

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

**Τμήμα Μηχανολογίας**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΑΙ  
ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ  
ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ.**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ :**  
**ΣΕΜΠΙΛΙ ΙΛΙΡΙΑΝ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:**  
**ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**Ηράκλειο Κρήτης : 14 / 01 / 2014**



## I. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που συνέλαβαν στη διεκπεραίωση της.

Κατά κύριο λόγο, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή Επίκ.Καθηγητής ρ.ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟ, ο οποίος προσέφερε το ενδιαφέρον θέμα και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντάς μου τη δυνατότητα να εκπονήσω την πτυχιακή μου εργασία στο συγκεκριμένο τομέα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα, όλους του καθηγητές του Τεχνικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Κρήτης για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους συμφοιτητές μου Θανάση Στεφάνη, Έντισον Ναζαραϊ, Στέφανο Συλλιγνάκη, Γιώργο Ζακυνθινό, Μιχάλη Παππά, για τις υπέροχες στιγμές που περάσαμε μαζί κατά την διάρκεια των φοιτητικών μου χρονών.

Τέλος Ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένειά μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου.

ΙΛΙΡΙΑΝ ΣΕΜΠΙΛΙ

ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2014



## II. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εκπόνησης πτυχιακής εργασίας στη Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών του τμήματος Μηχανολογίας ,με θέμα «Σύγκριση συστήματος γεωθερμικού εναλλάκτη και ηλιακών συλλεκτών για κλιματισμό ξενοδοχειακής μονάδας »,με εισηγητή τον κ. ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟ.

- Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη εισαγωγή και αναφορά στους λογούς που μας οδηγούν στην ανάπτυξη τεχνολογιών φιλικές προς το περιβάλλον για την κάλυψη των ανάγων σε κλιματισμός καθώς και οι στόχοι τις συγκριμένης πτυχιακής εργασίας .
- Στο δεύτερο κεφαλαίο γίνεται μια σύντομη αναφορά της γεωθερμικής ενέργειας, παρουσιάζονται οι θεωρίες για την προέλευση, την εκμετάλλευση, τις χρήσεις, τις θερμικές εφαρμογές της γεωθερμίας, αναφέρεται στην θέρμανση και ψύξη με τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, εξετάζει την αρχή λειτουργίας για κάθε περίπτωση.
- Στο τρίτο κεφαλαίο γίνεται αναφορά στην τεχνολογία των συστημάτων του ηλιακού κλιματισμού και στην τεχνολογία των ηλιακών συλλεκτών ,παρουσιάζονται οι θεωρίες λειτουργίας για τις διαθέσιμες τεχνολογίες.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο κτήριο εφαρμογής καθώς και σε όλα τα απαραίτητα δεδομένα που χιάζονται για την διαστασιολογήσει των δύο συστημάτων.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται διαστασιολογήσει του γεωθερμικού εναλλάκτη ,παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής και το κόστος του συστήματος .
- Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται διαστασιολογήσει του συστήματος ηλιακού κλιματισμού ,παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής και το κόστος του συστήματος.
- Στο έβδομο κεφαλαίο παρουσιάζονται τα αρχικά κόστη των δυο συστημάτων ,τα λειτουργικά κόστη καθώς και γίνεται συγκρίσει τους σε σχέση με κάποια συμβατικά συστήματα και ελέγχεται η βιωσιμότητα των δυο συστημάτων .

Τέλος, στο παράρτημα περιλαμβάνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, του πύργου ψύξεις και απορροφήσεις καθώς και τα υπολογιστικά φυλά excel που χρησιμοποιηθήκαν .



### III. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ..... - 5 -
- ΣΚΟΠΟΣ ..... -6-

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Γεωθερμία

- 1.1. Εισαγωγή ..... -7-
- 1.2. Αβαθής γεωθερμία ..... -14-
- 1.3. Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας
  - 1.3.1. Γενικά για τις αντλίες θερμότητας.....-16-
  - 1.3.2. Αρχή του κύκλου συμπιεστή ατμού .....-20-
  - 1.3.3. Λειτουργεί ΓΑΘ .....-21-
  - 1.3.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ΓΑΘ.....-22-
- 1.4. Κατηγορίες ΓΑΘ.....-24-
  - 1.4.1. ΓΑΘ συνδεδεμένες με το υπέδαφος.....-25-
  - 1.4.2. Κάθετα συστήματα ΓΑΘ Κλείτου κυκλώματος .....- 27-
  - 1.4.3. Οριζόντια συστήματα ΓΑΘ Κλείτου κυκλώματος .....-30-
- 1.5. Παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα μιας εγκαταστάσεις ΓΑΘ .....-34-

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ηλιακός κλιματισμός

- 2.1. Γενικά.....- 35-
- 2.2. Πλεονεκτήματα ηλιακού κλιματισμού .....-37-
- 2.3. Συστήματα ηλιακού κλιματισμού .....-38-
  - 2.3.1. Γενικά για ψύκτες απορροφήσεις –προσρόφησης .....-41-
- 2.4. Απορρόφηση
  - 2.4.1. Γενικά περί ψυκτών απορροφήσεις .....-44-
  - 2.4.2. Λειτουργία ψυκτών απορρόφησης .....-47-
- 2.5. Ηλιακή συλλέκτες
  - 2.5.1. Εισαγωγή .....-50-
  - 2.5.2. Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης .....-53-
  - 2.5.3. Συλλέκτες κενού .....-56-
  - 2.5.4. Συγκεντρωτικοί ηλιακή συλλέκτες .....-61-

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Κτίριο εφαρμογής

- 3.1. Περιγραφή ξενοδοχείου .....-63-
- 3.2. Κλιματικά δεδομένα περιοχής .....-64-
- 3.3. Θερμικά φόρτια κτιρίου .....- 65-
- 3.4. Ψυκτικά φόρτια κτιρίου .....-67-



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Διαστασιολογήση κάθετου γεωεναλλακτη

4.1.	Διαστασιολογήση κάθετου γεωεναλλακτη .....	-70-
4.1.1.	Υπολογισμός μέσης ετήσιας ροής θερμότητας .....	-70-
4.1.2.	Υπολογισμός απαιτούμενου βάθους γεωτρήσεις .....	-72-
4.1.3.	Υπολογισμός θερμικών αντιστάσεων και ιδιότητας εδάφους .....	-74-
4.1.4.	Εγκατάσταση εξοπλισμού .....	-83-
4.2.	Κόστος συστήματος .....	-89-
4.2.1.	Λειτουργικό κόστος .....	-89-
4.2.2.	Κόστος εξοπλισμού .....	-92-
4.2.3.	Κόστος εγκαταστάσεις .....	-92-
4.2.4.	Κόστος συντηρήσεις .....	-93-
4.2.5.	Συνολικό κόστος επενδύσεις .....	-93-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Διαστασιολογήση συστήματος ηλιακού κλιματισμού

5.1.	Σύστημα ηλιακής θέρμανσης και ψύξεις με απορροφήσεις.....	-94-
5.2.	Κάλυψη των θερμικών φορτίων .....	-101-
5.3.	Τελικοί αξιοποίηση του συστήματος .....	-102-
5.4.	Κόστος αγοράς και εγκαταστάσεις ηλιακών συστημάτων .....	-102-
5.5.	Λειτουργικό κόστος .....	-103-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Σύγκριση των δυο συστημάτων μεταξύ τους και με συμβατικά συστήματα.

6.1.	Συνολικά κόστοι επενδύσεις των δυο συστημάτων.....	-104-
6.2.	Σύγκριση του κόστους επενδύσεις των δυο συστημάτων .....	-105-
6.3.	Σύγκριση λειτουργικού κόστους των δυο συστημάτων .....	-107-
6.4.	Συμβατικό σύστημα κλιματισμού .....	-110-
6.5.	Λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος .....	-111-
6.6.	Σύγκριση οικονομικών στοιχείων όλων των συστημάτων.....	-112-
6.7.	Βιωσιμότητα επενδύσεις συστήματος άβαθους γεωθερμίας και ηλιακού κλιματισμού .....	-116-

Συμπεράσματα .....	-121-
--------------------	-------

ΠΑΡΑΤΗΜΑ 1 .....	-124-
------------------	-------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	-128-
--------------------	-------



## ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα και η υπερθέρμανση του πλανήτη που δημιουργούνται από την καύση ορυκτών καυσίμων είναι ο λόγος που όλο και περισσότερος κόσμος στρέφεται στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον η απεξάρτηση από τα ορυκτά ( πετρέλαιο ,φυσικό αέριο κτλ) επιβάλλεται, πλέον, για οικονομικούς όσο και περιβαλλοντικούς λόγους .Τα αποθέματα πετρελαίου και άλλων ειδών ορυκτά καύσιμα συνεχώς φθίνουν και με την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ,επέβαλαν στην αγορά συνεχώς αυξανόμενο κόστος απόκτησης και χρήσης συμβατικών πηγών ενέργειας.

Ο κτιριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.

Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας, τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Στην Ελλάδα οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. 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, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα.

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή. Επί πλέον τα κλιματιστικά επιδεινώνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των αστικών κέντρων και τις συνεπαγόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν το καλοκαίρι .



**Στη συγκεκριμένη πτυχιακή, γίνεται προσπάθεια υπολογισμού και διαστασιολόγησης και σύγκριση συστήματος γεωθερμικού εναλλάκτη και ηλιακών συλλεκτών για κλιματισμό ξενοδοχειακής μονάδας.**

Ο κλιματισμός με χρήση ανανεώσιμων πηγών, και ιδιαίτερα η τεχνολογία του ηλιακού κλιματισμού και της αβαθής γεωθερμίας αποτελούν σημαντική συνιστώσα της Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής

Οι υψηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται στη νότια Ευρώπη οι οποίες αποδίδονται σε μεγάλο βαθμό στις κλιματικές αλλαγές έχουν ως αποτέλεσμα τη συνεχή αύξηση στη ζήτηση ενέργειας για κλιματισμό, κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η αξιοποίηση του ηλιακού δυναμικού και της γεωθερμικής ενέργειας για κλιματισμό μπορεί να περιορίσει σημαντικά την αιχμή της ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ παράλληλα θα μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.

## Σκοπός

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι :

1. Να αποκτήσουμε μια γενική εικόνα των δυο τεχνολογιών με ρεαλιστικά δεδομένα.
2. Υπολογισμός και διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος κλιματισμού (εφαρμογή της μεθοδολογίας της ASHRAE, για τον υπολογισμό του μήκους του γεωεναλλάκτη για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών) .
3. Υπολογισμός και διαστασιολόγηση συστήματα ηλιακού κλιματισμού.
4. Η εκτίμηση του συνολικού κόστους (αρχικό κόστος εγκατάστασης και συνολικό ) για να εκτιμηθεί η βιωσιμότητα μιας επένδυσης γεωθερμίας και ηλιακού κλιματισμού.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

#### 1.1 Εισαγωγή

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική, ήπια και σε σημαντικό βαθμό ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, με ή χωρίς αέρια, σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω, καθώς και σε θερμά-ξηρά πετρώματα. Η ενέργεια αυτή είναι εκμεταλλεύσιμη μόνο με την προϋπόθεση ότι οι γεωλογικές συνθήκες σε συνδυασμό με το θερμικό φορτίο, αποτελούν μια βιώσιμη οικονομικά λύση (αξιόλογες ποσότητες ρευστών σε βάθη μέχρι 3000m).

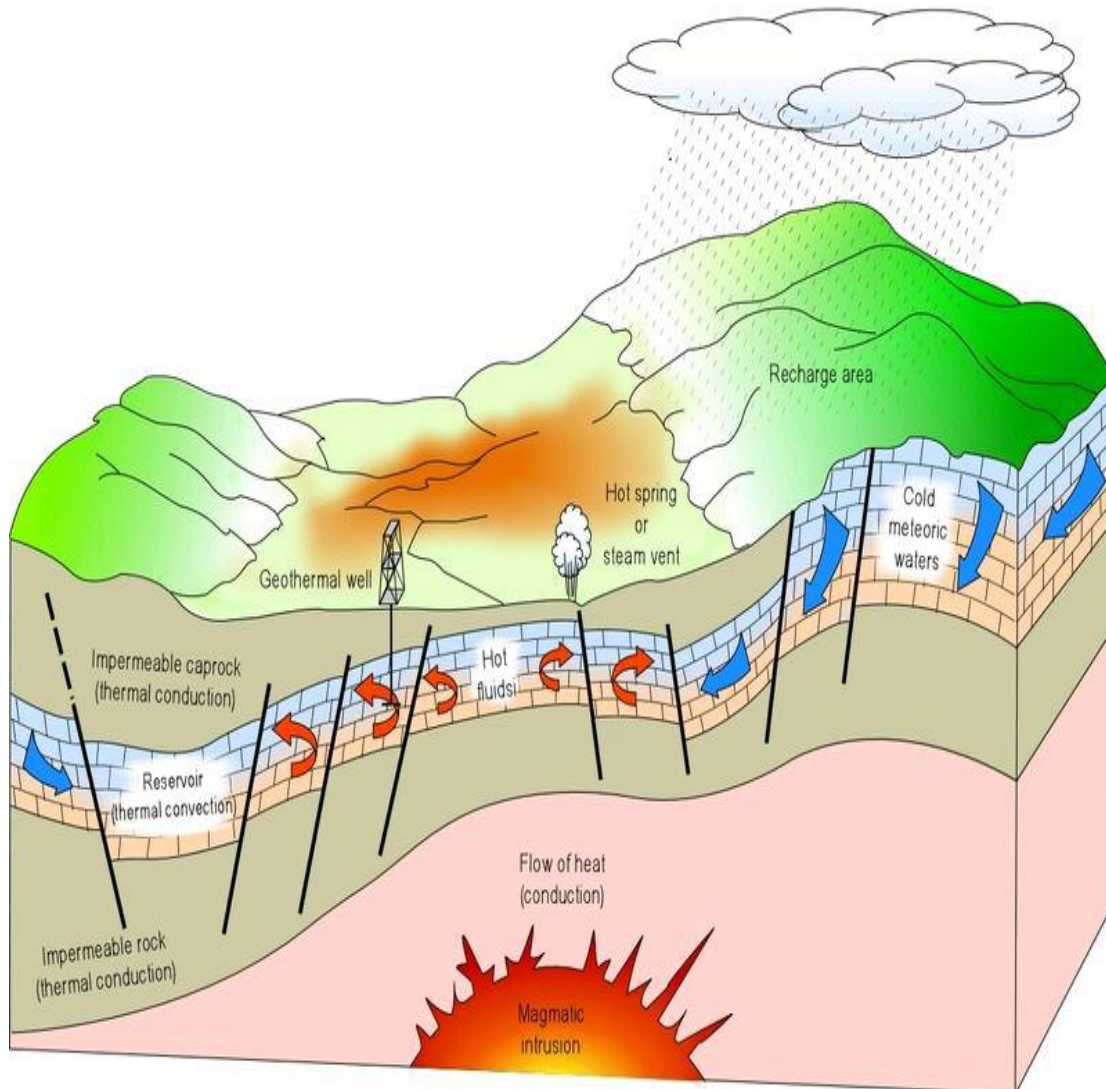
Πιο συγκεκριμένα Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε την φυσική θερμική ενέργεια του μάγματος του πυρήνα της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια, είτε μέσω ηφαιστειακών εκροών, είτε μέσω ρηγμάτων του υπεδάφους που αναβλύζουν ατμούς και θερμό νερό.

Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους

**α)** Με αγωγή θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,06 -0,08 W/m<sup>2</sup>.

**β)** Με ρεύματα μεταφοράς, (είσοδο στον φλοιό της γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της), που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.





**ΕΙΚΟΝΑ 1 :** Ένα γεωθερμικό πεδίο που παράγει ατμό και τα κύρια συστατικά του (Ηπεριοχή επαναφόρτισης , το μη περατό κάλυμμα, ο ταμιευτήρας ρευστών και η πηγή ενεργείας) ([http://www.geothermal-energy.org/319,\\_\\_\\_\\_.html](http://www.geothermal-energy.org/319,____.html))

Η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος (Ήταν ήδη γνωστό από τον 17<sup>ο</sup> αιώνα ότι η θερμοκρασία σε βαθιά ορυχεία είναι μεγαλύτερη από αυτή της επιφάνειας της γης), η μέση δε τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας στις ηπείρους για μάζες που βρίσκονται σχετικά κοντά στην επιφάνεια είναι 30°C/km, δηλαδή για κάθε χιλιόμετρο βάθους η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 30°C. Κάθε αύξηση (ανωμαλία) στην τιμή της μέσης γεωθερμικής βαθμίδας μεταφράζεται ως αύξηση της ροής θερμότητας προς την επιφάνεια και βελτιώνει τις γεωθερμικές συνθήκες αποτελώντας γεωθερμικό πεδίο. Σε πολύ μεγάλα βάθη, η θερμοκρασία δεν είναι με ακρίβεια γνωστή. Πιστεύεται ότι στο κέντρο της γης η θερμοκρασία φτάνει λίγο παραπάνω από τους 4.000 °C



**ΕΙΚΟΝΑ 2:** Θερμοκρασία στο εσωτερικό της γης

Είναι γνωστός σε όλους ο βασικός φυσικός νόμος που αναγκάζει την θερμότητα να μεταδίδεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σημείο. Αυτό προκαλεί μια συνεχή ροή θερμότητας από τα πολύ θερμά εσωτερικά σημεία της γης προς τα κρύα επιφανειακά σημεία και εν συνεχεία προς την ακόμα ψυχρότερη ατμόσφαιρα. Έτσι από τον πυρήνα (με θερμοκρασία που υπολογίζεται ότι είναι λίγο μεγαλύτερη των  $4.000^{\circ}\text{C}$ ) μέχρι της επιφάνεια της γης (που έχει μέση ετήσια θερμοκρασία από μερικές μονάδες έως λίγες δεκάδες  $^{\circ}\text{C}$ ) και την ατμόσφαιρα (η θερμοκρασία της οποίας στην τροπόσφαιρα μειώνεται με το ύψος με ρυθμό περίπου  $6^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ), δημιουργείται φυσιολογικά μία συνεχής ροή θερμότητας. Αυτή η ροή μεταφέρει θερμική ενέργεια από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια της γης, φαινόμενο χρήσιμο για τον άνθρωπο, ο οποίος έχει περιορισμένες επιλογές για να ικανοποιήσει τις ενεργειακές του ανάγκες. Η ροή θερμότητας που προσδιορίζεται στο φλοιό της γης εξαρτάται από την θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων και από την γεωθερμική βαθμίδα και αποτελεί το γινόμενο τους. Η θερμότητα που περιέχεται στον φλοιό της γης θεωρείται ότι είναι τεράστια της τάξης των  $5,4 \cdot 10^{21} \text{ MJ}$  (Armstead 1983). Ο White (1965) υπολόγισε ότι η ολική ποσότητα θερμότητας που περιέχεται στα πρώτα 10 km της γης (βάθος που αποτελεί συνήθως το όριο των ερευνητικών γεωτρήσεων, αν και η βαθύτερη γεώτρηση που έχει γίνει προσέγγισε τα 12 km) είναι περίπου  $1,25 \cdot 10^{27} \text{ J}$ , ποσό που είναι 2000 φορές μεγαλύτερο από την συνολική ποσότητα θερμικής ενέργειας την οποία θα μπορούσαν να προσφέρουν όλα μαζί τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων της γης. Θα πρέπει όμως να διευκρινιστεί, ότι μια τέτοια τεράστια ποσότητα ενέργειας δεν είναι εκμεταλλεύσιμη παρά μόνο σε ένα πολύ μικρό ποσοστό, διότι δυστυχώς δεν βρίσκεται συγκεντρωμένη, αλλά διάχυτη.

Τα γεωθερμικά πεδία σε επίπεδο ενεργειακής αξιοποίησης διακρίνονται στις κάτωθι κατηγορίες :



**A.** Υψηλής Ενθαλπίας ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ ), απόδοση 8-18%, που χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με εκτόνωση ατμού. Η εγκατεστημένη ισχύς των γεωθερμικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο ανέρχεται σε 6.000 MW περίπου.

**B.** Μέσης Ενθαλπίας ( $100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ ), απόδοσης 2-8%, που χρησιμοποιούνται για θέρμανση οικισμών (Η θερμική ενέργεια που δεσμεύεται από τη γεωθερμική πηγή διοχετεύεται προς τους χρήστες με την βοήθεια ενός δικτύου αγωγών), για ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και για την παραγωγή ηλεκτρισμού με χρησιμοποίηση πτητικού ρευστού π.χ. με κλειστό κύκλωμα (φρέον) που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως.

**Γ.** Χαμηλής Ενθαλπίας ( $25^{\circ}\text{C} < T < 100^{\circ}\text{C}$ ), απόδοσης 2-8%, που χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για θέρμανση νερού για οικιακή χρήση, στις ιχθυοκαλλιέργειες δεδομένου ότι πολλά είδη υδροβίων οργανισμών, όπως χέλια, γαρίδες ή φύκια αναπτύσσονται γρηγορότερα σε αυξημένες θερμοκρασίες, αλλά και για παραγωγή γλυκού νερού στις άλυδες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές μέσω της θερμικής αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.

**Δ.** Αβαθής γεωθερμία ( $T < 250^{\circ}\text{C}$ ), απόδοσης  $< 2\%$ , που χρησιμοποιούνται για θέρμανση-ψύξη κτιρίων.

Παρακάτω φαίνεται στο σχήμα με συγκεντρωμένες τις χρήσεις των διαφορετικών μορφών γεωθερμικής ενέργειας.

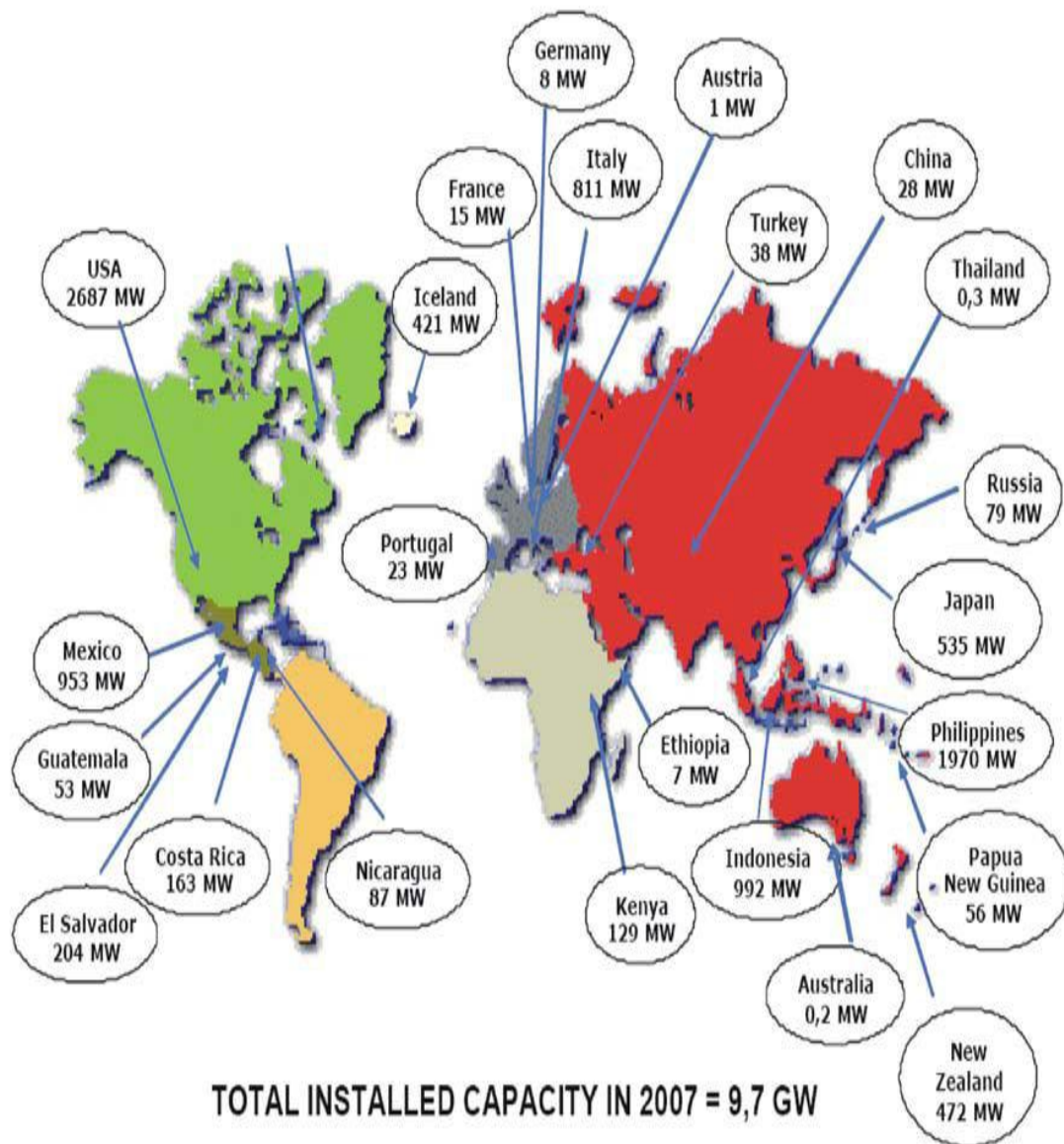
Θερμοκρασία ταμιευτήρα	Ρευστό ταμιευτήρα	Συνήθης χρήση	Τεχνολογία που συνήθως επιλέγεται
Υψηλή θερμοκρασία ( $> 220^{\circ}\text{C}$ )	Νερό ή ατμός	Ηλεκτροπαραγωγή	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ακαριαίος ατμός</li><li>• Συνδυασμένος κύκλος (ακαριαία ατμοποίηση &amp; δυαδικός)</li></ul>
		Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"><li>• Άμεση χρήση ρευστού</li><li>• Εναλλάκτες θερμότητας</li><li>• Αντλίες θερμότητας</li></ul>
Ενδιάμεση θερμοκρασία ( $100-220^{\circ}\text{C}$ )	Νερό	Ηλεκτροπαραγωγή	<ul style="list-style-type: none"><li>• Δυαδικός κύκλος</li></ul>
		Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"><li>• Άμεση χρήση ρευστού</li><li>• Εναλλάκτες θερμότητας</li><li>• Αντλίες θερμότητας</li></ul>
Χαμηλή θερμοκρασία ( $50-150^{\circ}\text{C}$ )	Νερό	Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"><li>• Άμεση χρήση ρευστού</li><li>• Εναλλάκτες θερμότητας</li><li>• Αντλίες θερμότητας</li></ul>

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

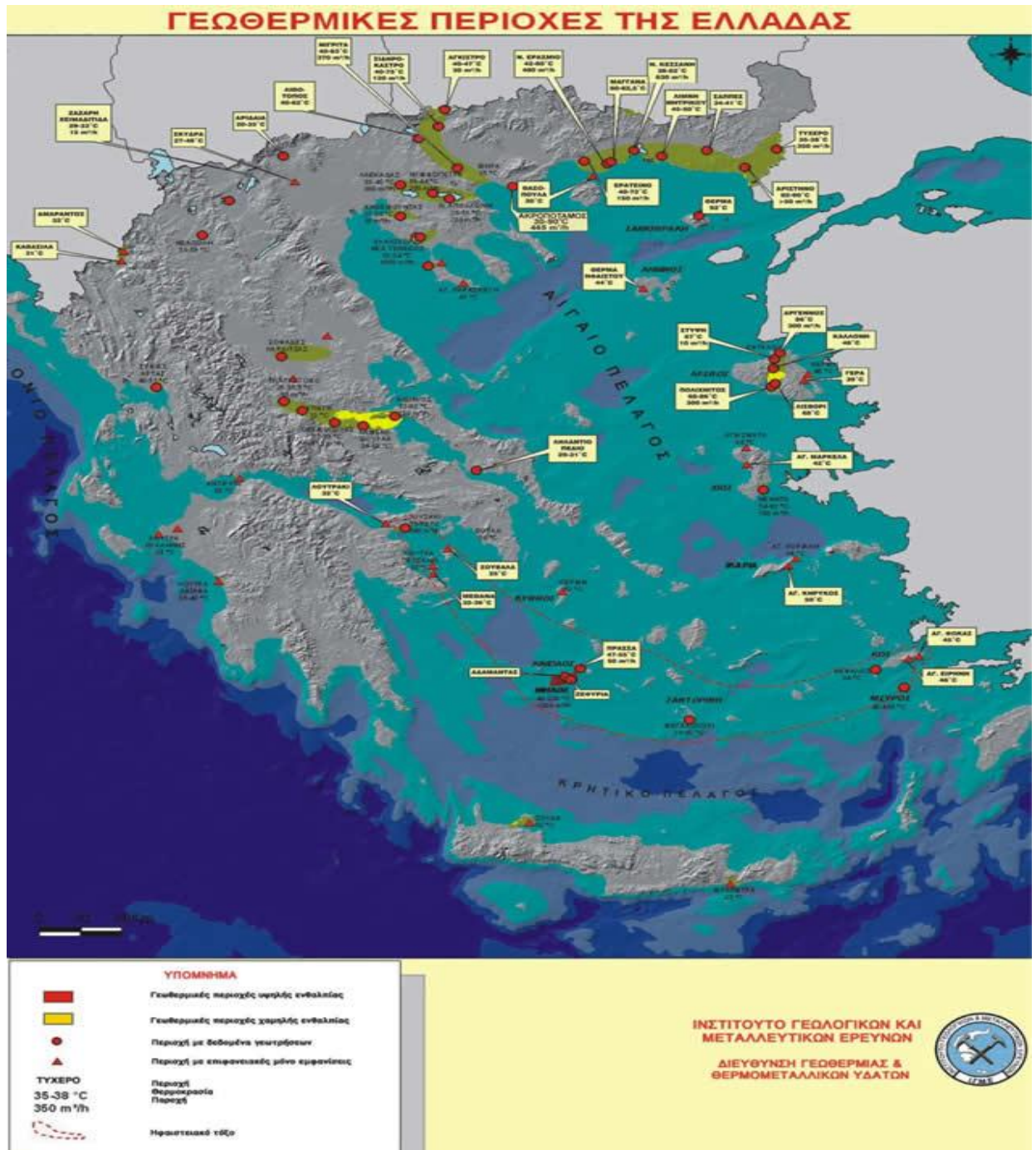


Όπως γίνεται αντιληπτό, έχει μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για κάλυψη των αναγκών του. Ειδικότερα η εκμετάλλευση της γεωθερμίας μπορεί να συμβάλει:

1. Στην εξοικονόμηση συναλλάγματος, αφού θα έχουμε μείωση των εισαγωγών πετρελαίου που χρησιμοποιείται για θέρμανση.
2. Στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων, κυρίως με την ελάττωση κατανάλωσης των εγχώριων αποθεμάτων λιγνίτη.
3. Στην καθαρότερη ατμόσφαιρα. Τα σημερινά γεωθερμικά πεδία παράγουν μόνο το 1/6 CO<sub>2</sub> σε σύγκριση με τις γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος που λειτουργούν με φυσικό αέριο, και καθόλου νιτρικά (NO<sub>x</sub>) και θειικά (SO<sub>x</sub>) αέρια. Για κάθε 1.000 MW ηλεκτρικού ρεύματος που προέρχεται από γεωθερμικές πηγές εκπέμπονται 1 εκατομμύριο kg λιγότερα τοξικά αέρια το χρόνο και 4 δισεκατομμύρια kg λιγότερο CO<sub>2</sub>, από ότι αν σαν πρώτη ύλη χρησιμοποιούταν άνθρακας



**ΕΙΚΟΝΑ3 :** Χάρτης των χωρών με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ από γεωθερμική ενέργεια (<http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull28-3/art3.pdf>)



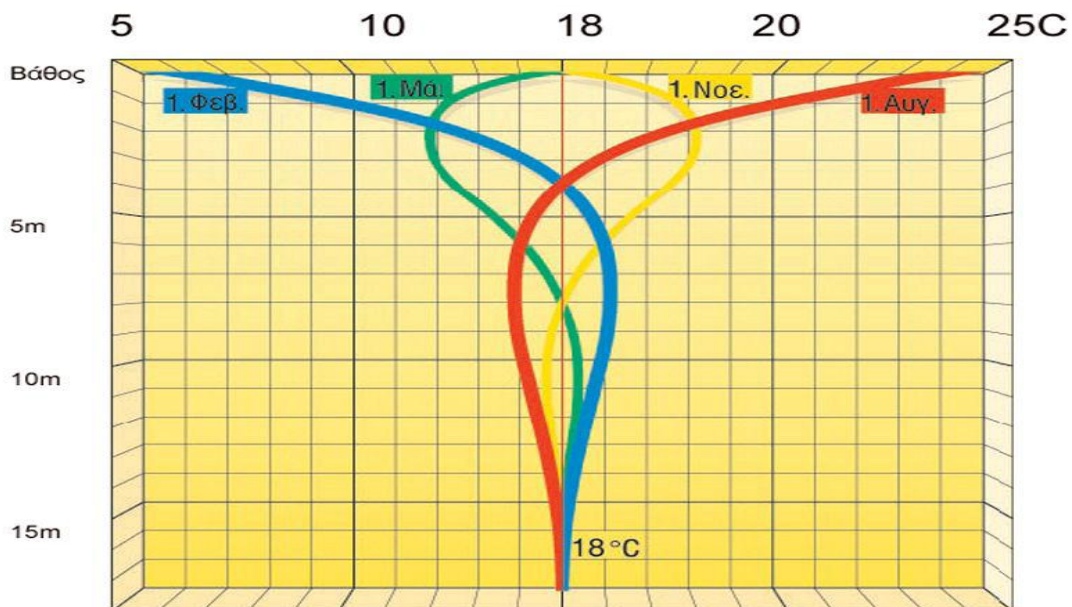
**ΕΙΚΟΝΑ 4 : Γεωθερμικός χάρτης της ελλαδας**

( [http://ecopressproject.blogspot.gr/2012/03/blog-post\\_4342.html](http://ecopressproject.blogspot.gr/2012/03/blog-post_4342.html) )



## 1.2 Αβαθής Γεωθερμία

Ως αβαθής γεωθερμία χαρακτηρίζεται η μορφή της γεωθερμικής ενέργειας κατά την οποία ενέργεια λαμβάνεται (ή απορρίπτεται) από μικρά βάθη με την χρήση αντλιών θερμότητας. Τα συστήματα αυτά συχνά καλούνται γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ). Η ανάκτηση της θερμότητας επιτυγχάνεται με την ανακυκλοφορία νερού σε κλειστές υδροφόρες ή ξηρές γεωτρήσεις ή σε ρηχές επιφάνειες εδάφους/πετρωμάτων, καθώς και με την απευθείας χρήση νερών. Η τεχνική βασίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία του υπεδάφους μένει σχεδόν αμετάβλητη σε βάθος μεγαλύτερο από 6 m, ενώ και στα 2 m δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Θα μπορούσαμε δε να πούμε ότι σε βάθος από 6 μ. έως 100 μ. η θερμοκρασία παραμένει σταθερή και είναι περίπου ίση με την μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα για τον συγκεκριμένο τόπο. Στην χώρα μας αυτό σημαίνει ότι σε τέτοιο βάθος η θερμοκρασία βρίσκεται ανάμεσα στους 16-20°C. Για την Αθήνα, η θερμοκρασία αυτή είναι 18°C.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1:** Μέσες θερμοκρασίες εδάφους (<http://sieline.gr/media/Image/graph.jpg>)



Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την απορρόφηση-αποθήκευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (σχεδόν το 50% απ' τη συνολική ποσότητα που φθάνει στη Γη) απ' τη γήινη επιφάνεια, και όπου στα γεωγραφικά πλάτη της εύκρατης ζώνης κάτω από κάποιο βάθος παραμένει περίπου σταθερή (10-20°C), καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η διατήρηση της θερμοκρασίας αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την διάρκεια του καλοκαιριού ο ήλιος ζεσταίνει την επιφάνεια του εδάφους, το οποίο απορροφά σε βάθος την θερμότητα που του παρέχεται, ενώ στη διάρκεια του χειμώνα η ίδια επιφάνεια ψύχεται και αφαιρεί θερμότητα από εκείνη που είχε συσσωρευτεί στο υπέδαφος.

Αυτό όμως γίνεται πολύ αργά και με μεγάλη διαφορά φάσης, έτσι ώστε ενώ στην επιφάνεια του εδάφους η θερμοκρασία παρουσιάζει σημαντική διακύμανση, όσο προχωρούμε σε βάθος η διακύμανση αυτή στη διάρκεια ενός έτους γίνεται μικρότερη και ουσιαστικά κάτω από τα 6 m. Σχεδόν εξαφανίζεται. Με τον τρόπο αυτό αποκαθίσταται μια κατάσταση ισορροπίας στο επίπεδο των 16-20°C.

Έτσι το καλοκαίρι, όπου η θερμοκρασία του εδάφους είναι μικρότερη από εκείνη του περιβάλλοντος, το σύστημα απάγει την θερμότητα του χώρου στο έδαφος, ενώ αντίστροφα, τον χειμώνα, το σύστημα μεταφέρει θερμότητα από το έδαφος στον χώρο. Άρα η σταθερή και μόνιμη αυτή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί, το μεν χειμώνα για θέρμανση νερού κεντρικής θέρμανσης έως 50°C, το δε καλοκαίρι για ψύξη νερού κλιματισμού έως 10°C, όπως επίσης και για ζεστό νερό χρήσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ υπεδάφους και επιφάνειας μπορεί να γίνει με την χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ) και δικτύου σωληνώσεων εντός του υπεδάφους. Με τον τρόπο αυτό, χρησιμοποιώντας ένα οριζόντιο ή κατακόρυφο δίκτυο από υπόγειους σωλήνες, η αντλία θερμότητας μπορεί είτε να δροσίσει είτε να θερμάνει το κτίριο, διοχετεύοντας νερό σε σωληνώσεις που καλύπτουν όλο το δάπεδο ή τους τοίχους.

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη όλον τον χρόνο και δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες της ατμόσφαιρας. Πλεονεκτεί έναντι της κάθε αυτού γεωθερμίας στο ότι βρίσκεται διαθέσιμη και εκμεταλλεύσιμη παντού, είναι αρκετά εύκολη στην αξιοποίησή της και μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως π.χ. με τα ηλιακή.

Σύμφωνα με έρευνα του ΚΑΠΕ, το ποσό για την εγκατάσταση ενός συστήματος αβαθούς γεωθερμίας σε μία κατοικία 150 τετραγωνικών φθάνει τα 10.000 ευρώ περίπου, ποσό στο οποίο συμπεριλαμβάνεται η αγορά, η εγκατάσταση του εξοπλισμού και η εκσκαφή για την τοποθέτηση των υπόγειων σωλήνων.





Συγκριτικά με ένα συμβατικό σύστημα ψύξης με ηλεκτρισμό και θέρμανσης με πετρέλαιο, η απόσβεση της αρχικής επένδυσης υπολογίζεται ότι θα γίνει σε 5 χρόνια, χρόνος που αυξάνεται κατά μία διετία περίπου αν συγκριθεί με ένα συμβατικό σύστημα που χρησιμοποιεί λέβητα φυσικού αερίου

Έτσι με τη γεωθερμία επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας έως και 40% για τη θέρμανση και 50% - 70% για την ψύξη .

### 1.3 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

#### 1.3.1 Γενικά για τις Αντλίες Θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας (ΑΘ) είναι θερμικές μηχανές οι οποίες λειτουργούν με βάση τη μεταφορά ή την άντληση θερμότητας (με τη μορφή ψύξης ή θέρμανσης) από μια δεξαμενή θερμότητας (αέρας περιβάλλοντος, δεξαμενή νερού, υπόγεια νερά, λίμνη ,έδαφος) προς ένα χώρο, μέσω ενός κύκλου εξάτμισης και συμπύκνωσης ενός εργαζόμενου μέσου, με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα λειτουργίας τόσο για την παραγωγή θέρμανσης όσο και την παραγωγή ψύξης. Έτσι, με μία κεντρική μονάδα μπορεί να αντικατασταθεί ένας αριθμός άλλων θερμικών συσκευών, για θέρμανση και ψύξη, οδηγώντας σε ολοκληρωμένες λύσεις κλιματισμού.

Επιπλέον, οι αντλίες θερμότητας έχουν πολύ καλύτερη ενεργειακή απόδοση από άλλα συστήματα θέρμανσης . Και ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι απλός: αντί να καταναλώνει καύσιμα, αυτό που κάνει είναι να "μεταφέρει τη θερμότητα".

Για το λόγο αυτό οι αντλίες θερμότητας είναι μέχρι πέντε φορές περισσότερο αποδοτικές, από πλευράς ενέργειας , από άλλα συστήματα θέρμανσης .

Οι Αντλίες Θερμότητας απορροφούν περίπου το 75% της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη από το περιβάλλον. Το υπόλοιπο 25% το παίρνουμε με την μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι πετυχαίνουμε θερμική άνεση 100% .

**Λειτουργία ψύξης (καλοκαίρι):** Η αντλία θερμότητας «αντλεί» θερμότητα από το εσωτερικό του κτιρίου και την απορρίπτει σε εξωτερική "δεξαμενή" θερμότητας (αέρας , έδαφος , νερό ) . Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία της εξωτερικής δεξαμενής θερμότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση της αντλίας θερμότητας.



**Λειτουργία θέρμανσης (χειμώνας):** Η αντλία θερμότητας «αντλεί» θερμότητα από εξωτερική πηγή θερμότητας (αέρας , έδαφος , νερό) και την προσάγει στο εσωτερικό του κτιρίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της εξωτερικής πηγής θερμότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση της αντλίας θερμότητας .

Η συνοπτική λειτουργία μιας αντλία θερμότητας έγκειται στις παρακάτω διαδικασίες :

**1.** Αντιψυκτικό υγρό κυκλοφορεί σε ένα σωλήνα (συλλέκτη) και απορροφά θερμότητα (ενέργεια) από το έδαφος, το νερό ή τον αέρα

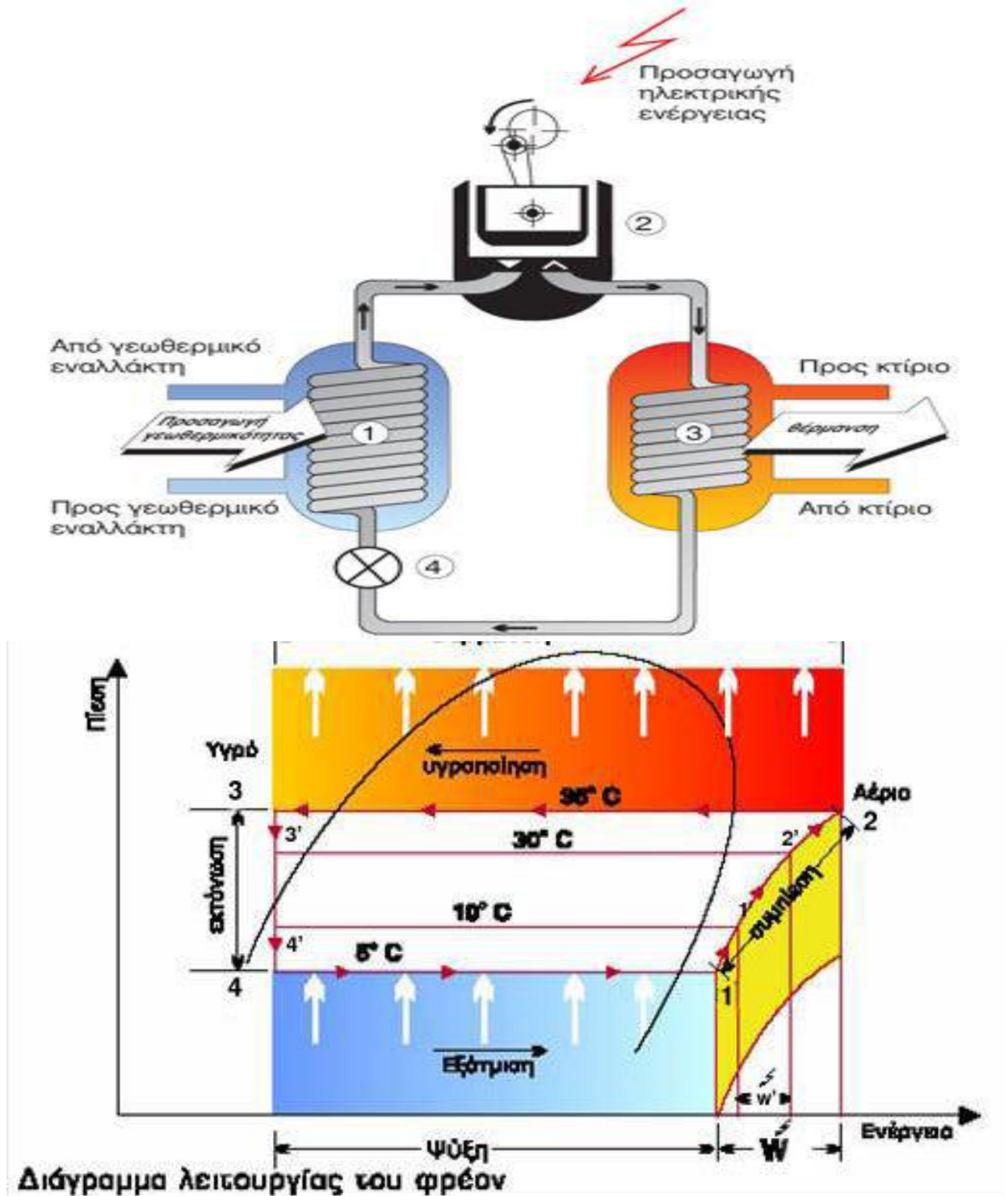
**2.** Στην αντλία θερμότητας υπάρχει ένας εναλλάκτης που ονομάζεται εξατμιστείς. Εκεί μεταφέρεται η ενέργεια (θερμότητα) από το αντιψυκτικό υγρό στο ψυκτικό υγρό (μέσο). Αυτό έχοντας χαμηλό σημείο ζέσης (εξατμίζεται στους 5-10°C) , εξατμίζεται και κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα.

**3.** Στον συμπιεστή με τη βοήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας συμπιέζεται το αέριο πλέον ψυκτικό μέσο, με στόχο την ανύψωση της πίεσης και θερμοκρασίας του.

**4.** Το αέριο ψυκτικό μέσο συμπυκνώνεται αποδίδοντας την θερμοκρασία του στον κλιματιζόμενο χώρο, όταν έρχεται σε επαφή με το νερό κυκλοφορίας θέρμανσης του κτιρίου, διαμέσου ενός εναλλάκτη θερμότητας. Το θερμό νερό μεταβιβάζεται στο κτίριο με στόχο τη θέρμανση του, ενώ το υγρό πια ψυκτικό μέσο εκτονώνεται στην βαλβίδα εκτόνωσης για τη πτώση της πίεσης του.

**5.** Το ψυκτικό υγρό μεταφέρεται πάλι στον εξατμιστεί και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η επανάληψη του κύκλου δημιουργεί τη συνεχή θέρμανση του κτιρίου.

**6.** Στην καλοκαιρινή λειτουργία, αντιστρέφεται ο κύκλος του ψυκτικού δια της βαλβίδας αντιστροφής, με αποτέλεσμα το έδαφος, το νερό ή ο αέρας να αποτελεί τον αποδέκτη της θερμότητας, ενώ το κτίριο την πηγή ενέργειας (εξατμιστείς).



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2 :** Αρχή λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας  
(<http://www.energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/antlies.html>)



Για την ενεργειακή αξιολόγηση των αντλιών θερμότητας χρησιμοποιείται ο βαθμός απόδοσης COP ( Coefficient of Performance) που είναι ο λόγος της αποδιδόμενης θερμότητας προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

$$COP = \frac{\text{ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (W)}}{\text{ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (W)}}$$

Έτσι μία αντλία θερμότητας που έχει COP = 5, μεταφέρει 5 kW θερμικής ισχύος για κάθε 1 kW εισερχομένης ισχύος.

Στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται από 3 μέχρι 5. Δηλαδή ένας καυστήρας ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός, ενώ μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 300% -500% .

Οι σύγχρονες αντλίες θερμότητας έχουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης (COP = 4~6). Η αυξημένη τιμή του είναι επιθυμητή γιατί σημαίνει ότι τόσο πιο αποδοτική ενεργειακά είναι η χρήση της αντλίας αφού παράγεται μεγαλύτερο θερμικό φορτίο σε σχέση με το ηλεκτρικό έργο που προσφέρουμε στον συμπιεστή.

Ο βαθμός απόδοσης μίας αντλίας εξαρτάται από τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος και χώρου, και γενικά ισχύει ότι όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του μέσου από το οποίο αντλείται η θερμότητα και της θερμοκρασίας του μέσου στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα, τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός απόδοσης .

Για την απόδοση της αντλίας κατά τη λειτουργία σε ψύξη χρησιμοποιείται συχνά και ο λόγος ενεργειακής απόδοσης EER ( Energy Efficient Ratio) που είναι ο λόγος της αποδιδόμενης ψύξης προς την απορροφημένη ηλεκτρική ενέργεια:

$$EER = \frac{\text{ΑΠΟΔΙΔΟΜΕΝΗ ΨΥΞΗ (\frac{BTU}{Hr})}}{\text{ΑΠΟΡΡΟΦΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (W)}}$$

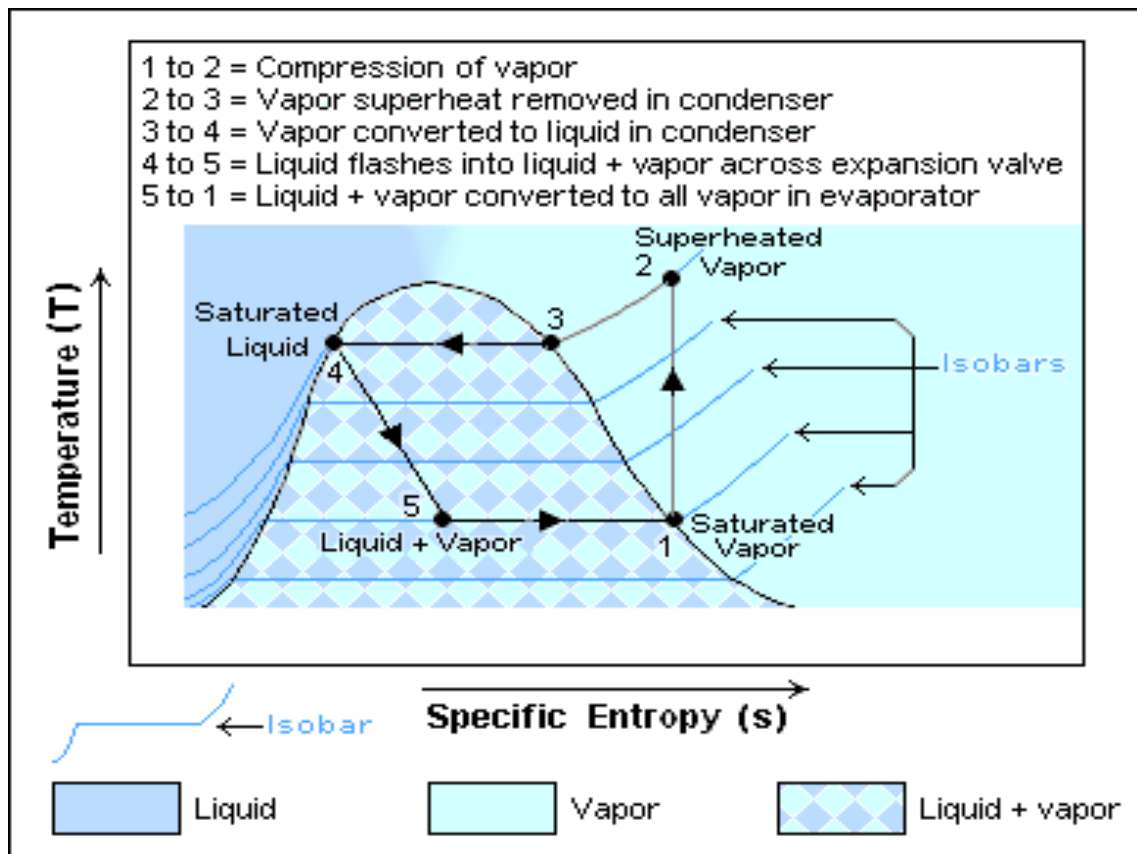
Συνήθεις τιμές για τον συντελεστή αυτόν είναι από 10 μέχρι 17 αλλά μπορούν να φτάσουν ακόμα και το 20 για μεγάλες εφαρμογές .

Μία αντλία θερμότητας θεωρείται ότι έχει ικανοποιητική απόδοση, εάν EER>10 και COP >3.



### 1.3.2 Αρχή του Κύκλου Συμπύεσης Ατμού

Στο σχήμα (3) φαίνεται η αρχή λειτουργίας του κύκλου συμπύεσης ατμού μιας αντλίας θερμότητας σε διάγραμμα T-S .



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3:** Αρχή λειτουργίας του κύκλου συμπύεσης ατμού  
(<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/RefrigerationTS.png>)



Στην αντλία θερμότητας ως ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί ένα συνηθισμένο ψυκτικό μέσο ίδιο με αυτά που κυκλοφορούν σε ένα κλιματιστικό μηχάνημα.

- Ο κορεσμένος ατμός καταστάσεως 1 εισέρχεται στον συμπιεστή και συμπιέζεται.
- Στην έξοδο του συμπιεστή έχουμε υπέρθερμο ατμό καταστάσεως 2.
- Αυτός ο ατμός εισέρχεται στη διάταξη του συμπυκνωτή όπου συμπυκνώνεται (3) απορρίπτοντας θερμότητα στο περιβάλλον και διατηρώντας σταθερή την πίεση (4).
- Η έξοδος του συμπυκνωτή αποτυπώνεται στην κατάσταση (4) όπου έχουμε κορεσμένο ατμό.
- Αυτός περνά από την βαλβίδα εκτόνωσης από όπου με μειωμένη την πίεση σε μορφή υγρού κατευθύνεται στον εξατμιστή σε κατάσταση (5).
- Αφού εισέλθει στον εξατμιστή, απορροφώντας ενέργεια από τον χώρο που θέλουμε να ψύξουμε εξατμίζεται και βρίσκεται πάλι στην κατάσταση (1) εισόδου του συμπιεστή.

### 1.3.3 Λειτουργία ΓΑΘ

Η Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (Geothermal Heat Pump ή για συντομία GHP) αντί να χρησιμοποιεί τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος για να αποβάλλει (καλοκαίρι) ή να αντλήσει (χειμώνας) θερμότητα, χρησιμοποιεί την θερμότητα που περικλείουν τα υπόγεια νερά, τα νερά των λιμνών και της θάλασσας ή την θερμότητα που περικλείει το χώμα. Έτσι η ΓΑΘ χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο σωληνώσεων, όπου κυκλοφορεί νερό, κατάλληλα τοποθετημένων ανταλλάζει θερμότητα με το έδαφος ή με τη θάλασσα αναλόγως με την εγκατάσταση.

Αν κάνουμε μία σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα κλιματισμού με αερόψυκτες εξωτερικές μονάδες όπως πχ. τα κλιματιστικά μηχανήματα διαιρούμενου τύπου, τις εξωτερικές μονάδες των οποίων τις συναντούμε στα μπαλκόνια των διαμερισμάτων ή στα δώματα των κτιρίων, θα έχουμε παρατηρήσει ότι το καλοκαίρι κατά τη διάρκεια μιας πολύ ζεστής μέρας (35 ή και 40° C), έχουμε μία μεγάλη πτώση της απόδοσής τους και αδυναμία να μας δροσίσουν ικανοποιητικά. Αυτό συμβαίνει γιατί η συσκευή καλείται να αποβάλει θερμότητα σε ένα ήδη κορεσμένο από θερμικό φορτίο περιβάλλον και καταβάλλει μια μάταιη προσπάθεια καταναλώνοντας υπερβολικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Αν όμως η κλιματιστική συσκευή απέβαλε την θερμότητα σε ένα ψυχρότερο περιβάλλον, όπως πχ αυτό του εσωτερικού του εδάφους, όπου ακόμα και στις θερμότερες μέρες του καλοκαιριού η θερμοκρασία του δεν ξεπερνάει τους 20° C,



τότε η απόδοσή της θα ήταν πάρα πολύ μεγάλη και η οικονομία σε ηλεκτρική ενέργεια τεράστια.

Σε αυτή την αρχή της θερμοδυναμικής βασίζεται η χρήση των γεωθερμικών εναλλακτών, που κατά μια έννοια «μεταφέρουν», με την βοήθεια της αντλίας θερμότητας, τους 20° C του εδάφους μέσα στο σπίτι καταναλώνοντας έτσι την ελάχιστη δυνατή ηλεκτρική ενέργεια.

Κατ' ανάλογο τρόπο, το χειμώνα, το γεωθερμικό σύστημα καλείται να ανυψώσει τους 16-17° C του εδάφους μέχρι τους 20-22° C για να ζεστάνει το χώρο μας. Η οικονομία και εδώ είναι τεράστια σε σχέση με μία συμβατική αντλία θερμότητας αέρα.

Να σημειωθεί ότι τα συμβατικά κλιματιστικά μηχανήματα αδυνατούν σχεδόν να ζεστάνουν το χώρο σε θερμοκρασίες κάτω των 0° C. Ουσιαστικά δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά σε θερμοκρασίες μικρότερες των 5° C. Αντίθετα οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ξεπερνούν το μειονέκτημα των συστημάτων με ατμοσφαιρικό αέρα και λειτουργούν ικανοποιητικά ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

### 1.3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας

#### Πλεονεκτήματα:

**A.** Ο βαθμός απόδοσης (COP) μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, δηλαδή η ποσότητα θερμικής ενέργειας που παράγει σε σχέση με την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει, είναι στην πράξη 4,0 έως 5,5, ενώ στην Αντλία Θερμότητας με πηγή αέρα είναι κατώτερη από 2,8, εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

**B.** Λειτουργεί χωρίς πρόβλημα σε οποιοσδήποτε καιρικές και θερμοκρασιακές συνθήκες περιβάλλοντος, υπό το μηδέν το χειμώνα και πάνω από 40°C το καλοκαίρι, διότι η Γεωθερμική Αντλία τροφοδοτείται από το Γεωθερμικό Εναλλάκτη με νερό αμετάβλητης θερμοκρασίας, ίσης περίπου με αυτή που επικρατεί στο υπέδαφος κάτω από το κτίριο.

**Γ.** Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος Γεωθερμικού Κλιματισμού είναι πολύ χαμηλότερο, απ' ό,τι στο σύστημα με Αντλία Θερμότητας με πηγή αέρα

**Δ.** Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας δεν δημιουργούν θόρυβο κατά τη λειτουργία τους και ο γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας στο έδαφος διαρκεί τουλάχιστον 25 έτη.

**E.** Συμβάλλει θετικά σε δύο υψηλούς αναπτυξιακούς – κοινωνικούς στόχους :



1) Στην εξοικονόμηση ενέργειας με την πολύ χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και την παραγωγή πολλαπλάσιας θερμικής και ψυκτικής ενέργειας από την επιτόπια γεωθερμική ενέργεια. Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να μειώσουν το Κόστος θέρμανσης ως και 70% και το κόστος ψύξης έως και 50% και να παρέχουν ζεστό νερό χρήσης για της ανάγκες της κατοικίας.

2) Στην προστασία του περιβάλλοντος, διότι, χρησιμοποιώντας την καθαρή γεωθερμική ενέργεια, εκτοπίζει το ρυπογόνο πετρέλαιο και μειώνει την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, που, όπως είναι γνωστό, παράγεται στη χώρα μας κυρίως στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς από τα ρυπογόνα συμβατικά καύσιμα.

Οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας λοιπόν λειτουργούν με τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από τα άλλα είδη Αντλιών Θερμότητας έχοντας μικρές και σταθερές διαφορές θερμοκρασιών και με βαθμό απόδοσης στη θέρμανση μέχρι και 500%.

Επίσης σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα τα γεωθερμικά διαρκούν περισσότερο, καθώς αποτελούν «κλειστά» συστήματα, όπως το ηλεκτρικό ψυγείο, που εγκαθίστανται μέσα στα κτίρια ή στο υπόγειο χώρο τους.

Ακόμα τα γεωθερμικά συστήματα δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα. Έχοντας ένα παρόμοιο τρόπο κατασκευής με αυτό των ηλεκτρικών ψυγείων, οι Γ.Α.Θ. έχουν πολύ λίγα κινούμενα εξαρτήματα που θα μπορούσαν να χαλάσουν.

Ο Γεωθερμικοί Εναλλάκτες είναι κατασκευασμένοι από πιστοποιημένους πλαστικούς σωλήνες και μπορούν να λειτουργούν αποδοτικά πενήντα χρόνια μετά την εγκατάστασή τους.

Ωστόσο τα συστήματα γεωθερμικού κλιματισμού έχουν και κάποια

### **Μειονεκτήματα :**

**A.** Το αρχικό κόστος κατασκευής είναι υψηλότερο από του συμβατικού.

**B.** Υπάρχει δυσκολία στην επιδιόρθωση μιας διαρροής στα κλειστά κυκλώματα

**Γ.** Για τα ανοικτού κυκλώματος συστήματα απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού.





## 1.4 Κατηγορίες Γεωθερμικών Αντλιών Ανάλογα με την Δεξαμενή Θερμότητας που Λειτουργούν

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) χωρίζονται σε 3 κατηγορίες με κριτήριο την δεξαμενή θερμότητας με την οποία λειτουργούν.

Έτσι έχουμε :

**A.** ΓΑΘ που λειτουργούν με υπόγεια νερά (ground water open loop heat pumps) με θερμοκρασία μικρότερη των 25°C.



**B.** ΓΑΘ που λειτουργούν με επιφανειακά νερά ( surface water heat pumps).





Γ. ΓΑΘ που είναι συνδεδεμένες με το υπέδαφος ( ground coupled heat pumps).

Όταν αξιοποιείται το νερό γεώτρησης ή πηγαδιού ή λίμνης η ποταμού ή της θάλασσα χρησιμοποιείται γεωεναλλάκτης ανοιχτού κυκλώματος.

Όταν αξιοποιείται το υπέδαφος χρησιμοποιείται ο γεωεναλλάκτης κλειστού κυκλώματος , σε κατακόρυφο ή οριζόντιο σύστημα.

Όπως γίνεται κατανοητό οι δυο πρώτες κατηγορίες αναφέρονται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ταμειυτήρας νερού σε κάποιο βάθος κάτω από το έδαφος είτε επιφανειακά νερά σε χαμηλή θερμοκρασία κοντά στην εγκατάσταση. Έτσι οι δυο αυτές περιπτώσεις δεν θα μας απασχολήσουν αλλά θα ασχοληθούμε μόνο με τις ΓΑΘ που είναι συνδεδεμένες με το υπέδαφος

### 1.4.1 ΓΑΘ Συνδεδεμένες με το Υπέδαφος (Ground Coupled Heat Pumps)

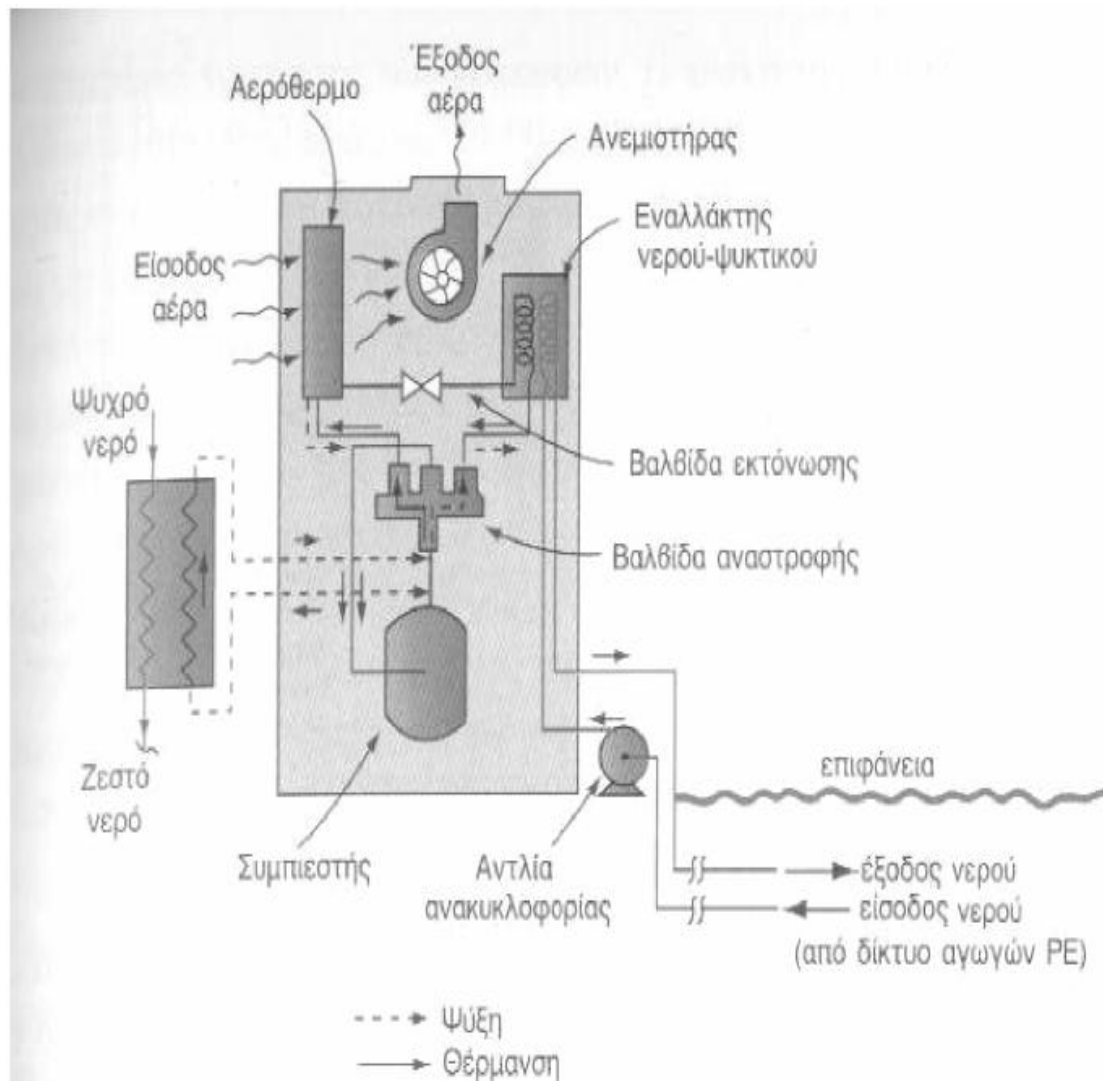
Τα συστήματα αυτά συχνά καλούνται ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος και αποτελούνται ουσιαστικά από σύστημα κύκλου συμπίεσης ατμών , το οποίο είναι συνδεδεμένο με υπεδάφιο εναλλάκτη (εδάφους- νερού) που βρίσκεται θαμμένος στο έδαφος. Η θερμοκρασία του εδάφους όπως έχουμε προαναφέρει μένει σχεδόν αμετάβλητη σε βάθος μεγαλύτερο από 6 m προσεγγίζοντας τη μέση ετήσια θερμοκρασία της ατμόσφαιρας , ενώ ακόμα και σε βάθος 2 m η θερμοκρασία του εδάφους αποκρίνεται στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις , με καθυστέρηση ορισμένης χρονικής περιόδου.

Σε αυτά τα βάθη η αποθηκευμένη ενέργεια του εδάφους προέρχεται βασικά από την ηλιακή ακτινοβολία και μόνο ένα μικρό ποσοστό (2-3%) προέρχεται από την θερμότητα της γης. Βέβαια η θερμότητα σε βάθη μεγαλύτερα από 15 m προέρχεται μόνο από την γεωθερμία.

Το πλέον χρησιμοποιούμενο σύστημα είναι μία αντλία θερμότητας νερού-αέρα , στον εξαμιστεία της οποίας κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα (συχνά υπό πίεση) νερό ή νερό με αντιψυκτικό διάλυμα.



Βέβαια για τη λειτουργία της αντλίας για παραγωγή ψύξης το καλοκαίρι, το υγρό του κλειστού κυκλώματος διέρχεται μέσα από το συμπυκνωτή.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4:** (Γεωθερμική αντλία θερμότητας κλειστού κυκλώματος )

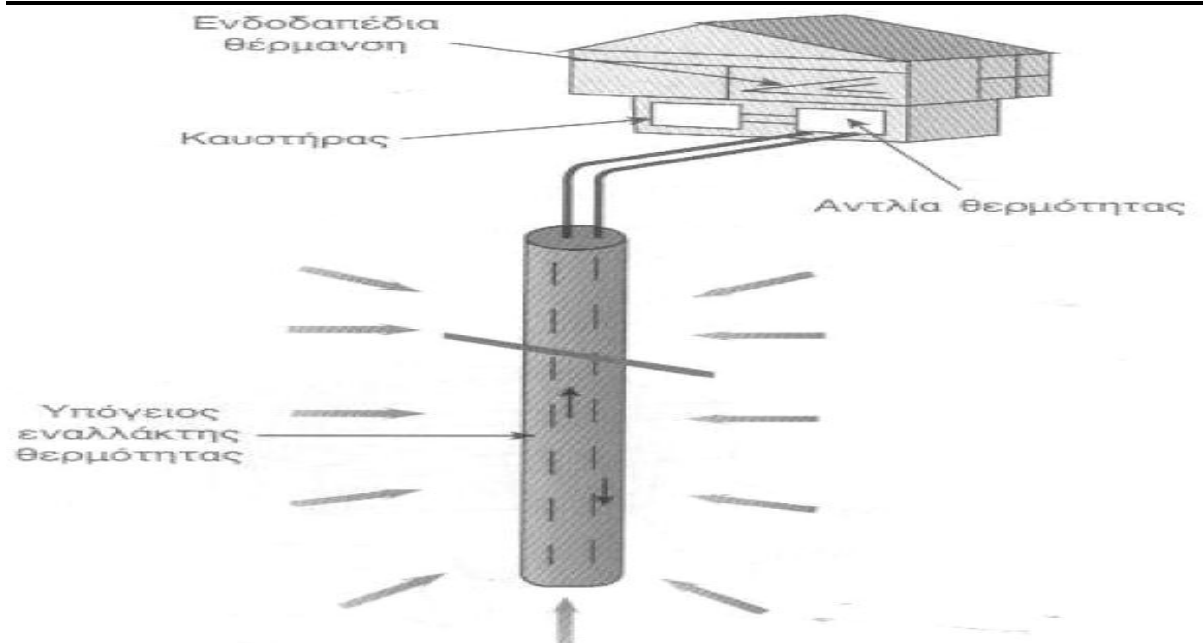
Το υγρό αυτό απορροφά θερμότητα από το έδαφος στην διάρκεια του χειμώνα και απορρίπτει θερμότητα σε αυτό στην διάρκεια του καλοκαιριού. Ως αντιψυκτικά χρησιμοποιούνται οι γλυκόλες (αιθυλένιο- και προπυλένιο-γλυκόλη), το χλωριούχο ασβέστιο, το οξικό κάλιο κ.α.

Τα συστήματα ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος διαχωρίζονται περαιτέρω σε κάθετα και οριζόντια ανάλογα με την γεωμετρία του υπόγειου εναλλάκτη.



## 1.4.2 Κάθετα Συστήματα ΓΑΘ Κλειστού Κυκλώματος

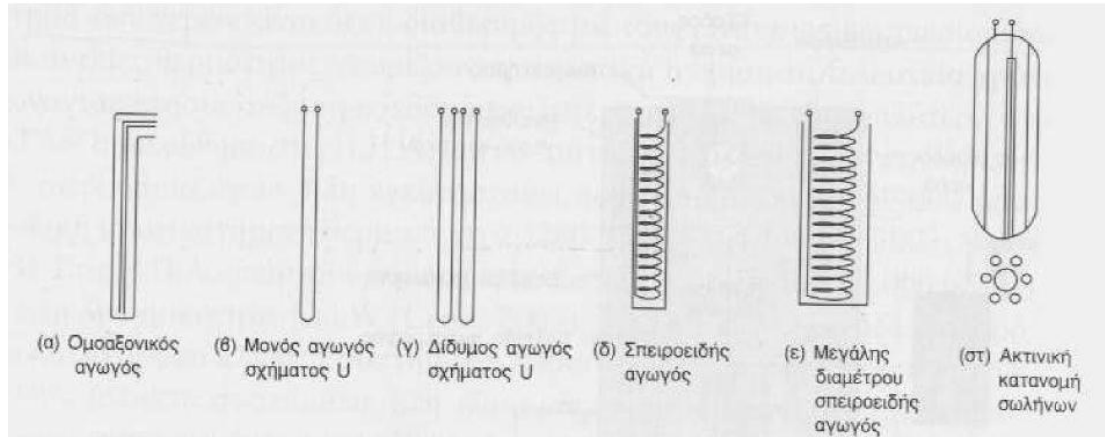
Τα κάθετα συστήματα αποτελούνται συνήθως από ένα ζεύγος σωληνώσεων μικρής διαμέτρου (20-40 mm) από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) που τοποθετείται συνήθως σε μία ή περισσότερες κατακόρυφες γεωτρήσεις το εσωτερικό των οποίων γεμίζεται εν συνεχεία από στερεό υλικό.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5 :** Αρχή του κατακόρυφου συστήματος ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος με χρήση υπόγειου εναλλάκτη θερμότητας (Ομοαξονικός διπλός πλαστικός σωλήνας)



Το ζεύγος των σωληνώσεων είναι συνδεδεμένο με θερμοκόλληση στο κάτω άκρο σχηματίζοντας U. Εκτός από αυτό το σχήμα έχουν εφαρμοστεί και άλλες γεωμετρίες, με σκοπό την αύξηση της επιφάνειας του υπόγειου εναλλάκτη όπως τα διπλά ζεύγη σωληνώσεων και η σπειροειδής τοποθέτηση του πλαστικού αγωγού



**ΣΧΗΜΑ 1:** Διάφοροι τύποι εγκατάστασης των σωληνώσεων (μέσα στην γέωτρηση) στα κατακόρυφα συστήματα



**Εικόνα 5** (τοποθέτηση Γεωεναλλάκτη)



**Εικόνα 6** (Γεωεναλλάκτης)



Το βάθος των γεωτρήσεων ποικίλλει από 15 μέχρι και 200 m ,ανάλογα με τις συνθήκες , το κόστος διάτρησης και τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Οι πιο πάνω παράμετροι ρυθμίζουν και τον αριθμό των γεωτρήσεων. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων είναι μικρή (2-3 m) επειδή η επίδραση της μιας γεώτρησης στην άλλη είναι ελάχιστη. Έτσι μπορούμε να έχουμε μεγάλη πύκνωση των γεωτρήσεων και επομένως , εξασφάλιση σημαντικών ποσοτήτων θερμότητας σε μικρό χώρο. Η παροχή θερμότητας στον υπόγειο εναλλάκτη προέρχεται από διάφορες πηγές , από την γεωθερμική ροή θερμότητας , από αγωγή σε οριζόντιο επίπεδο και από την ανοδική πορεία του υπόγειου νερού , αν υπάρχει.

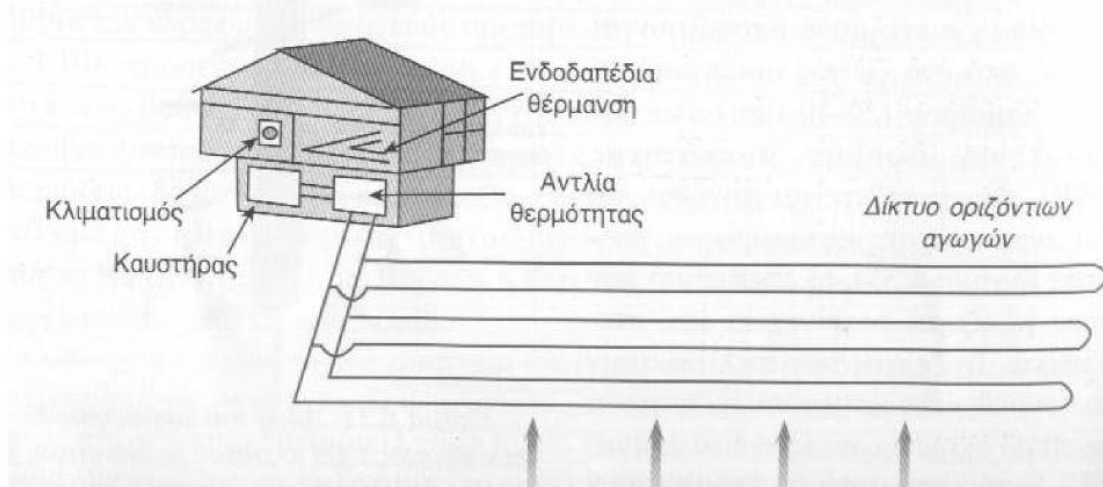
Η απόδοση που επιτυγχάνεται κυμαίνεται μεταξύ 40 – 70 W/m<sup>2</sup> ανάλογα με την σύσταση του υπεδάφους. Οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις με περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο και για βραχώδη εδάφη. Η απόδοση τους παρουσιάζει σταθερότητα και η λειτουργία της αντλίας θερμότητας είναι ομαλή καθ' όλο το έτος. Το κόστος κατασκευής είναι σχετικά μεγαλύτερο σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους και οδηγεί την εγκατάσταση σε απόσβεση σε 6 έως 9 έτη. Τα πλεονεκτήματα των κάθετων συστημάτων είναι ότι απαιτούν μικρότερο χώρο, λιγότερες σωληνώσεις και μικρότερη παροχή ενέργειας στην αντλία, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν πολύ αποδοτικά.

Στα μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών θα μπορούσε να αναφερθεί το υψηλό αρχικό κόστος που προέρχεται από την διαθεσιμότητα του κατάλληλου εξοπλισμού αλλά και έμπυχου δυναμικού που απαιτείται για την κατασκευή ενός τέτοιου έργου.



### 1.4.3 Οριζόντια Συστήματα ΓΑΘ Κλειστού Κυκλώματος

Στα οριζόντια συστήματα οι σωληνώσεις τοποθετούνται οριζόντια στο έδαφος σε ορισμένο βάθος και με διάφορες γεωμετρίες.



**ΣΧΗΜΑ 2:** Αρχή συστήματος ΓΑΘ με χρήση οριζόντιου κυκλώματος αγωγών

Το δίκτυο των αγωγών τοποθετείται σε βάθος 1-2 m ή και βαθύτερα αν το επιτρέπει το κόστος των εκσκαφών. Η εκσκαφή μπορεί να γίνει με τη μορφή ορυγμάτων, συνήθως πλάτους 20-60 cm ή με τη μορφή της ολικής απομάκρυνσης του εδάφους. Μετά την τοποθέτηση του δικτύου των σωληνώσεων, ο χώρος καλύπτεται με το χώμα της εκσκαφής. Τα συστήματα αυτά χωρίζονται σε τρεις ομάδες: μονής σωλήνωσης, πολλαπλής σωλήνωσης και σπειροειδούς σωλήνωσης. Τα συστήματα μονής σωλήνωσης τοποθετούνται σε στενά αυλάκια τουλάχιστον 1-2m βαθιά. Αυτά τα συστήματα απαιτούν τον μεγαλύτερο χώρο για την εγκατάστασή τους. Τα



συστήματα πολλαπλής σωληνώσεως συνίστανται στην τοποθέτηση συνήθως 2 ή 4 σωληνώσεων σε ένα αυλάκι κι έτσι μειώνεται ο χώρος που απαιτείται. Οι σωλήνες απέχουν μεταξύ τους 30-70 cm . Με τη χρήση πολλαπλών σωληνώσεων μπορεί το μήκος των αυλακώσεων να μειωθεί, όμως πρέπει να αυξηθεί το συνολικό μήκος των σωληνώσεων για να υπερνικηθούν οι θερμικές επιδράσεις που υπάρχουν ανάμεσα στις γειτονικές σωληνώσεις. Τα συστήματα σπειροειδών σωληνώσεων μειώνουν ακόμα περισσότερο την απαιτούμενη επιφάνεια. Τα μήκη των αυλακώσεων σε αυτή την περίπτωση είναι μόνο το 20-30% του μήκους για μονές σωληνώσεις, όμως πάλι πρέπει να αυξηθεί σημαντικά το μήκος των σωληνώσεων για να υπερνικηθούν οι θερμικές επιδράσεις που υπάρχουν ανάμεσα στις γειτονικές σωληνώσεις.



**ΕΙΚΟΝΑ 7:** Εκσκαφή μορφής ολικής απομάκρυνσης εδάφους και πολλαπλές Σωληνώσεις





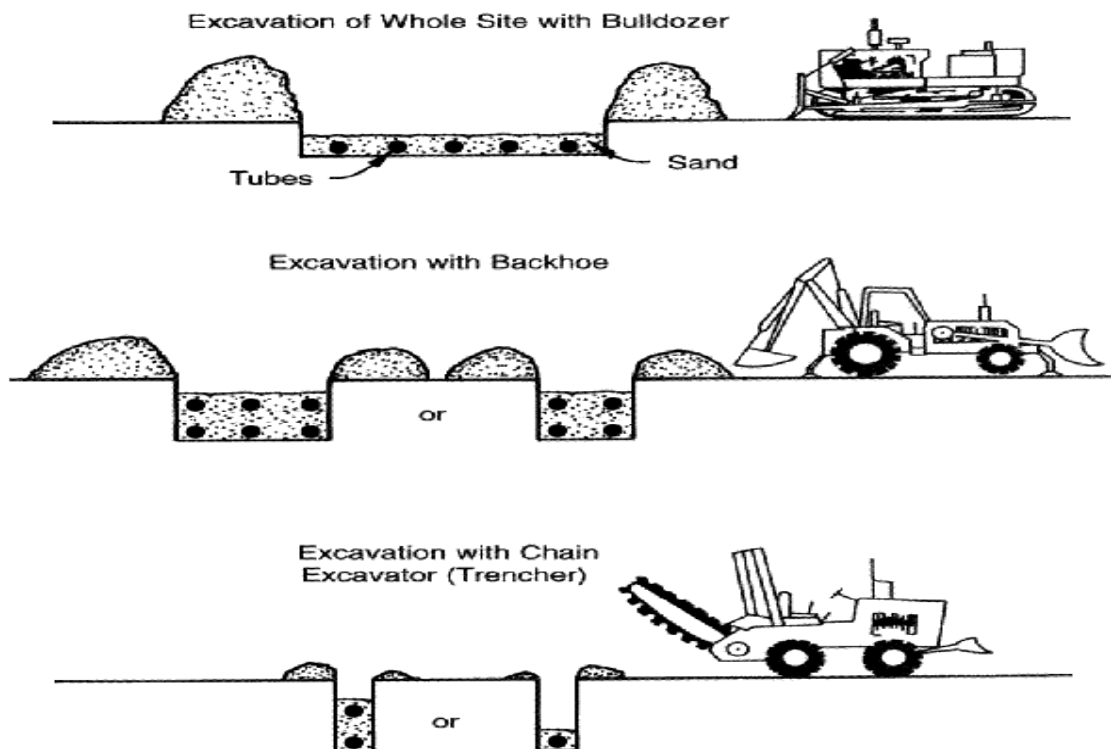
**ΕΙΚΟΝΑ 8:** (οριζόντια τοποθετήσει )



**ΕΙΚΟΝΑ 9:** (οριζόντια τοποθετήσει )



**ΕΙΚΟΝΑ 10 :** Εκσκαφή μορφής ορύγματος και σπειροειδείς σωληνώσεις



**ΣΧΗΜΑ 3:** Τρόποι εκσκαφής για οριζόντια συστήματα ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος (<http://www.geo4va.vt.edu/A2/A2.htm>)



Κύριο πλεονέκτημα των οριζόντιων συστημάτων σε σύγκριση με τα κάθετα είναι το μικρότερο κόστος εγκατάστασης, (η απόσβεση της γίνεται σε 2 έως 4 έτη ) και η ευκολία κατασκευής. Η απόδοση του γεωεναλλάκτη αυτού κυμαίνεται μεταξύ 20 – 35W/m<sup>2</sup> ανάλογα με την σύσταση του εδάφους εγκατάστασης. Σοβαρός περιορισμός είναι η ανάγκη ύπαρξης ικανού χώρου για την τοποθέτηση των υπεδάφιων σωληνώσεων , γεγονός που περιορίζει την χρήση αυτών των συστημάτων σε εξοχικές κατοικίες. Οι κατακόρυφες γεωτρήσεις πάντως καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο (έτσι μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές με πολλά κτίρια) και είναι περισσότερο αποδοτικές , γιατί η θερμοκρασία του υπεδάφους είναι περισσότερο σταθερή σε μεγαλύτερα βάθη αφού δεν έχουμε την εποχική διακύμανση των θερμοκρασιών και των θερμικών χαρακτηριστικών που έχουμε στο βάθος των 2 m.

### **1.5 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αποδοτικότητα μιας Εγκατάστασης ΓΑΘ**

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα μιας εγκατάστασης ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος είναι :

- A.** Το κλίμα
- B.** Οι θερμικές ιδιότητες του υπεδάφους
- Γ.** Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας
- Δ.** Το κόστος ανόρυξης της γεώτρησης ή της εκσκαφής των ορυγμάτων
- Ε.** Οι τυχόν επιδοτήσεις και τα κίνητρα για την εγκατάσταση μονάδων εξοικονόμησης ενέργειας

Είναι φανερό ότι η αύξηση των ΓΑΘ στον κόσμο και οι τεχνολογική πρόοδος των τελευταίων χρόνων έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους εγκατάστασης.

Έτσι στην μελέτη για το ξενοδοχείο επιλέγεται ως λύση η εγκατάσταση ενός κάθετου συστήματος ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος για την παραγωγή ψύξης και θέρμανσης.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### Ηλιακός κλιματισμός

#### 2.1 Γενικά

Οι απαιτήσεις κλιματισμού στις κατοικίες και στον τριτογενή τομέα αυξάνονται συνεχώς, ιδιαίτερα λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων θερμικής άνεσης και των υψηλότερων θερμοκρασιών που έχουν εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Παράλληλα, εφαρμογές παθητικών και ημι-ενεργητικών συστημάτων, που χρησιμοποιούνται για αιώνες για τη διατήρηση άνετων συνθηκών σε εσωτερικούς χώρους, φαίνεται να μην αξιοποιούνται σε πολλά νέα κτίρια. Έτσι η όλο και περισσότερο εκτενής χρήση των ηλεκτροκίνητων συστημάτων ψύξης με συμπύεση είναι υπεύθυνη για την αυξανόμενη ζήτηση αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι, η οποία φτάνει σε διάφορες περιπτώσεις στο ανώτατο όριο του δικτύου. Η "ενεργειακή έλλειψη" είναι πιο έντονη κατά τη διάρκεια των "ξηρών" υδρολογικά ετών λόγω της ανεπάρκειας των υδροηλεκτρικών σταθμών, ώστε να καλυφθεί ποσοστό του φορτίου αιχμής. Ακόμα η εκπομπή αερίων ρύπων υπεύθυνων για το φαινόμενο του θερμοκηπίου αυξάνεται, είτε από την ενεργειακή παραγωγή, είτε από τυχόν διαρροές των ψυκτικών ρευστών, γεγονός που ενισχύει το φαύλο κύκλο των κλιματικών αλλαγών.

Έτσι η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού χώρων είναι ελκυστική, δεδομένου ότι το ψυκτικό φορτίο συμπίπτει γενικά με τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας και επομένως οι απαιτήσεις σε ψύξη ενός κτιρίου συμπίπτουν με την υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Τα συστήματα ηλιακής ψύξης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν απολύτως αβλαβή ρευστά όπως το νερό, ή διαλύματα αλάτων για την λειτουργία τους. Είναι ενεργειακά αποδοτικά και περιβαλλοντικά φιλικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικό κλιματισμό, για να βελτιώσουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας του εσωτερικού όλων των τύπων κτιρίων. Ο κύριος στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες "μηδενικών εκπομπών" με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Ωστόσο αν και υπάρχει μια μεγάλη δυνητική αγορά τα διαθέσιμα συστήματα ηλιακής ψύξης δεν είναι άμεσα ανταγωνιστικά, σε οικονομικό επίπεδο, με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού, κυρίως λόγω του υψηλού πάγιου κόστους τους και των σχετικά χαμηλών τιμών των συμβατικών καυσίμων. Η μείωση του κόστους των επιμέρους εξαρτημάτων (ηλιακοί συλλέκτες, ψύκτες, κλπ.) με παράλληλη βελτίωση της απόδοσής τους, θα αλλάξει εντυπωσιακά την κατάσταση, έστω κι αν είναι ακόμα δύσκολο να προβλεφθεί η χρονική στιγμή που αυτές οι ηλιακές τεχνολογίες θα είναι ανταγωνιστικές. Η σύγκριση μιας ηλιακής τεχνολογίας με κάποια συμβατική μπορεί να γίνει μόνο αν τα

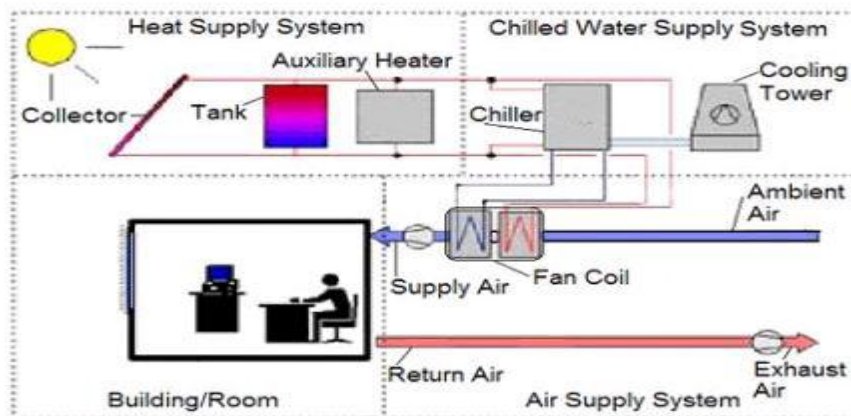


περιβαλλοντικά και κοινωνικά κόστη (με εξωτερικά κόστη, κόστη διανομής και έμμεσα κόστη) συμπεριλαμβάνονται σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη η αδυναμία πρόβλεψης της τιμής των συμβατικών καυσίμων για μεγάλη χρονική περίοδο αφού συνεχώς αυξομειώνονται.

Έτσι, παρόλο που η χρησιμοποιούμενη ενέργεια παρέχεται δωρεάν (ηλιακή ενέργεια), τα συστήματα ηλιακής ψύξης είναι προς το παρόν ακριβότερα από τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού αντίστοιχης ψυκτικής ισχύος. Επομένως, αν αποφασισθεί η εγκατάσταση ενός συστήματος ηλιακής ψύξης, πρέπει να γίνει προσεκτική ανάλυση των παραμέτρων του κτιρίου που θα κλιματίζεται και να υιοθετηθούν όλα τα μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών.

Μια τυπική εγκατάσταση ηλιακού κλιματισμού συνήθως αποτελείται από :

- (α) ηλιακούς συλλέκτες (παρέχουν την απαιτούμενη θερμότητα για τη λειτουργία του ψύκτη),
- (β) μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού,
- (γ) τη μονάδα ψύξης
- (δ) το σύστημα κλιματισμού και
- (ε) το εφεδρικό σύστημα θέρμανσης – ψύξης (ενσωματώνεται στην εγκατάσταση είτε σαν εφεδρική θέρμανση, είτε σαν εφεδρικός ψύκτης ή και τα δύο).



**ΣΧΗΜΑ 4:** Διάγραμμα ενός ηλιακού συστήματος ψύξης  
([http://s3.hubimg.com/u/101378\\_f520.jpg](http://s3.hubimg.com/u/101378_f520.jpg))



## 2.2 Πλεονεκτήματα Ηλιακού Κλιματισμού

Ο κλιματισμός με τη χρήση ηλιακής ενέργειας έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων μεθόδων :

**Α. Είναι περιβαλλοντολογικά φιλικός:** Τα κλιματιστικά γενικώς χρησιμοποιούν πάρα πολύ ηλεκτρική ενέργεια. Μειώνοντας την κατανάλωση αυτών των ενεργειακών πηγών, μειώνεται και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

**Β. Έχει ευελιξία:** Με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας και συγκεκριμένα με εναλλάκτες θερμότητας με σωλήνες, τα υγρά μπορούν να θερμανθούν σε υψηλές θερμοκρασίες.

**Γ. Είναι οικονομικά πρόσφορος:** Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη λειτουργία των κλιματιστικών, των ψυκτών και κατ' επέκταση της κεντρικής θέρμανσης και της παροχής ζεστού νερού, μειώνει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικά τον αντίστοιχο λογαριασμό.

**Δ. Έχει ευρεία εφαρμογή:** Τα κλιματιστικά που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια είναι ιδανικά για εφαρμογές μεγάλου μεγέθους, όπως ξενοδοχεία, σούπερ μάρκετ, σχολεία, εργοστάσια κ.λπ.

**Ε. Έχει συγχρονισμό:** Τα κλιματιστικά είναι περισσότερο αναγκαία το καλοκαίρι, ακριβώς τότε που ο ήλιος λάμπει περισσότερο, χαρίζοντας άφθονη ενέργεια.



## 2.3 Συστήματα Ηλιακού Κλιματισμού

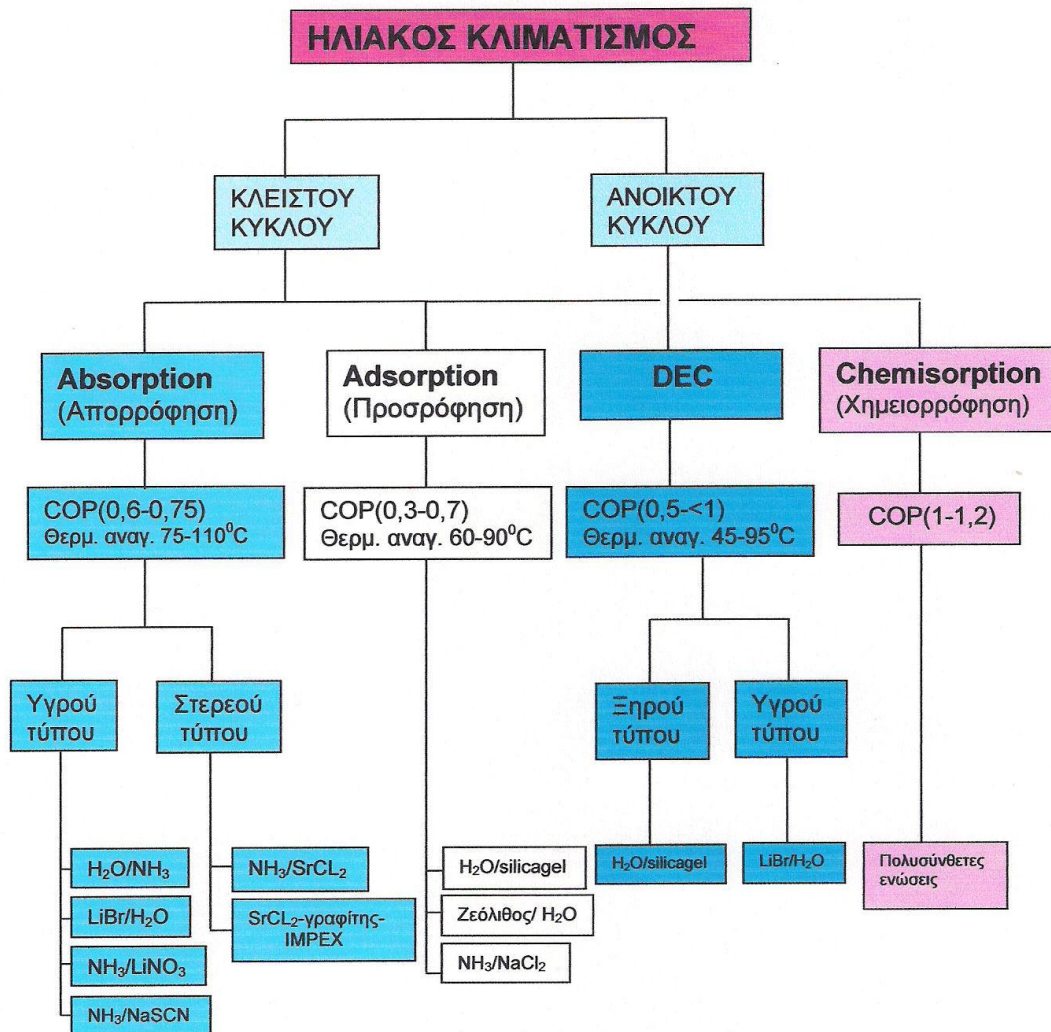


Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα μπορούν να ταξινομηθούν σε :

**A. Κλειστά Συστήματα:** αυτά είναι θερμοκίνητοι ψύκτες που παρέχουν ψυχρό νερό, το οποίο είτε χρησιμοποιείται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα (ψυχρό , ξηρό) είτε διανέμεται μέσω ενός δικτύου ψυχρού νερού σε καθορισμένους χώρους για να ενεργοποιήσει τις τοπικές μονάδες των δωματίων (π.χ. fan coils , ενδοδαπέδια ή ψύξη αέρα με εναλλάκτη)

Στην αγορά των κλειστών συστημάτων υπάρχουν σήμερα διαθέσιμοι οι **ψύκτες απορρόφησης** (πιο κοινοί) και οι **ψύκτες προσρόφησης** (μερικές εκατοντάδες συστήματα παγκοσμίως, αλλά συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος για τον ηλιακό κλιματισμό). Στα κλειστά συστήματα υπάρχει μία ακόμα κατηγορία, αυτή των **ψυκτών χημειορρόφησης**, η οποία όμως έχει πολύ μικρή εφαρμογή ακόμα.

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


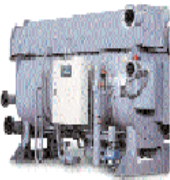




Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ταξινόμησης συστημάτων Ηλιακού Κλιματισμού.  
Η διάταξη είναι κατά τον φθίνοντα αριθμό εφαρμογών στην αγορά, από αριστερά προς τα δεξιά.

### ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: Ταξινόμηση συστημάτων ηλιακού κλιματισμού





Μέθοδος	Κλειστού Κύκλου		Ανοικτού Κύκλου	
Ψυκτικός κύκλος	Κλειστός ψυκτικός κύκλος		Ψυκτικό μέσο (νερό) είναι σε επαφή με τον αέρα	
Αρχή	Ψυχρό νερό υπό εξάτμιση		Αφύγραση του αέρα και ψύξη με εξάτμιση	
Φάση υλικού ρόφησης	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
				
Τυπικά ζεύγη υλικών	νερό - silica gel	νερό - βρωμιούχο λίθιο αμμωνία - νερό	νερό - silica gel νερό - χλωριούχο ασβέστιο	νερό - χλωριούχο ασβέστιο, νερό - χλωριούχο λίθιο
Τεχνολογία διαθέσιμη στην αγορά	Ψύκτης προσρόφησης	Ψύκτης απορρόφησης	DEC	Κοντά στην εισαγωγή στην αγορά
Τυπική ψυκτική ικανότητα(kW)	50 - 430 kW	15 kW - 5 MW	20 kW - 350 kW (ανά μονάδα)	
Τυπικό COP	0,5 - 0,7	0,6 - 0,75 (απλής βαθμίδας)	0,5 - > 1	> 1
Θερμοκρασία αναγέννησης	60 - 90 °C	80 - 110 °C	45 - 95 °C	45 - 70 °C
Ηλιακοί συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος

**Πίνακας 2:** Επισκόπηση των πιο κοινών τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού



### 2.3.1 ΘΕΡΜΟΚΙΝΗΤΟΙ ΨΥΚΤΕΣ

Με τους ψύκτες απορρόφησης – προσρόφησης (θερμοκίνητοι ψύκτες) πραγματοποιείται μετατροπή της θερμότητας σε ψύξη. Οι τεχνολογίες της ψύξης απορρόφησης-προσρόφησης βρίσκουν επιτυχή εφαρμογή στις περιπτώσεις όπου υπάρχει διαθέσιμη θερμότητα και δεν υπάρχουν ανάγκες για θερμότητα αλλά υπάρχουν ανάγκες για ψύξη. Τέτοια παραδείγματα είναι τα συστήματα συμπαραγωγής, στα οποία η συμπαραγόμενη θερμότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση χώρων (π.χ. ξενοδοχεία, νοσοκομεία, μεγάλα δημόσια κτίρια κλπ.), ενώ το καλοκαίρι διοχετεύεται σε ψύκτες απορρόφησης/προσρόφησης, οι οποίοι παράγουν ψύξη για τον κλιματισμό των χώρων.

Οι θερμοκίνητοι ψύκτες μπορούν να χαρακτηριστούν από τρία θερμοκρασιακά επίπεδα :

**A.** Επίπεδο υψηλής θερμοκρασίας στο οποίο παρέχεται η θερμοκρασία αναγέννησης της διεργασίας ρόφησης (sorption).

**B.** Επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας στο οποίο λειτουργεί η διαδικασία ψύξης.

**Γ.** Μέσο επίπεδο θερμοκρασίας στο οποίο και η θερμότητα που απορρίπτεται από τον κύκλο ψυχρού νερού και η θερμότητα αναγέννησης πρέπει να απομακρυνθούν.

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



ΣΧΗΜΑ 5: Θερμοκρασιακά επίπεδα θερμοκίνητων ψυκτών



Σε γενικές γραμμές, ο κύκλος απορρόφησης-προσρόφησης αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια :

1. Το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιείται είναι το νερό. Με τον ψεκασμό του νερού σε ένα δοχείο, στο οποίο υπάρχουν συνθήκες κενού και την εξάτμισή του, προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας.

2. Οι υδρατμοί που παράγονται απορροφούνται-προσροφούνται από ένα διαλυτικό μέσο απορρόφησης-προσρόφησης. Τα απορροφητικά μέσα που χρησιμοποιούνται είναι το Βρωμιούχο Λίθιο (LiBr) και η Αμμωνία. Το διάλυμα αμμωνίας χρησιμοποιείται για να επιτευχθούν χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ αποφεύγεται η τοποθέτηση τέτοιων ψυκτών σε κλειστούς χώρους. Το προσροφητικό μέσο που χρησιμοποιείται είναι το Silica Gel.

3. Το κορεσμένο διάλυμα αναγεννιέται από μια πηγή θερμότητας (νερό θερμοκρασίας μεγαλύτερης από 70°C ή ατμό χαμηλής πίεσης) και ελευθερώνονται οι υδρατμοί.

4. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται από ένα κατάλληλο ρευστό ψύξης

Μια βασική παράμετρος που περιγράφει την αποδοτικότητα ενός ψύκτη απορρόφησης/προσρόφησης είναι ο Θερμικός Συντελεστής Απόδοσης (Coefficient of Performance, COP), που ορίζεται ως το κλάσμα της θερμότητας που απορρίπτεται από το κύκλωμα ψυχρού νερού και της απαραίτητης θερμότητας αναγέννησης, δηλαδή  $COP_{thermal} = Q_{cold} / (Q_{cold} + Q_{heat})$  (αποδιδόμενη ψύξη) /  $Q_{heat}$  (καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια). Είναι δε διαφορετικός από το  $COP_{conv}$  ενός συμβατικού, ηλεκτροκίνητου ψύκτη συμπίεσης, που ορίζεται ως  $COP_{conv} = Q_{cold} / E_{electric}$ , με τον όρο  $E_{electric}$  να αντιπροσωπεύει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του ψύκτη.

Ο ορισμός του  $COP_{thermal}$  δεν περιλαμβάνει οποιαδήποτε άλλη πρόσθετη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, μια ρεαλιστική σύγκριση διαφορετικών τεχνολογιών απαιτεί την εκτίμηση της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για τροφοδοσία θερμότητας, για αντλίες, ανεμιστήρες, κλπ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο μικρότερος είναι ο COP, τόσο περισσότερη τροφοδοσία θερμότητας απαιτείται και περισσότερη θερμότητα πρέπει να απορριφθεί από τον ψυκτικό πύργο. Αντίστροφα, η υψηλή τιμή COP είναι πλεονεκτική στη μείωση και της τροφοδοσίας θερμότητας και της ηλεκτρικής ενέργειας για τις αντλίες στον κύκλο θέρμανσης και στον κύκλο επανάψυξης (recooling cycle).



Έτσι ο βαθμός απόδοσης ενός ψύκτη είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του θερμού νερού που προσάγεται για την αναγέννηση του διαλύματος. Για τους ψύκτες απορρόφησης οι τιμές κυμαίνονται από 0,5 (για θερμό νερό 70 °C) έως και 1,1 (για ατμό). Για τους ψύκτες προσρόφησης οι τιμές κυμαίνονται από 0,7 (για θερμό νερό 70 °C) έως 0,9 (για ατμό) .

Η απαιτούμενη θερμοκρασία ψυχρού νερού εξαρτάται από το εγκατεστημένο σύστημα ψύξης στους επιμέρους χώρους. Σε περίπτωση που απαιτείται αφύγρανση του αέρα, π.χ. πτώση κάτω από το σημείο κορεσμού της θερμοκρασίας δωματίου με τη χρήση τοπικών κλιματιστικών μονάδων, απαιτούνται θερμοκρασίες ψυχρού νερού της τάξης 6°C-9°C . Για την απομάκρυνση μόνο των αισθητών ψυκτικών φορτίων, δεδομένου ότι επιτυγχάνεται με παροχή ψυχρού αέρα ή με ψυχρές οροφές κλπ.

Η θερμοκρασία ψυχρού νερού 12°C- 15°C είναι ικανοποιητική, επιτρέποντας έτσι να λειτουργήσει ο ψύκτης με υψηλότερη απόδοση .

Υπάρχει επίσης και η δυνατότητα άμεσης παραγωγής ψύξης από συμβατικό καύσιμο (π.χ. φυσικό αέριο) σε ψύκτες απορρόφησης άμεσης καύσης. Η διαφορά με τους προαναφερόμενους ψύκτες είναι ότι η αναγέννηση του διαλύματος (στάδιο 3) επιτυγχάνεται με τη θερμότητα καύσης φυσικού αερίου και όχι από θερμό νερό ή ατμό.

Όπως γίνεται αντιληπτό για τη λειτουργία αυτών των ψυκτών απαιτείται θερμική ενέργεια (καύση αερίων ή υγρών καυσίμων, υδρατμός, θερμικά απόβλητα βιομηχανιών, ηλιακή ενέργεια κλπ.) και ελάχιστη ή καθόλου μηχανική ενέργεια.



## 2.4 Απορρόφηση

### 2.4.1 Γενικά περί Ψυκτών Απορρόφησης

Οι ψύκτες απορρόφησης είναι οι πιο διαδεδομένοι ψύκτες παγκοσμίως. Ο δε κλιματισμός με τη μέθοδο της απορρόφησης, έχει αποδειχθεί ότι είναι οικονομικά βιώσιμος, όταν υπάρχει μια φθηνή πηγή ενέργειας, στο εύρος των θερμοκρασιών από 100 έως 200°C. Η θερμική συμπίεση του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται με τη χρήση υγρού διαλύματος ψυκτικού μέσου/υλικού απορρόφησης και πηγή

Θερμότητας, αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός μηχανικού συμπιεστή. Για ψυχρό νερό άνω των 0°C, όπως απαιτείται στον κλιματισμό, τυπικά χρησιμοποιείται ένα υγρό διάλυμα H<sub>2</sub>O/LiBr, με το νερό ως ψυκτικό μέσο και το LiBr ως απορροφητή. Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν εσωτερική αντλία για το διάλυμα, καταναλώνοντας όμως μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Στη λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης H<sub>2</sub>O/LiBr, η κρυστάλλωση του διαλύματος πρέπει να αποφευχθεί με εσωτερικό έλεγχο της θερμοκρασίας απόρριψης θερμότητας στη μηχανή.

Ακόμα λειτουργούν με μείγμα απορροφητικού/ψυκτικού H<sub>2</sub>O/NH<sub>3</sub> ή σε ορισμένες περιπτώσεις χλωριούχο ασβέστιο και νερό. Πάντως ο μέγιστος COP του ψυκτικού κύκλου για τη χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών συλλεκτών, επιτυγχάνεται με τη χρήση του συνδυασμού νερού – βρωμιούχου λιθίου.

Μέσο απορρόφησης	Ψυκτικό Μέσο
Διάλυμα LiBr/H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
LiBr	NH <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
Γλυκερίνη	NH <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> OH

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Διμερή μίγματα μονάδων απορρόφησης



Η αποτελεσματικότητα ενός κύκλου απορρόφησης εξαρτάται από τις δύο ουσίες που αποτελούν το ψυκτικό και το απορροφητικό μέσο. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά αυτών των δύο ουσιών είναι τα εξής:

- A.** Η απουσία απορροφητή στερεού τύπου.
- B.** Ένα ψυκτικό που θα είναι περισσότερο πτητικό από τον απορροφητή, ώστε να διαχωρίζεται εύκολα από το απορροφητικό μέσο.
- Γ.** Ένα απορροφητικό μέσο που δεν θα έχει συγγένεια με το ψυκτικό.
- Δ.** Υψηλού βαθμού χημική σταθερότητα, για μακροχρόνια λειτουργία.
- Ε.** Ένα ψυκτικό που θα έχει μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα.
- ΣΤ.** Μικρό βαθμό διάβρωσης και καθόλου τοξικότητα, για λόγους ασφαλείας.

Μετά από εμπειρία πολλών ετών και σύμφωνα με την βιβλιογραφία επικρατέστερη επιλογή είναι οι υγροί απορροφητές με σημαντικότερους τους εξής:

- Αμμωνία και βρωμιούχο λίθιο (LiBr). Από τα δυο αυτά το βρωμιούχο λίθιο προτιμάται έναντι της αμμωνίας στον κλιματισμό λόγω της τοξικότητας της τελευταίας.
- Ο συνδυασμός του βρωμιούχου λιθίου με το νερό κατά την ηλιακή ψύξη έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα ως τώρα και γι' αυτό θεωρείται αξιόπιστη επιλογή.

Παρουσιάζει παρόλα αυτά κάποια μειονεκτήματα:

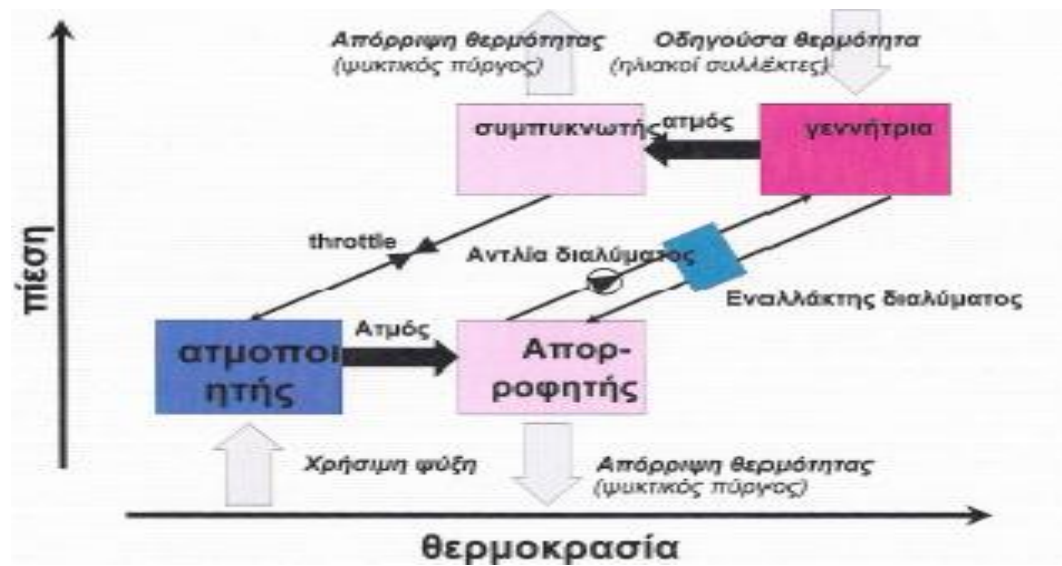
- (α) το βρωμιούχο λίθιο κρυσταλλώνεται και διαχωρίζεται από το διάλυμα όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη και η συγκέντρωση υψηλότερη από την κατάσταση κορεσμού,
- (β) είναι πάρα πολύ διαβρωτικό στα μέταλλα ειδικά με την παρουσία αέρα και
- (γ) το κόστος του είναι σχετικά μεγάλο. Πάντως η χρήση του είναι πολύ διαδεδομένη και θεωρείται συγκριτικά πιο αξιόπιστο από την αμμωνία.

Στις ΗΠΑ και στην Ασία (Κίνα, Ιαπωνία, Ινδία) οι μονοβάθμιοι ψύκτες απορρόφησης (με COP από 0,7 έως 0,8) και διβάθμιοι (με COP από 1,0 έως 1,2) αποτελούν σήμερα δοκιμασμένη και εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία. Η έρευνα επικεντρώνεται πλέον σε ψύκτες τριών και τεσσάρων βαθμίδων, οι οποίοι μπορούν να πετύχουν βελτιωμένες αποδόσεις, με COP λειτουργίας από 1,7 έως 2,2, πλησιάζοντας έτσι τις αποδόσεις των συμβατικών ψυκτών συμπίεσης.



Οι εμπορικά διαθέσιμοι ψύκτες απορρόφησης κυμαίνονται από μέσης ψυκτικής ισχύος μηχανήματα (40 έως 100 kW ) μέχρι μεγάλες μονάδες (>300 kW). Με δεδομένη όμως τη συνεχιζόμενη αύξηση των απαιτήσεων για κλιματισμό σε κατοικίες και μικρά κτίρια, υπάρχει μια συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για μικρά μηχανήματα (<10 kW) [75].

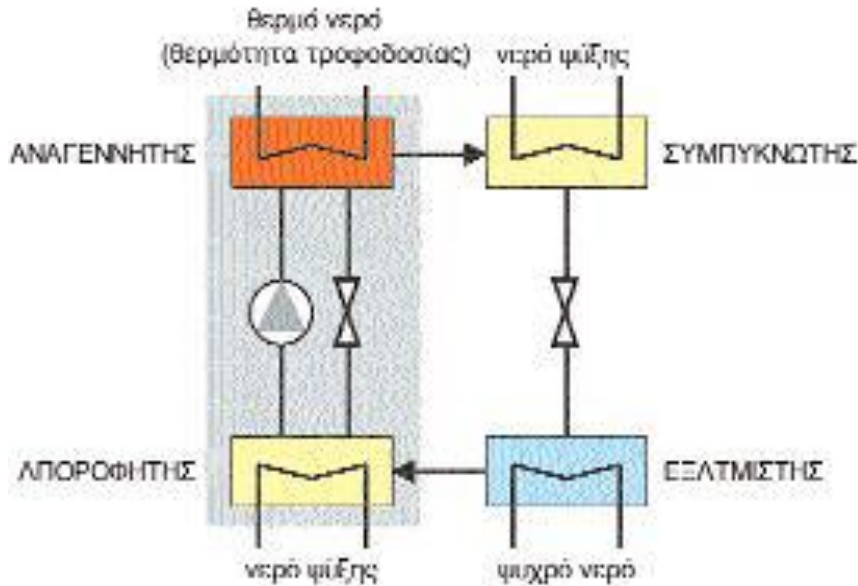
Το μεγαλύτερο και σημαντικότερο πλεονέκτημα των ψυκτών απορρόφησης είναι η απουσία κινούμενων μερών ( εκτός από κάποιες πολύ μικρές αντλίες) το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την απουσία θορύβου ακόμα και σε πολύ μεγάλα μεγέθη εκατοντάδων ψυκτικών τόνων.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 7:** Διεργασία απορρόφησης μονής βαθμίδα



## 2.4.2 Λειτουργία Ψύκτη Απορρόφησης



**ΣΧΗΜΑ 6:** Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ενός ψύκτη απορρόφησης ([http://www.ebhe.gr/library/8\\_4\\_10/3%20heliakos\\_klimatismos%20kleistos\\_kyklus.pdf](http://www.ebhe.gr/library/8_4_10/3%20heliakos_klimatismos%20kleistos_kyklus.pdf))

Η ψύξη βασίζεται στην εξάτμιση του ψυκτικού μέσου στον εξατμιστή (ατμοποιητή) σε πολύ χαμηλές πιέσεις. Έτσι η λειτουργία ενός ψύκτη απορρόφησης έγκειται στα παρακάτω στάδια :

**A.** Το υγρό ψυκτικό μέσο εισέρχεται στον εξατμιστή (ατμοποιητή) και εξατμίζεται σε χαμηλή θερμοκρασία (θερμοκρασία του ψυχόμενου μέσου) ενώ απορροφά θερμότητα από το ψυχόμενο μέσο (νερό κλιματιστικών μονάδων).

**B.** Το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο, παραμένοντας στην χαμηλή πίεση και διατηρούμενο στην υγρή και όχι στην ατμώδη φάση, κατευθύνεται στον απορροφητή όπου απορροφάται από ένα πλούσιο διάλυμα σε απορροφητή, το οποίο και αραιώνει. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή πλούσιας διάλυσης (πλούσιο σε ψυκτικό μέσο διάλυμα) η οποία με τη βοήθεια της αντλίας καταθλίβεται στον αναγεννητή (ατμογεννήτρια).

**Γ.** Το διάλυμα αντλείται συνεχώς, από την χαμηλή πίεση στην υψηλή, δηλαδή από τον απορροφητή στον αναγεννητή (γεννήτρια ατμού), με την βοήθεια μηχανικής αντλίας (solution pump) ή κατάλληλης θερμοσιφωνικής αντλίας (χρησιμοποιείται αδρανές αέριο). Εισερχόμενο θερμαίνεται μέχρι την υψηλή θερμοκρασία που παρέχεται από την πηγή ηλιακής ενέργειας (θερμότητα αναγέννησης-τροφοδοσίας) και η πίεση του ατμού του αυξάνεται





σε σημείο που πλέον το διάλυμα δεν μπορεί να περιέχει την ποσότητα του ψυκτικού μέσου που είχε απορροφήσει. Έτσι η ποσότητα αυτή απελευθερώνεται σε υψηλή πίεση και οδηγείται στον συμπυκνωτή. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι όμοιο με την έξοδο του συμπιεστή στο συμβατικό σύστημα συμπίεσης ατμού.

**Δ.** Προϊόντα της μερικής ατμοποίησης είναι ο ατμός και το υπόλοιπο διάλυμα το οποίο παραμένει (περιέχει λιγότερη ποσότητα ψυκτικού μέσου και για αυτό καλείται πτωχή διάλυση σε ψυκτικό μέσο).

**Ε.** Η πτωχή διάλυση καταλήγει στον απορροφητή μέσω της εκτονωτικής βαλβίδας (πτώση πίεσης).

**ΣΤ.** Ο παραγόμενος ατμός στην ατμογεννήτρια (αναγεννητή) οδηγείται στη συνέχεια στο συμπυκνωτή όπου συμπυκνώνεται αποβάλλοντας θερμότητα.

**Ζ.** Το συμπύκνωμα καταλήγει μέσω της δεύτερης εκτονωτικής βαλβίδας στον ατμοποιητή (εξαμιστή) όπου με την απορρόφηση θερμότητας από το εισερχόμενο νερό από τις κλιματιστικές μονάδες ατμοποιείται και παράγει την ψυκτική ισχύ.

**Η.** Ο ατμός χαμηλής πίεσης που παράγεται στον εξαμιστή οδεύει στη συνέχεια στον απορροφητή όπου και απορροφάται από την πτωχή διάλυση. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή πλούσιας διάλυσης η οποία με τη βοήθεια της αντλίας καταθλίβεται στην ατμογεννήτρια κ.ο.κ

### **Ας δούμε την παραπάνω διαδικασία , εξειδικευμένα για νερό ως ψυκτικό μέσο και LiBr ως απορροφητή :**

**Α.** Το συμπύκνωμα νερού (στους 70°C) εισέρχεται στον εξαμιστή, όπου προσλαμβάνει θερμότητα από το εξερχόμενο από τις κλιματιστικές μονάδες νερό ,το ψύχει, και εξατμίζεται. [ Το νερό εξατμίζεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, όταν βρίσκεται σε συνθήκες χαμηλής πίεσης. Με την εξάτμιση του νερού προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να παράγεται ψυχρό νερό.]

**Β.** Ο υδρατμός (στους 4°C) φεύγοντας από τον εξαμιστή μπαίνει στον απορροφητή, όπου διαλύεται και αντιδρά με το LiBr, για να σχηματιστεί το LiBr/H<sub>2</sub>O. [Οι υδρατμοί απορροφούνται από το LiBr, συνεπώς προκαλείται πτώση της πίεσης και επαναλαμβάνεται ο κύκλος (μέχρι η πίεση των υδρατμών να εξομοιωθεί).]

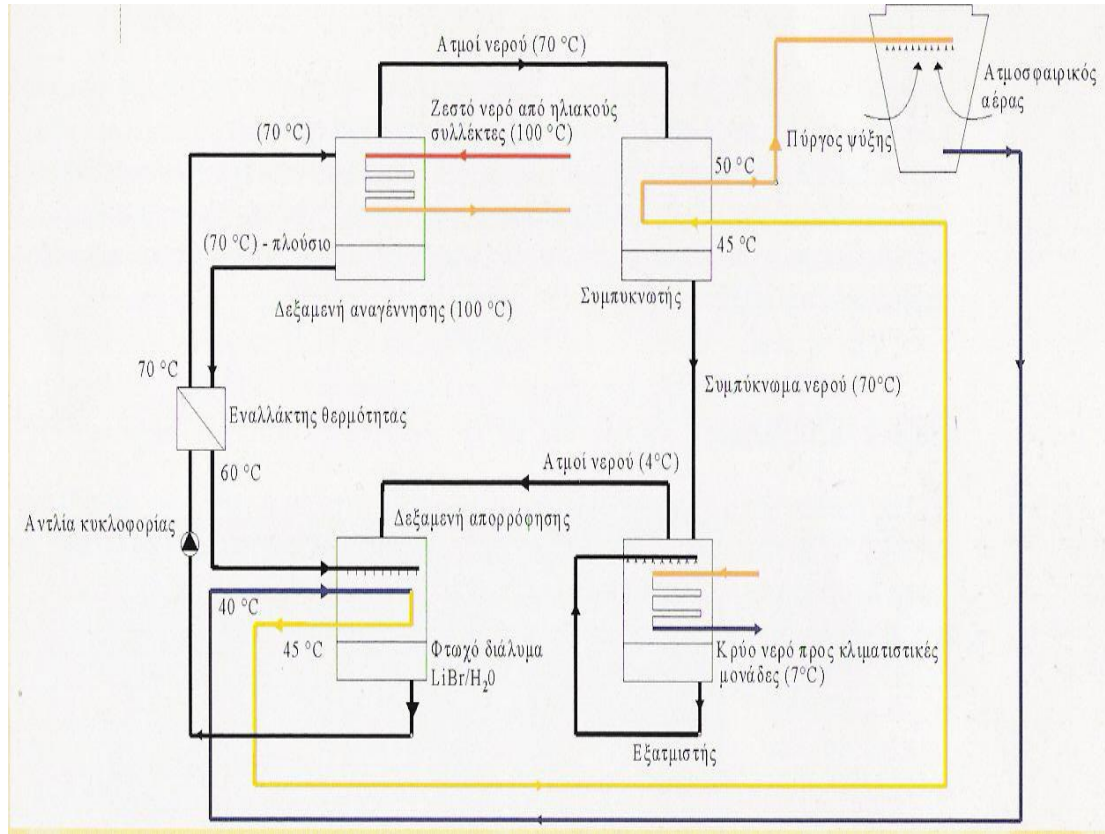
**Γ.** Το πτωχό σε ατμοποιητή διάλυμα στη συνέχεια αντλείται προς μεγαλύτερη πίεση και εισάγεται (στους 70°C) στον αναγεννητή, όπου προσλαμβάνει θερμότητα (στους 100°C) και έτσι το νερό διαχωρίζεται ατμοποιούμενο.

**Δ.** Το ατμοποιημένο νερό εισέρχεται (στους 70°C) στο συμπυκνωτή, όπου και συμπυκνώνεται λόγω του νερού ψύξης (στους 45°C), για να επιστρέψει ως συμπύκνωμα (στους 70°C) στον εξαμιστή και έτσι να κλείσει το κύκλωμα υδρατμών του κύκλου απορρόφησης.

**Ε.** Με την επιστροφή του πλούσιου διαλύματος σε απορροφητή στον



απορροφητή, διαμέσου ενός εναλλάκτη θερμότητας, ολοκληρώνεται το κύκλωμα διαλύματος του κύκλου απορρόφησης.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 8:** Σχηματική παράσταση της αρχής λειτουργίας ενός ηλιακού ψύκτη απορρόφησης (LiBr/H<sub>2</sub>O)

([http://www.ebhe.gr/library/8\\_4\\_10/3%20heliakos\\_klimatismos%20kleistos\\_kyklus.pdf](http://www.ebhe.gr/library/8_4_10/3%20heliakos_klimatismos%20kleistos_kyklus.pdf))



## 2.5 Ηλιακοί Συλλέκτες

### 2.5.1 Εισαγωγή

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι οι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χρήσιμη θερμική ενέργεια. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολύ καλή απόδοση στην θέρμανση χώρων. Η λειτουργία των συλλεκτών βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη. Καταρχάς η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει πάνω στην (συνήθως μαύρη) απορροφητική πλάκα, ανεβάζοντας της θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφάνες. Έτσι η μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση του νερού (που κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σ' επαφή με την πλάκα στο πίσω μέρος της ή ενσωματωμένοι σ' αυτή).

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία, ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία και η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου για τη δεύτερη. Τα υλικά που προσφέρουν την καλύτερη σχέση απόδοσης-τιμής είναι γυαλί και επιφάνεια από αλουμίνιο ή χαλκό χρωματισμένη μαύρη.

Ο βαθμός απορρόφησης των διάφορων απορροφητήρων κυμαίνεται από 0,8 μέχρι 0,98 με το υπόλοιπο 0,2 και 0,02 αντίστοιχα να ανακλάται

Οι ηλιακοί συλλέκτες λοιπόν εκμεταλλευόμενοι το φαινόμενο του θερμοκηπίου που περιγράφηκε παραπάνω είναι οι μηχανισμοί που πραγματοποιούν τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα.

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται στους επίπεδους και τους συγκεντρωτικούς.

Στους επίπεδους συλλέκτες η ηλιακή ενέργεια (άμεση και διάχυτη) απορροφάται κατευθείαν και μετατρέπεται σε θερμότητα στην απορροφητική επιφάνεια.

Στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες αξιοποιείται μόνο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, η οποία συλλέγεται από μία μεγάλη επιφάνεια και με την βοήθεια κατάλληλων οπτικών συστημάτων συγκεντρώνεται για να απορροφηθεί από μία πολύ μικρότερη επιφάνεια.

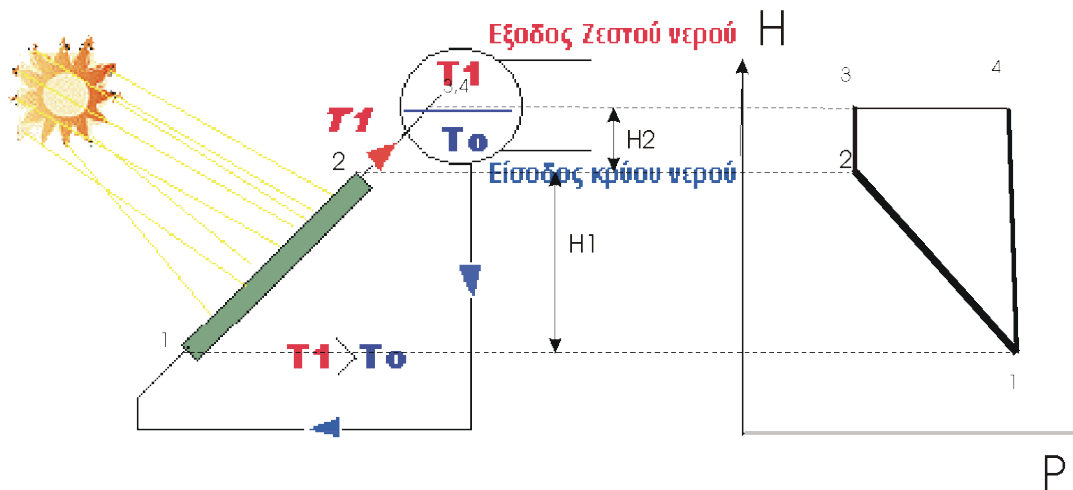
Ένας βελτιωμένος τύπος επίπεδου συλλέκτη είναι ο συλλέκτης κενού. Βασική ιδέα της κατασκευής είναι η δημιουργία κενού αέρα μεταξύ της



διαφανούς και της απορροφητικής επιφάνειας, το οποίο μειώνει τις θερμικές απώλειες και αυξάνει τον βαθμό απόδοσης του συλλέκτη .

Τέλος ανάλογα με το ρευστό που απάγει την θερμότητα οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται στους συλλέκτες υγρού και τους συλλέκτες αερίου. Στους πρώτους το ρευστό είναι συνήθως το νερό με διάφορα πρόσθετα και στους δεύτερους είναι συνήθως ο αέρας .

Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε την αρχή λειτουργίας κάθε ηλιακού συλλέκτη, τις ιδιότητες και την κύρια εφαρμογή τους.

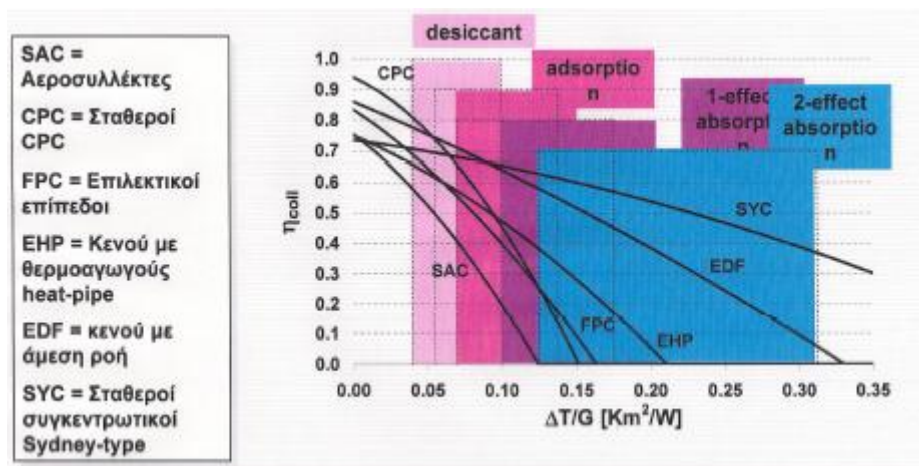


ΕΙΚΟΝΑ 11



Τύπος συλλεκτών	Ηλιακός συλλέκτης αέρα	Επίπεδος συλλέκτης	Σταθερός παραβολικός σύνθετος συλλέκτης	Συλλέκτης Σωλήνων Κενού
Αρχή λειτουργίας	Άμεση θέρμανση του αέρα	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη)	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη)	Γυάλινος σωλήνας κενού για μείωση των θερμικών απωλειών
Ιδιότητες		<ul style="list-style-type: none"><li>-Μεσαίου κόστους</li><li>- Κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, πάχους 3-4mm</li><li>-Συντελεστή διαπερατότητας 91%</li><li>-Επιλεκτική επιφάνεια: μεγάλη απορροφητικότητα (90-95%) και ελάχιστη ανάκλαση (5-15%) στα μικρά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Δηλαδή απορροφά την ενέργεια του Ήλιου χωρίς να την ανακλά.</li><li>- Συντελεστής απώλειας θερμότητας <math>k &lt; 3.5 \text{ W/m}^2\text{K}</math></li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>-Υψηλό κόστος</li><li>-Κύλινδροι από γυαλί με εσωτερικό απορροφητή, εκκενωμένοι (10-5 bar)</li><li>-Απώλειες θερμότητας μόνο λόγω ακτινοβολίας (και όχι συναγωγής)</li><li>- Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας</li><li>- Ιδανικό για ψυχρά κλίματα</li></ul>
Κύρια εφαρμογή	Προθέρμανση του αέρα προσαγωγής	<ul style="list-style-type: none"><li>-Για ζεστό νερό χρήσης</li><li>-Για θέρμανση χώρου</li><li>-Για ηλιακό κλιματισμό (επιλεκτική επιφάνεια)</li></ul>	Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης	<ul style="list-style-type: none"><li>-Δεν συνιστώνται σε κατοικίες, αφού το καλοκαίρι <math>T &gt; 300^\circ\text{C}</math>.</li><li>-Όταν απαιτείται <math>T &gt; 80^\circ\text{C}</math> (ηλιακός κλιματισμός, βιομηχανία)</li></ul>
Κύρια εφαρμογή στον ηλιακό κλιματισμό	Ανοικτά συστήματα ψύξης, π.χ. συστήματα ψύξης DEC	Συστήματα ψύξης DEC θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	<ul style="list-style-type: none"><li>-Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας</li><li>-Θερμοκίνητοι ψύκτες διπλής βαθμίδας (SYC)</li></ul>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : Ιδιότητες ηλιακών συλλεκτών**  
([http://www.cres.gr/kape/education/solar\\_cooling\\_brochure-SMALL.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/solar_cooling_brochure-SMALL.pdf))



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 9: Ηλιακοί συλλέκτες και θερμοκίνητοι ψύκτες

## 2.5.2 Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης

### Α. Γενικά περί του Επίπεδου Συλλέκτη

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας, η οποία αξιοποιείται για την θέρμανση του νερού και των χώρων ενός κτιρίου. Η σχετικά χαμηλή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη και οι αυξημένες θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον λόγω των μεγάλων επιφανειών δεν μας επιτρέπουν να πετύχουμε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 150°C. Η συνήθης περιοχή λειτουργίας τους είναι από 40°C έως 100°C.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας (άμεσης και διάχυτης) απορροφάται από μία επιφάνεια, που συμπεριφέρεται σαν μέλαν σώμα στην ηλιακή ακτινοβολία. Ένα μέρος της απορροφούμενης ακτινοβολίας μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό, ενώ το υπόλοιπο χάνεται στο περιβάλλον. Το ποσό της θερμότητας που απάγεται από το ρευστό είναι το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος του συλλέκτη και αποθηκεύεται ή τροφοδοτεί απευθείας το φορτίο. Το κέρδος αυτό για ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι 350-400 kWh/m<sup>2</sup>έτος για ετήσια ηλιακή ακτινοβολία 1000 kWh/m<sup>2</sup>έτος.



Μερικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

1. Χρησιμοποίηση σε εφαρμογές που απαιτούν απόδοση ενέργειας σε μέσες θερμοκρασίες δηλαδή μέχρι περίπου  $100^{\circ}\text{C}$  πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος.
2. Εκμετάλλευση και της αμέσου και της διάχυτου ακτινοβολίας.
3. Δεν απαιτούν μηχανισμό κίνησης για την παρακολούθηση του ήλιου και συνεπώς είναι μηχανικά απλούστεροι των συγκεντρωτικών συλλεκτών και απαιτούν μικρή μόνο συντήρηση.
4. Κύριες εφαρμογές είναι η θέρμανση νερού χρήσης και η θέρμανση κτιρίων ενώ στις δυνατές εφαρμογές συμπεριλαμβάνεται ο κλιματισμός και η παραγωγή θερμότητας για βιομηχανική χρήση.

Τα βασικά στοιχεία ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη είναι τα εξής :

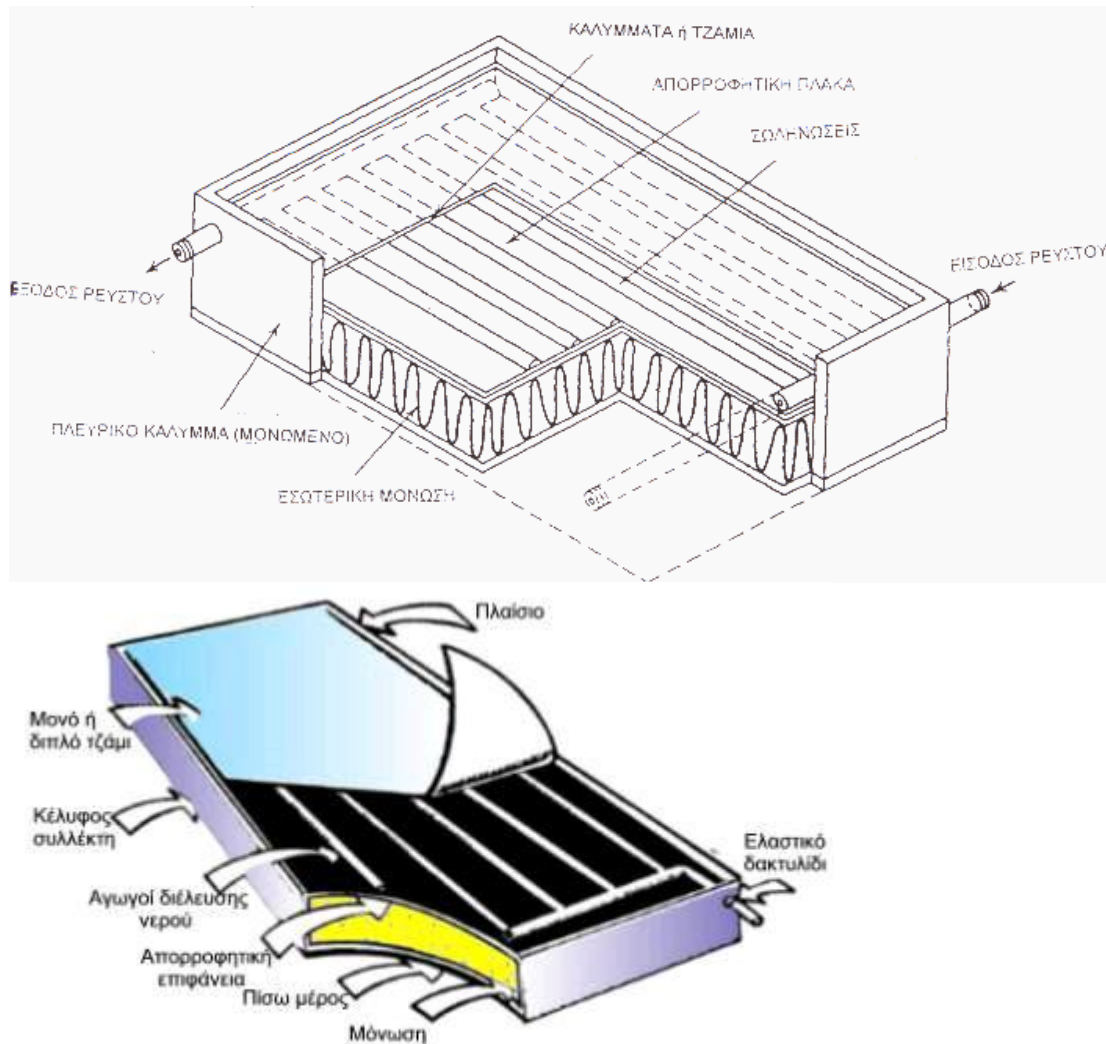
**A)** Ένα ή περισσότερα διαφανή καλύμματα πάνω από τον απορροφητήρα ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες δια συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον. Το κάλυμμα είναι συνήθως από γυαλί αλλά μπορεί να είναι και από διαφανές πλαστικό.

**B)** Ο απορροφητήρας ή πλάκα απορρόφησης, η οποία είναι μία μεταλλική επιφάνεια με υψηλή θερμική αγωγιμότητα (συνήθως από χαλκό ή αλουμίνιο) και σκουρόχρωμη επικάλυψη.

**Γ)** Το δίκτυο μεταφοράς του ρευστού. Αποτελείται από σωλήνες ή αεραγωγούς που κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό και είναι σε επαφή με τον απορροφητήρα. Μέσα σε αυτούς κυκλοφορεί το ρευστό που απάγει την θερμότητα από τον απορροφητήρα.

**Δ)** Η μόνωση της πίσω και των παράπλευρων επιφανειών ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Μόνωση πάχους μεγαλύτερου από 15 cm για την πίσω πλευρά του συλλέκτη θεωρείται συνήθως επαρκής.

**Ε)** Το περίβλημα, μεταλλικό ή πλαστικό πλαίσιο, που συγκρατεί την κατασκευή και προσφέρει προστασία από το περιβάλλον (βροχή, υγρασία, σκόνη).



**ΕΙΚΟΝΑ 12: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης**

(<http://13tee-thess.thess.sch.gr/SOLAR/thermansia%20nerou.files/image010.jpg>)

(<http://members.fortunecity.com/outopia/image21.gif>)

Το διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη πρέπει να αφήνει να περάσει το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας και παράλληλα να απορροφά και να ανακλά το μικρότερο τμήμα της. Δηλαδή θα πρέπει να έχει μεγάλο συντελεστή διαπερατότητας  $\tau$  και μικρούς συντελεστές απορροφητικότητας  $\alpha$  και ανακλαστικότητας  $\rho$ .

Η διερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία θεωρείται χρήσιμη και απορροφάται στη συνέχεια από τον απορροφητήρα ο οποίος βρίσκεται πίσω από το διαφανές κάλυμμα. Αυτό σημαίνει αύξηση της θερμοκρασίας του απορροφητήρα και εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας από αυτόν. Έτσι το διαφανές κάλυμμα θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να εμποδίσει την υπέρυθη ακτινοβολία να απομακρυνθεί από τον ηλιακό συλλέκτη.





Με απλά λόγια το κάλυμμα του συλλέκτη πρέπει να είναι διαφανές για ακτινοβολίες από 0,2  $\mu\text{m}$  έως 2,7  $\mu\text{m}$  και αδιαφανές για ακτινοβολίες μεγαλύτερου μήκους κύματος .

Οι επίπεδοι συλλέκτες τοποθετούνται στραμμένοι προς τον ισημερινό ( $\gamma=0^\circ$ ) και με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο  $\beta$  τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά την περίοδο του έτους που ενδιαφέρει η χρησιμοποίηση του συλλέκτη.

### 2.5.3 Συλλέκτες Κενού

Η ανάγκη για μείωση των θερμικών απωλειών του συλλέκτη τόσο κατά τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας , όσο και κατά τη μετάδοση της θερμότητας από τον απορροφητήρα στο ρευστό, οδήγησε στην επινόηση των συλλεκτών κενού.

Οι συλλέκτες αυτοί είναι επίπεδοι συλλέκτες βελτιωμένου τύπου και έχουν σαν βασική κατασκευαστική αρχή την δημιουργία κενού αέρα μεταξύ της διαφανούς επιφάνειας και του απορροφητήρα.

Δύο χαρακτηριστικοί τύποι τέτοιων συλλεκτών είναι ο συλλέκτης κενού με επίπεδο απορροφητήρα και ο συλλέκτης κενού με ομόκεντρους σωλήνες.

Στην πρώτη περίπτωση ο απορροφητήρας είναι μία επίπεδη επιφάνεια, που περιλαμβάνει τους σωλήνες εισόδου και εξόδου του ρευστού, η οποία τοποθετείται μέσα σε γυάλινο σωλήνα χωρίς αέρα.

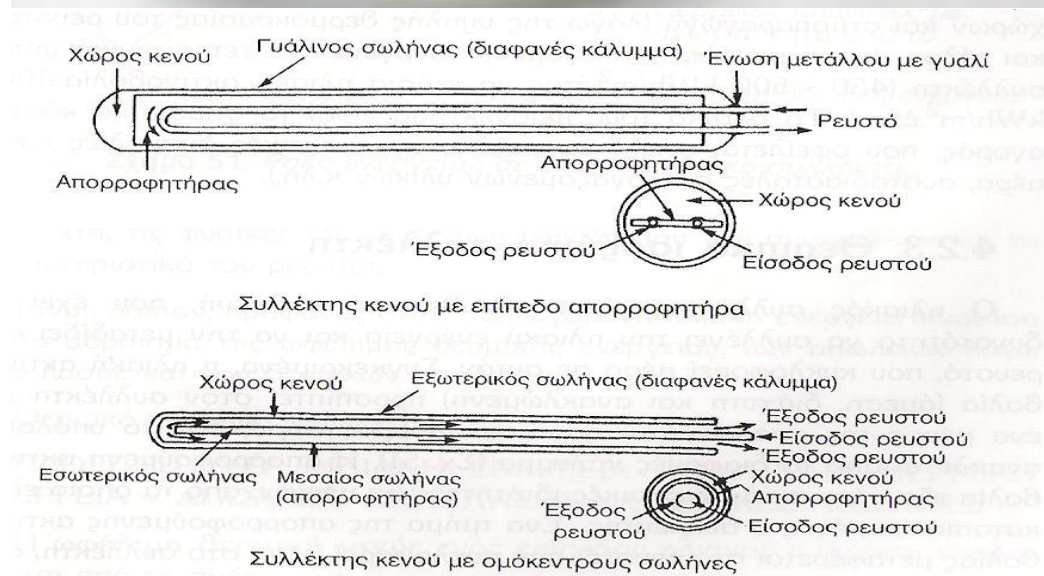
Στην δεύτερη περίπτωση ο συλλέκτης αποτελείται από τρεις ομόκεντρους σωλήνες. Ο εξωτερικός σωλήνας κατασκευάζεται από γυαλί και αποτελεί το διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη. Ο μεσαίος σωλήνας είναι ο απορροφητήρας και μεταξύ αυτού και του εξωτερικού σωλήνα υπάρχει κενό αέρα. Ο εσωτερικός σωλήνας αποτελεί τον σωλήνα προσαγωγής του ρευστού στο συλλέκτη, το οποίο απάγει την θερμότητα και εξέρχεται από τον χώρο μεταξύ εσωτερικού και μεσαίου σωλήνα.

Το χρησιμοποιούμενο ρευστό είναι υδατικό διάλυμα προπτυλενογλυκόλης, αλλά στο συλλέκτη κενού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αέριο. Για να αποφύγουμε τους διαβρωτικούς ατμούς στα τοιχώματα των σωλήνων, οι οποίοι οφείλονται στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο υγρό, θεωρείται απαραίτητη η χρήση ειδικών πρόσθετων.

Οι συλλέκτες κενού μεταφέρονται εύκολα λόγω του μικρού βάρους τους, μπορούν να τοποθετηθούν οριζόντια σε επίπεδη οροφή, έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης ακόμα και για μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ απορροφητήρα και περιβάλλοντος, είναι κατάλληλοι για θέρμανση ή ψύξη χώρων και ατμοπαραγωγή (λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του ρευστού) και τέλος έχουν μεγάλη συλλεγόμενη Ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο συλλέκτη (450-500  $\text{kWh/m}^2$  έτος για ετήσια ηλιακή ακτινοβολία 1000  $\text{kWh/m}^2$  έτος). Το βασικό τους μειονέκτημα είναι το



σημαντικό κόστος αγοράς, που οφείλεται στις διάφορες κατασκευαστικές δυσκολίες (κενό αέρα, συστοδιαστολές συνεργαζόμενων υλικών κτλ)



**ΕΙΚΟΝΑ 13 : Συλλέκτες κενού**

### **Γ. Αποδιδόμενη Ισχύς και Απόδοση Συλλέκτη**

Το ισοζύγιο ενέργειας σε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη δίνει την ποσότητα θερμότητας που αποδίδει ο συλλέκτης συναρτήσει του εμβαδού της επιφάνειάς του, την απορροφούμενη από τον απορροφητήρα ηλιακή ακτινοβολία, το συνολικό συντελεστή θερμικών απωλειών του συλλέκτη και της διαφοράς ανάμεσα στην μέση θερμοκρασία του συλλέκτη και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα:



$$Q_u = A_c \cdot [S - UL \cdot (T_m - T_a)]$$

Όπου:

**Q<sub>u</sub>** η ωφέλιμη θερμότητα (ισχύς) που αποδίδεται από τον συλλέκτη (W)

**A<sub>c</sub>** η επιφάνεια του συλλέκτη (επιφάνεια καλύμματος) (m<sup>2</sup>)

**S** η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των οπτικών απωλειών (W / m<sup>2</sup>)

**UL** ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη, που εκφράζει τις θερμικές απώλειες από τον συλλέκτη στο περιβάλλον δια αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας (W / m<sup>2</sup> °C)

**T<sub>m</sub>** η μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα (°C)

**T<sub>a</sub>** η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (°C)

Ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη **UL** αποτελείται από τρεις όρους :

$$UL = U_t + U_b + U_e$$

Όπου

**U<sub>t</sub>** ο συντελεστής θερμικών απωλειών κορυφής

**U<sub>b</sub>** ο συντελεστής θερμικών απωλειών πυθμένος

**U<sub>e</sub>** ο συντελεστής πλευρικών θερμικών απωλειών

Η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία από τον απορροφητήρα υπολογίζεται θεωρώντας ότι στον κεκλιμένο συλλέκτη κλίσης β προσπίπτει ακτινοβολία (i) άμεση (ii) διάχυτη από τον ουρανό και (iii) διάχυτη προερχόμενη από ανάκλαση στο έδαφος.

Συνεπώς σε ωριαία βάση ισχύει:

$$S = I_b \cdot R_b \cdot (\tau\alpha)_b + I_d \cdot (\tau\alpha)_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \cdot (I_b + I_d) \cdot (\tau\alpha)_g \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}$$

Όπου:

**β** η γωνία κλίσης της επιφάνειας

**ρ** ο συντελεστής ανακλάσεως του εδάφους

**I<sub>b</sub>** η ωριαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

$$R = \frac{I_T}{I} , R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} , R_d = \frac{I_{dT}}{I_d}$$

**I<sub>d</sub>** η ωριαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

**(τα)<sub>b</sub>**, **(τα)<sub>d</sub>**, **(τα)<sub>g</sub>** τα γινόμενα διαπερατότητας-απορροφητικότητας για την άμεση, την διάχυτη από τον ουρανό και την διάχυτη προερχόμενη από ανάκλαση στο έδαφος



Η παραπάνω σχέση για τον υπολογισμό της απορροφούμενης ενέργειας από τον απορροφητήρα μπορεί να απλοποιηθεί θεωρώντας αντί των τριών γινομένων διαπερατότητας-απορροφητικότητας ένα μέσο γινόμενο  $(\tau\alpha)m$  οπότε:

$$S = (\tau\alpha)m \cdot IT$$

Όπου  $IT$  είναι η ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο του συλλέκτη.

Το γινόμενο της διαπερατότητας του καλύμματος επί την απορροφητικότητα του απορροφητήρα  $(\tau\alpha)$  είναι ένα μέγεθος που απαιτείται για τους υπολογισμούς των ηλιακών φορτίων. Η ηλιακή ακτινοβολία, αφού διαβεί το διαφανές κάλυμμα και φθάσει στην απορροφητική επιφάνεια, χωρίζεται, και ένα μέρος της απορροφάται, ενώ ένα άλλο ανακλάται πίσω στο κάλυμμα προκαλώντας μια διαδοχική σειρά ανακλάσεων και απορροφήσεων.

Για συνήθεις πρακτικές εφαρμογές μπορεί να γίνεται χρήση της προσέγγισης

$$(\tau\alpha) = 1,01 \cdot \tau \cdot \alpha$$

Όπου:

$\tau$  ο συντελεστής διάβασης του γυάλινου καλύμματος

$\alpha$  ο συντελεστής απορρόφησης της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας.

Όμως η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Για το λόγο αυτό εισάγεται ένα νέο μέγεθος, ο **Παράγων Θερμικής Απολαβής του συλλέκτη  $F_R$** , ο οποίος εκφράζει το λόγο της πραγματικής αποδιδόμενης ισχύος  $Q_u$  προς την θερμική ισχύ που θα απεδίδετο αν ολόκληρος ο απορροφητήρας είχε την θερμοκρασία εισόδου του ρευστού  $T_{f,i}$ , i:

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{f,o} - T_{f,i})}{A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)]}$$

Όπου:

$f_o$  ή  $T_o$  η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον συλλέκτη ( $^{\circ}\text{C}$ )

$f_i$  ή  $T_i$  η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στο συλλέκτη ( $^{\circ}\text{C}$ )

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

$P_C$  η ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού ( $\text{J/Kgr } ^{\circ}\text{C}$ )

$m$  η συνολική παροχή μάζας του συλλέκτη ( $\text{Kgr/sec}$ )



Το μέγιστο δυνατό θερμικό κέρδος σε ένα ηλιακό συλλέκτη επιτυγχάνεται, όταν όλος ο συλλέκτης βρίσκεται στην θερμοκρασία εισόδου του ρευστού σε αυτόν. Τότε το πραγματικό θερμικό κέρδος είναι :

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)]$$

Μέτρο της συμπεριφοράς του συλλέκτη είναι ο βαθμός απόδοσης  $\eta$  δηλαδή ο λόγος τη ωφελίμου αποδιδόμενης ενέργειας κατά την διάρκεια χρονικού διαστήματος  $\tau$  προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια κατά το ίδιο χρονικό διάστημα.

Σαν στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη  $\eta_i$  ορίζεται ο λόγος της Αποδιδόμενης ισχύος  $Q_u$  προς την αντίστοιχη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία  $A_c \cdot G_T$ :

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_T} = F_R \cdot (\tau \alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{T_i - T_a}{G_T}$$

Ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη μπορεί επίσης να εκφραστεί και συναρτήσει των θερμοκρασιών εισόδου  $T_i$  και εξόδου  $T_o$  του θερμαινόμενου ρευστού δηλαδή:

$$\eta_i = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot G_T}$$

Περιγραφή Συλλέκτη	$F_R \cdot (\tau \alpha)_n$	$F_R \cdot U_L$
Μαύρος απορροφητήρας με μονό τζάμι	0,82	$7,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Μαύρος απορροφητήρας με διπλό τζάμι ή επιλεκτική επιφάνεια με μονό τζάμι	0,75	$5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Κενού	0,45	$1,25 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Πλαστικός χωρίς τζάμι και μόνωση (δοκιμή σε ταχύτητα 2,2 m/s)	0,86	$21,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5:** Χαρακτηριστικά μεγέθη επίπεδων ηλιακών συλλεκτών



## 2.5.4 Συγκεντρωτικοί Ηλιακοί Συλλέκτες

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες είναι συσκευές που συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με οπτικά μέσα και στην συνέχεια την απορροφούν και την 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.



**ΕΙΚΟΝΑ14 :** (Συγκεντρωτικός συλλέκτης με επιμήκη παραβολικά κάτοπτρα)

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

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



Χαρακτηριστικό μέγεθος των συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι ο δείκτης συγκέντρωσης  $C$ , που ορίζεται ως το πηλίκο της επιφανείας του συγκεντρωτήρα  $F_a$  προς την επιφάνεια του δέκτη  $F_r$

Δηλαδή  $C = F_a / F_r$

Οι βασικότεροι τύποι συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι οι εξής:

- A.** Συγκεντρωτικός συλλέκτης με επίπεδα κάτοπτρα
- B.** Συγκεντρωτικός συλλέκτης με επιμήκη παραβολικά κάτοπτρα
- Γ.** Συγκεντρωτικός συλλέκτης με παραβολοειδές κάτοπτρο
- Δ.** Συγκεντρωτικός συλλέκτης με φακό Fresnel
- Ε.** Ηλιακός πύργος



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΚΤΙΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

#### 3.1 Περιγραφή του ξενοδοχείου

Η συγκεκριμένη μελέτη γίνεται με βάση ξενοδοχείο στις Ιεράπετρας . Το συγκεκριμένο ξενοδοχείο αποτελείται από πέντε επίπεδα και συνολική επιφάνεια 1300m<sup>2</sup> .





### 3.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Τα α κλιματικά δεδομένα τις περιοχής παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα.

Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμό-ημέρες θέρμανσης	Βαθμο-ημέρες ψύξης	
°C	%	kWh/m <sup>2</sup> /ημ	kPa	μ/Δευτερόλεπ	°C	°C-ημ	°C-ημ	
Ιαν	14,9	62,2%	2,50	101,4	6,0	16,7	97	151
Φεβ	14,0	62,5%	3,41	101,3	6,5	16,1	112	112
Μαρ	14,6	65,2%	4,79	101,2	5,6	16,1	105	143
Απρ	16,6	68,4%	6,28	101,0	5,0	17,0	41	199
Μα	19,9	69,4%	7,49	101,0	4,5	19,2	0	307
Ιουν	23,7	67,0%	8,44	100,8	4,6	22,2	0	410
Ιουλ	26,0	65,5%	8,42	100,6	5,5	24,3	0	496
Αυγ	26,5	65,4%	7,59	100,6	5,1	25,4	0	513
Σεπτ	24,9	63,7%	6,23	101,0	4,7	24,6	0	446
Οκτ	22,1	63,5%	4,41	101,3	4,7	22,8	0	374
Νοε	18,8	63,8%	2,88	101,4	5,3	20,4	0	265
Δεκ	16,3	62,6%	2,19	101,4	5,8	18,1	54	194
Ετήσιο	19,9	64,9%	5,40	101,1	5,3	20,3	409	3.609
Πηγή	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA

Πινάκας 7 : ( κλιματικά δεδομένα από restscreen )



### 3.3 ΘΕΡΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

Τα θερμικά φορτία του κτιρίου έχουν υπολογιστή με το λογισμικό adapt της εταιρίας 4M και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω :

#### ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΩΡΩΝ ( Watt )

##### Επίπεδο : 1

1.reception	:	15852
2.ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟ	:	20459
3.ΧΩΡΟΣ ΤΗΛΕΩΡΑΣΗΣ	:	3686
Συνολικές Απώλειες Επιπέδου	:	39996

##### Επίπεδο : 2

1.ΔΩΜΑΤΙΟ 0.1	:	2923
2.ΔΩΜΑΤΙΟ 0.2	:	2193
3.ΔΩΜΑΤΙΟ 0.3	:	2680
Συνολικές Απώλειες Επιπέδου	:	7795



**Επίπεδο : 3**

1.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.1	:	3629
2.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.2	:	2662
3.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.3	:	3602
4.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.4	:	4186
5.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.5	:	3329
6.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.6	:	3964
Συνολικές Απώλειες Επιπέδου	:	21372

**Επίπεδο : 4**

1.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.1	:	3745
2.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.2	:	2758
3.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.3	:	3708
4.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.4	:	4186
5.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.5	:	3329
6.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.6	:	3964
Συνολικές Απώλειες Επιπέδου	:	21690

**Επίπεδο : 5**

1.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.1	:	2457
2.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.2	:	2128



3.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.3	:	2446
4.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.4	:	3383
5.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.5	:	2799
6.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.6	:	3211
Συνολικές Απώλειες Επιπέδου	:	16424

**Συνολικές Απώλειες Κτιρίου : 107277 watt = 107 kw**

### **3.4 ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ**

Τα ψυκτικά φόρτια του κτιρίου έχουν υπολογιστή με το λογισμικό adapt της εταιρίας 4M και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω :

#### **Επίπεδο : 1**

		watt
1.reception	:	17109
2.ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟ	:	99858
3.ΧΩΡΟΣ ΤΗΛΕΩΡΑΣΗΣ	:	14199
Συνολικές Απώλειες Επιπέδου	:	131166

#### **Επίπεδο : 2**

1.ΔΩΜΑΤΙΟ 0.1	:	3751
2.ΔΩΜΑΤΙΟ 0.2	:	3201
3.ΔΩΜΑΤΙΟ 0.3	:	3737



Συνολικές Απώλειες Επιπέδου : 10689

**Επίπεδο : 3**

		watt
1.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.1	:	5043
2.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.2	:	4198
3.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.3	:	5094
4.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.4	:	3764
5.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.5	:	3104
6.ΔΩΜΑΤΙΟ 1.6	:	3761
Συνολικές Απώλειες Επιπέδου	:	25064

**Επίπεδο : 4**

1.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.1	:	5157
2.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.2	:	4362
3.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.3	:	5268
4.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.4	:	3764
5.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.5	:	3104
6.ΔΩΜΑΤΙΟ 2.6	:	3761
Συνολικές Απώλειες Επιπέδου	:	25416



**Επίπεδο : 5**

1.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.1	:	3959
2.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.2	:	4204
3.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.3	:	4723
4.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.4	:	3645
5.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.5	:	3025
6.ΔΩΜΑΤΙΟ 3.6	:	3650
Συνολικές Απώλειες Επιπέδου	:	23206

**ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ : 215541 watt = 215kw**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΘΕΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

#### 4.1 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΘΕΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνει η ASHRAE (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS) και περιγράφεται στην ακόλουθη αναφορά :Steve kavanaugh , Kevin Rafferty, Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings ASHRAE Atlanta 1997.

Έτσι ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

##### 4.1.1.Υπολογισμός της Μέσης Ετήσιας Ροής Θερμότητας στο Έδαφος $q_a$

Ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας ροής θερμότητας στο έδαφος  $q_a$  θα γίνει βάσει του τύπου:

$$q_a = \frac{C_{fc} * q_{lc} * EFL_{hours} + C_{fh} * q_{lh} * EFL_{hoursh}}{t_a}$$

$q_{lc}$  = ψυκτικό φορτίο σε btu/h

$q_{lh}$  = θερμικό φορτίο σε btu/h

EFLhours = ισοδύναμες ώρες σε ολικό Φορτίο ψύξης

EFLhoursh = ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο θέρμανσης

$C_{fc}$  = διορθωτικός συντελεστής που σχετίζεται με τον συντελεστή COP

$C_{fh}$  = διορθωτικός συντελεστής που σχετίζεται με τον συντελεστή EEP

$T_a$  = το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8760)



Επιλογή δεδομένων :

$$1 \text{ kw} = 3413 \text{ btu/h} \text{ οπότε } :q_{lc} = -733795 \text{ btu/h}$$

$$Q_{lh} = 365191 \text{ btu/h}$$

Η αντλία που επιλέγεται για αυτές τις ανάγκες είναι η DymaCiat Ig-Igp 900z με στοιχεία:

**heating = 301 kw**

**cooling = 249 kw**

**Power input = 63 kw**

Οι ισοδύναμες ώρες EFLhours και EFLhoursh ορίζονται περίπου στις 1000 ώρες

Οι διορθωτικοί συντελεστές Cfc, Cfh σχετίζονται με τους χαρακτηριστικούς συντελεστές COP και EER αντίστοιχα. Οι τιμές τους βάσει του βιβλίου της ASHRAE δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Cooling EER	Cfc	Heating COP	Cfh
11	1.31	3	0.75
13	1.26	3.5	0.77
15	1.23	4	0.8
17	1.2	4.5	0.82

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8 : Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας**

Cfc	1.31
Cfh	0.82

$$q_a = \frac{1,31 * \left(-733795 \frac{\text{btu}}{\text{h}}\right) * 1000H + 0,82 * 365191 \frac{\text{btu}}{\text{h}} * 1000H}{8760H}$$

Μέση Ετήσια Ροή Θερμότητας στο Έδαφος **qa=-75549,63 btu/h**





#### 4.1.2 Υπολογισμός Απαιτούμενου Βάθους Γεώτρησης Βάσει του Ψυκτικού Φορτίου

Ο σωλήνας, το ρευστοκονίαμα και το έδαφος περιορίζουν με τις θερμικές αντιστάσεις τους την ενεργειακή μετακίνηση ως εξής

$$Q_c = A \frac{t_g - t_w}{R}$$

Όπου  $Q_c$  είναι το φορτίο θερμότητας (Btu/hr) ,  $A$  είναι το μήκος των σωλήνων (ft) ,  $t_g$  είναι η επίγεια θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{F}$ ) ,  $t_w$  είναι η θερμοκρασία του ρευστού ( $^{\circ}\text{F}$ ) και  $R$  είναι η θερμική αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας (hr·ft· $^{\circ}\text{F}$ / Btu).

Η πρόκληση στο σχεδιασμό των βρόχων είναι ότι η επίγεια θερμοκρασία δεν μένει σταθερή. Για τους οριζόντιους βρόχους, όπου ο σωλήνας είναι κοντά στην επιφάνεια, η επίγεια θερμοκρασία αλλάζει εποχιακά με τον καιρό. Σε όλες τις περιπτώσεις όμως, ο ίδιος ο βρόχος επηρεάζει την επίγεια θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό για τον σχεδιασμό των βρόχων, είναι σύνηθες να σπαστούν τα αποτελέσματα σε τρία μέρη:

1. Μακροπρόθεσμη Επίδραση. Αυτή είναι η αλλαγή στην επίγεια θερμοκρασία κατά την διάρκεια πολλών ετών. Εάν το κτήριο έχει ένα καθαρό κέρδος θερμότητας ή μια καθαρή απώλεια θερμότητας, η επίγεια θερμοκρασία θα αλλάξει. Όσο πιο πυκνά τοποθετημένες είναι οι γεωτρήσεις, τόσο μεγαλύτερη η επίδραση. Το νερό του εδάφους που κινείται μέσω του πεδίου των γεωτρήσεων μπορεί να βοηθήσει στην αφαίρεση της ενέργειας και να περιορίσει τη μακροπρόθεσμη αλλαγή της θερμοκρασίας. Στις εμπορικές εφαρμογές, η επίγεια θερμοκρασία γενικά αυξάνεται. Ένα παράδειγμα της μακροπρόθεσμης επίδρασης θα ήταν μια μέση άνοδος της επίγειας θερμοκρασίας κατά  $6^{\circ}\text{F}$  στα 10 έτη λόγω της θερμότητας που προστίθεται στο τομέα των γεωτρήσεων. Η ποινική ρήτρα δεν θα παρουσιαστεί κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους, αλλά η συγκέντρωση θερμότητας θα αλλάξει την απόδοση του συστήματος με την πάροδο του χρόνου.
2. Ετήσια Επίδραση. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, το φορτίο θερμότητας σε ένα τομέα γεώτρησης θα αλλάξει , και αυτό θα έχει επιπτώσεις στην επίγεια θερμοκρασία σε μηνιαία βάση. Είναι αυτή η επίδραση «σφονδύλων» που μπορεί να αναγκάσει να εμφανιστεί η θερμότερη θερμοκρασία επίγειων βρόχων αφότου έχει εμφανιστεί το μέγιστο φορτίο.
3. Βραχυπρόθεσμη Επίδραση. Το πραγματικό ωριαίο φορτίο έχει επίσης επιπτώσεις στη δυνατότητα του τομέα των γεωτρήσεων να διαλύσει την θερμότητα .Έτσι, η επίγεια θερμοκρασία θα αλλάξει με το ωριαίο φορτίο.



Επομένως οι 3 αυτές επιδράσεις πρέπει να υπολογιστούν, ώστε να ληφθούν υπόψη οι μακροπρόθεσμες αλλαγές θερμότητας στο χώμα που μπορούν να προκύψουν κατά την διάρκεια ζωής του συστήματος και να βρεθεί έτσι επακριβώς το απαραίτητο μήκος σωλήνων. Έτσι εισάγονται οι τιμές αντίστασης  $R_{ga}$  (ετήσια),  $R_{gm}$  (μηνιαία), και  $R_{gd}$  (καθημερινή), που είναι υπολογισμένες με βάση τρεις διαφορετικούς παλμούς.

Επίσης η μέθοδος υπολογισμού του βάθους που απαιτείται για την γεώτρηση βασίζεται και στην εκτίμηση του τελευταίου συντελεστή  $t_p$ . Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει την μακροπρόθεσμη αλλαγή της θερμοκρασίας του εδάφους λόγω της υπερβολικής απόρριψης ή εξαγωγής θερμότητας μετά από πολλά χρόνια λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και συνδέεται τόσο με τις ώρες λειτουργίας του συστήματος όσο και με την απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων. Αν εξετάσουμε πχ ένα σχολείο και ένα νοσοκομείο, και τα δύο με το ίδιο φορτίο σχεδιασμού πχ 200 RT, το γεγονός ότι το νοσοκομείο λειτουργεί επί εικοσιτετραώρου βάσεως το κάνει να κινεί πολύ περισσότερη ενέργεια προς και από τον τομέα των γεωτρήσεων από ότι το σχολείο που λειτουργεί 8 ώρες. Επίσης ένα στενό πεδίο γεωτρήσεων περιορίζει την δυνατότητα του πεδίου να απορροφήσει την θερμότητα.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τον κατάλληλο πίνακα στο βιβλίο της ASHRAE που παρουσιάζεται παρακάτω (πίνακας --) γίνεται η εκτίμηση του συντελεστή.

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του ψυκτικού φορτίου θα γίνει σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a * R_{ga} + (C_{fc} * q_{lc}) * (R_b + PLF_m * R_{gm} + R_{gd} * f_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

$q_a$	=	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΡΟΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ σε btu/hr
$R_{ga}$	=	ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
$C_{fc}$	=	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΟΓΕΙΣ
$q_{lc}$	=	ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΕ btu/h
$R_b$	=	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ ΣΕ (h*ft*f/btu)
$PLF_m$	=	ΜΗΝΙΑΙΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ
$R_{gm}$	=	ΜΗΝΙΑΙΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
$R_{gd}$	=	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
$f_{sc}$	=	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ
$t_g$	=	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ F
$t_{wi}$	=	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΥΓΡΟΥ ΣΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΣΕ F
$t_{wo}$	=	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΣΕ F
$t_p$	=	ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΠΑΡΑΚΕΙΜΕΝΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΕ F



### 4.1.3 Υπολογισμός θερμικών αντιστάσεων και ιδιότητες του εδάφους

Σύμφωνα με τους Carslaw και Jaeger όσο αφορά τις ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις έχουμε ότι εκτός από την εξωτερική διάμετρο των σωληνώσεων, ο χρόνος λειτουργίας και η διάχυση θερμότητας του εδάφους σχετίζονται με τον αδιάστατο αριθμό Fourier :

$$Fo = \frac{4 * a * \tau}{d^2}$$

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των ισοδύναμων θερμικών αντιστάσεων για διάφορους θερμικούς χρονικούς παλμούς. Ακολουθώντας το παράδειγμα που παρατίθεται στην βιβλιογραφία της ASHRAE μοντελοποιούμε το σύστημά μας σε τρεις τέτοιους παλμούς και έχουμε:

A. Έναν δεκαετή παλμό των 3650 ημερών,  $\tau_a$

B. Έναν μηνιαίο παλμό των 30 ημερών,  $\tau_m$

Γ. Έναν δωρο παλμό των 25% της ημέρας  
Αυτοί οι τρεις χρόνοι (σε μονάδες ημερών) ορίζονται ως εξής:

$\tau_1 =$	3650
$\tau_2 =$	3680
$\tau_f =$	3689,25

Ο υπολογισμός του αριθμού Fourier για τον κάθε παλμό γίνεται σύμφωνα με τους τύπους:

$$F_{01} = \frac{4 * a * (\tau_f - \tau_1)}{d^2}$$

$$F_{02} = \frac{4 * a * (\tau_f - \tau_2)}{d^2}$$

$$F_{of} = \frac{4 * a * \tau_f}{d^2}$$



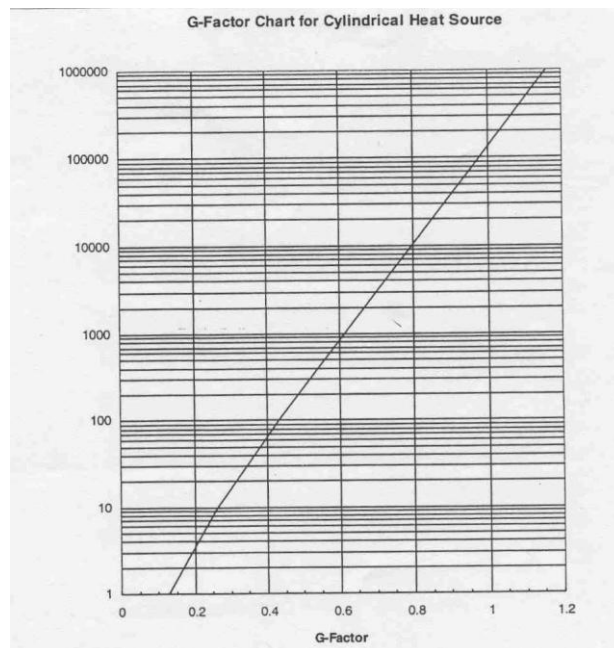
Ο υπολογισμός των ισοδύναμων θερμικών αντιστάσεων γίνεται σύμφωνα με τους τύπους:

$$R_{ga} = \frac{Gf - G1}{Kg}$$

$$R_{gm} = \frac{G1 - G2}{Kg}$$

$$R_{gd} = \frac{G2}{Kg}$$

Ο συντελεστής G που αντιστοιχεί σε κάθε αριθμό Fourier εξάγεται από το παρακάτω σχήμα:  $G = 0,0769 * \ln(f0) + 0,0901$



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 10:** Συντελεστής G-Αριθμός Fourier

Για τις θερμοκρασιακές ιδιότητες του εδάφους (θερμική αγωγιμότητα  $k_g$  [Btu/h ft°F] και θερμική διαχυτότητα  $\alpha$  [ft<sup>2</sup>/day]) γίνεται χρήση του παρακάτω πίνακα.



Τύπος πετρώματος	Συχνότητα Εμφάνισης Στη γη (%)	Θερμική αγωγιμότητα Κ-100% (Btu/hft <sup>2</sup> °F)	Θερμική αγωγιμότητα Κ-80% (Btu/hft <sup>2</sup> °F)	Ειδική Θερμότητα Cp (Btu/hft <sup>2</sup> °F)	Πυκνότητα Ρ (lb/ft <sup>3</sup> )	Θερμική διαχυτότητα α (ft <sup>2</sup> /day)
<b>Πυριγενή πετρώματα</b>						
Γρανίτης (10% χαλαζίας)	10.4	1.1-3.0	1.3-4.9	0.21	165	0.9-4.3
Γρανίτης (25% χαλαζίας)			1.5-2.1			1.0-1.4
Αμφιβολίτης		1.1-2.7	1.5-2.2		175-195	1.1-4.7
Ανδεδίτης		0.8-2.8	0.9-1.6	0.12	160	
Βασάλτης	42.8	1.2-1.4		0.17-0.21	180	0.7-0.9
Gabbro(Cen.Plains)		0.9-1.6				0.65-1.15
Gabbro(Rocky mtns)		1.2-2.1		0.18	185	0.85-1.5
Διορίτης	11.2	1.2-1.9	1.2-4.7	0.22	180	0.7-1.0
Γρανοδιορίτης		1.2-2.0		0.21	170	0.8-4.3
<b>Ιζημετογενή πετρώματα</b>						
claystone		1.1-4.7				
Δολομίτης		0.9-3.6	1.6-3.6	0.21	170-475	1.1-2.3
Ασβεστόλιθος		0.8-3.6	1.4-2.2	0.22	150-475	1.0-4.4
Rock salt		3.7		0.2	130-435	
Χαλαζιακή άμμος	1.7	1.2-2.0		0.24	160-470	0.7-4.2
Siltstone		0.8-1.4				
Wet shale(25% χαλαζίας)			1.0-4.8			0.9-1.2
Wet shale(0%χαλαζίας)	4.2	0.6-2.3	0.6-0.9	0.21	130-165	0.5-0.6
Dry shale (25%χαλαζίας)			0.8-4.4			0.7-1.0
Dry shale (0% χαλαζίας)			0.5-0.8			0.45-0.55
<b>Μεταμορφωγενή πετρώματα</b>						
Γνευσίτης	21.4	1.0-3.3	1.3-2.0	0.22	160-175	0.9-1.2
Μάρματο	0.9	1.2-3.2	1.2-1.9	0.22	170	0.8-1.2
Χαλαζίας		3.0-4.0		0.2	160	2.2-3.0
Σχιστόλιθος (schist)	5.1	1.2-2.6	1.4-2.2		170-475	
Σχιστόλιθος (state)		0.6-4.5		0.22	170-475	0.6-0.9

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Θερμικές ιδιότητες πετρωμάτων**



Για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τον αριθμό Fourier για των υπολογισμό των ισοδύναμων θερμικών αντιστάσεων θα πρέπει πρώτα να επιλέξουμε διάμετρο και τύπο σωλήνα.

Με την βοήθεια των πινάκων του βιβλίου της ASHRAE επιλέγεται σωλήνωση σχήματος U από πολυαιθυλένιο, ονομαστικής διαμέτρου 1 ½ in, δηλαδή ονομαστικής διαμέτρου 1 ½ in με SDR 11.

SDR 11 1 ½ in		
d <sub>out</sub> =	1,9in=0,04826m	0,1583ft
d <sub>in</sub> =	1,54 5in=0,03947 m	0,03947 ft

Τύπος	Υλικό	Εξωτερική διάμετρος (mm)	Πάχος τοιχώματος (mm)	Θερμική αγωγιμότητα (W/(m.K))	Θερμική αντίσταση ((m.K)/W)
PE DN25 PN8	Πολυαιθυλένιο	25	2	0,42	0,066
PE DN32 PN8	Πολυαιθυλένιο	32	2	0,42	0,051
PE DN40 PN8	Πολυαιθυλένιο	40	2,3	0,42	0,046
PE DN50 PN8	Πολυαιθυλένιο	50	2,9	0,42	0,047
PE DN20 PN12	Πολυαιθυλένιο	20	2	0,42	0,085
PE DN25 PN12	Πολυαιθυλένιο	25	2,3	0,42	0,077
PE DN32 PN12	Πολυαιθυλένιο	32	3	0,42	0,079
PE DN40 PN12	Πολυαιθυλένιο	40	3,7	0,42	0,078
PE DN50 PN12	Πολυαιθυλένιο	50	4,6	0,42	0,077
SDR-11 3/4"	Πολυαιθυλένιο	26,7	2,5	0,42	0,079
SDR-11 1"	Πολυαιθυλένιο	33,4	3	0,42	0,075
SDR-11 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	42,2	3,9	0,42	0,077
SDR-11 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	48,3	4,4	0,42	0,076
SDR-11 2"	Πολυαιθυλένιο	60,3	5,5	0,42	0,076
SDR-13 1"	Πολυαιθυλένιο	28,6	2,2	0,22	0,121
SDR-13 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	34,9	2,6	0,22	0,117
SDR-13 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	41,3	3,1	0,22	0,118
SDR-13 2"	Πολυαιθυλένιο	54	4	0,22	0,116

**ΠΙΝΑΚΑΣ 10 : (σωλήνες πολυαιθυλενίου σχήματος V )**



U-Tube DIA.	SDR or Schedule	Pipe(Bore) Thermal resistance (h*ft°F/btu)			
		For Water flows Above 2.0 US gpm	20%Prop.glycol Flow 3.0 US gpm	20%Prop.glycol Flow 5.0 US gpm	20%Prop.glycol Flow 10.0 US gpm
¾ in(0.15ft)	ADR 11	0.09	0.12	NR	NR
	SDR 9	0.11	0.15	NR	NR
	Sch 40	0.10	0.14	NR	NR
1 in(0.18ft)	ADR 11	0.09	0.14	0.10	NR
	SDR 9	0.11	0.16	0.12	NR
	Sch 40	0.10	0.15	0.11	NR
1 1/4in (0.22ft)	ADR 11	0.09	0.15	0.12	0.09
	SDR 9	0.11	0.17	0.15	0.11
	Sch 40	0.09	0.15	0.12	0.09
1 1/2in(0.25ft)	ADR 11	0.09	0.16	0.15	0.09
	SDR 9	0.11	0.18	0.17	0.11
	Sch 40	0.08	0.14	0.14	0.08

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Ισοδύναμη διάμετρος και θερμική αντίσταση σωλήνωσης πολυαιθυλενίου τύπου U**

Natural Soil Cond	0.9btu/h*ft°F		1.3 btu/h*ft°F			1.7 btu/h*ft°F	
	0.5 btu/h*ft°F	2.0 btu/h*ft°F	0.5 btu/h*ft°F	1.0 btu/h*ft°F	2.0 btu/h*ft°F	0.5 btu/h*ft°F	1.0 btu/h*ft°F
<b>Backfill or Grout conductivity</b>							
<b>4in Bore</b>							
3/4in U-tube	0.11(NR)	-0.05	0.14(NR)	0.03	-0.02	0.17(NR)	0.05
1in U-tube	0.07	-0.03	0.09	0.02	-0.02	0.13(NR)	0.04
<b>5in Bore</b>							
3/4in U-tube	0.14(NR)	-0.06	0.18(NR)	0.04	-0.04	0.21(NR)	0.06
1in U-tube	0.11(NR)	-0.04	0.14(NR)	0.03	-0.02	0.16(NR)	0.05
1 1/4in U-tube	0.06	-0.03	0.09	0.02	-0.02	0.12(NR)	0.04
<b>6in Bore</b>							
3/4in U-tube	0.18(NR)	-0.07	0.21(NR)	0.04	-0.05	0.24(NR)	0.07
1 in U-tube	0.14(NR)	-0.06	0.17(NR)	0.03	-0.04	0.21(NR)	0.06
1 1/4in u-tube	0.09	-0.04	0.12(NR)	0.03	-0.02	0.15(NR)	0.05
1 1/2in u-tube	0.07	-0.03	0.09	0.02	-0.02	0.11(NR)	0.04

**Πινάκας 12:Διόρθωση θερμικής αντίστασης σωλήνωσης πολυαιθυλενίου σχήματος U**



Grouts and Additives	K(Btu/h*ft*F)	Thermal Enhanced Grouts	K(Btu/h*ft*F)
20%Bentonite	0.42	20% Bentonite-40%Quartzite	0.85
30%Bentonite	0.43	30% Bentonite-30%Quartzite	0.70-0.75
Cement Mortar	0.40-0.45	30% Bentonite-0%Iron Ore	0.45
Concrete@ 130/150 lb/ft <sup>3</sup>	0.60-0.80	60%Quartzite-Flowable Fill (Comment + Fly Ssh +Sand)	1.07
Concrete(50%quartz sand)	1.1-1.7		

**Πινάκας 13:Θερμική αγωγιμότητα τυπικών υλικών και επιχώσεων**

Έτσι η θερμική αντίσταση της σωλήνωσης σύμφωνα με τους πίνακες είναι **Rb=0,09 h·ft·°F/Btu.**

Επίσης βρίσκεται ότι το υλικό πλήρωσης της γεώτρησης έχει θερμική αγωγιμότητα **k=1.1-1,7 Btu/h·ft·F°** (οι τσιμεντοενέσεις είναι το πιο διαδεδομένο υλικό για την επίχωση). Το υλικό πλήρωσης παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση. Τα κενά αέρα ή ο χωρισμός πρέπει να αποφευχθούν δεδομένου ότι ο αέρας είναι ένας φυσικός μονωτής. Το ρευστοκονίαμα είναι το πιο διαδεδομένο υλικό για επίχωση. Μπορεί να σφραγίσει τη γεώτρηση από την διείσδυση νερού επιφάνειας. Το τυποποιημένο ρευστοκονίαμα έχει πραγματικά μια φτωχή αγωγιμότητα, έτσι η διάμετρος των τρυπών πρέπει να ελαχιστοποιηθεί (διάμετρος περίπου 5 in) ώστε να περιοριστεί η επιρροή του ρευστοκονιάματος. Τα ενισχυμένα ρευστοκονιάματα μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την απόδοση γεωτρήσεων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερες ή τις πιο ρηχές γεωτρήσεις. Εντούτοις, είναι δαπανηρότερα [37].

Σύμφωνα με την μεθοδολογία ο αριθμός των γεωτρήσεων θα είναι περίπου ίδιος με το εκάστοτε φορτίο μετρούμενο σε ψυκτικούς τόνους.

Όπου 1 R.T (ψυκτικός τόνος)=3,5169 kw Στην περίπτωση μας θα έχουμε ψυκτικό φορτίο ίσο περίπου με 220 τόνους, οπότε θα χρειαστούμε 220 γεωτρήσεις.

Αυτό αναφέρεται γιατί ο πίνακας που έχουμε αντιστοιχεί σε ένα πλέγμα 10x10=100 γεωτρήσεων.

Υπάρχουν όμως κατάλληλοι συντελεστές αναγωγής C<sub>f</sub> για διαφορετικά πλέγματα.

Correction Factors for Other Grid Patterns			
1 x 10 Grid	2 x 10 Grid	5 x 5 Grid	20 x 20 Grid
C <sub>f</sub> =0.36	C <sub>f</sub> =0.45	C <sub>f</sub> =0.75	C <sub>f</sub> =1.14

**ΠΙΝΑΚΑΣ 16: Διορθωτικοί συντελεστές για διαφορετικά πλέγματα**





Η επιλογή του διορθωτικού συντελεστή για την περίπτωση μας θα γίνει βάσει του πιο πάνω πίνακα αλλά κάπως προσεγγιστικά μιας και δεν διαθέτει τιμή του συντελεστή για 61 γεωτρήσεις. Έτσι για επιλογή συντελεστή ακριβώς ανάμεσα στις 400 και στις 25 γεωτρήσεις (δηλαδή για 61 γεωτρήσεις), αυτός βγαίνει  $Cf=0,945$

Η απόσταση των γεωτρήσεων επιλέγεται να είναι 15 ft, έχουμε ισοδύναμες ώρες ψύξης και θέρμανσης, η θερμοκρασία του εδάφους είναι  $t_g=68^\circ F$ , η θερμοκρασία εισαγωγής του νερού κατά την διαδικασία ψύξης είναι  $85^\circ F$  και το  $k_g$  του εδάφους είναι 1. Έτσι επιλέγεται από τον πίνακα 36 ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας  $t=4,7^\circ F$

Αριθμός ισοδύναμων ωρών (θέρμανσης – ψύξης)	Απόσταση γεωτρήσεων (ft)	Θερμοκρασία εδάφους και εισαγωγής υγρού στον εναλλάκτη					
		$t_g=50^\circ F(t_w=35/80)$		$t_g=60^\circ F(t_w=45/85)$		$t_g=70^\circ F(t_w=60/95)$	
		Kg(Btu/(h*ft*°F))					
		Kg =1.0	Kg =1.5	Kg =1.0	Kg =1.5	Kg =1.0	Kg =1.5
Διορθωτικός συντελεστής εδάφους $t_p(^\circ F)$ -Απαιτούμενο βάθος γεωτρήσεις ανά ψυκτικό τόνο RT							
1500/500	15	-4.4(313)	-4.4(248)	-	-	-	-
	20	-2.3(276)	-2.3(216)	-	-	-	-
	25	-1.2(258)	-1.2(202)	-	-	-	-
1000/1000	10	12.9(318)	11.8(245)	-	11.8(313)	-	-
	15	5.4(237)	4.3(186)	4.7(245)	4.7(225)	-	-
	20	3.4(220)	1.9(172)	2.5(263)	2.4(206)	-	-
500/1500	15	15.1(294)	15.1(294)	-	12.8(351)	-	-
	20	8(216)	8(216)	6.7(326)	6.7(254)	6.7(336)	6.7(336)
	25	4.3(190)	4.3(190)	3.5(287)	3.5(224)	3.5(293)	3.5(293)
0/2000	15	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	10.3(406)	10.4(316)	10.4(414)	10.5(322)
	25	-	-	5.4(325)	5.5(252)	5.4(332)	5.5(257)

**ΠΙΝΑΚΑΣ 14 : Μακροπρόθεσμη αλλαγή της θερμοκρασίας του υπεδάφους**



Όσο αφορά τον μηνιαίο συντελεστή μερικού φορτίου αυτός υπολογίζεται από την σχέση:

$$PLF_m = \frac{\text{μεσο φορτιο} * \text{ωρες λειτουργιας}}{\text{μεγιστο φορτιο} * 24hr} * \frac{\text{μερες λειθοθργιας}}{30\text{μερες}}$$

Ο συντελεστής PLF<sub>m</sub> υπολογίζετε για μέσο φορτίο 60kw \* 10 hr προς 215kw\* 24hr και για την εγκατάσταση να λειτουργοί όλο τον μήνα

$$PLF_m = 0.116$$

Τέλος ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων F<sub>sc</sub>, που εκφράζει την θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση υπολογίζεται σε F<sub>sc</sub>=1,02 βάση του παρακάτω

#of bores per parallel loop	one	two	Three
2 gpm/ton	1.06	1.03	1.02
3 gpm/ton	1.04	1.02	1.01

**ΠΙΝΑΚΑΣ 15: Συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων F<sub>sc</sub> συναρτήσει της ογκομετρικής παροχής του υγρού μέσα στη σωλήνωση και των οπών ανά βρόγχο.**

Συγκετροση όλων των παραπανο υπολογισμον :

$$\tau_1 = 3650$$

$$\tau_2 = 3680$$

$$\tau_f = 3689.25$$

$$F_{01} = 91,01766$$

$$F_{02} = 21,45002$$

$$F_{of} = 8555,08$$

$$R_{ga} = 0,45022$$

$$R_{gm} = 0,186343$$

$$R_{gd} = 0,250657$$



## Υπολογισμός Απαιτούμενου Βάθους Γεώτρησης

$$L_c = \frac{q_a * R_{ga} + (C_{fc} * q_{lc}) * (R_b + PLF_m * R_{gm} + R_{gd} * f_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

<b>Qa</b>	=	-75549,63813	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΡΟΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ σε btu/hr
<b>Rga</b>	=	0,450220316	ΕΤΗΣΙΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
<b>Cfc</b>	=	1,31	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΟΓΕΙΣ
<b>Qlc</b>	=	-733795,00	ΨΥΚΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΣΕ btu/h
<b>Rb</b>	=	0,09	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ ΣΕ (h*ft*f/btu)
<b>PLFm</b>	=	0,11627907	ΜΗΝΙΑΙΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ
<b>Rgm</b>	=	0,186342862	ΜΗΝΙΑΙΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
<b>Rgd</b>	=	0,250657155	ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
<b>fsc</b>	=	1,02	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ
<b>tg</b>	=	68	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ F
<b>twi</b>	=	68	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΥΓΡΟΥ ΣΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΣΕ F
<b>two</b>	=	95	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΣΕ F
<b>tp</b>	=	4,7	ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΠΑΡΑΚΕΙΜΕΝΩΝ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ ΣΕ F

$$L_c = 21270,6365 \text{ ft} \quad 6483,29 \text{ m}$$

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα RETSCREEN για την ίδια ψυκτική ισχύ βρίσκουμε συνολικό βάθος γεώτρησης **6.630 m**, γεγονός που σημαίνει ότι το βάθος που προέκυψε από τους υπολογισμούς θεωρείται αξιόπιστο.

Έτσι θα φτιαχτεί ένα πλέγμα χ γεωτρήσεων βάθους **100 m** έκαστη αλλά έχοντας επιλέξει γεωτρήσεις με διπλό βρόγχο το βάθος κάθε γεώτρησης που προκύπτει θα είναι 50m. Η κάθε γεώτρηση θα έχει διάμετρο **8 in=0,2032m** ενώ θα απέχουν μεταξύ τους **15 ft=4,572 m**. Επομένως η συνολική επιφάνεια που απαιτείται για την πραγματοποίηση των γεωτρήσεων είναι **1400 m<sup>2</sup>**.



#### 4.1.4 Εγκατάσταση Εξοπλισμού

##### Παροχή Ρευστού:

Για τον καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη παροχή μέσα από την αντλία θερμότητας. Η παροχή αυτή προκύπτει μέσω της παρακάτω σχέσης που την συνδέει με την απαιτούμενη ισχύ της αντλίας και την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχομένου και εξερχομένου μέσου.

$$P(KW) = \frac{Q \left(\frac{l}{s}\right) * \Delta T(K) * 3600}{860}$$

$$Q = \frac{P * 860}{\Delta T * 3600} = 5,7 \text{ l/s}$$

$$P=215kw, \Delta T=9K$$

Στο εξεταζόμενο κτίριο η ανάγκη για ψύξη είναι μεγαλύτερη από την ανάγκη για θέρμανση. Έτσι στον υπολογισμό της παροχής από την παραπάνω σχέση θα λάβουμε υπόψη την ψυκτική ισχύ της αντλίας που επιλέξαμε και την διαφορά θερμοκρασίας εισερχομένου και εξερχομένου μέσου κατά την διαδικασία της ψύξης. Η παροχή αυτή είναι η συνολική παροχή που φτάνει στην αντλία θερμότητας. Επειδή όμως έχουμε 61 γεωτρήσεις είναι προφανές ότι το σύνολο των παροχών των 61 γεωτρήσεων θα πρέπει σύμφωνα με το νόμο διατήρησης της μάζας να ισούται με την συνολική (τελική) παροχή.

##### Ταχύτητα Ροής Ρευστού :

Για τον καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη παροχή μέσα από την αντλία θερμότητας.

Η παροχή αυτή προκύπτει μέσω της παρακάτω σχέσης που την συνδέει με την απαιτούμενη ισχύ της αντλίας και την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχομένου και εξερχομένου μέσου.

$$Q = u(m/s) * A(m^2) * 1000 \quad u = \frac{Q}{A * 1000}$$

$$din=0.0397m, A=0.00122357m^2$$

Το κριτήριο για τον υπολογισμό εντοπίζεται στο ότι πρέπει να υπολογισθεί μια ταχύτητα, δεδομένης της διαμέτρου της σωλήνωσης, η οποία θα προσεγγίζει κατά πολύ την απαιτούμενη παροχή στην κάθε γεώτρηση που



ασφαλώς θα είναι η υπο 61η της συνολικής παροχής που φτάνει στην αντλία θερμότητας.

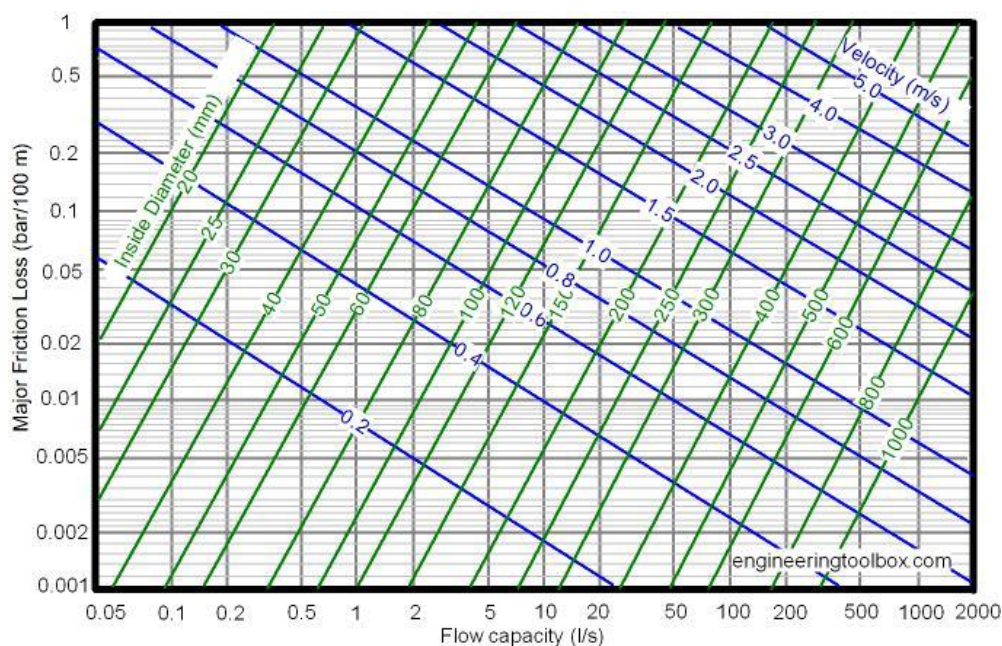
Το αποτέλεσμα αυτού του υπολογισμού είναι η απαιτούμενη ταχύτητα ροής μέσα στη σωλήνωση πολυαιθυλενίου που βρίσκεται μέσα στην κάθε γέωτρηση. Έτσι έχουμε:  $u = 0,076461 \text{ m/s}$

### Απώλειες Πίεσης :

Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογίσουμε τις απώλειες μέσα στον γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου κυκλοφορητή. Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών :

- A.** Γραμμικές απώλειες δικτύου.
- B.** Απώλειες ενδιάμεσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας).
- Γ.** Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή ίση με 0,005bar.
- Δ.** Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25-0,3 bar.
- E.** Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2 bar.

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο , υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του στην μεταφορά θερμότητας. Το διάγραμμα 2 μας δίνει την απώλεια πίεσης σε bar ανά 100 μέτρα σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή, την ταχύτητα και την διάμετρο της σωλήνωσης.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 11:** Απώλειες πίεσης ανά 100 μέτρα σωλήνωσης πολυαιθυλενίου

([http://www.engineeringtoolbox.com/peh-pvc-pipes-pressure-drop-d\\_317.html](http://www.engineeringtoolbox.com/peh-pvc-pipes-pressure-drop-d_317.html))



## **Γραμμικές Απώλειες Δικτύου Γεωτρήσεων :**

Έτσι σύμφωνα με την παραπάνω διάγραμμα οι απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης , όσο αφορά το σύστημα του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας, για παροχή ρευστού 0,0935542l/s και  $d_{in}=39,49$  mm , θα είναι:  
 $\Delta p/100m=0,075$  bar.

Επειδή οι σωληνώσεις στις 61 γεωτρήσεις είναι παράλληλες η πτώση πίεσης είναι ίδια και έτσι υπολογίζεται για τον ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας. Το μήκος του κάθε εναλλάκτη θα είναι 200 m (διπλάσιο του βάθους της γεώτρησης και 2 βρόχους).

Έτσι οι γραμμικές απώλειες πίεσης θα είναι 0,03bar.

## **Απώλειες Ενδιάμεσου Δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας):**

Το δίκτυο των σωληνώσεων από την έξοδο της γεώτρησης ως την είσοδο της αντλίας θερμότητας ονομάζεται ενδιάμεσο δίκτυο. Οι απώλειες του δικτύου αυτού θα υπολογιστούν με την τιμή που θα προκύψει από το παραπάνω διάγραμμα πολλαπλασιασμένη τώρα με το συνολικό μήκος του δικτύου.

Η παροχή στο μέρος αυτό του συστήματος είναι  $Q=5,7$  l/s ενώ η εσωτερική διάμετρος των σωληνώσεων επιλέγεται να είναι 120mm. Έτσι η τιμή από το διάγραμμα προκύπτει τώρα περίπου  $\Delta p/100m=0,5$  bar.

Το δίκτυο των σωληνώσεων που θα χρειαστεί από την έξοδο των γεωτρήσεων ως την είσοδο της αντλίας θερμότητας έχει μήκος 500m. Έτσι οι απώλειες πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο προκύπτουν ίσες με 2,5 bar.

## **Συνολικές Απώλειες Συστήματος:**

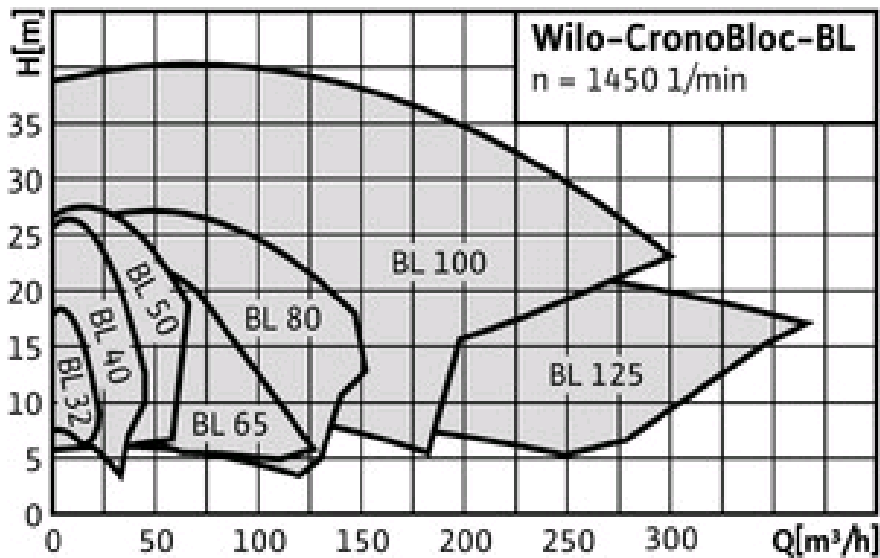
Λαμβάνοντας υπόψη τις τυπικές τιμές για τις υπόλοιπες συνιστώσες των συνολικών απωλειών όπως αυτές αναφέρονται παραπάνω οι συνολικές απώλειες του συστήματος θα είναι ίσες με  $3,035\text{bar}= 30,10$  m H<sub>2</sub>O.

<b>Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή</b>	0,005bar
<b>Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή</b>	0,3 bar
<b>Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή</b>	0,2 bar
<b>Γραμμικές απώλειες δικτύου</b>	0,03 bar
<b>Απώλειες ενδιάμεσου δικτύου</b>	2,5 bar
<b>Σύνολο</b>	3,035 bar



## Επιλογή Κυκλοφορητή:

Με γνωστές πλέον τις απώλειες και την παροχή μπορούμε μέσω της αναζήτησης WILO Product Finder της εταιρείας κατασκευής αντλιών και αντλητικών συστημάτων για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό και παροχή νερού WILO να επιλέξουμε τον κυκλοφορητή αποστολή του οποίου είναι η κυκλοφορία του νερού στο κύκλωμα.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 12:** Σειρά προϊόντων Wilo-CronoblocC-bl

(<http://www.wilo.gr/cps/rde/xchg/gr-el/layout.xsl/924.htm>)

Από Q και H<sub>ολ</sub> επιλεγόθμε τον wilo-cronbloc-bl 100

## **Υπολογισμός Δοχείων Διαστολής:**

Επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστεί ο όγκος των δοχείων διαστολής του συστήματος. Σε κάθε υδραυλικό σύστημα είναι απαραίτητη η ύπαρξη των δοχείων αυτών. Το δοχείο διαστολής είναι ένα μικρό δοχείο που χρησιμοποιείται σε κλειστά συστήματα θέρμανσης με σκοπό να απορροφά την αύξηση πίεσης του νερού και έτσι να διατηρεί την πίεση του δικτύου σε αποδεκτά όρια. Η διατήρηση της πίεσης είναι απαραίτητη για:

- A. Να αναπληρώνονται οι απώλειες του νερού του δικτύου που οφείλονται σε τυχόν μικροδιαρροές.
- B. Να παραλαμβάνεται η θερμική διαστολή του νερού λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του.
- Γ. Να μην δημιουργούνται υποπίεσεις οι οποίες γίνονται αιτία ατμοποιήσεων στο δίκτυο.
- Δ. Να αποτρέπεται η σπηλαιώση στην αναρόφηση των κυκλοφορητών.



Το δοχείο διαστολής συνήθως αποτελείται από ένα ελαστικό διάφραγμα το οποίο χωρίζει σε δύο τομείς. Η μία πλευρά περιέχει μία μικρή ποσότητα αέρα συμπιεσμένο με ίση και αντίθετη πίεση από αυτή του νερού. Η άλλη πλευρά περιέχει νερό που είναι σε ελεύθερη επαφή με την αντλητική εγκατάσταση.

Οποιαδήποτε στιγμή αυξάνεται η πίεση του νερού πιέζεται το διάφραγμα και συμπιέζεται ο αέρας.

Η συμπιεστότητα του αέρα έχει ως αποτέλεσμα να απορροφάται αυτή η καταστροφική αύξηση της πίεσης για το αντλητικό σύστημα.

Ο υπολογισμός του δοχείου διαστολής γίνεται ως εξής:

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τον τύπο:

$$V_t = V_s \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{-1}}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)}$$

Όπου:

**V<sub>t</sub>**: ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m<sup>3</sup>

**V<sub>s</sub>**: ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε m<sup>3</sup>

**t<sub>1</sub>**: η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου (0° C)

**t<sub>2</sub>**: η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου (50° C)

**P<sub>1</sub>**: η πίεση στην χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου σε kPa

**P<sub>2</sub>**: η πίεση στην υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου σε kPa

**v<sub>1</sub>**: ο ειδικός όγκος του νερού στην χαμηλότερη θερμοκρασία σε m<sup>3</sup>/kgf

**v<sub>2</sub>**: ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε m<sup>3</sup>/kgf

Το πρώτο βήμα είναι να υπολογιστεί ο όγκος του νερού που διακινείται στο σύστημα των σωληνώσεων. Ο όγκος αυτού του νερού είναι άθροισμα δύο μεγεθών:

**A.** Του όγκου στις σωληνώσεις του γεωθερμικού εναλλάκτη

**B.** Του όγκου στις σωληνώσεις του οριζοντίου συστήματος

Θεωρώντας και στις δύο περιπτώσεις τις σωληνώσεις ως απλούς κυλίνδρους έχουμε:

$$V_{\text{γεωθ.εν.}} = \pi \cdot D^2 / 4 = 21.88047 \text{m}^3 = 211.880 \text{lt}$$

$$V_{\text{οριζ.σωλ.}} = \pi \cdot D^2 / 4 = 5,65 \text{m}^3 = 5.654 \text{lt}$$

Άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο συνολικό όγκος του νερού του κυκλώματος είναι:  $V_s = 27.535,34 \text{lt} = 27,53 \text{m}^3$

Ο ειδικός όγκος του νερού στην θερμοκρασία των 0° C είναι  $v_1 = 0,0010002 \text{m}^3/\text{kgf}$  ενώ στην θερμοκρασία των 50° C είναι  $v_2 = 0,0010121 \text{m}^3/\text{kgf}$ .

Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7 bar ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαιώση [78]. Με δεδομένο ότι το μέγιστο ύψος της εγκατάστασης του δοχείου διαστολής πάνω από την θέση εγκατάστασης





της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (πρωτεύων κύκλωμα) είναι 2 m (0,2 bar), η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται:  $P_1=0,7+0,2=0,9 \text{ bar}=90 \text{ kPa}$

Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφαλείας. Αυτή σύμφωνα με τις οδηγίες [78] πρέπει να είναι:  $P_2= P_1+1,3 \text{ bar}=2,2 \text{ bar}=220 \text{ kPa}$ .

<b>Vt:</b> ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m <sup>3</sup>	0,469703
<b>Vs:</b> ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε m <sup>3</sup>	27,53534
<b>t1:</b> η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου (0° C)	0
<b>t2:</b> η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου (50° C)	50
<b>P1:</b> η πίεση στην χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου σε kPa	90
<b>P2:</b> η πίεση στην υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου σε kPa	220
<b>V1:</b> ο ειδικός όγκος του νερού στην χαμηλότερη θερμοκρασία σε m <sup>3</sup> /kgf	0,001002
<b>V2:</b> ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε m <sup>3</sup> /kgf	0,0010121

Έτσι τελικά υπολογίζεται ο απαιτούμενος όγκος του δοχείου διαστολής που είναι:  $V_t=469 \text{ lt}$  Και επιλέγεται 1 δοχείο διαστολής όγκου 500 lt.

### **Fan-Coils:**

Η τελική αξιοποίηση του συστήματος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας γίνεται με την οδήγηση των σωληνώσεων που βγαίνουν από την αντλία θερμότητας σε fan-coils κατάλληλα κατανομημένα στον προς κλιματισμό χώρο.

Το σύστημα Σωμάτων Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας - (Fan Coils) είναι ένα σύστημα από εσωτερικές μονάδες που μεταφέρει την θερμότητα ή την ψύξη στους διάφορους χώρους μέσω της τροφοδοσίας τους με νερό κατάλληλης θερμοκρασίας [74]. Δηλαδή τα συστήματα αυτά είναι συστήματα κλιματισμού που λειτουργούν ως εξής: Τοποθετείται ένας ανεμιστήρας σε κάθε χώρο που απαιτείται ψύξη ή θέρμανση. Μία κεντρική σωλήνωση που διαρρέεται από ψυχρό ή θερμό νερό διακλαδώνεται και περνάει από όλους τους προς κλιματισμό χώρους. Ο κάθε ανεμιστήρας αναρροφά αέρα από το περιβάλλον, τον κατευθύνει πάνω στην σωλήνωση που διαρρέεται από το ψυχρό ή θερμό νερό όπου γίνεται η μεταφορά θερμότητας και ο ψυχρός ή θερμός πλέον αέρας απορρίπτεται μέσα στον χώρο και κλιματίζει.

Στο συγκεκριμένο κτίριο ο κλιματισμός γίνεται ήδη με fan-coils. Η μετατροπή του παρόντος συστήματος στο νέο με την χρήση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας δεν είναι δύσκολη αφού η τεχνολογία διανομής της θερμότητας παραμένει η ίδια.



## 4.2 Κόστος Συστήματος

Το κόστος παραγόμενης ενέργειας από το σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας συνίσταται στα εξής επιμέρους κόστη:

**Α. Λειτουργικό κόστος:** Ορίζεται ως το κόστος χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούν για τη λειτουργία τους η αντλία και ο κυκλοφορητής.

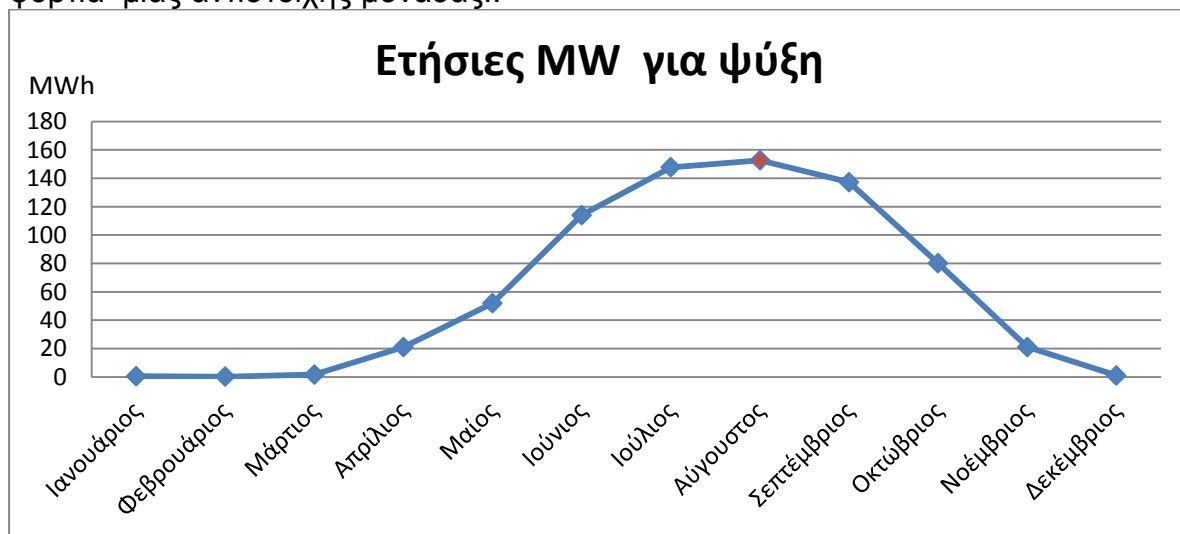
**Β. Κόστος εξοπλισμού:** Ορίζεται ως το κόστος αγοράς της αντλίας θερμότητας, του κυκλοφορητή, των δοχείων διαστολής και όλων των επιμέρους εξαρτημάτων του ενδιάμεσου υδραυλικού κυκλώματος (βαλβίδες, σωληνώσεις κ.α.)

**Γ. Κόστος εγκατάστασης:** Συνίσταται από το κόστος διάνοιξης της γεώτρησης, το κόστος των σωληνώσεων του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας και το κόστος της εισαγωγής κατάλληλου πληρωτικού υλικού στην γεώτρηση.

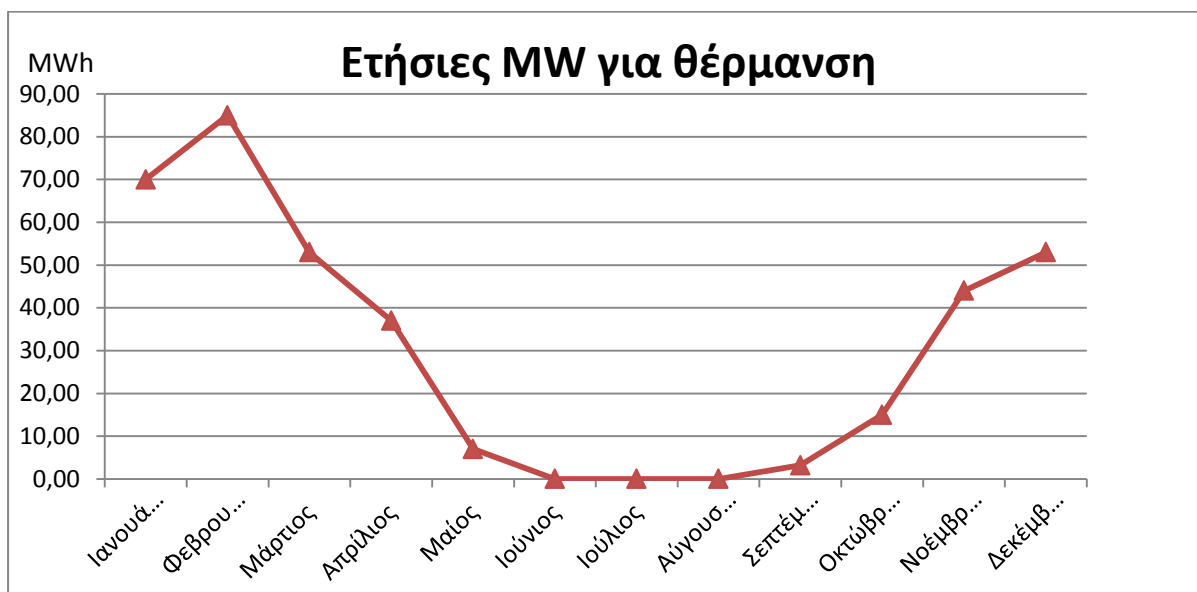
**Δ. Κόστος συντήρησης:** Είναι το απαιτούμενο κόστος για την συντήρηση του μηχανολογικού εξοπλισμού, η οποία διασφαλίζει την καλή του λειτουργία.

### 4.2.1 Α. Λειτουργικό Κόστος

Για τον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους λαμβάνονται υπόψη οι ηλεκτρικές κιλοβατώρες, όπως αυτές υπολογίζονται από το RETSCREEN, ότι θα καταναλώνονται ετησίως για την ψύξη και θέρμανση του κτιρίου με την γεωθερμική αντλία θερμότητας, καθώς και για την επαλήθευση και διόρθωση του αποτελέσματος που λαμβάνουμε από το RETSCREEN λαμβάνεται υπόψη και μια πραγματική χρονοσειρά με τα θερμικά- ψυκτικά φόρτια μιας αντίστοιχης μονάδας..



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13 : ( ετήσια ζητήσεη ενεργείας για ψύξη)



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14 : ( ετήσια ζήτηση ενέργειας για θέρμανση )

Μήνας	Μεση απαίτηση ψύξης	Μέση ζήτηση θέρμανσης
Ιανουάριος	0,0 MW	70,00 MW
Φεβρουάριος	0,0 MW	85,00 MW
Μάρτιος	1,70 MW	53,00 MW
Απρίλιος	21,00 MW	37,00 MW
Μαΐος	52,00 MW	7,00 MW
Ιούνιος	114,00 MW	0,00 MW
Ιούλιος	147,75 MW	0,00 MW
Αύγουστος	152,73 MW	0,00 MW
Σεπτέμβριος	137,22 MW	3,20 MW
Οκτώβριος	80,00 MW	15,00 MW
Νοέμβριος	15,00 MW	44,00 MW
Δεκέμβριος	0,0 MW	53,00 MW
Σύνολο	729 MW	367 MW
Μέση ετήσια	60,758 MW	30,6 MW



Έργο ψύξης		
Συνολική ζήτηση ψύξης	729	MW
Συνολικό φορτίο αιχμής ψύξης	215,0	kW
Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια	66	MW
Τιμή Καυσίμου	0,13	€/kwh
Κόστος καυσίμου	15.500	€

Έργο παραγωγής θερμότητας		
Συνολική απαίτηση θέρμανσης	367	MW
Συνολική αιχμή φορτίου θέρμανσης	107,0	kW
Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια	78	MW
Τιμή Καυσίμου	0,13	€/kwh
Κόστος καυσίμου	9.500	€

**Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος**

**25000 €**



## 4.2.2 Β. Κόστος Εξοπλισμού

Το κόστος εξοπλισμού ορίζεται ως το κόστος αγοράς της αντλίας θερμότητας, του κυκλοφορητή, των δοχείων διαστολής και όλων των επιμέρους εξαρτημάτων του ενδιάμεσου υδραυλικού κυκλώματος (βαλβίδες, σωληνώσεις κ.α.). Τα κόστη αυτά υπολογιστήκαν έπειτα από σχετική έρευνα στο διαδίκτυο στα site των εταιριών που δραστηριοποιούνται σε αυτόν τον τομέα και έπειτα από τηλεφωνική επικοινωνία με τον κύριο Πρεκα Μιχάλη από την εταιρία ΕΨΕΜ όπου με ενημέρωσε για κόπιες τυπικές τιμές που ισχύουν την συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Αντλία θερμότητας	28000	€		
Κόστος κυκλοφορητή	2500	€		
Δοχείο διαστολής	400	€		
Κόστος ενδιάμεσου δικτύου	1250	€	2,5€/m	
Κόστος μονάδας έλεγχου και λοιπόν εξαρτημάτων (βαλβίδες κτλ.)	3000	€		

\*\*( οι τιμές αυτές διαφοροποιούν συχνά λόγω τις συνεχής αναπτύξεις στον τομέα αυτόν )

Σύνολο	35150	€		
--------	-------	---	--	--

## 4.2.3 Γ Κόστος Εγκατάστασης

Το κόστος εγκατάστασης δίνεται ως το σύνολο για τα εξής επιμέρους κόστη:

1. Το κόστος διάνοιξης της γεώτρησης.
2. Το κόστος των σωληνώσεων του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας.
3. Το κόστος του υγρού και του αντιψυκτικού.

4. Το κόστος του υλικού πλήρωσης της γεώτρησης μετά την τοποθέτηση του εναλλάκτη.

Το κόστος όλων αυτών προσθετικά είναι της τάξεως των 1.700€/RT [Δέλτα Τεχνική]. Έτσι για 61 RT το κόστος αυτό είναι **103.700€**

\*\*( οι τιμές αυτές διαφοροποιούν συχνά λόγω τις συνεχής αναπτύξεις στον τομέα αυτόν )

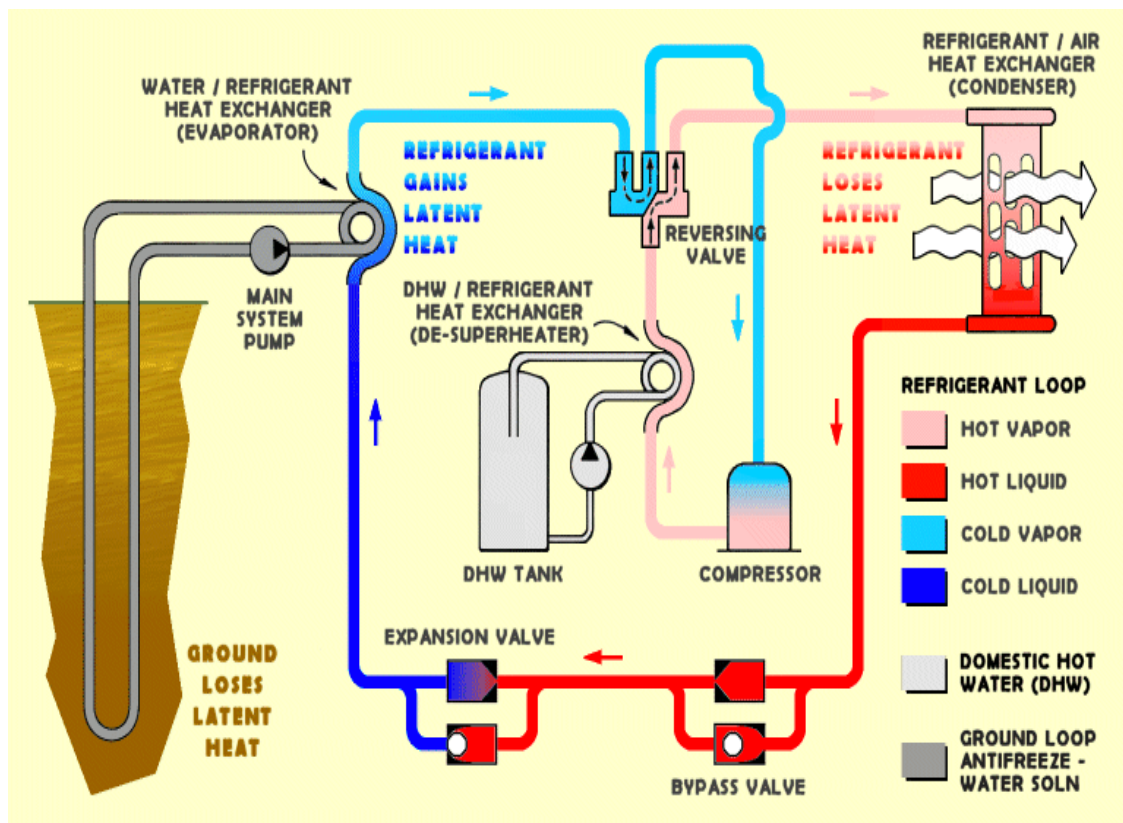


#### 4.2.4 Δ Κόστος Συντήρησης

Το κόστος συντήρησης εκτιμάται σε 1000 € το χρόνο

#### 4.2.5 Ε. Συνολικό Κόστος Επένδυσης

Έτσι το συνολικό κόστος επένδυσης είναι περίπου 158000 €



ΣΧΗΜΑ 7 : Θέρμανση με γεωθερμική αντλία θερμότητας  
(<http://www.geo4va.vt.edu/A3/A3.htm>)



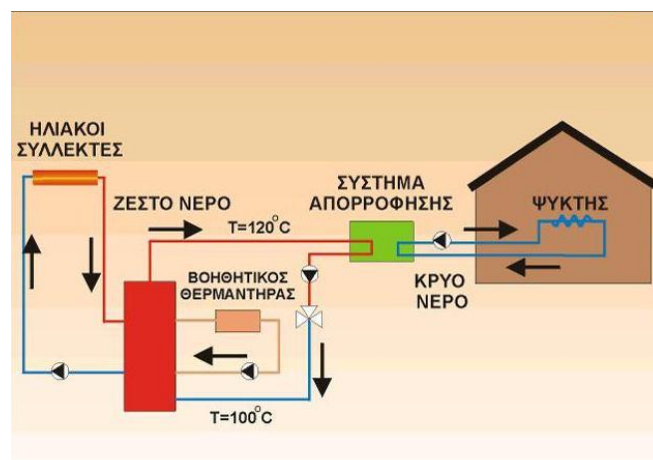
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ

### 5.1 Σύστημα Ηλιακής Θέρμανσης και Ψύξης με Απορρόφηση

Η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες και θερμαίνει το νερό το οποίο οδηγείται στην δεξαμενή αποθήκευσης. Η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται για να διαχωριστεί το διάλυμα  $H_2O/LiBr$  σε ατμούς νερού και πλούσιο διάλυμα σε  $LiBr$ . Ο παραγόμενος ατμός οδηγείται στο συμπυκνωτή όπου συμπυκνώνεται αποβάλλοντας θερμότητα. Το συμπύκνωμα καταλήγει στον εξαμιστή όπου με την απορρόφηση θερμότητας από το εισερχόμενο νερό από τις κλιματιστικές μονάδες ατμοποιείται ενώ παράλληλα ψύχει το νερό των κλιματιστικών μονάδων, παράγοντας έτσι την ψυκτική ισχύ. Σε περίπτωση που η συλλεχθείσα ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη του απαιτούμενου φορτίου, τότε ο ψύκτης υποστηρίζεται από την εφεδρική πηγή θερμότητας.

Έτσι για την εγκατάσταση του συστήματος ηλιακής ψύξης χρειάζονται τα παρακάτω κύρια στοιχεία του κυκλώματος:

- A.** Οι ηλιακοί συλλέκτες
- B.** Το δοχείο αποθήκευσης θερμότητας
- Γ.** Η βοηθητική πηγή θερμότητας
- Δ.** Το σύστημα του ψύκτη απορρόφησης
- Ε.** Ο ψυκτικός πύργος
- ΣΤ.** Αντλίες που να κυκλοφορούν το νερό μέσα στην εγκατάσταση



**ΣΧΗΜΑ 8:** Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού  
([http://www.nirsepes.eu/docs/Aidonis\\_SolarTH.pdf](http://www.nirsepes.eu/docs/Aidonis_SolarTH.pdf))

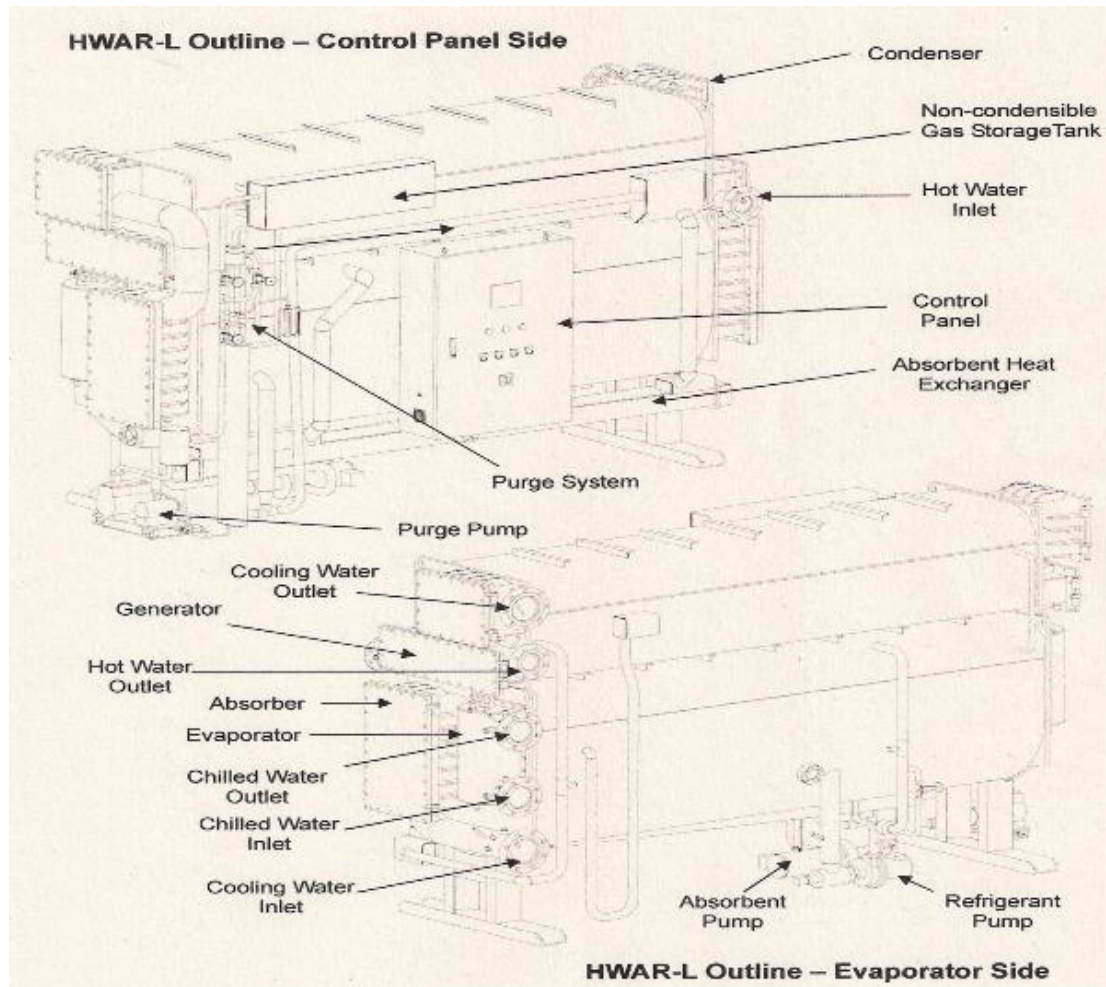


## A. Ψύκτης Απορρόφησης

Θα χρησιμοποιήσουμε ψύκτη απορρόφησης που χρησιμοποιεί ζεστό νερό της εαυρείας **CENTION HWARL75**

<b>A. Ψύκτης Απορρόφησης <u>CENTION HWARL75</u></b>		
Ψυκτική ικανότητα	264 kw	
	75 RT	
Θερμοκρασία παγωμένου νερού	12,232	° C κατά την είσοδο
	6,672	° C κατά την έξοδο
Παροχή παγωμένου νερού	11,34	l/s
Θερμοκρασία ζεστού νερού	93	° C κατά την είσοδο
	80	° C κατά την έξοδο
Παροχή ζεστού νερού	6,048	l/s
Θερμοκρασία νερού ψύξης	29,45	° C κατά την είσοδο προς τον ψυκτικό πύργο
	35	° C κατά την έξοδο προς τον ψυκτικό πύργο
Παροχή νερού ψύξης	27,216	l/s
COP =	0,7	





ΣΧΗΜΑ 9 : Κύρια μέρη ενός ψύκτη απορρόφησης Cention

Ο συγκεκριμένος ψύκτης παράγει ψύξη από ζεστό νερό το οποίο έχει θερμανθεί είτε μέσω ηλιακής ενέργειας είτε μέσω θερμών καυσαερίων ενώ τα χαρακτηριστικά του είναι τα κάτωθι:

Με βάση τον  $\text{COP}$  η εισερχόμενη θερμική ισχύς θα πρέπει να είναι 377,17 kw.



## **B. Ηλιακοί Συλλέκτες**

Για τον υπολογισμό του συστήματος των ηλιακών συλλεκτών ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Η απόδοση του συλλέκτη δίνεται από τον τύπο:

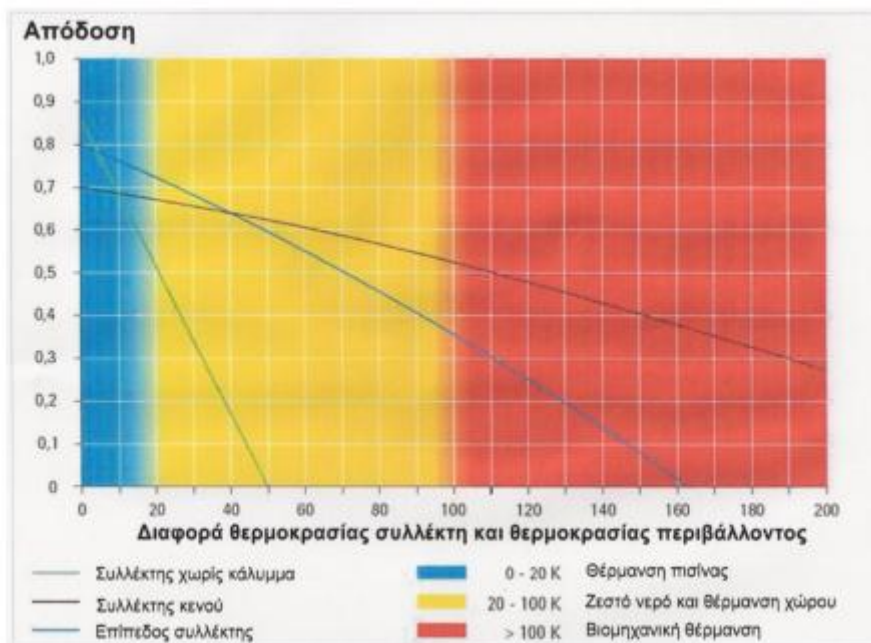
$$n = FR * (\tau\alpha) - Fr * UL * \frac{T_i - T_a}{IT} \quad * \quad n = FR * UL * \frac{T_i - T_a}{IT}$$

Αν επιλέξουμε επίπεδο συλλέκτη με μαύρο απορροφητήρα και διπλό τζάμι έχουμε από τον σχετικό πίνακα ότι :

$$F_R \bullet (\tau\alpha) = 0,75 \text{ και } F_R \bullet U_L = 5.$$

Είδαμε ότι η θερμοκρασία εισόδου του νερού είναι  $T_i = 80^\circ\text{C}$  και βρίσκουμε ότι η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι  $19,4^\circ\text{C}$ .

Αν θεωρήσουμε την τιμή της ηλιακής ακτινοβολία περίπου  $I = 1000 \text{ W/m}^2$ , τότε προκύπτει η απόδοση του συλλέκτη ίση με 55%, γεγονός το οποίο προκύπτει και από το κάτωθι σχήμα.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 15 :** (Απόδοση συλλέκτη συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ αυτού και του περιβάλλοντος)

([http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/prodes3/PRODES\\_solar%20thermal.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/prodes3/PRODES_solar%20thermal.pdf))



$F_R * (\tau\alpha) =$	0,75	από πίνακα
$F_R * UL =$	5	από πίνακα
$T_i =$	80	°C Θερμοκρασία είσοδου
$I =$	1000	W/m <sup>2</sup> μέση τιμή ηλιακής ακτινοβολία
βαθμος απόδοσης συλλέκτη	0,55	

<b>παραγωγή από τους συλλέκτες</b>		
$0,55 * 1000 =$	550	W/m <sup>2</sup>

Έτσι για την παραγωγή των 377,17 KW που χρειαζόμαστε απαιτούνται 685,714 m<sup>2</sup> επιφάνειας επίπεδων ηλιακών συλλεκτών τύπου μαύρου απορροφητήρα με διπλό τζάμι.

Στο κλειστό κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών κυκλοφορεί μίγμα νερού με προπυλενογλυκόλη ώστε να μειωθεί το σημείο πήξης στους -23°C και να αυξηθεί το σημείο βρασμού στους 150°C και για την καλύτερη διανομή θερμότητας και προστασία των υλικών.

Οι επίπεδοι συλλέκτες κατασκευάζονται συνήθως για παροχή 0,0111 l/s\*m<sup>2</sup> με 0,0222 l/s\*m<sup>2</sup> όποτε για μια μέση παροχή της τάξης των 0,015 l/s\*m<sup>2</sup> θα έχουμε Παροχή = 10,2857143 l/s

### Γ. Δοχείο Αποθήκευσης Θερμού Νερού Ομοιόμορφης Θερμοκρασίας

Σε μία αποθήκη ομοιόμορφης θερμοκρασίας το νερό έχει την ίδια θερμοκρασία σε οποιοδήποτε σημείο. Έτσι όταν προσδίδεται ενέργεια η θερμοκρασία ανεβαίνει ομοιόμορφα σε όλο τον χώρο της αποθήκης

Στην πράξη η ομοιόμορφη θερμοκρασία εξασφαλίζεται όταν η παροχή του νερού είναι υψηλή και ο χρόνος ανακύκλωσης μικρός

Τέτοιες αποθήκες χρησιμοποιούνται στα ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού και θέρμανσης χώρων, κλειστού κυκλώματος.



Μια τυπική τιμή που συνδέει τη συνολική επιφάνεια των συλλεκτών με τη χωρητικότητα των δοχείων αποθήκευσης είναι  $75 \text{ lt/m}^2$  όποτε για  $685,7143 \text{ m}^2$  ο απαιτούμενος όγκος του δοχείου θα είναι  $51428,57 \text{ lt}$

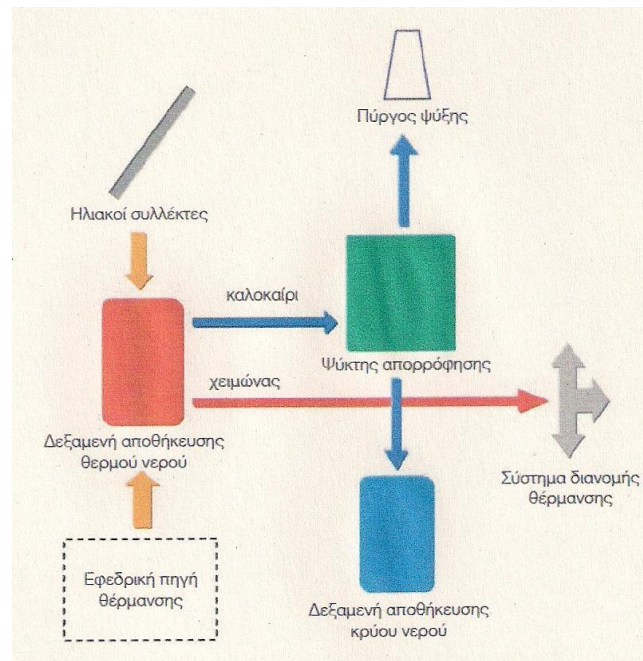
Αυτός ο απαιτούμενος όγκος μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας 11 θερμοδοχεία χωρητικότητας  $5.000 \text{ lt}$

Με διάμετρο  $1,72 \text{ m}$  και ύψος  $2,93 \text{ m}$  το καθένα απαιτείται συνολικός χώρος  $25,5 \text{ m}^2$  για την εγκατάστασή τους

Η παροχή νερού που κυκλοφορεί σε αυτό το κλειστό σύστημα είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή του κυκλώματος των συλλεκτών, της τάξης των

$$0,022 \frac{\text{lt}}{\text{sec} \cdot \text{m}^2 \text{ _ συλλεκτικής _ επιφάνειας}}$$

η συνολική παροχή στη δεξαμενή θα είναι  $=12,1 \text{ lt/s}$



**ΣΧΗΜΑ 10** : Βασική διάταξη εγκατάστασης ηλιακού κλιματισμού για χρήση χειμώνα-καλοκαίρι

([http://www.solcoproject.net/docs/SOLCO\\_SolarCooling\\_guide\\_Greek.pdf](http://www.solcoproject.net/docs/SOLCO_SolarCooling_guide_Greek.pdf))



## Δ. Βοηθητική Πηγή Θερμότητας

Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι διαθέσιμη καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας και του χρόνου, είναι απαραίτητο να υπάρχει μία εφεδρική μονάδα κεντρικής θέρμανσης για να θερμαίνει το νερό όταν δεν επαρκεί η ηλιακή ενέργεια. Εφεδρική μονάδα θέρμανσης μπορεί να είναι ένας συμβατικός λέβητας πετρελαίου ή υγραερίου, ένας λέβητας βιομάζας ή ηλεκτρισμός.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή επιλεγούμε λέβητας Βιομάζας.

<b>Η εφεδρική μονάδα θα είναι ένας λέβητας Βιομάζας</b>	
<b>ο λέβητας που επιλεγούμε θα είναι της <u>THERMOKOZ</u> μοντελο <u>TRMO-200</u></b>	
<b>ισχυς</b>	232 KW
	200.000 Kcal/h

## Ε. Πύργος Ψύξης

Ο πύργος ψύξης χρησιμοποιείται για να ψύξει το νερό που εξέρχεται από τον συμπυκνωτή του ψύκτη απορρόφησης το οποίο (νερό) προηγουμένως έχει συμπυκνώσει τους ατμούς νερού που εισέρχονται από την δεξαμενή αναγεννήσεως.

Η δε λειτουργία του πύργου ψύξης περιγράφεται συνοπτικά ως εξής : Το καταιονιζόμενο νερό στον πύργο ψύξης έχει αυξημένη θερμοκρασία. Καθώς έρχεται σε επαφή με τον ψυχρό αέρα ανεβάζει την θερμοκρασία του αέρα, κυρίως με αγωγή. Όταν όμως η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται, μειώνεται η σχετική υγρασία του.

Έτσι, ανεξάρτητα από τον βαθμό κορεσμού που είχε αρχικά, γίνεται ακόρεστος. Επομένως εξατμίζει νερό προσπαθώντας να φέρει σε ισορροπία τις θερμοκρασίες υγρής και ξηρής σφαίρας. Καθώς το νερό εξατμίζεται, απορροφά την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης από το υπόλοιπο νερό και μειώνει την θερμοκρασία του. Με αυτόν τον τρόπο απομακρύνεται το 65 - 70 % της αποβαλλόμενης θερμότητας, ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται με αγωγή, επαφή και ακτινοβολία. Επειδή ο αέρας που βγαίνει είναι περίπου κορεσμένος και σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την στιγμή που εξέρχεται από τον πύργο ψύξης ψύχεται και αποβάλλει μέρος από την θερμοκρασία που έχει απορροφήσει. Έτσι εμφανίζεται ένα σύννεφο υδρατμών πάνω από τον πύργο ψύξης.



Μεγάλη ποικιλία πύργων ψύξης μπορούμε να βρούμε στην ιστοσελίδα της εταιρείας MITA



**ΕΙΚΟΝΑ 15:** Πύργος ψύξης κλειστού κυκλώματος της εταιρείας MITA  
(<http://www.mita-tech.it/-526265439.d2.asp>)

Για την εφαρμογή μας επιλεγούμε Πύργο Ψύξης MITA Series MCC-MCE TYPE P1/P3 CAPACITY 30,55l/s

### **ΣΤ. Αντλίες που να κυκλοφορούν το νερό μέσα στην εγκατάσταση**

Στην εγκατάσταση θα χρησιμοποιήσουμε 2 κυκλοφορητές της εταιρείας wilo product finder τύπου wilo-cronbloc-bl 100

## **5.2 Κάλυψη των θερμικών φορτίων**

Η χρήση του συστήματος που παρουσιάστηκε δεν κρίνεται οικονομική αν η λειτουργία του περιορίζεται μόνο στην ψύξη κατά την διάρκεια των θερινών μηνών.

Έτσι στην διάταξη που παρουσιάστηκε έχει προβλεφθεί η χρήση των ηλιακών συλλεκτών για την θέρμανση των χώρων κατά την διάρκεια του χειμώνα.

Η λειτουργία αυτή δεν επιβαρύνει το σύστημα με πρόσθετο εξοπλισμό αφού συνίσταται ουσιαστικά στην παράκαμψη του συστήματος του ψύκτη απορρόφησης και την κατεύθυνση του ζεστού νερού από τους συλλέκτες σε μονάδες διανομής θερμότητας στο κτίριο.



### 5.3 Τελική αξιοποίηση του συστήματος

Η τελική αξιοποίηση του συστήματος θα γίνει με **Fan-Coils** όπως και στο σύστημα του γεωθερμικού εναλλάκτη τα οποία προ υπάρχουν .

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι στο σύστημα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και δοχείο αποθηκεύσεις κρύου νερού το ( όποιο δεν είναι υποχρεωτικό ) αλλά για να μειώσουμε τον όγκο και το κόστος του συστήματος επιλεγούμε να μην χρησιμοποιήσουμε.

### 5.4 Κόστος Αγοράς και Εγκατάστασης Ηλιακών Συστημάτων

Το μέσο αρχικό κόστος όλων των αξιολογούμενων εφαρμογών είναι 4012€/kW.

Το κόστος ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την ψυκτική ισχύ της μονάδας, τον τύπο ηλιακών συλλεκτών, το στάδιο ανάπτυξης και την αρχή λειτουργίας του συστήματος.

Το ακριβότερο σύστημα είναι μια ερευνητική εφαρμογή με μια μηχανή απορρόφησης 10 kW NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O, η οποία συνδέεται με κινούμενους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες.

Το σύστημα με το χαμηλότερο κόστος είναι μια εφαρμογή στο στάδιο ανάπτυξης με μία μηχανή απορρόφησης 700 kW H<sub>2</sub>O/LiBr, η οποία λειτουργεί με επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες.

Τα συστήματα απορρόφησης με H<sub>2</sub>O/LiBr έχουν το χαμηλότερο μέσο αρχικό κόστος 3102 €/kW.

Τα συστήματα απορρόφησης NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O έχουν το υψηλότερο κόστος 6474 €/kW.

Τα συστήματα προσρόφησης κοστίζουν κατά μέσο όρο 3521 €/kW ενώ για ένα σύστημα με υγρούς αφυγραντές το κόστος είναι 4444 €/kW.

Επόμενος το συνολικό κόστος του συστήματος μας είναι :

**3102€/kW x 264kW = 818.928€**

Κόστος πολύ υψηλό αν αναλογιστούμε ότι για την εγκατάσταση του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας απαιτείται το ποσό των **157000 €**



## 5.5 Λειτουργικό Κόστος

### Λειτουργικό Κόστος σε ψύξη

Ηλιακός κλιματισμός κατά 90% κάλυψη συλλεκτών 10%βιομαζα ΠΕΛΛΕΤ		
Κόστος καυσίμου Ψύξη 90% για ψυκη	0	€
ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΥΣΤΗΡΑ βιομάζα	85	%
ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ-ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	5,2	KWH/Kgr
Συνολική απαίτηση ψύξης για το 10%	72,91013	MWh
Τιμή Καυσίμου	0,27	€
Όγκος καυσίμου	16495,51	Kgr
Κόστος καυσίμου για Ψύξη	4453,78	€

### Λειτουργικό Κόστος σε θέρμανση

Ηλιακός κλιματισμός κατά 60% κάλυψη συλλεκτών 40%βιομαζα ΠΕΛΛΕΤ		
Κόστος καυσίμου Θέρμανση για το 60%	0	€
ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΥΣΤΗΡΑ βιομάζα	85	%
ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ-ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	5,2	KWH/Kgr
Συνολική απαίτηση θέρμανσης και ψύξης για το 10%	146,88	MWh
Τιμή Καυσίμου	0,27	€
Όγκος καυσίμου	33230,77	Kgr
Κόστος καυσίμου για θέρμανση και Ψύξη	8972,3	€

**Ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας :** Η μέση ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας για τον βοηθητικό εξοπλισμό (πχ ανεμιστήρες και αντλίες) ανά kW ψυκτικής ισχύος για τα συστήματα που αξιολογήθηκαν είναι περίπου 225 W/kW δηλαδή 2000 €

**Κόστος συντηρήσεις :** ο κόστος συντήρησης στους ηλιακούς συλλέκτες υπολογίζεται στο 1%

**Συνολικό λειτουργικό κόστος = 21425€**





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

# ΣΥΓΚΡΙΣΕΙ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.

### 6.1 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΟΣΤΟΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Το αρχικό κόστος επενδύσεις του συστήματος με γεωθερμικού εναλλακτη δεδομένου ότι θα λειτουργεί όλο το χρόνο είναι :

Συνολικό κόστος επένδυσης είναι = **158000 €**

Αυτό είναι και το κόστος του συστήματος ακόμα και αν λειτουργεί μόνο την καλοκαιρινή περίοδο λόγω το ότι τα ψυκτικά φόρτια είναι πολύ μεγαλύτερα από τα θερμικά .

Αν το σύστημα διαστασιολογηθεί για να λειτουργεί μόνο την χειμερινή περίοδο το συνολικό κόστος μειώνεται κατά 50% όποτε το κόστος της επενδύσεις είναι : **79000 € ..**

Το αρχικό κόστος επενδύσεις του συστήματος ηλιακού κλιματισμού είναι :

Συνολικό κόστος επένδυσης είναι = **818.928€**

Όπως και στην προηγούμενη περιπτώσει αυτό είναι το κόστος του συστήματος ακμή και αν λειτουργεί μόνο την χειμερινή περίοδο ..

Αν το σύστημα διαστασιολογηθεί για να λειτουργεί μόνο την χειμερινή περίοδο το συνολικό κόστος μειώνεται σημαντικά λόγω ότι το σύστημα απλοποιείτε και αποτελείτε πλέον μόνο από :

**A.** Οι ηλιακοί συλλέκτες

**B.** Το δοχείο αποθήκευσης θερμότητας

**Γ.** Η βοηθητική πηγή θερμότητας

**ΣΤ.** Αντλίες που να κυκλοφορούν το νερό μέσα στην εγκατάσταση



Όποτε το σημαντικότερο κόστος που είναι ο ψυκτη απορρόφησης και ο ψυκτικός πύργος απραλιπονται .

Οι επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών για κάλυψη των θερμικών φορτιών είναι 250m<sup>2</sup> περίπου στο 1/3 σε σχέση με την επιφάνεια που χιαζόμαστε για να καλύψουμε τα ψυκτικά φόρτια.

Το κόστος τις επενδύσεις μόνο για χειμερινή Περίδη είναι περίπου **100000 €**

Έχουμε μια μύωση του κόστους 80%

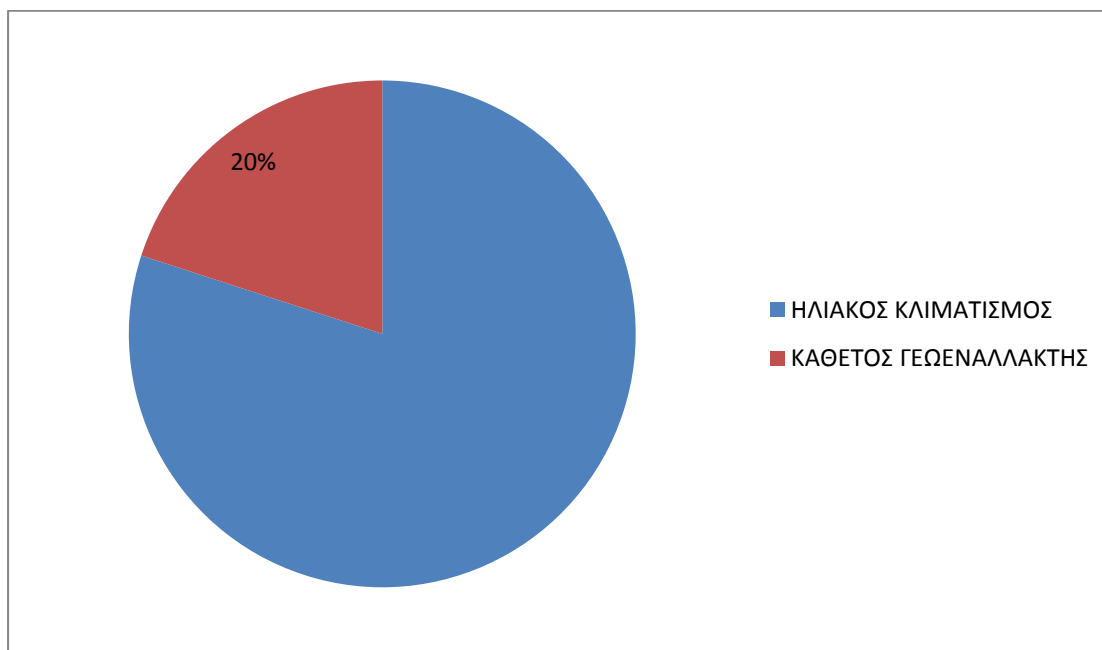
## 6.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**Λειτουργιά συστημάτων όλο των χρόνο :**

Σε αυτήν την περίπτωση συμπεραίνουμε ότι το σύστημα ηλιακού κλιματισμού είναι κατά 80% ακριβότερο σε σχέση με το σύστημα γεωθερμικού εναλλακτη .

Συνολικό κόστος επένδυσης συστήματος κάθετου εναλλακτη **158.000 €**

Συνολικό κόστος επένδυσης συστήματος ηλιακού κλιματισμού **819.000€**



(Το κόστος του συστήματος κάθετου εναλλακτη αντιστοιχεί στο 20% του συστήματος ηλιακού κλιματισμού )

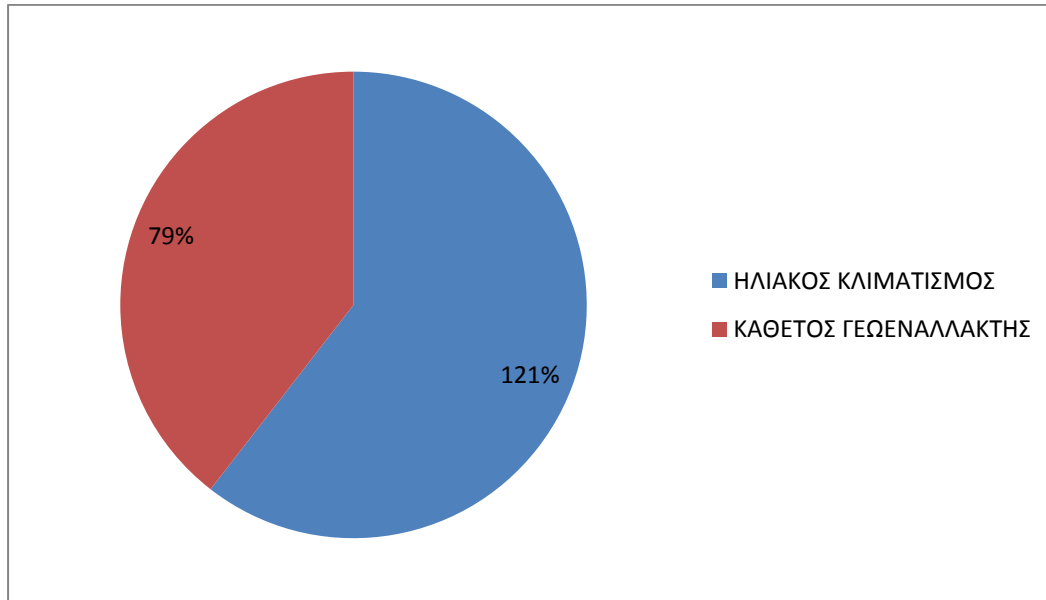


### Λειτουργιά συστημάτων ΜΟΝΟ την θερινή περίοδο :

Σε αυτήν την περίπτωση συμπεραίνουμε ότι το σύστημα ηλιακού κλιματισμού είναι κατά 79% ακριβότερο σε σχέση με το σύστημα γεωθερμικού εναλλακτη .

Συνολικό κόστος επένδυσης συστήματος κάθετου εναλλακτη **79000 €**

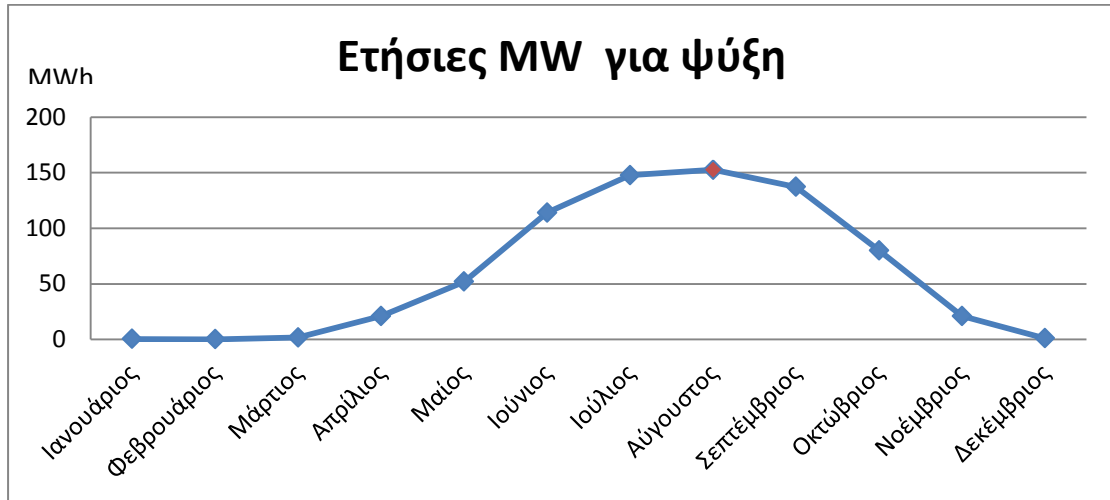
Συνολικό κόστος επένδυσης συστήματος ηλιακού κλιματισμού **100000€**



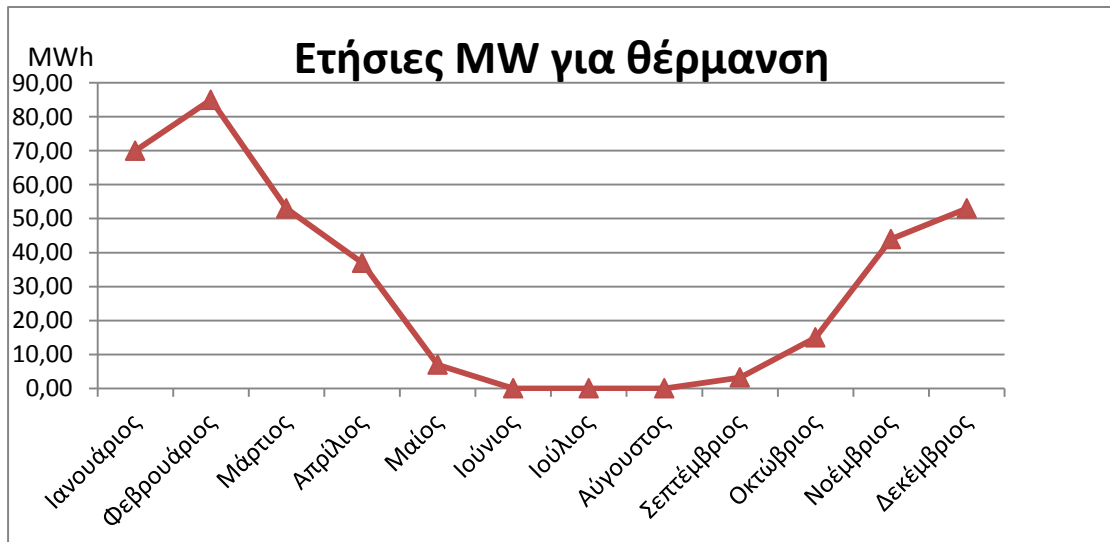


## 6.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ Σ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

### Λειτουργικό Κόστος Γεωθερμικού Εναλλάκτη



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 13 :** ( ετήσια ζητήσει ενεργείας για ψύξη)



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 14 :** ( ετήσια ζητήσει ενεργείας για θέρμανση )



## Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος **25.000 €**

Λειτουργικό κόστος για την χειμερινή περίοδο (Νοέμβριο έως Απρίλιο)

Μήνας	Μεση απαίτηση ψύξης		Μέση ζήτηση θέρμανσης	
Ιανουάριος	0,00	MW	70,00	MW
Φεβρουάριος	0,00	MW	85,00	MW
Μάρτιος	1,70	MW	53,00	MW
Απρίλιος	21,00	MW	37,00	MW
Μαΐος	52,00	MW	7,00	MW
Ιούνιος	114,00	MW	0,00	MW
Ιούλιος	147,75	MW	0,00	MW
Αύγουστος	152,73	MW	0,00	MW
Σεπτέμβριος	137,22	MW	3,20	MW
Οκτώβριος	80,00	MW	15,00	MW
Νοέμβριος	15,00	MW	44,00	MW
Δεκέμβριος	0,00	MW	53,00	MW
Σύνολο	729	MW	367	MW
Μέση ετήσια	60,758	MW	30,6	MW

Λειτουργικό κόστος = **9.500€**

Λειτουργικό κόστος για την θερινή περίοδο :

Λειτουργικό κόστος = **15.500 €**



## Λειτουργικό Κόστος Ηλιακού κλιματισμού

Για τις ίδιες ανάγκες έχουμε :

Ετήσια λειτουργικά κόστη = **21425€**

Λειτουργικό κόστος για την χειμερινή περίοδο (60% κάλυψη συλλεκτών 40%βιομαζα ΠΕΛΛΕΤ) = **10000 €**

Από αυτά τα **1000 €** είναι κόστος συντηρήσεις ..

Το κόστος του καύσιμου(pelet) του λέβητα είναι 0,27**€/Kgr**

Λειτουργικό κόστος για την θερινή περίοδο (90% κάλυψη συλλεκτών 10%βιομαζα ΠΕΛΛΕΤ) = **12000 €**

Από αυτά τα **7000 €** είναι κόστος συντηρήσεις ..



## 6.4 ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

Το κόστος ενός συμβατικού συστήματος με λέβητα πετρελαίου για να καλύψει της ανάγκες σε θέρμανση(107Kw) στην περιπτώσει μας είναι **5000€** με **7000€** .

Το κόστος ενός συστήματος για καλύψει των ανάγων μας σε ψύξη (215Kw) με κλιματιστικές μονάδες (VRV) κυμαίνετε **50000€** με **70000 €** (πρέπει να επισημάνουμε ότι το σύστημα αυτό μπορεί να λειτουργήσει όλο τον χρόνο καλύπτοντας θερμικά και ψυκτικά φόρτια .Οι τιμές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτόν δοθήκαν έπειτα από τηλεφωνική επικοινωνία με την Ε.Ψ.Ε.Μ)



## 6.5 ΛΥΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

<b>Θέρμανση ( πετρέλαιο )</b>	
<b>ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΥΣΤΗΡΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ</b>	<b>90 %</b>
<b>ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ-ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ</b>	<b>11,9 Kw/lt</b>
<b>Όγκος καυσίμου</b>	<b>34285,7 lt</b>
<b>Τιμή καυσίμου</b>	<b>1,3 €/lt</b>
<b>Κόστος καυσίμου</b>	<b>44571,4 €</b>

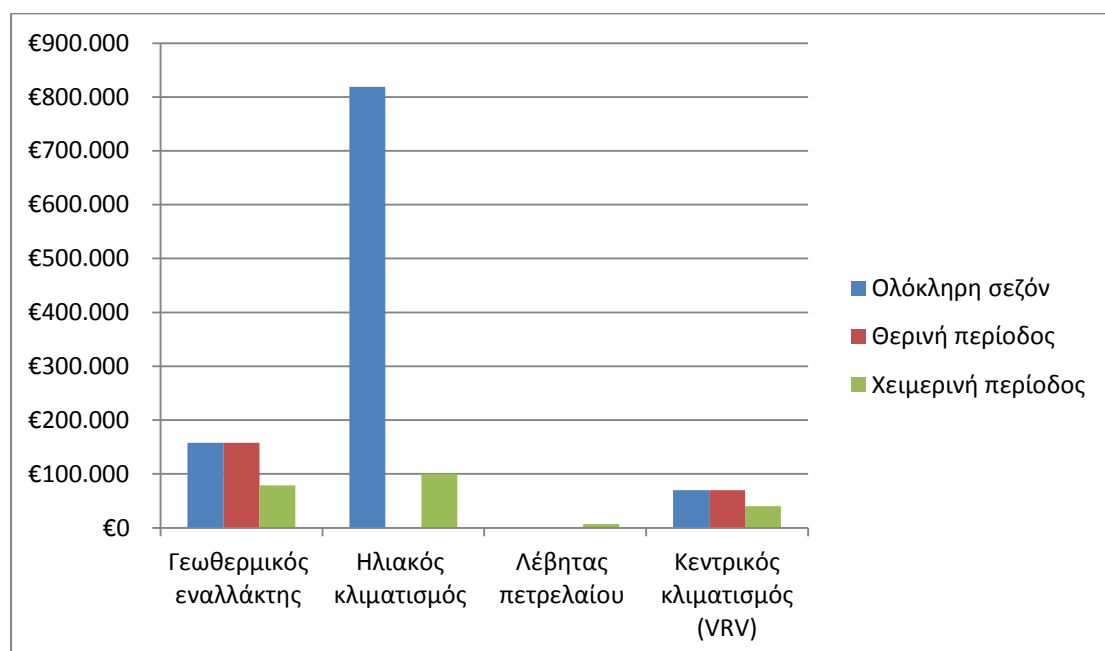
<b>Συμβατικός κλιματισμός</b>	
<b>COP ( βαθμός αποδόσεις θέρμανσης)</b>	<b>3,61</b>
<b>EER (Βαθμός απόδοσης ψύξης)</b>	<b>3,21</b>
<b>Κατανάλωση καυσίμου θέρμανσης- ετήσια</b>	<b>101,7 MWh</b>
<b>Κατανάλωση καυσίμου Ψύξης</b>	<b>227,1 MWh</b>
<b>Τιμή Καυσίμου</b>	<b>0,13 €/ MWh</b>
<b>Κόστος καυσίμου για θέρμανση</b>	<b>13223,5 €</b>
<b>Κόστος καυσίμου για Ψύξη</b>	<b>29527,5 €</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>42750,7 €</b>





## 6.6 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

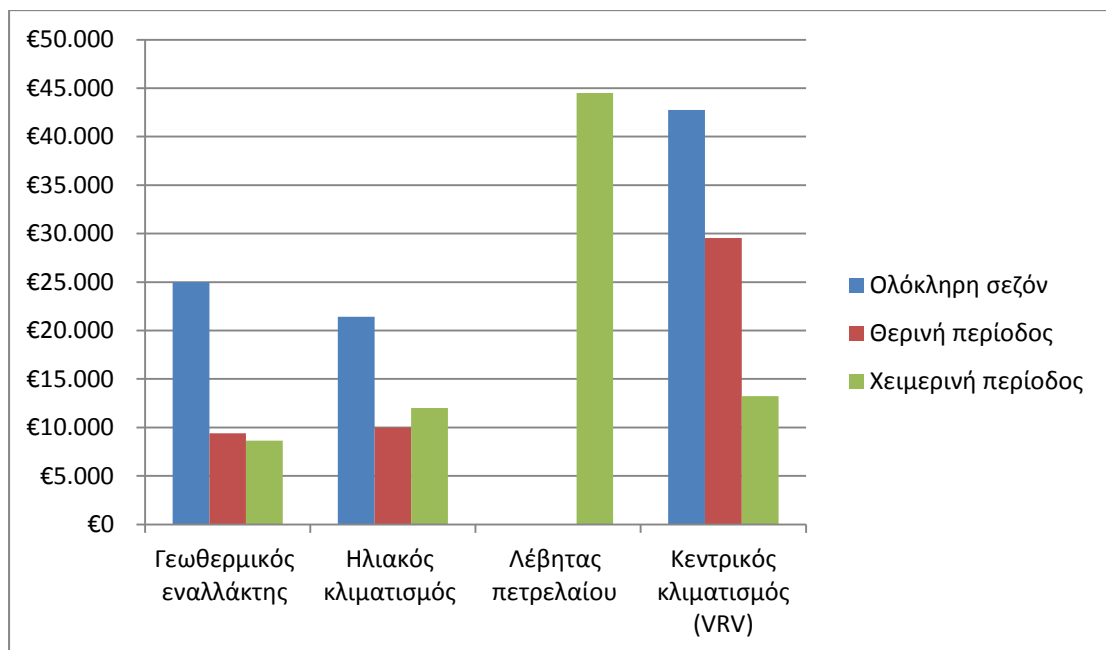
Αρχικό κόστος επενδύσεις			
Τύπος συστήματος	Ολόκληρη σεζόν	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος
Γεωθερμικός εναλλάκτης	158.000€	158.000€	79.000€
Ηλιακός κλιματισμός	819.000€	818.900€	100.000€
Λέβητας πετρελαίου	-	-	7.000€
Κεντρικός κλιματισμός (VRV)	70.000€	70.000€	40.000€



(Αρχικό κόστος επενδύσεις κάθε επένδυσης ανά περίοδο λειτουργίας)



Λειτουργικό κόστος επενδύσεις			
Τύπος συστήματος	Ολόκληρη σεζόν	Θερινή περίοδος	Χειμερινή περίοδος
<b>Γεωθερμικός εναλλάκτης</b>	25.000€	15.500€	9.500€
<b>Ηλιακός κλιματισμός</b>	21.425€	10.000€	12.000€
<b>Λέβητας πετρελαίου</b>	-	-	45.500€
<b>Κεντρικός κλιματισμός (VRV)</b>	42750€	29.527€	13.223€



(Λειτουργικό κόστος κάθε επένδυσης ανά περίοδο λειτουργίας )



Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να δούμε ότι τα αρχικά κόστη των δύο συστημάτων που έχουμε επιλέξει είναι σημαντικά ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα συγκριμένα:

- ο ηλιακός κλιματισμός είναι 11 φορές ακριβότερος σε σχέση με τον συμβατικό κλιματισμό και 5 φορές ακριβότερος σε σχέση με το σύστημα του γεωθερμικού εναλλακτή
- το σύστημα του γεωθερμικού εναλλακτή είναι 2,5 φορές ακριβότερος σε σχέση με τον συμβατικό κλιματισμό και 5 φορές φτηνότερος σε σχέση με τον ηλιακό κλιματισμό για λειτουργεί ολόκληρο τον χρόνο .

Το μεγάλο αρχικό κόστος του ηλιακού κλιματισμού προκύπτει κύριος από το πολύ μεγάλο κόστος του πύργου απορροφήσεις, αυτό το βλέπουμε όταν τα συστήματα διαστασιολογηθούν για να λειτουργήσουν μόνο την χειμερινή περίοδο όπου τότε ο πύργος απορροφήσεις παραλείπεται (σε αυτήν την περίπτωση παύουμε να μιλάμε για ηλιακό κλιματισμό αλλά για ηλιακή θέρμανση) . Σε αυτήν την περιπτώσει ο ηλιακός κλιματισμός βλέπουμε ότι είναι :

- 2,5 φορές ακριβότερος σε σχέση με των συμβατικό κλιματισμό από 11 που ήταν και 1,2 φορές σε σχέση με το σύστημα του γεωθερμικού εναλλακτή από 5 που ήταν .

Επίσης από τα παραπάνω στοιχεία συμπεραίνουμε ότι για θέρμανση το αρχικό κόστος ενός λέβητα πετρελαίου είναι πολύ φτηνότερος από όλα τα συστήματα..

Όσο αφορά τα λειτουργικά κόστη βλέπουμε ότι τα πράγματα αντιστρέφονται και τα συστήματα που μελετάμε έχουν τα μικρότερα λειτουργικά κόστη με το σύστημα του ηλιακού κλιματισμού να είναι το πιο οικονομικό και να ακόλουθη το σύστημα του γεωθερμικού εναλλακτή . Πιο συγκεκριμένα :

- το σύστημα του γεωθερμικού εναλλακτή είναι 14,3% ακριβότερο από το σύστημα του ηλιακού κλιματισμού και 41,7% πιο φτηνό από τον συμβατικό κλιματισμό
- το σύστημα του ηλιακού κλιματισμού είναι 49,8% φτηνότερο από τον συμβατικό κλιματισμό . Εδώ πρέπει να επισημάνουμε ότι το σύστημα του ηλιακού κλιματισμού έχει αυξημένα λειτουργικά κόστη λόγω του ότι συμπεριλαμβάνετε το κόστος λειτουργίας του εφεδρικού



συστήματος (λέβητας βιομάζας pellet ) καθώς και το μεγάλο κόστος συντηρήσεις το οποίο υπολογίζετε στο 1% της αρχικής επενδύσεις. Αν εξαιρέσουμε αυτά τα δυο, το λειτουργικό κόστος αυτού του συστήματος είναι σχεδόν μηδαμινό.

Τα λειτουργικά κόστη αν τα συστήματα λειτουργούν μόνο την θερινή περίοδο διαμορφώνονται ως έξις :

- γεωθερμικός εναλλακτης 55% ακριβότερος σε σχέση με τον ηλιακό κλιματισμό και 47.5% φτηνότερος σε σχέση με τον συμβατικό κλιματισμό
- ο ηλιακός κλιματισμός 67% φτηνότερος από τον συμβατικό κλιματισμό.

Εδώ βλέπουμε ότι και τα δυο συστήματα έχουν σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα .

Ενώ για την χειμερινή περίοδο τα λειτουργικά κόστη διαμορφώνονται ως έξις :

- γεωθερμικός εναλλακτης 20.8% φτηνότερος σε σχέση με τον ηλιακό κλιματισμό, 79% σε σχέση με τον λέβητα πετρελαίου και 28% σε σχέση με τον συμβατικό κλιματισμό
- ο ηλιακός κλιματισμός είναι 9,2% φτηνότερος από τον συμβατικό κλιματισμό και 73% φτηνότερος από τον λέβητα πετρελαίου (υπενθυμίζουμε ότι το σύστημα του ηλιακού κλιματισμού λειτουργεί με 60%καλιψη από τους ηλιακούς συλλέκτες και 40% από την εφεδρική μονάδα ) .



## 6.7 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΚΑΙ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ.

Σε αυτήν την ενότητα εξετάζεται η βιωσιμότητα των δυο συστημάτων στην περίπτωση αντικαταστάσεις :

α) ενός συμβατικού συστήματος κλιματισμού (μικρές μονάδες τύπου split) και θερμάνεις με λέβητα πετρελαίου.

β) ενός συστήματος κεντρικού κλιματισμού (VRV).

### ➤ Σύστημα γεωθερμικού εναλλάκτη (για λειτουργία όλο το χρόνο)

Για το σύστημα του γεωθερμικού εναλλάκτη έχουμε αρχικό κόστος επενδύσεις για λειτουργία όλο τον χρόνο 158.000€ και λειτουργικό κόστος 25.000 €

(1) Το λειτουργικό κόστος ενός συμβατικού συστήματος θερμάνεις με πετρέλαιο και συμβατική ψύξη (μικρές μονάδες τύπου split) το καλοκαίρι υπολογίζετε περίπου 70.000€ τιμή πετρελαίου 1,3€ και ηλεκτρικού ρεύματος 0,13€ )

Σε αυτήν την περίπτωση επιτυγχάνουμε εξοικονόμηση ενεργείας κατά **65%**

$$Payback\ Period = \frac{Αρχικο\ κεφαλαιο}{(Ετησια\ σοδα - Ετησιο\ Κοστος)}$$

Η επένδυση του γεωθερμικού εναλλάκτη έχει πολύ καλό χρόνο αποπληρωμής ο οποίος είναι **3.5 χρόνια**.

(2) Σε συγκρίσει του γεωθερμικού εναλλάκτη με ένα σύστημα κεντρικού κλιματισμού VRV όπου έχει ετήσια λειτουργικά έξοδα περίπου 43.000€



Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας 41% , ο χρόνος αποπληρωμής της επενδύσεις του γεωθερμικού εναλλαχτεί είναι **8.7 χρόνια**

➤ **Σύστημα γεωθερμικού εναλλακτη (για λειτουργία μόνο το καλοκαίρι )**

Σε αυτήν την περίπτωση το αρχικό κόστος παραμένει 158.000€ ενώ τα λειτουργικά είναι 15.500€

(3) Το λειτουργικό κόστος του συμβατικού συστήματος ψύξης είναι 29.000€

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε εξοικονόμηση 45% όποτε ο χρόνος αποπληρωμής είναι **11 χρόνια**

(4) Στη περίπτωση του συστήματος κεντρικού κλιματισμού VRV έχουμε λειτουργικά κόστη 29.500€

Σε αυτήν την περίπτωση η εξοικονόμηση είναι 44% όποτε ο χρόνος αποπληρωμής παραμένει στα **11 χρόνια**

➤ **Σύστημα γεωθερμικού εναλλακτη (για λειτουργία μόνο το χειμώνα )**

Σε αυτήν την περίπτωση το αρχικό κόστος είναι 79.000€ ενώ τα λειτουργικά είναι 9.500€

(5) Το λειτουργικό κόστος του συμβατικού συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου είναι 45.500€ και κόστος 7.000€ στην περίπτωση αυτή έχουμε εξοικονόμηση 80% όποτε ο χρόνος αποπληρωμής είναι **2 χρόνια**



(6) Στη περίπτωση του συστήματος κεντρικού κλιματισμού VRV έχουμε λειτουργικά κόστη 13,223€

Σε αυτήν την περίπτωση η εξοικονόμηση είναι 28% όποτε ο χρόνος είναι πολύ μεγάλος **>15χρόνια** .

Συμφώνα με τα παραπάνω αποτελέσματα για αυτήν την περίπτωση το σύστημα του γεωθερμικού εναλλακτη είναι άκρος ανταγωνιστική αν χρησιμοποιηθεί όλο το χρόνο ή μόνο την χειμερινή περίοδο για αντικατάσταση ενός συμβατικού συστήματος (λέβητας πετρελαίου και κλιματιστικών τύπου split).

Στην περίπτωση αντικατάστασης ενός συστήματα κεντρικού κλιματισμού(VRV) ο χρόνος αποπληρωμής δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικός όποτε θα πρέπει να μελετηθεί άλλος χρηματοδοτικός σχηματισμός (επιχορηγήσεις, Δανία κτλ) ώστε να η επενδύσει να είναι συμφέρουσα.

Η επένδυση γίνεται ακόμα πιο συμφέρουσα αν πρόκειται για αρχική εγκατάσταση και όχι για αντικατάσταση ενός υπάρχοντος συστήματος δηλαδή να συνυπολογιστεί και τα αρχικά κόστη των συστημάτων προς αντικατάσταση.

Επίσης θα πρέπει να επισημάνουμε και τα περιβαλλοντικά οφέλη από μια τέτοια εγκατάστασης καθώς επιταχύνουμε μια σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας η όποια κυμαίνεται από 40%-70%.

➤ **Σύστημα ηλιακού κλιματισμού (για λειτουργία όλο το χρόνο )**

Για το σύστημα του ηλιακού κλιματισμού έχουμε αρχικό κόστος επενδύσεις για λειτουργία όλο τον χρόνο 820.000€ και λειτουργικό κόστος 21.000 €

(1) Το λειτουργικό κόστος ενός συμβατικού συστήματος θερμάνεις με πετρέλαιο και συμβατική ψύξη (μικρές μονάδες τύπου split) το καλοκαίρι υπολογίζετε περίπου 70.000€ τιμή πετρελαίου 1,3€ και ηλεκτρικού ρεύματος 0,13€ )



Σε αυτήν την περίπτωση επιτυγχάνουμε εξοικονόμηση ενέργειας κατά **70%**

Η επένδυση του ηλιακού κλιματισμού έχει πολύ μεγάλο χρόνο αποπληρωμής ο οποίος είναι **16 χρόνια**.

(2) Σε σύγκριση του ηλιακού κλιματισμού με ένα σύστημα κεντρικού κλιματισμού VRV όπου έχει ετήσια λειτουργικά έξοδα περίπου 43.000€

Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας 50% , άλλο ο χρόνος αποπληρωμής της επενδύσεις ξεπέρα τα 20 χρόνια ο οποίος κρίνεται απαγορευτικός .

➤ **Σύστημα ηλιακού κλιματισμού (για λειτουργία μόνο το καλοκαίρι )**

Σε αυτήν την περίπτωση το αρχικό κόστος παραμένει 820.000€ ενώ τα λειτουργικά είναι 10.000€

(7) Το λειτουργικό κόστος του συμβατικού συστήματος ψύξης είναι 29.000€

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε εξοικονόμηση 65% , αλλά ο χρόνος αποπληρωμής παραμένει απαγορευτικός και πολύ πανό από τα 20 χρόνια .

➤ **Σύστημα γεωθερμικού εναλλάκτη (για λειτουργία μόνο το χειμώνα )**





Σε αυτήν την περίπτωση το αρχικό κόστος είναι 100.000€ ενώ τα λειτουργικά είναι 12.000€

- (8) Το λειτουργικό κόστος του συμβατικού συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου είναι 45.500€ στην περίπτωση αυτή έχουμε εξοικονόμηση 73% όποτε ο χρόνος αποπληρωμής είναι **2,9 χρόνια**

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι παρόλο που έχουμε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας το σύστημα του ηλιακού κλιματισμού είναι ασύμφορο λόγω του πολύ μεγάλου αρχικού κόστους της εγκαταστάσεως. Η μονή περίπτωση που μια τέτοια επένδυση κρίνεται συμφέρουσα είναι μόνο για χρήση την χειμερινή περίοδο όπου παραλείπεται το μεγάλο κόστος του πύργου απορροφήσεως αλλά σε αυτήν την περίπτωση παύουμε να μιλάμε για ηλιακό κλιματισμό αλλά για ηλιακή θέρμανση.

Μια επένδυση ηλιακού κλιματισμού μπορεί να κριθεί βιώσιμη μόνο αν πραγματοποιηθεί στα πλαίσια ενός χρηματοδοτικού σχήματος όπου θα συμπεριλαμβάνει ένα μεγάλο ποσοστό από επιχορήγηση και δανδισμού και το ποσοστό καλύψεις με ίδια κεφαλαία να μην ξεπερνά το 20-30%. Αυτό μπορούμε να το δούμε και από τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις ηλιακού κλιματισμού όπου σχεδόν όλες έχουν γίνει στα πλαίσια ερευνητικών προγραμμάτων με επιχορηγήσεις που ξεπερνούν το 50% για την ανάπτυξη τους.

Τύπος συστήματος	Εξοικονόμηση ενέργειας όλο τον χρόνο και χρόνος αποπληρωμής		Εξοικονόμηση ενέργειας για την θερινή περίοδο ο και χρόνος αποπληρωμής		Εξοικονόμηση ενέργειας για την χειμερινή περίοδο ο και χρόνος αποπληρωμής	
	Εξοικονόμηση	Χρόνος	Εξοικονόμηση	Χρόνος	Εξοικονόμηση	Χρόνος
Γεωθερμικός εναλλακτης	65%	3,5 χρόνια	45%	11 χρόνια	80%	2χρονια
Ηλιακός κλιματισμός	70%	16 χρόνια	65%	>20χρονια	73%	3χρονια

( συγκέντρωση αποτελεσμάτων για αντικατάσταση συμβατικού συστήματος )



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παραπάνω ανάλυση των δυο συστημάτων προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα :

### Σύστημα γεωθερμικού ανάλλακτη:

Συμφώνα με όλα τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το σύστημα του γεωθερμικού εναλλάκτη κρίνεται αποδοτικότερη σε σχέση με το σύστημα ηλιακού κλιματισμού καθώς έχει:

- σημαντικά μικρότερο αρχικό κόστος
- απάτη λιγότερο χώρο για την εγκατάσταση του εξοπλισμού
- υπάρχουν περισσότερα διαθέσιμα συστήματα
- υπαρχή μεγαλύτερη εμπειρία και τεχνογνωσία
- καλύτερο χρόνο αποσβήσεις
- δεν επηρεάζετε από τις καιρικές συνθήκες

Το ο σύστημα του γεωθερμικού αναλλακτη μειονεκτεί σε σχέση με το σύστημα του ηλιακού κλιματισμού στα έξιεις :

- μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος
- δύσκολη αντιμετώπιση βλάβης στον γεωεναλακτη λόγω του ότι βρίσκεται μέσα στο έδαφος
- ακριβότερο κόστος εγκαταστάσεις και πιο δύσκολος.

**Το σύστημα του γεωθερμικού εναλλάκτη είναι ανταγωνιστική και σε σχέση με υπάρχοντα συστήματα καθώς παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα όπως :**

- Αξιόπιστη τεχνολογία φιλική προς το περιβάλλον χωρίς εκπομπές αέριων ρύπων
- Άντληση δωρεάν ενέργειας από το υπέδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.



- Μείωση των δαπανών της κατοικίας για θέρμανση και κλιματισμό από 25-75%
- Χαμηλό κόστος συντήρησης εγκατάστασης και εξοπλισμού. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα
- Απουσία θορύβου κατά την λειτουργία της.
- Παρέχουν υψηλής ποιότητας άνεση στους εσωτερικούς χώρους
- Απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε σχέση με το συμβατικό λεβητοστάσιο. Δεν απαιτείται λέβητας, δεξαμενή πετρελαίου, ή καπνοδόχος, ενώ δεν απαιτείται αερόψυκτος ψύκτης για τον κλιματισμό του κτιρίου.
- Μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με μία εγκατάσταση πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Τα μειονεκτήματα σε σχέση με τα υπάρχοντα συστήματα είναι :

- ο αρχικό κόστος ενός γεωθερμικού συστήματος είναι υψηλότερο από αυτό των συμβατικών συστημάτων, αλλά κάνει απόσβεση σε λίγα χρόνια.
- Για τα ανοικτά γεωθερμικά κυκλώματα απαιτείται παροχή καθαρού νερού (π.χ. από γεώτρηση)
- Κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων δημιουργείται λάσπη, η οποία θα πρέπει να ξεραθεί και να απομακρυνθεί από το χώρο.

**Συνοψίζοντας τα συστήματα κλιματισμού με άβαθη γεωθερμία παρουσιάζονται ως άκρως ανταγωνιστικά με πολλά πλεονεκτήματα και με μόνο μειονέκτημα τ το αρχικό κόστος υπενδύσεις το οποίο μειώνετε σημαντικά με την πάροδο του χρόνου καθώς αναπτύσσονται αποδοτικότερα και φτηνότερα μηχανήματα.**



### **Σύστημα ηλιακού κλιματισμού :**

Συμφώνα με τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι ο ηλιακός κλιματισμός μειονεκτεί σημαντικά σε σχέση με το σύστημα του γεωθερμικού εναλλάκτη κυρίως στο πολύ μεγάλο αρχικό κόστος.

Τα πλεονεκτήματα του ηλιακού κλιματισμού σε σχέση με το σύστημα του γεωεναλλάκτη είναι :

- Μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας
- Εύκολη αντιμετώπιση βλάβης
- Η μέγιστη απόδοση του συστήματος συμπίπτει με τη μέγιστη ζήτηση ισχύος. (σε ψύξη)
- Φιλικότερη προς το περιβάλλον
- Αθόρυβη λειτουργία

Τα μειονεκτήματα του ηλιακού κλιματισμού σε σχέση με το σύστημα του γεωεναλλάκτη είναι :

- Πολύ μεγάλο αρχικό κόστος
- Εξαρτάτε από τις καιρικές συνθήκες
- Απάτη μεγαλύτερη χωρό εγκαταστάσεις
- Απαιτεί εφεδρικό σύστημα θερμότητας
- Πολύ μεγάλο χρόνο απόσβεσης
- Λιγότερα διαθέσιμα συστήματα
- Μικρότερη εμπειρία

Ο ηλιακός κλιματισμός δεν είναι ιδιαίτερα ανταγωνιστικός προς το παρόν ωστόσο η τεχνολογία του ηλιακού κλιματισμού θεωρείται καινοτόμα και αναπτύσσεται με ταχείς ρυθμούς το οποίο σημαίνει ότι στο άμεσο μέλλον θα είναι μια πλήρως ανταγωνιστική τεχνολογία και αναμένεται να συμβάλει ουσιαστικά στην κάλυψη των ανάγκων σε κλιματισμό η οποία αυξάνεται συνεχώς ..



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

- Κλιματολογικά δεδομένα

RETScreen

Κράτος - περιφέρεια: Ελλάδα  
Επαρχία / Νομός: n/a  
Θέση κλιματολογικών δεδομένων: ierapetra

Γεωγραφικό πλάτος: °B 35,2  
Γεωγραφικό μήκος: °A 26,1  
Υψόμετρο: m 21  
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού: °C 9,9  
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού: °C 27,9  
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους: °C 4,8

Πηγή: NASA

	Θερμοκρασία αέρα °C	Σχετική υγρασία %	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια kWh/m <sup>2</sup> /ημ	Ατμοσφαιρική πίεση kPa	Ταχύτητα ανέμου m/Δευτερόλεπ	Θερμοκρασία εδάφους °C	Βαθμό-ημέρες θέρμανσης °C-ημ	Βαθμο-ημέρες ψύξης °C-ημ
Ιαν	14,9	62,2%	2,50	101,4	6,0	16,7	97	151
Φεβ	14,0	62,5%	3,41	101,3	6,5	16,1	112	112
Μαρ	14,6	65,2%	4,79	101,2	5,6	16,1	105	143
Απρ	16,6	68,4%	6,28	101,0	5,0	17,0	41	199
Μαι	19,9	69,4%	7,49	101,0	4,5	19,2	0	307
Ιουν	23,7	67,0%	8,44	100,8	4,6	22,2	0	410
Ιουλ	26,0	65,5%	8,42	100,6	5,5	24,3	0	496
Αυγ	26,5	65,4%	7,59	100,6	5,1	25,4	0	513
Σεπτ	24,9	63,7%	6,23	101,0	4,7	24,6	0	446
Οκτ	22,1	63,5%	4,41	101,3	4,7	22,8	0	374
Νοε	18,8	63,8%	2,88	101,4	5,3	20,4	0	265
Δεκ	16,3	62,6%	2,19	101,4	5,8	18,1	54	194
Ετήσιο	19,9	64,9%	5,40	101,1	5,3	20,3	409	3.609
Πηγή	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA

Μετρημένο σε: m 10, 0

Buttons: [OK] [Cancel] [Print] [Help]

- Αποτελεσματα γεωεναλλακτη από το REEScreen



Σύγκριση συστήματος γεωθερμικού εναλλάκτη και ηλιακών συλλεκτών για κλιματισμό ξενοδοχειακής μονάδας.

- Καύσιμο ως έργο
- Βασισμένο
- Ιδιότητες επιφανούς καλύφους
- Συστατικά και εξοπλισμός
- Τιμή ηλεκτρισμού - μηνιαία
- Τιμή ηλεκτρισμού - περίοδος χρήσης
- Ισοδύναμο ΑΤΘ

- Γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας
- Ειδική κατανάλωση θερμότητας
- Εξομοιωμένος κλιματισμός & Τιμή Καυσίμου
- Μέθοδος κατακόρυφης υδροηλεκτρικών
- Αέριο ΝΥΤΑ
- Μετατροπή μονάδων
- Καύσιμο οραζόμενο από τον χρήστη

- Καύσιμο οραζόμενο από χρήση - αέριο
- Καύσιμο οραζόμενο από χρήση - στερεό
- Νερό & αέρας
- Ανάκτηση νερού
- Ιδιότητες παραλλήλου
- Εξομοιωμένη λύση 1
- Εξομοιωμένη λύση 2

**Γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας**

**Αντλία θερμότητας**

Ισχύς  
Μέσο φορτίο  
Κατασκευαστής  
Μοντέλο  
Βαθμύς απόδοσης

Μονάδα	Θέρμανση	Ψύξη
kW	201,0	248,0
kW	11,0	80,9
DymaCiat®		
LG - LGP 900Z		
1 μονάδα(-ες)		
Οραζόμενο από τον		
	3,6	11,0

[βλ. πίνακα δεδομένων προϊόντων](#)

Συντελεστής επίδοσης - σχεδίαση

**Συνθήκες τοποθέτησης**

Τύπος εδάφους  
Θερμοκρασία εδάφους  
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους  
Μετρημένο σε

Μονάδα	Τοποθεσία έργου		κλιματολογικών δεδομένων
	Βαρύ γυμνο - υγρασία		
°C	20,3		20,3
°C	4,8		4,8
m	0,0		0,0

**Γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας**

Τύπος  
Κριτήρια σχεδιασμού  
Επιφάνεια εδάφους  
Σχεδιασμένο  
Μήκος γεώτρησης

Κάθετος κλειστός βρόγχος		
	Ψύξη	
m <sup>2</sup>	2.000	1.926
	Τυποποιημένο	
m	6.630	

Ειδικά κόστη έργου	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους		Ποσό €
			€	€	
Κυκλοφορητής	kW	4,4	€ 850	€	3.710
Κυκλοφορούν ρευστά	m <sup>3</sup>	1,17	€ 2.600	€	3.048
Τρύπημα και ταμμενέινες	m	6.630	€ 15	€	99.447
Βρόγχος σωληνώσεων	m	13.260	€ 3	€	39.779
Εξαρτήματα & βαλβίδες	kW	256,7	€ 12	€	3.081
<b>Σύνολο</b>				€	<b>149.062</b>

- DymaCiat Ig-Igp 900z



### 3 series, 15 models to meet every requirement

DYNACIAT serie LG / LGP								
Nr	Cooling (1) kW		Heating (2) kW		DIMENSIONS (mm)			WEIGHT (kg)
	Pf	Pa	Pc	Pa	Length	Width	Height	
120 V	34,7	7,5	39,9	9,3	798	883	1201	230
150 V	45,6	9,6	52,7	11,9	798	883	1201	300
200 V	61,5	13,0	70,4	16,4	1492	883	1201	385
240 V	69,0	15,2	79,4	18,8	1492	883	1201	390
300 V	91,3	19,2	105,3	23,9	1492	883	1201	590
350 V	105,1	22,3	120,6	27,4	1492	883	1201	620
400 V	119,3	25,4	137,7	31,3	1492	883	1201	665
500 V	147,8	32,0	169,6	39,1	1492	883	1201	735
540 V	159,6	34,4	184,1	42,6	2380	883	1201	930
600 V	182,4	38,4	205,0	48,2	2380	883	1201	1125
753 Z	208,0	55,0	250,0	68,0	2200	880	1681	1045
900 Z	249,0	67,0	301,0	83,0	2200	880	1681	1223
1000 Z	272,0	74,0	330,0	92,0	2200	880	1681	1223
1100 Z	315,2	78,3	374,15	96,5	2200	880	1681	1321
1200 Z	347,0	85,5	413,10	105,0	2200	880	1681	1413

(1) Chilled Water Outlet Temperature 7°C / Cooling Water Outlet Temperature 35°C (2) Water Outlet Temperature 7°C / Heating Water Outlet Temperature 45°C

DYNACIAT serie ILG								
Nr	Cooling (1) kW		Heating (2) kW		DIMENSIONS (mm)			WEIGHT (kg)
	Pf	Pa	Pc	Pa	Length	Width	Height	
120 V	29,2	8,0	38,9	9,1	798	883	1201	226
150 V	38,0	10,2	50,8	11,7	798	883	1201	289
200 V	50,8	13,9	67,9	16,1	1492	883	1201	379
240 V	59,1	15,8	78,6	18,1	1492	883	1201	452
300 V	77,0	20,2	101,5	23,3	1492	883	1201	595

(1) Chilled Water Outlet Temperature 7°C / Cooling Water Outlet Temperature 35°C (2) Water Outlet Temperature 7°C / Heating Water Outlet Temperature 45°C

DYNACIAT serie LGN						
Nr	Cooling (1) kW		DIMENSIONS (mm)			WEIGHT (kg)
	Pf	Pa	Length	Width	Height	
120 Z	27,8	7,4	798	883	1201	205
150 Z	40,6	11,1	798	883	1201	270
200 Z	54,5	14,9	1492	883	1201	350
240 Z	67,2	18,8	1492	883	1201	360
300 Z	81,1	22,3	1492	883	1201	490
350 Z	95,3	26,5	1492	883	1201	510
400 Z	110,4	30,4	1492	883	1201	545
500 Z	133,9	36,9	1492	883	1201	590
540 Z	148,3	41,1	2380	883	1201	800
600 Z	162,2	44,6	2380	883	1201	925
753 Z	204	55,0	2200	880	1681	975
900 Z	245	67,0	2200	880	1681	1135
1000 Z	268	73,0	2200	880	1681	1135
1100 Z	296,0	81,7	2200	880	1681	1161
1200 Z	327,0	90,0	2200	880	1681	1229

(1) Chilled Water Outlet Temperature 7°C / Cooling Water Outlet Temperature 35°C

FEATURES	
Compressors SCROLL	Standard
Stainless steel Soldered Plate	Standard
"NOISELESS" Montage	Standard
SELF-ADAPTING Electronic control	Standard
Law of Water according to outside temperature	Standard
Multilingual LCD	Standard
Wide range of application	Standard
ENERGY STORAGE function	Standard
Anti-frost protection	Standard
Main power cut-off	Standard
Soft start	Optional
Phase switch	Optional
Water flow monitor	Standard
MODBUS/JBUS open communication protocol	Standard
LONWORKS protocols communication	Optional (LG LGP series)
Remote control	Optional
Dry contact relay card	Optional
Flexible coupling sleeves	Optional
Water filter	Optional

- Τα στοιχεία του πύργου απορροφήσεις παρουσιάζονται στο έκτο κεφαλαίο .
- Ένα τμήμα από το υπολογιστικό φύλλο excel



Υπολογισμός Απαιτούμενου Βάθους Γεώτρησης Βάσει του Ψυκτικού Φορτίου		1 foot = 0.3048 meters		διαμέτρος γεωτρησης		
$L_c = \frac{q_a * R_{ga} + (C_{fc} * q_{lc}) * (R_b + PLFm * R_{gm} + R_{gd} * f_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$		Lc =	21270,636 ft	6483,29 m	8 in	0,2032 m
			347,948 ft/RT	101,80 m	15 ft	4,572 m
		1 Ψυκτικός τόνος=3,517KW		αριθμός γεωτρησης		
				Τυολική επιφάνεια		
q <sub>a</sub> =	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΡΟΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ σε btu/hr	-75549,6381	BTU/HR			
R <sub>ga</sub> =	ετήσια ισοδύναμη θερμική αντίσταση	0,450220316		202705,8		
C <sub>fc</sub> =	συντελεστής αναγωγής	1,31				
q <sub>lc</sub> =	ψυκτικό φορτίο σε btu/h	-733795,00	btu/h	733795	61,1316 RT	
R <sub>b</sub> =	θερμική αντίσταση σωληνώσεως σε (h*ft <sup>2</sup> /btu)	0,09	h*ft <sup>2</sup> /btu			
PLFm =	μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου	0,11627907	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΡΟΣ ΦΟΡΤΙΟ			
R <sub>gm</sub> =	μηνιαία ισοδύναμη θερμική αντίσταση	0,186342862				
R <sub>gd</sub> =	ημερήσια ισοδύναμη θερμική αντίσταση	0,250657155				
f <sub>sc</sub> =	συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων	1,02	από πίνακα			
t <sub>g</sub> =	θερμοκρασία του εδάφους σε F	68	F	-34013,9819	-961271,45	
t <sub>wi</sub> =	θερμοκρασία εισόδου υγρού στην γεωθερμική αντλία σε F	68	F			
t <sub>wo</sub> =	θερμοκρασία εξόδου του υγρού από την γεωθερμική αντλία σε F	95	F	0,02166777	0,2556703	
t <sub>p</sub> =	διορθωτικός συντελεστής για την θερμοκρασία λόγω της παρεμβολής παρακεμιών σωληνώσεων σε F	4,7	F	-353111,6	0,3673381	
				-387125,58		
				81,5	-18,2	
					21270,636	
	Θερμικό φορτίο	107277 watt	107 kw			
			365191 btu			
	ψυκτικό φορτίο	215441 watt	215 kw	1 BTU/hr	0,293071 w	
			733795 btu	733610,6268	63000	
				11,6446131		
11,6475	αντλία θερμότητας	DynaClat® LG - LGP 900Z				
cop	4,7	heat	301,0 kw			
EER	11,5	cool	249,0 kw			
		power input	63 kw			

**Όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν παρέχονται σε ψηφιακή μορφή .**





## Βιβλιογραφία

### Βιβλία

- Steve Kavanaugh, Kevin Rafferty, Design of Geothermal Systems For Commercial and Institutional Buildings ASHRAE, Atlanta 1997
- Νικόλαος Ψαράς “ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ, θεωρία και πρακτικοί κανόνες”
- Βιβλιοθήκη ΤΕΕ Ηλιακός Κλιματισμός : Βασικές αρχές, Παραδείγματα Εφαρμογών και Προτάσεις
- ASHRAE HVAC Fundamentals Handbook

### Διαδίκτυο

#### Γεωθερμία

- Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής : <http://www.ypeka.gr/>
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας: <http://www.rae.gr/>
- Ελληνικό Portal για την Ενέργεια και το Περιβάλλον: [http://www.energia.gr/bizdir.asp?cat\\_id=34](http://www.energia.gr/bizdir.asp?cat_id=34)
- RETSCREEN : <http://www.retscreen.net/el/>
- [web.tee.gr/](http://web.tee.gr/)
- <http://www.michanikos.gr/>
- <http://www.geoexchange.gr/faq.php>



- <http://www.buderus.gr/products/heat-pumps/geothermal-heat-pumps.html>
- [www.ciat.com/rubrique/.../heat-pumps](http://www.ciat.com/rubrique/.../heat-pumps),
- [www.wilo.gr](http://www.wilo.gr)
- [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
- [www.carriergeothermal.com](http://www.carriergeothermal.com)
- <https://www.geoexchange.or>
- [www.energysavingtrust.org](http://www.energysavingtrust.org)
- [www.buderus.gr/](http://www.buderus.gr/)
- [www.energyhomes.gr](http://www.energyhomes.gr)
- [www.tmltd.gr/geotherm/geotherm.htm](http://www.tmltd.gr/geotherm/geotherm.htm)
- [www.ahi-carrier.gr/media/79674/61wg.pdf](http://www.ahi-carrier.gr/media/79674/61wg.pdf)
- [www.georythmiki.g](http://www.georythmiki.g)
- [www.boudouri.gr](http://www.boudouri.gr)
- [www.ashrae.gr](http://www.ashrae.gr)
- [www.energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/geoenallaktes](http://www.energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/geoenallaktes)
- [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)



- [www.greenconstructions.gr/projects.html](http://www.greenconstructions.gr/projects.html)
- [www.gaiadrill.gr/el/CNT/shallow\\_geothermal\\_energy.asp](http://www.gaiadrill.gr/el/CNT/shallow_geothermal_energy.asp)
- [http://www.rehau.com/GR\\_el/](http://www.rehau.com/GR_el/)
- [http://www.groundmed.eu/hp\\_best\\_practice\\_database/database/629/](http://www.groundmed.eu/hp_best_practice_database/database/629/)
- [www.poseidonenergy.gr/products.htm](http://www.poseidonenergy.gr/products.htm)
- [www.tm.teiher.gr](http://www.tm.teiher.gr)

#### ΗΛΙΑΚΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

- [http://www.centioncorp.com/productdata\\_1L.pdf](http://www.centioncorp.com/productdata_1L.pdf)
- <http://www.ebhe.gr/>
- [http://www.ebhe.gr/library/8\\_4\\_10/3%20heliakos\\_klimatismos%20kleistos\\_kyklos.pdf](http://www.ebhe.gr/library/8_4_10/3%20heliakos_klimatismos%20kleistos_kyklos.pdf)
- [http://www.mgavrieltatos.gr/Sicc\\_files/216P%20-%20116PE%20%28GR%29.pdf](http://www.mgavrieltatos.gr/Sicc_files/216P%20-%20116PE%20%28GR%29.pdf)
- [web.tee.gr/](http://web.tee.gr/)
- <http://www.engineeringtoolbox.com/>
- [www.ecoref.gr/full\\_product.php?prod\\_id=ctMITA](http://www.ecoref.gr/full_product.php?prod_id=ctMITA)
- [www.estianet.gr/.../pellets-βιομαζα-](http://www.estianet.gr/.../pellets-βιομαζα-)
- [www.ravenna.gr/product/1085/λέβητας-pelle](http://www.ravenna.gr/product/1085/λέβητας-pelle)
- [www.eurostar-solar.com/solar-collectors-gr.html](http://www.eurostar-solar.com/solar-collectors-gr.html)
- [www.maltezos.gr/collectors.html](http://www.maltezos.gr/collectors.html)
- [www.ktizontastomellon.gr/](http://www.ktizontastomellon.gr/)
- [www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/.../chap03\\_aporrofisi](http://www.eng.auth.gr/~chemtech/foititika/fd/.../chap03_aporrofisi)



**Προσωπική Επικοινωνία:**

**Ζηδιανακης Γιωργος**  
**ΕΨΕΜ Α.Ε**