



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΧΩΡΩΝ
ΜΕΣΩ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

ΣΕΛΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΑΜ: 7009

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γεωθερμία είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που βασίζεται στην εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας από το εσωτερικό της Γης. Από τη Γη με τη χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας και Γεωθερμικούς εναλλάκτες, γίνεται η μεταφορά Θερμότητας από και προς το έδαφος. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή Θέρμανσης – Ζεστό νερό χρήσης και Δροσισμό.

Σε ολόκληρη την επιφάνεια κάτω από το δάπεδο τοποθετούνται (εγκιβωτίζονται) ειδικοί σωλήνες στους οποίους διοχετεύεται το ζεστό νερό. Έτσι ο χώρος θερμαίνεται ομοιόμορφα σε σταθερή θερμοκρασία χωρίς να δημιουργούνται ρεύματα αέρα όπως γίνεται σε άλλους τρόπους θέρμανσης (καλοριφέρ, fan coils, κ.λ.π.) και η κατανομή της θερμοκρασίας στον χώρο είναι η καλύτερη δυνατή. Το αποτέλεσμα είναι να απολαμβάνουμε ιδανικές συνθήκες άνεσης όλο το χρόνο και ποιότητα διαβίωσης.

Η γεωθερμία και η εφαρμογή της σε μονοκατοικία είναι και το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται η κατάσταση σχετικά με τη χρήση της γεωθερμίας στην Ελλάδα και συγκρίνεται με άλλες ΑΠΕ. Επίσης παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες εφαρμογές της γεωθερμίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η μέθοδος της αβαθούς γεωθερμίας και παρουσιάζονται τύποι ενεργειακών συστημάτων αξιοποίησης αβαθούς γεωθερμίας. Ακολουθεί το τρίτο κεφάλαιο όπου αναλύεται η δομή και η αρχή λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας κι στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι κατακόρυφοι και οι οριζόντιοι γεωεναλλάκτες. Τέλος στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη εγκατάστασης κλιματισμού χώρων με γεωθερμία

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	II
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	V
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικά για τη γεωθερμία.....	1
1.2 Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων	3
1.3 Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος.....	4
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	6
2.1 Σύγκριση με άλλες ΑΠΕ	7
2.2 Χρήσεις και εφαρμογές Γεωθερμικής Ενέργειας.....	7
2.2.1 Ηλεκτροπαραγωγή.....	7
2.2.2 Γεωργία	8
2.2.3 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού.....	9
2.2.4 Γεωθερμική Τηλεθέρμανση – Γεωθερμικός Τηλεκλιματισμός.....	9
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	13
3.1 Εισαγωγή	13
3.2 Στοιχεία Γεωλογίας.....	15
3.2.1 Γενικά.....	15
3.2.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί.....	16
3.2.3 Εκτίμηση της αποδοτικότητας του υπεδάφους	16
3.3 Τύποι ενεργειακών συστημάτων αξιοποίησης κανονικής γεωθερμίας	18
3.4 Οριζόντια γεωθερμικά συστήματα	23

3.4.1	Συστήματα κλειστού κυκλώματος.....	25
3.4.2	Συστήματα ανοιχτού κυκλώματος	27
3.5	Κριτήρια επιλογής γεωθερμικού συστήματος	28
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	29
4.1	Αρχή λειτουργίας.....	29
4.2	Βασικά Τμήματα ΑΘ.....	30
4.3	Λειτουργία αντλίας θερμότητας στις δυο περιπτώσεις: θέρμανσης και ψύξης	32
4.4	Κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας	34
4.5	Πιστοποίηση και Ενεργειακή σήμανση αντλιών θερμότητας	36
4.6	Εφαρμογές Αντλιών Θερμότητας	37
4.6.1	Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου	37
4.6.2	Αντλία θερμότητας συζευγμένη με κεντρική θέρμανση	38
4.7	Γεωθερμικές Αντλίες θερμότητας.....	39
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.....	44
5.1	Είδη κατακόρυφων γεωεναλλακτών	44
5.1.1	Γεωεναλλάκτης τύπου U σωλήνα	45
5.1.2	Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης.....	46
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 -ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΧΩΡΩΝ ΜΕΣΩ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΕ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑ ΕΜΒΑΔΟΥ 133 τ.μ.....	49
6.1	Σύστημα ανοιχτού κυκλώματος – περιγραφή	49
6.2	Υποβρύχια αντλία γεώτρησης	50
6.3	Σχεδιασμός συστήματος με κατακόρυφο γεωεναλλακτη	51
6.4	Αντλία θερμότητας.....	51
6.5	Υπολογισμός δοχείου διαστολής	54

7	ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	56
---	------------------------------	----

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 3-1	Διάταξη εκτίμησης της αποδοτικότητας του εδάφους.....	17
Εικόνα 3-2	Μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας στην επιφάνεια του υπεδάφους σε οριζόντιο γεωθερμικό σύστημα.	24
Εικόνα 3-3	Κλειστό Κύκλωμα Οριζόντιου Τύπου: Συνεχής κυκλοφορία νερού και ψυκτικού υγρού μέσω κλειστού κυκλώματος πλαστικών σωληνών που βρίσκονται οριζόντια εγκατεστημένοι σε βάθος 1,5 m περίπου κάτω από την επιφάνεια της γης.	26
Εικόνα 3-4	Κλειστό Κύκλωμα Κάθετου Τύπου: Γίνεται συνεχής κυκλοφορία νερού και ψυκτικού υγρού μέσω κλειστού κυκλώματος πλαστικών σωληνών που βρίσκονται κάθετα εγκατεστημένοι σε γεωτρήσεις μικρού βάθους.	27
Εικόνα 3-5	Ανοικτό Κύκλωμα :Αντλούμε νερό από τον υδροφόρο ορίζοντα το οποίο κυκλοφορεί μέσω της Αντλίας Θερμότητας, χαρίζοντάς μας θέρμανση ή ψύξη και το επιστρέφουμε στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω της δεύτερης γεώτρησης.	28

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1	Διάγραμμα Lindal.....	3
Σχήμα 3-1	Τυπική διάταξη ΓΑΘ ανοικτού κυκλώματος	22
Σχήμα 3-2	Τυπική διάταξη ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος (οριζόντιο σύστημα).	22
Σχήμα 3-3	Τυπική διάταξη ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος (σύστημα με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες).	22
Σχήμα 4-1	Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για ψύξη.	31
Σχήμα 4-2	Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για θέρμανση.	31

Σχήμα 4-3	Σχεδιάγραμμα της αρχής λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος μιας αντιστρεπτής αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα.. α) Ψυκτικός κύκλος β) Κύκλος θέρμανσης.....	32
Σχήμα 4-4	Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου.	38
Σχήμα 4-5	Αντλία θερμότητας δίπλα σε κεντρική θέρμανση.	39
Σχήμα 4-6	Άποψη μηχανοστασίου συστήματος ΓΑΘ σε οικία.	41
Σχήμα 5-1	Τύποι κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών με βάση τη διάταξη των αγωγών	45
Σχήμα 6-1	Το τοπογραφικό σχέδιο με αποτυπωμένες τις δυο γεωτρήσεις	49
Σχήμα 6-2	Η λειτουργία του συστήματος αναλυτικά.....	50
Σχήμα 6-3	οι διαστάσεις της αντλίας θερμότητας	54
Σχήμα 6-4	Ένα σκαρίφημα της εγκατάστασης.....	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά για τη γεωθερμία

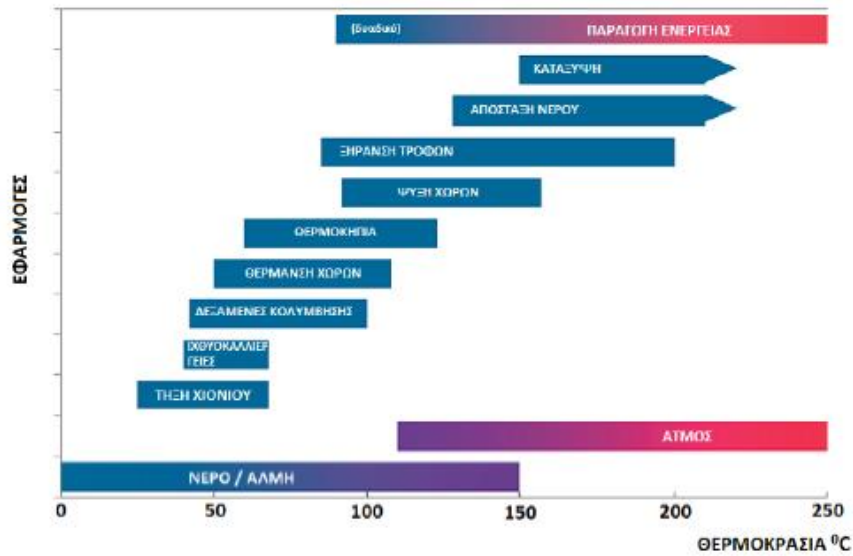
Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Αποτελεί μια ήπια και σχετικά ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες. Η ενέργεια αυτή φθάνει στην επιφάνεια της γης και στη συνέχεια ακτινοβολείται στο διάστημα ενώ παράλληλα αποθηκεύεται και σε υπόγειους ή επιφανειακούς σχηματισμούς με τη μορφή θερμών ατμών, υπόγειων θερμών νερών καθώς και προηγμένων (ή τεχνητών) γεωθερμικών συστημάτων (enhanced geothermal systems). Η γεωθερμική ενέργεια, ανάλογα με τη θερμοκρασία με την οποία μεταφέρεται στην επιφάνεια, χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού (θερμοκρασία $> 80^{\circ}$), για θέρμανση κτηρίων, για θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών, για ιχθυοκαλλιέργειες, για θερμά λουτρά, κ.ά. Στην Ελλάδα, γεωθερμία κατάλληλη για θέρμανση και αγροτικές εφαρμογές απαντάται σε μικρά βάθη σε πολλές περιοχές στις πεδιάδες της Μακεδονίας και της Θράκης, αλλά και στη γειτονιά κάθε μιας από τις 750 θερμές πηγές της χώρας, εκ των οποίων περίπου 60 είναι τα θερμαλιστικά κέντρα.

Στις ενδεικτικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας περιλαμβάνονται:

- 180°C , εξάτμιση συμπυκνωμένων διαλυμάτων, ψύξη με απορρόφηση (βαθιά κατάψυξη), κατεργασία χαρτομάζας,
- 170°C : παραγωγή βαρέως ύδατος, ξήρανση διατομών,
- 160°C : ξήρανση ψαριών, ξυλείας, παραγωγή ηλεκτρισμού με ατμοστρόβιλο,
- 150°C , παραγωγή αλουμίνας με τη μέθοδο Bayer,
- 140°C : ξήρανση αγροτικών προϊόντων, κονσερβοποίηση,

- 130 °C: εξάτμιση στην παραγωγή ζάχαρης, ανάκτηση αλάτων με εξάτμιση και κρυστάλλωση,
- 120 °C: παραγωγή γλυκού νερού με απόσταξη,
- 110 °C: ξήρανση τσιμεντόλιθων,
- 100°C: ξήρανση οργανικών ουσιών, φυκιών, οσπρίων, πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού, παραγωγή ηλεκτρισμού με οργανικά μέσα,
- 90 °C: ξήρανση ψαριών,
- 80°C: θέρμανση οικισμών, θέρμανση θερμοκηπίων, παραγωγή ηλεκτρισμού με οργανικά μέσα κάτω όριο,
- 70 °C: ψύξη (κατώτερο όριο) για κλιματισμό,
- 60 °C: εκτροφή διαφόρων ζώων,
- 50 °C: καλλιέργεια μανιταριών,
- 40 °C: θέρμανση εδάφους, θέρμανση οικισμών, ιαματικά λουτρά,
- 30 °C: πισίνες, ζύμωση, θέρμανση θερμοκηπίων με ακτινωτό δίκτυο αγωγών,
- 20 °C: ιχθυοκαλλιέργειες,
- $T < 20$ °C: εγκαταστάσεις αξιοποίησης κανονικού γεωθερμικού πεδίου.

Στο Σχήμα 1-1 παρουσιάζεται το διάγραμμα Lindal στο οποίο απεικονίζονται διαγραμματικά οι δυνητικές εφαρμογές για διάφορες θερμοκρασίες γεωθερμικών ρευστών.



Σχήμα 1-1 Διάγραμμα Lindal

Οι σημαντικότεροι λόγοι για να χρησιμοποιήσουμε τα Γεωθερμικά Συστήματα Θέρμανσης - Ψύξης είναι οι εξής:

- Κατάργηση χρήσης πετρελαίου ή αερίου
- 80% χαμηλότερο ετήσιο κόστος λειτουργίας σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης
- Μηδαμινό κόστος συντήρησης
- Αρμονία με το περιβάλλον (χωρίς ρύπους, σκόνες, μυρωδιές και καπνό)
- Αθόρυβη και ασφαλή λειτουργία
- Υπεραξία του ακινήτου εξαιτίας της ιδιόκτητης Πηγής Ενέργειας

1.2 Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων

Ανάλογα με τη θερμοκρασία του υπεδάφους ή του ρευστού, διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων:

- Υψηλής Ενθαλπίας. Όταν η θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών ξεπερνά τους 150°C. Τα ρευστά αυτά αποτελούνται στις

περισσότερες περιπτώσεις από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού.

- Μέσης Ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ 90 - 150°C.
- Χαμηλής Ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ 25 - 90°C.
- Πολύ Χαμηλής Ενθαλπίας (Κανονική, Ομαλή ή Αβαθής) με θερμοκρασίες αντίστοιχες των μέσων ετησίων του αέρα περιβάλλοντος (μικρότερες των 25°C).
- Πάρα Πολύ Χαμηλής Ενθαλπίας με θερμοκρασίες μικρότερες των 0°C (Αρνητική ή Permafrost).

1.3 Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος

Ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας, ανεξάρτητα από το είδος της εφαρμογής, αποτελείται συνήθως από τέσσερα τυπικά υποσυστήματα:

1. Το σύστημα παραγωγής, που περιλαμβάνει την παραγωγική γεώτρηση, την αντλία παραγωγής και τις συσκευές στην κεφαλή της γεώτρησης. Το πλέον συνηθισμένο σχήμα αξιοποίησης είναι το σύστημα των διπλών γεωτρήσεων («δίπολο»), στο οποίο το σύνολο του γεωθερμικού ρευστού επανεισάγεται στον ταμιευτήρα.
2. Το σύστημα μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών από την κεφαλή της γεώτρησης μέχρι το σύστημα εφαρμογής, μαζί με το σύστημα διανομής της γεωθερμικής ενέργειας. Για εφαρμογές με θερμοκρασία νερού μικρότερη από 70°C κυριαρχούν οι πλαστικοί σωλήνες.
3. Το σύστημα εφαρμογής (σύστημα εναλλαγής της θερμότητας). Οι εναλλάκτες πλακών είναι οι κατ' εξοχήν εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης όταν η χημεία των νερών δεν επιτρέπει την απ' ευθείας εφαρμογή. Η θέρμανση των χώρων στα κτήρια επιτελείται με τη διέλευση του θερμού νερού μέσω των μετατροπέων θερμότητας αέρα-υγρού

(converters), κάτι που γίνεται και με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης.

4. Το σύστημα διάθεσης των ρευστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Οι γεωλογικές συνθήκες στην Ελλάδα ευνόησαν τη δημιουργία ενός πολύ σημαντικού γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας. Η έρευνα για τον εντοπισμό αξιοποιήσιμων γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας άρχισε από το ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) το 1980 και εντατικοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Από αυτήν την έρευνα προκύπτει ότι το γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα είναι σίγουρα πολύ σημαντικό. Τα περισσότερα από τα γεωθερμικά πεδία που ερευνήθηκαν βρίσκονται σε περιοχές με ευνοϊκές αναπτυξιακές γεωλογικές συνθήκες για τη δημιουργία τους, ενώ οι προοπτικές άμεσης εκμετάλλευσης των ρευστών είναι πολύ ευοίωνες. Τα γεωθερμικά ρευστά έχουν συνήθως μικρή περιεκτικότητα σε διαβρωτικά άλατα και αέρια και δεν δημιουργούν σοβαρά τεχνικά προβλήματα εκμετάλλευσης ούτε βέβαια περιβαλλοντικά προβλήματα. Η διαβρωτική δράση των γεωθερμικών ρευστών σχετίζεται με το pH και το καθεστώς που διαμορφώνεται κατά την υπεδάφια κίνηση του ρευστού. Εάν δεν διαβρώνει το γεωθερμικό ρευστό, τότε αποθέτει.

Σε κάποιες περιοχές η έρευνα προχώρησε αρκετά, έτσι ώστε σήμερα να έχουν αναπτυχθεί αξιόλογες εφαρμογές. Γεωθερμικά θερμοκήπια συνολικής έκτασης 240 περίπου στρεμμάτων λειτουργούν σήμερα στη Νέα Απολλωνία Θεσσαλονίκης, στο Σιδηρόκαστρο και στη Νιγρίτα Σερρών, στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης (80 στρέμματα), στον Πολυχνίτο Λέσβου και στη Μήλο. Αξιόλογες και πρωτοποριακές εφαρμογές αποτελούν η ξήρανση αγροτικών προϊόντων (κυρίως τομάτας) και η θέρμανση εδάφους για τη δημιουργία πρώιμων σπαραγγιών στο Νέο Εράσμιο, την παραγωγή σπιρουλίνας στη Νιγρίτα και τις ιχθυοκαλλιέργειες στο Νέο Εράσμιο και στο Πόρτο Λάγος.

2.1 Σύγκριση με άλλες ΑΠΕ

Η γεωθερμική ενέργεια, όπως και η Γη, έχει συνεχή και αδιάλειπτη παρουσία και δεν υπόκειται στην περιοδική συνθήκη που επηρεάζει άλλες ΑΠΕ. Ως παράδειγμα παραμένει η συνεχής ροή θερμών υδάτων στην περιοχή των Θερμοπυλών με μέση θερμοκρασία περί τους 40°C από περίπου 400 πηγές, γνωστή και ονομαστή από την αρχαιότητα. Υπολογίζεται ότι μέσω της εκροής των ρευστών απορρίφθηκαν στη θάλασσα εκατομμύρια θερμικές GWh από την εποχή της αρχαίας Ελλάδας υπό συνεχή ρυθμό. Αντιθέτως, η υδραυλική ενέργεια των ποταμών, με την ηλιακή της προέλευση, παρουσιάζει περιοδική διακύμανση σε επίπεδο έτους, η ηλιακή ενέργεια επίσης περιοδική διακύμανση σε επίπεδο ημέρας, ενώ η αιολική ενέργεια εξαρτάται επίσης από τη συμπεριφορά του ήλιου και παρουσιάζει εποχική διακύμανση.

Συγκρινόμενη με άλλες εφαρμογές εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η ηλεκτροπαραγωγή μέσω γεωθερμικών ρευστών παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερο ετήσιο συντελεστή λειτουργίας της τάξης 0,92~0,98 (92~98%) αντίθετα με τα αιολικά που έχουν συντελεστή 0,25 ~ 0,30 (25%~30%) και τα υδροηλεκτρικά με συντελεστή 0,40 ~ 0,55 (40%~55%).

Σε ετήσια απόδοση λοιπόν, ένα σύστημα «γεωθερμικής» ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 1,0 MW αντιστοιχεί με αιολικά της τάξης των 3,5 – 4,0 MW.

2.2 Χρήσεις και εφαρμογές Γεωθερμικής Ενέργειας

2.2.1 Ηλεκτροπαραγωγή

Η ηλεκτροπαραγωγή αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας. Ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί είτε με ατμοστρόβιλους υγρού ατμού, είτε από μηχανές ηλεκτροπαραγωγής δυαδικού κύκλου (Rankine) οργανικής ουσίας ή αμμωνίας, που θερμαίνονται με γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας τουλάχιστον 80°C.

Στην Ελλάδα, γεωθερμία κατάλληλη για ηλεκτροπαραγωγή βρίσκεται σε προσιτά βάθη στα νησιά του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου (Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος), αλλά και στη Λέσβο, στη Χίο, στη Σαμοθράκη, στο Αρίστηνο Αλεξανδρούπολης και αλλού. Τα νησιά Μήλος, Σαντορίνη και Νίσυρος αντιστοιχούν σε περιοχές γεωλογικά πρόσφατης ηφαιστειακής δράσης και περιλαμβάνουν γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες 150-350°C με συνολικό γεωθερμικό δυναμικό τουλάχιστον 250 MW(e), το οποίο όμως μέχρι σήμερα παραμένει ανεκμετάλλευτο. Στις υπόλοιπες περιοχές απαντώνται γεωθερμικά πεδία χαμηλής-μέσης ενθαλπίας με θερμοκρασίες 90-120 °C και δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής της τάξεως τουλάχιστον των 120 MW(e).

2.2.2 Γεωργία

Τα γεωθερμικά ρευστά εντοπίζονται κύρια σε γεωργικές περιοχές με αποτέλεσμα το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη εφαρμογών, όπως η θέρμανση θερμοκηπίων, η πρωίμηση υπαίθριων καλλιεργειών, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων αλλά και η θέρμανση ιχθυοδεξαμενών. Η ανάπτυξη της γεωθερμικής θέρμανσης θερμοκηπίων ευνοήθηκε από:

- την ανάγκη ανεξαρτητοποίησης της παραγωγής κηπευτικών και ανθοκομικών προϊόντων από τους κλιματολογικούς παράγοντες και
- το πολύ χαμηλό κόστος θέρμανσης από τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας

Σε τέτοιου είδους συστήματα το γεωθερμικό ρευστό μπορεί να μεταφερθεί από τις γεωτρήσεις με μονωμένες σωλήνες, είτε άμεσα μέσα στο θερμοκήπιο σε πλαστικούς σωλήνες, είτε έμμεσα μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας.

Συνήθως, η ενέργεια του υγρού μπορεί να καλύψει όλες τις ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου με χαμηλό κόστος που είναι πολύ χρήσιμο για την επένδυση του ιδιοκτήτη. Ως εκ τούτου, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να υποκαταστήσει το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο ως καύσιμο για τη θέρμανση θερμοκηπίων. Μερικές φορές, η κανονική γεωθερμική

ενέργεια μπορεί να συνδυαστεί με αντλίες θερμότητας για θέρμανση θερμοκηπίων. Στην περίπτωση αυτή η αντλία θερμότητας αυξάνει τη θερμοκρασία του υγρού σε 50-65 °C, έτσι ώστε η απόκριση του συστήματος να είναι πιο γρήγορη.

2.2.3 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Η αφαλάτωση του θαλασσινού νερού γίνεται με χρήση της θερμικής ενέργειας των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας που υπάρχουν σε μικρά και επομένως οικονομικά βάθη. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία με γνωστές και δόκιμες τεχνολογίες θερμικών μεθόδων αφαλάτωσης. Η αφαλάτωση αυτή γίνεται με θερμική απόσταξη πολλαπλών βαθμίδων (δράσεων) σε εξατμιστήρες, είτε καθέτων αυλών (MEO-VT), είτε οριζοντίων αυλών (MEO-HT), είτε υβριδικών συστημάτων (MSFMEO), είτε άλλων μεθόδων. Σε όλες τις θερμικές αυτές μεθόδους η εξάτμιση γίνεται μέσα σε κατακόρυφους ή οριζόντιους εξατμιστήρες.

2.2.4 Γεωθερμική Τηλεθέρμανση – Γεωθερμικός Τηλεκλιματισμός

Εγκατάσταση τηλεθέρμανσης χαρακτηρίζεται η εγκατάσταση που σκοπό έχει να τροφοδοτήσει με θερμότητα σύνολο καταναλωτών, μέσω ενός δικτύου μεταφοράς και διανομής, από μια ή περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής θερμότητας. Εφαρμόζεται σε σύνολα κτηρίων, νοσοκομειακές εγκαταστάσεις, στρατόπεδα, βιομηχανικές εγκαταστάσεις κτλ. Διαφέρει από την κλασσική μέθοδο παραγωγής και κατανάλωσης θερμότητας, σύμφωνα με την οποία η εγκατάσταση παραγωγής βρίσκεται στον τόπο κατανάλωσης, όπως λ.χ. οι οικιακοί λέβητες, για αυτό και ονομάστηκε τηλεθέρμανση.

Τα θερμικά φορτία μπορεί να προορίζονται για:

- θέρμανση χώρων και παρασκευή θερμού νερού χρήσης οπότε η εγκατάσταση αποτελεί τηλεθέρμανση πόλεων και οικισμών,
- βιομηχανική χρήση και αναφέρεται σε βιομηχανικά φορτία,

- γεωργική χρήση και αναφέρεται σε γεωργικά φορτία.

Η παραπάνω διάκριση είναι σκόπιμη εξαιτίας της διαφορετικής ποιότητας των θερμικών φορτίων και ανεξάρτητα από την ισχύ τους. Τα θερμικά φορτία για θέρμανση χώρων απαιτούν θερμοκρασίες περί τους 80°C στις περιόδους αιχμής. Τα γεωργικά φορτία (θερμοκήπια – ξηραντήρια σε περιοχή θερμοκρασιών κάτω των 50 °C) είναι υποβαθμισμένα. Τα βιομηχανικά φορτία καλύπτουν μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών.

Μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν την κατασκευή μίας τέτοιας εγκατάστασης είναι:

- Η οικονομικότητα της εγκατάστασης.
- Η γεωγραφική θέση της πηγής παραγωγής θερμότητας. Εάν είναι δυνατόν η πηγή παραγωγής θερμότητας πρέπει να βρίσκεται σε κεντρικό σημείο, κάτι που δεν είναι πάντοτε εφικτό.
- Η εκλογή του δικτύου των σωληνώσεων (με ή χωρίς κανάλια).
- Η εξασφάλιση του νερού.
- Η διαμόρφωση της τιμολόγησης.
- Η επιβολή ή όχι υποχρεωτικής σύνδεσης.
- Η παραγωγή της θερμικής ενέργειας μπορεί να είναι αυτόνομη ή συνδυασμένη με παράλληλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (συμπαράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας - θερμότητας σε σταθμούς συνδυασμένου κύκλου - Σ.Η.Θ.).

Η τηλεθέρμανση αποτελείται από τα παρακάτω μέρη :

- Πηγή παραγωγής θερμότητας, το οποίο περιλαμβάνει εγκαταστάσεις γεωθερμικού ρευστού, αντλίες, όργανα μέτρησης κ.ά.
- Δίκτυο σωληνώσεων, για τη μεταφορά της θερμότητας σε μορφή θερμού νερού.
- Υποσταθμούς παράδοσης, όπου η θερμότητα μεταβιβάζεται από το κεντρικό δίκτυο στα επιμέρους κτήρια.

- Σωληνώσεις κτηρίων, όπου η θερμότητα μεταβιβάζεται από τους υποσταθμούς των κτηρίων στα θερμαντικά σώματα και στους λοιπούς καταναλωτές.

Για την εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου, γίνεται γεώτρηση παραγωγής και γεώτρηση επανεισαγωγής των αντλούμενων από το υπέδαφος ρευστών. Το δίκτυο διανομής κατασκευάζεται συνήθως με προμονωμένους αγωγούς οι οποίοι εγκαθίστανται απ' ευθείας στο έδαφος. Οι αγωγοί αυτοί αποτελούν σήμερα την πλέον εξελιγμένη τεχνολογία στον τομέα των τηλεθερμάνσεων, εξαιτίας της σχετικά απλής, γρήγορης και οικονομικής εγκατάστασής τους. Κατά τη σχεδίαση του δικτύου διανομής, οι αγωγοί της τηλεθέρμανσης που οδεύουν στους δρόμους της περιοχής χωροθετούνται κατά βάθος και κατά πλάτος, λαμβάνοντας υπόψη πολλούς διαφορετικούς παράγοντες, που είναι:

- Η αναγκαιότητα τήρησης του κατάλληλου βάθους. Το βάθος αυξάνει το φορτίο, ενώ εάν είναι κοντά στην επιφάνεια, αναπτύσσονται έντονες διατμητικές τάσεις με αποτέλεσμα την αστοχία του αγωγού. Η μείωση της φόρτισης είναι θέμα γεωμηχανικού σχεδιασμού.
- Η τήρηση ελάχιστων αποστάσεων ασφαλείας των αγωγών από τα υπόλοιπα υπόγεια δίκτυα υποδομής (ύδρευση, αποχέτευση, Ο.Τ.Ε., Δ.Ε.Η.) κατά την παράλληλη όδευση, όπως και σε διασταυρώσεις με τα δίκτυα αυτά.

Κατά το σχεδιασμό του δικτύου διανομής, για την ορθή λειτουργία, πέρα από τη χωροθέτηση των αγωγών, προβλέπονται σε κατάλληλες θέσεις όλα τα εξαρτήματα του δικτύου, όπως βαλβίδες ανακυκλοφορίας (by pass), βαλβίδες εξαερισμού, εκκενωτικά και απομονωτικά επιστόμια, κ.ά. Σε όλες τις θέσεις που προβλέπονται τα παραπάνω εξαρτήματα, κατασκευάζονται και φρεάτια για το χειρισμό και την επιθεώρηση.

Υπάρχουν κάποιες μέθοδοι που ακολουθούνται για την εγκατάσταση του υποσταθμού.

Αυτές οι μέθοδοι είναι δύο:

1. Τοποθέτηση εναλλάκτη χωρίς να προϋπάρχει λέβητας κεντρικής θέρμανσης ή κεντρικό μηχανοστάσιο κλιματισμού, αλλά υπάρχει η εγκατάσταση (νέα κτήρια).
2. Τοποθέτηση εναλλάκτη με σύνδεση μέσω by-pass στον ήδη υπάρχοντα λέβητα κεντρικής θέρμανσης.

Στην πρώτη περίπτωση, στο χώρο που προβλεπόταν για την τοποθέτηση του λέβητα, τοποθετείται ο υποσταθμός του καταναλωτή. Στη δεύτερη περίπτωση, συνυπάρχουν ο λέβητας και η τηλεθέρμανση με τη δυνατότητα να λειτουργεί ο λέβητας όταν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο δίκτυο της τηλεθέρμανσης. Δηλαδή ο λέβητας αποτελεί μια εναλλακτική, βοηθητική, κυρίως λύση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Κανονική ή Αβαθής Γεωθερμική Ενέργεια, ορίζεται ως η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό. Στο άρθρο 2 (γ) της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2009/28/EK η αβαθής γεωθερμική ενέργεια αναφέρεται κανονικά σε ένα βάθος μέχρι 400 m (και στις περισσότερες πραγματικές περιπτώσεις σε βάθη που δεν ξεπερνούν τα 100 m). Εναλλακτικά, χαρακτηρίζεται ως η θερμότητα που παρουσιάζεται κάτω από κάθε υπέδαφος, η θερμότητα των λιμνών, ποταμών και θαλασσών, το ύψος της θερμοκρασίας των οποίων είναι μικρότερο από τη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα της περιοχής (ισοδύναμα κάτω των 25°C). Στο υπέδαφος κάθε τόπου, η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή όλο το έτος, χωρίς έντονες διακυμάνσεις. Η θερμοχωρητικότητα των υλικών του υπεδάφους είναι ιδιαίτερα υψηλή και συγκρινόμενη με τη θερμοχωρητικότητα του αέρα, που αποτελεί την κύρια πηγή θερμότητας για τις αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις κλιματισμού, θεωρείται ότι τείνει στο άπειρο. Αυτό σημαίνει πως δημιουργείται η δυνατότητα άντλησης ή απορρόφησης μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας στο υπέδαφος, χωρίς να μεταβάλλονται σημαντικά οι θερμοκρασιακές του συνθήκες. Οι διαφορετικές συνθήκες στις θερμοκρασίες του εδάφους στην Ευρώπη, που κυμαίνονται από 2-3°C κοντά στον πολικό κύκλο, μέχρι 20 °C στη Νότια Ευρώπη, έχουν επίδραση στις επιλογές και στο σχεδιασμό των εγκαταστάσεων κανονικής γεωθερμίας .

Οι εφαρμογές αξιοποίησης της κανονικής γεωθερμίας για θέρμανση και ψύξη κτηρίων αποτελούνται από τρία κύρια μέρη :

- την αντλία θερμότητας,
- τη σύνδεση με τη γη (διατάξεις με γεωεναλλάκτες θερμότητας),

- το σύστημα διανομής θέρμανσης και ψύξης και ζεστού νερού χρήσης στο εσωτερικό του κτηρίου.

Η αξία των εγκαταστάσεων κανονικής γεωθερμίας ορίζεται ακριβώς από το γεγονός ότι η σταθερότητα της αναπτυσσόμενης θερμοκρασίας στο υπέδαφος και η διατήρησή της στη μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας του αέρα περιβάλλοντος συντελεί στη λειτουργία των αντλιών θερμότητας σε υψηλούς βαθμούς απόδοσης.

Η εκμετάλλευση της κανονικής γεωθερμίας γίνεται με συστήματα ανοικτού και κλειστού κυκλώματος Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ) και συστήματα υπόγειας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

Η κανονική γεωθερμία είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία παρουσιάζει μεγάλο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας και μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Οι εφαρμογές της περιλαμβάνουν κυρίως τη θέρμανση και τον κλιματισμό κτηρίων και σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα ψύξης και θέρμανσης (που καταναλώνουν πετρέλαιο και φυσικό αέριο) μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση ενέργειας μέχρι 70%. Για αυτό αποτελεί μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες που μπορούν να συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση ενέργειας στους τομείς της θέρμανσης και του κλιματισμού, βοηθώντας στην επίτευξη των στόχων 20-20-20 του 2020 της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ Σύμφωνα με τους Lund & Boyd τα συστήματα ΓΑΘ κατέχουν σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό στην εγκατεστημένη ισχύ και στη χρήση ενέργειας από όλες τις γεωθερμικές χρήσεις. Σε περίπου 50 χώρες στον κόσμο η εγκατεστημένη ισχύς συστημάτων κανονικής γεωθερμίας αγγίζει τα 50000 MW και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στα 325000 TJ/έτος, με συντελεστή λειτουργίας (για θέρμανση) 0,21. Ο αριθμός των εγκατεστημένων μονάδων ισχύος 12 kW (τυπική ισχύς για οικίες στις Η.Π.Α. και τυτική Ευρώπη) είναι περίπου 4.160.000. Το μέγεθος των επιμέρους μονάδων: ωστόσο, κυμαίνεται από 5,5 kW, για οικιακή χρήση,

μέχρι και περισσότερο από 150 kW για τις εμπορικές εγκαταστάσεις, σχολεία, νοσοκομεία κτλ.

3.2 Στοιχεία Γεωλογίας

3.2.1 Γενικά

Για την εγκατάσταση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή θερινού κλιματισμού (και ψύξης) χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας και των θερμικών ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των θερμικών χαρακτηριστικών τους. Η επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους και η θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια προσδιορίζεται από μία ισορροπία ανάμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία, στη γεωθερμική θερμική ροή και στη θερμική αδράνεια των υλικών που απαρτίζουν το υπέδαφος και επηρεάζονται από αυτούς τους δύο παράγοντες. Στην περίπτωση των ΓΑΘ, είναι επιθυμητό το έδαφος να έχει υψηλή ικανότητα μεταφοράς θερμότητας, γιατί έτσι η απαιτούμενη θερμότητα φθάνει στις γεωτρήσεις και στους γεωεναλλάκτες εύκολα ή μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα από το υπέδαφος. Οι γεωλογικοί παράμετροι και οι θερμικές ιδιότητες που λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό των θερμικών χαρακτηριστικών εδαφών και πετρωμάτων περιλαμβάνουν τα φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών και των πετρωμάτων όπως:

- την πραγματική πυκνότητα ή το ειδικό βάρος (για κάθε επιμέρους υλικό),
- τη φαινομενική πυκνότητα ή το βάρος ανά μονάδα όγκου,
- το πορώδες του εδάφους,
- την υγρασία του εδάφους και την ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό,
- την ειδική θερμότητα (μέση ως συνισταμένη των επιμέρους υλικών)
- την ειδική θερμική αγωγιμότητα (μέση ως συνισταμένη των επιμέρους υλικών),

- την ειδική θερμική διαχυτότητα (μέση ως συνισταμένη των επιμέρους υλικών).

3.2.2 Γεωλογικοί σχηματισμοί

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί στις περιοχές διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον

τρόπο κυκλοφορίας του νερού μέσα στη μάζα τους:

- **Κοκκώδεις ή μικροπερατοί σχηματισμοί:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί που μπορεί να είναι συμπαγείς ή χαλαροί, αλλά η σύνδεση των τεμαχιδίων έχει γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχουν κενά (πορώδες). Στην περίπτωση αυτή, το νερό μπορεί να κυκλοφορεί πρωτογενώς μέσα από τα διάκενα που δημιουργούνται μεταξύ των κόκκων του πετρώματος. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις και τα ψαμμιτικά υλικά.
- **Ρωγμώδη πετρώματα ή μακροπερατά:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται τα πετρώματα που δεν έχουν πόρους, αλλά επιτρέπουν την κίνηση του νερού μέσω του δικτύου των ενεργών ασυνεχειών τους. Στην περίπτωση αυτή το νερό μπορεί να διέλθει μέσα από κάθε είδους ασυνέχειες που έχουν δημιουργηθεί στη μάζα του πετρώματος. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι.
- **Υδατοστεγή ή αδιαπέραστα:** Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται τα πετρώματα που δεν επιτρέπουν τη διείσδυση του νερού μέσα από τη μάζα τους, όπως οι μάργες και οι λεπτομερείς φάσεις από τις διλουβιακές και τις αλλουβιακές αποθέσεις.

3.2.3 Εκτίμηση της αποδοτικότητας του υπεδάφους

Η κατανομή της θερμοκρασίας στο υπέδαφος παίζει σημαντικό ρόλο στον τομέα της κανονικής γεωθερμίας. Η γνώση του τρόπου που κατανέμεται η θερμοκρασία μέσα στο υπέδαφος, για οποιοδήποτε τύπο

εδάφους, είναι απαραίτητη για τη σωστή και οικονομική τεχνική εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας.

Σε εγκαταστάσεις μεγάλου εύρους ή και σε εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος κρίνεται χρήσιμη η αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της μεθόδου θερμικής απόκρισης (Thermal Response Test), κυρίως επειδή κατά την ανάλυση των θερμικών ιδιοτήτων των υπεδαφικών υλικών δεν είναι δυνατή η πλήρης και η ακριβής εκτίμηση των μεγεθών στο συγκεκριμένο σημείο. Στη μέθοδο αυτή, συνδέεται το δίκτυο με συσκευή παραγωγής κλιματισμένου νερού και εισάγεται στον εναλλάκτη θερμότητας με συνεχή μέτρηση της θερμοκρασίας εξόδου και της θερμικής ροής από 24 έως 48 ώρες. δίνεται η δυνατότητα να προσδιοριστεί και να προβλεφθεί η θερμική συμπεριφορά του υπεδάφους γύρω από το γεωθερμικό εναλλάκτη σε βάθος χρόνου. Προσδιορίζονται η μέση ειδική θερμότητα, η μέση ειδική θερμική αγωγιμότητα και η μέση θερμική διάχυση των υλικών.



Εικόνα 3-1 Διάταξη εκτίμησης της αποδοτικότητας του εδάφους.

Οι δοκιμές θερμικής απόκρισης πραγματοποιούνται επί τόπου στη περιοχή όπου εξετάζεται το υπέδαφος, έτσι ώστε το γεωθερμικό υπεδαφικό σύστημα να έχει την καλύτερη απόδοση. Η μέθοδος μετρά:

- τη μέση θερμοκρασία κατά μήκος του εναλλάκτη, πριν την λειτουργία του συστήματος,

- τη μέση θερμική αγωγιμότητα (k_{eff}) του υπεδαφικού σχηματισμού, στην οποία περιλαμβάνεται και η αγωγιμότητα του υπεδαφικού νερού,
- τη θερμική αντίσταση του γεωθερμικού εναλλάκτη.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με κινητή μονάδα που περιλαμβάνει αντλία θερμότητας παραγωγής θερμού ή ψυχρού νερού, όργανα μετρήσεων (δύο μετρητές θερμότητας και δύο μετρητές θερμοκρασίας) και καταγραφέα δεδομένων. Η συσκευή που κάνει τις δοκιμές θερμικής απόκρισης συνδέεται άμεσα με το γεωθερμικό εναλλάκτη και κατά συνέπεια πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στη γεώτρηση ώστε να μην επηρεάζεται το σύστημα από άλλες παραμέτρους.

3.3 Τύποι ενεργειακών συστημάτων αξιοποίησης κανονικής γεωθερμίας

Υπάρχουν δύο βασικές τεχνολογίες για την εκμετάλλευση της κανονικής γεωθερμίας:

- Οι εγκαταστάσεις που εκμεταλλεύονται την άντληση υπόγειων ρευστών (κυρίως νερών) και ονομάζονται συστήματα ανοικτού κυκλώματος ή ανοικτά συστήματα (Σχήμα 3-1) και αξιοποιούν την ιδιότητα της σταθερής θερμοκρασίας που έχουν τα υπεδαφικά ρευστά. Αυτές χρησιμοποιούν επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα (από λίμνη, πηγάδι, ποτάμι, γεώτρηση) για θερμική χρήση και κατόπιν, είτε το επανεισάγουν στην υπόγεια πηγή προέλευσής του, είτε το διαθέτουν σε επιφανειακά νερά που είναι διαθέσιμα στην περιοχή. Αντλούν νερό από υπόγειο ταμιευτήρα με χρήση γεώτρησης και συνήθως ενδιάμεσου εναλλάκτη νερού/νερού που παρεμβάλλεται μεταξύ της ΓΑΘ και του ανοικτού κυκλώματος και προσδίδουν ή απορροφούν ενέργεια στο σύστημα πριν το νερό επιστρέψει στον ταμιευτήρα. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα.

- Οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν ένα κλειστό κύκλωμα σωληνώσεων θαμμένο στο έδαφος και ονομάζονται συστήματα κλειστού κυκλώματος ή κλειστά συστήματα τα οποία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:
 - Οριζόντια κλειστά συστήματα με διάφορες παραλλαγές στη διαμόρφωση τους (Σχήμα 3-2). Το αρχικό κόστος τους είναι σχετικά μικρό σε σχέση με τα άλλα συστήματα, η εγκατάστασή τους είναι εύκολη, ενώ η διάρκεια ζωής τους είναι μεγάλη. Όμως απαιτούν μεγάλη επιφάνεια για τη χωροθέτησή τους, το οποίο και αποτελεί κρίσιμο σημείο για την τελική επιλογή.
 - Κατακόρυφα κλειστά συστήματα που καλούνται συστήματα κατακόρυφων γεωεναλλακτών (Borehole Heat Exchangers, BHEs or Vertical Earth Heat Exchangers, VEHEs) (Σχήμα 3-3). Διανοίγονται μία ή περισσότερες γεωτρήσεις βάθους συνήθως μέχρι 100m, όπου τοποθετούνται κατακόρυφα ή υπό γωνία σωλήνες, τύπου διπλού U, σχηματίζοντας κλειστό κύκλωμα. Το αρχικό κόστος τους είναι υψηλό, κυρίως λόγω των γεωτρήσεων, η διάρκεια ζωής τους είναι μεγάλη, ενώ απαιτούν μικρή επιφάνεια για τη χωροθέτησή τους.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα δύο συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για θέρμανση και για ψύξη, εφόσον το σύστημα διανομής θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου το επιτρέπει. Υπάρχουν και άλλες (σπανιότερες) γεωμετρίες (π.χ. κωνικά συστήματα ή γεωτρήσεις με κλίση) ή άλλες μορφές (π.χ. γεωπάσσαλοι).

Παράλληλα με τα παραπάνω συστήματα αναπτύσσονται και έρευνες για τη δυνατότητα αποθήκευσης θερμικής ή και ψυκτικής ενέργειας ως συστήματα υπόγειας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (Underground Thermal Energy Storage, UTES). Η λογική της αποθήκευσης στον υπόγειο ορίζοντα στηρίζεται στη συγκέντρωση θερμότητας στη μάζα του υπεδάφους, ή ορθότερα, σε μέρος της μάζας του υπεδάφους με ταχύτητα

απόθεσης μεγαλύτερη από την ταχύτητα διάχυσης. Δηλαδή, η πιθανότητα αποθήκευσης ορίζεται από την διαφορά μεταξύ της ταχύτητας απόθεσης θερμότητας σε μέρος της μάζας του υπεδάφους, η οποία δημιουργεί, όπως είναι γνωστό, αύξηση της θερμοκρασίας τοπικά και της ταχύτητας θερμικής διάχυσης και η οποία τείνει να αποσβέσει τη διαφορά αυτή. Με το φαινόμενο αυτό δημιουργείται μια χρονικά πεπερασμένη αποθήκευση, η οποία είναι αξιοποιήσιμη εφόσον ο χρόνος χρήσης της είναι μικρότερος από το χρόνο πλήρους διάχυσης της θερμότητας στο υπέδαφος. Σημειώνεται ότι το φαινόμενο είναι απόλυτα μεταβατικό και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί υπό όλες τις συνθήκες.

Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε :

- Συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα (Aquifer Thermal Energy Storage - ATES).
- Συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας με κλειστό σύστημα γεωεναλλακτών (Borehole Thermal Energy Storage - BTES).

Η θερμική αποθήκευση ενέργειας χρησιμοποιείται σε συστήματα παροχής ενέργειας με στόχο:

- Να αντισταθμίσει οποιαδήποτε διαφορά στο μέγεθος της θερμικής απόδοσης μίας πηγής ενέργειας και στη θερμική απόδοση ενός παραγωγού ενέργειας.
- Να γεφυρώσει το χρόνο ανάμεσα στην προσφορά και στη ζήτηση για τη θερμική ενέργεια.

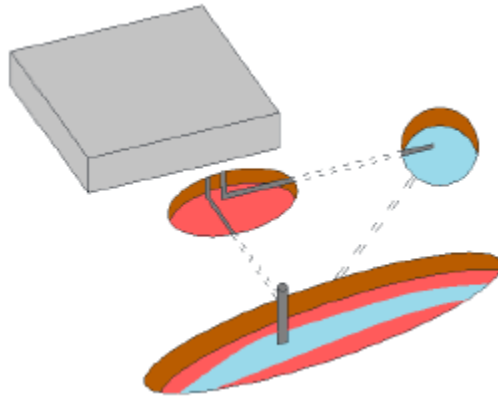
Στην πρώτη περίπτωση, το σύστημα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας πρέπει να είναι ικανό να απορροφά την ενέργεια γρήγορα, να την αποθηκεύει για μικρό σχετικά χρονικό διάστημα και μετά να την αποδίδει γρήγορα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αποθήκευση ζεστού νερού σε ένα σύστημα τηλεκλιματισμού (ή και τηλεθέρμανσης). Σχετικά με τη δεύτερη περίπτωση, αν ως κύριος στόχος της αποθήκευσης είναι να γεφυρώσει το χρόνο ανάμεσα στην προσφορά και στη ζήτηση, το σύστημα αποθήκευσης θα πρέπει να δέχεται ένα σχετικά μεγάλο ποσό θερμικής

ενέργειας, να το διατηρεί σε αποθήκευση για μεγάλη χρονική περίοδο (πχ. λίγες ώρες, μέρες ή και μερικούς μήνες) και στη συνέχεια να μπορεί να το αποδώσει όταν υπάρχει ανάγκη. Ο κύκλος της αποθήκευσης εκτείνεται από την έναρξη της διαδικασίας φόρτισης μέχρι το τέλος της διαδικασίας εκφόρτισης. Τα συστήματα αυτά είναι κατάλληλα για εποχιακή αποθήκευση. Σε εύκρατα γεωγραφικά πλάτη αυτός ο τύπος αποθήκευσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξισορροπήσει τη μεταβαλλόμενη ζήτηση το χειμώνα και το θέρος, δεδομένου ότι η αποθηκευμένη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται το ελάχιστο μέσα σε τέτοιο χρόνο από το τέλος της διαδικασίας φόρτισης, ικανό ώστε να μην έχει αποκατασταθεί το πεδίο θερμοκρασίας. Αν οι θερμοκρασίες των συστημάτων είναι μεγαλύτερες από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος του υπεδάφους για το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου,

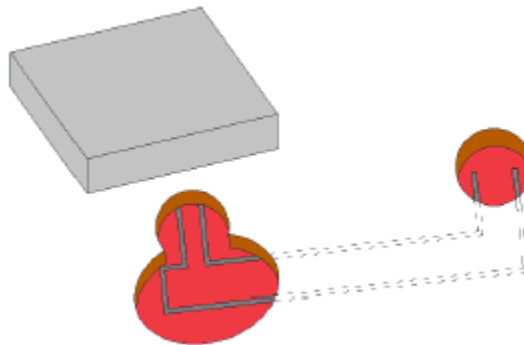
τότε γίνεται αναφορά για συστήματα αποθήκευσης θερμότητας. Αν οι θερμοκρασίες των συστημάτων είναι μικρότερες από τη φυσική θερμοκρασία του υπεδάφους, τότε γίνεται αναφορά για συστήματα αποθήκευσης ψύχους. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω γεωεναλλακτών θερμότητας ή μέσω του υπόγειου νερού (αποθήκευση υδροφόρου). Το υπόγειο νερό μπορεί να αντληθεί μέσω γεωτρήσεων από υδροφορείς ή από άλλες διατάξεις.

Τα συστήματα που επικρατούν είναι αυτά του κλειστού κυκλώματος (περίπου 80% του συνόλου των συστημάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση) και κυρίως οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες θερμότητας. Τα οριζόντια συστήματα είναι μια εξειδικευμένη εφαρμογή που, ενώ στη Γαλλία το είδος αυτό εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, στη Γαλλία αντίθετα φθίνει παρά το γεγονός ότι κατείχε ένα σημαντικό μερίδιο πριν από λίγα χρόνια.

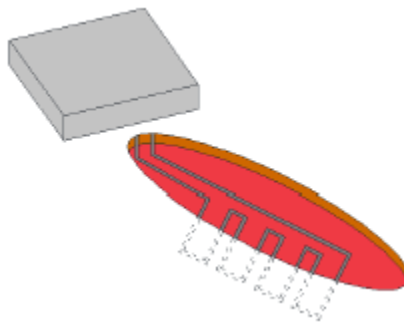
Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος εφαρμόζονται σε διάφορες χώρες, ανάλογα με το υπάρχον νομοθετικό και περιβαλλοντικό πλαίσιο επιτρεπόμενες χρήσεις τους.



Σχήμα 3-1 Τυπική διάταξη ΓΑΘ ανοικτού κυκλώματος



Σχήμα 3-2 Τυπική διάταξη ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος (οριζόντιο σύστημα).



Σχήμα 3-3 Τυπική διάταξη ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος (σύστημα με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες).

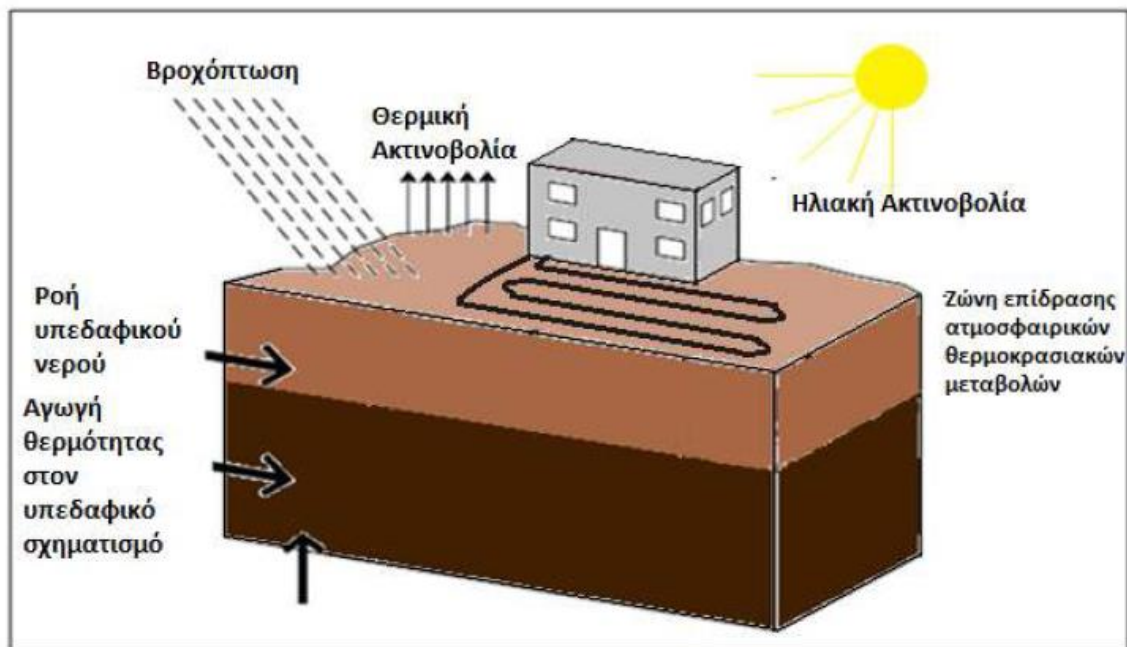
3.4 Οριζόντια γεωθερμικά συστήματα

Η επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους και η θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια προσδιορίζεται από τη θερμική ισορροπία ανάμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία, στη γεωθερμική θερμική ροή και σε διάφορες θερμικές παραμέτρους και ιδιότητες ανάμεσα σε αυτούς τους δύο παράγοντες. Στην περίπτωση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, είναι επιθυμητό το έδαφος να έχει υψηλή ικανότητα μεταφοράς θερμότητας, γιατί έτσι η απαιτούμενη θερμότητα φθάνει στους γεωεναλλάκτες εύκολα ή μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα από το υπέδαφος και ταυτόχρονα η μεγάλη θερμική αγωγιμότητα που συνεπάγεται μεγάλη θερμική διάχυση που διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η συμμετοχή της γεωθερμικής ροής θερμότητας στο συνολικό θερμικό ισοζύγιο του υπεδάφους μεταβάλλεται με το βάθος. Στην περίπτωση εγκατάστασης κοντά στην επιφάνεια και προσεγγιστικά σε βάθος έως 5m, η επίδραση της γεωθερμικής ροής θερμότητας εμπλέκεται με την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε μεγαλύτερα βάθη μέχρι σήμερα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί οριζόντια συστήματα, εκτός των περιπτώσεων που αυτά τοποθετούνται κάτω από κτήρια. Μόνο σε βάθη μεγαλύτερα των 20 m (μέχρι και 100m) υφίσταται αποκλειστικά η επίδραση της γεωθερμικής ροής θερμότητας. Σε εγκαταστάσεις που αναπτύσσονται σε μεγαλύτερα βάθη η επίδραση της γεωθερμικής ροής θερμότητας είναι μοναδική. Τα συστήματα κανονικής γεωθερμίας επί της ουσίας δεν εκμεταλλεύονται την εισερχόμενη στη μάζα τους γεωθερμική ροή, ούτε την ηλιακή θερμότητα οι οποίες στην ουσία μετασχηματίζονται σε αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες. Το κυρίαρχο στοιχείο κατά την αξιοποίηση της κανονικής γεωθερμικής ενέργειας είναι η αποθηκευτική ικανότητα των πετρωμάτων, δηλαδή, η θερμοχωρητικότητά τους και η ικανότητά τους για διάχυση της θερμότητας. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία του υπεδάφους είναι η θερμική διαχυτότητα και η ειδική θερμοχωρητικότητα όπως αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στον υπολογισμό της ειδικής θερμοχωρητικότητας

πρέπει να ληφθούν υπόψη και το στερεό πέτρωμα και το ρευστό που συνυπάρχει ανάλογα με την υγρασία του πετρώματος.

Στα οριζόντια συστήματα κανονικής γεωθερμίας ο γεωθερμικός εναλλάκτης τοποθετείται οριζόντια και σχετικά επιφανειακά στο υπέδαφος (Εικόνα 3-2). Το βάθος τοποθέτησης του γεωθερμικού εναλλάκτη κυμαίνεται από 0,5m έως και 5m, μερικές φορές και ειδικότερα σε αστικές περιοχές μπορεί να τοποθετηθεί σε μεγαλύτερα βάθη, ειδικά όταν υπάρχει περιορισμός έκτασης και το οριζόντιο σύστημα τοποθετείται κάτω από το κτήριο.



Εικόνα 3-2 Μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας στην επιφάνεια του υπεδafου σε οριζόντιο γεωθερμικό σύστημα.

Λόγω της επιφανειακής τοποθέτησης, τα υλικά που συναντώνται είναι επιφανειακά χώματα με πολλά φερτά και η κοκκομετρία τους συνήθως είναι πολυποίκιλη, επηρεάζεται δε από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το έδαφος σε αυτές τις περιοχές, εφόσον είναι αστικό, μπορεί να περιέχει πολλά υπολείμματα οικοδομικών ή άλλων δραστηριοτήτων, εφόσον είναι αγροτικό, μπορεί να περιέχει ριζικά συστήματα κ.λπ. Τα οριζόντια συστήματα επηρεάζονται σημαντικά από τις επιφανειακές εκδηλώσεις και

ιδιαίτερα από την ηλιακή ακτινοβολία και τις βροχοπτώσεις. Οι συνθήκες αυτές κυρίως επιδρούν θετικά, τόσο σε ότι αφορά στην ηλιακή ακτινοβολία, η οποία αποθηκεύεται κατά τη θερινή περίοδο και αξιοποιείται κατά τη χειμερινή περίοδο, όσο και στην περίπτωση των βροχοπτώσεων, οι οποίες βελτιώνουν τα θερμικά χαρακτηριστικά των υλικών δηλαδή την ειδική θερμική αγωγιμότητα, τη θερμική διάχυση και την ειδική θερμότητα, που είναι σημαντικά σε ότι αφορά στην απόδοση ενός συστήματος κανονικής γεωθερμίας. Στην περίπτωση που ο εναλλάκτης τοποθετείται κάτω από το κτήριο τότε η επίδραση του περιβάλλοντος μειώνεται σημαντικά και μερικές φορές μηδενίζεται.

3.4.1 Συστήματα κλειστού κυκλώματος

- **Οριζόντιο κλειστό γεωθερμικό σύστημα**

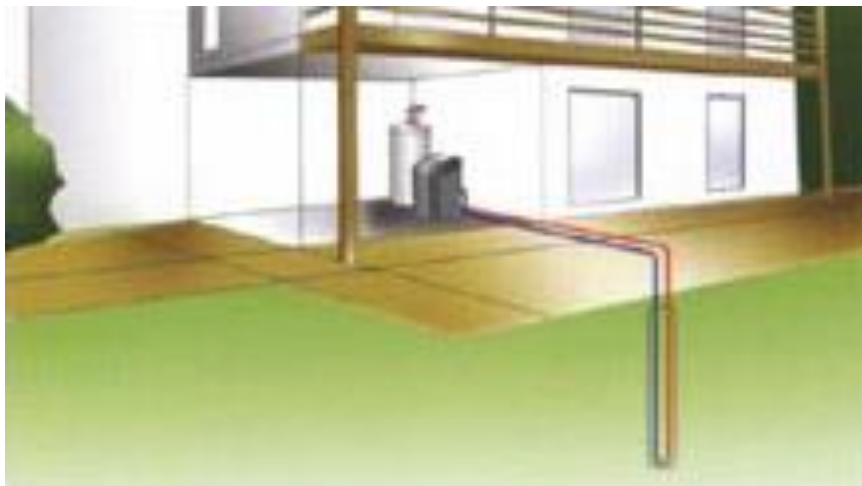
Ο οριζόντιος γεωεναλλάκτης κατασκευάζεται σε σκάμμα ορισμένης επιφάνειας στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου σε βάθος 1,0-2,5m και με πυκνότητα σωληνώσεων 0,5-0,8m. Στο επίπεδο αυτό αναπτύσσεται το οριζόντιο σύστημα αποτελούμενο από κυκλώματα σωλήνων δικτυωμένου πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας μέγιστου μήκους 100m, τα οποία μέσω των επιμέρους συλλεκτών οδηγούνται στην αντλία θερμότητας. Η απαιτούμενη έκταση που είναι αναγκαία είναι συνάρτηση των θερμικών και ψυκτικών απαιτήσεων του κτιρίου.



Εικόνα 3-3 Κλειστό Κύκλωμα Οριζόντιου Τύπου: Συνεχής κυκλοφορία νερού και ψυκτικού υγρού μέσω κλειστού κυκλώματος πλαστικών σωληνών που βρίσκονται οριζόντια εγκατεστημένοι σε βάθος 1,5 m περίπου κάτω από την επιφάνεια της γης.

- **Κατακόρυφο κλειστό γεωθερμικό σύστημα**

Το μέγεθος του διαθέσιμου ελεύθερου χώρου και η σύσταση του υπεδάφους καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον τύπο του γεωθερμικού εναλλάκτη. Ο κάθετος γεωεναλλάκτης κλειστού κυκλώματος εφαρμόζεται σε εγκαταστάσεις με περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο και σε περιοχές με αδυναμία άντλησης νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα. Το πλήθος των γεωτρήσεων είναι συνάρτηση της ισχύος της εγκατάστασης, ενώ η απόδοσή των κατακόρυφων συστημάτων παρουσιάζει σταθερότητα σε όλη τη διάρκεια του έτους. Σημαντικό πλεονέκτημα των κάθετων συστημάτων αποτελεί το γεγονός της γρήγορης αποκατάστασης των θερμοκρασιακών διαταραχών του υπεδάφους, οι οποίες προκαλούνται από την εκμετάλλευση του θερμικού περιεχομένου του. Η διάμετρος της κάθε γεώτρησης είναι 6-8" και το βάθος τους κυμαίνεται μεταξύ 60–150m.



Εικόνα 3-4 Κλειστό Κύκλωμα Κάθετου Τύπου: Γίνεται συνεχή κυκλοφορία νερού και ψυκτικού υγρού μέσω κλειστού κυκλώματος πλαστικών σωληνών που βρίσκονται κάθετα εγκατεστημένοι σε γεωτρήσεις μικρού βάθους.

3.4.2 Συστήματα ανοιχτού κυκλώματος

Χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η άντληση και επαναφορά υδάτων – υπογείων ή επιφανειακών - και η θερμική εκμετάλλευσή τους. Το νερό αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα - υπέδαφος, θάλασσα, λίμνη ή ποτάμι -, διέρχεται από την αντλία θερμότητας όπου απορροφά ή αποδίδει θερμότητα και κατόπιν επανεισάγεται στην ίδια πηγή. Το γεωθερμικό σύστημα ανοιχτού κυκλώματος είναι οικονομικότερο κατασκευαστικά από τους κλειστούς γεωεναλλάκτες, αλλά ενδείκνυται σε περιοχές με πλούσια υδροφορία και μόνο όταν η κατώτερη στάθμη άντλησης από την γεώτρηση δεν υπερβαίνει τα 50 μέτρα (ανάλογα με το εμβαδόν του κτιρίου).



Εικόνα 3-5 Ανοικτό Κύκλωμα :Αντλούμε νερό από τον υδροφόρο ορίζοντα το οποίο κυκλοφορεί μέσω της Αντλίας Θερμότητας, χαρίζοντάς μας θέρμανση ή ψύξη και το επιστρέφουμε στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω της δεύτερης γεώτρησης.

3.5 Κριτήρια επιλογής γεωθερμικού συστήματος

Η επιλογή ενός γεωθερμικού συστήματος εξαρτάται

- Από τη γεωλογική μορφή του εδάφους
- Από τον διαθέσιμο χώρο
- Από τη διαμόρφωση του χώρου
- Από τις θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις του χώρου
- Από το είδος της εγκατάστασης θέρμανσης – κλιματισμού που καλείται να υποστηρίξει το γεωθερμικό σύστημα
- Από το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο
- Από οικονομικά κριτήρια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

4.1 Αρχή λειτουργίας

Οι Αντλίες Θερμότητας (ΑΘ) είναι μηχανές που παράγουν θέρμανση και ψύξη καταναλώνοντας ηλεκτρική ενέργεια και λειτουργούν σύμφωνα με τον καλούμενο αντίστροφο θερμοδυναμικό κύκλο. Κατά τη διάρκεια του κύκλου αφαιρείται θερμότητα σε χαμηλή θερμοκρασία, που είναι διαθέσιμη σε μία ψυχρή πηγή, αυξάνει τη θερμοκρασία της με τη συμπίεση και κατόπιν την αποδίδει για τη θέρμανση χώρων. Οι συνηθέστερες ψυχρές πηγές είναι ο εξωτερικός αέρας και το νερό (πηγαδιού, ποταμού, λίμνης), ενώ τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η χρήση του εδάφους και της ηλιακής ενέργειας. Η θερμότητα διατίθεται με τη μορφή θερμού αέρα ή θερμού νερού.

Η αντλία θερμότητας είναι συσκευή που έχει τη δυνατότητα αξιοποίησης του κύκλου ψύξης έτσι ώστε να δίνει άλλοτε ζεστό και άλλοτε κρύο αέρα ή νερό, ανάλογα πάντα με τις κλιματιστικές ανάγκες του χώρου. Όπως είναι γνωστό, η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων θερμοκρασιών. Η αντλία θερμότητας όμως, έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα προς τη φυσική της ροή. Αντλεί δηλαδή θερμότητα από χαμηλότερη στάθμη θερμοκρασίας προς μια υψηλότερη. Την ίδια ικανότητα έχει και ένα ψυγείο, μόνο που στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας το ενδιαφέρον παρουσιάζεται για τη θερμότητα και όχι για την ψύξη.

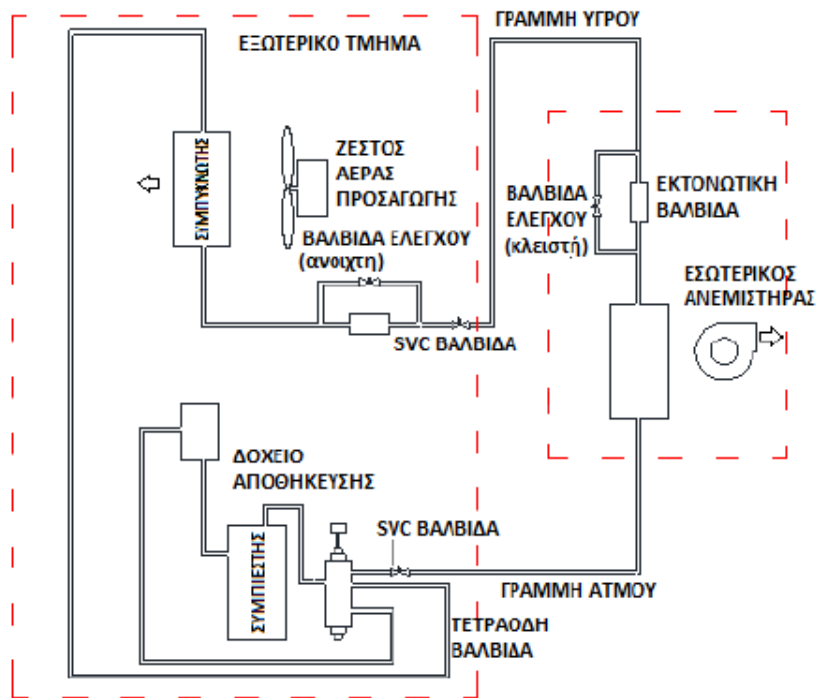
Η αρχή λειτουργίας της είναι η ίδια με αυτή που εφαρμόζεται και στα ψυγεία, όπου η θερμότητα μεταφέρεται από το χώρο του ψυγείου (π.χ. -5°C) στο χώρο του περιβάλλοντος (20 °C), ή στις κλιματιστικές συσκευές, με τις οποίες η θερμότητα μεταφέρεται από το δωμάτιο (26 °C) στην ύπαιθρο (π.χ. 35 °C). Έτσι λοιπόν, αν ο χώρος Α είναι το εσωτερικό κτηρίου και ο Β το περιβάλλον, η αντλία θερμότητας έχει τη δυνατότητα με κατάλληλο χειρισμό να μεταφέρει θερμότητα από το χώρο Α προς το

χώρο Β (ψύξη του κτηρίου) ή αντίστροφα από το χώρο Β προς το χώρο Α (θέρμανση του κτηρίου).

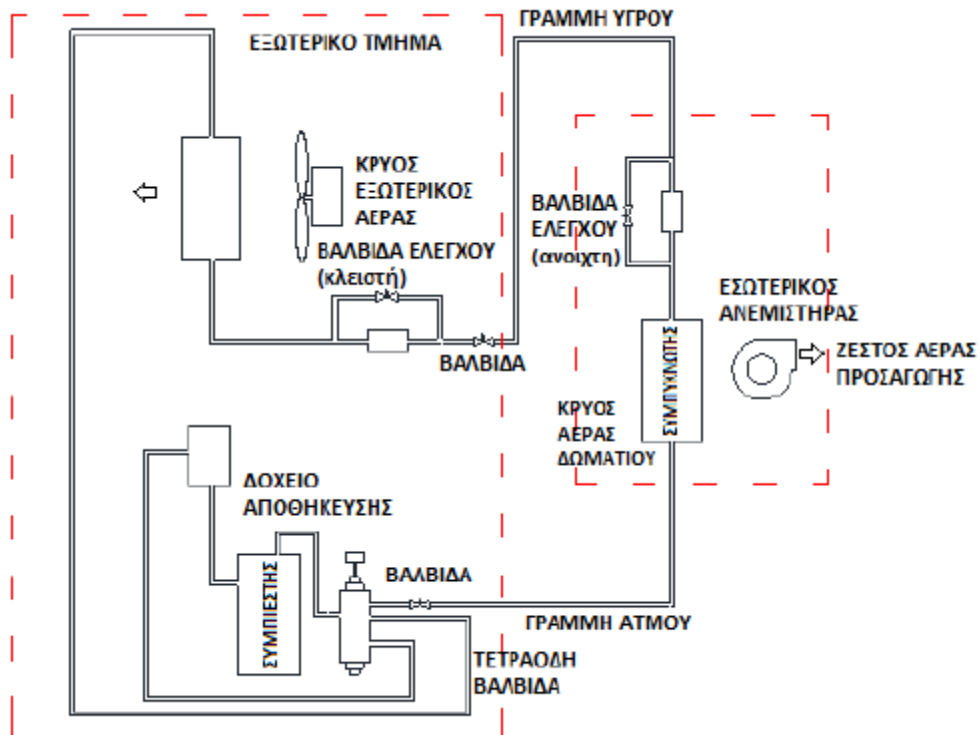
4.2 Βασικά Τμήματα ΑΘ

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μια αντλία θερμότητας είναι (Σχήμα 4-1 και Σχήμα 4-2):

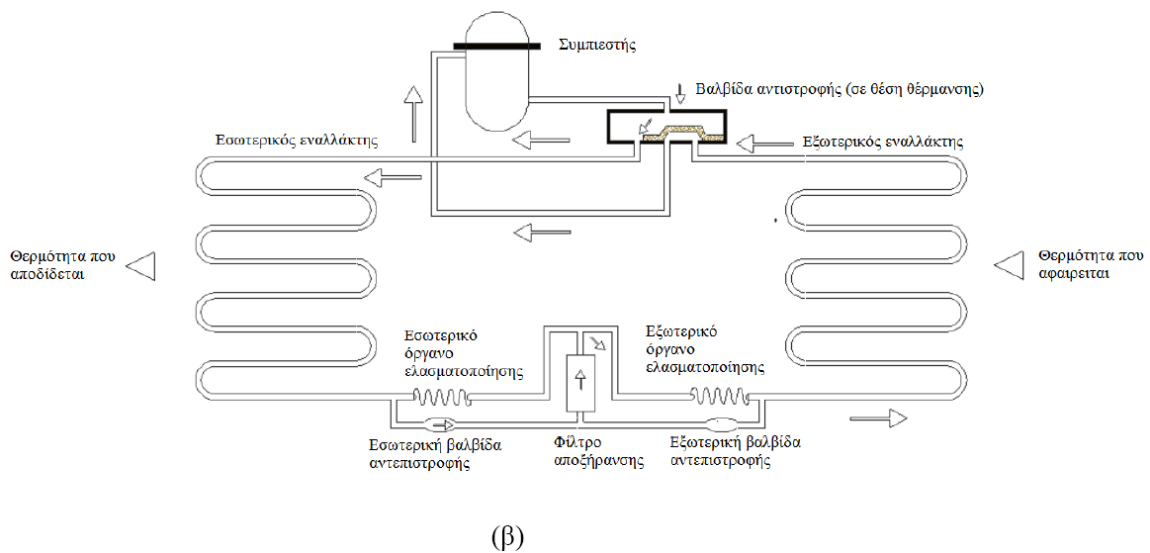
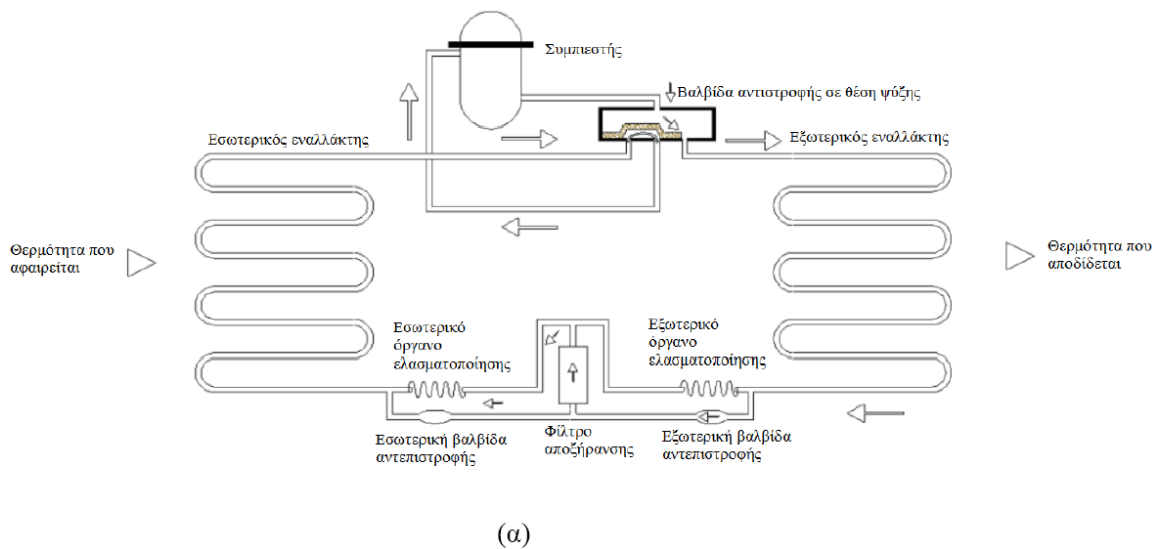
- Το τμήμα συμπιεστή - συμπυκνωτή, που απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον (ή κατά την αντίστροφη λειτουργία απορροφά θερμότητα).
- Το τμήμα ανεμιστήρα - ατμοποιητή, που απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο (ή κατά την αντίστροφη λειτουργία προσδίδει θερμότητα).
- Ο μηχανισμός αντιστροφής, που αποτελείται από μια τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον ψυκτικό κύκλο, σε θερμαντικό (κύκλο θέρμανσης) και αντίστροφα.
- Οι αυτοματισμοί για τον έλεγχο και τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης.
- Η συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση, που αυξάνει τη θερμική απόδοση του συστήματος, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή. Μερικές φορές το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με αντιστροφή του κύκλου για περιορισμένο χρόνο.



Σχήμα 4-1 Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για ψύξη.



Σχήμα 4-2 Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για θέρμανση.



Σχήμα 4-3 Σχεδιάγραμμα της αρχής λειτουργίας του ψυκτικού κυκλώματος μιας αντιστρεπτής αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα.. α) Ψυκτικός κύκλος β) Κύκλος θέρμανσης

4.3 Λειτουργία αντλίας θερμότητας στις δυο περιπτώσεις: θέρμανσης και ψύξης

Συχνά αναφέρεται ότι η αντλία θερμότητας αντιστρέφει ή αναστρέφει τον κύκλο του ψυκτικού ρευστού και ανάλογα με την περίπτωση ακολουθεί ψυκτικό κύκλο το θέρος ή κύκλο θέρμανσης το χειμώνα. Στην πράξη, πρέπει να τονισθεί ότι η αντλία θερμότητας εκτελεί πάντα ψυκτικό κύκλο και ποτέ θερμικό, γιατί τέτοιος κύκλος δεν υφίσταται. Το μόνο που αντιστρέφεται είναι ο ρόλος του συμπυκνωτή με το ρόλο του ατμοποιητή. Το καλοκαίρι το εσωτερικό στοιχείο λειτουργεί ως ατμοποιητής και είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυχόμενο χώρο και τον ψύχει, ενώ το χειμώνα ως συμπυκνωτής και τον θερμαίνει. Αντί λοιπόν να μεταφέρονται οι συσκευές ατμοποιητής -

συμπυκνωτής από το δωμάτιο στο περιβάλλον (π.χ. μπαλκόνι), η αντλία θερμότητας με τη χρήση της τετράοδης βαλβίδας αντιστρέφει τη ροή του ψυκτικού μέσου διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται κανονικά η προσφορά μηχανικού έργου

Η λειτουργία της αντλίας θερμότητας βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμού. Η μελέτη του κύκλου για ψύξη (Σχήμα 4-1) εκτελείται ξεκινώντας από οποιοδήποτε σημείο του συστήματος. Αρχίζοντας π.χ. από τη στιγμή που το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στον ατμοποιητή.

1. Η είσοδος του ψυκτικού υγρού στον ατμοποιητή ελέγχεται από άεργη εκτονωτική - στραγγαλιστική βαλβίδα. Η βαλβίδα αυτή ελαττώνει την πίεση του υγρού, το οποίο ατμοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία. Κατά την ατμοποίηση, ποσά θερμότητας προσδίδονται στο αέριο, το οποίο αποκτά υψηλή πίεση και θερμοκρασία στο συμπιεστή.
2. Το συμπιεσμένο αέριο φθάνει στο συμπυκνωτή και προσδίδει ποσά θερμότητας στο μέσο συμπύκνωσης (αέρας ή νερό). Καθώς ο ατμός ψυκτικού υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας διέρχεται από το συμπυκνωτή, υγροποιείται και εξέρχεται ως ψυκτικό υγρό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Με την υγροποίηση του ατμού αφαιρείται θερμότητα από αυτόν.
3. Το ψυκτικό υγρό οδηγείται στην εκτονωτική βαλβίδα. Κατά τη φάση της εκτόνωσης το συμπυκνωμένο ψυκτικό υγρό υψηλής πίεσης περνάει μέσα από μία εκτονωτική διάταξη, όπου μειώνεται η πίεση και η θερμοκρασία του και μετατρέπεται σε ένα μίγμα από υγρό και ατμό χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας και ο κύκλος ξαναρχίζει.

Ο κύκλος θέρμανσης (Σχήμα 4-2) περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με τον κύκλο ψύξης. Μόνο που στην περίπτωση αυτή το στοιχείο που εκτελούσε ατμοποίηση εκτελεί συμπύκνωση και το αντίστροφο.

4.4 Κατηγορίες Αντλιών Θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται ως ακολούθως:

I. Ανάλογα με το μέσο από όπου αντλείται και το μέσο όπου αποβάλλεται η θερμότητα, οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε:

- Αέρα-Αέρα (A - A)
- Αέρα-Νερού (A - N)
- Νερού-Νερού (N - N)
- Νερού-Αέρα (N - A)
- Εδάφους-Αέρα (E - A)
- Εδάφους-Νερού (E - N)

Οι πιο διαδεδομένες εμπορικές λύσεις είναι οι αντλίες θερμότητας αέρα/αέρα και οι αέρα/νερού. Αυτές κατασκευάζονται πλέον αποκλειστικά σε αναστρέψιμα μοντέλα δηλαδή μπορούν να λειτουργήσουν με κύκλο θέρμανσης και κύκλο ψύξης. Ένα συνηθισμένο κλιματιστικό είναι μία αντλία θερμότητας αέρα-αέρα, ενώ μία αντλία αέρα-νερού αντλεί θερμότητα από την ατμόσφαιρα και ζεσταίνει νερό που μετά μπορεί να κυκλοφορεί σε ένα σύστημα θέρμανσης για να ζεστάνει κάποια θερμαντικά σώματα. Υπάρχουν αντλίες θερμότητας που λειτουργούν μόνο για θέρμανση και άλλες που παρέχουν και θέρμανση και ψύξη. Εκτός από αυτά τα είδη, αναπτύσσονται και αντλίες θερμότητας νερού – νερού, οι οποίες αντλούν θερμότητα από νερό και την αποδίδουν σε νερό εσωτερικού δικτύου, καθώς και αντλίες θερμότητας νερού – αέρα, οι οποίες αντλούν θερμότητα από νερό και την αποδίδουν σε εσωτερικό δίκτυο με αεραγωγούς. Κατά την περίοδο του χειμώνα, αντλείται η θερμότητα (ή αντίστοιχα κατά την περίοδο του θέρους απορρίπτεται), ενώ το νερό μπορεί να είναι νερό από πύργο ψύξης, ποτάμι, θάλασσα ή ακόμη και νερό από γεώτρηση ή πηγάδι. Στην περίπτωση αυτή, τοποθετούνται και κάποιες από τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.

Επίσης, αναπτύσσονται και αντλίες θερμότητας εδάφους – αέρα και εδάφους – νερού όπου η άντληση θερμότητας κατά το χειμώνα (ή αντίστοιχα η απόρριψη κατά την περίοδο του θέρους) γίνεται άμεσα στο έδαφος, δηλαδή ο ατμοποιητής ή συμπυκνωτής αντίστοιχα είναι τοποθετημένος εντός του

εδάφους. Στην περίπτωση αυτή, τα εσωτερικά δίκτυα είναι είτε δίκτυα νερού είτε δίκτυα αέρα.

II. Ανάλογα με το είδος της κινητήριας μηχανής, οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες (1):

- Ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές.
- Συμπιεστές κινούμενοι από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός, αέριο κ.λπ.).
- Συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης (θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας).

Οι πιο διαδεδομένοι συμπιεστές είναι οι ηλεκτροκίνητοι και τούτο διότι η μεγαλύτερη ανάπτυξη και χρήση των αντλιών θερμότητας γίνεται στον κτηριακό τομέα και ειδικότερα σε κτήρια γραφείων, εμπορικά και κατοικιών. Σε άλλες εφαρμογές όπως, βιομηχανίες, πλοία και μεταφορικά μέσα γενικότερα έχουν αναπτυχθεί και συμπιεστές κινούμενοι από μηχανές εσωτερικής καύσης ή συνδεδεμένες σε μηχανές εσωτερικής καύσης με μηχανικό τρόπο.

Η περίπτωση των συμπιεστών απορρόφησης και προσρόφησης είναι μια ειδική περίπτωση και ειδική τεχνολογία όπου δεν υφίσταται η έννοια της συμπίεσης αλλά της αύξησης της πίεσης σε υγρό και η επωνυμία ,συμπιεστές, δεν αντιστοιχεί στην πραγματικότητα. Στην περίπτωση αυτή, εφαρμόζεται μια άλλη τεχνική όπου η μεταβολή της πίεσης προέρχεται από διαχωρισμό μέσων και άντληση υγρών.

III. Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων μηχανισμών της αντλίας θερμότητας διακρίνονται δύο κατηγορίες:

- Ενιαίες ή αυτόνομες (Compact). Σε αυτές όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος,
- Διμερούς τύπου (Split units). Εδώ ο ατμοποιητής (ή ο συμπυκνωτής) είναι ανεξάρτητος του υπόλοιπου συστήματος.

Οι πιο διαδεδομένες σήμερα αντλίες θερμότητας σε μικρές μονάδες είναι οι διμερούς τύπου. Αντίθετα κατά την ανάπτυξη των συστημάτων είχαν εφαρμοσθεί αρχικά οι αυτόνομες ή ενιαίες μονάδες αλλά λόγω προβλημάτων κυρίως θορύβου με το χρόνο αποσύρθηκαν (ως τεχνολογία).

IV. Ανάλογα με τον τρόπο αναστροφής της λειτουργίας τους οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Η ροή του ψυκτικού μέσου διατηρείται σταθερή και αλλάζει η θέση των μέσων προσαγωγής ή απαγωγής της θερμότητας.
- Μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Η αναστροφή της ροής του ψυκτικού μέσου γίνεται με χρήση τετράοδης βαλβίδας.

Στην περίπτωση των μικρού και μεσαίου μεγέθους μονάδων, οι πλέον διαδεδομένες είναι οι μονάδες μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Σε μεγαλύτερες μονάδες και σε ειδικές εφαρμογές έχουν χρησιμοποιηθεί και αντλίες θερμότητας σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου, με αντιστροφή στην περιοχή του μέσου προσαγωγής – απαγωγής θερμότητας (κυρίως σε εγκαταστάσεις νερού).

4.5 Πιστοποίηση και Ενεργειακή σήμανση αντλιών θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας που διατίθενται στην αγορά πρέπει να διαθέτουν πιστοποιητικό CE (Declaration of Conformity), που αποδεικνύει ότι έχουν κατασκευασθεί με συγκεκριμένες διαδικασίες και συμβαδίζουν με όλες τις ευρωπαϊκές οδηγίες που πιστοποιούν την ασφάλεια του προϊόντος. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 14511:2008 και την Eurovent, κάθε αντλία θερμότητας πρέπει να συνοδεύεται από την έκδοση πιστοποιητικού απόδοσης λειτουργίας σε διάφορες συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος και θερμικού μέσου, όπως καθορίζονται από τα πρότυπα. Η απόδοση των αντλιών θερμότητας εξαρτάται επίσης και από την πηγή θερμότητας που αξιοποιούν για τη λειτουργία τους και η οποία μπορεί να είναι ο αέρας, το έδαφος, τα υπόγεια και επιφανειακά νερά, το θαλασινό νερό, τα καυσαέρια κινητήρων (π.χ. Σ.Η.Θ.), η ηλιακή ενέργεια κ.ά. Οι κατασκευαστές αντλιών θερμότητας για να μετρήσουν το COP και το EER υποχρεούνται να ακολουθούν την μέθοδο που περιγράφεται στο Ευρωπαϊκό πρότυπο EN14511.

Όσον αφορά στην ενεργειακή σήμανση με τον Κανονισμό 626/2011 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής καθιερώθηκαν δύο κλίμακες ενεργειακής απόδοσης με βάση την κύρια λειτουργία και ειδικές πτυχές που είναι ιδιαίτερης σημασίας για τους καταναλωτές. Επειδή τα κλιματιστικά χρησιμοποιούνται κυρίως σε

συνθήκες μερικού φορτίου, οι δοκιμές απόδοσης θα πρέπει να στραφούν σε μέθοδο μέτρησης της εποχιακής απόδοσης, εξαιρουμένων των κλιματιστικών ενός αεραγωγού και των κλιματιστικών δύο αεραγωγών. Με τη μέθοδο μέτρησης της εποχιακής απόδοσης λαμβάνονται καλύτερα υπόψη τα οφέλη της τεχνολογίας με αντιστροφέα (inverter) και οι συνθήκες υπό τις οποίες χρησιμοποιούνται αυτές οι συσκευές.

Ο Κανονισμός 626/2011 καθορίζει απαιτήσεις για την επισήμανση και την παροχή συμπληρωματικών πληροφοριών όσον αφορά τα τροφοδοτούμενα από το ηλεκτρικό δίκτυο κλιματιστικά με ονομαστική ισχύ $\leq 12\text{kW}$ για ψύξη, ή για θέρμανση εάν το προϊόν δεν παρέχει λειτουργία ψύξης. Σύμφωνα με τον κανονισμό, στην ενεργειακή ετικέτα που οφείλουν οι προμηθευτές των συσκευών να αναρτούν στα προϊόντα πρέπει να αναγράφονται μεταξύ άλλων :

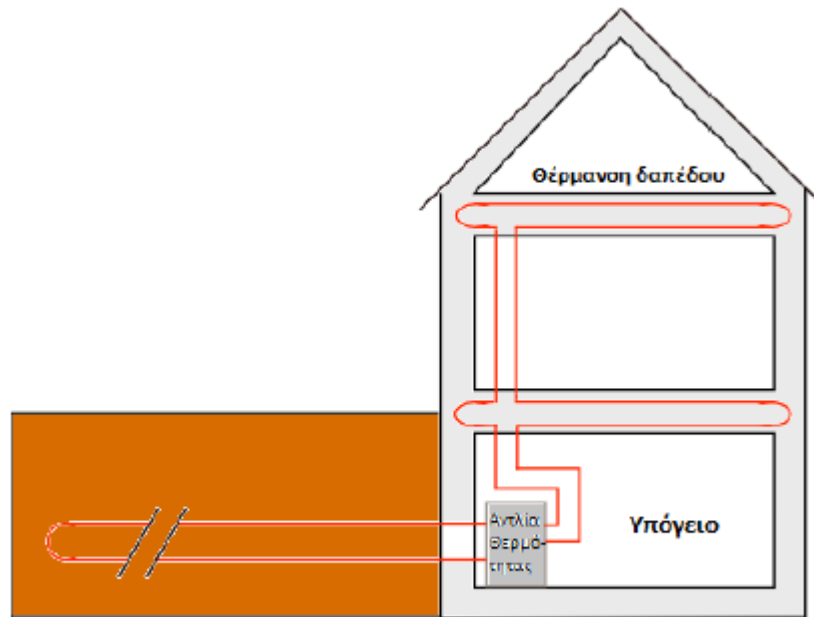
Ο ονομαστικός βαθμός ενεργειακής απόδοσης (EER rated): ο λόγος της δηλωμένης ψυκτικής ισχύος [kW] προς την ονομαστική ισχύ εισόδου για ψύξη [kW], όταν η μονάδα ψύχει υπό πρότυπες συνθήκες διαβάθμισης

Ο ονομαστικός συντελεστής απόδοσης (COP rated): ο λόγος της δηλωμένης θερμαντικής ισχύος [kW] προς την ονομαστική ισχύ εισόδου για θέρμανση [kW], όταν η μονάδα θερμαίνει υπό πρότυπες συνθήκες διαβάθμισης.

4.6 Εφαρμογές Αντλιών Θερμότητας

4.6.1 Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου

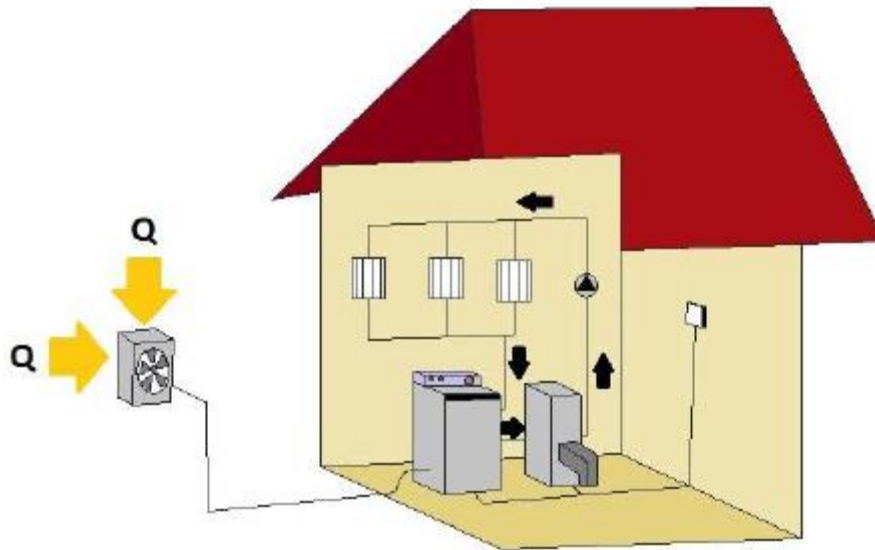
Η αντλία θερμότητας αντλεί θερμότητα από το έδαφος και θερμαίνει νερό (π.χ. σε 40 °C) το οποίο στη συνέχεια κυκλοφορεί μέσα σε ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης, που διαχέει τη θερμότητα προς το θερμαινόμενο χώρο εύκολα. Η ενδοδαπέδια θέρμανση, λειτουργεί με νερό χαμηλής θερμοκρασίας, από 30°C έως 45°C, που κυκλοφορεί σε σωλήνες εγκιβωτισμένους στο δάπεδο. Το ζεστό νερό μεταφέρει θερμότητα στο θερμομετόν που περιβάλλει τους πλαστικούς σωλήνες και στη συνέχεια το δάπεδο ακτινοβολεί θερμότητα. Το έδαφος, σαν πηγή θερμότητας, έχει το πλεονέκτημα να διατηρεί ετησίως περίπου σταθερή θερμοκρασία.



Σχήμα 4-4 Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου.

4.6.2 Αντλία θερμότητας συζευγμένη με κεντρική θέρμανση

Σε υπάρχουσες κατοικίες που έχουν ήδη εγκατασταθεί λέβητες αερίου ή πετρελαίου, η αντλία θερμότητας, μπορεί να συνδυαστεί με το υπάρχον σύστημα θέρμανσης και να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης, σε όλη τη διάρκεια του έτους. Έτσι ο λέβητας, είτε χρησιμοποιείται μόνο ως ενισχυτική - δευτερεύουσα πηγή κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών συνθηκών τον χειμώνα, είτε μπορεί να αποξηλωθεί. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-5 η αντλία θερμότητας έχει συνδεθεί σε σειρά με κεντρική θέρμανση, με σκοπό τη θέρμανση της κατοικίας. Η αντλία θερμότητας που είναι τύπου αέρα/νερού, λειτουργεί ως φορτίο βάσης, χωρίς η κεντρική θέρμανση να λειτουργεί. Όταν εμφανίζεται φορτίο αιχμής (π.χ. πολύ ψυχρή χειμερινή περίοδος), τότε η κεντρική θέρμανση μπαίνει σε λειτουργία για την κάλυψη του φορτίου αιχμής



Σχήμα 4-5 Αντλία θερμότητας δίπλα σε κεντρική θέρμανση.

4.7 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

Η Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (Ground Source Heat Pump, GSHP) ορίζεται ως η αντλία θερμότητας η οποία εκμεταλλεύεται ως πηγή τη θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό, με σκοπό τη θέρμανση ή και την ψύξη χώρων ή/και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και χρησιμοποιούν ψυκτικό μέσο, το οποίο είναι πιστοποιημένο για τη φιλικότητα που παρουσιάζει προς το περιβάλλον.

Τα συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ), τα οποία χρησιμοποιούνται για θέρμανση/ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX), αποτελούνται από το σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός εδάφους (εναλλάκτης εδάφους ή υδρογεώτρηση), τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το σύστημα θέρμανσης-ψύξης χαμηλής θερμοκρασίας εντός κτηρίου. Τα συστήματα ΓΑΘ αξιοποιούν την πρακτικά σταθερή θερμοκρασία του εδάφους οπότε επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ηλεκτρικής και πρωτογενούς ενέργειας και μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση τους.

Με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, αξιοποιείται η καλούμενη περιβαλλοντική θερμική ενέργεια, δηλαδή αυτή που περιέχεται στις μάζες του

άμεσου περιβάλλοντος του κτηρίου, δηλαδή στις αέριες, στις υδάτινες και στις εδαφικές – υπεδαφικές (λιθογραφικές). Η αξιοποίηση της κανονικής γεωθερμικής ενέργειας αποτελεί μεταξύ άλλων αποδοτική εφαρμογή σε συστήματα κλιματισμού κτηρίων (θέρμανση-δροσισμός), σε παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, σε εφαρμογές στη γεωργία, στην ιχθυοκαλλιέργεια και σε οικονομικά ελκυστικά συστήματα αφαλάτωσης νερού. Η εφαρμογή συστημάτων θέρμανσης - ψύξης χώρων με χρήση της θερμότητας των πετρωμάτων και του υπόγειου νερού, παρουσιάζει το μεγάλο πλεονέκτημα της χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα.

Ένα γεωθερμικό σύστημα αξιοποιεί την εντός του εδάφους υπάρχουσα σταθερή θερμοκρασία. Έτσι το χειμώνα, ένα ρευστό που κυκλοφορεί στον γεωθερμικό εναλλάκτη απορροφά τη θερμότητα του εδάφους και μέσω της αντλίας θερμότητας την αποδίδει στο κτήριο. Το θέρος λειτουργώντας αντίστροφα, απάγει τη θερμότητα από το κτήριο και μέσω του γεωθερμικού εναλλάκτη την αποδίδει στο δροσερότερο έδαφος. Με δεδομένο το σταθερό ενεργειακό δυναμικό που παρουσιάζεται, τόσο στα πετρώματα μικρού βάθους, όσο και στα νερά του υδροφόρου ορίζοντα, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση τέτοιων συστημάτων εξασφαλίζει οικονομικότερη λειτουργία, έως και 60%, ανάλογα με το αν πρόκειται για θέρμανση ή ψύξη αντίστοιχα.

Ένα σύστημα ΓΑΘ αποτελείται από

- Σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός του εδάφους, το οποίο είναι είτε γεωεναλλάκτης θερμότητας είτε υδρογεώτρηση.
- Γεωθερμική αντλία θερμότητας.
- Σύστημα θέρμανσης/ψύξης χαμηλών θερμοκρασιών εντός του κτηρίου.

Το σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός εδάφους μπορεί να είναι είτε κλειστό είτε ανοικτό. Στο κλειστό κύκλωμα, οι γεωεναλλάκτες θερμότητας είναι είτε οριζόντιοι, δηλαδή σωλήνες εντός του εδάφους σε οριζόντια διάταξη μέσα σε τάφρους, σε βάθος 1,2-2,0 m, ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες, είτε κατακόρυφοι (Borehole Heat Exchangers - BHEs), δηλαδή σωλήνες εντός του εδάφους σε κατακόρυφη διάταξη μέσα σε γεωτρήσεις (boreholes). Στο ανοικτό κύκλωμα το νερό αντλείται από τον υπόγειο

υδροφόρο ορίζοντα από την παραγωγική γεώτρηση και επανεισάγεται στη γεώτρηση επανεισαγωγής.

Οι ΓΑΘ είναι αντλίες θερμότητας κυρίως νερού-νερού και χρησιμοποιούνται για την θέρμανση και την ψύξη κτηρίων, όπως επίσης και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Τα βασικά εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται μια ΓΑΘ είναι ο συμπιεστής, ο συμπυκνωτής, ο ατμοποιητής, η βαλβίδα εκτόνωσης. Τις περισσότερες φορές η ΓΑΘ είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε το ίδιο το μηχάνημα να μπορεί να λειτουργήσει και σε συνθήκες θέρμανσης αλλά και σε συνθήκες ψύξης. Βασικό χαρακτηριστικό για την ορθή λειτουργία μιας ΓΑΘ είναι η επιλογή του ψυκτικού μέσου Το οποίο εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας του μηχανήματος. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά είναι: να μην είναι τοξικό, διαβρωτικό, εύφλεκτο και να είναι σταθερό στις θερμοκρασίες της εφαρμογής. Ψυκτικά ρευστά τα οποία συγκεντρώνουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά και χρησιμοποιούνται είναι μεταξύ άλλων τα R134a, R407c, R410 και R410a.



Σχήμα 4-6 Άποψη μηχανοστασίου συστήματος ΓΑΘ σε οικία.

Οι συμπιεστές που χρησιμοποιούνται στις ΓΑΘ είναι συνήθως σπειροειδείς (scroll) με ρύθμιση on-off ή συμπιεστές μεταβλητής ισχύος και ως ψυκτικά υγρά χρησιμοποιούνται τα R407c ή R134a με την τάση να αντικατασταθούν από το R410a, το οποίο έχει καλύτερες ιδιότητες μετάδοσης θερμότητας και καλύτερη απόδοση σε αναστρέψιμα συστήματα για λειτουργία θέρμανσης/ψύξης. Ήδη έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται και συμπιεστές μεταβλητής ισχύος. Αυτό βεβαίως δεν επιφέρει σημαντική βελτίωση στην απόδοση λόγω της ελάχιστης (περίπου μηδενικής) επίδρασης των συνθηκών του περιβάλλοντος στην απόδοσή τους. Η βελτίωση σχετίζεται κυρίως με τον τρόπο χρήσης των εγκαταστάσεων και με το αν αυτές είναι συνολικής ή μερικής χρήσης.

Η ενεργειακή απόδοση των συστημάτων ΓΑΘ ενισχύεται όταν η θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης του κτηρίου είναι χαμηλή. Σε περίπτωση λειτουργίας ψύξης, υψηλότερες θερμοκρασίες του συστήματος ψύξης οδηγούν σε καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Τα συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών είναι το ενδοδαπέδιο σύστημα, το ενδοτοιχίο σύστημα, τα fan-coils, οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες και τα συστήματα οροφής.

Σημαντικό ρόλο στην απόδοση ενός συστήματος έχει και η κλιματική ζώνη όπου είναι εγκατεστημένο. Στην Ελλάδα, για ήπιες κλιματικά περιοχές, όπως είναι αυτές που ανήκουν στην κλιματική Ζώνη Α, η απόδοση των συστημάτων ΓΑΘ είναι μεγαλύτερη κατά την περίοδο θέρμανσης, όμως σε αυτές τις περιοχές η περίοδος θέρμανσης έχει μικρή διάρκεια. Αντιθέτως, στις ψυχρότερες περιοχές (Κλιματικές Ζώνες Γ & Δ) τα συστήματα έχουν μικρότερο COP για την ίδια ισχύ συστήματος ΓΑΘ, ενώ η περίοδος θέρμανσης είναι σαφώς μεγαλύτερη. Στις παραπάνω περιπτώσεις τα συστήματα ΓΑΘ είναι αποδοτικά και υπερτερούν σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Η εφαρμογή συστημάτων ΓΑΘ με υψηλή απόδοση έχει ως αποτέλεσμα τη μέγιστη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χώρων, αλλά και τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Ο συντελεστής COP των ΓΑΘ ορίζεται ως ο λόγος της αποδιδόμενης ενέργειας προς την ηλεκτρική κατανάλωση και αφορά σε μια συγκεκριμένη στιγμή, ή συνθήκες. Ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης SPF είναι το ολοκλήρωμα του COP κατά την περίοδο θέρμανσης

και ψύξης. Τυπικές τιμές των COP για συνδυασμό της αντλίας θερμότητας με γεωεναλλάκτη θερμότητας και ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης είναι μεταξύ 3,5 και 5,0. Στην περίπτωση που η αντλία θερμότητας συνδέεται με ανοικτό σύστημα δηλαδή με υδρογεώτρηση, οι τυπικές τιμές των COP είναι μεταξύ 4,0 και 6,5.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

5.1 Είδη κατακόρυφων γεωεναλλακτών

Οι σωληνώσεις των κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών ενδείκνυται να τοποθετούνται σε παράλληλα κυκλώματα, ενώ προτείνονται οι παρακάτω γενικές προδιαγραφές:

α. Η διάμετρος της κάθε γεώτρησης είναι 6-8” και το βάθος τους κυμαίνεται μεταξύ 60 –100m.

β. Η απόσταση μεταξύ των κάθετων γεωτρήσεων, προτείνεται να είναι μεγαλύτερη των 5~6m, για

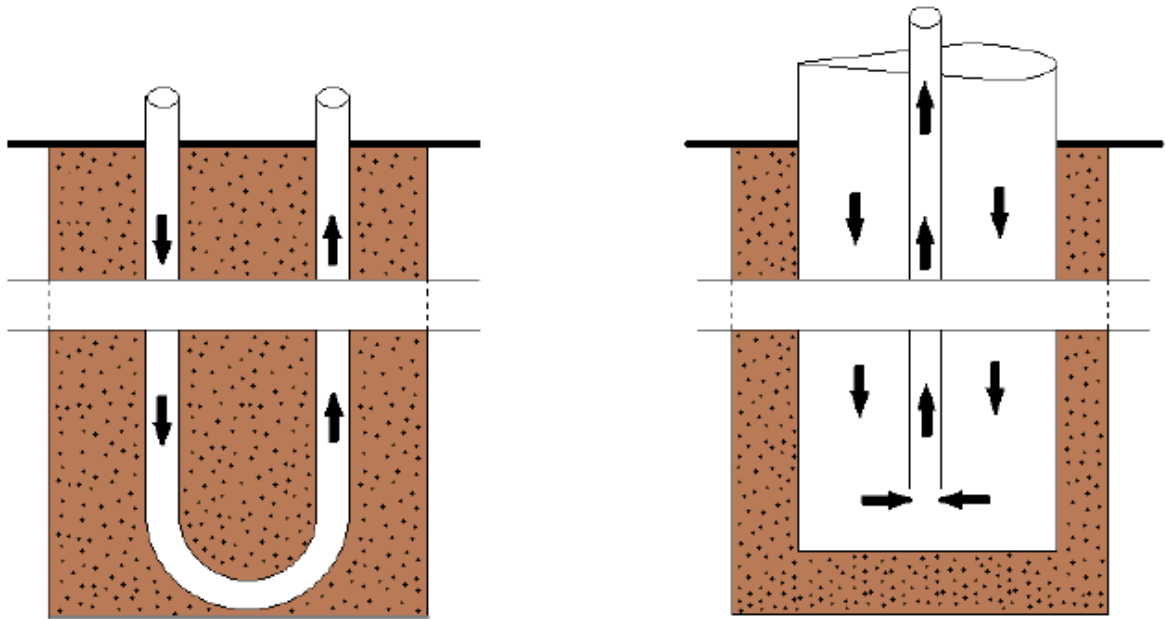
την αποφυγή τοπικού θερμικού κορεσμού του υπεδάφους.

γ. Στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση σωληνώσεων από ακτινοδίκτυωμένο πολυαιθυλένιο ΡεΧ-Α ή άλλου τύπου αντίστοιχης αντοχής για την εξασφάλιση της λειτουργίας σε βάθος χρόνου. Μετά την τοποθέτηση του δικτύου, γίνεται η πλήρωση των γεωτρήσεων με θερμοαγώγιμο μίγμα (τσιμέντο, μπεντονίτης, κ.ά.).

δ. Η μέση απόδοση του κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη κυμαίνεται μεταξύ 35–65 W/m ανάλογα με τα γεωλογικά στοιχεία του υπεδάφους και τη συνεχή απαίτηση σε μέγιστο φορτίο. Σε ειδικές περιπτώσεις οι τιμές αυτές μπορεί να είναι είτε μικρότερες είτε και μεγαλύτερες.

Οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το πώς γίνεται η ανταλλαγή θερμότητας από τα κανάλια ροής στη γεωμετρία της διατομής τους. Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζονται οι δύο βασικοί σχεδιασμοί κατακόρυφου γεωεναλλάκτη:

- Γεωεναλλάκτης τύπου U σωλήνα (αριστερά)
- Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης (δεξιά)



Σχήμα 5-1 Τύποι κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών με βάση τη διάταξη των αγωγών

5.1.1 Γεωεναλλάκτης τύπου U σωλήνα

Η συνήθης μέθοδος για να επιτευχθεί η εναλλαγή θερμότητας σε μια γεώτρηση, είναι η εισαγωγή ενός ή περισσοτέρων σχήματος U βρόχους σωληνίων πολυαιθυλενίου μέσα στην οπή της γεώτρησης. Μονοί U σωλήνες χρησιμοποιούνται στη Βόρεια Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική, ενώ διπλοί U σωλήνες είναι συνήθεις στην Κεντρική Ευρώπη. Στη Βόρεια Ευρώπη, οι γεωτρήσεις συνήθως γεμίζουν με τα υπόγεια ύδατα λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Στις ΗΠΑ και στην Κεντρική Ευρώπη είναι κοινή πρακτική και συχνά απαιτείται να γεμίσουν οι γεωτρήσεις με κάποιο υλικό σφράγισης όπως μπεντονίτη, τσιμέντο ή χαλαζιακή άμμο. Έχουν αναπτυχθεί ειδικά μίγματα, που καλούνται θερμικά βελτιωμένα ενέματα, τα οποία παρέχουν καλύτερη μεταφορά θερμότητας από τον καθαρό μπεντονίτη.

5.1.1.1 Γεωεναλλάκτης με μονή σωλήνα τύπου U

Η μονή τύπου U - σωλήνα υπήρξε το πρότυπο για περίπου 30 χρόνια. Στο γεωεναλλάκτη τύπου U σωλήνα, τόσο τα προς τα κάτω, όσο και τα προς τα άνω, κανάλια ροής συμμετέχουν στην ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον έδαφος. Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι η απλότητα του σχεδιασμού, η ευκολία στη μεταφορά και η απλή εγκατάσταση σε σύγκριση με άλλες εναλλακτικές λύσεις. Μια εγκατάσταση με βάση τις αποδεδειγμένες

βέλτιστες πρακτικές έχει σχεδόν απεριόριστη διάρκεια ζωής. Τα κύρια προβλήματα περιλαμβάνουν τυχόν διαρροή που οφείλεται σε ακατάλληλη τήξη των U στροφών και χαλαρά κάτω τμήματα. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του μονού τύπου U σωλήνα είναι η σχετικά φτωχή ικανότητα μεταφοράς θερμότητας, ειδικά σε συνθήκες μη τυρβώδους ροής.

5.1.1.2 Γεωεναλλάκτης με μονή τύπου U σωλήνα με αποστάτες

Η θερμική απόδοση του τύπου U σωλήνα αυξάνεται εάν οι σωλήνες τοποθετούνται πλησίον του τοιχώματος της γεώτρησης το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αποστατών.

5.1.1.3 Γεωεναλλάκτης με πολλαπλούς αυλούς τύπου U-σωλήνα

Διπλοί, τριπλοί και πολλαπλοί τύπου U-σωλήνες είναι απλές επεκτάσεις της έννοιας της μονής τύπου U σωλήνα. Τα κύρια πλεονεκτήματα των πολλαπλών σωλήνων, σε σύγκριση με τη μονή τύπου U σωλήνα, είναι ότι η αποτελεσματική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας αυξάνει και ότι η επίδραση της σχετικά μεγάλης θερμικής αντίστασης των πλαστικών σωλήνων μειώνεται. Η επίδραση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή μειώνεται επίσης, το οποίο σημαίνει ότι η σημασία της μη στρωτής ροής σε φορτία σχεδιασμού είναι λιγότερο κρίσιμη. Αυτό μπορεί στη συνέχεια να επιτρέψει ελαφρώς χαμηλότερη πτώση πίεσης κατά μήκος του γεωεναλλάκτη, προκειμένου να επιτευχθεί ένας ορισμένος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας. Οι πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική αντίσταση της γεώτρησης είναι ο ρυθμός ροής του ρευστού, το υλικό του σωλήνα, ο αριθμός των σωλήνων, η θέση του σωλήνα και η θερμική αγωγιμότητα του υλικού πλήρωσης.

5.1.2 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης

Τα χαρακτηριστικά του ομοαξονικού τύπου γεωεναλλάκτη (ή σωλήνα εντός σωλήνα) είναι ότι η ανταλλαγή θερμότητας λαμβάνει χώρα, είτε από το εισερχόμενο ή το εξερχόμενο κανάλι ροής (η κατεύθυνση ροής μπορεί επίσης να είναι διαφορετική κατά την εισαγωγή ή άντληση θερμότητας). Ο εσωτερικός σωλήνας επιστροφής μπορεί να είναι ιδανικά μονωμένος, προκειμένου να αποφευχθεί θερμικό βραχυκύκλωμα, μεταξύ των προς τα πάνω και προς τα κάτω καναλιών ροής το οποίο δεν είναι απαραίτητο υπό όλες τις συνθήκες.

5.1.2.1 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης χωρίς επένδυση

Η απλούστερη διάταξη των καναλιών ροής σε έναν κατακόρυφο γεωεναλλάκτη θερμότητας είναι να εισαχθεί ένας πλαστικός σωλήνας στον πυθμένα της γεώτρησης. Η δακτυλιοειδής περιοχή μεταξύ του πλαστικού σωλήνα και του τοιχώματος του φρεατίου παρέχει το κανάλι για την επιστροφή της ροής. Αυτό το είδος του ανοικτού γεωεναλλάκτη είναι πολύ ευνοϊκό από την άποψη της μεταφοράς θερμότητας, επειδή το ρευστό μεταφοράς θερμότητας μπορεί να είναι σε άμεση επαφή με το τοίχωμα της γεώτρησης. Στις ΗΠΑ, η ρύθμιση αυτή ονομάζεται επίσης όρθια στήλη γεώτρησης (standing column well). Το περιβάλλον πέτρωμα μπορεί να είναι διαπερατό, οπότε η δευτερεύουσα κυκλοφορία του ρευστού στο σχηματισμό συμβάλλει στην απαγωγή της θερμότητας.

5.1.2.2 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης τύπου σωλήνα - σε - σωλήνα

Ένα κλειστό σύστημα απαιτείται συχνά λόγω των ασταθών τοιχωμάτων της γεώτρησης ή λόγω γεωχημικών αιτιών. Μπορεί να αναπτυχθεί ένας κλειστός δακτυλιοειδής αγωγός με την επένδυση της γεώτρησης με ένα αδιαπέραστο υλικό. Τοποθετώντας και τσιμεντόνωντας σωλήνες PVC (ή χαλύβδινους σωλήνες) σε γεωτρήσεις είναι μάλλον δύσκολο και δαπανηρό σε σύγκριση με τους τύπου U σωλήνες, έτσι ώστε αυτή η μέθοδος να έχει χρησιμοποιηθεί μόνο μερικές φορές σε σχετικά αβαθείς γεωτρήσεις σε κρυσταλλικά πετρώματα. Λόγω της σημαντικής θερμικής αντίστασης του υλικού πλήρωσης μεταξύ του εξωτερικού σωλήνα και του τοιχώματος του φρεατίου, η μετρούμενη θερμική αντίσταση γεώτρησης για τις ρυθμίσεις αυτές ήταν παρόμοια με εκείνη των απλούστερων τύπου U σωλήνων. Ωστόσο, σε βαθείς αργιλώδεις σχηματισμούς ο κατακόρυφος ομοαξονικός σωλήνας έχει χρησιμοποιηθεί με μεγαλύτερο πλεονέκτημα, δεδομένου ότι ο άργιλος γύρω από το εξωτερικό του σωλήνα στις περισσότερες περιπτώσεις τελικά προσαρμόζεται στην επιφάνεια του σωλήνα ενώ δεν υπάρχει υλικό πλήρωσης.

5.1.2.3 Ομοαξονικός γεωεναλλάκτης με μαλακή επένδυση

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα χρήσης μίας εύκαμπτης μαλακής επένδυσης, η οποία μετά την εισαγωγή θα ωθείται έναντι του τοιχώματος της γεώτρησης όταν το εσωτερικό είναι γεμάτο με ρευστό. Το πλεονέκτημα αυτού του σχεδιασμού είναι ότι δεν υπάρχει υλικό πλήρωσης μεταξύ της επένδυσης και

του τοιχώματος του φρέατος, ωστόσο, αρκετές δοκιμές κατέδειξαν προβλήματα με διαρροή.

5.1.2.4 Γεωεναλλάκτης πολλών καναλιών

Το εξωτερικό κανάλι ροής μπορεί να χωριστεί σε πολλές μικρότερες θαλάμους. Λόγω της θερμικής αντίστασης του υλικού πλήρωσης μεταξύ του εξωτερικού σωλήνα και του τοιχώματος του φρεάτιου και το πιθανό θερμικό βραχυκύκλωμα μεταξύ του εσωτερικού και των εξωτερικών καναλιών ροής, η αποτελεσματικότητα αυτού του σχεδιασμού είναι παρόμοια με αυτή του τύπου U σωλήνων.

5.1.2.5 Γεωεναλλάκτης πολλών σωλήνων – Πολλαπλός ομοαξονικός γεωεναλλάκτης

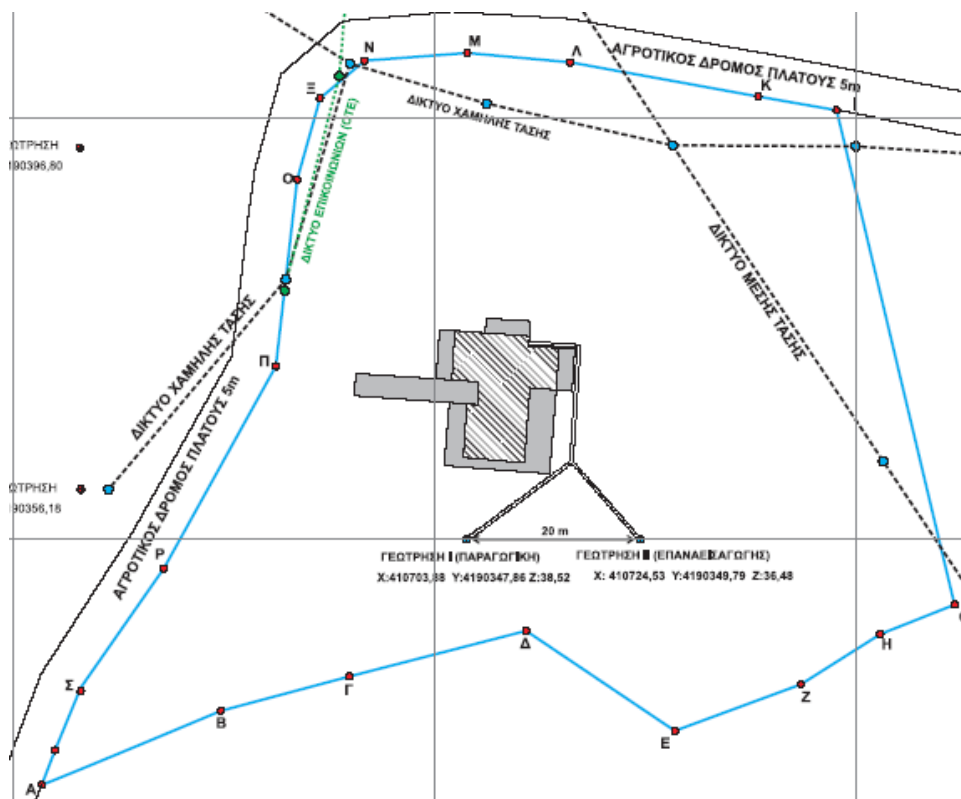
Το εξωτερικό κανάλι ροής μπορεί να συναρμολογηθεί με πολλούς μικρότερους αγωγούς. Δοκιμές πεδίου έχουν δείξει ότι αυτή η διάταξη του καναλιού ροής μπορεί να επιτύχει υψηλή απόδοση. Τα κανάλια ροής είναι τυποποιημένοι σωλήνες πολυαιθυλενίου διαφόρων μεγεθών. Δεν υπάρχουν εμπορικά προϊόντα αυτού του τύπου που διατίθενται στην αγορά. Η μόνωση του εσωτερικού σωλήνα, ο σχεδιασμός του κάτω κομματιού, η διαδικασία εγκατάστασης και το συνολικό κόστος είναι από τις παραμέτρους που χρήζουν περαιτέρω μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΧΩΡΩΝ ΜΕΣΩ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΕ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑ ΕΜΒΑΔΟΥ 133 τ.μ

6.1 Σύστημα ανοικτού κυκλώματος – περιγραφή

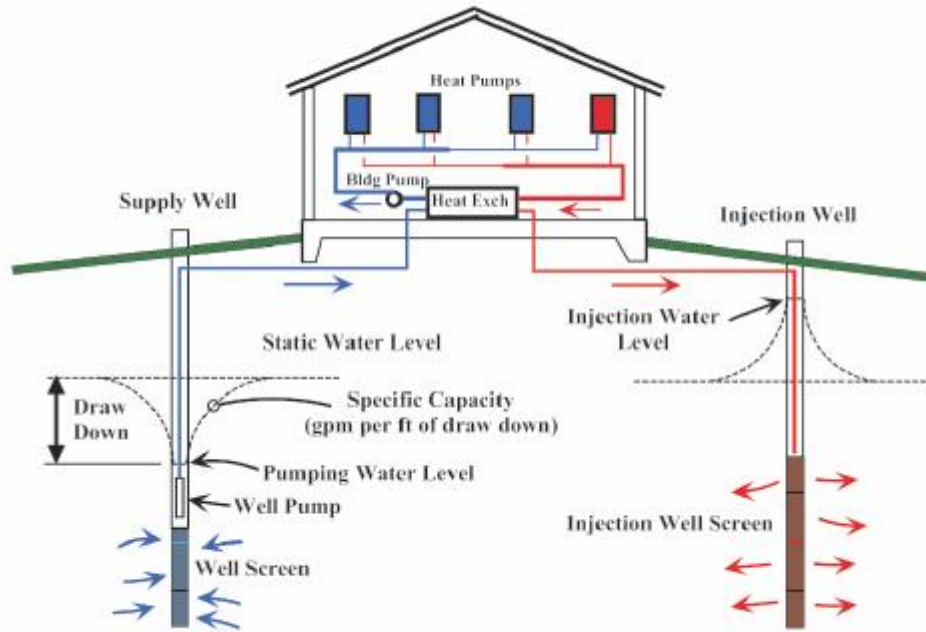
Στην εν λόγω εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκε σύστημα ανοικτού κυκλώματος διότι το υπέδαφος είναι βραχώδες και ως εκ τούτου ήταν αδύνατη η εγκατάσταση συστήματος οριζόντιου τύπου. Οι τεχνικές προδιαγραφές είναι οι ακόλουθες:

- Ανοικτό κύκλωμα γεωεναλλάκτη με δύο γεωτρήσεις
- Παραγωγική γεώτρηση: βάθος 60 m
- Γεώτρηση επανεισαγωγής: βάθος 65 m.
- Απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων: 20 m



Σχήμα 6-1 Το τοπογραφικό σχέδιο με αποτυπωμένες τις δύο γεωτρήσεις

Open-Loop Groundwater Heat Pump with Isolation Heat Exchanger



Source: *Geothermal Heating and Cooling*; Steve Kavanaugh & Kevin Rafferty

Σχήμα 6-2 Η λειτουργία του συστήματος αναλυτικά

6.2 Υποβρύχια αντλία γεώτρησης

Η μέγιστη παροχή της παραγωγικής γεώτρησης είναι $3.27\text{m}^3/\text{h}$ και το βάθος άντλησης είναι 40m . Οπότε η ισχύς εξόδου της αντλίας υπολογίζεται ως εξής:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot h}{n} = \frac{9810 \cdot \frac{3.27}{3600} \cdot 40}{0.5} = 712.86\text{W}$$

Όπου

γ : ειδικό βάρος του νερού, 9810 N/m^3

Q : η παροχή σε m^3/sec

h : το ύψος άντλησης σε m

n : βαθμός απόδοσης που κυμαίνεται από 0.5 μέχρι 0.7

Για να υπολογισθεί η ηλεκτρική ισχύς εισόδου θεωρούμε βαθμό απόδοσης 0.8 , οπότε έχουμε:

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{in} = \frac{P_{out}}{n} = \frac{712.86}{0.8} \Rightarrow P_{in} = 891W$$

Οπότε θα χρησιμοποιηθεί αντλία ισχύος 0.9kW

6.3 Σχεδιασμός συστήματος με κατακόρυφο γεωεναλλακτη

Η απόληψη θερμότητας (αποδιδόμενη ενέργεια από το γεωεναλλακτη) με βάση το βάθος δίνεται στον παρακάτω πίνακα

Ειδική Απόληψη Θερμότητας για κατακόρυφους γεωεναλλάκτες σύμφωνα με το VDI 4640

Είδος πετρωμάτων υπεδάφους	Ειδική Απόληψη Θερμότητας	
	Για 1800 h/έτος	Για 2400 h/έτος
Ξηρές φερτές ύλες	25 W/m	20 W/m
Αμμοχάλικο, άμμος-ξηρή	<25 W/m	<20 W/m
Αμμοχάλικο, άμμος-κορεσμένη με νερό	65-80 W/m	55-65 W/m
Αργιλώδες έδαφος, υγρό	35-50 W/m	30-40 W/m
Ασβεστόλιθος (συμπαγής)	55-70 W/m	45-60 W/m
Ψαμμίτες	65-80 W/m	55-65 W/m
Γρανίτης	65-85 W/m	55-70 W/m

Θα θεωρήσουμε αποδιδόμενη ενέργεια από το γεωεναλλακτη ίση με 85

$$\begin{aligned} \text{μήκος γεωεναλλακτη} &= \frac{\text{ονομαστική ισχύς αντλίας} \times \left(1 - \frac{1}{COP}\right)}{\text{αποδιδόμενη ενέργεια από γεωεναλλακτη}} \\ &= \frac{13900 \times \left(1 - \frac{1}{3.7}\right)}{85} = 119.33m \end{aligned}$$

6.4 Αντλία θερμότητας

Η ισχύς της ΓΑΘ για το εν λόγω κτήριο είναι

- Σε θέρμανση: 13.9kWth
- Σε κλιματισμό: 12,1kWc

Για θέρμανση σύμφωνα με τις προδιαγραφές της αντλίας ισχύουν τα εξής:

- Θερμική ισχύς που μεταφέρεται στο δευτερεύον/κλειστό κύκλωμα: 13.9 kW
- Ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται στο συμπιεστή: 2.5 kW
- Ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται στην αντλία πρωτεύοντος/ανοικτού; 0.9 kW
- Θερμική ισχύς που εξάγεται από τον γεωεναλλάκτη: 12.1 kW

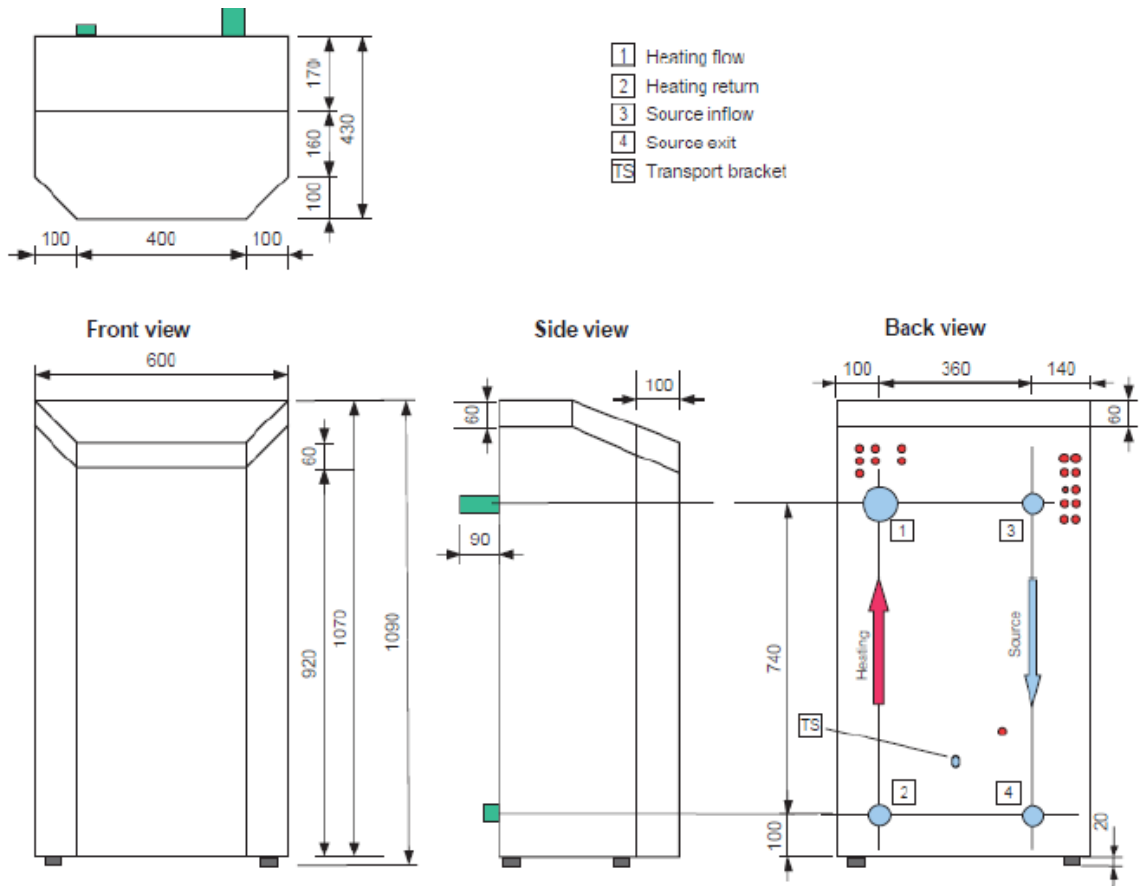
Για κλιματισμό σύμφωνα με τις προδιαγραφές της αντλίας ισχύουν τα εξής:

- Θερμική ισχύς που απορροφάται από το δευτερεύον/κλειστό κύκλωμα: 12.1 kW
- Ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται στο συμπιεστή: 2.5 kW
- Ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται στην αντλία πρωτεύοντος/ανοικτού; 0.9 kW
- Θερμική ισχύς που εισάγεται από τον γεωεναλλάκτη: 13.9 kW

Οι τεχνικές προδιαγραφές της ΓΑΘ φαίνονται παρακάτω

Type		HCW PN 19	HCW PN 25	HCW PN 32	HCW PN 35	HCW PN 42	HCW PN 48	HCW PN 60	HCW PN 75	HCW PN 94	HCW PN 124	HCW PN 144
Refrigerant		R407c	R407c	R407c	R407c	R407c	R407c	R407c	R407c	R407c	R407c	R407c
Refrigerant filling weight	kg	1,10	1,20	1,30	1,45	1,55	1,60	1,70	1,95	2,10	2,25	2,65
Heating capacity W10/W35	kW	6,2	8,3	10,3	12,1	13,9	15,4	17,6	21,6	26,9	34,2	42,7
Power consumption W10/W35	kW	1,15	1,43	1,79	2,13	2,50	2,69	3,21	3,78	4,8	6,18	7,82
Coefficient of performance W10/W35 (EN 255)		5,4	5,8	5,8	5,7	5,6	5,7	5,5	5,7	5,6	5,5	5,5
Coefficient of performance W10/W35 (EN 14511)		5,2	5,6	5,6	5,5	5,4	5,5	5,3	5,5	5,4	5,3	5,3
Heating capacity W10/W50	kW	5,4	7,0	8,8	10,2	12,2	13,6	16,1	19,8	25,2	31,4	38,6
Coefficient of performance W10/W50 (EN 255)		3,8	4,0	4,0	4,0	3,9	3,8	3,7	3,8	3,8	3,8	3,7
Coefficient of performance W10/W50 (EN 14511)		3,5	3,8	3,8	3,8	3,7	3,6	3,5	3,6	3,6	3,6	3,5
Heating capacity W10/W65	kW											
Coefficient of performance W10/W65 (EN 255)												
Coefficient of performance W10/W65 (EN 14511)												
Source min. Volume flow (at 5K)	m³/h	0,87	1,17	1,46	1,71	1,96	2,19	2,47	3,06	3,79	4,82	5,97
Source nominal volume flow (at 3K)	m³/h	1,45	1,96	2,44	2,85	3,27	3,64	4,11	5,11	6,32	8,03	9,95
Source internal pressure drop (at 3K)	hPa	125	220	153	169	170	170	206	242	290	454	320
Source connection dimensions	Inch	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1 ¼
Source entrance min	°C	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Source entrance max	°C	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Heating min. volume flow (at 10K)	m³/h	0,53	0,71	0,89	1,04	1,20	1,33	1,51	1,86	2,31	2,94	3,66
Heating nominal volume flow (at 5K)	m³/h	1,07	1,42	1,77	2,07	2,39	2,65	3,02	3,71	4,62	5,88	7,32
Heating internal pressure drop (at 5K)	hPa	66	84	79	88	90	108	113	126	190	240	115
Heating connection dimensions	Inch	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Heating flow temperature temporary max.	°C	65	65	65	65	65	65	65	65	60	60	60
Nominal voltage	V	230	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Starting current	A	<30	<30	<30	<30	<30	30	38	56	70	86	86
Starting current (limited)	A							19	29	40	42	48
Fuse (delay)	A	20	3x16	3x16	3x16	3x20	3x20	3x25	3x25	3x25	3x35	3x35
Measurement height	mm	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1080	1020	1020
Measurement width	mm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Measurement depth	mm	430	430	430	430	430	430	430	430	430	800	800
Weight	kg	106	106	129	129	131	138	138	153	153	173	208

Η αντλία θερμότητας έχει διαστάσεις 600mm×1080mm×430mm (πλάτος, ύψος, βάθος), βάρος 131kg και θα εγκατασταθεί στον υφιστάμενο χώρο εγκατάστασης θέρμανσης, στο υπόγειο του κτηρίου



HCW-PN- 19-124

Σχήμα 6-3 οι διαστάσεις της αντλίας θερμότητας

6.5 Υπολογισμός δοχείου διαστολής

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση

$$V_t = V_s \cdot \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)}$$

Όπου

V_1 : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία

V_2 : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία

V_s : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση

p_1 : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

p_2 : η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

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

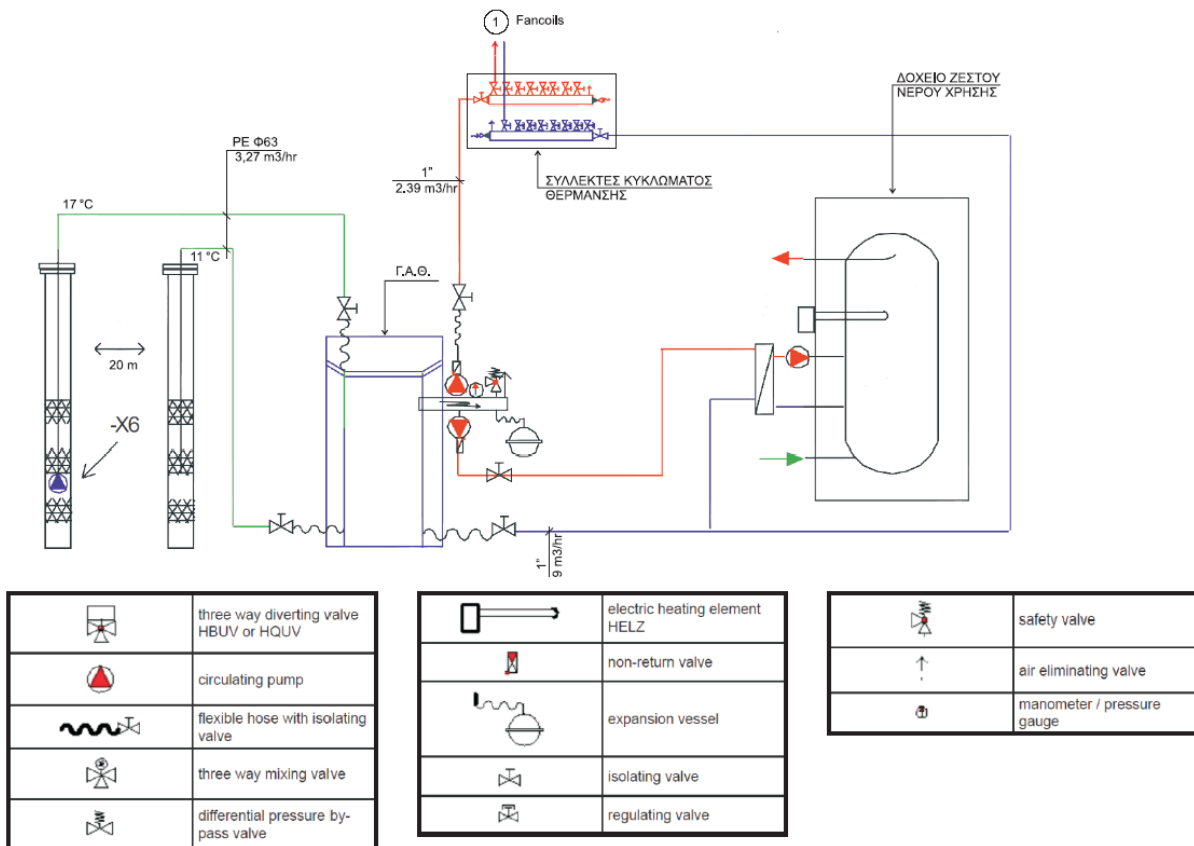
Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητα στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7bar ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαίωση

Η ελάχιστη στατική πίεση για τα υδραυλικά δίκτυα θέρμανσης λαμβάνεται 2m (0,2 bar). Συνεπώς η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο είναι $P_1 = 0,7 + 0,2 = 0,9\text{bar} = 90\text{kPa}$

Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφαλείας. Αυτή σύμφωνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι:

$$P_2 = P_1 + 1,3 = 2,2\text{bar} = 220\text{kPa}$$

$$V_t = V_s \cdot \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)} = V_s \cdot \frac{\left(\frac{0,0010121}{0,0010002}\right) - 1}{1 - \left(\frac{90}{220}\right)} = 0,02 \cdot V_s \text{ m}^3$$



Σχήμα 6-4 Ένα σκαρίφημα της εγκατάστασης

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

http://www.geoergo.gr/geothermia_pleonektimata.html

<https://repository.kallipos.gr>

<https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TM179/Παρουσιάσεις%20σεμιναρίων/Γεωθερμία.pdf>

<https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TM179/Παρουσιάσεις%20σεμιναρίων/Γεωθερμία.pdf>

<https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TM179/Παρουσιάσεις%20σεμιναρίων/Γεωθερμία.pdf>

<https://kluberinc.com/klubergeo/>

<http://heatpumpnewtaimedablogspot.com/2017/07/vertical-ground-source-heat-pump.html>

<https://www.kensaheatpumps.com/accessory/complete-unit/>

<https://anadrasi.com/geothermia.php>