



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρήση ηλιακής και γεωθερμικής ενέργειας στην ψύξη χώρων

υπό

Αλέξανδρου Παπαϊωάννου



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού 2009



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 7345/1
Ημερ. Εισ.: 10-07-2009
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2009
ΠΑΠ

© 2009 Αλέξανδρος Παπαϊωάννου

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής: Ν. Ανδρίτσος

(Επιβλέπων)

Δεύτερος Εξεταστής: Π. Τσιακάρας

Τρίτος Εξεταστής: Μ. Βλαχογιάννης

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Νικόλαο Ανδρίτσο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κκ Π. Τσιακάρα και Μ. Βλαχογιάννη για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Οφείλω ευχαριστίες στον αδερφό μου Αθανάσιο Παπαϊωάννου, υποψήφιο διδάκτορα του τμήματος μηχανικών χωροταξίας και περιφερειακής ανάπτυξης του Technische Universität of Hamburg (TUHH) που μου υπέδειξε τον τρόπο μορφοποίησης της εργασίας, καθώς και για τη βοήθεια του για τη συλλογή του υλικού. Ευχαριστώ τους συναδέλφους και φίλους μου Βασίλη, Νίκο, Ανδρέα, Γιάννη, Χριστόφορο, Παναγιώτη, Δημήτρη, Θανάση, Χρυσούλη, Αλέξανδρο και Χρήστο και τις φίλες Μαρία, Τόνια, Λένα, Νικολέτα για την ηθική υποστήριξή τους. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Χρήστο και Κατερίνα Παπαϊωάννου για την ολόψυχη αγάπη, συμπαράσταση και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην μητέρα μου και στον πατέρα μου.

ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΣΤΗΝ ΨΥΞΗ ΧΩΡΩΝ

Αλέξανδρος Παπαϊωάννου

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2009

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Ανδρίτσος

Περίληψη

Τα επιτεύγματα του ανθρώπου σε τεχνολογικό, οικονομικό και κοινωνικό επίπεδο συνδέονται άμεσα με τη χρήση ενέργειας. Ωστόσο η ενεργειακή κατανάλωση αλληλοεξαρτάται με την οικολογική ισορροπία του πλανήτη μας, όπου ειδικότερα το τελευταίο αιώνα η αλόγιστη χρήση ενέργειας έχει προκαλέσει αδιαμφισβήτητη την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Συγχρόνως, η εξαντλησιμότητα των συμβατικών καυσίμων καθιστούν επιτακτική ανάγκη, την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τη λήψη μέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας. Ειδικότερα στο τομέα του κλιματισμού, οι ανάγκες αυξάνονται συνεχώς, ιδιαίτερα λόγω των αυξημένων απαιτήσεων θερμικής άνεσης και των υψηλότερων θερμοκρασιών που έχουν εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Παράλληλα, εφαρμογές παθητικών και ημιενεργητικών συστημάτων, που χρησιμοποιούνται για αιώνες για τη διατήρηση άνετων συνθηκών σε εσωτερικούς χώρους, φαίνεται να μην αξιοποιούνται σε πολλά νέα κτίρια. Επίσης η όλο και περισσότερο εκτενής χρήση των ηλεκτροκίνητων συστημάτων ψύξης με συμπίεση είναι υπεύθυνη για την αυξανόμενη ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι, η οποία φτάνει σε διάφορες περιπτώσεις στο ανώτατο όριο του δικτύου. Έτσι η χρήση της ηλιακής και γεωθερμικής ενέργειας για τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού χώρων είναι απόλυτα ελκυστική. Τα συστήματα ηλιακής ψύξης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν απολύτως αβλαβή ρευστά όπως το νερό, ή διαλύματα αλάτων για την λειτουργία τους. Είναι ενεργειακά αποδοτικά και περιβαλλοντικά φιλικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικό κλιματισμό, για να βελτιώσουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας του εσωτερικού όλων των τύπων κτιρίων. Ο κύριος στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες «μηδενικών εκπομπών» με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	: Εισαγωγή	1
1.1	Στόχος, δομή και συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας	1
1.2	Ενέργεια: Ορισμοί – Ιστορική Αναδρομή	2
1.3	Συμβατικές πηγές ενέργειας	3
1.4	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)	6
1.5	Το ενεργειακό πρόβλημα – Τρόποι αντιμετώπισης	8
1.6	Η θέση των ΑΠΕ στο κόσμο και την Ελλάδα σήμερα	11
Κεφάλαιο 2	: Ηλιακή Ενέργεια	14
2.1	Ηλιακή ακτινοβολία	14
2.2	Είδη ηλιακής ακτινοβολίας	15
2.3	Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο	18
2.4	Ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο	20
2.5	Προσανατολισμός συλλέκτη	23
Κεφάλαιο 3	: Ηλιακά Θερμικά Συστήματα	25
3.1	Ηλιακοί συλλέκτες	25
3.1.1	Επίπεδοι συλλέκτες	25
3.1.2	Συλλέκτες κενού	27
3.1.3	Συγκεντρωτικοί συλλέκτες	28
3.1.4	Σύγκριση ηλιακών συλλεκτών	29
3.2	Ηλιακά θερμικά συστήματα	29
3.2.1	Απλά θερμοσιφωνικά συστήματα	30
3.2.2	Κεντρικά ηλιακά συστήματα	32
3.2.3	Συστήματα Combi	33
Κεφάλαιο 4	: Χρήση της ηλιακής ενέργειας για ψύξη χώρων	36
4.1	Εισαγωγή	36
4.2	Γενικές αρχές	37

4.3	Παθητικά συστήματα ηλιακού κλιματισμού.....	39
4.4	Τεχνολογία ενεργητικών συστημάτων ηλιακού κλιματισμού	42
4.4.1	Κλειστά συστήματα - Θερμοκίνητοι ψύκτες	43
4.4.2	Ψυκτικά συστήματα ανοικτού εξατμιστικού κύκλου (DEC).....	53
Κεφάλαιο 5 : Χρήση της γεωθερμικής ενέργειας.....		63
5.1	Εισαγωγή.....	63
5.2	Το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας	65
5.3	Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας.....	66
5.4	Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για ψύξη χώρων.....	68
5.5	Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα	71
Κεφάλαιο 6 :Εγκαταστάσεις ηλιακού κλιματισμού.....		73
6.1	Γρ. Σαράντης Α.Ε., Οινόφυτα Βοιωτίας	73
6.2	Ott & Spiess Langenau.....	74
6.3	ΙHK (Εμπορικό επιμελητήριο) Freiburg	76
6.4	« Rethimno Village Hotel», Κρήτη.....	77
Βιβλιογραφία.....		80

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 - Η συμμετοχή των ΑΠΕ στη παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας σε συγκεκριμένες χρονιές	12
Σχήμα 1.2 - Η συμμετοχή των ΑΠΕ στη παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας κατά το 2004	12
Σχήμα 1.3 - Ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης των ΑΠΕ	13
Σχήμα 2.1 - Η ηλιακή ακτινοβολία	16
Σχήμα 2.2 - (α) Ολική ακτινοβολία σε επιφάνεια κάθετη στην άμεση (β) Άμεση ακτινοβολία κάθετη στην επιφάνεια (γ) Ολική ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια (δ) Διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια	17
Σχήμα 2.3 - Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο	18
Σχήμα 2.4 - Το (α) είναι το προοπτικό σχήμα και το (β) η τομή της ουράνιας σφαίρας, για ένα τόπο με ορισμένο γεωγραφικό πλάτος (λ)	20
Σχήμα 2.5 - Απλοποιημένο σχήμα για τη θέση του ήλιου	20
Σχήμα 2.6 - Ετήσια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m ² παγκοσμίως	21
Σχήμα 2.7 - Ετήσια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m ² στην Ελλάδα	22
Σχήμα 2.8 - Καταγραφή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο Ηράκλειο της Κρήτης	22
Σχήμα 2.9 - Σφαιρικές συντεταγμένες του τόπου T και του συλλέκτη	23
Σχήμα 2.10 - Ο προσανατολισμός του συλλέκτη	24
Σχήμα 3.1 - Επίπεδος συλλέκτης	26
Σχήμα 3.2 - Η ηλιακή ακτινοβολία	26
Σχήμα 3.3 - Τυπικός συλλέκτης κενού	28
Σχήμα 3.4 - Τυπικός συγκεντρωτικός συλλέκτης	28
Σχήμα 3.5 - Χαρακτηριστικές καμπύλες διαφορετικών τύπων συλλέκτη	29
Σχήμα 3.6 - Αρχή λειτουργίας θερμοσιφωνικού συστήματος	30
Σχήμα 3.7 - Ηλιακός θερμοσίφοντας	31
Σχήμα 3.8 - Σχηματική παράσταση κεντρικού ηλιακού συστήματος	32
Σχήμα 3.9 - Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος combi	33
Σχήμα 3.10 - Σχηματικό διάγραμμα ηλιακού συστήματος συνδεδεμένου με ενδοδαπέδια θέρμανση	35
Σχήμα 4.1 - Διάγραμμα ροής της διαδικασίας υπολογισμού για την εκτίμηση ψυκτικών φορτίων κτιρίου	38

Σχήμα 4.2 - Εξάρτηση της αποτελεσματικότητας διαφορετικών συστημάτων ηλιακής προστασίας από: τη γεωμετρία των κατασκευών ηλιοπροστασίας, τον προσανατολισμό της εκάστοτε όψης του κτιρίου, την χρονική περίοδο	40
Σχήμα 4.3 - Βασική λειτουργία των θερμοκίνητων ψυκτών	44
Σχήμα 4.4 - Σχηματική περιγραφή ενός ψύκτη απορρόφησης μονής βαθμίδας.....	46
Σχήμα 4.5 - Θερμικός συντελεστής απόδοσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ανεφοδιασμού ηλιακής θερμότητας για ψύκτη απορρόφησης LiBr-H ₂ O μονής, διπλής και τριπλής βαθμίδας	49
Σχήμα 4.6 - Σχηματική απεικόνιση ενός ψύκτη προσρόφησης	51
Σχήμα 4.7 - Σχηματική απεικόνιση ενός πλήρη κύκλου προσρόφησης (οι φάσεις 2 και 4 :διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας)	52
Σχήμα 4.8 - Ιδανική ρύθμιση των μονάδων επεξεργασίας αέρα με ξηραντές	55
Σχήμα 4.9 - Σχέδιο επεξεργασίας αέρα με ξηραντές (προσροφητικός τρόπος ψύξης χωρίς by pass)	56
Σχήμα 4.10 - Παράδειγμα κατασκευής μιας μονάδας χειρισμού με ξηραντές.....	57
Σχήμα 4.11 - Διαδικασία προσροφητικού τρόπου ψύξης σε σύστημα ανοικτού κύκλου στερεού μέσου.....	58
Σχήμα 4.12 - Σχηματική απεικόνιση συστήματος ψύξης ανοικτού κύκλου με υγρό μέσο.....	60
Σχήμα 5.1 - Τα όρια των λιθωφαιρικών πλακών, στα οποία απαντούν τα περισσότερα γεωθερμικά συστήματα	64
Σχήμα 5.2 - Τα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα.....	65
Σχήμα 5.3 - Κατανομή των γεωθερμικών χρήσεων χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά το έτος 2005.....	67
Σχήμα 5.4 - Σχηματική απεικόνιση του κύκλου απορρόφησης.....	68
Σχήμα 5.5 - Απλουστευμένη σχηματική απεικόνιση του συστήματος ψύξης απορρόφησης με γεωθερμική ενέργεια	70
Σχήμα 5.6 - Σχηματική απεικόνιση του συστήματος ψύξης απορρόφησης με γεωθερμική ενέργεια.....	71

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 3.1 - Ηλιακή στέγη σε Αυστριακό σύστημα combi.....	34
Εικόνα 5.1 - α) Εγκαταστάσεις του μουσείου πάγου στην Αλάσκα, β) Ψύκτης απορρόφησης αμμωνίας-νερού.....	69
Εικόνα 6.1 - α) εγκαταστάσεις ηλιακών συλλεκτών, β) εγκαταστάσεις ψυκτών προσρόφησης.....	73
Εικόνα 6.2 - α) πρόσοψη κτιρίου, β) εγκαταστάσεις των ηλιακών συλλεκτών κενού.....	74
Εικόνα 6.3 - α) αίθουσα συνεδριάσεων, β) εγκαταστάσεις των ηλιακών συλλεκτών.....	76
Εικόνα 6.4 - α) εγκαταστάσεις των ηλιακών συλλεκτών, β) γενική όψη των εγκαταστάσεων.....	77

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 - Ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στη πρωτογενή κατανάλωση ενέργειες στις χώρες της Ε.Ε.....	13
Πίνακας 3.1 - Συγκριτικός πίνακας συλλεκτών.....	29
Πίνακας 4.1- Επισκόπηση των πιο κοινών τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού.....	43
Πίνακας 4.2 - Καταστάσεις του αέρα στο προσροφητικό τρόπο ψύξης.....	59
Πίνακας 5.1 - Το διάγραμμα Lindal.....	66
Πίνακας 5.2 - Σύνοψη των γεωθερμικών χρήσεων στην Ελλάδα κατά το 2005. Η αξιοποιούμενη ενέργεια αντιστοιχεί περίπου σε 12000 ΤΠΠ/έτος.....	72

Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή

1.1 Στόχος, δομή και συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας

Οι έντονες κλιματικές αλλαγές σε συνδυασμό με την συνεχή αύξηση των τιμών του πετρελαίου, αποτελούν δύο σημαντικές αφορμές για να έρθουν στο προσκήνιο εναλλακτικές τεχνολογίες που θα είναι φιλικές προς το περιβάλλον και ταυτόχρονα οικονομικά βιώσιμες. Ειδικότερα η χρήση της ηλιακής ενέργειας για κλιματισμό καθώς και της γεωθερμίας, αποτελούν ερευνητικά αντικείμενα έντονου ενδιαφέροντος, που μπορούν να προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις στα περιβαλλοντικά και οικονομικά προβλήματα τα οποία δημιουργεί η χρήση των συμβατικών κλιματιστικών μονάδων. Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό, τον τρόπο λειτουργίας καινοτόμων ηλιακών συστημάτων ψύξης καθώς και την παρουσίαση υφιστάμενων εγκαταστάσεων. Στόχος της εργασίας είναι η ανάλυση τεχνολογιών «μηδενικών εκπομπών» με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂.

Συγκεκριμένα στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή τόσο των συμβατικών όσο και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στη συνέχεια αναλύεται το ενεργειακό πρόβλημα και κατ'επέκταση οι περιβαλλοντικές και οι κοινωνικοοικονομικές του επιπτώσεις. Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύεται εκτενώς η ηλιακή ενέργεια με τη πλήρη περιγραφή της ηλιακής ακτινοβολίας, τα είδη της, καθώς και της ενεργειακής απολαβής από τον ήλιο. Στη συνέχεια στο 3^ο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια αναφορά στα είδη των ηλιακών συλλεκτών και στα υπάρχοντα θερμικά ηλιακά συστήματα. Το 4^ο κεφάλαιο αποτελεί και το κύριο μέρος της εργασίας όπου παρουσιάζονται οι ηλιακές τεχνολογίες ψύξης που έχουν αποδείξει την αποδοτικότητα και αξιοπιστία τους. Αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούν αβλαβή ρευστά (κυρίως νερό) και πολύ λιγότερη πρωτογενή ενέργεια σε σχέση με τα κλασσικά συστήματα. Στο κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται μια περιληπτική αναφορά στη γεωθερμική ενέργεια καθώς και στις ποικίλες χρήσεις αυτής. Τέλος στο 6^ο κεφάλαιο δίνονται κάποιες από τις υπάρχοντες εφαρμογές του ηλιακού κλιματισμού στο κόσμο.

Καταλήγοντας σε κάποια συμπεράσματα, ο ηλιακός κλιματισμός βρίσκεται ακόμη στο στάδιο ανάπτυξης και έρευνας. Για την περαιτέρω ανάπτυξή του πρέπει να

ξεπεραστούν προβλήματα, κυρίως στον τομέα σχεδιασμού των συγκεκριμένων συστημάτων καθώς και των συστημάτων ελέγχου. Μολονότι υπάρχει πληθώρα εφαρμογών τα διαθέσιμα στοιχεία είναι συνήθως ελλιπή. Η εμπειρία από πραγματικές εγκαταστάσεις είναι απαραίτητη για την δημιουργία τυποποιημένων λύσεων. Παράλληλα απαιτείται η οικονομική ενίσχυση των εφαρμογών ηλιακού κλιματισμού για την διείσδυσή τους στην αγορά.

1.2 Ενέργεια: Ορισμοί – Ιστορική Αναδρομή

Η ενέργεια αποτέλεσε και αποτελεί τον κύριο τρόπο έκφρασης και δημιουργίας κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας. Το επίπεδο ευημερίας και ανάπτυξης που έχουμε σήμερα οφείλεται στην άφθονη ενέργεια που απολαμβάνει σημαντικό μέρος της ανθρωπότητας. Ωστόσο μεταβολές στην προσφορά ενέργειας έχουν πολύ μεγάλες επιπτώσεις στην οικονομία και τη ποιότητα ζωής ανά τους αιώνες. Συγχρόνως η ενεργειακή κατανάλωση συνδέεται άμεσα με την οικολογική ισορροπία του πλανήτη μας, όπου η αλόγιστη χρήση και κατανάλωση ενέργειας ειδικότερα από τον περασμένο αιώνα έως σήμερα έχει προκαλέσει αδιαμφισβήτητα την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Ωστόσο εκτός από τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις το ενεργειακό πρόβλημα έχει και μια τρίτη συνιστώσα, την εξαντλησιμότητα των συμβατικών καυσίμων. Συνέπεια των παραπάνω είναι η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η λήψη μέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Η ενέργεια αποτελεί μια απροσδιόριστη έννοια. Μελετώντας την από φυσική άποψη, ενέργεια ορίζεται ως η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο σε ένα άλλο σύστημα. Ομοίως και η λέξη έργο αποτελεί ένα γενικό όρο, όπου ο φυσικός ορισμός του είναι το γινόμενο μιας δύναμης επί την απόσταση στην οποία δρα η δύναμη. Η έννοια της ενέργειας αναπτύχθηκε από το *αρχαϊκό πυρ*, ένα από τα τέσσερα βασικά στοιχεία της φύσης σύμφωνα με τον Εμπεδοκλή κατά τον 5^ο π.Χ. αιώνα, ωστόσο ως και τον 18^ο αιώνα η έννοια της ήταν γνωστή ως *ζώσα δύναμη*. Το 1807 ο Thomas Young ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τον όρο «ενέργεια» ως το γινόμενο της μάζας ενός αντικειμένου επί του τετραγώνου της ταχύτητας του.

Κατά την ιστορική του εξέλιξη, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε με εφευρετικότητα τις δυνατότητες που του παρείχε απλόχερα η φύση. τη δύναμη της φωτιάς, του νερού, του ανέμου και του ήλιου, με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών της διαβίωσης του. Η

πρώτη χρήση ενέργειας από τον άνθρωπο συνδέεται με τη χρήση της μυϊκής του δύναμης. Στη συνέχεια με την ανακάλυψη της φωτιάς και την γενικευμένη χρήση της πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από δραστηριότητες οι οποίες βασίζονται στη καύση ξυλείας. Η επόμενη φάση στη χρήση ενέργειας συνδέεται με την εξημέρωση αγρίων ζώων και την είσοδο των αγροτικών καλλιεργειών. Γύρω στο 3000 π.Χ. υπάρχουν αρχαιολογικά ευρήματα στις περιοχές του Νείλου και της Μεσοποταμίας που αποδεικνύουν την αυξημένη χρήση ενέργειας για όργωμα, άρδευση, μεταφορά τροφίμων και για κατασκευή κτιρίων και μνημείων. Στους πιο πρόσφατους αιώνες, αν και η χρήση του γαιάνθρακα αναφέρεται από τον 1^ο μ.Χ. αιώνα στην Ανατολή, η ξυλεία, ο άνεμος και το νερό, δηλαδή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυριαρχούσαν στην αγορά ενέργειας του δυτικού κόσμου έως τον 16^ο μ.Χ. αιώνα. Το 19^ο αιώνα πραγματοποιείται η βιομηχανική επανάσταση, η οποία συνδέθηκε με την χρήση από τον άνθρωπο σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Αρχικά οι κύριες πηγές ενέργειας ήταν τα καυσόξυλα και το κάρβουνο, ενώ στη συνέχεια η τεράστια αύξηση στη κατανάλωση ενέργειας οφειλόταν στη χρήση κάρβουνου, πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, ένας νέος τρόπος παραγωγής ενέργειας ήρθε να δημιουργήσει ελπίδες, για ριζική επίλυση του παγκοσμίου ενεργειακού προβλήματος, ο οποίος είναι η πυρηνική ενέργεια. Πολύ γρήγορα, όμως, δραματικά γεγονότα ήλθαν να επιβεβαιώσουν, χωρίς περιθώρια αμφισβήτησης, την αδυναμία μας να διασφαλίσουμε την ελεγχόμενη παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας. Παράλληλα άρχισαν να επιβεβαιώνονται, με επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο, οι προβλέψεις για σημαντικές επιβαρυντικές συνέπειες της μέχρι σήμερα συμπεριφοράς του ανθρώπου στο οικοσύστημα, εξαιτίας κυρίως της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων και πολλών, φαινομενικά αθώων, τεχνολογικών προϊόντων.

1.3 Συμβατικές πηγές ενέργειας

Το σύνολο των πηγών ενέργειας διακρίνεται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στις πηγές εκείνες που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα μέσα στο στερεό φλοιό της Γης, με συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και άρα μη ανανεώσιμα και σ' αυτές που καθημερινά και αέναα μας παρέχονται σε βαθμό ήπιας εκμετάλλευσης. Στις πρώτες ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), αναφερόμενα και ως συμβατικά καύσιμα. Ορυκτά καύσιμα είναι οι ουσίες που έχουν δημιουργηθεί από οργανισμούς και φυτά που έζησαν πριν από εκατομμύρια χρόνια. Βρίσκονται με τη

μορφή κοιτασμάτων σε βάθος λιγότερο των 10 km από την επιφάνεια της γης. Τα κυριότερα συστατικά τους είναι ο άνθρακας και το υδρογόνο. Στις συμβατικές πηγές ενέργειας ανήκει και η μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια. Οι κύριες πηγές ενέργειας, που χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι:

♦ **Ο άνθρακας (κάρβουνο)**

Αποτελεί οργανικό ορυκτό με κύρια συστατικά τον άνθρακα και το υδρογόνο και επιμέρους το οξυγόνο, το θείο και το άζωτο. Η μοριακή δομή του είναι αρκετά περίπλοκη. Υπάρχουν ενδείξεις ότι έχει χρησιμοποιηθεί σε οικιακές χρήσεις από το 500 π.Χ. Επίσης ήταν για πολλά χρόνια έως σήμερα, η κύρια καύσιμη ύλη και υπήρξε η βάση της βιομηχανικής επανάστασης. Μεγάλο μέρος της σημερινής παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής βασίζεται στην ενέργεια από την καύση του ορυκτού άνθρακα.

♦ **Το πετρέλαιο**

Αποτελεί την κυριότερη πηγή ενέργειας στο σύγχρονο κόσμο. Είναι ένα πολύπλοκο μίγμα αερίων, υγρών και στερεών υδρογονανθράκων, το οποίο βρίσκεται σε πετρελαιοφόρα κοιτάσματα σε διάφορα μέρη του πλανήτη. Η προέλευση του πετρελαίου δεν έχει διαλευκανθεί πλήρως. Εκτιμάται ότι πριν από εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια θαλάσσιοι φυτικοί μικροοργανισμοί και μονοκύτταροι ζωικοί μικροοργανισμοί εγκλωβίστηκαν με τα χρόνια σε υδάτινους ταμιευτήρες σχηματίζοντας αναερόβια μαύρη λάσπη. Ήταν γνωστό από την αρχαιότητα, στους Εβραίους και τους Αιγυπτίους. Στη Δύση, γινόταν περιορισμένη χρήση του σε φωτισμό και την ιατρική, μέχρι το τέλος του 15^{ου} αιώνα, οπότε άρχισε η βιομηχανική του εκμετάλλευση. Η παγκόσμια παραγωγή του εντατικοποιήθηκε από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, ενώ από τα μέσα του 20^{ου}, οι ρυθμοί εκμετάλλευσης πήραν εκρηκτικές διαστάσεις. Σήμερα, μετά από δύο πετρελαϊκές κρίσεις (1973 και 1979) και τη διαπίστωση ορατών πλέον επιπτώσεων, συνειδητοποιούμε την ανάγκη αλλαγής του τρόπου ζωής μας και αναζήτησης λύσεων από το χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παράλληλα, αποκτά ιδιαίτερο νόημα η εφαρμογή αυστηρότερης πολιτικής στον τομέα της ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας.

Τα συμβατικά καύσιμα καλύπτουν σήμερα το 85% της καταναλισκόμενης ενέργειας στις αναπτυγμένες χώρες και το 55%, στις υπό ανάπτυξη. Στις τελευταίες, το

ποσοστό χρήσης πετρελαίου, ως ενεργειακής πηγής, συνεχίζει να αυξάνει, ενώ στις αναπτυγμένες χώρες υπάρχει τάση μείωσης του, με σταδιακή διεύδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Εκτιμάται ότι τα υπάρχοντα αποθέματα των πηγών αυτών θα επαρκέσουν ακόμα για περίπου 200 χρόνια για το κάρβουνο, 60 χρόνια για το φυσικό αέριο και 40 χρόνια για το πετρέλαιο. (BP, 2008)

Η καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και των παραγώγων του δίδει, ως άμεσα προϊόντα, CO₂, οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι αυξημένες ποσότητες των αερίων αυτών, που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, αποτελούν μια μόνιμη απειλή για το μέλλον μας, προκαλώντας ισχυρές κλιματικές αλλαγές και επιβαρυντική απόκλιση από τις κανονικές συνθήκες ισορροπίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

♦ Το φυσικό αέριο

Αποτελεί ένα μίγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση, το οποίο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και βρίσκεται συνήθως σε ταμιευτήρες στο φλοιό της γης. Η σύσταση του στην έξοδο της γεώτρησης ποικίλει ως προς τα συστατικά. Η κυριότερη διεργασία σχηματισμού του είναι ο διαχωρισμός του από το πετρέλαιο και στη ουσία σε πολύ μεγάλα βάθη όλοι οι υδρογονάνθρακες έχουν διασπαστεί σε αέρια. Το φυσικό αέριο ήταν γνωστό από την αρχαιότητα και αρκετοί αρχαίοι ναοί χτίστηκαν σε εκροές φυσικού αερίου. Η σύγχρονη χρήση φυσικού αερίου πραγματοποιήθηκε το 1821 στη Νέα Υόρκη, όπου ανοίχτηκε η πρώτη γεώτρηση φυσικού αερίου.

♦ Η πυρηνική ενέργεια

Είναι η ενέργεια που εκλύεται κατά πυρηνικές αντιδράσεις. Υποδηλώνει την ενέργεια που απελευθερώνεται σε πολύ μεγάλες ποσότητες κατά την πυρηνική σχάση. Από το 1945 και μετά προστέθηκε στις μεγάλης ισχύος πηγές ενέργειας. Η Γαλλία είναι από τις χώρες που έδωσαν μεγάλη έμφαση στην ανάπτυξη της, χρησιμοποιώντας, κατά την περίοδο της δεκαετίας του 70, το μη πειστικό πια επιχείρημα της παραγωγής καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα αντιλαμβανόμαστε με απόγνωση, την αδυναμία μας να λύσουμε το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης διασποράς των πυρηνικών όπλων ή της διασφαλισμένης αποθήκευσης των πυρηνικών αποβλήτων και αισθανόμαστε τρόμο για τα ολοένα και πιο πιθανά πυρηνικά ατυχήματα. Από τα πιο σημαντικά, εκείνο στον πυρηνικό σταθμό του Three Mile Island της Πενσυλβάνιας (ΗΠΑ), τον Απρίλιο του 1979 και εκείνο στο Τσερνομπίλ της Ρωσίας, τον Απρίλιο

του 1986. Η πυρηνική ενέργεια προορίζεται, στο βαθμό που έχει αναπτυχθεί σήμερα, κυρίως για παραγωγή ηλεκτρισμού βάσης, δηλαδή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σταθερής ισχύος χωρίς δυνατότητα κάλυψης των διακυμάνσεων ζήτησης. Καλύπτει το 4-5% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης. Η παραγόμενη παγκοσμίως ισχύς σε πυρηνικά εργοστάσια ανέρχεται σε 360 GW (2005). Στην Ευρώπη ξεπερνά τα 110 GW, με τη Γαλλία στα 63 GW.

1.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Ανανεώσιμη ή ήπια πηγή ενέργειας ονομάζεται η μορφή ενέργειας η οποία είναι ανεξάντλητη στο απώτερο μέλλον της ανθρωπότητας και έχει σχετικά μικρές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι ΑΠΕ συνδέονται άμεσα με την έννοια της αειφόρου ανάπτυξης και το τρίπτυχο της: οικονομία, περιβάλλον, κοινωνική ευημερία. Σήμερα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καλύπτουν το 8 % της ενέργειας που καταναλώνει η Αμερική και το 7 % καταναλισκόμενης ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το υψηλό κόστος αποτελεί βασικό περιορισμό για την αξιοποίηση και περαιτέρω διεύρυνση των ΑΠΕ, το οποίο σχετίζεται άμεσα με το επίπεδο της τεχνολογίας. Οι κύριες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

♦ Αιολική ενέργεια

Είναι μια μορφή ενέργειας που δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο προκαλεί την μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από την μία περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας δηλαδή τους ανέμους. Η ενέργεια των ανέμων είναι εκμεταλλεύσιμη αφού μετακινεί ιστοφόρα, αντικείμενα, περιστρέφει ανεμοτροχούς. Η ενέργεια αυτή είναι ανεξάντλητη και αν το συνολικό αιολικό δυναμικό του πλανήτη ήταν δυνατό να εκμεταλλευτεί, εκτιμάται ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ένα χρόνο από τον άνεμο θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας. Τα σύγχρονα συστήματα αιολικής ενέργειας αφορούν αποκλειστικά τη μετατροπή της ενέργειας των ανέμων σε ηλεκτρική μέσω των ανεμογεννητριών.

♦ Ενέργεια από βιομάζα

Βιομάζα είναι η ύλη (αέρια, στερεή ή υγρή) που περιέχει άνθρακα και η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια. Τα υλικά αυτά μπορούν να καούν απευθείας για

παραγωγή θερμότητας ή ισχύος ή να μετατραπούν σε βιοκαύσιμα. Η βιομάζα μπορεί να προέρχεται είτε από πρωτογενή πηγή (φυτά) είτε έμμεσα από αστικά, βιομηχανικά και αγροτικά απόβλητα. Έτσι λοιπόν ως βιομάζα θεωρείται η ξυλεία, τα υπολείμματα ξυλείας, η επεξεργασία φυτικών καρπών, τα λύματα των πόλεων.

♦ Γεωθερμική ενέργεια

Είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Δηλαδή αποτελεί τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένη με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού έως και τρία χιλιόμετρα κάτω από την επιφάνεια της γης. Οι χρήσεις και οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό και περιλαμβάνουν τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη θέρμανση οικιών, τη δημιουργία ψύξης.

♦ Ηλιακή ενέργεια

Είναι η ενέργεια που μεταφέρεται στη γη από τον ήλιο. Διαχωρίζεται στην άμεση ηλιακή ενέργεια και στην έμμεση υπό τη μορφή βιομάζας, κυμάτων, ανέμων, αφού ο ήλιος αποτελεί την απόλυτη πηγή για τους περισσότερους ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους. Η ενέργεια του ήλιου οφείλεται στις αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης που πραγματοποιούνται στη μάζα του ήλιου. Τα κυριότερα προβλήματα για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αφορούν τη χρονική διακύμανση ακτινοβολίας. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας είναι γνωστή από την αρχαιότητα με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη καταστροφή του ρωμαϊκού στόλου από τα κάτοπτρα του Αρχιμήδη.

♦ Υδροηλεκτρική ενέργεια

Είναι η ενέργεια που παράγεται από τη πτώση νερού ποταμών ή λιμνών με τη βοήθεια υδροστροβίλων. Αποτελεί μία έμμεση ηλιακή ενέργεια. Έχει υπολογιστεί ότι περίπου το ένα τέταρτο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στη γη καταναλώνεται στην εξάτμιση νερού. Η ενέργεια αυτή διαχέεται στη φύση από δίνες και ρεύματα καθώς το νερό ρέει κατηφορικά σε ρυάκια, χείμαρρους, ποτάμια. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού τόσο περισσότερη ενέργεια περιέχει.

♦ Ενέργειες από τη θάλασσα

Η θάλασσα αποτελεί μια τεράστια πηγή ενέργειας. Οι κυριότερες μορφές ενέργειας που μπορούμε να αξιοποιήσουμε από αυτή τη πηγή είναι:

- Ενέργεια από τα κύματα
- Παλιρροϊκή ενέργεια
- Θερμική ενέργεια των ωκεανών

1.5 Το ενεργειακό πρόβλημα – Τρόποι αντιμετώπισης

Η ευημερία μιας κοινωνίας σχετίζεται άμεσα με τη κατανάλωση ενέργειας. Δηλαδή όσο πιο αναπτυγμένο είναι το βιοτικό επίπεδο μιας κοινωνίας, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση ποσοτήτων ενέργειας. Η τεράστια αύξηση του πληθυσμού της γης, ο οποίος υπολογίζεται σήμερα στα έξι δισεκατομμύρια, καθώς και η αλόγιστη χρήση μεγάλων ποσοτήτων των ενεργειακών πόρων, επέφεραν αρνητικότερα αποτελέσματα τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε κοινωνικό επίπεδο. Έχει εκτιμηθεί ότι το 87% των ανθρώπινων αναγκών ικανοποιούνται από την καύση ορυκτών καυσίμων όπως γαιάνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο. Επιπλέον η τεράστια και αλματώδης ανάπτυξη αναπτυσσόμενων χωρών όπως η Κίνα, η Βραζιλία και η Ινδία τα τελευταία χρόνια, οι οποίες απορροφούν ολοένα και μεγαλύτερες ποσότητες πρώτων υλών και ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα την πολύ μεγάλη αύξηση των τιμών των πρώτων υλών. Ωστόσο υπολογίζεται ότι με την οικονομική κρίση που πλήττει τη παγκόσμια οικονομία οι ανάγκες για ενέργεια και αντίστοιχα οι τιμές τους έχουν μειωθεί στα επίπεδα του 2000. Αποτέλεσμα αυτής της χρήσης είναι οι τεράστιες ποσότητες CO₂ που εκπέμπονται στη ατμόσφαιρα.

Ωστόσο εκτός από τη περιβαλλοντική διάσταση του προβλήματος υπάρχει και η κοινωνική, η οποία αφορά την μεταβολή των τιμών των ορυκτών καυσίμων, την εξαντλησιμότητα των ενεργειακών πόρων και την άδικη κατανομή αυτών στους λαούς της γης. Αφού όπως γνωρίζουμε λίγες χώρες διαθέτουν σχεδόν όλη τη ποσότητα ορυκτών καυσίμων. Επίσης σύμφωνα με επιστημονικές έρευνες και τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης το πετρέλαιο αναμένεται να διαρκέσει για τα επόμενα 40 χρόνια και το φυσικό αέριο για τα επόμενα 60 χρόνια. Η αύξηση του πληθυσμού της γης και η αύξηση του βιοτικού επιπέδου πολλών αναπτυσσόμενων χωρών θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε υψηλότερους ρυθμούς κατανάλωσης ενέργειας.

με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Ορισμένα από τα είδη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι:

- ♦ **Φαινόμενο του θερμοκηπίου:** Είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο και θεωρείται υπεύθυνο για την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης, η οποία ονομάζεται κλιματική αλλαγή και παγκόσμια θέρμανση. Τα κυριότερα ρυπογόνα αέρια του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο, τα οξείδια αζώτου, το όζον και οι χλωροφθοράνθρακες.
- ♦ **Όξινη βροχή:** Εμφανίζεται σε υπερτοπικό επίπεδο και οφείλεται στις εκπομπές οξειδίων θείου και αζώτου από τη καύση του γαιάνθρακα και του πετρελαίου.
- ♦ **Φωτοχημικό νέφος:** Δημιουργείται σε τοπικό επίπεδο και οφείλεται στις εκπομπές των αυτοκινήτων και της βιομηχανίας υπό ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες.
- ♦ **Ρύπανση υδάτινων πόρων:** Παρουσιάζεται και αυτό σε τοπικό επίπεδο και οφείλεται σε πυρηνικά ή άλλα υγρά απόβλητα στα υπόγεια νερά. Επίσης υποβαθμίζει ποτάμια, λίμνες και ωκεανούς.
- ♦ **Θερμική ρύπανση:** Είναι τόσο παγκόσμιο όσο και τοπικό φαινόμενο. Θερμικά απόβλητα σε θάλασσα, άλλους υδάτινους αποδέκτες, ξηρά και ατμόσφαιρα.
- ♦ **Χρήση γης:** Πρόκειται για τοπικής σημασίας φαινόμενο. Η χρήση γης και οι συνακόλουθες κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι αναπόφευκτες κατά την αξιοποίηση οποιασδήποτε μορφής ενέργειας. Οι κάτοικοι πολλές φορές δρουν εχθρικά σε κάθε χρήση γης για ενεργειακές δραστηριότητες όπως η υγειονομική ταφή απορριμμάτων.

Συνεπώς γίνεται αντιληπτό ότι η ανάγκη εύρεσης βιώσιμων λύσεων των παραπάνω προβλημάτων είναι επιτακτική, αφού οι επιπτώσεις αυτού του τεράστιου προβλήματος γίνονται ήδη απειλητικές για το πλανήτη μας.

Κάποιες προσωρινές λύσεις και μία μερική αντιμετώπιση του προβλήματος θεωρείται η υποκατάσταση του γαιάνθρακα από φυσικό αέριο, η ανάπτυξη τεχνολογίας ώστε να γίνει δυνατή η ανακάλυψη και η αξιοποίηση νέων κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Επίσης η εκμετάλλευση των λεγόμενων καθαρών τεχνολογιών γαιανθράκων. Ωστόσο δύο κύριες κατευθύνσεις μπορούν να δώσουν μερική λύση στο

πρόβλημα: α) Η ορθολογική χρήση της ενέργειας, δηλαδή η βελτίωση του βαθμού απόδοσης των ενεργειακών μετατροπών, η μείωση των απωλειών θερμότητας, η αντικατάσταση ενεργοβόρων διεργασιών και συσκευών, β) η υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Σε παγκόσμιο επίπεδο η σημαντικότερη πρωτοβουλία είναι η υπογραφή του Πρωτοκόλλου του Κιότο (1997) από 160 χώρες για τον έλεγχο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ωστόσο οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η Αυστραλία και η Κίνα απέχουν. Κάποια από τα μέτρα που έχουν εφαρμοστεί από χώρες που έχουν επικυρώσει το Πρωτόκολλο είναι:

- ♦ **Νομοθετικά μέτρα:** Υποχρεωτική μείωση της απόδοσης των αυτοκινήτων, ενεργειακή σήμανση οικιακών συσκευών, ενεργειακά πιστοποιητικά νέων κτιρίων
- ♦ **Οικονομικά μέτρα:** Επιβολή του φόρου άνθρακα, δάνεια για πιο αποδοτικά αυτοκίνητα, έκπτωση φόρου για τη χρήση πράσινου ηλεκτρισμού, επιδοτήσεις για τη χρήση των ΑΠΕ.
- ♦ **Μέτρα προώθησης:** Εκστρατεία για την ευαισθητοποίηση του κοινού στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, διαφήμιση των μέσων μαζικής μεταφοράς.
- ♦ **Εθελοντικά μέτρα:** Ορισμένες βιομηχανίες έχουν εκφράσει την επιθυμία να μειώσουν από μόνες τους τις εκπομπές ρύπων

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης η προώθηση των ΑΠΕ αποτελεί βασικό στόχο της κοινής ενεργειακής πολιτικής των χωρών-μελών. Το σχέδιο δράσης «Ενέργεια για το μέλλον: ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» και η «Λευκή Βίβλος» το 1997 για τη κοινοτική στρατηγική, θέτουν ένα ποσοτικά προσδιορισμένο στόχο για την Ευρωπαϊκή Ένωση. Σε αυτόν ορίζεται η συμμετοχή των ΑΠΕ στο 12% της συνολικής εγχώριας ενεργειακής κατανάλωσης της Ε.Ε. έως το 2010. Ωστόσο εκτός από τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης δίνεται έμφαση και στη προστασία του περιβάλλοντος μέσω της ανάπτυξης του τομέα της έρευνας. Η ευρωπαϊκή επιτροπή στη «Πράσινη Βίβλο» αναφέρει τα κριτήρια που αφορούσαν στη δημιουργία θέσεων απασχόλησης, την περιφερειακή ανάπτυξη και την αύξηση των εξαγωγών ως πρόσθετους στόχους.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρείται σήμερα ότι διαθέτει στο τομέα των ΑΠΕ ένα πολύ ισχυρό δυναμικό, το οποίο όμως είναι άνισα κατανομημένο. Η αναλογία των ΑΠΕ

στη συνολική εγχώρια κατανάλωση ποικίλει από χώρα σε χώρα. Έτσι ο συνολικός στόχος που έχει καθοριστεί, απαιτεί μεγάλη συμμετοχή των κρατών-μελών, τα οποία οφείλουν να ενθαρρύνουν τη διάδοση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ανάλογα με το δυναμικό που διαθέτουν. Ωστόσο μετά τη παγκόσμια οικονομική κρίση του 2008 πολλά κράτη-μέλη της ευρωπαϊκής ένωσης ζητούν την χαλάρωση αυτών των ρυθμίσεων με στόχο την ανάταξη της οικονομίας.

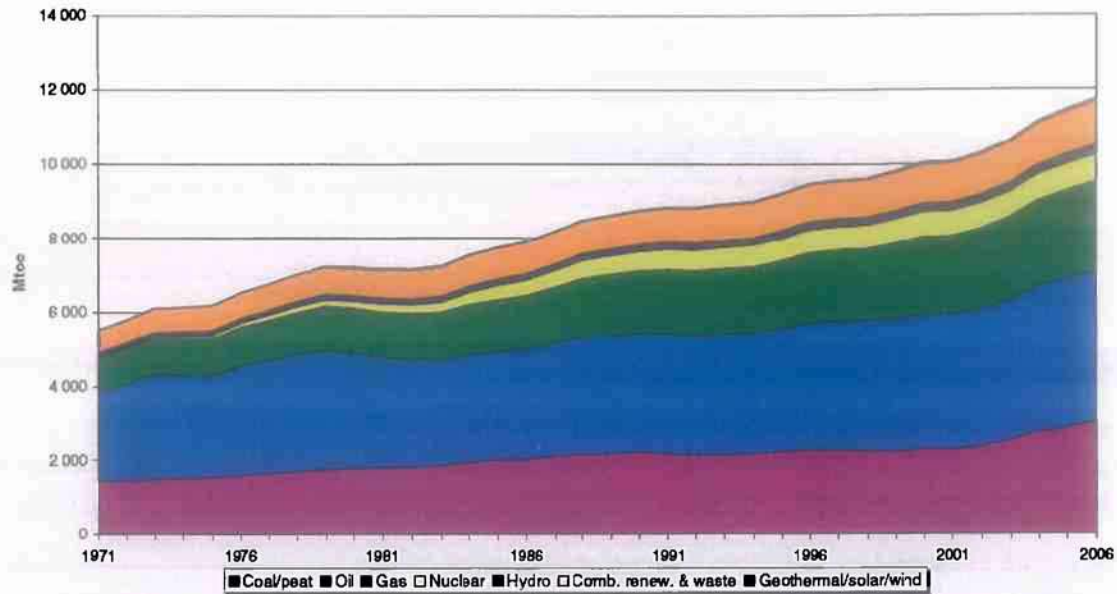
Τα οφέλη από την αύξηση της χρήσης των ΑΠΕ θα είναι ιδιαίτερος σημαντικά για την Ε.Ε. Αναμένεται να δημιουργηθούν από 500.000 έως 900.000 νέες θέσεις εργασίας. Επίσης εκτιμάται ότι θα εξοικονομούνται από το 2010, περίπου 3 δισεκατομμύρια € ετησίως από τις δαπάνες για συμβατικά καύσιμα. Υπολογίζεται ότι θα μειωθούν οι εισαγωγές καυσίμων κατά 17.4% και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά 402 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Επομένως για την επίτευξη αυτού του στόχου η Ε.Ε. έθεσε κάποιες προτεραιότητες:

- ◆ Φορολογικά και οικονομικά μέτρα
- ◆ Η χωρίς διακρίσεις πρόσβαση στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας
- ◆ Διείσδυση των ΑΠΕ στον κατασκευαστικό κλάδο (όπως η παθητική ηλιακή ενέργεια)
- ◆ Πρωτοβουλίες στο τομέα της βιοενέργειας για τις μεταφορές

1.6 Η θέση των ΑΠΕ στο κόσμο και την Ελλάδα σήμερα

Όταν παρουσιάστηκε η πρώτη πετρελαϊκή κρίση τη δεκαετία του 1970 δημιουργήθηκε ένα μεγάλο ενδιαφέρον και μία σημαντική ώθηση για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που γρήγορα όμως εγκαταλείφτηκε τουλάχιστον για μερικές από αυτές. Ένας λόγος για τη παύση αυτής της έρευνας ήταν τα πολλά τεχνολογικά προβλήματα που προέκυψαν. Από το 1990 και έπειτα η διαρκώς παρατηρούμενη ώθηση στις ΑΠΕ οφειλόταν κυρίως από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων παρά από τη ευαισθητοποίηση των κυβερνήσεων και των μεγάλων βιομηχανιών.

Η συμμετοχή των ΑΠΕ στη συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας τη τελευταία τριακονταετία (total primary energy supply, TRES) παρουσιάζεται στον Σχήμα 1.1



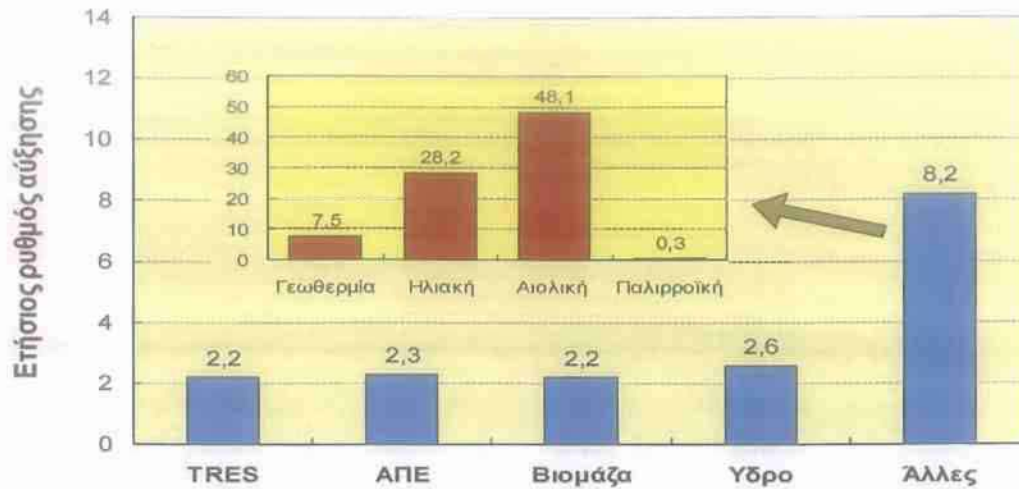
Σχήμα 1.1 – Η συμμετοχή των ΑΠΕ στη παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας σε συγκεκριμένες χρονιές (πηγή: IEA RENEWABLES INFORMATION 2006)

Το διάγραμμα σε μορφή πίτας στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζει τη κατανομή των διάφορων πηγών στη συνολική παγκόσμια πρωτογενή παραγωγή ενέργειας κατά το 2006, όπου οι ΑΠΕ συμμετείχαν με 13,3 % με κυριαρχούσες πηγές τη βιομάζα και την υδροϊσχύ.



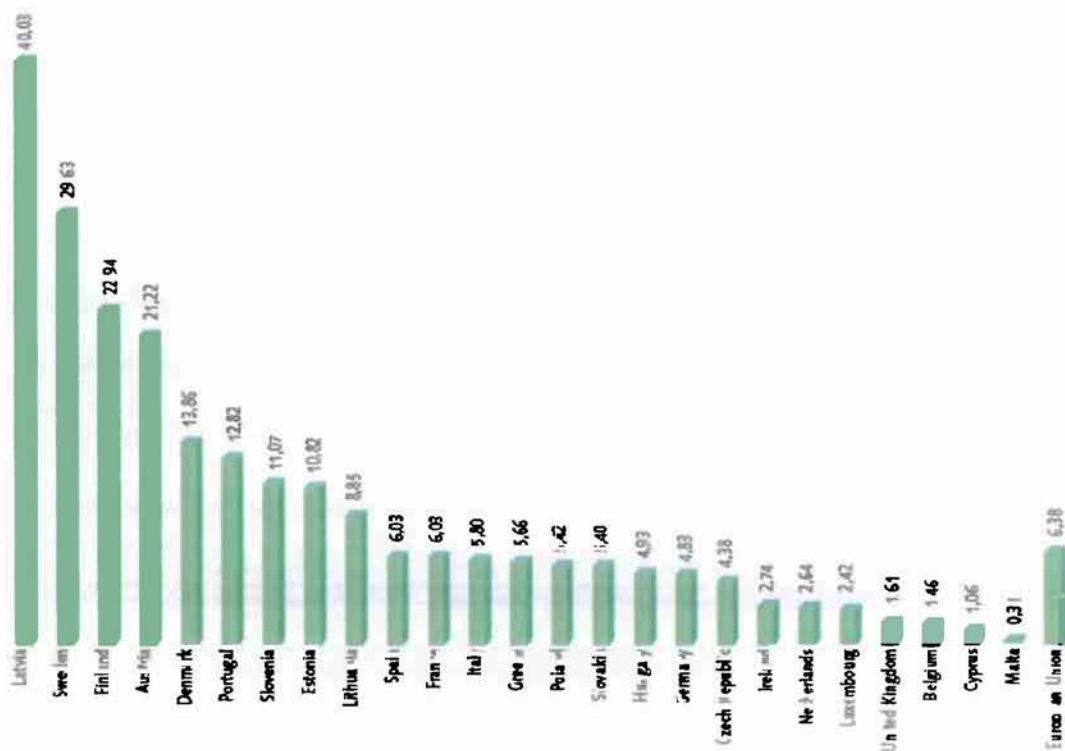
Σχήμα 1.2 - Η συμμετοχή των ΑΠΕ στη παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας κατά το 2006 (πηγή: IEA RENEWABLES INFORMATION 2006)

Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι οι λιγότερο σήμερα σημαντικές ΑΠΕ, δηλαδή η αιολική και η ηλιακή ενέργεια όπου συχνά αναφέρονται και ως «νέες ΑΠΕ», παρουσιάζουν μέση ετήσια αύξηση 19% όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3



Σχήμα 1.3 – Ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης των ΑΠΕ (πηγή: IEA RENEWABLES INFORMATION, 2006)

Στην Ελλάδα για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το κυρίαρχο ορυκτό καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι ο λιγνίτης και δευτερευόντως το φυσικό αέριο, το οποίο όμως μετά τη μερική απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξήσει τη συμμετοχή του. Οι ΑΠΕ είχαν περίπου το 5.5 % το 2006. Από αυτές τα μεγάλα υδροηλεκτρικά συστήματα κυριαρχούν στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ποσοστό 92%. Η αιολική ενέργεια συμμετέχει με το 1.5% και η βιομάζα με 0.4%.



Πίνακας 1.1 – Ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στη πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας στις χώρες της Ε.Ε (πηγή: Eurobarometer 2005)

Κεφάλαιο 2 : Ηλιακή Ενέργεια

2.1 Ηλιακή ακτινοβολία

Ο ήλιος αποτελείται κυρίως από υδρογόνο (70 %) και ήλιο (28 %) ενώ το υπόλοιπο 2% από βαρέα στοιχεία. Είναι το μόνο αστέρι αρκετά κοντά μας, ώστε να εξετάσουμε τα εξωτερικά και τα εσωτερικά στρώματά του λεπτομερώς. Επηρεάζει φανερά τη ζωή μας, όχι μόνο την ημέρα αλλά και τη νύχτα, με ηλιοφάνεια αλλά και τις νεφώδεις ημέρες. Παράγει και ακτινοβολεί τεράστιες ποσότητες ενέργειας αφού σε κάθε δευτερόλεπτο που περνά, εκπέμπει ενέργεια ίση με μερικές εκατοντάδες δισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων κιλοβατώρες και μας παρέχει σχεδόν όλη την ενέργεια που χρησιμοποιούμε στη Γη. Ακόμη και ο άνεμος και τα νέφη είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της ηλιακής ενέργειας στη Γη. Από την ηλιακή ακτινοβολία προέρχεται η αιολική ενέργεια, ο κύκλος του νερού, η βιομάζα, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας και σχεδόν όλη η ενέργεια στο ηλιακό σύστημα. Εξαιρέση αποτελεί η πυρηνική ενέργεια που παράγεται από χημικά στοιχεία που δημιουργήθηκαν ως αποτέλεσμα εκρηκτικών φαινομένων που έγιναν κατά τον θάνατο ορισμένων μεγάλων άστρων. Πρόκειται για ένα τυπικό αστέρι, με μάζα 2×10^{30} kg, ακτίνα 700.000 km, ηλικία 5×10^7 χρόνια και υπολογίζεται ότι έχει μπροστά του άλλα 5 περίπου δισεκατομμύρια χρόνια ζωής. Η επιφανειακή θερμοκρασία του είναι περίπου 5.800 K, ενώ η εσωτερική περίπου 15.000.000 K. Η υψηλή θερμοκρασία του ήλιου οφείλεται στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κατά τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η πυρηνική αντίδραση:



δικαιολογεί, με το έλλειμμα μάζας, την εκλυόμενη ενέργεια με βάση τη γνωστή σχέση $E = \Delta m \cdot c^2$, από την ειδική θεωρία της σχετικότητας του Einstein. Υπολογίζεται ότι για κάθε γραμμάριο υδρογόνου, που μετατρέπεται σε He, εκλύεται ενέργεια ίση με $U = 1,67 \times 10^5$ kW. Η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν, κυρίως με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλλά και με σωματιδιακή μορφή.

Η τροχιά της γης κατά την κίνηση της γύρω απ' τον ήλιο είναι ελλειπτική, με μήκος μεγάλου ημιάξονα, $a = 149,6 \times 10^6$ km και εκκεντρότητα, $e \sim 0,01673$. Η απόσταση

γης-ήλιου μεταβάλλεται περιοδικά, κατά τη διάρκεια του έτους, μεταξύ της μέγιστης τιμής της (την 1η Ιουλίου), που ονομάζεται αφήλιο ($\sim 152,1 \times 10^6$ km) και της ελαχίστης (την 1η Ιανουαρίου), που ονομάζεται περιήλιο ($147,1 \times 10^6$ km). Το μήκος του μεγάλου ημιάξονα, a , προσεγγιστικά $150.000.000$ km, λαμβάνεται ως μονάδα μήκους σε διαστημικές αποστάσεις, ονομάζεται Αστρονομική Μονάδα και συμβολίζεται ως 1 AU (Astronomical Unit). Ο χρόνος που απαιτείται για να διανύσει την απόσταση αυτή το φως, με την ταχύτητα των ~ 300.000 km/s, είναι περίπου 8,5 min.

Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία απομακρύνεται ακτινικά από τον ήλιο προς το διάστημα και άρα η ένταση J της ακτινοβολίας του μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης:

$$J = \frac{P}{4\pi d^2} \quad (2.2)$$

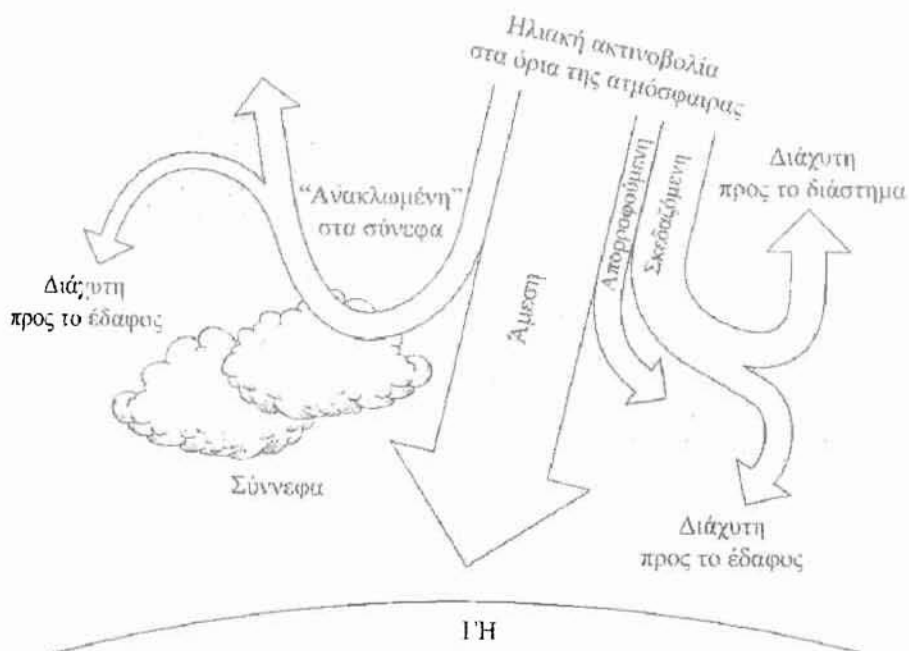
όπου P η ολική εκπεμπόμενη απ' όλη την επιφάνειά της ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και d η απόσταση από τον ήλιο στην οποία μετράται η ένταση. Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στη μέση απόσταση πλανήτη-ήλιου, ενός ηλιακού συστήματος, ονομάζεται ηλιακή σταθερά του συγκεκριμένου πλανήτη. Στην περίπτωση του ηλιακού μας συστήματος, ηλιακή σταθερά για τη γη, ορίζεται σε απόσταση 1 AU από τον ήλιο και η τιμή της είναι $J_0=1367$ W/m².

2.2 Είδη ηλιακής ακτινοβολίας

Η ένταση των ηλιακών ακτινών ελαττώνεται καθώς διασχίζουν τη γήινη ατμόσφαιρα, αφού τα φωτόνια σκεδάζονται τόσο στα μόρια της ατμόσφαιρα και στα πολύ μικρής διαμέτρου d , σωματίδια ($d \leq \lambda$, σκέδαση Rayleigh), όσο και στα μεγαλύτερης διαμέτρου αιωρήματα της, τους υδρατμούς, τη σκόνη και τον καπνό (σκέδαση Mie ή Tyndall). Ένα άλλο μέρος της ακτινοβολίας, απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας. Για παράδειγμα η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του όζοντος, στα ανώτερα στρώματα της κύριας μάζας της ατμόσφαιρας, έτσι ώστε η ένταση των ακτινών αυτών στην επιφάνεια της γης, να είναι εξαιρετικά μειωμένη και η καρκινογόνος δράση της αρκετά περιορισμένη. Ομοίως απορροφούν οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου σε άλλες περιοχές του

φάσματος. Τέλος, περίπου μόνο το 47 % της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης.

Σε κάθε μέρος της επιφάνειας της γης φτάνουν δύο συνιστώσες του ηλιακού φωτός: η απευθείας, ή άμεση B (Beam) ακτινοβολία και η σκεδαζόμενη στα μόρια του αέρα, η οποία ονομάζεται διάχυτη, D (Diffuse) (Σχήμα 2.1). Η διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια, προέρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο και μπορεί να θεωρηθεί ισότροπη. Γενικά, λοιπόν, η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε ένα συλλέκτη ή ένα αισθητήρα, αποτελείται από την απευθείας, τη διάχυτη και τη διάχυτα «ανακλώμενη» από το έδαφος. Η συνολική αυτή ακτινοβολία ονομάζεται ολική ακτινοβολία σε κεκλιμένο ή οριζόντιο συλλέκτη και συμβολίζεται με G (Global Irradiation).



Σχήμα 2.1 - Η ηλιακή ακτινοβολία (πηγή: ΚΑΠΕ 2007α)

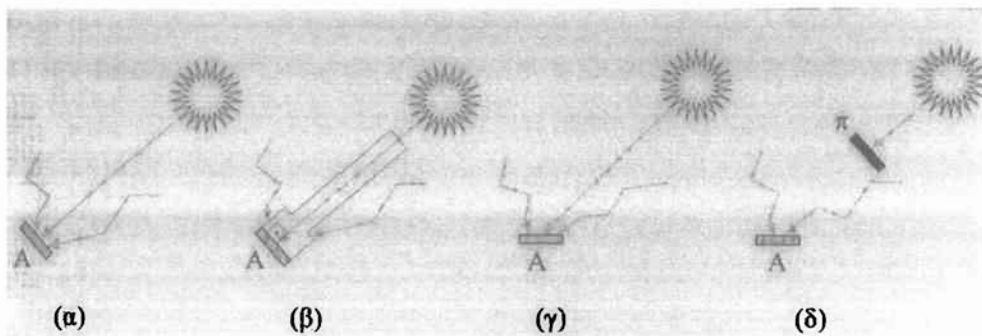
Η διάχυτη ανακλώμενη ακτινοβολία εξαρτάται από τη μορφολογία και το χρώμα του εδάφους ή της επικάλυψης του (γρασίδι ή χιόνι) και την πυκνότητα των νεφών, ενώ η ολική, απευθείας και διάχυτη, εξαρτώνται, σε γενικές γραμμές, από τους επόμενους παράγοντες:

α) τη σύσταση - κατάσταση της ατμόσφαιρας τη δεδομένη χρονική στιγμή (υγρασία και γενικά, τα αιωρήματα της ατμόσφαιρας)

β) την ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους

γ) τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στη συλλεκτική επιφάνεια (ύψος του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας).

Η απευθείας ακτινοβολία μπορεί να διακριθεί από τη διάχυτη, με βάση το οπτικό αποτέλεσμα της διέλευσης τους από συγκεντρωτικό φακό ή την ανάκλαση τους σε κοίλο κάτοπτρο. Η πρώτη συγκλίνει και σχηματίζει το είδωλο του ήλιου και μάλιστα, εξαιτίας της μεγάλης απόστασης του απ' το οπτικό όργανο, το είδωλο του σχηματίζεται, πρακτικά, πάνω στην εστία του οπτικού οργάνου. Αντίθετα η διάχυτη ακτινοβολία, προερχόμενη από όλο τον ουρανό, δεν εστιάζεται και συνεπώς δεν δίδει είδωλο.



Σχήμα 2.2 - (α) Ολική ακτινοβολία σε επιφάνεια κάθετη στην άμεση (β) Άμεση ακτινοβολία κάθετη στην επιφάνεια (γ) Ολική ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια (δ) Διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια (πηγή: Φραγκιαδάκης 2004)

Μεταξύ της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας, G , που προσπίπτει σε συλλεκτική επιφάνεια ή που μετρείται με αισθητήρα της κάθετης απ' ευθείας ακτινοβολίας, B_n , και της διάχυτης D , ισχύει η επόμενη σχέση:

$$G = B + D = B_n \sin z + D \quad (2.3)$$

όπου z , η ζενιθία γωνία του ήλιου ($z=90-EL$, EL το ύψος του ήλιου)

Οι ημερήσιες μέσες τιμές, οι μηνιαίες μέσες τιμές των μεγεθών αυτών καθώς και οι ετήσιες μέσες τιμές προκύπτουν με βάση τις ωριαίες τιμές των συνιστωσών G , B και D . Η ολική ακτινοβολία (άμεση και διάχυτη) κατά τη διάρκεια ενός έτους στο δικό μας γεωγραφικό πλάτος είναι περίπου $1,600 \text{ kWh/m}^2$. Αυτή η ποσότητα ενέργειας, την οποία μας παρέχει ετησίως ο ήλιος ανά m^2 αντιστοιχεί σε 160 λίτρα πετρελαίου θέρμανσης.

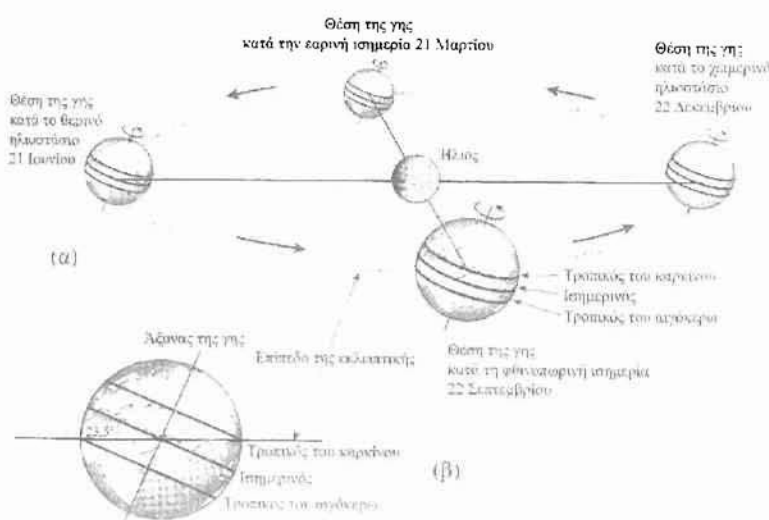
Όσον αφορά στο μέγεθος της διάχυτα ανακλώμενης ακτινοβολίας, που προσπίπτει στην επιφάνεια ενός συλλέκτη ή αισθητήρα, αυτό καθορίζεται από τη φύση της επιφάνειας που «ανακλά» διάχυτα. Το φως «ανακλάται» στα σύννεφα, στο γυμνό έδαφος, στα φυτά, στο χιόνι, στο νερό (π.χ. θαλασσών, λιμνών), στις κατασκευές του ανθρώπου (π.χ. κτίσματα, θερμοκήπια) κ.α. Η διάχυτη ανακλαστικότητα, δηλαδή, το ποσοστό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης και ότι την καλύπτει, αναφέρεται, στη βιβλιογραφία, ως λευκάγεια (albedo).

2.3 Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο

Η κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο μπορεί να αναλυθεί σε δύο κύριες συνιστώσες:

- 1) Περιφορά γύρω απ' τον ήλιο, σε ελλειπτική τροχιά, με τον ήλιο στη μια εκ των δύο εστιών.
- 2) Περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της.

Στο Σχήμα 2.3α φαίνεται η σύνθετη κίνηση της γης γύρω απ' τον ήλιο. Κατά την περιφορά της διαγράφει ελλειπτική τροχιά, η οποία ονομάζεται εκλειπτική. Επίσης παρατηρείται η περιστροφή της γης γύρω απ' τον άξονα της, σε τέσσερις χαρακτηριστικές θέσεις της γης κατά τη διάρκεια του έτους. Ο άξονας της γης μετατοπίζεται, περίπου παράλληλα προς τον εαυτό του, σχηματίζοντας σχεδόν σταθερή γωνία με την εκλειπτική. Το επίπεδο του ισημερινού της γης, που είναι κάθετο στον άξονα της γης, σχηματίζει με το επίπεδο της εκλειπτικής, γωνία, ίση με $23,45^\circ$.

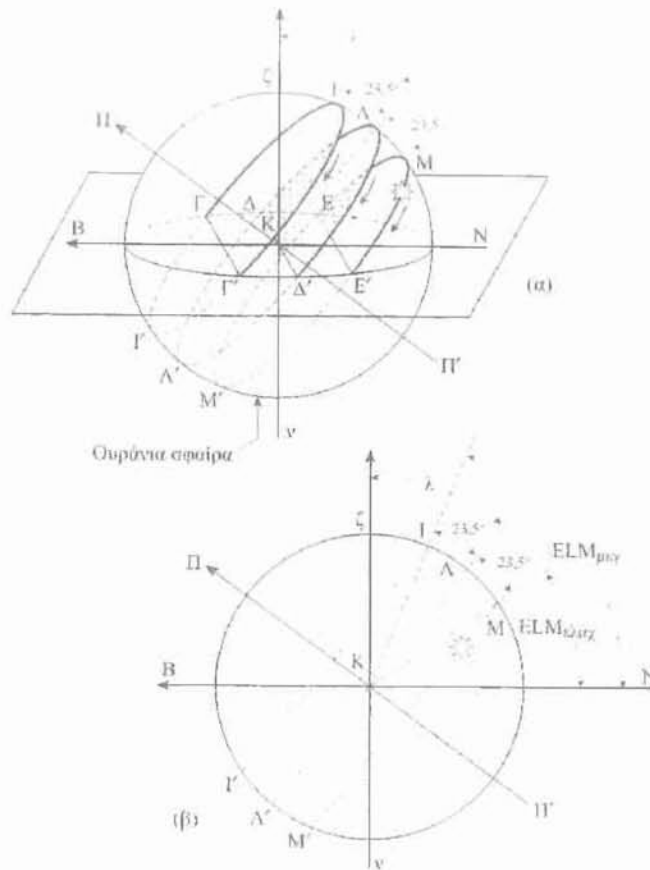


Σχήμα 2.3 - Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο (πηγή: Φραγκιαδάκης 2004)

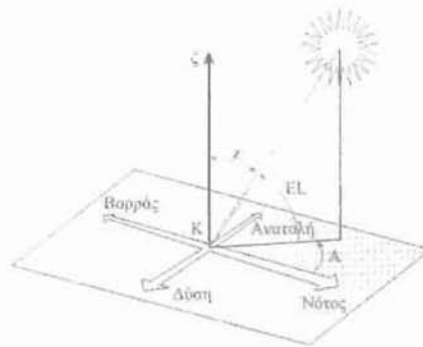
Ένας τρόπος για την περιγραφή της κίνησης της γης γύρω απ' τον ήλιο, είναι να δούμε το φαινόμενο αυτό από τη θέση του τοπικού παρατηρητή. Στην τρισδιάστατη παράσταση της εικόνας 2.4α, ο τοπικός παρατηρητής είναι στο κέντρο K, της ουράνιας σφαίρας. Η κατακόρυφη του τόπου, με κατεύθυνση προς τα πάνω προσδιορίζει το Ζενίθ (ζ) του τόπου. Το αντιδιαμετρικό σημείο λέγεται Ναδίρ (ν) του τόπου. Ο παρατηρητής βλέπει τον ήλιο να ανατέλλει, τη μέρα του χειμερινού ηλιοστασίου, από το E και να δύει στο E'. Καθώς περνάνε οι μέρες, ο ήλιος αλλάζει κύκλο, η θέση μεσουράνησης αυξάνει, το σημείο ανατολής μετατοπίζεται ανατολικότερα και η δύση δυτικότερα. Έτσι, την ημέρα της ισημερίας, ο ήλιος ανατέλλει από το Δ και δύει στο Δ'. Μετά από άλλους τρεις μήνες, η κυκλική τροχιά του ήλιου φτάνει στον κύκλο Π". Ανατέλλει από το Γ και δύει στο Γ'.

Το Σχήμα 2.4β αποτελεί τομή του Σχήματος 2.4α και περιέχει τον άξονα της ουράνιας σφαίρας, την κατακόρυφη του τόπου, το ίχνος του επιπέδου τους με το οριζόντιο επίπεδο του τόπου καθώς επίσης και τον μεσημβρινό του τόπου. Το επίπεδο που περνά απ' τον τόπο (θέση K του παρατηρητή, Σχήματα 2.4α και 2.4β) και είναι κάθετο στην κατακόρυφη του τόπου, αποτελεί το οριζόντιο επίπεδο του τόπου. Στο ίδιο σχήμα δείχνεται η κατεύθυνση Νότου-Βορρά. Η τροχιά του ήλιου γύρω απ' τη γη, κατά τις ισημερίες, είναι μέγιστος κύκλος της ουράνιας σφαίρας, με ζενιθία γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος (λ), του τόπου (ή $ELM_{\text{ισημερίας}}=90^\circ-\lambda$, όπου η συμβολική γραφή ELM χαρακτηρίζει το ύψος του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι). Την ίδια μέρα τα τόξα ημέρας και νύκτας είναι ίσα.

Η θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο, μπορεί να καθοριστεί ως προς το σύστημα του τοπικού παρατηρητή, με βάση δύο συντεταγμένες γωνίες που δείχνονται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.4 - Το (α) είναι το προοπτικό σχήμα και το (β) η τομή της ουράνιας σφαίρας, για ένα τόπο με ορισμένο γεωγραφικό πλάτος (λ) (πηγή: Φραγκιαδάκης 2004)



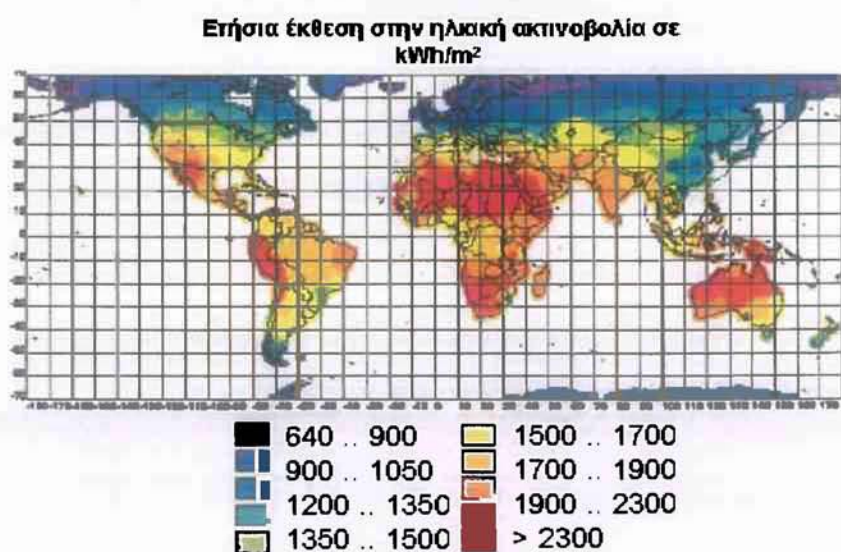
Σχήμα 2.5 - Απλοποιημένο σχήμα για τη θέση του ήλιου (πηγή: Φραγκιαδάκης 2004)

2.4 Ενεργειακή απολαβή από τον ήλιο

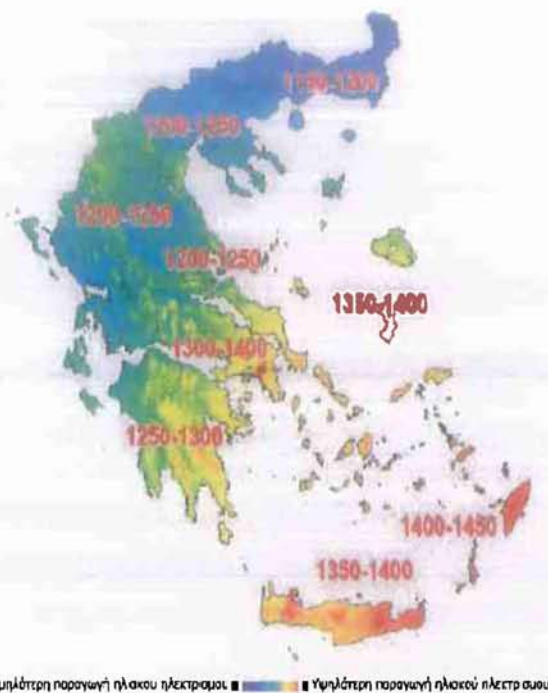
Η ενέργεια ανά m^2 που φτάνει στην επιφάνεια της Γης μέσα σε μια μέρα εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, τη μέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των διαφόρων αερίων, υγρών και στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας κατά την ημέρα εκείνη.

Προκειμένου, όμως, να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία σε διεθνή κλίμακα αναφερόμαστε σε μετρήσεις με αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται με τη συλλεκτική τους επιφάνεια οριζόντια. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μέσες ημερήσιες τιμές της πυκνότητας ισχύος και της πυκνότητας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντια επιφάνεια, μέσα σε κάθε μήνα και μέσα στο έτος. Για να αξιοποιηθούν αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία σε πρακτικές εφαρμογές (π.χ. σε ενεργειακές μελέτες), απαιτούνται μετρήσεις που να καλύπτουν περίοδο πολλών ετών (π.χ. 10 έως 30 ετών).

Η ενέργεια που παρέχεται από τον ήλιο σε ετήσια βάση διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, για παράδειγμα στη Σαχάρα είναι 2,2 φορές υψηλότερη σε σύγκριση με την Ευρώπη. Η μεγαλύτερη ένταση της ακτινοβολίας δεν παρατηρείται στον ισημερινό, αλλά σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, καθώς ο άξονας περιστροφής της Γης βρίσκεται υπό γωνία 23.45° με την κατακόρυφο. Σε περιοχές κοντά στον ισημερινό, η μέση ετησίως τιμή της είναι μεγαλύτερη (μέχρι και $7 \text{ kWh/m}^2\text{d}$) και αντίστοιχα, σε περιοχές στα όρια των Εύκρατων ζωνών, είναι μικρότερη ($<3 \text{ kWh/m}^2\text{d}$). Άξιο παρατήρησης είναι η ελαττωμένη τιμή της σε περιοχές της Τροπικής ζώνης (γύρω από τον Ισημερινό). Η υψηλή υγρασία των περιοχών αυτών, με την έντονη βλάστηση, έχει ως αποτέλεσμα την ισχυρή ελάττωση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Στα Σχήματα 2.6 και 2.7 παρατηρείται η ετήσια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία στον κόσμο και στην Ελλάδα αντίστοιχα.

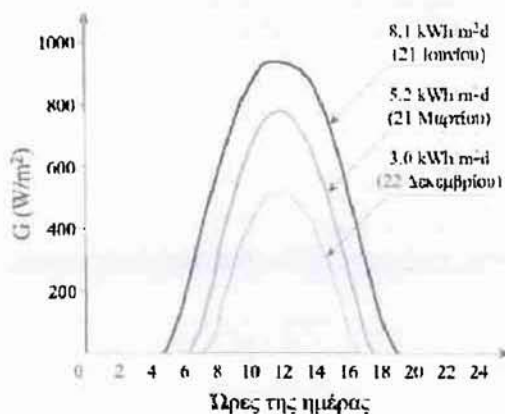


Σχήμα 2.6 - Ετήσια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m^2 παγκοσμίως (πηγή: ΚΑΠΕ 2007β)



Σχήμα 2.7 - Ετήσια έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία σε kWh/m² στην Ελλάδα (πηγή: ΚΑΠΕ 2007β)

Στο Σχήμα 2.8 απεικονίζεται η εξέλιξη μέσα στην ημέρα της πυκνότητας ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας (G σε W/m²). Στο ίδιο σχήμα σημειώνονται και οι αντίστοιχες ενεργειακές πυκνότητες H (σε kWh/m²d), οι οποίες προκύπτουν ως ολοκλήρωμα ή εμβαδόν κάτω απ' την αντίστοιχη καμπύλη. Σημειώνεται πάντως ότι κατά τη διάρκεια μερικής παρουσίας συννεφών, γύρω απ' την κατεύθυνση του ήλιου, μπορεί να παρατηρηθούν τιμές της πυκνότητας ισχύος μεγαλύτερες των τιμών που θα καταγράφονταν χωρίς την παρουσία τους. Οι συγκεκριμένες γραφικές παραστάσεις προέρχονται από μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο "Φωτοβολταϊκό Πάρκο", στο Ηράκλειο της Κρήτης, με γεωγραφικό πλάτος 35,5° και γεωγραφικό μήκος 25°.



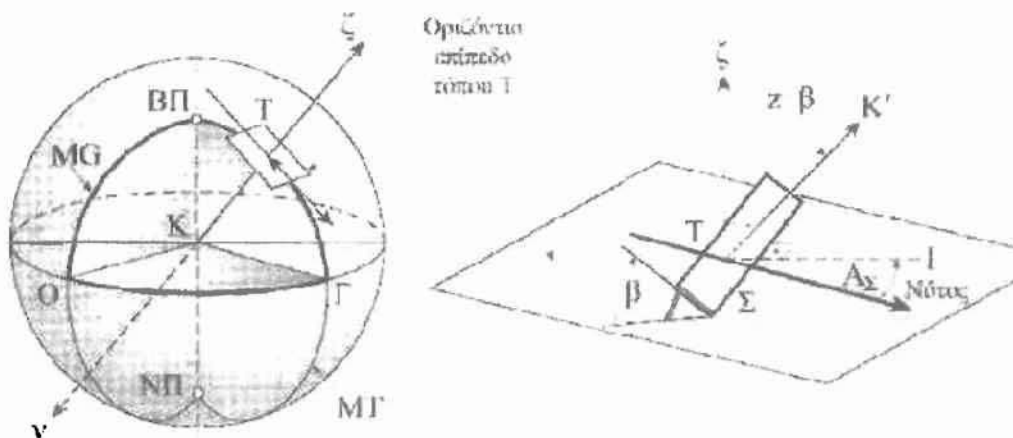
Σχήμα 2.8 - Καταγραφή της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στο Ηράκλειο της Κρήτης (πηγή: Φραγκιαδάκης 2004)

2.5 Προσανατολισμός συλλέκτη

Για μια αποδοτικότερη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας από ένα συλλέκτη σημαντικό ρόλο παίζει ο προσανατολισμός του ως προς τον ηλιακό νότο, ο οποίος αντιστοιχεί στη στιγμή που ο ήλιος βρίσκεται στο μεσημβρινό του συγκεκριμένου τόπου. Κατ' αρχήν, θα αναλυθεί μια απλή μέθοδο προσδιορισμού του αληθούς νότου, ως προς τον οποίο προσανατολίζουμε συνήθως το συλλέκτη και στη συνέχεια θα εξετάσουμε σε συντομία, τους διάφορους τρόπους τοποθέτησης των συλλεκτών με βασική απαίτηση τη μεγιστοποίηση της ημερησίας συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας, από το συλλέκτη.

Κάθε τόπος όπως ο τόπος T , του Σχήματος 2.9α, πάνω στην επιφάνεια της γης, προσδιορίζεται από τις σφαιρικές συντεταγμένες του: α) Το γεωγραφικό μήκος, (L), που καθορίζεται από το τόξο $ΟΓ$, πάνω στον Ισημερινό ή σε άλλο παράλληλο, με αναφορά το μεσημβρινό του Greenwich (MG), από $0-180^\circ$ Ανατολικά (ή με αναφορά μόνο της γωνίας αλλά με αρνητικό πρόσημο, π.χ. για την Αθήνα: γ.μ. $= -23.5^\circ$) και από $0-180^\circ$ Δυτικά (ή η γωνία με θετικό πρόσημο). β) Το γεωγραφικό πλάτος, (λ), που καθορίζεται από το τόξο $ΓΤ$, πάνω στον μεσημβρινό του τόπου MT , με αναφορά τον Ισημερινό, από $0-90^\circ$ Βόρεια και $0-90^\circ$ Νότια.

Ας θεωρήσουμε ένα επίπεδο συλλέκτη, Σ , τοποθετημένο έτσι ώστε το επίπεδο του να σχηματίζει γωνία β ως προς τον ορίζοντα (Σχήμα 2.9β). Η γωνία κλίσης του συλλέκτη β ισούται με τη ζενιθία γωνία ζ της καθέτου στο επίπεδο του συλλέκτη (TK'), η οποία μπορεί να πάρει τιμές από 0° (Ζενίθ) έως 180° (Ναδίρ).



Σχήμα 2.9 - Σφαιρικές συντεταγμένες του τόπου T και του συλλέκτη Σ (πηγή: Φραγκιαδάκης 2004)

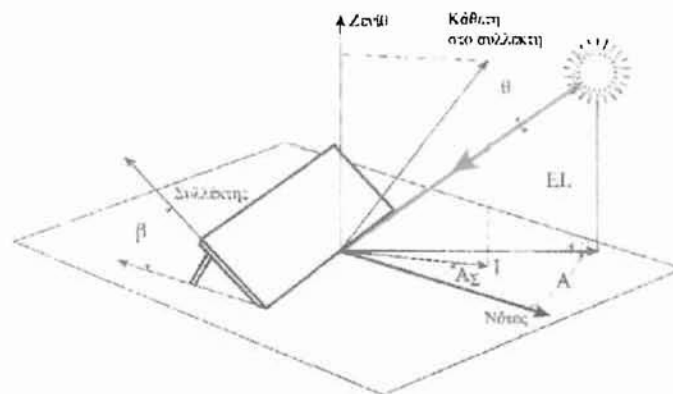
Η γωνία A_Σ , μεταξύ της κατακόρυφης προβολής TI , της καθέτου στο συλλέκτη, TK' πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, με τη διεύθυνση του νότου, ονομάζεται αζιμούθιο ή

αζιμουθιακή γωνία του συλλέκτη και παίρνει τιμές από $+180^\circ$ μέχρι -180° . Χαρακτηριστικές θέσεις: $+180^\circ$ (βορράς), $+90^\circ$ (Ανατολή), 0° (Νότος), -90° (Δύση) και -180° (Βορράς). Όταν ο συλλέκτης στραφεί ώστε οι ακτίνες του ήλιου (απευθείας ακτινοβολία), να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του, τότε το ύψος του ήλιου EL και η γωνία κλίσης β , του συλλέκτη δίδουν άθροισμα 90° ($EL + \beta = 90^\circ$).

Η στροφή του συλλέκτη, ώστε αυτός να παρακολουθεί ανά πάσα στιγμή τον ήλιο, γίνεται με μηχανισμούς οι οποίοι οδηγούνται από κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις με βάση τις εξισώσεις κίνησης του ήλιου στην ουράνια σφαίρα. Η γωνία θ που σχηματίζουν μια δεδομένη χρονική στιγμή οι ηλιακές ακτίνες (απευθείας ακτινοβολία) με την κάθετη σ' ένα επίπεδο συλλέκτη (Σχήμα 2.10) γωνίας κλίσης β και αζιμουθιακής γωνίας A_Σ , δίδεται από τη σχέση:

$$\cos\theta = \cos EL \cdot \eta\mu\beta \cdot \cos(A - A_\Sigma) + \eta\mu EL \cdot \sin\beta \quad (2.4)$$

όπου A , η αζιμούθια γωνία και EL το ύψος του ήλιου την ίδια χρονική στιγμή.



Σχήμα 2.10 - Ο προσανατολισμός του συλλέκτη (πηγή: Φραγκιαδάκης 2004)

Κεφάλαιο 3 : Ηλιακά Θερμικά Συστήματα

3.1 Ηλιακοί συλλέκτες

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι ένα είδος εναλλάκτη θερμότητας, που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και μεταφέρει την ενέργεια στο εργαζόμενο μέσο, το οποίο διαπερνά τον συλλέκτη και αποτελεί την καρδιά κάθε ηλιακού συστήματος θέρμανσης και ψύξης. Η ιδιορρυθμία του έγκειται κυρίως στο ότι μεταφέρει ενέργεια μορφής ακτινοβολίας από πολύ μακρινή πηγή (ήλιος) σε ρευστό. Υπάρχουν διάφορα είδη ηλιακών συλλεκτών:

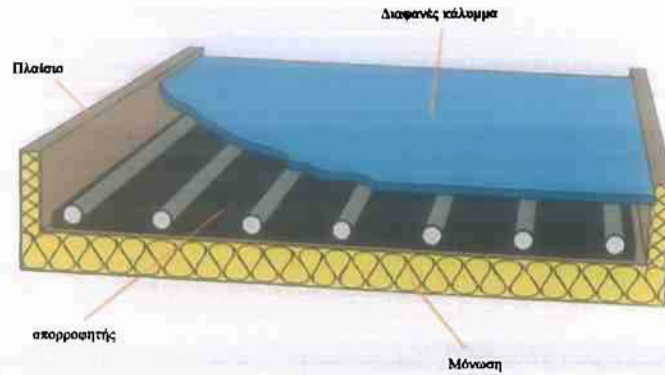
- ◆ Επίπεδοι συλλέκτες
- ◆ Συλλέκτες κενού
- ◆ Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

3.1.1 Επίπεδοι συλλέκτες

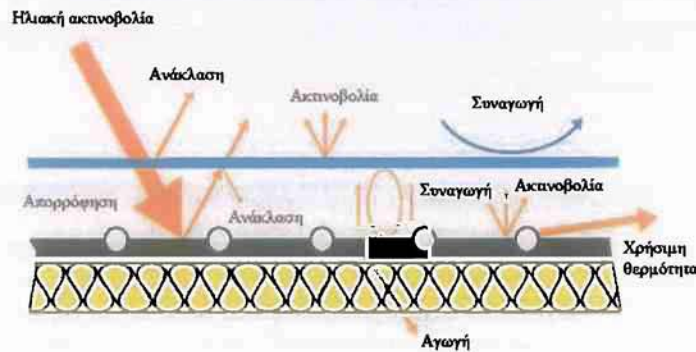
Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή συλλέκτη για οικιακά ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού. Η λειτουργία ενός επίπεδου συλλέκτη επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Ηλιακούς παράγοντες: ένταση ακτινοβολίας, γωνία κλίσης συλλέκτη κ.α.
- Συνθήκες περιβάλλοντος: θερμοκρασία περιβάλλοντος, ταχύτητα ανέμου κ.α.
- Συνθήκες λειτουργίας: θερμοκρασία εργαζόμενου μέσου, θερμικές ιδιότητες του ρευστού, προσανατολισμός του συλλέκτη
- Κατασκευή συλλέκτη

Ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από τα εξής μέρη: **1.** Το διαφανές κάλυμμα, που μπορεί να αποτελείται από ένα, δύο ή και περισσότερες διαφανείς πλάκες από γυαλί ή πλαστικό. **2.** Την φωτοαπορροφητική πλάκα που απορροφά την ηλιακή ενέργεια η οποία είναι μια ειδικά επεξεργασμένη μεταλλική επιφάνεια ή βαμμένη με ειδική βαφή. **3.** Τους σωλήνες που είναι σε επαφή με την απορροφητική πλάκα μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ρευστό που απάγει τη θερμική ενέργεια από την απορροφητική πλάκα. **4.** Το περίβλημα που συνήθως είναι μεταλλικό ή πλαστικό, το οποίο ενοποιεί την κατασκευή και προστατεύει το συλλέκτη από τις συνθήκες περιβάλλοντος. **5.** Την μόνωση στην πίσω και στις πλάγιες πλευρές του συλλέκτη.



Σχήμα 3.1 - Επίπεδος συλλέκτης (πηγή: ΚΑΠΕ 2007γ)



Σχήμα 3.2 - Η ηλιακή ακτινοβολία (πηγή: ΚΑΠΕ 2007γ)

Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, το ωφέλιμο ποσό ενέργειας που αποδίδει ο συλλέκτης περιγράφεται από την σχέση 3.1. Σε αυτήν τη σχέση εκφράζεται ο καταμερισμός της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ωφέλιμη, θερμικές και οπτικές απώλειες: (Ι.Ε Φραγκιαδάκης 2006)

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (3.1)$$

όπου:

Q_u : ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς(W)

A_c : επιφάνεια συλλέκτη (m^2)

S : απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας και των οπτικών απωλειών (W/m^2)

U_L : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

T_{pm} : μέση θερμοκρασία απορροφητήρα ($^\circ C$)

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}\text{C}$)

Η παραπάνω εξίσωση όμως δεν είναι εύχρηστη για τον υπολογισμό της ωφέλιμης ισχύος Q_u , καθώς απαιτείται γνώση της θερμοκρασίας $T_{p,m}$, η οποία αφενός εξαρτάται από τον τύπο του συλλέκτη, την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και τις συνθήκες εισόδου του ρευστού και αφετέρου παρουσιάζει δυσκολίες κατά την μέτρηση ή τον υπολογισμό. Για αυτό το λόγο αντικαθίσταται η μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα από τη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$ στο συλλέκτη μέσω της εξίσωσης:

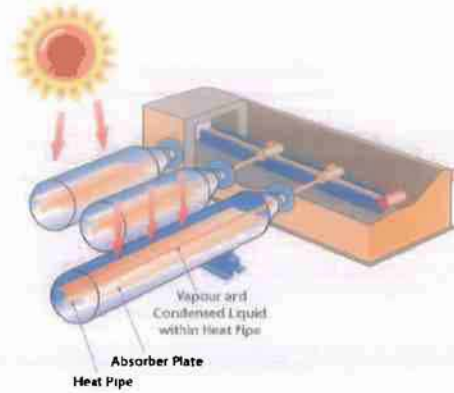
$$T_{pm} = T_{f,i} + \frac{Q_u}{A_c U_F} (1 - F_r) \quad (3.2)$$

όπου F_r είναι ο παράγοντας θερμικής απολαβής του συλλέκτη. Ορίζεται σαν ο λόγος της πραγματικά αποδιδόμενης θερμικής ισχύος Q_u προς την θερμική ισχύ που θα αποδιδόταν αν ο απορροφητήρας είχε τη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$, η οποία αποτελεί τη μέγιστη δυνατή θερμική ισχύ που μπορεί να αποδοθεί. Πρόκειται ουσιαστικά για βαθμό απόδοσης εναλλάκτη θερμότητας.

3.1.2 Συλλέκτες κενού

Οι συλλέκτες αυτοί αποτελούνται από ένα σύστημα με αρθρωτούς σωλήνες, στο κέντρο των οποίων βρίσκεται λεπτός μεταλλικός αγωγός με απορροφητική επιφάνεια. Λόγω των συνθηκών κενού, οι απώλειες θερμότητας με συναγωγή μειώνονται. Οι πιο χαρακτηριστικές ιδιότητες αυτών είναι: α) έχουν πολύ υψηλό κόστος, β) δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας λόγω μεταφοράς, γ) παρουσιάζουν υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας, δ) είναι ιδανικοί για ψυχρά κλίματα, ε) είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι, στ) και έχουν αρκετά πολύπλοκη εγκατάσταση (Peuser et al. 2002)

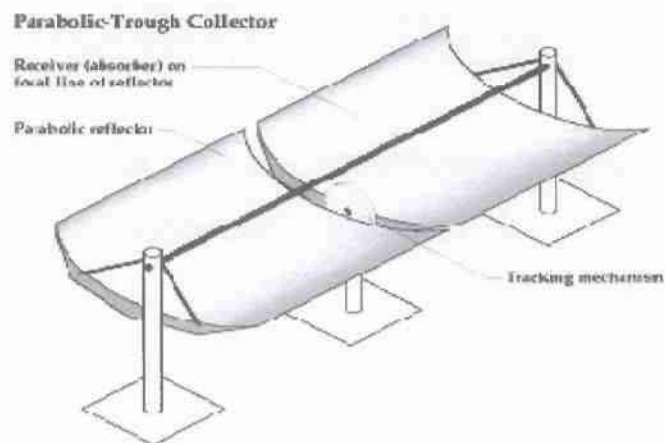
Οι κύριες εφαρμογές δεν συνιστώνται σε οικιακές εφαρμογές, αφού το καλοκαίρι η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους ξεπερνά τους 300°C . Κυρίως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 80°C , όπως: Ηλιακός κλιματισμός, βιομηχανικές εφαρμογές(αποστείρωση), παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 3.3 - Τυπικός συλλέκτης κενού (πηγή: ΚΑΠΕ 2007γ)

3.1.3 Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

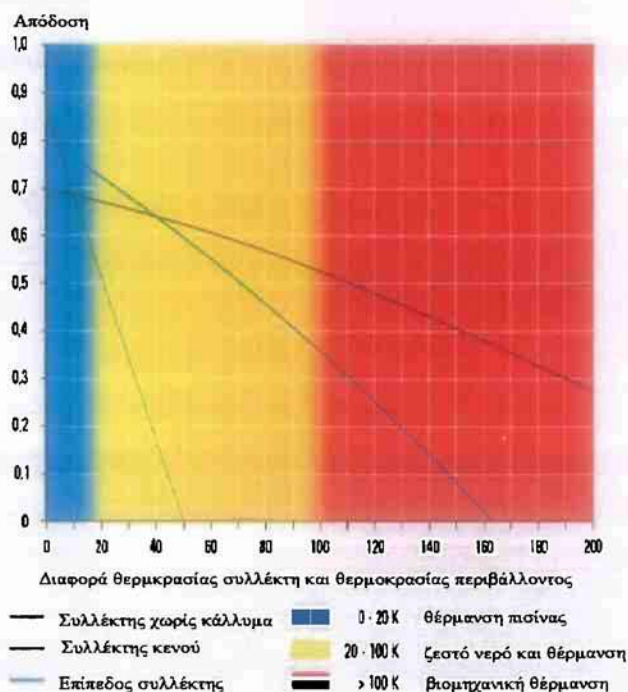
Όταν είναι επιθυμητή η απόδοση της ενέργειας σε θερμοκρασίες υψηλότερες από αυτές που επιτυγχάνονται με τους συνήθεις επίπεδους συλλέκτες, μπορεί να γίνει χρήση των συγκεντρωτικών συλλεκτών. Σε αυτούς, οι υψηλές θερμοκρασίες αναπτύσσονται με συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μικρή επιφάνεια απορρόφησης, μειώνοντας έτσι και τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον.



Σχήμα 3.4 - Τυπικός συγκεντρωτικός συλλέκτης (πηγή: ΚΑΠΕ 2007γ)

3.1.4 Σύγκριση ηλιακών συλλεκτών

Από τα προηγούμενα κεφάλαια καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι διάφοροι τύποι ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιούνται για διαφορετικές εφαρμογές και έχουν διαφορετικές ιδιότητες. Έτσι το Σχήμα 3.5 και ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζουν κάποια συγκριτικά στοιχεία.



Σχήμα 3.5 - Χαρακτηριστικές καμπύλες διαφορετικών τύπων συλλέκτη (πηγή: ΚΑΠΕ 2007γ)

Τεχνολογία συλλέκτη	Κόστος	Απόδοση KWh/m ² /χρόνο	Τυπική χρήση
Συλλέκτης χωρίς κάλυμμα	Χαμηλό	300	Θέρμανση πισίνας
Επίπεδος συλλέκτης (μαύρη μπογιά)	Μεσαίο	650	Θέρμανση πισίνας, ZNX
Επίπεδος συλλέκτης (επιλεκτικός απορροφητής)	Μεσαίο	700	ZNX, θέρμανση χώρου, Ηλιακός κλιματισμός
Συλλέκτης κενού	Υψηλό	850	θέρμανση χώρου, Ηλιακός κλιματισμός

Πίνακας 3.1 - Συγκριτικός πίνακας συλλεκτών

3.2 Ηλιακά θερμικά συστήματα

Η τεχνολογία ηλιακών θερμικών συστημάτων χρησιμοποιείται ως μοντέρνα ανάπτυξη σε πολλές χώρες για πάνω από 20 χρόνια. Κατά τη διάρκεια αυτών των

χρόνων πολλοί ερευνητές και κατασκευαστές από όλο τον κόσμο συνέλεξαν τεράστια εμπειρία σε υλικά, σχεδιασμό, παραγωγή και αξιοποίηση.

3.2.1 Απλά θερμοσιφωνικά συστήματα

Τα θερμοσιφωνικά συστήματα στηρίζονται στη φυσική μεταφορά του νερού στους συλλέκτες και στη δεξαμενή, η οποία βρίσκεται επάνω από το συλλέκτη. Η αρχή λειτουργίας του θερμοσιφωνικού συστήματος είναι απλή. Το νερό θερμαίνεται στο συλλέκτη, διαστέλλεται κι επομένως γίνεται ελαφρύτερο από το χαμηλότερης θερμοκρασίας νερό της δεξαμενής (Σχήμα 3.6). Αυτή η διαφορά στην πυκνότητα του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη φυσική κυκλοφορία του, μέσω του συλλέκτη και τη μεταφορά του θερμού νερού στην αποθηκευτική δεξαμενή, της οποίας το ψυχρότερο νερό αντικαθιστά το ζεσταμένο στο συλλέκτη, συνεχίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο την κυκλοφορία του.



Σχήμα 3.6 – Αρχή λειτουργίας θερμοσιφωνικού συστήματος

Απαραίτητη προϋπόθεση, προκειμένου να είναι εφικτή η φυσική κυκλοφορία του νερού, αποτελεί η τοποθέτηση της αποθηκευτικής δεξαμενής σε υψηλότερο σημείο από τους συλλέκτες. Το ευνοϊκό ελληνικό κλίμα επιτρέπει την τοποθέτηση της δεξαμενής στις οροφές των κατοικιών, χωρίς μεγάλες απώλειες θερμότητας από το θερμό νερό προς το περιβάλλον. Αυτή είναι και η πλέον κοινή περίπτωση που συναντάται.

Ο τυπικός ηλιακός θερμοσίφοντας (Σχήμα 3.7) αποτελείται από

- ♦ τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες,
- ♦ μια δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού,

- ♦ τις απαραίτητες σωληνώσεις και
- ♦ τα εξαρτήματα (βαλβίδα ασφαλείας, εξαεριστικό κ.τ.λ.)

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 το οριζόντιο επίπεδο, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως.

Το πιο διαδεδομένο θερμοσιφωνικό σύστημα στην Ελλάδα αποτελείται από συλλεκτική επιφάνεια 2.5 m^2 και δεξαμενή 150 lt. Το εύρος των χαρακτηριστικών αυτών κυμαίνεται μεταξύ $2 - 4 \text{ m}^2$ για την συλλεκτική επιφάνεια (σε ένα ή δύο τεμάχια) και μεταξύ 150 – 300 lt για την δεξαμενή.



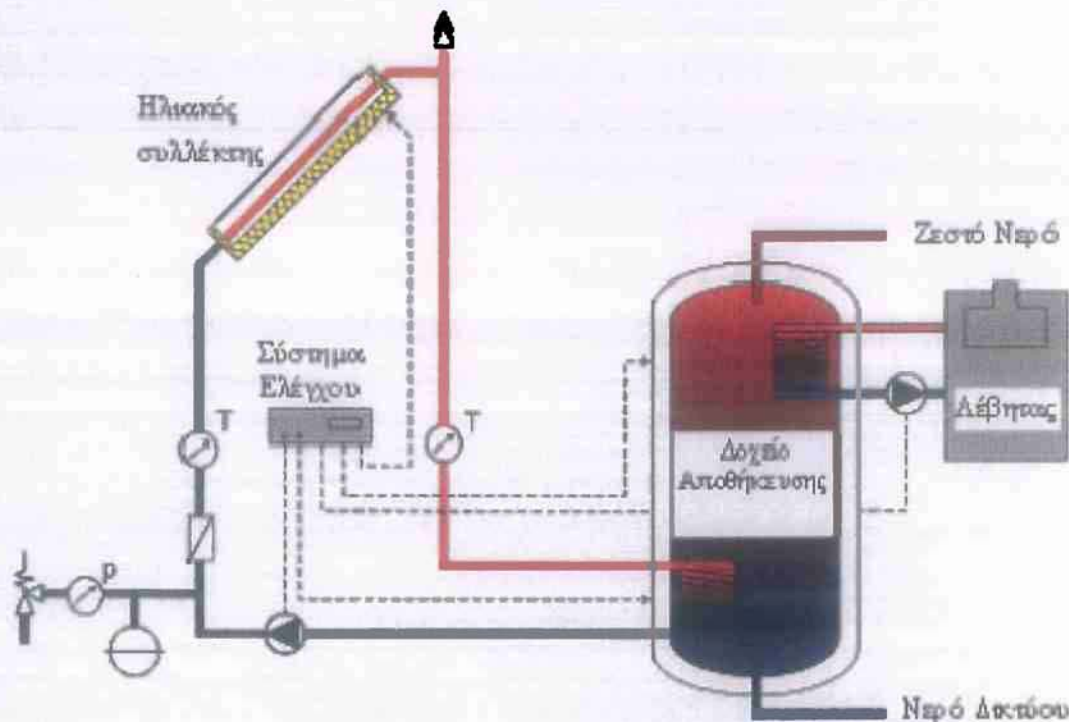
Σχήμα 3.7 – Ηλιακός θερμοσίφοντας

Στην Ελλάδα, το 98 % των εγκατεστημένων ηλιακών συλλεκτών αφορούν θερμοσιφωνικά συστήματα, για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ($40 - 75^{\circ}\text{C}$). Η παραγόμενη ενέργεια ποικίλλει ανά γεωγραφική περιοχή και ανά εφαρμογή. Ένα τυπικό θερμοσιφωνικό σύστημα για οικιακή χρήση στην Ελλάδα, παράγει ετησίως περίπου 1000 θερμικές κιλοβατώρες (kWh) και με τη χρήση του αποφεύγεται η

έκλυση περίπου 1100 κιλών CO₂ ετησίως, θεωρώντας ότι υποκαθιστά τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.

3.2.2 Κεντρικά ηλιακά συστήματα

Τα κεντρικά ηλιακά συστήματα, αποτελούνται από ένα πεδίο ηλιακών συλλεκτών και μια κεντρική δεξαμενή, από την οποία παρέχεται το ζεστό νερό στα σημεία κατανάλωσης μέσω δικτύου αγωγών. Τυπική σχηματική παράσταση ενός κεντρικού ηλιακού συστήματος δίνεται στο Σχήμα 3.8



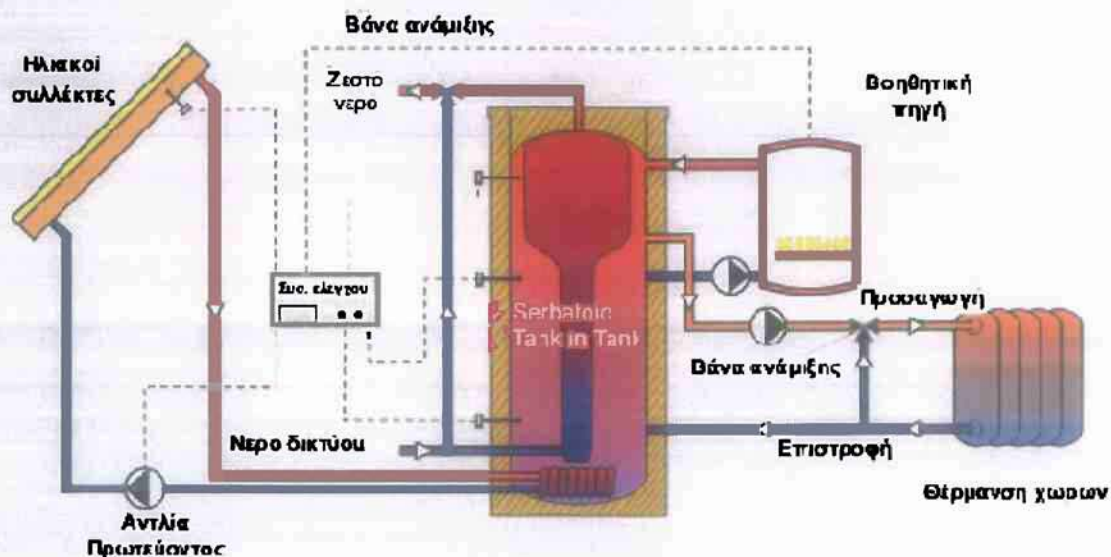
Σχήμα 3.8 - Σχηματική παράσταση κεντρικού ηλιακού συστήματος (Πηγή :Target/DGS)

Συνοπτικά, η λειτουργία του ηλιακού συστήματος του Σχήματος 3.8 έχει ως εξής: η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τους ηλιακούς συλλέκτες οι οποίοι θερμαίνονται. Η θερμότητά μεταφέρεται σε ένα δοχείο αποθήκευσης δια μέσου ενός υγρού (συνήθως πρόκειται για αντιψυκτικό υγρό) το οποίο κυκλοφορεί με τη βοήθεια αντλίας στο υδραυλικό κύκλωμα των συλλεκτών. Η μεταφορά της θερμότητας γίνεται από έναν εναλλάκτη που μπορεί να είναι μια σπείρα εμβαπτισμένη στο αποθηκευτικό δοχείο ή μια εξωτερική πλακοειδής διάταξη. Όταν ο ήλιος δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες σε ζεστό νερό, τίθεται σε λειτουργία η βοηθητική πηγή (συνήθως λέβητας) και θερμαίνει την ποσότητα νερού που απαιτείται στο πάνω μέρος

του δοχείου. Την διαδικασία (έναρξη και παύση λειτουργίας αντλιών, λέβητα κλπ) καθορίζει ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.

3.2.3 Συστήματα «Combi»

Τα ηλιακά συστήματα που υποβοηθούν τη θέρμανση χώρων (για τα οποία έχει επικρατήσει ο όρος «solar combi-systems» ή απλά «combi»), παρότι δεν είναι ακόμη ιδιαίτερα γνωστά στη χώρα μας, αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες όπως η Αυστρία και η Γερμανία.



Σχήμα 3.9 - Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος «combi» (πηγή: ITW)

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, τα γενικά χαρακτηριστικά του είναι τα ίδια με αυτά ενός κοινού κεντρικού ηλιακού συστήματος. Στην συγκεκριμένη διάταξη, χρησιμοποιούνται δύο δοχεία αποθήκευσης, αυτό του ζεστού νερού χρήσης είναι εμβαπτισμένο στο μεγαλύτερο δοχείο (στο οποίο κυκλοφορεί το ίδιο υγρό -νερό- με αυτό του δικτύου θέρμανσης, δηλ. των καλοριφέρ).

Το 2001 η συνολική επιφάνεια συλλεκτών που αφορούσε ηλιακά συστήματα «combi» σε οκτώ Ευρωπαϊκές χώρες (Γερμανία, Αυστρία, Γαλλία, Ολλανδία, Ελβετία, Σουηδία, Δανία και Νορβηγία) ήταν ίση με 340.000 m². Αν θεωρήσουμε την μέση επιφάνεια συλλεκτών ανά σύστημα ίση με 15 m², προκύπτει ότι ήδη από το 2001 υπήρχαν περίπου 22.600 εγκατεστημένα συστήματα «combi» στις χώρες που αναφέρθηκαν.

Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό ορισμένων Ευρωπαϊκών συστημάτων «combi» είναι η χρησιμοποίηση ηλιακών στεγών, δηλαδή το συλλεκτικό πεδίο αποτελεί

ταυτόχρονα και την στέγη του κτηρίου. Στην Εικόνα 3.1, παρατηρούμε ένα τέτοιο σύστημα στο Gneis-Moos της Αυστρίας. Το γεγονός ότι το συγκεκριμένο σύστημα καλύπτει το 40 % των συνολικών αναγκών για θέρμανση (με κοινά σώματα καλοριφέρ) και ζεστό νερό χρήσης αποτελεί μια καλή ένδειξη για τις δυνατότητες που έχουν τα συστήματα combi.



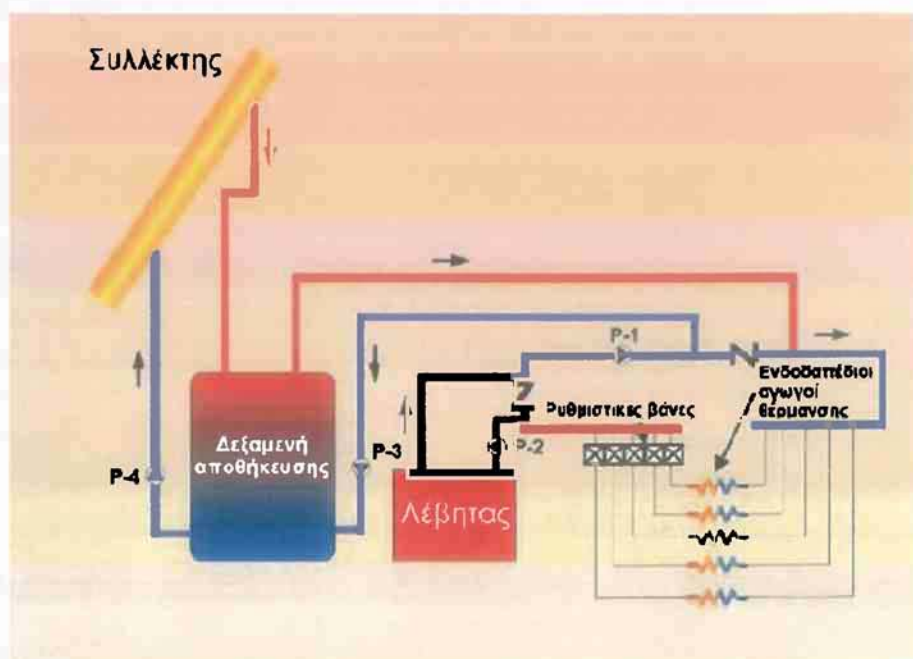
Εικόνα 3.1 - Ηλιακή στέγη σε Αυστριακό σύστημα combi (πηγή: ΚΑΠΕ 2007γ)

Οι προσομοιώσεις για τον Ελληνικό χώρο έδειξαν ότι τα συστήματα «combi» μπορούν να συνδυαστούν με συμβατικά συστήματα θέρμανσης, δίνοντας αξιόλογα ενεργειακά αποτελέσματα και καλύψεις του συνολικού θερμικού φορτίου που φτάνουν το 40 με 50 %. Ένα σύστημα που διαστασιολογείται για να καλύψει ένα ακόμη μεγαλύτερο ποσοστό των θερμικών αναγκών του χρήστη κινδυνεύει να γίνει αντιοικονομικό, καθώς μόνο μέρος από την πρόσθετη δυναμικότητά του θα χρησιμοποιείται (κατά τη διάρκεια των ψυχρότερων ημερών) ενώ το υπόλοιπο του χρόνου θα έχουμε περίσσεια της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας.

Το ποσό της θερμότητας που δεν παρέχεται από το ηλιακό σύστημα πρέπει να προέλθει από ένα εφεδρικό σύστημα, το οποίο είναι συνήθως ένας συμβατικός λέβητας. Το εφεδρικό σύστημα θέρμανσης θα πρέπει να είναι ικανό να παράσχει το 100 % των απαιτήσεων θέρμανσης, δεδομένου ότι κατά τις περιόδους νεφελώδους καιρού, το ηλιακό σύστημα μπορεί να έχει μηδενική ή πολύ μικρή συμβολή στην κάλυψη των αναγκών θέρμανσης.

Η ιδανική μέθοδος διανομής της θερμότητας σε συνδυασμό με θερμικά ηλιακά συστήματα είναι η ενδοδαπέδια ή η επιτοίχια θέρμανση. Σ' αυτό το είδος συστήματος χρησιμοποιείται δίκτυο πλαστικών σωλήνων που ενσωματώνονται στο δάπεδο ή το τοίχο και μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Παρ' όλα αυτά, και τα συμβατικά θερμαντικά σώματα (τα κοινά καλοριφέρ) μπορούν να λειτουργήσουν σε συνδυασμό με ένα ηλιακό θερμικό σύστημα, ειδικά αν είναι ελαφρά υπερδιαστασιολογημένα.

Σε μερικές περιπτώσεις, αντί να θερμαίνεται ένας μεγάλος όγκος νερού στη δεξαμενή αποθήκευσης, η θερμική αδράνεια του πατώματος ή των τοίχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση και τη μετέπειτα απελευθέρωση της θερμότητας με αργούς ρυθμούς. Σχηματική παράσταση ενός τυπικού ηλιακού συστήματος συνδεδεμένου με ενδοδαπέδια θέρμανση δίνεται στο Σχήμα 3.10.



Σχήμα 3.10 - Σχηματικό διάγραμμα ηλιακού συστήματος συνδεδεμένου με ενδοδαπέδια θέρμανση

Αξίζει να σημειωθεί ότι συνδυασμός ενός συστήματος «combi» με ένα σύστημα ηλιακού κλιματισμού είναι ιδανικός δεδομένου ότι αίρει το πρόβλημα της περίσσειας ενέργειας κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και συνεπώς μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα ποσοστά κάλυψης για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης των κατοικιών ή άλλων κτιρίων.

Κεφάλαιο 4 : Χρήση της ηλιακής ενέργειας για ψύξη χώρων

4.1 Εισαγωγή

Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι για την αποφυγή της υπερθέρμανσης και τη μείωση των εσωτερικών θερμοκρασιών κτιρίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Στην περιοχή της Μεσογείου, για παράδειγμα, τα κτίρια είναι βαμμένα με ανοιχτά χρώματα προκειμένου να αντανακλούν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, ειδικά κατά τη θερινή περίοδο. Οι εναλλακτικές μέθοδοι δροσισμού είναι βασισμένες σε διάφορες τεχνικές παθητικής ψύξης και ψύξης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (προστασία με μέτρα στο σχεδιασμό του κτιρίου, χρήση ειδικού εξοπλισμού για τη μείωση των θερμικών κερδών ή για την απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον). Όλες αυτές οι τεχνικές στοχεύουν στη μείωση των ψυκτικών φορτίων και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται λόγω της εκτενούς χρήσης του κλιματισμού χώρων (Heating Ventilation & Air Conditioning, HVAC), αυξάνοντας το ηλεκτρικό φορτίο αιχμής με αποτέλεσμα να προκαλούνται σημαντικά προβλήματα στην ηλεκτροδότηση. Η «ενεργειακή έλλειψη» είναι πιο έντονη κατά τη διάρκεια των «ξηρών» ετών λόγω της ανεπάρκειας των υδροηλεκτρικών σταθμών, ώστε να καλυφθεί ποσοστό του φορτίου αιχμής. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού χώρων είναι ελκυστική, δεδομένου ότι το ψυκτικό φορτίο συμπίπτει γενικά με τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας και επομένως οι απαιτήσεις σε ψύξη ενός κτιρίου συμπίπτει με την υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Τα συστήματα ηλιακής ψύξης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν απολύτως αβλαβή ρευστά όπως το νερό, ή διαλύματα αλάτων για την λειτουργία τους. Είναι ενεργειακά αποδοτικά και περιβαλλοντικά φιλικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικό κλιματισμό, για να βελτιώσουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας του εσωτερικού όλων των τύπων κτιρίων. Ο κύριος στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες «μηδενικών εκπομπών» με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂.

Αν και υπάρχει μια μεγάλη δυνητική αγορά τα διαθέσιμα συστήματα ηλιακής ψύξης δεν είναι άμεσα ανταγωνιστικά, σε οικονομικό επίπεδο, με τα συμβατικά συστήματα

κλιματισμού, κυρίως λόγω του υψηλού πάγιου κόστους και των χαμηλών τιμών των συμβατικών καυσίμων. Η μείωση του κόστους των επιμέρους εξαρτημάτων (ηλιακοί συλλέκτες, ψύκτες, κλπ.), με παράλληλη βελτίωση της απόδοσής τους, θα αλλάξει εντυπωσιακά την κατάσταση, έστω κι αν είναι ακόμα δύσκολο να προβλεφθεί η χρονική στιγμή που αυτές οι ηλιακές τεχνολογίες θα είναι ανταγωνιστικές. Η σύγκριση μιας ηλιακής τεχνολογίας με κάποια συμβατική μπορεί να γίνει μόνο αν τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά κόστη (τα λεγόμενα εξωτερικά κόστη) συμπεριλαμβάνονται σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη η αδυναμία πρόβλεψης της τιμής των συμβατικών καυσίμων για μεγάλη χρονική περίοδο.

Γενικά, για τις τεχνολογίες εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας μπορούμε να διακρίνουμε ότι:

- ♦ το κόστος τους μειώνεται καθώς εισάγονται στη μαζική παραγωγή
- ♦ είναι ήδη τεχνικά ώριμες για να ικανοποιήσουν τις καταναλωτικές ανάγκες
- ♦ είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη επενδυτικών κινήτρων, καθώς και η καθιέρωση ενεργειακού φόρου που θα βοηθούσε να απεικονισθεί το συνολικό περιβαλλοντικό κόστος των συμβατικών καυσίμων. Σε πολλές χώρες οι διαθέσιμες επιχορηγήσεις καθιστούν την επένδυση ελκυστικότερη.

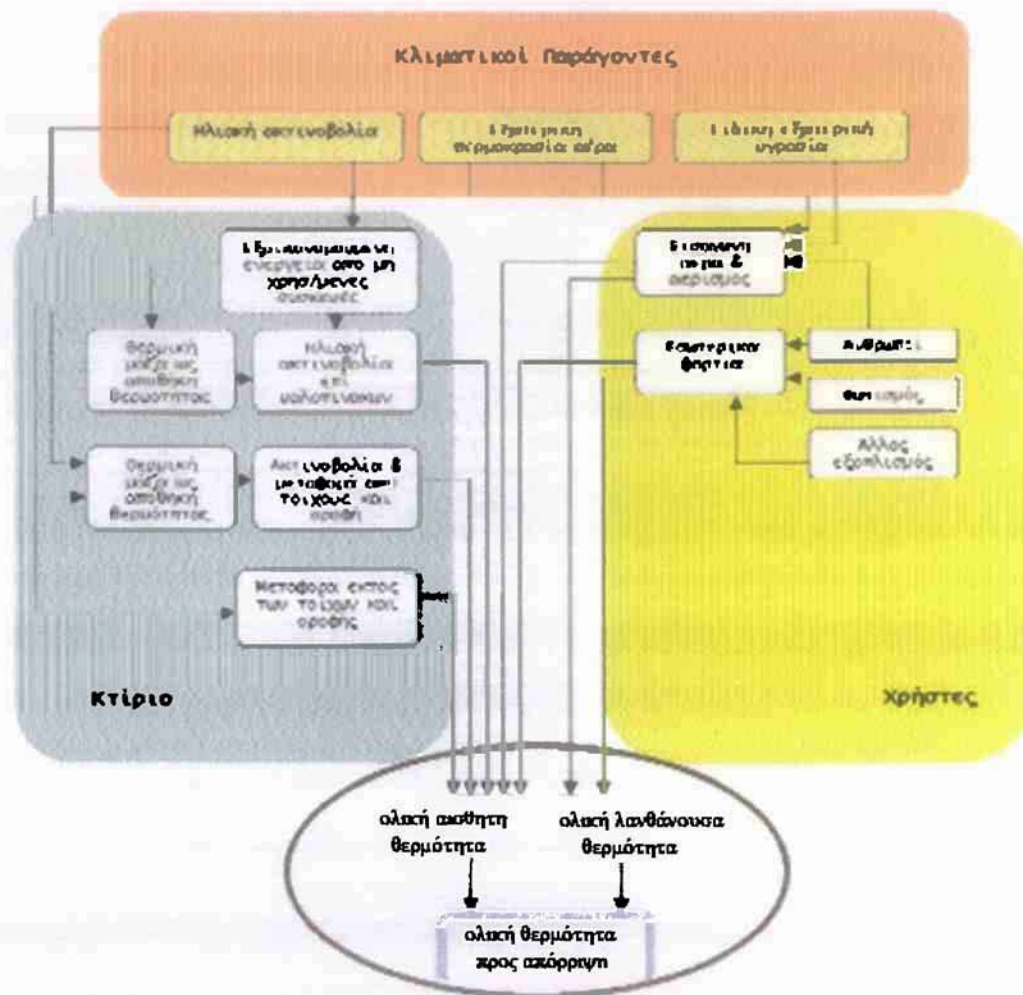
4.2 Γενικές αρχές

Στα συστήματα ψύξης, η ισχύς των ψυκτών επιλέγεται με βάση τα θερινά ψυκτικά φορτία, τα οποία είναι το άθροισμα όλων των ψυκτικών φορτίων, εσωτερικών και εξωτερικών. Το καλοκαίρι το ποσό θερμότητας που απάγεται εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μερικοί από τους οποίους, όπως για παράδειγμα η ηλιακή ακτινοβολία, μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Οι παράγοντες που προκαλούν σημαντική μεταβολή των ψυκτικών φορτίων είναι (Henning 2003):

- ♦ επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω διαφανών επιφανειών
- ♦ επιδράσεις της μεταφοράς θερμότητας μέσω διαφανών και αδιαφανών κατασκευών

- επιδράσεις της θερμικής αδράνειας των κτιριακών κατασκευών
- εσωτερικά θερμικά φορτία, αισθητά και λανθάνοντα, λόγω της παρουσίας ανθρώπων και συσκευών που παράγουν θερμότητα (φωτισμός, συσκευές, κλπ.)
- θερμικά κέρδη, αισθητά και λανθάνοντα, λόγω φυσικού και εξαναγκασμένου αερισμού του χώρου.

Το διάγραμμα ροής του Σχήματος 4.1 δείχνει ότι το ψυκτικό φορτίο επηρεάζεται πολύ από τα χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους. Ένα σύστημα ψύξης σχεδιασμένο για την κάλυψη των αναγκών τους θερινούς μήνες πρέπει να είναι σε θέση να απάγει τόσο την αισθητή όσο και τη λανθάνουσα θερμότητα από το κτίριο.



Σχήμα 4.1- Διάγραμμα ροής της διαδικασίας υπολογισμού για την εκτίμηση ψυκτικών φορτίων κτιρίου (πηγή: Climasol 2009)

Η αισθητή και η λανθάνουσα θερμότητα αποτελούν δυο βασικές έννοιες του κλιματισμού οι οποίες αναλύονται περαιτέρω:

Αισθητή θερμότητα, η οποία συνήθως υπερισχύει της λανθάνουσας θερμότητας, είναι το άθροισμα των θερμικών φορτίων που καταλήγουν μόνο σε αύξηση της θερμοκρασίας. Προέρχεται εκτός του χώρου και προκύπτει από την ηλιακή ακτινοβολία, τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού του κτιρίου και επίσης από τα αποκαλούμενα εσωτερικά φορτία, όπως για παράδειγμα, τους ανθρώπους και οποιαδήποτε πηγή θερμότητας (φωτισμός, συσκευές, μηχανές, κλπ.).

Λανθάνουσα θερμότητα είναι το άθροισμα των θερμικών φορτίων που καταλήγουν σε αύξηση της συγκέντρωσης υδρατμών που βρίσκονται στον αέρα και κατά συνέπεια, της υγρασίας, χωρίς να αυξάνεται η θερμοκρασία. Η λανθάνουσα θερμότητα είναι το αποτέλεσμα υγρασίας που εκπέμπεται από τους ανθρώπους (μέσω της αναπνοής και της εφίδρωσης) και άλλων πηγών υγρασίας (κουζίνα, στέγνωμα ρούχων κλπ.). Κατά τον αερισμό ενός δωματίου ο αέρας που προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον μεταφέρει αισθητή θερμότητα, δεδομένου ότι η θερμοκρασία του είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου και λανθάνουσα θερμότητα λαμβάνοντας υπόψη το περιεχόμενό του σε υδρατμούς.

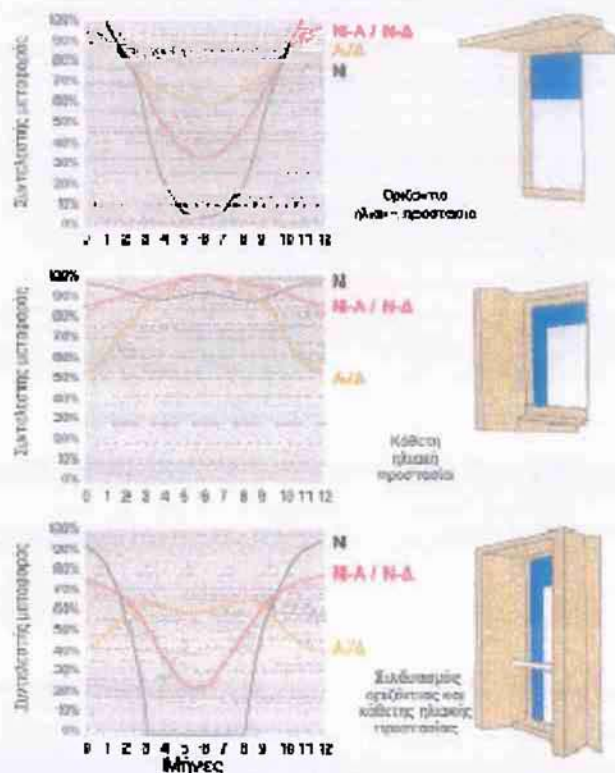
4.3 Παθητικά συστήματα ηλιακού κλιματισμού

Τα θερινά ψυκτικά φορτία ενός κτιρίου και επομένως οι ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος ψύξης, μπορούν να μειωθούν με την υιοθέτηση «βιοκλιματικών» στρατηγικών, όπως:

1. Μείωση των ψυκτικών φορτίων, στο στάδιο της μελέτης
 - ◆ προστασία από τον ήλιο για παράθυρα, τοίχους και επιφανειακά καλύμματα, χρησιμοποιώντας τεχνητές ή φυσικές κατασκευές σκίασης
 - ◆ σημαντική θερμική αδράνεια που συνδέεται με νυκτερινό αερισμό
 - ◆ επαρκής αερισμός
2. Μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας με επεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου με:
 - ◆ αύξηση της σχετικής υγρασίας αέρα με τη χρήση μικρών λιμνών. πηγών και βλάστησης

- ◆ σκίαση μέσω φύτευσης (δέντρα, πέργκολες, κλπ.)
- ◆ μείωση της εξωτερικής έντονης ηλιακής ακτινοβολίας (φύτευση πρασίνου)
- ◆ επιλογή ανοιχτών χρωμάτων για τους εξωτερικούς τοίχους

Το καλοκαίρι η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά τις διάφανες επιφάνειες του κτιρίου (πόρτες και παράθυρα) προκαλώντας άμεσο ενεργειακό κέρδος που πρέπει να απορριφθεί μέσω του συστήματος ψύξης. Οι επιπτώσεις της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να μειωθούν με τη χρήση διαφόρων τεχνικών σκίασης όπως: κατακόρυφα σκίαστρα (για ανατολικά ή δυτικά προσανατολισμένες όψεις) ή οριζόντια (για νότια προσανατολισμένες όψεις) (Σχήμα 4.2), σταθερά ή ρυθμιζόμενα εξωτερικά συστήματα ηλιοπροστασίας, εξωτερικές κατασκευές σκίασης (περσίδες, ρολά ή παντζούρια), εσωτερικές κατασκευές σκίασης (παντζούρια ή υφασμάτινες κουρτίνες), ειδικοί ναλοπίνακες. Οι εξωτερικές κατασκευές σκίασης αποδεικνύονται αποτελεσματικότερες δεδομένου ότι αποτρέπουν την ηλιακή πρόσπτωση στις διάφανες επιφάνειες.



Σχήμα 4.2- Εξάρτηση της αποτελεσματικότητας διαφορετικών συστημάτων ηλιακής προστασίας από: τη γεωμετρία των κατασκευών ηλιοπροστασίας, τον προσανατολισμό της εκάστοτε όψης του κτιρίου, την χρονική περίοδο (πηγή: Climasol 2009)

Η θερμική αδράνεια ενός κτιρίου ασκεί σημαντική επίδραση στη μεταφορά της θερμότητας στο εσωτερικό περιβάλλον. Ένα κτίριο που χαρακτηρίζεται από

σημαντική θερμική μάζα απαιτεί περισσότερο χρόνο για να θερμανθεί και επιτρέπει τη διανομή της θερμότητας που εισάγεται μέσω των ανοιχτόχρωμων τοίχων για μεγαλύτερη χρονική περίοδο. Στην πραγματικότητα, τα κτίρια συσσωρεύουν την άμεση ακτινοβολία από το περιβάλλον και την απελευθερώνουν στο εσωτερικό τους μερικές ώρες αργότερα. Συνεπώς, στα κτίρια με υψηλή θερμική αδράνεια τα συστήματα κλιματισμού έχουν χαμηλότερη τιμή αιχμής.

Το καλοκαίρι, ο αερισμός είναι από τους ευκολότερους τρόπους να εξασφαλιστεί η θερμική άνεση των χρηστών ενός κτιρίου. Υπάρχουν δύο πιθανές προσεγγίσεις. Η πρώτη ασκεί άμεση επίδραση στην άνεση των ενοίκων, βασίζεται στην κίνηση του αέρα μέσα στο κτίριο, αναδεύοντάς τον με ανεμιστήρες οροφής ή παρόμοια συστήματα ή ωθώντας τον αέρα να κυκλοφορήσει, ενδεχομένως με τη βοήθεια του αέρα από το εξωτερικό του κτιρίου (με την προϋπόθεση ότι δεν είναι θερμότερος από τον αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου). Η δεύτερη, στοχεύει στο δροσισμό του κτιρίου και βασίζεται στο βεβιασμένο αερισμό των δωματίων με την προϋπόθεση ότι ο εξωτερικός αέρας είναι δροσερότερος από τον εσωτερικό. Με αυτόν τον τρόπο τα κτίρια δροσιζονται, παρατείνοντας έτσι την άνεση των χρηστών ακόμα και τις πιο ζεστές ώρες της ημέρας.

Η κυκλοφορία του αέρα, και στις δύο περιπτώσεις, μπορεί να επιτευχθεί είτε μηχανικά, είτε μέσω φυσικής ροής. Οι παραπάνω τεχνικές προϋποθέτουν την ύπαρξη: Χώρων με διπλό προσανατολισμό (τουλάχιστον δύο εξωτερικοί τοίχοι στραμμένοι σε αντίθετες κατευθύνσεις) και τοίχων με ανοίγματα, με την προϋπόθεση να μη δημιουργούνται προβλήματα ηχητικής και ατμοσφαιρικής ρύπανσης (ώστε να επιτρέπεται η προσαγωγή αέρα). Ο έλεγχος των τριών στοιχείων (θερμική αδράνεια, ηλιοπροστασία και εξαερισμός) επιφέρει σημαντική μείωση της μέσης εσωτερικής θερμοκρασίας χώρου το καλοκαίρι.

Αν τα κτίρια έχουν σχεδιαστεί, λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους σχεδιασμού που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι απαιτήσεις σε κλιματισμό, το καλοκαίρι, μειώνονται δραστικά. Ωστόσο, αν και μερικές από τις τεχνικές που αναφέρονται μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά σε κτίρια που βρίσκονται στο στάδιο της μελέτης, πολλές επεμβάσεις που στοχεύουν στη μείωση των ψυκτικών φορτίων μπορούν να εφαρμοστούν και στα υφιστάμενα κτίρια με λογικό κόστος. Οι τεχνικές παθητικού δροσισμού μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες: α) εκείνες που προστατεύουν

το κτίριο με παρεμβάσεις και που περιορίζουν τα ηλιακά και τα εσωτερικά κέρδη και β) εκείνες που συμβάλλουν στην απομάκρυνση της θερμότητας από το κλιματιζόμενο περιβάλλον με μεταφορά της προς άλλα περιβάλλοντα (νερό, αέρας, έδαφος, κλπ.).

Οι τεχνικές που παρουσιάστηκαν παραπάνω μπορούν να μειώσουν δραστικά τα θερμικά φορτία ενός κτιρίου και συνεπώς την ισχύ αιχμής και την κατανάλωση ενέργειας, με:

- ♦ βελτίωση της λειτουργικής διαχείρισης του συστήματος κτιρίου-εγκαταστάσεων
- ♦ μείωση των εσωτερικών θερμικών φορτίων
- ♦ δομικές επεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος
- ♦ επεμβάσεις στις εγκαταστάσεις κλιματισμού

Η μείωση του φορτίου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως: τεχνικά γνωρίσματα του κελύφους, προσανατολισμός, μάζα κτιρίου, γεωγραφικό πλάτος, κλιματολογικές συνθήκες, κτλ. Έχει πραγματοποιηθεί προσομοίωση σε ένα υποθετικό κτίριο γραφείων στη Ρώμη (Γ.Π. 43° Β) από το πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης Climasol, μέσου μεγέθους με μια πρόσοψη και 80% εξωτερική κάλυψη με υαλοπίνακες. Εξετάστηκαν διάφορες στρατηγικές. Τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης έδειξαν ότι είναι δυνατή μια δραστική εξοικονόμηση ενέργειας (μέχρι και 45%), εφαρμόζοντας ορισμένες και σχετικά απλές επεμβάσεις παθητικού δροσισμού .





4.4 Τεχνολογία ενεργητικών συστημάτων ηλιακού κλιματισμού

Στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού, η διαδικασία ψύξης τροφοδοτείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Οι πιο κοινές τεχνολογίες κλιματισμού με χρήση της ηλιακής ενέργειας παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα μπορούν να ταξινομηθούν σε:

Κλειστά συστήματα: αυτά είναι θερμοκίνητοι ψύκτες που παρέχουν ψυχρό νερό, το οποίο είτε χρησιμοποιείται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα (ψυχρό, ξηρό), είτε διανέμεται μέσω ενός δικτύου ψυχρού νερού σε καθορισμένους χώρους για να ενεργοποιήσει τις τοπικές μονάδες των δωματίων (π.χ. fan coils). Στην αγορά σήμερα υπάρχουν διαθέσιμοι οι ψύκτες

απορρόφησης (πιο κοινοί) και ψύκτες προσρόφησης (μερικές εκατοντάδες συστήματα παγκοσμίως, αλλά συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος για τον ηλιακό κλιματισμό).

Ανοικτά συστήματα: που επιτρέπουν πλήρη κλιματισμό παρέχοντας ψυχρό και ξηρό αέρα σύμφωνα με τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης. Το ψυκτικό μέσο είναι πάντα νερό, δεδομένου ότι είναι σε άμεση επαφή με τον αέρα. Τα πιο κοινά συστήματα είναι συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου που χρησιμοποιούν έναν περιστρεφόμενο τροχό αφύγρανσης με στερεό πορώδες ροφητικό υλικό. (desiccant)

Μεθοδος	Κλειστού Κυκλου		Ανοικτού Κυκλου	
Ψυκτικός κυκλος	Κλειστός ψυκτικός κύκλος		Ψυκτικό μέσο (νερό) είναι σε επαφή με τον αέρα	
Αρχη	Ψυχρό νερό υπο εξάτμιση		Αφύγρανση του αερα και ψύξη με εξάτμιση	
Φαση υλικου ροφησης	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
				
Τυπικα ζευγη υλικων	νερό - silica gel	νερό - βρωμιούχο λίθιο αμμωνία - νερό	νερό - silica gel νερό - χλωριούχο ασβεστίο	νερό - χλωριούχο ασβεστίο, νερό - χλωριούχο λίθιο
Τεχνολογια διαθεσιμη στην αγορα	Ψυκτης προσρόφησης	Ψυκτης απορρόφησης	DEC	Κοντα στην εισαγωγή στην αγορα
Τυπικη ψυκτικη ικανοτητα(kW)	50 - 430 kW	15 kW - 5 MW	20 kW - 350 kW (ανά μονάδα)	
Τυπικό COP	0.5 - 0.7	0.6 - 0.75 (απλής βαθμίδας)	0.5 - > 1	> 1
Θερμοκρασια αναγέννησης	80 - 90 °C	80 - 110 °C	45 - 95 °C	45 - 70 °C
Ηλιακοι συλλεκτες	Συλλεκτες κενού, επίπεδοι συλλεκτες	Συλλεκτες κενού, επίπεδοι συλλεκτες	Επίπεδοι συλλεκτες συλλεκτες αερος	Επίπεδοι συλλεκτες συλλεκτες αερος

Πίνακας 4.1- Επισκόπηση των πιο κοινών τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού (πηγή: Climasol 2009)

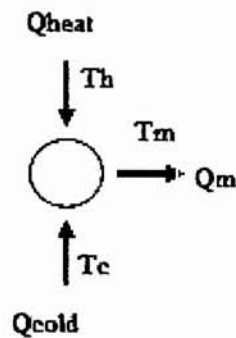
4.4.1 Κλειστά συστήματα - Θερμοκίνητοι ψύκτες

Οι θερμοκίνητοι ψύκτες μπορούν να χαρακτηριστούν από τρία θερμοκρασιακά επίπεδα:

- ♦ επίπεδο υψηλής θερμοκρασίας στο οποίο παρέχεται η θερμοκρασία αναγέννησης της διεργασίας ρόφησης (sorption),
- ♦ επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας στο οποίο λειτουργεί η διαδικασία ψύξης,

- ♦ μέσο επίπεδο θερμοκρασίας στο οποίο και η θερμότητα που απορρίπτεται από τον κύκλο ψυχρού νερού και η θερμότητα αναγέννησης πρέπει να απομακρυνθούν.

Για την απομάκρυνση αυτής της θερμότητας, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται πύργος ψύξης υγρού τύπου.



Σχήμα 4.3 - Βασική λειτουργία των θερμοκίνητων ψυκτών

Το βασικό σχήμα της διαδικασίας: Το Q_{cold} είναι η θερμότητα που απορρίπτεται από το ψυχρό νερό στον εξατμιστή του ψύκτη (ψυκτική ενέργεια), το Q_{heat} είναι η απαιτούμενη θερμότητα αναγέννησης (τροφοδοσία), και το ποσό Q_m είναι το άθροισμα του Q_{cold} και του Q_{heat} , το οποίο πρέπει να απορριφθεί σε μέσο επίπεδο θερμοκρασίας T_m . Το Q_{heat} παρέχεται είτε από το ηλιακό σύστημα είτε από τις εφεδρικές πηγές θερμότητας, π.χ. από τηλεθέρμανση ή από καυστήρα φυσικού αερίου.

Μια βασική παράμετρος που περιγράφει την αποδοτικότητα ενός θερμοκίνητου ψύκτη είναι ο Θερμικός Συντελεστής Απόδοσης (Coefficient of Performance, COP), που ορίζεται ως το κλάσμα της θερμότητας που απορρίπτεται από το κύκλωμα ψυχρού νερού και της απαραίτητης θερμότητας αναγέννησης, δηλαδή

$$\text{COP}_{\text{thermal}} = Q_{\text{cold}} / Q_{\text{heat}}$$

Είναι διαφορετικός από το COP_{conv} ενός συμβατικού ηλεκτροκίνητου ψύκτη συμπίεσης, που ορίζεται ως

$$\text{COP}_{\text{conv}} = Q_{\text{cold}} / E_{\text{electric}}$$

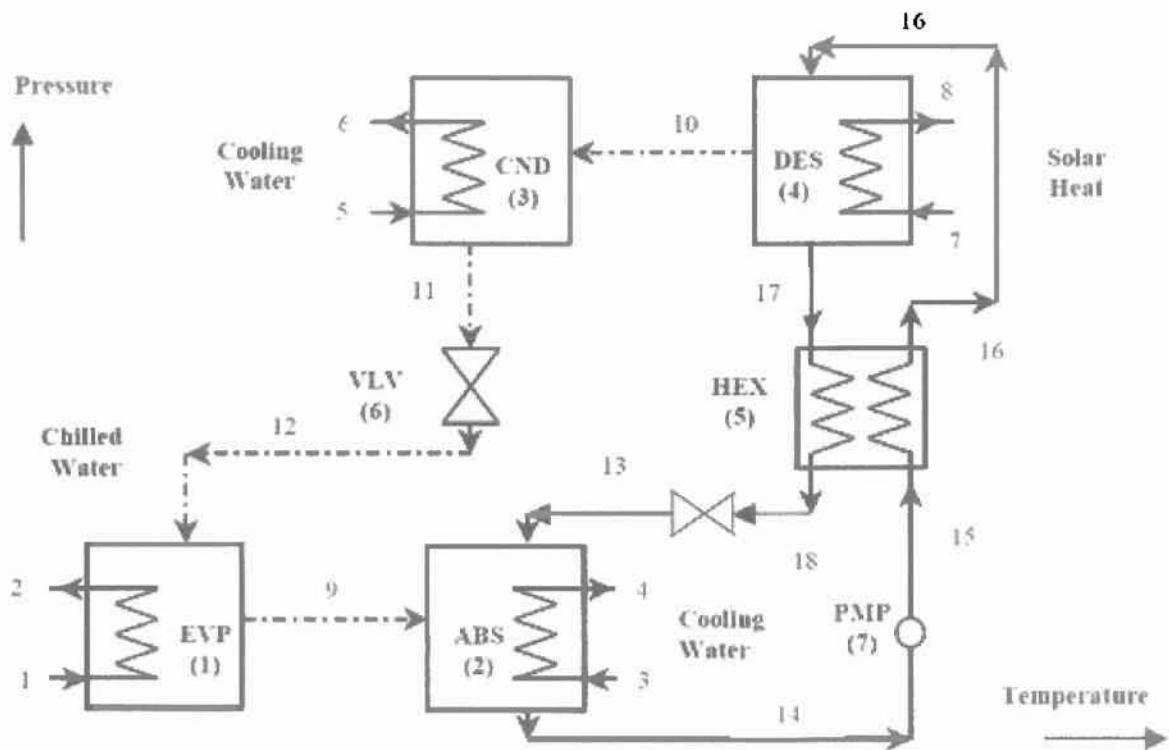
όπου E_{electric} να αντιπροσωπεύει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του ψύκτη.

Ο ορισμός του COP_{thermal} δεν περιλαμβάνει οποιαδήποτε άλλη πρόσθετη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, μια ρεαλιστική σύγκριση διαφορετικών τεχνολογιών απαιτεί την εκτίμηση της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για τροφοδοσία θερμότητας, για αντλίες, ανεμιστήρες, κλπ. Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο μικρότερος είναι ο COP, τόσο περισσότερη τροφοδοσία θερμότητας απαιτείται και περισσότερη θερμότητα πρέπει να απορριφθεί από τον ψυκτικό πύργο. Αντίστροφα, η υψηλή τιμή COP είναι πλεονεκτική στη μείωση και της τροφοδοσίας θερμότητας και της ηλεκτρικής ενέργειας για τις αντλίες στον κύκλο θέρμανσης και στον κύκλο επανάψυξης (re-cooling cycle). Η απαιτούμενη θερμοκρασία ψυχρού νερού εξαρτάται από το εγκατεστημένο σύστημα ψύξης στους επιμέρους χώρους. Σε περίπτωση που απαιτείται αφύγρανση του αέρα, π.χ. πτώση κάτω από το σημείο κορεσμού της θερμοκρασίας δωματίου με τη χρήση τοπικών κλιματιστικών μονάδων, απαιτούνται θερμοκρασίες ψυχρού νερού της τάξης 6-9 °C. Για την απομάκρυνση μόνο των αισθητών ψυκτικών φορτίων, δεδομένου ότι επιτυγχάνεται με παροχή ψυχρού αέρα ή με ψυχρές οροφές κλπ., η θερμοκρασία ψυχρού νερού 12-15 °C είναι ικανοποιητική, επιτρέποντας έτσι να λειτουργήσει ο ψύκτης με υψηλότερη απόδοση.

4.4.1.1 Ψύκτες απορρόφησης

Τα συστήματα απορρόφησης είναι παγκοσμίως τα πιο διαδεδομένα συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούνται στον ηλιακό κλιματισμό και όχι μόνο. Στην απλούστερη μορφή τους, αυτή της μονής βαθμίδας, ένα σύστημα απορρόφησης χρησιμοποιεί μια ψυκτική ουσία που εκτονώνεται από έναν συμπυκνωτή σε έναν εξατμιστή μέσω μιας ρυθμιστικής βαλβίδας, με τον ίδιο σχεδόν τρόπο όπως στο συμβατικό σύστημα συμπίεσης ατμού. Η ψύξη παράγεται στον εξατμιστή μέσω της εξάτμισης της ψυκτικής ουσίας τόσο σε χαμηλή θερμοκρασία όσο και σε χαμηλή πίεση. Το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο απορροφάται στον απορροφητή, αραιώνοντας το διάλυμα $H_2O/LiBr$ (για να καταστεί η διαδικασία απορρόφησης αποδοτική, απαιτείται ψύξη σε αυτό το στάδιο της διεργασίας). Το διάλυμα αντλείται συνεχώς στον αναγεννητή (γεννήτρια ατμού), όπου επιτυγχάνεται η αναγέννηση του, χρησιμοποιώντας θερμότητα (θερμότητα αναγέννησης/τροφοδοσίας) για παράδειγμα ζεστό νερό από ηλιακά. Το ψυκτικό μέσο στη συνέχεια συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και κυκλοφορεί με τη βοήθεια μιας στραγγαλιστικής/εκτονωτικής βαλβίδας πάλι στον εξατμιστή. Ο συνδυασμός απορροφητή/αναγεννήτης είναι

ισοδύναμος με έναν «θερμικό συμπιεστή», όταν συγκρίνεται με έναν συμβατικό κύκλο συμπίεσης ατμού.



Σχήμα 4.4 – Σχηματική περιγραφή ενός ψυκτικής απορρόφησης μονής βαθμίδας (πηγή: Henning 2004)

Το Σχήμα 4.4 περιγράφει ένα σύστημα απορρόφησης μονής βαθμίδας. Υγρή ψυκτική ουσία φεύγει από το συμπυκνωτή στη κατάσταση 11, εκτονώνεται μέσω της ρυθμιστικής βαλβίδας (6) στον εξατμιστή (1) όπου εξατμίζεται από τη κατάσταση 11 στην 9, παίρνοντας τη θερμότητα εξάτμισής της από το ρεύμα του ψυχρού νερού και δροσίζοντας την από τη κατάσταση 1 έως 2. Ο ατμός που φεύγει στην κατάσταση 9 απορροφάται στον απορροφητή (2) από ένα απορροφητικό διάλυμα αραιό στην ψυκτική ουσία (ισχυρή ικανότητα απορρόφησης) στη κατάσταση 13. Στη συνέχεια απομακρύνεται στη κατάσταση 14 πλούσιο στην ψυκτική ουσία (αδύνατη ικανότητα απορρόφησης). Το διάλυμα εξόδου αντλείται μέσω του εναλλάκτη θερμότητας (5) στον αναγεννητή (4) με τη βοήθεια μιας μικρής αντλίας (7). Ο αναγεννητής χρησιμεύει να αναπαραγάγει το διάλυμα από μια αδύνατη σε μια ισχυρή κατάσταση με την εφαρμογή θερμότητας από το ηλιακά θερμαινόμενο ρεύμα νερού 7-8, προκαλώντας την αναγέννηση της ψυκτικής ουσίας στη κατάσταση 10. Το διάλυμα που εισάγεται στον αναγεννητή (4) στην αδύνατη κατάσταση 16 ενισχύεται έτσι στη κατάσταση 17 και επιστρέφει στον απορροφητή (2) μέσω του εναλλάκτη ανάκτησης

θερμότητας (5). Ο αναγεννημένος ατμός στη κατάσταση 10 συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή (3) στην υγρή κατάσταση 11, κατόπιν εκτονώνεται στον εξατμιστή. Ο απορροφητής και ο συμπυκνωτής δροσίζονται από τα ρεύματα της ψύξης του νερού 3-4 και 5-6 για να απορρίψουν τις θερμότητες της απορρόφησης και της συμπύκνωσης, αντίστοιχα. (SACE, 2003)

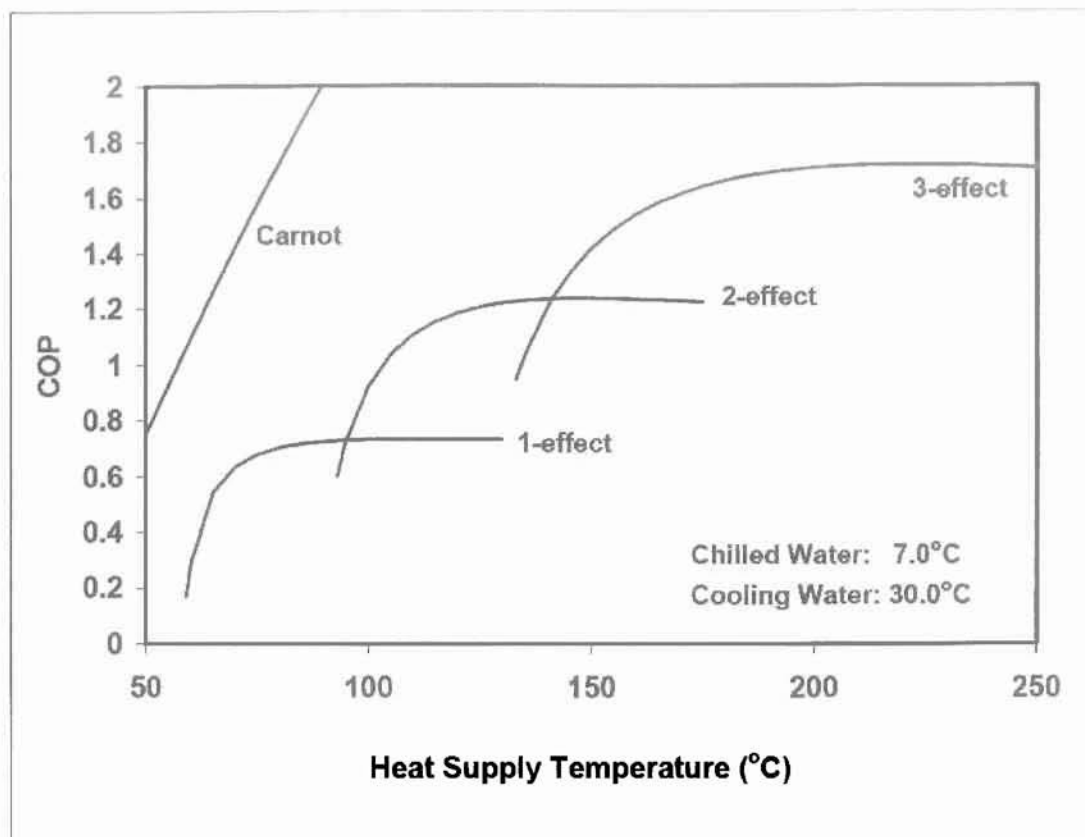
Η θερμότητα που εφαρμόζεται στο αναγεννητή μπορεί να προέλθει από ποικίλες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής, της γεωθερμικής, της θερμότητας των αποβλήτων και των ομοίων τους. Το σύστημα λειτουργεί μεταξύ δύο επιπέδων πίεσης, και αλληλεπιδρά με τις πηγές θερμότητας σε επίπεδα τριών θερμοκρασιών: Η ψύξη χαμηλής θερμοκρασίας στον εξατμιστή, η ενδιάμεση απόρριψη θερμότητας θερμοκρασίας στον απορροφητή και το συμπυκνωτή και ο υψηλής θερμοκρασίας (ηλιακός) ανεφοδιασμός θερμότητας στον αναγεννητή. Τα δύο πιο κοινά ζεύγη ρευστών που χρησιμοποιούνται είναι LiBr-νερό και νερό-αμμωνία. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι οι πρώτες μηχανές κλιματισμού στην ιστορία ήταν συστήματα απορρόφησης, τα οποία προηγήθηκαν της συμπίεσης ατμού για σχεδόν μισό αιώνα.

Τα συστήματα απορρόφησης μονής βαθμίδας έχουν περιορισμένο θερμικό συντελεστή (COP), περίπου 0.7, και ως εκ τούτου απαιτούν μια μάλλον μεγάλη επιφάνεια συλλεκτών για να παρέχουν την ηλιακή θερμότητα που απαιτείται για τη λειτουργία τους. Αυτή η επιφάνεια θα μπορούσε να μειωθεί με τη χρησιμοποίηση των συστημάτων με βελτιωμένο COP, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί με μια υψηλότερη θερμοκρασία στη πηγή θερμότητας. Για να εκμεταλλευτούν μια υψηλής θερμοκρασίας πηγή θερμότητας, τα συστήματα απορρόφησης πρέπει να διαμορφωθούν σταδιακά (Alefled, 1982). Η αρχή είναι να χρησιμοποιηθεί η θερμότητα που απορρίπτεται από το συμπυκνωτή για να τροφοδοτήσει τους πρόσθετους αναγεννητές, με αυτόν τον τρόπο διπλασιάζεται ή τριπλασιάζεται το ποσό ψυκτικής ουσίας που εξάγεται από το διάλυμα χωρίς να ξοδευτεί πρόσθετη ηλιακή θερμότητα.

Τα περισσότερα ηλιακά συστήματα κλιματισμού με απορρόφηση χρησιμοποιούν τα συστήματα μονής βαθμίδας, με τους χαμηλής θερμοκρασίας ηλιακούς συλλέκτες. Οι εξελίξεις ωστόσο στα συστήματα απορρόφησης με φυσικό αέριο τα τελευταία χρόνια, κυρίως στις ΗΠΑ και την Ιαπωνία αλλά και στην Ελλάδα τελευταία, παρέχουν ψύκτες LiBr-νερού με υψηλότερο θερμικό συντελεστή (COP) όπως

συστήματα διπλής βαθμίδας, διαθέσιμα στην αγορά, με COP που κυμαίνεται από 1,0-1,2 και συστήματα τριπλής βαθμίδας, ακόμα υπό ανάπτυξη αλλά κοντά στην αγορά, με COP περίπου 1,7. Αυτά τα συστήματα μπορούν να προσαρμοστούν και να χρησιμοποιηθούν σε μια ηλιακά τροφοδοτημένη εγκατάσταση, με υψηλής θερμοκρασίας ηλιακούς συλλέκτες.

Το Σχήμα 4.5 συγκρίνει την απόδοση διάφορων ψυκτών, που παρουσιάζουν το θερμικό συντελεστή απόδοσης (COP) ως λειτουργία της θερμοκρασίας ανεφοδιασμού ηλιακής θερμότητας για τα χαρακτηριστικά ψύκτη LiBr-H₂O μονής, διπλής και τριπλής βαθμίδας στις ίδιες συνθήκες λειτουργίας (είσοδος νερού στους 30°C και έξοδος ψυχρού νερού στους 7 °C). Η αντίστοιχη καμπύλη απόδοσης Carnot σχεδιάζεται εμπρός για σύγκριση. Είναι προφανές ότι για κάθε σύστημα απορρόφησης υπάρχει μια ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας ανεφοδιασμού θερμότητας κάτω από την οποία το σύστημα δεν αποδίδει καθόλου. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, αυξάνει δραματικά ο COP μέχρι να λάβει μια ασυμπτωτική τιμή. Το σύστημα μονής βαθμίδας δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα στη περιοχή θερμοκρασιών 80-100 °C. Για μεγαλύτερη περιοχή θερμοκρασιών, αξίζει να χρησιμοποιηθεί το σύστημα διπλής βαθμίδας μέχρι τους 160 °C. Κατόπιν χρησιμοποιείται το σύστημα τριπλής βαθμίδας για τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Εντούτοις με ένα σύστημα διπλής βαθμίδας, εάν μειωθεί η ηλιακός-παρεχόμενη θερμοκρασία κάτω από 100 °C, η απόδοση του θα μειωθεί αισθητά, κάτω και από αυτήν της μονής βαθμίδας. Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι οι υψηλότεροι κύκλοι επίδρασης χρειάζονται υψηλότερες θερμοκρασίες, το οποίο έχει φυσικά σημαντική επιρροή και στον ηλιακό συλλέκτη και στο σχεδιασμό ηλιακών συστημάτων.



Σχήμα 4.5 – Θερμικός συντελεστής απόδοσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ανεφοδιασμού ηλιακής θερμότητας για ψύκτη απορρόφησης LiBr-H₂O μονής, διπλής και τριπλής βαθμίδας (πηγή: Grosman 2002)

Οι περισσότερες εφαρμογές μεγάλης κλίμακας (300 kW και άνω) υιοθετούν το ζεύγος H₂O/LiBr, και παράγουν ψυχρό νερό στους 6-7 °C. Αυτό το ζεύγος εργασίας έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων (π.χ. αμμωνία-νερό): Οι ουσίες είναι μη τοξικές, οι πιέσεις εργασίας είναι χαμηλές, το απορροφητικό είναι αμετάβλητο (έτσι δεν απαιτείται διόρθωση - απόσταξη της ψυκτικής ουσίας για να αφαιρεθεί το υπόλειμμα του απορροφητικού μετά από την αναγέννηση), και ο COP είναι σχετικά υψηλός (μια χαρακτηριστική τιμή ενός συστήματος LiBr- νερού μονής βαθμίδας είναι περίπου 0.7, έναντι 0.5 για το σύστημα αμμωνία-νερό). Εντούτοις, τα συστήματα liBr-νερού πρέπει να δροσίζουν το νερό, λειτουργία που εκτελείται από ένα πύργο ψύξης. Λόγω του μεγάλου όγκου ατμού της ψυκτικής ουσίας νερού, το φυσικό μέγεθος των συστημάτων LiBr-νερού είναι συνήθως μεγάλο. Για τα μικρά συστήματα, και για εκείνους που αδυνατούν να χρησιμοποιήσουν την υδρόψυξη, το ζεύγος νερού αμμωνίας προτιμάται, παρά τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα του H₂O/LiBr.

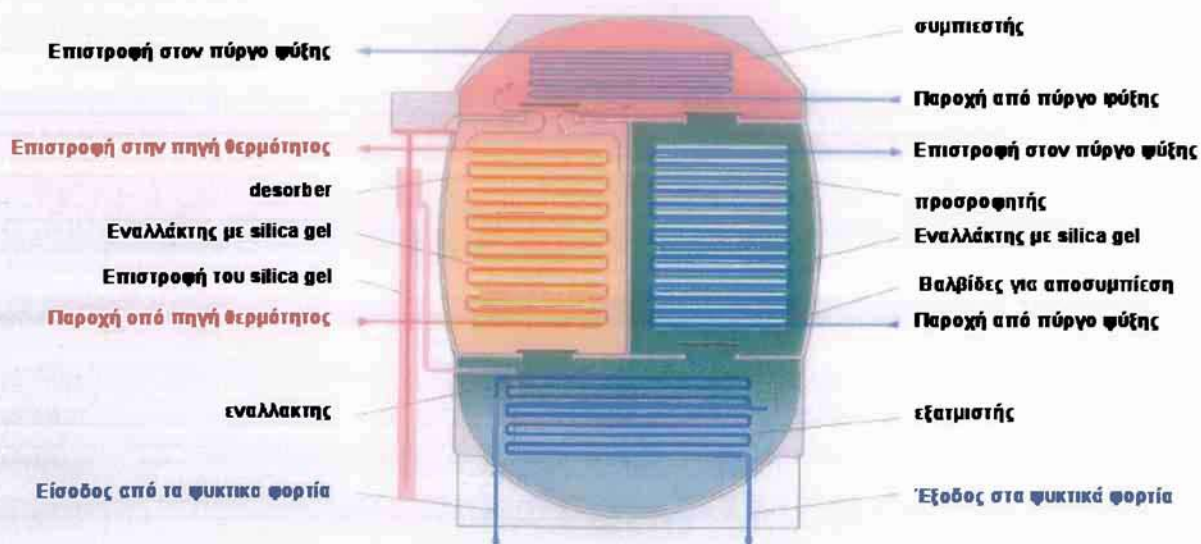
Τα περισσότερα συστήματα ηλιακού κλιματισμού χρησιμοποιούν τους ψύκτες μονής βαθμίδας, όπου απαιτείται χαμηλή θερμοκρασία της πηγής θερμότητας. Σε αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιούνται οι απλοί, επίπεδοι συλλέκτες. Στα ζεστά και ηλιόλουστα κλίματα, η απαραίτητη επιφάνεια συλλεκτών είναι περίπου 3-4 m² ανά kW ψύξης. Το μέγεθος αποθήκευσης εξαρτάται από την εφαρμογή: ένας χρήστης που χρειάζεται τον κλιματισμό κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας θα απαιτήσει λιγότερη αποθήκευση από έναν που τον χρειάζεται το βράδυ. Τέλος οι ψύκτες πολλαπλής βαθμίδας απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες ανεφοδιασμού θερμότητας, οι οποίες μπορούν να ληφθούν από τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες ή τους συλλέκτες κενού.

4.4.1.2 Ψύκτες προσρόφησης

Αντί της απορρόφησης της ψυκτικής ουσίας όπως χρησιμοποιείται στα συστήματα απορρόφησης, είναι επίσης δυνατό να προσροφηθεί η ψυκτική ουσία στις εσωτερικές επιφάνειες ενός πορώδους στερεού. Αυτή η διαδικασία καλείται προσρόφηση (adsorption). Τα χαρακτηριστικά παραδείγματα των υλικών λειτουργίας είναι νερό/silica gel, νερό/zeolite, αμμωνία/ενεργοποιημένος άνθρακας ή μεθανόλη/ενεργοποιημένος άνθρακας κτλ. Εντούτοις, μόνο οι μηχανές που χρησιμοποιούν το ζεύγος λειτουργίας νερό/silica gel είναι διαθέσιμες σήμερα στην αγορά. Στις μηχανές προσρόφησης, ο στερεός ροφητήρας πρέπει να δροσιστεί και να θερμανθεί διαδοχικά για να είναι σε θέση να προσροφήσει και να αναγεννήσει την ψυκτική ουσία. Η λειτουργία είναι, επομένως, φυσικά περιοδική στο χρόνο, (SACE, 2003).

Ο κύκλος μπορεί να περιγραφεί ως εξής (Σχήμα 4.6):

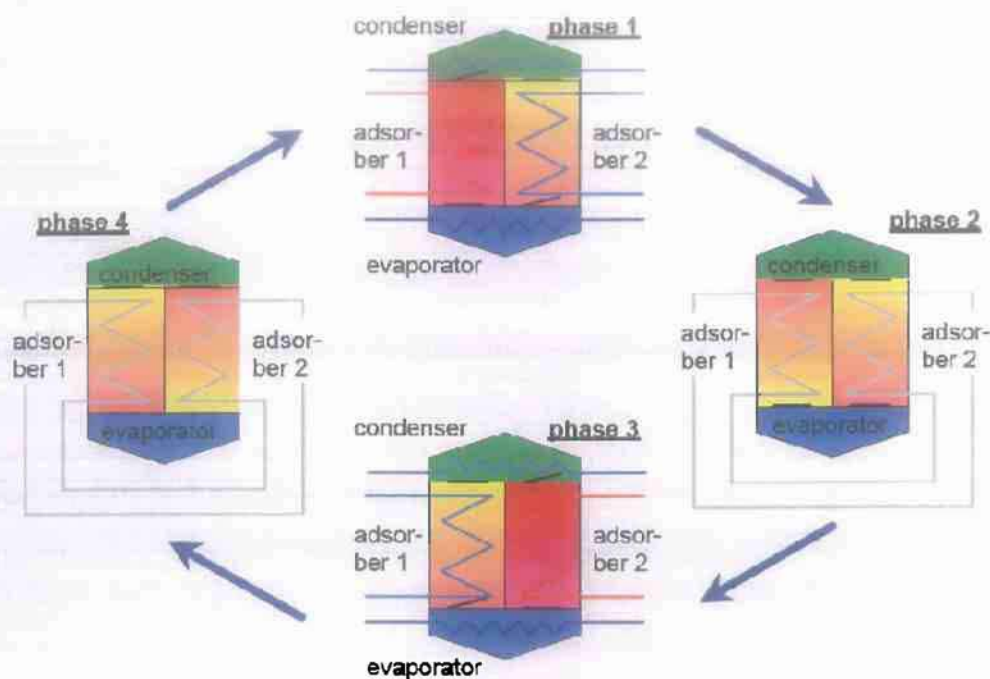
1. Η ψυκτική ουσία που προσροφάται σε ένα προσροφητή απομακρύνεται μέσω της χρήσης του ζεστού νερού (δεξί διαμέρισμα).
2. Η ψυκτική ουσία συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και η θερμότητα της συμπύκνωσης αφαιρείται με την ψύξη του νερού.
3. Το συμπύκνωμα ψεκάζεται στον εξατμιστή και εξατμίζεται υπό χαμηλή μερική πίεση. Αυτό το βήμα παράγει τη χρήσιμη επίδραση ψύξης.
4. Ο ατμός των ψυκτικών ουσιών προσροφάται στο άλλο προσροφητή (αριστερό διαμέρισμα). Η θερμότητα αφαιρείται με την ψύξη του νερού



Σχήμα 4.6 – Σχηματική απεικόνιση ενός ψύκτη προσρόφησης (πηγή: SACE 2003)

Μόλις το δεξί διαμέρισμα έχει πληρωθεί εντελώς από το ροφητικό υλικό και το αριστερό διαμέρισμα έχει πλήρως αναγεννηθεί, οι λειτουργίες τους ανταλλάσσονται. Οι δύο θάλαμοι μπορούν να συνδεθούν άμεσα για κάποιο διάστημα μεταξύ των αλλαγών στη λειτουργία τους, προκειμένου να επιτευχθεί κάποια διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας, δεδομένου ότι ο θερμός θάλαμος πρέπει να δροσιστεί στο επόμενο βήμα και αντίστροφα. Κατά συνέπεια, ένα προσροφητής είναι πάντα διαθέσιμος για να προσροφήσει τον ατμό από τον εξατμιστή. Ο πλήρης κύκλος με τέσσερις φάσεις καταδεικνύεται στο Σχήμα 4.7. Για αυτήν την ιδιαίτερη μηχανή, πάντα μετά από περίπου 7 λεπτά πραγματοποιείται μια περιοδική αλλαγή μεταξύ των δύο διαμερισμάτων.

Η θερμότητα που εφαρμόζεται στον αναγεννητή μπορεί να προέλθει από ποικίλες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής, της γεωθερμικής, της θερμότητας των αποβλήτων και των ομοίων. Το σύστημα λειτουργεί μεταξύ δύο επιπέδων πίεσης, και αλληλεπιδρά με τις πηγές θερμότητας σε επίπεδα τριών θερμοκρασιών: Η ψύξη χαμηλής θερμοκρασίας στον εξατμιστή, η ενδιάμεση απόρριψη θερμότητας θερμοκρασίας στον απορροφητή και το συμπυκνωτή και ο υψηλής θερμοκρασίας (ηλιακός) ανεφοδιασμός θερμότητας στο αναγεννητή.



Σχήμα 4.7 – Σχηματική απεικόνιση ενός πλήρη κύκλου προσρόφησης (οι φάσεις 2 και 4 :διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας) (πηγή: SACE 2003)

Τα συστήματα προσρόφησης έχουν το μειονέκτημα της διαλείπουσας λειτουργίας. Αυτό καθιστά τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας πιο σύνθετη διαδικασία και οδηγεί σε υψηλότερες απαιτήσεις. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι δεν χρειάζονται οποιαδήποτε κινούμενα μέρη στον εσωτερικό κύκλο (καμία αντλία, καμία ηλεκτρικά καθοδηγούμενη βαλβίδα) και ότι καμία κρυστάλλωση δεν μπορεί να εμφανιστεί όπως συμβαίνει στα συστήματα απορρόφησης LiBr-νερό. Σήμερα, μόνο μερικοί κατασκευαστές παράγουν τα ψυγεία προσρόφησης. Λόγω του χαμηλού ανταγωνισμού, το κόστος των συστημάτων προσρόφησης έχει παραμείνει αρκετά υψηλό.

Η απόδοση ενός συστήματος προσρόφησης χαρακτηρίζεται από το συντελεστή θερμικής απόδοσης (COP), που ορίζεται ως η αναλογία της ενέργειας ψύξης που παράγεται προς τη θερμότητα που ξοδεύεται για να τη παράγει. Τα διαθέσιμα συστήματα αγοράς επιτυγχάνουν χαρακτηριστικά COP περίπου 0.61 στους ονομαστικούς όρους (θερμοκρασία ανεφοδιασμού/επιστροφής του θερμαινόμενου ρευστού 85°C/79°C, θερμοκρασία ανεφοδιασμού/επιστροφής της ψυχρού ρευστού 30°C/26°C, θερμοκρασία ανεφοδιασμού/επιστροφής του κατεψυγμένου νερού 12°C/7°C). Ο συντελεστής θερμικής απόδοσης (COP) κυμαίνεται από 0.55 έως 0.65, ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας.

4.4.2 Ψυκτικά συστήματα ανοικτού εξατμιστικού κύκλου (DEC)

Τα συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant) χρησιμοποιούν νερό ως ψυκτικό μέσο, σε άμεση επαφή με τον αέρα. Ο θερμοκίνητος ψυκτικός κύκλος είναι συνδυασμός εξατμιστικής ψύξης με αφύγρανση αέρα μέσω ξηραντικού/αφυγραντικού υλικού, δηλαδή υγροσκοπικού υλικού. Για το σκοπό αυτό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υγρά ή στερεά υλικά. Ο όρος «ανοικτός» χρησιμοποιείται για να δείξει ότι το ψυκτικό μέσο απορρίπτεται από το σύστημα αφού παράσχει την ψύξη και νέα ποσότητα ψυκτικού μέσου εισάγεται, μέσω ενός ανοικτού βρόχου. Επομένως, μόνο το νερό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο, δεδομένου ότι υπάρχει άμεση επαφή με την ατμόσφαιρα. Η διαδεδομένη τεχνολογία που εφαρμόζεται σήμερα χρησιμοποιεί περιστρεφόμενους τροχούς αφυγραντικού υλικού, εφοδιασμένους είτε με silica gel, είτε με χλωριούχο λίθιο ως ροφητικό υλικό.

4.4.2.1 Ψύξη στερεού μέσου ανοικτού κύκλου

Οι στερεές «desiccant» εγκαταστάσεις κλιματισμού θα μπορούσαν να είναι μια σοβαρή εναλλακτική λύση στη γνωστή συμπίεση ατμού, εάν μπορούσαμε να έχουμε μια βιώσιμη ενεργειακή πηγή θερμότητας, π.χ. από ηλιακή ή γεωθερμική ή τη βιομάζα, ή τη φτηνή θερμότητα των αποβλήτων. Τα συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου στη κεντρική Ευρώπη σχεδιάζονται για να λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου (κλιματισμός το καλοκαίρι, θέρμανση και ύγρανση το χειμώνα και εξαερισμός στη μεταβατική περίοδο). Η «καρδιά» των εγκαταστάσεων είναι το σύστημα ελέγχου, το οποίο πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξασφαλίζει την οικονομική λειτουργία των εγκαταστάσεων καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Η εφαρμογή των στερεών «desiccant» εγκαταστάσεων είναι βιώσιμη, εάν η εναλλαγή αέρα ή/και η αφύγρανση του αέρα σε ένα κτήριο είναι απαραίτητες ή αυστηρά καθορισμένες, π.χ. στις υπεραγορές, στις τράπεζες, στα μουσεία, στους κινηματογράφους, στις αίθουσες διάλεξης και συνεδριάσεων με μια σημαντική παρουσία των ανθρώπων.

♦ Ο κλιματισμός το καλοκαίρι

Η μετάδοση της θερμότητας μέσω των τοίχων του κτηρίου, η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία μέσω των παραθύρων καθώς και οι εσωτερικές πηγές θερμότητας, όπως ο φωτισμός, οι υπολογιστές και το προσωπικό προκαλούν αύξηση της θερμοκρασίας

και της υγρασίας σε κλειστούς χώρους. Τα συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου με στερεό μέσο πρέπει να διατηρήσουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας του κλειστού χώρου σε περιοχή θερμικής άνεσης, η οποία δίνεται από κανονισμούς στο χώρο εργασίας ή παρόμοιους όρους. Μια κατάλληλη στρατηγική ελέγχου επιτρέπει την πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία των «desiccant» εγκαταστάσεων κλιματισμού.

♦ **Θέρμανση το χειμώνα**

Εάν η υπαίθρια θερμοκρασία μειωθεί και ξεπεράσει μία μεταβλητή καθορισμένη τιμή, π.χ. τους 16 °C, και η εσωτερική θερμοκρασία είναι συγχρόνως κάτω από 22 °C (μεταβλητή καθορισμένη τιμή), οι «desiccant» εγκαταστάσεις αλλάζουν τη λειτουργία τους και αρχίζουν να θερμαίνουν. Ο έλεγχος επιτρέπει την πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία των «desiccant» εγκαταστάσεων κλιματισμού και το χειμώνα. Σε μερικές περιπτώσεις πραγματοποιείται μια ανταλλαγή ενθαλπίας. Τέλος υπάρχει πιθανότητα ο τροχός προσρόφησης να παγώσει εξαιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας, γεγονός το οποίο θα πρέπει να αποφευχθεί από τα μέτρα ελέγχου.

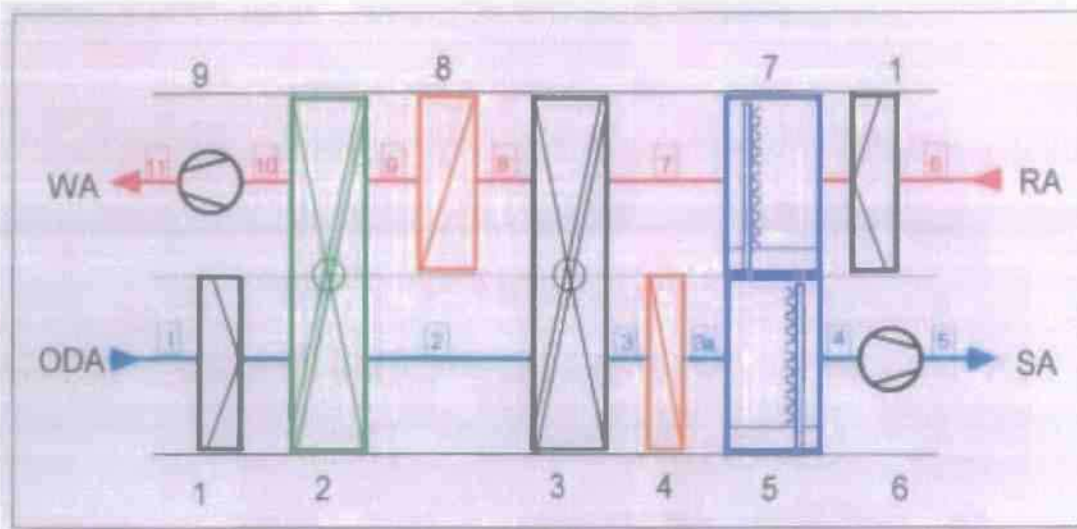
Εξαερισμός στη μεταβατική εποχή

Εάν δεν απαιτείται ούτε θέρμανση ούτε ψύξη, π.χ. η υπαίθρια θερμοκρασία είναι στη μεταβατική περίοδο και κυμαίνεται από 16 έως 22 °C, τα συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου με στερεό μέσο χρησιμοποιούνται μόνο για τον εξαερισμό του ρυθμισμένου χώρου.

Ιδανική ρύθμιση των μονάδων επεξεργασίας αέρα με ξηραντές

Η ιδανική ρύθμιση των εξαρτημάτων που συνιστούν μία τυπική μονάδα επεξεργασίας αέρα με ξηραντές (DEC-AHU) φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Δύο αεραγωγοί με πολλαπλά εξαρτήματα είναι τοποθετημένοι ο ένας πάνω στον άλλο. Ο εξωτερικός αέρας (ODA) εισέρχεται στην μονάδα (DEC-AHU) από το αριστερό μέρος του κάτω αεραγωγού, όπου ψύχεται και στη συνέχεια αφήνει την μονάδα (DEC-AHU) ως παρεχόμενος αέρας (SA) στη δεξιά πλευρά όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.8. Ο παρεχόμενος αέρας εισέρχεται στο χώρο προς ψύξη, αυξάνει την ενθαλπία του μέσω εσωτερικών πηγών θερμότητας και υγρασίας, και αφήνει τον χώρο αυτόν, ως επιστρεφόμενος αέρας (RA) αφού περάσει από διάφορα στάδια επεξεργασίας μέσω του αεραγωγού επιστροφής (βλ. τις διάφορες λειτουργίες ψύξης παρακάτω). Τέλος ο αέρας που

επιστρέφει, αφήνει την μονάδα (DEC-AHU) στην άνω αριστερή πλευρά του σχήματος (WA).



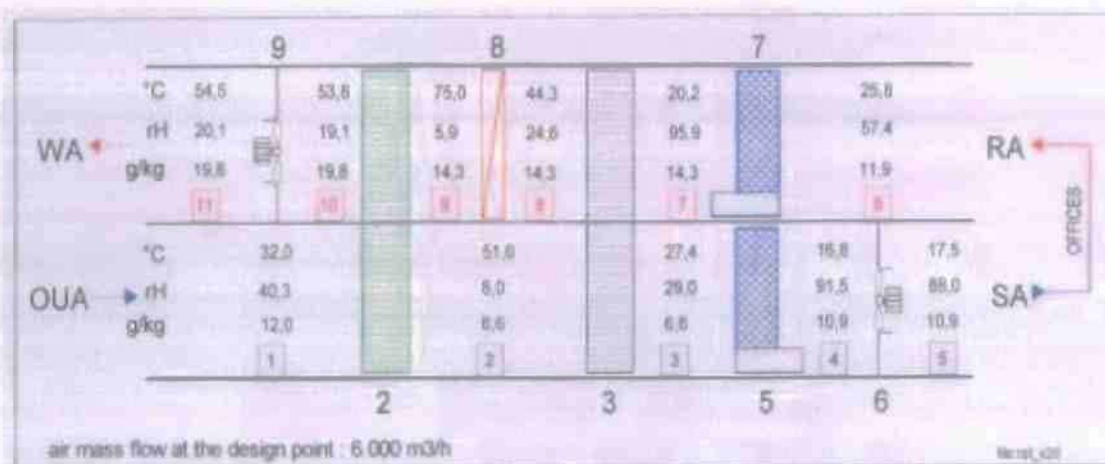
Σχήμα 4.8 – Ιδανική ρύθμιση των μονάδων επεξεργασίας αέρα με ξηραντές (πηγή: SACE 2003)

Σχεδιασμός διαδικασίας ψύξης με ξηραντές (κατάσταση ρόφησης χωρίς bypass)

Το αποτέλεσμα του σχεδιασμού της διαδικασίας φαίνεται στο Σχήμα 4.9. Όλες οι κατάλληλες πληροφορίες για την κατάσταση του αέρα, τόσο κατά την προσαγωγή όσο και κατά την επιστροφή, που είναι αναγκαίες για την κατασκευή της μονάδας επεξεργασίας με ξηραντές, μπορούν να ληφθούν από την δομή του σχήματος. Οι αριθμοί στα ορθογώνια περιγράφουν την κατάσταση του αέρα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας στα Σχήματα 4.8 και 4.9. Η ακόλουθη διαδικασία συνιστάται για τη σχεδίαση του την διαδικασίας ψύξης με ξηραντές:

1. Καθορισμός του σημείου εξωτερικής σχεδίασης, π.χ. 32.0 ° C, 40% RH (12 g/kg).
2. Καθορισμός της επιθυμητής κατάστασης των εσωτερικών χώρων, π.χ. 26 ° C, 57,4% RH (11,5 g / kg)
3. Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου του κτιρίου.
4. Καθορισμός της ονομαστικής ροής αέρα, π.χ. 6,000 m³ / h σε σχέση με την αναγκαία ικανότητα ψύξης της μονάδας (DEC-AHD).
5. Υπολογισμός της διαδικασίας ξήρανσης σε συνθήκες σχεδιασμού με τη βοήθεια των οδηγιών του κατασκευαστή ή με την χρήση εξειδικευμένου

προγράμματος, π.χ. rst_ver20, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τα αποτελέσματα του υπολογισμού. Τα τεχνικά στοιχεία του ροφητικού τροχού, του τροχού ανάκτησης θερμότητας και των υγραντήρων είναι απαραίτητα για το σχεδιασμό του βήματος (5).

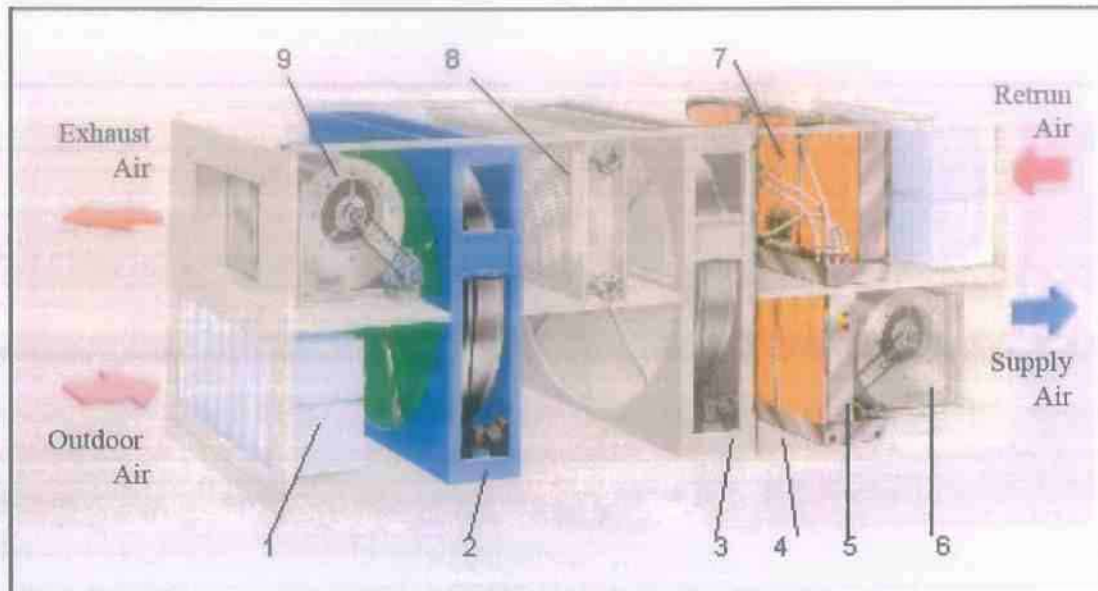


Σχήμα 4.9 – Σχέδιο επεξεργασίας αέρα με ξηραντές (προσοφητικός τρόπος ψύξης χωρίς by pass) (πηγή: SACE 2003)

Ακολουθώντας τα βήματα από το 1 έως το 5 (αριθμοί στα ορθογώνια) μπορούν πλέον να προσδιοριστούν οι διάφορες καταστάσεις του αέρα στην προσαγωγή. Κατά τον ίδιο τρόπο, μπορεί να προσδιοριστεί η κατάσταση του αέρα της επιστροφής ακολουθώντας τα βήματα 6 έως 11.

Κατασκευή της μονάδας χειρισμού με ξηραντές (DEC-AHU)

Η αρχή της κατασκευής της μονάδας (DEC-AHU) φαίνεται στο Σχήμα 4.10. Ένα από τα κύρια καθήκοντα είναι να καταστεί η κατασκευή όσο το δυνατόν μικρότερη, έτσι ώστε ο χώρος να είναι προσβάσιμος για την αναγκαία επιθεώρηση και συντήρηση καθώς και για την αποφυγή αύξησης της ταχύτητας του αέρα, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια πίεσης. Ο τροχός ρόφησης (2) θα πρέπει να προμηθευτεί από έναν κατασκευαστή με εμπειρία στον τομέα παραγωγής των στερεών ροφητικών τροχών από επιφάνειες silica gel. Τέλος θα πρέπει να είναι δυνατός ο καθαρισμός του ροφητικού τροχού χωρίς κανένα πρόβλημα με τη χρήση πίδακα νερού, όταν θα είναι ρυπαρός έπειτα από μια μακρά περίοδο λειτουργίας.



Σχήμα 4.10 – Παράδειγμα κατασκευής μιας μονάδας χειρισμού με ξηραντές (πηγή: SACE 2003)

Υπόμνημα: 1 φίλτρο, 2 τροχός ρόφησης, 3 τροχός ανάκτησης θερμότητας, 4 χώρος για θερμαντήρα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, 5 υγραντήρας του παρεχόμενου αέρα, 6 ηλεκτρικός ανεμιστήρας, 7 υγραντήρας του αέρα επιστροφής, 8 αναγεννητής

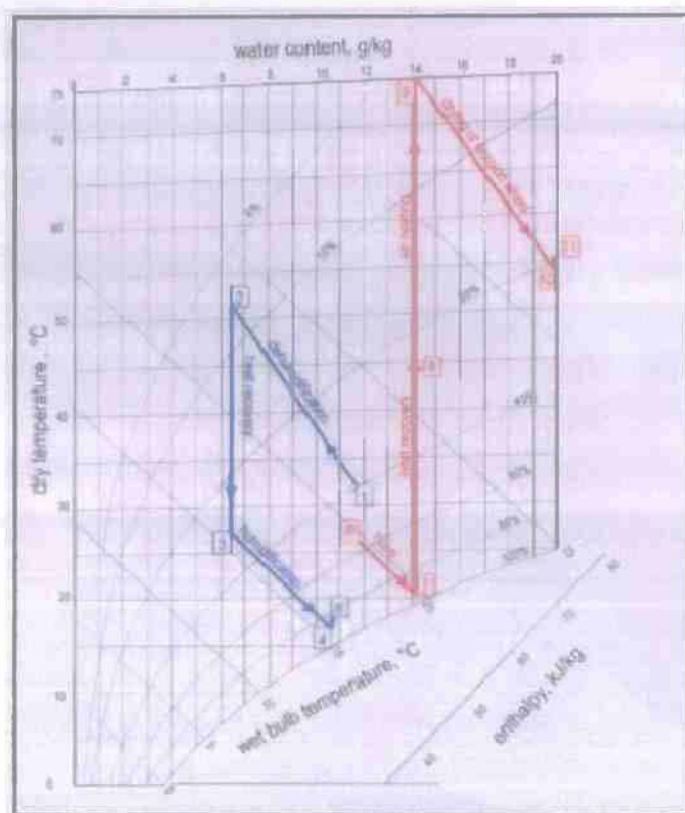
Η μακροχρόνια λειτουργική σταθερότητα, ο έλεγχος της υγρανσης και οι γεωμετρικές διαστάσεις αποτελούν σημαντικά κριτήρια για την επιλογή του υγραντήρα. Η απώλειες πίεσης της ροής του αέρα πρέπει να υπολογίζονται με ακρίβεια προσθέτοντας τις επιμέρους απώλειες πίεσης των εξαρτημάτων της μονάδας (DEC-AHU) ξεχωριστά για τον αεραγωγό του αέρα παροχής και τον αεραγωγό του αέρα επιστροφής συμπεριλαμβανομένων των απωλειών πίεσης στους αεραγωγούς του κτιρίου. Η αξονική δύναμη του ηλεκτροκινητήρα μπορεί να προσδιοριστεί με αξιοπιστία, αν το άθροισμα των απωλειών πίεσης έχει υπολογιστεί σωστά.

Οι τρόποι λειτουργίας του συστήματος ψύξης ανοικτού κύκλου με στερεό μέσο

(α) Αδιαβατικός τρόπος ψύξης

Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρειάζεται μόνο νερό για την ύγρανση του αέρα επιστροφής και ηλεκτρική ενέργεια για τους ανεμιστήρες και τον τροχό ανάκτησης θερμότητας. Στον αδιαβατικό τρόπο ψύξης ο αέρας επιστροφής δροσίζεται από τον υγραντήρα από περίπου 26 σε 20 °C πριν εισαχθεί στο τροχό ανάκτησης θερμότητας. Ο τροχός ανάκτησης θερμότητας δροσίζεται από την ψυχρή ροή του αέρα

επιστροφής, γυρίζει περίπου 10 περιστροφές/λεπτό και επομένως δροσίζει τον αέρα ανεφοδιασμού. Ο αδιαβατικός τρόπος ψύξης φθάνει στο όριό του, εάν η ενθαλπία αέρα ανεφοδιασμού ξεπερνάει ένα καθορισμένο σημείο ενθαλπίας και αρχίζει να λειτουργεί ο προσροφητικός τρόπος ψύξης.



Σχήμα 4.11 - Διαδικασία προσροφητικού τρόπου ψύξης σε σύστημα ανοικτού κύκλου στερεού μέσου (πηγή: SACE 2003)

(β) Προσροφητικός τρόπος ψύξης

Ο προσροφητικός τρόπος ψύξης χρειάζεται εκτός από τα εξαρτήματα, τα οποία ενεργοποιούνται στον αδιαβατικό τρόπο ψύξης, θερμότητα για την αναγέννηση του τροχού ρόφησης, ο οποίος χρησιμοποιείται για να μειώσει την υγρασία του αέρα ανεφοδιασμού. Ο αέρας επιστροφής θερμαίνεται από τον εναλλάκτη θερμότητας και εισχωρεί περαιτέρω σε ελεγχόμενη θερμοκρασία από 40 έως 75 °C στο τροχό ρόφησης και ξηραίνει το πήκτωμα πυριτίου (silica gel) στην επιφάνεια του τροχού. Μετά από τη στέγνωση του τροχού ρόφησης στο αεραγωγό του αέρα επιστροφής, είναι σε θέση να προσροφήσει και να μειώσει την υγρασία του αέρα ανεφοδιασμού. Ο ξηρός αέρας ανεφοδιασμού υγραίνεται περαιτέρω και δροσίζεται στον υγραντήρα του αέρα ανεφοδιασμού. Οι αλλαγές των καταστάσεων αέρα του αεραγωγού του

αέρα ανεφοδιασμού και του αέρα επιστροφής περιγράφονται με τη βοήθεια της γραφικής παράστασης στο Σχήμα 4.11. Το αριστερό μέρος της γραφικής παράστασης (μπλε) εμφανίζει τις καταστάσεις του αέρα ανεφοδιασμού από την είσοδο έως την έξοδο του αεραγωγού του αέρα ανεφοδιασμού. Το δεξιό μέρος της γραφικής παράστασης (κόκκινο) εμφανίζει τις καταστάσεις του αέρα επιστροφής από την είσοδο στην έξοδο του αεραγωγού του αέρα επιστροφής. Ο πίνακας 4.2 εξηγεί την προσροφητική διαδικασία ψύξης βαθμιαία.

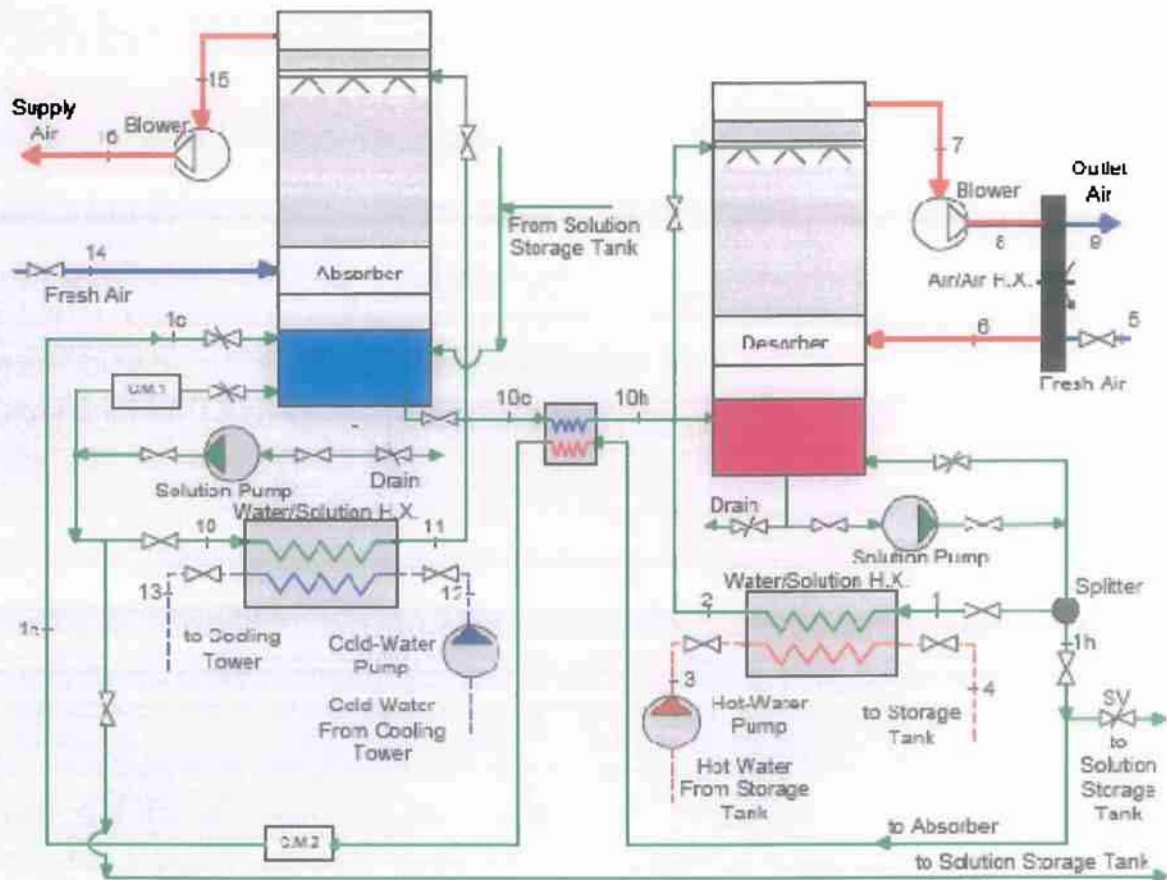
step	term	process	remark
1 - 2	sorption wheel	outdoor air is dried	adsorption on silica gel
2 - 3	heat recovery wheel	cooling of supply air	recovery ratio 0.7
3 - 4	supply air humidifier	cooling by humidification	enthalpy constant
4 - 5	supply air fan	heating up by fan	0.5 to 0.7°C
ε	supply air state		enthalpy "room in"
ε	return air state		enthalpy "room out"
6 - 7	return air humidifier	humidification and cooling	
7 - 8	heat recovery wheel	heating by heat recovery	approx. 20 to 44°C
8 - 9	reg. heat exchanger	heating the return air	44 to 75°C at d.p.
9 - 10	sorption wheel	cooling by drying	
10 - 11	return air fan	heating up by fan	0.5 to 0.7°C

Πίνακας 4.2 - Καταστάσεις του αέρα στο προσροφητικό τρόπο ψύξης (πηγή: SACE 2003)

4.4.2.2 Ψύξη υγρού μέσου ανοικτού κύκλου

Μια σχηματική περιγραφή ενός συστήματος ψύξης (desiccant) υγρού μέσου δίνεται στο Σχήμα 4.11. Τα δύο σημαντικά συστατικά είναι ένας αποξηραντής ή απορροφητής αέρα, και ένας αναγεννητής διαλύματος ή «desorber». Αυτοί είναι εναλλάκτες θερμότητας και μάζας (αέρα-διαλύματος), κανονικά υπό μορφή πύργων, όπου ο αέρας και το διάλυμα έρχονται σε επαφή κατά όμοια φορά ή κατά διασταύρωση. Το σύστημα περιέχει πρόσθετα δύο εναλλάκτες θερμότητας (νερού-διαλύματος), έναν εναλλάκτη θερμότητας (διαλύματος-διαλύματος), και έναν (αέρος-αέρος). Οι αριθμοί στο Σχήμα 4.12 δείχνουν τα σημεία των ρευστών σε συγκεκριμένες θέσεις. Η ροή αέρα παριστάνεται από τις παχιές γραμμές, η ροή του διαλύματος από τις λεπτές γραμμές και η ροή του νερού από τις διακεκομμένες γραμμές. Το πράσινο χρώμα δείχνει τη ροή του διαλύματος, το μπλε χαρακτηρίζει

ψυχρή κατάσταση και το κόκκινο χαρακτηρίζει θερμή κατάσταση, τόσο για το νερό όσο για τον αέρα.(SACE, 2003)



Σχήμα 4.12- Σχηματική απεικόνιση συστήματος ψύξης ανοικτού κύκλου με υγρό μέσο (πηγή: SACE 2003)

Ο αποξηραντής (απορροφητής) αποτελείται από έναν πύργο και λειτουργεί με αδιαβατικό τρόπο. Ο περιβαλλοντικός αέρας στη κατάσταση 14 εισάγεται στο κατώτατο σημείο του συσκευασμένου απορροφητή και έρχεται σε επαφή με ένα συγκεντρωμένο απορροφητικό διάλυμα που εισάγεται στη μονάδα στη κατάσταση 11. Με την απορρόφηση του στο ρεύμα διαλύματος αφαιρείται υδρατμός από το ρεύμα αέρα. Ο αφυδατωμένος θερμός αέρας που αφήνει τον απορροφητή στη κατάσταση 15 περνά μέσω του ανεμιστήρα και αφήνει το σύστημα προς το κλιματιζόμενο χώρο στη κατάσταση 16. Ο ανεμιστήρας ελέγχει τη ροή του αέρα, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του ελαφρώς. Το διάλυμα αντλείται από τη λίμνη απορροφητών στο κατώτατο σημείο του πύργου στον εναλλάκτη θερμότητας νερού-διαλύματος (κατάσταση 10), όπου δροσιζεται από το νερό ενός πύργου ψύξης. Το διάλυμα που αφήνει τον εναλλάκτη θερμότητας (κατάσταση 11) προχωρά στο διανομέα στην κορυφή της συσκευασίας, από όπου ρέει αργά προς τα κάτω σε

αντίθετη φορά στο ρεύμα αέρα και συλλέγεται στη λίμνη. Ένα ελεγχόμενο ρεύμα διαλύματος μεταφέρεται από τη λίμνη απορροφητών στον αναγεννητή, όπως εμφανίζεται στη κατάσταση 10c. Το επιστροφής (που αντλείται) ρεύμα από τον αναγεννητή (1c) πηγαίνει άμεσα στη λίμνη (SACE 2003).

Όπως είναι εμφανές, η συσκευή αναγέννησης (desorber) είναι παρόμοια με τον αποξηραντή, όπως και το σύστημα ροής και τα σχετικά συστατικά. Το διάλυμα θερμαίνεται στον υγρό-υγρό εναλλάκτη θερμότητας από το ηλιακά θερμαινόμενο νερό (κατάσταση 3-4). Ο ατμοσφαιρικός αέρας στη κατάσταση 5 προθερμαίνεται στον αέρα-αέρα εναλλάκτη θερμότητας με την ανάκτηση της θερμότητας από τον αέρα εξάτμισης που αφήνει τον αναγεννητή (κατάσταση 8). Μετά τη προθέρμανση, το ρεύμα αέρα (κατάσταση 6) εισάγεται στον αναγεννητή όπου εξυπηρετεί την επαν-συμπύκνωση του διαλύματος (κατάσταση 2). Ο αέρας εξάτμισης αφήνει τον αναγεννητή (κατάσταση 7), περνά μέσω του ανεμιστήρα, κατόπιν προθερμαίνει το εισηγμένο ρεύμα αέρα και απορρίπτεται στο περιβάλλον. Ο εναλλάκτης θερμότητας (διάλυμα-διάλυμα) διευκολύνει την προθέρμανση του αδύνατου διαλύματος που φεύγει από τον αποξηραντή (κατάσταση 10c προς 10h) και ανακτά τη θερμότητα από το θερμό ισχυρό διάλυμα που αφήνει τον αναγεννητή (κατάσταση 1h προς 1c).

Η ανωτέρω περιγραφή του συστήματος αποκαλύπτει ήδη διάφορα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος πέρα από τους συμβατικούς κύκλους αντλιών θερμότητας απορρόφησης: (1) Ο αριθμός βασικών συστατικών μειώνεται απευθείας με τη μεταφορά της συμπύκνωσης της ψυκτικής ουσίας από τον συμπυκνωτή στο περιβάλλον. (2) Οι αεροστεγείς μονάδες αποφεύγονται καθώς ολόκληρο το σύστημα λειτουργεί στην ατμοσφαιρική πίεση. (3) Το ποσό ψυκτικής ουσίας (νερό) που εξατμίζεται στον αναγεννητή είναι ανεξάρτητο από τον εξατμιστή, παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία. (4) Είναι δυνατή η αποδοτική χρήση των πηγών θερμότητας σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Η θερμότητα που εφαρμόζεται για την αναγέννηση στον αναγεννητή μπορεί να προέλθει από ποικίλες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής, της γεωθερμικής, της θερμότητας των αποβλήτων και των ομοίων. Για παράδειγμα ένα ηλιακό σύστημα συμπεριλαμβανομένων των συλλεκτών και η αποθήκευση μπορούν να παρέχουν την απαραίτητη θερμότητα. Το απαραίτητο επίπεδο θερμοκρασίας είναι σχετικά χαμηλό: οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 60 σε 70°C και είναι

ικανοποιητικές. Ένας χαρακτηριστικός συντελεστής θερμικής απόδοσης (COP) είναι περίπου 0,5. Η απόδοση ενός υγρού «desiccant» συστήματος επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους. Οι κυρίαρχες είναι η θερμοκρασία και η υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, η οποία είναι γενικά η πηγή διαδικασίας και αναγέννησης ρευμάτων αέρα. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση είναι η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας για την αναγέννηση και τα διάφορα ποσοστά ροής στο σύστημα.

Ενώ ποικίλα ζεύγη ρευστών είναι διαθέσιμα για τις κλειστές μηχανές απορρόφησης, μόνο ένας περιορισμένος αριθμός υλικών είναι κατάλληλος για τα υγρά ανοικτά συστήματα. Ο λόγος για αυτό είναι οι αυστηροί περιορισμοί που ισχύουν για τα υδάτινα, υγροσκοπικά διαλύματα, δεδομένου ότι έρχονται σε άμεση επαφή με το ρυθμισμένο αέρα. Τα διαλύματα που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι μη τοξικά, φιλικά προς το περιβάλλον και δεν πρέπει να περιέχουν οποιαδήποτε πτητικά υλικά εκτός από το νερό. Τα υγροσκοπικά άλατα όπως το χλωρίδιο λιθίου και το χλωρίδιο ασβεστίου είναι οι πιο κοινοί ροφητήρες που χρησιμοποιούνται. Αυτά τα υγροσκοπικά άλατα μειώνουν τη πίεση ατμού του νερού στο διάλυμα για να απορροφήσει αρκετά την υγρασία από τον αέρα (ASHRAE, 2001).

Κεφάλαιο 5 : Χρήση της γεωθερμικής ενέργειας

5.1 Εισαγωγή

Γεωθερμική ενέργεια είναι στην κυριολεξία η θερμότητα που εμπεριέχεται στη γη και η οποία δημιουργεί διάφορα γεωλογικά φαινόμενα. Αυτή η θερμότητα βρίσκεται αποθηκευμένη με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, περιορίζεται στα πρώτα τρία περίπου χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης και μπορούμε να το εκμεταλλευθούμε. Η ενέργεια αυτή βρίσκεται συνήθως περιορισμένη σε μία γεωθερμική περιοχή ή πεδίο (*geothermal area ή field*) με συγκεκριμένα επιφανειακά όρια. Ως γεωθερμική χρήση αναφέρεται η οικονομική εκμετάλλευση του ατμού ή των θερμών νερών, είτε αυτά ρέουν φυσικά, είτε βγαίνουν στην επιφάνεια μέσω γεώτρησης.

Η πλέον εντυπωσιακή απόδειξη της θερμότητας που υπάρχει στο εσωτερικό της γης αποτελεί η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Άλλες γεωθερμικές ενδείξεις είναι οι ατμοί, τα θερμά νερά και τα αέρια που σχηματίζουν θερμοπίδακες (γκέιζερ), θερμές πηγές και ατμίδες. Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος από την επιφάνεια της γης είναι γνωστός με το όνομα γεωθερμική βαθμίδα. Η γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται από 5 μέχρι 70 °C/km, με μέση τιμή τους 30 °C/km. Περιοχές με θεωρητικά γεωθερμικό ενδιαφέρον είναι οι περιοχές που διαθέτουν γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από τη μέση τιμή. Τέτοιες περιοχές είναι πολλές στον πλανήτη μας και οι περισσότερες βρίσκονται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.1.

Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία κύρια συστατικά: μία πηγή θερμότητας, έναν ταμιευτήρα και το ρευστό, το οποίο είναι ο φορέας της θερμότητας. Η πηγή θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια μαγματική διείσδυση (με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 600 °C), η οποία έφθασε σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km), είτε η κανονική αύξηση της θερμοκρασίας με το βάθος. Ο ταμιευτήρας είναι ουσιαστικά ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων από τα οποία τα κυκλοφορούντα ρευστά παράγουν θερμότητα. Το γεωθερμικό ρευστό είναι νερό, μετεωρικής προέλευσης τις περισσότερες φορές, σε υγρή ή σε αέρια φάση, κάτι που εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία. Περιέχει σημαντικές ποσότητες συνήθως διαλυμένων στερεών ουσιών και αερίων, όπως διοξείδιο του άνθρακα και υδρόθειο.

Σήμερα, μόνο ένα μικρό μέρος της γεωθερμικής ενέργειας αξιοποιείται. Μια κατηγορία γεωθερμικής ενέργειας, η οποία όμως βρίσκεται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο, είναι η λεγόμενη ενέργεια των θερμών ξηρών πετρωμάτων (hot dry rock energy). Νερό οδηγείται με αντλίες από την επιφάνεια της γης μέσω μιας γεώτρησης εισαγωγής μέχρι τα θερμά ξηρά πετρώματα. Μετά τη θέρμανσή του εκεί το νερό επιστρέφει στην επιφάνεια μέσω της παραγωγικής γεώτρησης. Η τεχνική βιωσιμότητα τέτοιων συστημάτων έχει αποδειχθεί σε πειραματικό επίπεδο, το κόστος τους όμως είναι αρκετά υψηλό με τα σημερινά δεδομένα.



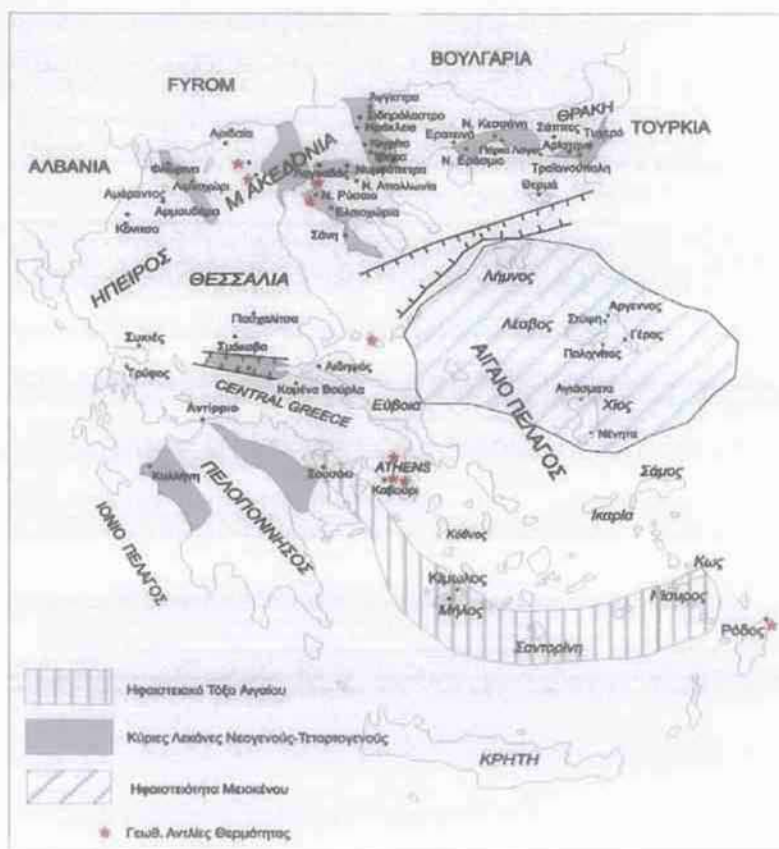
Σχήμα 5.1 - Τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, στα οποία απαντούν τα περισσότερα γεωθερμικά συστήματα. (πηγή: Ν.Ανδρίτσος 2008)

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια σχετικά ήπια, εναλλακτική μορφή ενέργειας, η οποία με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικό μέρος των αναγκών μας σε ενέργεια. Οι χρήσεις και οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας, η οποία απαντά σε αρκετές περιοχές της γης, ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό και περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τις αγροτικές διεργασίες (π.χ. ξήρανση σιτηρών), τη θέρμανση οικιών, τη δημιουργία ψύξης κλπ. Η περιοχή των θερμοκρασιών των θερμών νερών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτείνεται από τους 20 °C (για θέρμανση χώρων με τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας) μέχρι τους 280 °C (για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος). Επιπλέον, αρκετά γεωθερμικά ρευστά εκτός από τη θερμότητά τους περιέχουν και αξιοποιήσιμες διαλυμένες ποσότητες στερεών ή αέριων ουσιών (κοινό αλάτι, διοξείδιο του άνθρακα, πολύτιμα μέταλλα), τα οποία μπορούν να ανακτηθούν με οικονομικό τρόπο.

5.2 Το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας

Ο Ελλαδικός χώρος, εξαιτίας κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, είναι από τους γεωθερμικά ευνοημένους και διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 m). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευσή.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας που πολλές φορές ξεπερνούν τους 100 °C/km. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες η ενέργεια αυτή θερμαίνει υπόγειους ταμιευτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι 100 °C. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα (Σχήμα 5.2). Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθόσον αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό προς το περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.



Σχήμα 5.2 – Τα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα (πηγή: Ν.Ανδρίτσος 2008)

Μόνο από υπάρχουσες γεωτρήσεις σε γεωθερμικά πεδία των πεδινών εκτάσεων της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης είναι δυνατόν να αντληθούν 2500 m³/h θερμών ρευστών, με θερμοκρασίες μεταξύ 35 και 92 °C.

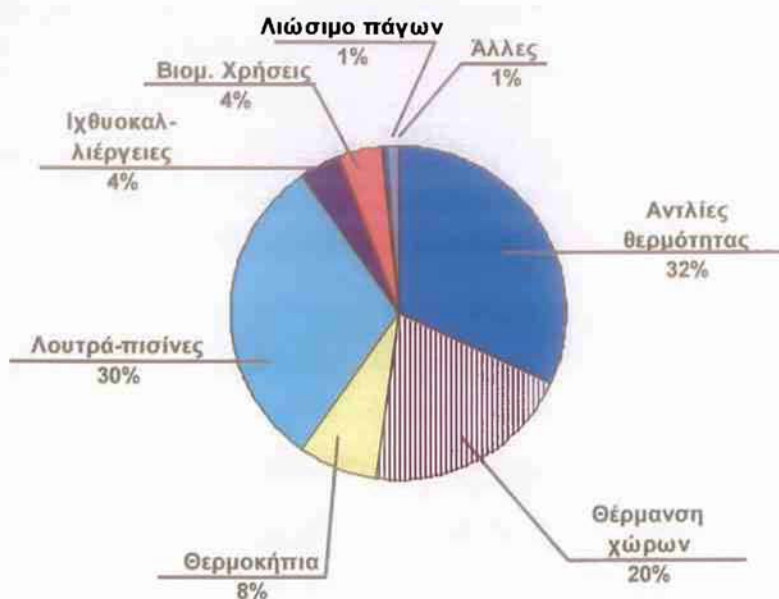
5.3 Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας

Οι χρήσεις της γεωθερμίας χωρίζονται συνήθως σε ηλεκτρικές και σε άμεσες χρήσεις (*electrical and direct uses*), δηλαδή χρήσεις στις οποίες γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυριότερες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας παρουσιάζονται επιγραμματικά στον Πίνακα 5.1, στο λεγόμενο *διάγραμμα Lindal* (1973). Στο διάγραμμα αυτό καταγράφονται παραδείγματα χρήσεων, δοκιμασμένων και πιθανών, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας των ρευστών. Οι περισσότερο καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Στο επάνω μέρος του διαγράμματος Lindal ο κορεσμένος ατμός χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών.



Πίνακας 5.1 – Το διάγραμμα Lindal

Οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας στο χώρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν αναπτυχθεί σχεδόν αποκλειστικά στην Ιταλία και στη Γαλλία το είδος των χρήσεων ποικίλλει από χώρα σε χώρα. Στη Γαλλία τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων, ενώ στην Ιταλία επικρατούν οι αγροτικές χρήσεις και η λουτροθεραπεία, με τάση αύξησης των χρήσεων θέρμανσης χώρων. Στην υπόλοιπη Ευρώπη η Ισλανδία και η Ουγγαρία κατέχουν τα πρωτεία στην αξιοποίηση της γεωθερμίας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στην Ουγγαρία η γεωθερμία χρησιμοποιείται για τη θέρμανση θερμοκηπίων, ενώ στην Ισλανδία για θέρμανση οικιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι ολόκληρη η πόλη του Reykjavik θερμαίνεται με δευτερογενές ζεστό νερό που μεταφέρεται από απόσταση 30 km. Το 65% της αξιοποιημένης γεωθερμικής ενέργειας στην Ιαπωνία χρησιμοποιείται για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, ενώ στην Κίνα και στη Ν. Ζηλανδία η βασική χρήση είναι η θέρμανση χώρων. Σε παγκόσμιο επίπεδο η κατανομή των διαφόρων χρήσεων δίνεται στο Σχήμα 5.3.



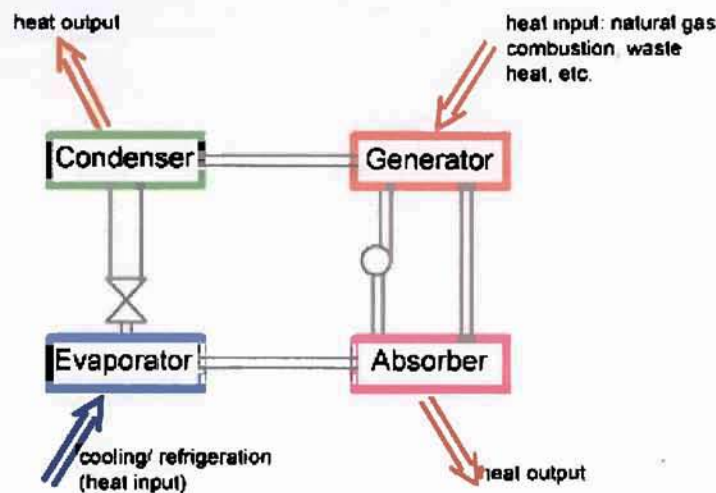
Σχήμα 5.3 - Κατανομή των γεωθερμικών χρήσεων χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά το έτος 2005. (πηγή: Ν.Ανδρίτσος 2008)

Όσον αφορά στο κόστος εκμετάλλευσης, η γεωθερμική ενέργεια ανταγωνίζεται ικανοποιητικά το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαρακτηρίζεται συνήθως από υψηλό κόστος κεφαλαίου (έρευνα και ανάπτυξη πεδίων), ενώ μπορεί να λεχθεί ότι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο. Επίσης ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την

αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι τις περισσότερες φορές δοκιμασμένος σε άλλες τεχνολογικές εφαρμογές. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι για την ανόρυξη των γεωτρήσεων χρησιμοποιείται η τεχνολογία γεωτρήσεων πετρελαίου.

5.4 Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για ψύξη χώρων

Η υψηλή θερμοκρασία των γεωθερμικών νερών, η οποία κυμαίνεται από 120 έως 180 °C, καθιστά την γεωθερμική ενέργεια κατάλληλη για τη ψύξη χώρων μέσω ενός συστήματος απορρόφησης. Το ζεύγος ρευστών που ενδείκνυται για μια τέτοια χρήση είναι αμμώνια με νερό, όπου η βασική λειτουργία του κύκλου απορρόφησης είναι η ακόλουθη. Η θερμότητα εφαρμόζεται στον αναγεννητή, όπου περιέχεται το διάλυμα αμμωνίας-νερού, ισχυρό σε αμμωνία. Η θερμότητα αναγκάζει τον ατμό αμμωνίας υψηλής πίεσης να εκροφήσει στο διάλυμα. Η θερμότητα μπορεί να είναι από γεωθερμική ενέργεια, την καύση καυσίμων όπως το φυσικό αέριο, τη θερμότητα των αποβλήτων από την εξάτμιση μηχανών, άλλες βιομηχανικές διαδικασίες, την ηλιακή θερμότητα, είτε οποιαδήποτε άλλη πηγή θερμότητας.



Σχήμα 5.4 – Σχηματική απεικόνιση του κύκλου απορρόφησης (πηγή: Energy concepts 2009)

Ο ατμός αμμωνίας υψηλής πίεσης ρέει σε έναν συμπυκνωτή, όπου δροσίζεται από τον εξωτερικό αέρα. Στη συνέχεια συμπυκνώνεται σε ένα υγρό υψηλής πίεσης, εκδίδοντας τη θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή θερμότητας, όπως η θέρμανση χώρου. Το υγρό αμμωνίας υψηλής πίεσης περνά από έναν περιορισμό, στην πλευρά χαμηλής πίεσης του κύκλου. Αυτό το υγρό, στις χαμηλές πιέσεις, βράζει ή εξατμίζεται στον εξατμιστή. Έτσι παρέχει το προϊόν ψύξης.

Ο ατμός χαμηλής πίεσης ρέει στον απορροφητή, ο οποίος περιέχει ένα διάλυμα πλούσιο σε νερό που λαμβάνεται από τον αναγεννητή (generator). Αυτό το διάλυμα απορροφά την αμμωνία εκδίδοντας τη θερμότητα απορρόφησης, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παραγωγή θερμότητας, ή για την εσωτερική διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας σε άλλα μέρη του κύκλου, ξεφορτώνοντας κατά συνέπεια τον καυστήρα και αυξάνοντας την αποδοτικότητα κύκλων. Το διάλυμα στον απορροφητή, άλλη μια φορά τώρα πλούσιο σε αμμωνία, αντλείται στον αναγεννητή, όπου είναι έτοιμο για να επαναλάβει τον κύκλο.

Εφαρμογή

Το μουσείο «Chena Hot Springs Aurora Ice» στην Αλάσκα εφάρμοσε το πρώτο σύστημα ψύξης απορρόφησης χρησιμοποιώντας τη γεωθερμική θερμότητα ως παραγωγική πηγή θερμότητας στον κόσμο. Χρησιμοποιεί ένα ψύκτη απορρόφησης ο οποίος κατασκευάστηκε από τα ενεργειακά προγράμματα του Annapolis Maryland για να κρατήσει το μουσείο σε κατάσταση πάγου καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

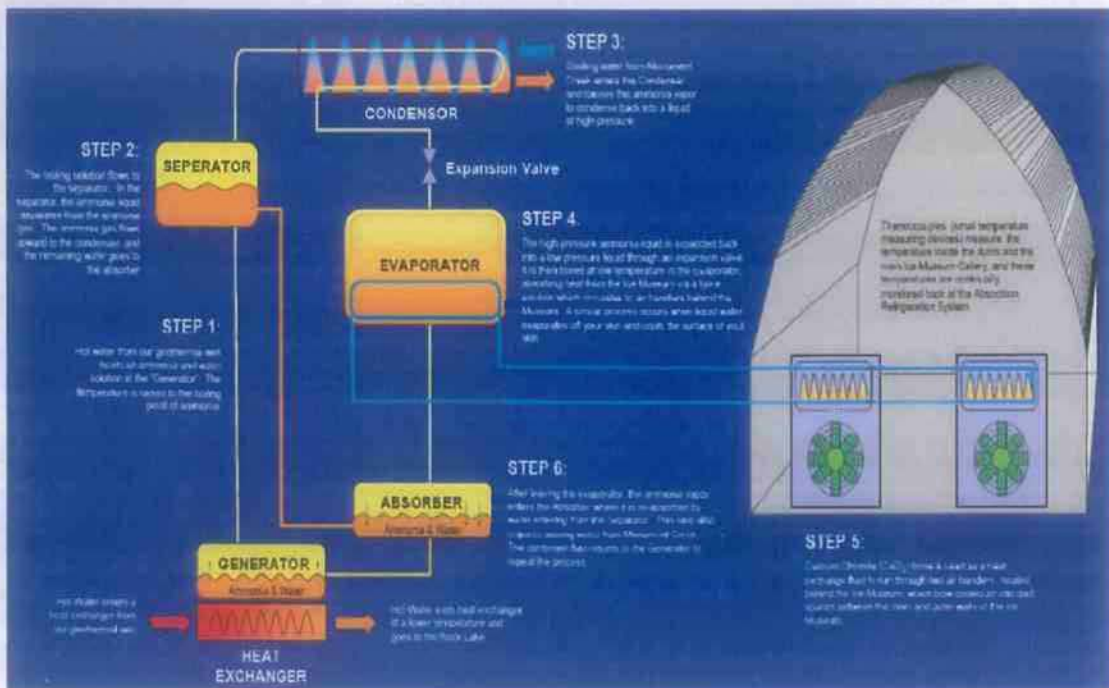


Εικόνα 5.1 – α) Εγκαταστάσεις του μουσείου πάγου στην Αλάσκα, β) Ψύκτης απορρόφησης αμμωνίας-νερού (πηγή: Chena resort 2009)

Ο ψύκτης χρησιμοποιεί ζεστό νερό στους 165 °F από τα γεωθερμικά φρεάτια σε ένα σύστημα ψύξης απορρόφησης παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται σε ένα ψυγείο προπανίου για ένα RV. Οι αντλίες απορρόφησης θερμαίνονται από το μουσείο πάγου με την εκμετάλλευση τόσο του χαμηλού σημείου βρασμού της αμμωνίας (που χρησιμοποιείται ως ψυκτική ουσία) όσο και της λανθάνουσας θερμότητας της εξάτμισης. Όταν η αμμωνία υψηλής πίεσης διαστέλλεται σε ατμό ως τμήμα του κύκλου ψύξης, απαιτείται μεγάλη ποσότητα ενέργειας η οποία αποκαλείται

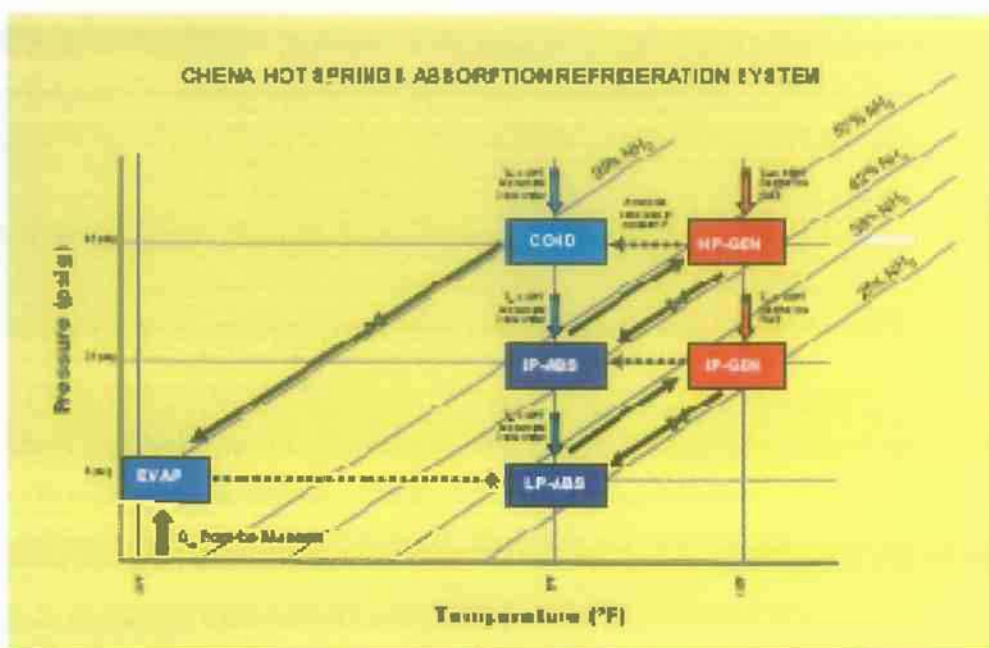
λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης. Χωρίς το ψύκτη απορρόφησης, το μουσείο θα πρέπει να θέσει σε λειτουργία τον εφεδρικό ψύκτη συμπίεσης ατμού 200 τόνων, ο οποίος απαιτεί 125 kW (1/3 των συνολικών αναγκών) για να λειτουργήσει. Το κόστος στα καύσιμα για να λειτουργήσει μόνο αυτή η μονάδα είναι \$500/μέρα! Αντίθετα, ο ψύκτης απορρόφησης χρειάζεται 12 kW για τη λειτουργία του.

Λόγω της απομακρυσμένης θέσης, η ηλεκτρική ενέργεια είναι πολύ ακριβή. Αυτό σημαίνει ότι η χρησιμοποίηση ενός παραδοσιακού συστήματος ψύξης συμπίεσης ήταν αδύνατη, δεδομένου ότι το κόστος καυσίμων μόνο για το σύστημα θα ήταν για \$500/μέρα. Αντ' αυτού, εξετάστηκαν οι εναλλακτικές λύσεις και αποφασίστηκε η σχεδίαση ενός συστήματος ψύξης απορρόφησης αμμωνίας δύο επιπέδων για την ικανοποίηση των αναγκών. Το σύστημα χρησιμοποιεί το κρύο νερό από τον κολπίσκο (που υπάρχει πίσω από το μουσείο πάγου) και ζεστό νερό στους 165 °F από γεωθερμική πηγή ικανή για να παρέχει έναν μέσο όρο 10 τόνων ψύξης στο μουσείο πάγου. Αυτό το σύστημα είναι ικανό να κρατήσει το μουσείο σε κατάσταση πάγου όλο το καλοκαίρι, ακόμη και κατά τη διάρκεια ημερών με θερμοκρασίες κοντά στους 90°F. Το σύστημα ψύξης απορρόφησης καταλαμβάνει όγκο ίσο με: 4ft * 4ft * 8ft. Στο Σχήμα 5-4 που ακολουθεί, παρουσιάζεται μια απλουστευμένη εξήγηση για το πώς το σύστημα λειτουργεί:



Σχήμα 5.5 – Απλουστευμένη σχηματική απεικόνιση του συστήματος ψύξης απορρόφησης με γεωθερμική ενέργεια (πηγή: Chena resort 2009)

Η παραπάνω σχηματική αναπαράσταση αντιπροσωπεύει μια απλουστευμένη έκδοση της λειτουργίας του συστήματος ψύξης απορρόφησης. Εμφανίζει μόνο έναν απορροφητή, διαχωριστή και συμπυκνωτή, ενώ στο πραγματικό σύστημα υπάρχουν δύο από κάθε ένα από αυτά τα συστατικά. Ο κύκλος επαναλαμβάνεται μια δεύτερη φορά σε μια χαμηλότερη πίεση για να αποκτηθεί η θερμοκρασία άλμης ακόμα πιο κρύα. Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής η θερμότητα δεν θα ρέει από μια κρύα δεξαμενή σε μια ζεστή δεξαμενή εκτός αν παράγουμε έργο. Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιούμε την αμμωνία για να συλλέξουμε την ενέργεια από μια κρύα περιοχή (το μουσείο πάγου) και να την εξαντλήσουμε σε μια περιοχή υψηλότερης θερμοκρασίας. Αυτή η εργασία γίνεται μόνο όταν αλλάζει ο όγκος της αμμωνίας, όπως κάνει στον εξατμιστή. Αυτή η εργασία εκτελείται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ζεστού γεωθερμικού νερού και του κρύου νερού από τον κολπίσκο.



Σχήμα 5.6 - Σχηματική απεικόνιση του συστήματος ψύξης απορρόφησης με γεωθερμική ενέργεια (πηγή: Chena resort 2009)

5.5 Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα

Η κυριότερη αξιοποίηση της γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα σήμερα, εκτός από τη χρήση τους για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς είναι η θέρμανση θερμοκηπίων. Από τις αρχές αυτής της δεκαετίας ξεκίνησαν δειλά οι

γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και, τελευταία, και η θέρμανση χώρων. Η εγκατεστημένη ισχύς των άμεσων χρήσεων στην χώρα μας (εξαιρούμενων των εγκαταστάσεων λουτροθεραπείας) ανήλθε το 2003 στα 73 MW, από τα οποία τα 22 αναφέρονται στα γεωθερμικά θερμοκήπια, όπως αναλυτικά παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2.

Χρήση	Εγκατεστημένη ισχύς (MWt)	Ετήσια χρήση ενέργειας (TJ/yr = 10 ¹² J/έτος)	Βαθμός λειτουργίας
Θέρμανση χώρων	1,2	15	0,37
Θέρμανση θερμοκηπίων	22,2	231	0,33
Ιχθυοκαλλιέργεια	8,9	72	0,25
Ξήρανση αγροτικών προϊόντων	0,3	2	0,20
Λουτροθεραπευτικές μονάδες	36,0*	182*	0,16
Αφαλάτωση νερού	1,8	23	0,40
Άλλες χρήσεις (καλλιέργεια σπιρουλίνας)	0,4	4	0,32
Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	4,0	39	0,31
ΣΥΝΟΛΟ	74,8	568	0,25

Πίνακας 5.2 - Σύνοψη των γεωθερμικών χρήσεων στην Ελλάδα κατά το 2005. Η αξιοποιούμενη ενέργεια αντιστοιχεί περίπου σε 12000 THP/έτος. (πηγή: Ν.Ανδρίτσος 2008)

Κεφάλαιο 6 :Εγκαταστάσεις ηλιακού κλιματισμού

6.1 Γρ. Σαράντης Α.Ε., Οινόφυτα Βοιωτίας



Εικόνα 6.1 - α) εγκαταστάσεις ηλιακών συλλεκτών, β) εγκαταστάσεις ψυκτών προσρόφησης (πηγή: Γρ Σαράντης Α.Ε.)

- ◆ ΧΩΡΑ: Ελλάδα
- ◆ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: Οινόφυτα, Βοιωτία
- ◆ ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ: Αποθήκη καλλυντικών εταιρίας Γρ.Σαράντη Α.Ε.
- ◆ ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ: 700 kW
- ◆ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ: Προσρόφηση
- ◆ ΤΥΠΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ: Επίπεδοι επιλεκτικοί
- ◆ ΕΜΒΑΔΟΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ: 2.700 m²
- ◆ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ: Από 1999

Το έργο λέγεται "ΦΩΤΟΝΙΟ" και αφορά στην εγκατάσταση κεντρικού συστήματος κλιματισμού κάνοντας χρήση ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ή την ψύξη των νέων κτιρίων και αποθηκών καλλυντικών της επιχείρησης Σαράντης Α.Ε. Ο κλιματιζόμενος χώρος είναι 22.000 m² (130.000 m³). Το πεδίο ηλιακών επιλεκτικών συλλεκτών συνολικής έκτασης 2.700 m² κατασκευάστηκε εξολοκλήρου στην Ελλάδα.

Το συνολικό κόστος επένδυσης είναι 1.305.943 €, 50 % από το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το Εθνικό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας (ΕΠΕ) (του Ελληνικού Υπουργείου Ανάπτυξης). Στο έργο έχει απονεμηθεί το βραβείο «Energy Globe Award 2001» σαν η τρίτη καλύτερη επένδυση για τη βιώσιμη ενέργεια στον κόσμο, στο έτος 2001 και έχει βραβευθεί από το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) ως η καλύτερη επένδυση για εξοικονόμηση ενέργειας στην Ελλάδα για το έτος 1999.

Οι συνολικές ανάγκες ψύξης του κτιρίου είναι περίπου 2.700.000 kWh ετησίως. Οι ηλιακοί συλλέκτες παρέχουν ζεστό νερό θερμοκρασίας 70 - 75 °C σε δύο ψύκτες προσρόφησης και λειτουργούν με συντελεστή απόδοσης 60 %. Οι δύο ψύκτες προσρόφησης χρησιμοποιούν το ζεστό νερό ως πηγή ενέργειας και παράγουν ψυχρό νερό θερμοκρασίας 8 - 10 °C. Οι ψύκτες προσρόφησης δεν χρειάζονται κινούμενα εξαρτήματα και χρησιμοποιούν ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία των αντλιών κενού (1,5 kW). Η χρήσιμη ψυκτική ισχύς είναι 350kW για κάθε έναν και 700 kW για το σύνολο. Για την κάλυψη του φορτίου αιχμής, έχουν εγκατασταθεί τρεις συμβατικοί ηλεκτρικοί ψύκτες 350 kW ο καθένας. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι ηλιακοί συλλέκτες συχνά παράγουν ζεστό νερό 55 °C, το οποίο κυκλοφορεί άμεσα στις τοπικές κλιματιστικές μονάδες (fan coils) του κτιρίου. Οι συμβατικοί λέβητες υποβοηθούν τον τομέα συλλεκτών σε περίπτωση συννεφιάς. Το ψυχρό νερό (κατά τη θερινή περίοδο) και το ζεστό νερό (κατά τη χειμερινή περίοδο) κατευθύνονται στην τοπική μονάδα κλιματισμού όπου ψύχουν ή θερμαίνουν αντίστοιχα τον αέρα περιβάλλοντος.

Τεχνικά αποτελέσματα: α) Περίοδος αναφοράς: 12 μήνες, β) Παραγωγή ενέργειας από το ηλιακό σύστημα: 1.719 MWh, γ) Ψύξη: 1.090 MWh, δ) Θέρμανση: 629 MWh, ε) Συνολικό Ενεργειακό Φορτίο: 614 MWh, στ) Ηλιακή κάλυψη: 66%, η) Μείωση CO₂: 5.125 tn/έτος.

6.2 Ott & Spiess Langenau



Εικόνα 6.2- α) πρόσοψη κτιρίου, β) εγκαταστάσεις των ηλιακών συλλεκτών κενού (πηγή: Ott & Spiess Langenau)

- ♦ ΧΩΡΑ: Γερμανία
- ♦ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: Langenau, ομοσπονδιακή πολιτεία Baden Wurttemberg
- ♦ ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ: Γραφεία

- ◆ ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ: 35 kW
- ◆ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ: Απορρόφηση
- ◆ ΤΥΠΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ: Κενού, άμεσης ροής
- ◆ ΕΜΒΑΔΟΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ: 45 m²
- ◆ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ: Από 1997

Στο νέο κτίριο της επιχείρησης Ott & Spiess, μια έκταση γραφείων 415 m² ψύχεται από ψυχρές οροφές και από εξαερισμό απόρριψης με παροχή αέρα 2.600 m³/h. Τα γραφεία βρίσκονται στην κυκλικά διαμορφωμένη νότια/νοτιοδυτική πρόσοψη του κτιρίου, ώστε να υπάρχει παθητικό ηλιακό κέρδος κατά την περίοδο που απαιτείται θέρμανση. Το ψυχρό νερό παρέχεται από ψύκτη απορρόφησης. Το θερμικό ηλιακό σύστημα ψύξης/θέρμανσης βρίσκεται σε μια εν μέρει γυάλινη επιφάνεια για επιδεικτικούς λόγους. Το σύστημα θερμικών ηλιακών συλλεκτών, εξοπλισμένο με μια μονάδα προσωρινής αποθήκευσης ζεστού νερού 2 m³, παρέχει τη θερμότητα στον ψύκτη απορρόφησης. Η πρόσθετη θερμότητα σε περίπτωση χαμηλών ηλιακών κερδών ή χαμηλής θερμοκρασίας αποθήκευσης λαμβάνεται από μια μονάδα συμπαραγωγής (CHP) θερμότητας/ηλεκτρισμού (19,5 kW_{th}, 8 kW_e). Αν η απαίτηση θερμότητας υπερβαίνει την ικανότητα του ηλιακού συστήματος ή της μονάδας CHP, ένας καυστήρας φυσικού αερίου ισχύος 50 kW_{th} τίθεται σε λειτουργία. Το ψυχρό νερό από τον κοινό ψύκτη απορρόφησης νερού/βρωμιδίου του λιθίου αποθηκεύεται σε μονάδα προσωρινής αποθήκευσης 1 m³. Λόγω της εφαρμογής των ψυχρών οροφών και του συστήματος εξαερισμού, το ψυχρό νερό τροφοδοτείται με θερμοκρασία 13°C.

Ένας πύργος ψύξης υγρού τύπου επαναψύχει το νερό που χρησιμοποιείται στον ψυκτικό κύκλο στο συμπυκνωτή και στον απορροφητή του ψύκτη. Το 1999, ο ετήσιος Συντελεστής Απόδοσης COP του ψύκτη ήταν 0,56. Περίπου 9% της ολικής εισαγόμενης θερμότητας για ψύξη και θέρμανση του κτιρίου εξασφαλίστηκε από το ηλιακό σύστημα.

Το συνολικό κόστος ήταν 285.000 €. Το κόστος χωρίς τις ψυχρές οροφές και τα θερμαινόμενα πατώματα ανερχόταν στα 176.000 €. Το πρόγραμμα επιχορηγήθηκε από το Ομοσπονδιακό Υπουργείο Παιδείας και Έρευνας.

Λόγω της περιορισμένη ισχύος της μονάδας CHP, η θερμική ενέργεια αυτής της μονάδας δεν έρχεται σε αντίθεση με τα κέρδη από το ηλιακό σύστημα. Με αυτό το σχεδιασμό του συστήματος, επιτυγχάνεται υψηλή χρήση του θερμικού ηλιακού

συστήματος καθώς επίσης και της μονάδας CHP, αποφεύγοντας την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αιχμής κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης. Αναμένεται επίσης κέρδος σε πρωτογενή ενέργεια και σε σχετικές εκπομπές CO₂.

6.3 ΙΗΚ (Εμπορικό επιμελητήριο) Freiburg



Εικόνα 6.3- α) αίθουσα συνεδριάσεων, β) εγκαταστάσεις των ηλιακών συλλεκτών (πηγή: ΙΗΚ)

ΧΩΡΑ: Γερμανία

- ◆ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: Freiburg, ομοσπονδιακή πολιτεία Baden Wurttemberg
- ◆ ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ: Γραφεία, 2 αίθουσες συνεδριάσεων
- ◆ ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ: 60 kW
- ◆ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ: Σύστημα ψύξης ανοικτού κύκλου
- ◆ ΤΥΠΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ: επίπεδοι, αέρα
- ◆ ΕΜΒΑΔΟΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ: 100 m²
- ◆ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ: Από 2001

Στο εμπορικό επιμελητήριο (ΙΗΚ Sudlicher Oberrhein) του Freiburg, λειτουργεί το πρώτο αυτόνομο ηλιακό θερμοκίνητο σύστημα ψύξης ανοικτού κύκλου DEC στη Γερμανία, το οποίο χρησιμοποιείται για την ψύξη δύο αιθουσών συνεδριάσεων το καλοκαίρι και για την προθέρμανση των χώρων το χειμώνα. Το εμβαδόν της μικρής αίθουσας συνεδριάσεων είναι 65 m² ενώ της μεγάλης αίθουσας συνεδριάσεων είναι 148 m². Η συνολική χωρητικότητα των αιθουσών είναι περίπου 120 ατόμων και ο συνολικός όγκος των δωματίων είναι 815 m³. Οι προσόψεις είναι γυάλινες, αλλά διαθέτουν εξωτερικές και εσωτερικές διατάξεις σκίασης. Η παροχή αέρα του συστήματος ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant) είναι μεταβλητή, από 2.500 m³/h έως 10.200 m³/h. Δεν υπάρχει εγκατεστημένο εφεδρικό σύστημα ψύξης, καθώς τα ψυκτικά φορτία έχουν αρκετά καλή συσχέτιση με τα ηλιακά κέρδη. Εφεδρικό σύστημα θέρμανσης χρησιμοποιείται το χειμώνα, για να επιτευχθεί η απαιτούμενη

θερμοκρασία του αέρα. Προκειμένου να μειωθεί το κόστος της κατασκευής των υποστηριγμάτων τους, οι συλλέκτες είναι τοποθετημένοι παράλληλα με τη κεκλιμένη στέγη (15°). Λόγω της χρήσης συλλεκτών αέρα και του υψηλού συσχετισμού μεταξύ των ηλιακών κερδών και του ψυκτικού φορτίου, δε χρησιμοποιείται μονάδα αποθήκευσης θερμότητας. Σαν συνεπεία της ηλιακής αυτονομίας κατά τη λειτουργία το καλοκαίρι, υπάρχουν αποκλίσεις από τις συνθήκες άνεσης (όπως καθορίζονται από το DIN 1946) οι οποίες όμως βρίσκονται εντός του αναμενόμενου εύρους για το μικρό χρονικό διάστημα της λειτουργίας του συστήματος.

Λόγω του μειωμένου κόστους εγκατάστασης των ηλιακών συλλεκτών αέρα, το ανηγμένο κόστος του συλλέκτη, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής υποστήριξης είναι 210 / m², τιμή ίση με το 10 % του συνολικού πάγιου κόστους του συστήματος (210.000 €). Το κόστος της μονάδας κλιματισμού είναι περίπου 9,50 / m² ονομαστικής παροχής αέρα (χωρίς το κόστος της εγκατάστασης). Το έργο υποστηρίχθηκε από την ΕΕ (NNE5-1999-531).

Τα περιβαλλοντικά οφέλη και η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζονται με τη σύγκριση της κατανάλωσης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας του ηλιακού συστήματος ψύξης DEC με την αντίστοιχη κατανάλωση συμβατικής μονάδας διαχείρισης αέρα με τροφοδοσία θερμότητας το χειμώνα από λέβητα φυσικού αερίου και με ηλεκτροκίνητο ψύκτη συμπίεσης για την ψύξη του αέρα ανεφοδιασμού το καλοκαίρι. Με αυτή την εκτίμηση, η ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας υπολογίζεται σε 30.000 kW το έτος και τα οφέλη σε αποφυγή CO₂ είναι περίπου 8.800 kg ανά έτος.

6.4 « Rethimno Village Hotel», Κρήτη



Εικόνα 6.4 - α) εγκαταστάσεις των ηλιακών συλλεκτών, β) γενική όψη των εγκαταστάσεων (πηγή: ΚΑΠΕ)

ΧΩΠΑ: Ελλάδα

- ◆ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: Ρέθυμνο, Κρήτη
- ◆ ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ: Ξενοδοχείο
- ◆ ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ: 105 kW
- ◆ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ: Απορρόφηση
- ◆ ΤΥΠΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ: Επίπεδοι συλλέκτες εκλεκτικής επιφάνειας
- ◆ ΕΜΒΑΔΟΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ: 448 m²
- ◆ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ: Από 2000

Το Rethimno Village Hotel βρίσκεται στο Ρέθυμνο της Κρήτης, στη νότια Ελλάδα. Είναι τουριστικό συγκρότημα χωρητικότητας 170 κλινών και έχει πληρότητα 100% το καλοκαίρι και 45% το χειμώνα. Η εγκατάσταση χρησιμοποιεί επίπεδους συλλέκτες (επιλεκτικής επιφάνειας, 448 m²) για τον κεντρικό κλιματισμό (ψύξη και θέρμανση) και επίσης συλλέκτες πολυπροπυλενίου 199 m² που τροφοδοτούν ζεστό νερό για τη θέρμανση της πισίνας. Συνολική κλιματιζόμενη επιφάνεια: 3.000 m².

Το συνολικό πάγιο κόστος ήταν 264.123 €. Το έργο επιχορηγήθηκε 50 % από το Εθνικό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα για την Ενέργεια (ΕΠΕ) (του Ελληνικού Υπουργείου Ανάπτυξης). Στο πρόγραμμα έχει απονεμηθεί από το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) βραβείο ως η καλύτερη επένδυση εξοικονόμησης ενέργειας για το έτος 2000.

Οι ηλιακοί συλλέκτες τροφοδοτούν ένα ψύκτη απορρόφησης με ζεστό νερό θερμοκρασίας 70-75 °C που λειτουργεί με συντελεστή απόδοσης 60 %. Ο ψύκτης απορρόφησης χρησιμοποιεί το ζεστό νερό ως πηγή ενέργειας και παράγει ψυχρό νερό θερμοκρασίας 8-10 °C. Το μέσο ψύξης είναι επίσης νερό (αντί του φρέοντος ή της αμμωνίας). Ο ψύκτης απορρόφησης χρησιμοποιεί ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της αντλίας κενού (0,5 kW). Η ισχύς του είναι 105 kW. Ένας λέβητας (φυσικού αερίου) 600 kW αντικαθιστά τους συλλέκτες όταν υπάρχει συννεφιά ή όποτε υπάρχει ανάγκη για κλιματισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν ζεστό νερό 55°C, το οποίο κυκλοφορεί άμεσα στις τοπικές κλιματιστικές μονάδες. Ο ίδιος λέβητας αντικαθιστά τους συλλέκτες σε περίπτωση συννεφιάς. Το ψυχρό νερό (κατά τη θερινή περίοδο) και το ζεστό νερό (κατά τη χειμερινή περίοδο) κατευθύνεται στην τοπική μονάδα κλιματισμού όπου ψύχουν ή θερμαίνουν τον αέρα περιβάλλοντος.

Τεχνικά αποτελέσματα: α) Περίοδος αναφοράς: 12 μήνες, β) Παραγωγή ενέργειας από το ηλιακό σύστημα: 651 MW, γ) Συνολικό ενεργειακό φορτίο: 1.498 MW, δ) Ηλιακή κάλυψη: 43% , ε) Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας: 651 MW. στ) Μείωση της παραγωγής CO₂: 1.095 kg.

Βιβλιογραφία

Balaras C., Grossman G., Henning H., Infante Ferreira C., Podesser E., Wang L., Wiemken E., «*Solar air conditioning in Europe - an overview*», 2001.

BP, Statistical Review of World Energy 2008 [www.bp.com, πρόσβαση στις 10.5.2009]

Duffie, J.A. and Beckman, W.A., «*Solar engineering of thermal processes*», 3rd Edition, WILEY, 2007.

Eurobarometer 2005 [www.europa.eu, πρόσβαση στις 14.4.2009]

Fytikas, M., Andritsos, N., Dalambakis, D. and Kolios, N., «*Greek Geothermal Update*», Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.

Gelegenis, J., Dalabakis, P. & Ilias, A., «*Heating of wintering ponds by means of low enthalphy geothermal energy*», The case of Porto Lagos. Geothermics, Vol. 35, 87-103, 2006.

Henning, H.-M. (2004) «*Solar-Assisted Air-conditioning in Buildings, a Handbook for planners*», IEA, Freiburg.

IEA – International Energy Agency, «*Ongoing research relevant for solar assisted air conditioning systems*», Technical Report, October 2002

IEA, Renewable Information, 2006 [www.iea.org, πρόσβαση στις 4.4.09]

Kyriakis, N., Oxizidis, S. and Papadopoulos, A., «*Perspectives of solar cooling in view of the developments in the air-conditioning sector*», Renewable and Sustainable Energy Reviews, Technical Report, October 2003

Peuser, F.A., Remmers, K.-H. and Schnauss, M. «*Solar thermal systems*», Solarpraxis, Berlin, 2002

Rafferty, K., «Chapter 14 - *Absorption refrigeration*», in Geothermal Direct Use Engineering and Design Guidebook, ed. By P.J. Lineau and B.C. Lunis, pp. 299-306, Geo heat center, Oregon, 1991.

SACE – Solar Air Conditioning in Europe, Guidelines, [www.solair-project.eu, πρόσβαση στις 20.12.2008]

Solairproject, training materials [www.solair-project.eu, πρόσβαση στις 10.1.2009]

Solcoproject [www. Solcoproject.net, πρόσβαση στις 15.2.2009]

Tsoutsos, T., Anagnostou, I., Pritchard, C., Karagiorgas, M. and Dimosthenis Agoris, «*Solar cooling technologies in Greece. An economic viability analysis*», Technical Report, 2003.

Twidell, J. and Weir, T. «*Renewable energy resources*» 2nd edition. Taylor & Francis. 2006.

Use of geothermal water for cooling an ice museum [www.yourownpower.com, πρόσβαση στις 19.6.2009]

Αηδόνης, Α. και Δρόσου, Β. «Παρουσίαση τεχνολογιών των θερμικών ηλιακών συστημάτων», Παρουσιάστηκε στο 5^ο συνέδριο για τα ηλιακά θερμικά συστήματα, Αθήνα, 2007

Ανδρίτσος, Ν. «Ενέργεια και Περιβάλλον (διδασκτικές σημειώσεις)», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος, 2008.

Ανδρίτσος, Ν., Αρβανίτης, Α., Παπαχρήστου, Μ. και Φυτίκας, Μ. «Κατάσταση και προοπτικές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα». Παρουσιάστηκε στο 9^ο Εθνικό Συνέδριο για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Πάφος, Κύπρος, 26-28 μαρτίου 2009.

Αργυρίου, Α., Μιρασγεδής Σ. «The solar thermal market in Greece – review and perspectives», *Technical Report*, Αθήνα, 2003.

ΕΒΗΕ -Ενωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας, «Αγορά ηλιοθερμικών συστημάτων», Αθήνα, 2003. [www.ebhe.gr, πρόσβαση στις 14 .12.2008]

ΕΚΠΑΑ - Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης «Ενέργεια – Περιβάλλον – Επιχειρηματικότητα», Αθήνα, 2006

ΚΑΠΕ Τομέας Εκπαίδευσης, «Ηλιακά θερμικά συστήματα» ΚΑΠΕ, Αθήνα, 2007α, [www.cres.gr πρόσβαση στις 09.2.2009]

ΚΑΠΕ, Πρόγραμμα CLIMASOL, «Οδηγός ηλιακού κλιματισμού / (brochure)». ΚΑΠΕ, 2007β.

ΚΑΠΕ, Τομέας Εκπαίδευσης Κ.Α.Π.Ε. «Εγχειρίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας», ΚΑΠΕ, Αθήνα, 2007γ.

Κοντογιαννίδης, Σ., Μπαλαράς, Κ.Α., «Εφαρμογές ηλιακού κλιματισμού μεθοδολογία συλλογής και αξιολόγησης χαρακτηριστικών», Τεχνικό Άρθρο, Αθήνα, 2003.

Μοσχάτος, Α.Ε. «Ηλιακή Ενέργεια», Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος. 2005.

Τσούτσος, Τ. Ι. Αναγνώστου, Μ. Καράγιωργας, Δ. Αγόρης, C. Pritchard «Solar cooling technologies in Greece», Αθήνα, 2006

Φραγκιαδάκης, Ι.Ε. «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», 2η Έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2004

Φυτίκας, Μ. και Ανδρίτσος, Ν., «Γεωθερμία», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 416 σελ., 2004.

Χασάπης Δ., «Ηλιακά θερμικά συστήματα σε υφιστάμενες κατοικίες», Αθήνα, 2007

Χριστοδουλάκη Ρ., «Εφαρμογές θερμικών ηλιακών στο κτιριακό τομέα», Αθήνα, 2008



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000097993