνεια απορροφητή	Μαύρη βαφή Επικάλυψη με επιλεκτική βαφή
Μόνωση	Υαλοβάμβακας σε συνδυασμό με PU-non CFC / PU-non CFC
Υλικό καλύμματος	Ηλιακό Τζάμι 3 - 5 mm Πλαστικό τζάμι - Plexiglass
Πλαίσιο συλλέκτη	Αλουμίνιο Ανοξείδωτος χάλυβας
Δεξαμενή αποθήκευσης	Χαλυβδοέλασμα Ανοξείδωτος / Γαλβανισμένος χάλυβας Υάλωση, Χαλκός
Κάλυμμα δεξαμενής	Αλουμίνιο Ανοξείδωτος χάλυβας Χαλυβδοέλασμα

Για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών προς το περιβάλλον, συνηθίζεται η χρήση μονωτικών υλικών στην πίσω πλευρά και στα πλαϊνά του ηλιακού συλλέκτη. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ποικίλουν. Ο υαλοβάμβακας υψηλής ποιότητας και ο πετροβάμβακας εμφανίζουν καλές μονωτικές ιδιότητες και αντοχή στις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μέσα στον συλλέκτη. Όπως όλα τα μονωτικά υλικά, είναι απαραίτητο να προστατευθούν από την υγρασία. Χρησιμοποιούνται σε πάχη μέχρι και 5 cm καθώς το όφελος για μεγαλύτερα πάχη είναι μηδαμινό. Στην Ελληνική βιομηχανία χρησιμοποιούνται όλα τα παραπάνω μονωτικά υλικά εξολοκλήρου ή και

σε συνδυασμό μεταξύ τους (αφρός πολουρεθάνης στη πίσω πλευρά με πετροβάμβακα στα πλαϊνά για παράδειγμα).

Οι Έλληνες κατασκευαστές στο μεγαλύτερο ποσοστό, σχεδόν 90%, χρησιμοποιούν ηλιακό τζάμι χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο, πάχους 3 – 5 mm ως κάλυμμα για των συλλέκτη, ενώ πολύ λίγοι είναι αυτοί που κάνουν χρήση Plexiglas. Για το πλαίσιο του συλλέκτη χρησιμοποιούν σχεδόν αποκλειστικά αλουμίνιο για τα πλαϊνά και γαλβανισμένη λαμαρίνα για το πίσω μέρος.

Όσο αφορά τις δεξαμενές αποθήκευσης του ζεστού νερού χρήσης, αυτές κατασκευάζονται κυρίως από χάλυβα και σχετικά πρόσφατα από χαλκό. Ο εναλλάκτης σήμερα είναι τύπου μανδύα σε αντίθεση με τα πρώτα χρόνια όπου κυριαρχούσε η σερπαντίνα. Το δοχείο περιβάλλεται από μόνωση, συνήθως πολουρεθάνη, και προστατεύεται από τις καιρικές συνθήκες από ένα εξωτερικό κύλινδρο κατασκευασμένο συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα ή αλουμίνιο. Οι δεξαμενές μπορούν ανάλογα με τον κατασκευαστή να είναι οριζόντιες ή κάθετα τοποθετημένες.[6] Στην Εικόνα 1.5 φαίνεται η τομή της δεξαμενής του ηλιακού θερμοσίφωνα.



- | | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Stainless Steel Boiler | 7. Anti-corrosion protection |
| 2. Heat Exchanger (mantle type) | 8. Hot water supply pipe |
| 3. Insulation (PU70mm) | 9. Closed loop circuit pipe |
| 4. External boiler casing | 10. Domestic water inlet pipe |
| 5. Safety valve | 11. Coil for auxiliary thermal source |
| 6. Electrical resistance | |

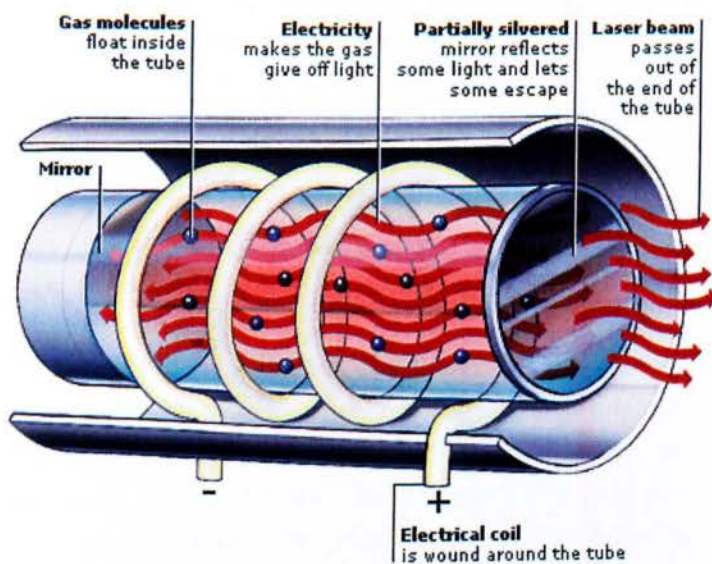
Εικ 1.5: Η δεξαμενή του ηλιακού θερμοσίφωνα [7]

1.3.2. Φωτοθερμική Δράση των Laser

Η λέξη λείζερ προέρχεται από τα αρχικά της αγγλικής φράσης Laser: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) που στην ελεύθερη μετάφρασή του στα ελληνικά είναι η ενίσχυση του φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας και ο όρος αυτός αφορά και τις συσκευές που παράγουν τις αντίστοιχες ακτινοβολίες. Τα λείζερ παράγουν σύμφωνο, μονοχρωματικό φως (δηλαδή φως με συγκεκριμένο μήκος κύματος) το οποίο διαδίδεται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, σχηματίζοντας στενές δέσμες. Αντίθετα, οι συνηθισμένες πηγές φωτός, όπως οι κλασσικοί λαμπτήρες πυρακτώσεως, παράγουν μη-σύμφωνο φως προς όλες τις διευθύνσεις και, επιπλέον, έχουν μεγάλο φασματικό εύρος. Η λειτουργία των λείζερ υπόκειται στις αρχές των θεωριών της κβαντικής μηχανικής και της θερμοδυναμικής. Έχουν δημιουργηθεί πολλοί τύποι λείζερ από διαφορετικά υλικά, τα οποία έχουν χαρακτηριστικά για να αποτελέσουν ενεργό υλικό των λείζερ, παράγονται μεγάλο εύρος δυνατοτήτων και ώστε να χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος εφαρμογών.

Η τεχνική παραγωγής ακτινών laser βασίζεται στην απορρόφηση φωτονίων από κατάλληλα υλικά (στερεά, υγρά ή αέρια), των οποίων τα άτομα, τα μόρια ή τα ιόντα βρίσκονται σε κατάσταση διέγερσης μέσω της πρόσληψης ενέργειας. Κατά τη μετάβαση των ηλεκτρονίων που περιβάλλουν τα άτομα από μια ανώτερη ενεργειακή στάθμη σε μια κατώτερη (αποδιέγερση), η προσληφθείσα επί πλέον ενέργεια αποβάλλεται υπό μορφή ακτινοβολίας. Η διαδικασία αυτή δεν γίνεται όμως αυθόρμητα, όπως στις κλασσικές πηγές, αλλά με την επίδραση ενός εξωτερικού αιτίου, των φωτονίων που απορροφώνται, με αποτέλεσμα τα διεγερμένα άτομα κατά τη στιγμή της αποδιέγερσής τους να εκπέμπουν ακτινοβολία που έχει την ίδια φάση και την ίδια κατεύθυνση διάδοσης με αυτήν που έχουν προσλάβει. Η ακτινοβολία των φωτονίων αυτών έχει ενέργεια (και μήκος κύματος) χαρακτηριστική της ενεργειακής διαφοράς μεταξύ των σταθμών. Τα άτομα πολλών στοιχείων έχουν μετασταθείς ενεργειακές καταστάσεις. Τα φωτόνια που εκπέμπονται σε μετασταθείς ενεργειακές καταστάσεις καθυστερούν της προπορευόμενης εκπομπής της ακτινοβολίας που προήλθε από την απευθείας μετάπτωση στη βασική στάθμη. Τα άτομα που είναι κατάλληλα για τη δράση των laser έχουν τουλάχιστον μια τέτοια μετασταθή στάθμη. Όταν ένα φωτόνιο το οποίο εκπέμπεται από ένα άτομο σε μια μετασταθή στάθμη περάσει κοντά από ένα άτομο που βρίσκεται στην ίδια κατάσταση, μπορεί να το διεγείρει και το τελευταίο να εκπέμψει ένα φωτόνιο ακτινοβολίας η οποία έχει την ίδια ενέργεια (μ.κ.), διεύθυνση, κατάσταση πόλωσης και φάση με το αρχικό φωτόνιο. Το κάθε ένα από τα διεγερμένα φωτόνια μπορεί να προκαλέσει την εκπομπή και άλλων παρόμοιων φωτονίων. Αυτή η συνεχής παραγωγή φωτονίων σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο μέσος χρόνος παραμονής των ηλεκτρονίων στη διεγερμένη κατάσταση είναι μερικά δευτερόλεπτα ενώ στη μετασταθή ο χρόνος αυτός μπορεί να φτάσει μέχρι και 100 ns, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ηλεκτρονίων σε μια ενεργειακή στάθμη σε σχέση με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που αντιστοιχεί σε μια χαμηλότερη ενεργειακά στάθμη. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται αντιστροφή πληθυσμού. [9]

Τα λέιζερ αποτελούνται από το ενεργό υλικό, και την οπτική κοιλότητα. Το ενεργό υλικό μετατρέπει την εξωτερική ενέργεια σε δέσμη φωτός. Συνήθως είναι υλικό με συγκεκριμένο μέγεθος, σύσταση, καθαρότητα και μορφή, που παράγει φως μέσω εξαναγκασμένης εκπομπής, η οποία αποτελεί κβαντομηχανική διαδικασία που προτάθηκε από τον Αλβέρτο Αϊνστάιν για να ερμηνεύσει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Το ενεργό υλικό αντλείται από μία εξωτερική πηγή ενέργειας. Τέτοιες πηγές μπορεί να είναι ηλεκτρικές ή φωτεινές, όπως η λυχνία έκλαμψης (flash lamp) ή κάποια άλλη πηγή λέιζερ. Η ενέργεια που απορροφάται αποτίθεται στα σωματίδια του ενεργού υλικού έτσι, ώστε αυτά να οδηγηθούν σε μια διεγερμένη κβαντική κατάσταση. Όταν ο αριθμός των σωματιδίων που βρίσκονται στην διεγερμένη κατάσταση είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των ατόμων που βρίσκεται στην βασική κατάσταση, επιτυγχάνεται αντιστροφή πληθυσμού. Έτσι λοιπόν, μία δέσμη φωτός που περνάει μέσα από το υλικό έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να οδηγήσει σε εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων από ότι σε εξαναγκασμένη απορρόφηση, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ενίσχυση της δέσμης. Ένα διεγερμένο ενεργό υλικό μπορεί να λειτουργήσει επίσης και σαν οπτικός ενισχυτής.



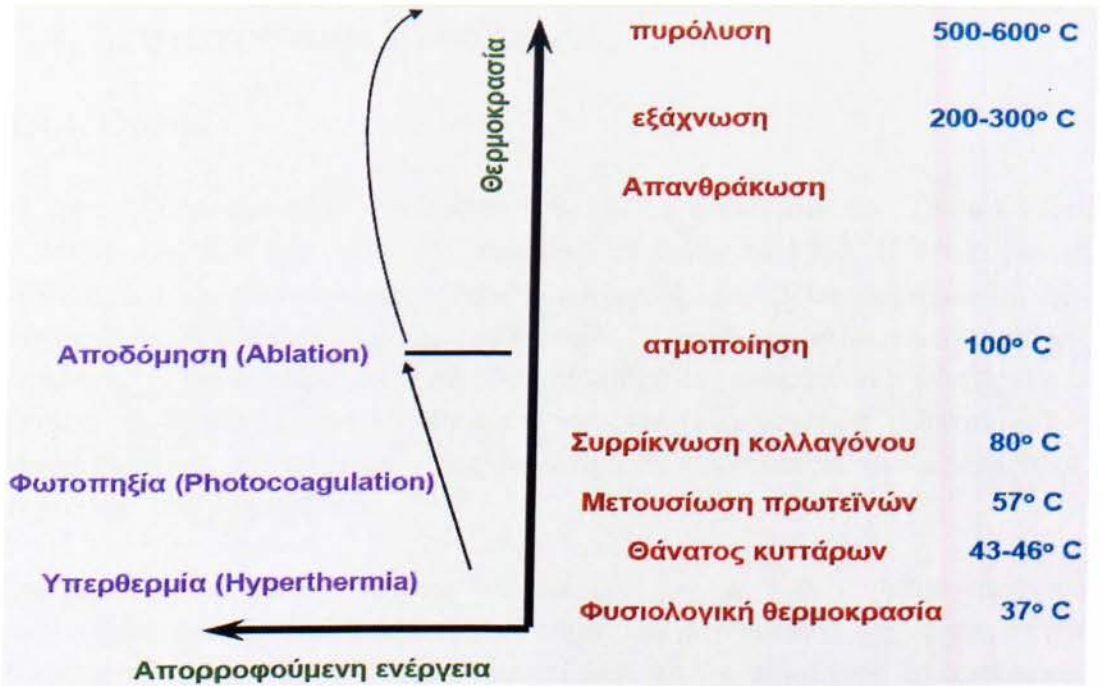
Εικ 1.6: Η τομή και η αρχή λειτουργίας του laser

Τα χαρακτηριστικά του φωτός που παράγονται από εξαναγκασμένη εκπομπή είναι παρόμοια με αυτά του αρχικού φωτός, ως προς το μήκος κύματος, την πόλωση και την φάση. Έτσι λοιπόν, το φως του λέιζερ που παράγεται είναι σύμφωνο, ενώ η σταθερότητα της πόλωσης και η μονοχρωματικότητα εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της οπτικής κοιλότητας.

Η οπτική κοιλότητα αποτελεί παράδειγμα κοιλότητας ταλάντωσης και περιέχει μια σύμφωνη δέσμη φωτός μεταξύ δύο ανακλαστικών επιφανειών, έτσι ώστε κάθε φωτόνιο να περνά τουλάχιστον δύο φορές από το ενεργό υλικό προτού φύγει από την οπή εξόδου της πηγής λέιζερ ή χαθεί λόγω απορρόφησης ή περίθλασης. Αν η ενίσχυση που προέρχεται από την επαναλαμβανόμενη διέλευση του φωτός μέσα από το ενεργό υλικό είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες της κοιλότητας, τότε εμφανίζεται

εκθετική αύξηση της ισχύς του φωτός μέσα στην κοιλότητα. Όμως, κάθε εξαναγκασμένη εκπομπή αναγκάζει ένα σωματίδιο να επιστρέψει από την διεγερμένη κατάσταση στην βασική, μειώνοντας έτσι την ικανότητα του ενεργού υλικού για επιπλέον ενίσχυση. Όταν αυτό το φαινόμενο μεγιστοποιείται τότε λέμε ότι η ενίσχυση έχει φτάσει σε κορεσμό. Η συνθήκη όπου η ισχύς άντλησης γίνεται περίπου ίση με την τιμή κορεσμού της ενίσχυσης και με τις απώλειες της κοιλότητας οδηγεί σε κατάσταση ισορροπίας της ισχύς του λέιζερ μέσα στην κοιλότητα. Αυτή η τιμή ισορροπίας καθορίζει και το σημείο λειτουργίας του λέιζερ. Αν η ισχύς άντλησης είναι πολύ μικρή, η ενίσχυση δεν είναι αρκετή ώστε να καλυφθούν οι απώλειες του ταλαντωτή, με αποτέλεσμα να εκπέμπεται πολύ μικρή ένταση λέιζερ. Η ελάχιστη τιμή ισχύς άντλησης που απαιτείται για την παραγωγή λέιζερ ονομάζεται κατώφλι λέιζερ. Το ενεργό υλικό ενισχύει οποιοδήποτε φωτόνιο περάσει μέσα από αυτό, αλλά μόνο αυτά που είναι ευθυγραμμισμένα με την κοιλότητα μπορεί να περάσουν περισσότερο από μια φορά μέσα από το ενεργό υλικό για να επιτευχθεί σημαντική ενίσχυση. [10]

Η φυσιολογική θερμοκρασία του σώματος είναι 37 °C. Αν οι μαλακοί ιστοί θερμανθούν, από το επίπεδο αυτό στο επίπεδο των 60 °C, για κάποιο μικρό χρόνο, καμία αλλαγή δε θα παρατηρηθεί στη δομή τους. Πάνω όμως από τους 60 °C αρχίζει η διαδικασία της πήξης. Στην πήξη η μόνη μακροσκοπικά παρατηρούμενη αλλαγή είναι μια λεύκανση της ακτινοβοληθείσας επιφάνειας. Αυτή η λεύκανση φανερώνει ανάκλαση όλων των ορατών μηκών κύματος του φωτός και προκαλείται από βασικές αλλαγές στη δομή του ιστού, κάτι που οδηγεί σε αυξημένη σκέδαση και πολλαπλές διαθλάσεις και ανακλάσεις της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Ο μηχανισμός της πήξης επικεντρώνεται στη μετουσίωση των πρωτεϊνών, δηλαδή στο ότι ο μοριακός τύπος της πρωτεΐνης που βρίσκεται σε κάθε μέρος του σώματος μας γίνεται ασταθής και οι αλυσίδες της ξεδιπλώνουν, δημιουργώντας έτσι ένα είδος μεταβολής φάσης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μετουσίωση του κολλαγόνου, των ινών δηλαδή από τις οποίες αποτελείται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό το βασικό πλέγμα των συνδετικών ιστών του σώματος, καθώς και των τοιχωμάτων των αιμοφόρων αγγείων. Όταν ο ιστός θερμαίνεται στους 100 °C μπορεί να συμβεί μια πιο δραματική αλλαγή φάσης. Αφού τα κύτταρα του σώματος μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκονται κάτω από κανονικές συνθήκες πίεσης 1 atm, το νερό των κυττάρων θα αρχίσει να βράζει' αυτήν τη θερμοκρασία. (Τα στοιχεία ηλεκτρολυτών που ενυπάρχουν στο νερό μεταβάλλουν το σημείο βρασμού μόνο κατά 0.15 °C). Όταν το νερό έχει εξαφανισθεί τελείως, η συνεχιζόμενη ακτινοβολία αυξάνει τη θερμοκρασία του υλικού πολύ γρήγορα, μέχρις ότου η θερμοκρασία φθάσει στους 300 έως 400 °C. Στο σημείο αυτό ο ιστός μαυρίζει, απανθρακώνεται και αρχίζει να παράγει ατμούς και καπνό. (Εικόνα 1.7)



Εικ 1.7: Φωτοθερμικές αλλοιώσεις σε ιστούς που ακτινοβολούνται με laser [10]

Πάνω από τους 500 °C, παρουσία ατμοσφαιρικού οξυγόνου, ο ιστός θα καεί και θα εξαχνωθεί, αιτίες για την δημιουργία ανεπιθύμητων περιοχών νέκρωσης ή άλλης βλάβης στον ιστό, γύρω από το σημείο εφαρμογής του laser. Για να ελαχιστοποιηθεί η διάχυση της θερμότητας, το βάθος απορρόφησης της ακτινοβολίας laser πρέπει να περιοριστεί στο λεπτότερο στρώμα κοντά στην επιφάνεια του ιστού. Επίσης η διάχυση της θερμότητας συνδέεται με το χρόνο θερμικής αποκατάστασης του υλικού. Οι υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για την αλλαγή φάσης, χωρίς να θερμανθούν οι παρακείμενοι ιστοί, επιτυγχάνονται μόνο εάν η έκθεση του ιστού στην ακτινοβολία είναι μικρότερη από το χρόνο θερμικής αποκατάστασης. [11]

1.4. Μηχατρονικά Συστήματα

1.4.1. Ορισμοί

Ο όρος "Μηχανοτρονική" επινοήθηκε για πρώτη φορά από τον Tetsuro Mori, ανώτερο μηχανικό της ιαπωνικής εταιρείας Yaskawa, το 1969. Η Μηχατρονική εναλλακτικά, μπορεί να αναφέρεται και ως η Επιστήμη των "Ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων" ή λιγότερο συχνά ως η Επιστήμη "ελέγχου και του αυτοματισμού της μηχανικής". Γενικά μπορεί να υποθεί ότι μηχανοτρονική ονομάζεται η επιστήμη που συνδέει τη Μηχανο-(λογία) (Mechanics) και την (Ηλεκ)τρονική (Electronics) = Μηχανοτρονική (Mechatronics). Στη βιβλιογραφία συναντώνται και οι δύο όροι: μηχανοτρονική, μηχατρονική.

Ένας ορισμός για την μηχανοτρονική αναφέρεται από τον Hewit : Μηχανοτρονική είναι η συνεργατική ολοκλήρωση της επιστήμης του μηχανολόγου μηχανικού με την ηλεκτρονική και τον ευφυή έλεγχο στο σχεδιασμό και την κατασκευή προϊόντων και διαδικασιών. Η πιο σημαντική λέξη σε αυτό τον ορισμό είναι η συνεργατικότητα. Με τον όρο συνέργια εννοείται η ολοκλήρωση των επιμέρους επιστημών σε μία, έτσι ώστε το αποτέλεσμα να συνιστά ένα νέο ανώτερο επίπεδο συγκρινόμενο με την απλή άθροιση των σχεδιαστικών αποτελεσμάτων σε κάθε επιστημονική περιοχή χωριστά.[11]

Σύμφωνα με την UNESCO ως Μηχατρονική ορίζεται η επιστήμη όπου: "Η συνεργατική ολοκλήρωση της μηχανολογίας με την ηλεκτρονική και τον ευφυή υπολογιστή ελέγχου στον σχεδιασμό και την κατασκευή των προϊόντων και διαδικασιών." Ένας επιπλέον ορισμός είναι ότι Μηχατρονική αφορά τη γενικότερη φύση μελέτης και κατασκευής ευφυών μηχανικών συστημάτων." Γενικότερα κάτω από τέτοιου είδους ορισμούς, ως Μηχατρονική μπορεί να οριστεί κάθε διαδικασία λήψης αποφάσεων που περιέχει ένα βαθμό πολυπλοκότητας και εφαρμόζεται στη λειτουργία των φυσικών συστημάτων.

Μικροηλεκτρονικά
Ηλεκτρονικά ισχύος
Αισθητήρες
Ενεργοποιητές



Μηχανικά στοιχεία
Μηχανές
Μηχανισμοί ακριβείας
Ηλεκτρικά στοιχεία

Θεωρία Συστημάτων
Μοντελοποίηση
Τεχνολογία αυτοματισμού
Λογισμικό
Τεχνητή νευρική σύνδεση

Εικόνα 1.8: Η μηχατρονική σαν άθροισμα επιστημονικών υποενοτήτων.[32]

Στην φιλοσοφία της μηχανικής, ο ενσωματωμένος υπολογιστής ελέγχου είναι το κεντρικό στοιχείο, και ο πυρήνας της τεχνολογίας η οποία την καθιστά την μηχανική ένα μοναδικό τομέα. Ψηφιακά και αναλογικά κυκλώματα, μαζί με επενεργητές και επιστημονικά όργανα περιβάλλουν άμεσα τον υπολογιστή ελέγχου και λειτουργούν προσαρμοστικά μεταξύ του υπολογιστή και του ελεγχόμενου φυσικού συστήματος. Τα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν το κάθε σύγχρονο μηχανικό σύστημα, καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από την εφευρετικότητα και αποτελεσματικότητα του ενσωματωμένου σε αυτό λογισμικού. Τα παρεμβαλλόμενα στοιχεία υποστηρίζουν το λογισμικό αυτό παρέχοντας του τις τρέχουσες πληροφορίες από το ελεγχόμενο σύστημα και μεταφράζοντας τις εντολές του σε ενεργή παροχή διαμορφωμένης ισχύος.

Η μηχανική όπως προαναφέρθηκε, πρόκειται να συγχωνεύσει τις πιο πάνω επιστήμες και να περιγράψει αντί διάφορων προτύπων ένα γενικό ολιστικό Μηχατρονικό σύστημα. Τα συστήματα της Μηχανικής έχουν το στόχο να μετατρέψουν με την τεχνολογία που τα διέπει - Επεξεργαστές, Ενεργοποιητές, Αισθητήρες κτλ - την μορφή της ενέργειας αλλά και των υλικών, την μεταφορά τους και την περαιτέρω επεξεργασία τους καθώς και τη μεταφορά ή/και αποθήκευση των πληροφοριών.

1.4.2. Μηχατρονικό Σύστημα

Ένα μηχανικό σύστημα αποτελείται κυρίως από μηχανισμούς

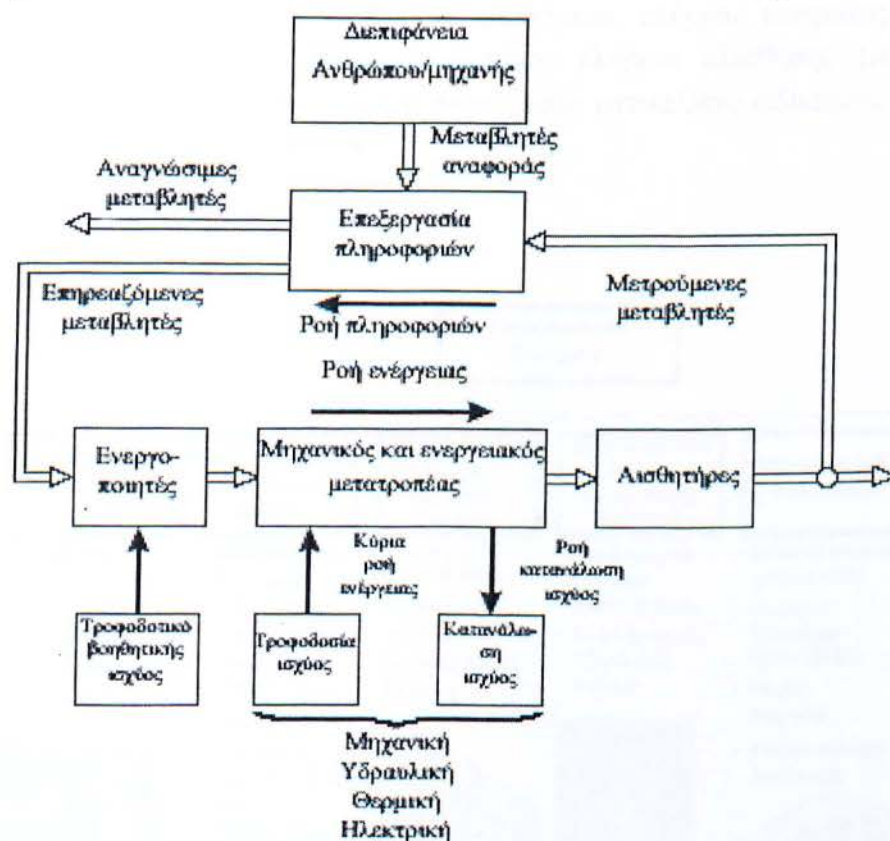
- Κίνησης,
- Ελέγχου και
- Αισθητήρες.

Η παραδοσιακή μηχανική αποτελείται μόνο από μηχανισμούς και ενεργοποιητές, και προαιρετικά μπορεί να ενσωματωθεί ο έλεγχος. Η μηχανική ενσωματώνει όλες τις απαιτούμενες προϋποθέσεις για έλεγχο κλειστού βρόχου και ως εκ τούτου και τους ανάλογους αισθητήρες

Ένα μηχανικό σύστημα είναι ένα σύστημα το οποίο ενσωματώνει την ψηφιακή επεξεργασία σήματος και την έκδοση του σήματος αυτού σε ένα τελικό σημείο δράσης μέσω ενός ενεργοποιητή, δημιουργώντας κινήσεις ή ενέργειες σχετικά με το σύστημα. Είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα με αισθητήρες, μικροεπεξεργαστές και ελεγκτές.

Τα συστήματα μηχανικής μπορούν να διακριθούν έτσι σε ομάδες λειτουργίας, να διαμορφωθούν σε εκείνους τους βρόχους αυτόματου ελέγχου και να αποτελέσουν μέρος των ενότητων με τα μηχανικά - ηλεκτρικά - μαγνητικά - θερμικά - οπτικά στοιχεία τους και την τεχνολογία αισθητήρων, με σκοπό τη συλλογή των μετρημένων μεταβλητών της επιβλέπουσας κατάστασης, την ενεργοποίηση την κανονικοποίηση και τον έλεγχο καθώς επίσης και επεξεργασία και την πληροφορική στην επεξεργασία δεδομένων.

Ένα τυπικό μηχανικό σύστημα αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:



Εικ. 1.9: Ένα μηχανικό σύστημα με τα βασικά σημεία του [32]

1.4.3. Παραδείγματα Μηχατρονικών Συστημάτων

Κλασικά παραδείγματα μηχανικών συστημάτων είναι:

- 1) Χειρισμός/συστήματα ρομπότ
- 2) Ενότητες εργαλειομηχανών
- 3) Ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές

- 4) Κίνηση και έλεγχος φορέα CD/DVD Player
- 5) Ανεμογεννήτριες
- 6) Αντιολισθητικά συστήματα
- 7) Ηλεκτρονικά προγράμματα σταθερότητας οχημάτων

Ειδικά για τα δύο τελευταία παραδείγματα, τα ηλεκτρονικά και το λογισμικό αντικαθιστούν τα μικρότερης ακρίβειας, πιο ευπαθή και πιο ακριβά αναλογικά μηχανικά συστήματα με ψηφιακό ηλεκτρονικό έλεγχο, όπως τα συστήματα αντιεμπλοκής πέδησης (ABS) τα συστήματα ελέγχου μείγματος, προπορείας, σπινθρισμού (ECU) και τα συστήματα ελέγχου ολίσθησης (ASP/ESP) στα αυτοκίνητα. Παγκοσμίως η μηχαντρονική είναι αντικείμενο ειδικεύσης μηχανολόγων ή μηχανικών παραγωγής. [14]



Εικ 1.10. Παραδείγματα κλασικών μηχαντρονικών υποσυστημάτων [32]

Ο Isermann υποστηρίζει ότι για να σχεδιαστεί μηχαντρονικά ένα σύστημα απαιτείται η ολοκλήρωση των συστατικών του και η ολοκλήρωση της επεξεργασίας της πληροφορίας. Σαν αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι ο σχεδιασμός απλών στιβαρών μηχανολογικών συστημάτων με διαύλους επικοινωνίας και αυτόνομες μονάδες. Οι νόμοι ελέγχου προσδίδουν ιδιότητες στο προϊόν/σύστημα αυτοελέγχου και ιδιότητες μάθησης. Μια σύγκριση των ιδιοτήτων των προϊόντων/συστημάτων που σχεδιάζονται με τη μηχαντρονική προσέγγιση και τον κλασικό τρόπο φαίνεται στον Πιν. 1.2. [12]

Μηχατρονικά Υποσυστήματα Φωτοθερμικής Παραγωγής Ενέργειας

ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	ΜΗΧΑΝΟΤΡΟΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ
Αθροιζόμενα συστατικά	Ολοκλήρωση των συστατικών (υλικό)
Ογκώδης κατασκευή.	Στιβαρή κατασκευή.
Πολύπλοκοι μηχανισμοί.	Απλοί μηχανισμοί.
Προβλήματα με τη χρήση καλωδίων.	Επικοινωνία με διαύλους ή ασύρματα.
Ενωμένα συστατικά.	Αυτόνομες μονάδες.
Απλός έλεγχος	Ολοκλήρωσης της επεξεργασίας της πληροφορίας (λογισμικό)
Άκαμπτη κατασκευή.	Ελαστική κατασκευή με δυναμική απόσβεση.
Ευθύς έλεγχος.	Προγραμματιζόμενος έλεγχος με ανατροφοδότηση.
Γραμμικός (αναλογικός) έλεγχος.	Ψηφιακός (μη-γραμμικός) έλεγχος.
Ακρίβεια με μικρές ανοχές.	Ακρίβεια μέσω μετρήσεων και ελέγχου με ανατροφοδότηση.
Οι διαταραχές αλλάζουν αυθαίρετα μέσα σε κάποια όρια.	Έλεγχος των μη-μετρούμενων, εκτιμώμενων μεγεθών.
Απλή παρακολούθηση.	Εποπτεία με έλεγχο βλαβών.
Προκαθορισμένες ικανότητες.	Ικανότητες μάθησης.

Πιν 1.2: Συγκριτικός πίνακας για τη συμβατική και τη μηχαντρονική προσέγγιση [11].

Ένας τρόπος για να βρεθούν τα κριτήρια με τα οποία θα χαρακτηρίζεται ένα προϊόν σαν μηχαντρονικό είναι να εντοπιστούν τα κοινά χαρακτηριστικά των προϊόντων αυτών. Η JSPMI (Japan Society for the Promotion of Machine Industry) έχει κατατάξει τα μηχαντρονικά προϊόντα σε τέσσερις κλάσεις, η οποία δείχνει και την ιστορική εξέλιξη των μηχαντρονικών προϊόντων:

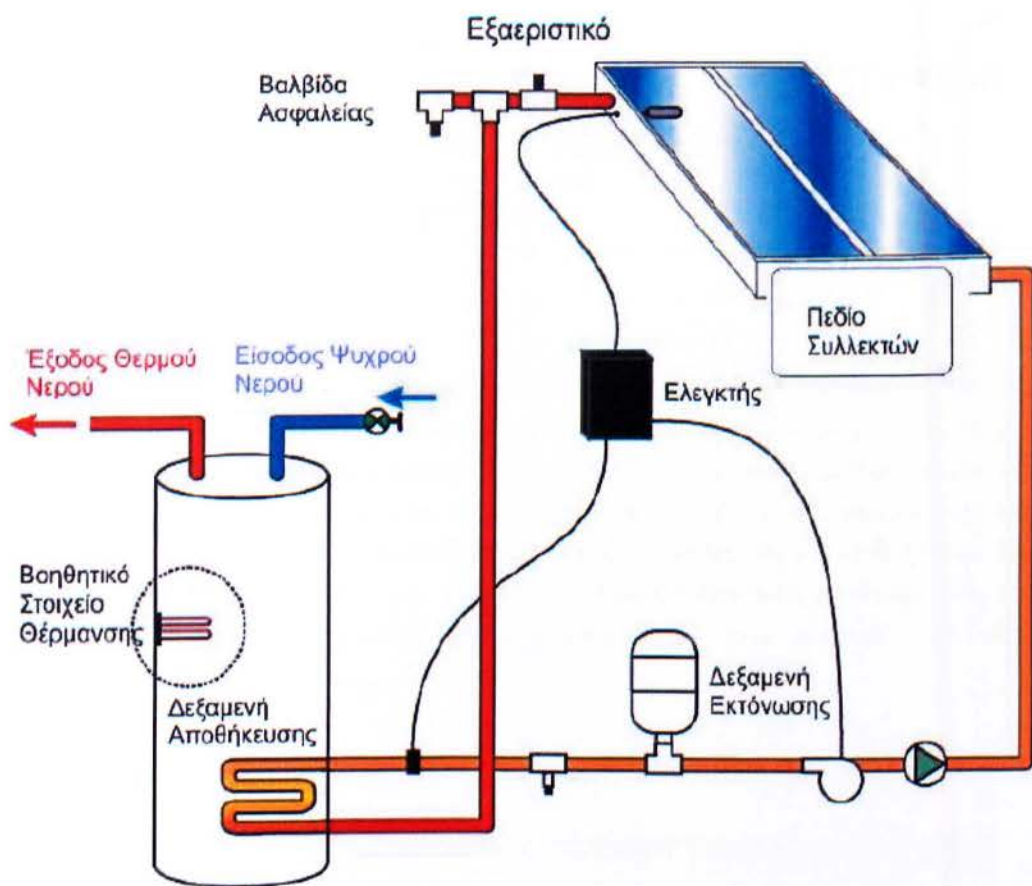
1. Στην κλάση 1 ανήκουν τα μηχαντρονικά προϊόντα τα οποία είναι παραδοσιακά μηχανολογικά προϊόντα και οι πρωτεύουσες λειτουργίες τους έχουν ενισχυθεί από την επιστήμη των ηλεκτρονικών.
2. Στην κλάση 2 ανήκουν τα μηχαντρονικά προϊόντα τα οποία είναι παραδοσιακά μηχανολογικά προϊόντα και διατήρησαν την εξωτερική τους διαμόρφωση και τις πρωτεύουσες λειτουργίες τους, αλλά έχει αλλάξει η εσωτερική τους διαμόρφωση με την εισαγωγή της επιστήμης των ηλεκτρονικών.
3. Στην κλάση 3 ανήκουν τα μηχαντρονικά προϊόντα τα οποία είναι παραδοσιακά μηχανολογικά προϊόντα και διατήρησαν τις πρωτεύουσες λειτουργίες τους μόνο.
4. Στην κλάση 4 ανήκουν τα μηχαντρονικά προϊόντα τα οποία ενσωματώνουν τις επιστήμες που περιγράφηκαν στον κλασικό ορισμό που αναφέρθηκε νωρίτερα.

Τα μηχαντρονικά προϊόντα είναι ευέλικτα με την έννοια ότι οι νόμοι ελέγχου που διέπουν τα συστήματα αυτά είναι ευκολότερο να αλλαχτούν και να ποικίλουν μιας και έχουν την μορφή προγραμμάτων υπολογιστή. Τα μηχαντρονικά προϊόντα παρουσιάζουν ευφυή συμπεριφορά και παίρνουν λειτουργίες από το χρήστη. Επίσης τα μηχαντρονικά προϊόντα παρουσιάζουν πολυλειτουργικότητα, η οποία όμως αντισταθμίζεται από αύξηση της πολυπλοκότητας. Επιπλέον, μια σειρά από ιδιότητες των προϊόντων βελτιώνονται με την εφαρμογή του μηχαντρονικού σχεδιασμού: μείωση του βάρους και του μεγέθους, αύξηση της αξιοπιστίας, μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και του κόστους.

Το σύστημα σε αυτήν την εργασία είναι μια φωτοθερμική διάταξη παραγωγής ενέργειας, που αποτελείται από: τους συλλέκτες, τον ελεγκτή, τη δεξαμενή αποθήκευσης και τις βαλβίδες ασφαλείας. Η βιβλιογραφία πάνω στα μηχαντρονικά συστήματα δεν έχει δείξει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον ως προς τέτοια συστήματα φωτοθερμικής παραγωγής ενέργειας. Αντίθετα υπάρχει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον ως προς τη φωτοηλεκτρική παραγωγή ενέργειας, με ιδιαίτερα δημοφιλείς τα τελευταία χρόνια, το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Παρόλα αυτά η έρευνα σχετικά με φωτοθερμική παραγωγή ενέργειας γυρίζει γύρω από το συλλέκτη και τον ελεγκτή τέτοιων συστημάτων, θέματα που θα αναπτυχθούν στην παρούσα εργασία. Επίσης κάτι πρωτοποριακό είναι η ανάπτυξη από ερευνητικές πανεπιστημιακές ομάδες ο εξ'αποστάσεως έλεγχος του συστήματος. Στην εικόνα 1.11 φαίνεται το σύστημα εξαναγκασμένης ροής κλειστού βρόγχου, που θα θεωρείται η βάση της περαιτέρω ανάπτυξης. Έτσι Τα βασικά στοιχεία που συνήθως εμπλέκονται στη διεργασία είναι οι ηλιακοί συλλέκτες (για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας), η δεξαμενή αποθήκευσης της καθώς και ο εναλλάκτης ο οποίος μπορεί να είναι ενσωματωμένος στην δεξαμενή (σπιδάλ, τύπου μανδύα) ή ξεχωριστός. Το σύστημα συνήθως ολοκληρώνεται με άλλα σημαντικά για τη λειτουργία του, αλλά δευτερεύουσας σημασίας από την άποψη των ενεργειακών ισοζυγίων στοιχεία, όπως κυκλοφορητές, σωληνώσεις, δοχεία διαστολής, βάνες ανάμειξης, συστήματα ελέγχου και άλλα υδραυλικά εξαρτήματα.

Παρά το πλήθος των διαφορετικών δυνατών συνδυασμών η λειτουργία των συστημάτων παραμένει ίδια: η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται στους συλλέκτες και μεταφέρεται απευθείας ή μέσω εναλλάκτη στην ή στις θερμικές αποθήκες, πριν χρησιμοποιηθεί από τον χρήστη της εγκατάστασης. [13]

ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ - ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ



Εικ 1.11: Το βασικό σύστημα κλειστού βρόγχου εξαναγκασμένης κυκλοφορίας [13]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Επισκόπηση Βιβλιογραφίας στα Μηχατρονικά υποσυστήματα για την Παραγωγή Φωτοθερμικής Ενέργειας

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των επιμέρους τμημάτων ενός συστήματος φωτοθερμικής παραγωγής ενέργειας υπό τη σκοπιά της μηχανικής. Τα συστήματα ελέγχου και καταγραφής δεδομένων παρουσιάζουν αρκετές ιδιαιτερότητες σε τέτοιου είδους εφαρμογές. Θα αναπτυχθεί η βιβλιογραφία ως προς τα βασικά κομμάτια έρευνας των μηχανικών συστημάτων που είναι ο συλλέκτης και ο ελεγκτής. Αυτό συνέβη εξαιτίας της πρόοδου στον τομέα των υλικών κατασκευής του συλλέκτη και στην πρόοδο της ηλεκτρονικής για την κατασκευή των ελεγκτών που πλέον ονομάζονται και “μικροελεγκτές”.

2.1. Λογισμικό καταγραφής δεδομένων και ελέγχου μιας διάταξης

Για την καταγραφή των μετρήσεων της πειραματικής διάταξης υπάρχουν πολλά λογισμικά – πακέτα, που ποικίλουν ως προς την ακρίβεια, την πολυπλοκότητα, κλπ. Η καταγραφή των μετρήσεων αφορά τρεις βασικούς τομείς: την μέτρηση και εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού, την απόδοση των μετατροπέων και των γεννητριών και την μέτρηση της παραγόμενης θερμότητας στο τέλος της διάταξης.

Πριν την εγκατάσταση του συστήματος φωτοθερμικής παραγωγής ενέργειας είναι απαραίτητο να προηγηθεί η εκτίμηση και πιθανώς η διενέργεια μετρήσεων σχετικά με το ηλιακό δυναμικό της προβλεπόμενης περιοχής ώστε να υπολογιστούν τα απαραίτητα δεδομένα αναφορικά με την απόδοση της εγκατάστασης αυτής.

Η εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού μιας συγκεκριμένης περιοχής, υπάρχει είτε στη βιβλιογραφία είτε είναι ενσωματωμένα σε λογισμικά για την μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων, αναφέρεται στην αναζήτηση των διαθέσιμων πηγών για δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας στην επιθυμητή θέση εγκατάστασης ενός Φ/Β σταθμού και περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

Μηχατρονικά Υποσυστήματα Φωτοθερμικής Παραγωγής Ενέργειας

- Αξιολόγηση-σύγκριση δεδομένων από διάφορες πηγές
- Εκτίμηση ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας στην θέση της εγκατάστασης σε οριζόντιο και σε κεκλιμένο επίπεδο.
- Υπολογισμός βέλτιστης κλίσης
- Δημιουργία χρονοσειράς ωριαίων τιμών (συνθετικά δεδομένα με χρήση μοντέλων) ολικής ακτινοβολίας, καθώς και διάχυτης και άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, για ένα τυπικό έτος.

Έπειτα από το στάδιο εκτίμησης του ηλιακού δυναμικού και εφόσον αυτό ζητηθεί και κριθεί αναγκαίο γίνονται και επιτόπιες μετρήσεις με την εγκατάσταση φορητών μετεωρολογικών σταθμών για την μέτρηση των μετεωρολογικών δεδομένων και στη συνέχεια τη συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων αυτών, για τυπικό διάστημα ενός έτους. Τέτοιου είδους υπηρεσίες παρέχονται από το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας) είτε από άλλες εταιρείες.

Στη βιβλιογραφία παρατηρήθηκε ότι χρησιμοποιείται τόσο εμπορικό λογισμικό όσο και ανοιχτού κώδικα για τις μετρήσεις, τον έλεγχο και την επεξεργασία των δεδομένων.

Για τον έλεγχο του συστήματος οι ελεγκτές που χρησιμοποιούνται πρέπει να συνδέονται σε υπολογιστή, πράγμα που αναφέρεται στα τεχνικά φυλλάδια και στις οδηγίες των κατασκευαστών τους. Από την άλλη πλευρά τα πακέτα για την συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων είναι πολλά. Από τα εμπορικά πακέτα ξεχωρίζουν το LabView® και Matlab®. Αντίθετα από τα λογισμικά ανοιχτού κώδικα ξεχωρίζουν τα:

- MySQL Server ή PostgreSQL αντί τον Microsoft Server SQL για εξυπηρετητή με τη βάση δεδομένων,
- GNU PSPP αντί του SPSS για την στατιστική ανάλυση,
- GNU Octave αντί Matlab Mathworks για το περιβάλλον μαθηματικών υπολογισμών και
- JBoss ή Tomcat αντί Oracle WebLogic Server για εξυπηρετητή εφαρμογών

Με τον όρο Λογισμικό ανοικτού κώδικα εννοείται λογισμικό του οποίου ο πηγαίος κώδικας διατίθεται ελεύθερα σε αυτούς που θέλουν να τον εξετάσουν, και/ή τροποποιήσουν ή χρησιμοποιήσουν σε άλλες εφαρμογές. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές άδειες χρήσης που μπορεί να συνοδεύουν το λογισμικό ανοικτού κώδικα.

Σε γενικές γραμμές το λογισμικό ανοικτού κώδικα δεν σημαίνει απαραίτητα δωρεάν λογισμικό, ούτε ελεύθερο λογισμικό (σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει στο ελεύθερο λογισμικό το Ίδρυμα Ελεύθερου Λογισμικού), αλλά αναφέρεται κυρίως στην

ελευθερία του κάθε χρήστη να εξετάσει και να χρησιμοποιήσει την γνώση και τις δυνατότητες που του προσφέρει ο κώδικας προγραμματισμού.

2.2. Συλλέκτης

2.2.1. Θεωρία συλλέκτη

Παρά τις όποιες προσπάθειες ανάπτυξης νέων τύπων, ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης εξακολουθεί να κυριαρχεί στην αγορά. Στην Ευρώπη για παράδειγμα το 95% των συλλεκτών που είναι επίπεδοι. [14]

Κύριο πλεονέκτημα των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είναι ότι συνδυάζουν χαμηλό σχετικά κόστος με μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως θέρμανση χώρου και ζεστού νερού χρήσης αλλά και βιομηχανικές εφαρμογές. Οι συλλέκτες αυτοί, εκμεταλλεύονται τόσο την άμεση όσο και την διάχυτη ακτινοβολία με αποτέλεσμα ένας καλά σχεδιασμένος και κατασκευασμένος συλλέκτης να έχει την δυνατότητα να προσδώσει θερμοκρασία κοντά σε αυτή του βρασμού στο νερό. Στους επίπεδους συλλέκτες η επιφάνεια συλλογής συμπίπτει με την επιφάνεια μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια ενώ, επιδιώκεται η βελτίωση του βαθμού απόδοσης η_R με μείωση των απωλειών ή με αύξηση του λόγου της απορροφητικότητας στο ηλιακό φάσμα προς την εκπεψιμότητα στο μακρινό υπέρυθρο. [13]

Τα βασικά τμήματα ενός επίπεδου συλλέκτη, τα οποία απεικονίζονται στην εικόνα 2.1, είναι:

- Ο απορροφητήρας, δηλαδή η μαύρη επίπεδη επιφάνεια που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Ο απορροφητήρας συμπεριλαμβάνει το σύστημα μεταφοράς της ενέργειας στο ρευστό, δηλαδή σωλήνες αν πρόκειται για συλλέκτη υγρού ή αεραγωγούς αν πρόκειται για συλλέκτη αέρος. Η αποδοτική λειτουργία του απορροφητή καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό και από τη διαμόρφωσή του. Οι κυριότεροι τρόποι διαμόρφωσης είναι είτε σωλήνες σε επαφή με την πλάκα της απορροφητικής επιφάνειας, είτε σωλήνες σε επαφή με περύγια, είτε αγωγοί διαμορφωμένοι στο σώμα της απορροφητικής επιφάνειας (τύπος «σάντουιτς»). Ο συλλέκτης με απορροφητική επιφάνεια τύπου «σάντουιτς», αποτελείται από δύο παράλληλες πλάκες σε μικρή απόσταση (1-2 mm), με κατάλληλη διαμόρφωση ώστε να δημιουργούνται αυλάκια μέσα στα οποία κυκλοφορεί το ρευστό.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα αυτής της διαμόρφωσης είναι:

- Ευκολότερη κατασκευή, υλικό χαμηλού κόστους

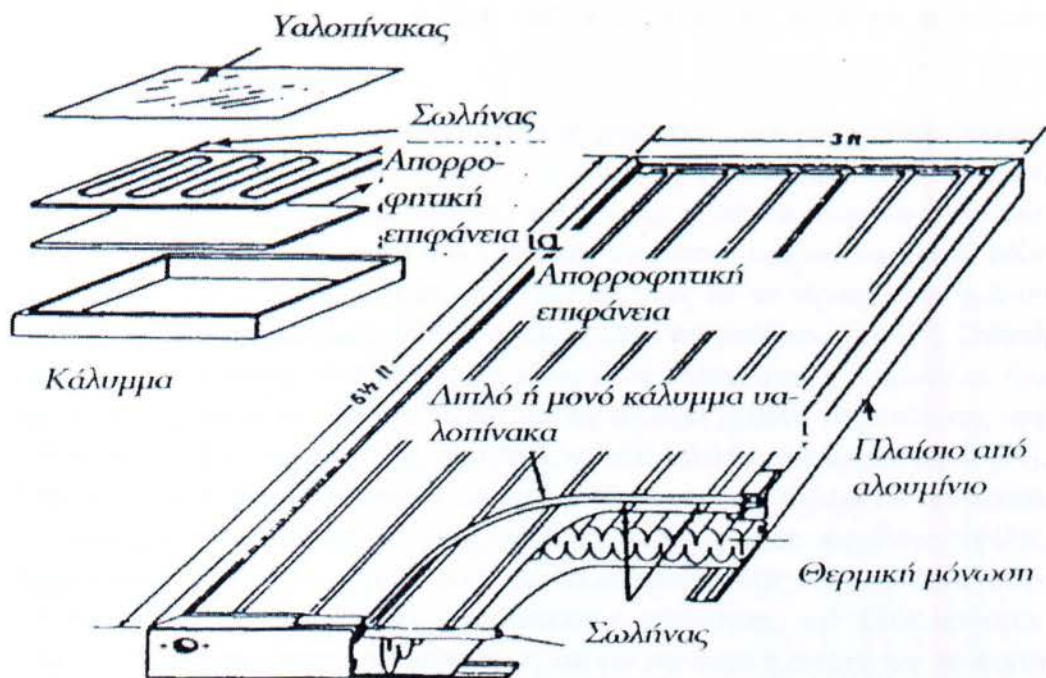
- Χρήση σχεδόν, του συνόλου της επιφάνειας του απορροφητή
- Ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του απορροφητή
- Ομοιόμορφη κατανομή της ροής του ρευστού μεταφοράς της θερμότητας, μεταξύ των δύο πλακών

Παρά τα πλεονεκτήματα του τύπου όμως, υπάρχουν και ορισμένα βασικά μειονεκτήματα. Έτσι δεν εμφανίζει μεγάλη αντοχή σε πίεση με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος διαρροής, ιδιαίτερα σε υψηλές πιέσεις, όπως όταν χρησιμοποιείται αντλία (συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας). Οι συλλέκτες, στους οποίους οι σωλήνες βρίσκονται σε επαφή είτε με την πλάκα της απορροφητικής επιφάνειας είτε με πτερύγια, είναι οι πλέον διαδεδομένοι αν και εμφανίζουν μια σειρά μειονεκτημάτων, όπως:

- Μη ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στην απορροφητική επιφάνεια
 - Μικρότερη επιφάνεια εναλλαγής (γραμμική ή επαφής) και επομένως υψηλότερες θερμοκρασίες στις περιοχές απορρόφησης (πτερύγια) με αποτέλεσμα μεγαλύτερες απώλειες ακτινοβολίας
- Ένα η περισσότερα διαφανή καλύμματα, πάνω από τον απορροφητήρα, ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον.
 - Μονώσεις στο πίσω μέρος και στις παράπλευρες επιφάνειες, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες.
 - Το πλαίσιο που περικλείει ολόκληρη την κατασκευή.

Μηχατρονικά Υποσυστήματα Φωτοθερμικής Παραγωγής Ενέργειας

Η απορροφητική επιφάνεια είναι μεταλλική, συνήθως νικέλιο ή χαλκός, που υπόκειται σε επεξεργασία για να αποτελέσει το μέλαν σώμα. Η επεξεργασία γίνεται με χημικό ή ηλεκτρολυτικό τρόπο, με χημικές ουσίες, όπως είναι άλατα χαλκού και οξειδία χαλκού, σιδήρου ή αλουμινίου. Έχουν χρησιμοποιηθεί ακόμα χρωστικές



Εικ 2.1: Κατασκευή συλλέκτη [13]

ουσίες, ως επικάλυψη στη μεταλλική επιφάνεια, όμως σε σύντομο χρονικό διάστημα το χρώμα παρουσιάζει σπασίματα και χάνει την πρόσφυσή του στο μέταλλο, ενώ μπορεί και να αλλοιωθεί από την ηλιακή ακτινοβολία. Η αιθάλη που ανήκει στα φυσικά μέλανα σώματα δεν ενδείκνυται επίσης για επιστρωμάτωση του μετάλλου, λόγω του μικρού χρόνου ζωής της κατασκευής. Η μαύρη επιφάνεια απορρόφησης επιλέγεται, ώστε να έχει υψηλό συντελεστή θερμικής εκπομπής. Η επιλεκτικότητα της επεκτείνεται σε όλο το ηλιακό φάσμα ($0,2\mu\text{m}-3\mu\text{m}$), ενώ παρουσιάζει πολύ μικρή εκπομπή στην περιοχή $3\mu\text{m}-30\mu\text{m}$, που αφορά στην υπέρυθη ακτινοβολία του συλλέκτη, λόγω των θερμοκρασιών που αποκτά.

Το διαφανές κάλυμμα είναι συνήθως γυάλινη επιφάνεια, η οποία επιτρέπει να διέλθει προς τον απορροφητήρα το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα μέσα από ένα κοινό τζάμι περνάει το 85% της ηλιακής ενέργειας. Δεδομένου ότι το γυαλί είναι προϊόν της σύντηξης διαφόρων ανόργανων υλικών, αλάτων και μικρών ποσοτήτων μετάλλων, το παραπάνω ποσοστό μπορεί να αυξηθεί, αν μεταβληθούν οι περιεκτικότητες αυτών των συστατικών. Αποτελεί άριστο θερμομονωτικό καθώς για την περιοχή μηκών κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι διαφανές, ενώ για μήκη κύματος πάνω από $3\mu\text{m}$ καθίσταται αδιαφανές,

εμποδίζοντας τις απώλειες προς το περιβάλλον. Μεγάλη διαπερατότητα έχουν και ορισμένα πλαστικά, αλλά οι υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου προσβάλλουν τη χημική τους σύσταση και τελικά θαμπώνουν και καταστρέφονται σε λίγα χρόνια χρήσης. Επιπροσθέτως η διαπερατότητά τους επεκτείνεται σε μεγαλύτερο φάσμα από ότι το γυαλί, με αποτέλεσμα να μην εξασφαλίζουν θερμομόνωση. Κάποια συνθετικά υλικά ανταγωνίζονται τη μειωμένη αντοχή των πλαστικών, γι' αυτό και αποτελούν αντικείμενο έρευνας.

Για την κατασκευή των επίπεδων συλλεκτών χρησιμοποιείται μια πληθώρα υλικών στην οποία περιλαμβάνονται ο χαλκός, ο χάλυβας, το αλουμίνιο, διάφορα είδη γυαλιού, μονωτικά κ.α. Ειδικά τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην απορροφητική επιφάνεια αλλά και τα διαφανή υλικά που την καλύπτουν παίζουν σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συλλέκτη καθώς οι ιδιότητες τους με το πέρασμα του χρόνου υποβαθμίζονται επηρεάζοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό την απόδοσή τους [15]. Πιθανή συμπίκνωση υγρασίας στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος ή ανάμεσα σε δύο καλύμματα μειώνει την διαπερατότητα με αποτέλεσμα μείωση της απόδοσης του συλλέκτη εξαιτίας της λιγότερης διατιθέμενης ακτινοβολίας για απορρόφηση [16]. Επίσης τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των συλλεκτών δεν πρέπει να περιέχουν πτητικές ουσίες γιατί, κατά τη λειτουργία σε περιόδους υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να εξατμισθούν και να συμπυκνωθούν στην συνέχεια στην εσωτερική πλευρά του διάφανου καλύμματος μειώνοντας την διαπερατότητα. Σημαντική μέριμνα πρέπει να ληφθεί τέλος και για την δομική αντοχή του συλλέκτη η οποία πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντέχει την διαδικασία μεταφοράς, εγκατάστασης καθώς και την ανεμοπίεση.

Οι τύποι των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών ποικίλουν, ανάλογα με την κατασκευή τους και την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Υπάρχουν συλλέκτες με ένα τζάμι κατάλληλοι για σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (40-60°C). Όπου απαιτούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες (μέχρι 30°C), όπως για παράδειγμα στη θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συλλέκτες χωρίς διαφανές κάλυμμα, ενώ για υψηλότερες θερμοκρασίες του νερού (μέχρι 80°C) ή για θέρμανση χώρων οι συλλέκτες έχουν δύο τζάμια. Για ακόμη μεγαλύτερες θερμοκρασίες (100-150°C) χρησιμοποιούνται οι συλλέκτες σωλήνων κενού, περισσότερο για εφαρμογές ψύξης. Οι συλλέκτες διαχωρίζονται σε υγρού και αέρα, ανάλογα με το ρευστό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα τους. [12]

Υλικά απορροφητή	Χαλυβδοέλασμα ή ανοξείδωτη λαμαρίνα Πτερύγια αλουμινίου ή χαλκού με σωλήνες ανοξείδωτου χάλυβα Σωλήνες χαλκού εκτονωμένοι σε πτερύγια αλουμινίου Σωλήνες χαλκού εκτονωμένοι σε πτερύγια χαλκού
Επιφάνεια απορροφητή	Επικάλυψη με μαύρη βαφή Επικάλυψη με επιλεκτική βαφή
Μόνωση Συλλέκτη / Δοχείου	Υαλοβάμβακας σε συνδυασμό με Πολυουρεθάνη (PU-non CFC) Πολυουρεθάνη (PU-non CFC)
Υλικό καλύμματος	Ηλιακό Γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο 3 - 5 mm Πολυκαρβονικό ή Ακρυλικό Διάφανο κάλυμμα
Πλαίσιο συλλέκτη	Αλουμίνιο Ανοξείδωτος χάλυβας
Δεξαμενή αποθήκευσης	Χαλυβδοέλασμα με εσωτερική υάλωση ή Χαλκός Ανοξείδωτος ή Γαλβανισμένος χάλυβας
Κάλυμμα δεξαμενής	Αλουμίνιο Ανοξείδωτος χάλυβας ή Χαλυβδοέλασμα

Εικ 2.2: Υλικά κατασκευής ενός συστήματος παραγωγής ζεστού νερού

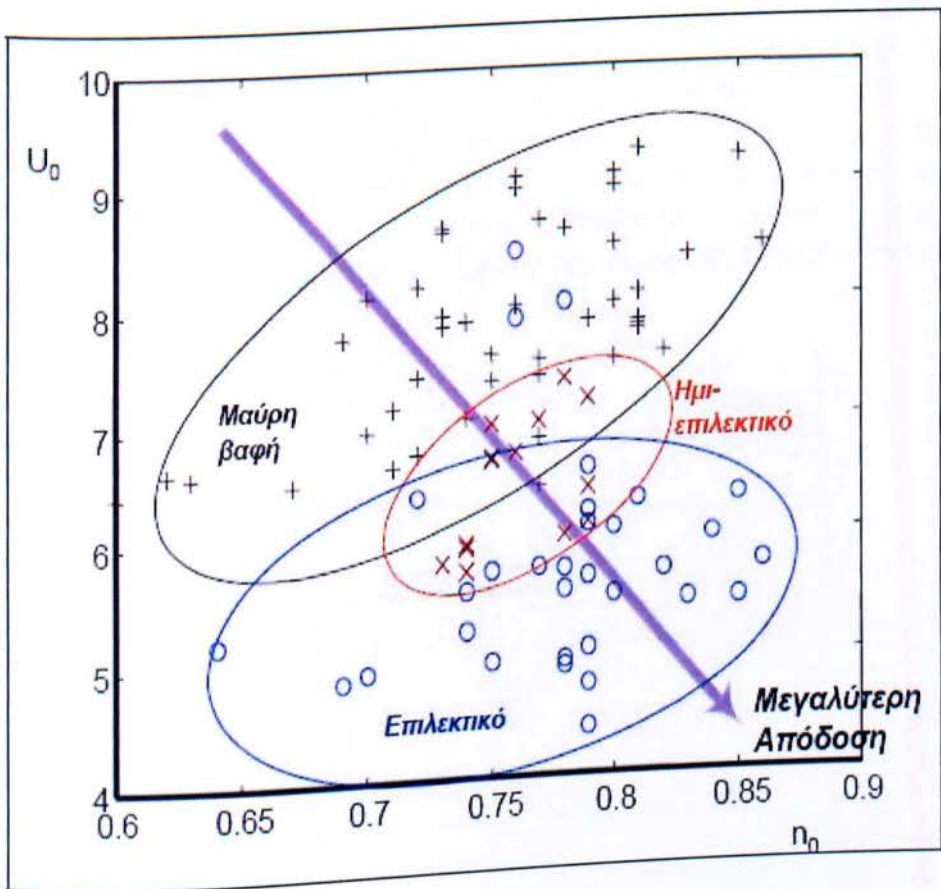
2.2.2. Τεχνολογική εξέλιξη συλλεκτών

Αν και οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούν μια ώριμη και αρκετά διαδεδομένη τεχνολογία, τόσο στην Ευρώπη όσο και γενικότερα σε όλο τον κόσμο, γίνονται συνεχείς προσπάθειες βελτίωσης της ποιότητας και της απόδοσης τους. Οι προσπάθειες αυτές εστιάζονται κατά κύριο λόγο στα παρακάτω σημεία, τα οποία χαρακτηρίζουν και τις σημερινές τεχνολογικές τάσεις:

- Στη γενίκευση της χρήσης της επιλεκτικής επιφάνειας η οποία αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων σε γενικής φύσης εφαρμογές.
- Στη σταδιακή επικράτηση των ενιαίων απορροφητικών επιφανειών (full face absorber) οι οποίες επιτρέπουν σημαντική μείωση των θερμικών απωλειών λόγω της μείωσης της κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό του συλλέκτη και της καλύτερης εκμετάλλευσης της διαθέσιμης επιφάνειας παραθύρου.
- Στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών συγκόλλησης (soldering, laser).
- Στη χρήση μονωτικών υλικών που είναι φιλικά προς το περιβάλλον και ικανοποιούν τις σχετικές νομοθετικές απαιτήσεις.

Επιπρόσθετα παραμένουν αρκετά σημεία για τα οποία οι λύσεις δεν είναι δεδομένες, όπως για παράδειγμα για την προστασία από τον παγετό ή η δυνατότητα εύκολης

ένταξης σε μεγάλα ηλιακά πεδία και η ενσωμάτωση σε κεραμοσκεπές. Η μεγαλύτερη όμως πρόκληση συνίσταται στο σχεδιασμό του προϊόντος ώστε να αξιοποιούνται στο μέγιστο δυνατό βαθμό οι δυνατότητες που παρέχει η χρήση πιο αποδοτικών αλλά και πιο φιλικών προς το περιβάλλον υλικών. Η χρήση επιλεκτικής επιφάνειας ή η ενσωμάτωση έξυπνων τεχνολογικά λύσεων δεν οδηγεί σε καλύτερες αποδόσεις, αν συνολικά ο συλλέκτης δεν έχει σχεδιαστεί σωστά. Αυτό είναι εμφανές στην Εικόνα 2.3 όπου φαίνονται τα αποτελέσματα δοκιμών διαφόρων τύπων επίπεδων συλλεκτών [19].

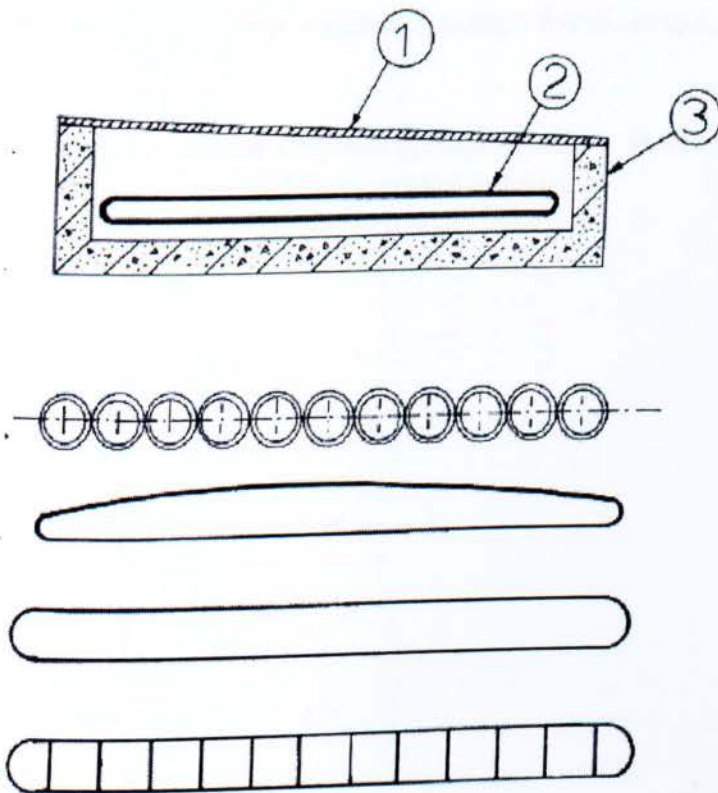


Εικ 2.3: Μέγιστη στιγμιαία απόδοση η_0 και συντελεστής απωλειών U_0 για διάφορους τύπους συλλεκτών (+: μαύρης βαφής, x: ημι-επιλεκτικός, o: επιλεκτικός) [19]

Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητος ο σωστός σχεδιασμός, ο οποίος θα λάβει υπόψη του την αποφυγή θερμογεφυρών, την επιλογή του μεγέθους των σωληνώσεων και τον ορθό τρόπο σύνδεσής τους με την απορροφητική επιφάνεια, τη διάμετρο των σωληνώσεων, την αναγκαία απόσταση μεταξύ διάφανου ή διάφανων καλυμμάτων και απορροφητή ώστε να μειωθεί κατά το δυνατόν η εσωτερική κυκλοφορία του αέρα η οποία αυξάνει τις απώλειες.

Γενικά, η επιλογή του κατάλληλου τύπου συλλέκτη είναι συνάρτηση της εφαρμογής για την οποία προορίζεται, σε συνδυασμό βεβαίως με τα υπόλοιπα τεχνικοοικονομικά

δεδομένα της εγκατάστασης. Για παράδειγμα, για εφαρμογές οι οποίες απαιτούν χαμηλές θερμοκρασίες ακόμα και ένας συλλέκτης απλής βαφής μπορεί να είναι το ίδιο ή και περισσότερο αποδοτικός από έναν επιλεκτικό. Επιπρόσθετα, λόγω της ραγδαίας εξέλιξης της πετροχημικής βιομηχανίας και της παραγωγής πολυμερών υλικών, με τεχνικά χαρακτηριστικά συγκρίσιμα των συμβατικών που χρησιμοποιούνται στους ηλιακούς συλλέκτες, αλλά και σε μια προσπάθεια μείωσης του κόστους, έγιναν αρκετές προσπάθειες για την ενσωμάτωση ή και αντικατάσταση τμημάτων των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών από πολυμερή. Τα πολυμερή χρησιμοποιούνται, με αρκετή επιτυχία, ως διάφανα καλύμματα, υλικά κατασκευής του πλαισίου και σε αρκετές περιπτώσεις ως απορροφητές [20]. Εξαιτίας της μικρής θερμικής αγωγιμότητάς τους, στις περισσότερες περιπτώσεις ο σχεδιασμός πολυμερών συλλεκτών στοχεύει στην μεγιστοποίηση της επιφάνειας του απορροφητή που έρχεται σε επαφή με το ρευστό μεταφοράς της θερμότητας. Επιλέγονται συνήθως, απορροφητές κατασκευασμένοι από πολυμερές με μικρά και κοντινά αυλάκια με τα οποία επιτυγχάνεται η μεγιστοποίηση της επιφάνειας επαφής με αποτέλεσμα βελτιστοποίηση της μεταφοράς θερμότητας. Οι πιο διαδεδομένες διαμορφώσεις απορροφητών κατασκευασμένων από πολυμερές παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.4.



Εικ 2.4: Διάφορες Διαμορφώσεις Πολυμερικών Απορροφητών (1. Διάφανο Κάλυμμα, 2. Απορροφητής, 2. Πλαίσιο) [13]

2.3. Ελεγκτές

Οι ελεγκτές είναι από τα πιο σημαντικά τμήματα ενός συστήματος σύμφωνα με τη μηχανική θεωρία. Όμως στα συστήματα φωτοθερμικής παραγωγής ενέργειας δεν έχει αναπτυχθεί όσο θα έπρεπε, γιατί το πρωταρχικό ενδιαφέρον σε τέτοια συστήματα είναι ο συλλέκτης και όχι το υπόλοιπο σύστημα.

Βασικότερη προϋπόθεση για έναν ελεγκτή είναι να περιλαμβάνει ένα αισθητήριο θερμοκρασίας το οποίο πρέπει να είναι ακριβές και αξιόπιστο. Οι καταλληλότεροι ελεγκτές είναι αυτοί που περιλαμβάνουν αισθητήρια θερμοκρασίας που μπορούν να δώσουν μετρήσεις σε υπολογιστή. Τέτοια είναι αισθητήρια θερμοκρασίας διμεταλλικού τύπου, ηλεκτρικής αντίστασης –που είναι και τα πιο χρησιμοποιημένα– και θερμοστοιχεία.

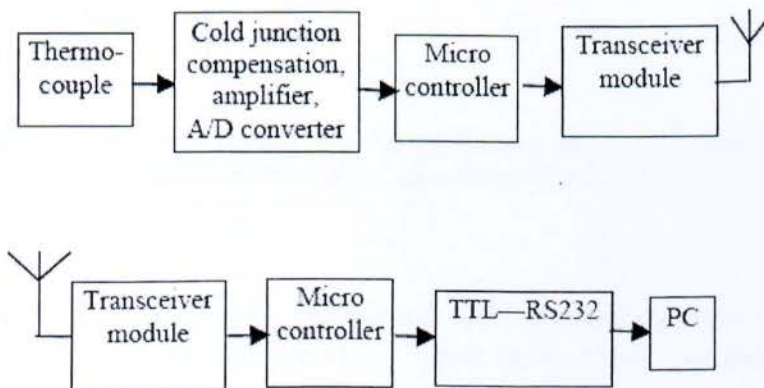
Επίσης ένας ελεγκτής ή μικροελεγκτής πρέπει είναι να έχει αξιοπιστία στις μετρήσεις του, να λειτουργεί με σταθερή τάση και να έχει την απαραίτητα ανοχή στις διακυμάνσεις του δικτύου. Ακόμα πρέπει μπορεί να συγχρονίζεται με έναν υπολογιστή (εάν υπάρχει σύνδεση), δηλαδή να περιέχει ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα TLL.

Για τον προγραμματισμό τέτοιων ελεγκτών χρησιμοποιείται η γλώσσα PLC, αν και συνήθως οι κατασκευαστές αναλαμβάνουν αυτό το κομμάτι.

2.4. Απομακρυσμένη διαχείριση φωτοθερμικού συστήματος

Οι τεχνολογικές εξελίξεις, όσο αναφορά τα συστήματα φωτοθερμικής παραγωγής ενέργειας δεν αποτελούν πρόοδο μόνο για τους συλλέκτες και τους ελεγκτές, αλλά και για το σύστημα σαν σύνολο γενικότερα. Τα τελευταία χρόνια, με την είσοδο των ασύρματων επικοινωνιών στις αγορές, αναπτύχθηκε η τάση να ελέγχονται όλα τα συστήματα απομακρυσμένα μέσω ασύρματων ή ενσύρματων τηλεπικοινωνιών. Έτσι αναπτύχθηκε βασικά από δύο πανεπιστημιακές μονάδες σύστημα φωτοθερμικής παραγωγής ενέργειας με απομακρυσμένη διαχείριση.

Η πρώτη ομάδα είναι του πανεπιστημίου Shandong University of Technology στην Κίνα. Η έξοδος του συστήματος είναι η θερμοκρασία του συλλέκτη. Το έργο βασίζεται σε μετρήσεις της θερμοκρασίας των κεραμικών μονάδων που υπάρχουν σε ένα φωτοθερμικό σύστημα, οι οποίες περνούν αυτόματα στον υπολογιστή. Με αυτόν τον τρόπο ξεπερνιούνται τα μέχρι τώρα μειονεκτήματα πολύπλοκων καλωδιώσεων μετρήσεων και απωλειών. Η θερμοκρασία μετράται από θερμικό ηλεκτρόδιο (thermocouple) και μεταφέρεται στον υπολογιστή με δέκτη που ελέγχεται από μικροελεγκτή, και από εκεί τα δεδομένα τα διαχειρίζεται ο υπολογιστής. Το σύστημα χαρακτηρίζεται από απλή δομή, αξιοπιστία στην απόδοση και ασύρματη μετάδοση. [20] Τέτοιου είδους συστήματα είναι κατάλληλα όπου η καλωδίωση για τις μετρήσεις δεν είναι εφικτή. Στο σχήμα 2.5 φαίνεται η δομή ενός τέτοιου συστήματος.

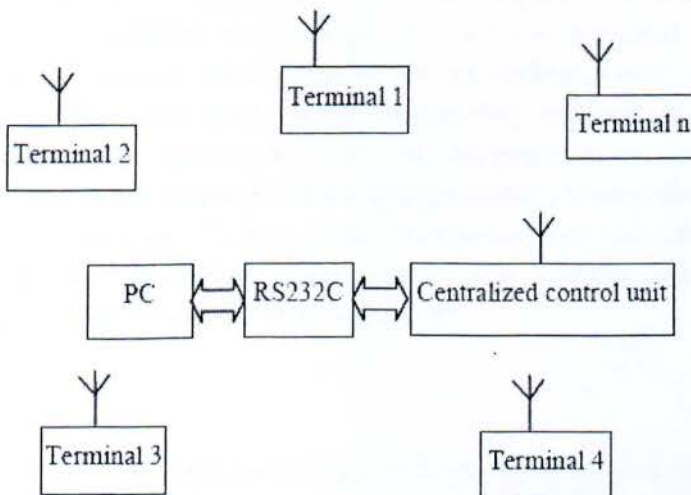


Εικ. 2.5: Το σχήμα του συστήματος μέτρησης της θερμοκρασίας της διάταξης[21]

Από το σχήμα φαίνεται ότι στο σύστημα υπάρχουν συγκεκριμένοι ελεγκτές και ολοκληρωμένα κυκλώματα για το συγχρονισμό της μετάδοσης. Το σύστημα των μετρήσεων από πλευράς λογισμικού αποτελείται από ένα υποπρόγραμμα για την

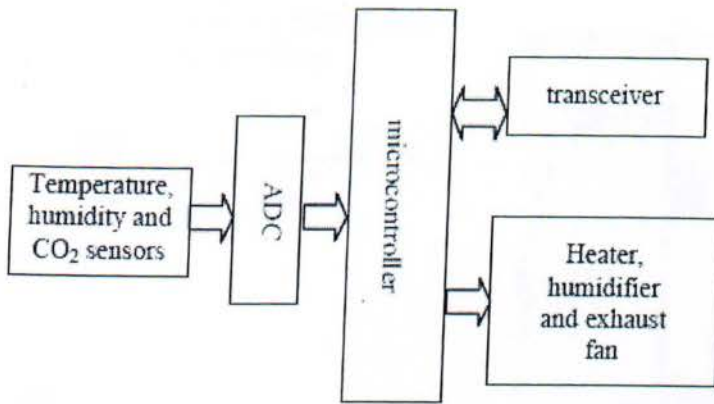
ανάκτηση της πληροφορίας της θερμοκρασίας ελεγχόμενης από τον μικροελεγκτή, ένα υποπρόγραμμα για ασύρματη μετάδοση και λήψη ελεγχόμενα από άλλο μικροελεγκτή, ένα υποπρόγραμμα για την επικοινωνία μικροελεγκτή με τον υπολογιστή και ένα πρόγραμμα για την επεξεργασία των δεδομένων της θερμοκρασίας. Επίσης έχουν αναπτυχθεί και τα αντίστοιχα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ πομπού και δέκτη.

Το ίδιο το σύστημα μπορεί να ενσωματωθεί και σε ευρύτερο σύστημα μέτρησης θερμοκρασιών και υγρασίας ενός περιβάλλοντος χώρου. Στην προκειμένη περίπτωση το σύστημα αποτελείται από μία κεντρική μονάδα ελέγχου και πολλά σημεία μετρήσεων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σύστημα χαρακτηρίζεται από απλότητα στη δομή, αξιοπιστία και ευελιξία, αφού στο σύστημα μπορούν να προστεθούν θεωρητικά έως n τερματικοί σταθμοί μέτρησης. Στην Εικόνα 2.6 φαίνεται η δομή ενός τέτοιου συστήματος.



Εικ. 2.6: Το σχήμα του συστήματος μέτρησης της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε ένα ευρύτερο σύστημα με n τερματικούς σταθμούς [22]

Η κεντρική μονάδα ελέγχου αποτελείται από το μικροελεγκτή και δέκτες ραδιοσυχνότητας. Ο ελεγκτής δεν ελέγχει μόνο τη μετάδοση των ραδιοκυμάτων αλλά επικοινωνεί και με τον υπολογιστή. Στην εικόνα 2.7 φαίνεται ο ρόλος που έχει ο μικροελεγκτής.

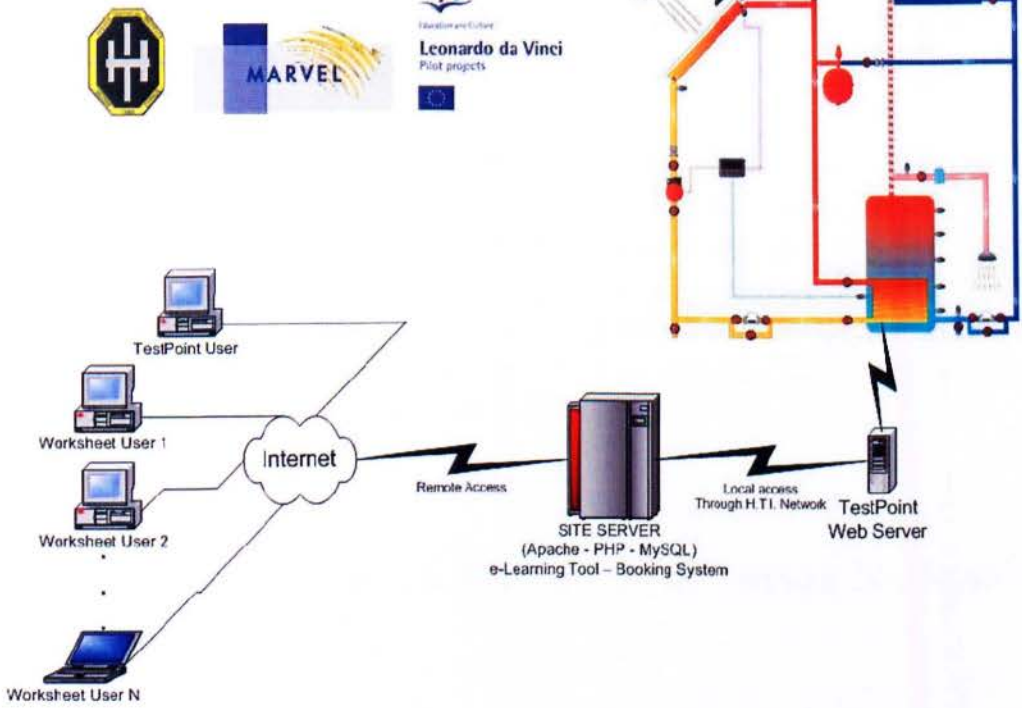


Εικ. 2.7: Το Διάγραμμα μέτρησης και μονάδας ελέγχου [24]

Ο υπολογιστής αποτελείται από ένα πρόγραμμα για τον καθορισμό των παραμέτρων, ένα πρόγραμμα για τη συλλογή δεδομένων, ένα πρόγραμμα για τη διαχείριση και τον έλεγχο εισαγωγής δεδομένων στο σύστημα. Η λήψη των δεδομένων επιτυγχάνεται ταυτόχρονα με τη συλλογή των δεδομένων από τα κανάλια, οπότε είναι εφαρμογή πραγματικού χρόνου (real-time). Κάθε παράμετρος καθορίζεται δυναμικά σε πραγματικό χρόνο και προκύπτουν έτσι τα διαγράμματα και οι πίνακες. Η επεξεργασία των δεδομένων αφορά κυρίως μαθηματικούς υπολογισμούς και ψηφιακή επεξεργασία των σημάτων. Το πρόγραμμα διαχείρισης των δεδομένων αφορά τη λήψη, αποθήκευση, εκτύπωση, ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων. Η βάση δεδομένων στηρίχθηκε πάνω στον SQL Server 2000.

Η δεύτερη επιστημονική ομάδα ανάπτυξης στο Ινστιτούτο Higher Technical Institute (HTI) της Κύπρου ένα πρόγραμμα απομακρυσμένης σύνδεσης στα πλαίσια του προγράμματος Leonardo da Vinci project MARVEL. Τα πρόγραμμα MARVEL επικεντρώνεται σε εμπειρική εξ αποστάσεως μάθηση επιτρέποντας απομακρυσμένη και κατανοητή εκπαίδευση από κάποιο εργαστήριο με ειδίκευση στα μηχανικά συστήματα. Οι διατάξεις τοποθετήθηκαν στην ταράτσα ενός πανεπιστημιακού κτιρίου και όλοι οι εμπλεκόμενοι είχαν πρόσβαση στα δεδομένα μέσω Διαδικτύου (είτε ενσύρματα είτε ασύρματα), με λογισμικό ανοιχτού κώδικα. Στην Εικόνα 2.8 φαίνεται το σχήμα της διάταξης.

The HTI Solar Energy e-Learning Lab System Architecture



Εικ 2.8: Η αρχιτεκτονική της διάταξης [21]

Κεφάλαιο 3^ο

Μελέτη Περίπτωσης Φωτοβολταϊκής Μονάδας

Στην έρημο της πόλης Sede Boqer, για λογαριασμό του ιδρύματος Ben-Gurion National Solar Energy Center, βρίσκεται ένα πρότυπο πάρκο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοθερμικά στοιχεία. Ο διεθνής τύπος το έχει χαρακτηρίσει σαν την κορυφή της τεχνολογίας στην χρήση της ηλιακής ενέργειας, δεδομένων των πλεονεκτημάτων της. Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα περιγραφεί το βασικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και στο κεφάλαιο 4ο θα γίνει εκτενής αναφορά ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά.

3.1. Εισαγωγικά για το Ίδρυμα Ben-Gurion National Solar Energy Center

Το Νοέμβριο του 1985 το Ισραηλιτικό Υπουργείο Υποδομών, στην πόλη Sede Boqer, ίδρυσε το Εθνικό Κέντρο Ηλιακής ενέργειας Ben-Gurion (αρχικά γνωστό ως Ben-Gurion Ηλιακής και Ηλεκτρικής Ενέργειας που ήταν κέντρο ελέγχου και δοκιμών των νέων τεχνολογιών). Το Κέντρο εγκαινιάστηκε τον Φεβρουάριο του 1987 και λειτουργεί από την ιδιωτική εταιρεία Petroleum Services Ltd, για λογαριασμό του Υπουργείου, μέχρι τον Ιούνιο του 1991. Από τον Ιούλιο του 1991, το Κέντρο λειτουργεί υπό την αιγίδα του πανεπιστημιακού ιδρύματος Ben-Gurion University's Jacob Blaustein Institute for Desert Research, που επίσης βρίσκεται στο Sede Boqer.

Το Κέντρο ιδρύθηκε αρχικά από το Υπουργείο να προχωρήσει και να αξιολογήσει πολλά υποσχόμενες εναλλακτικές ενεργειακές τεχνολογίες, ειδικότερα εκείνες που αφορούν ηλιακή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Δεδομένου ότι η μεταφορά της στο Ben-Gurion University, η κύρια έμφαση έχει την έρευνα, αλλά η πρόσθετη εφαρμογή και το σύστημα ελέγχου εξακολουθεί να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις δραστηριότητες του Κέντρου.

Το Κέντρο διαθέτει 6 εργαστήρια, καθένα από τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μελέτη ενός ή περισσότερων πτυχών της ηλιακής μετατροπής της ενέργειας. Επιπλέον, η έρευνα σε αυτά τα εργαστήρια αποτελεί μέρος του προγράμματος σπουδών για τους μεταπτυχιακούς φοιτητές του πανεπιστημίου του Ben-Gurion.

- Το εργαστήριο The Photon Energy Transformation & Astrophysics Laboratory (PETAL) τοποθετημένο στο νεοκατασκευασθέν παραβολικό πιάτο

Μηχατρονικά Υποσυστήματα Φωτοθερμικής Παραγωγής Ενέργειας

των 400m². Εδώ γίνονται μελέτες με στόχο τη χρήση αυτής της συσκευής για τη διερεύνηση παραγωγής ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και τις αστρονομίας τη νύχτα.

- Το εργαστήριο Photovoltaic Advanced Materials Laboratory (PAMAL) κάνει μελέτες για την εύρεση υλικών με πιθανές εφαρμογές στην ηλιακή ενέργεια. Τρέχουσες ερευνητικές προσπάθειες επικεντρώνονται σε διάφορες μεθόδους παραγωγής υψηλής απόδοσης των ηλιακών κυττάρων από φουλλερενίων, μία σχετικά καινούργια μορφή άνθρακα.
- Το εργαστήριο Parabolic Troughs Laboratory (PATROL) επικεντρώνεται σε 960 m² ηλιακών βρόχων θέρμανσης από πρόσφατα ανακαινισμένους συλλέκτες Luz LS-2. Ο βρόχος χρησιμοποιείται για τη δοκιμή σε ποικιλία προηγμένων θερμικών ηλιακών στοιχείων.
- Το εργαστήριο Outdoor Photovoltaic Laboratory (PVTEL) μελετά την γήρανση των ηλιακών συλλεκτών και των συναφών συνιστωσών του συστήματος υπό συνθήκες χρήσης ερήμου. Οι ειδικές κλιματολογικές συνθήκες της Sede-Boqer είναι ιδανικές για αυτήν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για ασυνήθιστα ακριβής μετρήσεις της ηλιακής απόδοσης των κυττάρων.
- Το εργαστήριο Meteorological Data Laboratory (MEDAL) παρακολουθεί την ηλιακή ακτινοβολία σε μια ποικιλία από φασματικές ζώνες και γεωμετρικές συνθέσεις, μαζί με άλλες σχετικές μετεωρολογικές παραμέτρους. Το εργαστήριο είναι ο σταθμός βάσης για την εν εξελίξει έρευνα Ακτινοβολίας στο Negev, με στόχο τον εντοπισμό βέλτιστων τοποθεσιών για τις μελλοντικές μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας και για τη σύσταση μιας βάσης δεδομένων των κλιματικών παραμέτρων για το σχεδιασμό τους.
- Το εργαστήριο Solar Optics Laboratory (SOLOP) λειτουργεί με ηλιακή ακτινοβολία, σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης, που συλλέγονται για το σκοπό αυτό χρησιμοποιώντας mini πιάτα και μεταφέρεται μέσω οπτικών ινών.
- Το εργαστήριο Solar Education Facility (SOLED) συμμετέχει ενεργά σε μια σειρά εκπαιδευτικών και προβολής έργων που στοχεύουν στην αύξηση της ευαισθητοποίησης του κοινού για τη σημασία της ηλιακής ενέργειας. [25]

3.2. Χρήση συγκεντρωμένης ηλεκτρικής ενέργειας

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στο πανεπιστήμιο Ben-Gurion National Solar Energy Center χρησιμοποιεί ένα πρωτοποριακό σύστημα «συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας», μέθοδος που είναι έως και πέντε φορές πιο αποτελεσματική από την συμβατική τεχνολογία που χρησιμοποιείται σήμερα.

Στέγες σε όλο το Ισραήλ φαίνονται εντυπωσιακά όμοιες: Πάνω από 1 εκατ. νοικοκυριά στο έθνος των 7,1 εκατ. άνθρωποι έχουν ηλιακούς συλλέκτες που παράγουν ζεστό νερό-μια σχετικά απλή τεχνολογία που κέρδισε τη δημοτικότητα μετά τον αραβο-ισραηλινό πόλεμο του 1973, όταν οι τιμές του πετρελαίου εκτοξεύτηκε απότομα. Από τις αρχές του 1990, όλα τα νέα κτίρια κατοικιών ζητήθηκε από την κυβέρνηση να εγκαταστήσουν ηλιακά συστήματα θέρμανσης.

Ωστόσο, παρά ηλιόλουστο κλίμα του Ισραήλ και τις αρχές να οδηγήσουν στην ηλιακή θέρμανση, ήταν αργή η υιοθέτηση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία. Τώρα, με το πετρέλαιο αιωρείται πάνω από 100 δολάρια το βαρέλι, μια τοπική εκκίνηση ελπίζει να βασιστεί στον ήλιο.

Το Ben-Gurion National Solar Energy Center, με έδρα το Nes Ziona κοντά στο Τελ Αβίβ, είναι πρωτοπόρος σε ένα νέο τύπο της ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιεί κάτοπτρα και φακούς για να εστιάσει και να εντείνει το φως του ήλιου, που παράγοντας πολύ περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια σε χαμηλότερο κόστος. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές επίπεδες τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών πάνελ κατασκευασμένα από πυρίτιο, η λεγόμενη συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια τεχνολογία έχει αποδειχθεί σε δοκιμές ότι είναι έως και πέντε φορές πιο αποτελεσματική. Αυτό το βάζει στα πρόθυρα του να είναι ανταγωνιστική με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, ακόμη και χωρίς κρατικές επιδοτήσεις. Το ίδρυμα ιδρύθηκε το 2006, με τιμή εκκίνησης τα \$ 5 εκατομμύρια από ιδιώτες επενδυτές στο Ισραήλ και τις ΗΠΑ. Τώρα είναι που προσπαθούν να αυξήσουν επιπλέον \$ 10 εκατ. ευρώ για 15 εκατομμύρια δολάρια για να καλυφτεί το κόστος της εμπορευματοποίησης της τεχνολογίας.

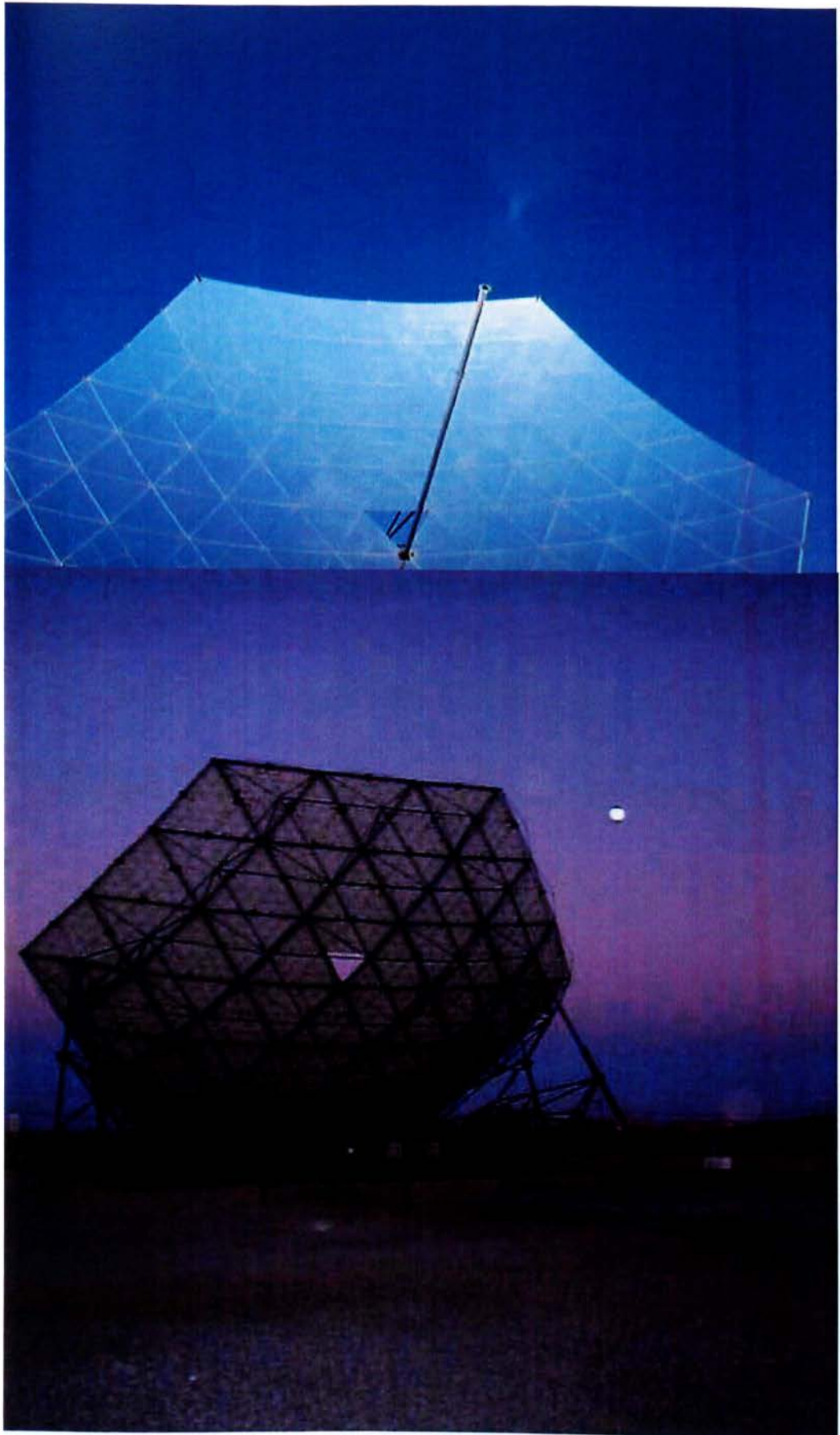
3.2.1. Ισραηλινή Παροχή Ενέργειας

Ο Roy Segev, ο ιδρυτής και διευθύνων σύμβουλος της Zenith Solar (εταιρεία που εκμεταλλεύεται εμπορικά αυτήν την τεχνολογία) λέει «Στόχος είναι να αξιοποιήσουμε κάθε πρόσφορο οροφή, πίσω αυλή, και ανοιχτό χώρο στο Ισραήλ να μετατρέψουν τα νοικοκυριά, ξενοδοχεία, εργοστάσια και σε καθαρούς παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας». Το Υπουργείο Εθνικής Υποδομής του Ισραήλ εκτιμά ότι οι ηλιακοί συλλέκτες για θέρμανση νερού ικανοποιούν ήδη το 4% της συνολικής ενεργειακής ζήτησης της χώρας. Με την τεχνολογία όπως του Zenith Solar, ο αριθμός αυτός θα μπορούσε να πηδήξει πάνω από 16% σε μια χώρα που σήμερα εξαρτάται σχεδόν ολοκληρωτικά από την εισαγόμενη ενέργεια.

Η εταιρεία Zenith Solar αγόρασε τα δικαιώματα για την ηλιακή τεχνολογία από το Ben-Gurion University και Fraunhofer Institute της Γερμανίας. Μια κοινή ισραηλινό-γερμανική ερευνητική ομάδα από τις δύο οργανώσεις, με σκοπό ένα λειτουργικό πρωτότυπο, το οποίο αποτελείται από ένα 10-τετραγωνικών μέτρων (107,6-τετ-ft.) πιάτο υπενδεδυμένο με καμπύλα κάτοπτρα κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά. Οι καθρέφτες επικεντρώνουν ακτινοβολία του ήλιου σε ένα 100-τετραγωνικών εκατοστών (15,5-τετ-in.). Η γεννήτρια μετατρέπει το φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Η γεννήτρια δίνει επίσης έντονη θερμότητα, η οποία απορροφάται μέσω του νερού, και χρησιμοποιείται σε οικιακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις για θέρμανση του νερού.

Δοκιμασμένο κατά τα τελευταία χρόνια στο Εθνικό Solar Κέντρο του Ισραήλ στην έρημο Νεγκέβ, το πρωτότυπο πέτυχε εκπληκτικά αποτελέσματα: Μια συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας, που ήταν περισσότερο από 1.000 φορές μεγαλύτερη από τα συμβατικά επίπεδα πάνελ. Στις εικόνες 3.1 – 3.5 φαίνεται το ηλιακό πιάτο που χρησιμοποιείται για τις έρευνες. [23] Να σημειωθεί ότι το πιάτο στηρίζεται σε ένα ηλεκτο-υδραυλικό σύστημα ώστε να κινείται ανάλογα με τη φορά του ήλιου. Η απόκλιση της γωνίας δεν ξεπερνά τις ± 2 μοίρες. Έχει ανεξάρτητο σύστημα αυτό – διόρθωσης της αζιμούθιου γωνίας και της ανύψωσης του πάτου με βάση αλγόριθμους διόρθωσης για κάθε ώρα της ημέρας και κάθε ημέρα του χρόνου. [30]







Εικ 3.1 – 3.5: Το ηλιακό πιάτο που χρησιμοποιείται για τις έρευνες. [23]

Κεφάλαιο 4^ο

Παρουσίαση Στοιχείων

Σύμφωνα με το Ben-Gurion National Solar Energy Center τα πλεονεκτήματα αυτής της πρότυπης μονάδας φωτοθερμικής παραγωγής ενέργειας χωρίζονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες: τα υλικά που χρησιμοποιούνται, το φωτοβολταϊκό σύστημα, το σύστημα θέρμανσης και η ηλιακή ακτινοβολία. Υπάρχουν ξεχωριστά εργαστήρια για έρευνα πάνω σε κάθε κατηγορία. Κάθε κατηγορία έχει σημαντικές καινοτομίες και πρωτοποριακές διατάξεις.

4.1 Φωτοβολταϊκά Υλικά

Ξεκινώντας από τη βάση των ηλιακών συλλεκτών – πιάτων, θα ερευνηθούν τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κελιών πάνω στο πάνελ. Στα αρχικά στάδια κατασκευής των πιάτων χρησιμοποιήθηκαν τα κλασσικά φωτοβολταϊκά κελιά, ενώ αργότερα το υλικό τους αντικαταστάθηκε από το φουλερένιο.

4.1.1. Φωτοβολταϊκά κελια

Για να μετρηθεί η απόδοση των φωτοβολταϊκών κελιών έγιναν πειραματικές δοκιμές στην έρημο, χρησιμοποιώντας ένα όργανο μέτρησης, το πυρανόμετρο, που χρησιμοποιείται για την ακριβής μέτρηση της απευθείας ηλιοφάνειας. Αποδείχθηκε ότι τα φωτοβολταϊκά κελιά έχουν σοβαρά μειονεκτήματα τα οποία συνοψίζονται στα εξής τέσσερα:

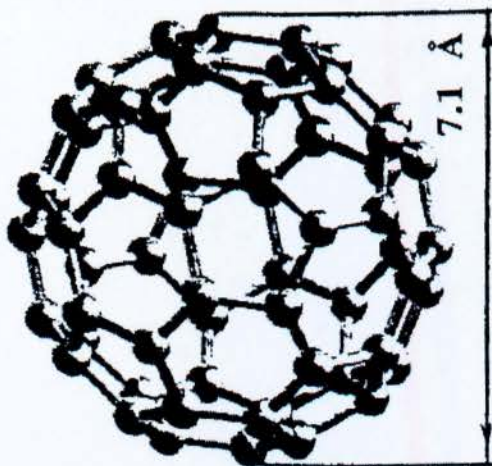
1. Απουσία αξιόπιστων μετεωρολογικών δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας για να μετρηθεί ακριβώς η απόδοση των κελιών. Σύμφωνα με μετρήσεις που έγιναν βρέθηκε ότι παρουσιάζεται απόκλιση της τάξης του 1% κάθε μήνα, με την προϋπόθεση ότι το κελί καθαρίζεται κάθε δύο μήνες από την σκόνη και την άμμο.
2. Ουσιαστικές διαφορές ανάμεσα στις προδιαγραφόμενες τιμές της απόδοσης των κατασκευαστών (που συνήθως μετρώνται με ηλιακούς προσομοιωτές) και τις πραγματικής απόδοσης σε συνθήκες ερήμου. Οι κατασκευαστές σχεδόν πάντα βάζουν υψηλότερη απόδοση στα φωτοβολταϊκά κελιά. Αυτό συμβαίνει γιατί εξαιτίας της μαζικής παραγωγής κελιών, δοκιμάζονται στα εργαστήρια των κατασκευαστών χρησιμοποιώντας ένα σετ από λάμπες που προσομοιώνουν την ηλιακή ακτινοβολία. Αλλά τα κελιά είναι ευαίσθητα στο

Μηχατρονικά Υποσυστήματα Φωτοθερμικής Παραγωγής Ενέργειας

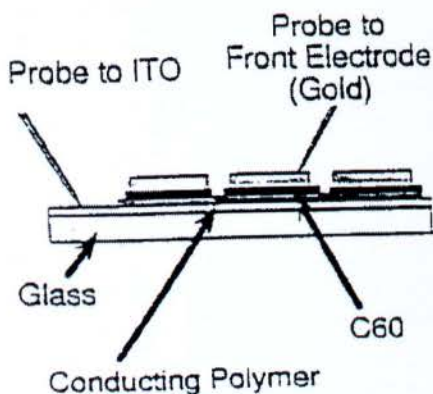
φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας και η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται στη διάρκεια της ημέρας και μπορεί η απόκλιση να φτάσει το 5% στην απόδοση. Τυπικά οι μετρήσεις των κατασκευαστών είναι 10-20% υψηλότερες από την πραγματική απόδοση.

3. Το υλικό EVA(ethylene vinyl acetate) «καφετίζει». Το υλικό EVA χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά κελιά με ενίσχυση καθρέφτη και με την πάροδο του χρόνου «καφετίζει» από την χρήση και την ακτινοβολία, φαινόμενο που μπορεί να επιφέρει απώλειες στην απόδοση της τάξης των 10% κάθε χρόνο. Μεταγενέστερες έρευνες έδειξαν ότι η απώλειες είναι κατά μέσο όρο 1% ετησίως. [25]. Σε μετρήσεις που έγιναν σε στοιχεία με ενίσχυση καθρέφτη που λειτουργούσαν για πέντε χρόνια συνδεδεμένα στο ίδιο πλέγμα προέκυψε ότι τα καφέ στοιχεία επιφέρουν απώλειες της τάξης του 1%. [25]
4. Απροσδόκητα προβλήματα που προέρχονται κατά των σχεδιασμό της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης από άτομα που δεν έχουν γνωρίζουν την περιοχή εγκατάστασης. Οι εγκαταστάτες - σχεδιαστές τέτοιων συστημάτων συνήθως κάνουν λάθος στην γεωμετρία και την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πάνελ. Η διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια σε ένα μέρος δεν σημαίνει απαραίτητα ότι είναι η και το ποσό της ενέργειας που θα επεξεργαστεί το φωτοβολταϊκό. Γι αυτό δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη γεωμετρία, τη σύνδεση των φωτοβολταϊκών στοιχείων και αν θα έχουν ή όχι τράκερς. [24]

Στα τέλη της δεκαετίας του 1990 ανακαλύφθηκε το στοιχείο φουλερένιο (C60) που είναι μια μορφή άνθρακα και ανήκει στην ίδια κατηγορία με το διαμάντι και το γραφίτη. Στην εικόνα 4.1 φαίνεται η δομή του υλικού. Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του σαν κρύσταλλος το έκαναν ικανό να αντικαταστήσει το κλασσικό πυρίτιο στα φωτοβολταϊκά κελιά. Στην εικόνα



4,2 φαίνεται που τοποθετείται το υλικό σε ένα κελί. [26]



Εικ 4.1-4.2: Η δομή του πυριτίου και ένα φωτοβολταϊκό κελί [26]

4.2. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Μελετώντας τα πιάτα ηλιακών συλλεκτών εισάγεται εδώ και λίγα χρόνια η έννοια των συλλεκτών μεγάλης κλίμακας. Μέχρι τώρα οι συλλέκτες βρίσκονταν στην οροφή σπιτιών και βιομηχανιών και προοριζόταν για ιδιοχρήση. Ο λόγος δημιουργίας των concentrator photovoltaics (CPV) είναι να μειωθεί το ποσοστό του φωτοβολταϊκού υλικού ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας. Επίσης χρησιμοποιώντας συλλέκτες μεγάλης κλίμακας αυξάνεται η απόδοση ανά μονάδα πολυπλοκότητας του συστήματος. Αναλογικά μειώνονται τα κόστη του συμβατικού ηλεκτρικού ρεύματος και γίνεται το πρώτο βήμα για τη δημιουργία ενιαίων φωτοβολταϊκών κελιών.

Υπάρχουν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για μεγάλης επιφάνειας συστήματα CPV που έχουν φθάσει πράγματι στο στάδιο εμπορευματοποίησης, και υπάρχουν μερικές πρόσθετες προσεγγίσεις που μπορούν επίσης να αποφέρουν τελικά ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Από τους δύο τύπους συστημάτων που έχουν πραγματοποιηθεί, μία εταιρεία έχει λάβει την εξατομικευμένη προσέγγιση των κυττάρων και κάνουν σημαντικές προσπάθειες για μαζική παραγωγή, η ευκολία της παράδοσης στο χώρο, και την ταχεία κατασκευή στο χώρο. Όλα αυτά είναι ζωτικής σημασίας ζητήματα, εάν τα CPV είναι σε θέση να παρέχουν ισχύ κατά την GW κλίμακα όπως κάνουν τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Η άλλη εταιρεία έχει επιλέξει να επωφεληθούν από την ποικιλία των πλεονεκτημάτων, έτσι ώστε να είναι σε θέση να παρέχουν πρόσθετη θερμική ενέργεια του χρήστη, και επίσης, να είναι σε θέση να αντικαταστήσουν τη συστοιχία κυψελών αφού το σύστημα έχει εγκατασταθεί. Αυτή τη στιγμή είναι πολύ νωρίς για να κριθεί ποια από αυτές τις κατευθύνσεις είναι προτιμότερο, ιδιαίτερα μετά μεγάλης επιφάνειας CPV μόλις τώρα αρχίζει να γίνεται πραγματικότητα. Τι κάνει αυτό το τομέα ιδιαίτερα συναρπαστικό είναι ότι η ταχεία πρόοδος προς την επίτευξη εξαιρετικά υψηλής αποτελεσματικότητας του κελιού. [30]

4.3. Ηλιακό Σύστημα Θέρμανσης

Οι συλλέκτες μεγάλης κλίμακας έχουν και το πλεονέκτημα της θερμικής παραγωγής ενέργειας, όπως οι συμβατικοί συλλέκτες. Στην Εικόνα 4.3 φαίνεται η σύνδεση κυρτών ηλιακών συλλεκτών με το δίκτυο ύδρευσης.



Εικ 4.3: Σύνδεση κυρτών συλλεκτών με το δίκτυο ύδρευσης [23]

Σε πειραματικό στάδιο βρίσκονται και μικρότεροι συλλέκτες που αποθηκεύουν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση του νερού, όπως στην Εικόνα 4.4. Το πλεονέκτημα είναι ότι αυτή η συσκευή μπορεί να δουλεύει και το βράδυ και να απορροφά πλεονάζουσα θερμότητα από το φωτοβολταϊκό σύστημα.[31]

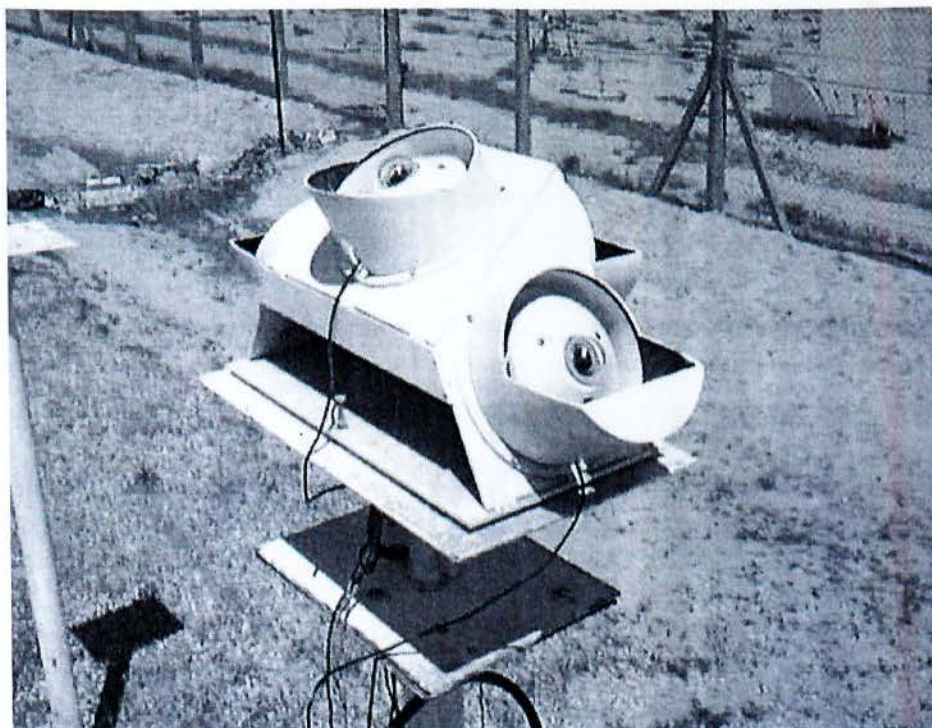


Εικ.4.4. Πειραματικός συλλέκτης-αποθηκη ηλιακής ενέργειας για θέρμανση του νερού [31]

4.4. Ηλιακή Οπτική

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μονάδας είναι η ηλιακή ακτινοβολία και η σκόνη που επικάθεται στα πάνελ, τα οποία δεδομένου την κύρτωσή τους είναι δύσκολο ν αυτοκαθαριστούν, π.χ. με αέρα κλπ...

Λόγω των διαφορετικών φασματικών ευαισθησιών των φωτοβολταϊκών υλικών, υπήρξε η ανάγκη να δημιουργηθεί πρότυπο φάσμα αναφοράς. Έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια στη μέτρηση και μοντελοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Έτσι δημιουργήθηκε το πρότυπο του λεγόμενου AM1 5G για φωτοβολταϊκούς σκοπούς. [30] Στην εικόνα 4.4 φαίνεται το όργανο που χρησιμοποιεί το εργαστήριο για μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικ 4.4: Το όργανο για μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. [23]

Η μείωση της απώλειας της ηλιακής ενέργειας προκαλείται κυρίως από τη σκόνη στην επιφάνεια των συλλεκτών. Δεν υπάρχουν μέχρι τώρα αξιόπιστα δεδομένα στη βιβλιογραφία αφού αυτό εξαρτάται μόνο από τη θέση της εγκατάστασης. Παρόλα αυτά έγινε μια έρευνα για το μέγεθος των κόκκων σκόνης που επικάθονται στους συλλέκτες. Προέκυψε ότι η επίδραση που έχει το μέγεθος των σωματιδίων εξαρτάται άμεσα από το μέσο διάδοσης της ακτινοβολίας στην επιφάνεια (για παράδειγμα αν έχει επικάλυψη γυαλιού το πάνελ).[31]

Κεφάλαιο 5^ο

Συμπεράσματα Μονάδας Ηλιακού Πιάτου

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα τέτοιων μονάδων παραγωγής, ειδικά στη σημερινή αγορά, είναι η περιορισμένη χρήση της πολυπυριτίου. Η παγκόσμια ζήτηση για παραδοσιακά φωτοβολταϊκά συστήματα έχει οδηγήσει σε μια παγκόσμια έλλειψη του υλικού και αύξηση των τιμών κατά δέκα φορές τα τελευταία τέσσερα χρόνια. «Το υλικό των φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελεί το 80% του συνολικού κόστους. " λέει ο David Faïman, Με αυτήν την τεχνολογία επιτυγχάνεται μείωση σε λιγότερο από 10%, ενώ την ίδια στιγμή τη λήψη έχει πολύ υψηλή απόδοση. Σχεδιάζεται τους επόμενους μήνες να γίνουν τα πρώτα σημαντικά βήματα προς την εμπορευματοποίηση. Δύο εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας προγραμματίζονται για αυτό το καλοκαίρι σε ένα κιμπούτς και ένα εργοστάσιο. Η εταιρεία θα βάλει 86 πιάτα των 7 μέτρων για ένα στρέμμα γης στην περιοχή Kibbutz Yavne για να παράσχει στην Κοινότητα των 250 οικογενειών περισσότερο από το ένα τέταρτο των ενεργειακών αναγκών τους. Το δεύτερο έργο θα αντικαταστήσει το πετρέλαιο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας σε ένα μεγάλο εργοστάσιο χημικών στο κεντρικό Ισραήλ.[26]

Κεφάλαιο 6^ο

Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε έρευνα για τα φωτοθερμικά συστήματα παραγωγής ενέργειας. Δηλαδή συστήματα που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά μελετώνται οι βασικότεροι εκπρόσωποι τέτοιων συστημάτων που είναι οι θερμοσίφωνες, τα φωτοβολταϊκά πάνελ και το λειζερ. Στη συνέχεια αναλύεται η περίπτωση ενός πρότυπου συστήματος που μπορεί να συνδυάσει και τις τρεις προαναφερθείσες εφαρμογές μαζί: οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες μεγάλης κλίμακας. Έχουν την ίδια λογική κατασκευής με τα φωτοβολταϊκά πάνελ με τη διαφορά ότι το βασικό υλικό κατασκευής είναι φθηνότερη και η απόδοση κατά 30% υψηλότερη αφού έχουν κινητά μέρη και κυρτές επιφάνειες συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας. Παράλληλα με τη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος λειτουργούν και σαν θερμικά συστήματα αφού μεταφέρουν τη παραγόμενη θερμότητα σε δεξαμενές νερού. Επίσης μπορούν να μειώσουν το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος κατά πέντε φορές σε σχέση με το τωρινό κόστος.

Με τη βοήθεια της ναυτεχνολογίας δημιουργήθηκαν εύπλαστα φωτοβολταϊκά κύττα , που μπορούν να τοποθετηθούν ακόμα και πάνω σε ρούχα. Η Ευρωπαϊκή ένωση έχει επενδύσει σε αυτήν την τεχνολογία με απώτερο στόχο να αποσύρει τα συμβατικά φωτοβολταϊκά κελιά. Επίσης χρησιμοποιώντας οπτικές ίνες δημιουργούνται αυτόνομες μονάδες λειζερ στα νοσοκομεία. Πειράματα που έγιναν σε κοτόπουλα έδειξαν ότι το παραγόμενο με αυτόν τον τρόπο λειζερ έχει τα ίδια αποτελέσματα με τα συμβατικά λειζερ.

Οι τεχνολογίες αυτές βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο και τώρα ξεκινούν βήματα για την εμπορευματοποίησή τους. Το σίγουρο είναι ότι υπάρχουν περαιτέρω περιθώρια βελτίωσης, τόσο των υλικών που χρησιμοποιούν όσο και της σταθερότητας του συστήματος.

Βιβλιογραφία

1. Κωνσταντακόπουλος Γ., Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Φυσικής (Τομέας Φυσικής Στερεάς Κατάστασης) στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2008
[Available at: <http://light.physics.auth.gr/enc/radiation.html>]
2. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής, “Ηλιακή Ενέργεια και Φωτοβολταϊκά”, [Available at: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=286>]
3. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), “ Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης“, [Available at: http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_bioclimatic_passive.htm]
4. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ), “ Ενεργητικά Ηλιακά “ , [Available at: http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_active_solar.htm]
5. Solar Radiation Spectrum, [Available at: http://wikicompany.org/wiki/911:Life_cosmos]
6. Γ. Μαρτινόπουλος, Γ. Τσιλιγκιρίδης, “ Ηλιακα θερμικα συστηματα στην ελλαδα οφελη – προοπτικες (a)“, “ Σημειώσεις εργαστηρίου Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009
7. Τσιλιγκιρίδης Γ., “ Ηλιακα θερμικα συστηματα στην ελλαδα οφελη – προοπτικες (a)“, “ Σημειώσεις εργαστηρίου Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009
8. Μαρτινοπουλος Γ., “Σχεδιαση, Κατασκευη Και Αξιολογηση Προτυπου Επιπεδου Ηλιακου Συλλεκτη Καταλληλου Για Ψυχρα Κλιματα“, ”, Διαδακτορική διατριβή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009
9. Πατσίδου Π., “Εφαρμογές των LASER στην Ιατρική”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πληροφορικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2009
10. Μακροπούλου Μ και Παπαγιάνης Α. , “ Εφαρμογές Των Lasers Στη Βιοϊατρική Και Το Περιβάλλον“, ΣΕΜΦΕ, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2009
11. ΜΟΥΛΙΑΝΙΤΗΣ Β., “Μοντελοποίηση θεμελιώδους σχεδιασμού βασισμένη στην τεχνητή νοημοσύνη Εφαρμογή στο Μηχανοτρονικό σχεδιασμό”, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών

Μηχατρονικά Υποσυστήματα Φωτοθερμικής Παραγωγής Ενέργειας

12. Γ. Μαρτινόπουλος, “Σχεδιαση, Κατασκευη Και Αξιολογηση Προτυπου Επιπεδου Ηλιακου Συλλεκτη Καταλληλου Για Ψυχρα Κλιματα”, Διαδακτορικη διατριβη, Τμημα Μηχανολογων Μηχανικων, Αριστοτελειο Πανεπιστημιο Θεσσαλονικης, Θεσσαλονικη, 2009
13. Κακούρης Η., “Οικονομοτεχνική Μελέτη Εγκατάστασης Ηλιακών Συλλεκτών σε Νοσοκομεία”, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2003
14. European Solar Thermal Industry Federation, “Solar Thermal Markets in Europe 2009”, 2010
15. Kohl M., Jorgensen G., Brunold S., Stefan Brunold, Carlsson B., Moller K., Heck M., “Durability of solar energy materials”, *Solar Energy* 79, 618-624, 2005
16. Kehrer M., Kunzel H., Sedlbauer K., “Ecological insulation materials: does sorption moisture affect their insulation performance”, *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, Vol. 26 No. 3, pp. 207-12, 2003
17. Μαθιουλάκης Ε., “Θερμική Ηλιακή Ενέργεια - Παρούσα Κατάσταση και Προοπτικές”, Πρακτικά 8ου Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, 2006
18. Tsilingiris P.T., “Back absorbing parallel plate polymer absorbers in solar collector design”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 43 No. 1, pp. 135-50, 2002
19. Yang Shulian, Zhang Yu, “Temperature Measurement System for Ceramic Kilns Based on Wireless Communication Technology”, *2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, p.p. 738-741, Shandong University of Technology, China, 2010
20. Yang Shulian, Zhang Yu, “Wireless Measurement and Control System for Environmental Parameters in Greenhouse”, *2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, p.p. 1099-1103, Shandong University of Technology, China, 2010
21. I. Michaelides, P. Eleftheriou, D. Müller, “A remotely accessible solar energy laboratory - A distributed learning experience”, Higher Technical Institute (HTI), Cyprus, 2010
22. Sandler N., “At the Zenith of Solar Energy”, [Available at: http://www.businessweek.com/globalbiz/content/mar2008/gb20080326_485582.htm?chan=search]
23. Ιστοσελίδα Πανεπιστημίου Ben-Gurion National Solar Energy Center, [Available at: <http://cmsprod.bgu.ac.il/Eng/Units/bidr/Departments/EnvironmentalResearch/solarcenter/>]
24. D.Faiman, “Problems Associated with Using Photovoltaic Modules under Desert Conditions”, *Journal of Arid Studies*, 58, p. 29-32, 1995

Μηχατρονικά Υποσυστήματα Φωτοθερμικής Παραγωγής Ενέργειας

25. D. Bairman et al, "EVA laminate browning after 5 years in a grid connected, mirror-assisted, photovoltaic system in the Negev desert: effect on module efficiency", *Solar Energy Materials and Solar Cells* 36, p. 426-432, 1995
26. E.A.Katz, "Fullerene based Thin Films as a Novel Polycrystalline Semiconductor", *Solid State Phenomena*, Vols 67-68, 1999
27. D. Fairman, "Ultra high cell efficiency on the path towards fossil-competitive PV economics", *The Path to Ultra-High Efficient Photovoltaics*, JRC Ispra, p 93-100, 15-16 Nov 2001,
28. D. Fairman et al, "Concerning the Relationship Between Clear-Sky, Global and Direct-Beam, Solar Spectra", *PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND PUBLICATIONS Prog. Photovolt*; 10:527-532 (DOI: 10.1002/pip.451), 2002
29. S.A. Biryukov, "Degradation of Optic Properties of Solar Collectors due to the Ambient Dust Deposition as an Function of a Particle Size", *J.Aerosol Sci*, Vol27, 1996
30. D. Fairman et al, "PETAL: A RESEARCH PATHWAY TO FOSSIL-COMPETITIVE SOLAR ELECTRICITY", *Proc. 29th IEEE PVSC*, New Orleans, May 19-24, pp.1384-1387, 2002
31. D.Fairman, "REDUCING THE HEAT LOSS AT NIGHT FROM SOLAR WATER HEATERS OF THE INTEGRATED COLLECTOR-STORAGE VARIETY", *Solar Energy* Vol. 71, No. 2, pp. 87-93, 2001
32. Ασπράγκαθος Ν, "Ηλεκτροτεχνία και Ηλεκτρικές Μηχανές", Εργαστήριο Ρομποτικής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2009

33. Παράρτημα

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- How this Solar Dish actually works from the “generator” and afterwards. How generators handles currents abnormalities (peaks, harmonics e.t.c.)? Could you provide me with some sample or drafts of the separate parts of the system?
- How the energy of the solar dish is stored? On a cloudy or rainy day would the solar dish produce energy? Which would be the efficiency in these cases?
- Οι μελέτες έχουν γίνει στην έρημο Negev, άρα δεν υπάρχουν συνθήκες βροχοπτώσεων εκεί. Στην περίπτωση της συννεφιάς το σύστημα αντιδρά κανονικά όπως και στην ηλιοφάνεια, με χαμηλότερη απόδοση προφανώς. Επειδή αυτές οι περιπτώσεις είναι ελάχιστες δεν υπάρχουν επαρκής μετρήσεις για την απόδοση σε περιόδους συννεφιάς.
- The equipment like generators, filters, optical fibers e.t.c. would work in extremely high temperatures, which means costly materials. So, what happens with the cost of the rest materials apart from the Dish itself, which is obviously cheap?
- Η τιμή τους δεν διαφέρει και πολύ με τα συμβατικά συστήματα ανά μονάδα. Δηλαδή μπορεί να είναι μεγαλύτερη εγκατάσταση και να απαιτεί περισσότερα μηχανήματα/υλικό..., αλλά δεν απευθύνεται σε ένα σπίτι αλλά σε μεγαλύτερη κλίμακα. Το κόστος εξοπλισμού ενός τέτοιου συστήματος είναι μικρότερο για ένα χωριό 250 κατοίκων, από το να τοποθετηθούν 250 αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα και ηλιακοί συλλέκτες σε 250 στέγες.
- Could these Solar Dishes connect to the classic network of electricity providers as electricity producer? If yes how this would be achieved?
- Could this PV system be used in smaller scale inside big city centers, like PV panels at the roofs of the buildings? In this case what happens this the cost/ efficiency rate? Concerning that this is applicable, could it be completely

autonomous or a part of the electricity needs would be covered by the classic electricity network? Which problems might create such projects in the electricity network, in the roofs (as far as the height or weight of the construction would be concerned)?

- Ο σκοπός τους είναι να λειτουργούν έξω από την πόλη και να την τροφοδοτούν σαν σύνολο. Δεν υπάρχει ανάγκη να έχει ο καθένας ένα τέτοιο σύστημα στο σπίτι του. Το κόστος για την κατασκευή του θα ήταν υψηλό, άρα η επένδυση ασύμφορη
- How Solar Dishes face the problems of shadows by trashes, like leaves or dust in reasonable amounts about some cm, problems that appear very often in the usual PV panels.
- The only dangerous weather condition is wind. What about the rain? As rare as it might be there is still a chance of raining in the area of installation. How rain would influence such systems?
- Οι δοκιμές και οι διατάξεις βρίσκονται σε ερήμους, όπου υπάρχει συνεχής ηλιοφάνεια. Δεν υπάρχει βιβλιογραφία για μελέτες καιρικών φαινομένων ή σκιάσεων πέρα από τον άνεμο και πέρα από τη σκόνη. Τέτοια συστήματα ευρείας κλίμακας προορίζονται για έξω από την πόλη, απομακρυσμένα από δάση κλπ
- I read that Solar Dishes could be used in hospitals as laser applications. What would happen on a cloudy or rainy day? The lasers would still work? The system could provide enough energy for two or three applications simultaneously?
- Σε μια βροχερή ή συννεφιασμένη ημέρα τα laser δεν θα λειτουργήσουν. Το laser δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπως το Λονδίνο ή το Σιατλ. Γενικά το θέμα με το laser είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Έχουν γίνει κάποιες δοκιμές σε κοτόπουλα, με αποτελέσματα συγκρίσιμα με αυτά των laser (αλλά πουθενά δεν αναφέρονται καλύτερα αποτελέσματα ή λιγότερα επικίνδυνα). Το μόνο μειονέκτημα των συμβατικών laser που έρχεται να καλύψει το “ηλιακό laser” είναι το θέμα του κόστους κατασκευής των