



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Κτίρια Μηδενικής Κατανάλωσης Ενέργειας  
και Βιοκλιματικός Σχεδιασμός.  
Εξοικονόμηση Ενέργειας με Ηλιοθερμικά Συστήματα.**

**Δημήτριος Θ. Παπανδρέου**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Δρ. Αθηνά Στέγγου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.  
Επιστημονική καθοδήγηση: Δρ. Ζωή Σαγιά, Μέλος ΕΔΙΠ Ε.Μ.Π.**



Παπανδρέου Θ. Δημήτριος  
Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Παπανδρέου Δημήτριος

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

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

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας τη σημερινή εποχή έχει γίνει επιτακτική σε παγκόσμια κλίμακα. Οι ενέργειες προς αυτήν την κατεύθυνση έχουν οδηγήσει στην εύρεση μεθόδων και την εφαρμογή τεχνολογιών για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύθηκαν οι τεχνολογίες οι οποίες εφαρμόζονται στα κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, εξετάζονται τα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια σύμφωνα με τις βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Πραγματοποιείται προσομοίωση με λογισμικό και γίνεται περιγραφή της εγκατάστασης συστήματος ηλιοθερμίας (ηλιοθερμικό σύστημα) για υποβοήθηση θέρμανσης σε μία κατοικία για την κάλυψη των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης και θέρμανση.

Στην εγκατάσταση του ηλιοθερμικού συστήματος επίπεδοι συλλέκτες συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία. Η συνολική ενέργεια που συλλέγεται από τους συλλέκτες αξιοποιείται στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και στην υποβοήθηση του συστήματος θέρμανσης για να καλυφθεί ένα ποσοστό των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων της κατοικίας. Η μελέτη γίνεται για να ελεγχθεί η αποδοτικότητα της ηλιακής εγκατάστασης και το ποσοστό εξοικονόμησης που μπορεί να επιτευχθεί.

Συγκεκριμένα η διάρθρωση της εργασίας είναι:

- Το πρώτο κεφάλαιο αποτελείται από την εισαγωγή και την αναφορά, γενικά, στο ενεργειακό ζήτημα των κτιρίων σήμερα.
- Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα Κτίρια Μηδενικής Ενέργειας, τις τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται, συνήθως σε υφιστάμενες κατασκευές ή σε νέα κτίρια. Τέλος παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα κτιρίων μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ευρώπη αλλά και στην Ελλάδα.
- Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία ανάλυση για τις βασικές αρχές της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής, τις εφαρμογές τους σε κτίρια και αναφέρονται κάποια από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται και αναλύεται η δομή και η λειτουργία των ηλιοθερμικών συστημάτων με κύρια αναφορά στα συστήματα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και στα συστήματα υποβοήθησης θέρμανσης (Συστήματα Combi).
- Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η προσομοίωση και η εγκατάσταση του ηλιοθερμικού συστήματος παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και υποβοήθησης θέρμανση σε κατοικία.
- Τέλος στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά σχόλια και συμπεράσματα από την εγκατάσταση .

## ABSTRACT

Nowadays, the need for energy saving has become urgent worldwide. Scientists attempt to find methods and technologies to achieve this goal.

In the present thesis, different technologies are implemented to zero energy buildings and analyzed extensively. Energy saving measures in accordance with basic principles of bioclimatic design are also presented. Furthermore, the operation of a solar-thermal system, in order to meet the energy demands for hot water and space heating of a Greek house, is simulated by using Polysun software.

In the system, flat panels absorb solar radiation. The total collected energy is utilized not only to produce domestic hot water but also, to assist the space heating system by covering a significant percentage of the building's heating demand. The study is done to verify the efficiency of the solar thermal system and the energy gains which can be achieved.

Specifically, the structure of the thesis is:

- The first chapter consists of an introduction and a general reference to energy issue of buildings today.
- The second chapter refers to Zero Energy Buildings and the technologies that are commonly used in existing or new buildings. Finally, some examples of zero energy buildings in Europe and in Greece are presented.
- The third chapter presents an analysis of the basic principles of bioclimatic architecture; their application in buildings and some of the advantages and disadvantages are listed.
- The fourth chapter presents and analyzes the structure and operation of solar thermal systems which combine domestic hot water production and space heating (Combi Systems).
- In the fifth chapter, the simulation and installation of a Combi solar thermal system for hot water production and space heating in a residential building, is presented.
- Finally, in the sixth chapter, general observations and conclusions from the examined case study are given.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 1.1 Ενεργειακό ζήτημα .....σελ.1
- 1.2 Κτιριακός τομέας .....σελ.2

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (Ζ.Ε.Β.)

- 2.1 Ορισμός Ζ.Ε.Β. ....σελ.7
- 2.2 Διαφορετικοί τύποι Ζ.Ε.Β. ....σελ.8
- 2.3 Παραδείγματα Ζ.Ε.Β.στην Ελλάδα και στο εξωτερικό .....σελ.11
- 2.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στα Ζ.Ε.Β.....σελ.16
- 2.5 Εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας σε Ζ.Ε.Β. ....σελ.25

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

- 3.1 Βασικές αρχές βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής .....σελ.27
  - 3.1.1 Προσανατολισμός Κτιρίου .....σελ.29
  - 3.1.2 Σχήμα του κτιρίου .....σελ.32
  - 3.1.3 Προσανατολισμός ανοιγμάτων.....σελ.33
  - 3.1.4 Λειτουργική οργάνωση των εσωτερικών χώρων .....σελ.34
  - 3.1.5 Θερμική μάζα .....σελ.36
  - 3.1.6 Θερμομόνωση .....σελ.37
  - 3.1.7 Ηλιασμός.....σελ.40
  - 3.1.8 Ηλιοπροστασία-Σκιασμός .....σελ.41
  - 3.1.9 Φυσικός Φωτισμός .....σελ.47
  - 3.1.10 Φυσικός Δροσισμός-Αερισμός .....σελ.65
  - 3.1.11 Φύτευση .....σελ.70
- 3.2 Εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας για θέρμανση σε ΖΕΒ. ....σελ.73
  - 3.2.1 Διαχωρισμός συστημάτων .....σελ.74
- 3.3 Παθητικά συστήματα .....σελ.75
  - 3.3.1 Άμεσα παθητικά συστήματα .....σελ.76
  - 3.3.2 Έμμεσα συστήματα .....σελ.79
- 3.4 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα .....σελ.89
  - 3.4.1 Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.....σελ.93
  - 3.4.2 Θέρμανση χώρων με χρήση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων...σελ.94
  - 3.4.3 Ηλιακός Κλιματισμός .....σελ.95

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

4.1 Εισαγωγή στα Θερμικά Ηλιακά Συστήματα .....	σελ. 98
4.2 Περιγραφή τεχνολογίας ηλιακών συλλεκτών .....	σελ.100
4.2.1 Επίπεδοι συλλέκτες .....	σελ.100
4.2.2 Συλλέκτες κενού .....	σελ.103
4.2.3 Συγκεντρωτικοί συλλέκτες.....	σελ.105
4.2.4 Σύνδεση ηλιακών συλλεκτών .....	σελ.106
4.2.5 Θεωρία Επίπεδου συλλέκτη .....	σελ.109
4.2.6 Προσανατολισμός-Κλίση και Τοποθέτηση Ηλιακών συλλεκτών .....	σελ.113
4.3 Συσσωρευτές ενέργειας .....	σελ.117
4.4 Εναλλάκτες θερμότητας .....	σελ.119
4.5 Σωληνώσεις .....	σελ.121
4.6 Σύστημα αντλίας-κυκλοφορητή .....	σελ.123
4.7 Δοχείο διαστολής .....	σελ.126
4.8 Βαλβίδα ασφαλείας .....	σελ.128
4.9 Εξαεριστικό .....	σελ.129
4.10 Υπολογισμός Μέσων Θερμικών Φορτίων .....	σελ.130
4.10.1 Θέρμανση νερού .....	σελ.130
4.10.2 Θέρμανση χώρων .....	σελ.132
4.10.3 Θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών .....	σελ.133
4.11 Υπολογισμός Θερμικής Απόδοσης .....	σελ.135
4.11.1 Μέθοδος καμπυλών f .....	σελ.135
4.12 Επιλογή μεγέθους ηλιοθερμικής εγκατάστασης .....	σελ.142

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

5.1 Παρουσίαση εγκαταστημένου συστήματος .....	σελ.144
5.2 Προσομοίωση με το λογισμικό Polysun .....	σελ.172

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ .....**

σελ.180

<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>σελ.186</b>
<b>Παράρτημα .....</b>	<b>σελ.188</b>





# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1. Εισαγωγή [1,2]

### 1.1 Ενεργειακό ζήτημα

Δισεκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) απελευθερώνονται κάθε χρόνο στην ατμόσφαιρα κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο, καθώς και άλλων αερίων, όπως το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου, αλλάζοντας τη σύσταση των αερίων που παρέμενε σταθερή για δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Η ανατροπή αυτή αναμένεται να αλλάξει δραστικά το κλίμα τις επρχόμενες δεκαετίες. Το διοξείδιο του άνθρακα θεωρείται υπεύθυνο για το 50% της υπερθέρμανσης της ατμόσφαιρας. Η ανθρώπινη δραστηριότητα αύξησε κατά 25% τις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από την αρχή της βιομηχανικής επανάστασης έως και σήμερα με αποτέλεσμα κάθε χρόνο να επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα με έξι δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Ως αποτέλεσμα της απελευθέρωσης CO<sub>2</sub> υπολογίζεται ότι η μέση θερμοκρασία της γης θα ανέβει τον επόμενο αιώνα από 2 έως και 6°C.

Το διοξείδιο του άνθρακα συμμετέχει στο συνολικό φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 60% περίπου και το μεθάνιο κατά 20%. Το διοξείδιο του άνθρακα ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων σε εφαρμογές που συνδέονται κατά κύριο λόγο με κτίρια, τις μεταφορές και τις βιομηχανικές δραστηριότητες ενώ το μεθάνιο προέρχεται από διάφορα οργανικά απόβλητα και την κτηνοτροφία.

Είναι προφανές ότι καθώς η σύσταση των αερίων του θερμοκηπίου συνεχώς αυξάνεται, τόσο θα διαταράσσεται και η θερμική ισορροπία του πλανήτη με δραματικές επιπτώσεις στο κλίμα του. Η τελευταία δεκαετία ήταν η θερμότερη της χιλιετίας, με αποτέλεσμα ακραία καιρικά φαινόμενα να εμφανίζονται συχνότερα σε όλη την υφήλιο.

Η άμεση απεξάρτηση από το πετρέλαιο και τον άνθρακα, όχι μόνο λόγω της συνεχιζόμενης αύξησης των τιμών τους, όσο και λόγω μείωσης των αποθεμάτων των ορυκτών κυρίως καυσίμων, αλλά και λόγω του κόστους που συνεπάγονται οι εκπομπές του προερχομένου από το πετρέλαιο και τον άνθρακα, διοξειδίου του άνθρακα είναι πλέον βασική προτεραιότητα για τη διατήρηση του κλιματικής ισορροπίας του πλανήτη. Η προβλεπόμενη εξέλιξη των πραγμάτων, μέσα στα προσεχή έτη, δυστυχώς φαίνεται ότι θα εντείνει την ανάγκη απεξάρτησής μας από τα ορυκτά καύσιμα, για αυτό άλλωστε και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν την εναλλακτική λύση στο ενεργειακό και περιβαλλοντικό πρόβλημα

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει δραματική υποβάθμιση του περιβάλλοντος με την αυξανόμενη χρήση υλικών και συσκευών εχθρικών προς το περιβάλλον που έχουν συντελέσει στην εμφάνιση σημαντικών, ποιοτικά και ποσοτικά, περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων στα κτίρια. Η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος ειδικά στα αστικά κέντρα έχει προκαλέσει τη δραματική αύξηση της

απαιτούμενης ενέργειας για το δροσισμό των κτιρίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο, με αποτέλεσμα η απαιτούμενη ενέργεια για το δροσισμό ενός κτιρίου στο κέντρο της Αθήνας να είναι σχεδόν διπλάσια από την απαιτούμενη στην περιφέρεια.

Τα παραπάνω στοιχεία δημιουργούν ένα νέο πλαίσιο εξέτασης και ανάλυσης του ενεργειακού και περιβαλλοντικού προβλήματος των κτιρίων. Η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων θα πρέπει να συνδεθεί με τα περιβαλλοντικά προβλήματα και θα πρέπει να μελετάται σαν μια ενότητα μαζί με το συγκεκριμένο εξωτερικό μικροκλίμα στο χώρο του κτιρίου, καθώς και το διαμορφούμενο εσωτερικό περιβάλλον.

## **1.2 Ενεργειακές ανάγκες κτιρίου**

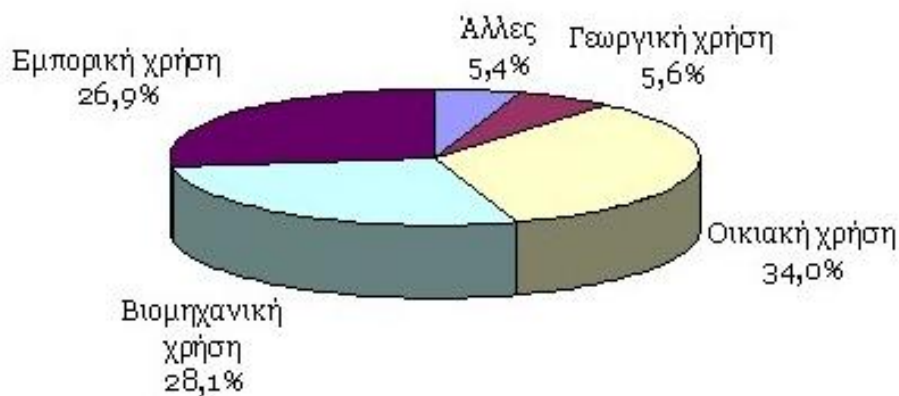
Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο κτιριακός τομέας ευθύνεται περίπου για το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και συνεπώς και για το ίδιο ποσοστό σε συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub>. Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια κυμαίνεται από 20% για την Πορτογαλία, έως και 45% για την Ιρλανδία, της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας με την Ελλάδα να βρίσκεται σε αυτό το μέσο ευρωπαϊκό επίπεδο. Δεδομένου ότι ο κάτοικος των αστικών κυρίως κέντρων βιώνει το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του στο εσωτερικό των κτιρίων, είναι άμεση η σχέση της ποιότητας του εσωτερικού κλίματος τόσο στην υγεία και την άνεση όσο και την παραγωγικότητά του.

Η θέρμανση των κτιρίων κατέχει το σημαντικότερο ποσοστό των συνολικών ενεργειακών καταναλώσεων (61%) ακολουθούμενη από την παραγωγή ζεστού νερού (10%), τις ηλεκτρικές συσκευές και το φωτισμό (11%). Η μέση κατανάλωση ενέργειας/κατοικία για θέρμανση έχει ελαφρά μειωθεί στην Ε.Ε. από το 1990, ενώ η θεωρητική ειδική κατανάλωση των νέων κατοικιών στην Ε.Ε. είναι κατά 22% μικρότερη από το 1985. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο οι κατοικίες, όσο και οι ηλεκτρικές συσκευές είναι πιο ενεργειακά αποδοτικές, αν και οι απαιτήσεις σε άνεση είναι αυξημένες. Επιπλέον, υπάρχουν αυστηρότερα κριτήρια ενεργειακής απόδοσης που έχουν θεσπιστεί σε αρκετές χώρες την τελευταία πενταετία. Οι ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων στην Ευρώπη καλύπτονται σε μεγάλο ποσοστό από την άμεση και έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολία.

Φυσικά πρωταρχικό ρόλο παίζει η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου με βάση τα δομικά στοιχεία του (παθητικά συστήματα). Για αυτό στα ήδη υπάρχοντα κτίρια που δεν πληρούν αυτές τις προϋποθέσεις θα πρέπει πρώτα να γίνουν βελτιώσεις στα δομικά στοιχεία του κτιρίου και έπειτα να τοποθετηθούν συστήματα παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

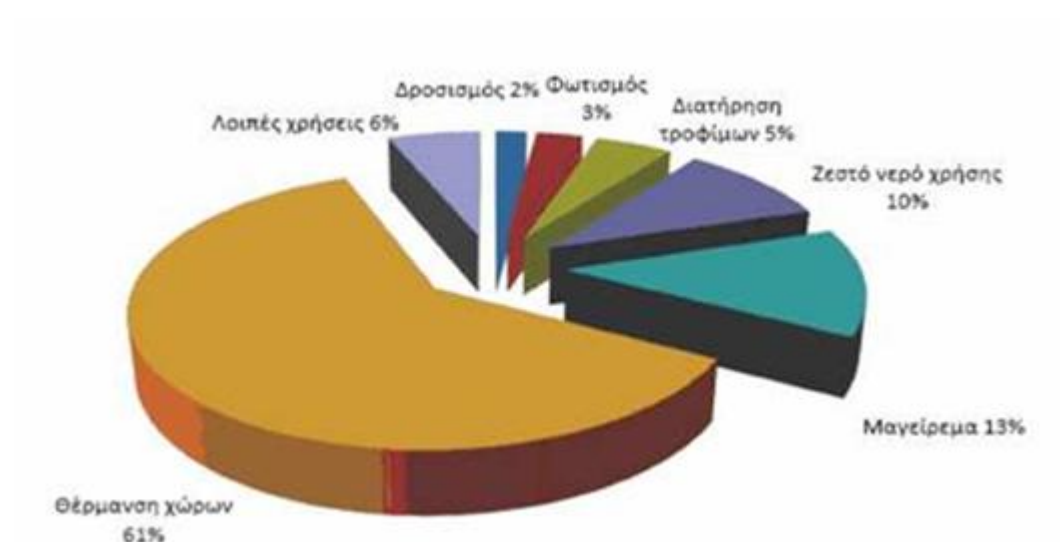
## Κτιριακός τομέας στην Ελλάδα

Ο κτιριακός τομέας στην Ελλάδα αποτελείται κατά 70% από κτίρια οικιακού τομέα ενώ το υπόλοιπο 30% από κτίρια του τριτογενή τομέα (αθλητικές εγκαταστάσεις, ξενοδοχεία, αεροδρόμια, σχολεία, εμπορικά καταστήματα κ.α.) και είναι υπεύθυνος για το 35% περίπου της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας.



Σχήμα 1.1: Σύνθεση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα [1]

Στην Ελλάδα, χώρα με πολύ λιγότερες απαιτήσεις σε θέρμανση κατά τη διάρκεια του χειμώνα σε σχέση με τις χώρες της βόρειας Ευρώπης, οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 61% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου.



Σχήμα 1.2: Κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση σε κατοικίες [1]

Όπως παρατηρείται, η θέρμανση των χώρων αποτελεί τη σημαντικότερη ενεργειακή κατανάλωση για όλα τα κτίρια στη χώρα. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μια σειρά

από παραμέτρους που σχετίζονται με το πλήθος των συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού το είδος της προστασίας των κτιρίων κατά τη διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού, καθώς και στο γεγονός ότι για το δροσισμό των χώρων χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια και συσκευές με συντελεστή απόδοσης κατά πολύ μεγαλύτερο της μονάδας.

Δημιουργείται συνεπώς ενεργειακό πρόβλημα λόγω των αναγκών θέρμανσης και ψύξης χώρων, φωτισμού, αερισμού καθώς και ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας. Κι αυτό γιατί το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών των αναγκών καλύπτεται από συμβατικές πηγές ενέργειας. Υπάρχει συνεπώς η ανάγκη σχεδίασης του κτιρίου με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνονται όσο είναι δυνατό οι ενεργειακές ανάγκες του αλλά και να αξιοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας. Έτσι, τα κτίρια θα πρέπει να σχεδιάζονται με βιοκλιματική αρχιτεκτονική ούτως ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία κτιρίων σχεδόν μηδενικών αναγκών συμβατικής ενέργειας (Zero Energy Buildings) ή και ακόμα κτιρίων θετικής συνολικά αποδιδόμενης ενέργειας. Για αυτό είναι απαραίτητος ο βέλτιστος συνδυασμός των συστημάτων, όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, ώστε να καλύπτονται οι θερμικές και ηλεκτρικές ανάγκες του κτιρίου.

Στην Ελλάδα οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο, αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο και 12% ηλεκτρικό ρεύμα. Σε αντίθεση με το σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στην Ελλάδα η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια παρουσιάζει αυξητική τάση.

Η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας είναι ιδιαίτερα εμφανής στον κτιριακό τομέα, αφού επιπλέον, τα κτίρια ευθύνονται για περισσότερο από το 45% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Η εξοικονόμηση ενέργειας στον κτιριακό τομέα είναι πλέον επιβεβλημένη, και όπως διαπιστώθηκε ειδικότερα στον τομέα της θέρμανσης, όπως επιτάσσουν οι αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού και οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη δημιουργία Κτιρίων Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης.



## 2.ΚΤΙΡΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

### 2.1 Εισαγωγή στα κτίρια χαμηλής κατανάλωσης

Η παγκόσμια κοινότητα βρίσκεται εδώ και αρκετό καιρό σε αναζήτηση ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών για εξοικονόμηση ενέργειας στο κτιριακό τομέα. Είναι κοινά αποδεκτό πλέον ότι δεν μπορεί να καλυφθεί η αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας με τις συμβατικές ενεργειακές μεθόδους, ενώ ιδιαίτερα στον κτιριακό τομέα υπάρχει τεράστιο δυναμικό εξοικονόμησης, χωρίς απώλεια της ποιότητας των ανέσεων. Τη μετάβαση σε μια εποχή εξοικονόμησης ενέργειας στον κτιριακό τομέα την έχουν αναλάβει κτίρια νέας γενιάς, χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων, αλλά και η μετατροπή υφιστάμενων κτιρίων σε χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

### Ορισμός κτιρίων μηδενικής ενέργειας [3,4,5,6]

Ένα κτίριο μηδενικής ενέργειας, αναφέρεται σε ένα κτίριο με μηδενική καθαρή κατανάλωση ενέργειας. Η φιλοσοφία του κτιρίου μηδενικής ενέργειας, είναι ουσιαστικά μία εξέλιξη του παθητικού σχεδιασμού. Η εφαρμογή αυτής της φιλοσοφίας στον κτιριακό τομέα, δεν είναι μόνο η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου με παθητικές μεθόδους σχεδιασμού, αλλά και ο σχεδιασμός ενός κτιρίου που ικανοποιεί τις ενεργειακές ανάγκες του, με ενεργές τεχνικές και τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έτσι ώστε τα αποτελέσματα των εφαρμογών αυτών να μπορούν να εκτιμηθούν με βάση την πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας αλλά και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Τα κτίρια μηδενικής ενέργειας, σχεδιάζονται αρχικά ώστε να προσφέρουν υψηλή ενεργειακή απόδοση και μειωμένες ενεργειακές ανάγκες και στη συνέχεια να εφαρμόζονται σε αυτά τεχνικές παραγωγής και εξοικονόμησης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που βρίσκονται στο χώρο του κτιρίου. Επομένως, για το σχεδιασμό ενός κτιρίου μηδενικής ενέργειας με τις παραπάνω αρχές, πρέπει αρχικά να υπάρξει ένας σχετικός ορισμός. Ένα κτίριο μηδενικής ενέργειας, μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους.

Παρουσιάζονται λοιπόν, τέσσερις βασικοί ορισμοί ενός κτιρίου μηδενικής ενέργειας, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς στόχους:

### Διαχωρισμός ανάλογα την παροχή ενέργειας

**1. Μηδενικής τελικής ενέργειας (Net Zero Energy):** Κτίρια τα οποία παράγουν επί τόπου τόση ενέργεια όση καταναλώνουν ετησίως.

**2. Μηδενικής ενέργειας από την πηγή (Net Zero Source Energy):** Κτίρια τα οποία παράγουν τουλάχιστον όση ενέργεια χρησιμοποιούν σε ένα χρόνο. Η ενέργεια από την πηγή αναφέρεται στην πρωτογενή ενέργεια που χρησιμοποιείται για τη

δημιουργία και την παράδοση της απαιτούμενης ενέργειας στο χώρο του κτιρίου. Για να υπολογιστεί η συνολική πρωτογενής ενέργεια ενός κτιρίου, η εισαγόμενη και εξαγόμενη ενέργεια μετατρέπεται με βάση διάφορους συντελεστές.

**3. Μηδενικού κόστους ενέργεια (Net zero energy Costs):** Κτίρια στα οποία υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ του κέρδους από την πώληση της παραγόμενης επί τόπου ενέργειας και του κόστους από την αγορά ενέργειας από το δίκτυο κοινής ωφελείας.

**4. Καθαρές ενέργειας με μηδενικές εκπομπές (Net zero energy emissions):** Κτίρια στα οποία οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την ενέργεια που προσλαμβάνεται από το δίκτυο, εξισορροπούνται από την ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες, επί τόπου πηγές.

## 2.2 Διαχωρισμός ανάλογα τη σύνδεση του κτιρίου στο δίκτυο

Στη συνέχεια , τα ZEB διαχωρίζονται με βάση του αν είναι διασυνδεδεμένα ή μη:

**Off-grid ZEB:** Off-grid ZEB είναι το κτίριο το οποίο δεν είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο διανομής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, ένα τέτοιο κτίριο πρέπει να καλύπτει τις ενεργειακές του ανάγκες αποκλειστικά και μόνο από δικές του πηγές ενέργειας. Απαραίτητο στοιχείο είναι η ύπαρξη ηλιακών συσσωρευτών για την τροφοδότηση του κτιρίου σε περιόδους που δεν είναι δυνατόν να παραχθεί ενέργεια, όπως τη νύχτα ή σε περιόδους συννεφιασμένου καιρού. Το κόστος είναι μεγάλο για την επίτευξη ενός off-grid ZEB λόγω του αυξημένου κόστους των συσσωρευτών. Επιπλέον, οι υπάρχουσες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας είναι πολύ περιορισμένες κάνοντας την επίτευξη ενός off-grid ZEB ακόμα δυσκολότερη υπόθεση. Επίσης ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι η περίσσεια ενέργειας σε περιόδους μεγάλης ηλιοφάνειας δεν εξάγεται στο δίκτυο, με αποτέλεσμα η πλεονάζουσα αυτή ενέργεια να πρέπει να αποθηκεύεται.

**On-grid ZEB:** Αποτελούν τη συνηθέστερη μορφή ZEB, όπου το κτίριο είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο και συνεπώς εισάγει και εξάγει ενέργεια από το δίκτυο. Μια ενδιαφέρουσα μορφή on-grid ZEB είναι μια περιοχή ή γειτονιά, όπου τα κτίρια της ZEB κοινότητας εκμεταλλεύονται διάφορες μορφές ΑΠΕ (ηλιακή, βιομάζα, γεωθερμία, ανεμογεννήτριες). Δηλαδή, σε αυτό το συγκρότημα πρέπει όλα τα κτίρια μέλη, να έχουν μειωμένες ενεργειακές απαιτήσεις καθώς και όσο είναι δυνατόν οικονομικά, να παράγουν ενέργεια on-site. Επίσης στο χώρο που βρίσκονται τα κτίρια θα πρέπει να είναι δυνατή η εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου, ανεμογεννητριών ή υδροηλεκτρικών σταθμών και το κόστος εγκατάστασης επιμερίζεται στα κτίρια μέλη της ZEB κοινότητας. Η πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια θα μπορεί επίσης να πωλείται στο δίκτυο ενώ αν υπάρξει έλλειψη να παρέχεται από το δίκτυο. Επειδή κάθε γεωγραφικός χώρος χαρακτηρίζεται από τις δικές του γεωγραφικές ιδιαιτερότητες θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και διαφορετικές μορφές ΑΠΕ .

Ένα κτίριο μηδενικής ενέργειας, παράγει επί τόπου τόση ενέργεια όση καταναλώνει, με χρήση διάφορων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά στοιχεία στη στέγη και σε άλλους προς εκμετάλλευση χώρους, ηλιακούς συλλέκτες ζεστού νερού, μικρής κλίμακας εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας ή υδροηλεκτρικά συστήματα μικρής κλίμακας.

Ο σημαντικότερος περιορισμός του ορισμού ενός Κ.Μ.Ε. είναι ότι δεν λαμβάνονται υπόψη οι τιμές των διαφόρων καυσίμων για την παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας. Για παράδειγμα, μια μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται επί τόπου, είναι περίπου ισοδύναμη με μια μονάδα ενέργειας φυσικού αερίου στην περιοχή, η ηλεκτρική ενέργεια είναι όμως περισσότερο από τρεις φορές ακριβότερη στην πηγή.

Ένα πλεονέκτημα της μηδενικής καθαρής ενέργειας στον τόπο του κτιρίου, αποτελεί η ευκολία επιτόπιων μετρήσεων, γεγονός που δεν είναι δυνατό για την πρωτογενή ενέργεια και για τον ορισμό των μηδενικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, αφού σε αυτές τις περιπτώσεις, απαιτείται ο καθορισμός διαφορετικών παραγόντων, που σχετίζονται με την πηγή παραγωγής ενέργειας. Ο κάθε διαφορετικός ορισμός κτιρίων μηδενικής ενέργειας, επηρεάζει αντίστοιχα τον τρόπο που σχεδιάζονται τα κτίρια για την επίτευξη του ίδιου κάθε φορά στόχου. Στην τρέχουσα πρακτική, η πιο κοινή προσέγγιση για τα ZEB, είναι η χρήση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο ως πηγή, αλλά και ως μέσο αποθήκευσης, αποφεύγοντας έτσι την τοποθέτηση ηλεκτρικών συστημάτων αποθήκευσης στο κτήριο. Ο όρος «καθαρή» ενέργεια χρησιμοποιείται για κτίρια που συνδέονται στο δίκτυο, ώστε να καθοριστεί το ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ χρησιμοποιούμενης και προσφερόμενης ενέργειας, ενώ ο όρος «μηδενική καθαρή ενέργεια» εφαρμόζεται όταν το ισοζύγιο αυτό είναι μηδενικό.

Διάφορες καινοτόμες και ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες είναι ώριμες πλέον και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και την εσωτερική άνεση των κτιρίων:

- Η βελτίωση της δομής του κτιρίου, δηλαδή η βελτίωση της μόνωσης, η αύξηση της θερμικής μάζας, η χρήση υλικών κλιματισμού, η δημιουργία υλικών αλλαγής φάσης, κλπ.
- Η χρήση καινοτόμων συστημάτων σκίασης.
- Η ενσωμάτωση υψηλής απόδοσης συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού, π.χ. αντλίες θερμότητας σε συνδυασμό με γεωθερμική ενέργεια ή ηλιακοί συλλέκτες, ηλιακός κλιματισμός, κλπ.
- Η αποδοτική χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακά θερμικά συστήματα, υβριδικά συστήματα, κλπ.).



- Η χρήση «έξυπνων» τρόπων διαχείρισης ενέργειας, όπως για παράδειγμα εξελιγμένων αισθητήρων, ελέγχου της ενέργειας (ζώνη θέρμανσης και κλιματισμού) και συστήματα παρακολούθησης.



Εικόνα 2.1: Αναπαράσταση Κτιρίου Μηδενικής Ενέργειας [4]

Συνοπτικά, τα κτίρια μηδενικής ενέργειας παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα τα οποία δυσχεραίνουν την υλοποίησή τους.

### Πλεονεκτήματα

Η αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στα υφιστάμενα κτίρια, αλλά και η κατασκευή νέων με υψηλής απαίτησης ενεργειακή απόδοση, έχει ως αποτέλεσμα:

- Τη βελτίωση της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού λόγω της απεξάρτησης από εισαγωγές καυσίμων.
- Τη μείωση των εκπομπών διοξειδίων του άνθρακα, καθώς και άλλων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου.
- Τη βελτίωση των συνθηκών άνεσης στους χώρους εργασίας και κατοικίας με άμεσο επακόλουθο να προάγεται το επίπεδο διαβίωσης μεγάλου μεριδίου ανθρώπων.
- Τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στους τομείς που προάγουν την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων (μελέτη, πιστοποίηση, κατασκευή, χρήση κτλ).

## Μειονεκτήματα

Αντίθετα, εκτός της μεγάλης τεχνολογικής, ενεργειακής και κοινωνικής ωφέλειας που επισύρουν οι αλλαγές και η κατεύθυνση προς αυτό το νέο τρόπο δόμησης των ZEB, υπάρχουν και κάποιες τεχνικές-οικονομικές δυσκολίες που εμφανίζονται ως μειονεκτήματα και αφορούν τα οικονομικά μεγέθη.

- Η μεγάλη οικονομική επιβάρυνση για την εγκατάσταση νέων τεχνολογιών στα κτίρια.
- Ο μεγάλος χρόνος οικονομικής απόσβεσης που μπορεί να αποτελέσει τροχοπέδη στην εφαρμογή και χρήση νέων αιεφόρων τεχνολογιών.

### 2.3 Κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης στην Ελλάδα και στο εξωτερικό.

Παρά τη μεγάλη οικονομική διαφορά για την υλοποίηση ενός κτιρίου σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος ενός συμβατικού έχουν γίνει προσπάθειες που παρουσιάζονται παρακάτω:

1) REC Conference Center (Ουγγαρία), [[www.rec.org](http://www.rec.org)]

Το κτίριο αυτό αποτελείται από γραφεία καθώς και αίθουσες διαλέξεων. Πρόκειται για ένα on-grid κτίριο με σκοπό την κατανάλωση ενέργειας από ΑΠΕ.



Εικόνα 2.2: Κτίριο Μηδενικής Κατανάλωσης REC , Ουγγαρία

Τα μέτρα για τη μετατροπή του σε Κτίριο Μηδενικής Ενέργειας παρουσιάζονται επιγραμματικά παρακάτω :

- Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας: Στην οροφή του κτιρίου τοποθετήθηκαν 140 φωτοβολταϊκά πάνελ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ισχύος 29 kW. Σε περίοδο που η ηλεκτρική ζήτηση δεν μπορεί να καλυφθεί από την ιδιοπαραγωγή, το κτίριο παίρνει ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο, ενώ σε μέρες που το κτίριο παράγει πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια τη διοχετεύει στο δίκτυο.
- Θέρμανση: Στο κτίριο είναι εγκατεστημένες 2 αντλίες θερμότητας οι οποίες καλύπτουν τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου.
- Μόνωση κελύφους και οροφής: Το κτίριο έχει μονωθεί σύμφωνα με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού για τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων και την κάλυψη της θέρμανσης και ψύξης.
- Τεχνητός φωτισμός: Χρησιμοποιήθηκαν ενεργειακά αποδοτικοί λαμπτήρες χαμηλής κατανάλωσης καθώς και ανιχνευτές κίνησης για αποτελεσματική εξοικονόμηση ενέργειας.
- Φυσικός φωτισμός: Ένα πλαίσιο από τζάμια στο πάνω μέρος των τοίχων και άλλες διατάξεις στα ανοίγματα του κτιρίου συντελούν στην εκμετάλλευση στο μέγιστο δυνατό του φυσικού φωτισμού με σκοπό να μειωθεί η ανάγκη για χρήση του τεχνητού φωτισμού

2) Κεντρικά Γραφεία της εταιρίας Abalone (Ναντ, Γαλλία), [<http://www.buildup.eu>]

Το κτίριο αυτό είναι πολύ κοντά στο επιτύχει πλήρως το στόχο ενός ZEB. Τα έργα ξεκίνησαν το 2006 με σκοπό στο μέλλον το κτίριο να χαρακτηριστεί ως πλήρως ενεργειακά αυτόνομο κτίριο. Έχουν εγκατασταθεί διατάξεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ενώ έχει γίνει πρόβλεψη στο μέλλον για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της παραγωγής υδρογόνου.



Εικόνα 2.3: Κτίριο γραφείων Abalone

Συνοπτικά τα μέτρα που έχουν ληφθεί είναι τα εξής :

- Εγκατάσταση 3 ανεμογεννητριών δίπλα στο κτίριο (ύψος=15 m και  $P=10\text{kW}$  η καθεμιά). Η ετήσια παραγωγή ενέργειας φτάνει τις 45 MWh.
- Εγκατάσταση 3 ανεμογεννητριών στην οροφή του κτιρίου με ύψος 3m η καθεμιά και συνολικά παραγωγή ενέργειας 15 MWh το χρόνο.
- Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ στην οροφή σε επιφάνεια  $80\text{m}^2$ . Η ετήσια παραγωγή ενέργειας ανέρχεται στις 2 MWh το χρόνο.
- Εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών που χρησιμεύουν στη θέρμανση και στην παροχή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX).
- Σύστημα ψύξης του αέρα με εναλλάκτες γης-αέρα.
- Σύστημα εξαερισμού με δυνατότητα εκμετάλλευσης του θερμού αέρα.

### 3) Ευώνυμος Οικολογική Βιβλιοθήκη, [www.evonymos.org]

Αποτελεί ένα παράδειγμα κτιρίου μηδενικής ενέργειας στο κέντρο της Αθήνας με συνεχείς εργασίες ανακαίνισης.



Εικόνα 2.4: Ευώνυμος Βιβλιοθήκη

Ορισμένα από τα μέτρα αναβάθμισης που έχουν ληφθεί είναι :

- Μόνωση κελύφους: Εξωτερική θερμομόνωση του κελύφους με 4 cm πάχος
- Αντικατάσταση Κουφωμάτων με διπλά τζάμια χαμηλής εκπομπής
- Αεροστεγάνωση με σκοπό τη μη διαρροή αέρα προς τα έξω
- Συστήματα σκίασης ανάλογα με τον προσανατολισμό του κτιρίου
- Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ
- Ηλιακοί Συλλέκτες για την κάλυψη του ζεστού νερού χρήσης
- Σύστημα θέρμανσης ενεργειακά αποδοτικό με φυσικό αέριο
- Υβριδικός εξαερισμός εγκατεστημένος στην οροφή του κτιρίου
- Φυσικό σύστημα ψύξης μέσω του συστήματος εξαερισμού
- Σύστημα τεχνητού φωτισμού με ενεργειακά αποδοτικούς λαμπτήρες φιλικούς προς το περιβάλλον

- Εγκατάσταση BEMS. Είναι ένα “έξυπνο” σύστημα διαχείρισης και ελέγχου όλων των διατάξεων. Το σύστημα αυτό ελέγχει το σύστημα θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού, τη λειτουργία των ΑΠΕ και μετράει το ποσό της καταναλισκόμενης ενέργειας.

#### 4) Κτίριο του ΚΑΠΕ απόλυτης ενεργειακής αυτονομίας στο Λαύριο, [www.cres.gr]



Εικόνα 2.5: Κτίριο ΚΑΠΕ [11]

Το συγκεκριμένο κτίριο είναι ένα συγκρότημα γραφείων το οποίο αναβαθμίστηκε σε ένα εξελιγμένο κτίριο μηδενικής ενέργειας ενώ αρχικά ήταν ένα εγκαταλειμμένο εργοστάσιο ζυμαρικών.

Στο κτίριο αυτό έχουν εφαρμοστεί τεχνολογίες όπως:

- Εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ
- Εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με χρήση συνολικά 6 ανεμογεννητριών
- Ηλεκτρόλυση δηλαδή μια τεχνολογία η οποία αποθηκεύει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια όχι σε μπαταρίες αλλά σε καθαρή μορφή υδρογόνου.
- Ενσωμάτωση παθητικών ηλιακών συστημάτων (Π.Η.Σ.), τα οποία έχουν ως στόχο την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των χώρων.
- Διαφανής θερμομόνωση συνολικής επιφάνειας 8m<sup>2</sup> για ενίσχυση των ηλιακών κερδών των νότιων χώρων.
- Γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού-νερού.
- Ηλιοβοηθούμενη αντλία θερμότητας αέρα-νερού που καλύπτει το φορτίο του πρώτου ορόφου Στο υπόγειο του κτιρίου έχουν εγκατασταθεί επίσης δύο αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα ημικεντρικού τύπου ισχύος 18kW.

- Σύστημα Ενεργειακής Διαχείρισης Κτιρίου (BEMS), που έχει σκοπό την επιτήρηση ή και τον αυτόματο έλεγχο των ηλεκτρολογικών και μηχανολογικών εγκαταστάσεων του κτιρίου ώστε να είναι δυνατή η άμεση πρόσβαση, απρόσκοπτη λειτουργία, ρύθμιση παραμέτρων και η ανάλυση δεδομένων όλων των εγκαταστάσεων από ένα σταθμό ελέγχου.

## 2.4 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε Κτίρια Μηδενικής Ενέργειας [7,8,9,10,11]

Ο βασικότερος παράγοντας σχεδιασμού που πρέπει να επιτευχθεί στα κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης είναι η αυτονομία τους. Ένα κτίριο ZEB απαιτεί καθαρή ηλεκτρική ενέργεια η οποία πρέπει να παράγεται από την εκμετάλλευση της ηλιακής ή της αιολικής ενέργειας.

### Φωτοβολταϊκά συστήματα

Η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο κατάλληλη μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων. Η χρήση φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστοιχιών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι πλέον ώριμη και συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία, ευρέως διαδεδομένη σε όλη την Ευρώπη.

Τα φωτοβολταϊκά διακρίνονται σε «διασυνδεδεμένα» συστήματα, που συνδέονται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και σε «αυτόνομα» συστήματα, όπου χρησιμοποιούνται συσσωρευτές (μπαταρίες). Τα αυτόνομα συστήματα, μπορεί να περιλαμβάνουν και άλλες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής, όπως ανεμογεννήτριες ή/και μικρά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (υβριδικά συστήματα).

Όσον αφορά το υλικό κατασκευής τους, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, διαχωρίζονται κυρίως σε μονοκρυσταλλικού, πολυκρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου. Τα κυριότερα πλεονεκτήματά τους είναι:

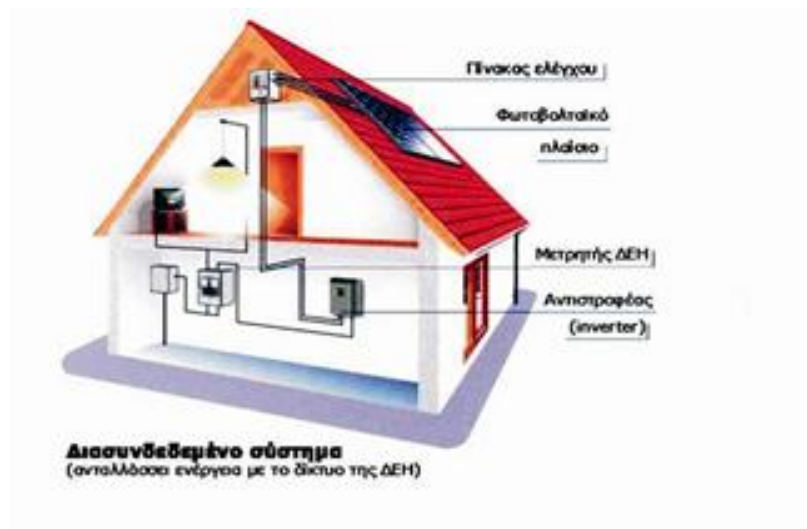
- Κατά τη λειτουργία τους, δεν καταναλώνεται άλλη μορφή πρωτογενούς ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού
- Δεν προκαλείται ρύπανση του περιβάλλοντος
- Δεν αφήνουν κατάλοιπα (με εξαίρεση τις μπαταρίες όταν χρησιμοποιούνται σαν αποθηκευτικό μέσο)
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε απομονωμένες περιοχές,
- Ύπαρξη δυνατότητας αυτόνομης λειτουργίας

Τα Φ/Β στοιχεία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, σύμφωνα με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα ημιαγωγού υλικού, συνήθως πυριτίου και όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στην ένωση αυτών των δύο στρωμάτων, παράγεται συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα. Η απόδοση των Φ/Β στοιχείων εξαρτάται από το υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι Φ/Β στοιχείων είναι τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου και τα άμορφα πολυκρυσταλλικά στοιχεία. Τα στοιχεία αυτά διαφέρουν τόσο ως προς τον τρόπο κατασκευής τους, όσο και ως προς τα χαρακτηριστικά τους.



Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε:

- διασυνδεδεμένα συστήματα, που συνδέονται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και,



Σχήμα 2.6: Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα [11]

- σε αυτόνομα συστήματα, όπου χρησιμοποιούνται συσσωρευτές (μπαταρίες). Τα αυτόνομα συστήματα, μπορεί να περιλαμβάνουν και άλλες τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής, όπως ανεμογεννήτριες ή/και μικρά ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (υβριδικά συστήματα).



Σχήμα 2.7: Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα [11]

Τα κυριότερα πλεονεκτήματά τους είναι:

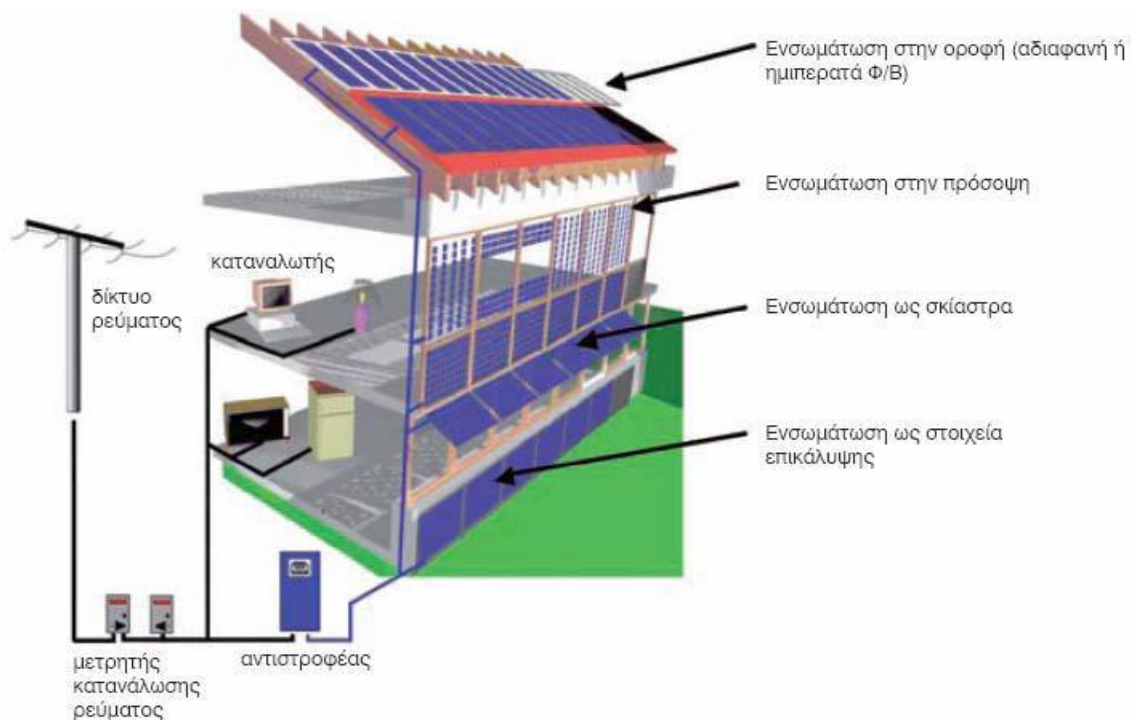
- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων στις απομακρυσμένες περιοχές

- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

Σκοπός σε ένα κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης είναι να υπάρχει αυτονομία ώστε το κτίριο να είναι ανεξάρτητο από το ηλεκτρικό δίκτυο.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να τοποθετηθούν σε οικόπεδα, στέγες (επίπεδες και κεκλιμένες) ή και σε προσόψεις κτιρίων. Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί λοιπόν ένα αυτόνομο σύστημα που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης.

Η γενική απεικόνιση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.8 : Φωτοβολταϊκό σύστημα σε κτίριο [11]

Για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων ο βέλτιστος προσανατολισμός είναι ο νότιος. Απόκλιση έως και  $45^\circ$  από τον άξονα βορρά-νότου είναι αποδεκτή, αν και επιφέρει μείωση στην απόδοση του συστήματος. Τα στοιχεία πρέπει να τοποθετούνται υπό κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, με απόκλιση  $\pm 15^\circ$ .

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία εγκαθίστανται υπό γωνία, ώστε να βελτιστοποιούν τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και έτσι να μεγιστοποιούν την παραγωγή ενέργειας. Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, πρέπει να τοποθετούνται υπό κλίση  $15^\circ$  ψηλότερα

από το γεωγραφικό πλάτος, λόγω των χαμηλών γωνιών που ακολουθεί η ηλιακή τροχιά, ενώ για τη μεγιστοποίηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τα φωτοβολταϊκά πρέπει να τοποθετούνται υπό κλίση 15° χαμηλότερα από το γεωγραφικό πλάτος. Επιπλέον, η επικλινή τοποθέτηση παρέχει τη δυνατότητα αυτοκαθαρισμού των φωτοβολταϊκών, από το νερό της βροχής.

Συμπερασματικά:

- Η βέλτιστη κλίση τοποθέτησης των Φ/Β συστημάτων για την Ελλάδα επιλέγεται βάσει της χρονικής περιόδου χρήσης τους.
- Για ετήσια χρήση και βαθμό απόδοσης 11 έως 17%, στην Ελλάδα η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας, ανέρχεται στις 140 με 270 kWh/m<sup>2</sup>έτος αντίστοιχα.

Στην περίπτωση αυτόνομου συστήματος πρέπει να προβλεφθεί χώρος εντός του κτιρίου για την εγκατάσταση των συσσωρευτών, ενώ στην περίπτωση σύνδεσης στο δίκτυο ηλεκτρισμού, να προβλεφθεί το κόστος για τη σύνδεση στο κεντρικό δίκτυο. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κινούμενα συστήματα, τα οποία μεταβάλλουν τον προσανατολισμό τους ανάλογα με τη θέση του ηλίου. Αυτά τα συστήματα έχουν αυξημένες απαιτήσεις συντήρησης και μεγαλύτερο κόστος αγοράς. Η χρήση τους συνιστάται σε περιοχές μικρού γεωγραφικού πλάτους, όπου η γωνία του ήλιου μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της ημέρας.

## Ανεμογεννήτριες σε κτίρια

Η αιολική ενέργεια αποτελεί πλέον μια ώριμη τεχνολογικά και εμπορικά ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Η χρήση της στο ενεργειακό ισοζύγιο των κατοικιών αποτελεί μια ελκυστική λύση στο θέμα της ενεργειακής ζήτησης καθώς είναι άφθονη.

Αν και υπάρχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν τις ανεμογεννήτριες αιολικών πάρκων από τις ανεμογεννήτριες σε κτίρια, όπως το ύψος των πύργων και η γειτνίαση εμποδίων, η λειτουργία τους ακολουθεί τους ίδιους φυσικούς νόμους. Οι εγκαταστημένες ανεμογεννήτριες σε κτίρια παρουσιάζουν μια σειρά από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται:

- Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμη πηγή, τον άνεμο.
- Το χαμηλό κόστος κατασκευής.
- Οι περιορισμένες ανάγκες συντήρησης με εξαίρεση τον ετήσιο έλεγχο.

Παρουσιάζουν όμως και μειονεκτήματα, τα οποία πολλές φορές δυσχεραίνουν την υλοποίησή τους, όπως:

- Η δημιουργία έντονων αντιδράσεων σχετικά με την αισθητική τους επίδραση στην ευρύτερη περιοχή εγκατάστασής τους.
- Ο παραγόμενος θόρυβος κατά τη λειτουργία τους.

Στις μικρού μεγέθους ανεμογεννήτριες (ισχύος μικρότερης των 100kW), μαγνήτες περιστρέφονται εντός σταθερής κατασκευής, δημιουργώντας μόνιμα μαγνητικά πεδία. Στις ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους τα πτερύγια κινούν την ανεμογεννήτρια απευθείας, χωρίς τη χρήση κιβωτίου μετάδοσης της κίνησης, όπως στις μεγάλες ανεμογεννήτριες αιολικών πάρκων, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν χαμηλότερα επίπεδα θορύβου. Οι μικρές ανεμογεννήτριες έχουν συνήθως ουρά που τις περιστρέφει προς την κατεύθυνση ροής του ανέμου.

Υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικας και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9 : Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα και κάθετου άξονα [11]

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Μικρές ανεμογεννήτριες (ισχύος μικρότερης των 2kW) μπορούν να εγκατασταθούν σε υποστήριγμα στον εξωτερικό τοίχο του κτιρίου, ιδιαίτερα σε κατοικίες. Αυτό το σύστημα είναι εξαιρετικά φθηνό, αλλά είναι κατάλληλο μόνο για μικρές ανεμογεννήτριες. Ανεμογεννήτριες με ισχύ μεγαλύτερη από 2kW χρειάζονται επιπρόσθετη στήριξη και για αυτό πρέπει να εγκαθίστανται στις οροφές των κτιρίων.

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται μαζί με φωτοβολταϊκά ως ανεξάρτητα συστήματα, έτσι ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες σε περιόδους χωρίς ηλιοφάνεια. Η τοποθέτηση αυτόνομης ανεμογεννήτριας συμφέρει και σε περιπτώσεις που ένα σπίτι βρίσκεται σε περιοχή που δεν υπάρχει δίκτυο της ΔΕΗ και το κόστος μεταφοράς ρεύματος είναι πολύ μεγάλο.

## Γεωθερμικά συστήματα

Ως γεωθερμία ορίζεται η εκμετάλλευση της ενέργειας από το εσωτερικό της γης, από όπου, με τη χρήση αντλιών μεταφέρεται η θερμότητα από και προς το υπέδαφος, για εφαρμογές κλιματισμού αλλά και για παραγωγή ζεστού νερού οικιακής χρήσης καθώς και για θέρμανση κτιρίων.

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας αξιοποιεί τη μέτρια και σταθερή, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους θερμοκρασία του υπεδάφους, καθώς και την υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα του νερού, σε σχέση με αυτήν του αέρα για την παραγωγή ενέργειας. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας, επειδή χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό για την παραγωγή ζεστού και ψυχρού νερού, δεν είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, αλλά είναι ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Οι γεωθερμικές διατάξεις θερμότητας διακρίνονται σε

- οριζόντιας και
- κατακόρυφης διάταξης.

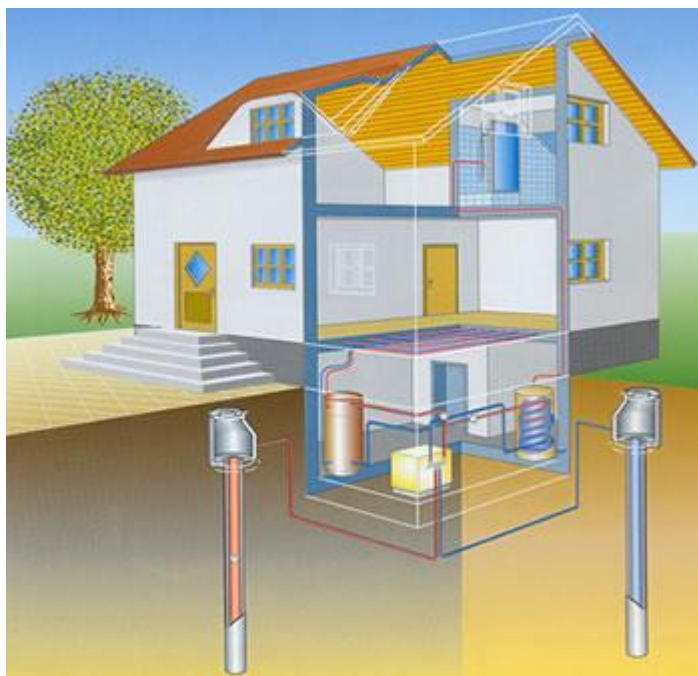
Οι γεωεναλλάκτες οριζόντιας διάταξης αποτελούνται από σωλήνες, οι οποίοι θάβονται σε βάθος 0,5-2,0m, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Οι οριζόντιοι γεωεναλλάκτες διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες: μονοσωλήνια, πολυσωλήνια και σπιράλ διατάξεως.



Σχήμα 2.10:Γεωθερμικό σύστημα οριζόντιας διάταξης [11]



Οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες, ανοικτού και κλειστού βρόχου. Οι κλειστού βρόχου, κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες, χρησιμοποιούν μικρότερα μήκη σωληνώσεων από τους οριζόντιους και καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια.



Σχήμα 2.11: Γεωθερμικό σύστημα κάθετης διάταξης [11]

Οι σωληνώσεις τοποθετούνται σε σχήμα U μέσα στη γεώτρηση, σε μονή ή σε διπλή διάταξη. Η διάμετρος των γεωτρήσεων κυμαίνεται από 100 έως 150mm. Το βάθος των γεωτρήσεων κυμαίνεται από 15 έως 180m, με τις πιο κοινές να διανοίγονται σε βάθη μικρότερα των 120m.

Ως γενικός κανόνας, κάθε γεώτρηση χρειάζεται μια επιφάνεια 7x7 m για ονομαστική ισχύ 4,5kW, βάθους 100m. Οι ανοικτού βρόχου γεωεναλλάκτες αντλούν νερό από γεωτρήσεις, λίμνες, ποτάμια ή από τη θάλασσα. Όταν το νερό είναι κινούμενο, όπως σε θάλασσες και ποτάμια, αντλείται από ένα σημείο και επιστρέφεται σε ένα δεύτερο σημείο, απέναντι από το πρώτο, έτσι ώστε να αποφεύγεται η μίξη των δύο ροών. Στην περίπτωση γεώτρησης η θερμότητα που προσλαμβάνεται από τον υδροφόρο ορίζοντα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, θα πρέπει να είναι ίση με τη θερμότητα που αποβάλλεται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ώστε να διατηρείται η θερμική ισορροπία του υπεδάφους. Οι κατακόρυφης διάταξης γεωεναλλάκτες έχουν υψηλότερο κόστος, αλλά απαιτούν μικρότερη επιφάνεια εγκατάστασης συγκριτικά με τους οριζόντιους διάταξης. Επίσης οι κλειστού βρόχου παρουσιάζουν λιγότερες τεχνικές δυσκολίες συγκριτικά με τις γεωτρήσεις του ανοικτού βρόχου.

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας στα κτίρια, ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία του διαθέσιμου ρευστού.

Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 90°C οι εφαρμογές στον κτιριακό τομέα διακρίνονται σε:

- ηλεκτροπαραγωγή,
- κλιματισμό με αντλίες θερμότητας,
- θέρμανση χώρων
- παραγωγή ζεστού νερού και
- αφαλάτωση του θαλασσινού νερού.

Για μικρότερες θερμοκρασίες υπάρχουν εφαρμογές όπως η θέρμανση χώρων, με αερόθερμα νερού ή ενδοδαπέδιο σύστημα, η παραγωγή ή προθέρμανση ζεστού νερού με εναλλάκτη θερμότητας και τα θερμά λουτρά.

### **Πλεονεκτήματα της γεωθερμίας**

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί καθαρή μορφή ενέργειας, εφόσον η τελική διάθεση των γεωθερμικών αποβλήτων πραγματοποιείται κατάλληλα. Ήδη έχει αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμη η σχετική τεχνολογία για την προστασία του περιβάλλοντος. Το όφελος είναι προφανές αν συνυπολογισθεί, μαζί με την ενεργειακή εξοικονόμηση, η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ειδικότερα, σε περιπτώσεις που τα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών το επιβάλλουν, επιλέγεται η λύση της επιστροφής των ρευστών μετά τη χρήση τους στον υδροφόρο ορίζοντα, μέσα από μια δεύτερη γεώτρηση. Η λύση αυτή παρουσιάζει επιπλέον το πλεονέκτημα της ανανέωσης των γεωθερμικών ρευστών, αυξάνει το χρόνο ζωής και τη δυναμικότητα του γεωθερμικού πεδίου. Τέλος, οι γεωτρήσεις και τα αντλιοστάσια επεμβαίνουν ελάχιστα στην αισθητική του τοπίου δεδομένου ότι αποτελούν κατασκευές μικρού όγκου.



## **2.5 Εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας σε ZEB**

Εξετάζοντας το πρώτο στάδιο της στρατηγικής για την επίτευξη ενός Κτιρίου Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης, πρέπει να βρεθούν τρόποι για τη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου.

Τα ενεργειακά αποδοτικά μέτρα τα οποία έχουν σημαντική επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας από κτίρια μπορούν να εφαρμοστούν σε υπό κατασκευή κτίρια και σε ήδη υπάρχοντα που υποβάλλονται σε βελτίωση.

Ουσιαστικά πρόκειται για μέτρα που αφορούν εφαρμογές στο κέλυφος του κτιρίου, τη θερμομόνωση, τη θερμική μάζα, τους υαλοπίνακες και τα ανοίγματα και βασίζονται στη γενικότερη βιοκλιματική δόμηση καθώς και μέτρα που αφορούν τα συστήματα θέρμανσης, αερισμού και ψύξης του κτιρίου. Αυτά περιλαμβάνουν όλες τις εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας από παθητικά και ενεργητικά συστήματα για θέρμανση και δροσισμό του κτιρίου.

Η τεχνολογία και η βιοκλιματική δόμηση και οι εφαρμογές παθητικών και ενεργητικών συστημάτων αναλύονται στα παρακάτω κεφάλαια.



### 3. ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

#### 3. Βιοκλιματικός Σχεδιασμός [1,12,13]

Ένας από τους βασικότερους παράγοντες που επηρεάζουν το ενεργειακό προφίλ ενός κτιρίου και συντελεί στην εξοικονόμηση ενέργειας είναι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αφορά μια σύνθεση δεδομένων που αφορούν τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής, την τοποθεσία, τη θερμική και οπτική άνεση των ενοίκων, για το σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων και χώρων αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια, αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος.

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός έχει ως βασικά στοιχεία τα ηλιακά παθητικά συστήματα, συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων και στην ανάδειξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στοχεύει, δηλαδή, στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προσαρμογή των κτιρίων στο περιβάλλον τους.

Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού συνοψίζονται στα εξής:

- Εξασφάλιση επαρκούς ηλιασμού και η μείωση των θερμικών απωλειών κατά το χειμώνα, ώστε να αξιοποιείται η ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση των χώρων.
- Μείωση των θερμικών κερδών το καλοκαίρι μέσω διατάξεων ηλιοπροστασίας προκειμένου να επιτυγχάνεται μείωση της ανάγκης για ψυκτικό φορτίο.
- Αξιοποίηση του ήλιου για φυσικό φωτισμό
- Εκμετάλλευση των δροσερών ανέμων για φυσικό αερισμό και δροσισμό.
- Βελτίωση του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο.
- Βελτίωση και ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών ενός χώρου για επίτευξη θερμικής άνεσης των ατόμων.

Συνεπώς, για την κατασκευή και τη λειτουργία ενός βιοκλιματικού κτιρίου, οφείλουμε να κατανοήσουμε πλήρως τις τοπικές κλιματικές συνθήκες και να υπολογίσουμε τα κλιματικά οφέλη και τους περιορισμούς. Το κτίριο θα πρέπει να έχει την ικανότητα να συλλέγει και να αποθηκεύει θερμότητα όταν χρειάζονται θερμικά φορτία, όταν χρειάζεται ψυκτικά φορτία να λειτουργεί ως φυσικός συλλέκτης δροσισμού και ως αποθήκη ψύξης, και να δρα ως φυσικός ανανεωτής αέρα, προκειμένου να προσφέρει στους χρήστες άνετο θερμικό εσωκλίμα. Επίσης,

βασικό πεδίο της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι η χρήση δομικών υλικών, φιλικών προς το περιβάλλον μετά από μελέτη των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο βιοκλιματικός σχεδιασμός στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών, του αερισμού, επιτρέποντας μόνον τον απαραίτητο για λόγους υγιεινής αερισμό, και της εξάτμισης, καθώς και στην αύξηση των θερμικών κερδών από την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε να ελαττωθούν οι δαπάνες για την παροχή θέρμανσης. Αντίστοιχα, στη θερινή περίοδο ο ενεργειακός σχεδιασμός στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία και στη βελτιστοποίηση των διαφόρων μεθόδων φυσικού κλιματισμού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ή ακόμη και να αποτραπεί ο παρεχόμενος κλιματισμός από το μηχανολογικό εξοπλισμό.

Το Ελληνικό κλίμα χαρακτηρίζεται από:

- ήπιους χειμώνες και σχετικά χαμηλές νυχτερινές θερμοκρασίες, με μεγάλη όμως ημερήσια ηλιοφάνεια.
- θερμά καλοκαίρια με σημαντική πτώση της νυχτερινής θερμοκρασίας.

Τα κλιματικά χαρακτηριστικά αυτά, κάνουν την Ελλάδα ιδανικό τόπο για την επίτευξη ενεργειακής κάλυψης στη χειμερινή θέρμανση και τη θερινή ψύξη των κτιρίων. Προϋπόθεση για την επίτευξη μεγάλων ποσοστών ενεργειακής επάρκειας είναι ο σωστός αρχιτεκτονικός σχεδιασμός. Ο σχεδιασμός που συνυπολογίζει τις κλιματολογικές συνθήκες και:

- εξασφαλίζει νότιο προσανατολισμό.
- χειρίζεται τη μορφή των κτιρίων και της αστικής γεωμετρίας σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα.
- εξασφαλίζει την ικανή και αναγκαία θερμοσυσσώρευση και θερμοπροστασία στα κτίρια και στους αστικούς υπαίθριους χώρους.
- εξασφαλίζει την ανάλογη για τον κάθε προσανατολισμό, πλήρη ηλιοπροστασία το καλοκαίρι.
- αξιοποιεί πλήρως τις δυνατότητες φυσικού δροσισμού στην πόλη και στα κτίρια.

Στην Ελλάδα μέσω του βιοκλιματικού σχεδιασμού του κτιριακού τομέα είναι δυνατόν να επιτευχθεί η ενεργειακή επάρκεια του κτιριακού τομέα σε ποσοστό άνω του 80%. Το κόστος της κατασκευής κτιρίων βιοκλιματικού σχεδιασμού σε σχέση με το κόστος μιας συμβατικής σύγχρονης κατασκευής είναι κατά ένα μικρό ποσοστό (περίπου 10%) πιο υψηλό.

### **3.1 Βασικές αρχές βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής**

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται μερικές βασικές αρχές που πρέπει να εφαρμοστούν σε ένα κτίριο πριν κατασκευαστεί ώστε να ευνοηθεί κατά το δυνατό περισσότερο από το χώρο στον οποίο βρίσκεται, καθώς και να μεγιστοποιηθούν οι απολαβές που μπορούν να προκύψουν στο φυσικό φωτισμό το φυσικό δροσισμό, τη φυσική θέρμανση και το φυσικό αερισμό του κτιρίου.

#### **3.1.1 Προσανατολισμός Κτιρίου [1,12,14,15,16]**

Ο προσανατολισμός και η μορφή του κτιρίου αποτελούν βασικούς πυλώνες για την υλοποίηση της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Ο όγκος, οι επιφάνειες και τα ανοίγματα επηρεάζουν τις θερμικές απώλειες και τα θερμικά κέρδη του κτιρίου. Η θέση και ο προσανατολισμός του καθώς και τα κατάλληλα προσανατολισμένα ανοίγματα είναι οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία ενός κτιρίου ως προς το παθητικό δροσισμό, τη θέρμανση, το φωτισμό.

Το πρόβλημα του προσανατολισμού και της σωστής χωροθέτησης του κτιρίου είναι περίπλοκο καθώς εξαρτάται εκτός από τα τοπογραφικά δεδομένα του οικοπέδου και από προσωπικές ανάγκες για τη χρήση του κτιρίου όπως η ιδιωτικότητα και η θέα του κτιρίου.

Όσον αφορά τις κλιματικές παραμέτρους, για την εύκρατη ζώνη ο καλύτερος προσανατολισμός είναι ο νότιος με απόκλιση 30° ανατολικά ή δυτικά.

Στη θερινή περίοδο οι νοτιοανατολικές και νοτιοδυτικές προσόψεις δέχονται το μέγιστο ημερήσιο άθροισμα θερμότητας από την ηλιακή ακτινοβολία ενώ οι νοτιοδυτικοί χώροι, εξαιτίας των ταυτόχρονα υψηλών εξωτερικών θερμοκρασιών που επικρατούν, παρουσιάζουν μεγαλύτερη τελική επιβάρυνση. Αντίθετα στην ίδια περίοδο, την ελάχιστη θερμική επιβάρυνση δέχεται η καθαρά προς το νότο προσανατολισμένη πρόσοψη παρά τη μεγάλη διάρκεια του ηλιασμού της, λόγω της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας υπό μικρή γωνία, και εξαιτίας της μεγάλης ανάκλασης μειώνεται η αποτελεσματικότητα της. Το καλοκαίρι ο ήλιος κινείται ψηλά, πάνω από τα κτίρια με μικρή κλίση προς το νότο και το μεσημέρι η ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν παράλληλη στη νότια πλευρά τους. Έτσι, η νότια όψη μπορεί να σκιαστεί εύκολα με μικρές οριζόντιες προεξοχές του κτιρίου ή με οριζόντια σκίαστρα.

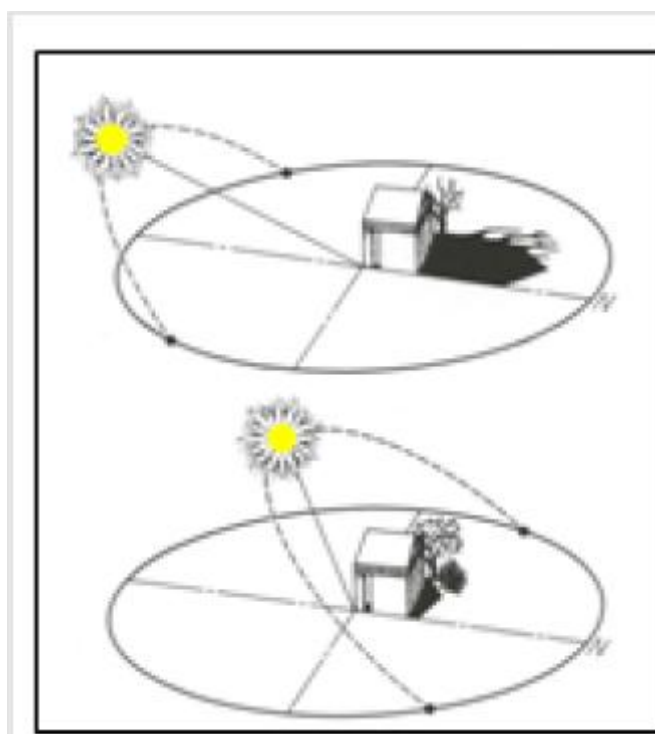
Το χειμώνα ο ήλιος κινείται χαμηλά στον ορίζοντα με αποτέλεσμα οι ακτίνες του να “βλέπουν” τη νότια όψη των κτιρίων σχεδόν κάθετα.

Το καλοκαίρι αντίθετα η νότια πρόσοψη δέχεται το μεγαλύτερο ποσό της ηλιακής ενέργειας από οποιαδήποτε διαφορετικά προσανατολισμένη επιφάνεια του κτιρίου. Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται θερμαίνει και ταυτόχρονα διεισδύει

βαθιά από τα νότια ανοίγματα στους εσωτερικούς χώρους, αρκεί να μην υπάρχουν εμπόδια ηλιασμού, όπως γειτονικά κτίρια ή βλάστηση.

Η νότια πρόσοψη στην περίπτωση που δεν σκιάζεται από διάφορα εμπόδια, δέχεται τη μέγιστη μέση ετήσια τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας, με τον πιο ευνοϊκό τρόπο διανεμημένη, στις διάφορες εποχές του έτους. Η ακτινοβολούμενη σε αυτή θερμότητα στους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο είναι μικρότερη απ' ότι το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο. Οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται το Φεβρουάριο και Οκτώβριο. Αντίθετα, σε όλες τις διαφορετικά προσανατολισμένες επιφάνειες οι μέγιστες τιμές παρουσιάζονται το καλοκαίρι. Όπως είναι γνωστό, η ηλιοπροστασία για μία νότια πρόσοψη το καλοκαίρι είναι η απλούστερη και πετυχαίνεται με ένα οριζόντιο σκίαστρο που παρά την ύπαρξη του, επιτρέπει στη διάρκεια του χειμώνα τον ηλιασμό της λόγω της διαφορετικής τροχιάς του ήλιου στις δύο περιόδους.

Συμπερασματικά, η νότια όψη είναι η ευνοϊκότερη όψη για όλο το χρόνο καθώς θερμαίνεται το χειμώνα και σκιάζεται εύκολα το καλοκαίρι. Η ανατολική και δυτική όψη θερμαίνονται ελάχιστα το χειμώνα ενώ υπερθερμαίνονται το καλοκαίρι. Οι βορινές προσόψεις των κτιρίων ηλιάζονται μόνο το καλοκαίρι νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα.



Σχήμα 3.1: Τροχιές του ήλιου το χειμώνα και το καλοκαίρι [15]

Το μεγαλύτερο πρόβλημα για τον κατάλληλο προσανατολισμό και τη χωροθέτηση του κτιρίου αντιμετωπίζεται στα μεγάλα αστικά κέντρα, ή σε πυκνοδομημένες περιοχές. Η χάραξη των μεγάλων δρόμων κυκλοφορίας κατά τον άξονα Ανατολής-Δύσης ή Βορρά-Νότου επηρεάζει και τον κύριο προσανατολισμό των όψεων και το κυριότερο, περιορίζει το πλεονέκτημα του νότιου προσανατολισμού, στην καλύτερη

των περιπτώσεων, στο 25% των κτιρίων. Το τελευταίο έχει ως συνέπεια τη δυσκολία εκμετάλλευσης των θερμικών ηλιακών κερδών στην πλειοψηφία των κτιρίων, την υπερθέρμανση των εσωτερικών χώρων, κυρίως στα δυτικά, αλλά και στα ανατολικά προσανατολισμένα κτίρια τη θερινή περίοδο, αλλά βέβαια και την αναγκαστική απομόνωση των βόρεια προσανατολισμένων κτιρίων από τον ήλιο. Πολλές φορές πάλι ακόμη και όταν διασφαλίζεται ο νότιος προσανατολισμός, το πλεονέκτημα αυτό στην πράξη καταργείται, λόγω σκιασμού των όψεων από τα απέναντι κτίρια (σχέση ύψους κτιρίων-πλάτους δρόμων).

Σε οικόπεδα εκτός πυκνοκατοικημένων αστικών κέντρων, υπάρχει μεγαλύτερη ελευθερία στη χωροθέτηση του κτιρίου, εκτός και αν συντρέχουν λόγοι όπως αξιολογηθέα, κλίση εδάφους, πρόσβαση κ.λπ., παράγοντες που μπορεί να αποτρέψουν την επιλογή του νότιου προσανατολισμού.

Ένα κτίριο, για παράδειγμα, στην κορυφή ενός λόφου και όχι στους πρόποδες του είναι διαρκώς εκτεθειμένο σε ψυχρούς ανέμους, και έτσι δεν θα είναι, από ενεργειακή σκοπιά και θερμική άνεση, ένα κτίριο υψηλής ποιότητας. Δεν πρέπει να παραβλέπεται ότι η γειτνίαση ενός δρόμου ή μίας πλατείας, ή οι διάφορες πολεοδομικές διατάξεις (π.χ. μεγάλες καλύψεις και όψη του κτιρίου) αποτελούν επίσης καθοριστικούς παράγοντες για τη θέση και τον προσανατολισμό ενός κτιρίου. Μια σωστή πολεοδομική επιλογή τόσο από πλευράς προσανατολισμού του οικιστικού συγκροτήματός όσο και της γενικότερής του διάταξης, (δρόμοι με διεύθυνση Α-Δ, μικρά ύψη και καλύψεις, ελεύθερη τοποθέτηση του κτιρίου κλπ.) θα βοηθούσε οπωσδήποτε σε ευνοϊκότερο προσανατολισμό των κτιρίων.

Τα κτίρια που δεν δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία από το χαμηλό χειμωνιάτικο ήλιο από το νότο, λόγω σκιασμού από δένδρα ή κτίρια, δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν άμεσα την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση. Μεταξύ των ωρών 9.00 και 15.00 για γεωγραφικό πλάτος 40°, μια νότια πρόσοψη δέχεται το 90% της ενέργειας ολόκληρου του 24ωρου. Μικρή απόκλιση κατά 20° δεν μεταβάλλει ουσιαστικά την απόδοση των νότια προσανατολισμένων ανοιγμάτων. Για αυτό, η τοποθέτηση του κτιρίου στο βορειότερο ηλιαζόμενο τμήμα του οικοπέδου εξασφαλίζει τον επαρκή ηλιασμό για τα ανοίγματα, τις αυλές και τους χώρους προς το νότο και μειώνει τις πιθανότητες σκίασης του κτιρίου από μελλοντικά γειτονικά κτίρια.

Τέλος άλλα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι :

- Η μέγιστη τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας στο κέλυφος των κτιρίων παρατηρείται το μεσημέρι του καλοκαιριού κάτι που γίνεται αισθητό ιδιαίτερα σε χώρους που φωτίζονται από πάνω.
- Οι τιμές ηλιασμού διαφέρουν σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος, τον προσανατολισμό του δρόμου και εξαρτώνται άμεσα από τη σχέση ύψους κτιρίου-πλάτος δρόμου. Όταν ο ηλιασμός ενός κτιρίου παρεμποδίζεται λόγω

σκιασμού από εμπόδια ο νότιος προσανατολισμός μειονεκτεί μιας και η νότια πρόσοψη δέχεται το μεγαλύτερο μέρος του ηλιασμού της όταν ο ήλιος βρίσκεται σε χαμηλή θέση (π.χ. το χειμώνα) .

- Κατά τον Ιούνιο το μέγιστο της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά ώρα είναι μεγαλύτερο σε μια πρόσοψη βορειοδυτική ή βορειοανατολική απ' ότι σε μια νότια ενώ το αντίστοιχο ημερήσιο άθροισμα είναι μόλις μικρότερο.

### **3.1.2 Σχήμα του κτιρίου [1,12,14,15,16]**

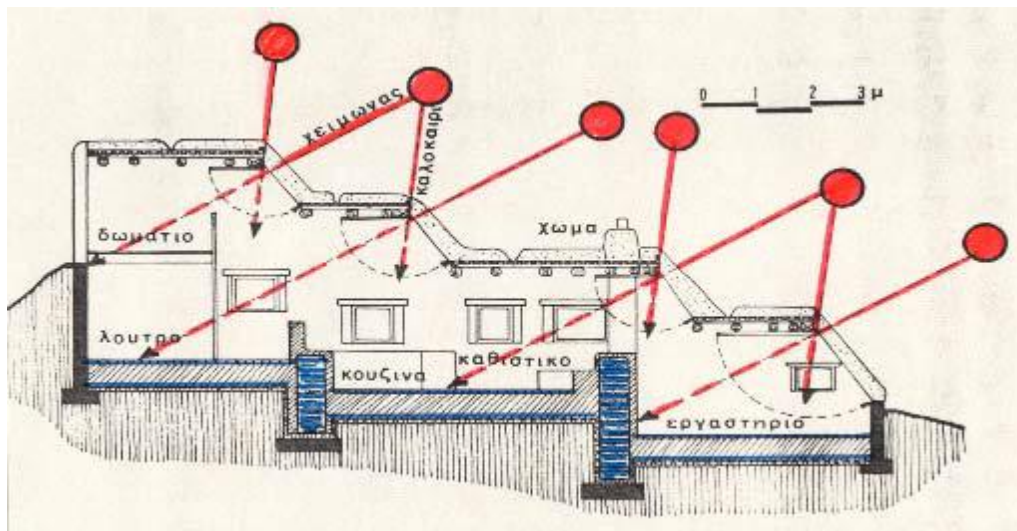
Το σχήμα του κτιρίου εξαρτάται από τις ανάγκες του για θέρμανση και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Η χωροθέτηση του κτιρίου στο οικόπεδο πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται ο σκιασμός του κατά τους ψυχρούς μήνες, από άλλα κτίρια ή βλάστηση.

Η χειμερινή περίοδος είναι η πιο επιρρεπής στο σκιασμό μεγάλων επιφανειών, γιατί ο ήλιος είναι χαμηλά και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων μικρή. Το καταλληλότερο από ενεργειακή σκοπιά σχήμα ενός κτιρίου, είναι εκείνο που εμφανίζει το χειμώνα τις μικρότερες θερμικές απώλειες και το μεγαλύτερο ηλιακό κέρδος, ενώ το καλοκαίρι τη μικρότερη δυνατή θερμική επιβάρυνση από την ηλιακή ακτινοβολία.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι βέλτιστη λύση αποτελούν τα συμπαγή κτίρια κυβικής μορφής για περιοχές με ψυχρό κλίμα ενώ ένα κτίριο επίμηκες στον άξονα ανατολής-δύσης προτείνεται για μέρη με εύκρατο κλίμα, με μεγαλύτερη δυνατότητα ελευθέριας εκλογής μορφής.

Ένα κτίριο επίμηκες, κατά τον άξονα ανατολής-δύσης, προσφέρει μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο, για τη συλλογή ηλιακής θερμότητας το χειμώνα (σχήμα 2.2). Επίσης, καθιστά δυνατή τη διάταξη του μέγιστου δυνατού αριθμού χώρων διαβίωσης στις νότιες επιφάνειες, που δέχονται τρεις φορές περισσότερη ενέργεια από τις δυτικές ή τις ανατολικές.





Σχήμα 3.2 : Κτίριο επίμηκες κατά τον άξονα βορρά-νότου[16]

### 3.1.3 Προσανατολισμός ανοιγμάτων [12,15,16]

Όσον αφορά το βιοκλιματικό σχεδιασμό, τα ανοίγματα (μέγεθος, θέση, προσανατολισμός) και οι ιδιότητες των υλικών τους, επηρεάζουν όσο κανένα άλλο στοιχείο του κτιρίου τα ποσοστά της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο εσωτερικό του. Η γνώση της ημερήσιας τροχιάς του ήλιου στις διάφορες εποχές του έτους, βοηθά στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για το σχεδιασμό των κτιρίων και την τοποθέτηση των χώρων σε σχέση με τις απαιτήσεις ηλιασμού και θέρμανσης.

Ο στόχος που ορίζεται κατά τη βιοκλιματική μελέτη είναι η μεγιστοποίηση των ηλιακών κερδών κατά την περίοδο του χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι η αποφυγή της υπερθέρμανσης με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων ηλιοπροστασίας.

Ο καλύτερος προσανατολισμός για μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, φωτεινότητα και θερμότητα είναι ο νότιος προσανατολισμός με απόκλιση 30°, στον άξονα ανατολής-δύσης. Προσανατολίζοντας τους κύριους χώρους ενός σπιτιού προς τον ήλιο, μπορεί να εξοικονομηθεί έως και 30% των ετήσιων αναγκών για θέρμανση. Αντίθετα, ο δυτικός προσανατολισμός πρέπει να αποφεύγεται ιδιαίτερα σε χώρους με ηλιοφάνεια, λόγω της πιθανής υπερθέρμανσής τους.

Σύγχρονη άποψη είναι ότι η γυάλινη επιφάνεια των ανοιγμάτων είναι η πιο αποδοτική καθώς και οικονομική, αρκεί να έχει το σωστό προσανατολισμό. Προτείνονται μεγάλα μεγέθη ανοιγμάτων προς το νότιο προσανατολισμό, μετρίου μεγέθους στην ανατολική και δυτική όψη και μικρότερα ανοίγματα στο βορρά. Τα τελευταία, παρά το προτεινόμενο μικρό μέγεθός τους, πρέπει οπωσδήποτε να προβλέπονται στο σχεδιασμό των κτιρίων, διότι πέραν της διασφάλισης φυσικού

φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους, παρέχουν τη δυνατότητα διαμπερούς αερισμού το καλοκαίρι, συνεπώς και φυσικού δροσισμού του κτιρίου.

Η αναλογία ανοιγμάτων-τοιχών είναι μια άλλη σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το εσωτερικό περιβάλλον και την κατανάλωση ενέργειας. Με την αύξηση της επιφάνειας κυρίως των νότιων ανοιγμάτων, αυξάνονται τα άμεσα ηλιακά κέρδη, αλλά ταυτόχρονα αυξάνονται και οι απώλειες θερμότητας, ο κίνδυνος υπερθέρμανσης τις ζεστές μέρες.

Σαν γενικός κανόνας για περιοχές με πολύ θερμά καλοκαίρια, ισχύει ότι η επιφάνεια των διαφανών στοιχείων δεν πρέπει να ξεπερνά το 10-15% του εμβαδού των θερμαινόμενων χώρων του κτιρίου.

### **3.1.4 Λειτουργική οργάνωση των εσωτερικών χώρων [1,12,15,16]**

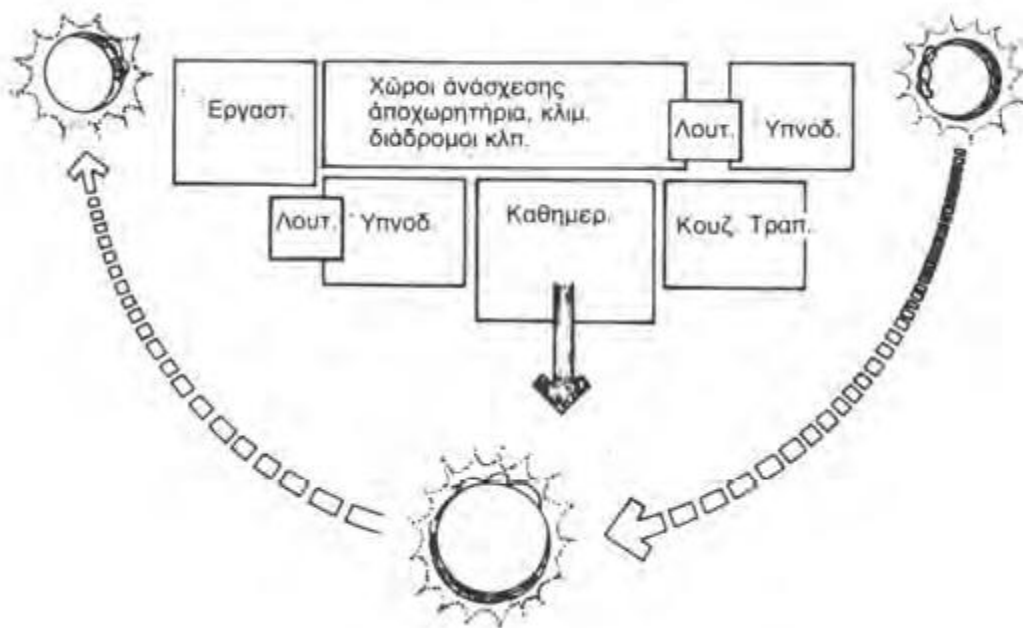
Οι μικροκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στη διάρκεια τού χειμώνα στις πλευρές ενός κτιρίου είναι καθοριστικές για μια ορθή διάταξη των χώρων.

Η βόρεια πλευρά παραμένει η πιο ψυχρή γιατί δεν δέχεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία ενώ η ανατολική και η δυτική δέχονται ίση ποσότητα, με λίγο πιο ζεστή τη δυτική εξαιτίας τού συνδυασμού ηλιακής ακτινοβολίας και υψηλών μεσημβρινών θερμοκρασιών του αέρα. Η νότια πλευρά είναι η φωτεινότερη, η πιο ζεστή και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία στη διάρκεια όλης της ημέρας.

Επομένως, οι χώροι που κατοικούνται όλη τη μέρα και έχουν μεγάλες απαιτήσεις θέρμανσης και φωτισμού πρέπει να τοποθετηθούν στο νότο. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η διάταξη του κτιρίου στη διεύθυνση Ανατολής-Δύσης, όπως αναλύθηκε προηγουμένως. Χώροι με μικρές ή μηδενικές απαιτήσεις σε φωτισμό (διάδρομοι, μπάνια, αποθήκη, γκαράζ) τοποθετούνται στα βόρεια ώστε να μεσολαβούν ανάμεσα στους ζεστούς χώρους και τη ψυχρή βορεινή πλευρά τού κτιρίου.

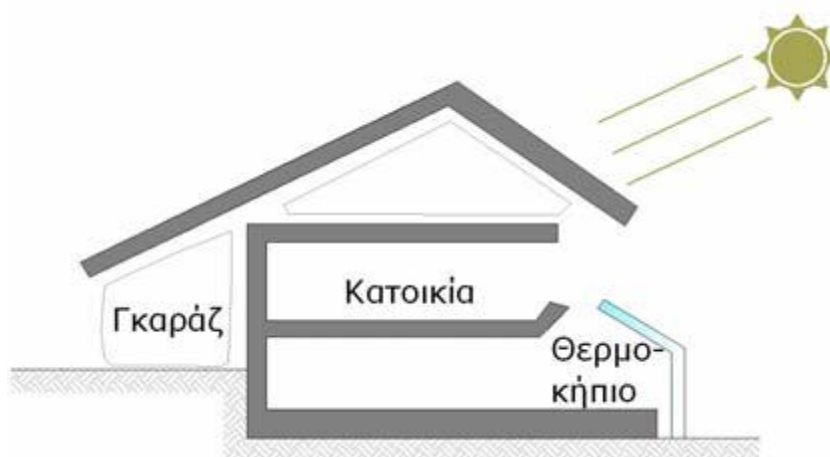
Κατά το σχεδιασμό της κάτοψης ενός κτιρίου, οι εσωτερικοί χώροι θα πρέπει να οργανωθούν και να ομαδοποιηθούν, έτσι ώστε αυτοί με μεγάλο χρόνο χρήσης και υψηλές επιθυμητές εσωτερικές θερμοκρασίες να τοποθετηθούν στη νότια πλευρά (σχήμα 2.3).

Αντίθετα οι χώροι με περιορισμένο χρόνο χρήσης που απαιτούν συγκριτικά χαμηλότερες θερμοκρασίες (W.C., υπνοδωμάτια) θα πρέπει να χωροθετούνται σε ενδιάμεση θερμική ζώνη.



Σχήμα 3.3: Διάταξη των χώρων μιας ενεργειακά σωστής κατοικίας [12]

Η τεχνική της τοποθέτησης αυτών των χώρων στη βορινή πλευρά έχει εξελιχθεί από παλιά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι μια τυπική αγροτική κατοικία όπου ο στάβλος, αποθήκες κτλ, έχουν βόρειο προσανατολισμό. Ομοίως, σε αστικές κατοικίες, το γκαράζ, οι αποθήκες και λοιποί βοηθητικοί χώροι τοποθετούνται επίσης στη βόρεια πλευρά και αποτελούν ένα δεύτερο περίβλημα γύρω από την κατοικία που εξασθενεί την επίδραση των εξωτερικών μεταβολών θερμοκρασίας στο εσώκλιμα του κτιρίου, παίζοντας το ρόλο μιας πρόσθετης μόνωσης, μιας ακόμη παθητικής προστασίας.



Σχήμα 3.4: Διάταξη των χώρων μιας ενεργειακά σωστής κατοικίας [1]

### 3.1.5 Θερμική μάζα [15,16]

Η ικανότητα ενός κτιρίου να αποθηκεύει θερμότητα στο εσωτερικό του και να αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια αποτελεσματικά, προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλης θερμικής μάζας. Η θερμότητα αποθηκεύεται στη θερμική μάζα του κτιρίου η οποία αποτελείται από το σύνολο των θερμοσυσσωρευτών υλικών των δομικών στοιχείων. Τα πιο κατάλληλα υλικά για την αποθήκευση της θερμότητας είναι υλικά με υψηλή θερμοχωρητική ικανότητα. Θερμοχωρητικά είναι όλα τα οικοδομικά υλικά με πυκνή μοριακή δομή. Είναι τα πυκνά και βαριά υλικά, όπως η πέτρα, το μάρμαρο, το σκυρόδεμα, το τούβλο, ο πηλός, τα κεραμικά υλικά ή νέας τεχνολογίας όπως τα υλικά αλλαγής φάσης.

Η θερμική μάζα απορροφά θερμότητα είτε από την ηλιακή ακτινοβολία είτε από το θερμό αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων, τη συσσωρεύει και την αποθηκεύει. Για αυτό ονομάζεται και αποθήκη θερμότητας του κτιρίου. Όταν ο αέρας είναι ψυχρότερος, τα δομικά στοιχεία αποδίδουν θερμότητα.

Η θερμική μάζα είναι ο ρυθμιστής της εσωτερικής θερμοκρασίας, αφού:

- Καθυστερεί τη ψύξη των χώρων κατά τη διάρκεια της νύχτας το χειμώνα, διατηρώντας τους θερμούς ως το πρωί.
- Καθυστερεί τη θέρμανση των χώρων κατά τις θερινές μέρες, διατηρώντας τους δροσερούς ως το βράδυ.
- Συμβάλει στη μείωση των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων στο εσωτερικό του κτιρίου, τόσο μεταξύ μέρας και νύχτας, όσο και μεταξύ του χειμώνα και του καλοκαιριού.

Για το ελληνικό κλίμα η ύπαρξη θερμικής μάζας είναι μία από τις βασικότερες προϋποθέσεις που δίνουν τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας έως και 100% το καλοκαίρι καθώς η πλεονάζουσα θερμότητα από τα ηλιακά φορτία αποθηκεύεται στα δομικά στοιχεία του κτιρίου και αποδεσμεύεται κατά τη διάρκεια της νύχτας ενώ το χειμώνα έως και 70%. Τα κτίρια που κατασκευάζονται από ελαφρά υλικά, π.χ. ξύλο, γυψοσανίδα ή παλαιότερα άχυρο, δεν μπορούν να αξιοποιήσουν τον ήλιο για τη θέρμανση τους, ούτε να έχουν το καλοκαίρι φυσικό δροσισμό.

Προϋπόθεση για την αποδοτική λειτουργία της θερμικής μάζας είναι η πλήρης εξωτερική της θερμομόνωση. Έτσι λειτουργεί αποτελεσματικά, απορροφά και αποδίδει θερμότητα μόνο από και προς τον εσωτερικό χώρο και όχι προς το περιβάλλον.

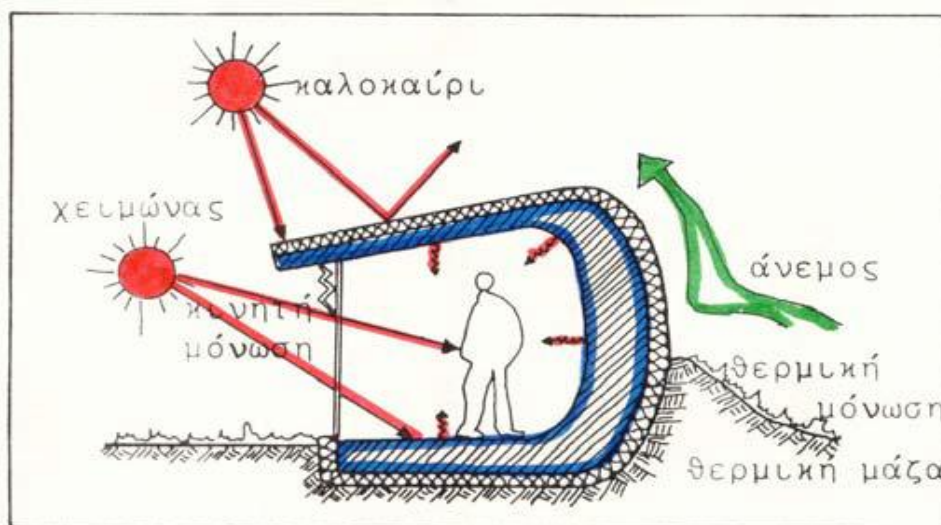
### 3.1.6 Θερμομόνωση στη βιοκλιματική δόμηση [14,15,17,18,19]

Η θερμομόνωση στις κτιριακές κατασκευές αφορά τα κατάλληλα μέτρα που πρέπει να εφαρμοσθούν για την παρεμπόδιση της διαφυγής της θερμότητας από ένα χώρο. Η θερμότητα σε μεγάλο βαθμό διαφεύγει από τις ατέλειες του κελύφους καθώς και από τα ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα, φεγγίτες) που είναι απαραίτητα για το φυσικό αερισμό, όσο και του μηχανικού εξαερισμού (στόμια και συναρμογές σωληνώσεων, καμινάδες κλπ). Αυτή η ροή θερμότητας είναι αδύνατο να εμποδιστεί τελείως και είναι δυνατόν μόνο να περιοριστεί ως προς την ένταση και τη διάρκεια της. Αυτό είναι κατορθωτό μόνο όταν υπάρχει έλεγχος των θερμικών απωλειών.

Η εμπόδιση της διαφυγής θερμότητας και κατά επέκταση η μείωση των θερμικών απωλειών των εσωτερικών χώρων ενός κτιρίου, συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων που τροφοδοτούν τα διάφορα τεχνητά συστήματα θέρμανσης-ψύξης. Σε σωστά μονωμένα κτίρια η καταναλισκόμενη ενέργεια για τη θέρμανση και τη ψύξη του χώρου μπορεί να είναι από 20-40% λιγότερη σε σχέση με ένα κτίριο χωρίς κατάλληλη θερμομόνωση. Η μείωση αυτή μπορεί να είναι σημαντική, αρκεί η θερμομόνωση να εφαρμόζεται με βάση μια σωστή μελέτη και τις ακριβείς προδιαγραφές που καθορίζουν τις ιδιότητες και τον τρόπο σύνθεσης των υλικών κατασκευής της.

Στη χώρα μας με βάση τη διεθνή πρακτική και τις κλιματολογικές συνθήκες, πρέπει να καθοριστούν προδιαγραφές που να εξασφαλίζουν μία τεχνοοικονομικά σωστή θερμομόνωση. Τέτοια θεωρείται αυτή που για να γίνει δεν απαιτείται υπερβολικά μεγάλο αρχικό κόστος εγκατάστασης αλλά ωστόσο, εξασφαλίζει μακροχρόνια οικονομία στη χρήση του κτιρίου και περιορισμό στην εφαρμογή ενεργοβόρων τεχνητών συστημάτων ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος.

Τα περισσότερο ευπαθή σημεία ενός κτιριακού κελύφους, που έχουν ανάγκη από θερμική προστασία, είναι οι επικαλύψεις (δώματα και στέγες) στην εξωτερική τοιχοποιία, τα δάπεδα, η οροφή και τέλος τα εξωτερικά κουφώματα. Ακόμα, ορθό είναι να μονώνονται κατάλληλα οι εγκαταστάσεις και οι αγωγοί του κτιρίου.



Σχήμα 3.5: Τομή κελύφους για την αποθήκευση της θερμότητας [15]

Οι θερμικές απώλειες αντιμετωπίζονται με διάφορους τρόπους μόνωσης. Οι τοίχοι μπορούν να μονωθούν με τέσσερις κυρίως τεχνικές:

- **Από το εσωτερικό μέρος**

Στην περίπτωση αυτή το μονωτικό υλικό τοποθετείται από την πλευρά του εσωτερικού χώρου και προστατεύεται από κάποιο στερεό δομικό υλικό που λειτουργεί όπως το επίχρισμα.

Ο τρόπος αυτός θερμομόνωσης έχει τα εξής αποτελέσματα:

- Έχει περιορισμένο χρόνο κατασκευής.
- Αποτελεί φθηνότερη λύση σε σχέση με την εξωτερική θερμομόνωση.
- Δεν απαιτείται ιδιαίτερη προστασία των μονωτικών από τις εξωτερικές επιδράσεις.
- Έχει απλή κατασκευή.
- Θερμαίνεται πολύ γρήγορα ο χώρος.
- Η κατασκευή μπορεί να γίνει ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου θερμομόνωσης τοίχων από την εσωτερική πλευρά είναι:

- Περιορίζεται ο εσωτερικός χώρος.
- Ο χώρος ψύχεται πολύ σύντομα. Μένει ανεκμετάλλευτη η θερμοχωρητικότητα του εξωτερικού τοίχου.
- Δεν λύνεται το πρόβλημα των θερμογεφυρών.
- Τα δομικά στοιχεία κινδυνεύουν από συστολές και διαστολές από τις θερμοκρασιακές μεταβολές οπότε προκύπτει κίνδυνος ρηγμάτων και εισροής βρόχινου νερού.
- Υπάρχει μικρό πρόβλημα στην τακτοποίηση των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

- **Από το εξωτερικό μέρος τους.**

Στην περίπτωση αυτή η μόνωση τοποθετείται στο εξωτερικό μέρος του τοίχου. Η μέθοδος της εξωτερικής μόνωσης έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ο χώρος διατηρεί τη θερμότητα και μετά τη διακοπή της θέρμανσης από τη θερμοχωρητικότητα των τοίχων.
- Στους νότιους ειδικά χώρους των κτιρίων διατηρείται η θερμότητα από το ηλιακό θερμικό κέρδος γιατί αποθηκεύεται στους βαρείς εσωτερικούς τοίχους.

- Δεν εμποδίζεται η ομαλή λειτουργία του εσωτερικού χώρου κατά την κατασκευή της εσωτερικής θερμομόνωσης.
- Δεν μειώνεται ο ωφέλιμος κατοικήσιμος χώρος.
- Οι εξωτερικές επιφάνειες των τοίχων προστατεύονται από τις συστολές και διαστολές.
- Εξασφαλίζεται κάλυψη των θερμογεφυρών ιδιαίτερα στις πλάκες σκυροδέματος, στα δοκάρια και στις κολώνες.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου θερμομόνωσης τοίχων από την εξωτερική πλευρά είναι τα ακόλουθα:

- Η εξωτερική θερμομόνωση είναι ακριβότερη σε σχέση με τη θερμομόνωση της εσωτερικής πλευράς του τοίχου.
- Δεν είναι πολύ εύκολη η εφαρμογή της εξωτερικής θερμομόνωσης στην περίπτωση που οι τοίχοι έχουν πολλές αρχιτεκτονικές προεξοχές.
- Υπάρχει αδυναμία εφαρμογής της εξωτερικής θερμομόνωσης σε κτίρια με έντονο εξωτερικό μορφολογικό ενδιαφέρον.
- Απαιτούνται σκαλωσιές για τις εργασίες κατασκευής σε πολυώροφα κτίρια.
- Χρειάζεται ειδική προστασία των υλικών διαφόρων στρώσεων για προστασία από τις εξωτερικές καιρικές επιδράσεις.

#### • **Θερμομόνωση με χρήση ειδικών τούβλων**

Στην περίπτωση αυτή ο τοίχος χτίζεται με ειδικά θερμομονωτικά τούβλα που με τον τρόπο κατασκευής τους, το σχήμα τους, τις διαστάσεις τους κλπ. πρέπει να εξασφαλίζουν τις τιμές του συντελεστή θερμικής διαπερατότητας  $K$  που επιβάλλει ο κανονισμός θερμομόνωσης. Αν απαιτείται να αυξηθεί ο συντελεστής αυτός προστίθεται μονωτικό που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι εκ κατασκευής ενσωματωμένο στο θερμομονωτικό τούβλο. Η κατασκευή αυτή εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα αλλά θα πρέπει να εξασφαλίζεται η στεγανότητα ώστε να μην υγραίνεται η μάζα των θερμομονωτικών τούβλων.

#### • **Θερμομόνωση μεταξύ δύο τοίχων**

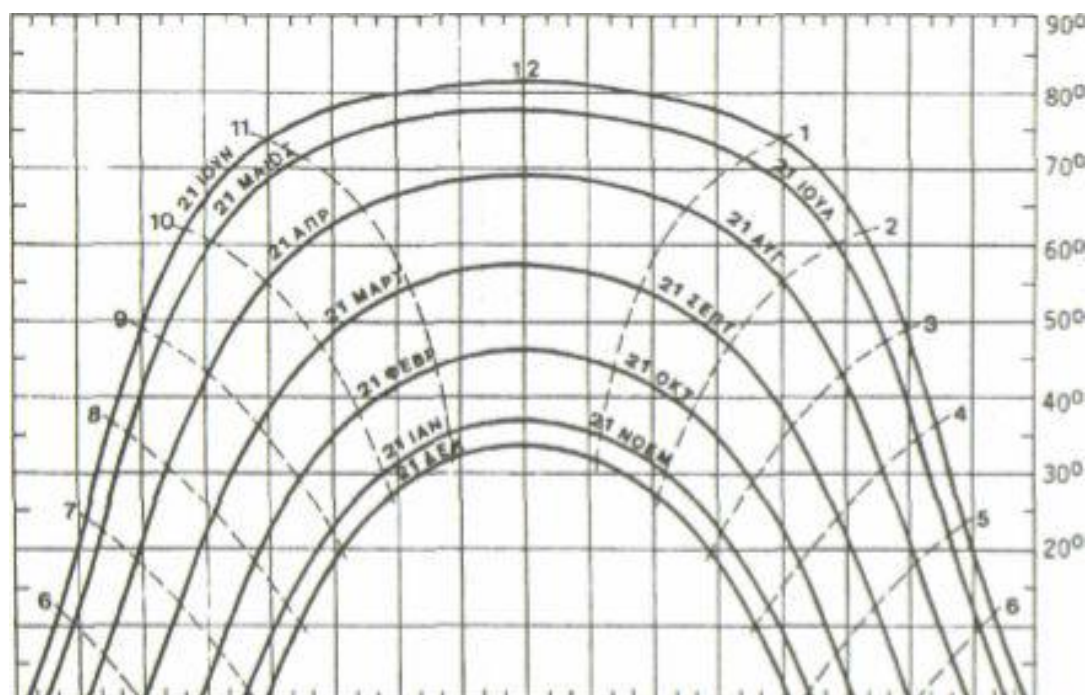
Αποτελεί μέθοδο τοποθέτησης θερμομόνωσης που χρησιμοποιείται πολύ στη χώρα μας. Συνήθως το μονωτικό υλικό τοποθετείται μεταξύ δύο δομικών τοίχων και αυτό ίσως αποτελεί το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου. Εξασφαλίζεται δηλαδή η θερμομόνωση, αλλά δεν είναι βέβαιο ότι εξασφαλίζεται επαρκώς και η στατική αντοχή του συστήματος και ιδιαίτερα η αντοχή που απαιτείται από τον αντισεισμικό κανονισμό. Η κατασκευή αυτού του τύπου θερμομόνωσης έχει περιθώρια βελτίωσης έστω και αν δημιουργηθούν στη χειρότερη περίπτωση θερμογέφυρες.



### 3.1.7 Ηλιασμός [12,15,16]

Ο σωστός ηλιασμός των κτιρίων αποτελεί ένα από τα βασικά ζητούμενα του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μέσω κατάλληλου σχεδιασμού των κτιρίων μπορεί να συμβάλλει, πρώτον, στη διασφάλιση αποδεκτών εσωκλιματικών συνθηκών (συνθήκες οπτικής και θερμικής άνεσης), και δεύτερον μέσω της ορθής θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου στον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας, με όλα τα οφέλη που αυτή συνεπάγεται (οικονομικά, περιβαλλοντικά λόγω μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub>, ποιότητας ζωής κ.λπ.). Μέσω του ηλιασμού επιτυγχάνεται αφ' ενός η εξασφάλιση θερμικών κερδών για το κτίριο κατά τη χειμερινή περίοδο και αφ' ετέρου ο φυσικός φωτισμός των χώρων.

Για τον ακριβή υπολογισμό της θέσης του ήλιου για κάθε μήνα του χρόνου και για κάθε ώρα της ημέρας υπάρχουν τα ηλιακά διαγράμματα ανά γεωγραφικό πλάτος καθώς και υπολογιστικά προγράμματα. Με τα διαγράμματα αυτά ορίζεται η θέση και το ύψος του ήλιου για κάθε μήνα συνήθως την 21<sup>η</sup> του μήνα, όπως του σχήματος 2.6.



Σχήμα 3.6 : Ηλιακός χάρτης για το γεωγραφικό πλάτος Αθηνών [16]

Σε κάθε ηλιακό χάρτη απεικονίζονται επτά φαινόμενες τροχιές του ήλιου, από τις οποίες αυτή του Δεκεμβρίου έχει τη μικρότερη & χαμηλότερη τροχιά (21<sup>η</sup> Δεκεμβρίου, χειμερινό ηλιοστάσιο) ενώ του Ιουνίου έχει τη μεγαλύτερη & υψηλότερη (21<sup>η</sup> Ιουνίου, εαρινό ηλιοστάσιο).

Η θέση του ήλιου κάθε στιγμή ορίζεται από τη γωνία αζιμούθιου και τη γωνία ύψους. Στην κάτω οριζόντια ευθεία του ηλιακού χάρτη καταγράφονται οι γωνίες αζιμούθιου ως προς τον ηλιακό νότο, που βρίσκεται στο κέντρο, με γωνία 0°. Στα



αριστερά του, στη γωνία των 90° ορίζεται η ανατολή και δεξιά, πάλι στη γωνία των 90°, ορίζεται η δύση. Η κάθετη ευθεία (τεταγμένη) προσδιορίζει τις γωνίες ύψους του ήλιου, για όλες τις ώρες της ημέρας και για όλους τους μήνες. Οι διακεκομμένες καμπύλες προσδιορίζουν τις ηλιακές ώρες, από την ανατολή μέχρι τη δύση.

### **3.1.8 Ηλιοπροστασία-Σκιασμός [11,12,14,15,16,20,21]**

Η ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων του κτιρίου αποτελεί μια από τις κύριες τεχνικές για τη μείωση των θερμικών κερδών, κατά τη διάρκεια των θερμών ημερών του έτους. Ιδιαίτερα στον ελληνικό χώρο, όπου τα ηλιακά φορτία είναι εξαιρετικά υψηλά, η σκίαση των ανοιγμάτων είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική εφαρμογή των συστημάτων φυσικού κλιματισμού και κλιματισμού.

Η ηλιοπροστασία επιτυγχάνει τη διατήρηση των εσωτερικών θερμοκρασιών σε ανεκτά επίπεδα και συνεπώς συμβάλλει στη βελτίωση των συνθηκών άνεσης, ενώ στην περίπτωση των συστημάτων κλιματισμού, επιτυγχάνει μείωση των ηλιακών κερδών και των φορτίων αιχμής με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας.

Παράλληλα, η σκίαση θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να εξασφαλίζει ικανοποιητικό ηλιασμό και να μην παρεμποδίζει τη θέα στους περιβάλλοντες χώρους.

Η ηλιοπροστασία ενός κτιρίου κατά τις περιόδους όπου η θερμοκρασία ξεπερνά τα επίπεδα θερμικής άνεσης, επιτυγχάνεται με το σκιασμό του κελύφους του κτιρίου και κατά κύριο λόγο των ανοιγμάτων του. Βασικά κριτήρια για την αποτελεσματική ηλιοπροστασία ενός κτιρίου είναι η χωροθέτηση του στο οικοπέδο, ο όγκος, το σχήμα του και η διαμόρφωση κατάλληλων ανοιγμάτων καθώς και ο περιβάλλον χώρος του οικοπέδου.

Κατά τη μελέτη των συστημάτων ηλιοπροστασίας πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν οι ανάγκες του φυσικού φωτισμού και του χειμερινού ηλιασμού για την παθητική θέρμανση του χώρου. Συγκεκριμένα, ο φυσικός φωτισμός μπορεί να περιορίσει την ανάγκη τεχνητού φωτισμού και επομένως τα εσωτερικά θερμικά κέρδη το καλοκαίρι. Σε περιοχές με θερμό κλίμα, ένα κτίριο που η στέγη του σκιάζεται, μπορεί να είναι κατά 6-12°C πιο δροσερό από ένα ασκίαστο.

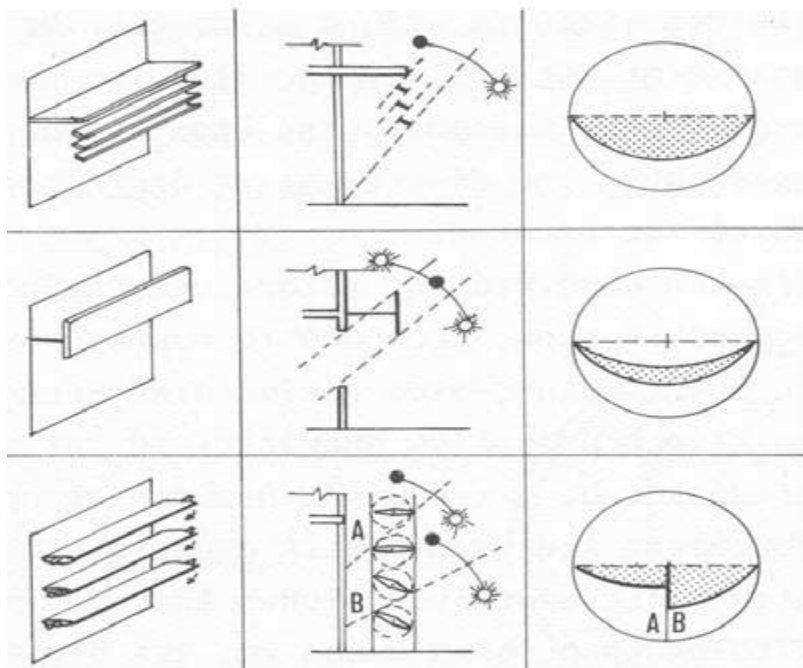
Οι τρόποι προστασίας του κελύφους από την ηλιακή ακτινοβολία αλλά και η δημιουργία προστατευμένων εξωτερικών υπαίθριων χώρων μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες και διακρίνονται σε:

- Σταθερά στο κτίριο

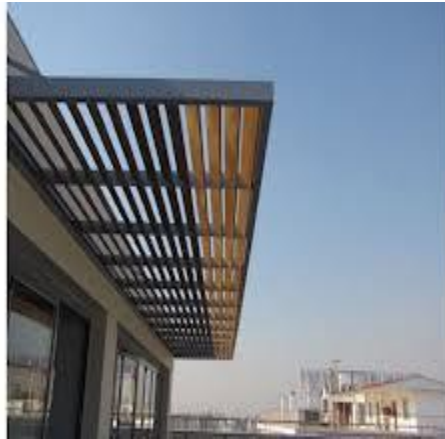
Αποτελούν μέρος του κτιρίου και ο σχεδιασμός τους λαμβάνει υπόψη τον προσανατολισμό και το σχήμα του ανοίγματος που χρειάζεται να προστατευτεί. Χρησιμοποιούνται στην εξωτερική όψη του κτιρίου και εμποδίζουν την άμεση ακτινοβολία να φτάσει στα ανοίγματα, με αποτέλεσμα να απορροφούν και να διαχέουν τη θερμότητα στον εξωτερικό αέρα.

Σε σχέση με τον προσανατολισμό προκύπτει ότι **η νότια όψη** μπορεί να προστατευθεί μόνο με οριζόντια σκιάστρα, σύμφωνα και με το σχήμα 3.7 και 3.8. Η διαστασολόγηση τους πρέπει να είναι προσεκτική, καθώς το μέγεθος τους και το πλάτος της προεξοχής-προβόλου ή περσίδων πρέπει να είναι κατάλληλο ώστε να σκιάζουν πλήρως τα νότια ανοίγματα το καλοκαίρι χωρίς όμως να εμποδίζουν το χειμώνα την είσοδο του ήλιου στο κτίριο.

Για ένα κτίριο στην Αθήνα προτείνονται σκιάστρα στα οποία η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της εξωτερικής πλευράς του σκιάστρου και του κατωφλιού του ανοίγματος είναι 55-60°.

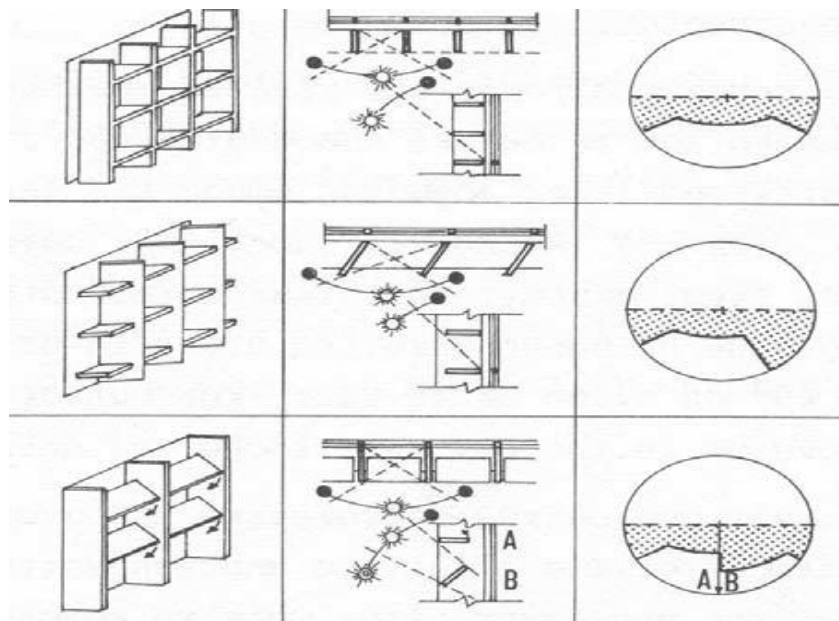


Σχήμα 3.7: Μορφές οριζόντιων σκιάστρων σταθερών ή κινητών για νότια όψη[12]



Σχήμα 3.8: Οριζόντιο σκίαστρο [11]

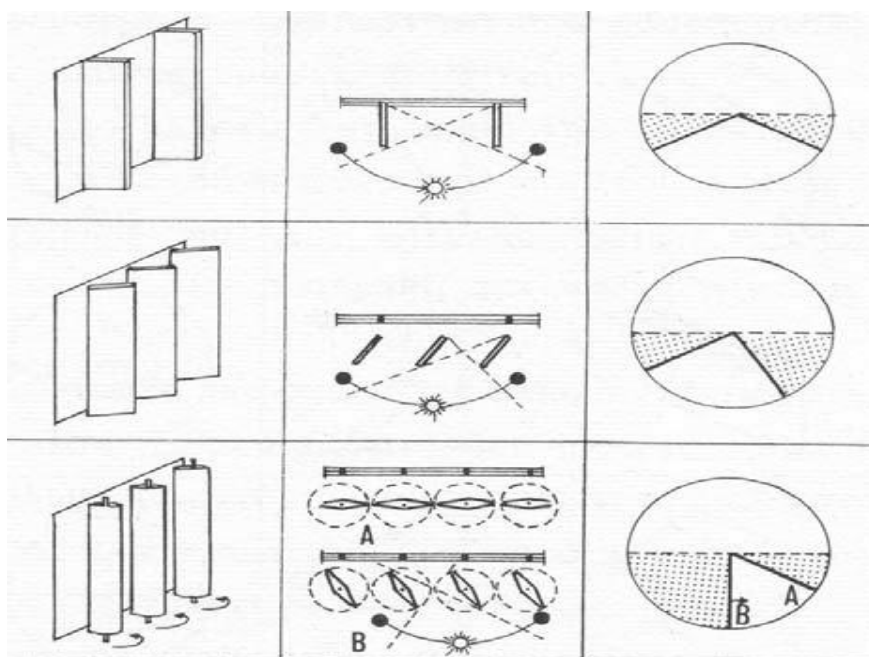
Επιπρόσθετα, για νοτιανατολικό και νοτιοδυτικό προσανατολισμό, τα ηλιοπροστατευτικά στοιχεία, για να είναι αποτελεσματικά, πρέπει να είναι συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων περσίδων, με τη μορφή σχάρας (σχήμα 3.9)



Σχήμα 3.9 : Μορφές περσίδων για νοτιανατολική και νοτιοδυτική όψη [16]

**Η ανατολική και δυτική όψη** σκιάζονται αποτελεσματικά μόνο με κατακόρυφα ηλιοπροστατευτικά σκιάστρα, σε θέση παράλληλη προς αυτές, (σχήμα 3.10), λόγω του ύψους του ήλιου καθώς βρίσκεται σχετικά χαμηλά στον ορίζοντα.

Μειονέκτημα των σκιάστρων αυτών είναι ότι το χειμώνα στερούν τη δυνατότητα ηλιασμού των εσωτερικών χώρων που είναι απαραίτητη.



Σχήμα 3.10: Μορφές περσίδων για ανατολική και δυτική όψη [16]

- **Με πρόσθετα στοιχεία**

Σε στέγες και δωμάτια προσπίπτει το μεσημέρι κάθετα η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία. Προστατεύονται με αυξημένη μόνωση, με φυτοκάλυψη ή με οριζόντια σκίαστρα, όπως τέντες και πέργκολες.

Υπάρχουν και εσωτερικά κινητά σκίαστρα, τα οποία συνιστώνται για ανοίγματα με νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό. Η σκίαση είναι περισσότερο αποδοτική όταν είναι εξωτερική, το οποίο σημαίνει ότι η ηλιακή ακτινοβολία εμποδίζεται να εισέλθει και να εγκλωβιστεί μέσω των υαλοπινάκων στους χώρους και έτσι μπορεί να μειωθούν τα ηλιακά κέρδη κατά 80-90%.

Παράλληλα, η χρήση κινητών σκιάστρων παρέχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνεται σκίαση των ανοιγμάτων όταν αυτό είναι απαραίτητο, ανεξάρτητα από την εποχή του έτους. Συνεπώς, ο πιο αποτελεσματικός τρόπος σκιασμού, είναι η χρήση εξωτερικών σκιάστρων με κινητές περσίδες, όπως του σχήματος 3.11, τα οποία όμως είναι ιδιαίτερα ακριβά.



Σχήμα 3.11: Εξωτερικές κινητές περσίδες [20]

- **Σκίαση από βλάστηση**

Από τους πιο απλούς τρόπους σκιασμού είναι μέσω δέντρων ή βλάστησης που διακόπτουν τον άμεσο ηλιασμό, αλλά παράλληλα, λόγω της σκιάς τους μειώνουν τη θερμοκρασία κοντά στο έδαφος. Μία απεικόνιση σχετικά απλής σκίασης από βλάστηση είναι του σχήματος 3.12.



Σχήμα 3.12 : Σκίαση από βλάστηση [16]

Τα φυλλοβόλα δέντρα προτιμώνται καθώς προστατεύουν μεγάλες επιφάνειες της όψης του κτιρίου το καλοκαίρι, ενώ αφήνουν τον ήλιο να περάσει το χειμώνα. Τα δέντρα, οι θάμνοι και τα αναρριχητικά φυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο.

- **Σκίαση από γειτονικά κτίρια**

Η τοπογραφική επιλογή μιας θέσης είναι δυνατόν να δημιουργεί σκιά, η οποία επηρεάζεται από την τροχιά του ήλιου, τον προσανατολισμό του και την κλίση του εδάφους. Παρατηρείται συχνότερα σε περιοχές με θερμό και ξηρό κλίμα, όπου οι πόλεις σχεδιάζονται και χτίζονται σε πολύ συμπαγή μορφή, με στενούς δρόμους, ώστε τα κτίρια να σκιάζονται σε κάποιο ποσοστό.

- **Ειδικοί υαλοπίνακες**

Εναλλακτική ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων των κτιρίων γίνεται με χρήση ειδικών υαλοπινάκων. Υπάρχουν διάφορα είδη τέτοιων υαλοπινάκων: έγχρωμοι, απορροφητικοί, ανακλαστικοί, ημιδιαφανείς, επιλεκτικοί κ.ά. με μεγάλη ποικιλία θερμικών και οπτικών ιδιοτήτων, και είναι κατάλληλοι για εφαρμογή σε κτίρια διαφόρων τύπων.

Συμπερασματικά, οι συνιστώμενες τεχνικές σκιασμού είναι:

- **Οριζόντια εξωτερικά σταθερά σκίαστρα:** Συνιστώνται για νότιο προσανατολισμό. Τα σκίαστρα μπορεί να έχουν τη μορφή προβόλου, ανακλαστικών ραφιών ή περσίδων, με αναλογίες τέτοιες ώστε να σχηματίζεται ανάμεσα στο εξωτερικό σκίαστρο και στο κατώφλι του ανοίγματος γωνία ύψους 55° για γεωγραφικό πλάτος 40° και 60° για γεωγραφικό πλάτος 36°.

- **Κατακόρυφα εξωτερικά σταθερά σκίαστρα:** Συνιστώνται για ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό. Μπορεί να είναι κάθετα ή κεκλιμένα ως προς το επίπεδο της κάτοψης του ανοίγματος. Το μήκος της προεξοχής καθορίζεται από τη γωνία των 55°, για όλα τα γεωγραφικά πλάτη της χώρας.

**Εξωτερικά κινητά σκίαστρα:** Πρόκειται για μεταλλικές περσίδες, οριζόντιες για νότιο προσανατολισμό ή κατακόρυφες για ανατολικό και δυτικό, κινούμενες σε οδηγούς, με χειροκίνητο ή αυτόματο μηχανισμό ρύθμισης.

**Εσωτερικά κινητά σκίαστρα:** Συνιστώνται για νότιο, ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό.

**Σκίαση από δέντρα:** Η σκίαση από φύτευση αποτελεί πολύ αποτελεσματική λύση στον ανατολικό και στο δυτικό προσανατολισμό, η οποία επιτυγχάνεται με φυλλοβόλα δέντρα.

**Φύτευση στις όψεις:** Συνήθως χρησιμοποιούνται αναρριχητικά φυτά ή θάμνοι. Μελέτες έδειξαν ότι υπερτερούν σε σχέση με τα άλλα μέσα σκίασης γιατί δεν υπερθερμαίνονται, επιτρέπουν την κίνηση του αέρα διαμέσου του φυλλώματός τους, μειώνουν τη θερμοκρασία του άμεσου περιβάλλοντος και φιλτράρουν τον αέρα από τα σωματίδια σκόνης.

### 3.1.9 Φυσικός Φωτισμός [11,14,16,22]

Η σωστή εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, μπορεί να αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τον τεχνητό φωτισμό και να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα και στην εξοικονόμηση ενέργειας, γενικότερα, ενός κτιρίου, αλλά και στην οπτική άνεση και στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των ενοίκων. Η αποδοτικότερη αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού προϋποθέτει την εξέταση των παρακάτω παραγόντων:

- Γεωμετρία εσωτερικών χώρων
- Γεωμετρία και θέση ανοιγμάτων
- Ποσοστό ανοιγμάτων
- Μέγεθος γειτονικών κτιρίων
- Χρωματισμός εσωτερικών επιφανειών

Αφορά δηλαδή, μια ενιαία μελέτη του χώρου, των ανοιγμάτων και των μεθόδων ηλιοπροστασίας.

Οι βασικότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μέγιστη εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού είναι:

- Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
- Ανοίγματα οροφής
- Αίθρια
- Φωταγωγοί
- Ειδικοί Υαλοπίνακες
- Πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά
- Διαφανή μονωτικά υλικά
- Ράφια φωτισμού-ανακλαστήρες, περσίδες

#### **Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία**

Οι συνηθέστερες εφαρμογές φωτισμού των κτιρίων είναι τα κατακόρυφα ανοίγματα (παράθυρα). Για τη δημιουργία συνθηκών οπτικής άνεσης τα παράθυρα θα πρέπει να τοποθετούνται σε σημεία όπου η ροή του φωτός να είναι μέγιστη αλλά και ελεγχόμενη.

Πολύ σημαντικό ρόλο στο φυσικό φωτισμό ενός κτιρίου παίζει ο προσανατολισμός του κτιρίου. Ο ηλιασμός των κτιρίων και μάλιστα από τη θέση του επιθυμητού προσανατολισμού, είναι συχνά δυσχερής έως αδύνατος, ιδιαίτερα σε πυκνοδομημένες περιοχές. Υπάρχουν όμως πολλές λύσεις για να μπει φυσικό φως στο χώρο, ή για τη βελτίωση της ομοιομορφίας του φωτισμού σε δυσμενή

προσανατολισμό και με ελάχιστη πρόσβαση στο άμεσο ηλιακό φως. Η χρήση αντανακλαστικών επιφανειών όπως οριζόντιων περσίδων, ή πρισματικών τζαμιών ενδείκνυται για τέτοιες περιπτώσεις.

Σχετικά με **το μέγεθος των ανοιγμάτων**, αυτό επηρεάζεται άμεσα με το μέγεθος του φωτιζόμενου χώρου. Με βάση εμπειρικούς κανόνες προκύπτει ότι ποσοστό ανοίγματος ίσο με το 20% της επιφάνειας του φωτιζόμενου χώρου, παρέχει ικανοποιητική ποσότητα φυσικού φωτός και έτσι να αποφεύγονται οι θερμικές απώλειες το χειμώνα, αλλά ταυτόχρονα να μην επιβαρύνεται ο χώρος λόγω υπερθέρμανσης το καλοκαίρι.

Η αύξηση του μεγέθους των ανοιγμάτων πέραν του εμπειρικού ορίου του 20% επί της συνολικής επιφάνειας δεν έχει επωφελή αποτελέσματα καθώς προκαλεί δυσανάλογα μεγάλη αύξηση του θερμικού και ψυκτικού φορτίου του χώρου ενώ αντίθετα επιφέρει μικρή αύξηση του φυσικού φωτισμού.

Ο ελληνικός Κτιριοδομικός Κανονισμός, ορίζει ότι το μέγεθος των ανοιγμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον το 10% της επιφάνειας του φωτιζόμενου χώρου, για να επιτυγχάνεται η ελάχιστη αναγκαία στάθμη φωτισμού και αερισμού.

Η παράμετρος αυτή δεν ανταποκρίνεται πλήρως σε ρεαλιστικές συνθήκες καθώς δεν λαμβάνεται υπόψη η μεταβαλλόμενη ένταση του φωτός, τα εξωτερικά εμπόδια (γειτονικά κτίρια, βλάστηση) και το ύψος του χώρου.

Η **θέση των ανοιγμάτων** είναι ακόμα μια βασική παράμετρος για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού. Αρχικά, τα ανοίγματα πρέπει να τοποθετούνται όσο το δυνατόν ψηλότερα στον τοίχο, έτσι ώστε να διεισδύει σε μεγαλύτερη έκταση του χώρου το ηλιακό φως όπως παρουσιάζεται σχηματικά στο σχήμα 3.13. Καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν όταν συνδυάζεται το άνοιγμα με ανακλαστικότητα του πίσω τοίχου του φωτιζόμενου χώρου καθώς οδηγεί σε ομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτός.

Παράλληλα αν το βάθος του χώρου, ξεπερνά την απόσταση από το δάπεδο μέχρι το άνοιγμα 2,5 φορές, τότε δεν έχουμε ικανοποιητικό φυσικό φωτισμό τόσο ως προς την ποιότητα όσο και ως προς την ποσότητα στα πίσω σημεία του χώρου..



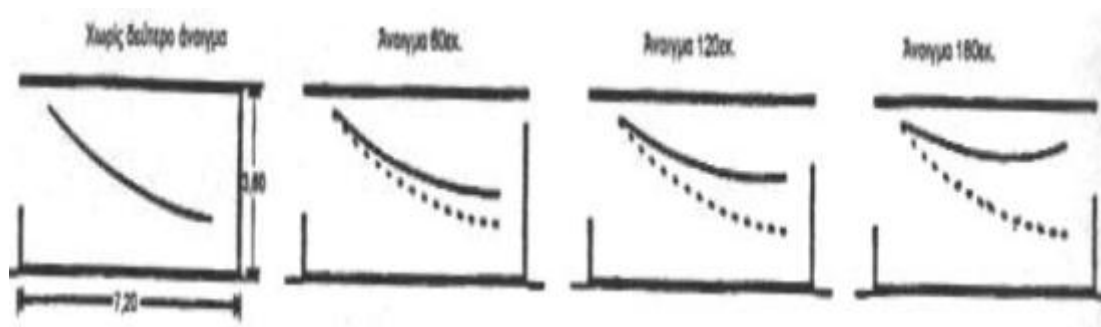
Σχήμα 3.13 Επίδραση του ύψους του ανοίγματος στην κατανομή του φυσικού φωτισμού [16]



Το **σχήμα του ανοίγματος** αποτελεί βασικό παράγοντα για την κατανομή του φωτός στο χώρο. Τα ανοίγματα μεγάλου πλάτους σε σχέση με το ύψος τους, με αναλογίες 2:1, διαμορφώνουν ζώνες διαφορετικής έντασης φωτισμού, παράλληλα με τον τοίχο που φέρει το άνοιγμα. Η ένταση του φωτισμού παραμένει σχεδόν σταθερή όλη την ημέρα και εμφανίζεται μικρός κίνδυνος θάμβωσης.

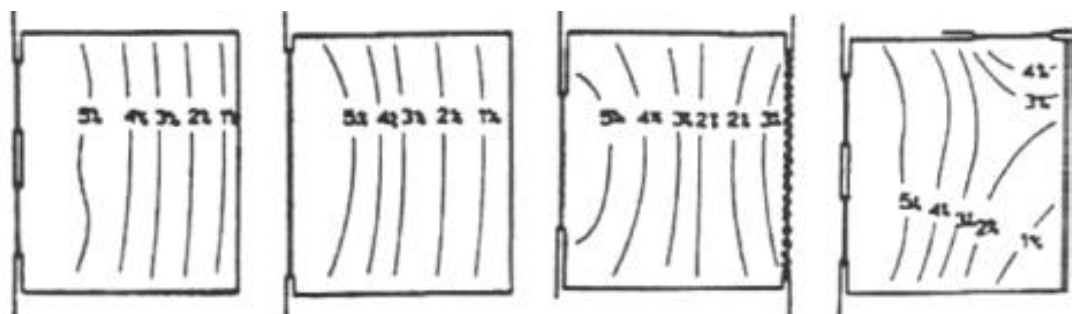
Αντίθετα σε κατακόρυφα ανοίγματα με αναλογίες πλάτους προς ύψος περίπου 1:2, ο φωτισμός διανέμεται κάθετα με αποτέλεσμα τη διαφορετική ένταση του φωτισμού στη διάρκεια της ημέρας. Αυτοί οι τύποι παραθύρων προσφέρουν καλύτερη ποιότητα φωτισμού σε περιοχές απομακρυσμένες από το άνοιγμα, αλλά προκαλείται και μεγαλύτερη θάμβωση.

Ο **αριθμός των ανοιγμάτων** οδηγεί σε καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτός στο χώρο όπως φαίνεται συγκριτικά στο σχήμα 3.14. Πολλά μικρότερα ανοίγματα διανέμουν το φυσικό φως καλύτερα από ένα μεγάλο άνοιγμα, σχήμα 3.15, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται και η θάμβωση, καθώς αν τοποθετηθούν σε παρακείμενους τοίχους εξομαλύνεται η διαφορά λαμπρότητας μεταξύ των τοίχων και του ανοίγματος.



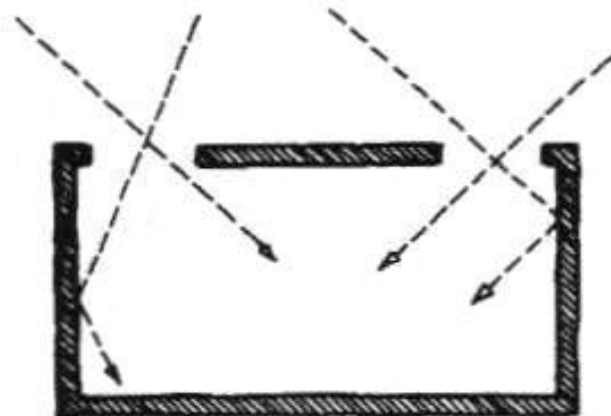
Σχήμα 3.14: Μεταβολή του φυσικού φωτισμού σ' ένα χώρο σε σχέση με την ύπαρξη και το μέγεθος δεύτερου ανοίγματος [16]

Σε χώρους με μεγάλο βάθος συνίσταται συμπληρωματικά μέτρα για φωτισμό όπως πλευρικά παράθυρα, φεγγίτες και ανοίγματα στην οροφή.



Σχήμα 3.15 : Κατανομή φυσικού φωτισμού (συντελεστής φυσικού φωτισμού) στο χώρο για τέσσερις διαφορετικές διατάξεις ανοιγμάτων [16]

Η **τοποθέτηση των ανοιγμάτων** κοντά στους εσωτερικούς τοίχους ενδείκνυται έτσι ώστε όλοι οι τοίχοι να φωτίζονται, λόγω των ανακλάσεων της φωτεινής ακτινοβολίας στους παρακείμενους τοίχους, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.16. Έτσι, μειώνεται η διαφορά λαμπρότητας των επιφανειών και ο κίνδυνος θάμβωσης.



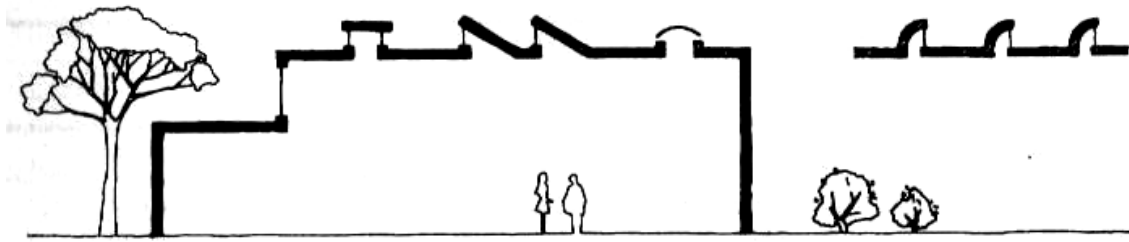
Σχήμα 3.16: Η ποσότητα και η κατανομή του φυσικού φωτισμού επηρεάζεται από την ανάκλαση του φωτός από τους παρακείμενους στα ανοίγματα τοίχους [16]

### **Ανοίγματα οροφής**

Τα ανοίγματα οροφής διοχετεύουν σημαντικές ποσότητες φωτισμού στο εσωτερικό των κτιρίων χωρίς να επηρεάζονται από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Τα βόρεια προσανατολισμένα ανοίγματα παρέχουν μια ομαλή κατανομή φυσικού φωτός, ενώ τα νότια επιτρέπουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία στο εσωτερικό του κτιρίου.

Τα ανοίγματα οροφής έχουν ως πεδίο εφαρμογής μονώροφα κτίρια ή τον τελευταίο όροφο πολυώρων. Ειδική περίπτωση αποτελούν οι φωταγωγοί, που εφαρμόζονται σε πολυώροφα κτίρια.

Τα ανοίγματα οροφής πρέπει να χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικά για το φωτισμό του χώρου καθώς δεν συνεισφέρουν στην οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να αποτελούν τα μοναδικά ανοίγματα.



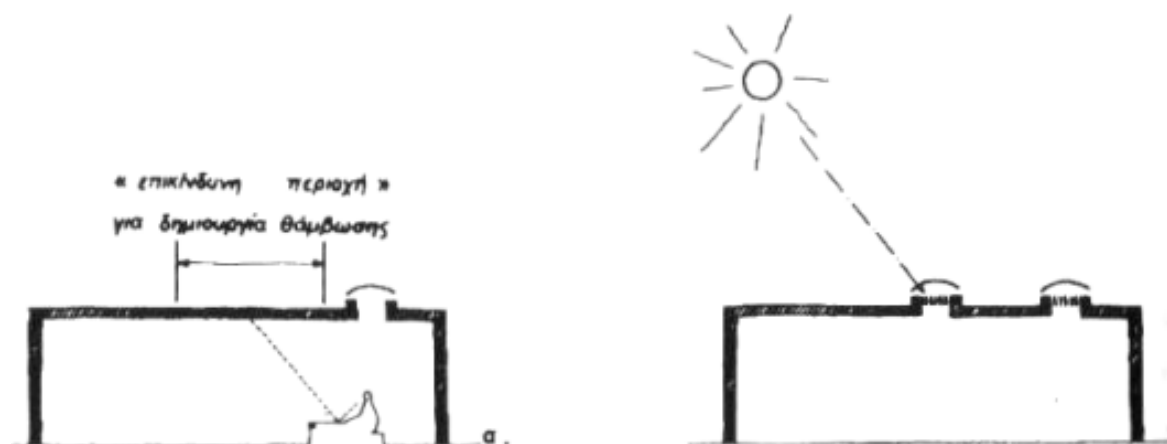
Σχήμα 3.17: Διάφορες διατάξεις ανοιγμάτων οροφής [16]

Τα ανοίγματα οροφής, μπορεί να φέρουν διαφανείς ή ημιδιαφανείς υαλοπίνακες, να είναι οριζόντια ή ελαφρώς κεκλιμένα και παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα σε σχέση με τα ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία:

- Το φως κατανέμεται ομοιόμορφα στο χώρο.
- Παρέχουν μεγάλη ποσότητα διάχυτου φωτός (που προτιμάται έναντι του άμεσου φωτός) από τον ουράνιο θόλο.
- Είναι περιορισμένος ο κίνδυνος να σκιαστούν από εξωτερικά ή εσωτερικά εμπόδια.

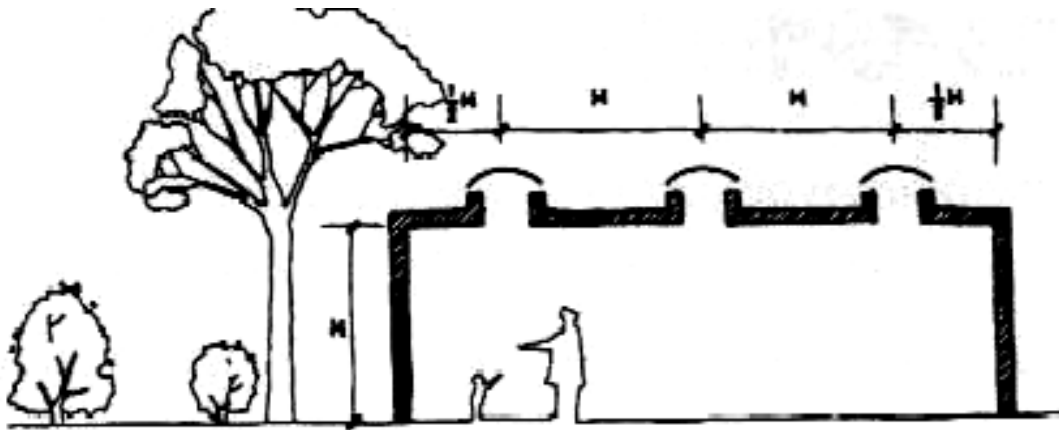
Το βασικό τους μειονέκτημα είναι δέχονται μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι από ότι το χειμώνα λόγω της οριζόντιας θέσης τους, καθώς ο ήλιος κατά το καλοκαίρι είναι ψηλότερα. Επίσης, το βασικό πρόβλημα που παρουσιάζουν είναι ο κίνδυνος θάμβωσης από το άμεσο ηλιακό φως.

Η τοποθέτηση των ανοιγμάτων οροφής πρέπει να γίνεται σε θέσεις κατάλληλες έξω από την περιοχή που μπορεί να προκαλέσει θάμβωση από ανάκλαση (σχήμα 3.18). Για το λόγο αυτό, συχνά συνιστώνται κατακόρυφα ή κεκλιμένα ανοίγματα στην οροφή, σε συνδυασμό με διατάξεις σκιασμού, όπως είναι οι ανακλαστήρες, περσίδες, ή κινητά πετάσματα.



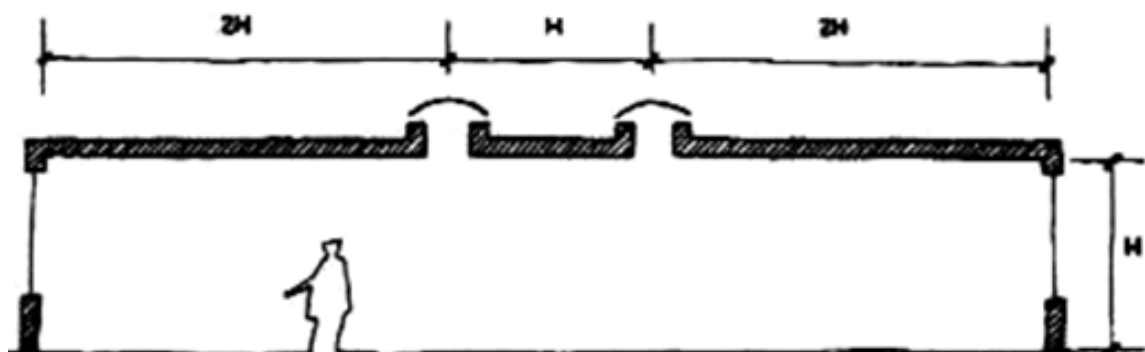
Σχήμα 3.18: Σχεδιασμός και προστασία του οριζόντιου ανοίγματος οροφής για να αποφευχθεί η θάμβωση από αντανάκλαση [16]

Οι σχεδιαστικές προτάσεις που αφορούν τα ανοίγματα οροφής ποικίλλουν ανάλογα με το πλήθος και το είδος των ανοιγμάτων. Έτσι, αν τα οριζόντια ανοίγματα είναι τα μοναδικά ανοίγματα για τη διείσδυση του φυσικού φωτός στο χώρο, τότε η βέλτιστη θέση τους φαίνεται στο σχήμα 2.19:



Σχήμα 3.19: Προτεινόμενη τοποθέτηση οριζόντιων ανοιγμάτων οροφής [16]

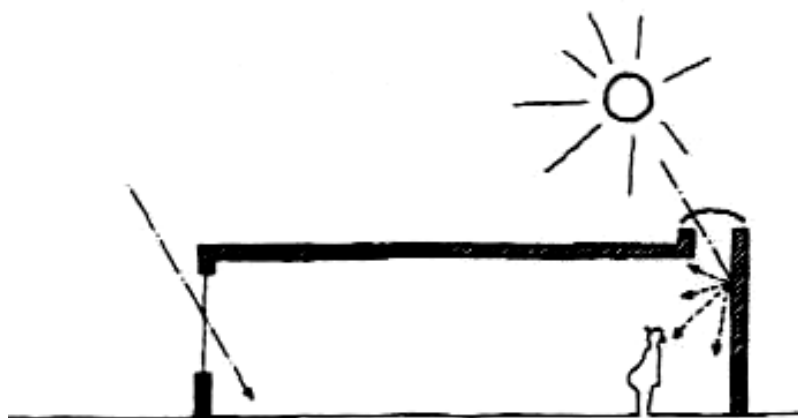
Εάν προβλέπονται και κατακόρυφα ανοίγματα, τότε τα ανοίγματα οροφής μπορεί να τοποθετηθούν σε κατάλληλη απόσταση από την τοιχοποιία του κατακόρυφου ανοίγματος (Σχήμα 3.20):



Σχήμα 3.20 : Προτεινόμενη τοποθέτηση οριζόντιων ανοιγμάτων οροφής σε χώρο με πλευρικά ανοίγματα[16]

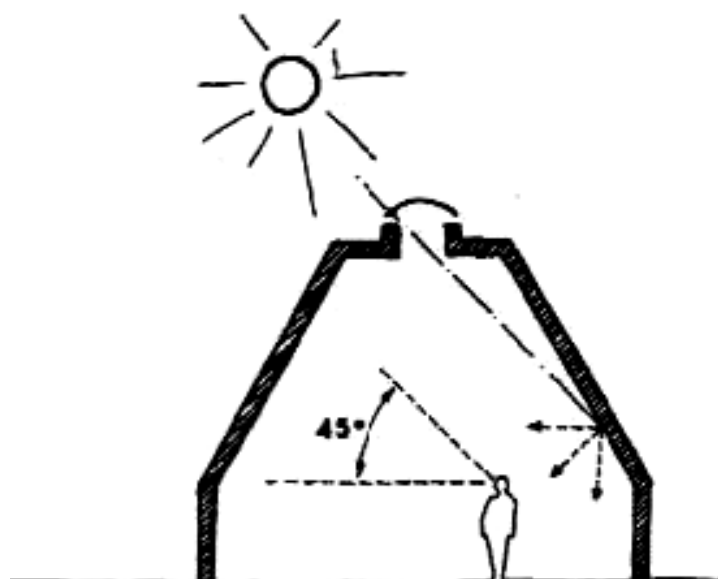
Η βέλτιστη θέση για τα οριζόντια ανοίγματα οροφής είναι κοντά στο βορεινό τοίχο, γιατί το φως μπορεί και διαχέεται μέσω ανάκλασης από την τοιχοποιία (Σχήμα 3.21).

Συνδυάζοντας διαμπερή φωτισμό μέσω κατακόρυφου ανοίγματος, τα ανοίγματα οροφής που βρίσκονται στο βορεινό τοίχο συνδυαζόμενα με τα νότια κατακόρυφα ανοίγματα δημιουργούν καλύτερο φωτισμό του χώρου και καλύτερη κατανομή του φυσικού φωτός.



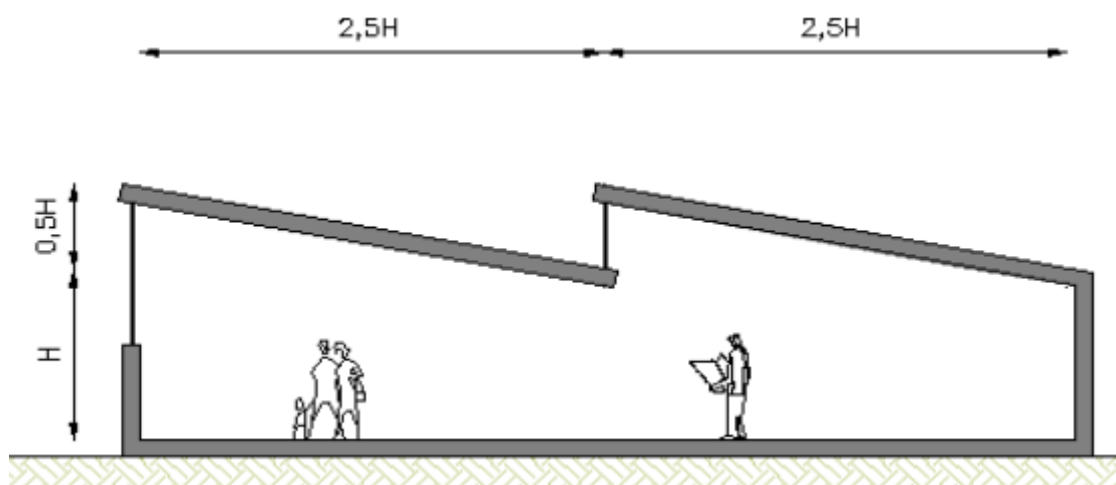
Σχήμα 3.20: Προτεινόμενη τοποθέτηση οριζόντιων ανοιγμάτων οροφής με άνοιγμα οροφής κοντά σε βορινό τοίχο [16]

Επίσης, το υψηλότερο σημείο της οροφής ενδείκνυται για τη δημιουργία ανοίγματος καθώς βοηθά στη διάχυση του φωτός πριν αυτό φτάσει στο δάπεδο. Η απευθείας θάμβωση αποφεύγεται για το χρήστη εφόσον το άνοιγμα βρίσκεται έξω από την οπτική ζώνη του χρήστη.

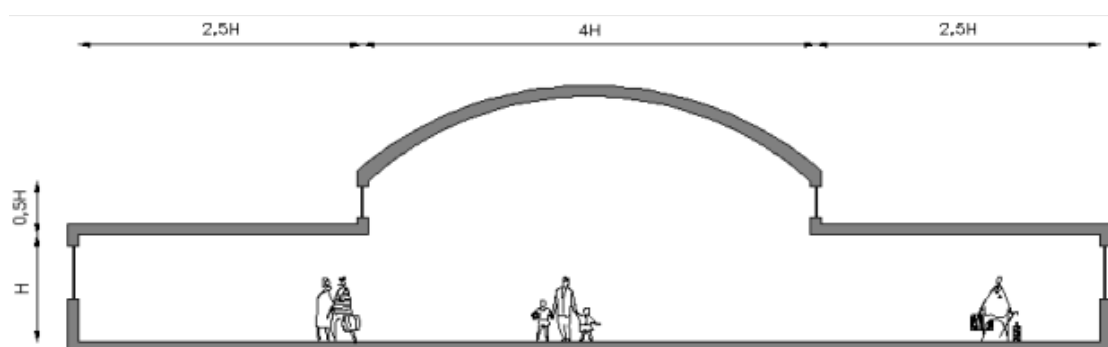


Σχήμα 3.21: Προτεινόμενη τοποθέτηση οριζόντιων ανοιγμάτων οροφής σε χώρους με μεγάλο ύψος [16]

Τα οριζόντια ανοίγματα όπως αναφέρθηκε είναι δύσκολο να σκιαστούν. Για να διευκολύνεται η διείσδυση της άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας στους πίσω χώρους αλλά και για να σκιάζονται αυτοί σε θερμές περιόδους, είναι προτιμότερο να επιλέγονται κεκλιμένα ανοίγματα στην οροφή ή κατακόρυφα ανοίγματα οροφής, όπως φεγγίτες, σύμφωνα με τη σχηματική απεικόνιση του σχήματος 3.22 και 3.23 :

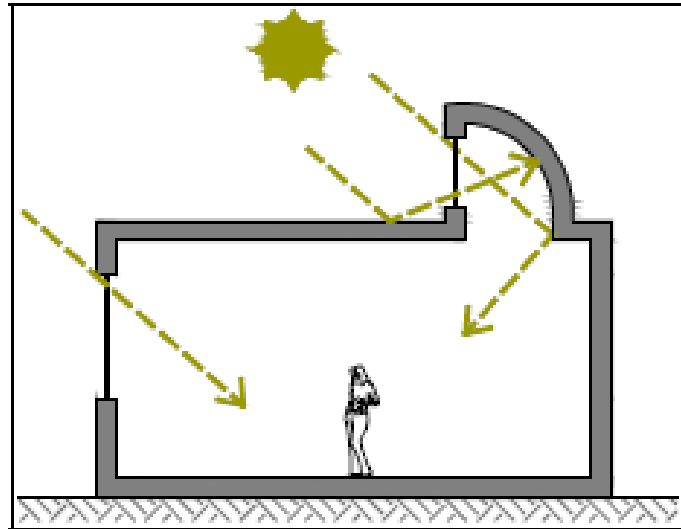


Σχήμα 3.22: Προτεινόμενη τοποθέτηση κατακόρυφων ανοιγμάτων [16]



Σχήμα 3.23: Τυπικές διατάξεις κατακόρυφων ανοιγμάτων οροφής [16]

Επίσης, η ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου μπορεί να βελτιωθεί από τα κεκλιμένα υαλοστάσια οροφής, που είναι προσανατολισμένα προς το νότο, καθώς λειτουργούν ως παθητικό ηλιακό σύστημα άμεσου κέρδους, τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι (σχήμα 3.24). Προσανατολισμένα προς το βορρά βοηθούν στην παροχή σταθερού φωτισμού και στην ομοιόμορφη κατανομή του. Για αυτό το λόγο η πριονωτή στέγη με κατακόρυφους βορινούς φεγγίτες έχει καθιερωθεί ως καταλληλότερη επικάλυψη βιομηχανικών κτιρίων.



Σχήμα 3.24: Νότιο κατακόρυφο άνοιγμα οροφής, τοποθετημένο κοντά στο βορινό τοίχο [16]

## Αίθρια

Τα αίθρια, είτε ανοιχτά είτε με κάλυψη, προτιμώνται σε κτίρια μεγάλης έκτασης και όγκου. Τα αίθρια συνήθως καλύπτονται με γυάλινη οροφή, βοηθούν στην αύξηση της στάθμης του φωτισμού των χώρων (και στην ομοιογενή κατανομή του, εφόσον αυτοί φωτίζονται και από κατακόρυφα ανοίγματα) και συνεισφέρουν στη βελτίωση των συνθηκών φυσικού φωτισμού, καθώς παρέχουν διάχυτο φως (από τον ουρανό και από τις επάλληλες ανακλάσεις στο εσωτερικό τους), συντελώντας στην ομοιόμορφη κατανομή του (χωρίς θάμβωση ιδιαίτερα σε κτίρια μεγάλης επιφάνειας).

Επίσης λειτουργούν ταυτόχρονα ως χώροι που διευκολύνουν το φυσικό αερισμό στα κτιριακά συγκροτήματα, και συνεπώς τα κτίρια που αναπτύσσονται γύρω από ένα σκεπασμένο αίθριο έχουν μειωμένες θερμικές απώλειες.



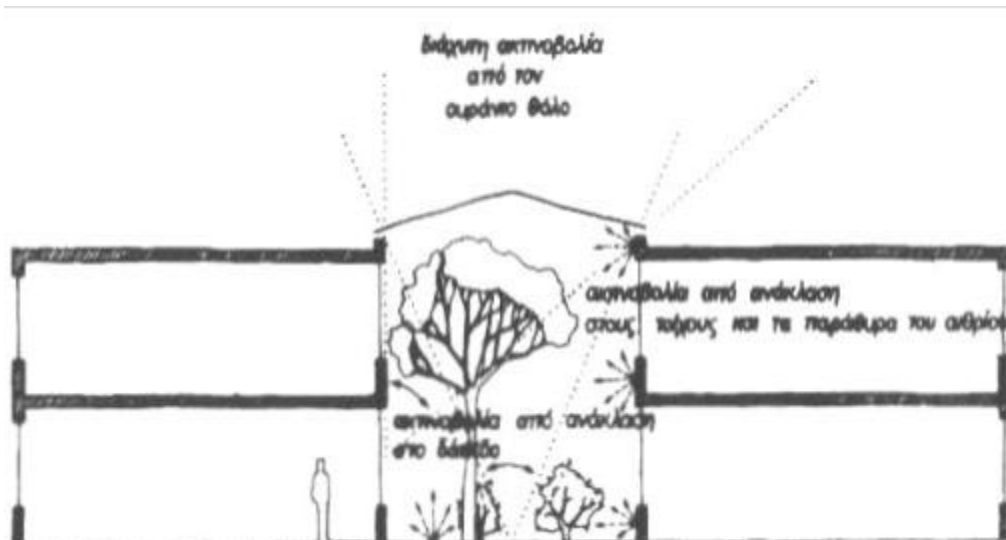
Σχήμα 3.25 : Γυάλινο αίθριο [11]

Η γεωμετρία του αιθρίου αποτελεί πρωτεύοντα ρόλο στη διαμόρφωση ποιότητας και ποσότητας φυσικού φωτισμού στο εσωτερικό του. Αίθρια ορθογωνικής κάτοψης εμφανίζουν έως και 10% υψηλότερες τιμές συντελεστή φυσικού φωτός στη βάση τους, σε σχέση με αίθρια διαφορετικής μορφής. Επίσης όταν το ύψος του αιθρίου δεν υπερβαίνει το πλάτος του, επιτυγχάνονται αρκετά ικανοποιητικά επίπεδα φωτισμού στο εσωτερικό του. Η κλιμακωτή διάταξη των ορόφων που περικλείουν το αίθριο συνεισφέρει στη βελτίωση των επιπέδων φωτισμού στη βάση του. Για την καλύτερη αξιοποίηση του αιθρίου ενδείκνυται η χωροθέτηση χώρων με μικρό βάθος και μεγαλύτερο ελεύθερο ύψος στους χαμηλότερους ορόφους.

Τα αίθρια μπορεί να έχουν εξολοκλήρου γυάλινη οροφή ή να φέρουν παράθυρα οροφής ή και να συνδυάζουν γυάλινη οροφή και κατακόρυφα παράθυρα. Οι επικαλύψεις των αιθρίων είναι δυνατόν να προκαλέσουν μείωση του εισερχόμενου



φωτός κατά 20% έως 50%, ανάλογα με τις οπτικές ιδιότητες της επικάλυψης και την κατασκευή του σκελετού στήριξης.



Σχήμα 3.26 Παροχή φυσικού φωτός σε ένα αίθριο [16]

### Φωταγωγοί

Οι φωταγωγοί (light ducks) συνιστώνται σε χώρους όπου είναι δύσκολη η διείσδυση φυσικού φωτός με άλλο τρόπο, και είναι ουσιαστικά η εξέλιξη των εσωτερικών αιθρίων όταν το μέγεθος τους είναι πολύ μικρό για να είναι χρήσιμοι εκμεταλλεύσιμοι χώροι ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μη στεγασμένοι (σχήμα 3.27).



Σχήμα 3.27 Φωτοσωλήνας τοποθετημένος υπό κλίση σε στέγη [11]

Τα είδη φωταγωγών ποικίλλουν σε διαστάσεις ενώ γενικά οι φωταγωγοί θα πρέπει να έχουν επιφάνειες ανακλαστικές. Τα δε ανοίγματα που βλέπουν σε αυτούς συνιστάται να έχουν στην ποδιά τους ανακλαστήρα, ώστε να διοχετεύεται το φως στους εσωτερικούς χώρους.

Η απόδοσή των φωταγωγών βελτιώνεται με προσθήκη ανακλαστήρα στην κορυφή τους, στην είσοδο του φωτός, ο οποίος να εκτρέπει τις ηλιακές ακτίνες προς τα κάτω. Για ακόμα μεγαλύτερη απόδοση μπορεί να συνοδεύονται από ηλιοστάτη, μια συσκευή η οποία φέρει καθρέπτη και ακολουθεί την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

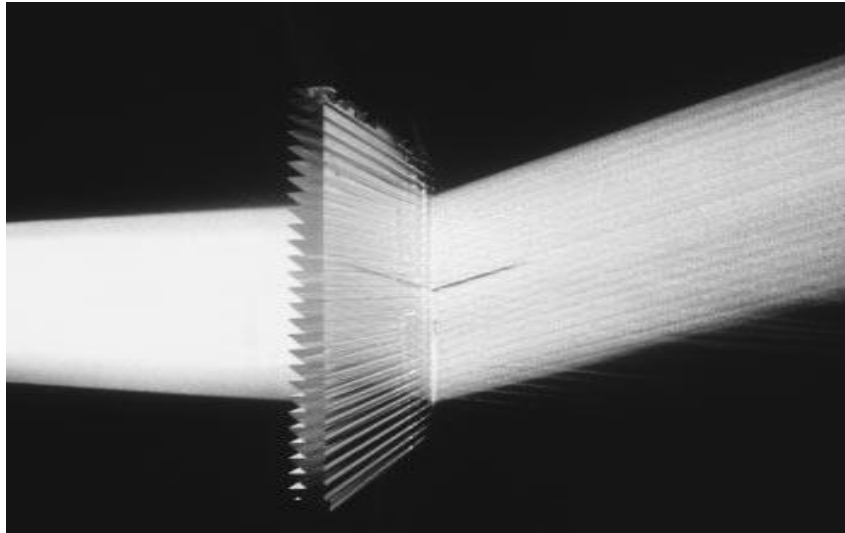
Είναι δύσκολο ωστόσο, να προσαρμοστούν σε υφιστάμενο κτίριο, λόγω των αλλαγών που χρειάζονται και για αυτό το λόγο εγκαθίστανται μόνο σε καινούρια κτίρια.

### **Πρισματικά φωτοδιαπερατά υλικά**

Αποτελούν στοιχεία στα οποία η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία διαθλάται και ανάλογα με τη δομή τους, μπορούν να αποκλείσουν πλήρως την είσοδο ή να αλλάξουν την κατεύθυνση της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Είναι ημιδιαφανή και άρα δεν συνιστώνται εκεί που είναι επιθυμητή η θέα προς τα έξω.

Οι **πρισματικοί υαλοπίνακες** τοποθετούνται στο κέλυφος του κτιρίου. Μπορούν να τοποθετηθούν σαν αυτόνομα στοιχεία ή μεταξύ δύο φύλλων υαλοπινάκων καθώς έτσι προστατεύονται από τη σκόνη. Είναι λεπτές, επίπεδες, πριονωτές διατάξεις κατασκευασμένες από ακρυλικό υλικό, και αποτρέπουν την είσοδο των ηλιακών ακτίνων με κατάλληλο προσανατολισμό και χρησιμοποιούνται για να ανακατευθύνουν το φως στο βάθος του χώρου, όπως στο σχήμα 3.28, ενώ παράλληλα μειώνουν το ενδεχόμενο θάμβωσης.

Μπορεί να είναι σταθεροί, αλλά και κινητοί, ενώ υπάρχει η δυνατότητα, ανάλογα με την κατασκευή της πριονωτής διάταξης, να επιτρέψουν τη διέλευση ακτινοβολίας με συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης, παρέχοντας ηλιοπροστασία τους καλοκαιρινούς μήνες χωρίς να περιορίζεται η διέλευση της χειμερινής ηλιακής ακτινοβολίας.



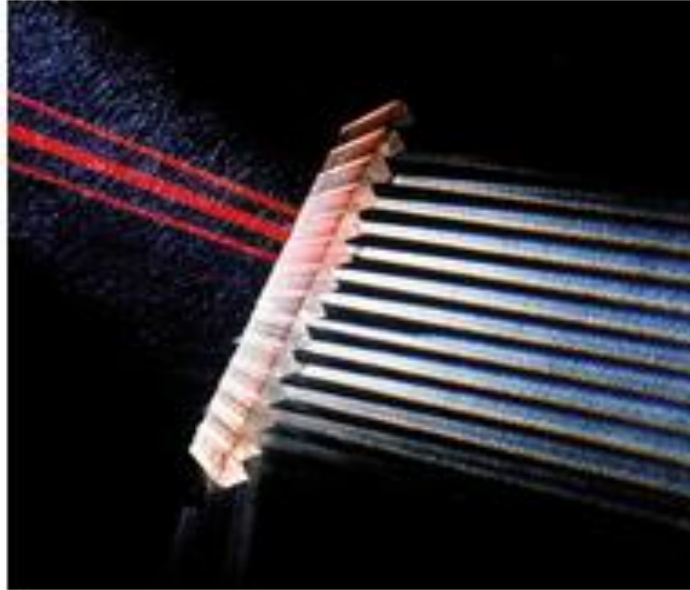
Σχήμα 3.28: Οι πρισματικοί υαλοπίνακες ανακατευθύνουν το φως [16]

Οι ασύμμετροι υαλοπίνακες αποτελούν ειδική κατηγορία οι οποίοι αλλάζουν τη διεύθυνση των ηλιακών ακτινών, με σκοπό τη βελτίωση της οπτικής άνεσης.

Οι πρισματικοί υαλοπίνακες ενδείκνυνται για ανοίγματα οροφής και για πλευρικά ανοίγματα σε υψηλή στάθμη, επειδή διαταράσσουν τη θέα προς το εξωτερικό περιβάλλον, παρόλο που είναι διαφανής. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν και σε ηλιοπροστατευτικές διατάξεις.

**Οι υαλοπίνακες ειδικής επεξεργασίας με λέιζερ** αποτελούνται από λεπτά ακρυλικά φύλλα στα οποία έχουν δημιουργηθεί παράλληλες εγκοπές με τη βοήθεια λέιζερ. Οι εγκοπές λειτουργούν ως μικροί εσωτερικοί καθρέφτες, οι οποίοι εκτρέπουν την εισερχόμενη άμεση ακτινοβολία, δίδοντάς τη ανοδική πορεία προς την οροφή του χώρου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.29.

Τα ακρυλικά φύλλα τοποθετούνται στο διάκενο των δίδυμων υαλοπινάκων για προστασία. Δεν διαταράσσουν την οπτική επαφή και για αυτό χρησιμοποιούνται και σε πλευρικά ανοίγματα. Η απόδοσή τους είναι μεγαλύτερη σε περιοχές με συνεχή ηλιοφάνεια.



Σχήμα 3.29: Ειδικοί υαλοπίνακες λέιζερ [11]

### **Διαφανή μονωτικά υλικά**

Πρόκειται για υλικά που λειτουργούν όπως τα πρότυπα μονωτικά υλικά, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν τη διέλευση του φωτός δια μέσου αυτών. Με τη μέθοδο αυτή οι απώλειες θερμικής μετάδοσης από το κτίριο περιορίζονται, ενώ το φως συνεχίζει να μεταδίδεται. Επειδή, η διαφανής θερμομόνωση απορροφά τόσο την ακτινοβολία που προσπίπτει άμεσα στην επιφάνειά της όσο και τη διάχυτη ακτινοβολία, επιφέρει θετικά αποτελέσματα σε οποιαδήποτε όψη κι αν εφαρμοστεί. Μπορεί να τοποθετηθεί τόσο σε τοίχους, αλλά και σε οροφές.



Σχήμα 3.30: Διαφανές μονωτικό υλικό τοποθετημένο σε τοίχο [11]

Εάν για λόγους οικονομίας αποφασιστεί να μη μονωθούν όλες οι όψεις, η πρώτη επιλογή είναι η νότια όψη και ακολουθούν η ανατολική και η δυτική. Η διάφανη μόνωση έχει 2-3 φορές υψηλότερη θερμομονωτική ικανότητα από τους διπλούς υαλοπίνακες. Διαφανή μονωτικά υλικά μπορούν να τοποθετηθούν, επίσης, μεταξύ δύο φύλλων υαλοπινάκων ή πλαστικών φύλλων. Η φωτοδιαπερατότητα των διαφανών υλικών κυμαίνεται μεταξύ του 45-80%, με μια μείωση γύρω στο 8% για κάθε φύλλο υαλοπίνακα.

Το κόστος των υλικών αυτών είναι αρκετά υψηλό, ενώ απαιτούνται βελτιώσεις, για να διατηρηθούν η απόδοση και οι θερμοοπτικές ιδιότητες των υλικών, καθώς και η διάρκεια ζωής τους. Σε υφιστάμενα κτίρια μπορεί να τοποθετηθεί πάνω από υπάρχουσα μη μονωμένη τοιχοποιία, όπως γίνεται και η προσθήκη της συνήθους θερμομόνωσης. Τα εσωτερικά συμπαγή διαχωριστικά στοιχεία εμποδίζουν τη φωτεινή ακτινοβολία να φτάσει το βάθος του χώρου, ενώ οι «ανοικτοί» σε κάτοψη χώροι επιτρέπουν στο φως να διεισδύσει τα πίσω τμήματα του κτιρίου. Γενικά είναι αποδεκτό ότι για ικανοποιητική ποσότητα φυσικού φωτός, το βάθος του χώρου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 6-7μ. Η κατανομή του φυσικού φωτισμού επηρεάζεται επίσης από την ανακλαστικότητα των υλικών του φωτιζόμενου χώρου, και για αυτό εάν είναι επιθυμητή η διείσδυση του φωτός σε μεγαλύτερο βάθος όπως στην περίπτωση χώρων μεγάλου βάθους, η οροφή πρέπει να έχει υψηλό συντελεστή ανάκλασης (ανοιχτό χρώμα).

Η ανακλαστικότητα των υπολοίπων επιφανειών του χώρου εξαρτάται από τις γεωμετρικές αναλογίες του. Γενικά, οι ανοιχτόχρωμες εσωτερικές τοιχοποιίες δημιουργούν την «αίσθηση» φωτεινού περιβάλλοντος, αυξάνοντας σε κάποιο βαθμό τα επίπεδα φωτισμού στο χώρο.

### **Ανακλαστικές περσίδες**

Μπορεί να είναι εξωτερικές ή εσωτερικές με ανακλαστική επιφάνεια και αυξάνουν την ποσότητα του φωτός που δέχεται ο χώρος, παρέχοντας συγχρόνως σκιασμό και προστασία από τη θάμβωση, και απεικονίζονται στο σχήμα 3.31.

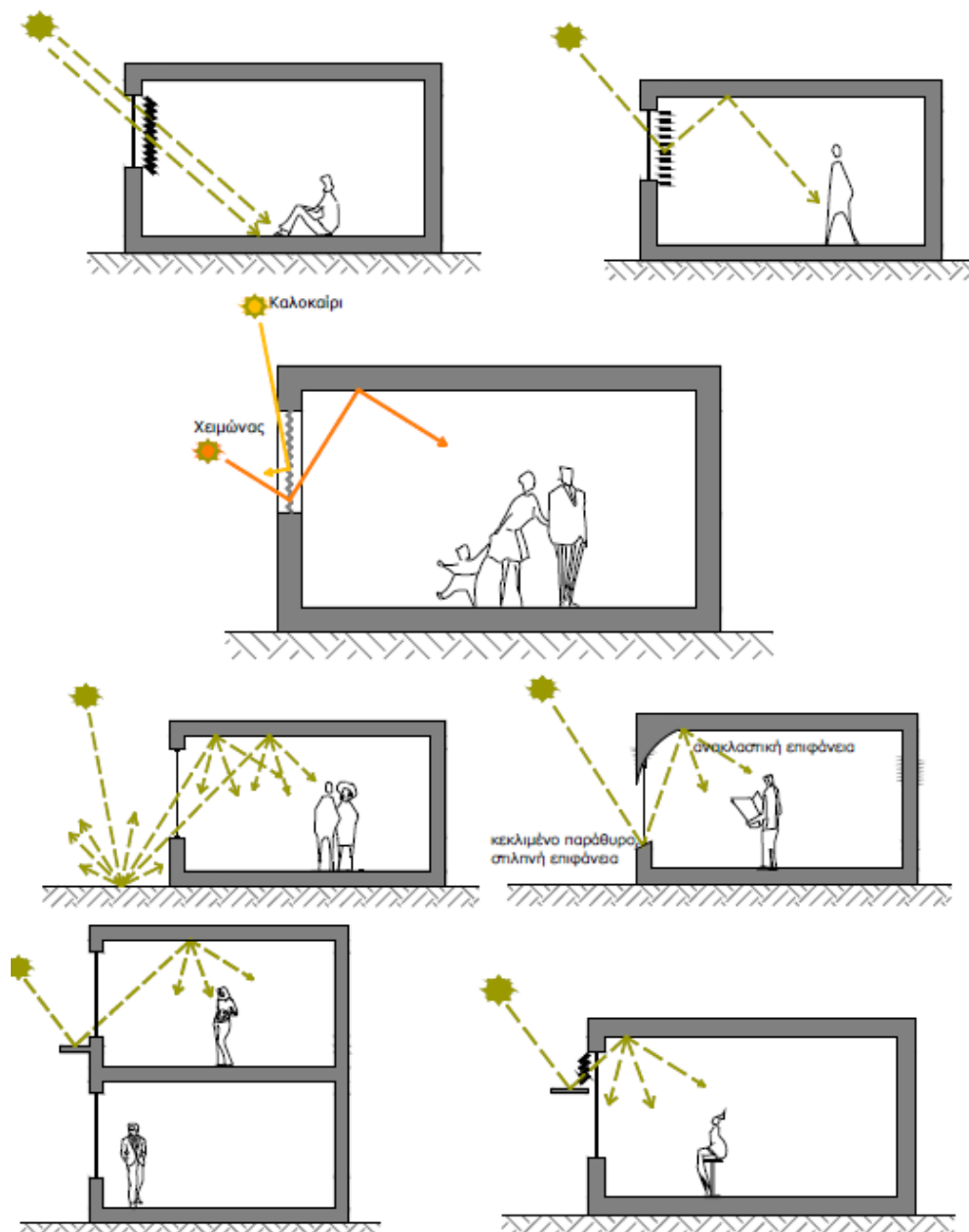
Χωρίζονται σε σταθερές και ρυθμιζόμενες περσίδες.

- **Σταθερές**

Πρόκειται για ένα πλαίσιο με σταθερές περσίδες. Αποτελούνται από ανακλαστικό υλικό και καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια ενός ανοίγματος ή τμήμα του. Η κλίση των περσίδων καθορίζεται έτσι ώστε να αποτρέπεται η διείσδυση των ηλιακών ακτινών κατά την περίοδο του θέρους. Η ανακλαστική τους ικανότητα μπορεί να μειωθεί εξαιτίας της συγκέντρωσης ρύπων στην επιφάνεια τους, για αυτό απαιτείται συχνή συντήρηση.

- **Ρυθμιζόμενες περσίδες**

Οι σταθερές περσίδες λειτουργούν αποτελεσματικά μόνο για ορισμένη διεύθυνση των ηλιακών ακτινών. Έτσι προτιμούνται οι ρυθμιζόμενες, των οποίων η ρύθμιση γίνεται είτε χειροκίνητα, είτε με τη χρήση κάποιου μηχανισμού. Πιο εξελιγμένα συστήματα περιλαμβάνουν καμπύλες περσίδες, οι οποίες είναι εξοπλισμένες με ρυθμιζόμενο πλαστικό φιλμ. Εκτός από την κλίση των περσίδων, ρυθμίζεται επίσης, η κλίση του φιλμ αυτού, έτσι ώστε για κάθε γωνία πρόσπτωσης των ακτινών, η ανακλώμενη δέσμη να διατηρεί σταθερή κατεύθυνση. Εκτός από την εκτροπή των ηλιακών ακτινών κατά το θέρος και την αντιμετώπιση της θάμβωσης, λειτουργούν επίσης αποτελεσματικά όσον αφορά τον απαιτούμενο χειμερινό ηλιασμό.



Σχήμα 3.31 :Διάφορες διατάξεις ανακλαστικών περσίδων [16]



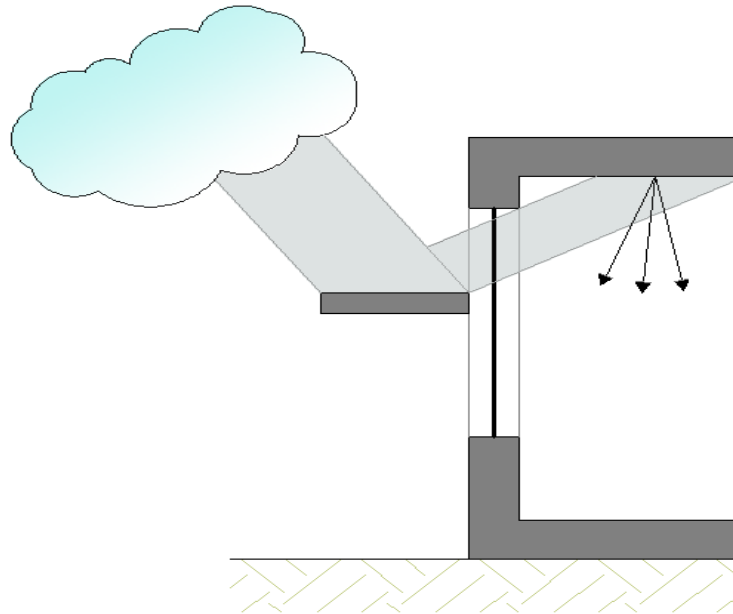
Σχήμα 3.32 : Ανακλαστική περσίδα οροφής [11]

### **Ανακλαστήρες φωτισμού**

Συχνά ονομάζονται και ράφια φωτισμού (light selves). Είναι επίπεδα στοιχεία με έντονη ανακλαστική επίστρωση. Τοποθετούνται οριζόντια στα πλαίσια των ανοιγμάτων, πάνω από το επίπεδο του ματιού και προεξέχουν εξωτερικά ή εσωτερικά.

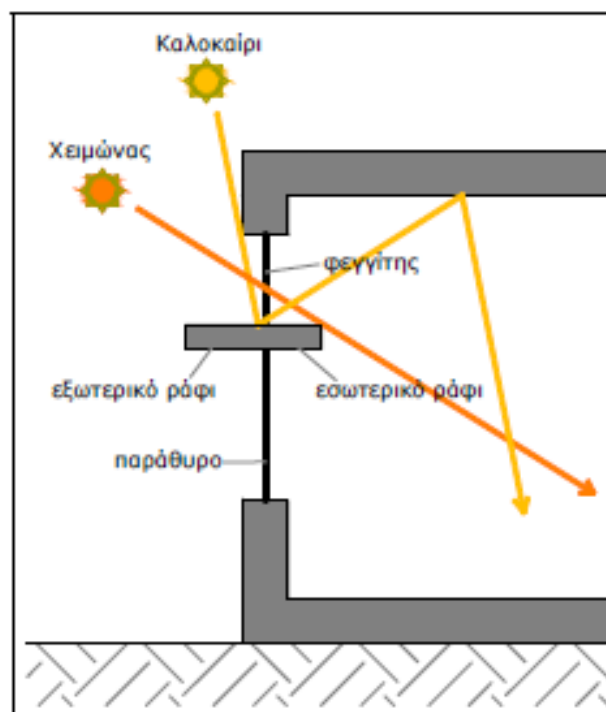
Το μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι ότι κατευθύνουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία προς τις εσωτερικές επιφάνειες του χώρου εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτός. Έχουν δηλαδή σκοπό να μειώσουν το επίπεδο φωτισμού κοντά στο παράθυρο και να το αυξήσουν στο πίσω μέρος του χώρου. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στις νότιες όψεις, βελτιώνουν τη διανομή του φυσικού φωτός, προκαλώντας μείωση των επιπέδων φωτισμού κοντά στο παράθυρο και αποφυγή της θάμβωσης.

Η κάτω πλευρά τους ανακλά επίσης τις φωτεινές δέσμες τις προερχόμενες από το έδαφος και αυξάνει την ποσότητα του φωτός που εισέρχεται στο χώρο.



Σχήμα 3.33: Ανακλαστικά ράφια φωτισμού εξωτερικά του ανοίγματος [16]

Τα ράφια φωτισμού κατασκευάζονται στην εσωτερική ή εξωτερική πλευρά (σχήμα 3.33) ή εκατέρωθεν του υαλοστασίου και αποτελούν συγχρόνως στοιχείο της αρχιτεκτονικής σύνθεσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.34.



Σχήμα 3.34: Ανακλαστικά ράφια φωτισμού εκατέρωθεν του ανοίγματος [16]



### 3.1.10 Δροσισμός-Αερισμός [11,12,14,16]

Ο φυσικός αερισμός-δροσισμός αποτελεί μια από τις βασικές στρατηγικές στην υλοποίηση της βιοκλιματικής σχεδίασης ενός κτιρίου. Ο φυσικός αερισμός αποτελεί τη βασικότερη τεχνική απομάκρυνσης της θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου τους θερμούς μήνες ώστε να αποτραπεί η υπερθέρμανση του, διατηρώντας ικανοποιητικά επίπεδα θερμικής άνεσης στο κτίριο.

Παράλληλα, μέσω του φυσικού αερισμού-δροσισμού μειώνεται η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, για ψύξη τους θερινούς μήνες, αλλά έχουμε και περιβαλλοντικά οφέλη με τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα και των εκπομπών χλωροφθορανθράκων από τη διαρκώς αυξανόμενη χρήση κλιματιστικών.

Αρχικά, η στρατηγική αυτή μπορεί να επιτευχθεί με την προστασία του κτιρίου, και των ανοιγμάτων του, από την πρόσπτωση της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας, όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα. Ακολούθως, το επόμενο βασικό βήμα είναι η απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το εξωτερικό περιβάλλον με μία σειρά από τεχνικές που παρουσιάζονται αργότερα, ενώ επιπρόσθετα σκοπεύει στην απομάκρυνση θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα, με αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου θερμικής άνεσης ενός χώρου, ακόμα και σε σχετικά ψηλές θερμοκρασίες

Γενικότερα οι τεχνικές και σχεδιαστικές ρυθμίσεις στο κέλυφος του κτιρίου που συμβάλλουν στο φυσικό του δροσισμό, είναι οι ακόλουθες:

- **Ηλιοπροστασία** του κτιρίου από την έντονη ηλιακή ακτινοβολία και κυρίως η αποτελεσματική σκίαση των ανοιγμάτων του, ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του εσωτερικού χώρου.
- **Επάρκεια θερμικής μάζας** του κτιρίου, καθώς λειτουργεί ως ρυθμιστής διακύμανσης της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα.
- **Θερμομόνωση** του κελύφους, έτσι ώστε να μειώνεται το απαιτούμενο ψυκτικό του φορτίο, καθώς και το **χρώμα και η υφή** των εξωτερικών επιφανειών,

Οι παραπάνω τεχνικές έχουν ήδη αναλυθεί, ενώ βασικότερη τεχνική αποτελεί ο **φυσικός αερισμός** του εσωτερικού χώρου για την απομάκρυνση της συσσωρευμένης θερμότητας.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν το φυσικό αερισμό είναι:

- **Οι εξωτερικές κλιματικές συνθήκες**

Ο αέρας που εισέρχεται πρέπει να έχει μικρότερη θερμοκρασία από αυτή του εσωτερικού αέρα. Στις εύκρατες περιοχές, όπου το χειμώνα επικρατεί υγρασία και κρύο, ο αερισμός πρέπει να είναι περιορισμένος και να γίνεται μόνο μεσημβρινές ώρες. Η ίδια πρακτική ακολουθείται και στις ψυχρές περιοχές. Το καλοκαίρι όμως είναι απαραίτητος γιατί οι δροσεροί άνεμοι απομακρύνουν την θερμότητα και την πιθανή υγρασία και πρέπει να γίνεται τις πρωινές και τις βραδινές ώρες. Σε ζεστές και ξηρές περιοχές επιβάλλεται ο νυχτερινός αερισμός, ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας πρέπει να πραγματοποιείται και για την απομάκρυνση των οσμών. Τέλος στις ζεστές περιοχές με πολύ υγρασία, καλό είναι να αποφεύγεται.

- **Ο προσανατολισμός**

Τα ανοίγματα πρέπει να έχουν την πρόσοψή τους προς στον άνεμο σε κάθετη διεύθυνση. Οποιαδήποτε απόκλιση μειώνει την ταχύτητα ροής.

- **Η θέση**

Η διεύθυνση του ανέμου μεταβάλλεται από τη διάταξη των εσωτερικών χωρισμάτων, τις αρχιτεκτονικές προεξοχές του κτιρίου και την ύπαρξη θάμνων ή δέντρων.

- **Το μέγεθος των ανοιγμάτων**

Τα ανοίγματα εξόδου, αυτά δηλαδή που βρίσκονται στην υπήνεμη όψη του κτιρίου, πρέπει να είναι μεγαλύτερα ή ίσου τουλάχιστον μεγέθους με τα ανοίγματα εισόδου γιατί έτσι διευκολύνεται η ελεύθερη κίνηση του αέρα.

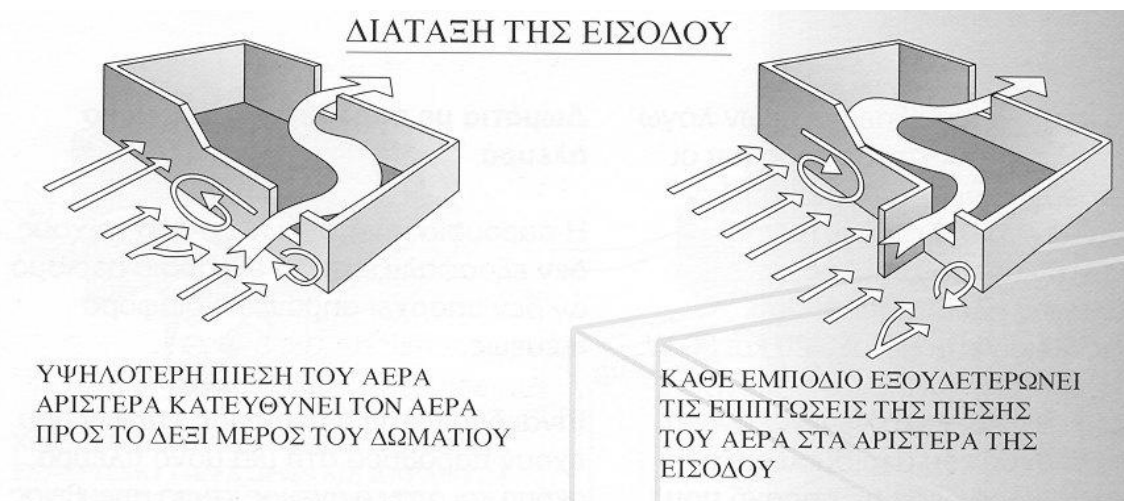
Γενικά, ο φυσικός αερισμός, ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται μπορεί να είναι:

- Διαμπερής, διαμέσου παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων
- Κατακόρυφος (φαινόμενο φυσικού ελκυσμού, μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων, καμινάδων ή πύργων αερισμού)
- Κατακόρυφος ενισχυμένος από ηλιακή καμινάδα

## Διαμερής αερισμός

Ο αέρας διεισδύει, λόγω διαφοράς πίεσης, μέσω των ανοιγμάτων σε ένα κτίριο και η κατεύθυνση του μπορεί να ρυθμιστεί εξωτερικά με χρήση βλάστησης. Ός βέλτιστη θεωρείται η διεύθυνση ανέμου που σχηματίζει γωνία  $45^\circ$  ως προς τα ανοίγματα εισόδου. Η ταχύτητα του αέρα είναι μέγιστη, όταν τα ανοίγματα εισόδου του αέρα είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα εξόδου και καλύτερη διανομή του επιτυγχάνεται, όταν τα ανοίγματα αυτά είναι διαγώνια αντίθετα το ένα από το άλλο, το άνοιγμα εισόδου χαμηλότερα και το άνοιγμα εξόδου υψηλότερα.

Η χρήση μονόπλευρου αερισμού, δηλαδή ανοιγμάτων μόνο από τη μία πλευρά δε συνίσταται λόγω κακής κυκλοφορίας του αέρα.

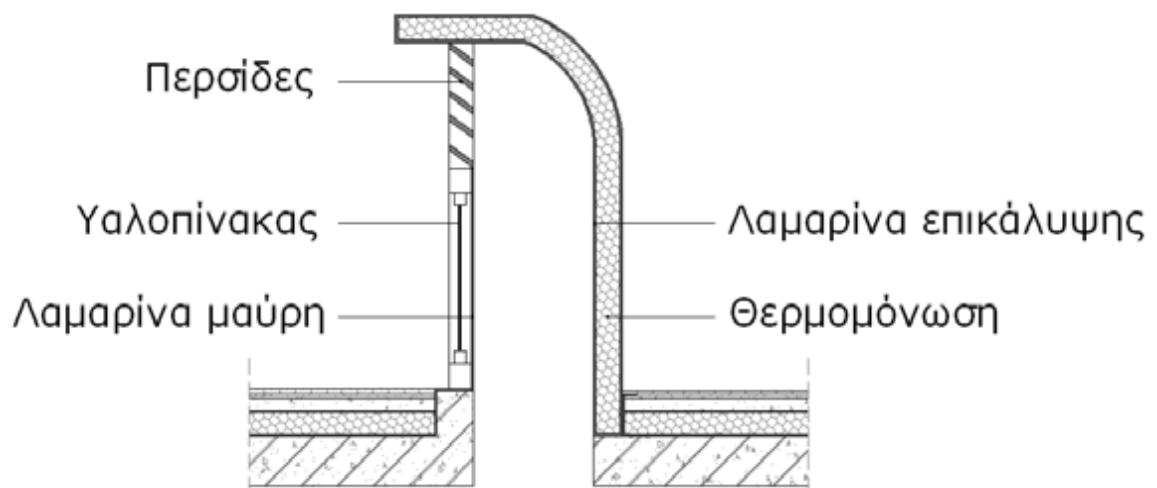


Σχήμα 3.35: Ο ρόλος των εξωτερικών στοιχείων στον αερισμό του εσωτερικού χώρου [16]

## Ηλιακή καμινάδα

Είναι η καμινάδα, που έχει υαλοπίνακες στη νότια ή νοτιοδυτική της επιφάνεια και περσίδες στο πάνω μέρος της ίδιας πλευράς. Ο αέρας μέσα στην καμινάδα θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία και κινείται με μεγάλη ταχύτητα προς τα επάνω, ενισχύοντας σημαντικά το φαινόμενο του φυσικού αερισμού. Λόγω της συνεχούς ανανέωσης του αέρα, το σύστημα αυτό συνιστάται σε περιοχές με αρκετή υγρασία το καλοκαίρι.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ηλιακής καμινάδας είναι ότι δεν εξαρτάται από τον άνεμο και έτσι μπορεί να εφαρμοσθεί όπως αναφέρθηκε σε καλοκαιρινές ζεστές, μέρες με άπνοια.



Σχήμα 3.36 : Τομή ηλιακής καμινάδας [16]

### Αεριζόμενο κέλυφος

Είναι μια κατασκευή διπλού κελύφους στην οροφή ή στις προσόψεις του κτιρίου, όπου μέσα στο διάκενο κυκλοφορεί ο αέρας του περιβάλλοντος και συνεισφέρει στη μεταφορά θερμότητας από το κέλυφος του κτιρίου στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 3.37 : Τομή σε αεριζόμενο δώμα [16]

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το αεριζόμενο κέλυφος συνεισφέρει στη σκίαση του κελύφους και συνεπώς στη θερμική προστασία του κτιρίου, αλλά και στη

μεταφορά θερμότητας από το κέλυφος στο εξωτερικό περιβάλλον, μέσω του αέρα που κυκλοφορεί στο διάκενο.

Κατά τους χειμερινούς μήνες, ο αέρας που κυκλοφορεί στο κέλυφος είναι χαμηλότερης ταχύτητας του εξωτερικού, οπότε μέσω του διπλού κελύφους, οι θερμικές απώλειες προς το εξωτερικό περιβάλλον περιορίζονται, αυξάνεται δηλαδή η θερμομονωτική ικανότητα του κελύφους. Πρέπει ωστόσο, να είναι θερμομονωμένο το εσωτερικό τμήμα του αεριζόμενου κελύφους.

Μέσω του φυσικού αερισμού μπορεί να εξοικονομηθούν μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια. Μια μέση μείωση της τάξης του 75% με 100% του ψυκτικού φορτίου λόγω του αερισμού, έχει προκύψει από μετρήσεις και ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις σε κατοικίες στην Ελλάδα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο επαρκής φυσικός αερισμός μπορεί να υποκαταστήσει ένα κλιματιστικό σύστημα, σε ιδανικές συνθήκες θερμικής άνεσης μέσα στους χώρους.

Ο πλήρης αερισμός των εσωτερικών χώρων πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της νύχτας και έχει ως στόχο την αποβολή των θερμικών φορτίων των τοίχων στο ψυχρό νυχτερινό αέρα και τη ψύξη τους στα επίπεδα της χαμηλότερης νυχτερινής θερμοκρασίας. Καθώς η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα ανεβαίνει κατά τη διάρκεια της μέρας όλα τα εξωτερικά ανοίγματα θα πρέπει να ανοίγουν νωρίς το πρωί. Οι ψυχροί εσωτερικοί τοίχοι απορροφούν θερμότητα από τον εσωτερικό αέρα και τον ψύχουν. Η θερμική μάζα στο εσωτερικό του κτιρίου πρέπει να είναι αρκετή, ώστε οι τοίχοι να εξακολουθούν, έστω και οριακά, να παραμένουν αρκετά ψυχροί, για να ψύχεται ο εσωτερικός αέρας, μέχρι την ώρα της ημέρας που η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει χαμηλότερα από την εσωτερική, αμέσως μετά τη Δύση του ήλιου. Τότε ανοίγουν όλα τα εξωτερικά ανοίγματα του κτιρίου, ώστε να ξαναρχίσει ο νέος κύκλος ψύξης των εσωτερικών του δομικών στοιχείων.

Οι κύριες προϋποθέσεις για τη λειτουργία του φυσικού δροσισμού είναι:

- Η θερμική μάζα του κτιρίου να είναι επαρκής.
- Ο νυχτερινός αερισμός, να είναι πλήρης.
- Οι νυχτερινές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος να είναι σχετικά χαμηλές.

Ο αερισμός ενός κτιρίου απαιτεί τη διαρκή εναλλαγή του συνολικού όγκου του εσωτερικού αέρα με το ψυχρό εξωτερικό αέρα. Η επίτευξη του είναι δυνατή μόνο με συνδυασμό διαμπερούς και κατακόρυφου αερισμού. Ο κατακόρυφος αερισμός βασίζεται στο φαινόμενο της θερμικής διαστρωμάτωσης του εσωτερικού αέρα και προϋποθέτει την ύπαρξη ανοιγμάτων στις υψηλότερες ζώνες των χώρων και συνολικά του κτιρίου, δηλαδή στις περιοχές που συγκεντρώνεται ο θερμότερος εσωτερικός αέρας. Ο θερμός αέρας διαφεύγει προς τα έξω, ενώ ψυχρότερα στρώματα αέρα έλκονται από τους χαμηλότερους ορόφους. Επειδή ο κατακόρυφος αερισμός στηρίζεται στην ήπια φυσική ροή του αέρα οι διαστάσεις των ανοιγμάτων πρέπει να είναι ικανοποιητικές, ώστε η κίνησή του να μην ανακόπτεται λόγω τριβών.

### 3.1.11 Φύτευση [11,16]

Τα φυτά δεσμεύουν και καταναλώνουν την ηλιακή ενέργεια για τη φωτοσύνθεση. Η φύτευση είναι ένα από τα αποτελεσματικότερα μέσα για την τροποποίηση του μικροκλίματος των αστικών υπαίθριων χώρων και για τη θερμική προστασία των κτιρίων με τη φυτοκάλυψη στεγών και κελύφους.

Ένα στρώμα βλάστησης αναπτύσσεται σε ειδικά διαμορφωμένο επίπεδο, συνήθως επάνω σε μια επίπεδη οροφή (δώμα). Το φυτεμένο δώμα αποτελεί, εκτός των άλλων πλεονεκτημάτων του, και τεχνική θερμικής προστασίας του κτιρίου τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι.

Η φυτεμένη οροφή αποτελεί μέσο θερμικής μόνωσης του κτιρίου, λόγω των υλικών από τα οποία αποτελείται (χώμα ικανού πάχους και αέρας που εγκλωβίζεται μεταξύ των φυλλωμάτων των φυτών). Θα πρέπει, βέβαια, να συνδυάζεται με κατάλληλα θερμομονωμένη και υδρομονωμένη κατασκευή της οροφής.

Το καλοκαίρι η ηλιακή ακτινοβολία εμποδίζεται να φτάσει στο κέλυφος του κτιρίου από το φυτεμένο δώμα, μέσω της σκιάς που δημιουργούν τα φυτά στην επιφάνειά του. Πρακτικά μπορούμε να πούμε ότι επίδραση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην οροφή του κτιρίου ουσιαστικά εκμηδενίζεται, και η οποία αποτελεί μια από τις βασικότερες αιτίες θερμικής επιβάρυνσης του κτιρίου. Τέλος, τα φυτά συνεισφέρουν με την εξάτμιση από τα φύλλα τους στη ψύξη της οροφής.

Εν γένει το φυτεμένο δώμα συνεισφέρει στη δημιουργία ήπιων συνθηκών στους χώρους πάνω από τους οποίους τοποθετείται. Τόσο η κατασκευή του, όσο και η επιλογή των φυτών πρέπει να εξαρτάται από το είδος της οροφής, αλλά και από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.



Σχήμα 3.38 : Φυτεμένο δώμα [11]

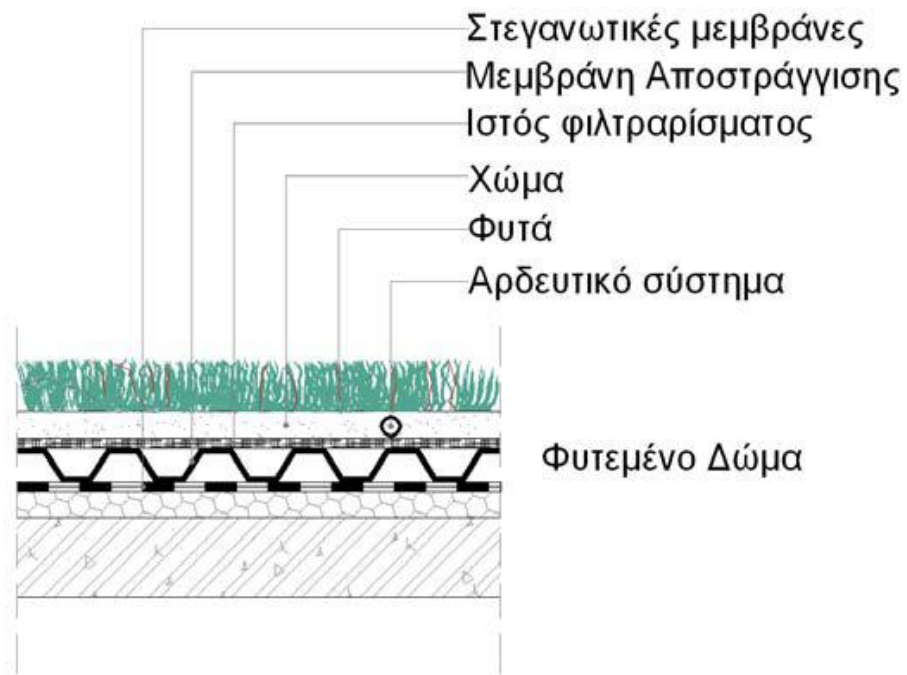
Συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα από τη δημιουργία φυτεμένου δώματος είναι:

- Η συγκράτηση των νερών της βροχής και η καθυστερημένη απόδοσή τους συμβάλλουν σημαντικά στην προστασία από πλημμύρες.

- Η δημιουργία του μικροκλίματος και η ρύθμιση της θερμοκρασίας συμβάλλει στην καταπολέμηση του φαινομένου της αστικής νησίδας (της διαφοράς, δηλ. της θερμοκρασίας που παρατηρείται συγκρίνοντας τα προάστια με το κέντρο μιας πόλης-π.χ. στο Παρίσι έχει παρατηρηθεί διαφορά θερμοκρασίας μέχρι και 13° C).
- Η μόνωση στη φυτεμένη οροφή βοηθά στην υγραμόνωση του κτιρίου.
- Μειώνεται η στάθμη εξωτερικού θορύβου έως και 8 dB, καθώς ο ήχος απορροφάται από τη μαλακή επιφάνεια της οροφής και δεν αντανακλάται.
- Μια φυτεμένη οροφή προστατεύει το κτίριο από φθορές που προκαλούνται από καιρικά φαινόμενα όπως το χαλάζι, οι απότομες εναλλαγές τις θερμοκρασίας, η βροχή κ.α.

Στο σχεδιασμό μιας πράσινης στέγης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες:

- υπολογισμός των επιπρόσθετων φορτίων για να εξασφαλιστεί η στατική επάρκεια του κτιρίου. Στα περισσότερα νεόδμητα κτίρια δεν απαιτούνται προσαρμογές, καθώς το βάρος του τεχνητού κήπου είναι 70kg ανά m<sup>2</sup> για πάχος χώματος 30cm.
- Στεγανοποίηση της τελικής επιφάνειας και αντιριζική προστασία αυτής.
- Κατάλληλη διαστρωμάτωση υλικών για μείωση των ενεργειακών απωλειών με υλικά επίστρωσης φιλικά προς το περιβάλλον και χρώματα που να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία.
- Αποστράγγιση – εξασφάλιση απορροής πλεονάζουσας ποσότητας νερού και απορροής ομβρίων.
- Κατάλληλο σύστημα άρδευσης ώστε να καλύπτονται οι πραγματικές ανάγκες των φυτών και να εξοικονομείται νερό και ενέργεια.
- Η επιλογή των φυτών να γίνεται με βάση τις συνθήκες της κάθε κλιματικής ζώνης για τη δημιουργία μικροκλίματος και την άμεση προσαρμογή, εγκατάσταση και ανάπτυξη αυτών.



Σχήμα 3.39: Στρώσεις των υλικών για την φύτευση [16]

Τέλος, τα φυτά που προτείνονται, να ανήκουν στην Ελληνική και ευρύτερη Μεσογειακή χλωρίδα με στόχο τη βιοποικιλότητα, να μην έχουν μεγάλες ανάγκες άρδευσης, να μπορούν να προσαρμόζονται και να αναπτύσσονται εύκολα.



## 3.2 Εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας σε Κτίρια Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης για θέρμανση [1,7,12,14,15,16]

Οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται στα κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης διαχωρίζονται σε τεχνολογίες που σχετίζονται με την αρχιτεκτονική του κτιρίου (βιοκλιματική αρχιτεκτονική) όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφαλαία και σε εφαρμογές που σχετίζονται με τις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις του κτιρίου δηλαδή εξοπλισμό υψηλής ενεργειακής απόδοσης αλλά και σε ήπιες εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας που βασίζονται στις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού.

### 3.2.1 Διαχωρισμός Συστημάτων

Τα συστήματα θέρμανσης που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια διακρίνονται σε :

- παθητικά συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας
- ενεργητικά συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας
- υβριδικά συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας

**Παθητικά συστήματα** ορίζονται τα συστήματα που εκμεταλλεύονται τις διάφορες πηγές ενέργειας, χωρίς την παρεμβολή μηχανικών μέσων για τη μεταφορά της θερμότητας προς το χώρο.

Ουσιαστικά διέπονται ή είναι εξέλιξη της βιοκλιματικής δόμησης και βασίζονται στη φυσική ροή της θερμότητας, εκμεταλλεύονται τις φυσικές ιδιότητες των υλικών του κτιρίου και χρησιμοποιούν, για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και την αποθήκευση της θερμότητας, τα δομικά στοιχεία του κελύφους (τοιχούς, δάπεδα, οροφές, δώμα).

**Ενεργητικά συστήματα**, ονομάζονται τα συστήματα στα οποία η αξιοποίηση των διαφόρων πηγών ενέργειας γίνεται με μηχανικά μέσα. Συνήθως απαιτούν σύνθετους μηχανισμούς συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης της θερμότητας που έχει προέλθει από την ηλιακή ακτινοβολία που δεσμεύτηκε.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή αλλιώς θερμικά ηλιακά συστήματα είναι τα συστήματα στα οποία η ηλιακή ακτινοβολία συλλέγεται, μετατρέπεται σε θερμότητα, και στη συνέχεια μεταφέρεται σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα ηλιακού ενεργητικού συστήματος είναι το σύστημα ηλιακών συλλεκτών για θέρμανση νερού χρήσης ή χώρου.

Τα **υβριδικά** είναι συστήματα που συνδυάζουν τη φυσική και τη μηχανική ροή θερμότητας. Βασίζονται στην παθητική εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, παρεμβάλλοντας συγχρόνως μηχανικά συστήματα χαμηλής κατανάλωσης και απλής κατασκευής.

Για παράδειγμα, η μετατροπή ενός παθητικού συστήματος σε υβριδικό μπορεί να γίνει με την προσθήκη ενός ανεμιστήρα σε ένα παθητικό σύστημα, για την υποβοήθηση της μεταφοράς θερμότητας σε χώρους του κτιρίου ή ενός θερμοστάτη για να υπάρχει έλεγχος της θερμότητας που αποδίδεται..

Επιπρόσθετα τα συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάση των διαφορετικών πηγών ενέργειας που εκμεταλλεύονται. Οι μορφές ενέργειας διαχωρίζονται στις συμβατικές πηγές ενέργειας και στις ανανεώσιμες.

Συμβατικές πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται οι πηγές, οι οποίες δεν αναπληρώνονται ή αναπληρώνονται εξαιρετικά αργά, και σε αυτές περιλαμβάνονται τα ορυκτά καύσιμα, κυρίως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες πρακτικά είναι ανεξάντλητες και η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνο από την ανάπτυξη αποδοτικών και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών.

### 3.3 Παθητικά συστήματα εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας για θέρμανση. [8,12,14,15,16,18]

Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας με χρήση των παθητικών ηλιακών συστημάτων επιτυγχάνεται στα πλαίσια της συνολικής λειτουργίας του κτιρίου και της σχέσης κτιρίου-περιβάλλοντος, όπως αυτή περιγράφεται από τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού.

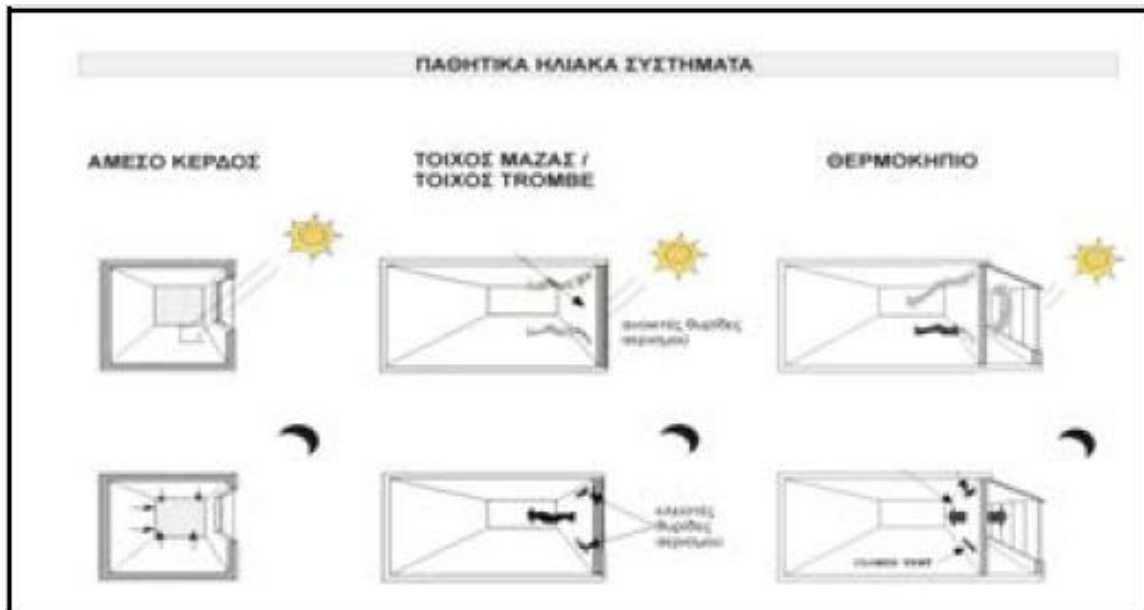
Η προσπάθεια για τη μεγιστοποίηση της θερμικής εκμετάλλευσης σε μία κατοικία ξεκινάει από το στάδιο του σχεδιασμού. Η τοποθέτηση του κτιρίου σε σχέση με τον περιβάλλοντα χώρο, ο νότιος προσανατολισμός, η μορφή του είναι οι πρώτες κινήσεις που συντελούνται προς αυτή την κατεύθυνση.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν αρχιτεκτονικά στοιχεία, συγκεντρώνουν, αποθηκεύουν, μεταδίδουν και διαχέουν θερμότητα, ρυθμίζοντας τη θερμική συμπεριφορά της κατοικίας.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι τα εξής:

- Τα γυάλινα ανοίγματα
- Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης
- Τα προσαρτημένα στο κτίριο θερμοκήπια και οι ηλιακές καμινάδες
- Θερμοσιφωνικό πάνελο
- Τοιχοποιία με διαφανή μόνωση

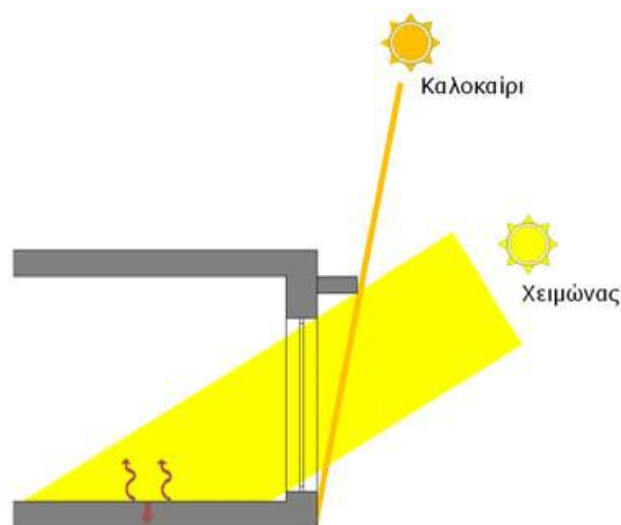
Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης διακρίνονται σε συστήματα **άμεσου** ή **έμμεσου** ηλιακού κέρδους.



Σχήμα 3.40: Βασικοί τύποι παθητικών ηλιακών συστημάτων [15]

### 3.3.1 Άμεσα παθητικά συστήματα

Το πιο διαδεδομένο παθητικό ηλιακό σύστημα είναι το σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους, το οποίο αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση, με άμεσο τρόπο μέσω ανοιγμάτων νοτίου προσανατολισμού με απόκλιση έως 30° προς την ανατολή ή τη δύση. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο διαφανές στοιχείο του κελύφους ανακλάται και απορροφάται, ενώ το υπόλοιπο εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο, όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.41.



Σχήμα 3.41: Αρχή λειτουργίας ηλιακού παθητικού συστήματος άμεσου κέρδους [16]

Η εισερχόμενη ακτινοβολία απορροφάται από τους τοίχους, τα δάπεδα, τα έπιπλα και τα άλλα εσωτερικά στοιχεία του χώρου και μετατρέπεται σε θερμότητα, που είτε αποθηκεύεται στη μάζα των στοιχείων, είτε επανεκπέμπεται.

Το υαλοστάσιο φυλακίζει στον εσωτερικό χώρο την επανεκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία, δημιουργώντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ηλιακό κέρδος από αυτήν την τεχνική είναι όλο το ποσοστό της ακτινοβολίας που έχει περάσει από τα διάφανα στοιχεία του κελύφους.

Οι παράγοντες που καθορίζουν τη λειτουργία του συστήματος με άμεσο ηλιακό κέρδος είναι:

- Οι μεγάλες γυάλινες επιφάνειες στη νότια πρόσοψη.
- Η λειτουργική διάρθρωση των εσωτερικών χώρων του κτιρίου με κύρια οργάνωση προς το νότο.
- Η μεγάλη θερμική μάζα στο εσωτερικό του κτιρίου, ώστε να απορροφάται οποιαδήποτε απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας.
- Η θερμική προστασία στην εξωτερική πλευρά του κελύφους.
- Η μείωση των θερμικών ανταλλαγών μέσα από τα ανοίγματα, με τη χρήση κινητών μονωτικών παντζουριών.

Με τη χρήση ενός άμεσου παθητικού συστήματος η εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση μπορεί να κυμαίνεται από 30% έως και 100%. Η αποτελεσματικότητα όμως αυτού του συστήματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μερικοί από τους οποίους είναι οι ακόλουθοι :

**Ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων.** Το 90% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας δεσμεύεται, εφόσον τα ανοίγματα προσανατολίζονται προς το νότο με απόκλιση 30° περίπου ανατολικότερα ή δυτικότερα του νότου. Έτσι διασφαλίζεται και η εύκολη ηλιοπροστασία του ανοίγματος το καλοκαίρι και η αποφυγή της υπερθέρμανσης του χώρου.

**Η κλίση του ανοίγματος** (κυρίως η κατακόρυφη), καθώς έχει τον περισσότερο ηλιασμό το χειμώνα και ελάχιστο το καλοκαίρι

**Η ανεμπόδιση είσοδος** της ηλιακής ακτινοβολίας στους βιώσιμους χώρους

**Η ενεργοποίηση των ρυθμίσεων** που αποσκοπούν στη μείωση των θερμικών απωλειών κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Οι απαιτήσεις αυτές μπορούν να ικανοποιηθούν με επιτυχία σε κτίρια που προορίζονται για κατοικίες. Η άμεση είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι λιγότερο ανεκτή σε σχολικές αίθουσες, γραφεία ή εμπορικά κέντρα, ιδιαίτερα όταν

προσπίπτει σε θέσεις όπου εργάζονται άτομα. Η εφαρμογή του άμεσου οφέλους σε τέτοιες περιπτώσεις προϋποθέτει ότι η ηλιακή ακτινοβολία θα κατευθυνθεί σε θέσεις που δεν ενοχλεί, τα θερμικά κέρδη θα διανεμηθούν ανεμπόδιστα όπου χρειάζεται με χρονική υστέρηση κατά τη διάρκεια της ημέρας και θα βρεθεί τρόπος να περιορίζονται συστηματικά οι απώλειες τη νύχτα.

#### **Πλεονεκτήματα:**

- Το άμεσο κέρδος αποτελεί το πιο απλό ηλιακό σύστημα θέρμανσης και μπορεί να είναι αυτό που κατασκευάζεται πολύ εύκολα. Σε πολλές περιπτώσεις επιτυγχάνεται απλά με την αναδιάταξη των παραθύρων.
- Οι μεγάλες επιφάνειες υαλοστασίων όχι μόνο δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία για θέρμανση, αλλά επίσης επιτρέπουν υψηλές στάθμες ουδέτερου φυσικού φωτισμού.
- Τα τζάμια αποτελούν φθινό δομικό υλικό, που έχει μελετηθεί ιδιαίτερα, και είναι ετοιμοπαράδοτα.
- Το όλο σύστημα μπορεί να αποτελεί μια από τις πιο φθηνές μεθόδους ηλιακής θέρμανσης χώρου.

#### **Μειονεκτήματα:**

- Μεγάλες επιφάνειες με τζάμι προκαλούν θάμβωση κατά την ημέρα ενώ επηρεάζουν και την ιδιωτικότητα του χώρου.
- Η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλιακού φωτός μπορεί να αλλοιώσει ευαίσθητα αντικείμενα.
- Αν χρησιμοποιούνται μεγάλες επιφάνειες με τζάμι, απαιτείται μεγάλη ποσότητα θερμικής μάζας για να προσαρμόζει τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και μπορεί να αποβεί δαπανηρή κατασκευή αν η μάζα δεν εξυπηρετεί κάποιο κατασκευαστικό σκοπό. Κτίρια με πολύ καλή μόνωση θα χρειαστούν μικρότερες επιφάνειες με τζάμια.
- Ακόμη και με την απαιτούμενη θερμική μάζα, θα παρατηρούνται ημερήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.
- Απαιτείται νυχτερινή μόνωση του ηλιακού ανοίγματος και αποτελεί μια υποχρεωτική ανάγκη σε ψυχρά κλίματα και μπορεί να είναι δαπανηρή. Τζάμια ειδικής επεξεργασίας μπορεί να περιορίσουν τις απώλειες θερμότητας όλες στις εποχές.

### 3.3.2 Συστήματα με έμμεσο ηλιακό κέρδος

Ως συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους ορίζονται τα ηλιακά συστήματα που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια αυτή αποδίδεται έμμεσα στους εσωτερικούς χώρους του κτιρίου, μέσω είτε δομικών στοιχείων είτε ανοιγμάτων διαφόρων ειδών (θυρίδων, αγωγών, κ.ά.). Συνήθως προσαρτώνται σε νότιες όψεις κτιρίων (συνίσταται απόκλιση μέχρι 30° από το νότο).

Τα συστήματα έμμεσου κέρδους διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Τοίχος θερμικής αποθήκευσης (Τοίχος νερού, Trombe)
- Θερμοκήπιο προσαρτημένο σε κτίριο- Ηλιακό αίθριο
- Θερμοσιφωνικό πανέλο
- Τοιχοποιία με διαφανή μόνωση

#### Τοίχος θερμικής αποθήκευσης

Είναι ο συνδυασμός τοίχου νότιου προσανατολισμού και εξωτερικού υαλοστασίου, περιλαμβάνει έναν τοίχο χωρίς θερμομόνωση, με νότιο προσανατολισμό ή με απόκλιση έως 30°, προς την Ανατολή ή τη Δύση, κατασκευασμένο από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας που λειτουργεί ως αποθήκη και διανομέας της θερμότητας. Βρίσκεται σε απόσταση 10cm περίπου από τον τοίχο και είναι σταθερό ή ανοιχτό, με μονούς ή διπλούς υαλοπίνακες ενώ παράλληλα για αποδοτικότερη λειτουργία του τοίχου, το βάθος του θερμαινόμενου χώρου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 4,5 με 6,0 μέτρα, που είναι και η μέγιστη απόσταση για να είναι αποτελεσματική η θέρμανση του χώρου με την ακτινοβολία που εκπέμπεται από το θερμό τοίχο.

Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και διακρίνονται σε τοίχους κατασκευασμένους από υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας όπως σκυρόδεμα, πέτρα, συμπαγή τούβλα, ή τοίχους που αποτελούνται από δοχεία που περιέχουν νερό ή άλλο υλικό (υλικό αλλαγής φάσης). Έτσι, σε σκουρόχρωμη επιφάνεια μπορεί να αναπτυχθεί επιφανειακή θερμοκρασία ως και 65 °C.

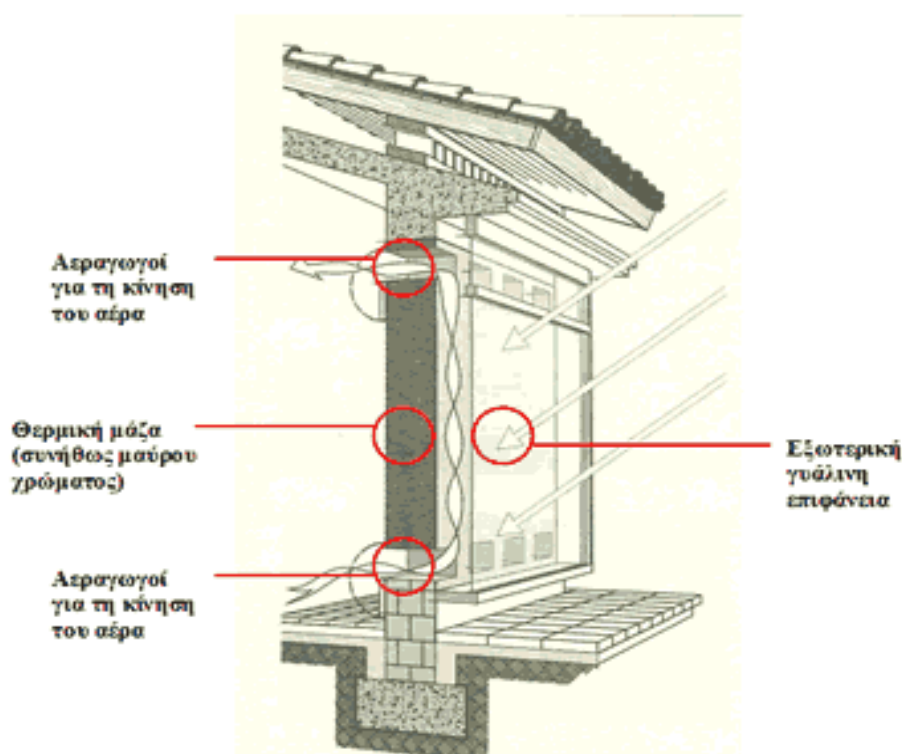
Σημαντικό επίσης ρόλο έχει η εξωτερική επιφάνεια του τοίχου καθώς όσο μεγαλύτερη απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία εμφανίζει, τόσο αυξάνεται η απόδοση του συστήματος.

Τόσο στον τοίχο όσο στο υαλοστάσιο υπάρχουν πάνω και κάτω ανοίγματα που ανοίγουν και κλείνουν κατά βούληση ανάλογα με την εποχή και την ώρα της ημέρας έτσι ώστε να εξασφαλίζεται χρονική καθυστέρηση 6-8 ωρών, έτσι ώστε η εσωτερική του επιφάνεια να έχει τη μέγιστη θερμοκρασία στην αρχή της νύχτας.

Η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά το υαλοστάσιο, εγκλωβίζεται στον κενό χώρο μεταξύ αυτού και του τοίχου και μετατρέπεται σε θερμότητα. Στη συνέχεια η θερμότητα απορροφάται από τον τοίχο, θερμαίνοντας την εξωτερική πλευρά του, τη μάζα του και την εσωτερική πλευρά μέσω αγωγιμότητας και, τέλος, μεταδίδεται με μετάβαση και ακτινοβολία στον εσωτερικό χώρο.

Προτείνεται στην εξωτερική πλευρά του τοίχου να υπάρχει κινούμενο σκίαστρο, το οποίο προστατεύει το χώρο από την υπερθέρμανση το καλοκαίρι και τις θερμικές απώλειες τις νύχτες του χειμώνα.

Η ελάχιστη και η μέγιστη θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του τοίχου κυμαίνεται από 18-23°C. Τη χρονική στιγμή που παρατηρείται η ελάχιστη θερμοκρασία, δηλαδή νωρίς το πρωί, αρχίζουν να εμφανίζονται τα πρώτα άμεσα ηλιακά κέρδη από τα νότια ανοίγματα. Ένα τέτοιο σύστημα δεν συνιστάται για περιοχές με μέτρια ηλιοφάνεια. Μια γενική τομή του τοίχου θερμικής αποθήκευσης φαίνεται στο σχήμα 3.42:



Σχήμα 3.42: Παράδειγμα τοίχου θερμικής αποθήκευσης [16]

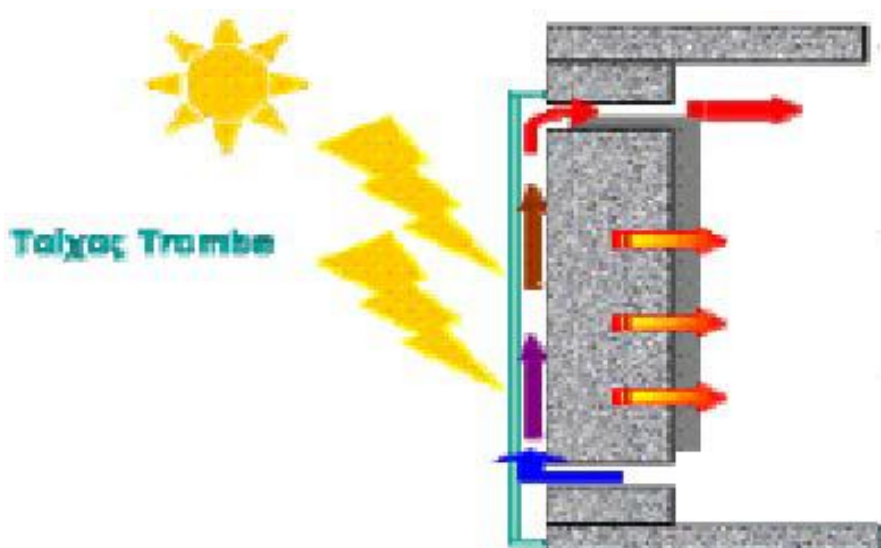


Μια παραλλαγή του συστήματος είναι ο τοίχος **Trombe-Michel**. Πρόκειται για τοίχο θερμικής αποθήκευσης, που μελετήθηκε ιδιαίτερα στη Γαλλία από τους F.Trombe και J.Michel, κατασκευασμένος από μπετόν, με θυρίδες, μέσω των οποίων μεταφέρεται με φυσική κυκλοφορία του αέρα μέρος της συλλεγόμενης θερμότητας από το διάκενο μεταξύ του τοίχου και του υαλοπίνακα προς τον εσωτερικό χώρο

Ο τοίχος Trombe-Michel είναι φτιαγμένος από μπετόν, πάχους 30-40 εκ., βαμμένο στην εξωτερική του επιφάνεια με σκούρο χρώμα. Αποτελείται επίσης από γυάλινη επιφάνεια, συνήθως διπλού υαλοπίνακα, σε απόσταση 3εκ. περίπου. Σαν γενικός κανόνας είναι ότι, όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του τοίχου τόσο μεγαλύτερη είναι η χρονική καθυστέρηση στη μετάδοση της θερμότητας και αντίστοιχα, οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της επιφανειακής θερμοκρασίας της εσωτερικής πλευράς του τοίχου είναι μικρότερες.

Οι θυρίδες είναι απαραίτητες όσο αυξάνει το πάχος του τοίχου, γιατί τότε η γρήγορη θέρμανση του εσωτερικού χώρου εξαρτάται περισσότερο από την κυκλοφορία του θερμού αέρα, και λιγότερο από τη μετάδοση θερμότητας με αγωγιμότητα από την εξωτερική στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου.

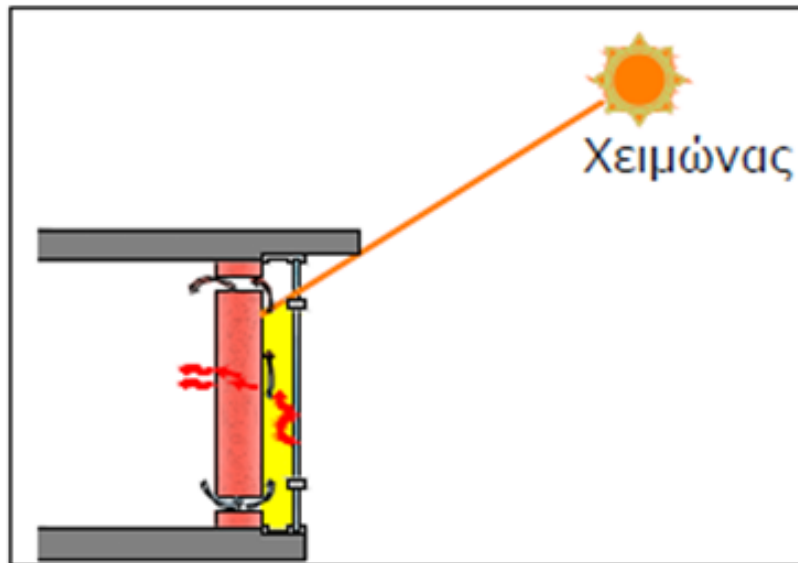
Οι θυρίδες που διευκολύνουν την κίνηση του αέρα βρίσκονται στο πάνω και κάτω μέρος του τοίχου σε όλο του το μήκος, και απόσταση μεταξύ των επάνω και κάτω θυρίδων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 2,0m και η συνολική επιφάνεια των θυρίδων να μην υπολείπεται του 2% της συνολικής επιφάνειας του τοίχου.



Σχήμα 3.43 : Λειτουργία Τοίχου Trombe [11]

Κατά τη διάρκεια της ημέρας ο ήλιος προσπίπτει στο γυαλί, θερμαίνεται ο αέρας ανάμεσα στο γυαλί και στον τοίχο και αυτός ο θερμός αέρας μέσω των θυρίδων μπαίνει στον εσωτερικό χώρο (σχήμα 3.43). Ο ψυχρός αέρας του δωματίου με τη σειρά του αντικαθιστά το κενό που δημιουργήθηκε στις θυρίδες. Κατά τη διάρκεια

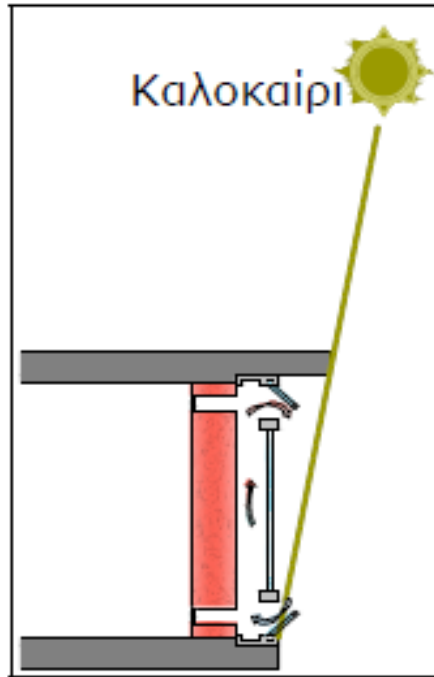
της νύχτας η λειτουργία αντιστρέφεται. Οι θυρίδες κλείνουν, η θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στον τοίχο εκπέμπεται στο εσωτερικό και έτσι επιτυγχάνεται η θέρμανση του χώρου



Σχήμα 3.44 : Χειμερινή λειτουργία τοίχου θερμικής αποθήκευσης με θυρίδες (τοίχος Trombe-Michelle) [16]

Η νυχτερινή κινητή μόνωση είναι απαραίτητη στις ψυχρότερες περιοχές. Επίσης για να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος, ο τοίχος πρέπει να μονωθεί από όλα τα δομικά στοιχεία με τα οποία εφάπτεται, για να περιοριστούν οι θερμογέφυρες.

Επίσης, τα αντιδιαμετρικά ανοίγματα στο χώρο, σε συνδυασμό με τις θυρίδες του τοίχου μπορεί να δημιουργήσουν διαμπερή αερισμό που θα συμβάλει στο δροσισμό του χώρου. Ο δροσισμός του χώρου επιτυγχάνεται με το δροσερό αέρα που μπαίνει από το βορινό άνοιγμα και τη φυσική κίνηση του αέρα στο χώρο.



Σχήμα 3.45 : Θερμική λειτουργία τοίχου θερμικής αποθήκευσης με θυρίδες (τοίχος Trombe-Michelle) [16]

Σε κάθε περίπτωση, για τον καθαρισμό του συστήματος θα πρέπει να προβλέπεται κινητό υαλοστάσιο ή υαλοστάσιο που μπορεί εύκολα να αποσυναρμολογηθεί, ιδιαίτερα στην περίπτωση του τοίχου με θυρίδες.

Ο τοίχος Trombe έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως το χαμηλό κόστος κατασκευής, την υψηλή ενεργειακή του απόδοση καθώς και την εύκολη κατασκευή του. Επιπλέον, μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα σε ήδη υπάρχοντα κτίρια. Το μοναδικό του μειονέκτημα εντοπίζεται στην πιθανή δημιουργία υπερθέρμανσης στο χώρο κυρίως εάν η επιφάνεια του είναι πολύ μεγάλη. Αυτό θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί βέβαια τοποθετώντας εξωτερικά σκίαστρα στο τζάμι, ώστε να εμποδιστεί η προσπίπτουσα ακτινοβολία. Φυσικά με αυτό τον τρόπο ανεβαίνει και το κόστος κατασκευής.

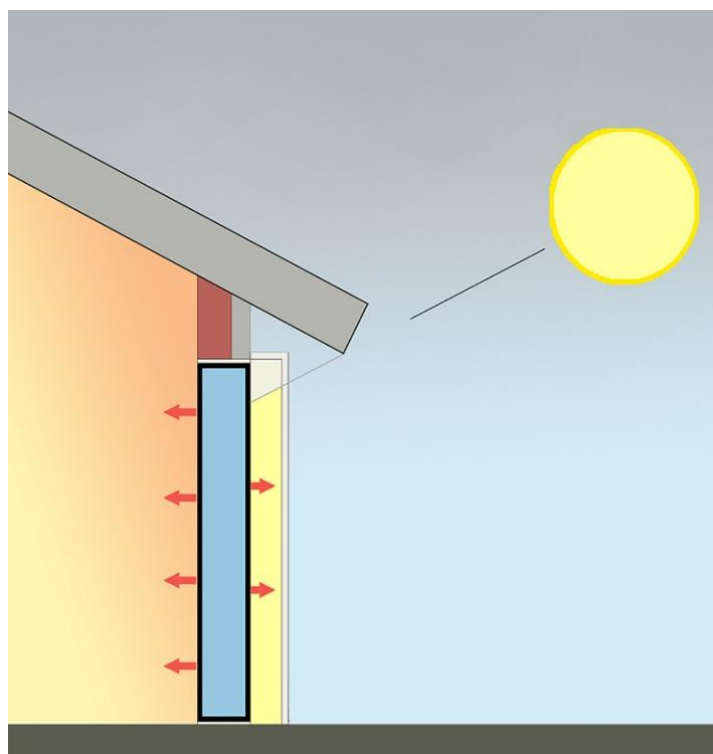
### **Τοίχος νερού**

Μια άλλη μορφή τοίχου θερμικής αποθήκευσης είναι οι τοίχοι νερού. Είναι κατασκευασμένοι από πλαστικά ή μεταλλικά στεγανά δοχεία, σκούρου χρώματος που περιέχουν νερό, που τοποθετούνται πίσω από μια γυάλινη επιφάνεια νοτίου προσανατολισμού (σχήμα 3.45).

Το νερό σαν υλικό επιλέγεται εξαιτίας της μεγάλης θερμοχωρητικής του ικανότητας, δηλαδή στην ικανότητα του να αποθηκεύει θερμότητα κατά τη θέρμανση του και να

θερμαίνεται ή να ψύχεται εύκολα σε σχέση με άλλα υλικά. Έτσι απαιτούνται μικρότερες επιφάνειες τοίχου, σε σχέση με άλλους τοίχους θερμικής αποθήκευσης που είναι κατασκευασμένοι από μπετόν, πέτρα, τούβλο, κλπ.

Η εσωτερική επιφάνεια του τοίχου εφάπτεται σε ένα από τους χώρους του κτιρίου, ή διαχωρίζεται από αυτούς, με ένα λεπτό τοίχο ή με ένα στρώμα μόνωσης.



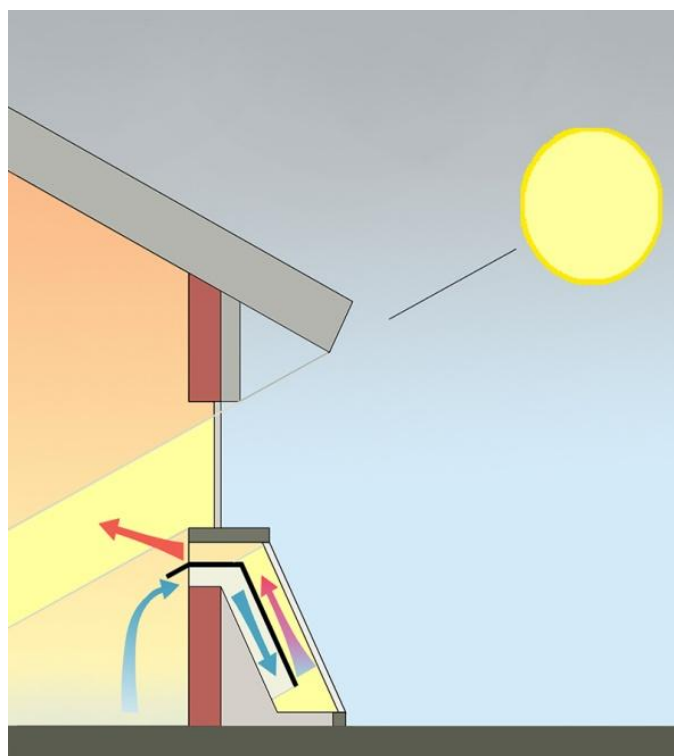
Σχήμα 3.45: Σχηματική απεικόνιση τοίχου νερού [11]

### Θερμοσιφωνικό πάνελο

Το σύστημα αυτό αποτελείται από υαλοπίνακα, κενό αέρα και μεταλλική σκουρόχρωμη επιφάνεια με εξωτερική μόνωση και η σχηματική του απεικόνιση δίνεται στο σχήμα 3.46.

Είναι παρόμοιο του τοίχου Trombe, καθώς η βασική διαφορά είναι ότι ο τοίχος του θερμοσιφωνικού πάνελου απομονώνεται θερμικά από το διάκενο με χρήση θερμομονωτικής, συνήθως μεταλλικής επικάλυψης και η μεταφορά θερμότητας γίνεται αποκλειστικά με συναγωγή από τον αέρα του διακένου και όχι με ακτινοβολία. Ειδικότερα, η διάταξη του πάνελου είναι σχετικά απλή και αποτελείται από ένα στοιχείο υαλοπίνακα, το οποίο τοποθετείται μπροστά από μεταλλική σκουρόχρωμη επιφάνεια, σε μικρή απόσταση (2-5cm).

Η όλη διάταξη είναι εξωτερικά θερμομονωμένη. Η σύνδεση του συστήματος με το κτίριο γίνεται μέσω θυρίδων, οι οποίες τοποθετούνται σε όλο το πλάτος του πανέλου, είναι συνήθως κυκλικής διατομής με διάμετρο 20-30cm, και ο αέρας μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο με φυσική ροή στο εσωτερικό του κτιρίου. Ο ψυχρός αέρας από το εσωτερικό, εισέρχεται στο κατώτερο μέρος του θερμοσιφωνικού πανέλου όπου θερμαίνεται, ανέρχεται ως ελαφρότερος και εξέρχεται στον εσωτερικό χώρο από την ανώτατη θυρίδα του. Το κλείσιμο των θυρίδων είναι επίσης πολύ σημαντικό τη νυχτερινή περίοδο, προς αποφυγή θερμικών απωλειών.



Σχήμα 3.46: Αρχή λειτουργίας θερμοσιφωνικού πανέλου [16]

Το πανέλο τοποθετείται χαμηλότερα από τους κύριους τοίχους του κτιρίου και έξω από αυτό με νότιο προσανατολισμό, με απόκλιση έως 30° από το νότο και κλίση είτε κατακόρυφη είτε συνηθέστερα για τον ελλαδικό χώρο, με βέλτιστη κλίση 40°, έτσι ώστε να αξιοποιείται κατά το βέλτιστο τρόπο η δέσμευση της χειμερινής ηλιακής ακτινοβολίας. Χαρακτηριστικό είναι ότι επειδή απομονώνεται εύκολα από το κτίριο δεν απαιτούνται στοιχεία ηλιοπροστασίας. Το χειμώνα, λόγω του μονωμένου τοίχου δεν έχουμε απώλειες θερμότητας, ενώ το καλοκαίρι αποφεύγουμε περιττά ηλιακά κέρδη. Σε περίπτωση που τοποθετείται κεκλιμένα, το θερμοσιφωνικό πανέλο έχει καλύτερη απόδοση αλλά χρειάζεται περισσότερο ελεύθερο χώρο ενώ προσαρτημένο κατακόρυφα στον τοίχο μπορεί να εναρμονισθεί αισθητικά με το κτίριο πιο εύκολα.

Το θερμοσιφωνικό πανέλο προτείνεται για χώρους που χρειάζονται άμεση απόδοση θερμότητας από τα ηλιακά κέρδη, όπως χώρους γραφείων, σχολικές αίθουσες κοκ.

Το βασικό πλεονέκτημά του θερμοσιφωνικού πανέλου είναι ότι αποφεύγεται η θάμβωση από μεγάλους υαλοπίνακες, η υπερθέρμανση τη θερινή περίοδο, καθώς κι οι αυξημένες απώλειες θερμότητας τη νύχτα. Εκτός αυτού, τη θερινή περίοδο, μπορεί να απομονώνεται από το κτίριο (κλείσιμο των θυρίδων, σκίαση του πανέλου, άνοιγμα του υαλοπίνακα στο ανώτατο και κατώτερο μέρος του), αποφεύγοντας έτσι την υπερθέρμανση του χώρου.

### **Θερμοκήπιο-Ηλιακός χώρος**

Πρόκειται για κλειστό ηλιακό χώρο που τοποθετείται σε νότια τμήματα του κτιρίου και περιβάλλεται από υαλοστάσια. Είναι συνδυασμός παθητικού συστήματος με άμεσο ηλιακό κέρδος και τοίχου θερμικής αποθήκευσης που μεταφέρει έμμεσα τη θερμότητα στον εσωτερικό κατοικήσιμο χώρο.

Η μετάδοση της θερμικής ενέργειας από τον ηλιακό χώρο προς το εσωτερικό του κτιρίου γίνεται μέσω θυρίδων ή ανοιγμάτων του διαχωριστικού δομικού στοιχείου. Η λειτουργία του βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν στο υαλοστάσιο, η ακτινοβολία μεταδίδεται στο εσωτερικό, όπου απορροφάται από τα διαφανή ή στερεά στοιχεία του χώρου (δάπεδο, τοίχοι, έπιπλα) που θερμαίνονται. Ένα μέρος της ακτινοβολίας επανεκπέμπεται και ένα μέρος της απορροφάται από το υαλοστάσιο και ενώ η υπόλοιπη ανακλάται. Η ενέργεια αυτή επανεκπέμπεται στη συνέχεια και στις δύο πλευρές του υαλοστασίου, με αποτέλεσμα τμήμα της ακτινοβολίας που εισέρχεται να παγιδεύεται στο εσωτερικό και να προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας, που χαρακτηρίζεται ως φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ως αποτέλεσμα, το χειμώνα, κατά τη διάρκεια της ημέρας, το θερμοκήπιο λειτουργεί ως επιλεκτική επιφάνεια, αφήνοντας να διέρχεται συνολικά η ηλιακή ακτινοβολία. Το καλοκαίρι, απαιτείται σκιασμός της γυάλινης επιφάνειας του θερμοκηπίου, με εξωτερικά κινητά σκίαστρα, με σταθερά στέγαστρα, ή ακόμη και απομάκρυνση των τζαμιών για τα πιο θερμά κλίματα για την αποφυγή ανεπιθύμητης υπερθέρμανσης.

Η απόδοση ενός θερμοκηπίου επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως, ο προσανατολισμός του, με προτεινόμενη και αποδοτικότερη λύση την ενσωμάτωση του στη νότια πλευρά, κατά τον άξονα ανατολής-δύσης, το μέγεθος, που εξαρτάται από το μέγεθος του κτιρίου και τις ανάγκες σε θέρμανση, η κλίση του υαλοστασίου, για την εύκρατη ζώνη συνίσταται κλίση 30°-65° σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, ενώ σε βόρειες περιοχές ενδείκνυται κλίση 30°-40° και τα υλικά κατασκευής καθώς και η σύνδεση με τα στοιχεία θερμικής αποθήκευσης του κτιρίου.

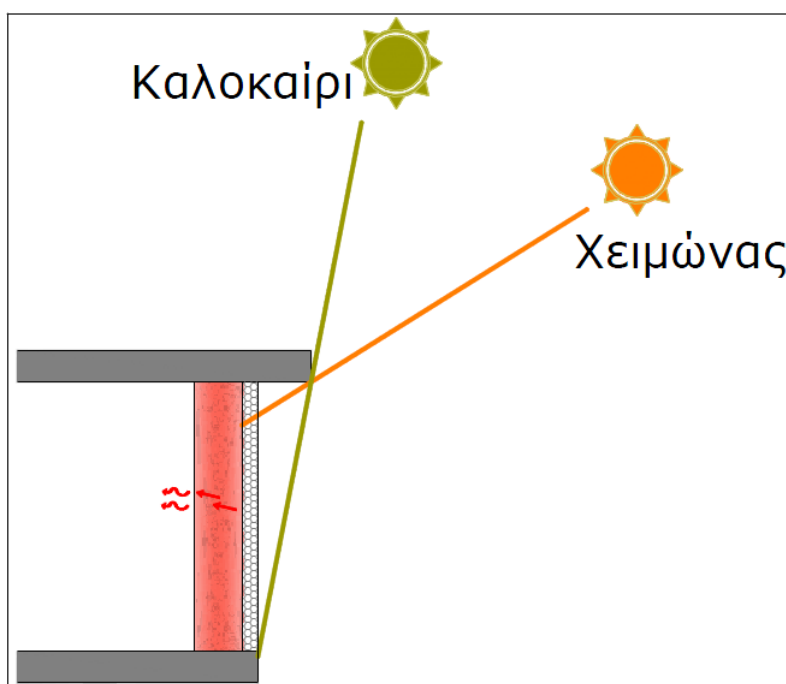
Το καλοκαίρι, για την αποφυγή ανεπιθύμητης υπερθέρμανσης απαιτείται σκιασμός της γυάλινης επιφάνειας του θερμοκηπίου, με εξωτερικά - κατά προτίμηση - κινητά σκίαστρα, με σταθερά στέγαστρα, ή με φυλλοβόλο βλάστηση, ή ακόμη και απομάκρυνση των τζαμιών για τα πιο θερμά κλίματα. Σε κάθε περίπτωση,

αναγκαίος είναι ο αερισμός του χώρου που εξασφαλίζεται από την είσοδο του αέρα από το κάτω άνοιγμα του υαλοστασίου στο χώρο του θερμοκηπίου.

Το σύστημα του θερμοκηπίου προσαρμόζεται καλύτερα σε περιοχές όπου επικρατεί διάχυτη ακτινοβολία και για αυτό το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί σε περιοχές με ψυχρότερο κλίμα. Στα πλεονεκτήματα του συστήματος είναι ότι η κατασκευή του μπορεί να προβλεφθεί από το αρχικό σχέδιο ενός βιοκλιματικού κτιρίου, αλλά μπορεί να γίνει και εκ των υστέρων σε προϋπάρχον κτίριο

### Τοιχοποιία με διαφανή μόνωση

Ουσιαστικά πρόκειται για θερμομονωμένο τοίχο μάζας με νότιο προσανατολισμό αποκλίσεως έως 30° στον άξονα ανατολής-δύσης, με υλικό μεγάλης θερμοχωρητικότητας (συνήθως τούβλο), εξωτερικά του οποίου τοποθετείται διαφανής μόνωση.



Σχήμα 3.47 : Αρχή λειτουργίας τοίχου με διαφανή μόνωση [16]

Η εξωτερική πλευρά του τοίχου βάφεται με σκούρο χρώμα έτσι ώστε να μειώνεται μεν ο συντελεστής θερμικών ηλιακών απολαβών του διαφανούς θερμομονωτικού υλικού (μικρότερος σε σχέση με εκείνον του καθαρού γυαλιού), αλλά καθώς ο τοίχος είναι πλέον θερμομονωμένος, αυξάνουν τα καθαρά κέρδη, σε σχέση με τον τοίχο μάζας.

Η διαφανής μόνωση είναι θερμομονωτικό υλικό, και λόγω της δομής της, επιτρέπει στην ηλιακή ακτινοβολία να διαπεράσει τη μάζα της, παράλληλα όμως μειώνει τις θερμικές απώλειες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται ηλιακά κέρδη, μικρότερα σε

σχέση με τα ηλιακά κέρδη καθαρού τζαμιού, με πολύ μικρότερες όμως θερμικές απώλειες. Έχει μεγάλη απόδοση, ιδιαίτερα κατά τους ψυχρότερους μήνες και δεν απαιτεί αυτοματισμούς ή τη συμμετοχή του χρήστη για την ορθή θερμική λειτουργία του συστήματος.

Τη θερινή περίοδο πρέπει οπωσδήποτε να σκιάζεται εξωτερικά είτε με προεξοχές είτε με κατακόρυφα, εξωτερικά σκίαστρα, προκειμένου να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του χώρου. Ως προς τη χειμερινή του λειτουργία, δε χρειάζεται νυχτερινή θερμική προστασία.

Η ενέργεια που αποδίδεται από το αδιαφανές στοιχείο με διαφανή μόνωση στο εσωτερικό του κτιρίου εξαρτάται από τα εξής:

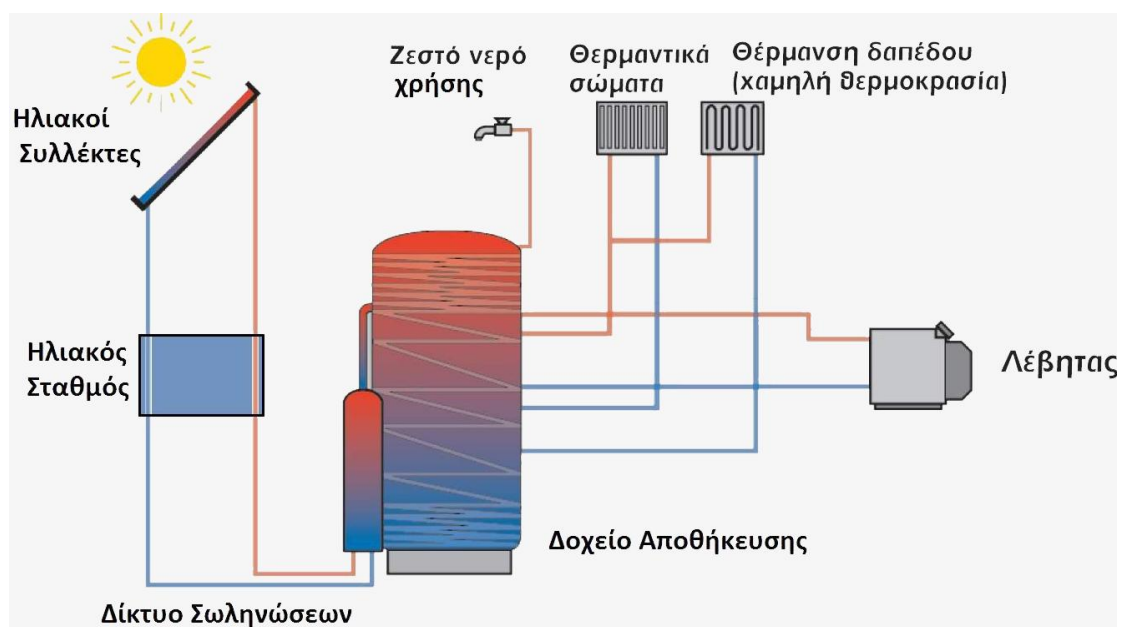
- Τον προσανατολισμό και τη σκίαση του τοίχου από τον περιβάλλοντα χώρο, προεξοχές του κτιρίου ή/και εξωτερικά σκίαστρα
- Το διαφανές υλικό και τα φυσικά χαρακτηριστικά του (συντελεστής θερμικής διαπερατότητας, συντελεστής θερμικών ηλιακών απολαβών)
- Το εμβαδόν της συλλεκτικής επιφάνειας του τοίχου, την απορροφητικότητα και τη θερμοπερατότητα.



### 3.4 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα [9,10,23,24,25,26,27]

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή αλλιώς θερμικά ηλιακά συστήματα είναι όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι αρκετά απλή και υπάρχουν πολλές δυνατότητες εφαρμογής της σε θερμικές χρήσεις χαμηλών θερμοκρασιών. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, τη θέρμανση και ψύξη χώρων και για διάφορες βιομηχανικές διεργασίες. Η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των συστημάτων αυτών είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες.

Η αρχή λειτουργίας αυτών των συστημάτων παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα 3.48:



Σχήμα 3.48: Αρχή λειτουργίας ενεργητικών ηλιακών συστημάτων [27]

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα αφορούν χειμερινές συνθήκες στις οποίες δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν οι ανάγκες θέρμανσης μόνο από τα παθητικά και συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Για αποδοτικότερη και αποτελεσματικότερη θέρμανση τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ενδεχομένως υποβοηθούν τα παραπάνω εφόσον υπάρχει ηλιοφάνεια.

Τα ενεργητικά συστήματα διαχωρίζονται:

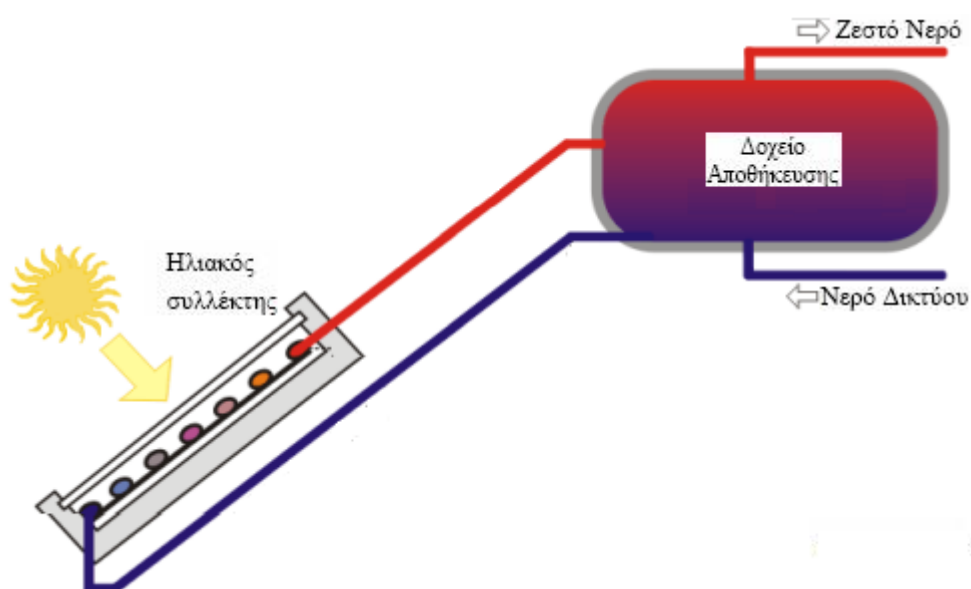
- σε συστήματα φυσικής κυκλοφορίας και,
- σε συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

Στα συστήματα **φυσικής κυκλοφορίας** το ρευστό θερμαίνεται στον ηλιακό συλλέκτη, ανέρχεται με φυσικό τρόπο προς τη δεξαμενή αποθήκευσης, ενώ το ψυχρότερο ρευστό της δεξαμενής κινείται προς το κατώτερο σημείο του συλλέκτη δημιουργώντας μια φυσική ροή κυκλοφορίας.

Στα συστήματα **εξαναγκασμένης κυκλοφορίας** η κυκλοφορία του ρευστού από τους συλλέκτες στη δεξαμενή αποθήκευσης και αντίστροφα γίνεται από ηλεκτρικές αντλίες που διέπονται από συστήματα ελέγχου. Τα συστήματα φυσικής κυκλοφορίας είναι γενικά πιο αξιόπιστα, ευκολότερα στη συντήρηση και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

Τα συστήματα **φυσικής κυκλοφορίας** χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

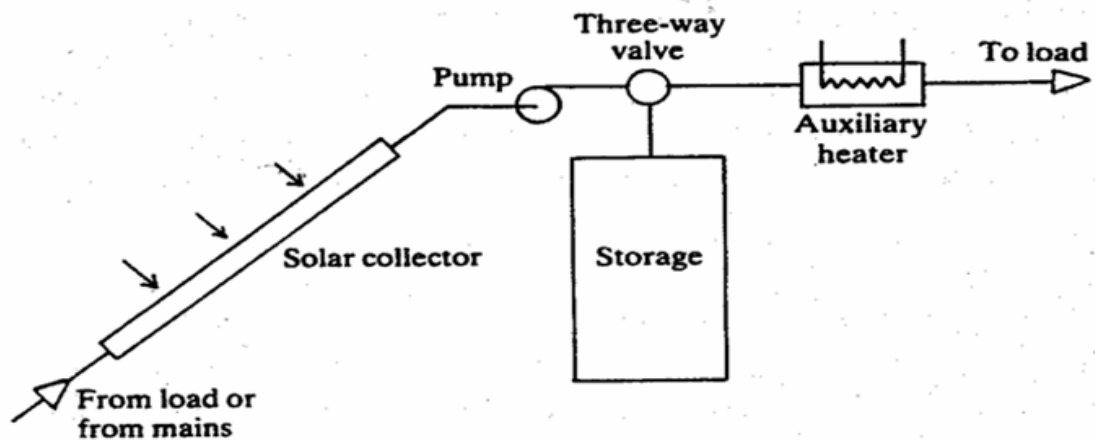
- Οι συμπαγείς θερμαντήρες νερού ή, όπως ονομάζονται αλλιώς, τα ολοκληρωμένα συστήματα συλλέκτη-αποθήκευσης. Αποτελούνται από μια ή περισσότερες δεξαμενές αποθήκευσης τοποθετημένες σε ένα μονωμένο πλαίσιο με τη διάφανη πλευρά προσανατολισμένη προς τον ήλιο για να δεσμεύει την ηλιακή ακτινοβολία.
- Τα θερμοσιφωνικά συστήματα, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στη φυσική κυκλοφορία του νερού στους συλλέκτες και τη δεξαμενή. Καθώς το νερό θερμαίνεται στον ηλιακό συλλέκτη γίνεται ελαφρύτερο και ανέρχεται με φυσικό τρόπο προς τη δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία βρίσκεται συνήθως επάνω από το συλλέκτη, ενώ το ψυχρότερο νερό της δεξαμενής ρέει μέσω των σωληνώσεων προς το κατώτερο σημείο του συλλέκτη δημιουργώντας κυκλοφορία σε όλο το σύστημα.



Σχήμα 3.49: Διάταξη απλού θερμοσιφωνικού συστήματος [25]

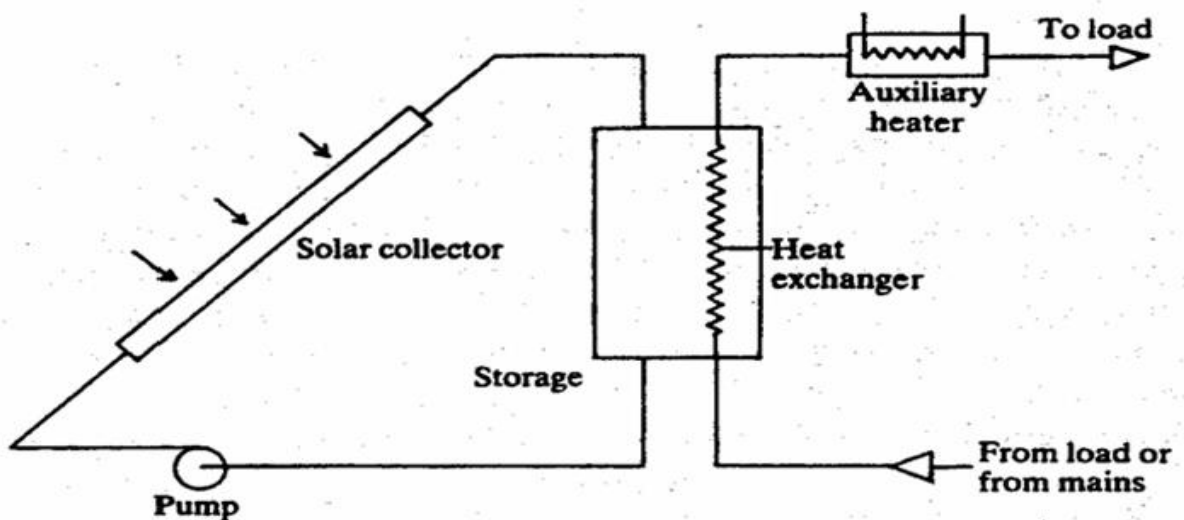
Τα συστήματα **εξαναγκασμένης κυκλοφορίας** χρησιμοποιούν ηλεκτρικές αντλίες, βαλβίδες και συστήματα ελέγχου για να κυκλοφορήσουν το νερό ή τα άλλα ρευστά μεταφοράς της θερμότητας, μέσα στους συλλέκτες. Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων συστημάτων:

- Τα συστήματα ανοικτού βρόχου, στα οποία το νερό χρήσης οδηγείται στους συλλέκτες μέσω αντλιών.



Σχήμα 3.50: Σύστημα ανοικτού βρόχου [27]

- Τα συστήματα κλειστού βρόχου, στα οποία το ρευστό μεταφοράς θερμότητας, ένα μίγμα γλυκόλης και νερού, μεταφέρεται με αντλίες στους συλλέκτες. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω εναλλακτών θερμότητας από το ρευστό στο νερό που αποθηκεύεται στις δεξαμενές.



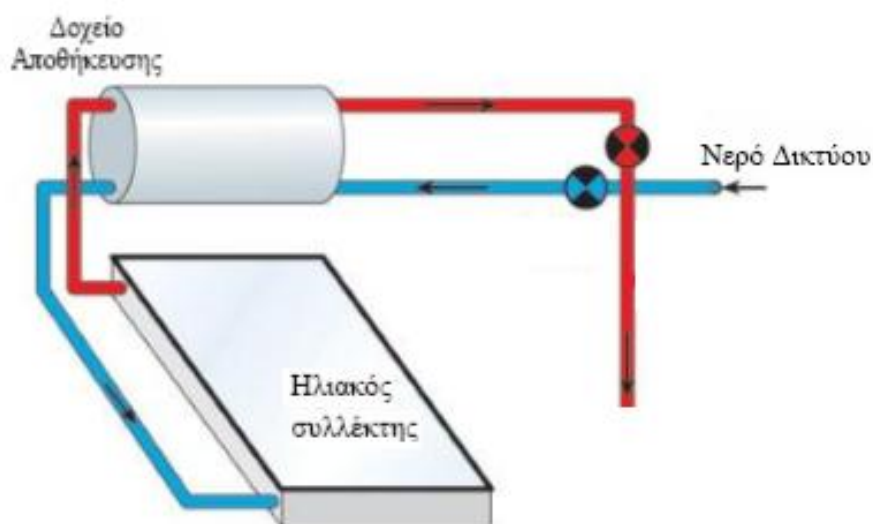
Σχήμα 3.51: Σύστημα κλειστού βρόχου [27]

### 3.4.1 Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής χρήσης

Όπως ειπώθηκε η πλέον διαδεδομένη εφαρμογή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι η παραγωγή ζεστού νερού οικιακής χρήσης από ηλιακούς θερμοσίφωνες. Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους βασικά στοιχεία:

Τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, το δοχείο αποθήκευσης θερμότητας και τις σωληνώσεις. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης.

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου για την αποφυγή σκίασης, με νότιο προσανατολισμό και κλίση  $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$  ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως. Στο παρακάτω σχήμα 3.52 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας του θερμοσίφωνα.



Σχήμα 3.53: Αρχή λειτουργίας του θερμοσίφωνα [25]

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες μπορούν να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος των αναγκών σε ζεστό νερό, μειώνοντας ή ακόμα και μηδενίζοντας τις οικιακές δαπάνες σε ενέργεια ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος, τις ανάγκες σε ΖΝΧ και τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής. Ο προσδιορισμός του μεγέθους του συστήματος δηλαδή της ολικής συλλέκτριας επιφάνειας και του όγκου της δεξαμενής αποθήκευσης νερού που απαιτείται για την κάλυψη του 100% των οικιακών αναγκών ζεστού νερού υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη, την ηλιοφάνεια της περιοχής και την ανά άτομο κατανάλωση.

### 3.4.2 Θέρμανση των χώρων με τη χρήση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων

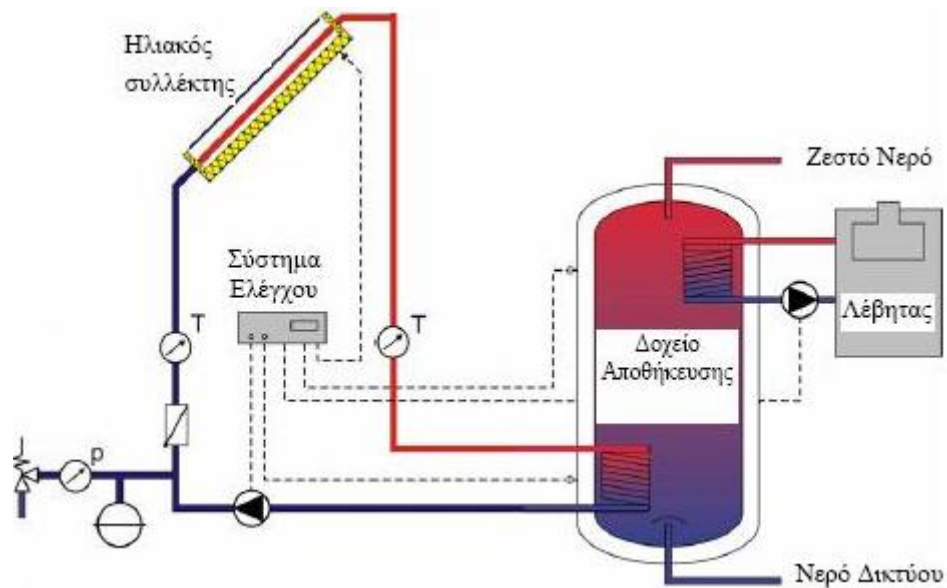
Εκτός από την παραγωγή ζεστού νερού οικιακής χρήσης (ZNX), η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη εφαρμογή των ηλιακών συστημάτων σήμερα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές που απαιτείται θερμότητα υψηλής ή χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης.

Θερμικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται για υποβοήθηση θέρμανσης χώρου και παράλληλα για παραγωγή ζεστού νερού οικιακής χρήσης. Τα ηλιακά αυτά συστήματα, είναι γνωστά με τον όρο “solar combisystems” ή απλά “combi”, παρότι δεν είναι ακόμη ιδιαίτερα γνωστά στη χώρα μας, αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες όπως η Αυστρία και η Γερμανία. Το 2001 η συνολική επιφάνεια συλλεκτών που αφορούσε ηλιακά συστήματα combi σε οκτώ Ευρωπαϊκές χώρες (Γερμανία, Αυστρία, Γαλλία, Ολλανδία, Ελβετία, Σουηδία, Δανία και Νορβηγία) ήταν ίση με 340.000 m<sup>2</sup>.

Συνεπώς, η χρήση ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή θέρμανσης και ψύξης αποτελεί μία από τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές με πολλά περιθώρια ανάπτυξης. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην περίπτωση της παραγωγής θέρμανσης είναι ίδια με αυτής της θέρμανσης νερού για οικιακή χρήση. Αέρας ή ένα υγρό, όπως μίγμα γλυκόλης και νερού, θερμαίνεται στους ηλιακούς συλλέκτες και, στη συνέχεια, μεταφέρεται από ανεμιστήρες ή αντλίες με μικρή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στα δοχεία αποθήκευσης της θερμότητας.

Τα ηλιακά συστήματα αέρος αποτελούνται από συλλέκτες, ανεμιστήρες, αεραγωγούς και συστήματα ελέγχου, και μπορούν να θερμάνουν τον αέρα ενός σπιτιού χωρίς εναλλάκτες θερμότητας ή θερμική αποθήκευση. Στα μεγάλα συστήματα αέρος χρησιμοποιείται συνήθως θερμική αποθήκευση, για παράδειγμα σε κλίνη χαλικιών με χαλίκια ή μικρές πέτρες, από όπου διέρχεται όλη η ποσότητα του κυκλοφορούντος στους ηλιακούς συλλέκτες θερμικού μέσου (υγρού ή αερίου).

Γενικά, τα συστήματα αυτά αποτελούνται από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών (παραγωγή ενέργειας), το θερμοδοχείο αδρανείας (αποθήκευση ενέργειας), ένα σύστημα βοηθητικής ενέργειας (ηλεκτρικός λέβητας, λέβητας πετρελαίου ή φυσικού αερίου, βιομάζας, αντλία θερμότητας), ένα σύστημα θέρμανσης (θερμαντικά σώματα, ενδοδαπέδια, fan coils) και ένα σύστημα ελέγχου.



Σχήμα 3.54: Ηλιοθερμικό σύστημα κλειστού κυκλώματος για παραγωγή ζεστού νερού και θέρμανση χώρων [26]

Τα γενικά χαρακτηριστικά του, λοιπόν, είναι τα ίδια με αυτά ενός κοινού κεντρικού ηλιακού συστήματος.

Η ιδανική εφαρμογή προκύπτει για συστήματα θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών (ενδοδαπέδια, fan coils), ενώ για θέρμανση με συμβατικά θερμαντικά σώματα αναμένεται μια μείωση της απόδοσης κατά 10-15%, η οποία αντιμετωπίζεται συνήθως με υπερδιαστασιολόγηση της εγκατάστασης θέρμανσης.

Η ενδοδαπέδια ή η επιτοίχια θέρμανση λειτουργεί με νερό χαμηλής θερμοκρασίας, 30–45°C, το οποίο μεταφέρεται μέσω ενός δικτύου πλαστικών σωλήνων που ενσωματώνονται στο δάπεδο (ή τον τοίχο).

Το συμβατικό σύστημα θέρμανσης θα πρέπει να είναι ικανό να παράσχει το 100% των απαιτήσεων θέρμανσης, δεδομένου ότι το ηλιακό σύστημα μπορεί να έχει μηδενική ή πολύ μικρή συμβολή στην κάλυψη των αναγκών θέρμανσης κατά τις περιόδους νεφελώδους καιρού.

Επιπροσθέτως, είναι χρήσιμο να σχεδιάζονται αυτά τα συστήματα για να έχουν τέσσερις βασικούς τρόπους λειτουργίας, εξαρτώμενους από τις συνθήκες που υπάρχουν στο σύστημα σε κάθε συγκεκριμένη στιγμή.

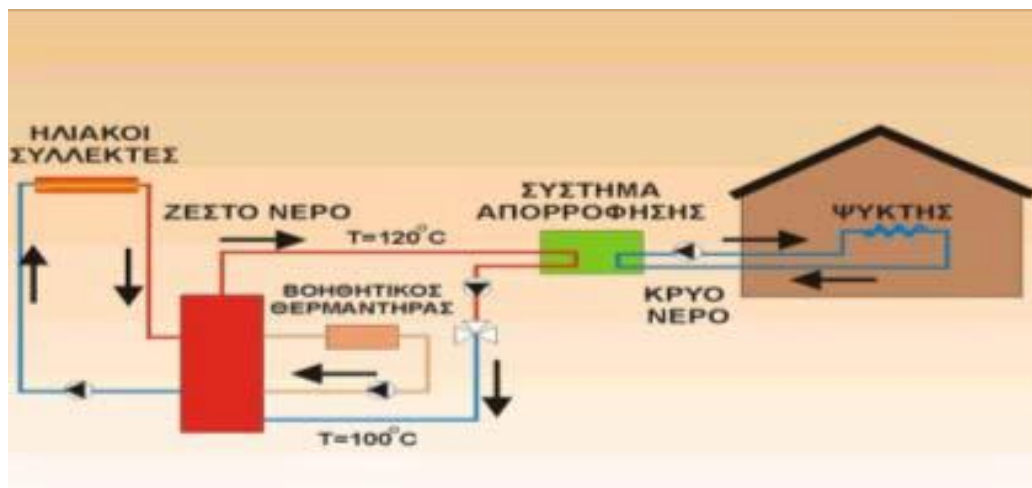
- Εάν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια και δεν απαιτείται θέρμανση, αυτή να προστίθεται από το συλλέκτη στην αποθήκη.
- Εάν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια και χρειάζεται θέρμανση, η ενέργεια από το συλλέκτη να χρησιμοποιείται απευθείας στην κάλυψη των αναγκών του θερμαινόμενου χώρου.

- Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια και απαιτείται θέρμανση και υπάρχει αποθηκευμένη ενέργεια στην αποθήκη, τότε να χρησιμοποιείται πρωτίστως η αποθηκευμένη ενέργεια για να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης του χώρου.
- Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια και χρειάζεται θέρμανση και η ενέργεια της αποθηκευτικής μονάδας δεν επαρκεί, τότε να χρησιμοποιείται η βοηθητική πηγή ενέργειας για να καλύψει τις ανάγκες.

### Ηλιακή Ψύξη – Κλιματισμός

Η ψύξη από ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι μια υποσχόμενη μέθοδος κλιματισμού με αρκετά περιθώρια ανάπτυξης. Λόγω της ταυτόχρονης ζήτησης δροσισμού με τη μέγιστη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία, ο ηλιακός δροσισμός αποτελεί μια νέα προοπτική για οικονομικό και φιλικό στο περιβάλλον κλιματισμό.

Η ψύξη κύκλου απορρόφησης είναι η πιο παλιά των τεχνολογιών κλιματισμού. Σε ένα κλιματιστικό κύκλου απορρόφησης το ψυκτικό μέσο δεν διατηρείται μηχανικά υπό πίεση αλλά χρησιμοποιείται μια πηγή θερμότητας, όπως ένας μεγάλος ηλιακός συλλέκτης για να εξατμιστεί το βρισκόμενο υπό πίεση ψυκτικό ρευστό από το μίγμα απορροφητή- ψυκτικού μέσου.



Σχήμα 3.55: Ηλιοθερμικό σύστημα κλιματισμού [25]

Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού μπορούν να ταξινομηθούν σε:

- **κλειστά συστήματα:** είναι θερμοκίνητοι ψύκτες οι οποίοι παρέχουν ψυχρό νερό. Το νερό χρησιμοποιείται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει κλιματισμένο αέρα (ψυχρό, ξηρό), ενώ μπορεί να διανέμεται μέσω

ενός κατάλληλου δικτύου σε καθορισμένους χώρους για να ενεργοποιήσει τις τοπικές μονάδες των δωματίων (π.χ. fan coils). Στην αγορά σήμερα, υπάρχουν διαθέσιμοι οι ψύκτες απορρόφησης (πιο κοινοί) και ψύκτες προσρόφησης (μερικές εκατοντάδες συστήματα παγκοσμίως, αλλά συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος για τον ηλιακό κλιματισμό).

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

Ο ηλιακός κλιματισμός μπορεί σήμερα να είναι μια οικονομική λύση λειτουργίας κλιματιστικών εγκαταστάσεων μόνο σε περιοχές, όπου οι κλιματολογικές συνθήκες αυτών προσφέρονται για τη ψύξη και τη θέρμανσή τους, εφόσον σχεδιασθεί η λειτουργία ταυτόχρονα με τη χρήση μιας συμβατικής μορφής ενέργειας (υγραέριο, ηλεκτρισμός κλπ). Η συνεχής λειτουργία της εγκατάστασης είτε μόνο με την ηλιακή ενέργεια είτε με τη συμβατική ενέργεια είτε ταυτόχρονα, αυξάνει το συντελεστή χρήσης αυτής και κατά επέκταση την αξιοπιστία της, ενώ παράλληλα δίνει και οικονομικό κόστος λειτουργίας. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των συστημάτων ηλιακού κλιματισμού αποτελεί η δυνατότητα ενσωμάτωσης τους σε υπάρχοντα συστήματα.

Η τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών και γενικότερα ηλιακών συστημάτων σε κτίρια γίνεται αφού πρωτίστως έχει εξασφαλιστεί η ανεμπόδιστη πρόσβαση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τα συστήματα αυτά. Σε περίπτωση που τα συστήματα αυτά βρίσκονται στο έδαφος, όπως μεγάλες δεξαμενές αποθήκευσης συνδυασμένες με συλλογή ή κεντρικά ηλιακά συστήματα για την εξυπηρέτηση μεγαλύτερων κτιριακών εγκαταστάσεων, απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις ακάλυπτων χώρων ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος σκιασμού. Αυτό όμως δημιουργεί μεγάλες απαιτήσεις σε επιφάνεια γης πρόβλημα το οποίο είναι αποτρεπτικό σε περιπτώσεις που αφορά τον αστικό ιστό και άλλοτε να αποτελούν σημαντική απώλεια ωφέλιμης γης υψηλού κόστους. Για την πιο συνηθισμένη περίπτωση που η έκταση γης θέτει περιορισμούς, ο απλούστερος τρόπος για την αποφυγή του προβλήματος του σκιασμού είναι η τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών στην οροφή των κτιρίων.





## 4. ΗΛΙΑΚΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 4. Ηλιακά Θερμικά Συστήματα [23,24,25,26,27]

#### 4.1 Γενικά

Θερμικά Ηλιακά Συστήματα, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ονομάζονται τα συστήματα που εκμεταλλεύονται την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μετατρέποντάς την σε ωφέλιμη θερμική ενέργεια, η οποία μπορεί να εκμεταλλευτεί σε ένα πλήθος εφαρμογών.

Συνηθέστερα, η παραγόμενη θερμότητα αξιοποιείται σε

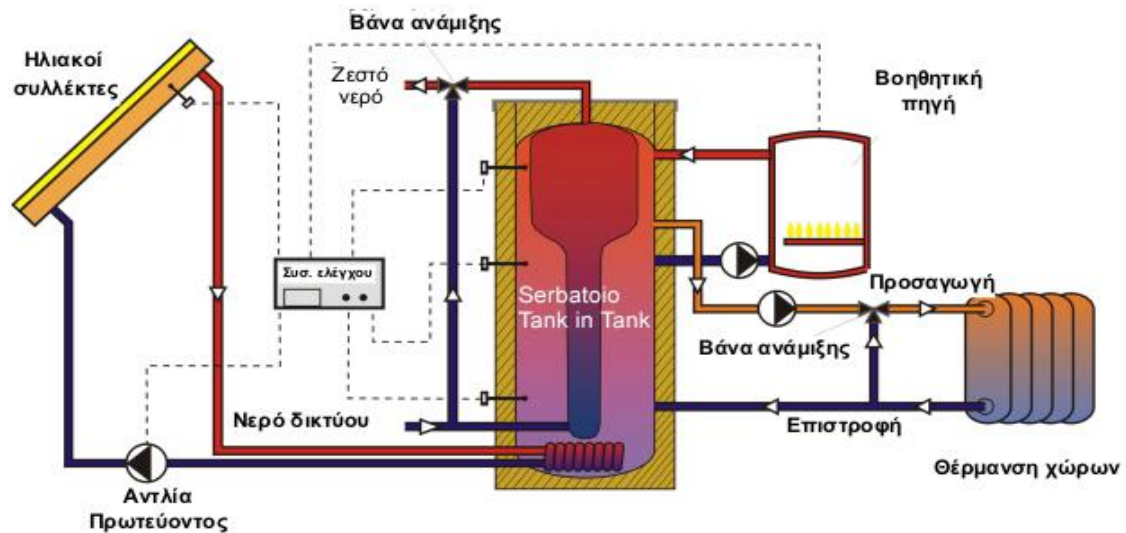
- παραγωγή ζεστού νερού (ΖΝΧ)
- οικιακή χρήση (ΖΝΧ και θέρμανση)
- βιομηχανία (π.χ. θέρμανση νερού διεργασιών)
- αφαλάτωση νερού
- παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος

Τα συστήματα αυτά αποτελούν τα κυριότερα ηλιακά συστήματα και έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν καθαρή θερμική ενέργεια, η οποία μπορεί να καλύψει το 20-80% των θερμικών απαιτήσεων που έως τώρα καλύπτονται από την εκμετάλλευση συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο).

Αποτελούν μια εξαιρετικά οικονομική επιλογή καθώς ο μέσος κύκλος ζωής τους διαρκεί από 20-30 χρόνια, ενώ το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και χρήσης αποπληρώνεται σε 3-10 χρόνια, ανάλογα με το κόστος των συμβατικών καυσίμων. Ο σωστός σχεδιασμός του ηλιακού συστήματος είναι πολύ σημαντικός, προς αποφυγή λανθασμένων επιλογών και με στόχο τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του.

Τα περισσότερα ηλιακά-θερμικά συστήματα αποτελούνται από τον ηλιακό συλλέκτη, τη δεξαμενή αποθήκευσης, τους κυκλοφορητές, το σύστημα ελέγχου, το ρευστό μεταφοράς της θερμότητας και τις σωληνώσεις που συνδέουν τα επιμέρους τμήματα και συσκευές του συστήματος.

Ένα τυπικό ηλιακό θερμικό σύστημα φαίνεται στο σχήμα 4.1, και η λειτουργία του βασίζεται στις σχετικά απλές επιμέρους αρχές των συστατικών του.



Σχήμα 4.1 : Τυπική διάταξη ηλιοθερμικού συστήματος [26]

Οι **ηλιακοί συλλέκτες** μετατρέπουν σε θερμική ενέργεια την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία η οποία διοχετεύεται στο **ρευστό μεταφοράς** της θερμότητας το οποίο είναι συνήθως ένα μίγμα γλυκόλης-νερού και μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών στους **εναλλάκτες**, οι οποίοι με τη σειρά τους είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά της θερμότητας στο ρευστό χρήσης.

Οι εναλλάκτες βρίσκονται εντός της **δεξαμενής αποθήκευσης** στην οποία αποθηκεύεται η θερμική ενέργεια του ρευστού χρήσης όπου και μέσω των **κυκλοφορητών** υποστηρίζεται η ροή του ρευστού στις επιμέρους καταναλώσεις, μέσω του συστήματος των **σωληνώσεων** ενώ το **σύστημα ελέγχου** υποστηρίζει και ελέγχει συνεχώς την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

## 4.2 Ηλιακοί συλλέκτες [23,24]

### 4.2.1 Επίπεδοι Συλλέκτες

Οι επίπεδοι συλλέκτες είναι το κυριότερο χρησιμοποιούμενο σύστημα συλλογής της ηλιακής ενέργειας σε εγκαταστάσεις θέρμανσης χώρου και παραγωγής ζεστού νερού. Ο ηλιακός συλλέκτης είναι ουσιαστικά ένας εναλλάκτης θερμότητας. Η διαφορά του με τους κοινούς εναλλάκτες είναι ότι μεταφέρει θερμότητα από μια πολύ μακρινή πηγή σε ένα ρευστό, ενώ στους συμβατικούς η μεταφορά γίνεται από ρευστό σε ρευστό. Ο επίπεδος συλλέκτης βασίζει τη λειτουργία του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, τη θέρμανση δηλαδή μιας επιφάνειας φαιού χρώματος όταν προσπίπτει πάνω της ηλιακή ακτινοβολία.

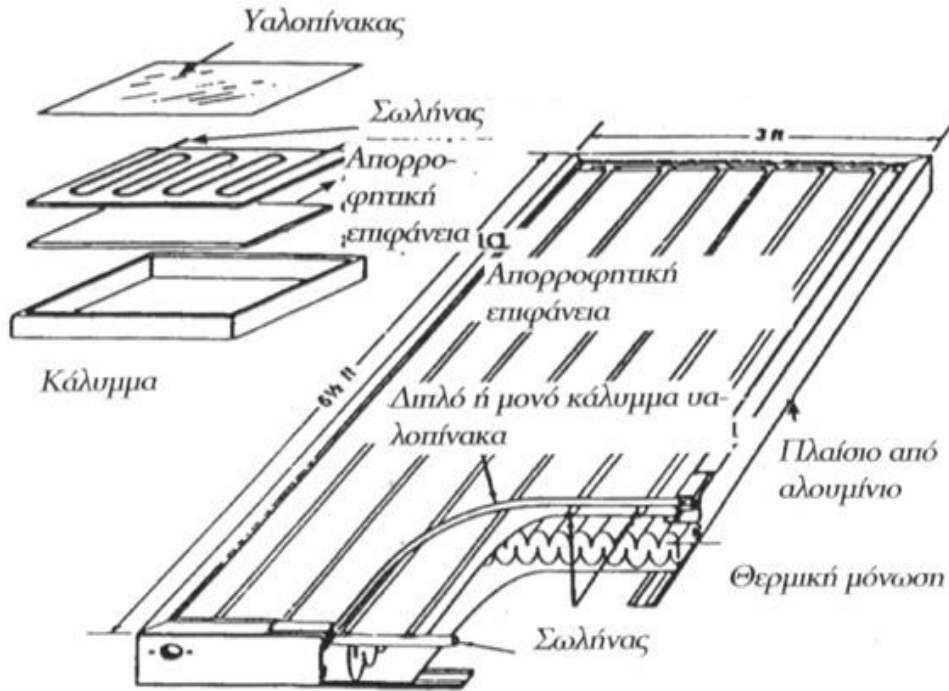
Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από μήκη κύματος, περιοχές των οποίων αντιπροσωπεύουν τα επτά χρώματα του ορατού φάσματος. Κάθε αντικείμενο οφείλει το χρώμα του στο μέρος εκείνο της ακτινοβολίας που δεν δεσμεύει. Αυτό συμβαίνει για όλα τα χρώματα, βασικά και αποχρώσεις, με συνδυασμούς διαφόρων μηκών κύματος. Ένα αντικείμενο που φαίνεται πράσινο, οφείλει το χρώμα του στο γεγονός ότι απορροφά όλη την ακτινοβολία, εκτός από την περιοχή των μηκών κύματος που αντιστοιχούν στο πράσινο. Ένα λευκό αντικείμενο διαχέεται από όλα τα μήκη κύματος, ενώ ένα αντικείμενο μαύρο απορροφά όλα τα μήκη κύματος. Τη συγκεκριμένη ιδιότητα εκμεταλλεύεται ο επίπεδος συλλέκτης.

Οι επίπεδοι συλλέκτες είναι κατάλληλοι για εφαρμογές με θερμοκρασιακό εύρος μέχρι και 150°C και εκμεταλλεύονται τη ολική ακτινοβολία, δηλαδή άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη. Εκτός από θέρμανση χώρων και νερού μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές, όπως εγκαταστάσεις κλιματισμού και παραγωγής θερμότητας για βιομηχανική χρήση.

#### Κατασκευή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Τα βασικά τμήματα ενός επίπεδου συλλέκτη, τα οποία απεικονίζονται στο σχήμα 4.2, είναι:

- Ο απορροφητήρας, δηλαδή η μαύρη επίπεδη επιφάνεια που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Ο απορροφητήρας συμπεριλαμβάνει το σύστημα μεταφοράς της ενέργειας στο ρευστό, δηλαδή σωλήνες αν πρόκειται για συλλέκτη υγρού ή αεραγωγούς αν πρόκειται για συλλέκτη αέρος.
- Ένα ή περισσότερα διαφανή καλύμματα, πάνω από τον απορροφητήρα, ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον.
- Μονώσεις στο πίσω μέρος και στις παράπλευρες επιφάνειες, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες.
- Το πλαίσιο που περικλείει ολόκληρη την κατασκευή.



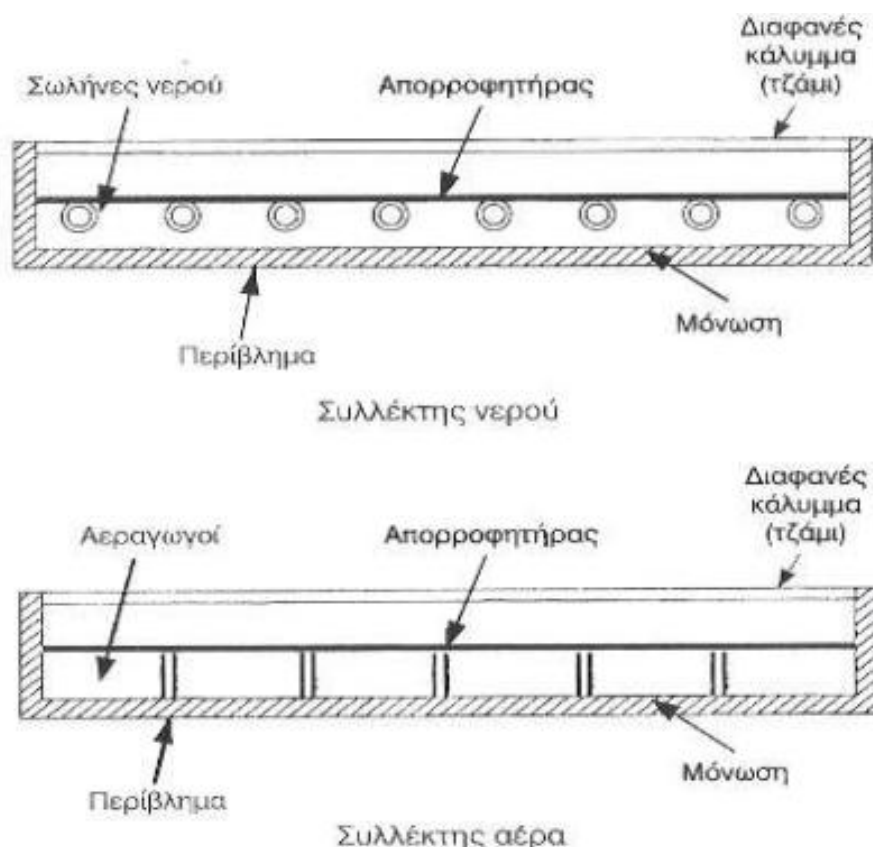
Σχήμα 4.2: Διάταξη συλλέκτη [25]

Η **απορροφητική επιφάνεια**, είναι μεταλλική, και συμπεριφέρεται σαν μέλαν σώμα, λόγω της επεξεργασίας που έχει υποστεί το αλουμίνιο ή ο χαλκός, που αποτελούν τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται. Η επεξεργασία γίνεται με χημικό ή ηλεκτρολυτικό τρόπο, με χημικές ουσίες, όπως είναι άλατα χαλκού και οξείδια χαλκού, σιδήρου ή αλουμινίου. Η μεταλλική επιφάνεια έχει επικαλυφθεί με χρωστικές ουσίες, όμως σε σύντομο χρονικό διάστημα το χρώμα παρουσιάζει σπασίματα και χάνει την πρόσφυσή του στο μέταλλο, ενώ μπορεί και να αλλοιωθεί από την ηλιακή ακτινοβολία. Η αιθάλη που ανήκει στα φυσικά μέλανα σώματα δεν ενδείκνυται επίσης για επιστρωμάτωση του μετάλλου, λόγω του μικρού χρόνου ζωής της κατασκευής. Επιλέγεται μαύρη επιφάνεια απορρόφησης για να έχει υψηλό συντελεστή θερμικής εκπομπής, ενώ η επιλεκτικότητά της επεκτείνεται σε όλο το ηλιακό φάσμα (0,2μm-3μm) και εμφανίζει πολύ μικρή εκπομπή στην περιοχή 3μm-30μm, που αφορά στην υπέρυθη ακτινοβολία του συλλέκτη, λόγω των θερμοκρασιών που αποκτά.

Το διαφανές κάλυμμα είναι συνήθως γυάλινη επιφάνεια, και επιτρέπει το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας προς τον απορροφητήρα. Συγκεκριμένα μέσα από ένα κοινό τζάμι περνάει το 85% της ηλιακής ενέργειας. Δεδομένου ότι το γυαλί είναι προϊόν της σύντηξης διαφόρων ανόργανων υλικών, αλάτων και μικρών ποσοτήτων μετάλλων, το παραπάνω ποσοστό μπορεί να αυξηθεί, αν μεταβληθούν οι περιεκτικότητες αυτών των συστατικών. Είναι άριστο θερμομονωτικό καθώς είναι διαφανές για την περιοχή των μεγάλων κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ για μήκη κύματος πάνω από 3μm καθίσταται αδιαφανές, εμποδίζοντας τις απώλειες προς το περιβάλλον. Αρκετά μεγάλη διαπερατότητα παρουσιάζουν ορισμένα πλαστικά, αλλά καταστρέφονται από τις υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου που αλλοιώνουν τη χημική τους σύσταση και τελικά θαμπώνουν

σε λίγα χρόνια χρήσης. Επιπροσθέτως η διαπερατότητά τους επεκτείνεται σε μεγαλύτερο φάσμα από ότι το γυαλί, με αποτέλεσμα να μην εξασφαλίζουν θερμομόνωση. Κάποια συνθετικά υλικά ανταγωνίζονται τη μειωμένη αντοχή των πλαστικών, για αυτό και αποτελούν αντικείμενο έρευνας.

Οι τύποι των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών ποικίλουν, ανάλογα με την κατασκευή τους και την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Υπάρχουν συλλέκτες με ένα τζάμι κατάλληλοι για σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (40-60°C). Όπου απαιτούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες (μέχρι 30°C), όπως για παράδειγμα στη θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συλλέκτες χωρίς διαφανές κάλυμμα, ενώ για υψηλότερες θερμοκρασίες του νερού (μέχρι 80°C) ή για θέρμανση χώρων οι συλλέκτες έχουν δύο τζάμια. Για ακόμη μεγαλύτερες θερμοκρασίες (100-150°C) χρησιμοποιούνται οι συλλέκτες σωλήνων κενού, περισσότερο για εφαρμογές ψύξης. Οι συλλέκτες διαχωρίζονται σε υγρού και αέρα, ανάλογα με το ρευστό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα τους και η σχηματική απεικόνιση τους φαίνεται στο σχήμα 4.3:



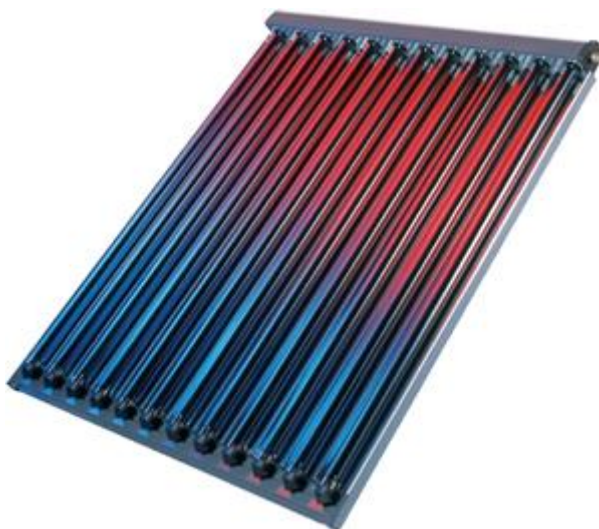
Σχήμα 4.3: Τομή ηλιακού συλλέκτη (25]

Η απλούστερη μορφή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη, αποτελεί ο συλλέκτης χωρίς διάφανη επένδυση και μόνωση και περιλαμβάνει ένα πλαστικό στρώμα απορρόφησης και τους σωλήνες. Ένας τέτοιος συλλέκτης βρίσκει εφαρμογή στη θέρμανση του νερού σε ανοιχτές κολυμβητικές δεξαμενές και για την προθέρμανση νερού οικιακής χρήσης, δηλαδή σε εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών (έως 30 C°).

Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι το χαμηλό κόστος, οι μεγάλες θερμικές απώλειες και η μικρή συλλεγόμενη ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο συλλέκτη (250 -300 kWh/m<sup>2</sup> έτος)

#### 4.2.2 Συλλέκτες κενού [25]

Η ανάγκη για μείωση των θερμικών απωλειών του συλλέκτη οδήγησε στο σχεδιασμό ενός βελτιωμένου τύπου επίπεδου συλλέκτη, ο οποίος ονομάζεται συλλέκτης κενού. Οι συλλέκτες αυτοί είναι επίπεδοι συλλέκτες βελτιωμένου τύπου και το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι το κενό αέρα που υπάρχει μεταξύ της απορροφητικής επιφάνειας και του διάφανου καλύμματος, στο οποίο οφείλονται οι μειωμένες θερμικές απώλειες.



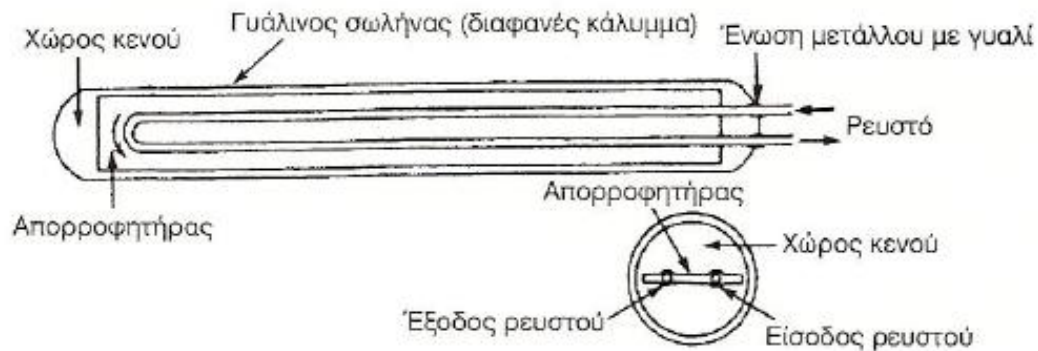
Σχήμα 4.4: Συλλέκτες κενού. [25]

Οι συλλέκτες κενού δεν έχουν κοινή κατασκευαστική δομή. Αντίθετα παρουσιάζουν σημαντικές δομικές διαφορές, με βάση τις οποίες κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες και παρουσιάζονται στο σχήμα 4.5 :

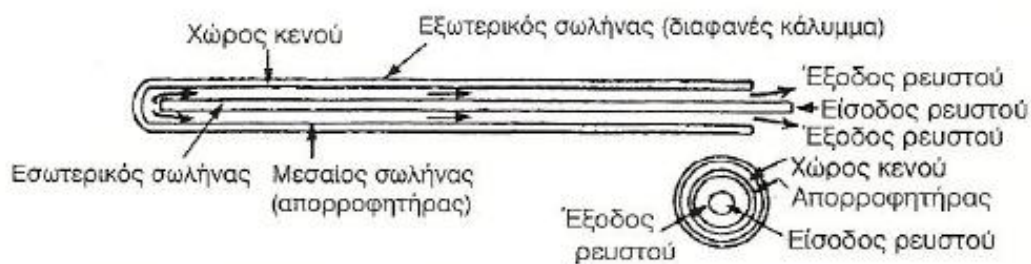
- α) συλλέκτες κενού με επίπεδο απορροφητήρα και
- β) συλλέκτες κενού με ομόκεντρους σωλήνες.

Στους συλλέκτες κενού με επίπεδο απορροφητήρα, οι σωλήνες εισόδου και εξόδου του ρευστού περιλαμβάνονται στον απορροφητήρα, ο οποίος είναι μία επίπεδη επιφάνεια, που τοποθετείται μέσα σε γυάλινο σωλήνα χωρίς αέρα. Στη δεύτερη περίπτωση ο συλλέκτης αποτελείται από τρεις ομόκεντρους σωλήνες. Ο εξωτερικός σωλήνας κατασκευάζεται από γυαλί και αποτελεί το διαφανές κάλυμμα του

συλλέκτη. Ο μεσαίος σωλήνας είναι ο απορροφητήρας και μεταξύ αυτού και του εξωτερικού σωλήνα υπάρχει κενό αέρα. Ο εσωτερικός σωλήνας είναι ο σωλήνας προσαγωγής του ρευστού στο συλλέκτη, το οποίο απαγάγει τη θερμότητα και εξέρχεται από το χώρο μεταξύ εσωτερικού και μεσαίου σωλήνα.



Συλλέκτης κενού με επίπεδο απορροφητήρα



Συλλέκτης κενού με ομόκεντρους σωλήνες

Σχήμα 4.5: Συλλέκτες κενού [25]

Το ρευστό που χρησιμοποιείται στο κύκλωμα είναι υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης, αλλά στο συλλέκτη κενού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αέριο. Ειδικά πρόσθετα είναι απαραίτητα για να αποφευχθεί η διάβρωση στα τοιχώματα των σωλήνων, οι οποίοι οφείλονται στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο υγρό.

Οι συλλέκτες κενού έχουν μικρότερο βάρος και υψηλότερο βαθμό απόδοσης από ένα συνηθισμένο επίπεδο συλλέκτη. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση ή και ψύξη χώρων, παραγωγή ΖΝΧ και ατμοπαραγωγή (λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του ρευστού) και έχουν μεγάλη συλλεγόμενη ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο συλλέκτη (450-500 kWh/m<sup>2</sup> έτος για ετήσια ηλιακή ακτινοβολία 1000 kWh/m<sup>2</sup> έτος).



Βασικό μειονέκτημά τους είναι το σημαντικό κόστος αγοράς, το οποίο οφείλεται σε διάφορες κατασκευαστικές δυσκολίες (κενό αέρα, συστολές-διαστολές συνεργαζόμενων υλικών, κτλ).

#### **4.2.3 Συγκεντρωτικοί Ηλιακοί Συλλέκτες [10,25]**

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες είναι συσκευές που συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με οπτικά μέσα και στη συνέχεια την απορροφούν και τη μετατρέπουν σε χρήσιμη θερμική ενέργεια. Η συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας επιτρέπει τη συλλογή θερμότητας σε θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες, η οποία αξιοποιείται σε βιομηχανικές χρήσεις και στην παραγωγή ηλεκτρισμού.

Ένας συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από το οπτικό σύστημα ή συγκεντρωτήρα και το δέκτη. Ο συγκεντρωτήρας δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, τη συγκεντρώνει και την οδηγεί στο δέκτη, ο οποίος την απορροφά. Η πολλαπλασιασμένη ένταση της προσπίπτουσας στο δέκτη ακτινοβολίας συνεπάγεται μικρότερη επιφάνεια για ένα δεδομένο ποσό ενέργειας, άρα και μειωμένες απώλειες προς το περιβάλλον.

Ο συγκεντρωτήρας μπορεί να είναι φακός και να διαθλά την ηλιακή ακτινοβολία ή να είναι καθρέπτης και να την ανακλά. Ακόμα μπορεί να είναι επίπεδος, παραβολικός, ή να αποτελείται από μία σειρά κινούμενων επίπεδων κατόπτρων, τα οποία με κατάλληλους μηχανισμούς παρακολουθούν την πορεία του ήλιου. Ο δέκτης μπορεί να είναι σημείο, γραμμή, επίπεδη επιφάνεια, κυρτή ή κοίλη επιφάνεια.

Οι βασικότεροι τύποι συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι οι εξής:

- Συγκεντρωτικός συλλέκτης με επίπεδα κάτοπτρα
- Συγκεντρωτικός συλλέκτης με επιμήκη παραβολικά κάτοπτρα
- Συγκεντρωτικός συλλέκτης με παραβολοειδές κάτοπτρο
- Συγκεντρωτικός συλλέκτης με φακό Fresnel
- Ηλιακός πύργος

#### 4.2.4 Θεωρία επίπεδου συλλέκτη [7,25]

Η σχέση ισολογισμού της ενέργειας στο συλλέκτη, δηλαδή ο καταμερισμός της ενέργειας σε ωφέλιμη και σε θερμικές και οπτικές απώλειες είναι η παρακάτω,[25]:

$$Q = F_R A \cdot [G_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)] \quad (4.1)$$

όπου,

- Q : η ωφέλιμη θερμική ισχύς (W)
- F<sub>R</sub> : ο συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη
- A : η συλλεκτική επιφάνεια (m<sup>2</sup>)
- τ : ο συντελεστής διαπερατότητας του διαφανούς καλύμματος
- α : ο συντελεστής απορρόφησης του απορροφητήρα
- G<sub>T</sub> : η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (W/m<sup>2</sup>)
- U<sub>L</sub> : ο συντελεστής θερμικών απωλειών (W/m<sup>2</sup>°C)
- T<sub>i</sub> : η θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο του συλλέκτη (°C)
- T<sub>a</sub> : η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (°C)

Στην εξίσωση έχει γίνει παραδοχή ότι η θερμοκρασία του απορροφητήρα είναι ίση με τη θερμοκρασία εισαγωγής του ρευστού στο συλλέκτη. Αυτό στην πραγματικότητα δε συμβαίνει, καθώς είναι απαραίτητο η θερμοκρασία του απορροφητήρα να είναι μεγαλύτερη, για να γίνεται η μεταφορά θερμότητας από τον απορροφητήρα στο ρευστό. Η παραδοχή γίνεται γιατί η θερμοκρασία αυτή είναι άγνωστη, σε αντίθεση με τη θερμοκρασία εισαγωγής του ρευστού στο συλλέκτη είναι γνωστή. Η εξίσωση αφορά τη στιγμιαία απόδοση του συλλέκτη, οπότε εξαρτάται από τις μετεωρολογικές και λειτουργικές συνθήκες κάθε στιγμής. Στον υπολογισμό ωστόσο της μακροχρόνιας απόδοσης ενός ηλιακού συστήματος αρκούν οι μέσες μηνιαίες τιμές.

Το γινόμενο G<sub>T</sub>(τα) είναι η αναρροφούμενη ακτινοβολία, δηλαδή η διαφορά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των οπτικών απωλειών. Οι συντελεστές τ και α εξαρτώνται από τα υλικά του συλλέκτη και τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο συντελεστής F<sub>R</sub>, είναι συνάρτηση της παροχής του ρευστού στο συλλέκτη και του τρόπου κατασκευής του απορροφητήρα και ισούται με το λόγο της πραγματικής αποδιδόμενης ισχύος προς τη θερμική ισχύ που θα αποδιδόταν αν ο απορροφητήρας είχε τη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στο συλλέκτη. Ο συντελεστής U<sub>L</sub> εξαρτάται από την κατασκευή του συλλέκτη και ειδικότερα από την πλευρική και πίσω μόνωση του, το υλικό και τον αριθμό των διαφανών καλυμμάτων, τη θερμοκρασία και τη θερμική εκπομπή του απορροφητήρα και από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη υπολογίζονται σε σταθερές συνθήκες λειτουργίας, οπότε προκύπτουν σταθερές τιμές για διευκόλυνση των υπολογισμών, παρόλο που τα χαρακτηριστικά αυτά είναι συνάρτηση μεταβαλλόμενων παραγόντων. Οι δοκιμές γίνονται με ηλιοφάνεια και κατά το ηλιακό μεσημέρι με τις ακτίνες του ηλίου να προσπίπτουν κάθετα στη συλλεκτική επιφάνεια. Το γινόμενο

(τα) αντικαθίσταται με το γινόμενο  $(τα)_\eta$ , που αφορά κάθετη πρόσπτωση. Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στην καμπύλη απόδοσης του συλλέκτη, όπου παριστάνεται η μεταβολή της απόδοσης του συλλέκτη σε σχέση με τον παράγοντα  $(T_i - T_a)/G_T$ .

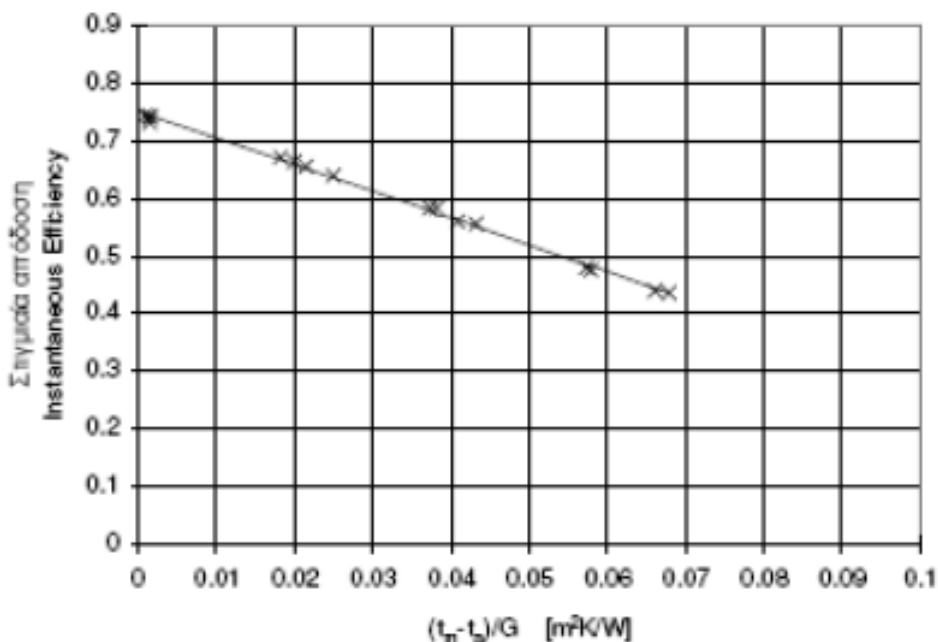
Οι ηλιακοί συλλέκτες ελέγχονται ως προς την απόδοσή τους σύμφωνα με ευρωπαϊκά πρότυπα με δοκιμές τόσο σε ειδικά εργαστήρια όσο και σε εξωτερικούς χώρους (πραγματικές συνθήκες), για συνθήκες  $1000 \text{ W/m}^2$  και θερμοκρασία αέρα  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Η απόδοση εξ ορισμού είναι το πηλίκο της απορριφθείσας ενέργειας προσπίπτουσας ενέργειας και εξαρτάται ανάλογα από την ηλιακή ακτινοβολία.

Ο **βαθμός απόδοσης** ισούται με το λόγο τη ωφέλιμης ισχύος  $Q$  προς την ισχύ τη ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη συλλεκτική επιφάνεια  $G_T A$ . Δίνεται δηλαδή, [25]:

$$\eta = Q/G_T A = F_R(τα)_\eta - F_R U_L(T_i - T_a)/G_T \quad (4.2)$$

Κάθε καμπύλη όπως βλέπουμε από τη μορφή τη εξίσωσης, είναι ευθεία γραμμή, η οποία τέμνει τον άξονα των τεταγμένων στο σημείο  $(0, F_R(τα)_\eta)$  και έχει κλίση  $(-F_R U_L)$ .



Σχήμα 4.6: Καμπύλη απόδοσης επίπεδου ηλιακού συλλέκτη [25]

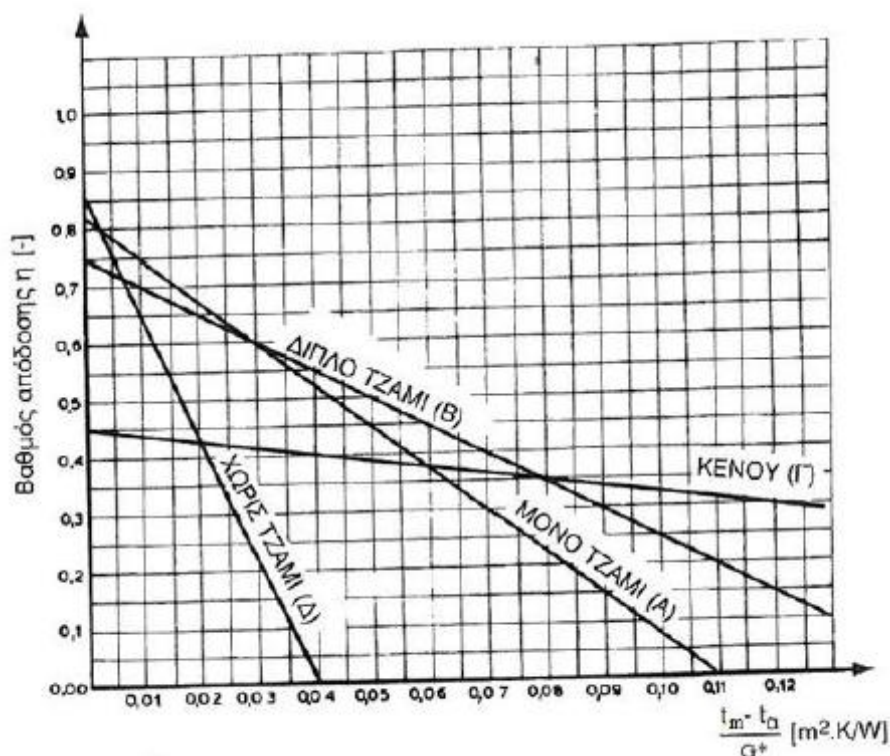
Χρήσιμα συμπεράσματα προκύπτουν από τη σχέση για την καμπύλη απόδοσης του συλλέκτη. Ο βαθμός απόδοσης μεγαλώνει όσο μικραίνει η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας του συλλέκτη με τη θερμοκρασία του αέρα  $(T_i - T_a)$ . Η μεγιστοποίηση

του βαθμού απόδοσης γίνεται για  $T_i=T_a$ , δηλαδή για τις πρωινές μόνο ώρες. Επίσης, ο βαθμός απόδοσης μηδενίζεται πρακτικά μόνο σε περίοδο διακοπών όπου οι θερμικές απώλειες εξισώνονται με την ωφέλιμη θερμική ενέργεια.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα τυπικά χαρακτηριστικά διαφόρων ειδών επίπεδων συλλεκτών στον πίνακα 4.1 καθώς και οι καμπύλες απόδοσης τους, σχήμα 4.7:

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη συλλεκτών [25]

Τύπος συλλέκτη	$F_R(\tau\alpha)_\eta$	$F_R U_L$ (W/m <sup>2</sup> °C)
Μαύρο χρώμα - 1 τζάμι	0,82	7,50
Μαύρο χρώμα - 2 τζάμια	0,75	5,00
Σωλήνες κενού	0,45	1,25
Χωρίς τζάμι και μόνωση	0,86	21,5



Σχήμα 4.7: Καμπύλες απόδοσης διάφορων τύπων επίπεδων συλλεκτών [25]

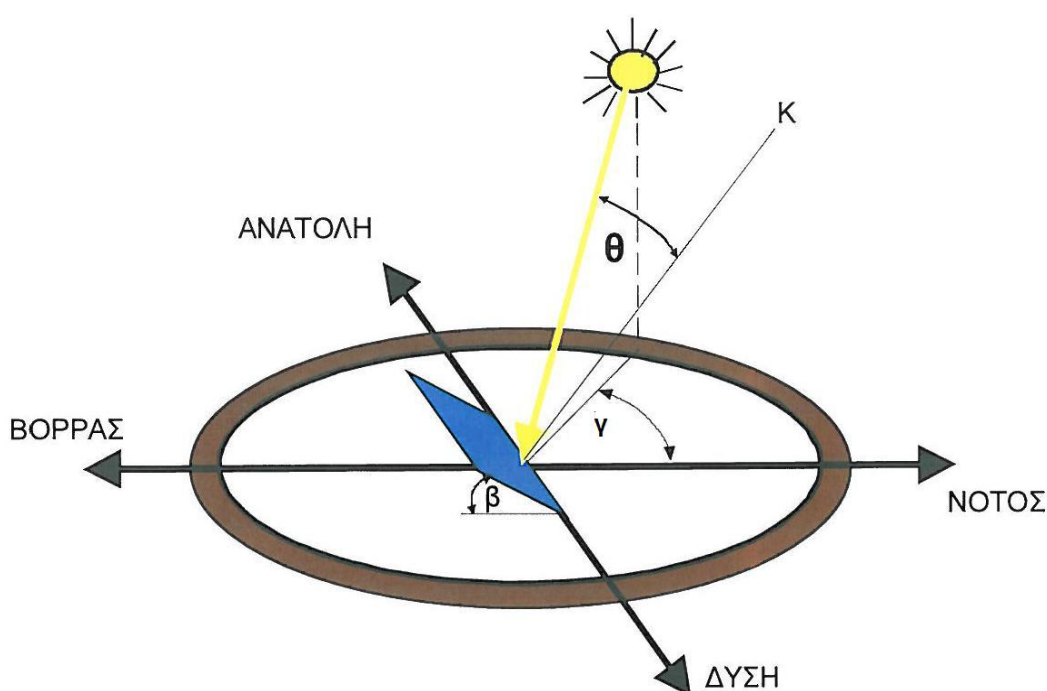
#### 4.2.5 Προσανατολισμός , κλίση και θέση του συλλέκτη [24,25,27]

Οι συλλέκτες έχουν προσανατολισμό προς τον ισημερινό, επομένως προς το νότο για το βόρειο ημισφαίριο, και κλίση που μεγιστοποιεί την προσπίπτουσα ακτινοβολία, ανάλογα με την περίοδο χρησιμοποίησής τους.

Η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των συλλεκτών επιτυγχάνεται μόνο με τη βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Για να απορροφηθεί η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία από τους ηλιακούς συλλέκτες, θα πρέπει οι συλλέκτες να περιστρέφονται ώστε να ακολουθούν την τροχιά του ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετοι στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας.

Στην πλειονότητα των ηλιοθερμικών συστημάτων επιλέγονται ηλιακοί συλλέκτες με σταθερό προσανατολισμό, και για να επιτυγχάνεται η βέλτιστη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, πρέπει να γίνει σωστή επιλογή της κλίσης και της αζιμούθιας γωνίας του συλλέκτη.

Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες: την κλίση και την αζιμούθια γωνία. Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ) είναι η δίεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0 μέχρι  $180^\circ$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8:



Σχήμα 4.8: Κλίση του συλλέκτη ( $\beta$ ), το αζιμούθιο του συλλέκτη ( $\gamma$ ) και η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στο συλλέκτη ( $\theta$ ) [25]

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη ( $\gamma$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από  $-180^\circ$  μέχρι  $+180^\circ$ .

Η γωνία  $-180^\circ$  (που συμπίπτει με τη  $+180^\circ$ ) αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία  $-90^\circ$  προς την ανατολή, η γωνία  $0^\circ$  προς το νότο και η γωνία  $+90^\circ$  προς τη δύση.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις οι συλλέκτες τοποθετούνται σε σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία, που επιλέγονται ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας με τη σχέση, [25] :

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\omega \sin\gamma \quad (4.3)$$

Οι επίπεδοι συλλέκτες απορροφούν την άμεση και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία και τοποθετούνται, όπως αναφέρθηκε, υπό σταθερή κλίση και προσανατολισμό κατά τη διάρκεια του έτους. Η θέση του συλλέκτη (προσανατολισμός και κλίση) επηρεάζει την απόδοσή του κατά δύο τρόπους. Αρχικά επηρεάζει σημαντικά το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη, ενώ επίσης ο συντελεστή διάβασης των διαφανών καλυμμάτων και ο συντελεστής απορρόφησης του απορροφητήρα επηρεάζονται από τη θέση του συλλέκτη, αφού οι δύο συντελεστές είναι συναρτήσεις της γωνίας, που η ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια του συλλέκτη.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας, δεσμεύεται από συστήματα με νότια προσανατολισμένη κλίση. Εάν ή επιφάνεια του συλλέκτη δεν αντικρίζει ακριβώς το νότο, το ποσό της ωφέλιμης ενέργειας, μειώνεται ελαφρά σε μία γωνία  $30^\circ$  ανατολικά, δυτικά ή νότια. Η βέλτιστη κλίση για συστήματα με εύρος λειτουργίας όλο το χρόνο είναι  $45^\circ$  ενώ αντίθετα, για συστήματα εποχιακής λειτουργίας καλοκαιρινούς μήνες π.χ. ξενοδοχεία η κλίση λαμβάνεται μικρότερη περίπου  $25^\circ$ . Έτσι είναι δυνατόν να αξιολογηθεί ορθά η εγκατάσταση ηλιακών συστημάτων (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες) ώστε να βελτιστοποιηθεί η απόδοσή τους. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται στο έδαφος, σε οριζόντιες στέγες (ταράτσες), σε κεκλιμένες στέγες, σε στέγαστρα και σε προσόψεις κτιρίων.

### **Λόγος $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_\eta$**

Η κλίση και ο προσανατολισμός δεν επηρεάζουν μόνο το ποσό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και τους συντελεστές διαπερατότητας  $\tau$  και απορρόφησης  $\alpha$ .

Το γινόμενο  $(\tau\alpha)$  εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και μπορεί να διαφέρει σημαντικά από το ίδιο γινόμενο για κάθετη πρόσπτωση. Η μέση μηνιαία τιμή του λόγου  $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_\eta$  για συλλέκτη με ένα και δύο τζάμια αντίστοιχα και για κλίση από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$  φαίνεται στον πίνακα 2.2. Οι τιμές του διορθωτικού συντελεστή ισχύουν για νότιο προσανατολισμό και αφορούν όλη τη χώρα, αλλά χρησιμοποιούνται και για συλλέκτες με προσανατολισμό με απόκλιση μέχρι και  $15^\circ$

από το νότο. Για κλίση συλλέκτη 40-45°, που αφορά στις περισσότερες εφαρμογές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές 0,93 για ένα τζάμι και 0,91 για δύο τζάμια, για όλο το χρόνο.

Πίνακας 4.2: Διορθωτικός συντελεστής  $(\tau_a)/(\tau_a)_n$  για επίπεδο συλλέκτη νοτίου προσανατολισμού με μονό και διπλό τζάμι [27]

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ιαν	0,79	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94	0,93
Φεβ	0,84	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,91
Μαρ	0,88	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,91	0,89	0,86
Απρ	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,90	0,88	0,84	0,78
Μαϊ	0,93	0,94	0,94	0,93	0,92	0,90	0,88	0,84	0,78	0,71
Ιουν	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,86	0,81	0,81	0,75	0,67
Ιουλ	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,90	0,87	0,82	0,76	0,68
Αυγ	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,89	0,86	0,81	0,74
Σεπ	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,93	0,92	0,90	0,88	0,83
Οκτ	0,86	0,89	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,89
Νοε	0,80	0,85	0,89	0,92	0,94	0,94	0,95	0,95	0,94	0,93
Δεκ	0,77	0,83	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,94
1 τζάμι										
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Ιαν	0,74	0,81	0,86	0,89	0,91	0,93	0,93	0,93	0,93	0,91
Φεβ	0,80	0,85	0,88	0,90	0,92	0,92	0,93	0,92	0,91	0,88
Μαρ	0,85	0,88	0,90	0,91	0,92	0,92	0,91	0,89	0,87	0,83
Απρ	0,89	0,91	0,92	0,92	0,91	0,90	0,88	0,85	0,80	0,74
Μαϊ	0,92	0,92	0,92	0,91	0,90	0,88	0,85	0,80	0,73	0,65
Ιουν	0,92	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,83	0,88	0,70	0,61
Ιουλ	0,92	0,93	0,92	0,92	0,90	0,87	0,84	0,78	0,71	0,61
Αυγ	0,91	0,92	0,92	0,92	0,91	0,90	0,87	0,83	0,77	0,69
Σεπ	0,88	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92	0,90	0,88	0,85	0,79
Οκτ	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,93	0,93	0,92	0,90	0,87
Νοε	0,75	0,82	0,87	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,93	0,91
Δεκ	0,72	0,80	0,85	0,89	0,91	0,93	0,94	0,94	0,93	0,92
2 τζάμια										

Η συλλογή της μέγιστης ετήσιας προσπίπτουσας ακτινοβολίας δεν εξασφαλίζεται πάντα από τη βέλτιστη κλίση της συλλεκτικής επιφάνειας, καθώς το φορτίο μιας εφαρμογής μπορεί να μην εξυπηρετείται όλο το χρόνο αλλά εποχικά. Για χειμερινή λειτουργία, π.χ. θέρμανση χώρου επιλέγεται κλίση 10° έως 15° μεγαλύτερη από το

γεωγραφικό πλάτος, ενώ για καλοκαιρινή λειτουργία, π.χ. παραγωγή νερού σε θερινές εγκαταστάσεις  $-10^{\circ}$  έως  $-15^{\circ}$  από το γεωγραφικό πλάτος. Για λειτουργία θέρμανσης νερού όλο το χρόνο η κλίση είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος και για εφαρμογές ψύξης  $-10^{\circ}$  από το γεωγραφικό πλάτος.

Επιγραμματικά, η βέλτιστη γωνία κλίσης για συστήματα στο βόρειο ημισφαίριο είναι

$\beta = \phi + (0-5)^{\circ}$  για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης όλο το χρόνο

$\beta = \phi - (10-15)^{\circ}$  για ζεστό νερό το καλοκαίρι

$\beta = \phi + (10-15)^{\circ}$  για θέρμανση χώρων



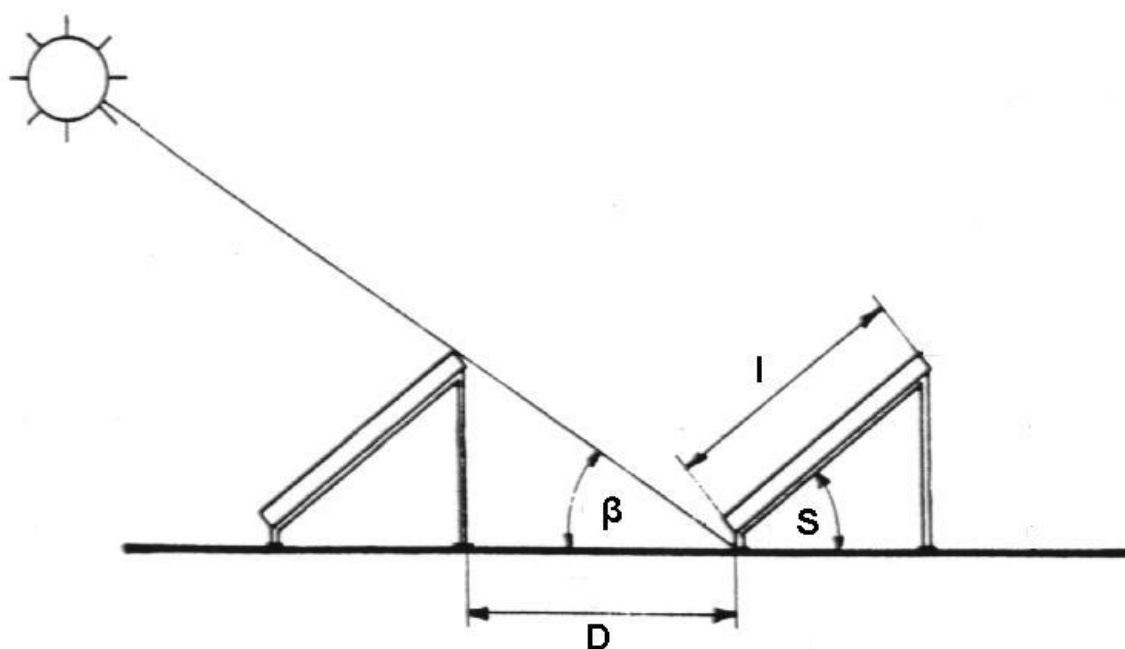
#### 4.2.6 Τοποθέτηση ηλιακών συλλεκτών [25,27,28]

Μεταξύ των σειρών των συλλεκτών πρέπει να τηρείται μια απόσταση ώστε να μην σκιάζει η μία την άλλη. Η απόσταση αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με, [28]:

$$D = \frac{l \cdot \sin S}{\tan \beta} \quad (4.4)$$

όπου,

- l : το μήκος του συλλέκτη
- S : η κλίση του συλλέκτη
- $\beta$  : η γωνία ύψους του ήλιου



Σχήμα 4.9 :Απόσταση μεταξύ των συλλεκτών [28]

Επίσης πρέπει να επιλεγθεί προσεκτικά ο τόπος εγκατάστασης για την αποφυγή σκιασμού από φυσικά εμπόδια. Ένας γενικός κανόνας για την αποφυγή σκιασμού είναι να εξασφαλιστεί ότι η ελάχιστη απόσταση μεταξύ του συλλέκτη και του εμποδίου είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου.

## Σύνδεση ηλιακών συλλεκτών

Είναι πολύ σημαντικό το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών να εξασφαλίζει σταθερή παροχή ρευστού μέσα σε κάθε συλλέκτη. Η μεταβαλλόμενη παροχή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία περιοχών με χαμηλή ροή που οδηγεί σε μείωση του βαθμού απόδοσης του συστήματος. Η σύνδεση πολλών συλλεκτών μεταξύ τους αποτελεί μία συστοιχία. Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης:

- **Σύνδεση σε σειρά**

ΤΗ συνολική παροχή είναι ίση με την παροχή του ενός συλλέκτη αφού το υγρό μεταφοράς περνάει από τον ένα συλλέκτη στον επόμενο. Οι επίπεδοι συλλέκτες κατασκευάζονται συνήθως για παροχή 40-80lt/h·m<sup>2</sup>. Αν γίνει παραδοχή για σύνδεση 4 συλλεκτών σε σειρά, επιφάνειας 2,5m<sup>2</sup> και παροχής 40 lt/h·m<sup>2</sup>, η συστοιχία θα καταλαμβάνει επιφάνεια 4x2,5 =10m<sup>2</sup> και θα έχει παροχή 2,5x40=100 lt/h. Το βασικό μειονέκτημα της σύνδεσης σε σειρά είναι η σημαντική πτώση πίεσης του κυκλώματος λόγω της άθροισης των απωλειών όλων των συλλεκτών, κάτι που περιορίζει τον αριθμό σύνδεσης συλλεκτών σε μία συστοιχία.



Σχήμα 4.10: Σύνδεση συλλεκτών σε σειρά [28]

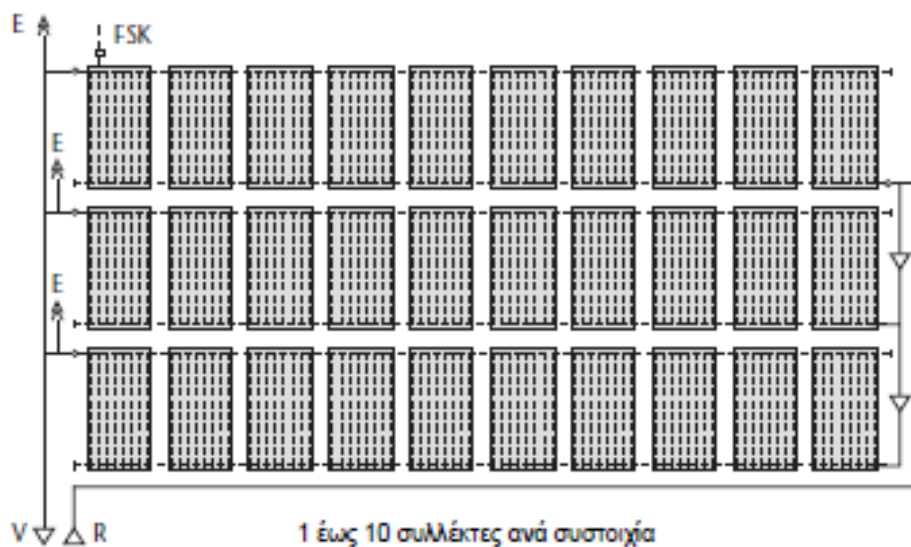


Σχήμα 4.11 : Σύνδεση σε σειρά 2 συστοιχιών συλλεκτών [28]

- **Παράλληλη σύνδεση**

Σε περίπτωση που έχουμε περισσότερους από 10 επίπεδους συλλέκτες ή 36 σωλήνες σε περίπτωση συλλεκτών κενού, απαιτείται παράλληλη σύνδεση των συστοιχιών. Στην παράλληλη σύνδεση οι συλλέκτες τοποθετούνται μεταξύ δύο σωλήνων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η εισαγωγή και η εξαγωγή του υγρού μεταφοράς της θερμότητας από τους συλλέκτες στο πάνω και στο κάτω μέρος και όλα τα τμήματα έχουν το ίδιο μήκος. Για να έχουμε σταθερή παροχή του υγρού μεταφοράς της θερμότητας στο δίκτυο, οι συλλέκτες πρέπει να έχουν την ίδια πτώση πίεσης. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι ότι η τιμή της παροχής θα πρέπει να είναι τριπλάσια της αντίστοιχης των σωλήνων εισόδου ή εξόδου του υγρού ενώ η διάμετρος του σωλήνα θα πρέπει να είναι όμοια σε όλο το μήκος.

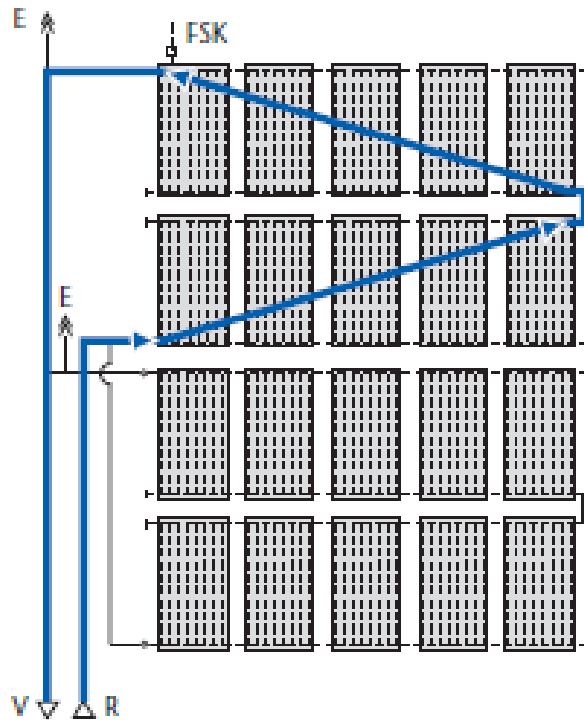
Αν κάνουμε την ίδια παραδοχή, όπως στη σύνδεση σε σειρά, και συνδεθούν οι ηλιακοί συλλέκτες παράλληλα η συστοιχία θα καταλαμβάνει έκταση  $4 \times 2,5 = 10 \text{m}^2$  και θα έχει παροχή  $4 \times 2,5 \times 40 = 400 \text{lt/h}$ . Το βασικό πλεονέκτημα της παράλληλης σύνδεσης είναι πως εξασφαλίζονται μεγάλες παροχές και πολύ μικρές απώλειες στο κύκλωμα των συλλεκτών.



Σχήμα 4.12: Παράλληλη σύνδεση ηλιακών συλλεκτών [28]

- **Μικτή Σύνδεση**

Σε αυτή την περίπτωση, η συστοιχία των συνδεόμενων ηλιακών συλλεκτών αποτελείται από έναν αριθμό συστοιχιών συνδεδεμένων παράλληλα μεταξύ τους. Κάθε μια από τις συστοιχίες αποτελείται από ένα μικρό αριθμό συλλεκτών συνδεδεμένων εν σειρά.



Σχήμα 4.13: Συνδυασμός σύνδεσης σε σειρά και παράλληλης σύνδεσης σε ένα πεδίο συλλεκτών (μικτή σύνδεση) [28]

Με τη μικτή σύνδεση εξασφαλίζεται ομοιομορφία παροχής σε κάθε συλλέκτη και χαμηλή πτώση πίεσης στο κύκλωμα ενώ ο κάθε κλάδος συλλεκτών θα πρέπει να απομονωθεί μέσω διακοπών για τη συνηθισμένη συντήρηση ή τυχόν επισκευές.

Η συνιστώμενη μέγιστη πτώση πίεσης σε μία συστοιχία επίπεδων συλλεκτών δίνεται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3: Μέγιστη πίεση σε συστοιχία επίπεδων ηλιακών συλλεκτών [25]

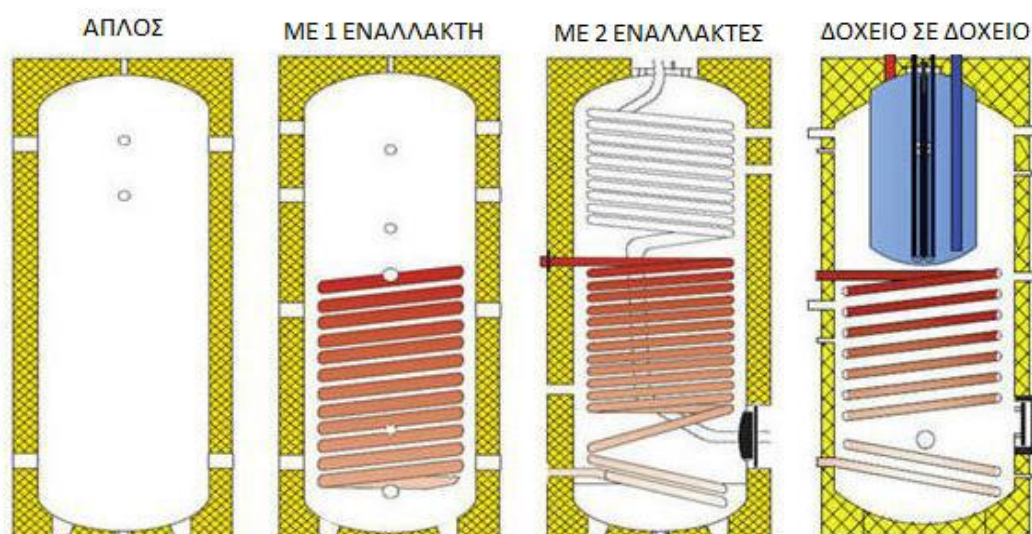
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ [m <sup>2</sup> ]	50	200	500	1000
ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ [kPa]	30	60	80	100

### 4.3 Συσσωρευτές ενέργειας-Δοχεία αποθήκευσης

Η θερμική ενέργεια που παράγεται σε μία ηλιοθερμική εγκατάσταση εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία όμως δεν είναι σταθερή και μεταβάλλεται με το χρόνο. Επίσης μεταβάλλονται και οι θερμικές ανάγκες και οι οποίες σπάνια συμπίπτουν χρονικά με την παραγόμενη ενέργεια. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό η ενέργεια που παράγεται από το ηλιοθερμικό σύστημα να μπορεί να αποθηκεύεται. Ο ειδικός χώρος αποθήκευσης που επιτρέπει την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας, με την ελάχιστη δυνατή απώλεια ενέργειας και τη διανομή της ανάλογα με τη ζήτηση αποτελεί το θερμοσυσσωρευτή της εγκατάστασης.

Οι πλέον διαδεδομένες δεξαμενές αποθήκευσης είναι οι θερμικές αποθήκες νερού ή αλλιώς boiler καθώς το νερό χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και σαν μέσο μεταφοράς της θερμότητας όσο και αποθήκευσης της.

Τα boiler που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις είναι θερμικά μονωμένα με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda \leq 0,035 \text{ W/m}$ , ενώ διακρίνονται για την αντοχή τους στο χρόνο. Είναι κατασκευασμένα από γαλβανισμένη λαμαρίνα και στο εσωτερικό τους συνήθως περιέχουν ένα ή περισσότερους εναλλάκτες θερμότητας ανάλογα με τη χρήση τους, (σχήμα 4.14).



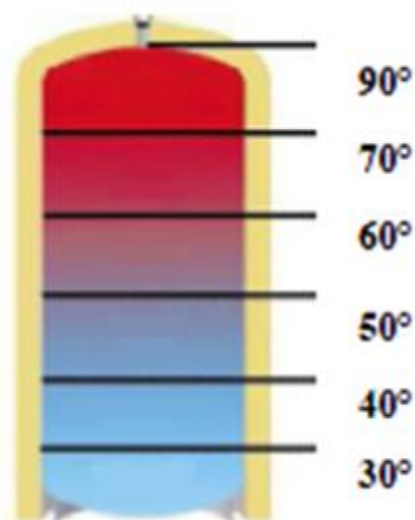
Σχήμα 4.14: Τύποι συσσωρευτών [25]

Οι θερμικές αποθήκες διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες :

- Αποθήκες ομοιόμορφης θερμοκρασίας
- Αποθήκες θερμικής διαστρωμάτωσης
- Αποθήκες μακροταμίευσης

Στις αποθήκες ομοιόμορφης θερμοκρασίας το νερό έχει την ίδια θερμοκρασία σε όλο τον όγκο του και όταν αποδίδεται θερμότητα στο νερό τότε η θερμοκρασία του αυξάνει ομοιόμορφα σε όλη την αποθήκη. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα παραγωγής κλειστού κυκλώματος για ζεστό νερό ή θέρμανση χώρων ενώ μειονέκτημα τους είναι ότι ενώ η απόδοση των ηλιακών συλλεκτών είναι υψηλή, η τελικά θερμοκρασία του νερού παραμένει χαμηλή.

Στο σύνολο των ηλιοθερμικών εγκαταστάσεων χρησιμοποιούνται αποθήκες θερμικής διαστρωμάτωσης. Το βασικό πλεονέκτημα της διαστρωμάτωσης είναι ότι επιτρέπει τη λήψη του ζεστού νερού κατανάλωσης από το ανώτερο τμήμα του συσσωρευτή. Το ζεστό νερό που εισέρχεται στην δεξαμενή δεν αναμιγνύεται με το κρύο το οποίο λόγω διαφορετικής πυκνότητας παραμένει στον πυθμένα. Το νερό που επιστρέφει στο συλλέκτη είναι πιο κρύο, και ως αποτέλεσμα η μεγάλη διαφορά μεταξύ των δυο θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου, οδηγεί σε μείωση της απόδοσης του συλλέκτη αλλά σε αύξηση της θερμοκρασίας του νερού.



Σχήμα 4.15: Διαστρωμάτωση θερμοκρασίας σε θερμική δεξαμενή [25]

Οι συσσωρευτές ενέργειας θερμικής διαστρωμάτωσης έχουν κυλινδρικό σχήμα με ιδανική αναλογία ύψους-διαμέτρου 2,5:1 και όγκο ικανό ώστε να μπορούν να καλύψουν 40-70 λίτρα νερού ανά άτομο την ημέρα. Θεωρώντας αμελητέες τις θερμικές απώλειες στο δίκτυο σωληνώσεων και του συσσωρευτή, τότε η ωφέλιμη θερμική ενέργεια του ηλιακού συλλέκτη  $Q$  προσδίδεται στο νερό του συσσωρευτή και ανυψώνει τη θερμοκρασία του κατά  $\Delta t_{\delta}$ .

Με το πέρασμα του χρόνου  $T$ , ο συσσωρευτής έχει πλέον ομοιόμορφη θερμοκρασία  $t_{\delta}$ , που υπολογίζεται από τη σχέση, [25]:

$$t_{\delta} = t_{\delta 0} + \frac{Q}{m_{\delta} \cdot c_{p\delta}} \quad (4.5)$$

Όπου,

$t_{\delta 0}$  [K]: η αρχική θερμοκρασία νερού του συσσωρευτή

$Q$  [kJ/μήνα]: ωφέλιμη θερμική ενέργεια επίπεδου συλλέκτη

$m_{\delta}$  [kg]: μάζα νερού συσσωρευτή

$c_{p\delta}$  [kJ/kg·K]: ειδική θερμότητα νερού συσσωρευτή,

#### 4.4 Εναλλάκτες θερμότητας [25]

Οι εναλλάκτες θερμότητας ορίζονται ως συσκευές, που έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν τη θερμική ενέργεια μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας. Η διάκριση τους γίνεται βάση της διαδικασίας μεταφοράς της θερμότητας, οπότε έχουμε

- τους εναλλάκτες άμεσης επαφής και
- τους εναλλάκτες έμμεσης επαφής

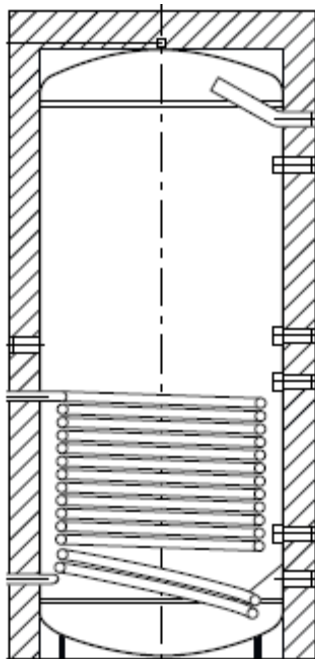
Στους εναλλάκτες άμεσης επαφής τα δύο ρευστά διαφορετικής φάσης έρχονται σε άμεση επαφή, ανταλλάσσουν θερμότητα και στη συνέχεια διαχωρίζονται και πάλι. Στη δεύτερη περίπτωση τα ρευστά παραμένουν χωρισμένα και η ανταλλαγή γίνεται μέσω μίας διαχωριστικής επιφανείας. Στους εναλλάκτες έμμεσης επαφής, η μετάδοση θερμότητας από το ζεστό στο κρύο ρευστό γίνεται με τρεις τρόπους:

- με μετάβαση(συναγωγή) από το ζεστό ρευστό στο τοίχωμα
- με αγωγή στο τοίχωμα
- με μετάβαση(συναγωγή) από το τοίχωμα στο ψυχρό ρευστό.

Στα ηλιοθερμικά συστήματα όπου το ρευστό των ηλιακών συλλεκτών είναι διαφορετικό από το ρευστό του συσσωρευτή (συστήματα κλειστού κυκλώματος), χρησιμοποιούνται οι εναλλάκτες θερμότητας έμμεσης επαφής. Ο σκοπός τους είναι

η μεταφορά της θερμικής ενέργειας του ζεστού ρευστού των συλλεκτών (υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης) στο κρύο ρευστό του συσσωρευτή (νερό).

Μία άλλη διάκριση γίνεται με βάση τη θέση τοποθέτησης τους, σε εσωτερικούς και εξωτερικούς. Ο εσωτερικός εναλλάκτης τοποθετείται μέσα στο συσσωρευτή και αποτελείται από σωλήνες χαλκού ή ανοξείδωτου χάλυβα.

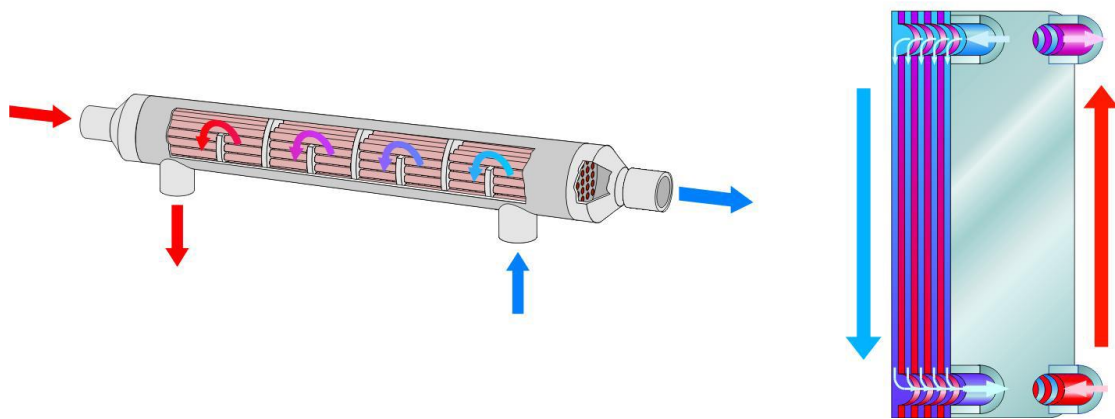


Σχήμα 4.16: Συσσωρευτής με εσωτερικό εναλλάκτη θερμότητας [28]

Η διαφορά θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του υδατικού διαλύματος του συλλέκτη στον εναλλάκτη, στους εσωτερικούς εναλλάκτες πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $10^{\circ}\text{C}$  περίπου από τη διαφορά θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού στο συσσωρευτή. Για μία τέτοια ενδεικνυόμενη διαφορά προτείνεται η επιφάνεια μεταφοράς της θερμότητας του εναλλάκτη να είναι  $A=0,1-0,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$  συλλέκτη.

Ο εξωτερικός εναλλάκτης εισάγεται ανάμεσα στη διάταξη των ηλιακών συλλεκτών και του συσσωρευτή. Τα ρευστά κινούνται εντός του με αντίθετη φορά δηλαδή είναι τύπου αναρροής. Χρησιμοποιούνται πλακοειδείς ή εναλλάκτες κελύφους σωλήνων, που κατασκευάζονται από χαλκό ή ανοξείδωτο χάλυβα και η κυκλοφορία των δύο ρευστών γίνεται με τη βοήθεια αντίστοιχων αντλιών.





Σχήμα 4.17: Πλακοειδής και εναλλάκτης κελύφους σωλήνων [25]

Αντίστοιχα, στους εξωτερικούς εναλλάκτες η διαφορά  $\Delta T$  των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του ρευστού μεταφοράς της θερμότητας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $5^{\circ}\text{C}$  από την αντίστοιχη θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του νερού στο συσσωρευτή.

#### 4.5 Σωληνώσεις Ηλιοθερμικού κυκλώματος

Ανάμεσα στους ηλιακούς συλλέκτες και το boiler αποθήκευσης, χρησιμοποιείται ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας, συνήθως ένα μίγμα νερού και αντιψυκτικών (προπυλενογλυκόλη), για τη μεταφορά της παραγόμενης από τους συλλέκτες θερμότητας.

Η μεταφορά του ειδικού μίγματος γίνεται με κατάλληλες σωληνώσεις συγκεκριμένων διαστάσεων, ώστε να μεταφέρουν την παραγόμενη ενέργεια. Οι σωλήνες πρέπει να είναι συμβατοί με το υδατικό διάλυμα των συλλεκτών και να παρουσιάζουν θερμική σταθερότητα για ένα εύρος θερμοκρασιών από  $-20^{\circ}\text{C}$  έως  $150^{\circ}\text{C}$ . Για τις ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις, προτείνονται σωλήνες από χαλκό, χάλυβα ή ανοξείδωτο χάλυβα ενώ αντίθετα οι γαλβανισμένοι σωλήνες δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται λόγω της χημικής αντίδρασης μεταξύ ψευδαργύρου και προπυλενογλυκόλης, αλλά και λόγω της χαμηλής αντοχής στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο κύκλωμα. Αναγκαίο είναι επίσης οι αντίστοιχες συνδέσεις μεταξύ των σωλήνων να αντέχουν στις πιέσεις και τη θερμοκρασία που αναπτύσσονται.

Η διαστασολόγηση της εσωτερικής διατομής των σωληνώσεων που εγκαθίστανται στο ηλιακό κύκλωμα γίνεται από τη σχέση,[25]:

$$D_i = \sqrt{\frac{4G_c \cdot A_c}{\pi \cdot \rho \cdot v}} \quad [\text{m}], \quad (4.6)$$

όπου,

$G_c$  [ $\text{kg/s} \cdot \text{m}^2$ ]: παροχή μάζας υδατικού διαλύματος ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας συλλέκτη, και παίρνει τιμές

$$G_c = 0,015 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2 \text{ για κανονική παροχή}$$

$$G_c = 0,005 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2 \text{ για μικρή παροχή}$$

$A_c$  [ $\text{m}^2$ ]: επιφάνεια συλλέκτη

$\rho$  [ $\text{kg/m}^3$ ]: πυκνότητα υδατικού διαλύματος ( $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ )

$v$  [ $\text{m/s}$ ]: ταχύτητα ροής υδατικού διαλύματος

Εναλλακτικά η εσωτερική διάμετρος μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τον παρακάτω πίνακα 4.4

Πίνακας 4.4: Εκτίμηση εσωτερικής διαμέτρου  $D_i$  (mm) [25]

Επιφάνεια συλλέκτη $A_c$ [ $\text{m}^2$ ]	ΟΛΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (m)					
	10	20	30	40	50	60
$\leq 5$	15	15	15	15	15	15
6-12	18	18	18	18	18	18
13-16	18	22	22	22	22	22
17-20	22	22	22	22	22	22
21-25	22	22	22	22	22	22
26-30	22	22	22	22	22	22

Η μόνωση των σωληνώσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη μεταφορά της θερμικής ενέργειας με όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες.

Για θερμομόνωση με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda=0,035$  W/m προτείνεται ως ελάχιστο πάχος μόνωσης, όπως δίνεται στον πίνακα 4.5:

Πίνακας 4.5: Ελάχιστο πάχος μόνωσης σε δίκτυα σωληνώσεων [25]

Εσωτερική διάμετρος σωλήνων $D_i$ (mm)	Ελάχιστο πάχος μόνωσης $\delta$ (mm)
$\leq 22$	20
22-35	30
36-100	$\delta=D_i$
$>100$	100

Στα εξωτερικά δίκτυα σωληνώσεων απαιτείται μόνωση με ανοξείδωτο χάλυβα ή φύλλα αλουμινίου ενώ δεν προτείνεται η χρήση γαλβανισμένου χάλυβα.

#### 4.6 Σύστημα αντλίας-Κυκλοφορητή [25]

Ο κυκλοφορητής είναι η αντλία, η οποία εξασφαλίζει την κυκλοφορία του υδατικού διαλύματος στο κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών. Η λειτουργία του, ξεκινάει όταν η θερμοκρασία του υδατικού διαλύματος στο πάνω μέρος των συλλεκτών, είναι μεγαλύτερη κατά ορισμένους βαθμούς από τη θερμοκρασία του νερού στο κάτω μέρος του συσσωρευτή ενέργειας. Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή και τη διαστασιολόγηση του κυκλοφορητή, γιατί αν η ισχύς του κυκλοφορητή είναι χαμηλή, υπάρχει περίπτωση δημιουργίας μεγάλων θερμικών απωλειών στο εσωτερικό του κυκλώματος του ηλιακού συλλέκτη και επομένως την πολύ χαμηλή απόδοσή του. Αντίθετα, μεγάλη ισχύς, προκαλεί άσκοπη κατανάλωση ενέργειας.

Ο κυκλοφορητής των ηλιοθερμικών συστημάτων πρέπει να καλύπτει τρία βασικά χαρακτηριστικά:

- Δυνατότητα λειτουργίας σε θερμοκρασίες 100-120 °C.
- Συμβατότητα με το υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης.
- Μεγάλη παροχή με μικρό μανομετρικό ύψος

Τα κυριότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του κυκλοφορητή, είναι η ηλεκτρική ισχύς, η παροχή και η πίεση στην έξοδο του κυκλοφορητή, που λέγεται και μανομετρικό ύψος.

Η πίεση που πρέπει να υπερβεί ο κυκλοφορητής είναι η συνολική πτώση πίεσης  $\Delta P_T$  του κυκλώματος των ηλιακών συλλεκτών, η οποία δίνεται από τη σχέση, [25]:

$$\Delta P_T = \Delta P_C + \Delta P_R + \Delta P \quad [4.7]$$

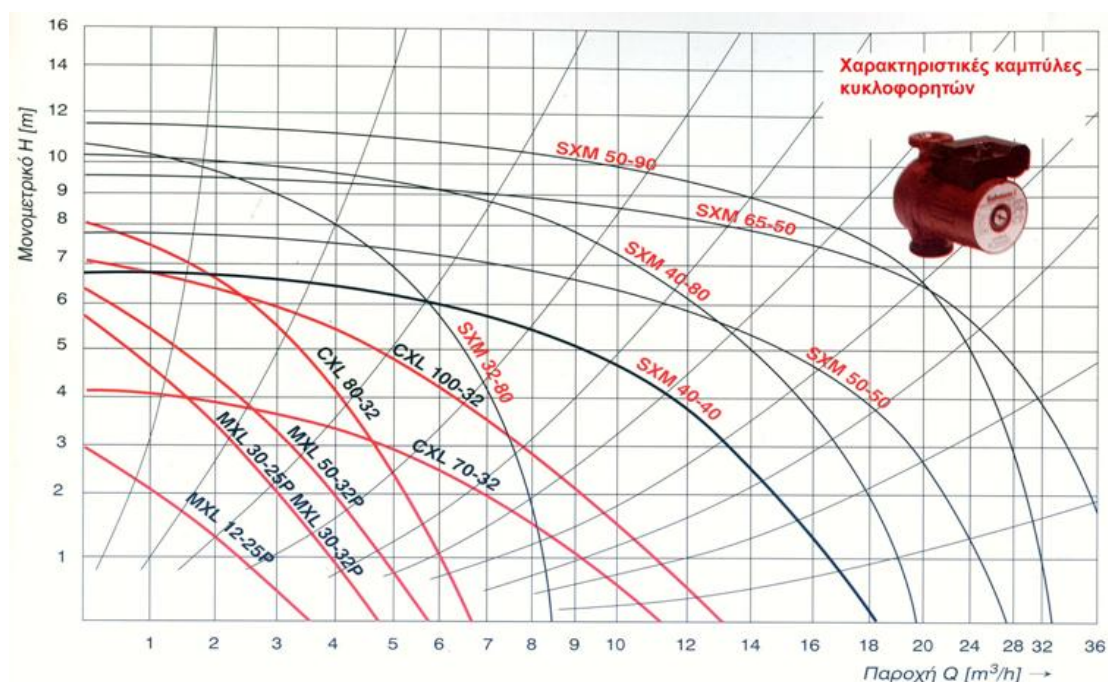
Όπου,

$\Delta P_C$  [mbar]: η πτώση πίεσης στους ηλιακούς συλλέκτες

$\Delta P_R$  [mbar]: η πτώση πίεσης στο δίκτυο των σωληνώσεων

$\Delta P$  [mbar]: η πτώση πίεσης στον εναλλάκτη θερμότητας

Η πτώση πίεσης  $\Delta P_C$  στους ηλιακούς συλλέκτες εξαρτάται από τη μέθοδο σύνδεσης και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Για την επιλογή κατάλληλου κυκλοφορητή πρέπει να σχεδιαστεί η χαρακτηριστική καμπύλη του κυκλώματος στο διάγραμμα μανομετρικού ύψους-παροχής, όπως του σχήματος 4.18:



Σχήμα 4.18: Χαρακτηριστικές καμπύλες κυκλοφορητών (fantakis.gr)

Επίσης πρέπει να έχει εκτιμηθεί ο όγκος νερού στις σωληνώσεις, έτσι ώστε μετά τον καθορισμό της διατομής και το σχεδιασμό του δικτύου, και σε συνδυασμό με τον όγκο νερού στους συλλέκτες, να γίνει ορθή επιλογή του όγκου γλυκόλης, που απαιτείται να προστεθεί στην εγκατάσταση.

Για τον υπολογισμό του όγκου νερού στην εγκατάσταση μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία του πίνακα 4.6:

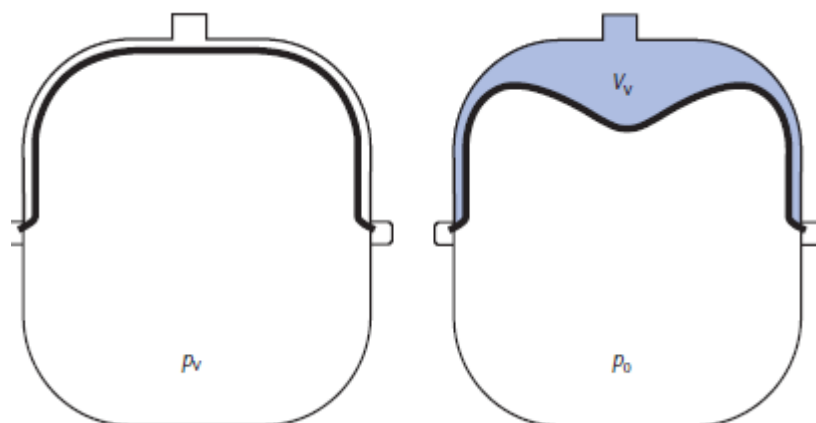
Πίνακας 4.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά χαλκοσωλήνων και όγκος πλήρωσης [25]

Ονομαστική διάμετρος σωλήνα	Εξωτερική διάμετρος $D_{\text{ext}}$ (mm)	Εσωτερική διάμετρος $D_i$ (mm)	Όγκος πλήρωσης (lt/m)
	10x1	8	0,050
	12x1	10	0,079
DN12	15x1	13	0,133
DN15	18x1	16	0,201
DN20	22x1	20	0,314
DN25	28x1,5	25	0,491

#### 4.7 Δοχείο διαστολής [25,28]

Το δοχείο διαστολής είναι ουσιαστικά ένα όργανο ασφαλείας της εγκατάστασης. Καθώς η θερμοκρασία του ρευστού διαλύματος της προπυλενογλυκόλης αυξάνεται από την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το κύκλωμα, αυξάνει ταυτόχρονα και ο όγκος του. Αν δεν υπάρχει μια διάταξη που να μπορεί να δεχτεί την αύξηση του όγκου του ρευστού, άρα και την αύξηση της πίεσης του που ασκείται στην εγκατάσταση, τότε θα επηρεαστεί η ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης. Αυτή η διάταξη είναι το δοχείο διαστολής και σκοπός του είναι να απορροφήσει τη διαστολή των υγρών ώστε να λειτουργήσει με ασφάλεια η ηλιοθερμική εγκατάσταση.

Το δοχείο διαστολής είναι ουσιαστικά ένα μεταλλικό δοχείο, σχήμα 4.19, που χωρίζεται σε δύο μέρη από μία ελαστική μεμβράνη η οποία χωρίζει το πάνω μέρος στο οποίο περιέχεται το υδατικό διάλυμα των συλλεκτών από το κάτω μέρος που περιέχει άζωτο, υπό αρχική πίεση.



Σχήμα 4.19: Αρχική πίεση και πίεση πλήρωσης ενός δοχείου διαστολής [28]

Πρέπει να προβλεφθεί ώστε το δοχείο διαστολής να έχει τον κατάλληλο όγκο για να δεχτεί τις θερμικές διαστολές από όλο το σύστημα.

Ο ελάχιστος όγκος του δοχείου υπολογίζεται από τη σχέση, [28]:

$$V_{\min} = V \cdot \frac{P_{\max} + 1}{P_{\max} - P_{\text{in}}} \quad (\text{lt}) \quad (4.8)$$

Όπου,

$V$  [lt] : ο χρήσιμος όγκος του δοχείου διαστολής

$P_{\max}$  [bar]: η μέγιστη πίεση λειτουργίας του συστήματος

$P_{\text{in}}$  [bar] : η αρχική πίεση του συστήματος

Η αρχική πίεση του συστήματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5 bar στο υψηλότερο

σημείο της εγκατάστασης, [28]:

$$P_{in} = (0,5 - 3) + P_{\Sigma} \quad [\text{bar}], \quad (4.9)$$

Όπου,

$P_{\Sigma}$  [bar]: η στατική πίεση του δοχείου διαστολής, [28]:

$$P_{\Sigma} = 0,1 \cdot h_{\Sigma}, \quad [\text{bar}], \quad (4.10)$$

$h_{\Sigma}$  [m]: το στατικό ύψος (κατακόρυφη απόσταση μεταξύ δοχείου διαστολής και υψηλότερου σημείου της εγκατάστασης)

Ο χρήσιμος όγκος του δοχείου διαστολής υπολογίζεται από τη σχέση, [28]:

$$V = V_c + 0,1 \cdot V_s, \quad [\text{lt}] \quad (4.11)$$

Όπου,

$V_c$  [lt] : ο όγκος πλήρωσης των ηλιακών συλλεκτών (από κατασκευαστή)

$V_s$  [lt] : ο όγκος πλήρωσης του συστήματος

$$V_s = V_c + V_p + V_E, \quad [\text{lt}] \quad (4.12)$$

Όπου,

$V_p$  [lt] : ο όγκος πλήρωσης του δικτύου σωληνώσεων (η τιμή του Πίνακα 4.4 πολλαπλασιάζεται με το μήκος L του δικτύου)

$V_E$  [lt]: ο όγκος πλήρωσης του εναλλάκτη θερμότητας (θα δίνεται από κατασκευαστή)

Η μέγιστη πίεση λειτουργίας του συστήματος πρέπει να είναι μικρότερη από 0,3 bar από την ονομαστική πίεση της βαλβίδας ασφαλείας, [28]:

$$P_{max} = P_{SS} - 0,3 \quad [\text{bar}] \quad (4.13)$$

Όπου,

$P_{SS}$  [bar]: η ονομαστική πίεση της βαλβίδας ασφαλείας, η οποία επιλέγεται από τον παρακάτω πίνακα 4.7 για  $P_{SS} > P_{in} + P_{\Sigma}$ ,

Πίνακας 4.7: Τιμές αρχικής πίεσης δοχείου διαστολής και ονομαστικής πίεσης βαλβίδας ασφαλείας [25]

Αρχική πίεση Δοχείου Διαστολής (bar)	1	1,5	3	6
Ονομαστική πίεση βαλβίδας ασφαλείας (bar)	2,5	4	6	10

Τα δοχεία διαστολής τοποθετούνται πριν τον κυκλοφορητή έτσι ώστε να μην δέχονται την πίεση του, έχουν τυποποιημένα μεγέθη (10lt , 12 lt, 18 lt, 25 lt, 33 lt, 50lt κλπ), και από τον ελάχιστο απαιτούμενο όγκο  $V_{min}$  επιλέγουμε δοχείο διαστολής με το ίδιο ή τον αμέσως μεγαλύτερο όγκο.

#### 4.8 Βαλβίδα ασφαλείας [25]

Η βαλβίδα ασφαλείας είναι επίσης ένα όργανο ασφαλείας το οποίο σε περίπτωση υπερπίεσης εκκενώνει μία ποσότητα ατμού από το κύκλωμα, ώστε η πίεση να επανέρχεται στο όριο ασφαλείας.



Σχήμα 4.20: Τυπική βαλβίδα εγκατάστασης [25]

Η βαλβίδα ασφαλείας λειτουργεί στην ονομαστική της πίεση και δεν δέχεται αλλαγή σε αυτήν.. Η ενδεδειγμένη θέση τοποθέτησης είναι μετά τον κυκλοφορητή στο σωλήνα προσαγωγής του υδατικού διαλύματος στο συλλέκτη. Σε περίπτωση εγκατάστασης συστοιχιών ηλιακών συλλεκτών σε παράλληλους κλάδους, προβλέπεται μία βαλβίδα για κάθε κλάδο και μία κεντρική βαλβίδα, που τοποθετείται σε χαμηλότερη θέση.

Η επιλογή της γίνεται από τον Πίνακα 4.7 και εξαρτάται από την αρχική πίεση  $P_{in}$  του συστήματος και τη στατική πίεση  $P_{\Sigma}$  ( $P_{SS} > P_{in} + P_{\Sigma}$ ).



Ο ρόλος της κεντρικής βαλβίδας είναι λόγω της μεγαλύτερης στατικής πίεσης που έχει, να λειτουργήσει πριν από τις άλλες. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις επιλέγεται βαλβίδα ασφαλείας ίσης με την ονομαστική πίεση  $P_{SS}$  αλλά εξαρτάται από την επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών όσον αφορά τη διάμετρο της σύμφωνα με τον πίνακα 4.8:

Πίνακας 4.8: Διάμετρος βαλβίδας ασφαλείας [25]

Διάμετρος βαλβίδας ασφαλείας (mm)	15	20	25	32	40
Επιφάνεια συλλεκτών(m <sup>2</sup> )	50	100	200	350	600

#### 4.9 Εξαεριστικό [25]

Όταν δεν υπάρχει υδατικό διάλυμα στους συλλέκτες, τότε το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών γεμίζει με αέρα. Το μεγαλύτερο ποσοστό του αέρα απομακρύνεται από το κύκλωμα μέσω ειδικών οργάνων, τα εξαεριστικά, κατά την εισαγωγή του υδατικού διαλύματος, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό απομακρύνεται σταδιακά στις υψηλές θερμοκρασίες που δημιουργούνται μέσω των εξαεριστικών είτε απορροφούνται από το διάλυμα.

Τοποθετούνται στο υψηλότερο σημείο του συστήματος ηλιοθερμίας και πρέπει να έχουν αντοχή σε βαθμούς θερμοκρασίας 200 °C, ενώ αν γίνει επιλογή για άλλο σημείο της εγκατάστασης πρέπει να αντέχουν σε θερμοκρασία 130 °C.

Οι φυσαλίδες αέρα που συγκεντρώνονται στα υψηλότερα σημεία του συστήματος πρέπει να απομακρύνονται καθώς δημιουργούν σημαντικά προβλήματα όπως μεγάλο θόρυβο, εμπόδια στην κυκλοφορία του διαλύματος, διάβρωση του δικτύου των σωληνώσεων, καταστροφή του υδατικού διαλύματος.

## 4.10 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ [27]

### 4.10.1 Θέρμανση νερού χρήσης

Το συνολικό θερμικό φορτίο για κάθε μήνα είναι άθροισμα της ενέργειας που απαιτείται για να αποκτήσει το νερό την επιθυμητή θερμοκρασία και των απωλειών του δικτύου. Δηλαδή, [27]:

$$L = Q_w + Q_p, \quad (4.14)$$

Το μέσο μηνιαίο φορτίο για θέρμανση νερού  $Q_w$  υπολογίζεται από τη σχέση, [27]:

$$Q_w = N \cdot V_w \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_w - T_m) \quad (4.15)$$

όπου,

- N : ο αριθμός των ημερών του μήνα
- $V_w$  : η μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού (lt)
- P : η πυκνότητα του νερού (1kg/lt)
- $C_p$  : η ειδική θερμότητα του νερού (4190 J/kg°C)
- $T_w$  : η θερμοκρασία του ζεστού νερού (°C)
- $T_m$  : η θερμοκρασία του κρύου νερού (°C)

Η συνολική κατανάλωση ζεστού νερού εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων που εξυπηρετεί αλλά και το είδος της εγκατάστασης. Έτσι, για κτίρια κατοικιών η μέση ημερήσια κατανάλωση κατά άτομο είναι από 50 έως 60 lt, για νοσοκομεία 100 έως 150 lt, ενώ για ξενοδοχεία κυμαίνεται σε εύρος από 60 έως 100 lt ανάλογα με την κατηγορία. Σε άλλες εφαρμογές, όπου δεν υπάρχει διανυκτέρευση, χρειάζονται μικρότερες ποσότητες ζεστού νερού. Σε γραφεία και σχολικά κτίρια απαιτούνται 5 με 6 lt κατά άτομο, ενώ σε κουζίνες 9 lt περίπου ανά γεύμα.

Στις περισσότερες εγκαταστάσεις η θερμοκρασία του ζεστού νερού χρήσης έχει εύρος από 40 έως 60 °C, ενώ για εφαρμογές που το δίκτυο είναι μεγάλο όπως για παράδειγμα σε νοσοκομεία και μεγάλα ξενοδοχεία επιλέγεται μεγαλύτερη θερμοκρασία (3-5°C), στους υπολογισμούς ώστε να καλύπτεται η πτώση θερμοκρασίας μέσα στο δίκτυο.

Η θερμοκρασία του κρύου νερού εξαρτάται από τον τρόπο και την πηγή που λαμβάνεται το νερό. Το νερό που προέρχεται από το δίκτυο της πόλης, έχει θερμοκρασία που εξαρτάται από τον τόπο και την εποχή του έτους.

Στον πίνακα 4.9 καταγράφονται κατά προσέγγιση οι μέσες θερμοκρασίες κρύου νερού για κάθε μήνα, με βάση το χωρισμό της χώρας σε ζώνες. Αν πρόκειται για νερό που αντλείται από φρέατα με συστήματα πίεσης, η θερμοκρασία του είναι σταθερή, ανεξαρτήτως εποχής, 15 έως 18 °C.

Πίνακας 4.9: Θερμοκρασία κρύου νερού σε υπόγεια δίκτυα [27]

ΖΩΝΗ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
1,2	12	12	14	16	19	22	24	24	22	19	16	14
3,4	10	10	12	15	19	21	24	24	22	19	15	12
5,6	8	8	10	13	17	19	22	22	20	17	13	10

Είναι απαραίτητο να υπολογισθούν οι απώλειες του δικτύου, καθώς μπορεί να φτάνουν και το 30% του συνολικού φορτίου σε μεγάλες εγκαταστάσεις. Σε τέτοια δίκτυα υπάρχει ανακυκλοφορία του νερού με κυκλοφορητή, λόγω της μεγάλης απόστασης δεξαμενής και υποδοχέων, ώστε να υπάρχει πάντα διαθέσιμο νερό. Οι απώλειες  $Q_p$  υπολογίζονται από τις σχέσεις, [27]:

$$Q_p = N \cdot t \cdot \Sigma(U_d \cdot l_d) \quad \text{ή} \quad Q_p = N \cdot t \cdot U_M \cdot L \quad (4.16)$$

όπου,

- N : ο αριθμός των ημερών του μήνα
- t : ο ημερήσιος χρόνος χρήσης του δικτύου (s)
- $U_d$  : ο συντελεστής απωλειών σωλήνα με διάμετρο d (W/m)
- $l_d$  : το μήκος σωλήνων με διάμετρο d (m)
- $U_M$  : ο μέσος συντελεστής απωλειών σωλήνα (W/m)
- L : το συνολικό μήκος σωλήνων (m)

Όταν δεν είναι γνωστές οι λεπτομέρειες του δικτύου υποθέτουμε ότι το δίκτυο αποτελείται από σωλήνες ενιαίας διαμέτρου, συνήθως 1<sub>1/4</sub>''.

Η λειτουργία του κτιρίου καθορίζει το χρόνο χρήσης του δικτύου που κυμαίνεται από 8 έως 24 ώρες. Οι απώλειες αυξάνουν ανάλογα με το χρόνο χρήσης όπως φαίνεται από τις δύο προηγούμενες σχέσεις. Επομένως οι απώλειες μπορούν να μειωθούν σημαντικά, αν χρησιμοποιηθεί χρονοδιακόπτης στον κυκλοφορητή.

Επίσης το μήκος του δικτύου σωληνώσεων επηρεάζει τις απώλειες, οπότε πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε το μήκος των σωληνώσεων να είναι το μικρότερο δυνατό. Άλλος τρόπος ελάττωσης των απωλειών είναι να χρησιμοποιηθούν σωλήνες μονωμένοι. Στον πίνακα 4.10, δίνονται οι απώλειες σωλήνων γυμνών και μονωμένων.

Ο συντελεστής  $U_d$  είναι το γινόμενο των τιμών του πίνακα και της διαφοράς θερμοκρασίας σωλήνων και περιβάλλοντος.

Πίνακας 4.10: Απώλειες σωλήνων σε δίκτυα ζεστού νερού [27]

Διατομή σωλήνων (in)	Συντελεστής απωλειών ανά βαθμό Κελσίου (W/m <sup>0</sup> C)	
	Σωλήνες γυμνοί	Σωλήνες μονωμένοι (μόνωση 13 mm)
1/2''	0,66	0,37
3/4''	0,81	0,42
1''	0,98	0,49
1 1/4''	1,20	0,57
1 1/2''	1,34	0,62
2''	1,62	0,73
2 1/2''	1,99	0,87
3''	2,28	0,98
4''	2,84	1,21

#### 4.10.2 Θέρμανση χώρων

Το συνολικό φορτίο για θέρμανση χώρων υπολογίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο των βαθμοημερών ως εξής, [27]:

$$L_w = 24 \cdot 3600 \cdot (UA)_b \cdot D \cdot f_e \quad (4.17)$$

όπου,

- (UA)<sub>b</sub> : το γινόμενο του μέσου συντελεστή θερμικής διαπερατότητας επί την επιφάνεια του κτιρίου (W/°C)
- D : ο αριθμός των βαθμοημερών του μήνα (°C)
- f<sub>e</sub> : ο συντελεστής εξοικονόμησης ενέργειας

Ως βαθμοημέρες ορίζεται η διαφορά της θερμοκρασίας αναφοράς, η οποία λαμβάνεται συνήθως 18°C, και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος της συγκεκριμένης ημέρας. Ο αριθμός βαθμοημερών του μήνα ισούται με το άθροισμα των βαθμοημερών όλων των ημερών του μήνα.

Ο συντελεστής εξοικονόμησης ενέργειας εξαρτάται από το είδος του κτιρίου και το χρόνο λειτουργίας της διάταξης. Είναι ίσος με 0,7 για λειτουργία 8 ωρών, 0,85 για λειτουργία 16 ωρών και με 1 για συνεχή λειτουργία. Το γινόμενο 24·3600 στην παραπάνω σχέση χρησιμοποιείται για να προκύψουν οι τιμές του θερμικού φορτίου σε Joules.

### 4.10.3 Θέρμανση νερού κολυμβητηρίου

Στα ανοικτά κολυμβητήρια οι θερμικές απώλειες προκύπτουν από την εξάτμιση του νερού, συναγωγή και ακτινοβολία. Στους υπολογισμούς δεν λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες προς το έδαφος λόγω αγωγιμότητας, οι οποίες είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθούν. Ακόμα, σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τις απώλειες λόγω συναγωγής και εξάτμισης είναι η επιφανειακή ταχύτητα  $u$  του αέρα στην κολυμβητική δεξαμενή. Για αυτό το λόγο προτείνεται η κατασκευή κολυμβητηρίων σε υπήνεμες περιοχές ή έστω με την τοποθέτηση κατάλληλων ανεμοφρακτών κοντά σε αυτή, ώστε να μειώνεται η επιφανειακή ταχύτητα του αέρα.

Επίσης, για τη μείωση των θερμικών απωλειών εξάτμισης και συναγωγής ενδείκνυται η τοποθέτηση ενός καλύμματος όταν το κολυμβητήριο δεν χρησιμοποιείται. Συνήθως, τα καλύμματα είναι από μαύρο PVC και η χρήση και τοποθέτηση τους γίνεται αυτόματα ή και χειροκίνητα όταν σταματήσει η χρήση της δεξαμενής.

Το συνολικό φορτίο για τη θέρμανση κολυμβητικής δεξαμενής δίνεται από τη σχέση, [25]:

$$L = A \cdot [N \cdot (Q_c + Q_R + Q_E) - 0,8 \cdot H] \quad , \text{ (kJ/μήνα)} \quad (4.18)$$

Όπου,

$A$  : η επιφάνεια της δεξαμενής ( $m^2$ )

$N$  : ο αριθμός των ημερών του μήνα

$Q_c$  : οι θερμικές απώλειες λόγω συναγωγής, ( $kJ/m^2/ημέρα$ )

$Q_R$  : οι θερμικές απώλειες λόγω ακτινοβολίας, ( $kJ/m^2/ημέρα$ )

$Q_E$  : οι θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης, ( $kJ/m^2/ημέρα$ )

$H$  : η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της δεξαμενής ( $kJ/m^2/μήνα$ )

Ο υπολογισμός των παραπάνω θερμικών απωλειών γίνεται από τους τύπους, [25]:

Θερμικές απώλειες λόγω συναγωγής:

$$Q_c = (490 + 66 \cdot u) \cdot (T - T_a) \quad , \text{ (kJ/m}^2\text{/ημέρα)} \quad (4.19)$$

Θερμικές απώλειες λόγω ακτινοβολίας:

$$Q_R = 5450 + [350 + 2,4 \cdot (T + T_a)] \cdot (T - T_a) \quad , \text{ (kJ/m}^2\text{/ημέρα)} \quad (4.20)$$

Θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης:

$$Q_E = f_t \cdot (790 + 530 \cdot u) \cdot (p_s - p_u) \quad , \text{ (kJ/m}^2\text{/ημέρα)} \quad (4.21)$$

όπου,

$T$  : η θερμοκρασία νερού της δεξαμενής (24-26 °C) , (°C)

$T_a$  : η μέση θερμοκρασία του μήνα

$f_T$  : το ποσοστό κάλυψης της δεξαμενής,  $f_T = 1$  , για δεξαμενή χωρίς κάλυμμα

$f_T = 0,5$  , για νυχτερινή κάλυψη

$p_s$  : πίεση υδρατμών για θερμοκρασία  $T$  , (mbar)

$$\text{όπου, } p_s = 70 \cdot [e^{(0.053 \cdot T - 2)} - 0.05] , \quad (4.22)$$

$p_u$  : η μέση πίεση υδρατμών αέρα, (mbar)

#### 4.11 Υπολογισμός Θερμικής Απόδοσης [25,27]

##### Λεπτομερείς και προσεγγιστικές μέθοδοι

Ο υπολογισμός της απόδοσης ενός συστήματος είναι αναγκαίος, προκειμένου να γίνει σωστή εκτίμηση του μεγέθους της εγκατάστασης και υπολογισμός των οικονομικών στοιχείων. Υπάρχουν δύο κατηγορίες μεθόδων για το σκοπό αυτό.

Η πρώτη κατηγορία προσομοιώνει το σύστημα με ένα μαθηματικό μοντέλο, όπου ομάδες εξισώσεων αναπαριστούν ένα τμήμα του συστήματος και όλες μαζί καλύπτουν ολόκληρο το σύστημα. Με τη βοήθεια υπολογιστή εισάγονται διάφορες τιμές παραμέτρων και επιλύονται αυτές οι εξισώσεις για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Απαιτούνται λεπτομερή, μετεωρολογικά δεδομένα και υπολογισμός των ωριαίων θερμικών φορτίων. Έτσι μπορεί να γίνει πρόβλεψη της απόδοσης σε βάθος χρόνου, ενώ μπορούν να προκύψουν συμπληρωματικές πληροφορίες, χρήσιμες για το σχεδιασμό της εγκατάστασης. Ωστόσο οι λεπτομερείς μέθοδοι είναι χρονοβόρες και δαπανηρές στην ανάπτυξη και εφαρμογή, για αυτό είναι κατάλληλες για πρωτότυπες εγκαταστάσεις ή μεγάλες εγκαταστάσεις που δικαιολογούν το κόστος εφαρμογής.

Η δεύτερη κατηγορία είναι οι προσεγγιστικές μέθοδοι, και δεν απαιτεί χρήση υπολογιστή. Αυτές χρησιμοποιούν μέσες τιμές μετεωρολογικών δεδομένων, συνήθως μέσες ημερήσιες τιμές για κάθε μήνα, μέσα μηνιαία φορτία και διάφορες εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό της απόδοσης. Οι προσεγγιστικές μέθοδοι είναι επαρκείς για το σχεδιασμό των συνηθισμένων ηλιακών εγκαταστάσεων και προτιμούνται σε αυτήν την περίπτωση ακόμα και αν είναι διαθέσιμα ακριβή μετεωρολογικά δεδομένα. Η προσεγγιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι η μέθοδος των καμπύλων  $f$  και είναι η περισσότερο αποδεκτή για τα ηλιακά συστήματα

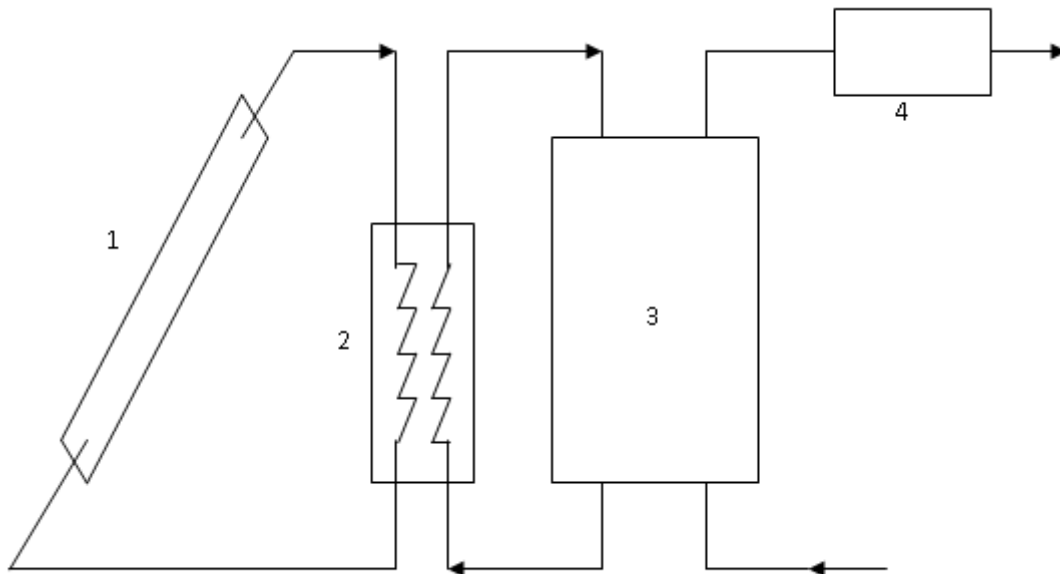
##### Μέθοδος καμπυλών $f$

Η μέθοδος καμπυλών  $f$  αναπτύχθηκε από τους Αμερικανούς Klein, Beckman και Duffie και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα με μικρές αποκλίσεις από αυτά που υπολογίζονται με τη λεπτομερή μέθοδο. Χρησιμοποιείται τόσο για συστήματα θέρμανσης χώρου όσο και για συστήματα παραγωγής ζεστού νερού. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για συστήματα θέρμανσης χώρου συγχρόνως με την παραγωγή ζεστού νερού.

Οι υπολογισμοί με τη μέθοδο  $f$  είναι αρκετά ακριβείς, καθώς η απόκλιση της σε σχέση με το λεπτομερή υπολογισμό για το ετήσιο ποσοστό κάλυψης από τον ήλιο του ολικού φορτίου, είναι περίπου 2%. Σε σχέση με πραγματικά στοιχεία απόδοσης ηλιακών εγκαταστάσεων σε οικίες η απόκλιση είναι περίπου 8%. Η σπουδαιότητα της μεθόδου είναι σαφής, καθώς εξοικονομεί χρόνο και χρήμα, σε σχέση με τη λεπτομερή μέθοδο, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις περιπτώσεις που δεν

υπάρχουν ωριαία μετεωρολογικά στοιχεία για ένα τόπο. Η μέθοδος αφορά στον καθορισμό του ποσοστού του ολικού φορτίου που καλύπτεται από τον ήλιο, μέσω των καμπυλών  $f$ .

Στο σχήμα 4.21 φαίνεται το διάγραμμα εγκατάστασης αποκλειστικά παραγωγής ζεστού νερού. Η δεξαμενή 3 μπορεί να προθερμαίνει το νερό και να το διοχετεύει σε δεύτερη δεξαμενή.

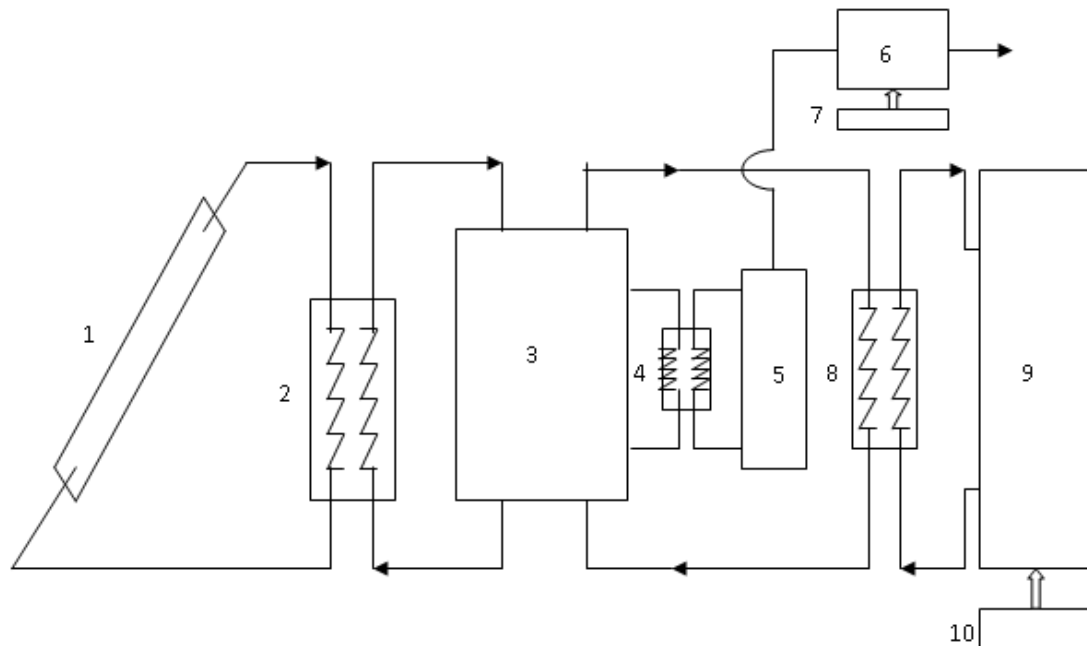


1. Συλλεκτική επιφάνεια
2. Εναλλάκτης θερμότητας συλλέκτη-δεξαμενής
3. Δεξαμενή αποθήκευσης
4. Βοηθητική ενέργεια

Σχήμα 4.21 : Διάταξη παραγωγής αποκλειστικά ζεστού νερού [27]



Το σχήμα 4.22 δείχνει το γενικό διάγραμμα εγκατάστασης θέρμανσης χώρου και παράλληλα θέρμανσης νερού. Εναλλακτικά μπορεί να μην υπάρχει δεξαμενή προθέρμανσης του νερού, οπότε ο εναλλάκτης 4 συνδέεται απευθείας με τη δεξαμενή ζεστού νερού. Όταν εξυπηρετείται μόνο το φορτίο θέρμανσης δεν υπάρχουν τα στοιχεία εγκατάστασης 4,5,6 και 7. Ο εναλλάκτης 8 δεν υπάρχει όταν η θέρμανση του χώρου γίνεται με ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης.



1. Συλλεκτική επιφάνεια
2. Εναλλάκτης συλλέκτη-δεξαμενής
3. Δεξαμενή αποθήκευσης
4. Εναλλάκτης θερμότητας υγρού-υγρού
5. Δεξαμενή προθέρμανσης νερού
6. Δεξαμενή ζεστού νερού
7. Βοηθητική ενέργεια ζεστού νερού
8. Εναλλάκτης θερμότητας φορτίου

Σχήμα 4.2 : Διάταξη παραγωγής ζεστού νερού και υποβοήθησης θέρμανσης [27]

Για την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να ισχύουν ορισμένες προϋποθέσεις, οι οποίες συνοψίζονται στα εξής σημεία:

- Η μέθοδος ισχύει για επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες.
- Η δεξαμενή πρέπει να βρίσκεται εντός του κτιρίου και οι απώλειες της συνεισφέρουν στην κάλυψη του φορτίου, αν πρόκειται για θέρμανση χώρου.
- Η μέθοδος δεν ισχύει για παθητικά συστήματα

- Αφορά γεωγραφικά πλάτη μέχρι 60°
- Η βοηθητική πηγή ενέργειας με συμβατικά καύσιμο, όπως πετρέλαιο και ηλεκτρισμός παρέχει ενέργεια, όταν εξαντληθεί η ενέργεια της δεξαμενής ή όταν το θερμικό φορτίο είναι μεγαλύτερο από αυτό που δίνει το ηλιακό σύστημα και βρίσκεται εκτός δεξαμενής.
- Το ρευστό στους συλλέκτες κυκλοφορεί, μόνο όταν υπάρχει θετικό κέρδος ηλιακής ενέργειας. Για το λόγο αυτό, ο κυκλοφορητής συνδέεται με διαφορικό θερμοστάτη.

Για να προσδιοριστεί το ποσοστό  $f$  που καλύπτεται από τον ήλιο, είναι απαραίτητο να υπολογιστούν οι αδιάστατοι συντελεστές  $X$  και  $Y$ . Ο συντελεστής  $X$  είναι το ηλιακό των απωλειών του συλλέκτη προς το ολικό θερμικό φορτίο του μήνα. Ο συντελεστής  $Y$  είναι ο λόγος της ολικής ενέργειας που απορροφάται από τη συλλεκτική επιφάνεια προς το ολικό φορτίο του μήνα. Οι δύο συντελεστές δίνονται από τις σχέσεις, [27]:

$$X = F_R \cdot U_L \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R}\right) \cdot (T_{ref} - T_a) \cdot \Delta t \left(\frac{AC}{Q}\right) \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (4.23)$$

$$Y = F_R \cdot (\tau\alpha)_\eta \cdot \left(\frac{F'_R}{F_R}\right) \cdot \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_\eta} \cdot H_T \left(\frac{AC}{Q}\right) \cdot K_4 \quad (4.24)$$

όπου,

- $A_C$  : η συνολική συλλεκτική επιφάνεια ( $m^2$ )  
 $F_R$  : ο συντελεστής θερμικής απολαβής συλλέκτη  
 $F'_R$  : ο συντελεστής θερμικής απολαβής συνδυασμού συλλέκτη εναλλάκτη  
 $U_L$  : ο συντελεστής θερμικών απωλειών συλλέκτη ( $J/^\circ C m^2$ )  
 $\Delta t$  : η χρονική περίοδος κάθε μήνα (s)  
 $T_{ref}$  : η θερμοκρασία αναφοράς ( $100^\circ C$ )  
 $T_a$  : η μέση ημερήσια θερμοκρασία των ωρών της ημέρας για κάθε μήνα ( $^\circ C$ )  
 $Q$  : το θερμικό φορτίο για κάθε μήνα  
 $H_T$  : ολική ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη για κάθε μήνα ( $J/m^2$ )  
 $(\tau\alpha)$  : μέση τιμή του γινομένου διαπερατότητας τζαμιού και απορροφητικότητας  
 $(\tau\alpha)_\eta$  : το ίδιο γινόμενο, αλλά για καθέτως προσπίπτουσα ακτινοβολία  
 $K_2$  : ο συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής  
 $K_3$  : ο συντελεστής ζεστού νερού  
 $K_4$  : ο συντελεστής εναλλάκτη θερμότητας φορτίου

Τα γινόμενα  $F_R U_L$  και  $F_R(\tau\alpha)_\eta$  προκύπτουν από την καμπύλη απόδοση του συλλέκτη. Το πηλίκο  $(F_R'/F_R)$  που ονομάζεται διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη-εναλλάκτη έχει συνήθως τιμές μεγαλύτερες από 0,90. Μια λογική τιμή είναι 0,95. Η ολική ακτινοβολία στο επίπεδο της συλλεκτικής επιφάνειας για κάθε μήνα  $S$  προκύπτει από τη μέση ημερήσια ακτινοβολία  $H_C$  πολλαπλασιάζοντας με τον αριθμό ημερών του μήνα.

### Συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής.

Ο συντελεστής  $K_2$  προσδιορίζεται από τη σχέση, [27]:

$$K_2 = \left(\frac{75}{V}\right)^{0,25} \quad (4.25)$$

όπου,

$V$  : η χωρητικότητα της κύριας δεξαμενής σε  $l/m^2$  συλλεκτικής επιφάνειας

Η αύξηση της χωρητικότητας της δεξαμενής βελτιώνει ελαφρά την ετήσια απόδοση του συστήματος. Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος της δεξαμενής η βέλτιστη χωρητικότητα είναι από 50 έως 200 λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας.

**Συντελεστής ζεστού νερού.** Ο συντελεστής  $K_3$  είναι ίσος με 1 για συστήματα θέρμανσης χώρου και για συστήματα συνδυασμένης λειτουργίας με την προϋπόθεση ότι το φορτίο του νερού είναι μικρό ποσοστό του συνολικού φορτίου. Για συστήματα αποκλειστικά παραγωγής ζεστού νερού δίνεται από τη σχέση, [27]:

$$K_3 = \frac{(11,6 + 1,18T_w + 3,86T_m - 2,32T_a)}{(100 - T_a)}, \quad (4.26)$$

όπου,

$T_w$  : η επιθυμητή θερμοκρασία του ζεστού νερού

$T_m$  : η μέση θερμοκρασία του κρύου για κάθε μήνα

$T_a$  : η μέση ημερήσια θερμοκρασία για κάθε μήνα

### Συντελεστής εναλλάκτη θερμότητας φορτίου.

Το μέγεθος του εναλλάκτη φορτίου χαρακτηρίζεται από την αδιάστατη παράμετρο  $\epsilon C_{min}/(UA)$ , όπου  $\epsilon$  είναι ο συντελεστής απόδοσης του εναλλάκτη,  $C_{min}$  είναι η μικρότερη από τις δύο θερμοχωρητικότητες του ρευστού και  $(UA)$  είναι το γινόμενο του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας του εναλλάκτη με την επιφάνεια μεταφοράς του εναλλάκτη. Όταν μειώνεται το μέγεθος του εναλλάκτη απαιτούνται

μεγαλύτερες θερμοκρασίες στη δεξαμενή και στους συλλέκτες, με αποτέλεσμα της μείωσης της απόδοσης. Ο συντελεστής  $K_4$  υπολογίζεται από τη σχέση, [27]:

$$K_4 = 0,39 + 0,65 \cdot e^{-\frac{0,139 \cdot U \cdot A}{\varepsilon \cdot C_{\min}}} \quad (4.27)$$

Όπου,

$\varepsilon$  : απόδοση του εναλλάκτη

$C_{\min}$  : η μικρότερη θερμοχωρητικότητα του ρευστού (συνήθως αέρα) σε W/K

$U$  : ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του εναλλάκτη σε W/m<sup>2</sup>·K

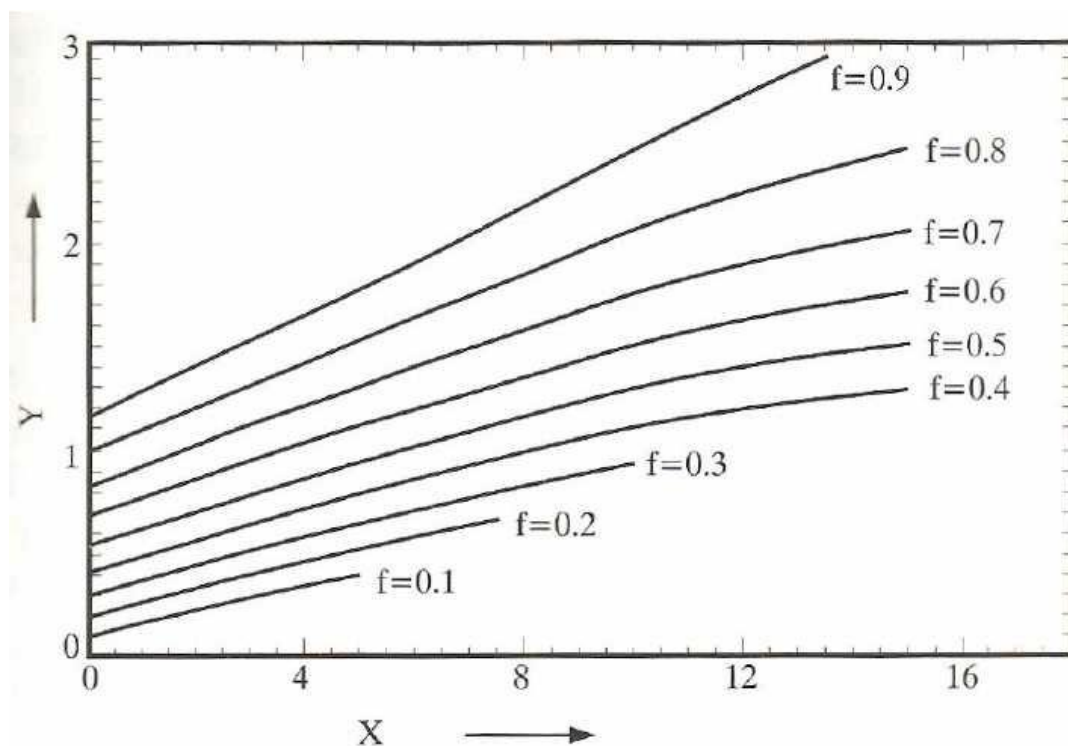
$A$  : η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας του εναλλάκτη σε m<sup>2</sup>

Ο συντελεστής  $K_4$  ισούται με 1 στην περίπτωση που δεν υπάρχει εναλλάκτης φορτίου, όπως στο ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης.

Αφού προσδιοριστούν οι συντελεστές  $X$  και  $Y$  για κάθε μήνα υπολογίζεται το ποσοστό  $f$  του φορτίου που καλύπτεται από τον ήλιο, από το διάγραμμα του σχήματος 4.23 ή από τη συσχέτιση, [27]:

$$f = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215Y^3 \quad (4.28)$$

για  $0 < X < 18$  και  $0 < Y < 3$ .



Σχήμα 4.23: Διάγραμμα καμπύλων  $f$  [34]

Στη συνέχεια υπολογίζεται το ετήσιο ποσοστό F ως εξής, [27]:

$$F = \frac{Q_{\Omega n}}{Q} \quad (4.29)$$

όπου,

$Q_{\Omega n}$  : το φορτίο που παράγεται από τον ηλιακό σύστημα για κάθε μήνα σε MJ/μήνα

$Q$  : το θερμικό φορτίο κάθε μήνα σε MJ/μήνα

Έπειτα σχεδιάζεται η καμπύλη της ετήσιας κάλυψης σε συνάρτηση με τη συλλεκτική επιφάνεια. Δηλαδή οι συντελεστές X και Y δεν υπολογίζονται μόνο για μια τιμή της συλλεκτικής επιφάνειας αλλά για περισσότερες, ώστε να γίνει η τελική επιλογή του μεγέθους βάσει των οικονομικών δεδομένων.

#### 4.12 Επιλογή μεγέθους ηλιοθερμικής εγκατάστασης

Μετά τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων, επιλέγεται το μέγεθος της ηλιοθερμικής εγκατάστασης. Η κάλυψη των αναγκών είναι το σημαντικότερο στοιχείο στην επιλογή του μεγέθους.

Μικρή κάλυψη έχουμε όταν το ποσοστό είναι 10-30% της κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων από το ηλιοθερμικό σύστημα, μεσαία κάλυψη για ποσοστό 30-50% και μεγάλη κάλυψη όταν το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο από 60%. Η πιο συνήθης κάλυψη είναι η μεσαία, η οποία ταυτόχρονα αποτελεί και την πιο προσοδοφόρα επένδυση και είναι η πλέον διαδεδομένη σε κατοικίες.

Η επιλογή του ηλιοθερμικού συστήματος γίνεται ανάλογα με το αν απαιτείται μόνο παραγωγή ζεστού νερού χρήσης ή παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και υποστήριξη στη θέρμανση.

Με τη βοήθεια της τεχνολογίας και ειδικά προγραμμάτων προσημείωσης, για μία εγκατάσταση σε ιδανικές συνθήκες τοποθέτησης (νότος, κλίση≈30°) ενδεικτικά είναι δυνατή η χρήση των παρακάτω υπολογιστικών Πινάκων 4.11 και 4.12 :

Πίνακας 4.11 [27]

<b>ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ</b>	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ	0,5-0,8m <sup>2</sup> ανά άτομο
ΔΟΧΕΙΟ	60-70lt/m <sup>2</sup> επιφάνειας συλλέκτη

Πίνακας 4.12 [27]

<b>ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ</b>	
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ	1,5-2,0m <sup>2</sup> / MWh ετήσιας θέρμανσης κτιρίου 15-20% της θερμαινόμενης επιφάνειας
ΔΟΧΕΙΟ	60-100lt/m <sup>2</sup> συλλέκτη



## 5. ΗΛΙΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

### 5.1 Εγκατάσταση Ηλιοθερμικού Συστήματος

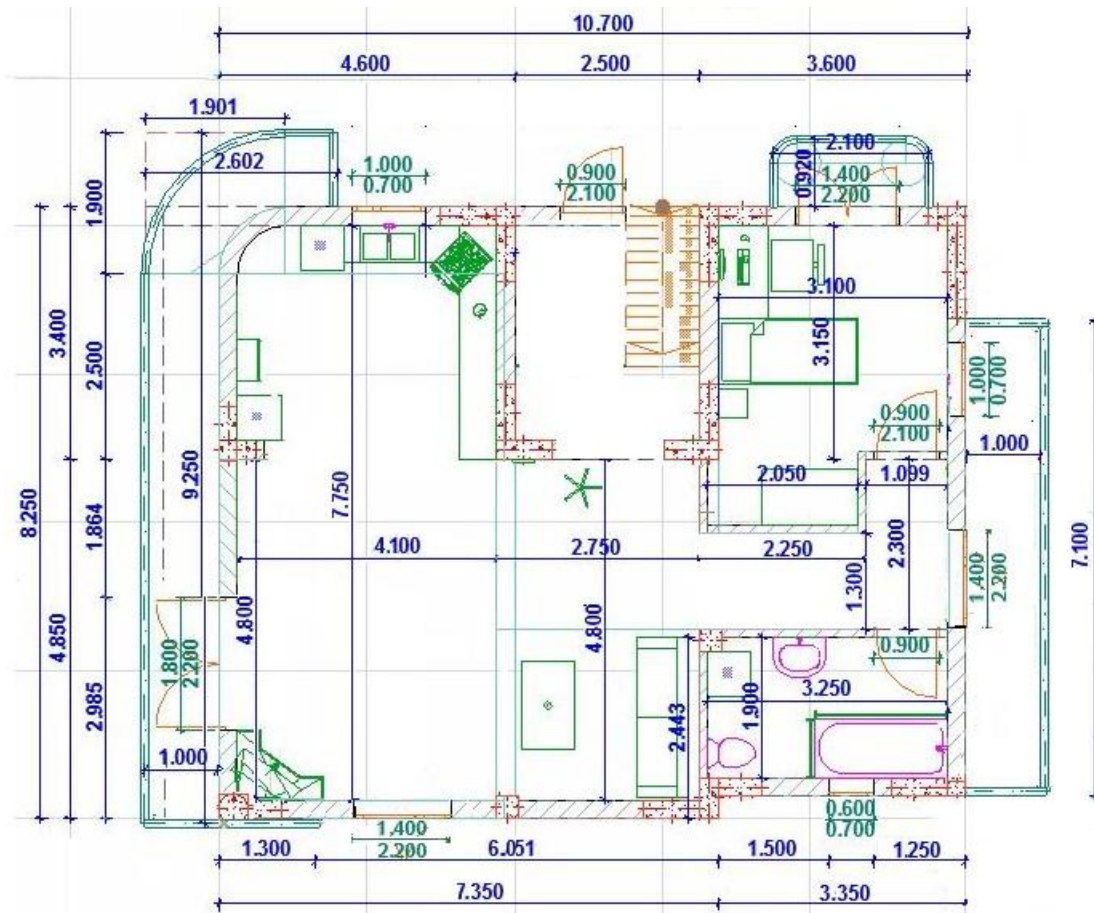
Παρουσιάζεται η εγκατάσταση ενός ηλιοθερμικού συστήματος με συσσωρευτή ενέργειας για να καλύψει τις ανάγκες σε ζεστό νερό χρήσης και υποβοήθηση της θέρμανσης σε κατοικία που βρίσκεται στην περιοχή της Γλυφάδας.

Η κατοικία αντιπροσωπεύει τη μέση ελληνική ανεξάρτητη κατοικία. Ο σχεδιασμός είναι όσο το δυνατόν πιο απλός με τυπικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά (τοίχοι από τούβλα, δάπεδα-οροφές-υποστυλώματα και δοκοί από οπλισμένο σκυρόδεμα).

Το κτίριο αποτελείται από 2 επίπεδα: ισόγειο-1ος όροφος, και καταλαμβάνει συνολική επιφάνειά  $170\text{m}^2$ . Τα ανοίγματα του κτιρίου (θύρες, παράθυρα) καλύπτουν περίπου  $30\text{m}^2$  της συνολικής παράπλευρης επιφάνειας η οποία είναι  $244,72\text{m}^2$ . Η θερμαινόμενη επιφάνεια της κατοικίας καταλαμβάνει έκταση  $147,45\text{m}^2$ .

Οι επιφάνειες του κτιρίου αναλυτικά και λεπτομέρειες για τα ανοίγματα του κάθε ορόφου παρουσιάζονται αναλυτικά στα σχέδια που ακολουθούν.



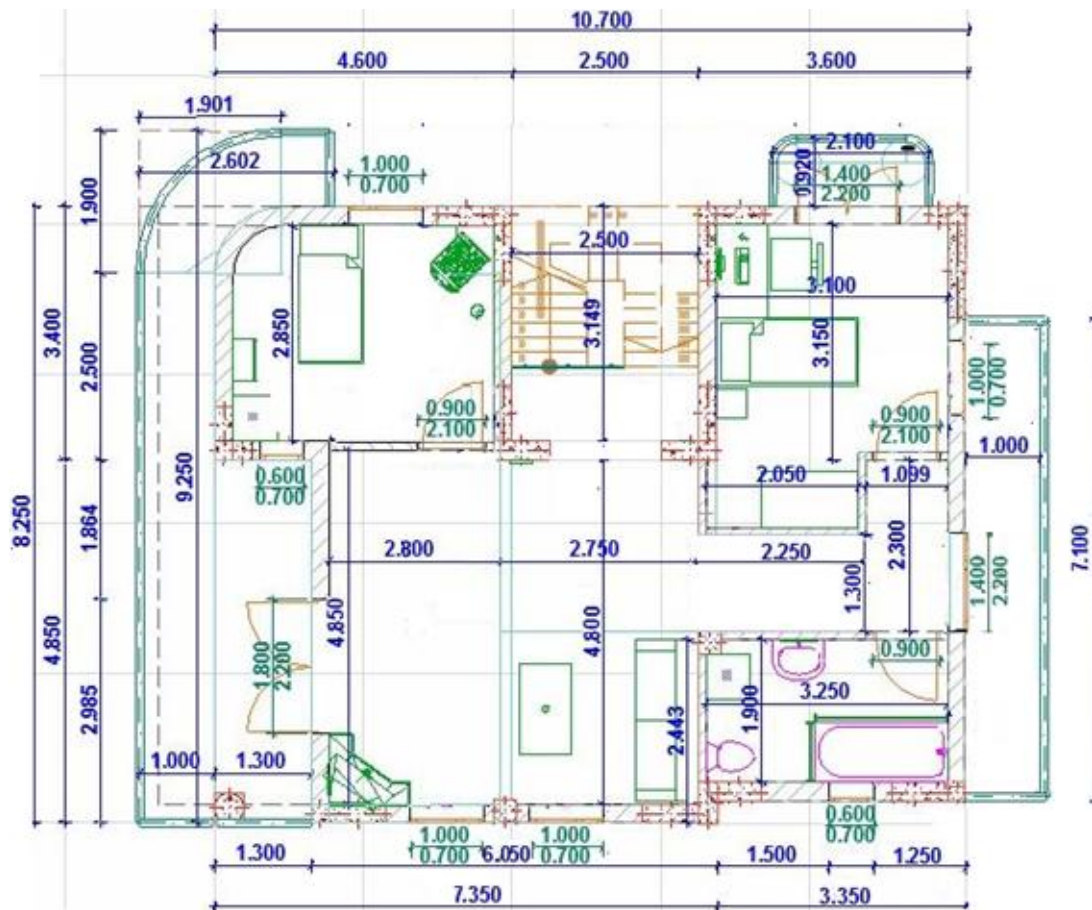


Σχήμα 5.1: Κάτοψη ισογείου

Το ισόγειο της κατοικίας καταλαμβάνει συνολική επιφάνεια  $88,28\text{m}^2$  ενώ η θερμαινόμενη επιφάνεια του είναι  $76,89\text{m}^2$ .

Τα ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία είναι συνολικά  $17\text{m}^2$  ενώ το σύνολο της παράπλευρης επιφάνειας καταλαμβάνει έκταση  $122,36\text{m}^2$ .

Αντίστοιχα, ο 1<sup>ος</sup> όροφος καταλαμβάνει συνολική επιφάνεια  $82\text{m}^2$  ενώ η θερμαινόμενη επιφάνεια είναι  $70,57\text{m}^2$  ενώ τα συνολικά ανοίγματα είναι  $13,76\text{m}^2$ .



Σχήμα 5.2: Κάτοψη 1<sup>ου</sup> ορόφου.

Στην κατοικία έγινε η εγκατάσταση του ηλιοθερμικού συστήματος υποβοήθησης θέρμανσης το οποίο αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, το σύστημα ελέγχου, το συσσωρευτή ενέργειας, τους κυκλοφορητές, το δίκτυο σωληνώσεων και τα επιμέρους περιφερειακά εξαρτήματα.

Οι επιμέρους απαιτήσεις του ηλιοθερμικού συστήματος έγιναν με την προσομοίωση του συστήματος σε λογισμικό Polysun της εταιρίας Vela Solaris αλλά και σύμφωνα με τα τεχνικά εγχειρίδια των εταιριών Buderus και Rotex.

## Ηλιακοί Συλλέκτες

Οι ηλιακοί συλλέκτες που εγκαταστάθηκαν στην κατοικία είναι της εταιρίας ROTEX και συγκεκριμένα το μοντέλο SOLARIS V26. Συγκεκριμένα για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του κτιρίου και σύμφωνα με το πρόγραμμα προσομοίωσης POLYSUN επιλέχθηκαν 6 συλλέκτες συνολικής επιφάνειας 15,60m<sup>2</sup> οι οποίοι τοποθετήθηκαν με νότιο προσανατολισμό με κλίση 45°.



Σχήμα 5.3: Συλλέκτης SOARIS V26

Οι συλλέκτες SOLARIS V26 ανήκουν στη νέα γενιά ηλιακών συλλεκτών που προσφέρουν απορρόφηση της άμεσης και έμμεσης ακτινοβολίας, ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών, μεγαλύτερη οικονομία και καλύτερη απόδοση, είναι επιλεκτικοί συλλέκτες με ειδική επίστρωση τιτανίου.

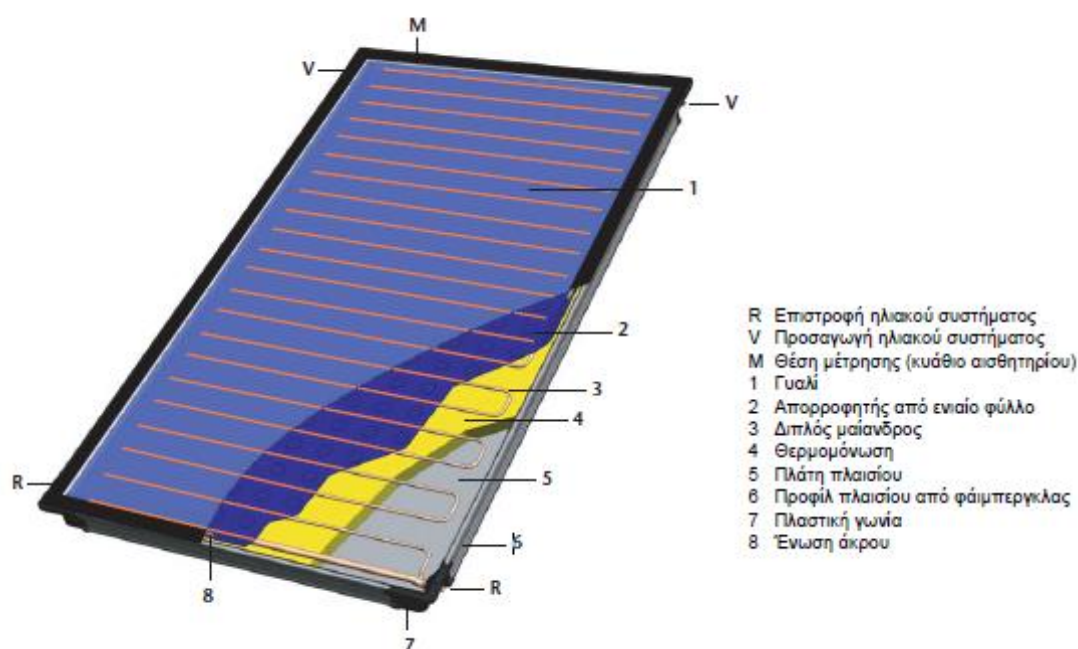
Επιγραμματικά τα πλεονεκτήματα τους είναι η υψηλή απόδοση σε συνδυασμό με τη μεγάλη διάρκεια ζωής και η σχετικά γρήγορη εγκατάστασή τους.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1:

Πίνακας 5.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη ROTEX SOLARIS [30]

Διαστάσεις	mm	1300 x 85 x 2000
Συνολική επιφάνεια	m <sup>2</sup>	2,60
Καθαρή επιφάνεια	m <sup>2</sup>	2,35
Απορροφητική επιφάνεια	m <sup>2</sup>	2,36
Βάρος	kg	42
Περιεχόμενο σε νερό	lt	1,7
Απορροφητής	Στοιχεία χαλκοσωλήνων συγκολλημένα σε σχήμα άρπας με συγκολλημένο φύλλο αλουμινίου υψηλής επιλεκτικότητας	
Κάλυμμα	Miro Therm [μέγ. βαθμός απορρόφησης 96%, βαθμός αντανάκλασης 5%+ - 2%]	
Κρύσταλλο	Κρύσταλλο ασφαλείας, Μετάδοση περ.92%	
Μόνωση	Πετροβάμβακας 50mm	
Μέγιστη πίεση σε παροχή 100l/h	3,0 mbar	
Εύρος γωνίας κλίσης σε στέγη ή σε κεραμοσκεπή	15° – 80°	
Εύρος γωνίας κλίσης κατασκευής εντός στέγης	15° – 80	
Μέγιστη θερμοκρασία αναμονής	περίπου 200°C	
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας	περίπου 120 °C	
Μέγιστη πίεση λειτουργίας	6 bar	

Οι ηλιακοί συλλέκτες SOLARIS μπορούν να παραμείνουν χωρίς προβλήματα σε κατάσταση αναμονής για μεγάλο χρονικό διάστημα και είναι ελεγμένοι έναντι θερμικών σοκ.



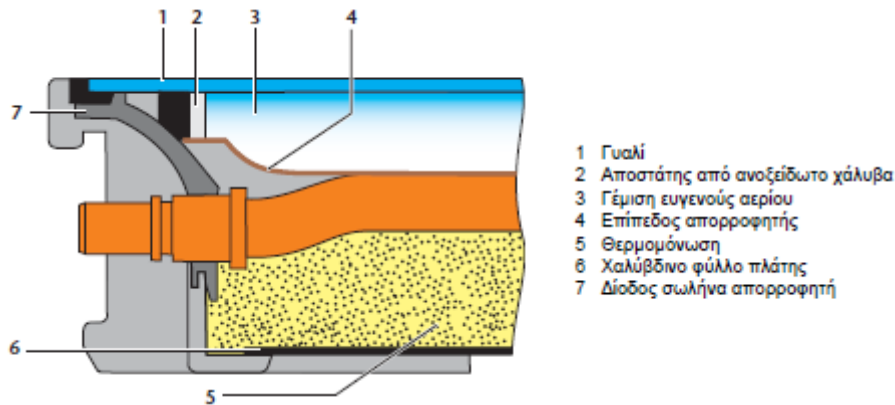
Σχήμα 5.4: Δομή επίπεδου συλλέκτη V26 [30]

Το περίβλημα του ηλιακού συλλέκτη αποτελείται από ένα ελαφρύ και σταθερό προφίλ πλαισίου από fiberglass. Για την πλάτη χρησιμοποιείται φύλλο χάλυβα πάχους 0,6mm επιστρωμένο με κράμα από αλουμίνιο- ψευδάργυρο. Ο συλλέκτης καλύπτεται με μονό τζάμι ασφαλείας πάχους 3,2mm. Το χυτό, ελαφρά διαμορφωμένο γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο διαθέτει υψηλή διαπερατότητα (φωτοδιαπερατότητα 92 %) και είναι εξαιρετικά ανθεκτικό.

Η μόνωση με πετροβάμβακα πάχους 50mm προσφέρει πολύ καλή θερμομόνωση και υψηλή αποδοτικότητα. Είναι ανθεκτικός σε υψηλή θερμοκρασία και δεν παρατηρείται έκλυση αερίων.

Ο αποδοτικός επίπεδος απορροφητής από χαλκό διαθέτει μία υψηλής επιλεκτικότητας επιστρωση υπό συνθήκες κενού αέρα. Ο διπλός μαϊανδρος είναι συγκολλημένος με υπερήχους με τον απορροφητή για την εξασφάλιση της καλύτερης δυνατής μετάδοσης της θερμότητας.

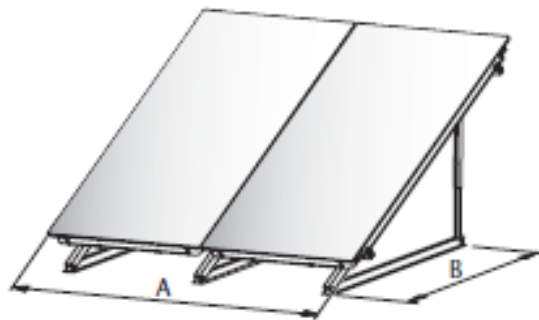




Σχήμα 5.5: Τομή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη SOLARIS [30]

Η σύνδεση των 6 συλλεκτών έγινε σε 2 συστοιχίες των 3 συλλεκτών λόγω περιορισμένου χώρου στην ταράτσα της κατοικίας. Οι ανάγκες συνολικά σε εμβαδόν προκύπτουν από το μέγεθος συνολικά των συλλεκτών που θα τοποθετηθούν καθώς και από τον αναγκαίο χώρο για τη διέλευση των σωληνώσεων οι οποίες δεσμεύουν απόσταση 0,5m στις πλευρές αριστερά και δεξιά του πεδίου των συλλεκτών.

Επιπρόσθετα απαιτείται ελάχιστη απόσταση 1m από την άκρη της ταράτσας προκειμένου να είναι εφικτή η πρόσβαση στο πεδίο συλλεκτών, για συντήρηση και το πεδίο των συλλεκτών να μην εκτίθενται σε ισχυρούς ανέμους που αναπτύσσονται στην περιοχή των γωνιών περιμετρικά της σκεπής.



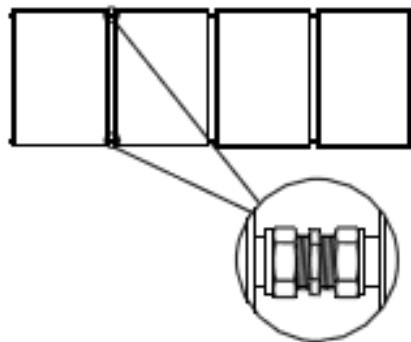
Σχήμα 5.6: Διαστάσεις σύνδεσης συστοιχίας [28]

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή για τη σύνδεση των συλλεκτών σε σειρά για την κάθε συστοιχία των 3 συλλεκτών, απαιτείται ελάχιστη απόσταση  $A=4,20m$ , ενώ  $B=1,50m$ , όπως αυτές δίνονται από το σχήμα 5.6, για την κλίση των  $45^\circ$ .



Σχήμα 5.7: Σύνδεση συστοιχίας ηλιακών συλλεκτών

Η σύνδεση των ηλιακών μεταξύ τους έγινε με υδραυλικά ρακόρ όπως προβλέπεται από το τεχνικό εγχειρίδιο του κατασκευαστή.



Σχήμα 5.8: Σχηματική απεικόνιση σύνδεσης ρακόρ.[28]

Τα ρακόρ είναι μαστοί κωνικού τύπου με μεταλλική φλάντζα και επιτρέπουν τη σύνδεση δυο ή περισσότερων συλλεκτών σε συστοιχία, ενώνοντας μεταξύ τους τα άνω μέρη και τα κάτω μέρη των συλλεκτών. Με αυτό τον τρόπο, οι συλλέκτες συνδέονται υδραυλικά μεταξύ τους εν παραλλήλω, όπως φαίνεται από το σχήμα 5.9 και από το σχήμα 5.10.



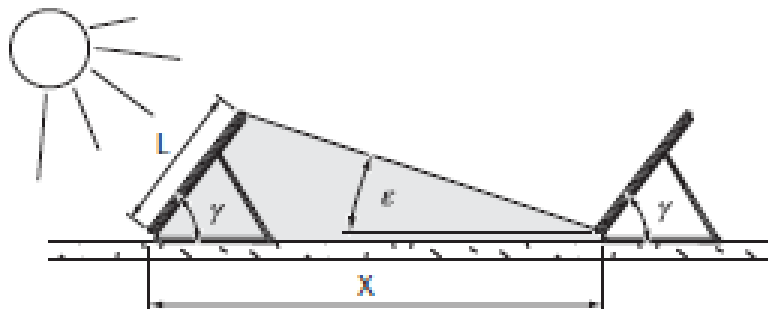
Σχήμα 5.9: Σύνδεση με ρακόρ 2 διαδοχικών συλλεκτών





Σχήμα 5.10 :Τελική σύνδεση συλλεκτών

Ακολούθως υπολογίστηκε η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των συστοιχιών για την αποτροπή σκίασης των σειρών συλλεκτών που βρίσκονται η μια πίσω από την άλλη σύμφωνα με το σχήμα 5.11 με βάση το εγχειρίδιο του κατασκευαστή.



Σχήμα 5.11: Ελεύθερη ελάχιστη απόσταση των συστοιχιών συλλεκτών [29]

Η ελάχιστη απόσταση υπολογίστηκε από τη σχέση, [28] :

$$X = L \cdot \cos\gamma + \frac{\sin\gamma}{\tan\varepsilon} \quad (5.1)$$

όπου,

L: μήκος των ηλιακών συλλεκτών, (m)

γ: γωνία κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο

ε: ελάχιστη θέση ήλιου ως προς το οριζόντιο επίπεδο χωρίς σκίαση

Οπότε για τα δεδομένα της Αθήνας για κλίση  $\gamma=45^\circ$  και  $\varepsilon=28,5^\circ$  προκύπτει ελάχιστη απόσταση  $X=4,2\text{m}$ .

Οι συλλέκτες συνδέθηκαν μεταξύ τους στις βάσεις στήριξης, σχήμα 5.12 και 5.13, και στερεώθηκαν στη στέγη της κατοικίας έτσι ώστε να μην επηρεάζονται από ανέμους



Σχήμα 5.12 : Βάση στήριξης συλλεκτών



Σχήμα 5.13: Τελική όψη βάσης στήριξης

#### **Υδραυλικό σετ σύνδεσης ηλιακού συστήματος (pump station)**

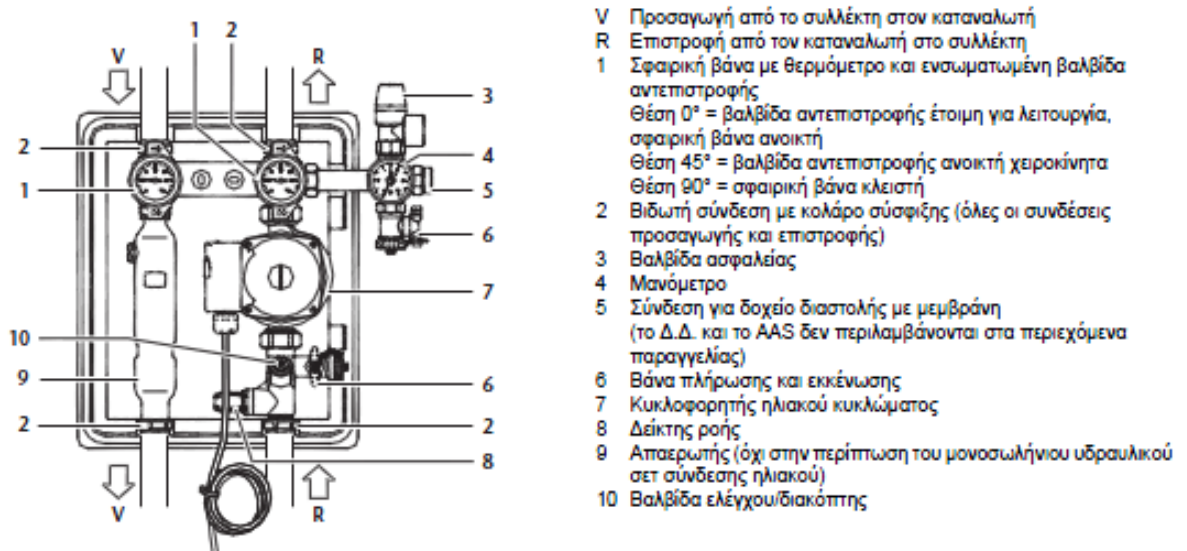
Πρόκειται για προσυναρμολογημένο και ελεγμένο σύστημα ελέγχου της εγκατάστασης. Στο εγκατεστημένο ηλιοθερμικό σύστημα της κατοικίας επιλέχθηκε το μοντέλο LOGASOL KS με ενσωματωμένο διαφορικό θερμοστάτη της εταιρίας BUDERUS το οποίο εξασφαλίζει την κυκλοφορία του υδατικού διαλύματος στο κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών και ανάλογα με τις θερμοκρασίες των συλλεκτών και του συσσωρευτή, καθώς και άλλα δεδομένα της εγκατάστασης, αποφασίζει την ταχύτητα λειτουργίας του κυκλοφορητή ελέγχοντας την παροχή ροής, ώστε να βελτιστοποιηθεί το αποτέλεσμα μεταφοράς της ενέργειας.

Το σετ LOGASOL, σχήμα 5.14, περιλαμβάνει τον κυκλοφορητή, τον ηλεκτρονικό διαφορικό θερμοστάτη και διάφορα υδραυλικά μέρη σύνδεσης.



Σχήμα 5.14 : Κυκλοφορητής πριν την εγκατάσταση.

Η δομή και η σχηματική απεικόνιση του υδραυλικού σετ LOGASOL φαίνονται στο σχήμα 5.15



Σχήμα 5.15: Σχηματική απεικόνιση LOGASOL [29]

Ενώ τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δίνονται στον πίνακα 5.2:

Πίνακας 5.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά LOGASOL [29]

Διαστάσεις περιβλήματος (mm)	Ύψος H Πλάτος B Βάθος T	355 290 235
Διαστάσεις (mm)	A C E	130 80 50
Διάσταση σύνδεσης χαλκοσωλήνων Βιδωτή σύνδεση με ρακόρ	Προσαγωγή /επιστροφή (mm)	15 x1
Σύνδεση δοχείου διαστολής	in	3/4"
Βαλβίδα ασφαλείας	bar	6
Κυκλοφορητής	Τύπος	Grundfos Solar 15-40
	Μήκος Κατασκευής( mm)	130
Τροφοδοσία τάση ρεύματος V AC		230
Συχνότητα Hz		50
Μέγ. κατανάλωση ισχύος W		60
Μέγ. ένταση ρεύματος A		0.25
Περιοχή ρύθμισης περιοριστή ροής l/min		0,5-6



Σχήμα 5.16: Εγκατεστημένο σετ

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η τελική σύνδεση του υδραυλικού σετ ελέγχου του συστήματος σε σύνδεση με το δοχείο διαστολής της εγκατάστασης.



Σχήμα 5.17: Εγκατεστημένο σετ κυκλοφορητή



## Ηλεκτρονικός διαφορικός θερμοστάτης

Ο διαφορικός θερμοστάτης που εγκαταστάθηκε περιλαμβάνεται στο σετ του υδραυλικού συστήματος LOGASOL, (σχήμα 5.18). Ο διαφορικός θερμοστάτης ηλιακού Logamatic SC10 παρακολουθεί στην αυτόματη λειτουργία αν το μπόιλερ μπορεί να φορτιστεί με ηλιακή ενέργεια.

Για το σκοπό αυτό, το σύστημα ελέγχου συγκρίνει τη θερμοκρασία συλλέκτη, μέσω ενός αισθητήρα, και τη θερμοκρασία στο κάτω μέρος του μπόιλερ. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι αρκετή, δηλαδή όταν γίνεται υπέρβαση της ρυθμισμένης διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ συλλέκτη και μπόιλερ, ο κυκλοφορητής στο ηλιακό κύκλωμα ενεργοποιείται και το μπόιλερ φορτίζεται.



Σχήμα 5.18: Διαφορικός θερμοστάτης εγκατάστασης (ενσωματωμένος στο σετ LOGASOL)

Τα χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες του εγκατεστημένου διαφορικού θερμοστάτη LOGAMATIC είναι:

- Αυτόνομος αυτοματισμός ηλιακών εγκαταστάσεων με ρύθμιση διαφοράς θερμοκρασίας για απλές ηλιακές εγκαταστάσεις
- Απλός χειρισμός και έλεγχος λειτουργίας της διάταξης διαφορικού θερμοστάτη με δύο εισόδους αισθητήρων και μία έξοδο σύνδεσης
- Αυτοματισμός για επίτοιχη τοποθέτηση, ένδειξη λειτουργίας και θερμοκρασίας μέσω ψηφιακής οθόνης LCD
- Χρήση σε κύκλωμα παράκαμψης δοχείου αδράνειας σε ηλιακές εγκαταστάσεις υποστήριξης θέρμανσης. Με βάση τη σύγκριση της

θερμοκρασίας, η ροή του νερού κατευθύνεται είτε στο δοχείο αδρανείας, είτε στην επιστροφή της θέρμανσης

Η επιθυμητή διαφορά θερμοκρασίας μπορεί να ρυθμιστεί ανάμεσα σε 4K και 20K (εργοστασιακή ρύθμιση 10K). Με την υπέρβαση της ρυθμισμένης διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στο συλλέκτη (αισθητήρας FSK) και το κάτω μέρος του μπόιλερ (αισθητήρας FSS), ο κυκλοφορητής ενεργοποιείται.

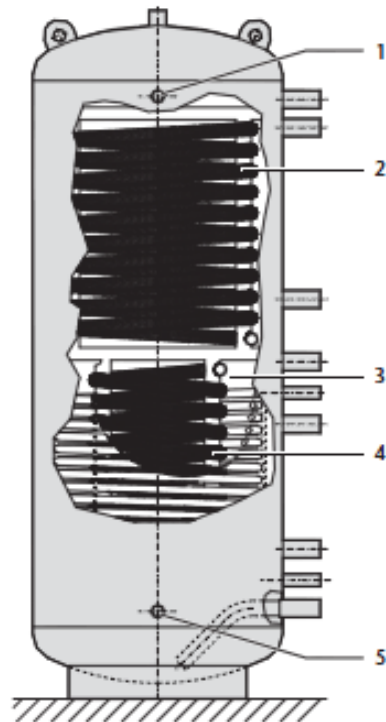
Όταν η διαφορά θερμοκρασίας πέσει κάτω από τη ρυθμισμένη τιμή, ο αυτοματισμός απενεργοποιεί τον κυκλοφορητή. Επιπρόσθετα, υπάρχει η δυνατότητα ορισμού μιας μέγιστης θερμοκρασίας μπόιλερ μεταξύ 20 °C και 90 °C (εργοστασιακή ρύθμιση 60 °C). Όταν το μπόιλερ φτάσει στη ρυθμισμένη μέγιστη θερμοκρασία (αισθητήρας FSS), ο αυτοματισμός απενεργοποιεί τον κυκλοφορητή.

### **Δοχείο αποθήκευσης εγκατάστασης**

Το δοχείο αποθήκευσης που εγκαταστάθηκε για την ηλιοθερμική διάταξη υποβοήθησης θέρμανσης είναι της εταιρίας CHAUFFE και συγκεκριμένα το μοντέλο Combi BLS1-C 1000, του οποίου η σχηματική διάταξη δίνεται στο σχήμα 5.19.

Τα θερμοδοχεία συνδυασμένης λειτουργίας είναι σχεδιασμένα για την παρασκευή ζεστού νερού χρήσης σε συνδυασμό με ηλιακή υποστήριξη της θέρμανσης. Χάρη στις μικρές τους διαστάσεις, επιτυγχάνουν μια καλή σχέση εξωτερικής επιφάνειας-όγκου, γεγονός που ελαχιστοποιεί τις απώλειες στο μπόιλερ. Όλα τα μπόιλερ συνδυασμένης λειτουργίας Chauffe διαθέτουν ένα θερμομονωτικό μανδύα πάχους 100mm από μαλακό αφρό πολουρεθάνης χωρίς χλωροφθοράνθρακες. Επιπλέον, στα πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγεται και το ότι διαθέτουν ένα απλό υδραυλικό σύστημα με λίγα μηχανικά μέρη.





Υπόμνημα εικόνας

- 1 Έξοδος ζεστού νερού
- 2 Εύκαμπτος σωλήνας σπύραλ από ανοξείδωτο χάλυβα
- 3 Στοιχείο δοχείου αδράνειας
- 4 Ηλιακός εναλλάκτης θερμότητας
- 5 Είσοδος κρύου νερού

Σχήμα 5.19: Σχηματική απεικόνιση δοχείου [31]

Όπως φαίνεται από τη σχηματική απεικόνιση του θερμοδοχείου, στο εσωτερικό του υπάρχει ένας εύκαμπτος σωλήνας (σπύραλ) από ανοξείδωτο χάλυβα ο οποίος έχει στο επάνω τμήμα μια ιδιαίτερα μεγάλη επιφάνεια, έτσι ώστε να εξασφαλίζει υψηλή απόδοση ζεστού νερού. Οι διαστάσεις του κάτω μέρους είναι τέτοιες που να εξασφαλίζουν την καλή ψύξη του δοχείου με το κρύο νερό. Με αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιείται η απόδοση ηλιακής ενέργειας.

Αν δεν επαρκεί η ηλιακή ενέργεια, το δοχείο μπορεί να θερμανθεί συμπληρωματικά με συμβατικό λέβητα πετρελαίου είτε με τη συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση που τοποθετείται από ηλεκτρολόγο.

Η θερμοκρασία του νερού στο άνω μέρος του δοχείου αναγράφεται στο θερμόμετρο του δοχείου και έτσι προσδιορίζει έμμεσα τη θερμοκρασία του ζεστού νερού.

Το εγκατεστημένο δοχείο έχει συνολικό όγκο υγρών 1000lt όπως προτάθηκε από το πρόγραμμα προσομοίωσης Polysun και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά δίνονται στον παρακάτω πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοδοχείου CHAUFFE [31]

Πραγματική χωρητικότητα συσσωρευτή	lt	882
Διάμετρος χωρίς μόνωση	mm	810
Πάχος μόνωσης	mm	100
Διάμετρος με μόνωση	mm	1010
Συνολικό ύψος	mm	2070
Επιφάνεια άνω εναλλάκτη	m <sup>2</sup>	2,7
Επιφάνεια κάτω εναλλάκτη	m <sup>2</sup>	2,7
Πίεση δοκιμής εναλλακτών	bar	25
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας εναλλακτών	°C	160
Πίεση δοκιμής συσσωρευτή	bar	6
Πίεση λειτουργίας συσσωρευτή	bar	4
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας συσσωρευτή	°C	95
Πίεση δοκιμής εναλλακτών	bar	25
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας εναλλακτών	°C	160
Βάρος (καθαρό)	Kg	270
Μέγιστη πίεση λειτουργίας (νερό θέρμανσης / ζεστό νερό / ηλιακό κύκλωμα)	bar	3/10/10
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας (νερό θέρμανσης / ζεστό νερό / ηλιακό κύκλωμα)	bar	95/95/110

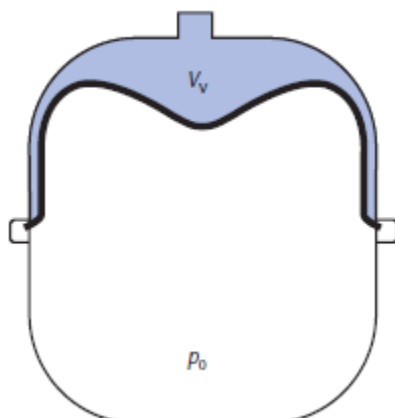
Το δοχείο έχει ενσωματωμένη ηλεκτρική αντίσταση ισχύος 9kW για εναλλακτική θέρμανση.



Σχήμα 5.20 : Εγκατεστημένο δοχείο Chauffe

## Δοχείο διαστολής

Το δοχείο διαστολής είναι ένα μεταλλικό δοχείο, που χωρίζεται σε δύο μέρη από μία ελαστική μεμβράνη και χρησιμεύει στο να δέχεται την αύξηση όγκου του ρευστού από την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού μεταφοράς της ενέργειας. Για το λόγο αυτό, πρέπει να υπολογιστεί ο κατάλληλος όγκος του δοχείου διαστολής ώστε να μην παρουσιάζεται κάποια επιπλοκή στη λειτουργία της εγκατάστασης.



Σχήμα 5.21: Δομή Δ.Δ.[29]

Η διαστασιολόγηση του δοχείου διαστολής έγινε με χρήση των παρακάτω σχέσεων και επιβεβαιώθηκε και από την πρακτική εφαρμογή στην εγκατάσταση παρόμοιων ηλιοθερμικών συστημάτων. Η διαστασιολόγηση έγινε σύμφωνα με τις τεχνικές οδηγίες του εγχειριδίου της εταιρίας Buderus.

Αρχικά υπολογίσαμε το συνολικό όγκο ρευστών της εγκατάστασης, [29]:

$$V_A = V_K \cdot n + V_{WT} + V_{KS} + V_R \quad (5.2)$$

όπου,

$V_A$  : όγκος υγρού εγκατάστασης, (lt)

$V_K$  : όγκος υγρού συλλέκτη, (lt)

$n$  : αριθμός των συλλεκτών

$V_{WT}$  : όγκος υγρού των εναλλακτών ηλιακής ενέργειας

$V_{KS}$  : όγκος υγρού του πλήρους συστήματος Logasol (περίπου 1,0lt)

$V_R$  : όγκος υγρού της σωλήνωσης, (lt)

Οπότε για το σύστημα μας σύμφωνα με τις τεχνικές λεπτομέρειες για τους συλλέκτες και το ηλιακό σετ και του δοχείου προκύπτει  $V_K = 1,7$  lt και  $V_{WT} = 13$  lt. Συνολικά στην εγκατάσταση το μήκος των σωληνώσεων είναι περίπου 30m διατομής 22 mm οπότε προκύπτει όγκος νερού 0,314 lt/m άρα συνολικά  $V_R = 9,50$  lt.

Οπότε από τη σχέση 5.2 προκύπτει, συνολικός όγκος  $V_A = 34 \text{ lt}$ .

Στη συνέχεια ο ελάχιστος όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση,[29]:

$$V_{\min} = (V_A \cdot n + V_D) \cdot (p_e + 1) / (p_e - p_0) \quad (5.3)$$

όπου,

$V_{\min}$  : ελάχιστος όγκος του δοχείου διαστολής,(lt)

$V_A$  : όγκος πλήρωσης της εγκατάστασης, (lt)

$n$  : συντελεστής διαστολής (= 7,3 % όταν  $\Delta\theta = 100\text{K}$ )

$V_D$  : όγκος εξάτμισης, (lt)

$p_e$  : τελική πίεση δοχείου διαστολής, (bar)

$p_0$  : πίεση πλήρωσης δοχείου διαστολής, (bar)

Η αρχική πίεση του Δ.Δ. ορίζεται ως, [29]:

$$p_0 = p_v + 0,3 \text{ bar} \quad (5.3)$$

όπου,

$p_0$  : πίεση πλήρωσης δοχείου διαστολής, (bar)

$p_v$  : αρχική πίεση δοχείου διαστολής, (bar)

και ακολούθως

$$p_v = 0,1 \cdot h_{\text{stat}} + 0,4 \text{ bar} \quad (5.4)$$

όπου,

$p_v$  : αρχική πίεση δοχείου διαστολής, (bar)

$h_{\text{stat}}$  : στατικό ύψος σε m μεταξύ του κέντρου Δ.Δ. και του πιο υψηλού σημείου της εγκατάστασης

Οπότε τελικά για  $h_{\text{stat}} = 10\text{m}$  της εγκατάστασης προκύπτουν διαδοχικά από τις σχέσεις 5.3 και 5.4,

$$p_v = 1,4 \text{ bar και } p_0 = 1,7 \text{ bar}$$

Η τελική πίεση  $p_e$  δίνεται επίσης από τον κατασκευαστή στα 5,4 bar ενώ ο όγκος εξάτμισης  $V_D = n \cdot V_K$  άρα τελικά  $V_D = 10,2 \text{ lt}$

Τελικά προκύπτει ότι  $V_{\min} = 47,36$

Τα δοχεία διαστολής έχουν τυποποιημένα μεγέθη από 8lt για μικρές απλές εγκαταστάσεις έως 80lt για συνήθεις εγκαταστάσεις θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης και υποβοήθησης θέρμανσης. Έχοντας υπολογίσει τον ελάχιστο απαιτούμενο όγκο  $V_{min}$  επιλέγεται το κατάλληλο μέγεθος δοχείου διαστολής με όγκο ίσο ή τον αμέσως μεγαλύτερο.

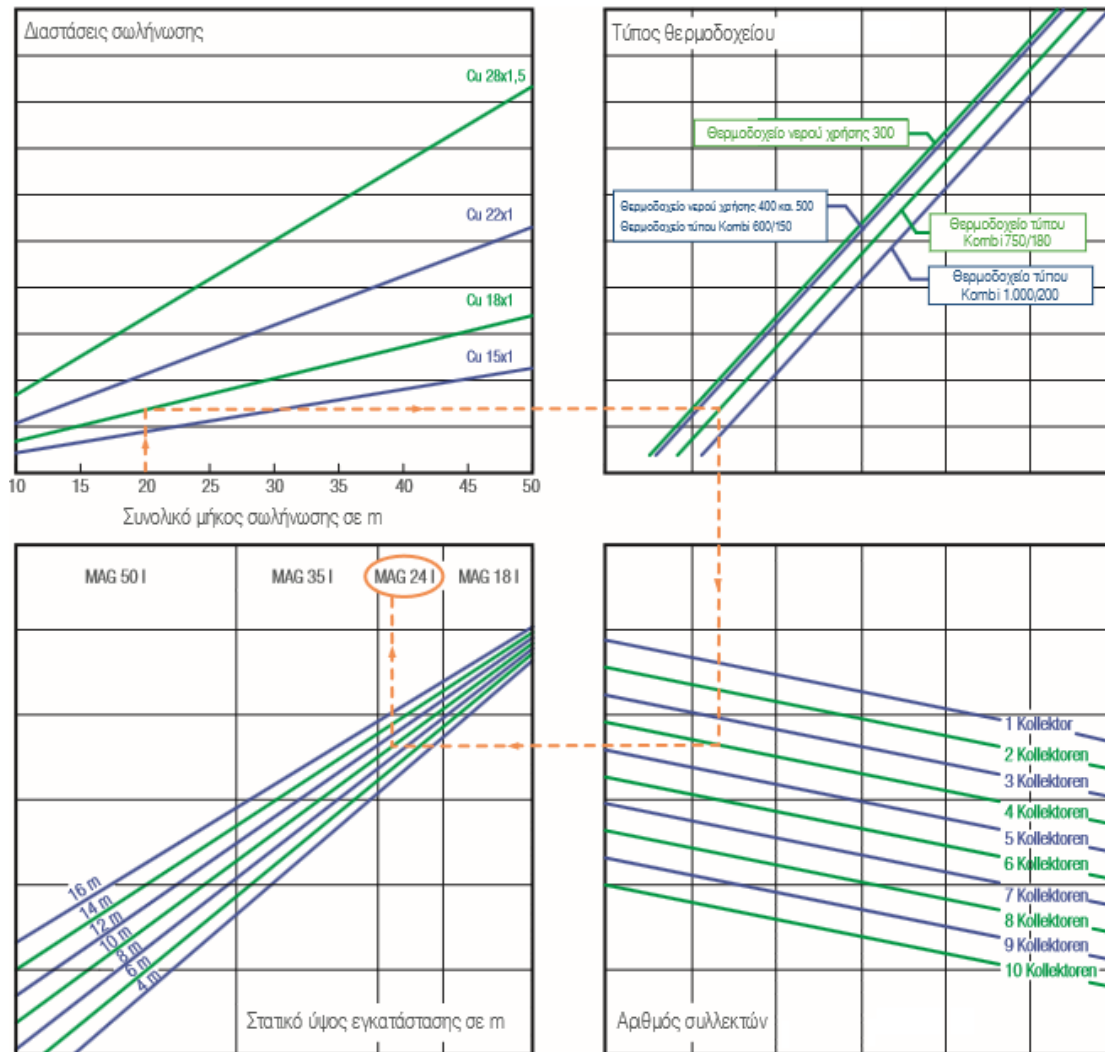
Συνεπώς, επιλέχθηκε δοχείο διαστολής με όγκο 50 lt, το οποίο εγκαταστάθηκε δίπλα από το θερμοδοχείο, και συνδέθηκε με το υδραυλικό σύστημα LOGASOL (σχήμα 5.21).



Σχήμα 5.21: Δοχείο διαστολης 50 lt

Το δοχείο διαστολής όγκου 50lt της εγκατάστασης στερεώθηκε απευθείας στον τοίχο, όπως προτείνεται από τα τεχνικά εγχειρίδια ενώ επιπρόσθετα το δοχείο διαστολής θα πρέπει πάντα να συνδέεται με τον κυκλοφορητή με σύνδεση προς τα πάνω για να μην δημιουργείται στρώμα αέρα εντός.

Η επιλογή του μεγέθους διαστολής της εγκατάστασης επιβεβαιώνεται και από τα τεχνικά εγχειρίδια κατασκευστών ηλιακών συστημάτων μέσω εμπειρικών νομογραφημάτων όπως της εταιρίας REHAU που παρουσιάζεται στο σχήμα 5.22.



Σχήμα 5.22: Νομόγραμμα διαστασολόγησης δοχείου διαστολής [28]

## Σετ εξαρέωσης

Το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών γεμίζει με αέρα κατά τη ροή του υδατικού διαλύματος. Κατά την εισαγωγή του υδατικού διαλύματος μεγάλο ποσοστό του αέρα απομακρύνεται από το κύκλωμα μέσω ειδικών οργάνων, τα εξαεριστικά.



Σχήμα 5.23: Σετ εξαεριστικού εγκατάστασης

Το εξαεριστικό είναι μεταλλικό, ανθεκτικό στη θερμοκρασία, τοποθετείται στο υψηλότερο σημείο του συστήματος ηλιοθερμίας και εγκαθίσταται εύκολα απευθείας στους συλλέκτες, αριστερά ή δεξιά του. Το εγκατεστημένο εξαεριστικό είναι ανθεκτικό σε μέγιστη πίεση λειτουργίας 6 bar και μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 150 °C.

## Δίκτυο σωληνώσεων

Το συνολικό μήκος των σωληνώσεων του ηλιοθερμικού συστήματος ανέρχεται περίπου στα 30m.

Στην εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες από χαλκό, συμβατές με το υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης και θερμικά σταθερές για θερμοκρασίες από -20 έως 150 °C. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σωλήνες πριν την εγκατάσταση (σχήμα 5.24 και σχήμα 5.25)





Σχήμα 5.24: Σειτ χαλκοσωλήνων.

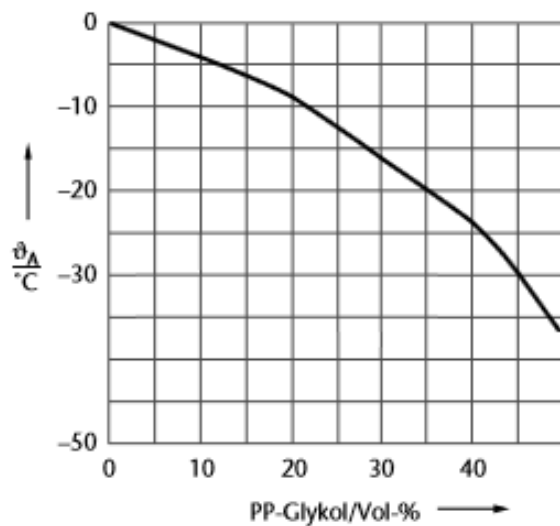
Επιλέχτηκαν χαλκοσωλήνες διατομής 22mm όπως προτείνεται από τις τεχνικές οδηγίες επενδυμένες με μόνωση πετροβάμβακα 20mm.



Σχήμα 5.25: Χαλκοσωλήνες εγκατάστασης μονωμένες με πετροβάμβακα

## Υγρό μεταφοράς θερμότητας

Η ηλιοθερμική εγκατάσταση πρέπει να πληρωθεί με κατάλληλο υγρό ώστε να ανταποκρίνεται στα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής. Διαδεδομένο υγρό για τα κλιματολογικά δεδομένα της Αθήνας είναι το διάλυμα προπυλενογλυκόλης περιεκτικότητας κατά όγκο 33%, όπως προτείνεται από το διάγραμμα στο σχήμα 5.26..



Σχήμα 5.26: Βαθμός προστασίας ανά περιεκτικότητα προπυλενογλυκόλης [29]

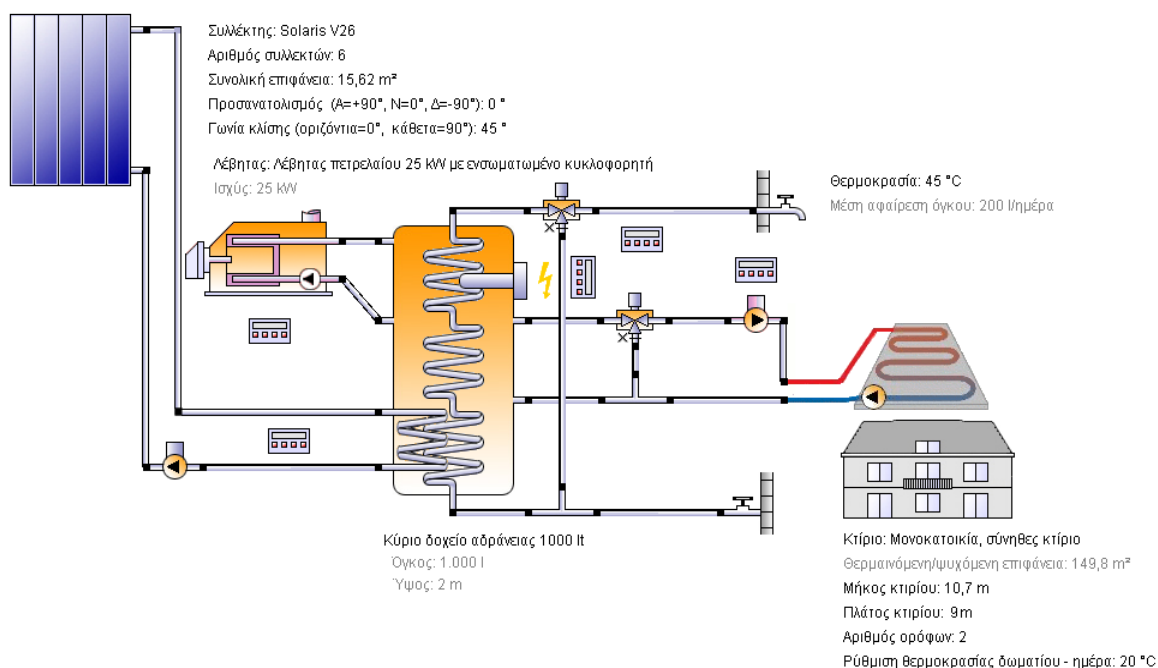
Ακολουθώντας το ηλιοθερμικό σύστημα πληρώθηκε με συνολικά 40lt διαλύματος που αντιστοιχεί στον όγκο του ρευστού του ηλιακού κυκλώματος.

## 5.2 Προσομοίωση συστήματος

Το ηλιοθερμικό σύστημα που εγκαταστάθηκε στην κατοικία αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, το συσσωρευτή ενέργειας, τους κυκλοφορητές, το δίκτυο σωληνώσεων, τις συσκευές ελέγχου και προσομοιώθηκε με βάση τα μοντέλα υπολογισμού του λογισμικού Polysun της εταιρίας Vela Solaris.

### Γενική απεικόνιση της εγκατάστασης και του συστήματος

Έργο Ηλιοθερμικό σύστημα-Γλυφάδα - Σύστημα 9a: Θέρμανση χώρου



### Κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών

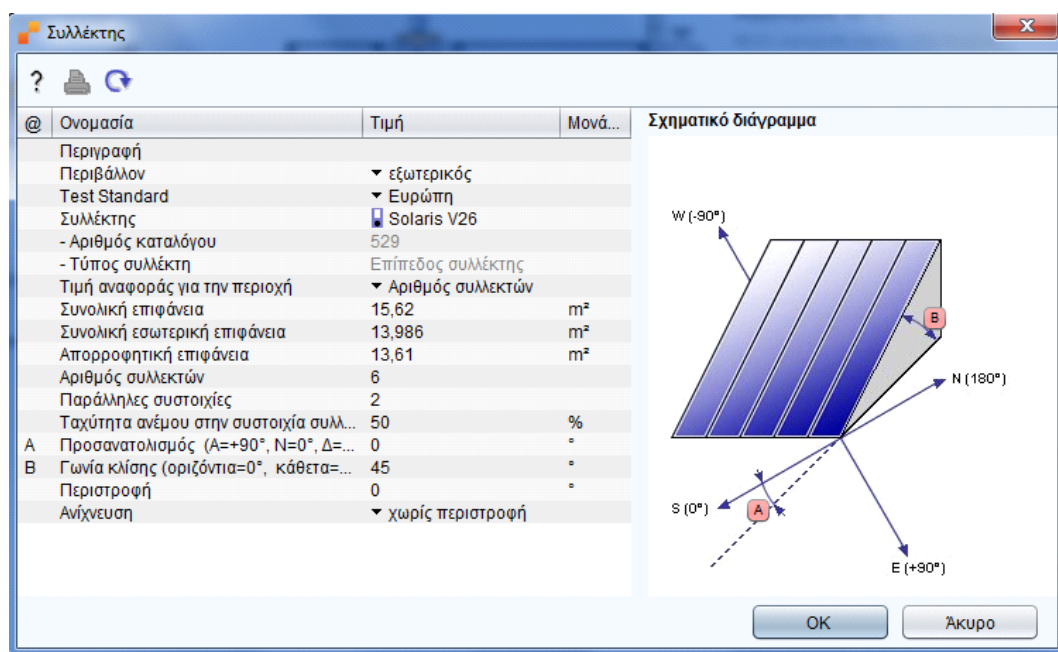
Το κλειστό κύκλωμα ηλιακών συλλεκτών αποτελείται από τους συλλέκτες, τον κυκλοφορητή και τον εναλλάκτη θερμότητας, που βρίσκεται μέσα στο συσσωρευτή ενέργειας(εσωτερικός).

Σκοπός του κυκλώματος είναι η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας ώστε να επιτευχθεί η φόρτιση του συσσωρευτή.

## Ηλιακοί συλλέκτες

Η διάταξη των ηλιακών συλλεκτών δεν σκιάζεται από διπλανό κτίριο ή άλλο φυσικό εμπόδιο. Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισάγονται αυτόματα από το πρόγραμμα μέσω των στατιστικών στοιχείων που εμπεριέχονται σε αυτό, όπως είναι η ηλιακή ακτινοβολία, ολική και άμεση, και η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η κλίση των συλλεκτών επιλέγεται  $45^\circ$  με νότιο προσανατολισμό, ώστε να μεγιστοποιηθεί η ενεργειακή απολαβή.

Η επιφάνεια που καλύπτουν είναι  $15,62\text{m}^2$  και η διάταξη τους αποτελείται από 2 συστοιχίες 3 συλλεκτών.



The screenshot shows the 'Συλλέκτης' (Collector) software window. The window is divided into two main sections: a table of parameters on the left and a schematic diagram on the right.

@	Όνομασία	Τιμή	Μονά...
	Περιγραφή		
	Περιβάλλον	▼ εξωτερικός	
	Test Standard	▼ Ευρώπη	
	Συλλέκτης	☑ Solaris V26	
	- Αριθμός καταλόγου	529	
	- Τύπος συλλέκτη	Επίπεδος συλλέκτης	
	Τιμή αναφοράς για την περιοχή	▼ Αριθμός συλλεκτών	
	Συνολική επιφάνεια	15,62	m <sup>2</sup>
	Συνολική εσωτερική επιφάνεια	13,986	m <sup>2</sup>
	Απορροφητική επιφάνεια	13,61	m <sup>2</sup>
	Αριθμός συλλεκτών	6	
	Παράλληλες συστοιχίες	2	
	Ταχύτητα ανέμου στην συστοιχία συλλ...	50	%
A	Προσανατολισμός (A=+90°, N=0°, Δ=...	0	°
B	Γωνία κλίσης (οριζόντια=0°, κάθετα=...	45	°
	Περιστροφή	0	°
	Ανίχνευση	▼ χωρίς περιστροφή	

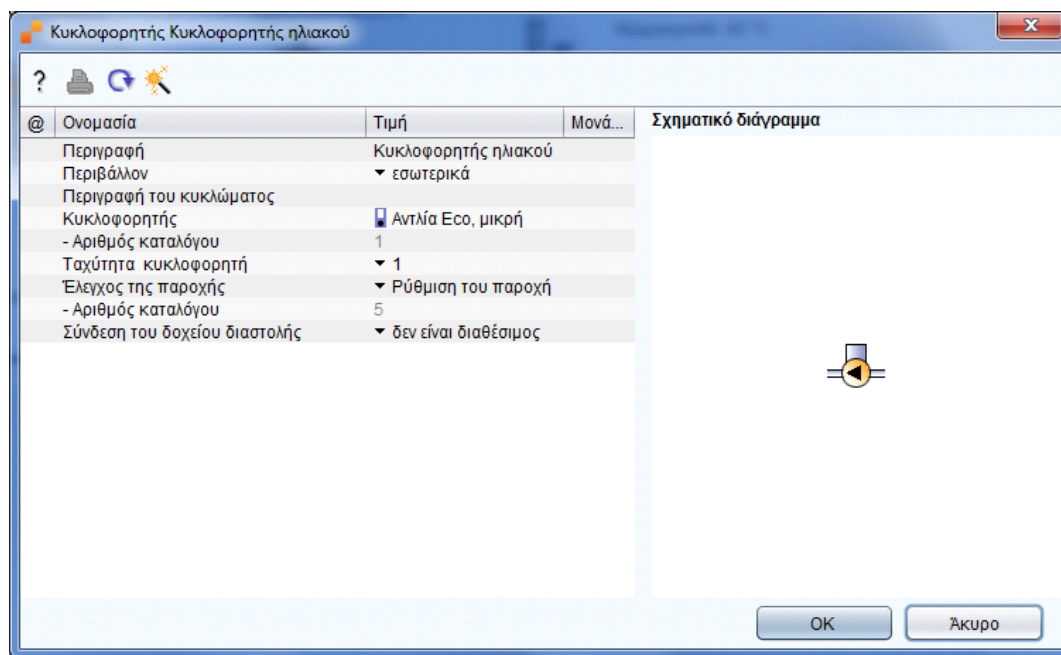
The schematic diagram on the right, titled 'Σχηματικό διάγραμμα', shows a 3D perspective view of the collector array. The array consists of two parallel rows of three collectors each. The diagram includes directional arrows: W (-90°), N (180°), S (0°), and E (+90°). A red box labeled 'A' is positioned at the base of the array, and another red box labeled 'B' is positioned at the top edge of the array, indicating the tilt angle.

Buttons for 'OK' and 'Άκυρο' (Cancel) are located at the bottom right of the window.

## Κυκλοφορητής

Είναι μίας ταχύτητας με μέγιστη ροή μάζας 15 lt/min.

Η λειτουργία του εξαρτάται από τον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου. Όταν δέχεται σήμα 0 τότε ο κυκλοφορητής δεν λειτουργεί, επομένως δεν υπάρχει κυκλοφορία του εργαζόμενου μέσου. Όταν το σήμα γίνει 1 τότε το ρευστό κυκλοφορεί στο κύκλωμα

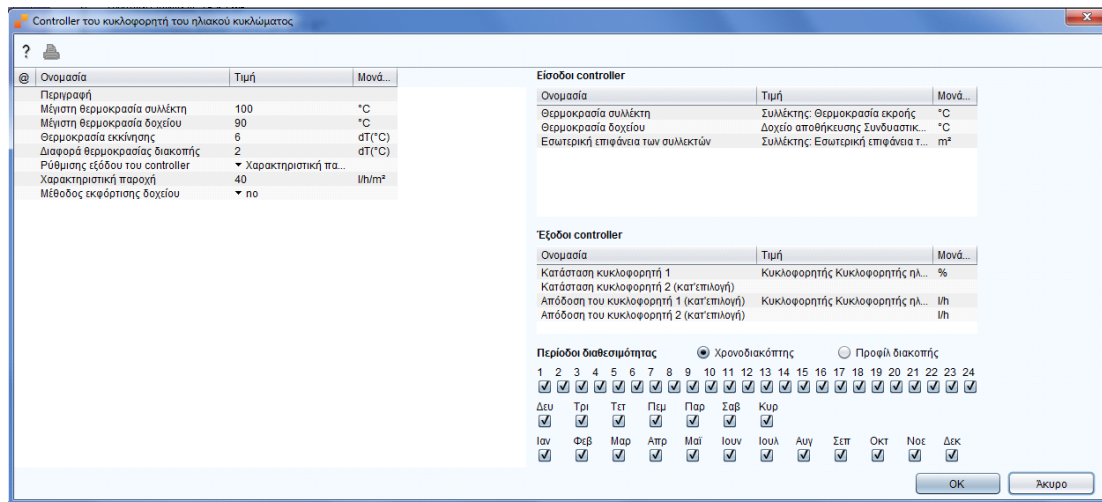


## Ηλεκτρικός πίνακας ελέγχου

Ευθύνεται αποκλειστικά για τη λειτουργία του κλειστού κυκλώματος των ηλιακών συλλεκτών. Ελέγχει τη θερμοκρασία σε τρεις διαφορετικές στάθμες του ηλιακού κυκλώματος. Στην έξοδο του συλλέκτη, στον πυθμένα και στην κορυφή της δεξαμενής καθώς και την προηγούμενη κατάσταση και τελικά παράγει κάποιο σήμα, το οποίο στέλνεται στην αντλία.

Ταυτόχρονα παρακολουθείται η θερμοκρασία στην κορυφή της δεξαμενής έτσι ώστε η τιμή της να μην υπερβεί τους 65 C°.

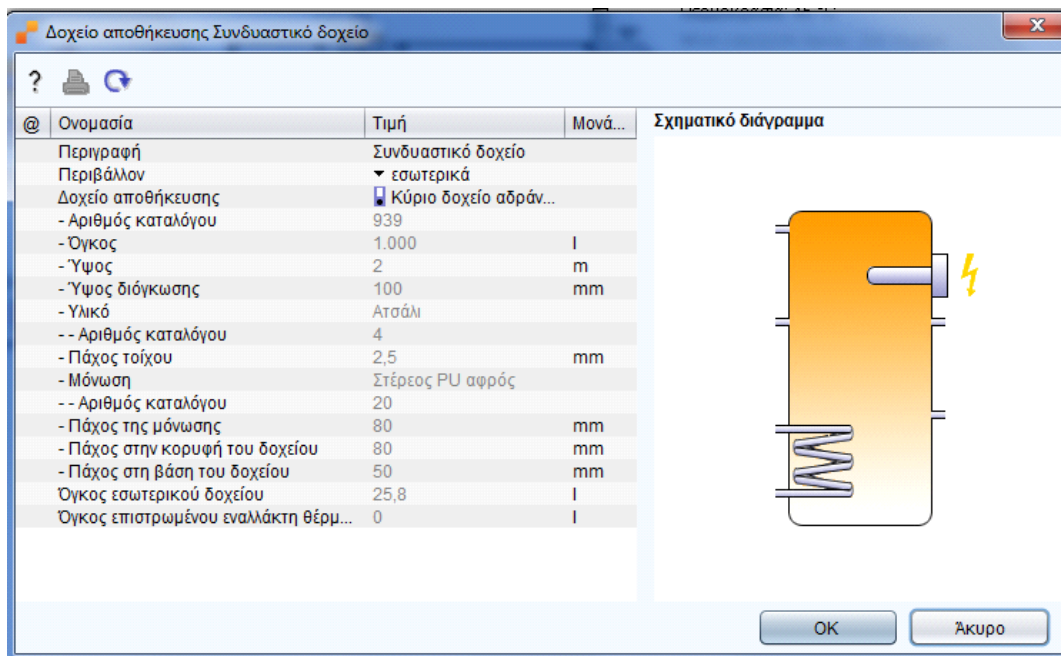




## Συσσωρευτής ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε, ο συσσωρευτής ενέργειας έχει κυλινδρικό σχήμα και είναι τοποθετημένος στο λεβητοστάσιο της κατοικίας.

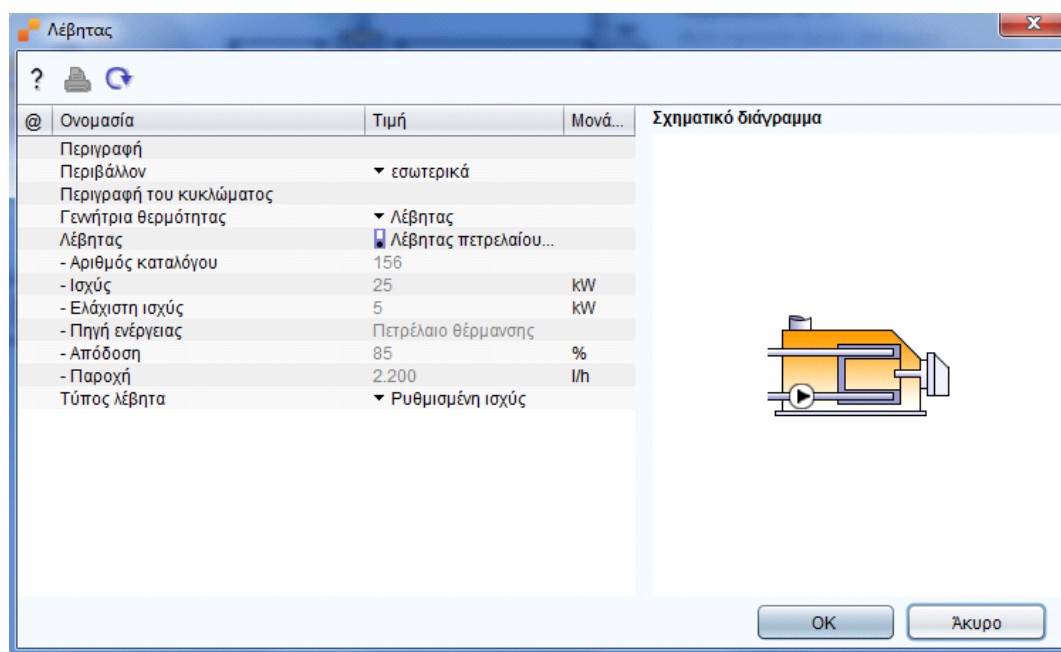
Σε πραγματικές συνθήκες εμφανίζονται φαινόμενα διαστρωμάτωσης και στο λογισμικό υποθέτουμε 10 διαφορετικές στάθμες. Η έξοδος του νερού που παράγεται γίνεται από την κορυφή του συσσωρευτή.



## Κλειστό κύκλωμα λέβητα

Το κλειστό κύκλωμα του λέβητα αποτελείται από ένα λέβητα πετρελαίου 25 kW, τον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου και τον εναλλάκτη θερμότητας, που βρίσκεται μέσα στο συσσωρευτή ενέργειας (εσωτερικός).

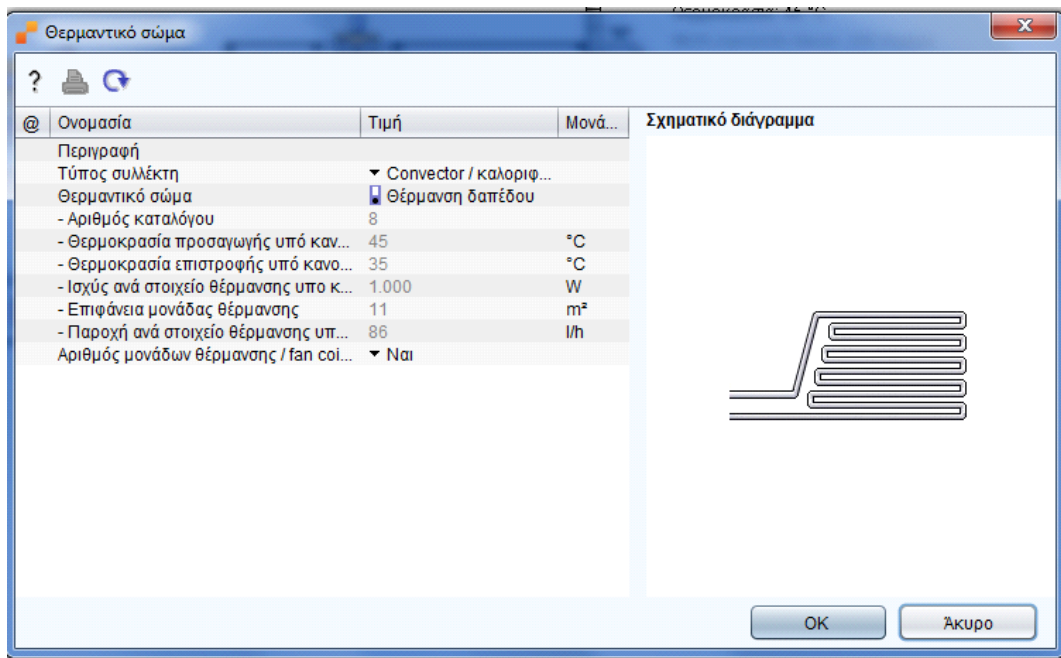
Ο λέβητας σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η λειτουργία του κυκλώματος των ηλιακών συλλεκτών, εργάζεται ως κύρια πηγή ενέργειας στο σύστημα. Ένας διαφορικός θερμοστάτης που βρίσκεται στον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου, είναι υπεύθυνος να θέσει σε λειτουργία το κλειστό κύκλωμα του λέβητα. Τα αισθητήρια, τα οποία καταλήγουν στο διαφορικό θερμοστάτη, παρακολουθούν τη θερμοκρασία στο 8<sup>ο</sup> στρώμα του συσσωρευτή και όπου έχουμε κατανάλωση, ώστε να καλύπτεται η ζήτηση σε απαίτηση ζεστού νερού χρήσης. Για να τεθεί το σύστημα σε λειτουργία πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις. Η θερμοκρασία του κτιρίου να βρίσκεται κάτω από 20°C και η θερμοκρασία του νερού του συσσωρευτή που βρίσκεται στο πάνω στρώμα να υπερβαίνει τους 38°C .



## Κλειστό κύκλωμα ενδοδαπέδιας θέρμανσης

Το κλειστό κύκλωμα ενδοδαπέδιας θέρμανσης, αποτελείται από τις σωληνώσεις της ενδοδαπέδιας, μία τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάνα ανάμειξης, τον κυκλοφορητή με τον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου και τον εναλλάκτη θερμότητας, που βρίσκεται μέσα στο συσσωρευτή ενέργειας (εσωτερικός). Ο ηλεκτρικός πίνακας ελέγχου θέτει σε λειτουργία την τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάνα, για να έχουμε θερμοκρασία προσαγωγής νερού στο σύστημα της ενδοδαπέδιας 45 °C.

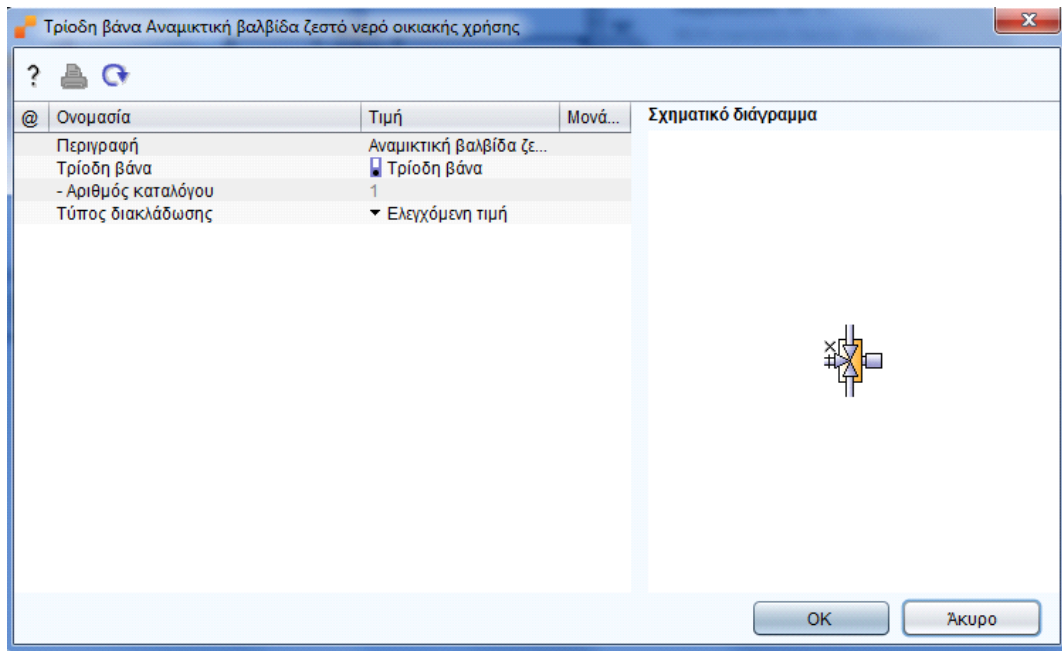




### Τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάνα

Η τρίοδη ηλεκτροκίνητη βάνα λειτουργεί ώστε το ζεστό νερό (60-65°C), να εξέρχεται από το 10<sup>ο</sup> στρώμα του συσσωρευτή και να εισέρχεται στη βάνα. Το νερό που κινείται μέσα στο σύστημα της ενδοδαπέδιας κατά την επιστροφή του στην τρίοδη βάνα αναμιγνύεται με το ζεστό νερό, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος της ενδοδαπέδιας.

Με αυτό τον τρόπο λειτουργίας επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας, αφού η ποσότητα καυσίμου που απαιτείται για τη θέρμανση του νερού εισαγωγής στην τρίοδη βάνα από τον εναλλάκτη θερμότητας είναι ελάχιστο λόγω της μικρής αύξησης τη θερμοκρασίας που απαιτείται για το επιθυμητό αποτέλεσμα.





## 6.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ

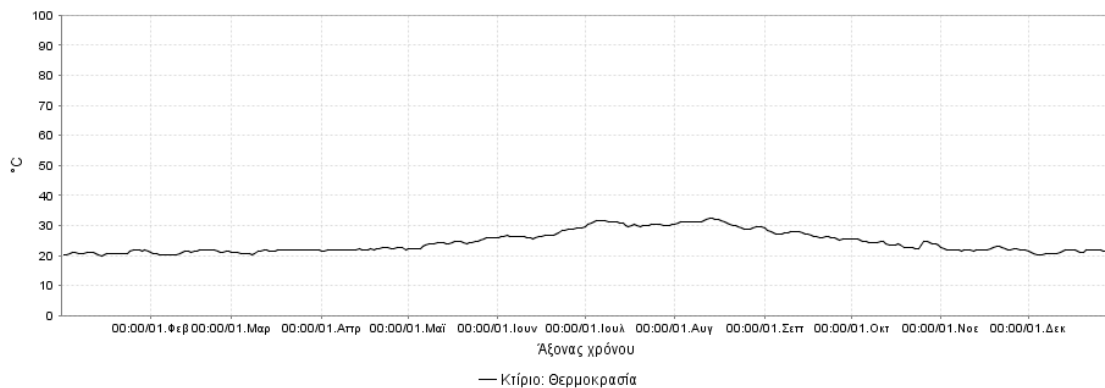
### 6. Ενεργειακά Αποτελέσματα

Με την προσομοίωση του εγκατεστημένου συστήματος combi, επετεύχθη εξοικονόμηση που φθάνει σε ποσοστό 87,7% στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και σε ποσοστό 37% στην υποβοήθηση της θέρμανσης. Ειδικότερα η συνολική κατανάλωση πετρελαίου μειώνεται κατά 800lt ενώ και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις 2.528,3kWh, οδηγώντας μας στο συμπέρασμα ότι η συγκεκριμένη αγορά έχει περιθώρια ανάπτυξης στην Ελλάδα τα επόμενα έτη.

Με αυτά τα δεδομένα, και αν θεωρήσουμε σαν συμβατικό καύσιμο το πετρέλαιο θέρμανσης με κόστος για το χειμώνα 2014–2015, 1,10€/lt, τότε ο χρόνος απόσβεσης ενός συστήματος combi προκύπτει ίσος με περίπου 6-7 χρόνια. Είναι λοιπόν προφανές ότι με τις παραπάνω ευνοϊκές συνθήκες τα συστήματα combi παρουσιάζουν και οικονομικό ενδιαφέρον, δεδομένου ότι ο χρόνος ζωής τους είναι πάνω από 20 χρόνια.

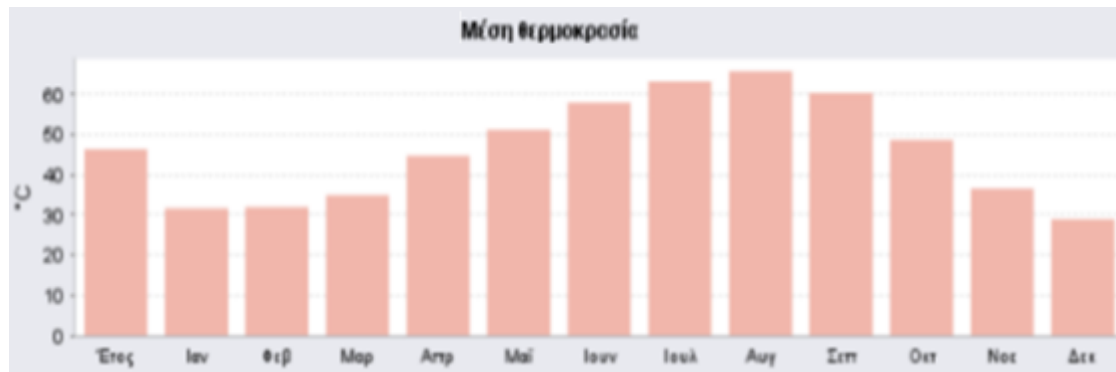
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του λογισμικού στο κτίριο, όπως η θερμοκρασία του κτιρίου, η θερμοκρασία στο νερό που επιτυγχάνεται η θερμοκρασία του υδατικού διαλύματος προπυλενογλυκόλης κατά την έξοδο από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών.

Στο Διάγραμμα 6.1 παρουσιάζεται η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο κτίριο με το ηλιοθερμικό σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης για περίοδο ενός έτους.



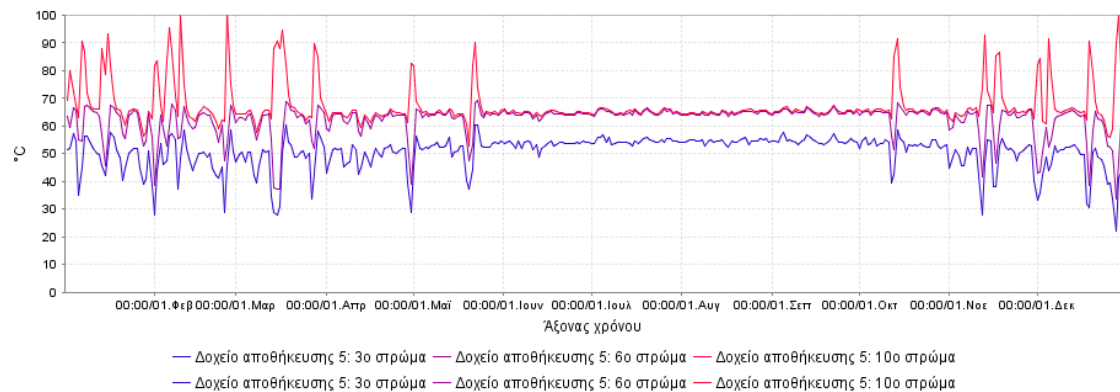
Διάγραμμα 6.1: Θερμοκρασία Κτιρίου κατά τη διάρκεια ενός έτους

Στο Διάγραμμα 6.2 αποτυπώνεται η μέση θερμοκρασία στα στρώματα του συσσωρευτή διαστρωμάτωσης. Αποτελεί μία γενική εικόνα για τη θερμοκρασία σε όλα τα στρώματα στο συσσωρευτή.



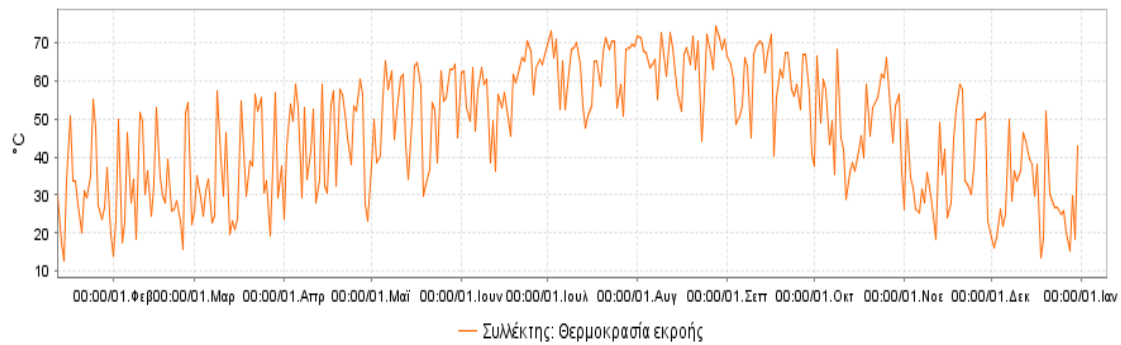
Διάγραμμα 6.2: Θερμοκρασία Νερού στο συσσωρευτή

Στη συνέχεια στο Διάγραμμα 6.3, παρουσιάζεται η θερμοκρασία νερού που επιτυγχάνεται από το σύστημα στο συσσωρευτή όχι σαν μέση θερμοκρασία αλλά στα διάφορα στρώματα του, ξεκινώντας από το χαμηλότερο και καταλήγοντας στο υψηλότερο. Από τα 10 συνολικά σημεία διαστρωμάτωσης το λογισμικό παρουσιάζει τη θερμοκρασία στα τελικά σημεία κάθε στάθμης δηλαδή στο 3<sup>ο</sup>, 6<sup>ο</sup> και 10<sup>ο</sup> στρώμα.



Διάγραμμα 6.3 : Θερμοκρασία νερού στα διάφορα στρώματα του δοχείου αποθήκευσης.

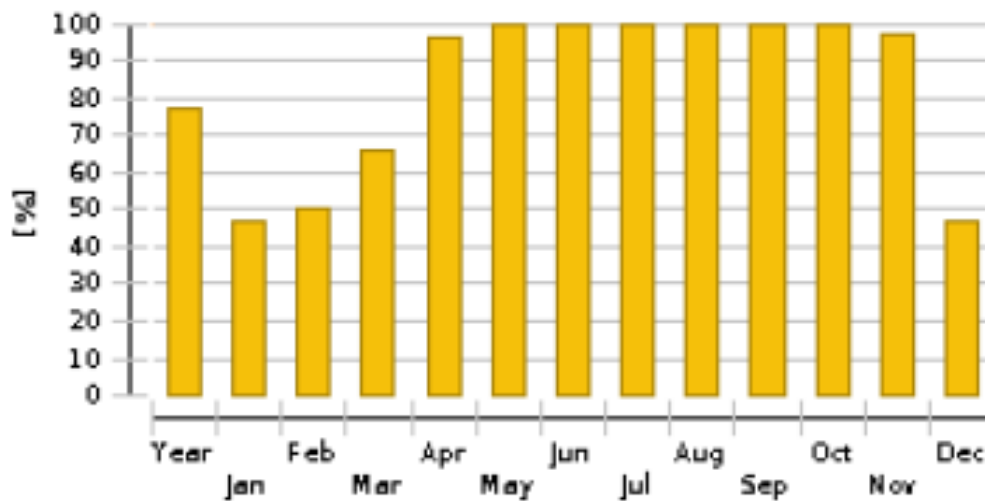
Στο Διάγραμμα 6.4 δίνεται από το λογισμικό η θερμοκρασία εξόδου του υδατικού διαλύματος από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών.



Διάγραμμα 6.4 : Θερμοκρασία εκροής υδατικού διαλύματος

Το υδατικό διάλυμα κατά την κυκλοφορία του στο συσσωρευτή παρουσιάζει κάποιες απώλειες.

Παρακάτω στο Διάγραμμα 5.5 παρουσιάζεται το ποσοστό κάλυψης Solar Fraction (SFn) της ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια του έτους. Ως ποσοστό κάλυψης ορίζεται ο λόγος της μηνιαίας ωφέλιμης ηλιακής ενέργειας προς το μηνιαίο θερμικό φορτίο της εγκατάστασης.



Διάγραμμα 6.5 : Ποσοστό κάλυψης ηλιακής ενέργειας

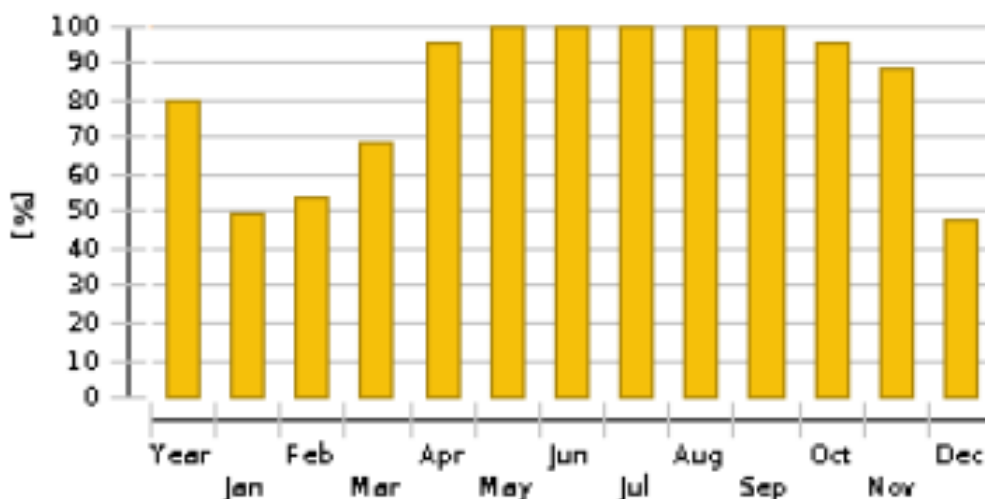
Αναλυτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του ηλιοθερμικού συστήματος του κτιρίου με το λογισμικό Polysun παρουσιάζονται παρακάτω.

Ενδιαφέρον παρατηρείται στη σύγκριση του παραπάνω εγκατεστημένου συστήματος με την προσομοίωση ενός παρόμοιου ηλιοθερμικού συστήματος σε μία διαφορετικών χαρακτηριστικών κατοικία. Η προσομοίωση έγινε για ένα ηλιοθερμικό σύστημα για την κάλυψη θερμικών αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης και θέρμανση μέσω του προγράμματος Polysun, σε μια κατοικία στην περιοχή της Γλυφάδας με μικρότερη επιφάνεια θερμαινόμενων χώρων αλλά και διαφορετικό δίκτυο θέρμανσης, δηλαδή με κλασσικά θερμαντικά σώματα αντί για ενδοδαπέδια θέρμανση. Πρόκειται για μονοκατοικία συνολικής επιφάνειας 112m<sup>2</sup>, με εγκατεστημένο σύστημα θέρμανσης με θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ) με θερμοκρασίες προσαγωγής και επιστροφής, 85°C και 60°C, τις συνήθεις θερμοκρασίες για τα συγκεκριμένα δίκτυα θέρμανσης. Η επιφάνεια συλλεκτών είναι η ίδια με το εγκατεστημένο σύστημα, 6 συλλέκτες Solaris V26, συνολικής απορροφητικής επιφάνειας 15,62m<sup>2</sup>, ο προσανατολισμός και η κλίση τους είναι ίδια (νότιος προσανατολισμός με κλίση 45°). Το σύστημα πληρώνεται κατά 30% με διάλυμα γλυκόλης ενώ και η επιθυμητή θερμοκρασία χώρου παραμένει ρυθμισμένη στους 20°C.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση του συστήματος παρουσιάζουν σημαντική μείωση στο ποσοστό κάλυψης παρά τη μικρότερη θερμαινόμενη επιφάνεια του κτιρίου και την ίδια επιφάνεια συλλεκτών και οφείλονται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό στην υψηλότερη θερμοκρασία προσαγωγής-επιστροφής (85-60°C) σε σχέση με τις θερμοκρασίες του ενδοδαπέδιου συστήματος.

Συγκεκριμένα, η εκτίμηση για κάλυψη σε ζεστό νερό χρήσης φτάνει σε ποσοστό 84% αντί 88% ενώ στην κάλυψη θέρμανσης ανέρχεται σε 30% περίπου αντί 37% στο εγκατεστημένο σύστημα. Το ποσοστό κάλυψης ανέρχεται στο 80,1%.

Το διάγραμμα ηλιακής κάλυψης παρουσιάζεται παρακάτω:



Διάγραμμα 6.6 : Ποσοστό κάλυψης ηλιακής ενέργειας

## Σχόλια

Στη συγκεκριμένη μελέτη αναλύθηκε η κατηγορία των ηλιακών θερμικών συστημάτων και πραγματοποιήθηκε η ανάλυση της εγκατάστασης ενός τέτοιου ηλιοθερμικού συστήματος combi σε μία κατοικία που συνεισφέρει στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης αλλά και στη θέρμανση χώρων.

Δύο βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη είναι ότι τα συστήματα combi είναι ήδη διαδεδομένα στην Ευρώπη και διατίθενται σε ευρύ φάσμα τυπολογιών, για την κάλυψη των αναγκών για θέρμανση, ζεστό νερό αλλά και κλιματισμό, ενώ για τον ελλαδικό χώρο συμπεραίνουμε ότι τα συστήματα αυτά μπορούν να συνδυαστούν με συμβατικά συστήματα θέρμανσης, δίνοντας αξιόλογα ενεργειακά αποτελέσματα και καλύψεις του συνολικού θερμικού φορτίου που φτάνουν έως και 70%.

Τα ενεργειακά αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη βασίζονται σε πραγματικές υποθέσεις. Ευνοϊκότερα αποτελέσματα μπορούμε να εξάγουμε αν συμπεριλάβουμε τις εξής συνθήκες, όπως την ενεργή συμμετοχή του χρήστη στην εξοικονόμηση καυσίμου αλλά και τη σύνδεση της παροχής ζεστού νερού σε επιπλέον καταναλωτές όπως τα πλυντήρια ρούχων και πιάτων. Αυτές οι παράμετροι δεν θα βελτίωναν μόνο την απόδοση του ηλιακού συστήματος αλλά θα ήταν δυνατή η περεταίρω εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Δεν εξετάστηκε η περίπτωση κτιρίων δομημένων σύμφωνα με τις αρχές και τις εφαρμογές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Στην περίπτωση ενός βιοκλιματικού κτιρίου στην περιοχή της Αθήνας, με εγκατεστημένα παθητικά συστήματα θέρμανσης, η εγκατάσταση ενός παρόμοιου ηλιοθερμικού συστήματος με ενδοδαπέδια θέρμανση έχει ως αποτέλεσμα η κάλυψη των συνολικών θερμικών απαιτήσεων να ξεπερνά το 75%. Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι οι προοπτικές εξέλιξης των συστημάτων combi στη χώρα μας (σε συνδυασμό με την εφαρμογή μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας στα κτίρια) είναι υπαρκτές και αξιόλογες.





## Βιβλιογραφία

1. Κλειώ Ν. Αξαρή «Ενεργειακός Σχεδιασμός και Ενεργειακή Απόδοση Κτιρίων-Γενικές Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού», Σημειώσεις του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, έκδοση 2009
2. «Bioclimatic architecture», European Commission, έκδοση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 1997
3. «Κτίρια χαμηλής Ενεργειακής Κατανάλωσης- Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας», εκδόσεις Τ.Ε.Ε.
4. zerobuildings.gr
5. P.Torcellini, S. Pless, M.Deru, «Zero Energy Building- A critical look at the definition», έκδοση 2006
6. A.J. Marszal, P. Heiselberg, J.S. Bourrell, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, A. Napolitano, »Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies», έκδοση 2010
7. «Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας» , Εκπαιδευτικό Υλικό ΔΕ4, εκδόσεις Τ.Ε.Ε., έκδοση 2011
8. «Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Κτίρια», εκδόσεις ΚΑΠΕ 2008
9. «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας σε Οικιστικά Σύνολα», εκδόσεις ΚΑΠΕ
10. Χριστοφής Ι. Κορωναίος, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Διδακτικές Σημειώσεις», έκδοση 2012
11. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, (<http://www.cres.gr>)
12. Ελένη Ανδρεαδάκη-Χρονάκη, «Βιοκλιματική Αρχιτεκτονική», εκδόσεις University Studio Press 1985
13. «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός στην Ελλάδα», εκδόσεις ΚΑΠΕ 2002
14. Κωνσταντίνος Τσίππρας, «Οικολογική Αρχιτεκτονική» ,εκδ. Κέδρος 2005
15. «Κλίμα και εσωτερικό περιβάλλον- Βιοκλιματικός σχεδιασμός Κτιρίων» εκδόσεις Τ.Ε.Ε., έκδοση 2011
16. «ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ», εκδόσεις Τ.Ε.Ε. Τ.Ο.ΤΕΕ 20702-5/2010, έκδοση 2011
17. Ηλίας Ευθυμίου «Κτίριο και Περιβάλλον» ,εκδόσεις Παπασωτηρίου, έκδοση 2004
18. «Εξοικονόμηση και Ορθολογική χρήση ενέργειας», εκδόσεις ΚΑΠΕ
19. «Πρακτικός Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας σε Κτίρια», έκδοση Enforce της Ε.Ε.
20. R. Wulfinhoff, «REDUCING COOLING LOAD: WINDOWS & SKYLIGHTSD»,1999
21. «Shading systems», European Commission, εκδόσεις Ευρωπαϊκής Επιτροπής, 2000
22. Κ. Μάλλιαρης, «Ενεργειακός φωτισμός», εκδ. Μάλλιαρης Παιδεία
23. «Ηλιακά Θερμικά Συστήματα», έκδοση Υπουργείου Ενέργειας Κύπρου, 2010

24. Αλέξανδρος Αλεξάκης , «Ηλιακή Ενέργεια», εκδόσεις Σιδέρη 2003
25. Σταμάτης Πέρδιος, «Ηλιοθερμικές εγκαταστάσεις», εκδόσεις ΤΕΚεκδοτική 2009
26. «Θερμικά Ηλιακά Συστήματα», εκδόσεις ΚΑΠΕ
27. Ε. Βαζαίος, «Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας», έκδοση 1987
28. Εγχειρίδιο Rehau, 2007
29. Εγχειρίδιο Buderus, 2007
30. Εγχειρίδιο Rotex
31. Εγχειρίδιο Chauffe

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

Αποτελέσματα της προσομοίωσης του εγκατεστημένου ηλιοθερμικού συστήματος στο λογισμικό Polysun της εταιρίας Vela Solaris.

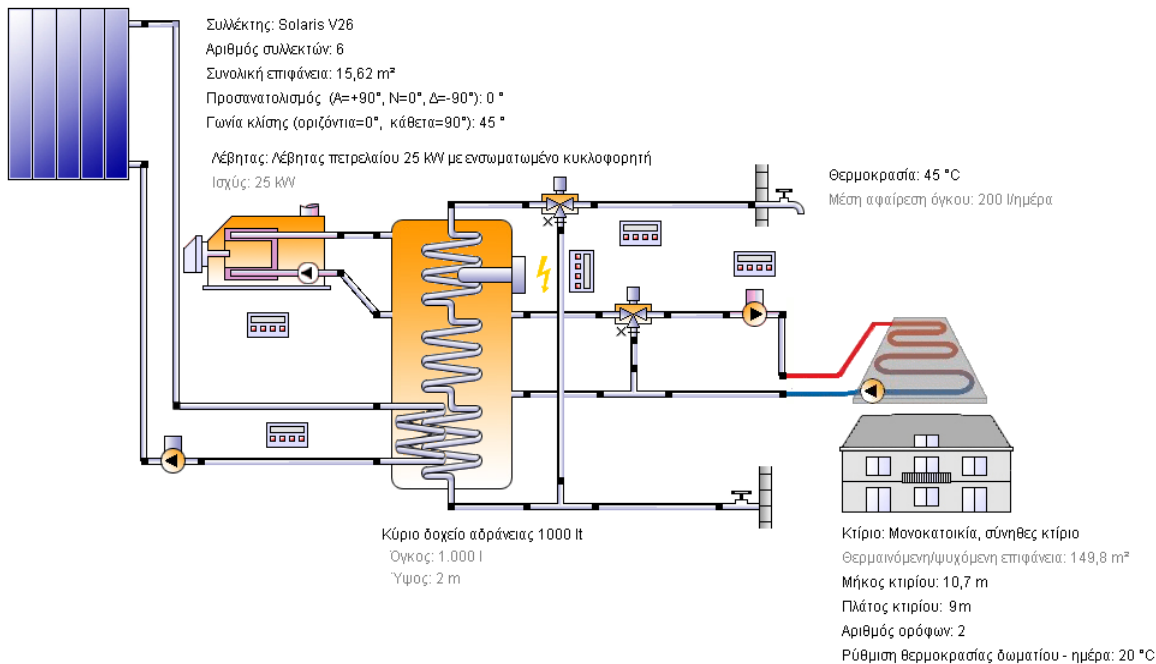


# Professional Report

## Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης & παραγωγής ΖΝΧ

## Σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης&παραγωγής ΖΝΧ

Έργο Ηλιοθερμικό σύστημα-Γλυφάδα - Σύστημα 9a: Θέρμανση χώρου



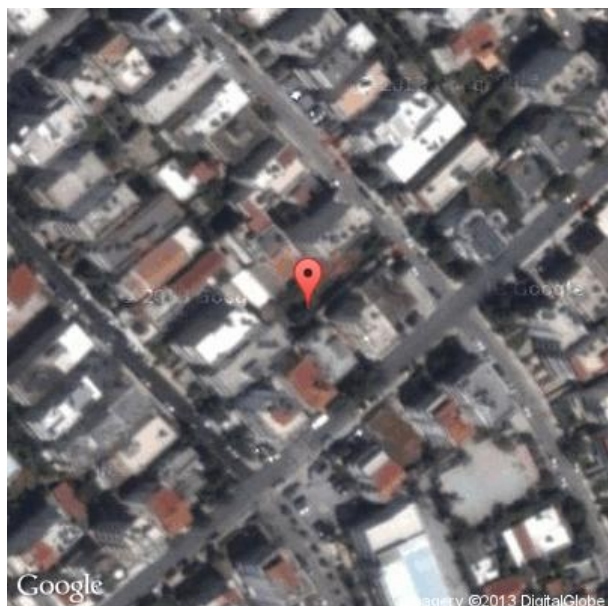
### Τοποθεσία του συστήματος

Γλυφάδα, Νότιος Τομέας Αθηνών, Αττική  
Longitude: 23.768°  
Latitude: 37.892°  
Elevation: 132 m

### Η αναφορά αποτελεσμάτων έχει δημιουργηθεί από:

Dimitrios Papandreou  
Magnisias  
16232 Athens

### Τμήμα του χάρτη



### Σχόλια

Ηλιοθερμικό σύστημα υποβοήθησης θέρμανσης και παραγωγής Ζ.Ν.Χ. σε κατοικία στην Γλυφάδα Αττικής.

# Professional Report

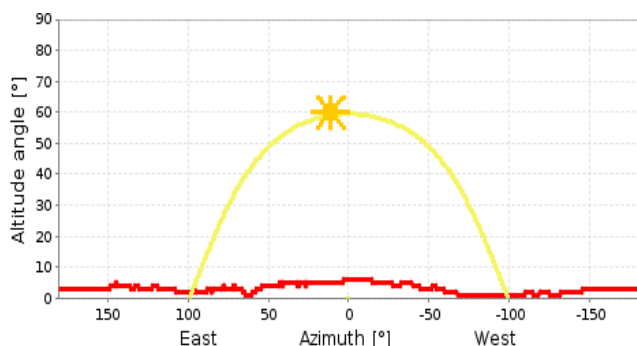
## Παρουσίαση συστήματος (ετήσιες τιμές )

Συνολική κατανάλωση καυσίμου ή και ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος [Etot]	2,575.5 kWh
Συνολική ενεργειακή κατανάλωση [Quse]	5,369.1 kWh
Απόδοση συστήματος (Quse/Etot)	2.08
Απαίτηση κατανάλωσης	Καλύφθηκε η ενεργειακή απαίτηση

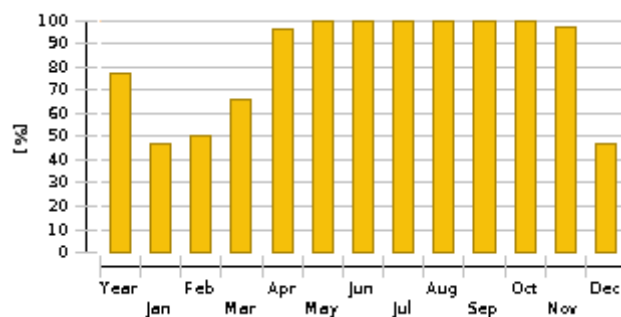
## Παρουσίαση αποτελεσμάτων ηλιοθερμικής ενέργειας

Επιφάνεια συλλεκτών	15,6m <sup>2</sup>
Συνολική ηλιακή κάλυψη	77,5%
Ηλιακή κάλυψη σε ζεστό νερό [SFnHw]	87,7%
Ηλιακή κάλυψη στην θέρμανση [SFnBd]	36,7%
Συνολικό πεδίο απόδοσης συλλεκτών	6.762,6kWh
Συνολικό πεδίο απόδοσης συλλεκτών συναρτήσει της συνολικής επιφάνειας του	433kWh/m <sup>2</sup> /Έτος
Ενεργειακή απόδοση συλλέκτη συναρτήσει της εσωτερικής επιφάνειας του	483.5kWh/m <sup>2</sup> / Έτος
Μέγιστη ετήσια εξοικονόμηση καυσίμου	795,7 (1 πετρελαίου θέρμανσης)
Μέγιστη ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας	7.956 kWh
Μέγιστη ετήσια μείωση εκπομπής CO <sub>2</sub>	2.392,2 kg

Γραμμή του οριζοντα



Ηλιακή κάλυψη : ποσοστό ηλιακής ενέργειας στο σύστημα SFn



## Μετεωρολογικά δεδομένα -Σύνοψη

Μέση εξωτερική θερμοκρασία	18.1 °C
Ετήσια συνολική ακτινοβολία	1,565.7 kWh/m <sup>2</sup>
Ετήσια διάχυτη ακτινοβολία	647 kWh/m <sup>2</sup>

# Professional Report

## Παρουσίαση εξαρτημάτων (ετήσιες τιμές)

Λέβητας	Λέβητας πετρελαίου 25kW	
Ισχύς	kW	25
Συνολική απόδοση	%	77.8
Ενέργεια από/στο σύστημα [Q <sub>aux</sub> ]	kWh	1.966
Κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας [E <sub>aux</sub> ]	kWh	2,528.3
Ενεργειακή εξοικονόμηση ηλιοθερμικού	kWh	7,956
CO <sub>2</sub> εξοικονόμηση ηλιοθερμικού	kWh	2.392,2
Εξοικονόμηση καυσίμου ηλιοθερμικού	l	795,7

Συλλέκτης	Solaris V26	
Πηγή δεδομένων		SPF
Αριθμός συλλεκτών		6
Παράλληλες συστοιχίες		2
Συνολική επιφάνεια	m <sup>2</sup>	15.62
Συνολική εσωτερική επιφάνεια	m <sup>2</sup>	13.986
Απορροφητική επιφάνεια	m <sup>2</sup>	13.61
Γωνία κλίσης (οριζόντια=0°, κάθετα=90°)		38
Προσανατολισμός (A =+90°, N =0°, Δ = -90°)		0
Ενεργειακή απόδοση συλλεκτών [Q <sub>sol</sub> ]	kWh	6,762.6
Ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλεκτή [E <sub>sol</sub> ]	kWh	24,174.9
Απόδοση συλλέκτη [Q <sub>sol</sub> /E <sub>sol</sub> ]	%	28%
Άμεση ακτινοβολία λαμβάνοντας υπόψη την γωνία πρόσπτωσης	kWh	21.285,6



# Professional Report

Κτίριο		
Θερμαινόμενη/ψυχόμενη επιφάνεια	m <sup>2</sup>	150.5
Ρύθμιση θερμοκρασίας δωματίου	°C	20
Απαιτήση για ενέργεια θέρμανσης εξαιρώντας το ζεστό νερό [Qdem]	kWh	2,280.5
Καθορισμένη απαίτηση για ενέργεια θέρμανσης εξαιρώντας το ζεστό νερό [Qdem]	kWh/m <sup>2</sup>	15.2
Θερμικά κέρδη μέσω των παραθύρων	kWh	18,368.9
Συνολικές ενεργειακές απώλειες	kWh	27,436.2

Μεταγωγέας θερμότητας-Θέρμανση δαπέδου	Θέρμανση δαπέδου 1000W	
Αριθμός κυκλωμάτων θέρμανσης/ψύξης		10
Ισχύς ανά στοιχείο θέρμανσης υπό κανονικές συνθήκες	W	1000
Θερμοκρασία προσαγωγής υπό κανονικές συνθήκες	°C	45
Θερμοκρασία επιστροφής υπό κανονικές συνθήκες	°C	30
Τελική ενέργεια από/τις μονάδες θέρμανσης/ψύξης	kWh	2,226.4

Απαίτηση σε ζεστό νερό	Συνεχής	
Όγκος κατανάλωσης /καθημερινή κατανάλωση	l/d	201,4
Ρύθμιση θερμοκρασίας	°C	45
Απαίτηση ενέργειας [Qdem]	kWh	2301,3

Δοχείο αποθήκευσης	Δοχείο 1000 lt θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης	
Όγκος	l	1000
Ύψος	m	2
Υλικό		Ατσάλι
Μόνωση		Στέρεος PU αφρός
Πάχος της μόνωσης	mm	80
Απώλειες θέρμανσης	kWh	1,115.1
Απώλειες σύνδεσης	kWh	1,820.4

# Professional Report

---

<b>Ηλιακό κύκλωμα</b>		
Μίγμα υγρού		Μίγμα προπυλενίου
Περιεκτικότητα υγρού	%	33,3
Όγκος ρευστών	l	104,3
Πίεση στην κορυφή του κυκλώματος	bar	4

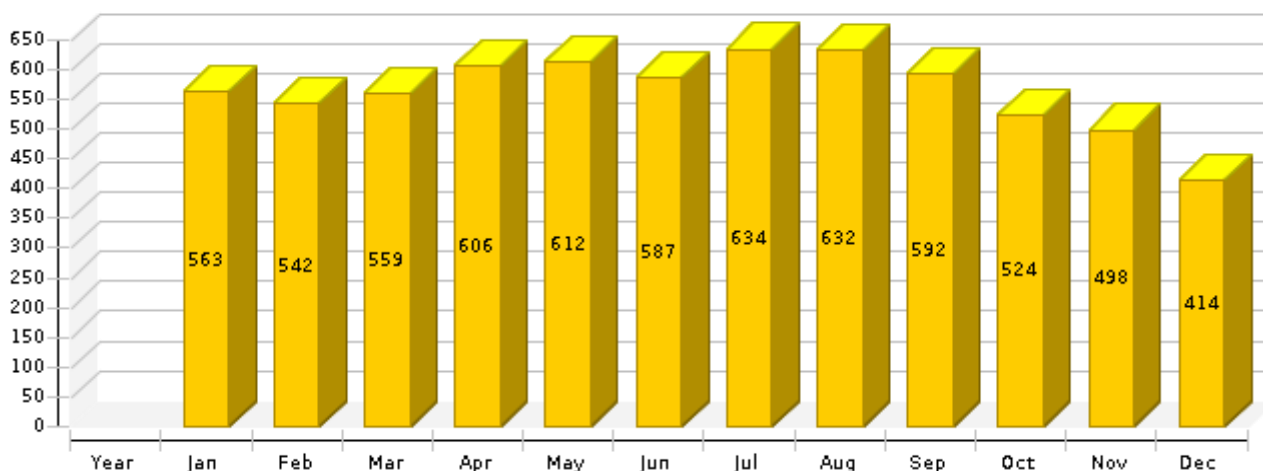
<b>Κυκλοφορητής Κυκλοφορητής κυκλώματος Θέρμανσης</b>	<b>Αντλία Eco, μεσαία</b>	
Πτώση πίεσης κυκλώματος	bar	0,009
Παροχή	l/h	892,8
Κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας [Epar]	kWh	5,5

<b>Κυκλοφορητής Κυκλοφορητής ηλιακού</b>	<b>Αντλία Eco, μικρή</b>	
Πτώση πίεσης κυκλώματος	bar	0,173
Παροχή	l/h	1,004
Κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας [Epar]	kWh	2,8

# Professional Report

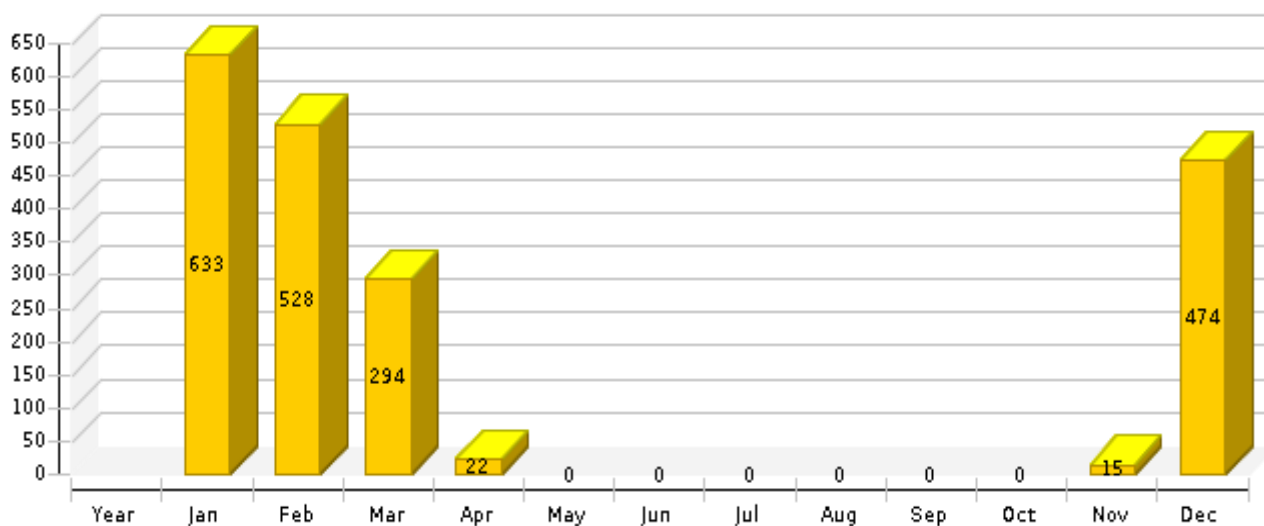
Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα [Qsol]

kWh



Ενέργεια μονάδος παραγωγής θερμότητας στο σύστημα (ενέργεια από ηλιοθερμία δεν περιλαμβάνεται) [Qaux]

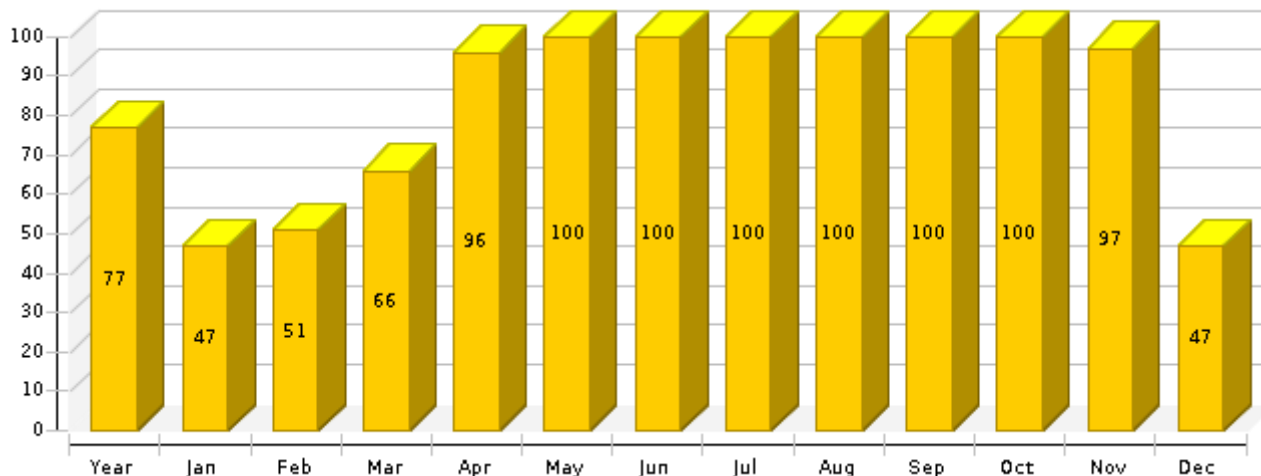
kWh



# Professional Report

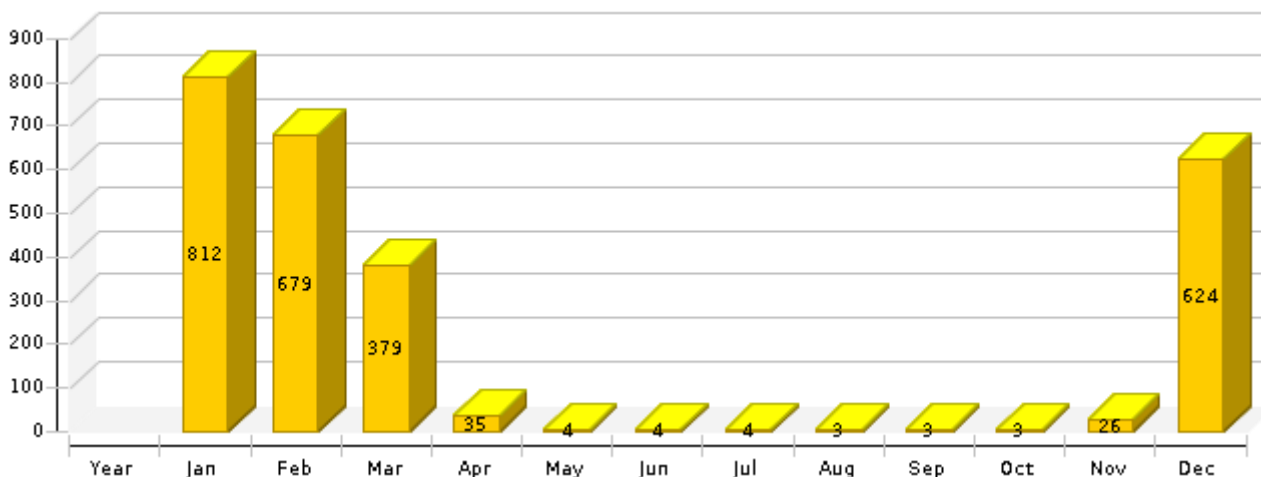
Ηλιακή κάλυψη: ποσοστό ηλιακής ενέργειας στο σύστημα [SFh]

%



Συνολική κατανάλωση καυσίμου ή/και ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος [Etot]

kWh



Έτος	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ
------	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

Ηλιοθερμική ενέργεια στο σύστημα [Qsol]

kWh	6763	563	542	559	606	612	587	634	632	592	524	498	414
-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Ενέργεια μονάδος παραγωγής θερμότητας στο σύστημα (ενέργεια από ηλιοθερμία δεν περιλαμβάνεται) [Qaux]

kWh	1966	633	528	294	22	0	0	0	0	0	0	15	474
-----	------	-----	-----	-----	----	---	---	---	---	---	---	----	-----

Κατανάλωση καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας της μονάδας παραγωγής θερμότητας [Eaux]

kWh	2528	807	675	374	31	0	0	0	0	0	0	22	620
-----	------	-----	-----	-----	----	---	---	---	---	---	---	----	-----

Ηλιακή κάλυψη: ποσοστό ηλιακής ενέργειας στο σύστημα [SFh]

%	77.5	47.1	50.7	65.5	96.5	100	100	100	100	100	100	97.1	46.7
---	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------

Συνολική κατανάλωση καυσίμου ή/και ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος [Etot]

kWh	2575	812	679	379	35	4	4	4	3	3	3	26	624
-----	------	-----	-----	-----	----	---	---	---	---	---	---	----	-----

Ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη [Esol]

kWh	24175	1513	1439	1726	2089	2323	2434	2640	2806	2559	2021	1475	1152
-----	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

# Professional Report

## Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας των κυκλοφορητών [Epar]

kWh	47	11	11	6	0	0	0	0	0	0	2	6	11
-----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

## Απώλειες θερμότητας στο εσωτερικό δωμάτιο (περιλαμβάνει απώλειες μονάδας παραγωγής θερμότητας) [Qint]

kWh	3949	486	476	366	251	242	239	241	253	248	295	370	482
-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

## Απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον χώρο (μη συμπεριλαμβανομένου απωλειών του συλλέκτη) [Qext]

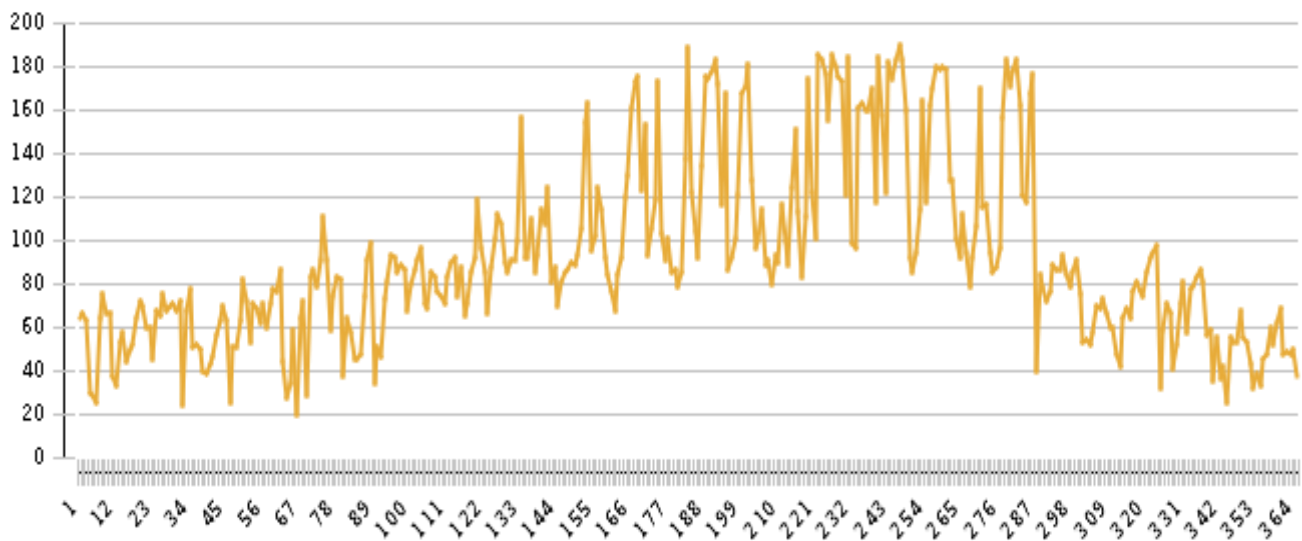
kWh	72	8	7	7	4	3	3	3	7	7	7	8	8
-----	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

## Συνολική ενεργειακή κατανάλωση [Quse]

kWh	5456	1078	1047	612	294	276	205	198	201	226	229	246	844
-----	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

## Συλλέκτης

### Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία [ °C]



# Professional Report

## Διάγραμμα ροής ενέργειας

