



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΨΥΞΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ**

**ΚΩΝΣΤΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**Δρ. ΙΩΑΝΝΗΣ Γ. ΜΠΑΡΤΖΗΣ**

**ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ:**

**Δρ. ΕΛΕΝΑ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ**

**ΚΟΖΑΝΗ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014**

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά την ψύξη ενός επαγγελματικού χώρου  $100m^2$  με χρήση ηλιακών συλλεκτών μέσω της τεχνολογίας της απορρόφησης. Σκοπός της εργασίας είναι η εύρεση της απαιτούμενης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών για την κάλυψη των ψυκτικών φορτίων του χώρου με χρήση ψύκτη απορρόφησης.

Η επιλογή των ηλιακών συλλεκτών που θα τροφοδοτούν τον ψύκτη απορρόφησης έγινε με βάση το μέγιστο ψυκτικό φορτίο όπως αυτό υπολογίστηκε από το λογισμικό KlimaCad της εταιρείας TiSoft. Έπειτα από μελέτη των υφιστάμενων τεχνολογιών των ηλιακών συλλεκτών καθώς και από την ανάλυση του ψυκτικού κύκλου απορρόφησης που διέπει τα ηλιακά συστήματα έγινε η επιλογή του είδους συλλέκτη. Η απαίτηση μέγιστου φορτίου ψύξης υπολογίστηκε ίση με  $11,7 kW$ . Το φορτίο αυτό θα καλύπτεται από έναν ψύκτη απορρόφησης διαλύματος  $LiBr - H_2O$  ισχύος  $15 kW$ , τον οποίο θα τροφοδοτούν επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες επιλεκτικής επιφάνειας  $38 m^2$  με το συνολικό κόστος της συγκεκριμένης εγκατάστασης να ανέρχεται στα  $50'935,00 €$ .

Η τεχνολογία της ηλιακής ψύξης σε μικρής κλίμακας εφαρμογές με απορρόφηση βρίσκεται σε πιλοτικό στάδιο. Τα σημερινά δεδομένα μπορούν να βελτιωθούν, αν υπάρξει περαιτέρω ανάπτυξη στους ψύκτες απορρόφησης μικρής ισχύος από τις υπάρχουσες κατασκευαστικές εταιρείες.

## Abstract

This thesis investigates the cooling of a workplace  $100m^2$ , using solar panels through the technology of absorption. The aim of this research is to find the required area of solar panels needed to cover the cooling load of the workplace by using an absorption chiller.

The selection of solar panels which supply the absorption chiller is based on the maximum cooling load and is calculated by TiSoft's KlimaCad software. The type of solar collector was selected, after studying the existing technologies of solar panels, and the analysis of absorption refrigeration cycle regulating the solar systems. The maximum cooling load was calculated at  $11,7 kW$ . This load will be covered by an absorption chiller of  $LiBr - H_2O$  solution, with corresponding power of  $15 kW$ . The chiller will be powered by selective surface solar collectors of a  $38 m^2$  surface. The total cost of the investment is  $50'935,00 €$ .

The technology of solar cooling with absorption, in small scale applications are in the pilot phase. The current data can be improved, if there is further development at low power absorption chillers from existing construction companies.

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά την διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Ιωάννη Μπάρτζη και της κ. Έλενας Παπαδοπούλου (Επιστημονικός Συνεργάτης). Θέλω να ευχαριστήσω θερμά και τους δύο για την πολύτιμη καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια περάτωσης της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην οικογένεια μου η οποία με στήριξε τόσο ηθικά όσο και υλικά κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Επιπλέον δε θα παραλείψω να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές και φίλους μου για τις εμπειρίες που ζήσαμε εντός και εκτός των αμφιθεάτρων.

Τέλος, ευχαριστώ ειδικά τη συμφοιτήτρια μου Πιταράκη Νικολέτα για την υπομονή και στήριξή της μέχρι το τέλος της εργασίας.

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Ηλιακή Ακτινοβολία.....	10
1.1 Ήλιος-Γη-Ηλιακή ενέργεια.....	10
1.2 Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας.....	11
1.3 Αληθής ηλιακός χρόνος (A.H.X).....	12
1.4 Βασικά γεωμετρικά ηλιακά χαρακτηριστικά.....	13
1.5 Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας.....	16
Κεφάλαιο 2: Ηλιακοί συλλέκτες.....	18
2.1 Εισαγωγή.....	18
2.2 Μη συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες.....	20
2.2.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες.....	20
2.2.2 Ηλιακοί συλλέκτες με σωλήνες κενού.....	22
2.2.3 Σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες.....	26
2.3 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες.....	27
2.3.1 Γραμμικός ανακλαστήρας Fresnel.....	28
2.3.2 Συλλέκτης παραβολικού κυλίνδρου.....	31
2.3.3 Συλλέκτης παραβολικού δίσκου.....	32
2.3.4 Συλλέκτης κεντρικού δέκτη.....	33
2.4 Συγκριτικά στοιχεία συγκεντρωτικών και μη συγκεντρωτικών συλλεκτών.....	36
Κεφάλαιο 3: Τεχνολογία ηλιακής ψύξης.....	37
3.1 Εισαγωγή.....	37
3.2 Παθητικά και ενεργητικά ηλιακά συστήματα.....	38
3.2.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα.....	38
3.2.2 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα.....	40
3.3 Μέθοδοι ηλιακής ψύξης.....	41
3.4 Οφέλη της ηλιακής ψύξης.....	41
Κεφάλαιο 4: Ψύξη και κύκλος απορρόφησης.....	43
4.1 Εισαγωγή.....	43

4.2	Ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμού .....	45
4.2.1	Ιστορική αναδρομή .....	45
4.2.2	Νόμοι της ψύξης.....	45
4.2.3	Λειτουργία του ιδανικού ψυκτικού κύκλου συμπίεσης .....	46
4.2.4	Ψυκτικό μέσο .....	47
4.3	Ψυκτικός κύκλος με απορρόφηση.....	48
4.3.1	Εισαγωγή.....	48
4.3.2	Απορρόφηση μονής επίδρασης με χρήση διαλύματος Li-Br .....	50
4.3.3	Απορρόφηση διπλής επίδρασης με χρήση διαλύματος Li-Br.....	55
4.3.4	Ψυκτικός κύκλος απορρόφησης με χρήση διαλύματος αμμωνίας (NH <sub>3</sub> ) .....	55
4.3.5	Ο ρόλος των διαλυμάτων στον ψυκτικό κύκλο απορρόφησης .....	57
4.4	Ηλιακός συλλέκτης ως εξωτερική πηγή θερμότητας σε έναν ψυκτικό κύκλο απορρόφησης .....	59
	Κεφάλαιο 5: Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων.....	61
5.1	Εισαγωγή.....	61
5.1.1	Θερμικό κέρδος χώρου .....	61
5.1.2	Ψυκτικό φορτίο χώρου .....	62
5.1.3	Ρυθμός απομάκρυνσης θερμότητας χώρου .....	62
5.1.4	Φορτίο ψυκτικού στοιχείου .....	62
5.2	Μέθοδοι υπολογισμού ψυκτικών φορτίων.....	63
5.3	Μέθοδος Συνάρτησης Μεταφοράς (Transfer Function Method-TFM).....	64
5.3.1	Θερμικό κέρδος από εξωτερικούς τοίχους και οροφές.....	65
5.3.2	Θερμικό κέρδος από υαλοπίνακες.....	66
5.3.3	Θερμικό κέρδος από άτομα.....	66
5.3.4	Θερμικό κέρδος φωτισμού και συσκευών .....	67
5.3.5	Θερμικό φορτίο αερισμού .....	68
5.3.6	Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου .....	68
5.4	Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων με χρήση του λογισμικού KlimaCad.....	69

5.4.1	Παρουσίαση του προς ψύξη επαγγελματικού χώρου .....	69
5.4.2	Παρουσίαση του λογισμικού KlimaCad.....	69
5.4.3	Προσομοίωση μέσω του λογισμικού.....	70
5.4.4	Εξαγωγή αποτελεσμάτων.....	80
5.5	Ψυκτικό φορτίο σχεδιασμού.....	81
Κεφάλαιο 6: Διαστασιολόγηση συστήματος ηλιακής ψύξης με απορρόφηση .....		82
6.1	Αρχικές επιλογές.....	82
6.2	Ψύκτης Απορρόφησης διαλύματος LiBr-H <sub>2</sub> O .....	83
6.3	Επιλογή ηλιακού συλλέκτη.....	85
6.4	Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού και πύργου ψύξης.....	88
6.5	Κόστος συστήματος ηλιακής ψύξης .....	89
6.6	Οικονομική ανάλυση και σύγκριση με αντλία θερμότητας.....	90
Κεφάλαιο 7: Επίλογος.....		94
7.1	Συμπεράσματα.....	94
7.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα και μελέτη .....	95
Βιβλιογραφία.....		96
Παράρτημα I .....		99
Κάτοψη κτηρίου. ....		100
Παράρτημα II .....		101
Κλιματολογικά δεδομένα .....		102

# Εισαγωγή

Η τεχνολογία της ψύξης κτηρίων με χρήση ηλιακών συλλεκτών είναι ταχέως αναπτυσσόμενη και ιδιαίτερα ελκυστική. Οι ανάγκες θερμικής άνεσης ιδιαίτερα σε βιομηχανικές εφαρμογές προέρχονται από μεγάλα συστήματα κεντρικού κλιματισμού. Αυτό συνεπάγεται μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για την κάλυψη των φορτίων ψύξης με αποτέλεσμα ήδη τη τελευταία δεκαετία να έχει πραγματοποιηθεί στροφή προς εναλλακτικές μεθόδους.

Έτσι προέκυψε η δυνατότητα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για τη χρήση μαζί με συστήματα ψυκτικής απορρόφησης στη παραγωγή της ηλιακής ψύξης. Εκτός αυτού κίνητρο για την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων αποτελεί το γεγονός ότι η ανάγκη για ψύξη ενός χώρου έρχεται τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε μεγάλες ποσότητες.

Στην παρούσα εργασία αναλύθηκε η τεχνολογία της ηλιακής ψύξης μέσα από την κατανόηση της λειτουργίας των διαφόρων ειδών συλλεκτών, τον τρόπο λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου απορρόφησης και του τρόπου υπολογισμού του ψυκτικών απαιτήσεων ενός κτηρίου.

Συγκεκριμένα η διάρθρωση της εργασίας πραγματοποιήθηκε σε 7 Κεφάλαια:

Στο Κεφάλαιο 1 δόθηκαν βασικές θεωρητικές γνώσεις για την ηλιακή ακτινοβολία και τις τριγωνομετρικές σχέσεις που διέπουν τον ήλιο και τις επιφάνειες της γης.

Στο Κεφάλαιο 2 μελετήθηκαν τα είδη των ηλιακών συλλεκτών ανάλογα με το διαχωρισμό τους σε συγκεντρωτικούς και μη συγκεντρωτικούς και τα βασικά σχεδιαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους.

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύθηκαν οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να υφίσταται η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για ψύξη καθώς και τα οφέλη της ηλιακής ψύξης σε όλα τα επίπεδα.

Στο Κεφάλαιο 4 αναλύθηκαν οι βασικές αρχές λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου με συμπύεση ατμών, του ψυκτικού κύκλου απορρόφησης καθώς και ο ρόλος των διαλυμάτων που χρησιμοποιούνται στον κύκλο απορρόφησης

Στο Κεφάλαιο 5 δόθηκαν βασικές έννοιες της ψύξης και η μέθοδος υπολογισμού ψυκτικού φορτίου στην οποία στηρίζεται το λογισμικό. Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζεται η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε για τον επαγγελματικό χώρο των



γραφείων μέσω του προγράμματος KlimaCad με σκοπό την εύρεση των ψυκτικών αναγκών του κτηρίου.

Στο Κεφάλαιο 6 πραγματοποιήθηκε η διαστασιολόγηση του ηλιακού συστήματος ψύξης επιλέγοντας κατάλληλο ψύκτη απορρόφησης για την εφαρμογή, υπολογίζοντας τα τετραγωνικά μέτρα των ηλιακών συλλεκτών, απαιτώντας πλήρη κάλυψη του φορτίου και επιλέγοντας τα βοηθητικά εξαρτήματα δίνοντας την οικονομική και περιβαλλοντική διάσταση της εγκατάστασης.

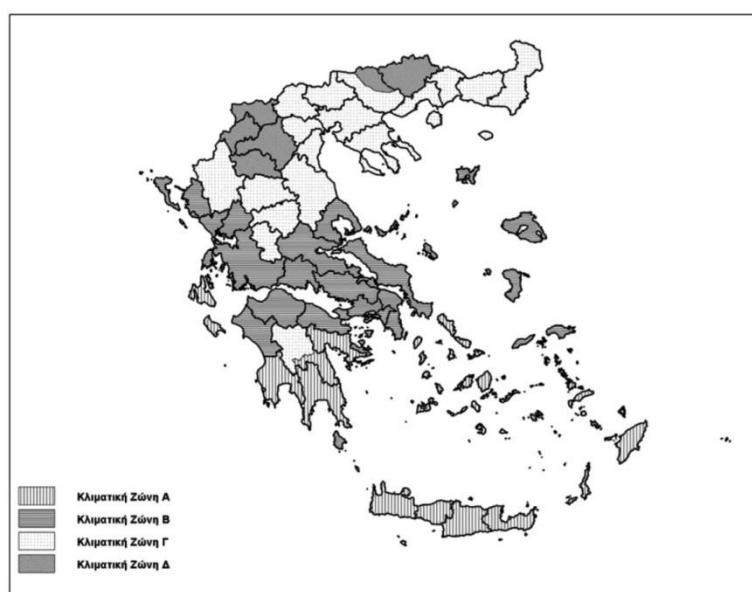
Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της εργασίας και γίνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

# Κεφάλαιο 1: Ηλιακή Ακτινοβολία

## 1.1 Ήλιος-Γη-Ηλιακή ενέργεια

Ο ήλιος μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας τεράστιος αντιδραστήρας σύντηξης που μετατρέπει Υδρογόνο ( $H_2$ ) σε Ήλιον ( $He$ ) ακτινοβολώντας ενέργεια με βάση τη θεμελιώδη εξίσωση ενέργειας-μάζας. Μέρος της ενέργειας το οποίο απελευθερώνεται κινείται με κατεύθυνση προς τη γη με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, μεγάλο τμήμα του φάσματος της οποίας ανήκει στην περιοχή του ορατού. Περίπου το  $\frac{1}{3}$  αυτής της ακτινοβολίας ανακλάται απευθείας στο διάστημα ενώ το υπόλοιπο απορροφάται και τελικά επανακτινοβολείται στο διάστημα υπό μορφή συνεχούς φάσματος υπέρυθρης ακτινοβολίας. Επί του πρακτέου η γη επιστρέφει στο διάστημα όση ενέργεια λαμβάνει με αποτέλεσμα να ικανοποιείται ένα ισοζύγιο ενέργειας που να διασφαλίζει τη διατήρηση ζωής σ' αυτήν.

Για τον προσδιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο οριζόντιο επίπεδο και όταν δεν απαιτείται εξαιρετική ακρίβεια, γίνεται χρήση διαγραμμάτων που χωρίζουν την Ελλάδα σε ζώνες. Περιοχές που κατατάσσονται στις ίδιες ζώνες χαρακτηρίζονται από παραπλήσιες μετεωρολογικές συνθήκες όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1.



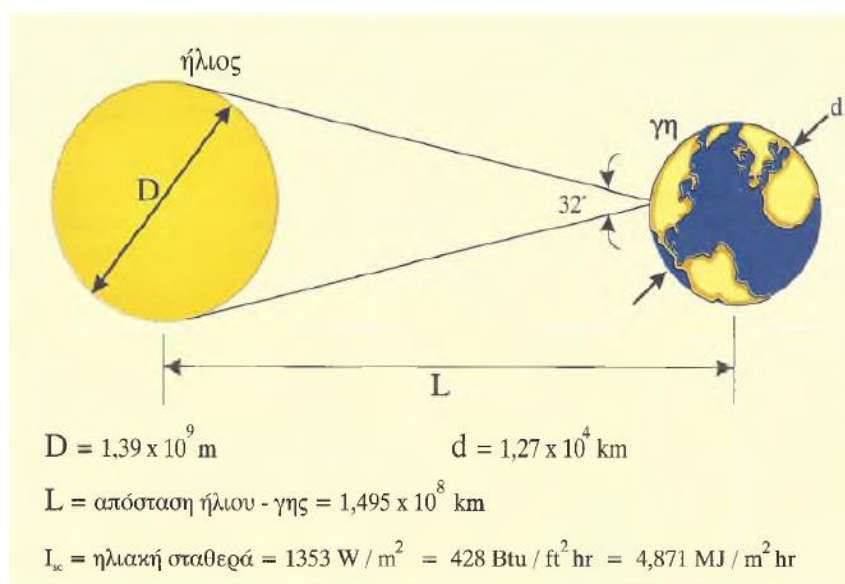
Σχήμα 1.1 Σχηματική απεικόνιση κλιματικών ζωνών ελληνικής επικράτειας (TOTEE 27701-3/2010)

Όπως είναι γνωστό η γη περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό της και ταυτόχρονα γύρω από τον ήλιο σε ετήσια βάση. Το ισημερινό επίπεδο και το επίπεδο της ελλειπτικής τροχιάς σχηματίζουν γωνία  $23,45^\circ$  με αποτέλεσμα η ακτινοβολία που φθάνει στη γη να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του έτους παίρνοντας τιμές μεταξύ  $1.310$  και  $1.399 \text{ W/m}^2$ .

Λόγω της ταυτόχρονης περιστροφής της γης γύρω από τον εαυτό της και γύρω από τον ήλιο παρατηρείται πως το καλοκαίρι στο βόρειο ημισφαίριο οι ακτίνες του ηλίου πέφτουν περίπου κάθετα στο οριζόντιο επίπεδο και ουσιαστικά η θερμοκρασία είναι υψηλότερη ενώ η απόσταση μεταξύ τους είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι το χειμώνα. Η αλληλεπίδραση αυτή αποτελεί χρήσιμη βοήθεια για την ανάπτυξη τεχνικών εφαρμογών που στηρίζονται στον ήλιο ανά τις εποχές και ανά τις περιοχές της γης.

## 1.2 Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται συνεχώς η ατμόσφαιρα μπορεί να θεωρηθεί ότι παραμένει σταθερή για συγκεκριμένη απόσταση ηλίου-γης. Η ακτινοβολία αυτή μπορεί ποσοτικά να προσδιοριστεί μέσω της ηλιακής σταθεράς  $I_{sc}$ , δηλαδή της ποσότητας της ενέργειας που δέχεται από τον ήλιο μια επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του, ανά μονάδα επιφανείας και ανά μονάδα χρόνου, έξω από το όριο της ατμόσφαιρας. Για την απόσταση μιας αστρονομικής σταθεράς ισχύει ότι  $I_{sc} = 1.353 \text{ W/m}^2$  όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ηλίου-γης και ηλιακή σταθερά (Ηπιες μορφές ενέργειας II, Ηλιακή Μηχανική, Σ.Ν. ΚΑΠΛΑΝΗΣ)

Δεδομένου της ελλειπτικής τροχιάς της γης η απόσταση της από τον ήλιο μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο με αποτέλεσμα και τη μεταβολή της ηλιακής σταθεράς. Αρκετές έρευνες έχουν δώσει διάφορες τιμές στην ηλιακή σταθερά με τις πιο πρόσφατες, από το 1970 και μετά, να καταλήγουν σε ένα εύρος τιμών  $1.363 - 1.375 \text{ W/m}^2$ . Διεθνώς πλέον χρησιμοποιείται μία μέση τιμή αυτών  $I_{sc} = 1.367 \text{ W/m}^2$  και παραμένει ένα σημαντικό ενδεικτικό μέγεθος του διαθέσιμου ποσού ενέργειας στον πλανήτη, αποδεικνύοντας τη σημαντικότητά του.

Ωστόσο υπάρχει και μια σχέση η οποία προσδιορίζει ορθότερα την ηλιακή σταθερά κατά τη διάρκεια ενός χρόνου και είναι η:

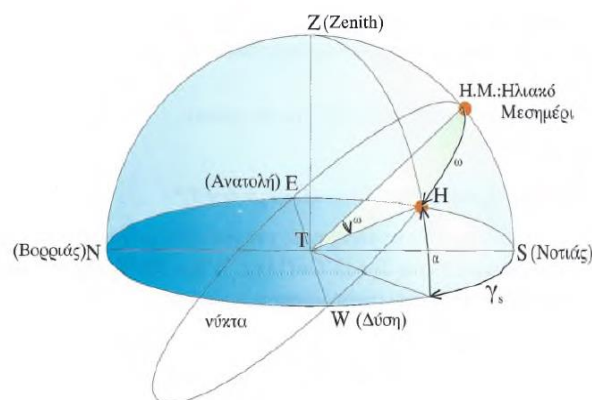
$$I_{on} = I_{sc} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (1.1)$$

Όπου:

- $n$  ο αύξων αριθμός της ημέρας του χρόνου για την οποία υπολογίζεται η τιμή της ηλιακής σταθεράς.

### 1.3 Αληθής ηλιακός χρόνος (Α.Η.Χ)

Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών που απαιτούνται στις εφαρμογές ηλιακής ενέργειας είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί ο Αληθής Ηλιακός Χρόνος (Α.Η.Χ). Πρακτικά αποτελεί μέγεθος το οποίο υπολογίζεται με βάση τη γωνιακή μετακίνηση του ήλιου σε σχέση με τον γήινο μεσημβρινό του τόπου. Ηλιακό μεσημέρι θεωρείται η ώρα εκείνη κατά την οποία ο ήλιος βρίσκεται στο ψηλότερο σημείο της ημερήσιας τροχιάς του και είναι η 12<sup>η</sup> ώρα. Στο Σχήμα 1.3 παρουσιάζεται η τροχιά του ήλιου σε μία μέρα.



Σχήμα 1.3 Τροχιά του ήλιου στον ουρανό-Ηλιακό Μεσημέρι (Ηπιες μορφές ενέργειας II, Ηλιακή Μηχανική, Σ.Ν. ΚΑΠΛΑΝΗΣ)

Καθημερινά γίνεται χρήση του Τοπικού Ωρολογιακού Χρόνου (Τ.Ω.Χ) που είναι ίδιος για κάθε περιοχή μιας χώρας και αποτελεί κοινή γλώσσα επικοινωνίας παγκοσμίως. Όμως ο Α.Η.Χ δεν είναι ίδιος με τον Τ.Ω.Χ, λόγω μιας χρονικής μετατόπισης η οποία δεν είναι συγκεκριμένη και μεταβάλλεται μέσα στη διάρκεια ενός έτους, αλλά υπάρχει μια γραμμική σύνδεση μεταξύ αυτών των δύο. Για τον υπολογισμό του Α.Η.Χ σε σχέση με τον Τ.Ω.Χ υπεισέρχονται δύο διορθώσεις.

- 1) Η πρώτη διόρθωση αφορά τη διαφορά του γεωγραφικού μήκους του μεσημβρινού του τόπου  $L_{loc}$  με το κατά συνθήκη γεωγραφικό μήκος του μεσημβρινού της ατράκτου στην οποία βρίσκεται ο εκάστοτε τόπος  $L_{st}$ . Από αυτήν τη διόρθωση προκύπτει ότι ο ήλιος χρειάζεται 4 πρώτα λεπτά για να διανύσει γωνία ατράκτου 1 μοίρας.
- 2) Η δεύτερη διόρθωση αφορά την ελλειπτική τροχιά της γης και γίνεται από την εξίσωση του χρόνου,  $E$ .

$$E = 0,0172 + 0,3278\cos B - 7,3456\sin B - 3,3468\cos^2 B - 9,3544\sin^2 B \quad (1.2)$$

Όπου:

- $B = \frac{360(n-1)}{365}$
- $n$  είναι ο αύξων αριθμός της μέρας για την οποία πραγματοποιείται ο υπολογισμός του  $E$ , με αρχή μέτρησης την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου.

Η γραμμική σύνδεση των δύο χρόνων βάσει των παραπάνω δίνεται από τη σχέση:

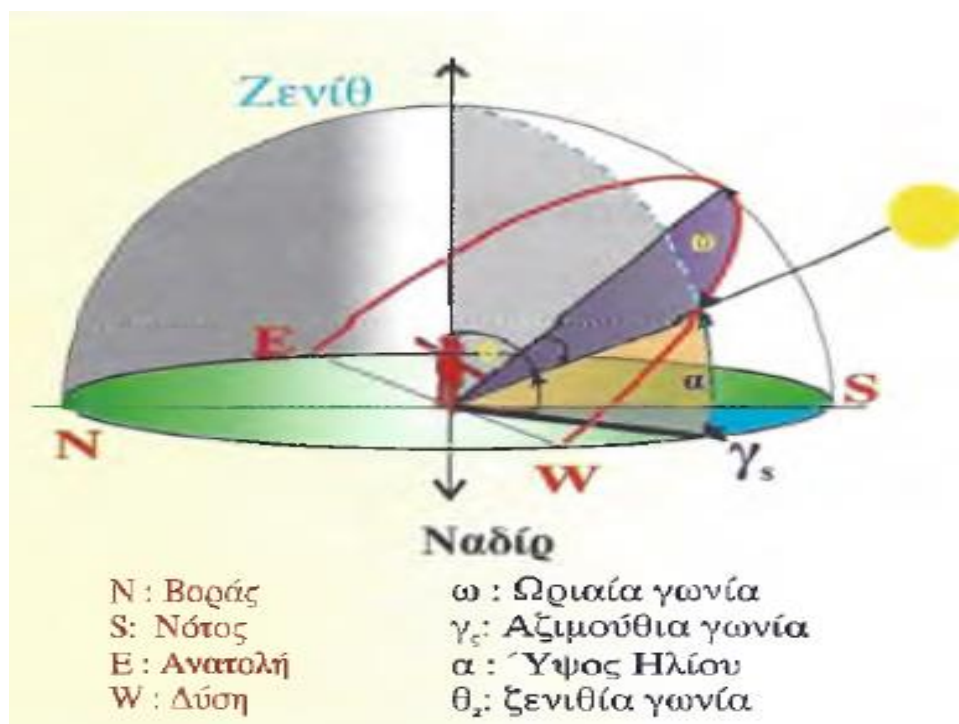
$$AHX = T\Omega X - 4 \text{ min} / \text{μοίρα} (L_{st} - L_{loc}) + E \quad (1.3)$$

## 1.4 Βασικά γεωμετρικά ηλιακά χαρακτηριστικά

Για τον προσδιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία συγκεκριμένη επιφάνεια στη γη απαιτείται ο ορισμός γεωμετρικών μεγεθών και τριγωνομετρικών σχέσεων μεταξύ της θέσης του ηλίου και της επιφάνειας αυτής. Παρακάτω αναφέρονται τα σημαντικότερα μεγέθη καθώς και οι τριγωνομετρικές σχέσεις που τα διέπουν.

- Αζιμουθιακή γωνία του ήλιου,  $\gamma_s$ : Ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του μεσημβρινού του τόπου και της προβολής στο οριζόντιο επίπεδο, της ευθείας που συνδέει τον ήλιο με την επιφάνεια. Το  $\gamma_s$  είναι θετικό προς τη Δύση και αρνητικό προς την Ανατολή.

- Ζενιθία γωνία,  $\theta_z$ : Ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που συνδέει το επίπεδο της επιφάνειας με τον ήλιο και της κατακόρυφου στον τόπο που βρίσκεται η επιφάνεια.
- Ύψος ηλίου,  $\alpha$ : Ορίζεται ως η συμπληρωματική γωνία της  $\theta_z$  και δίνεται από τη γωνία μεταξύ της ευθείας τόπος-ήλιος και του οριζοντίου επιπέδου.
- Ωριαία γωνία,  $\omega$ : Καλείται η γωνία που σχηματίζει ο ήλιος κινούμενος στην ημερήσια τροχιά του. Η γωνία αυτή μετράται με αρχή το ηλιακό μεσημέρι και έχει θετικές τιμές όταν βρίσκεται προς τα δυτικά του τόπου ενώ έχει αρνητικές όταν βρίσκεται προς τα ανατολικά. Στο Σχήμα 1.4 παρουσιάζονται τα παραπάνω χαρακτηριστικά με σκοπό την κατανόησή τους.



Σχήμα 1.4 Διάκριση γωνιών  $\gamma_s, \theta_z, \alpha, \omega$  (Ηπιες μορφές ενέργειας II, Ηλιακή Μηχανική, Σ.Ν. ΚΑΠΛΑΝΗΣ)

- Απόκλιση ηλίου,  $\delta$ : Ορίζεται ως η γωνιακή θέση του ηλίου σε σχέση με το Ισημερινό επίπεδο. Η ηλιακή απόκλιση προσδιορίζεται από την εξίσωση Cooper:

$$\delta = 23,45^\circ \sin\left(360 \frac{284+n}{360}\right) \quad (1.4)$$

και μεταβάλλεται στο διάστημα  $(-23,45^\circ, 23,45^\circ)$  παίρνοντας θετικές τιμές όταν ο ισημερινός βρίσκεται χαμηλότερα από την ευθεία που ενώνει τη γη με τον ήλιο.

- Γεωγραφικό πλάτος,  $\varphi$ : Καλείται η γωνιώδης θέση του τόπου σε σχέση με τον ισημερινό και έχει θετικές τιμές για το Βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το Νότιο με εύρος τιμών  $-90^\circ < \varphi < 90^\circ$ .
- Γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας,  $\theta$ : Ονομάζεται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της καθέτου στο επίπεδο του τόπου και της ευθείας που συνδέει αυτό το επίπεδο με τον ήλιο. Για το οριζόντιο επίπεδο η γωνία  $\theta$  είναι ίδια με την ζενίθια γωνία  $\theta_z$ .
- Γωνία κλίσης,  $\beta$ : Ορίζεται η γωνία της επιφάνειας που σχηματίζεται από το επίπεδό της και το οριζόντιο επίπεδο παίρνοντας τιμές από  $0^\circ$  έως και  $90^\circ$ .
- Αζιμουθιακή γωνία,  $\gamma$ : Είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κάθετο επάνω στην επιφάνεια του τοπικού μεσημβρινού και του οριζόντιου επιπέδου με νότιο προσανατολισμό.

Η βασική τριγωνομετρική σχέση που συνδέει τη γωνία πρόσπτωσης ( $\theta$ ) με τα παραπάνω μεγέθη που ορίστηκαν για μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή και συγκεκριμένη ημέρα του έτους είναι η παρακάτω:

$$\begin{aligned} \cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \\ + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \end{aligned} \quad (1.5)$$

Πολλές φορές η παραπάνω σχέση συναντάται σε απλοποιημένες μορφές, όπως για παράδειγμα όταν η επιφάνεια είναι προσανατολισμένη νότια, δηλαδή  $\gamma = 0^\circ$ :

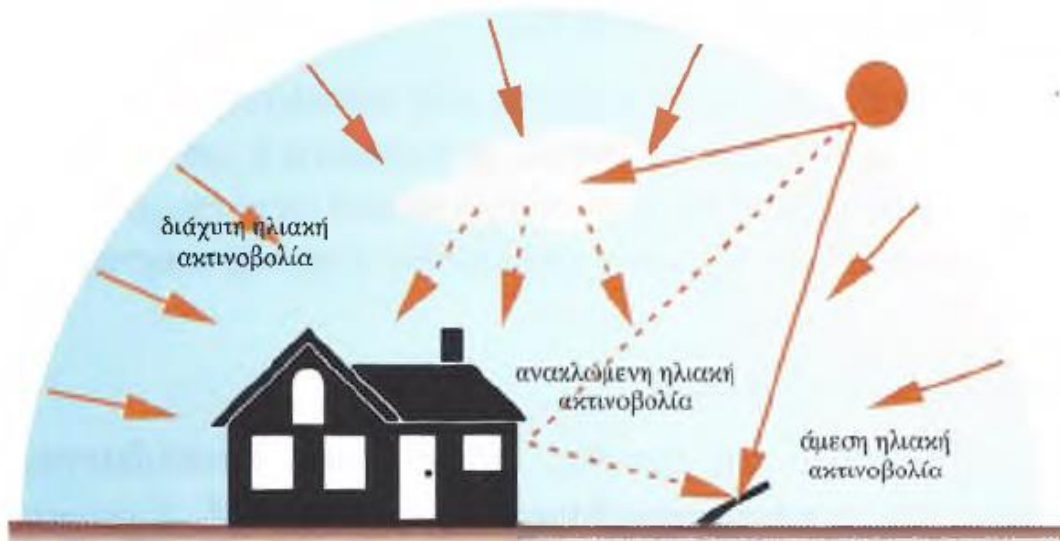
$$\begin{aligned} \cos\theta = \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \\ + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\omega \end{aligned} \quad (1.6)$$

ή

$$\cos\theta = \cos(\varphi - \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\varphi - \beta) \sin\delta \quad (1.7)$$

## 1.5 Συνιστώσες ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης χωρίζεται σε άμεση ( $H_b$ ), διάχυτη ( $H_d$ ) και ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία ( $H_r$ ) με μονάδες μέτρησης  $J/m^2$  και δηλώνει την ενέργεια που προσπίπτει σε μία συγκεκριμένη επιφάνεια ανά μονάδα επιφανείας για μία δεδομένη χρονική στιγμή. Στο Σχήμα 1.5 που ακολουθεί παρουσιάζονται χαρακτηριστικά οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 1.5 Συνιστώσες προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης. (Ήπιες μορφές ενέργειας II, Ηλιακή Μηχανική, Σ.Ν. ΚΑΠΛΑΝΗΣ)

- Άμεση ηλιακή ακτινοβολία,  $H_b$ : Ονομάζεται η ακτινοβολία που προσπίπτει απ' ευθείας από τον ήλιο στη γη χωρίς σκέδαση. Όταν απαιτείται ο υπολογισμός της αναλύεται σε κάθετη και σε παράλληλη στην επιφάνεια της γης, ωστόσο η οριζόντια συνιστώσα της δε συμμετέχει στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμική ενέργεια διότι δεν αλληλεπιδρά με την επιφάνεια της γης. Επιπλέον η μέγιστη τιμή της σημειώνεται όταν η ατμόσφαιρα είναι όσο το δυνατό καθαρότερη και όταν η επιφάνεια στην οποία προσπίπτει είναι κάθετη στις ακτίνες του ηλίου.
- Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία,  $H_d$ : Η ατμόσφαιρα δεν είναι πάντα καθαρή αλλά περιέχει σύννεφα και διάφορα σωματίδια με αποτέλεσμα τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας που προέρχεται από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο. Η διάχυτη αυτή ακτινοβολία εξαρτάται από την περιεκτικότητα των σύννεφων και των σωματιδίων καθώς και από την ανακλαστικότητα του εδάφους, και μεγιστοποιείται όταν η ατμόσφαιρα είναι θολή.



- Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία,  $H_r$ : Είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από την ανάκλαση της άμεσης ακτινοβολίας από διάφορα αντικείμενα και από το έδαφος. Πρακτικά έχει ενδιαφέρον το ποσοστό της ανακλώμενης που τελικά θα καταλήξει στην υπό εξέταση επιφάνεια. Από την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία το μεγαλύτερο ποσοστό το δέχονται οι κατακόρυφες επιφάνειες ενώ αντίθετα οι οριζόντιες καθόλου.
- Ολική ηλιακή ακτινοβολία,  $H$ : Ως ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία επιφάνεια ορίζεται το άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών, άμεσης, διάχυτης και ανακλώμενης. Οριζόντιες επιφάνειες έρχονται σε οπτική επαφή με μεγαλύτερο μέρος του ουράνιου θόλου με αποτέλεσμα να δέχονται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία, ενώ για τις κατακόρυφες επιφάνειες μεγάλο ρόλο έχει ο προσανατολισμός τους σε σχέση με τον ήλιο.

## Κεφάλαιο 2: Ηλιακοί συλλέκτες

### 2.1 Εισαγωγή

Από την προϊστορία είναι γνωστό ότι ο ήλιος αποτελούσε σημαντικό κομμάτι της ζωής των ανθρώπων καθώς συντηρούσε την τροφή τους, εξάτμιζε το θαλασσινό νερό για να παραχθεί αλάτι αλλά και τους προσέφερε θερμική άνεση. Δεν είναι τυχαίο ότι πολλές φυλές λάτρευαν τον ήλιο ως θεότητα καθώς ανακάλυπταν ότι αποτελεί κινητήρια δύναμη πίσω από κάθε φυσικό φαινόμενο. Αξιοσημείωτο είναι ότι πολλές γραφές των αρχαίων Αιγύπτιων λέγανε ότι η Μεγάλη Πυραμίδα, που αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα στην ιστορία της μηχανικής στην ανθρωπότητα, χτίστηκε ως μία σκάλα για να φθάσουν τον ήλιο. [7]

Με την πάροδο των χρόνων ο άνθρωπος κατάφερε να ανακαλύψει τεχνικές με τις οποίες μπορούσε να εκμεταλλευτεί την ηλιακή ενέργεια, με ένα από τα σπουδαιότερα επιτεύγματά του να είναι οι ηλιακοί συλλέκτες. Ο ηλιακός συλλέκτης αποτελεί έναν ειδικό εναλλάκτη ενέργειας ο οποίος μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια που προέρχεται από την ακτινοβολία του ήλιου σε θερμική ή ηλεκτρική (Σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1 Τυπικός ηλιακός συλλέκτης για ζεστό νερό χρήσης (Siemens)

Στην περίπτωση των θερμικών εφαρμογών ο ηλιακός συλλέκτης απορροφά την ηλιακή ενέργεια και τη μετατρέπει σε θερμική ενέργεια μέσω του εργαζόμενου μέσου που μπορεί να είναι νερό, αέρας ή λάδι, ενώ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μετατροπή της ηλιακής ενέργειας μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Στις θερμικές εφαρμογές η θερμότητα που φέρει το εργαζόμενο μέσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη εσωτερικών χώρων καθώς και για θέρμανση νερού πισίνας.

Οι ηλιακοί συλλέκτες συνήθως κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες με βάση τα ποσοστά συγκέντρωσής τους: σε μη συγκεντρωτικούς ή σταθερούς και σε συγκεντρωτικούς ή κινούμενους συλλέκτες. [12]



Σχήμα 2.2 Σειρά συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών (αριστερά) ([www.volker-quaschnig.de](http://www.volker-quaschnig.de)) - Μη συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης (δεξιά) ([www.helioakmi.com](http://www.helioakmi.com))

Η κύρια διαφορά τους εμφανίζεται στον τρόπο συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς οι μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες έχουν την ίδια επιφάνεια τόσο για τη λήψη της ηλιακής ακτινοβολίας όσο και για την απορρόφηση αυτής, ενώ αντιθέτως οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες έχουν μεγάλες κοίλες επιφάνειες οι οποίες ανακλούν την άμεση ακτινοβολία και τη συγκεντρώνουν σε μία πολύ μικρότερη επιφάνεια απορρόφησης με αποτέλεσμα την αύξηση της ροής θερμότητας επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερους βαθμούς απόδοσης.

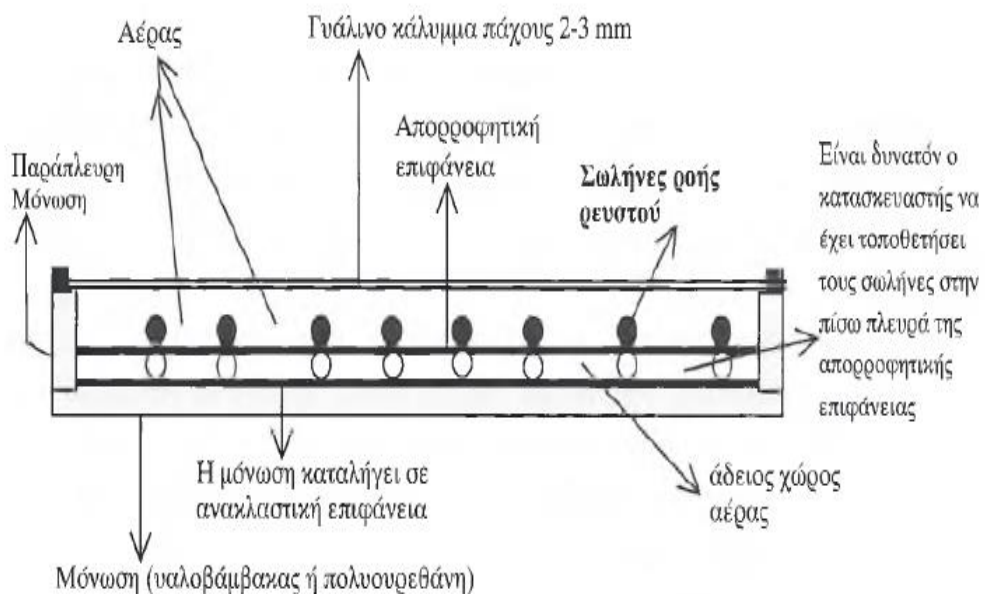
## 2.2 Μη συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες

Οι μη συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες λειτουργούν αξιοποιώντας τόσο την άμεση όσο και τη διάχυτη ακτινοβολία αποτελώντας μία οικονομική λύση για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προς την υλοποίηση συγκεκριμένων εφαρμογών. Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες μη συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών που θα αναλυθούν στη συνέχεια:

- 1) Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες
- 2) Ηλιακοί συλλέκτες με σωλήνες κενού
- 3) Σύνθετοι παραβολικοί ηλιακοί συλλέκτες

### 2.2.1 Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες είναι οι περισσότερο διαδεδομένοι καθώς έχουν απλουστευμένη τεχνολογία και σχετικά μικρό κόστος κατασκευής. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης καθώς και θέρμανση νερού πισίνας, αλλά και για θέρμανση χώρων. Η γεωμετρία ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη εμφανίζεται στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3 Τομή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη. (Ηπιες μορφές ενέργειας II, Ηλιακή Μηχανική, Σ.Ν. ΚΑΠΛΑΝΗΣ)

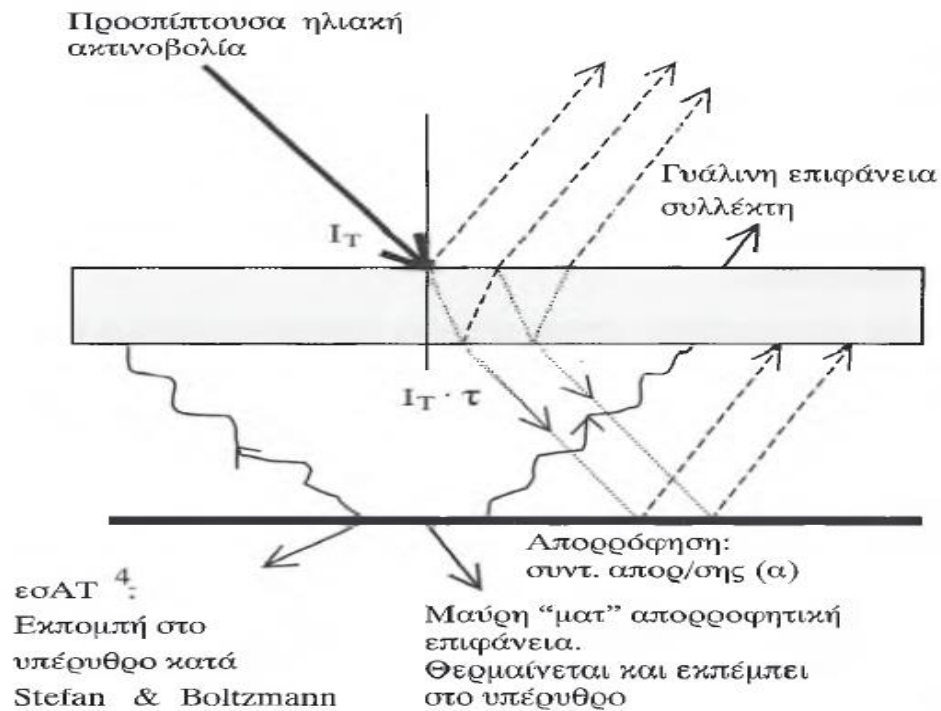
Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούνται από τα εξής βασικά τμήματα:

1. Τη μαύρη «ματ» απορροφητική επιφάνεια, η οποία μεταφέρει την ηλιακή ενέργεια που έχει απορροφηθεί και έχει μετατραπεί σε θερμότητα στο ρευστό,
2. Τη μόνωση στο πίσω μέρος του συλλέκτη με στόχο τη μέγιστη μείωση των απωλειών θερμικής ενέργειας,
3. Το εμπρόσθιο διαφανές γυάλινο κάλυμμα πάχους περίπου  $2 - 3 \text{ mm}$ , που απέχει  $3 - 5 \text{ cm}$  από τη μαύρη «ματ» απορροφητική επιφάνεια. Το γυάλινο κάλυμμα ελαττώνει τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον λόγω μεταφοράς καθώς και τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας της θερμαινόμενης απορροφητικής επιφάνειας,
4. Τους σωλήνες από χαλκό που βρίσκονται στην άνω ή κάτω πλευρά της απορροφητικής επιφάνειας.

Γενικά οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες μετατρέπουν την προσπίπτουσα ολική ηλιακή ακτινοβολία (άμεση και διάχυτη) μέσω κατάλληλης διάταξης σε χρήσιμη θερμική ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια που απορροφάται μεταφέρεται μέσω ρευστού και αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή μέσω εναλλάκτη θερμότητας, υπό μορφή αισθητής ή λανθάνουσας θερμότητας.

Συγκεκριμένα η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη εν' μέρει ανακλάται από την επιφάνεια του υαλοπίνακα και η υπόλοιπη διαπερνά τον υαλοπίνακα, ο οποίος έχει ορισμένη διαπερατότητα που αποτελεί συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης. Η διερχόμενη ακτινοβολία προσπίπτει στη μαύρη «ματ» απορροφητική επιφάνεια, μέρος της οποίας απορροφάται ενώ το υπόλοιπο ανακλάται και διαχέεται προς τον υαλοπίνακα. Στη συνέχεια ένα ποσό της ανακλώμενης και διαχεόμενης προς τον υαλοπίνακα ακτινοβολίας οπισθανακλάται και πάλι από τη μέσα πλευρά του γυάλινου καλύμματος, ενώ ένα ποσό αυτής διαθλάται και εξέρχεται στο περιβάλλον (Σχήμα 2.4).

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ξανά και ξανά με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας να μη διαφεύγει από το κάλυμμα του συλλέκτη και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται επιλεκτικές επιφάνειες για βέλτιστη απόδοση συγκράτησης της ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.4 Πορεία ηλιακών ακτινών στον ηλιακό συλλέκτη ( απορρόφηση, ανάκλαση, διάχυση) (Ήπιες μορφές ενέργειας II, Ηλιακή Μηχανική, Σ.Ν. ΚΑΠΛΑΝΗΣ)

Σχετικά με τη τοποθέτηση τους απαιτούν μελέτη καθώς είναι σταθεροί συλλέκτες με δεδομένο προσανατολισμό χωρίς χρήση συστήματος ανίχνευσης του ηλίου με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μικρότερες δυνατότητες εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με τους συγκεντρωτικούς που διαθέτουν και σύστημα ανίχνευσης του ηλίου. Η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη έχει βρεθεί ότι πρέπει να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας, με μία διακύμανση 10 – 15° περισσότερο ή λιγότερο ανάλογα με τις εφαρμογές [22].

## 2.2.2 Ηλιακοί συλλέκτες με σωλήνες κενού

Οι ηλιακοί συλλέκτες σωλήνων κενού (Σχήμα 2.5) παρέχουν μια επιφάνεια εξαιρετικά επιλεκτικής επίστρωσης σε συνδυασμό με τη μόνωση που δημιουργείτε από το κενό μέσα στο απορροφητικό στοιχείο με αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης του συλλέκτη συγκριτικά με αυτόν ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, για την περιοχή των θερμοκρασιών κοντά στους 80°C – 100°C. Επί του παρόντος οι ηλιακοί συλλέκτες κενού αποτελούν βασικό συστατικό της ηλιακής θερμικής αξιοποίησης κυρίως διότι είναι

πολύτιμοι για οικιακές εφαρμογές που απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες όπως η ηλιακή θέρμανση και ψύξη.[18]



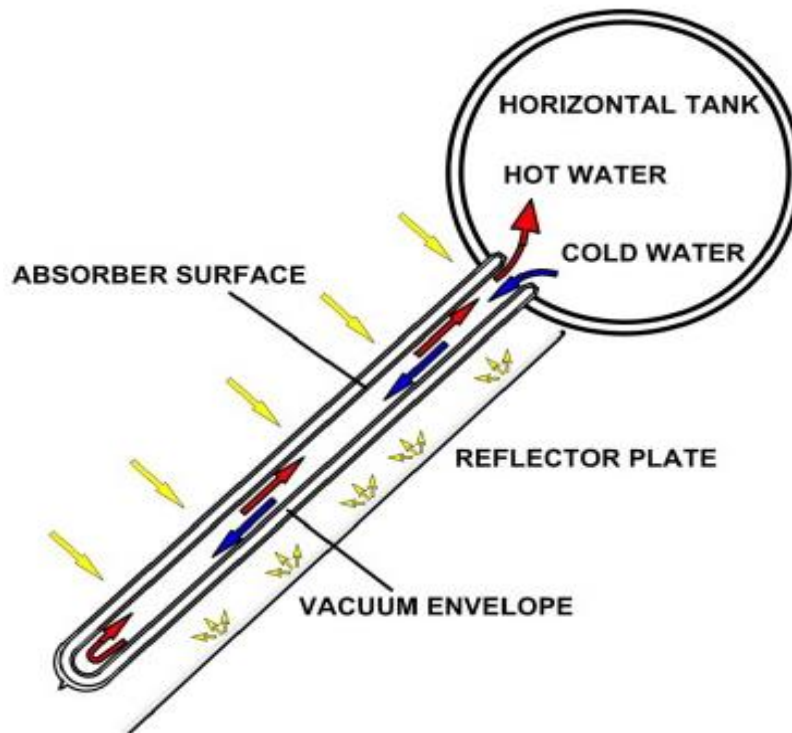
Σχήμα 2.5 Τυπικός ηλιακός συλλέκτης με σωλήνες κενού ([www.solarni-produkty.cz](http://www.solarni-produkty.cz))

Οι διαθέσιμοι τύποι ηλιακών συλλεκτών κενού μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικά είδη, στους σωλήνες όπου το ρευστό διέρχεται απευθείας μέσω γυαλιού (fluid-in-glass) και αυτούς όπου το ρευστό διέρχεται μέσα από μέταλλο (fluid-in-metal). Οι πρώτοι είναι περισσότερο διαδεδομένοι λόγω του χαμηλότερου κόστους κατασκευής τους. Στην περίπτωση των συλλεκτών κενού με γυάλινους σωλήνες διακινείται νερό ενώ στην άλλη περίπτωση διακινείται ρευστό όπως Freon.

Ένας συλλέκτης με σωλήνες γυαλιού όπου το νερό έρχεται σε απευθείας επαφή αποτελείται τυπικά από 15 – 40 σωλήνες με μονή απόληξη σε άμεση σύνδεση με οριζόντια δεξαμενή (Σχήμα 2.6). Οι σωλήνες αποτελούνται από δύο ομόκεντρους γυάλινους σωλήνες σφραγισμένους στο ένα άκρο και περιέχουν ένα κενό αέρα εντός του δακτυλιοειδούς χώρου μεταξύ των σωλήνων και μιας επιλεκτικής επικαλυμμένης επιφάνειας πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του εσωτερικού σωλήνα. Η μεταφορά θερμότητας σε αυτόν το συλλέκτη οδηγείται καθαρά με τη φυσική κυκλοφορία του νερού μέσω ενός ανοίγματος στο άκρο της δεξαμενής. Το νερό στους σωλήνες θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία το οποίο ανεβαίνει στη κορυφή του σωλήνα και φθάνει στη δεξαμενή και αντικαθίσταται από το κρύο νερό στον πυθμένα του ανοίγματος του σωλήνα.



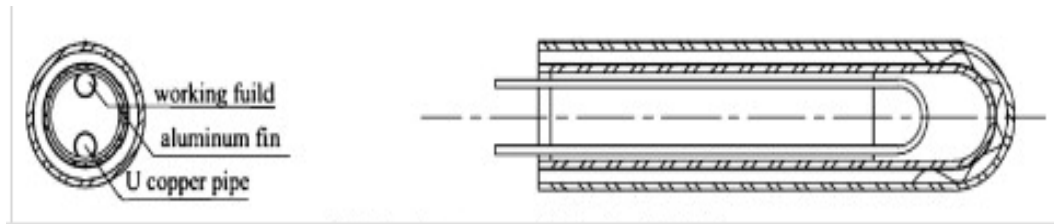
Ο ρυθμός της φυσικής κυκλοφορίας διαμέσου των σωλήνων εξαρτάται από την ηλιακή ροή, από την κατανομή της θερμότητας γύρω από τον σωλήνα και από τη θερμοκρασία της δεξαμενής αποθήκευσης.[14]



Σχήμα 2.6 Λειτουργία ηλιακού συλλέκτη με γυάλινους σωλήνες κενού (solarthermalworld.org)

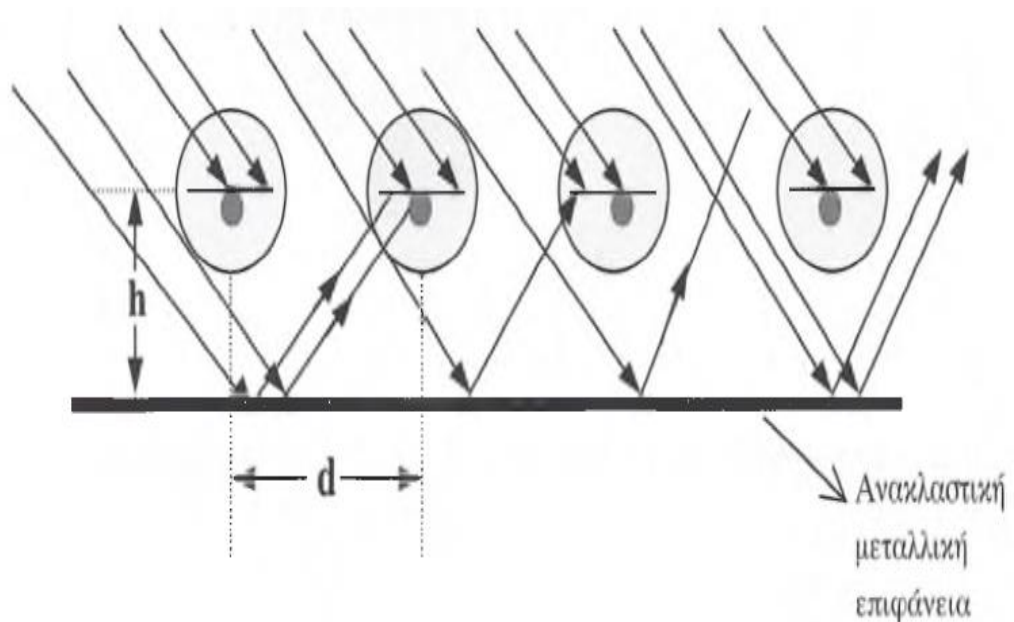
Ένας συλλέκτης με σωλήνες κενού τύπου U πρακτικά αποτελείται από το γυάλινο κάλυμμα εντός του οποίου βρίσκεται ένας σωλήνας τύπου U, συνήθως κατασκευασμένος από χαλκό, διαμέτρου 8 – 10 mm (Σχήμα 2.7). Επιπλέον φύλλα αλουμινίου παρεμβάλλονται ανάμεσα τους στην εσωτερική κοιλότητα του σωλήνα. Μεταξύ των φύλλων αλουμινίου και του γυάλινου καλύμματος έχει δημιουργηθεί και το κενό που απαιτείται για τη μόνωση. Το σύστημα εκμεταλλεύεται την ικανότητα του ρευστού να μεταφέρει θερμότητα όταν αυτό βρίσκεται σε κατάσταση βρασμού και λειτουργεί όπως ακριβώς και η προηγούμενη περίπτωση. Η διαφορά του συγκεκριμένου συστήματος εμφανίζεται στη παρεμβολή του μεταλλικού σωλήνα τύπου U εντός του σωλήνα.[28]





Σχήμα 2.7 Σωλήνας κενού τύπου U (Yan Gao, Q. Z. (2013). *Effects of thermal mass and flow rate on forced-circulation solar hot-water system: Comparison of water-in-glass and U-pipe evacuated-tube solar collectors.* Solar Energy. Elsevier.)

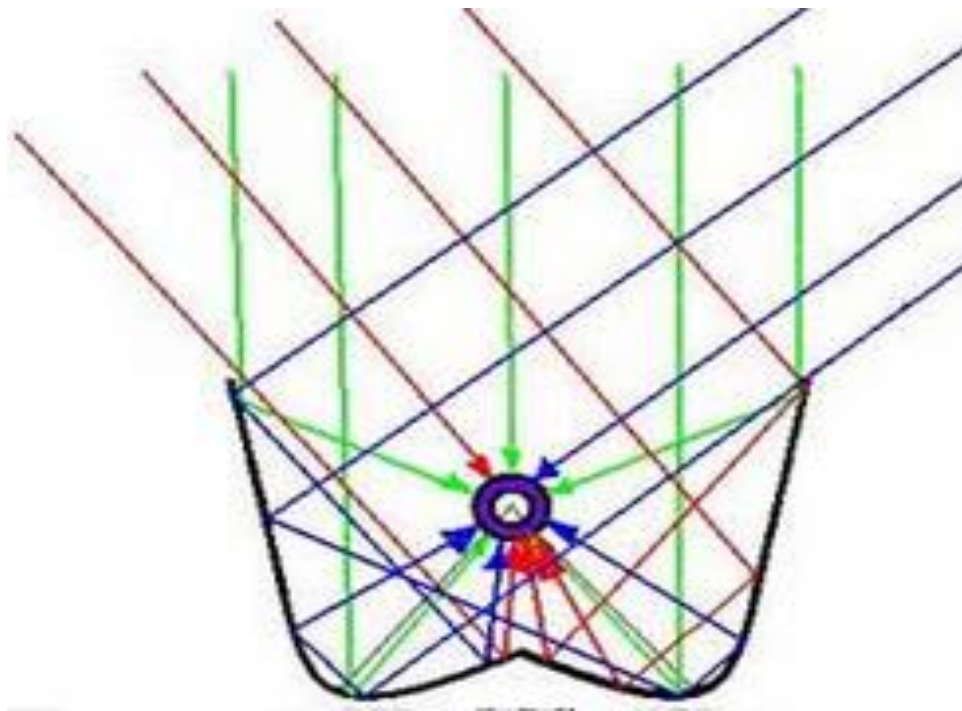
Η λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών με σωλήνες κενού απαιτεί μια συστοιχία σωλήνων μπροστά από μια μεταλλική επιφάνεια έτσι ώστε όση ηλιακή ακτινοβολία δεν απορροφάται άμεσα από τους σωλήνες να ανακλάται στη μεταλλική επιφάνεια και να απορροφάται μετέπειτα. Με κατάλληλη γεωμετρική διάταξη (Σχήμα 2.8) το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται από την μεταλλική επιφάνεια τελικά καταφέρνει να απορροφηθεί από την απορροφητική επιφάνεια των σωλήνων.



Σχήμα 2.8 Συστοιχία σωλήνων κενού μπροστά από ανακλαστική μεταλλική επιφάνεια (Ήπιες μορφές ενέργειας II, Ηλιακή Μηχανική, Σ.Ν. ΚΑΠΛΑΝΗΣ)

### 2.2.3 Σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες

Οι σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες αποτελούν το πρωτότυπο μιας σειράς non-imaging συλλεκτών οι οποίοι πλησιάζουν σε μεγάλο βαθμό στο να είναι ιδανικοί και με το μέγιστο θεωρητικό βαθμό συγκέντρωσης. Αποτελούνται από το στοιχείο απορρόφησης το οποίο συνήθως έχει κυλινδρικό σχήμα και από δύο παραβολικούς ανακλαστήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι αντικριστά. Εντός των παραβολικών ανακλαστήρων εισέρχονται οι ηλιακές ακτίνες υπό μεγάλο εύρος γωνιών οι οποίες υπόκεινται σε πολλαπλές αντανάκλασεις έως ότου το μεγαλύτερο ποσοστό απορροφηθεί από την απορροφητική επιφάνεια, ενώ ένα μικρό ποσό διαφεύγει από το άνοιγμα της άνω επιφάνειας των ανακλαστήρων (Σχήμα 2.9).[2]



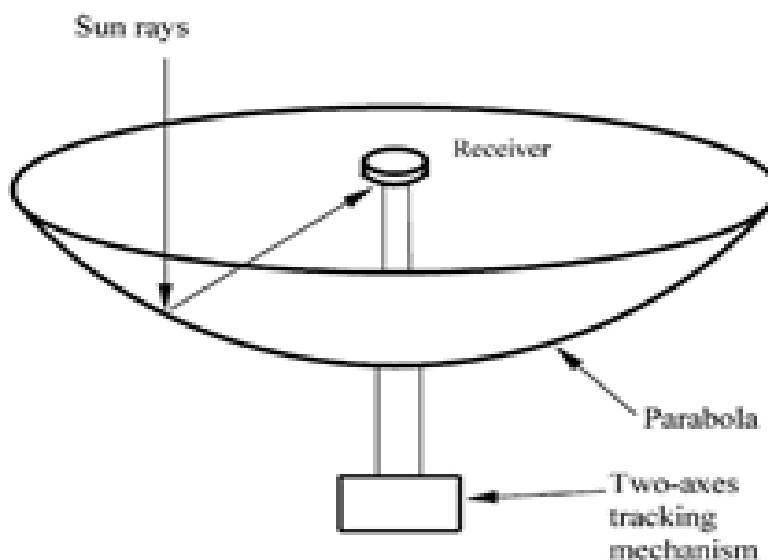
Σχήμα 2.9 Ηλιακός συλλέκτης με παραβολικούς ανακλαστήρες και κυλινδρικό στοιχείο απορρόφησης ([www.arconconsulting.com.au](http://www.arconconsulting.com.au))

Τυπικά ανήκουν στους μη συγκεντρωτικούς συλλέκτες καθώς δε συγκεντρώνουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια απορρόφησης αλλά λειτουργούν με πολλαπλές ανακλάσεις μέσω των παραβολικών ανακλαστήρων σε αντίθεση με τους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες που θα εξετασθούν στη συνέχεια.

## 2.3 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες

Υπάρχουν δύο βασικά κίνητρα για τη χρήση των συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών εν αντιθέσει με τους μη συγκεντρωτικούς: η επίτευξη μεγαλύτερων θερμοκρασιών και η μείωση του κόστους κατασκευής. Οι υψηλές θερμοκρασίες απαιτούν ο συλλέκτης να έχει ελάχιστες απώλειες θερμότητας. Όμως οι θερμικές απώλειες εξαρτώνται αναλογικά από την απορροφητική περιοχή γεγονός που οδηγεί στη μείωση των απωλειών θερμότητας ανά επιφάνεια ανοίγματος μέσω της συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα σ' ένα μικρότερο απορροφητή. Το άλλο κίνητρο αποτελεί μια αρχή: εάν οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες είναι φθηνότεροι ανά μονάδα επιφανείας από τους μη συγκεντρωτικούς τότε υπάρχει η δυνατότητα αντικατάστασης των δεύτερων.

Η δομή τους αποτελείται από το οπτικό σύστημα (συγκεντρωτή) που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία και τη συγκεντρώνει στο δέκτη ο οποίος την απορροφά (Σχήμα 2.10). Οι συγκεντρωτές μπορεί να είναι καθρέπτες και να ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία ή να είναι φακοί και να τη διαθλούν. Κατασκευάζονται κυλινδρικοί ή παραβολικοί και μπορεί να είναι συνεχείς ή σε τομή. Οι δέκτες μπορεί να είναι κυρτοί, επίπεδοι, κοίλοι ή κυλινδρικοί καλυπτόμενοι με τζάμι ή όχι ανάλογα τις εφαρμογές.



Σχήμα 2.10 Συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης παραβολικού οπτικού συστήματος (innosolar.net)

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες εκμεταλλεύονται μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα να χρειάζονται μηχανισμό για την ανίχνευση του ηλίου έτσι ώστε να επιτυγχάνουν μεγαλύτερες αποδόσεις και να έχουν πρακτική αξία. Ανάλογα με το μηχανισμό κίνησης τους διαφοροποιούνται σε μονού άξονα παρακολούθησης και σε διπλού άξονα παρακολούθησης. Οι μονού άξονα περιορίζονται στην παρακολούθηση του ηλίου μόνο κατά μία κατεύθυνση, είτε από την ανατολή προς τη δύση είτε από το βορρά προς το νότο και απαιτούν συνεχή και ακριβή προσαρμογή έτσι ώστε να κινούνται με βάση τον προσανατολισμό του ηλίου. Από την άλλη οι διπλού άξονα παρακολούθησης κινούνται τόσο στο κανονικό επίπεδο όσο και στο αζιμούθιο έχοντας ως αποτέλεσμα, εφ' όσον έχει γίνει σωστός προγραμματισμός να ακολουθούν με εξαιρετική ακρίβεια την πορεία του ηλίου και να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί.[23]

Ένα χαρακτηριστικό μέγεθος των συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι ο λόγος συγκέντρωσης  $C$  (Concentration Ratio) δηλαδή ο λόγος του εμβαδού της επιφάνειας ανοίγματος του συλλέκτη προς τη συνολική επιφάνεια του απορροφητή ο οποίος λαμβάνει τιμές από 1.5 – 10.000 και δίνεται από τη σχέση:

$$C = \frac{A_{ap}}{A_{abs}} \quad (3.1)$$

Όπου:

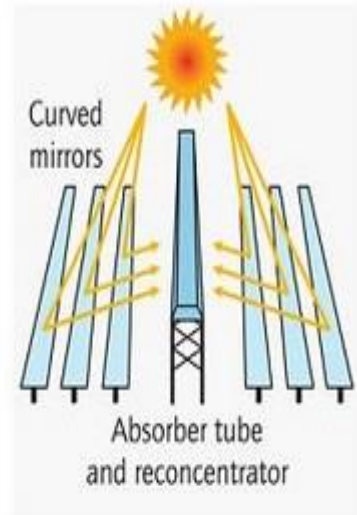
- $A_{ap}$ : η επιφάνεια ανοίγματος του συλλέκτη σε  $m^2$
- $A_{abs}$ : η επιφάνεια του απορροφητή σε  $m^2$

Οι βασικές κατηγορίες συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών είναι οι ακόλουθες:

- Γραμμικός ανακλαστήρας Fresnel
- Συλλέκτης παραβολικού κυλίνδρου
- Συλλέκτης παραβολικού δίσκου
- Συλλέκτης κεντρικού δέκτη

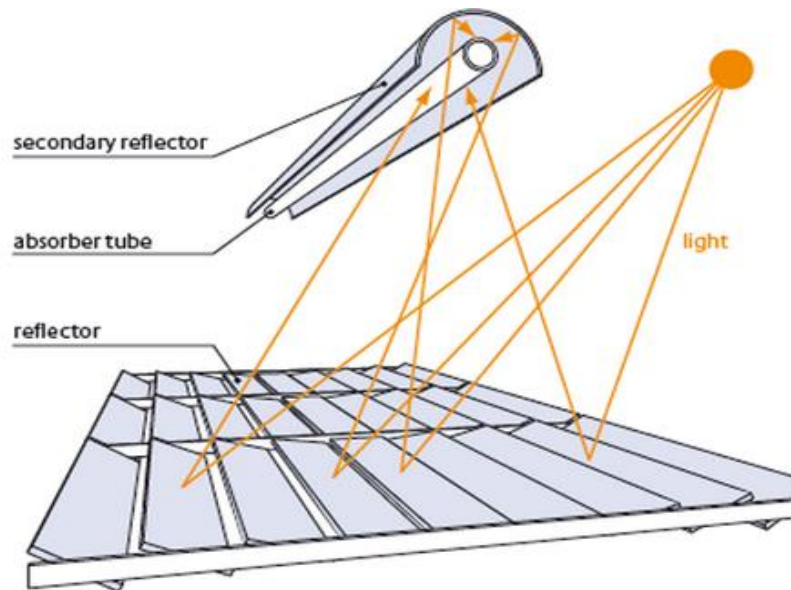
### 2.3.1 Γραμμικός ανακλαστήρας Fresnel

Οι ηλιακοί συλλέκτες με την τεχνολογία γραμμικού ανακλαστήρα τύπου Fresnel είναι συγκεντρωτικοί συλλέκτες γραμμικής εστίασης κατάλληλοι για παραγωγή ηλιακής θερμότητας καθώς και χρήση θερμότητας που απαιτείται σε διεργασίες παραγωγής ατμού, παράγοντας ικανοποιητικά θερμοκρασίες μεταξύ 50 – 450°C. Υπάρχουν οι φακοί Fresnel και οι ανακλαστήρες Fresnel σαν οπτικά συστήματα συγκέντρωσης για τους συγκεκριμένους συλλέκτες με τους δευτέρους να είναι ευρέως διαδεδομένοι (Σχήμα 2.11).



Σχήμα 2.11 Ηλιακοί συλλέκτες με γραμμικούς ανακλαστήρες τύπου Fresnel ([www.intechopen.com](http://www.intechopen.com))

Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι απλώς καθώς η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται πάνω σ' ένα πεδίο καθρεπτών το οποίο αποτελείται από ελαστικούς κεκλιμένους καθρέπτες και απορροφάται από τον απορροφητικό σωλήνα. Ο κοίλος δέκτης της ηλιακής ακτινοβολίας σ' ένα τέτοιο ηλιακό συλλέκτη αποτελείται από έναν απορροφητικό σωλήνα ο οποίος συνήθως για να υπάρξει ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας προστατεύεται από ένα γυάλινο σωλήνα περιμετρικά η μόνο στο κάτω μέρος του. Πάνω από τον γυάλινο σωλήνα του απορροφητικού στοιχείου τοποθετείται ένας δευτερεύων ανακλαστήρας ο οποίος συγκεντρώνει μέρος της ακτινοβολίας από το πεδίο καθρεπτών και το οδηγεί στο απορροφητικό στοιχείο με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της χαμένης ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 2.12.[1]



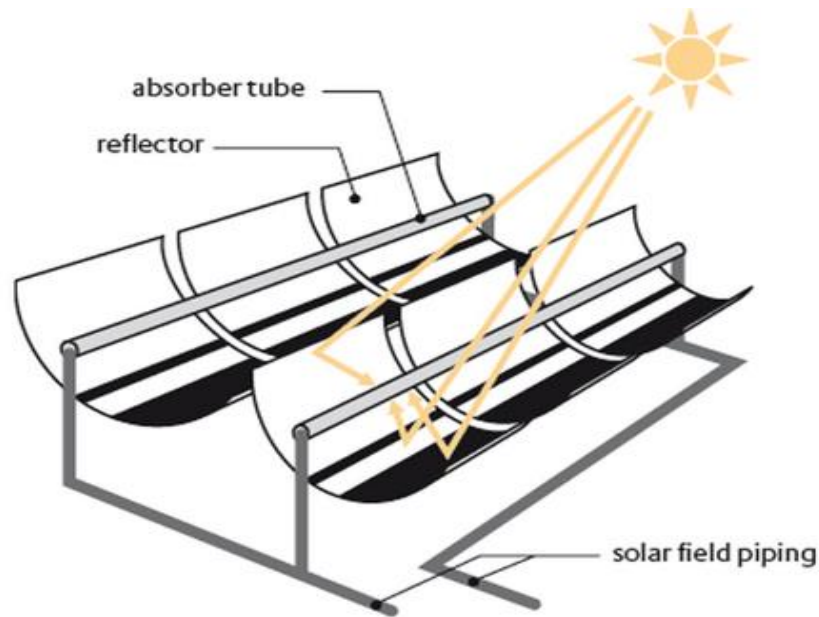
Σχήμα 2.12 Βασικά μέρη ηλιακού συλλέκτη με γραμμικούς καθρέπτες τύπου Fresnel και εκμετάλλευση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (Design and analysis of rooftop linear fresnel reflector solar concentrator , K. Gouthamraj, K. Jamuna Rani, G.Satyanarayana, Mechanical Engineering department, K L University)

Ένα σημαντικό πρόβλημα που εμφανίζεται σε αυτούς τους συλλέκτες είναι η ορθή τοποθέτηση των καθρεπτών τους σε συστοιχίες. Αυτό συμβαίνει διότι υπάρχει το ενδεχόμενο κάποιοι καθρέπτες να σκιάζονται από τους γειτονικούς τους και να μειώνεται αισθητά η απόδοσή τους. Έχουν προταθεί αρκετές λύσεις όπως η τοποθέτηση και δεύτερου απορροφητικού στοιχείου καθώς και η τοποθέτηση των καθρεπτών σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους έτσι ώστε να μην υπάρχει περίπτωση σκίασης.

Τα συγκεντρωτικά συστήματα όπως αναφέρθηκε στην αρχή της ενότητας απαιτούν μηχανισμούς παρακολούθησης του ηλίου έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται καθ' όλη τη διάρκεια την ηλιακή ακτινοβολία. Για το λόγο αυτό οι ανακλαστήρες τύπου Fresnel τοποθετούνται με προσανατολισμό στο επίπεδο Βορρά-Νότου και περιστρέφονται γύρω από ένα μονό άξονα χρησιμοποιώντας ένα υποβοηθούμενο από υπολογιστή μηχανισμό ανίχνευσης ηλίου. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να διατηρεί την ιδανική γωνία πρόσπτωσης μεταξύ του ηλίου και των καθρεπτών.

### 2.3.2 Συλλέκτης παραβολικού κυλίνδρου

Οι συλλέκτες παραβολικού κυλίνδρου αποτελούν μια ιδανική λύση για εφαρμογές με υψηλές θερμοκρασιακές απαιτήσεις της τάξεως των 400°C και άνω, κυρίως σε μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής θερμότητας. Ανήκουν στους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες γραμμικής εστίασης της ηλιακής ακτινοβολίας όπως και οι συλλέκτες με ανακλαστήρες τύπου Fresnel και εκμεταλλεύονται μόνο την άμεση ακτινοβολία. Ένας τυπικός συλλέκτης παραβολικού κυλίνδρου εμφανίζεται στο Σχήμα 2.13.



Σχήμα 2.13 Σχηματική απεικόνιση ηλιακού συλλέκτη παραβολικού κυλινδρικού ανακλαστήρα ([www.eac.com.cy](http://www.eac.com.cy))

Ο τρόπος λειτουργίας τους όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.13 στηρίζεται στους παραβολικού τύπου ανακλαστήρες οι οποίοι συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την οδηγούν στον απορροφητικό σωλήνα. Ο τρόπος με τον οποίο είναι σχεδιασμένοι απαιτεί πολύπλοκη τριγωνομετρική ανάλυση η οποία στα πλαίσια αυτής της εργασίας δεν κρίνεται απαραίτητη. Ο απορροφητικός σωλήνας είναι τοποθετημένος στον άξονα των ανακλαστήρων με σκοπό τη μεγιστοποίηση του λόγου συγκέντρωσης. Είναι μαύρος μεταλλικός και περιβάλλεται από γυάλινο σωλήνα για περιορισμό των θερμικών απωλειών και πολλές φορές συνδυάζεται με σωλήνες κενού για βελτιστοποίηση της θερμικής απόδοσης του συστήματος.

Δεδομένου ότι αξιοποιούν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να παρακολουθούν τον ήλιο καθ' όλη την πορεία του στον ουράνιο θόλο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται μηχανισμοί παρακολούθησης του ηλίου μονού άξονα. Συνήθως τοποθετούνται σε άξονα Βορρά- Νότου για να παρακολουθούν τον ήλιο από την Ανατολή

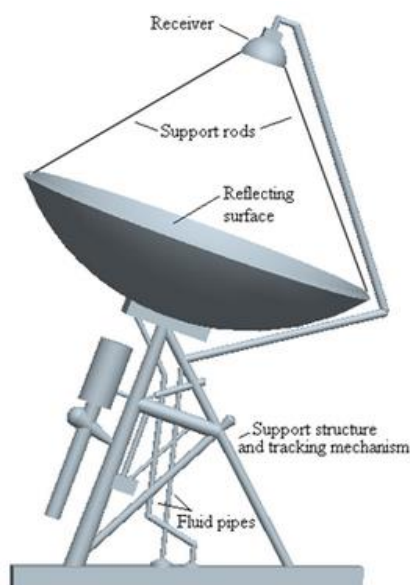


προς τη Δύση όπου στη διάρκεια ενός έτους εμφανίζει τις μεγαλύτερες απολαβές ηλιακής ενέργειας.

### 2.3.3 Συλλέκτης παραβολικού δίσκου

Οι ηλιακοί συλλέκτες παραβολικού δίσκου ανήκουν στους συλλέκτες σημειακής εστίασης και μπορούν να προσφέρουν χρήσιμες θερμοκρασίες στο εργαζόμενο μέσο άνω των 1500 °C πράγμα που τους καθιστά ιδανικούς για εφαρμογές παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας.

Αποτελούνται από μικρούς κοίλους ανακλαστήρες οι οποίοι τοποθετούνται έτσι ώστε να σχηματίζεται ένας μεγάλος παραβολικός δίσκος που να συγκεντρώνει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και να την εστιάζει σε ένα συγκεκριμένο σημείο-δέκτη, ο οποίος εν τέλει τη μετατρέπει σε θερμική ενέργεια του εργαζόμενου ρευστού. Ο δέκτης αυτός σε πολλές εφαρμογές αποτελεί πηγή ενέργειας για κάποια μηχανική διάταξη η οποία μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Σχηματική απεικόνιση ενός συλλέκτη παραβολικού δίσκου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.14 ενώ στο Σχήμα 2.15 εμφανίζεται ένας συλλέκτης παραβολικού δίσκου όπου ο δέκτης του είναι απευθείας συνδεδεμένος με μηχανική διάταξη για παραγωγή έργου.



Σχήμα 2.14 Σχηματική απεικόνιση ηλιακού συλλέκτη παραβολικού δίσκου (newenergyportal.wordpress.com)



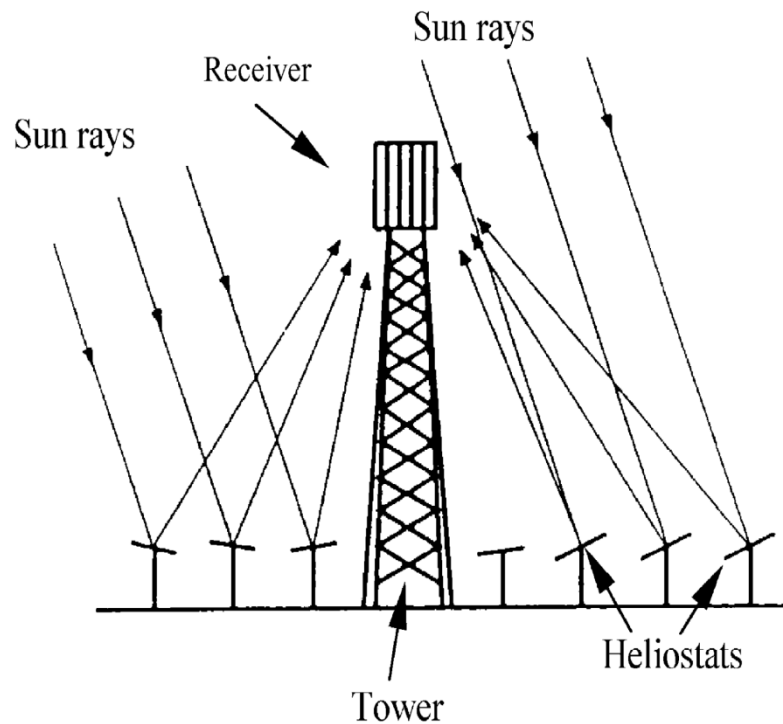


Σχήμα 2.15 Ηλιακός συλλέκτης παραβολικού δίσκου με απευθείας συνδεδεμένη μηχανή για παραγωγή έργου (*ecowanderer.wordpress.com*)

Οι ηλιακοί συλλέκτες αυτού του είδους πρέπει να παρακολουθούν διαρκώς τον ήλιο έτσι ώστε να αντανακλάται η ηλιακή ενέργεια στο δέκτη. Για το λόγο αυτό απαραίτητη προϋπόθεση είναι η χρήση μηχανισμού παρακολούθησης του ηλίου σε δύο άξονες και απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός. Σημαντικό πλεονέκτημα τους είναι ο μεγάλος βαθμός απόδοσης που εμφανίζουν λόγω της συνεχούς παρακολούθησης του ηλίου καθώς και ο υψηλός λόγος συγκέντρωσης (600 – 2000) λόγω της μικρής επιφάνειας απορρόφησης συγκριτικά με την επιφάνεια ανοίγματος του παραβολικού δίσκου (βλ. Σχέση 3.1). Από την άλλη πλευρά εμφανίζουν μεγάλο κόστος κατασκευής λόγω κυρίως των σύνθετων μηχανισμών παρακολούθησης.

#### 2.3.4 Συλλέκτης κεντρικού δέκτη

Οι συγκεκριμένοι συλλέκτες ανήκουν και αυτοί στην κατηγορία σημειακής εστίασης και αποτελούνται από ένα πεδίο επίπεδων ή ελαφρώς κυρτών ανακλαστήρων οι οποίοι ανακλούν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε έναν κεντρικό δέκτη ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή ενός πύργου (Σχήμα 2.16). Πολλές φορές το πεδίο των ανακλαστήρων καλείται και ηλιοστατικό πεδίο. Η λειτουργία τους εμφανίζει πολλές ομοιότητες με τους παραβολικούς δίσκους, καθώς χρησιμοποιούν σύστημα παρακολούθησης του ηλίου δύο αξόνων και λόγω των υψηλών θερμικών αποδόσεών τους το εργαζόμενο ρευστό χρησιμοποιείται σε μεγάλες εφαρμογές για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.16 Σχηματική απεικόνιση ηλιακού συλλέκτη με κεντρικό δέκτη ([eswrenewableenergystudy.wordpress.com](http://eswrenewableenergystudy.wordpress.com))

Γενικά το σύστημα του ηλιοστατικού πεδίου και του κεντρικού δέκτη συναντάται σε τρεις βασικούς σχηματισμούς για βέλτιστη λειτουργία. Στον πρώτο σχηματισμό τοποθετείται ο πύργος με το δέκτη και γύρω του τοποθετούνται οι ηλιακοί ανακλαστήρες (Σχήμα 2.17). Ο δέκτης είναι κυλινδρικός με εξωτερική επιφάνεια απορρόφησης. Στη δεύτερη περίπτωση οι ανακλαστήρες τοποθετούνται βόρεια του δέκτη ο οποίος έχει κλειστή επιφάνεια απορρόφησης (Σχήμα 2.18). Στον τρίτο σχηματισμό τοποθετείται πάλι το ηλιοστατικό πεδίο βόρεια του δέκτη μόνο που αυτή τη φορά ο δέκτης έχει την απορροφητική επιφάνεια στο κατακόρυφο επίπεδο προσανατολισμένη στο βορρά (Σχήμα 2.18).



Σχήμα 2.17 Ηλιοστατικό πεδίο περιμετρικά από τον πύργο-δέκτη ([america.aljazeera.com](http://america.aljazeera.com))



Σχήμα 2.18 Ηλιοστατικό πεδίο προσανατολισμένο βόρεια του πύργου-δέκτη ([energiasrenovadas.com](http://energiasrenovadas.com))

## 2.4 Συγκριτικά στοιχεία συγκεντρωτικών και μη συγκεντρωτικών συλλεκτών

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιασθούν συνοπτικά κάποια συγκριτικά στοιχεία μεταξύ των δύο κύριων κατηγοριών ηλιακών συλλεκτών, των συγκεντρωτικών και των μη συγκεντρωτικών, τα οποία θα συνοψίσουν όσα παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Η σύγκριση εμφανίζεται στον Πίνακα 2.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 2.1 Σύγκριση συγκεντρωτικών και μη συγκεντρωτικών ηλιακών συλλεκτών

Συγκεντρωτικοί	Μη συγκεντρωτικοί
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η επιφάνεια συλλογής των ηλιακών ακτινών είναι ίση με την επιφάνεια απορρόφησής τους.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η επιφάνεια συλλογής των ηλιακών ακτινών είναι πολύ μεγαλύτερη από την επιφάνεια απορρόφησής τους (λόγος συγκέντρωσης).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το εργαζόμενο ρευστό λειτουργεί σε χαμηλές θερμοκρασίες συνήθως κάτω από τους 100 °C.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Το εργαζόμενο ρευστό λειτουργεί σε εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες άνω των 250°C.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εμφανίζουν χαμηλές θερμικές αποδόσεις.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εμφανίζουν υψηλές θερμικές αποδόσεις.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών λειτουργίας του ρευστού δεν απαιτούνται ακριβά υλικά ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών απαιτούνται υλικά ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες σε ορισμένες εφαρμογές με απαγορευτικό κόστος κατασκευής.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Η τεχνολογία τους είναι απλή καθώς δεν χρησιμοποιούνται μηχανισμοί ανίχνευσης του ήλιου και ούτε πολύπλοκοι σχεδιαστικά κοίλοι ανακλαστήρες.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διαθέτουν υψηλή τεχνολογία κυρίως για το σχεδιασμό των ανακλαστήρων καθώς και για τους μονού και διπλού άξονα μηχανισμούς ανίχνευσης του ήλιου οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία τους.</li> </ul>

Από τον παραπάνω πίνακα αυτό που εύλογα προκύπτει είναι πως κάθε κατηγορία έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και είναι φανερό πως ανάλογα την εφαρμογή, η ορθή επιλογή συγκεκριμένου συλλέκτη επαφίεται σε μια εμπειρισταωμένη τεχνική και οικονομική μελέτη.

## Κεφάλαιο 3: Τεχνολογία ηλιακής ψύξης

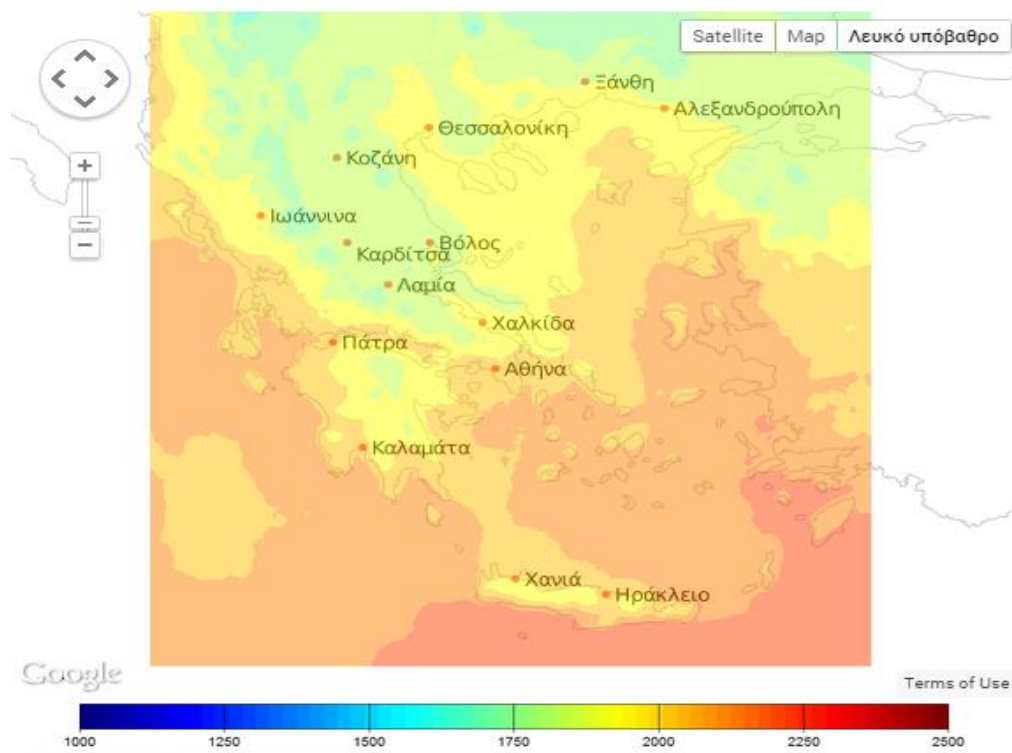
### 3.1 Εισαγωγή

Ήδη από το 2010 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξέδωσε την ανακοίνωση «Ενέργεια 2020» που καθορίζει μια νέα στρατηγική προς το 2020 για μία ανταγωνιστική, αειφόρο και ασφαλή ενέργεια. Προτεραιότητα δίνεται κυρίως στα κτήρια καθώς η κατανάλωση ενέργειας στις οικίες και στα εμπορικά κτήρια καταλαμβάνει το 40% του ενεργειακού προϋπολογισμού της Ευρώπης. Με δεδομένη την ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας η Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω οδηγιών για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτηρίων τόνισε τη συμβολή των ηλιακών θερμικών εγκαταστάσεων για εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια. Πολύ γρήγορα προωθήθηκαν οι ηλιακές θερμικές εγκαταστάσεις σε πολλές χώρες της Ευρώπης κυρίως για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ενώ σε κάποιες από αυτές συνίσταται υποχρεωτικά στην κατασκευή νέων κτηρίων.

Μελλοντικός στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης αποτελεί η εγκατάσταση ηλιακών θερμικών συστημάτων στο κτηριακό τομέα τόσο για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης όσο και για θέρμανση-ψύξη, καθώς τα συνδυασμένα αυτά συστήματα θα καθιστούν αυτόνομο ενεργειακά το κτήριο.

Στην παρούσα εργασία θα αναλυθεί η τεχνολογία της ηλιακής ψύξης αυτόνομα καθώς στην Ελλάδα παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον η προοπτική ανάπτυξής της. Αυτό προκύπτει λόγω του ότι η ανάγκη ενός κτηρίου για ψύξη έρχεται τους καλοκαιρινούς μήνες όπου η ηλιακή ακτινοβολία προσφέρει ιδανικές ευκαιρίες για χρήση ηλιακά καθοδηγούμενων συστημάτων για ψύξη. Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται το ετήσιο ηλιακό δυναμικό για την Ελλάδα.





Σχήμα 3.1 Ετήσια άμεση ηλιακή ακτινοβολία έτους 2011 με τιμές από 1000 – 2500  $kWh/m^2$   
(Ελληνικό Δίκτυο Ηλιακής Ενέργειας-helionet.gr)

## 3.2 Παθητικά και ενεργητικά ηλιακά συστήματα

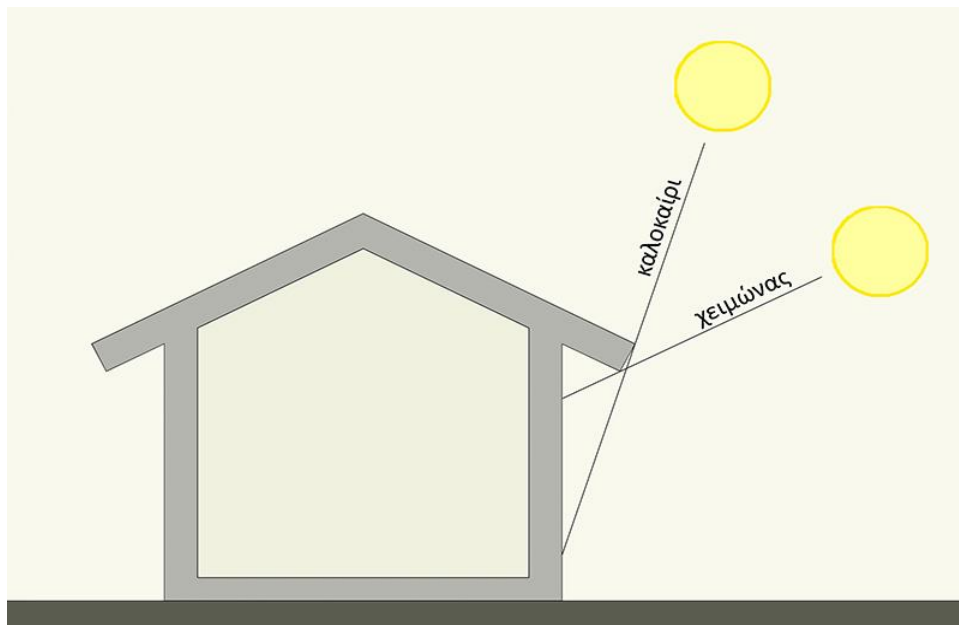
Η επίτευξη της θέρμανσης και της ψύξης κτηρίων μέσω της εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους: χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων και χρήση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων.

### 3.2.1 Παθητικά ηλιακά συστήματα

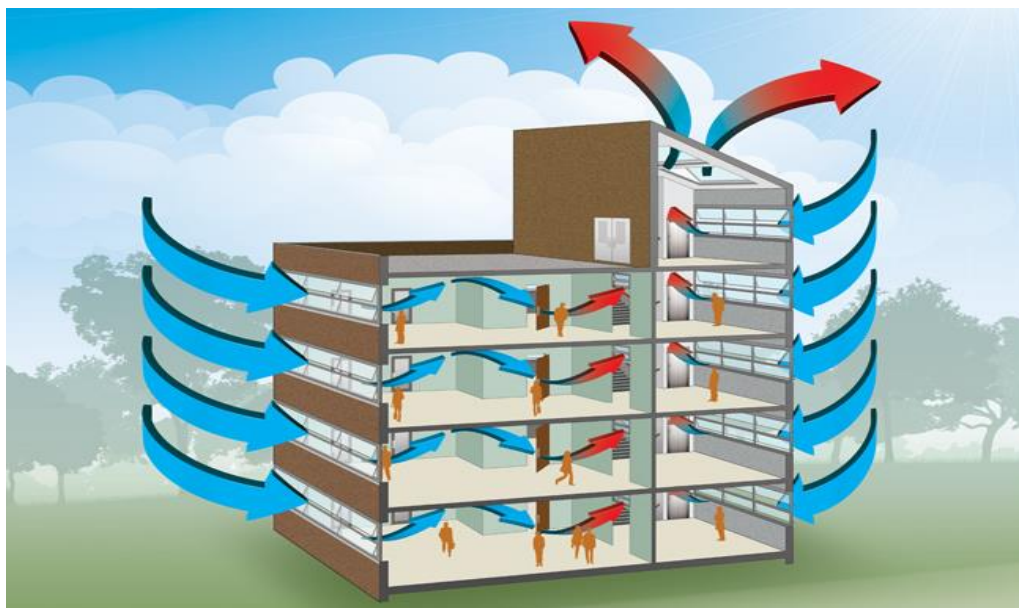
Τα παθητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια τόσο για ψύξη όσο και για θέρμανση χωρίς τη χρήση κάποιου μηχανικού μέσου. Πρακτικά βασίζονται στη φυσική ροή της θερμικής ενέργειας και χρησιμοποιούν κυρίως τα δομικά στοιχεία ενός κτηρίου για την απομάκρυνση ή αποθήκευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Απαραίτητη προϋπόθεση για το σχεδιασμό των παθητικών ηλιακών συστημάτων είναι οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του κτηρίου που θα εφαρμοσθεί. Όσον αφορά τη ψύξη ενός κτηρίου μέσω παθητικών ηλιακών συστημάτων χρησιμοποιείται η

τεχνική του φυσικού δροσισμού. Ο τεχνικός φυσικός δροσισμός πραγματοποιείται κατά βάση μέσω ηλιοπροστασίας και φυσικού εξαερισμού.

- Ηλιοπροστασία καλείται η σκίαση του κτηρίου που επιτυγχάνεται από σκίαστρα μόνιμα ή κινητά τα οποία μπορεί να τοποθετούνται εσωτερικά ή εξωτερικά των ανοιγμάτων. Από υαλοπίνακες οι οποίοι μπορεί να είναι επιστρωμένοι με ειδικές τεχνικές, από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κτηρίου (προεξοχές, στέγαστρα) καθώς και από τη φυσική βλάστηση του κτηρίου. (Σχήμα 3.2)
- Φυσικός εξαερισμός ονομάζεται η τεχνική με την οποία δημιουργείται κίνηση του αέρα εντός του κτηρίου. Προέρχεται από την κατάλληλη σχεδίαση των εσωτερικών τοίχων και της παρουσίας ανοιγμάτων στο κέλυφος του κτηρίου (φεγγίτης, θυρίδες) έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η φυσική ροή του αέρα. (Σχήμα 3.3)



Σχήμα 3.2 Σχεδιασμός εξωτερικής προεξοχής για ηλιοπροστασία το καλοκαίρι και εκμετάλλευση ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας- ΚΑΠΕ).



Σχήμα 3.3 Φυσικός εξαερισμός κτηρίου μέσω εσωτερικών και εξωτερικών ανοιγμάτων (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας- ΚΑΠΕ)

Εκτός από τις τεχνικές της ηλιοπροστασίας και του φυσικού εξαερισμού υπάρχουν και πιο σύνθετες μέθοδοι όπως το φυτεμένο δώμα, η ηλιακή καμινάδα και ο δροσισμός μέσω αγωγής από το κτήριο στη γη. Γενικά όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα εντάσσονται στην κατηγορία του βιοκλιματικού σχεδιασμού που αποτελεί έναν ιδιαίτερα ανερχόμενο κλάδο του ενεργειακού σχεδιασμού των κτηρίων. [37] [26]

### 3.2.2 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Στα ενεργητικά ηλιακά συστήματα η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με χρήση μηχανικού εξοπλισμού με σκοπό τη μετατροπή της σε χρήσιμη θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια. Για τη παραγωγή θερμικής ενέργειας χρησιμοποιούνται οι ηλιακοί συλλέκτες όπως αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 2, ενώ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Συγκεκριμένα για την ηλιακή ψύξη απαιτείται ένας συνδυασμός μηχανικού εξοπλισμού έτσι ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.



### 3.3 Μέθοδοι ηλιακής ψύξης

Η ηλιακή ψύξη μπορεί να επιτευχθεί με δύο βασικούς τρόπους: Με συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω ηλιακών συλλεκτών και αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας για παραγωγή ψύξης και με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων για μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική και μετέπειτα καθοδήγηση ηλεκτροκίνητου μέσου.

Γενικά τα θερμικά καθοδηγούμενα συστήματα ψύξης ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Κλειστά συστήματα: Ονομάζονται οι θερμοκίνητοι ψύκτες οι οποίοι παρέχουν ψυχρό νερό και χρησιμοποιούνται στις κεντρικές κλιματικές μονάδες για παροχή κλιματισμένου αέρα ή μέσω δικτύου ψυχρού νερού στις τοπικές κλιματιστικές μονάδες ενός χώρου. Στα κλειστά συστήματα περιλαμβάνονται οι ψύκτες απορρόφησης που αποτελούν την επιτομή της ηλιακής ψύξης και θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία και οι ψύκτες προσρόφησης.
- Ανοιχτά συστήματα: Τα ανοιχτά συστήματα παρέχουν πλήρη κλιματισμό και απαιτούν την άμεση επαφή του ψυκτικού μέσου (νερό) με τον αέρα. Τέτοια συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα για την ηλιακή ψύξη είναι οι μονάδες ανοικτού κύκλου (desiccant) οι οποίες λειτουργούν με έναν περιστρεφόμενο τροχό αφύγρανσης και με ένα ροφητικό υλικό. Ανάλογα τον τύπο του ροφητικού υλικού χωρίζονται σε στερεού και υγρού τύπου. Τέτοιου είδους συστήματα βρίσκονται σε διαρκή εξέλιξη αλλά δεν είναι τόσο αποδοτικά όσο τα κλειστά συστήματα.

### 3.4 Οφέλη της ηλιακής ψύξης

Δεδομένου ότι η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή τα οφέλη που προκύπτουν από την εκμετάλλευση της για την παραγωγή ψύξης είναι σημαντικά προσδίδοντας στην τεχνολογία της ηλιακής ψύξης ακόμα μεγαλύτερη αξία. Ακολούθως παρατίθενται τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα:

- Χρήση αβλαβών ρευστών όπως το νερό ή διαλύματα αλάτων για τη λειτουργία τους τα οποία είναι φιλικά προς το περιβάλλον με μηδενική εκπομπή ρύπων.
- Χαμηλή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αποδίδοντας αυξάνοντας τον ενεργειακό βαθμό της τεχνολογίας.

- Μειωμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως και 90% σε μεγάλες εφαρμογές.
- Εξομάλυνση του ηλεκτρικού δικτύου κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όπου παρουσιάζονται υψηλές ζητήσεις λόγω της αυξημένης χρήσης συμβατικών κλιματιστικών.
- Εξοικονόμηση χρημάτων σε βάθος χρόνου λόγω μη κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος για τις ανάγκες της ψύξης.
- Σε συνδυασμό με την ηλιακή θέρμανση προσφέρει απεξάρτηση από την κατανάλωση συμβατικών καυσίμων.[37]

## Κεφάλαιο 4: Ψύξη και κύκλος απορρόφησης

### 4.1 Εισαγωγή

Με τον όρο ψύξη καλούμε τη διαδικασία απομάκρυνσης της θερμότητας από ένα μέρος όπου δεν είναι επιθυμητή και μεταφορά αυτής της θερμότητας σ' ένα μέρος όπου δε θα προκληθεί μεταβολή των ιδιοτήτων του. Θερμότητα απομακρύνεται από τα τρόφιμα έτσι ώστε να διατηρηθεί η ποιότητα και η γεύση τους, επίσης θερμότητα μεταφέρεται από τον αέρα ενός δωματίου για την επίτευξη θερμικής άνεσης του ανθρώπου. Γενικά υπάρχουν αναρίθμητες εφαρμογές στη βιομηχανία μεταφοράς θερμότητας από έναν συγκεκριμένο τόπο ή ένα υλικό έτσι ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα της ψύξης. Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 4.1, Σχήμα 4.2, Σχήμα 4.3) παρουσιάζονται κάποιες χαρακτηριστικές εφαρμογές της ψύξης.



Σχήμα 4.1 Ειδικό εργαστηριακό ψυγείο για ψύξη ασκών αίματος (*simsirikis.gr*)



Σχήμα 4.2 Ειδικό ψυγείο για αποθήκευση τροφίμων βιομηχανικής χρήσης ([www.topfrost.gr](http://www.topfrost.gr))



Σχήμα 4.3 Συμβατική κλιματιστική μονάδα για ψύξη χώρου ([daikin.gr](http://daikin.gr))

Η διαδικασία της ψύξης περιγράφεται μέσα από τους ψυκτικούς κύκλους και τα εξαρτήματα τα οποία χρειάζονται για να επιτευχθεί. Ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται η ψύξη υπάρχουν και οι αντίστοιχοι ψυκτικοί κύκλοι. Σύμφωνα με την ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) οι ψυκτικοί κύκλοι χωρίζονται σε ψυκτικούς κύκλους συμπίεσης ατμού και σε ψυκτικούς κύκλους απορρόφησης. Στην παρούσα εργασία κρίνεται σκόπιμο να δοθούν οι βασικές

αρχές των ψυκτικών κύκλων συμπίεσης καθώς και μια εκτενέστερη ανάλυση των ψυκτικών κύκλων απορρόφησης οι οποίοι συνδυάζονται ιδανικά με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών.

## **4.2 Ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμού**

### **4.2.1 Ιστορική αναδρομή**

Η ψύξη με συμπίεση ατμού χρονολογείται από το 1834 όταν δημιουργήθηκε από τον Άγγλο Jacob Perkins μια μηχανή παραγωγής πάγου η οποία ως ψυκτικό μέσο χρησιμοποιούσε πτητικά ρευστά. Μετέπειτα περίπου το 1850 κατασκευάστηκαν μηχανές παραγωγής πάγου με χρήση αιθυλικού αιθέρα ως ψυκτικό ρευστό και χρησιμοποιήθηκαν σε εμπορικά συστήματα παραγωγής ψύξης. Είχαν μεγάλο όγκο και λειτουργούσαν χωρίς τον απαιτούμενο αυτόματο έλεγχο παίρνοντας ενέργεια από μηχανές υδρατμού. Από το 1890 και μετά κατασκευάζονταν ηλεκτροκίνητες μηχανές με αποτέλεσμα την διάδοση των ψυκτικών συστημάτων σε οικιακές και εμπορικές εφαρμογές. Από το 1930 και μετά δημιουργήθηκαν συστήματα ψύξης με συμπίεση ατμών τα οποία ήταν μικρά, αποδοτικά και με μικρό κόστος απόκτησης. [8]

### **4.2.2 Νόμοι της ψύξης**

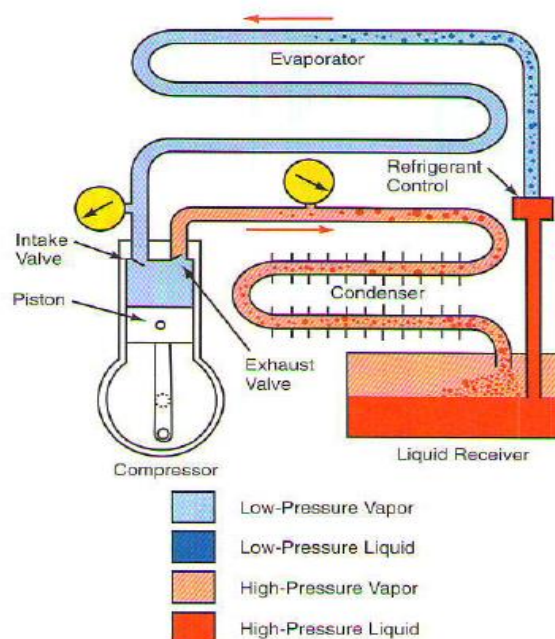
Όλα τα συστήματα ψύξης εξαρτώνται από πέντε θερμικούς νόμους:

1. Τα ρευστά απορροφούν θερμότητα όταν αλλάζουν από την υγρή στην αέρια φάση ενώ αποδίδουν θερμότητα όταν αλλάζουν από αέρια σε υγρή φάση.
2. Η θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται μια αλλαγή της κατάστασης είναι σταθερή κατά τη διάρκειά της, με τη προϋπόθεση ότι η πίεση παραμένει και αυτή σταθερή.
3. Η ροή της θερμότητας πραγματοποιείται μόνο από ένα σώμα το οποίο βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία προς ένα άλλο το οποίο βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία.
4. Τα μεταλλικά τμήματα των μονάδων εξάτμισης και συμπύκνωσης αποτελούνται από μέταλλα με υψηλή θερμική αγωγιμότητα (χαλκός, ορείχαλκος, αλουμίνιο).

5. Η θερμική ενέργεια και άλλες μορφές ενέργειας είναι εναλλάξιμες, δηλαδή μετατροπή θερμικής σε ηλεκτρική, θερμικής σε μηχανική και ηλεκτρική σε θερμική.[26]

#### 4.2.3 Λειτουργία του ιδανικού ψυκτικού κύκλου συμπίεσης

Ο ψυκτικός κύκλος αποτελείται από ένα τμήμα υψηλής πίεσης και ένα τμήμα χαμηλής πίεσης και ακολουθεί τα εξής βήματα: Από μια περιοχή όπου αποθηκεύεται το ψυκτικό υγρό (δεξαμενή αποθήκευσης), ρέει σε υψηλή πίεση μέσα από ένα σημείο ελέγχου (συνήθως βαλβίδα εκτόνωσης) το οποίο αποτελεί σημείο πτώσης πίεσης. Στο σημείο εκείνο το ψυκτικό υγρό, ως κορεσμένο μίγμα χαμηλής ποιότητας, έχει θερμοκρασία μικρότερη του ψυχόμενου χώρου και οδηγείται μέσα στον εξατμιστή, ο οποίος βρίσκεται υπό χαμηλή πίεση, με αποτέλεσμα να εξατμίζεται πλήρως απορροφώντας θερμότητα από το ψυχόμενο χώρο. Ο ατμός πλέον εξέρχεται από τον εξατμιστή και ρέει μέσω μιας βαλβίδας εισαγωγής στον συμπιεστή. Μέσα στο συμπιεστή ο ατμός συμπιέζεται και αυξάνει τη θερμοκρασία του, αρκετά πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, και έπειτα μέσω μιας βαλβίδας εξαγωγής οδηγείται στον συμπυκνωτή ως υπέρθερμος ατμός. Στο συμπυκνωτή ο υπέρθερμος ατμός απορρίπτει τη θερμότητα του προς το περιβάλλον και μετατρέπεται σε υγρό και μετά ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η λειτουργία του ψυκτικού συστήματος.



Σχήμα 4.4 Σχηματική απεικόνιση ψυκτικού συστήματος με ψυκτικό κύκλο μηχανικής συμπίεσης (Andrew D. Atlhous, C. H. (2004). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*)

Ο ψυκτικός κύκλος μηχανικής συμπίεσης χαρακτηρίζεται από τέσσερις θερμοδυναμικές διαδικασίες:

1. Στραγγαλισμός στη βαλβίδα εκτόνωσης.
2. Ισοβαρής απορρόφηση θερμότητας στον εξατμιστή.
3. Ισεντροπική συμπίεση στον συμπιεστή.
4. Ισοβαρής απόρριψη θερμότητας στον συμπυκνωτή.

Η απόδοση του ψυκτικού κύκλου μηχανικής συμπίεσης χαρακτηρίζεται από έναν συντελεστή απόδοσης (*COP*-Coefficient Of Performance). Ο *COP* ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας που απομακρύνεται διαιρεμένη με την απαιτούμενη ενέργεια που πρέπει να εισαχθεί στον κύκλο για να λειτουργήσει και δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$COP = \frac{Q_{evap.}}{W_{net}} \quad (4.1)$$

Όπου:

- $Q_{evap.}$ : το ποσό θερμότητας που απομακρύνεται στον εξατμιστή και
- $W_{net}$ : το έργο που προσδίδεται στον κύκλο

Ένας πραγματικός κύκλος παραγωγής ψύξης με συμπίεση ατμού διαφέρει αρκετά από τον ιδανικό που αναλύθηκε παραπάνω. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των αναντιστρεπτοτήτων που εμφανίζονται σε διάφορα εξαρτήματα και συσκευές. Οι δύο συνηθέστερες αιτίες για την εμφάνιση μιας μη-αντιστρεπτής διεργασίας είναι η τριβή του ρευστού, η οποία προκαλεί τη πτώση πίεσης του, και η μεταφορά θερμότητας από ή προς το περιβάλλον. Παρόλα αυτά ο ιδανικός κύκλος αποτελεί μια ρεαλιστική προσέγγιση των πραγματικών ψυκτικών κύκλων προσφέροντας πληθώρα πληροφοριών.

#### 4.2.4 Ψυκτικό μέσο

Οι σημαντικές παράμετροι που πρέπει να ληφθούν για την επιλογή του ψυκτικού μέσου είναι οι θερμοκρασίες του χώρου που ψύχεται και του περιβάλλοντος με τα οποία το ψυκτικό μέσο ανταλλάσει θερμότητα. Για να υπάρξει μεταφορά θερμότητας με σημαντικό ρυθμό θα πρέπει να διατηρείται μια θερμοκρασιακή διαφορά της τάξεως των 5°C έως 10°C. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου θα πρέπει να είναι σε πολλές εφαρμογές κάτω του μηδενός όταν βρίσκεται στον εξατμιστή ενώ παράλληλα πρέπει να υπάρχει και πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής, για να μην υπάρξει εισροή

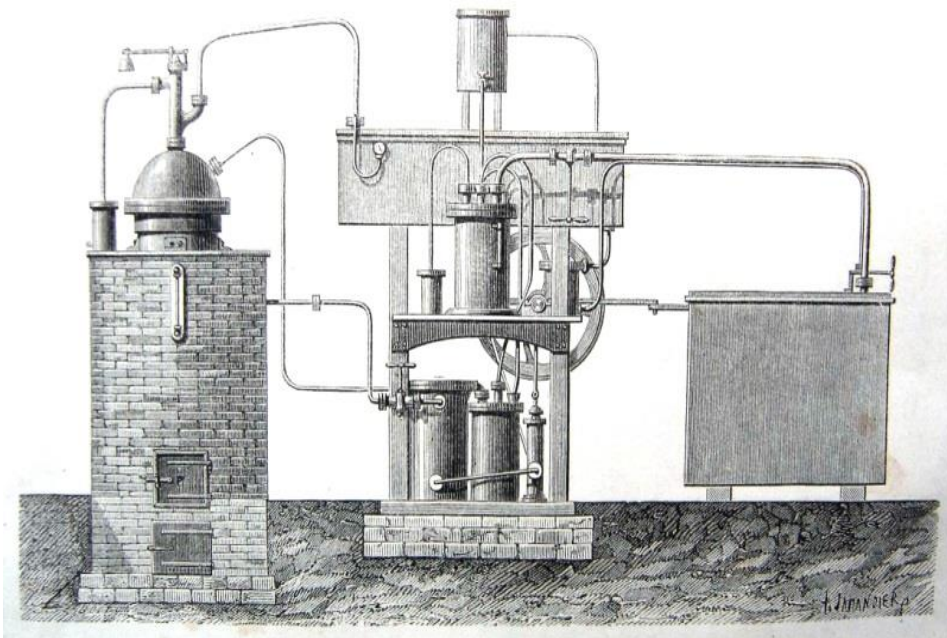
αέρα στον εξατμιστή, δημιουργούν συνθήκες στις οποίες ορισμένα ρευστά μπορούν να ανταπεξέλθουν.

Δύο τέτοια ρευστά τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές ψύξης είναι η αμμωνία και το  $R - 134a$ . Το  $R - 134a$  ανήκει στην οικογένεια των χλωροφθορανθράκων (CFC's) τα οποία καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος των ψυκτικών ρευστών που χρησιμοποιούνται έως σήμερα.

## 4.3 Ψυκτικός κύκλος με απορρόφηση

### 4.3.1 Εισαγωγή

Στις αρχές του 1850 επινοήθηκε ο ψυκτικός κύκλος με απορρόφηση λίγο αργότερα από τον ψυκτικό κύκλο με συμπίεση ατμού. Η πρώτη ψυκτική μηχανή αμμωνίας-νερού ( $NH_3 - H_2O$ ) η οποία στηρίχτηκε πάνω στην απορρόφηση αποτέλεσε μια ευρεσιτεχνία του γάλλου Ferdinand Carre το 1859 (Σχήμα 4.5). Μετέπειτα άρχισαν να διαδίδονται τέτοια συστήματα ψύξης κυρίως σε μεγάλες εμπορικές εφαρμογές.[26]



Σχήμα 4.5 Η πρώτη ψυκτική μηχανή με λειτουργία του κύκλου ψύξης με απορρόφηση του Ferdinand Carre (Hchc2009)



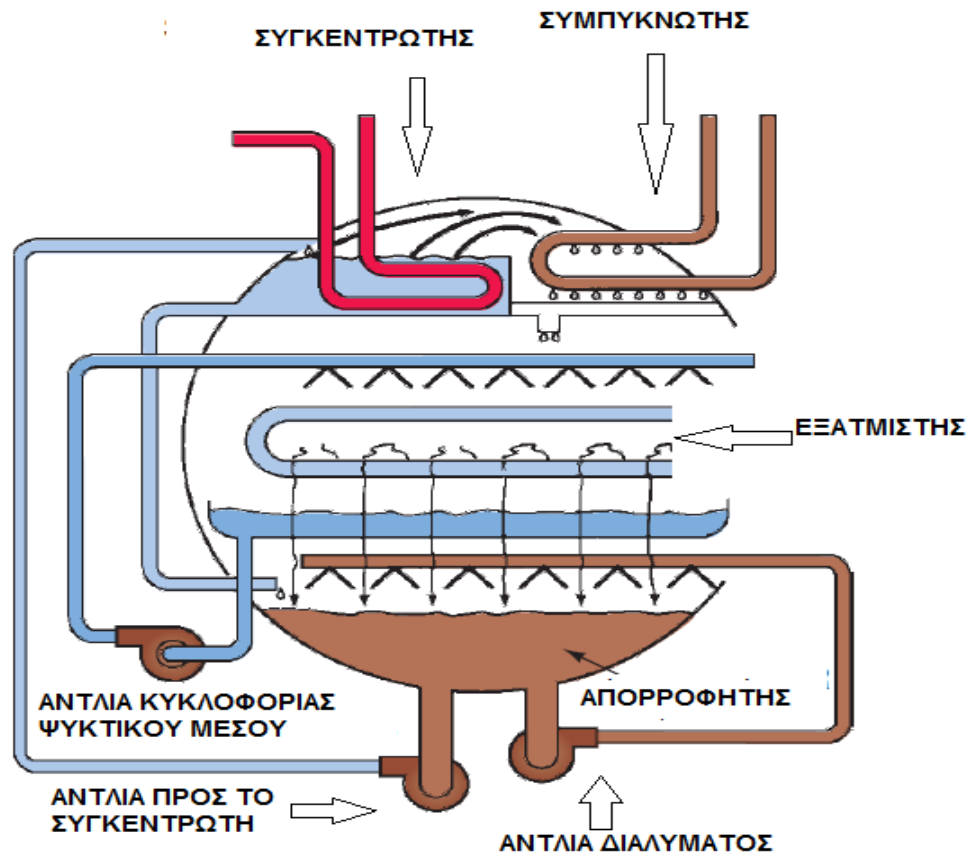
Ο ψυκτικός κύκλος με απορρόφηση είναι θερμοκαθοδηγούμενος χρησιμοποιώντας θερμότητα η οποία μπορεί να προσφερθεί είτε άμεσα από έναν καυστήρα αερίου η άλλου καυσίμου, είτε έμμεσα όταν υπάρχει μια πηγή θερμότητας η οποία να παράγει θερμό νερό όπως οι ηλιακοί συλλέκτες ή ο υπέρθερμος ατμός ενός εργοστασίου αμοπααραγωγής.

Ο κύκλος απαιτεί για τη λειτουργία του δύο εργαζόμενες ουσίες έναν ροφητή και ένα υγρό ψυκτικό. Τα δύο διαδεδομένα διαλύματα είναι αμμωνία-νερό ( $NH_3 - H_2O$ ), όπου η αμμωνία έχει το ρόλο του ψυκτικού και το νερό το ρόλο του ροφητή, και το άλλο είναι βρωμιούχο λίθιο-νερό ( $LiBr - H_2O$ ) όπου το βρωμιούχο λίθιο έχει το ρόλο του ροφητή και το νερό το ρόλο του ψυκτικού μέσου. Και τα δύο αυτά διαλύματα είναι φιλικά προς το περιβάλλον σε αντίθεση με τους χλωροφθοράνθρακες.

Σε ένα ψυκτικό κύκλο απορρόφησης η ιδέα είναι η ίδια με αυτήν ενός ψυκτικού κύκλου μηχανικής συμπίεσης δηλαδή, ένα ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα από ένα μέρος και την αποβάλλει σε ένα άλλο. Η κύρια διαφορά είναι ότι ο κύκλος μηχανικής συμπίεσης απαιτεί τη λειτουργία ενός συμπιεστή για την αύξηση πίεσης του μέσου ενώ ο κύκλος απορρόφησης αντί του συμπιεστή χρησιμοποιεί έναν απορροφητή και ένα συγκεντρωτή -γεννήτρια. Ο συγκεντρωτής είναι αυτός που χρειάζεται την εξωτερική πηγή θερμότητας για να λειτουργήσει ο κύκλος. Στη συνέχεια θα αναλυθεί η λειτουργία του κύκλου και τα επιμέρους εξαρτήματά του.

### 4.3.2 Απορρόφηση μονής επίδρασης με χρήση διαλύματος Li-Br

Μια σχηματική αναπαράσταση ενός απλοποιημένου ψυκτικού κύκλου απορρόφησης ο οποίος χρησιμοποιεί διάλυμα βρωμιούχου λιθίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6.



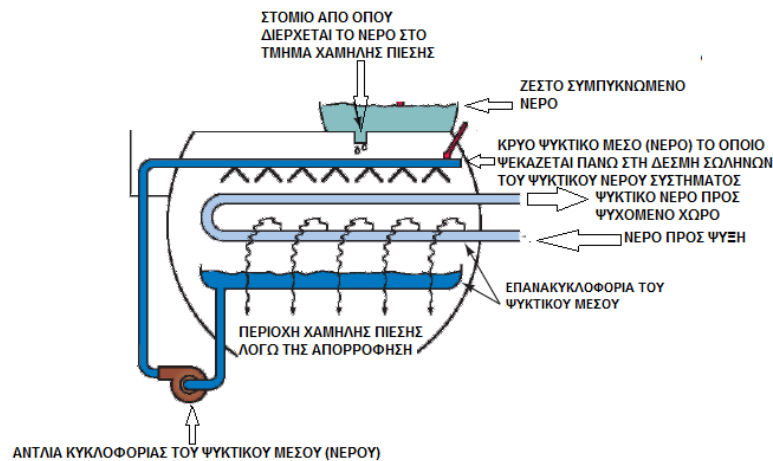
Σχήμα 4.6 Απλοποιημένος ψυκτικός κύκλος με απορρόφηση με χρήση διαλύματος  $\text{LiBr} - \text{H}_2\text{O}$  (Andrew D. Atlhuse, C. H. (2004). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*)

Η λειτουργία του στα επί μέρους εξαρτήματα γίνεται ως εξής:

- Εξατμιστής: Το ψυκτικό μέσο (νερό) μετριέται μέσα στο τμήμα του εξατμιστή μέσω ενός στομίου. Είναι θερμό μέχρις ότου περάσει μέσα από το στόμιο σε μία περιοχή χαμηλής πίεσης, εκεί η πτώση πίεσης προκαλεί και τη μείωση της θερμοκρασίας του. Το ψυκτικό μέσο πέφτει σε μια λεκάνη κάτω από τη δέσμη των σωληνώσεων του εξατμιστή. Μια αντλία κυκλοφορίας κυκλοφορεί το νερό το οποίο ψεκάζεται πάνω από τη δέσμη σωληνώσεων του εξατμιστή. Βρέχει τη δέσμη σωληνώσεων

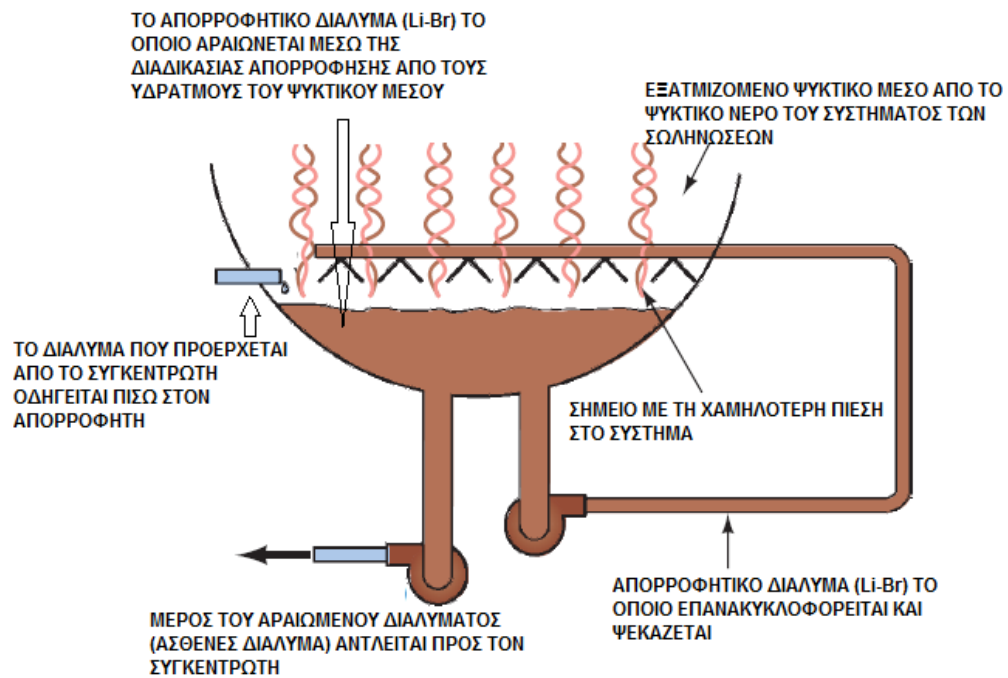
μέσα από την οποία κυκλοφορεί το νερό του συστήματος το οποίο είναι θερμό και εξατμίζει το ψυκτικό υγρό που έχει ψεκαστεί.

Ο εξατμιστής λειτουργεί σε μια πίεση περίπου  $0,122 \text{ psi}$  αρκετά κάτω από την ατμοσφαιρική, ενώ το ψυκτικό νερό που κυκλοφορεί από την αντλία και ψεκάζεται βρίσκεται σε θερμοκρασία  $4,4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Το ψυκτικό νερό που οδηγείται προς τον ψυχόμενο χώρο έχει θερμοκρασία περίπου  $7^\circ\text{C}$  ενώ επιστρέφει στον εξατμιστή στους  $12,5^\circ\text{C}$ . Στο Σχήμα 4.7 παρουσιάζεται το λειτουργικό κομμάτι του εξατμιστή.



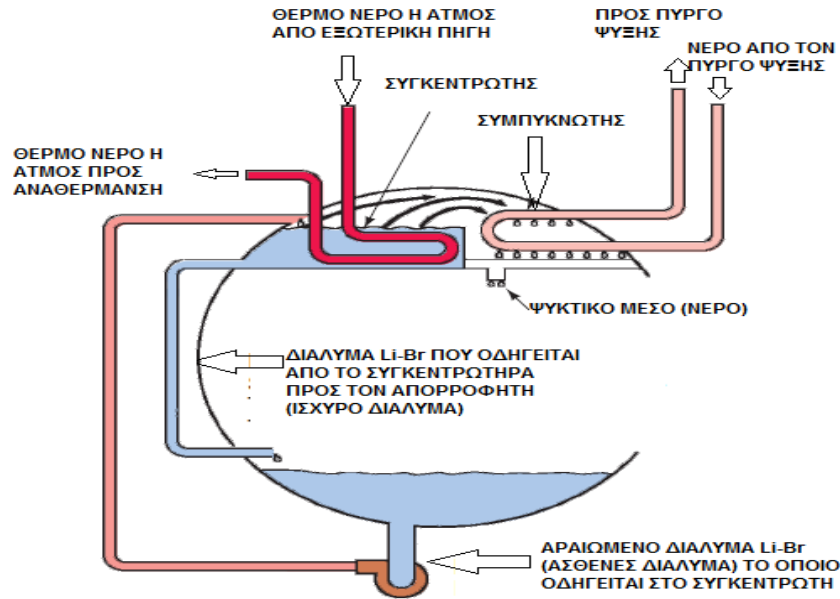
Σχήμα 4.7 Τμήμα εξατμιστή του ψυκτικού κύκλου απορρόφησης (Andrew D. Atthouse, C. H. (2004). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*.)

- Απορροφητής: Το ψεκασμένο διάλυμα βρωμιούχου λιθίου βρίσκεται σε πολύ χαμηλή πίεση και ελκύει τους υδρατμούς του μέσου και τους απορροφά πολύ εύκολα στο διάλυμα. Το διάλυμα επανακυκλοφορεί μέσα από μια αντλία κυκλοφορίας και ψεκάζεται έτσι ώστε να αυξηθεί η επιφάνεια επαφής του με τους υδρατμούς. Καθώς το διάλυμα του βρωμιούχου λιθίου απορροφά τους υδρατμούς αρχίζει και αραιώνει. Εάν ένα μέρος των υδρατμών δεν απομακρυνθούν με κάποιο μέσο τότε το διάλυμα βρωμιούχου λιθίου θα γίνει τόσο αραιό που δεν θα μπορεί πλέον να απορροφά τους υδρατμούς και ο κύκλος θα σταματήσει. Για το λόγο αυτό ένα μέρος του αραιωμένου διαλύματος αντλείται στο συγκεντρωτή. Το διάλυμα αυτό ονομάζεται και ασθενές. Ο απορροφητής βρίσκεται και αυτός σε χαμηλή πίεση ίδια με του απορροφητή στα  $0,122 \text{ psi}$  ενώ το απορροφητικό διάλυμα βρίσκεται περίπου στους  $40^\circ\text{C}$ . Στο Σχήμα 4.8 απεικονίζεται η λειτουργία του απορροφητή.



Σχήμα 4.8 Τμήμα απορροφητή του ψυκτικού κύκλου (Andrew D. Atlhouse, C. H. (2004). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*)

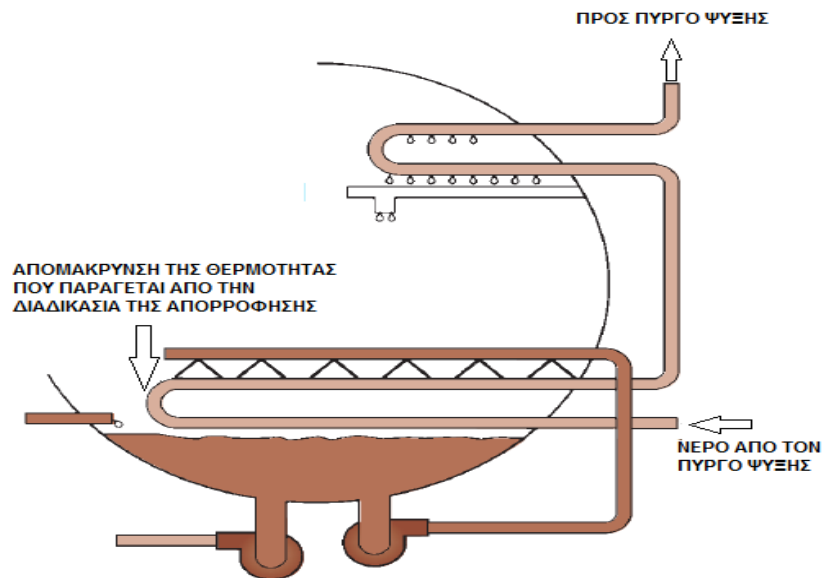
- Συμπυκνωτής/Συγκεντρωτής: Το αραιό διάλυμα (ασθενές διάλυμα) το οποίο αντλείται από τον απορροφητή οδηγείται στο συγκεντρωτή όπου και βράζεται. Αυτή η δράση του βρασμού έχει ως αποτέλεσμα την εξάτμιση του νερού που περιέχεται στο αραιό διάλυμα με σκοπό την απομάκρυνσή του απ' αυτό το οποίο οδηγείται στους σωλήνες του συμπυκνωτή. Οι ατμοί που αποχώρησαν από το συγκεντρωτή, συμπυκνώνονται μέσα στον συμπυκνωτή και μετατρέπονται σε υγρό το οποίο συλλέγεται και οδηγείτε στο στόμιο από όπου θα μετρηθεί και θα εισχωρήσει στην περιοχή χαμηλής πίεσης του εξατμιστή. Το διάλυμα που έχει απομείνει στο συγκεντρωτή (ισχυρό διάλυμα) οδηγείται πίσω στον απορροφητή το οποίο θα αντληθεί και θα επανακυκλοφορήσει έτσι ώστε να ψεκαστεί μέσα στον απορροφητή. Η πηγή θερμότητας στο συγκεντρωτή μπορεί να προέλθει είτε από θερμό νερό είτε από ατμό. Όπως γίνεται αντιληπτό η χρήση ηλιακών συλλεκτών για την παροχή του θερμού νερού στο συγκεντρωτή αποτελεί μια ελκυστική λύση. Ο συμπυκνωτής και ο συκεντρωτής ανήκουν στο τμήμα υψηλής πίεσης και λειτουργούν σε πιέσεις λίγο κατώτερες από την ατμοσφαιρική. Το νερό ή ο ατμός που προέρχονται από εξωτερική πηγή μπορεί να εισέλθουν στο σύστημα σε θερμοκρασία έως 150°C και πίεση έως 22 *psi* αντίστοιχα. Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η λειτουργία του τμήματος του συμπυκνωτή και του συγκεντρωτή.



Σχήμα 4.9 Τμήμα συγκεντρωτή και συμπυκνωτή του ψυκτικού κύκλου (Andrew D. Atlhouse, C. H. (2004). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*)

Στη διάταξη που παρουσιάστηκε στο Σχήμα 4.6 και αναλύθηκε συναντώνται και επιπλέον εξαρτήματα τα οποία αυξάνουν την απόδοση του ψυκτικού κύκλου όπως:

- Εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του πύργου ψύξης και του απορροφητικού διαλύματος ( $LiBr$ ) στον απορροφητή: Σκοπός αυτού του εναλλάκτη θερμότητας είναι να απομακρύνει την θερμότητα που παράγεται όταν οι υδρατμοί του ψυκτικού μέσου απορροφούνται μέσα στο απορροφητικό διάλυμα. ( Σχήμα 4.10 )



Σχήμα 4.10 Εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του πύργου ψύξης και του απορροφητή (Andrew D. Atlhouse, C. H. (2004). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*)

- Εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ασθενούς και του ισχυρού διαλύματος: Η χρήση του συγκεκριμένου εναλλάκτη εξυπηρετεί δύο σκοπούς. Από τη μία γίνεται προθέρμανση του ασθενούς διαλύματος πριν οδηγηθεί στο συγκεντρωτή και από την άλλη πραγματοποιείται πρόψυξη του ισχυρού διαλύματος πριν οδηγηθεί στον απορροφητή, αυξάνοντας το βαθμό απόδοσης του κύκλου. (Σχήμα 4.11)



Σχήμα 4.11 Εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ασθενούς και του ισχυρού διαλύματος (Andrew D. Atihouse, C. H. (2004). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*.)

Ο συγκεκριμένος κύκλος χαρακτηρίζεται από ένα συντελεστή απόδοσης ( $COP$ ) ο οποίος ορίζεται ως το θερμικό φορτίο στον εξατμιστή προς το άθροισμα του θερμικού φορτίου στο συγκεντρωτή και του μηχανικού έργου των αντλιών. Πρακτικά το μηχανικό έργο που προσφέρεται στο σύστημα μέσω των αντλιών είναι πολύ μικρό συγκριτικά με το θερμικό φορτίο που εισέρχεται στο συγκεντρωτή όποτε και παραλείπεται. Ο συντελεστής απόδοσης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$COP = \frac{Q_{ev.}}{Q_{con.}} \quad (4.2)$$

Όπου:

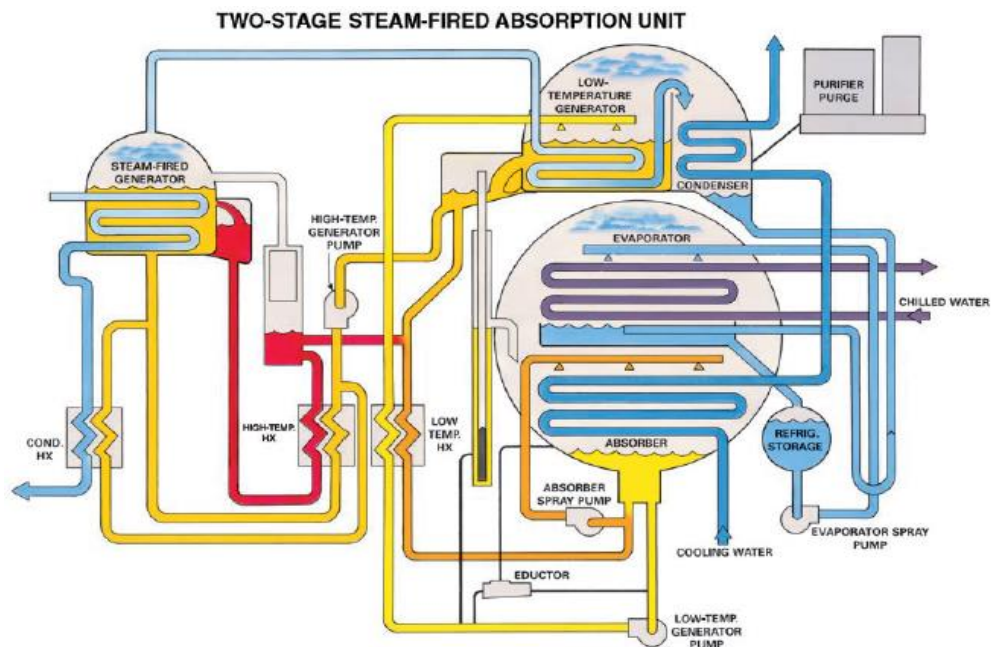
- $Q_{ev.}$ : Το θερμικό φορτίο στον εξατμιστή
- $Q_{con.}$ : Το θερμικό φορτίο στο συγκεντρωτή

Ο συντελεστής απόδοσης σε έναν ψυκτικό κύκλο απορρόφησης με χρήση διαλύματος  $LiBr$  κυμαίνεται από 0,6 έως 0,8.

### 4.3.3 Απορρόφηση διπλής επίδρασης με χρήση διαλύματος Li-Br

Ο ψυκτικός κύκλος απορρόφησης διπλής επίδρασης έχει την ίδια λειτουργία ακριβώς με τον κύκλο μονής επίδρασης, απλώς χρησιμοποιούνται δύο συγκεντρωτές και δύο εναλλάκτες θερμότητας ανάμεσα στα διαλύματα. Ο ένας συγκεντρωτής είναι υψηλής πίεσης και ο άλλος είναι χαμηλής πίεσης. Με τον κύκλο διπλής επίδρασης επιτυγχάνονται μεγαλύτεροι συντελεστές απόδοσης από 1,2 έως 1,4. Ένας τέτοιος κύκλος όμως απαιτεί υψηλότερη εξωτερική θερμότητα στον συγκεντρωτή υψηλής πίεσης για να λειτουργήσει.

Γενικά μπορεί να είναι αποδοτικότερος αλλά έχει μεγαλύτερο κόστος. Στο Σχήμα 4.12 φαίνεται μια αναπαράσταση ενός κύκλου διπλής επίδρασης που χρησιμοποιεί υπέρθερμο ατμό για εξωτερική πηγή θερμότητας.



Σχήμα 4.12 Ψυκτικός κύκλος απορρόφησης διπλής επίδρασης με χρήση υπέρθερμου ατμού για εξωτερική πηγή θερμότητας (Andrew D. Atthouse, C. H. (2004). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*.)

### 4.3.4 Ψυκτικός κύκλος απορρόφησης με χρήση διαλύματος αμμωνίας (NH<sub>3</sub>)

Ο ψυκτικός κύκλος απορρόφησης με χρήση διαλύματος αμμωνίας είναι πολυπλοκότερος από του βρωμιούχου λιθίου και αυτό συμβαίνει διότι απαιτείται η ύπαρξη μίας στήλης ανόρθωσης (ανορθωτής) η οποία θα εξασφαλίζει τη μηδενική παρουσία υδρατμών μέσα στον εξατμιστή. Αυτό είναι απαραίτητο διότι η τάση ατμών του ψυκτικού μέσου (νερό) είναι αρκετά υψηλή και εμφανίζεται σημαντική ποσότητα υγρού στους

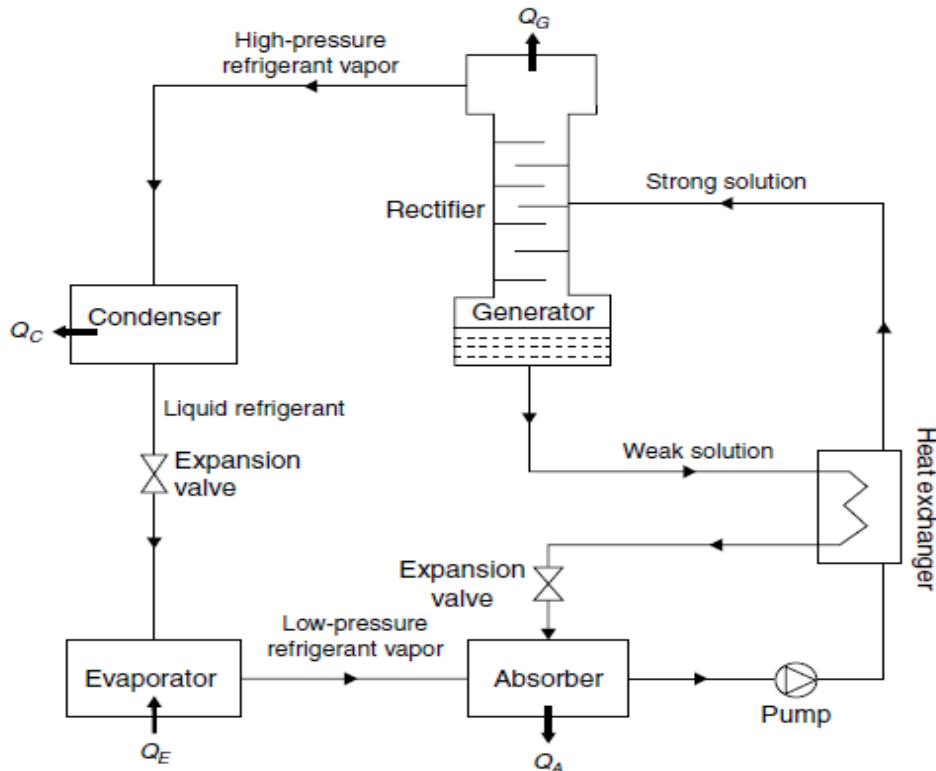
ατμούς της αμμωνίας. Επιπλέον ο κύκλος απαιτεί θερμοκρασίες στη γεννήτρια στο εύρος 125°C – 170°C και αερόψυκτο απορροφητή και συμπυκνωτή ή θερμοκρασίες 80°C – 120°C και χρήση υδρόψυκτου απορροφητή και συμπυκνωτή.

Τα κύρια στοιχεία του κύκλου είναι ο απορροφητής, ο εξατμιστής, ο συγκεντρωτής-γεννήτρια και ο συμπυκνωτής. Βοηθητικός εξοπλισμός θεωρούνται οι βαλβίδες εκτόνωσης, οι εναλλάκτες θερμότητας και ο ανορθωτής. Ο τρόπος λειτουργίας του είναι παρόμοιος με αυτόν του βρωμιούχου λιθίου μόνο που τώρα το ρόλο του απορροφητή αναλαμβάνει το νερό και το ρόλο του ψυκτικού μέσου η αμμωνία.

Συνοπτικά παρουσιάζεται η λειτουργία του κύκλου: Το ασθενές διάλυμα που βρίσκεται σε χαμηλή πίεση αντλείται από τον απορροφητή στο συγκεντρωτή-γεννήτρια οδηγούμενο μέσα από έναν εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος λειτουργεί σε υψηλή πίεση.

Στη γεννήτρια διαχωρίζεται το διάλυμα, μέσω της θερμότητας που προσδίδεται από εξωτερική πηγή, καθώς προκαλείται η εξάτμιση της αμμωνίας όπου στον ανορθωτή καθαρίζει εντελώς από τυχόν υδρατμούς. Η αέρια αμμωνία υψηλής πίεσης που εξέρχεται από τον ανορθωτή περνάει μέσω μιας βαλβίδας εκτόνωσης στο τμήμα του εξατμιστή σε υγρή μορφή με χαμηλή πίεση. Το νερό που βρίσκεται στη γεννήτρια σε υψηλή πίεση επιστρέφει στον απορροφητή μέσω του εναλλάκτη θερμότητας και μιας βαλβίδας εκτόνωσης. Η υγρής μορφής αμμωνία που βρίσκεται σε χαμηλή πίεση χρησιμοποιείται για να ψύξει το χώρο που χρειάζεται να ψυχθεί. Κατά τη διάρκεια της ψύξης η αμμωνία εξατμίζεται και το νερό την απορροφά με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα ισχυρό διάλυμα αμμωνίας μέσα στον απορροφητή το οποίο θα αντληθεί για να οδηγηθεί στο συγκεντρωτή-γεννήτρια και να επαναληφθεί η διαδικασία. Στο Σχήμα 4.13 παρουσιάζεται ο ψυκτικός κύκλος με χρήση διαλύματος αμμωνίας.





Σχήμα 4.13 Ψυκτικός κύκλος απορρόφησης με χρήση διαλύματος αμμωνίας (Solar Energy Engineering- Process and Systems 2009)

Ο συντελεστής απόδοσης ενός τέτοιου κύκλου παίρνει τιμές από 0,6 έως 0,7.

#### 4.3.5 Ο ρόλος των διαλυμάτων στον ψυκτικό κύκλο απορρόφησης

Λίγα διαλύματα μπορούν να λειτουργήσουν κατάλληλα σαν ζεύγη απορροφητικού μέσου-ψυκτικού μέσου και αυτό συμβαίνει διότι πρέπει να εμφανίζουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά για να χρησιμοποιηθούν σε έναν ψυκτικό κύκλο απορρόφησης. Παρατίθενται τα κυριότερα:

- Απουσία στερεάς φάσης: Το ζεύγος απορροφητικού-ψυκτικού μέσου δεν πρέπει να σχηματίζει στερεή κατάσταση κάτω από τις συνθήκες όπου θα εργάζεται γιατί αυτό προκαλεί παύση της ροής και κλείσιμο του εξοπλισμού.
- Λόγος μεταβλητότητας: Το ψυκτικό μέσο πρέπει να είναι περισσότερο ευμετάβλητο έτσι ώστε να μπορεί να γίνει εύκολος διαχωρισμός των δύο μέσων.
- Πίεση: Οι πιέσεις λειτουργίας, οι οποίες καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιότητες του ψυκτικού μέσου, πρέπει να είναι μέσης κατάστασης. Οι ιδιαίτερα

υψηλές πιέσεις απαιτούν μεγάλη ισχύ για την μεταφορά του διαλύματος από το τμήμα χαμηλής πίεσης στο τμήμα υψηλής πίεσης.

- Διάβρωση: Τα απορροφητικά υγρά μπορούν να διαβρώσουν υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στον εξοπλισμό. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η χρήση διαβρωτικών αναστολέων.
- Ασφάλεια: Τα υγρά πρέπει να είναι μη τοξικά και μη εύφλεκτα ιδιαίτερα σε οικιακές εγκαταστάσεις ώστε να αποφεύγονται ατυχήματα.
- Ιδιότητες μεταφοράς: Το ιξώδες και η επιφανειακή τάση είναι σημαντικά χαρακτηριστικά για το ζεύγος απορροφητικού-ψυκτικού μέσου. Ρευστό χαμηλού ιξώδους μειώνει την ισχύ άντλησης δυσχεραίνοντας τη ροή του στον ψυκτικό κύκλο.
- Λανθάνουσα θερμότητα: Η λανθάνουσα θερμότητα του ψυκτικού μέσου πρέπει να είναι ιδιαίτερα υψηλή έτσι ώστε να διατηρείται ένας ελάχιστος ρυθμός κυκλοφορίας απορροφητικού και ψυκτικού υγρού.
- Περιβαλλοντικά: Τόσο το απορροφητικό όσο και το ψυκτικό μέσο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον.

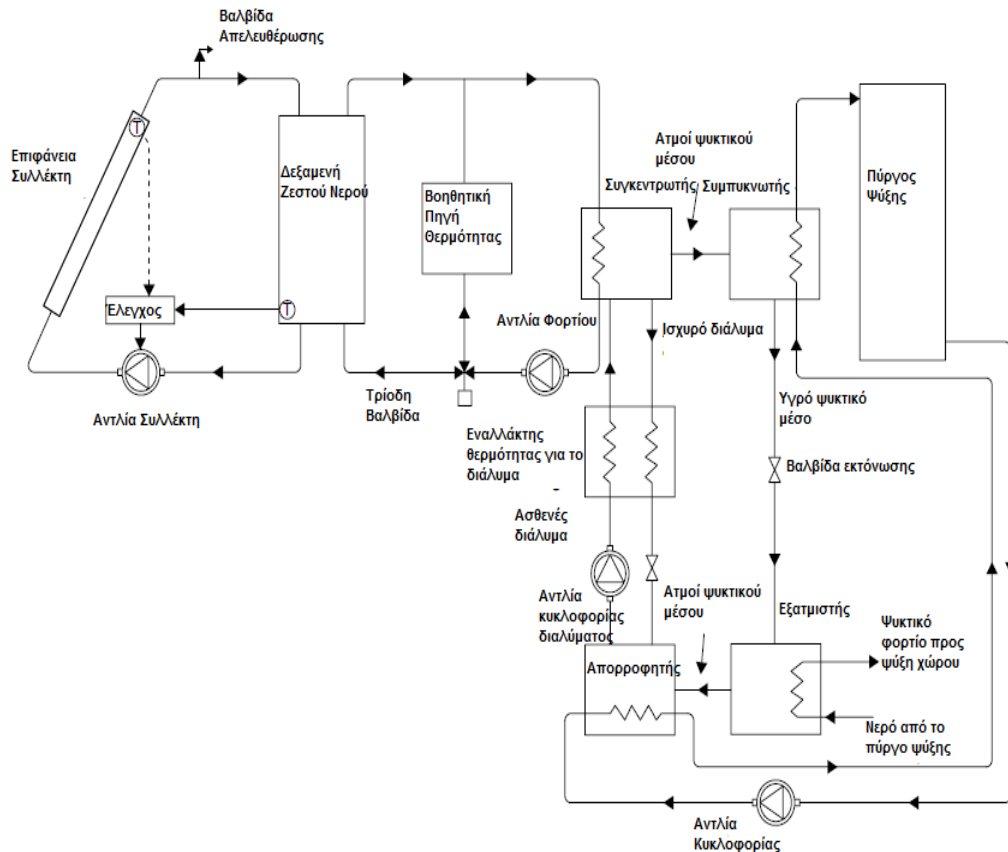
Κανένα ζεύγος απορροφητικού-ψυκτικού μέσου έως τώρα δεν έχει βρεθεί το οποίο να πληροί όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις, ωστόσο τα διαλύματα βρωμιούχο λίθιο-νερό ( $LiBr - H_2O$ ) και αμμωνία-νερό ( $NH_3 - H_2O$ ) εμφανίζουν εξαιρετικές θερμοδυναμικές ιδιότητες με ελάχιστες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η αμμωνία πληροί τις περισσότερες προϋποθέσεις αλλά λόγω του χαμηλού λόγου μεταβλητότητάς της, απαιτεί υψηλές πιέσεις λειτουργίας και δεν ενδείκνυται για εσωτερικές εγκαταστάσεις. Από την άλλη το βρωμιούχο λίθιο εμφανίζει υψηλούς λόγους μεταβλητότητας, υψηλή λανθάνουσα θερμότητα και υψηλή ασφάλεια. Ωστόσο όμως το ζεύγος  $LiBr - H_2O$  τείνει να σχηματίζει στερεά μέσα στον κύκλο καθώς το ψυκτικό μέσο (νερό) παγώνει στους  $0^\circ C$  με αποτέλεσμα να μη μπορεί να λειτουργεί ο κύκλος για εφαρμογές που απαιτούν ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες. Επιπλέον το  $LiBr$  δημιουργεί κρυστάλλους σε μέσες συγκεντρώσεις ιδιαίτερα εάν χρησιμοποιείται αερόψυκτος απορροφητής αν και υπάρχει ένας συνδυασμός και άλλων αλάτων ο οποίος περιορίζει στο μέγιστο βαθμό την κρυσταλλοποίηση.

#### 4.4 Ηλιακός συλλέκτης ως εξωτερική πηγή θερμότητας σε έναν ψυκτικό κύκλο απορρόφησης

Η χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών είναι συνήθης για την παραγωγή θέρμανσης ενός χώρου, ωστόσο ένας καλής ποιότητας επίπεδος συλλέκτης με επιλεκτική επιφάνεια μπορεί να πετύχει θερμοκρασίες ικανές για τη λειτουργία ενός συστήματος ψύξης που στηρίζεται στην απορρόφηση με διάλυμα  $LiBr$ . Μια επιπλέον λύση είναι η χρήση ηλιακών συλλεκτών με σωλήνες κενού οι οποίοι πετυχαίνουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες από τους επίπεδους και μπορούν να λειτουργήσουν σε σύστημα απορρόφησης διαλύματος  $NH_3$ .

Μια σχηματική αναπαράσταση παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.14. Η όλη διαδικασία λειτουργίας του συστήματος είναι αντίστοιχη με αυτή που αναφέρθηκε στην ενότητα 4.2.3 απλώς η πηγή θερμότητας στο συγκεντρωτή-γεννήτρια προέρχεται από ηλιακό συλλέκτη. Δεδομένου ότι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο συλλέκτη είναι διακοπτόμενη στο σύστημα είναι χρήσιμη η τοποθέτηση μιας δεξαμενής αποθήκευσης του θερμού νερού η οποία θα τροφοδοτεί το συγκεντρωτή με το ζεστό νερό όταν αυτό δεν θα μπορεί να παραχθεί άμεσα από τον ηλιακό συλλέκτη. Αυτό συμβαίνει κυρίως όταν υπάρχει ανάγκη για ψύξη τις βραδινές ώρες. Πολλές φορές χρησιμοποιείται και μια βοηθητική πηγή θέρμανσης με σκοπό τη θέρμανση του νερού όταν η θερμοκρασία του μέσα στη δεξαμενή αποθήκευσης είναι χαμηλή.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία στην οποία πρέπει να φθάνει το νερό στο συγκεντρωτή είναι  $70^{\circ}C - 95^{\circ}C$  για έναν κύκλο απορρόφησης  $LiBr$ . Το ελάχιστο θερμοκρασιακό όριο απαιτείται έτσι να εξατμίσει το νερό από το ασθενές διάλυμα στο συγκεντρωτή ενώ το μέγιστο για να αποφευχθεί η κρυσταλλοποίηση του  $LiBr$  καθώς θα οδηγηθεί στον απορροφητή. Επειδή σε έναν ψυκτικό κύκλο με απορρόφηση η θερμότητα αποβάλλεται από τον απορροφητή και από τον συμπυκνωτή είναι απαραίτητη η χρήση ενός πύργου ψύξης που θα τα τροφοδοτεί το σύστημα με νερό περίπου στους  $29^{\circ}C$ . Στον απορροφητή απαιτείται μικρότερη θερμοκρασία και για το λόγο αυτό η σύνδεση γίνεται πρώτα σ' αυτόν και έπειτα στον συμπυκνωτή.



Σχήμα 4.14 Ψυκτικός κύκλος απορρόφησης με χρήση ηλιακού συλλέκτη (Solar Energy Engineering- Process and Systems 2009)

Πέρα από τη βασική αυτή διάταξη υπάρχουν και εναλλακτικοί τρόποι για την επίτευξη ηλιακής ψύξης οι οποίοι εφαρμόζονται κατά περιπτώσεις. Μια διάταξη είναι η απευθείας σύνδεση του ηλιακού συλλέκτη με το συγκεντρωτή παρακάμπτοντας την δεξαμενή αποθήκευσης και τη βοηθητική πηγή, ωστόσο εμφανίζει αρκετά προβλήματα λόγω της μη συνεχόμενης παροχής θερμότητας από τον ηλιακό συλλέκτη λόγω της διακοπτόμενης πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον μια διάταξη που μπορεί να λειτουργήσει είναι η αποθήκευση του ψυκτικού ρευστού προς χρήση που έχει παραχθεί από το σύστημα σε μία δεξαμενή και μετέπειτα να τροφοδοτείται ο χώρος από εκεί. Μειονέκτημα όμως εμφανίζεται και στη διάταξη αυτή, διότι η διατήρηση της χαμηλής θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου προς χρήση μέσα στη δεξαμενή δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική. Το σύστημα που εικονίζεται στο Σχήμα 4.14 είναι αυτό που ευρέως χρησιμοποιείται στην ηλιακή ψύξη κυρίως σε μικρής κλίμακας εφαρμογές.

# Κεφάλαιο 5: Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων

## 5.1 Εισαγωγή

Η εισαγωγή στον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων ενός κτιρίου ξεκινά με τη διάκριση των παρακάτω εννοιών:

- Θερμικό κέρδος χώρου
- Ψυκτικό φορτίο χώρου
- Ρυθμός απομάκρυνσης θερμότητας χώρου
- Φορτίο ψυκτικού στοιχείου

### 5.1.1 Θερμικό κέρδος χώρου

Θερμικό κέρδος χώρου είναι ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα εισρέει ή προκαλείται σε ένα χώρο μια δεδομένη χρονική στιγμή. Το θερμικό κέρδος χαρακτηρίζεται από το είδος θερμότητας με το οποίο μπαίνει στο χώρο και από το αν είναι αισθητή ή λανθάνουσα θερμότητα.

Τα είδη της θερμότητας που προσφέρουν θερμικό κέρδος είναι:

1. Ηλιακή ακτινοβολία από διαφανείς επιφάνειες
2. Αγωγή θερμότητας από εξωτερικούς τοίχους και οροφές
3. Αγωγή θερμότητας από εσωτερικά χωρίσματα, δάπεδα και οροφές
4. Θερμότητα που παράγεται μέσα στο χώρο από κατοίκους, φώτα και συσκευές
5. Μεταφορά θερμότητας από ανανέωση και διείσδυση εξωτερικού αέρα
6. Διάφορα άλλα θερμικά κέρδη

Πρέπει να τονιστεί ότι, η αισθητή θερμότητα προστίθεται άμεσα στο χώρο με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία ενώ η λανθάνουσα προστίθεται μόνο όταν στο χώρο εισάγεται υδρατμός από τους κατοίκους, από συσκευές ή από τον αέρα.

### **5.1.2 Ψυκτικό φορτίο χώρου**

Ψυκτικό φορτίο χώρου καλείται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα πρέπει να απάγεται από το χώρο για να διατηρείται μια σταθερή θερμοκρασία σε αυτόν. Σπάνια συναντάται η περίπτωση όπου το ψυκτικό φορτίο χώρου σε μία χρονική στιγμή ισούται με το άθροισμα των θερμικών κερδών του χώρου για την ίδια χρονική στιγμή. Αυτό συμβαίνει διότι το θερμικό κέρδος που προέρχεται από ακτινοβολία δεν μετατρέπεται άμεσα σε ψυκτικό φορτίο αλλά πρέπει πρώτα να απορροφηθεί από τις επιφάνειες και τα αντικείμενα του χώρου. Όταν η θερμοκρασία αυτών των στοιχείων ξεπεράσει την θερμοκρασία του αέρα τότε πραγματοποιείται μεταφορά θερμότητας από τα στοιχεία στον αέρα μέσω συναγωγής. Αυτός είναι ο λόγος όπου υπάρχει ετεροχρονισμός ανάμεσα στο μέγιστο θερμικό κέρδος και το μέγιστο ψυκτικό φορτίο. Ο ετεροχρονισμός αυτός καλείται και αποθήκευση θερμότητας χώρου και εξαρτάται από τις θερμοχωρητικότητες των επιμέρους στοιχείων.

### **5.1.3 Ρυθμός απομάκρυνσης θερμότητας χώρου**

Ο ρυθμός απομάκρυνσης θερμότητας χώρου είναι ίσος με το ψυκτικό φορτίο μόνο σε περίπτωση που η θερμοκρασία του χώρου παραμένει σταθερή. Αυτό συμβαίνει για πολύ μικρά διαστήματα μέσα στην καθημερινή λειτουργία καθώς ο έλεγχος της ψυκτικής διάταξης αφήνει ένα μικρό περιθώριο τιμών γύρω από την επιθυμητή θερμοκρασία.

### **5.1.4 Φορτίο ψυκτικού στοιχείου**

Ως φορτίο ψυκτικού στοιχείου ονομάζεται ο ρυθμός με τον οποίο η θερμότητα απάγεται στο ψυκτικό στοιχείο. Σε διατάξεις που εξυπηρετούν πολλούς χώρους, ο ρυθμός αυτός ισούται με το άθροισμα όλων των στιγμιαίων θερμικών κερδών των διάφορων χώρων συν οποιαδήποτε εξωτερικά φορτία (πχ. νωπός αέρας).

## 5.2 Μέθοδοι υπολογισμού ψυκτικών φορτίων

Σύμφωνα με την ASHRAE ορίζονται κάποιες μέθοδοι υπολογισμού ψυκτικών φορτίων οι οποίες στηρίζονται σε εξισώσεις θερμικής ισορροπίας ανάμεσα στα στοιχεία που συνθέτουν ένα χώρο αλλά και στις πηγές θερμότητας. Αυτές είναι:

1. Μέθοδος Ολικής Ισοδύναμου Θερμοκρασιακής Διαφοράς (Total Equivalent Temperature Differential Method-TETD): Σ' αυτήν τη μέθοδο υπολογίζεται το άθροισμα των θερμικών κερδών δηλαδή ένα στιγμιαίο συνολικό κέρδος. Με χρήση της τεχνικής χρονικού μέσου όρου, που λαμβάνεται ο μέσος όρος τιμών προηγούμενων ωρών του θερμικού κέρδους από ακτινοβολία, το στιγμιαίο συνολικό κέρδος μετατρέπεται σε ψυκτικό φορτίο. Μαζί με τη CLTD αποτελούν τις πρώτες υπολογιστικές μεθόδους οι οποίες ήταν πιο κοντά σε υπολογισμούς με το χέρι.
2. Μέθοδος Θερμοκρασιακής Διαφοράς Ψυκτικού Φορτίου (Cooling Load Temperature Difference-CLTD): Η μέθοδος αυτή στηρίζεται σε απλούς υπολογισμούς οι οποίοι μπορούν να πραγματοποιηθούν και στο χέρι. Πρακτικά επιλέγεται μία συγκεκριμένη μέρα και για κάθε ώρα αυτής υπολογίζονται τα ψυκτικά φορτία μέσω εξισώσεων μετάδοσης θερμότητας.
3. Μέθοδος Συνάρτησης Μεταφοράς ( Transfer Function Method-TFM): Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί τεχνικές αριθμητικής ανάλυσης για ωριαίους υπολογισμούς αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την ακρίβεια των υπολογισμών. Επιπλέον λαμβάνει υπόψη διάφορες καθοριστικές παραμέτρους για την ανάλυση όπως η ανακυκλοφορία του αέρα στο χώρο, οι ώρες λειτουργίας (χρονοπρογράμματα) και η θερμική αδράνεια των στοιχείων. Πλέον θεωρείται η πιο αξιόπιστη μέθοδος πάνω στην οποία έχουν στηριχθεί πολλά λογισμικά για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων.

Δεδομένου ότι ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων θα πραγματοποιηθεί με τη χρήση του λογισμικού KlimaCad της εταιρείας TiSoft το οποίο στηρίζεται πάνω στη μέθοδο TFM της ASHRAE κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί το θεωρητικό υπόβαθρο του λογισμικού μέσω των εξισώσεων που διέπουν τη μέθοδο αυτή.

### 5.3 Μέθοδος Συνάρτησης Μεταφοράς (Transfer Function Method-TFM)

Πρώτα πραγματοποιούνται όλοι οι υπολογισμοί των διαφόρων συνιστωσών του θερμικού κέρδους και στη συνέχεια γίνεται ο μετασχηματισμός, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους οι οποίες καθορίζουν τη θερμική αδράνεια του χώρου, σε ψυκτικό φορτίο.

Αρχικά πρέπει να ορισθεί η έννοια της Ισοδύναμης Θερμοκρασίας Ηλίου-Αέρα (Sol-Air Temperature) η οποία υπεισέρχεται στους υπολογισμούς του θερμικού κέρδους από το εξωτερικό περίβλημα (εξωτερικοί τοίχοι και οροφές). Στην περίπτωση ενός δομικού στοιχείου το οποίο «διεγείρεται» εξωτερικά από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και την θερμοκρασιακή κατάσταση του εξωτερικού αέρα η εισερχόμενη θερμορορή στην εξωτερική επιφάνεια θα είναι:

$$q = \alpha I_t + h_o(t_o - t_s) - \varepsilon \delta R (W/m^2) \quad (5.1)$$

Όπου:

- $\alpha$ : Απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας της εξωτερικής επιφάνειας
- $I_t$ : Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια ( $W/m^2$ )
- $h_o$ : Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή και θερμική ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια ( $W/m^2K$ )
- $t_s$ : Θερμοκρασία αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος (*Kelvin*)
- $\varepsilon$ : Συντελεστής ημισφαιρικής εκπομπής εξωτερικής επιφάνειας
- $\delta R$ : Διαφορά μεταξύ προσπίπτουσας θερμικής ακτινοβολίας στην επιφάνεια από τον ουρανό και το περιβάλλον από την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία από το μέλαν σώμα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $W/m^2$ )

Σαν Ισοδύναμη Θερμοκρασία Ηλίου-Αέρα  $t_e$  (Sol-Air Temperature) ορίζεται εκείνη η λογιστική θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα η οποία θα έδινε την ίδια εισερχόμενη θερμορορή στην εξωτερική επιφάνεια απουσία της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμικής εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, οπότε ισχύει:

$$q = h_o(t_e - t_s) (W/m^2) \quad (5.2)$$

Εξισώνοντας τις σχέσεις (5.1) και (5.2) προκύπτει

$$t_e = t_o + \left(\frac{\alpha}{h_o}\right) I_t - \left(\frac{\varepsilon}{h_o}\right) \delta R (Kelvin) \quad (5.3)$$



Ο λόγος  $a/h_o$  τυπικά λαμβάνει τιμές:

- 0,052 για τις σκουρόχρωμες επιφάνειες
- 0,026 για τις ανοιχτόχρωμες επιφάνειες.

Επομένως η θερμική συμπεριφορά του δομικού στοιχείου αντιμετωπίζεται πλέον λαμβάνοντας υπόψη ότι η θερμική «διέγερση» του είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ισοδύναμης θερμοκρασίας ηλίου-αέρα και της θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου.

### 5.3.1 Θερμικό κέρδος από εξωτερικούς τοίχους και οροφές

Για τον υπολογισμό του θερμικού κέρδους από εξωτερικά δομικά στοιχεία χρησιμοποιείται η μέθοδος αριθμητικής ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων. Η τεχνική αυτή επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό σε κάθε σημείο του δομικού στοιχείου για κάθε χρονική στιγμή του θερμοκρασιακού πεδίου και του εισερχόμενου στον κλιματιζόμενο χώρο θερμικού κέρδους. Το θερμικό κέρδος προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$q_{e,\theta} = A \cdot \left[ \sum_{n=0} b_n (t_{e,\theta-n\delta}) - \sum_{n=1} d_n \left( \frac{q_{e,\theta-n\delta}}{A} \right) - t_{rc} \cdot \sum_{n=0} c_n \right] \quad (5.4)$$

Όπου:

- $q_{e,\theta}$ : θερμικό κέρδος από τοίχους ή οροφές, για τη ώρα υπολογισμού  $\theta$  (W)
- $A$ : εσωτερική επιφάνεια του τοίχου ή της οροφής ( $m^2$ )
- $\theta$ : χρόνος (s)
- $\delta$ : χρονικό διάστημα (s)
- $n$ : δείκτης αθροίσματος (κάθε άθροισμα έχει τόσους όρους ανάλογα με το πόσες μη αμελητέες τιμές των συντελεστών υπάρχουν)
- $t_{e,\theta-n\delta}$ : ισοδύναμη θερμοκρασία ηλίου-αέρα στο χρόνο  $\theta - n\delta$  (°C)
- $t_{rc}$ : σταθερή εσωτερική θερμοκρασία του δωματίου (°C)
- $b_n, c_n, d_n$ : συντελεστές μεταφοράς θερμότητας με αγωγή

Όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τους υπολογισμούς όπως η ισοδύναμη θερμοκρασία ηλίου-αέρα και οι συντελεστές μεταφοράς λαμβάνονται από γεννήτριες κλιματολογικών δεδομένων.

### 5.3.2 Θερμικό κέρδος από υαλοπίνακες

Το θερμικό κέρδος από υαλοπίνακες έχει δύο συνιστώσες: η μία οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται και η άλλη οφείλεται στη θερμική αγωγιμότητα κάθε φορά που υπάρχει μεταβολή θερμοκρασίας εσωτερικά και εξωτερικά στον υαλοπίνακα.

Λόγω ακτινοβολίας το θερμικό κέρδος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$q_s = A_g \cdot SC \cdot SHGF(W) \quad (5.5)$$

Όπου :

- $A_g$ : επιφάνεια υαλοπίνακα ( $m^2$ )
- $SC$ : συντελεστής σκίασης
- $SHGF$ : παράγοντας ηλιακού θερμικού κέρδους, ποικίλει ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος, τον προσανατολισμό, την ώρα και το μήνα (λαμβάνεται από τη γεννήτρια κλιματολογικών δεδομένων).

Στην περίπτωση της εξωτερικής σκίασης από προβόλους, εκείνη η επιφάνεια του υαλοπίνακα που σκιάζεται υπολογίζεται λαμβάνοντας παράγοντα ηλιακού θερμικού κέρδους τον αντίστοιχο του βόρειου προσανατολισμού ενώ η υπόλοιπη υπολογίζεται κανονικά.

Λόγω θερμικής αγωγιμότητας το θερμικό κέρδος δίνεται από τη σχέση:

$$q = U \cdot A_g \cdot (t_o - t_i)(W) \quad (5.6)$$

Όπου:

- $A_g$ : επιφάνεια υαλοπίνακα ( $m^2$ )
- $U$ : διορθωμένος συντελεστής ολικής θερμικής διαπερατότητας παραθύρου ανάλογα με το είδος του περιβλήματος (μεταλλικό, ξύλινο κλπ.)
- $t_o$ : θερμοκρασία εξωτερικού αέρα ( $^{\circ}C$ )
- $t_i$ : θερμοκρασία εσωτερικού αέρα ( $^{\circ}C$ )

### 5.3.3 Θερμικό κέρδος από άτομα

Το θερμικό κέρδος από τα άτομα διακρίνεται σε αισθητό και λανθάνον. Το λανθάνον θερμικό φορτίο αποδίδεται στιγμιαία ως φορτίο ενώ το αισθητό με μια χρονική υστέρηση.

Το αισθητό φορτίο δίνεται από τη σχέση:

$$q_{sensible} = N(SHG_P) \quad (W) \quad (5.7)$$

Όπου:

- $N$ : ο αριθμός των ατόμων σε ένα χώρο
- $SHG_P$ : αισθητό θερμικό κέρδος ανά άτομο ( $W/άτομο$ )

Το λανθάνον φορτίο δίνεται από τη σχέση:

$$q_{latent} = N(LHG_P) \quad (W) \quad (5.8)$$

Όπου:

- $N$ : ο αριθμός των ατόμων σε ένα χώρο
- $LHG_P$ : λανθάνον θερμικό κέρδος ανά άτομο ( $W/άτομο$ )

Σύμφωνα με την ASHRAE δίνεται πίνακας όπου προκύπτει το αισθητό και το λανθάνον φορτίο των ατόμων ανάλογα με τη δραστηριότητά τους μέσα σε έναν χώρο.

#### 5.3.4 Θερμικό κέρδος φωτισμού και συσκευών

Η θερμότητα που προέρχεται από τον φωτισμό αποτελεί ένα σημαντικό φορτίο στον υπολογισμό. Το αισθητό κέρδος φωτισμού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$q_{el} = W \cdot f_{ul} \cdot f_{sa} \quad (W) \quad (5.9)$$

Όπου:

- $W$ : εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς ( $W$ )
- $f_{ul}$ : συντελεστής χρήσης με τιμές από 0 έως 1. Οι τιμές αυτές έχουν καθορισθεί από χρονοπρογράμματα για τον φωτισμό από το χρήστη ή έχουν επιλεγθεί αυτόματα ανάλογα το χώρο.
- $f_{sa}$ : εξαρτάται από το είδος του φωτιστικού. Για φωτιστικά φθορισμού  $f_{sa} = 1.2$ , ενώ για λαμπτήρες πυρακτώσεως  $f_{sa} = 1.1$

Το θερμικό κέρδος που προέρχεται από τις συσκευές αποδίδεται και αυτό ως αισθητό και δίνεται από τη σχέση:

$$q_p = P \cdot E_F \quad (W) \quad (5.10)$$

Όπου:

- $P$ : ονομαστική ισχύς των συσκευών ( $W$ )
- $E_F$ : παράγοντας απόδοσης

### 5.3.5 Θερμικό φορτίο αερισμού

Αερισμός μπορεί να προκύψει από διείσδυση αέρα λόγω χαραμάδων και λόγω του συστήματος κλιματισμού (τεχνητός αερισμός). Το αισθητό και το λανθάνον θερμικό κέρδος δίνονται αντίστοιχα από τις παρακάτω σχέσεις:

$$q_{sen.} = m_a c_p (t_o - t_i) \quad (W) \quad (5.11)$$

$$q_{lat.} = m_a (w_o - w_i) h_{fg} \quad (W) \quad (5.12)$$

Όπου:

- $m_a$ : ροή μάζας του αέρα ( $kg/s$ )
- $c_p$ : ειδική θερμότητα του αέρα ( $J/kgK$ )
- $t_o - t_i$ : διαφορά θερμοκρασίας εισερχόμενου και εσωτερικού αέρα ( $^{\circ}C$ )
- $w_o - w_i$ : διαφορά λόγου υγρασίας εισερχόμενου και εσωτερικού αέρα ( $\frac{kg_{H_2O}}{kg_{dry\ air}}$ )
- $h_{fg}$ : ενθαλπία εξάτμισης ( $J / kg_{dry\ air}K$ )

### 5.3.6 Υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου

Το αισθητό ψυκτικό φορτίο δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{\theta} = Q_{rf} + Q_{sc} \quad (W) \quad (5.13)$$

με

$$Q_{rf} = \sum_{i=1}^n (v_o q_{\theta,i} + v_1 q_{\theta,i-\delta} + v_2 q_{\theta,i-2\delta} + \dots) - (w_1 Q_{\theta-\delta} + w_2 Q_{\theta-2\delta} + \dots) \quad (5.14)$$

$$Q_{sc} = \sum_{j=1}^n (q_{c,j}) \quad (5.15)$$

Όπου:

- $Q_{rf}$ : αισθητό ψυκτικό φορτίο από αγωγή και ακτινοβολία
- $v, w$ : συντελεστές μεταφοράς θερμότητας χώρου
- $q_{\theta}$ : στοιχεία μεταφοράς θερμότητας μέσω ακτινοβολίας
- $\delta$ : χρονικό βήμα ( $1h$ )
- $Q_{sc}$ : αισθητό ψυκτικό φορτίο από συναγωγή
- $q_c$ : στοιχεία μεταφοράς θερμότητας μέσω συναγωγής

Το λανθάνον ψυκτικό φορτίο δίνεται από τη σχέση:

$$Q_l = \sum_{n=1} (q_{c,n}) \quad (W) \quad (5.15)$$

Όπου:

- $q_c$ : στοιχεία που προσδίδουν λανθάνον φορτίο.

## **5.4 Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων με χρήση του λογισμικού KlimaCad**

### **5.4.1 Παρουσίαση του προς ψύξη επαγγελματικού χώρου**

Ο χώρος για τον οποίο πραγματοποιήθηκε η μελέτη της ηλιακής ψύξης στην παρούσα εργασία αποτελεί έναν επαγγελματικό χώρο γραφείων στην περιοχή της Αθήνας. Ο χώρος είναι  $100 \text{ m}^2$ , εργάζονται δέκα άτομα και τα γραφεία λειτουργούν δέκα ώρες από τις 9πμ – 19:00μμ σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 (Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος). Η κάτοψη του χώρου παρουσιάζεται στο Παράρτημα Ι.

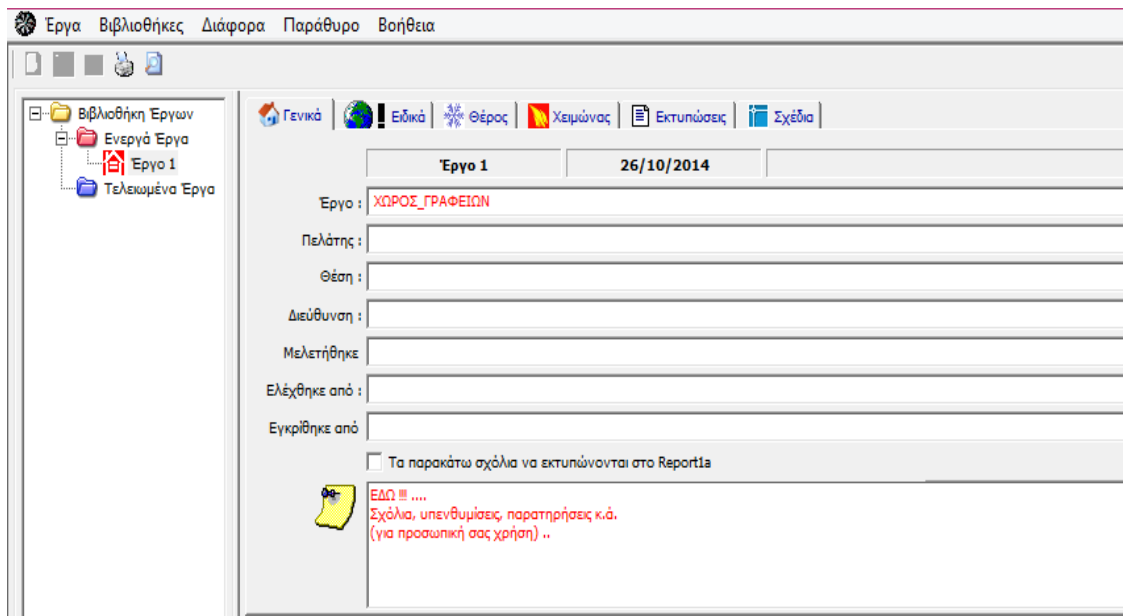
### **5.4.2 Παρουσίαση του λογισμικού KlimaCad**

Το λογισμικό KlimaCad είναι ιδιοκτησία της εταιρείας TiSoft και αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για το μηχανικό ανάμεσα στα πολλά που υπάρχουν στην αγορά για τον υπολογισμό ψυκτικών και θερμικών φορτίων ενός χώρου. Η μελέτη στηρίζεται στη δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου που περιγράφει το κτήριο στο οποίο θα πραγματοποιηθεί ψύξη ή θέρμανση. Η μοντελοποίηση του κτηρίου στηρίζεται σε ζώνες, ορόφους και δωμάτια όπου σε κάθε δωμάτιο εισάγονται τα φορτία για τον υπολογισμό της απαιτούμενης θέρμανσης η ψύξης. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα είναι η TFM (Transfer Function Method) της ASHRAE. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε δοκιμαστική έκδοση με περιορισμούς σε δημιουργία μίας ζώνης, ενός δωματίου και μέγιστης επιφάνειας  $100 \text{ m}^2$ .

### 5.4.3 Προσομοίωση μέσω του λογισμικού

Ο υπολογισμός των ψυκτικών φορτίων του χώρου παρουσιάζεται μέσω των βημάτων που πραγματοποιήθηκαν κατά τη χρήση του λογισμικού:

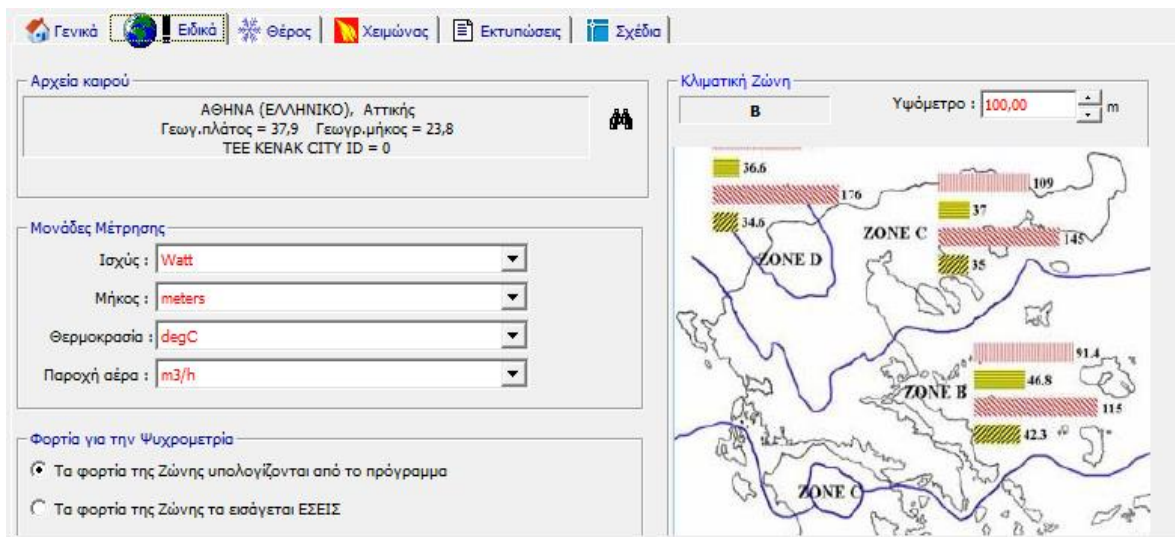
Βήμα 1<sup>ο</sup>: Δημιουργία του έργου ΧΩΡΟΣ\_ΓΡΑΦΕΙΩΝ. (Σχήμα 5.1)



Σχήμα 5.1 Δημιουργία του έργου ΧΩΡΟΣ\_ΓΡΑΦΕΙΩΝ στο λογισμικό.

Βήμα 2<sup>ο</sup>: Οι επιλογές Ειδικά και Θέρος .

Με την επιλογή Ειδικά το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα επιλογής της περιοχής όπου θα πραγματοποιηθεί η μελέτη καθώς και το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της. Τα δεδομένα εισάγονται από βιβλιοθήκη του ΤΕΕ με κλιματολογικά δεδομένα για τις περιοχές της Ελλάδας. Επιπλέον γίνεται η επιλογή των μονάδων μέτρησης για την ισχύ, το μήκος, τη θερμοκρασία και την παροχή του αέρα. Δίνεται και η δυνατότητα επιλογής για τα φορτία της ψυχομετρίας αν θα δίνονται από το χρήστη ή αν θα υπολογίζονται από το λογισμικό. (Σχήμα 5.2)



Σχήμα 5.2 Η επιλογή Ειδικά που περιλαμβάνει Αρχεία καιρού, Μονάδες μέτρησης, Φορτία για τη ψυχομετρία

Με την επιλογή Θέρος δίνονται οι επιθυμητές συνθήκες σχεδιασμού του χώρου μελέτης καθώς και βασικά στοιχεία για την κατασκευή του χώρου. Συγκεκριμένα, για την κυκλοφορία του προσαγόμενου αέρα στα δωμάτια του κτηρίου, τη μάζα του δαπέδου, τον τύπο φωτιστικών, την επίπλωση δωματίων και τη ποιότητα κατασκευής. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιλέχθηκαν όπως φαίνονται στο Σχήμα 5.3. Οι θερμοκρασίες σχεδιασμού του χώρου εισήχθησαν βάση των κανονισμών της TOTEE 20701-1/2010 οι οποίες παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3 Επιλογή Θέρος που περιλαμβάνει βασικά χαρακτηριστικά της κατασκευής και τις θερμοκρασίες σχεδιασμού του χώρου.

Βήμα 3<sup>ο</sup>: Δημιουργία ζώνης και δωματίου.

Για τη συνέχεια της προσομοίωσης απαιτείται η δημιουργία ζώνης και η δημιουργία του δωματίου του χώρου των γραφείων. Στην ίδια επιφάνεια εργασίας τοποθετούνται οι επιθυμητές θερμοκρασίες και ο λόγος υγρασίας, οι διαστάσεις του κτηρίου, οι ταυτοχρονισμοί και το είδος της ζώνης.

Ο ταυτοχρονισμός δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να διαστασιολογήσει ορθότερα ένα κλιματιστικό στοιχείο για τις ανάγκες ενός δωματίου. Συνήθως σε έναν χώρο δεν βρίσκονται όλα τα φορτία για όλες τις ώρες εκεί, οπότε αποφεύγετε η πιθανή επιλογή μεγαλύτερης ισχύος μηχανήματος κλιματισμού αν υπήρχε η υπόθεση ότι όλα τα φορτία θα βρίσκονται στο συγκεκριμένο χώρο. Για την παρούσα εργασία δεδομένου ότι όλος ο χώρος θεωρείται ως ένα ενιαίο γραφείο, λόγο του περιορισμού της έκδοσης, επιλέγονται οι προεπιλεγμένοι ταυτοχρονισμοί.

Ο συντελεστής ασφαλείας δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει αν επιθυμεί μία υπερδιαστασιολόγηση της μελέτης κλιματισμού λόγω των εξωτερικών φορτίων σε περίπτωση λανθασμένης εκτίμησης.

Στο Σχήμα 5.4 παρουσιάζεται η δημιουργία της ζώνης και του δωματίου με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του. Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζονται οι συνθήκες σχεδιασμού για τη παρούσα προσομοίωση και στο Σχήμα 5.6 εμφανίζονται οι προεπιλεγμένοι ταυτοχρονισμοί.

Διαστάσεις χώρου γραφείων:

Μήκος: 10 m

Πλάτος: 10 m

Ύψος: 2,8 m



<span>Τύπος Ζώνης</span>   <span>Ταυτοχρονισμοί</span>   <span>Θερμοκρασίες</span>   <span>Δωμάτια</span>											
Ζώνη 1, Δωμάτια : (1)											
No	Περιγραφή Δωματίου	Επίπεδο	Προσανατο	Θέρμανση Μόνο	Μήκος A [m]	Πλάτος B [m]	Υψος H [m]	Plenum H1 [m]	TDB [°C]	Σχετική Υγρασία RH [%]	
1	ΓΡΑΦΕΙΟ 1	-	B	<input type="checkbox"/>	10,00	10,00	2,80	0,00	26,00	45	

Σχήμα 5.4 Δημιουργία Ζώνη 1, Δωμάτιο 1, ΓΡΑΦΕΙΟ 1

<span>Τύπος Ζώνης</span>   <span>Ταυτοχρονισμοί</span>   <span>Θερμοκρασίες</span>   <span>Δωμάτια</span>	
<b>Ψύξη</b>	
Επιθυμητή Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού δωματίου(RMDBc) [°C] :	26,0
Επιθυμητή Σχετική Υγρασία δωματίου(RMRH) [%] :	45,0
<b>Θέρμανση</b>	
Επιθυμητή Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού δωματίου(RMDBh) [°C] :	20,0

Σχήμα 5.5 Επιλογή επιθυμητών συνθηκών για ψύξη σύμφωνα με την TOTEE 20701-1/2010

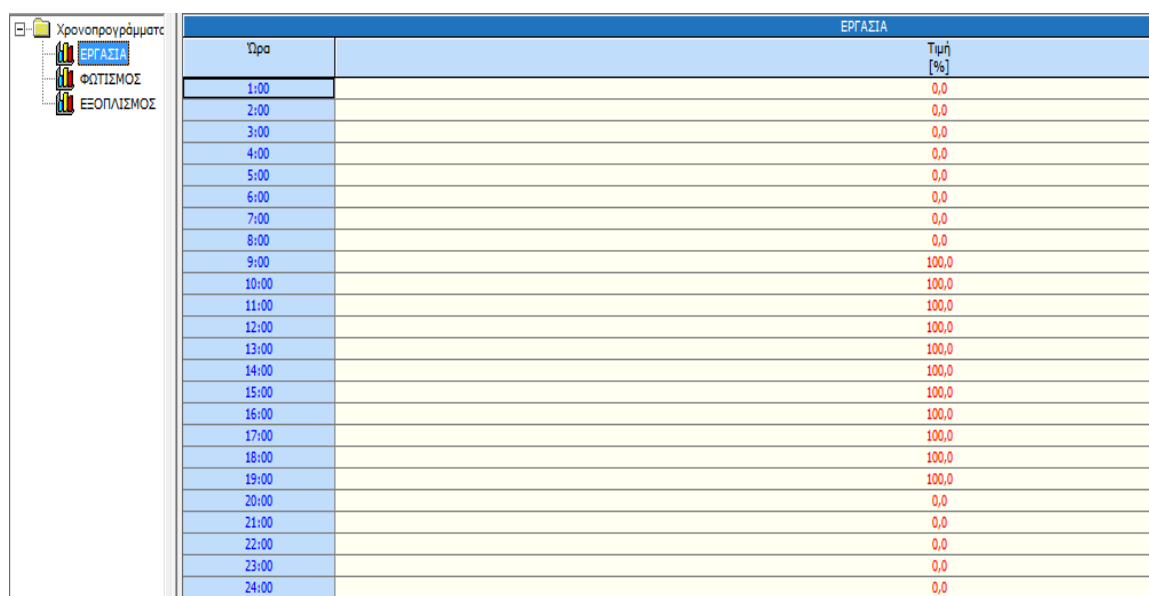
<span>Τύπος Ζώνης</span>   <span>Ταυτοχρονισμοί</span>   <span>Θερμοκρασίες</span>   <span>Δωμάτια</span>	
<b>Ταυτοχρονισμοί</b>	
Ταυτοχρονισμός εσωτερικών φορτίων από Ανθρώπους (<= 100)	100,0
Ταυτοχρονισμός εσωτερικών φορτίων από Φώτα (<= 100) :	100,0
Ταυτοχρονισμός εσωτερικών φορτίων από Συσκευές (<= 100) :	100,0
Συντελεστής Ασφάλειας για Εξωτερικά Φορτία (>= 100) :	100,0

Σχήμα 5.6 Ταυτοχρονισμοί προεπιλεγμένοι από το λογισμικό

#### Βήμα 4<sup>ο</sup>: Εισαγωγή δεδομένων: Χρονοπρογράμματα

Στο συγκεκριμένο βήμα δημιουργήθηκαν τα απαιτούμενα χρονοπρογράμματα με βάση το ωράριο λειτουργίας του χώρου των γραφείων. Με τα χρονοπρογράμματα δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού των φορτίων που προκύπτουν από τους ανθρώπους, το φωτισμό και τις συσκευές (Η/Υ, εκτυπωτές κλπ.) για τις συγκεκριμένες μόνο ώρες που βρίσκεται σε λειτουργία ο χώρος των γραφείων.

Για τους ανθρώπους από τις 9πμ – 19:00μμ δημιουργήθηκε το χρονοπρόγραμμα ΕΡΓΑΣΙΑ το οποίο για εκείνες τις ώρες παίρνει την τιμή 100%, υποθέτοντας ότι για όλες τις ώρες λειτουργίας, όλοι οι άνθρωποι βρίσκονται στο χώρο και εργάζονται. Για το φωτισμό δημιουργήθηκε το χρονοπρόγραμμα ΦΩΤΙΣΜΟΣ στο οποίο οι τιμές που εισήχθησαν για τις ώρες λειτουργίας του χώρου είναι 65% υποθέτοντας ότι χρησιμοποιείται αυτό το ποσοστό του συνολικού φωτισμού που είναι εγκατεστημένος. Για τον εξοπλισμό δημιουργήθηκε το χρονοπρόγραμμα ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ όπου για τις ώρες λειτουργίας του χώρου των γραφείων θεωρείται ότι χρησιμοποιείται σε ποσοστό 100%. Στα παρακάτω σχήματα( Σχήμα 5.7, Σχήμα 5.8, Σχήμα 5.9) παρουσιάζεται η επιλογή του χρονοπρογράμματος.



The screenshot shows a software interface with a left-hand sidebar containing a folder icon labeled 'Χρονοπρογράμματα' and three sub-items: 'ΕΡΓΑΣΙΑ', 'ΦΩΤΙΣΜΟΣ', and 'ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ'. The 'ΕΡΓΑΣΙΑ' item is selected. The main area displays a table with the following data:

Ωρα	Τιμή [%]
1:00	0,0
2:00	0,0
3:00	0,0
4:00	0,0
5:00	0,0
6:00	0,0
7:00	0,0
8:00	0,0
9:00	100,0
10:00	100,0
11:00	100,0
12:00	100,0
13:00	100,0
14:00	100,0
15:00	100,0
16:00	100,0
17:00	100,0
18:00	100,0
19:00	100,0
20:00	0,0
21:00	0,0
22:00	0,0
23:00	0,0
24:00	0,0

Σχήμα 5.7 Χρονοπρόγραμμα ΕΡΓΑΣΙΑ για τους ανθρώπους.

Χρονοπρογράμματα		ΦΩΤΙΣΜΟΣ	
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΦΩΤΙΣΜΟΣ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	
Ώρα		Τιμή [%]	
1:00		0,0	
2:00		0,0	
3:00		0,0	
4:00		0,0	
5:00		0,0	
6:00		0,0	
7:00		0,0	
8:00		0,0	
9:00		65,0	
10:00		65,0	
11:00		65,0	
12:00		65,0	
13:00		65,0	
14:00		65,0	
15:00		65,0	
16:00		65,0	
17:00		65,0	
18:00		65,0	
19:00		65,0	
20:00		0,0	
21:00		0,0	
22:00		0,0	
23:00		0,0	
24:00		0,0	

Σχήμα 5.8 Χρονοπρόγραμμα ΦΩΤΙΣΜΟΣ για το φωτισμό.

Χρονοπρογράμματα		ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΦΩΤΙΣΜΟΣ	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	
Ώρα		Τιμή [%]	
1:00		0,0	
2:00		0,0	
3:00		0,0	
4:00		0,0	
5:00		0,0	
6:00		0,0	
7:00		0,0	
8:00		0,0	
9:00		100,0	
10:00		100,0	
11:00		100,0	
12:00		100,0	
13:00		100,0	
14:00		100,0	
15:00		100,0	
16:00		100,0	
17:00		100,0	
18:00		100,0	
19:00		100,0	
20:00		0,0	
21:00		0,0	
22:00		0,0	
23:00		0,0	
24:00		0,0	

Σχήμα 5.9 Χρονοπρόγραμμα ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ για τον εξοπλισμό (Η/Υ, εκτυπωτές κλπ.)

## Βήμα 5<sup>ο</sup>: Εισαγωγή δεδομένων-Φορτία κτηρίου

Στο συγκεκριμένο βήμα έγινε εισαγωγή των δεδομένων για τα φορτία του χώρου που προέρχονται από εξωτερικά φορτία (οροφή, δάπεδο, εξωτερικοί τοίχοι, υαλοπίνακες, πόρτες), από ανθρώπους, από το φωτισμό, από συμπληρωματικά φορτία (εξοπλισμός), από αερισμό και από χαραμάδες. Αναλυτικά παρατίθενται:

- Εξωτερικά φορτία:
  - Δάπεδο επί εδάφους με μόνωση 5 cm και πλακίδια επί σκυροδέματος
  - Ταράτσα με μόνωση 6 cm και γαρμπιλόδεμα
  - Εξωτερικοί τοίχοι διπλοί δομικοί με μόνωση 4 cm
  - Παράθυρα αλουμινίου με θερμοδιακοπή και δίδυμο υαλοπίνακα 4-12-4mm με επίστρωση low-e και διάκενο
  - Μεταλλική ανοιγόμενη διπλή θύρα με 6% μόνο υαλοπίνακα.

Στο Σχήμα 5.10 παρουσιάζονται όλα τα απαραίτητα δεδομένα που εισήχθησαν στο λογισμικό για τον υπολογισμό από εξωτερικά φορτία για το ζητούμενο χώρο γραφείων. Τα δομικά στοιχεία επιλέχθηκαν μέσα από τη βιβλιοθήκη που παρέχει το λογισμικό. Γίνεται η υπόθεση πως δεν υπάρχει καμία εξωτερική σκίαση που να συνεισφέρει στη μείωση των εξωτερικών φορτίων.

Ζώνη 1, All-Air, ΓΡΑΦΕΙΟ 1, Af=100,00 m <sup>2</sup> , Εξωτερικά φορτία, ΣAi=298,80 m <sup>2</sup>														
	No	Τύπος κατασκευής	Περιγραφή	Προσανατολισμός	Γωνία ψ [°]	Μήκος L [m]	Ύψος/ Πλάτος [m]	Αφαιρείται	Αρ. Ομοίων	Uk [W/m <sup>2</sup> K]	Χρώμα	Μικτό [m <sup>2</sup> ]	Αφαιρ. [m <sup>2</sup> ]	Καθαρή Ak [m <sup>2</sup> ]
▶	1	FB1	Δάπεδο επί εδάφ	B		10,00	10,00	<input type="checkbox"/>	1	0,399	<input type="checkbox"/>	100,00		100,00
	2	R2	Ταράτσα με μόνι	B	0	10,00	10,00	<input type="checkbox"/>	1	0,371	<input type="checkbox"/>	100,00		100,00
	3	T1	Διπλός δομικός	B	90	10,00	2,80	<input type="checkbox"/>	1	0,519	<input type="checkbox"/>	28,00	4,00	24,00
	4	Wg1	Αλουμίνιο με θερ	B	90	2,00	2,00	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2,239	<input type="checkbox"/>	4,00		4,00
	5	T1	Διπλός δομικός	A	90	10,00	2,80	<input type="checkbox"/>	1	0,519	<input type="checkbox"/>	28,00	8,00	20,00
	6	Wg1	Αλουμίνιο με θερ	A	90	2,00	2,00	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2,239	<input type="checkbox"/>	4,00		4,00
	7	Wg1	Αλουμίνιο με θερ	A	90	2,00	2,00	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2,239	<input type="checkbox"/>	4,00		4,00
	8	T1	Διπλός δομικός	N	90	10,00	2,80	<input type="checkbox"/>	1	0,519	<input type="checkbox"/>	28,00	2,20	25,80
	9	Θ2	Μεταλλική ανοιγ	N	90	1,00	2,20	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2,500	<input type="checkbox"/>	2,20		2,20
	10	Wg1	Αλουμίνιο με θερ	N	90	2,00	2,00	<input type="checkbox"/>	1	2,239	<input type="checkbox"/>	4,00		4,00
	11	T1	Διπλός δομικός	Δ	90	10,00	2,80	<input type="checkbox"/>	1	0,519	<input type="checkbox"/>	28,00	3,00	25,00
	12	W1	Αλουμίνιο με θερ	Δ	90	1,00	1,00	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2,436	<input type="checkbox"/>	1,00		1,00
	13	W1	Αλουμίνιο με θερ	Δ	90	1,00	1,00	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2,436	<input type="checkbox"/>	1,00		1,00
	14	W1	Αλουμίνιο με θερ	Δ	90	1,00	1,00	<input checked="" type="checkbox"/>	1	2,436	<input type="checkbox"/>	1,00		1,00

Σχήμα 5.10 Εισαγωγή δεδομένων-Φορτία από εξωτερικούς χώρους

- Δεδομένα για ανθρώπους:

Στο χώρο εργάζονται 10 άνθρωποι και εκτελούν μέτρια εργασία γραφείου. Το λογισμικό υπολογίζει τα φορτία βάσει των οδηγιών της TOTEE 20701-1/2010. Η εισαγωγή τους στο λογισμικό παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.11. Προστίθεται και το χρονοπρόγραμμα ΕΡΓΑΣΙΑ.

Ζώνη 1, All-Air, ΓΡΑΦΕΙΟ 1, Af=100,00 m <sup>2</sup> , Άνθρωποι, A=10,0 persons							
	A/A	Δραστηριότητα	Ποσότητα	Μονάδα μέτρησης	Άνθρωποι	Χρονοπρόγραμμα	Ποσοστό Ακτιν. [%]
▶	1	Μέτρια εργασία γραφείου	10,00	άτομα	10,00	ΕΡΓΑΣΙΑ	33,00

Σχήμα 5.11 Εισαγωγή δεδομένων- Φορτία από ανθρώπους

Το ποσοστό ακτινοβολίας επιλέγεται ίσο με 33% σύμφωνα με τα πρότυπα φορτίου της ASHRAE για την εκπεμπόμενη ακτινοβολία των ανθρώπων.

- Δεδομένα για φωτισμό:

Με βάση την TOTEE 20701-1/2010 ο φωτισμός για χώρους γραφείων αναλογεί σε  $16 \text{ W}/\text{m}^2$  το οποίο ποσό εισάγεται και στο λογισμικό και προστίθεται το χρονοπρόγραμμα ΦΩΤΙΣΜΟΣ (Σχήμα 5.12).

Ζώνη 1, All-Air, ΓΡΑΦΕΙΟ 1, Af=100,00 m <sup>2</sup> , Φωτισμός, P=1600 W							
	A/A	Ποσότητα	Μονάδα μέτρησης	Ισχύς Φωτισμός [W]	Συντελ. Ballast [-]	Χρονοπρόγραμμα	Ποσοστό Ακτιν. [%]
▶	1	16,00	W/m <sup>2</sup>	1600,00	1,00	ΦΩΤΙΣΜΟΣ	100,00

Σχήμα 5.12 Εισαγωγή δεδομένων-Φορτία από φωτισμό

Ο συντελεστής Ballast μετατρέπει την ισχύ του φωτισμού σε ισχύ που προέρχεται από τους λαμπτήρες τύπου LED οι οποίοι είναι αποδοτικότεροι γι' αυτό και επιλέγεται ίσος με 1.

- Δεδομένα για συμπληρωματικά φορτία:

Για τον εξοπλισμό του παρόντος επαγγελματικού χώρου με Η/Υ, εκτυπωτές και τροφοδοτικό εξοπλισμό από την TOTEE 20701-1/2010 υπολογίστηκε ότι απαιτούνται  $15 \text{ W}/\text{m}^2$  ισχύος . Η εισαγωγή όλης της ισχύος που παράγεται από τον εξοπλισμό δίνεται

ως αισθητό φορτίο. Επιπλέον προστίθεται και το χρονοπρόγραμμα ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ για τις ώρες λειτουργίας του χώρου (Σχήμα 5.13)

Ζώνη 1, All-Air, ΓΡΑΦΕΙΟ 1, Af=100,00 m <sup>2</sup> , Συμπληρωματικά, S=1500 W, L=0 W										
	A/A	Συσκευή	Ποσότητα Αισθητό	Μονάδα μέτρησης Αισθητό	Αισθητό Φορτίο [W]	Ποσότητα Λανθάνον	Μονάδα μέτρησης Λανθάνον	Λανθάνον Φορτίο [W]	Χρονοπρόγραμμα	Ποσοστό Ακτιν. [%]
▶	1	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	15,00	W/m <sup>2</sup>	1500,00	0,00	W/m <sup>2</sup>	0,00	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	15,00

Σχήμα 5.13 Εισαγωγή δεδομένων-Συμπληρωματικά φορτία

Για τα συμπληρωματικά φορτία σύμφωνα με την ASHRAE ορίζεται ότι το 15% του φορτίου ακτινοβολείται.

- Δεδομένα για φορτία από αερισμό:

Συνήθως τα φορτία αερισμού αναφέρονται στην προσαγωγή του εξωτερικού νωπού αέρα που εισέρχεται στο χώρο και βρίσκεται σε συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία και υγρασία) οπότε υπάρχει απαίτηση σε ψύξη. Το ποσό που εισάγεται σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1/2010 για χώρους γραφείων είναι  $30 \frac{m^3}{h \cdot \text{άτομο}}$ . Προστίθεται και το χρονοπρόγραμμα ΕΡΓΑΣΙΑ με σκοπό να υπολογιστεί ότι 100% νωπού αέρα εισέρχεται τις ώρες λειτουργίας του χώρου (Σχήμα 5.14).

Ζώνη 1, All-Air, ΓΡΑΦΕΙΟ 1, Af=100,00 m <sup>2</sup> , Αερισμός, OA=302 m <sup>3</sup> /h					
	A/A	Ποσότητα	Μονάδα μέτρησης	Νωπός Αέρας [m <sup>3</sup> /h]	Χρονοπρόγραμμα
▶	1	30,00	m <sup>3</sup> /h/άτομο	301,5	ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχήμα 5.14 Εισαγωγή δεδομένων-Φορτία λόγω αερισμού

- Δεδομένα για φορτία από χαραμάδες:

Ως φορτία από χαραμάδες ονομάζεται ο εξωτερικός νωπός αέρας που εισέρχεται στο χώρο από τα παράθυρα, από τις πόρτες και από άλλα σημεία του χώρου και πρέπει να ψυχθεί. Το ποσό του νωπού αέρα που εισέρχεται από χαραμάδες δεν είναι εύκολα υπολογίσιμο. Συνήθως εισάγεται στους υπολογισμούς ένα ποσό περίπου  $0,5 - 0,65 \frac{\text{αλλαγές}}{\text{ώρα}}$  και προστίθεται και το χρονοπρόγραμμα ΕΡΓΑΣΙΑ (Σχήμα 5.15).

Ζώνη 1, All-Air, ΓΡΑΦΕΙΟ 1, Af=100,00 m <sup>2</sup> , Χαλαμάδες, Q <sub>Ain</sub> =141 m <sup>3</sup> /h					
	A/A	Ποσότητα	Μονάδα μέτρησης	Νωπός Αέρας [m <sup>3</sup> /h]	Χρονοπρόγραμμα
▶	1	0,50	αλλαγές/ώρα	140,7	ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχήμα 5.15 Εισαγωγή δεδομένων-Φορτία λόγω χαλαμάδων

Βήμα 6<sup>ο</sup>: Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου:

Στο τελευταίο βήμα της προσομοίωσης πραγματοποιείται ο υπολογισμός του ψυκτικού φορτίου. Η ανάγκη για τη ψύξη με βάση τις προδιαγραφές της TOTEE ορίζεται, για την κλιματική ζώνη Β όπου ανήκει η Αθήνα, τη περίοδο από 21 Μαΐου έως και 21 Σεπτεμβρίου. Στο Σχήμα 5.16 παρουσιάζεται το παράθυρο εντολής υπολογισμού του ψυκτικού φορτίου για το ζητούμενο χρονικό διάστημα.

Σχήμα 5.16 Εντολή υπολογισμού ψυκτικών φορτίων

Το λογισμικό επεξεργάζεται όλα τα δεδομένα και με την εκτέλεση σύνθετων ωριαίων επαναληπτικών υπολογισμών εξάγει τα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται στην ενότητα που ακολουθεί.

#### 5.4.4 Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Στο Σχήμα 5.17 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ψυκτικών φορτίων συγκεντρωτικά για τη μέρα και ώρα όπου εμφανίζεται η μέγιστη ανάγκη σε ψύξη από τις 21 Μαΐου έως και τις 21 Σεπτεμβρίου.

Κορυφή φορτίου Ζώνης = 100% = 11737 W στις 15:00 την 21 Ιουλίου

#### Ανάλυση Κορυφής (Checksum Report)

	Αισθητό Αγωγιμότη.	Αισθητό Ακτινοβ.	Αισθητό Χώρου RSH	Λανθάνον Χώρου RLH	Ολικό Χώρου RSH + RLH	Καθαρό	Ποσοστό
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	%
<b>ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ</b>							
Οροφή		59	59		59	59	0.50
Skylights	0	0	0		0	0	0.00
Τοίχοι		487	487		487	487	4.15
Δάπεδο		0	0		0	0	0.00
Υαλοστάσια	449	2642	3090		3090	3090	26.33
Χαραμάδες	497		497	991	1489	1489	12.68
Σύνολο 1	946	3188	4134	991	5125	5125	43.67
<b>ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ</b>							
Φωτα	0	809	809		809	809	6.89
Ανθρωποι	503	149	652	550	1202	1202	10.24
Συσκευές	1275	136	1411	0	1411	1411	12.02
Χωρίσματα		0	0		0	0	0.00
Σύνολο 2	1778	1094	2872	550	3422	3422	29.15
ΑΕΡΙΣΜΟΣ	1066		1066	2124	3190	3190	27.18
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>3790</b>	<b>4282</b>	<b>8072</b>	<b>3666</b>	<b>11737</b>	<b>11737</b>	<b>100.00</b>

Σχήμα 5.17 Συγκεντρωτικός πίνακας μέγιστων ψυκτικών φορτίων

Όπως προκύπτει από την προσομοίωση η μέγιστη απαίτηση σε ψυκτικό φορτίο εμφανίζεται για το μήνα Ιούλιο στις 15:00 και έχει τιμή  $Q_C = 11.7kW$ . Από τα αποτελέσματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο φορτίο προκύπτει από τον αερισμό λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στην οποία βρίσκεται και υπάρχει η ανάγκη ψύξης του. Πρακτικά το φορτίο του αερισμού δεν αποτελεί φορτίο του χώρου αλλά προστίθεται σε αυτό έτσι ώστε να υπολογιστεί το συνολικό φορτίο που πρέπει να παραχθεί από τη μονάδα. Επιπλέον παρατηρείται ότι και τα υαλοστάσια επιβαρύνουν περισσότερο τις ανάγκες για ψύξη, το οποίο κρίνεται λογικό καθώς δεν εισήχθη εξωτερική σκίαση (πρόβολοι, περσίδες κλπ.) στο παρόν πρόβλημα μέσω του λογισμικού.



## 5.5 Ψυκτικό φορτίο σχεδιασμού

Το ψυκτικό φορτίο σχεδιασμού του συστήματος για τη ψύξη του χώρου των γραφείων επιλέγεται  $Q_c = 11.7 \text{ kW}$  που είναι και το μέγιστο που εμφανίζεται για το διάστημα που προσημειώθηκε. Στο Σχήμα 5.18 παρουσιάζεται το προφίλ των ψυκτικών απαιτήσεων του χώρου σε ποσοστιαίες τιμές επί του μέγιστου ψυκτικού φορτίου.

KlimaCAD

Προφίλ φορτίου χώρου (Space Load profile) - Ανάλυση κορυφής

Έργο : Έργο 1 , ΧΩΡΟΣ\_ΓΡΑΦΕΙΩΝ

Ζώνη	:	:	Ώρα	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Μήνας															
21 Μαΐου	AM		3.8	0.6	-2.4	5.0	10.4	13.6	16.0	17.7	53.4	55.7	60.8	66.2	
	PM		70.3	73.1	74.4	72.5	66.5	63.6	60.2	21.7	17.7	13.8	10.2	6.9	
21 Ιουνίου	AM		19.9	16.7	14.2	22.3	27.0	29.9	31.9	33.3	68.8	71.0	75.9	81.2	
	PM		85.3	88.4	90.0	88.7	82.3	79.3	75.9	37.6	33.6	29.8	26.2	23.0	
21 Ιουλίου	AM		30.7	27.6	24.7	31.9	37.2	40.4	42.7	44.4	79.9	82.1	87.0	92.1	
	PM		96.0	98.7	100.0	98.2	92.3	89.5	86.3	48.0	44.2	40.4	36.9	33.8	
21 Αυγούστου	AM		31.4	28.5	25.7	28.4	35.8	40.2	43.4	45.6	81.4	83.7	88.8	94.0	
	PM		97.7	99.8	99.9	96.2	92.2	89.4	86.2	48.0	44.2	40.6	37.3	34.3	
21 Σεπτεμβρίου	AM		15.7	12.6	9.8	7.3	16.0	22.9	27.5	30.5	66.8	69.5	75.2	81.0	
	PM		84.9	86.5	84.9	79.7	77.7	74.8	71.4	33.0	29.1	25.3	21.8	18.7	

Σχήμα 5.18 Προφίλ φορτίου χώρου

Από το Σχήμα 5.18 εύλογα προκύπτει ότι οι μέγιστες απαιτήσεις του χώρου εμφανίζονται κυρίως τις μεσημεριανές ώρες (12:00 – 16:00) για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.

## Κεφάλαιο 6: Διαστασιολόγηση συστήματος ηλιακής ψύξης με απορρόφηση

### 6.1 Αρχικές επιλογές

Όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4 για έναν κύκλο απορρόφησης με χρήση  $LiBr$  οι θερμοκρασίες του νερού που απαιτούνται για το συγκεντρωτή-γεννήτρια πρέπει να είναι κοντά στη περιοχή των  $90^{\circ}C$  ενώ για τον κύκλο με  $NH_3$  απαιτούνται θερμοκρασίες περίπου  $140^{\circ}C$ .

Στην παρούσα εργασία επιλέγεται ψύκτης απορρόφησης με χρήση διαλύματος  $LiBr$  για τους εξής λόγους:

- Ο κύκλος απορρόφησης με χρήση διαλύματος  $LiBr$  εμφανίζει μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης (COP) από αυτόν της  $NH_3$  και λειτουργεί ιδανικότερα για θερμοκρασίες νερού ψύξης προς χρήση  $5^{\circ}C - 11^{\circ}C$  ενώ η  $NH_3$  λειτουργεί ιδανικότερα για εφαρμογές ψύξης όπου απαιτούνται ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες της τάξεως των  $-50^{\circ}C$ .
- Ο κύκλος απορρόφησης με  $NH_3$  απαιτεί για την ορθή λειτουργία του έναν ανορθωτή με αποτέλεσμα το κόστος του εξοπλισμού να είναι αρκετά μεγάλο σε σύγκριση με του  $LiBr$ .

Οι ψύκτες απορρόφησης χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα σε μεγάλες εφαρμογές ψύξης ( άνω των  $300 kW$ ) όπου στην αγορά υπάρχει πληθώρα συστημάτων. Για μικρής κλίμακας εφαρμογές (κάτω των  $15kW$ ) όπως στη περίπτωση που εξετάζεται, υπάρχει περιορισμένος αριθμός επιλογών. Αντιθέτως υπάρχουν τυποποιημένα συστήματα συνδυασμού ψύξης και θέρμανσης σύμφωνα με τα ερευνητικά έργα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ).

Το ΚΑΠΕ είναι ο εθνικός φορέας για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), την Ορθολογική Χρήση Ενέργειας (ΟΧΕ) και την Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΕΞΕ). Με πρόσφατους νόμους έχει οριστεί Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο στους τομείς δραστηριότητάς του και με την έρευνα και τις τεχνολογικές εφαρμογές του έχει βοηθήσει στην διάδοση των νέων ενεργειακών τεχνολογικών εφαρμογών.

Στα πλαίσια του προγράμματος SolarCombi+ στο οποίο συμμετέχουν επτά χώρες ανάμεσα στις οποίες ανήκει και η Ελλάδα συνεργάζονται και μεγάλες κατασκευαστικές εταιρείες ηλιακών ψυκτών ρόφησης (απορρόφηση και προσρόφηση). Σκοπός αυτού του

προγράμματος είναι η συλλογή πληροφοριών των ψυκτών ρόφησης μικρής κλίμακας από 4 – 20kW για την ανάπτυξη οικιακών και μικρών εμπορικών εφαρμογών της τάξεως των 20kW ψύξης.

Αν και το πρόγραμμα έχει σκοπό το συνδυασμό θέρμανσης-ψύξης και χρήσης ΖΝΧ δίνει τη δυνατότητα ανάλογα τις εφαρμογές να παρέχεται και ο απαραίτητος εξοπλισμός είτε αποκλειστικά για θέρμανση είτε αποκλειστικά για ψύξη. Προσφέρονται από τις κατασκευαστικές εταιρείες ολοκληρωμένα πακέτα ψυκτών απορρόφησης , ηλιακών συλλεκτών, πύργων ψύξης και θερμοδοχείων καθώς και του απαραίτητου δευτερεύοντα εξοπλισμού. Αυτό όμως ανάλογα με την κάθε εγκατάσταση και την εφαρμογή μπορεί να διαφοροποιηθεί. Μέσα από το πρόγραμμα SolarCombi + έχουν γίνει αρκετές εγκαταστάσεις ηλιακής ψύξης.

Στην αγορά ηλιακών συστημάτων, για μικρής κλίμακας εφαρμογές, βρίσκονται σε ένα στάδιο ανάπτυξης αρκετοί ψύκτες, οι περισσότεροι όμως χρησιμοποιούνται σε πιλοτικό επίπεδο. Ένα τέτοιο σύστημα της εταιρείας SOLution το οποίο στηρίζεται σε ψύκτη απορρόφησης με διάλυμα  $LiBr - H_2O$  θα χρησιμοποιηθεί για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση.

## 6.2 Ψύκτης Απορρόφησης διαλύματος $LiBr-H_2O$

Για την κάλυψη των απαιτήσεων των γραφείων χρησιμοποιείται ο ψύκτης απορρόφησης EAW WEGRACAL SE 15 (Σχήμα 6.1) τα χαρακτηριστικά του οποίου εμφανίζονται στον Πίνακα 6.1:



Σχήμα 6.1 EAW WEGRACAL SE 15 Ψύκτης απορρόφησης διαλύματος  $LiBr - H_2O$  ψυκτικής ισχύος 15kW (Eaw-Energieanlagenbau)

Πίνακας 6.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά ψύκτη απορρόφησης EAW WEGRACAL SE 15 (Eaw-Energieanlagenbau)

<b>Cooling capacity</b>		<i>kW</i>	15
<b>Coefficient of performance</b>	COP		0,71
<b>Chilled water</b>	Inlet temperature	°C	17
	Outlet temperature	°C	11
	Flowrate	<i>m<sup>3</sup>/h</i>	1,9
	Leakage of pressure	<i>mbar</i>	400
	Rated pressure PN	<i>bar</i>	6
	Connection	<i>DN</i>	25
<b>Heating water</b>	Thermal output	<i>kW</i>	21
	Inlet temperature	°C	90
	Outlet temperature	°C	80
	Flowrate	<i>m<sup>3</sup>/h</i>	1,8
	Leakage of pressure	<i>mbar</i>	400
	Rated pressure PN	<i>bar</i>	6
Connection	<i>DN</i>	25	
<b>Re-cooling water</b>	Re-cooling capacity	<i>kW</i>	35
	Inlet temperature	°C	30
	Outlet temperature	°C	36
	Flowrate	<i>m<sup>3</sup>/h</i>	5
	Leakage of pressure	<i>mbar</i>	900
	Rated pressure PN	<i>bar</i>	6
	Connection	<i>DN</i>	40
<b>Electrical data</b>	Voltage/Frequency	<i>V/Hz</i>	230/50
	Power consumption	<i>kW</i>	0,3
<b>Dimensions</b>	Length	<i>mm</i>	ca. 1.750
	Width	<i>mm</i>	ca. 760
	Height	<i>mm</i>	ca. 1.750
<b>Weight</b>	Transportation	<i>kg</i>	ca. 500
	Operation	<i>kg</i>	ca. 660

Ο ψύκτης απορρόφησης αποτελείται από δύο βασικές μονάδες :τη μονάδα εξατμιστή-απορροφητή και τη μονάδα της γεννήτριας-συμπυκνωτή. Οι δύο αυτές μονάδες είναι πλήρως εγκατεστημένες με τις σωληνώσεις και τα καλώδια και η διασύνδεση του στο σύστημα γίνεται τη στιγμή της εγκατάστασης. Η ψυκτική ισχύς του ανέρχεται στα 15*kW* με συντελεστή απόδοσης  $COP = 0,71$ .

### 6.3 Επιλογή ηλιακού συλλέκτη

Οι συλλέκτες που επιλέγονται είναι οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες με εξαιρετικά επιλεκτική επιφάνεια της εταιρείας SOLution Solarechnik GmbH και συγκεκριμένα το μοντέλο UNISOL 27(Σχήμα 6.2).



Σχήμα 6.2 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης εξαιρετικά επιλεκτικής επιφάνειας UNISOL 27 (SOLution Solarechnik GmbH)

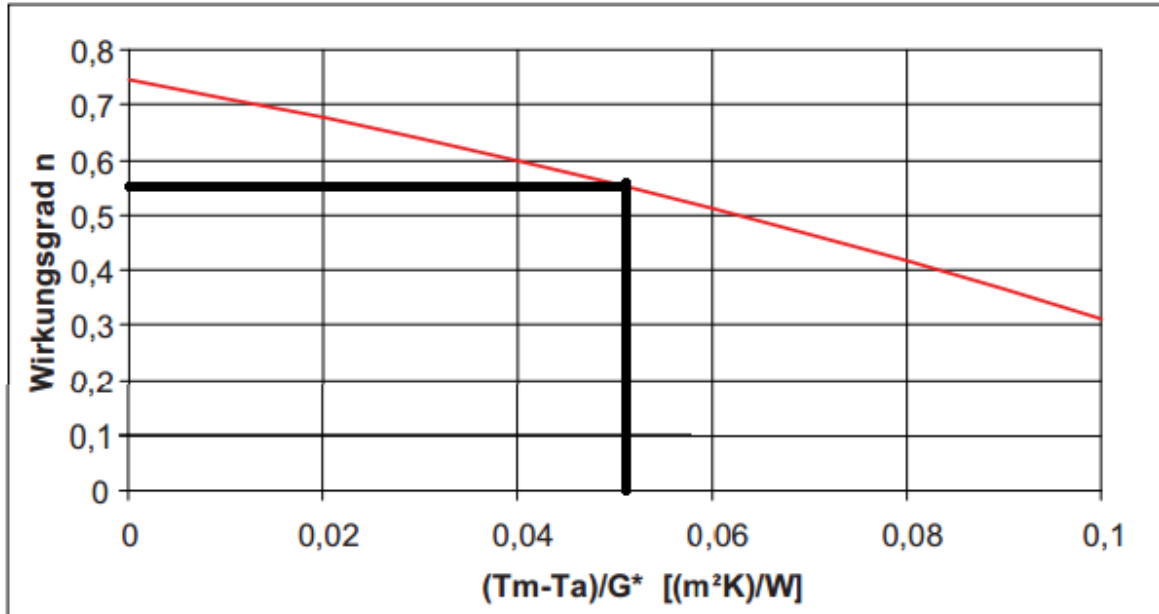
Η απαιτούμενη συλλεκτική επιφάνεια προκύπτει από την ανάγκη κάλυψης της θερμικής ισχύος που χρειάζεται ο ψύκτης απορρόφησης για να λειτουργήσει. Η θερμική ισχύς υπολογίζεται ως εξής :

$$Q_u = \frac{Q_{chiller}}{COP} = 22 \text{ kW} \quad (6.1)$$

Απαιτείται πλήρης κάλυψη της ζητούμενης θερμικής ισχύος από τους ηλιακούς συλλέκτες άρα δεν χρησιμοποιείται άλλη εξωτερική βοηθητική πηγή θέρμανσης του νερού πέραν από τους συλλέκτες.

Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών συλλεκτών δίνεται από τον κατασκευαστή (Σχήμα 6.2) ως συνάρτηση της διαφοράς θερμοκρασίας εισόδου του νερού στο συλλέκτη ( $T_m$ ) και της μέσης θερμοκρασίας περιβάλλοντος ( $T_a$ ) προς την ηλιακή ένταση της ακτινοβολίας ( $G^*$ ) που προσπίπτει στο συλλέκτη.

- Θερμοκρασία εισόδου του νερού στο συλλέκτη:  $T_m = 80^\circ\text{C}$
- Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος:  $T_a = 28.1^\circ\text{C}$
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη θεωρείται:  $G^* = 1000 \text{ W/m}^2$



Σχήμα 6.3 Βαθμός απόδοσης ηλιακού συλλέκτη UNISOL 27 (SOLution Solartechnik GmbH)

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 6.2 ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη είναι  $n = 56\%$  οπότε η θερμική ισχύς ανά εμβαδόν που μπορεί να παραλάβει ο ηλιακός συλλέκτης υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{col.} = n * G^* = 560 \text{ W/m}^2 \quad (6.2)$$

Οπότε για να επιτευχθεί πλήρης κάλυψη της θερμικής ισχύος τους ψύκτη απορρόφησης απαιτούνται:

$$A_{col.} = \frac{Q_u}{Q_{col.}} = 38 \text{ m}^2 \quad (6.3)$$

Τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου επίπεδου ηλιακού συλλέκτη παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2:

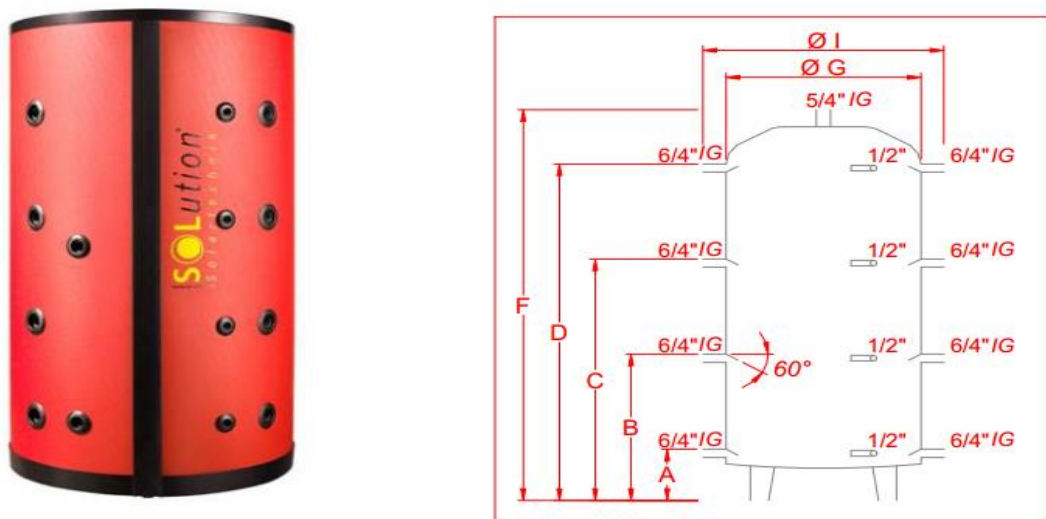
Πίνακας 6.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη UNISOL 27 (πηγή SOLution Solartechnik GmbH)

<b>Τεχνικά χαρακτηριστικά UNISOL 27</b>	
<b>Επιφάνειες αναφοράς</b>	
Μικτή επιφάνεια	2,66 m <sup>2</sup>
Επιφάνεια ανοίγματος	2,49m <sup>2</sup>
Απορροφητική επιφάνεια	2,50 m <sup>2</sup>
<b>Συλλέκτης</b>	
Τύπος συλλέκτη	Επίπεδος συλλέκτης
Μήκος	2.196mm
Πλάτος	1.246 mm
Βάθος	98 mm
Υλικό	Αλουμίνιο
Βάρος	47kg
Εγκατάσταση	Οροφής
<b>Απορροφητής</b>	
Τύπος απορροφητή	Επιφάνεια πλήρους απορρόφησης
Πάχος	0,5 mm Αλουμίνιο
Επιφανειακή επεξεργασία	Εξαιρετικά επιλεκτική με επικάλυψη κενού
Όγκος μεταφερόμενης θερμότητας	1,26 lt
Συντελεστής απορρόφησης	95%
Συντελεστής εκπομπής	5%
Μέγιστη πίεση λειτουργίας	10 bar
Θερμοκρασία στασιμότητας	208°C
Συνιστώμενη παροχή	20-40 l/m <sup>2</sup> h
<b>Διαφανές κάλυμμα</b>	
Υλικό	Γυαλί
<b>Μόνωση</b>	
Υλικό	Πετροβάμβακας
Πάχος	50 mm
<b>Αριθμός εγγραφής-Keymark</b>	011 – 7S359F

Ως βέλτιστη κλίση των ηλιακών συλλεκτών επιλέγεται 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (Αθήνα  $\varphi = 37.5^\circ$ ) για εποχιακή καλοκαιρινή χρήση και ισούται με  $\beta = 22^\circ$ . Επιλέγονται 16 ηλιακοί συλλέκτες τύπου UNISOL για την κάλυψη του απαιτούμενου φορτίου όπου υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθούν σε χώρο πλησίον του κτηρίου.

## 6.4 Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού και πύργου ψύξης

Τυπικές τιμές των δοχείων αποθήκευσης ζεστού νερού όπως προκύπτουν από τις μέχρι τώρα εφαρμογές είναι στα  $50 \text{ lt}/\text{m}^2$  χρησιμοποιώντας όμως το σύστημα μόνο για ψύξη μπορούν να πάρουν και μικρότερες τιμές. Η εταιρεία SOLution για τη χρήση του συγκεκριμένου ψύκτη συνδυάζει  $3000 \text{ lt}$  ζεστού νερού οπότε επιλέγεται το μοντέλο HPS3000 για ζεστό νερό αποθήκευσης (Σχήμα 6.4). Στην εγκατάσταση θα τοποθετηθεί και ένας πύργος ψύξης υγρού ανοιχτού κυκλώματος για την απόρριψη της θερμότητας από τον συμπυκνωτή ισχύος  $35 \text{ kW}$  (Σχήμα 6.5).



Σχήμα 6.4 Εξωτερική όψη και όψη σε τομή δοχείου αποθήκευσης HPS της εταιρείας SOLution (SOLution Solartechnik GmbH)





Σχήμα 6.5 Πύργος ψύξης ονομαστικής ισχύος 35 kW (SOLution Solartechnik GmbH)

## 6.5 Κόστος συστήματος ηλιακής ψύξης

Το κόστος που προκύπτει για την εγκατάσταση του συγκεκριμένου εξοπλισμού παρατίθεται ακολούθως:

Πίνακας 6.3 Κόστος εγκατάστασης ηλιακού συστήματος ψύξης για το χώρο γραφείων

<b>ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ</b>	<b>ΚΟΣΤΟΣ</b>
Ψύκτης απορρόφησης	20'199,00€
Ηλιακοί συλλέκτες	19'000,00€
Πύργος ψύξης	3'286,00€
Δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού	3'450,00€
Λοιπός εξοπλισμού	1'500,00€
Κόστος εγκατάστασης	3'500,00€
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>50'935,00€</b>

Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης όπως προκύπτει ανέρχεται στα 50'935,00 € ιδιαίτερα υψηλό όπως αναμενόταν σύμφωνα με τις έως τώρα εφαρμογές ψυκτών απορρόφησης στα πλαίσια του ευρωπαϊκού προγράμματος SolarCombi+.

## 6.6 Οικονομική ανάλυση και σύγκριση με αντλία θερμότητας

Για να καταστεί μια ολοκληρωμένη άποψη σχετικά με το σύστημα ηλιακής ψύξης που προτείνεται κρίνεται σκόπιμη η οικονομική ανάλυση και σύγκριση του συστήματος με μια αντλία θερμότητας η οποία θα καλύπτει το ψυκτικό φορτίο. Μέσα από τη σύγκριση θα προκύψουν σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά το οικονομικό κόστος της εγκατάστασης της ηλιακής ψύξης.

Οι αντλίες θερμότητας αποτελούν μία σύγχρονη τεχνολογία η οποία χρησιμοποιείται ευρέως και αντικαθιστά πολλά συμβατικά κλιματιστικά συστήματα. Λόγω των συντελεστών απόδοσης τους κατατάσσονται και στις τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών. Είναι φιλικές προς το περιβάλλον σε αντίθεση με συμβατικά κλιματιστικά και μπορούν να συνδυάσουν παραγωγή ζεστού νερού και θέρμανσης το χειμώνα εκτός από ψύξη. Η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος για την παροχή ψύξης είναι μειωμένη σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη μορφή συμβατικής μονάδας κλιματισμού. Για αυτούς τους λόγους κρίθηκε σκόπιμο να γίνει σύγκριση της τεχνολογίας της ηλιακής ψύξης με αντλία θερμότητας

Η αντλία θερμότητας που επιλέχθηκε είναι η Zubadan PUHZ-SHW 140YHA της εταιρείας Mitsubishi (Σχήμα 6.6) η οποία συνδυάζεται με την εσωτερική μονάδα Hydro box split Ecodan EHRC-VM2B. Το κόστος της ανέρχεται στα 8'500,00€.



Σχήμα 6.6 Αντλία θερμότητας Zubadan PUHZ-SHW 140YHA- Hydro box split Ecodan EHRC-VM2B (Mitsubishi-Electrics)

Για την επίτευξη νερού θερμοκρασίας 7°C σε εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος 35°C τα χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.4 σύμφωνα με τον κατασκευαστή:

Πίνακας 6.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά ψυκτικής ισχύος αντλίας θερμότητας

Στοιχεία ψύξης	Zubadan PUHZ-SHW 140YHA
A35/W7	
Ψυκτική Απόδοση( <i>kW</i> )	12,5
Κατανάλωση Ενέργειας ( <i>kW</i> )	5,780
EER Ψύξης	2,17

Για τη σύγκριση των δύο συστημάτων λαμβάνονται οι εξής συνθήκες:

- Η περίοδος ψύξης αφορά τους μήνες από Μάιο μέχρι Σεπτέμβρη όπως προσομοιωθήκαν στο λογισμικό.
- Το σύστημα λειτουργεί από τις 9:00 πμ – 19:00 μμ για 20 μέρες κάθε μήνα
- Αξία κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος λαμβάνεται σταθερή και ίση με 0,10 €/kWh
- Το ηλιακό σύστημα καταναλώνει 0,15kW (ψύκτης, αντλίες, ανεμιστήρες) ηλεκτρικής ισχύος για κάθε 1kW ψύξης που παράγει ενώ η αντλία θερμότητας 0,46 kW.

Η σύγκριση των δύο συστημάτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.5:

Πίνακας 6.5 Οικονομική σύγκριση συστήματος ηλιακής ψύξης με απορρόφησης και αντλίας θερμότητας

ΩΡΕΣ	ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ (kW)				
	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης
9:00	6,2478	8,0496	9,3483	9,5238	7,8156
10:00	6,5169	8,307	9,6057	9,7929	8,1315
11:00	7,1136	8,8803	10,179	10,3896	8,7984
12:00	7,7454	9,5004	10,7757	10,998	9,477
13:00	8,2251	9,9801	11,232	11,4309	9,9333
14:00	8,5527	9,828	11,466	11,6766	10,1205
15:00	8,658	10,53	11,7	11,6883	9,9333
16:00	8,4825	10,378	11,4894	11,2554	9,3249
17:00	7,7805	9,6291	10,7991	10,7874	9,0909
18:00	7,4412	9,2781	10,4715	10,4598	8,7516
19:00	7,0434	8,8803	10,0971	10,0854	8,3538
ΣΥΝΟΛΟ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΗΜΕΡΑΣ(kWh)	83,8071	103,24	117,1638	118,0881	99,7308
ΣΥΝΟΛΟ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΜΗΝΑ(kWh)	1.676,142	2.064,8	2.343,276	2.361,762	1.994,616
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΓΙΑ ΟΛΗ ΤΗ ΠΕΡΙΟΔΟ(kWh)	10.440				
<b>ΗΛΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ</b>					
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΟΛΗ ΤΗ ΠΕΡΙΟΔΟ (kWh)			1566		
ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (€)			<b>156,6</b>		
<b>ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ</b>					
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΟΛΗ ΤΗ ΠΕΡΙΟΔΟ(kWh)			4.802,7		
ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ(€)			<b>480</b>		

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα η διαφορά της τιμής στην αξία του ηλεκτρικού ρεύματος είναι στα 323,4 € η οποία βελτιώνει ελάχιστα την αξία της επένδυσης αν συνυπολογιστεί στο κόστος εγκατάστασης του συστήματος ηλιακής ψύξης το οποίο είναι 50'935,00€.

Για να υφίσταται όμως μια ολοκληρωμένη εικόνα από ενεργειακής και περιβαλλοντικής σκοπιάς για τα δύο συστήματα κρίνεται σκόπιμη μια σύγκριση σε επίπεδο πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας και σε επίπεδο εκπομπής εκλυόμενων ρύπων CO<sub>2</sub>. Η αναγωγή της υπολογιζόμενης τελικής κατανάλωσης καυσίμου σε πρωτογενή ενέργεια γίνεται με τη χρήση των συντελεστών του Πίνακα 6.6.

Πίνακας 6.6 Συντελεστής μετατροπής τελικής κατανάλωσης ενέργειας του κτηρίου σε πρωτογενή ενέργεια.

Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας ( $kgCO_2/kWh$ )
Φυσικό αέριο	1,05	0,196
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10	0,264
Ηλεκτρική ενέργεια	2,90	0,989
Βιομάζα	1,00	---

Στον Πίνακα 6.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα δύο συστήματα.

Πίνακας 6.7 Σύγκριση τεχνολογιών σε ενεργειακό και περιβαλλοντικό επίπεδο

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	Συνολική ηλεκτρική κατανάλωση ( $kWh$ )	Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ( $kWh$ )	Εκπομπές $CO_2$ ( $kgCO_2$ )
<b>Ηλιακό σύστημα ψύξης</b>	1566	4541,4	4491,5
<b>Αντλία θερμότητας</b>	4802,7	13927,8	13774,6

Από τη σύγκριση προκύπτει ότι η εξοικονόμηση σε κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για το σύστημα της ηλιακής ψύξης ανέρχεται στο 67% όπως και η μείωση των εκπομπών  $CO_2$  το οποίο τη καθιστά ενεργειακά αποδοτικότερη και φιλικότερη προς το περιβάλλον από την αντλία θερμότητας, από την άλλη πλευρά όμως το μεγάλο κόστος εγκατάστασης καθιστά μη βιώσιμη την επένδυση ενός τέτοιου συστήματος μικρής κλίμακας.

# Κεφάλαιο 7: Επίλογος

## 7.1 Συμπεράσματα

Με το πέρας της παρούσας εργασίας εξήχθησαν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με το ρόλο της ηλιακής ενέργειας σε διεργασίες ψύξης και την επιρροή τους στην εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα αυτό.

Η ανάγκη για λύσεις στην ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων οι οποίες θα είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον είναι μείζονος σημασίας. Χρόνο με το χρόνο όλο και περισσότερες χώρες θεσμοθετούν υπέρ εναλλακτικών συστημάτων για παραγωγή ενέργειας και αυτό συμβαίνει και για τις ανάγκες της ψύξης. Η κατεύθυνση προς εναλλακτικές μορφές ενέργειας για επίτευξη κλιματισμού και συγκεκριμένα ψύξης κρίνεται αναγκαία.

Μέσα από την ανάλυση των συστημάτων ηλιακών συλλεκτών και των ψυκτικών κύκλων που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της ηλιακής ψύξης προκύπτει ότι η εμβάθυνση στη θεωρητική προσέγγιση του προβλήματος είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση του πρακτικού προβλήματος και την λύση του.

Για την ορθή μελέτη μιας εγκατάστασης ψύξης γενικά απαιτείται ένας πολύ προσεχτικός σχεδιασμός και αυτό φάνηκε μέσω του υπολογισμού των ψυκτικών απαιτήσεων που εμφανίζονται κυρίως στον κτηριακό τομέα όπως αναλύθηκε στην εργασία. Ο συνυπολογισμός όλων των παραμέτρων για την επίτευξη αυτού του σκοπού μέσα από την θεωρητική ανάλυση αλλά και τη χρήση του λογισμικού αποδεικνύει ότι απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην ορθή επιλογή όλων των παραγόντων που επηρεάζουν την διαδικασία καθώς και πολύπλοκοι επαναληπτικοί υπολογισμοί. Η πραγματοποίηση αυτού του σταδίου είναι απαραίτητη σε μια μελέτη ηλιακής ψύξης καθώς δίνει κρίσιμα συμπεράσματα τόσο για το πώς πρέπει να διαστασιοποιηθεί το ηλιακό σύστημα αλλά και για το ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τις ανάγκες ενός κτηρίου για ψύξη.

Τα πλεονεκτήματα όπως προέκυψαν από την εργασία για την ηλιακή ψύξη αφορούν κυρίως στο ότι ενεργειακά αποτελεί μια εξαιρετικά αποδοτική και φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία καθώς σε σχέση με συμβατικές τεχνολογίες εξοικονομεί μεγάλα ποσά πρωτογενούς ενέργειας με ελάχιστες εκπομπές  $CO_2$ .

Επιπλέον οι εφαρμογές της συμπίπτουν με τους καλοκαιρινούς μήνες όπου δίνεται η δυνατότητα για μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και σε συνδυασμό με ηλιακά συστήματα θέρμανσης δίνουν τη δυνατότητα απεξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα.

Από την άλλη πλευρά όμως μόνο τα μεγαλύτερα έργα ηλιακής ψύξης, τόσο λόγω οικονομίας κλίμακας όσο και λόγω χαμηλότερης τιμής προμήθειας ενέργειας, εμφανίζουν πολύ καλή χρηματοοικονομική απόδοση έργου.

Αντιθέτως τα μικρότερα έργα, παρά τη σημαντική επιδότηση μέσω φόρμουλας τιμολόγησης, εμφανίζουν λιγότερο ελκυστική απόδοση. Αυτό οφείλεται στο υψηλότερο κόστος των εγκαταστάσεων αυτών καθώς και στη θεώρηση των λιγότερων ωρών λειτουργίας.

## 7.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα και μελέτη

Ως προτάσεις για περαιτέρω έρευνα μπορούν να αποτελέσουν οι ακόλουθες:

- Θέρμανση και ψύξη βιομηχανικών χώρων με χρήση ηλιακών συλλεκτών.

Τα συνδυασμένα συστήματα θέρμανσης και ψύξης με χρήση ηλιακών συλλεκτών εμφανίζουν εξαιρετικές αποδόσεις στην εξοικονόμηση ενέργειας και ιδίως σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές.

- Χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων για τροφοδότηση ψυκτικού κύκλου μηχανικής συμπίεσης ατμών.

Ο ψυκτικός κύκλος μηχανικής συμπίεσης απαιτεί σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία σε ένα ποσοστό θα ήταν δυνατό να καλυφθούν από τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας

- Αυτόνομο κτήριο με χρήση ηλιακών συλλεκτών για θέρμανση και ψύξη και χρήση φωτοβολταϊκών για κάλυψη ηλεκτρικών αναγκών.

Ένα αυτόνομο κτήριο το οποίο θα καλύπτει τις ανάγκες για θέρμανση, ψύξη και ηλεκτρισμό μέσω της χρήσης ηλιακής ενέργειας αποτελεί ελκυστική εφαρμογή

- Ηλιακή ψύξη με χρήση διαλύματος  $NH_3$  για βιομηχανικές εφαρμογές με αρνητικές τιμές θερμοκρασιών σχεδιασμού.

Η χρήση του ψυκτικού κύκλου απορρόφησης με αμμωνία μπορεί να επιτύχει ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες οι οποίες μπορούν να γίνουν εκμεταλλεύσιμες σε εφαρμογές όπως η αποθήκευση και η συντήρηση φαρμάκων.

- Εφαρμογή τηλεψύξης για την περιοχή της Κοζάνης.

Η χρήση του ατμού των εργοστασίων του λιγνίτη μπορεί να αποτελέσει την οδηγό θερμότητα για τη λειτουργία ενός ψυκτικού απορρόφησης για κάλυψη ψυκτικών αναγκών της περιοχής.

## Βιβλιογραφία

1. A. Heimsath, F. C. (2013). Linear Fresnel collector receiver: Heat loss and temperatures. Στο *Energy Procedia*. Freiburg, Germany: Elsevier.
2. America, S. b.. Handbook Of Optics, Volume III, Classical Optics, Vision Optics, X-Ray Optics, Second Edition. Mc Graw-Hill.
3. American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineering. (2007). *ASHRAE Handbook "Applications"*. Atlanta, Georgia.
4. American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineering. (2009). *ASHRAE Handbook "Fundamentals"*. Atlanta, Georgia.
5. American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineering. (2006). *ASHRAE Handbook "Refrigeration"*. Atlanta, Georgia.
6. American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineering. (2008). *ASHRAE Handbook "Systems & Equipment"*. Atlanta, Georgia.
7. Anderson B. (1977). *Solar energy: fundamentals in building design*. New York: McGraw-Hill.
8. Andrew D. Atthouse, C. H. (2004). *Modern Refrigeration and Air Conditioning*. The Goodheart-Willcox Company. INC.
9. Carrier Air Conditioning Company. *Handbook of air conditioning system design*. McGRAW-HILL.
10. Cengel, Y. A. (2003). *Θερμοδυναμική για μηχανικούς 3η Έκδοση*. Εκδόσεις Τζιολα.
11. Constantinos A. Balaras, G. G.-M. (2005). Solar air conditioning in Europe—an overview. Στο *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier.
12. DeWinter, F. (1991). *Solar collectors, energy storage, and materials*. Massachusetts TheMITpress.
13. Herbert W. Stanford III. *HVAC Water Chillers and Cooling Towers Fundamentals, Application, and Operation*. 2003: MARCEL DEKKER, INC.
14. Indra Budihardjo, G. L. (2007, 03 02). Natural circulation flow through water-in-glass evacuated tube solar collectors. Elsevier.
15. Jan F. Kreider, P. P. (2001). *Handbook of heating, ventilation and air conditioning*. CRC Press.



16. Jeanne Baird. (2006). *ASHRAE Refrigeration Handbook*. W. Stephen Comstock,.
17. Jones, W. (2001). *Air Conditioning Engineering Fifth Edition*. Elsevier.
18. Liangdong Ma, L (2010). Thermal performance analysis of the glass evacuated tube solar collector with U-tube. Elsevier.
19. Malamatenios, D. C. (2000). *Energy audit guide part a: methodology and technics*. Centre for Renewable Energy Sources (CRES).
20. Rex Miller, M. R. (2006). *Air Conditioning and Refrigeration*. McGraw-Hill.
21. Rex Miller, M. R. *HVAC Licensing exam study guide*. Mark R. Miller.
22. S. Kalogirou (2003). The potential of solar industrial process heat applications. ApplEnergy.
23. S.Kalogirou. (2009). Solar energy engineering-process and systems . Elsevier.
24. Vassiliki N.Drosou, P. ,. (2013). The high-combi project: High solar fraction heating and cooling systems with combination of innovative components and methods. Στο *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier.
25. Walker, A. *Solar Energy Technology and Projects Delivery for buildings*. WILEY.
26. William C. Whitman, W. M. (2009). *Refrigeration and Air Conditioning Technology, Sixth Edition*. DELMAR CENGAGE Learning.
27. Yan Gao, Q. Z. (2013). Effects of thermal mass and flow rate on forced-circulation solar hot-water system: Comparison of water-in-glass and U-pipe evacuated-tube solar collectors. *Solar Energy*. Elsevier.
28. ΓΑΛΑΝΗΣ, Ν. *Μελέτες Κλιματισμού απο την θεωρεία στην επίλυση με Η/Υ* . ΤεΚΔΟΤΙΚΗ.
29. Κλίμα και εσωτερικό περιβάλλον. Βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων. (2011, Ιούνιος). Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.
30. Σ.Ν.ΚΑΠΛΑΝΗΣ. *Ήπιες μορφές ενέργειας II Ηλιακή Μηχανική*. ΙΩΝ.
31. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (Απρίλιος 2012). *TOTEE 20701-1/2010 Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης*. Αθήνα.
32. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (Απρίλιος 2012). *TOTEE 20701-3/2010 Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών*. Αθήνα.

33. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (Απρίλιος 2012). *TOTEE 20701-5/2012 Συμπαγωγή ηλεκτρισμού, θερμότητας & ψύξης: εγκαταστάσεις σε κτήρια*. Αθήνα.

## **Ιστοσελίδες:**

34. [www.cres.gr](http://www.cres.gr).
35. [www.eaw-energieanlagenbau.de](http://www.eaw-energieanlagenbau.de).
36. [www.highcombi.eu](http://www.highcombi.eu).
37. [www.mitsubishielectric.com](http://www.mitsubishielectric.com).
38. [www.solair-project.eu](http://www.solair-project.eu).
39. [www.ti-soft.com](http://www.ti-soft.com). (n.d.).
40. [solution.cyberhouse.at](http://solution.cyberhouse.at). (n.d.).

## **Παράρτημα Ι**

## Κάτοψη κτηρίου.

Η σχεδίαση της κάτοψης έγινε με χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCAD 2012 (Student version) και παρουσιάζεται στην επόμενη σελίδα το υπόμνημα του σχήματος με τις αναλυτικές διαστάσεις των δομικών στοιχείων του κτηρίου φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ				
ΤΥΠΟΣ ΔΟΜΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ
ΔΑΠΕΔΟ	10000	10000	-	-
ΟΡΟΦΗ	10000	10000	-	-
ΤΟΙΧΟΣ	10000	-	2800	B
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2000	-	2000	B
ΤΟΙΧΟΣ	10000	-	2800	A
2 ΠΑΡΑΘΥΡΑ	2000	-	2800	A
ΤΟΙΧΟΣ	10000	-	2800	N
ΠΟΡΤΑ	1000	-	2200	N
ΠΑΡΑΘΥΡΟ	2000	-	2000	N
ΤΟΙΧΟΣ	10000	-	2800	Δ
3 ΠΑΡΑΘΥΡΑ	1000	-	1000	Δ

## Παράρτημα II

## Κλιματολογικά δεδομένα

1. Πίνακας: Σταθμοί μέτρησης της ΕΜΥ πηγή: ΤΟΤΕΕ 20701-3/2010

Πόλη	Περιοχή (Νομός)	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο Βαρομέτρου (m)
Αθήνα (Ελληνικό)	Αττικής	37 <sup>ο</sup> 54'	23 <sup>ο</sup> 45'	15,0
Αθήνα (Ν. Φιλαδέλφεια)	Αττικής	38 <sup>ο</sup> 03'	23 <sup>ο</sup> 40'	138,0
Αγρίνιο	Αιτωλοακαρνανίας	38 <sup>ο</sup> 37'	21 <sup>ο</sup> 23'	25,0
Αγχιάλος	Μαγνησίας	39 <sup>ο</sup> 13'	22 <sup>ο</sup> 48'	15,3
Αλεξανδρούπολη	Έβρου	40 <sup>ο</sup> 51'	25 <sup>ο</sup> 56'	3,5
Αλιάρτος	Βοιωτίας	38 <sup>ο</sup> 23'	23 <sup>ο</sup> 06'	110,0
Ανδραβίδα	Ηλείας	37 <sup>ο</sup> 55'	21 <sup>ο</sup> 17'	15,1
Άραξος	Αχαΐας	38 <sup>ο</sup> 09'	21 <sup>ο</sup> 25'	11,5
Άργος (Πυργέλα)	Αργολίδας	37 <sup>ο</sup> 36'	22 <sup>ο</sup> 47'	11,2
Αργοστόλι	Κεφαλληνίας	38 <sup>ο</sup> 11'	20 <sup>ο</sup> 29'	22,0
Άρτα	Άρτας	39 <sup>ο</sup> 10'	21 <sup>ο</sup> 00'	10,5
Βέλος	Κορινθίας	37 <sup>ο</sup> 58'	22 <sup>ο</sup> 45'	20,0
Δράμα	Δράμας	41 <sup>ο</sup> 09'	24 <sup>ο</sup> 09'	104,0
Έδεσσα	Πέλλας	40 <sup>ο</sup> 58'	22 <sup>ο</sup> 03'	30,0
Ζάκυνθος	Ζακύνθου	37 <sup>ο</sup> 47'	20 <sup>ο</sup> 54'	7,9
Ηράκλειο	Ηρακλείου	35 <sup>ο</sup> 20'	25 <sup>ο</sup> 11'	39,3
Θεσσαλονίκη (Μίκρα)	Θεσσαλονίκης	40 <sup>ο</sup> 31'	22 <sup>ο</sup> 58'	4,8
Ιεράπετρα	Λασιθίου	35 <sup>ο</sup> 00'	25 <sup>ο</sup> 44'	10,0
Ιωάννινα	Ιωαννίνων	39 <sup>ο</sup> 42'	20 <sup>ο</sup> 49'	484,0
Καλαμάτα	Μεσσηνίας	37 <sup>ο</sup> 04'	22 <sup>ο</sup> 00'	11,1
Καρδίτσα	Καρδίτσας	39 <sup>ο</sup> 22'	20 <sup>ο</sup> 48'	111,1
Καρπενήσι	Ευρυτανίας	38 <sup>ο</sup> 54'	21 <sup>ο</sup> 47'	1001,0
Κάρυστος	Εύβοιας	38 <sup>ο</sup> 01'	24 <sup>ο</sup> 25'	10,0
Καστοριά	Καστοριάς	40 <sup>ο</sup> 27'	21 <sup>ο</sup> 17'	660,9
Κέρκυρα	Κερκύρας	39 <sup>ο</sup> 37'	19 <sup>ο</sup> 55'	4,0
Κοζάνη	Κοζάνης	40 <sup>ο</sup> 18'	21 <sup>ο</sup> 47'	625,0
Κομοτηνή	Ροδόπης	41 <sup>ο</sup> 07'	25 <sup>ο</sup> 24'	30,0
Κόνιτσα	Ιωαννίνων	40 <sup>ο</sup> 03'	20 <sup>ο</sup> 45'	542,0
Κύθηρα	Αττικής	36 <sup>ο</sup> 17'	23 <sup>ο</sup> 10'	316,6
Κως	Δωδεκανήσου	36 <sup>ο</sup> 47'	27 <sup>ο</sup> 04'	129,0
Λαμία	Φθιώτιδας	38 <sup>ο</sup> 51'	22 <sup>ο</sup> 24'	17,4

2. Πίνακας: Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου [°C] πηγή: TOTEE 20701-3/2010

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα (Ελληνικό)	10,3	10,6	12,3	16,0	20,7	25,4	28,1	28,0	24,3	19,6	15,4	12,0
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	8,7	9,3	11,2	15,4	20,7	25,7	28,1	27,5	23,4	18,2	13,8	10,3
Αγρίνιο	8,3	9,2	11,5	15,2	20,4	24,8	27,2	27,0	23,0	18,0	13,2	9,6
Αγχιάλος	6,6	7,7	10,0	14,3	19,6	24,6	26,9	26,3	22,2	17,0	12,1	8,1
Αλεξανδρούπολη	5,0	5,9	8,3	13,2	18,4	23,2	25,9	25,6	21,1	15,7	10,8	7,0
Αλιάρτος	7,1	8,2	10,6	15,2	20,6	25,7	27,2	26,2	22,6	16,9	12,0	8,6
Ανδραβίδα	9,4	9,9	11,8	14,8	19,5	23,7	25,9	26,0	22,9	18,3	14,1	10,9
Άραξος	10,2	10,5	12,2	15,2	19,8	24,1	26,6	26,8	23,4	19,0	14,7	11,6
Άργος (Πυργέλα)	8,1	8,4	10,6	14,7	20,0	24,9	27,3	26,5	22,6	17,8	12,9	9,5
Αργοστόλι	11,4	11,5	12,8	15,3	19,5	23,5	25,7	26,1	23,4	19,8	15,8	12,8
Άρτα	8,0	9,0	11,5	14,6	19,6	23,6	25,7	25,6	22,0	17,8	12,5	9,1
Δράμα	4,7	6,5	10,0	14,7	20,2	24,7	26,7	25,9	22,3	16,4	9,9	6,0
Έδεσσα	4,5	6,2	9,6	13,4	18,6	23,8	25,2	24,5	20,7	15,6	9,4	5,8
Ζάκυνθος	10,5	10,5	11,8	14,8	19,7	24,3	27,2	27,1	23,6	19,1	14,8	11,7
Ηράκλειο	12,1	12,2	13,5	16,5	20,3	24,4	26,2	26,1	23,6	20,1	16,7	13,7
Θεσσαλονίκη	5,3	6,8	9,8	14,3	19,7	24,5	26,8	26,2	21,9	16,3	11,1	6,9
Ιεράπετρα	12,9	12,9	14,2	17,0	20,9	25,4	27,8	27,7	24,9	21,0	17,5	14,5
Ιωάννινα	4,7	6,0	8,8	12,4	17,5	22,0	24,9	24,5	20,1	15,0	9,7	5,8
Καλαμάτα	10,2	10,6	12,3	15,2	19,8	24,2	26,5	26,3	23,2	19,0	14,8	11,6
Καρδίτσα	4,5	6,9	10,4	13,9	18,0	24,2	26,3	25,6	22,1	16,1	10,1	4,3
Καρπενήσι	3,8	3,1	5,4	10,6	14,7	18,9	21,6	20,9	17,6	12,4	6,8	4,8
Κάρυστος	10,4	10,3	12,4	15,7	19,5	24,2	26,8	26,4	23,6	19,4	14,9	11,7
Καστοριά	2,2	3,4	6,9	11,5	16,4	21,4	24,0	23,2	18,9	13,4	7,2	3,0
Κέρκυρα	9,7	10,3	12,0	15,0	19,8	24,0	26,5	26,5	22,7	18,5	14,3	11,1
Κοζάνη	2,3	3,7	6,9	11,6	16,8	21,5	24,1	23,6	19,3	13,5	8,0	3,9
Κομοτηνή	4,8	6,2	8,6	13,1	18,4	23,0	25,5	25,0	20,6	15,2	10,8	7,0
Κόνιτσα	5,2	6,5	9,5	12,2	17,2	21,7	24,4	24,0	20,3	15,4	9,8	6,4
Κόρινθος (Βέλο)	8,8	9,3	11,5	15,4	20,7	25,8	28,3	27,8	23,4	18,6	13,4	10,1
Κύθηρα	10,9	10,9	11,9	14,6	18,9	23,2	25,7	25,7	22,9	19,1	15,8	12,7
Κως	11,0	10,5	12,1	15,4	19,5	23,8	25,9	25,4	23,2	19,4	15,0	12,4
Λαμία	7,1	8,1	10,7	15,0	20,2	25,4	27,0	26,0	22,5	17,0	11,9	8,2
Λάρισα	5,2	6,8	9,5	14,0	19,7	25,2	27,3	26,3	21,9	16,3	10,9	6,5
Λευκάδα	10,2	10,6	12,7	15,2	19,4	23,1	25,4	25,5	23,0	19,3	14,6	11,5
Λήμνος	7,4	7,8	9,7	13,8	18,5	23,6	25,9	25,1	21,5	16,8	12,3	9,0
Μεθώνη	11,3	11,5	12,9	15,4	19,0	22,6	24,8	25,7	23,6	19,8	16,0	12,9

3. Πίνακας: Νομοί ελληνικής επικράτειας ανά κλιματική ζώνη πηγή: TOTEE 20701-3/2010

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
<b>ΖΩΝΗ Α</b>	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή)
<b>ΖΩΝΗ Β</b>	Αττικής (εκτός Κυθέρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας
<b>ΖΩΝΗ Γ</b>	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλης, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου
<b>ΖΩΝΗ Δ</b>	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας