



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ**

***Τεχνικό-Οικονομική Μελέτη Οριζοντίου Συστήματος  
Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας***



**Διπλωματική Εργασία Ζησκάτα Γ. Ζήση**  
**(Επιβλέπων Καθηγητής: Ν. Ανδρίτσος)**

**Βόλος, Μάρτιος 2006**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 5083/1

Ημερ. Εισ.: 06-11-2006

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ

2006

ZHZ

## **Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος  
(Επιβλέπων) Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών  
Βιομηχανίας,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Μιχαήλ Βλαχογιάννης  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της Διπλωματικής Εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Δρ. Νικόλαο Ανδρίτσο για την αποδοχή του να αναλάβω αυτήν την εργασία υπό την επίβλεψή του και για την πολύτιμη βοήθεια του. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής της διπλωματικής εργασίας, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Δρ. Βασίλειο Μποντόζογλου και διδάσκων Π.Δ. του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Δρ. Μιχαήλ Βλαχογιάννη, για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον κο Διαμαντίδη Κ. και στον κο Τσιούντα Δ. για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παραχώρησαν και για τον χρόνο που μοιράστηκαν μαζί μου.

Ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου Δουλγεράκη Ζαχαρία, Αγγελόπουλο Θεόδωρο, Φελέκη Δημήτρη και Καραλή Δημοσθένη για την βοήθεια και τις ωραίες στιγμές που μου χάρισαν τα χρόνια των σπουδών μου στο πανεπιστήμιο. Ειδικότερα την Καρακίτσιου Γεωργία για την βοήθεια και υποστήριξη που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Γεώργιο και Μαργαρίτα Ζησκάτα, αλλά και στον αδερφό μου Αντώνη, για την ηθική υποστήριξη και αγάπη που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Σας Ευχαριστώ...

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Αντικείμενο και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας .....	7
1.2 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	9
<b>2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ.....</b>	<b>10</b>
2.1 Ταξινόμηση .....	10
2.2 Άμεσες Χρήσεις Της Γεωθερμίας.....	12
2.3 Γεωθερμία Στην Ελλάδα .....	14
<b>3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΤΑΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....</b>	<b>16</b>
3.1 Εισαγωγή .....	16
3.2 Αρχή Λειτουργίας Της Αντλίας Θερμότητας.....	16
3.3 Απόδοση Αντλιών Θερμότητας .....	18
<b>4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΑΙΕΣ .....</b>	<b>21</b>
4.1 Εισαγωγή .....	21
4.2 Πλεονεκτήματα Των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας.....	25
4.3 Μειονεκτήματα Των Γεωθερμικών Συστημάτων.....	27
4.4 Εξοπλισμός.....	27
4.5 Ταξινόμηση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας.....	29
4.6 Ανοιχτά–Κλειστά Συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας.....	30
4.7 Τύποι Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας Ανοικτού Κυκλώματος .....	32
4.7.1 Γεωτρήσεις.....	32
4.7.2 Λίμνες.....	33
4.8 Τύποι Γεωθερμικών Εναλλακτών Θερμότητας Κλειστού Κυκλώματος.....	33
4.8.1 Οριζόντιο σύστημα.....	34
4.8.2 Διάταξη σειρών .....	34
4.8.3 Παράλληλη διάταξη.....	35
4.8.4 Κατακόρυφο σύστημα .....	35
4.8.5 Σπειροειδές σύστημα .....	36
4.8.6 Ενεργειακά Θεμέλια (geostructures) .....	37
4.9 Βασικό Σύστημα Αντλιών Θερμότητας .....	38
4.10 Διαμορφώσεις Αντλιών Θερμότητας.....	39
4.11 Λειτουργία Αντλιών Θερμότητας.....	40
4.11.1 Κύκλος Θέρμανσης .....	44
4.11.2 Ψυκτικός Κύκλος .....	46
4.11.3 Εσωτερικές Επιλογές Ζεστού Νερού (“desuperheater”) .....	47
4.12 Υλικά και Τμήματα Συστημάτων .....	49
4.12.1 Πλαστικός Σωλήνας .....	49
4.12.2 Διαλύματα Αντιψυκτικού .....	49
4.12.3 Μεταλλικά Τμήματα.....	50
4.12.4 Αντλίες Θερμότητας.....	51
4.12.5 Σύνοψη ΓΑΘ.....	52
<b>5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ .....</b>	<b>53</b>
5.1 Επίγεια Σύνδεση – ΓΑΘ Κλειστών Βρόχων.....	55
5.2 Υπολογισμός Γεωεναλλάκτη .....	55
5.3 Σχεδιάζοντας Την Θερμοκρασία Εισόδου Του Νερού ( $T_{ewi}$ ).....	56
5.4 Παράγοντας Φορτίου (F).....	57
5.5 Συντελεστής Απόδοσης (COP) και Χωρητικότητα (Q).....	58

5.6	Θερμοκρασία Εισόδου Νερού ( $T_{w,i}$ ) Για Κλειστά Συστήματα .....	58
<b>6</b>	<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....</b>	<b>60</b>
6.1	Προκαταρκτικά.....	60
6.2	Εξοπλισμός εγκατάστασης .....	62
6.3	Μηχανήματα Αλυσίδας Ανοίγματος Τάφρων (Trenchers).....	63
6.4	Μπουλντόζες .....	63
6.5	Εκσκαφείς .....	63
6.6	Δονητικά άροτρα.....	64
6.7	Κάθετες Μηχανές Γεωτρήσεων.....	64
6.8	Οριζόντιες Μηχανές Γεωτρήσεων.....	65
6.9	Δαπάνες Ανοίγματος Τάφρων με Μηχανήματα Αλυσίδων (Trenchers) και Διάτρησης .....	66
6.10	Εκτίμηση Εγκαταστάσεων Σωλήνων.....	66
6.11	Διαδικασία Trenching .....	67
6.12	Διαδικασία Εγκατάστασης Σωλήνων.....	68
6.13	Διαδικασία Επιχωμάτωσης Σωλήνων.....	69
6.14	“Headering Up” (Σύνδεση Βρόχων).....	70
<b>7</b>	<b>ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (Από την θεωρία στην πράξη) .....</b>	<b>71</b>
7.1	Πρακτική Εφαρμογή .....	71
7.2	Διαδικασία Εγκατάστασης .....	72
<b>8</b>	<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΗΠΑ.....</b>	<b>78</b>
8.1	Εισαγωγή .....	78
8.2	Ανάλυση .....	78
8.2.1	Κατοικίες.....	79
8.2.2	Σχολεία.....	81
8.2.3	Εμπορικά Κτίρια.....	82
8.3	Χρόνος Απόσβεσης.....	83
<b>9</b>	<b>ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΑΘ ΣΕ ΜΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ. ....</b>	<b>85</b>
9.1	Οικονομικά Στοιχεία .....	85
9.2	Σύγκριση Τιμών και Συζήτηση Αποτελεσμάτων.....	88
9.3	Συγκριτικά .....	89
9.4	Εκτίμηση Αγοράς των ΓΑΘ .....	89
<b>10</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>91</b>
10.1	Συμπεράσματα .....	91
10.2	Προτάσεις.....	92
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>95</b>



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1 Αντικείμενο και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας

---

Η σύγχρονη κοινωνία χαρακτηρίζεται από την εξάρτησή της από την ενέργεια. Τεράστιες ποσότητες καταναλώνονται καθημερινά για τη θέρμανση, τη μεταφορά και την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ο σύγχρονος κόσμος είναι τόσο εξαρτημένος από αυτήν, που έστω και μικρές μεταβολές στην προσφορά της, άρα και στην τιμή της, μπορούν να επηρεάσουν την οικονομία και την ποιότητα ζωής μιας χώρας (παράδειγμα οι δύο ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του '70).

Παράλληλα, η παραγωγή ενέργειας είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ρύπανση του περιβάλλοντος. Πολλά ρυπογόνα φαινόμενα, που συνδέονται με την παραγωγή ενέργειας (όπως η «όξινη βροχή», το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» και το «φωτοχημικό νέφος»), απασχολούν όλο και περισσότερο τους επιστήμονες. Επιπλέον, στο πρόβλημα της ενέργειας σημαντικό ρόλο παίζει και ο παράγοντας της σταδιακής εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων, όπως του γαιάνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου αλλά και των πυρηνικών καυσίμων.

Ένα παράδειγμα αλόγιστης χρήσης ενέργειας είναι η Ελλάδα όπου ένα μέσο κτίριο καλύπτει τις ανάγκες σε θέρμανση με κάποιο λέβητα πετρελαίου και τις υπόλοιπες ενεργειακές ανάγκες (συμπεριλαμβανομένης της ψύξης) με ηλεκτρισμό από το δίκτυο της ΔΕΗ. Αν αναλογιστεί κανείς ότι ο ένας στους δύο λέβητες δε συντηρείται καν σωστά και ότι το 90% περίπου του ηλεκτρισμού στην Ελλάδα παράγεται από ρυπογόνα ορυκτά



καύσιμα όπως ο λιγνίτης και το πετρέλαιο, θα καταλάβει γιατί ο κτιριακός τομέας συμβάλλει τόσο πολύ στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα, ένα κτίριο στη χώρα μας καταναλώνει την ίδια ποσότητα πετρελαίου για θέρμανση με ένα κτίριο σε μια βορειότερη χώρα, παρόλο που το κλίμα είναι πιο θερμό, λόγω της κακής μόνωσης που επικρατεί στα ελληνικά κτίρια.

Η αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) αποτελεί το κυριότερο από τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα της ρύπανσης και της εξάρτησής μας από τα συμβατικά καύσιμα, αλλά και να συμμορφωθούν οι χώρες με τις επιταγές του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Έτσι, σε μια προσπάθεια επίλυσης των παραπάνω προβλημάτων τα ανεπτυγμένα κράτη, με διάφορες αποφάσεις, έχουν επιδιώξει κατά καιρούς να προωθήσουν τη μείωση της χρήσης των συμβατικών καυσίμων και τη συμμετοχή των Α.Π.Ε. στην παραγωγή ενέργειας (παραδείγμα η «Λευκή Βίβλος» της Ευρωπαϊκής Ένωσης).

Μία από τις μορφές ενέργειας η οποία μπορεί να συνεισφέρει στους παραπάνω στόχους είναι και η λεγόμενη «**αβαθής γεωθερμική ενέργεια**», κατά την οποία γίνεται εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας που περιέχεται στο υπέδαφος με χρήση αντλιών θερμότητας. Η θερμοκρασία του εδάφους λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια είναι σταθερή και κυμαίνεται περίπου στους 20°C, παρουσιάζοντας μικρές μεταβολές αναλόγως του υψόμετρου αλλά και της περιοχής, συναρτήσει της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (ΓΑΘ) απορροφούν τη θερμότητα από το έδαφος και τη μεταφέρουν στο κτίριο δημιουργώντας έτσι άνετες συνθήκες διαμονής και εργασίας. Το αντίστροφο μπορεί να γίνει το καλοκαίρι, όπου αντλείται η θερμοκρασία από το σπίτι και διοχετεύεται στο έδαφος το οποίο έχει χαμηλότερη θερμοκρασία.

Σκοπός, λοιπόν, της εργασίας αυτής είναι η ανασκόπηση και αξιολόγηση της τεχνολογίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, ειδικότερα των οριζοντίων συστημάτων, και μια τεχνικό-οικονομική προσέγγιση ενός τυπικού συστήματος στη χώρα μας. Επίσης στο πλαίσιο της εργασίας επιχειρήθηκε να αξιολογηθούν οι απόψεις χρηστών ΓΑΘ στη χώρα μας, με τη βοήθεια των οποίων θα μπορούσαμε να διαμορφώσουμε σειρά προτάσεων για την αποτελεσματικότερη διείσδυση αυτής της τεχνολογίας στην αγορά.

## 1.2 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

---

Στο Κεφάλαιο 2 της Εργασίας γίνεται η ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων, αναφέρεται σε ποιους τομείς βρίσκουν εφαρμογή και παρουσιάζεται ανασκόπηση της κατάστασης αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα. Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφονται συνοπτικά οι αρχές λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας. Στο επόμενο Κεφάλαιο (4) επιχειρείται η σύνδεση των δυο προηγούμενων κεφαλαίων με σκοπό την περιγραφή και κατανόηση της τεχνολογίας που θέλουμε να αναλύσουμε, τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ). Ακολουθούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΓΑΘ καθώς και η ταξινόμηση τους. Στο ίδιο κεφάλαιο περιγράφεται και ο βασικός εξοπλισμός που χρειάζονται αυτά τα συστήματα. Το Κεφάλαιο 5 επεξηγεί τη διαδικασία με την οποία μπορεί κανείς να υπολογίσει την θερμοκρασία του εδάφους, σε συγκεκριμένο βάθος, αλλά και άλλα στοιχεία για τον σωστό προγραμματισμό της αντλίας θερμότητας. Το Κεφάλαιο 6 περιγράφει τη διαδικασία εγκατάστασης του γεωεναλλάκτη ενώ στο 7 παρουσιάζεται μια πρακτική εφαρμογή στο στάδιο της εγκατάστασης του γεωεναλλάκτη. Εν συνεχεία, το Κεφάλαιο 8 περιλαμβάνει μια οικονομική ανασκόπηση των συστημάτων ΓΑΘ που έχουν εγκατασταθεί στην Αμερική. Στο Κεφάλαιο 9 γίνεται μια προσεγγιστική ανάλυση για ένα σπίτι στην Ελλάδα, στο οποίο έχει εγκατασταθεί τέτοιο σύστημα και επιχειρείται μια έρευνα αγοράς μέσω δυο συνεντεύξεων με κατασκευαστές συστημάτων ΓΑΘ στην Ελλάδα. Τέλος, το τελευταίο Κεφάλαιο επικεντρώνεται στα συμπεράσματα της εργασίας και προτείνονται λύσεις για την εξέλιξη των ΓΑΘ και την αποτελεσματικότερη εισαγωγή τους στην ελληνική αγορά.

## 2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

---

### 2.1 Ταξινόμηση

---

Δυστυχώς, δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη διεθνώς καθιερωμένη ορολογία που να χρησιμοποιείται από το σύνολο της γεωθερμικής κοινότητας, ώστε να διευκολύνεται η αμοιβαία κατανόηση και συνεννόηση στον τομέα της ταξινόμησης των γεωθερμικών πόρων.

Εντούτοις, το πλέον συνηθισμένο κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών πόρων είναι αυτό που βασίζεται στην ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία λειτουργούν ως ο φορέας «μεταφοράς» της θερμότητας από τα βαθιά και θερμά πετρώματα προς την επιφάνεια. Η ενθαλπία, η οποία σε γενικές γραμμές θεωρείται ανάλογη της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για να εκφράσει την περιεχόμενη θερμική ενέργεια των ρευστών δίνοντας κατά αυτόν τον τρόπο μια γενική εικόνα της ενεργειακής «αξίας» τους. Σύμφωνα με το ενεργειακό τους περιεχόμενο και τις πιθανές μορφές αξιοποίησής τους οι γεωθερμικοί πόροι διακρίνονται σε χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας (ή θερμοκρασίας). Η παραπάνω ταξινόμηση, μη αποτελώντας κοινή αποδεκτή μέθοδο, οδηγεί συχνά σε συγχύσεις και παρανοήσεις. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η καθιέρωση μίας κοινής μεθόδου κρίνεται αναγκαία για την αποφυγή τέτοιων προβλημάτων. Όμως, μέχρι να συμβεί αυτό, θα πρέπει κάθε φορά και κατά περίπτωση να δηλώνουμε τις τιμές των θερμοκρασιών ή το εύρος τους, διότι όροι όπως «χαμηλή», «ενδιάμεση» ή «υψηλή» δεν έχουν πάντα την ίδια ερμηνεία και πολλές φορές χαρακτηρίζονται ως παραπλανητικοί.

#### **Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας**

Χαρακτηρίζονται από θερμοκρασίες μεταξύ 150 και 300°C. Στην περίπτωση αυτή ο ατμός που εξάγεται από τη γη, υπέρθερμος ή μετά από επεξεργασία υγρός, χρησιμοποιείται σε στροβίλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι στην Ιταλία, τις ΗΠΑ, τη Νέα Ζηλανδία, την Τουρκία, την Ισλανδία και σε άλλες χώρες έχουν κατασκευαστεί ή γίνονται προσπάθειες δημιουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε γεωθερμικές πηγές ατμού. Οι γεωθερμικοί σταθμοί στις ΗΠΑ παράγουν

ήδη 2500 MW. Σύμφωνα με προβλέψεις οι εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία στη χώρα αυτή θα αυξηθούν ώστε η ισχύς τους έως το έτος 2010 να φτάσει τα 12000 MW και έως το έτος 2030 τα 49000 MW. Η παγκόσμια σημερινή εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία σε 20 χώρες φτάνει τα 6000 MW, ενώ το γεωθερμικό δυναμικό στις χώρες αυτές φτάνει τα 80000 MW. Τα γεωθερμικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τα πλέον αξιόπιστα. Κατά αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να εξασφαλιστεί συνεχής λειτουργία που αγγίζει το 97%, ποσοστό που δείχνει ότι η λειτουργία αυτή είναι μεγαλύτερη από κάθε άλλο είδος σταθμών παραγωγής. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι τα εργοστάσια που λειτουργούν με άνθρακα διαθέτουν τη δυνατότητα συνεχούς λειτουργίας ίση με 75% και οι πυρηνικοί σταθμοί 65%. Η προκατασκευή των ηλεκτροπαραγωγικών γεωθερμικών μονάδων επιτρέπει την ταχεία εγκατάστασή τους ώστε να θεωρείται δυνατή η κατασκευή ενός σταθμού 10 MW σε έξι μήνες και η κατασκευή ενός σταθμού παραγωγής 250 MW σε δύο έτη.

### **Γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας**

Χαρακτηρίζονται από γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας μεταξύ 90 και 150°C. Οι θερμοκρασίες αυτές δεν κρίνονται επαρκείς ώστε να επιτρέπουν την άμεση μετατροπή του ατμού σε ηλεκτρική ενέργεια. Καθίσταται έτσι αναγκαία η μεσολάβηση ενδιάμεσων πτητικών ρευστών όπως η αμμωνία, το ισοβουτάνιο κτλ. Παρά το γεγονός ότι αυτός ο τρόπος αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών προξενεί ορισμένες τεχνικές δυσκολίες είναι γνωστή η ύπαρξη εγκαταστάσεων αυτού του τύπου στη Ρωσία, στις ΗΠΑ, στην Κίνα και αλλού. Οι εγκαταστάσεις αυτής της κατηγορίας αναμένεται να αξιοποιηθούν ιδιαίτερα στο μέλλον γιατί επιτρέπουν την εύκολη εισαγωγή του γεωθερμικού ρευστού στο υπέδαφος.

### **Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας**

Περιλαμβάνουν θερμό νερό θερμοκρασίας 60 ως 90°C που χρησιμοποιείται για θέρμανση κατοικιών αλλά και αγροτικών ή βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Ο τύπος αυτός γεωθερμίας εμφανίζεται πολύ συχνά και οδηγεί αναμφίβολα σε ιδιαίτερα γενικευμένη χρήση μετά από επιτυχείς εγκαταστάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην

Ουγγαρία, την Ισλανδία, τη Ρωσία, τη Γαλλία και άλλες χώρες. Η μεγάλη δαπάνη που απαιτείται για βαθιές γεωτρήσεις επιβάλλει σχετική συγκέντρωση των χρήσεων.

### **Γεωθερμικά πεδία αβαθούς θερμότητας**

Στην πραγματικότητα πρόκειται για εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμίας που αποθηκεύεται στο έδαφος και υπόγεια νερά σε υπέδαφος βάθους το πολύ 200 m κάτω από την επιφάνεια της γης. Η θερμότητα αυτή, γνωστή και ως αβαθής γεωθερμική ενέργεια, περιλαμβάνει ποσοστό ηλιακής προέλευσης. Η διατήρηση, κατά τη διάρκεια ολόκληρου του έτους, της θερμοκρασίας σε σταθερά επίπεδα που κυμαίνονται από 15 ως 25°C αποτελεί το βασικό πλεονέκτημα των αβαθών γεωθερμικών πηγών ενέργειας. Ο πιο σημαντικός παράγοντας που χαρακτηρίζει ένα γεωθερμικό πεδίο εκτός από το βάθος της γεώτρησης είναι η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού. Αυτή αυξάνει με το βάθος και εξαρτάται από το γεωθερμικό πεδίο. Ενώ η κανονική τιμή της γεωθερμικής κλίμακας εξασφαλίζει διαφορά 1°C ανά 30 m, σε γνωστά γεωθερμικά πεδία ξεπερνά και τους 10°C ανά 100 m. Τα γεωθερμικά πεδία αβαθούς θερμότητας αποτελούν την πηγή ενέργειας των ΓΑΘ που θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια.

## **2.2 Άμεσες Χρήσεις Της Γεωθερμίας**

---

Οι άμεσες χρήσεις της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση χαρακτηρίζονται ως οι παλαιότερες, οι πιο πολύπλευρες και οι πλέον συνηθισμένες μορφές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Η λουτροθεραπεία, η θέρμανση χώρων και η τηλεθέρμανση, οι αγροτικές εφαρμογές, οι υδατοκαλλιέργειες καθώς και ορισμένες βιομηχανικές χρήσεις είναι οι πιο γνωστές μορφές εκμετάλλευσης, όμως οι αντλίες θερμότητας αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή αξιοποίησης (12,5% της συνολικής χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας κατά το έτος 2000). Υπάρχουν φυσικά και κάποιοι άλλοι μικρότερης κλίμακας τρόποι εκμετάλλευσης της γεωθερμίας, οι οποίοι όμως δεν είναι τόσο συνηθισμένοι. Η θέρμανση χώρων και η τηλεθέρμανση (space and district heating) παρουσίασαν μεγάλη ανάπτυξη στην Ισλανδία, όπου η συνολική ισχύς του γεωθερμικού συστήματος τηλεθέρμανσης ανερχόταν στα τέλη του 1999 περίπου σε 1200 MWt. Επίσης, αποτελούν ιδιαίτερα διαδεδομένες εφαρμογές και στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, καθώς και τις Η.Π.Α., Κίνα, Ιαπωνία, Γαλλία, κ.α.

Τα γεωθερμικά συστήματα τηλεθέρμανσης, όπως και οι λοιπές γεωθερμικές εφαρμογές είναι εντάσεως κεφαλαίου. Απαιτούν δηλαδή μεγάλο αρχικό κεφάλαιο. Το κύριο κόστος αφορά στην αρχική επένδυση για την κατασκευή των γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής, την αγορά των συστημάτων άντλησης και μεταφοράς των ρευστών, την κατασκευή των δικτύων και των σωληνώσεων, την προμήθεια του εξοπλισμού ελέγχου και παρακολούθησης των εγκαταστάσεων, την κατασκευή των σταθμών διανομής και των δεξαμενών αποθήκευσης. Παρ' όλα αυτά, τα λειτουργικά έξοδα, τα οποία αφορούν στην ενέργεια που καταναλώνεται για την άντληση των ρευστών, τη συντήρηση του συστήματος και τη διαχείριση της εγκατάστασης, είναι σημαντικά μικρότερα σε σύγκριση με αυτά μιας συμβατικής μονάδας. Ένας κρίσιμος παράγοντας για τον υπολογισμό του αρχικού κόστους του συστήματος είναι η πυκνότητα του θερμικού φορτίου ή αλλιώς, οι απαιτήσεις σε θέρμανση προς την επιφάνεια που καλύπτει η περιοχή που πρόκειται να θερμανθεί. Η υψηλή θερμική πυκνότητα καθορίζει την οικονομική βιωσιμότητα και σκοπιμότητα του έργου τηλεθέρμανσης, αφού το δίκτυο διανομής απορροφά μεγάλα κεφάλαια. Κάποια οικονομικά οφέλη θα μπορούσαν να προκύψουν από το συνδυασμό θέρμανσης και ψύξης σε περιοχές όπου οι κλιματικές συνθήκες επιτρέπουν τέτοιες εφαρμογές. Ο συντελεστής φορτίου σε ένα τέτοιο σύστημα ψύξης-θέρμανσης χρειάζεται να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που αντιστοιχεί μόνο στη θέρμανση, και η τιμή της ενεργειακής μονάδας πρέπει να είναι κατά συνέπεια χαμηλότερη (Gudmundsson, 1988). Η ψύξη χώρων αποτελεί μια αρκετά εφικτή και βιώσιμη επιλογή, στην περίπτωση όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανές απορρόφησης, οι οποίες βρίσκονται εύκολα στο εμπόριο και η τεχνολογία τους είναι ευρέως γνωστή. Ο κύκλος της απορρόφησης αποτελεί μια διαδικασία που χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας τη θερμότητα έναντι του ηλεκτρισμού. Η ψύξη επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο υγρών: ενός ψυκτικού, το οποίο κυκλοφορεί, εξατμίζεται και συμπυκνώνεται, και ενός δευτερεύοντος ρευστού. Για εφαρμογές πάνω από 0°C, ο κύκλος χρησιμοποιεί βρωμίδιο του λιθίου ως απορροφητικό και νερό ως ψυκτικό υγρό. Τα γεωθερμικά ρευστά παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση αυτών των μηχανών, όμως η αποτελεσματικότητά τους μειώνεται όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες των 105°C. Ο γεωθερμικός κλιματισμός (θέρμανση και ψύξη) χώρων άρχισε να αναπτύσσεται σημαντικά από τη δεκαετία του 1980, ακολουθώντας την εμφάνιση και την ευρεία

διάδοση των αντλιών θερμότητας. Οι υπάρχοντες διαθέσιμοι τύποι αντλιών θερμότητας επιτρέπουν τη λήψη και χρήση με οικονομικό τρόπο του θερμικού περιεχομένου των σωμάτων χαμηλής θερμοκρασίας, όπως είναι το έδαφος ή οι ρηχοί υδροφόροι, τεχνητές ή φυσικές συγκεντρώσεις νερού κ.λ.π

Συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας κλειστού κυκλώματος που είναι συνδεδεμένες με το υπέδαφος (ground-coupled) και αντλιών επιφανειακού ή υπεδάφιου νερού (ground-water) βρίσκονται σήμερα εγκατεστημένα σε 27 χώρες, με συνολική θερμική ισχύ που ανήλθε σε 6.875 MWt κατά το έτος 2000. Η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων βρίσκεται στις ΗΠΑ (4.800 MWt), Ελβετία (500 MWt), Σουηδία (377 MWt), Καναδά (360 MWt), Γερμανία (344 MWt) και Αυστρία (228 MWt) (Lund, J. W., 2001). Στη λειτουργία των συστημάτων αυτών χρησιμοποιούνται ρηχοί υδροφόροι ορίζοντες ή εδάφη και υπόγεια πετρώματα, με θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 5-30°C.

## 2.3 Γεωθερμία Στην Ελλάδα

---

Στο γεωθερμικό πεδίο της νήσου Μήλου κατασκευάστηκε και λειτούργησε πειραματική μονάδα 2 MW, η οποία όμως σήμερα δε λειτουργεί των αντιδράσεων των κατοίκων για τις περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις που προκαλούσε η λειτουργία της. Ομοίως στο γεωθερμικό πεδίο της Νισύρου, στο οποίο είχε προγραμματιστεί επίσης κατασκευή σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, δεν προχώρησε η διαδικασία εγκατάστασης εξ' αιτίας του ίδιου λόγου. Ήδη σε εξέλιξη βρίσκεται δημοπρασία της ΔΕΗ για τη διεξαγωγή πειραματικών γεωθερμικών γεωτρήσεων στη νήσο Λέσβο, που διαθέτει σχετικά περιορισμένα γεωθερμικά πεδία, κατάλληλα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πολλές επιστημονικές εργασίες που έχουν ανακοινωθεί σε επιστημονικά συνέδρια (όπως του Ινστιτούτου Ηλιακής Τεχνικής) δείχνουν ότι υπάρχει δυνατότητα εφαρμογής ακόμη και τηλεθέρμανσης οικισμών ή ειδικών μονάδων κτιρίων όπως νοσοκομειακών μονάδων, δημόσιων κτιρίων (στρατώνων, σωφρονιστικών καταστημάτων, σχολικών κτιρίων κτλ.), ξενοδοχειακών μονάδων κ.ά. Βέβαια για κάθε παρόμοια εγκατάσταση θα

πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες μελέτες σκοπιμότητας και οι σωστές μελέτες εγκατάστασης με τα κατάλληλα υλικά και με επιλεγμένες προδιαγραφές.



## **3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

---

### **3.1 Εισαγωγή**

---

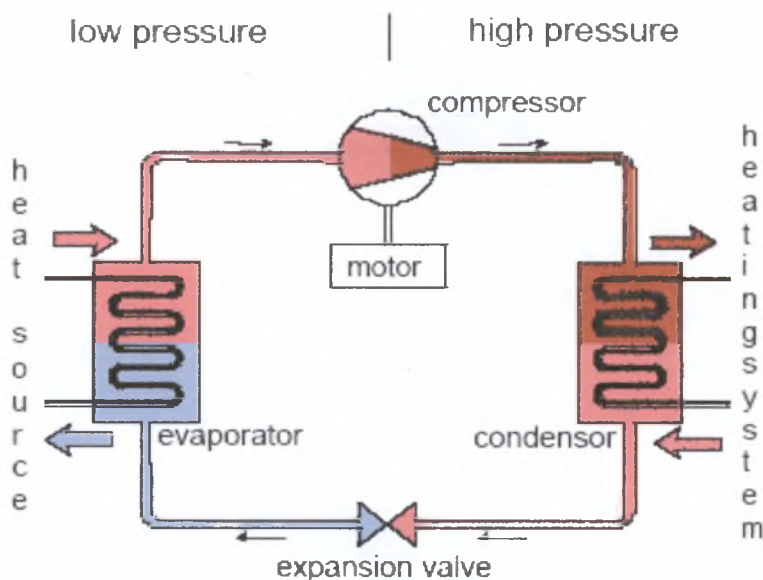
Γενικά, αντλία θερμότητας μπορεί να θεωρηθεί μια συσκευή που χρησιμοποιεί τη θερμότητα από ένα επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας και μεταφέρει τη θερμότητα αυτή σε ένα υψηλότερο, χρήσιμο επίπεδο χρησιμοποιώντας μια εξωτερική κινητήρια δύναμη (μηχανική ενέργεια ή υψηλής θερμοκρασίας θερμότητα). Αυτό καθιστά την αντλία θερμότητας κατάλληλη για την εκμετάλλευση της ρηχής γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση. Η θερμότητα εξάγεται από το έδαφος σε θερμοκρασίες μεταξύ  $-5^{\circ}\text{C}$  και  $+10^{\circ}\text{C}$  και παρέχεται σε ένα σύστημα θέρμανσης  $35-55^{\circ}\text{C}$ . Παρατηρείται ότι όσο μικρότερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας (π.χ.  $0^{\circ}\text{C}$  σε  $35^{\circ}\text{C}$ ), τόσο λιγότερη ενέργεια απαιτείται και τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του συστήματος. Αναλογία στην αντλία θερμότητας μπορεί να βρεθεί ουσιαστικά σε όλες τις σύγχρονες οικογένειες (π.χ. το ψυγείο). Επίσης οι αντλίες θερμότητας είναι δυνατό να σχεδιαστούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τους δύο λόγους, θέρμανση τον χειμώνα και ψύξη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Τέτοιες αντιστρέψιμες αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται σε μεγάλους αριθμούς στην Ιαπωνία και τη Βόρεια Αμερική, ενώ στην Ευρώπη επικρατεί η αντλία θερμότητας μόνο για θέρμανση (θέρμανση σπιτιών και ζεστό νερό για οικιακή χρήση).

### **3.2 Αρχή Λειτουργίας Της Αντλίας Θερμότητας**

---

Οι αρχές λειτουργίας των αντλιών θερμότητας μπορούν να διακριθούν στους κύκλους συμπίεσης και προσρόφησης. Το Σχήμα 3.1 παρουσιάζει τη σχηματική αναπαράσταση μιας αντλίας θερμότητας συμπίεσης. Ο κύκλος λειτουργίας είναι ο ακόλουθος: Η θερμότητα σε ένα επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας εξατμίζει ένα μέσο με χαμηλό σημείο βρασμού (ψυκτικό μέσο, σήμερα συνήθως διάφορα χημικά όπως το R-134a ή μια φυσική ψυκτική ουσία όπως το προπάνιο ή το  $\text{CO}_2$ ), ο ατμός έπειτα συμπιέζεται σε έναν συμπιεστή (συνήθως περίπου σε 20 bar) και με αυτόν τον τρόπο θερμαίνεται. Κάτω από την υψηλή πίεση και την υψηλή θερμοκρασία το ψυκτικό μέσο μεταφέρει τη θερμότητά του στο νερό θέρμανσης ή στον αέρα, όπου κρυνώνει και συμπυκνώνεται. Η ψυκτική ουσία κινείται έπειτα πίσω στο στάδιο χαμηλής πίεσης μέσω

μιας βαλβίδας διαστολής ή ενός τριχοειδούς σωλήνα, η θερμοκρασία πέφτει σημαντικά και το μέσο μπορεί να εξατμιστεί πάλι στο στάδιο χαμηλής θερμοκρασίας. Στη συνέχεια ο κύκλος ξεκινάει από την αρχή. Οι συμπιεστές αντλιών θερμότητας συνήθως κινούνται από ηλεκτρικές μηχανές. Μόνο για τις μεγάλες αντλίες θερμότητας, οι μονάδες κινούνται με υγραέριο ή diesel μηχανές. Οι αντλίες θερμότητας που οδηγούνται από μηχανές εσωτερικής καύσης επιτρέπουν επίσης τη χρήση της θερμότητας από την ψύξη της μηχανής και τη θερμότητα των καυσαερίων για τη θέρμανση. Συστήματα που χρησιμοποιούν την ηλεκτρική ενέργεια από μια μονάδα συμπαραγωγής θερμότητας, για να ενεργοποιήσουν μια ηλεκτρικά κινούμενη αντλία θερμότητας (παραδείγματα μπορούν να βρεθούν στην Ελβετία και τη Γερμανία) θα μπορούσαν να θεωρηθούν αντλίες θερμότητας, κινούμενες από μηχανές εσωτερικής καύσης, με μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας.



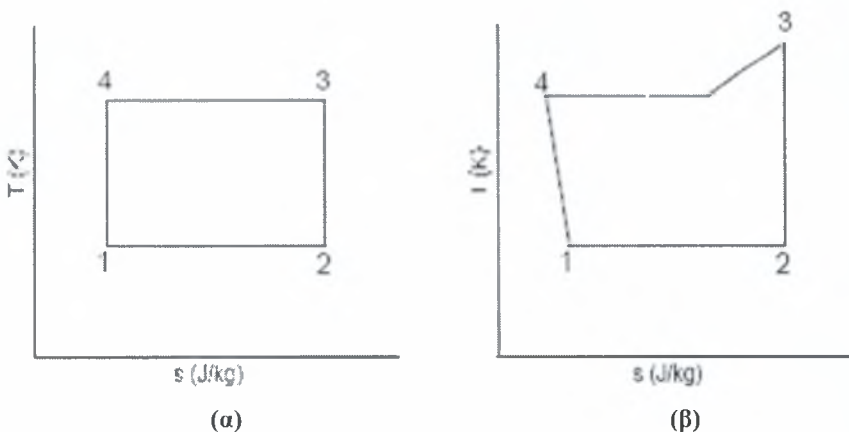
Σχήμα 3.1: Σχηματική αναπαράσταση μιας αντλίας θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας προσρόφησης χρησιμοποιούν τις αντιστρέψιμες φυσικό - χημικές διεργασίες, όπου δύο υλικά χωρίζονται με θερμότητα, και απελευθερώνουν θερμότητα πάλι κατά τη διάρκεια του επανασυνδυασμού (απορρόφηση, προσρόφηση, αναρρόφηση). Στην περίπτωση που ένα μέσο έχει χαμηλό σημείο βρασμού τότε μπορεί να χρησιμοποιήσει τη θερμότητα από ένα επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας. Ένα

χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι νερό και αμμωνία, η οποία διαλύεται (απορροφάται) στο νερό. Μια αντλία θερμότητας προσρόφησης μπορεί ακόμη να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα στερεό υλικό, όπως ζεόλιθο με μέσο λειτουργίας το νερό. Η ενέργεια της διαδικασίας δεν είναι μηχανική ενέργεια για έναν συμπιεστή, αλλά θερμότητα για τη διαδικασία διαχωρισμού. Αυτή η θερμότητα μπορεί να παρασχεθεί από φυσικό αέριο, πετρέλαιο καυσίμων ή περιττή θερμότητα από άλλη διαδικασία (waste heat). Η απλούστερη μορφή τους είναι μια αντλία θερμότητας απορρόφησης, αποτελούμενη από τον εξατμιστήρα, τον απορροφητή, την αντλία διαλύματος, τον διαχωριστή, τον συμπυκνωτή και την βαλβίδα εκτόνωσης. Σε χαμηλά επίπεδα απόδοσης, οι αντλίες θερμότητας απορρόφησης είναι διαθέσιμες από 25 kW ικανότητα θέρμανσης και πάνω.

### 3.3 Απόδοση Αντλιών Θερμότητας

Στον Πίνακα 3.1 παρατίθενται οι σημαντικότερες παράμετροι αποδοτικότητας μιας αντλίας θερμότητας ή ενός συστήματος αντλιών θερμότητας, αντίστοιχα. Οι ιδανικές καταστάσεις μιας αντλίας θερμότητας και ως εκ τούτου η συγκριτική μέτρηση επιδόσεων για τον υψηλότερο πιθανό συντελεστή της απόδοσης (COP) (η απόδοση των αντλιών θερμότητας μετριέται με τον συντελεστή απόδοσης COP, ο οποίος ισούται με τον λόγο της ενέργειας που παράχθηκε προς την ενέργεια που δόθηκε στο σύστημα για να παραχθεί), περιγράφονται από τον κύκλο Carnot (Σχήμα 3.2). Στο κύκλο Carnot, το μέσο λειτουργίας υποβάλλεται στην ακόλουθη διαδικασία κύκλων:



Τμήμα 1-2: Ισόθερμη προσθήκη θερμότητας

Τμήμα 2-3: Ισεντροπική συμπίεση

Τμήμα 3-4: Ισόθερμη αποβολή θερμότητας

Τμήμα 4-1: Ισεντροπική εκτόνωση

Σχήμα 3.2: Διάγραμμα T – S του κύκλου CARNOT, α) θεωρητικό και β) πραγματικό

Πίνακας 3.1: Παράμετροι απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας

Παράμετροι	Υπολογισμός	Σημασία
Συντελεστής Απόδοσης COP	Ο λόγος της παραγόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο ηλεκτρικό ρεύμα που χρειάζεται για να παραχθεί	Αποδοτικότητα μιας ηλεκτρικά κινούμενης αντλίας θερμότητας
Εποχιακός Συντελεστής Απόδοσης SPF	Ο λόγος της ετήσιας παραγόμενης θερμότητας προς την ετήσια κατανάλωση ρεύματος για την παραγωγή της	Πιο περιγραφικός δείκτης για την απόδοση συστημάτων με χρονικές μεταβολές
«Heating Number»	Ο λόγος της παραγόμενης θερμότητας προς το καταναλισκόμενο μηχανικό έργο για την παραγωγή της	Αποδοτικότητα μιας μηχανικά κινούμενης αντλίας θερμότητας

Στην πραγματική διαδικασία της αντλίας θερμότητας, η διαστολή δεν είναι ισεντροπική και η συμπίεση πρέπει να φθάσει σε μια θερμοκρασία πολύ μεγαλύτερη από αυτήν της ισόθερμης συμπύκνωσης (Σχήμα 3.2) Όσο μεγαλύτερο είναι το ισόθερμο μέρος του τμήματος 3 - 4, τόσο πιο κοντά φθάνει η αντλία θερμότητας στη διαδικασία Carnot. Ο COP της αντλίας θερμότητας, σε σύγκριση με την ιδανική διαδικασία Carnot, περιγράφει την απόδοση Carnot  $n_c$ , ο οποίος αποδίδεται ως εξής:

$$n_c = \frac{P_c}{P} \quad (3.1)$$

όπου  $P_c$  είναι η ενέργεια ενεργοποίησης της αντλίας θερμότητας Carnot και  $P$  η ενέργεια ενεργοποίησης της πραγματικής αντλίας θερμότητας

Σε μια πραγματική αντλία θερμότητας, υπάρχουν περισσότερες διαφορές από την ιδανική διαδικασία Carnot. Γενικά απαιτείται μια συγκεκριμένη υπερθέρμανση στον

εξαμιστήρα με σκοπό να εξασφαλιστεί η πλήρης εξάτμιση προκειμένου να προστατευθεί ο συμπιεστής από το υγρό (που δεν είναι συμπιέσιμο). Οι περαιτέρω απώλειες μπορούν να βρεθούν στο συμπιεστή και στη συσκευή διαστολής. Ο COP των σύγχρονων ηλεκτρικών αντλιών θερμότητας θα μπορούσε να αυξηθεί σταθερά κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, χρησιμοποιώντας νέα ψυκτικά μέσα, καλύτερους τύπους συμπιεστών, κ.α. Αυτό γίνεται προφανές στις μετρήσεις από το ελβετικό κέντρο δοκιμής για τις αντλίες θερμότητας του Töss, όπου οι αντλίες θερμότητας εξετάζονται ανεξάρτητα υπό τις ελεγχόμενες συνθήκες. Η αποδοτικότητα κατά τη διάρκεια μιας πιο μεγαλύτερης περιόδου καθορίζεται από τον εποχιακό παράγοντα απόδοσης (SPF). Έτσι καθίσταται δυνατό να μετρηθεί η ηλεκτρική εισαγωγή και η θερμική παραγωγή άνω του π.χ. ενός έτους. Εκτός από την ηλεκτρική κατανάλωση ισχύος του συμπιεστή, εξετάζεται επίσης και αυτή των απομακρυσμένων συσκευών όπως των αντλιών στο επίγειο σύστημα. Ενώ ο COP μετριέται κάτω από τις ελεγχόμενες καταστάσεις και δεδομένα σημεία θερμοκρασίας, αυτές οι τιμές για τον SPF ακολουθούν τις πραγματικές συνθήκες συστημάτων της εγκατάστασης κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής περιόδου. Κατά συνέπεια ο SPF αποτελεί ένα πιο χρήσιμο εργαλείο για να περιγράψει την απόδοση ενός συστήματος για τη χρήση επίγειας θερμότητας, ενώ ο COP επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ των μεμονωμένων εμπορικών σημάτων αντλιών θερμότητας και των τύπων. Οι κορυφαίες σήμερα αντλίες θερμότητας υπόγειων νερών έχουν χαρακτηριστικό SPF στη σειρά της Ευρώπης μεταξύ 4,0 και 4,5, ενώ οι αντλίες θερμότητας με BHE επιτυγχάνουν 3,8 έως 4,3. Πρέπει να σημειωθεί ότι προϋποθέσεις για τέτοιο υψηλό SPF είναι οι ικανοποιητικού μεγέθους γεωεναλλάκτες και τα συστήματα διανομής θερμότητας να βρίσκονται σε ένα χαμηλό επίπεδο θερμοκρασίας (π.χ. 35°C με θέρμανση πατωμάτων).

## 4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ

---

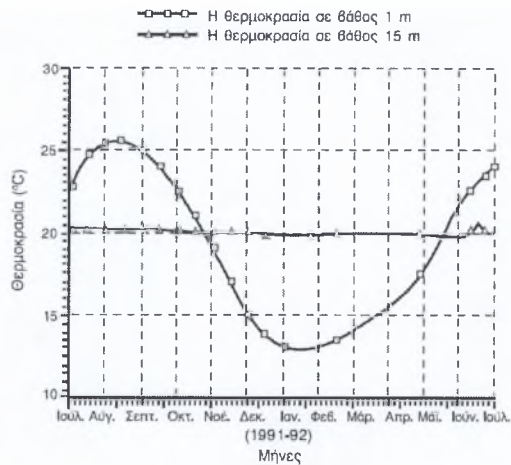
### 4.1 Εισαγωγή

---

Κατ' αρχάς, χρειάζεται να αναφερθούν δύο συντημήσεις, οι οποίες γράφονται συχνά, χάριν συντομίας:

- ΓΑΘ : Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας
- ΒΗΕ : Εναλλάκτης θερμότητας γεωτρήσεων (στις ΗΠΑ, είναι γνωστός ο όρος «κατακόρυφος βρόχος» (vertical loop), τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε και εμείς)

Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες δεν χαρακτηρίζονται από άφθονους υδρογεωθερμικούς πόρους που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για άμεση χρήση (μερικές εξαιρέσεις είναι η Ισλανδία, η Ουγγαρία και η Γαλλία). Η χρησιμοποίηση των υδροφόρων στρωμάτων χαμηλής ενθαλπίας που επιτρέπουν τον ανεφοδιασμό ενός μεγαλύτερου αριθμού πελατών με τη θέρμανση περιοχής περιορίζεται μέχρι τώρα στις περιοχές με τις συγκεκριμένες γεωλογικές τοποθετήσεις. Εντούτοις, τα υπόγεια στρώματα στα πρώτα περίπου 100-200 m είναι καλά ανεφοδιασμένα με θερμική ενέργεια. Η κλιματολογική αλλαγή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των εποχών μειώνεται σε μια σταθερή θερμοκρασία σε βάθος 10-20 m (Σχήμα 4.1) και με περαιτέρω αύξηση του βάθους αυξάνεται και η θερμοκρασία σύμφωνα με τη γεωθερμική κλίση (μέσος όρος 3°C για κάθε 100 m βάθους).



**Σχήμα 4.1: Μετρήσεις θερμοκρασίας εδάφους σε βάθος 1 m και 15 m στο Κορωπί Αττικής (Βραχόπουλος και Παπαγεωργάκης).**

Σε αυτήν την περίπτωση η χρησιμοποίηση των πανταχού παρόντων ρηχών γεωθερμικών πόρων από συστήματα ΓΑΘ είναι μια προφανής επιλογή. Αντίστοιχα, ένας γρήγορα αυξανόμενος τομέας των εφαρμογών προκύπτει και αναπτύσσεται στις διάφορες ευρωπαϊκές χώρες. Η γρήγορη διείσδυση στην αγορά τέτοιων συστημάτων οδηγεί στην αύξηση του αριθμού των εμπορικών επιχειρήσεων που εργάζονται ενεργά σε αυτόν τον τομέα. Οι κλιματολογικές συνθήκες στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη, όπου πραγματοποιήθηκε το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξης της αγοράς, απαιτούν σε μεγαλύτερο βαθμό τη θέρμανση χώρου παρά την ψύξη. Επομένως, εν αντιθέσει με τις "γεωθερμικές αντλίες θερμότητας" στις ΗΠΑ, στην περιοχή της Ευρώπης οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο για θέρμανση. Θα μπορούσαμε να επισημάνουμε ότι με το συνυπολογισμό των μεγαλύτερων εμπορικών εφαρμογών και του τρέχοντος πολλαπλασιασμού της τεχνολογίας στη νότια Ευρώπη, η διπλή χρήση για τη θέρμανση και την ψύξη, θα αποτελέσει μεγαλύτερης σπουδαιότητας στο μέλλον.

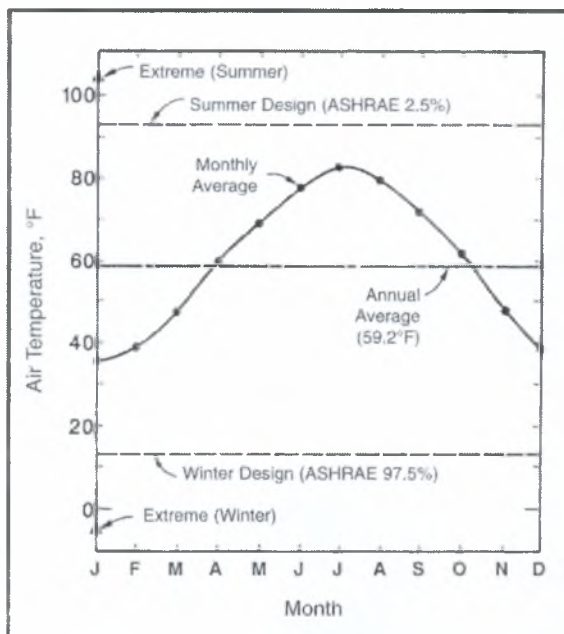
## Πηγή ενέργειας

Η διαθέσιμη προς χρήση ενέργεια στη γήινη επιφάνεια από ένα σύστημα αντλιών θερμότητας είναι ουσιαστικά αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια. Η ενέργεια αυτή μεταφέρεται συνεχώς από και προς τη γήινη επιφάνεια με την ηλιακή ακτινοβολία, τις βροχοπτώσεις, τον αέρα, κ.λ.π. Συνέπεια αυτής της ηλιακής

ενέργειας αποτελεί το γεγονός ότι η θερμοκρασία της γης σε βάθη μεγαλύτερα από 10 m πλησιάζει την ετήσια μέση θερμοκρασία του αέρα. Μεταξύ επιφάνειας και περίπου 2m όπου τοποθετούνται τα περισσότερα οριζόντια θαμμένα συστήματα σωλήνων, η επίγεια θερμοκρασία αυξάνεται και ταλαντεύεται κάτω από την ετήσια μέση θερμοκρασία του αέρα ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, τον εδαφολογικό τύπο, την κάλυψη χιονιού και την υγρασία.

Λόγω της μόνωσής της, η θερμοκρασία γήινου χώματος είναι μετριότερη καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου από τον εξωτερικό αέρα. Οι ακραίες θερμοκρασίες του αέρα, επάνω και κάτω από την ετήσια μέση θερμοκρασία σε μια ενιαία θέση, μπορούν να κυμανθούν  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ . Εντούτοις, για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, η εισηγμένη υγρή θερμοκρασία για τα θαμμένα συστήματα σωλήνων μπορεί να φτάσει στο μισό αυτής της τιμής στα βάθη 1 έως 1,5 m. Το Σχήμα 4.2 επεξηγεί τα στοιχεία θερμοκρασίας αέρα για το Stillwater, της Οκλαχόμα (Oklahoma State University, Geothermal Heat Pumps: Introductory Guide, Introduction and Overview, 6-8). Εδώ, η μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα είναι  $15^{\circ}\text{C}$  με τις ακραίες τιμές χειμώνα και καλοκαιριού  $-20$  και  $40^{\circ}\text{C}$ , αντίστοιχα. Το Σχήμα 4.3 παρουσιάζει επίγειες θερμοκρασίες για την ίδια θέση. Σε αυτήν την περίπτωση, οι κανονικές ανενόχλητες (καμία αφαίρεση ή προσθήκη θερμότητας) θερμοκρασίες στο 1,5m κυμαίνονται από  $10^{\circ}\text{C}$  στις 18 Φεβρουαρίου ως  $25^{\circ}\text{C}$  στις 20 Αυγούστου. Και το καλοκαίρι και το χειμώνα, οι μέγιστες και ελάχιστες εδαφολογικές θερμοκρασίες, καθυστερούν τέσσερις εβδομάδες έναντι των θερμοκρασιών επιφάνειας, το οποίο δίνει στη γη ένα πρόσθετο πλεονέκτημα. Εξ' αιτίας αυτού, η γεωθερμική αντλία θερμότητας θα έχει το μέγιστο πλεονέκτημά της στις περιοχές όπου η ετήσια ταλάντευση θερμοκρασίας αέρα είναι υψηλή.

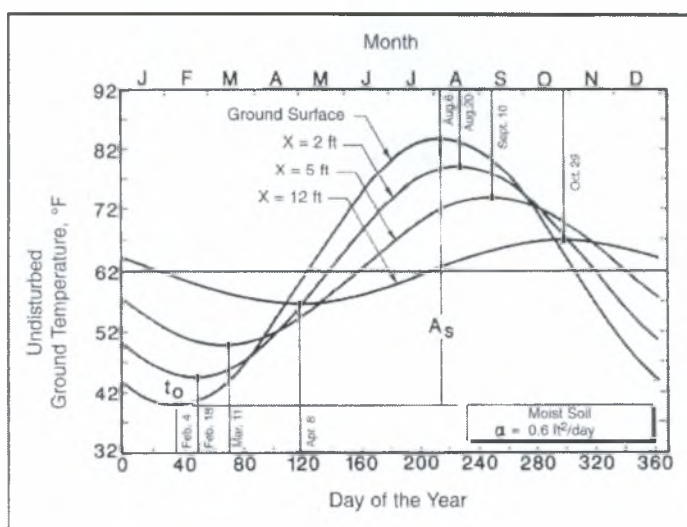




Σχήμα 4.2: Στοιχεία θερμοκρασίας αέρα στο Stillwater

Μόνο ένα μικρό μέρος της αποθηκευμένης ενέργειας στη γήινη επιφάνεια (λιγότερο από 2-3%) προέρχεται από τον καυτό πυρήνα της.

Η ηλιακή ενέργεια αποθηκεύει στον γήινο φλοιό την ενέργεια για τη θέρμανση του χώρου και του νερού για εσωτερική χρήση. Δεδομένου ότι η γήινη υπόγεια θερμοκρασία είναι πιο δροσερή από τον εξωτερικό αέρα, ο φόρτος από τη θερινή ψύξη μπορεί να απορριφθεί αποτελεσματικότερα υπόγεια.



Σχήμα 4.3: Θερμοκρασίες του εδάφους σε σχέση με το βάθος στο Stillwater, Oklahoma

## **4.2 Πλεονεκτήματα Των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας**

---

### **Χαμηλή ενεργειακή χρήση**

Το μεγαλύτερο όφελος των ΓΑΘ είναι ότι χρησιμοποιούν 25-50% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από τη συμβατική θέρμανση ή τα συστήματα ψύξης. Αυτό σημαίνει ότι μία ΓΑΘ, χρησιμοποιεί μια μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας για να κινήσει τρεις μονάδες θερμότητας από τη γη. Επιπλέον, εξοικονομάτε το 100% του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται προηγουμένως για τον κλιματισμό ενός χώρου και τη θέρμανση νερού. Στις μονάδες κατοικίας που χρησιμοποιούσαν μόνο ηλεκτρική ενέργεια, οι ΓΑΘ βρέθηκαν να εξοικονομούν περίπου 42% από την ηλεκτρική κατανάλωση για θέρμανση, ψύξη και θέρμανση νερού.

### **Χαμηλού κόστους ζεστό νερό**

Αντίθετα από οποιοδήποτε άλλο σύστημα ψύξης και θέρμανσης, μια γεωθερμική αντλία θερμότητας μπορεί να παρέχει δωρεάν ζεστό νερό. Μια συσκευή με το όνομα "desuperheater" (υπερθερμαντήρας) μεταφέρει μεγάλη ποσότητα θερμότητας από το συμπιεστή της αντλίας θερμότητας στην δεξαμενή νερού. Το καλοκαίρι, το ζεστό νερό παρέχεται δωρεάν ενώ το χειμώνα, οι δαπάνες θέρμανσης νερού μειώνονται κατά προσέγγιση στο μισό.

### **Άνεση καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου**

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας διατηρούν χαμηλότερα επίπεδα θορύβου από τα συμβατικά συστήματα και βελτιώνουν τον έλεγχο υγρασίας. Αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και το χαμηλότερο κόστος θέρμανσης εξηγούν γιατί οι έρευνες πελατών παρουσιάζουν σχετικά υψηλά επίπεδα ικανοποίησης χρηστών, συνήθως πάνω από 90 τοις εκατό.

### **Χαρακτηριστικά σχεδιασμού**

Τα γεωθερμικά συστήματα αντλιών θερμότητας παρουσιάζουν ευελιξία σε βαθμό που δίνεται η δυνατότητα να εγκατασταθούν και σε νέες αλλά και σε παλιές εγκαταστάσεις. Αυτό συμβαίνει διότι το υλικό στα συστήματα αυτά απαιτεί λιγότερο

χώρο συγκριτικά με αυτό που απαιτείται στα συμβατικά συστήματα HVAC. Θα μπορούσε, παραδείγματος χάριν, να αναφερθεί ότι το λεβητοστάσιο είναι δυνατό να μειωθεί πολύ στο μέγεθος, απελευθερώνοντας χώρο για μια χρήση περισσότερο παραγωγική. Τέλος, τα γεωθερμικά συστήματα αντλιών θερμότητας χρησιμοποιούν συνήθως τον υπάρχοντα αγωγό στο κτίριο και παρέχουν την ταυτόχρονη θέρμανση και ψύξη χωρίς την ανάγκη ύπαρξης ενός συστήματος τεσσάρων-σωλήνων.

### **Βελτιωμένη αισθητική**

Η ευελιξία που παρουσιάζουν τα συστήματα ΓΑΘ αποτελεί ένα επιπλέον βοηθητικό εργαλείο για τους αρχιτέκτονες και μια χρήσιμη εναλλακτική για ιδιοκτήτες που επιθυμούν να ανακατασκευάσουν κτίρια ή κατοικίες. Ιστορικά κτίρια και κατασκευές χρησιμοποιούν ΓΑΘ διότι συνδυάζουν ευκολία στη χρήση και μειωμένο αριθμό εσωτερικών και εξωτερικών εξαρτημάτων, δεδομένου ότι δεν απαιτούν ψυκτικούς πύργους. Επιπλέον, τα συστήματα ΓΑΘ αποβάλλουν το συμβατικό εξοπλισμό των στεγών, βελτιώνοντας αισθητικά τα αρχιτεκτονικά σχέδια και τις γραμμές της στέγης. Η έλλειψη ανοιγμάτων στις στέγες σημαίνει επίσης μικρότερη πιθανότητα για διαρροές, καλύτερη συντήρησή τους και καλύτερες εγγυήσεις για τις στέγες. Τέλος, όντας τα υπέργεια συστατικά ενός συστήματος ΓΑΘ μέσα στο κτίριο, προφυλάσσεται ο εξοπλισμός από καιρική φθορά και πιθανό βανδαλισμό.

### **Χαμηλή περιβαλλοντική επίδραση**

Επειδή ένα σύστημα ΓΑΘ χαρακτηρίζεται από μεγάλη απόδοση, χρησιμοποιεί πολύ λιγότερη ενέργεια για να διατηρήσει τις άνετες εσωτερικές θερμοκρασίες. Αυτό σημαίνει ότι λιγότερη ενέργεια, που δημιουργείται συχνά από το κάψιμο του υδρογονανθράκων, απαιτείται για να λειτουργήσει μια ΓΑΘ. Σύμφωνα με την EPA (Environmental Protection Agency), οι ΓΑΘ μπορούν να μειώσουν την καταναλισκόμενη ενέργεια καθώς και τις αντίστοιχες εκπομπές έως 44% σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας αέρα και 72% σε σχέση με συστήματα που συνδυάζουν ηλεκτρική θέρμανση και τυποποιημένο εξοπλισμό κλιματισμού.

## Χαμηλή συντήρηση

Σύμφωνα με μελέτες που γίνονται για το GHPC (Geothermal Heat Pump Consortium), τα κτίρια με συστήματα ΓΑΘ είχαν μέσες συνολικές δαπάνες συντήρησης που κυμαίνονταν από 66 έως 122 σεντς/m<sup>2</sup> ή διαφορετικά το ένα τρίτο των δαπανών συντήρησης των συμβατικών συστημάτων. Ο περιστασιακός καθαρισμός των σπειρών του γεωεναλλάκτη και η τακτική αλλαγή των φίλτρων αέρα είναι πιθανών οι μοναδικές εργασίες που απαιτούνται για να κρατηθεί το σύστημα σε καλή κατάσταση.

## Διάρκεια

Επειδή τα συστήματα ΓΑΘ διαθέτουν σχετικά λίγα κινούμενα μέρη, τα οποία προφυλάσσονται μέσα σε ένα κτίριο είναι ανθεκτικά και ιδιαίτερα αξιόπιστα. Έτσι, η υπόγεια διοχέτευση με σωλήνες έχει συχνά εγγυήσεις 25 έως 50 ετών και οι ΓΑΘ σαν σύνολο / εν συνόλω έχουν διάρκεια ζωής συχνά 20 ή περισσότερα έτη. Επίσης, οι ΓΑΘ δεν έχουν συνήθως κανέναν υπαίθριο συμπιεστή ή πύργο ψύξης, εξαιλείοντας έτσι τη δυνατότητα ζημιάς από εξωτερικούς παράγοντες.

## 4.3 Μειονεκτήματα Των Γεωθερμικών Συστημάτων

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι γεωθερμικές αντλίες θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπ' όψιν, διότι όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο το αρχικό κόστος κατασκευής είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό ενός συμβατικού συστήματος. Επιπλέον, καθίσταται δύσκολο σε σημαντικό βαθμό να επιδιορθωθεί μια διαρροή σε ένα κλειστό σύστημα καθώς απαιτείται ολόκληρη εκσκαφή του πλέγματος. Τέλος, για τα ανοιχτού τύπου κυκλώματα χρειάζεται μεγάλη παροχή καθαρού νερού.

## 4.4 Εξοπλισμός

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν τις μέτριες και πιο σταθερές θερμοκρασίες της γης για να φέρουν τις εσωτερικές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες σε ένα επίπεδο άνεσης, αποτελεσματικότερα και λιγότερο δαπανηρά από ότι θα ήταν δυνατόν μέσω άλλων συμβατικών τεχνολογιών θέρμανσης και κλιματισμού. Οι ΓΑΘ είναι ανεξάρτητα ηλεκτρικά τροφοδοτημένα συστήματα που εκμεταλλεύονται τη σχετικά

σταθερή μέτρια θερμοκρασία του εδάφους με σκοπό να παρέχουν θέρμανση, ψύξη, και εσωτερικό ζεστό νερό. Δηλαδή, μία ουσιαστική αποταμίευση στις μηνιαίες δαπάνες.

Τα συστήματα ΓΑΘ αποτελούνται από ένα δίκτυο υψηλής αντοχής πλαστικών σωλήνων που θάβεται κάτω από τη γήινη επιφάνεια. Το νερό ή ένα διάλυμα αντιψυκτικού κυκλοφορούν μέσω αυτού του βρόχου των σωλήνων. Αυτό το σύστημα δεν δημιουργεί τη θερμότητα όπως οι συμβατικές μονάδες, αλλά την μετακινεί. Ένα σύστημα ΓΑΘ απορροφά τη θερμότητα από μια περιοχή και την μεταφέρει σε άλλη. Η λειτουργία αυτών των συστημάτων είναι αποτελεσματική ανεξαρτήτως της εποχής.

Το καλοκαίρι, το σύστημα ΓΑΘ λειτουργεί ως κλιματιστικό μηχάνημα, που εξάγει τη θερμότητα μέσα από ένα σπίτι και την αντλεί / παρέχει /τροφοδοτεί στην πιο δροσερή γη μέσω του ρευστού που κυκλοφορεί. Παραδείγματος χάριν, ένα οικιακό ψυγείο λειτουργεί σχεδόν με τον ίδιο τρόπο. Σαν προστιθέμενο όφελος, αυτή η θερμότητα πλεονάσματος από ένα σπίτι μπορεί να χρησιμοποιηθεί το καλοκαίρι για ζεστό νερό για εσωτερική χρήση με μηδενικό κόστος. Το χειμώνα, τα ΓΑΘ θερμαίνουν από το ρευστό κυκλοφορίας τον εσωτερικό αέρα, ακόμη και την πιο κρύα, ανεμώδη ημέρα. Το σύστημα ΓΑΘ μπορεί να εξαγάγει τη θερμότητα από το ρευστό που ρέει στους σωλήνες, να την αντλήσει σε ένα σπίτι και να διατηρήσει μια άνετη θερμοκρασία.

Οι Αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν για τη θέρμανση χώρων και τη θέρμανση νερού αποτελεσματικά μια πηγή χαμηλότερης θερμοκρασίας (όπως τον αέρα, το νερό ή τη γη) και την μετατρέπουν σε μια υψηλότερη θερμοκρασία που λαμβάνει το μέσο (όπως το νερό, ο αέρας ή ένα διάλυμα αντιψυκτικού) χρησιμοποιώντας τις αρχές ψύξης. Αυτό επιτρέπει στη χαμηλής θερμοκρασίας θερμότητα να αφαιρεθεί από διάφορες "πηγές" και να αντληθεί "στις δεξαμενές" που παρέχουν κλιματισμό χώρου και θέρμανση νερού. Η διαδικασία αντιστρέφεται για τη ψύξη ενός χώρου.

Η αποδοτικότητα ενός συστήματος αντλιών θερμότητας συσχετίζεται με τη διάδοση μεταξύ της "πηγής" ή της θερμοκρασίας ανεφοδιασμού και της θερμοκρασίας της "δεξαμενής" ή του σημείου παράδοσης. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία ενεργειακού ανεφοδιασμού (πηγή), τόσο υψηλότερη η αποδοτικότητα αντλιών θερμότητας για τον χώρο και για εφαρμογές θέρμανσης νερού. Η επιλογή του τύπου συστήματος αντλιών θερμότητας εξαρτάται από την κατάλληλη επιλογή των

θερμοκρασιών της πηγής και της δεξαμενής για μια εφαρμογή σύμφωνα με τις τοπικές συνθήκες.

### **Γενική έννοια**

Το κομμάτι των κλειστών βρόχων ενός γεωθερμικού συστήματος αντλιών θερμότητας αποτελείται από έναν μακρύ πλαστικό σωλήνα που θάβεται κάτω από τη γήινη επιφάνεια. Ο πλαστικός σωλήνας επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας από το έδαφος προς το ρευστό του σωλήνα. Η αντλία θερμότητας μεταφέρει τη θερμική ενέργεια του θερμικού φορτίου από και προς τον θαμμένο σωλήνα. Το σύστημα αποτελείται από το θαμμένο σωλήνα κλειστού βρόχου, μια αντλία θερμότητας και ένα σύστημα διανομής για το θερμό ή δροσερό (ρυθμισμένο) αέρα ή/ και νερό για συγκεκριμένες λειτουργίες του σπιτιού.

Κατά τη διάρκεια των περιόδων θερινής ψύξης, η ψύξη του χώρου και η θέρμανση νερού αποτελούν τα φορτία των αντλιών θερμότητας. Τα θερμικά ενεργειακά φορτία που απορρίπτονται από τη ψύξη του σπιτιού και την ξήρανση χρησιμοποιούνται για να προθερμάνουν το νερό. Από την άλλη, κατά τη διάρκεια των χειμερινών περιόδων η θέρμανση του χώρου και του νερού είναι τα φορτία αντλιών θερμότητας. Η αντλία θερμότητας σχεδιάζεται με σκοπό να εξάγει ή να απορρίψει ικανοποιητική ενέργεια από και προς τη γη έτσι ώστε να ικανοποιήσει και τις δύο απαιτήσεις.

## **4.5 Ταξινόμηση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας**

---

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι συστήματα που συνδυάζουν μια αντλία θερμότητας με ένα σύστημα ανταλλαγής θερμότητας με το έδαφος. Η πρώτη ΓΑΘ χρησιμοποιήθηκε στην Ινδιανάπολη (ΗΠΑ), το 1945, με οριζόντιους σωλήνες εναλλακτών θερμότητας. Από το 1947 και μετά, δημιουργήθηκαν οι περισσότερες από τις διαφορετικές μεθόδους ένωσης στο έδαφος. Τα συστήματα μπορούν να διαιρεθούν σε αυτά με έναν εναλλάκτη επίγειας θερμότητας (κλειστά συστήματα βρόχων), ή σε αυτά που τροφοδοτούνται από υπόγειο νερό (συστήματα ανοικτών βρόχων). Κάθε κατηγορία λοιπόν, περιλαμβάνει τα παρακάτω είδη:

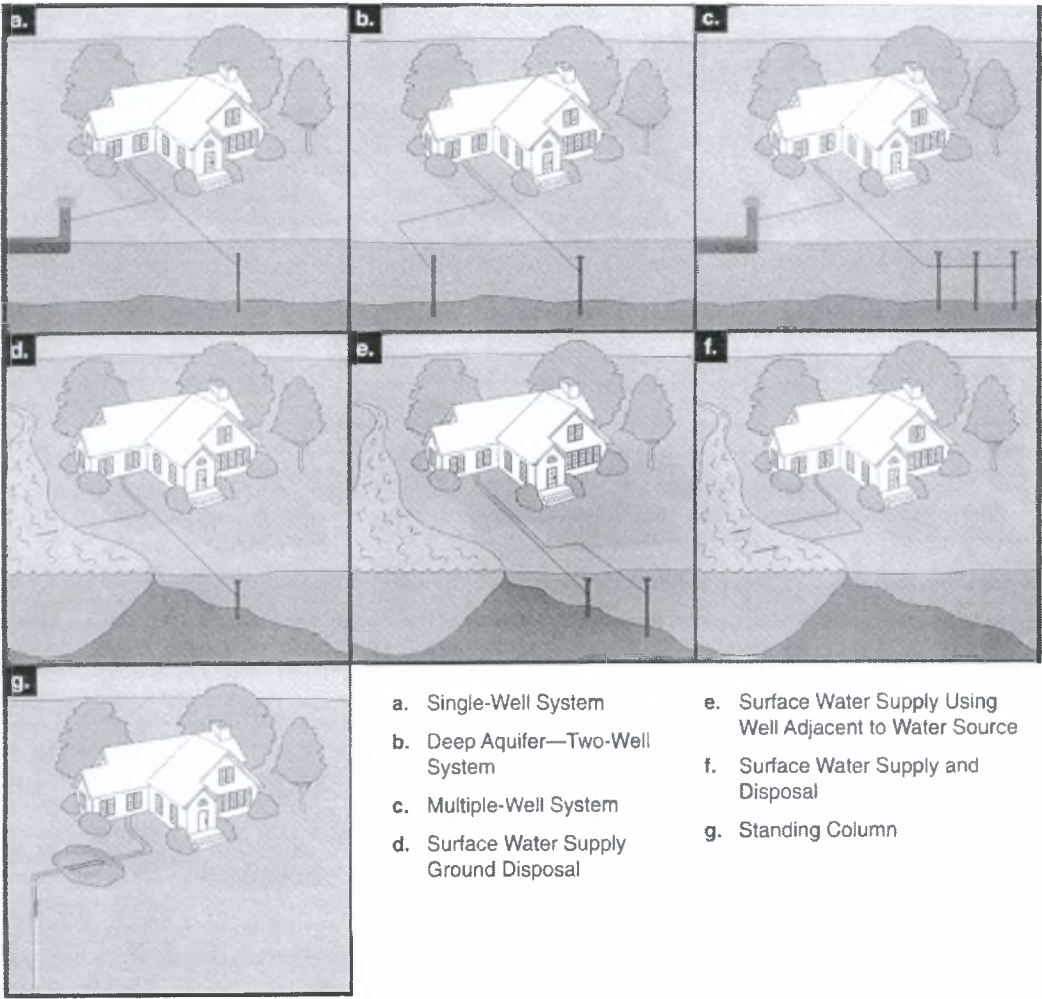
- Φρεάτια υπόγειων νερών ("ανοικτά" συστήματα)

- Εναλλάκτες θερμότητας γεώτρησης, (κατακόρυφα συστήματα) (BHE)
- Οριζόντιοι σωλήνες εναλλακτών θερμότητας (συμπαγή συστήματα με τάφρους, σπείρες κ.λ.π....)
- "geostructures" (θεμέλια που εξοπλίζονται με τους εναλλάκτες θερμότητας)

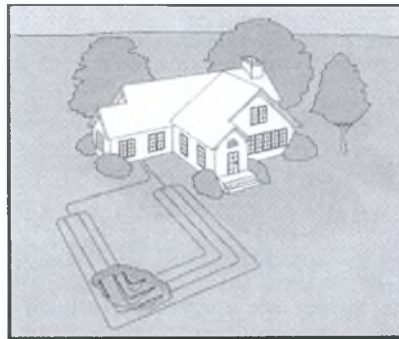
Το επίγειο σύστημα συνδέει την αντλία θερμότητας με το υπεδάφιο και επιτρέπει την εξαγωγή της θερμότητας από το έδαφος ή την έγχυση της θερμότητας σε αυτό. Για τη σωστή επιλογή του συστήματος, για μια συγκεκριμένη εγκατάσταση, πρέπει να εξεταστούν διάφοροι παράγοντες, όπως η γεωλογία και υδρογεωλογία του υπεδάφους (η ικανοποιητική διαπερατότητα είναι μία προαπαιτήση για τα ανοικτά συστήματα), η περιοχή και χρήση της επιφάνειας (τα οριζόντια κλειστά συστήματα απαιτούν μια ορισμένη περιοχή), η ύπαρξη πιθανών πηγών θερμότητας (όπως ορυχεία) και τα χαρακτηριστικά θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Στη φάση του σχεδιασμού είναι απαραίτητα τα ακριβή στοιχεία των βασικών παραμέτρων του επιλεγμένου μοντέλου για τη διαστασιολόγηση του επίγειου συστήματος κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση με το ελάχιστο κόστος.

#### **4.6 Ανοικτά–Κλειστά Συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας**

Οι δύο τύποι συστημάτων αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούνται για να κινήσουν τη θερμότητα από τη γη είναι τα ανοικτά και κλειστά συστήματα βρόχων. Τα ανοικτά συστήματα (Σχήμα 4.1) χρησιμοποιούν άμεσα το νερό από τα φρεάτια, τα εγκαταλελειμμένα ορυχεία, τις λίμνες που βρίσκονται στην επιφάνεια και τα ποτάμια. Αυτά μπορούν να εγκατασταθούν οπουδήποτε υπάρχει επαρκές διαθέσιμο νερό και η ανοικτή διαφυγή του νερού είναι εφικτή. Στα συστήματα κλειστών βρόχων (Σχήμα 4.2) κυκλοφορεί ένα δευτεροβάθμιο ρευστό (νερό ή ένα βασισμένο στο νερό διάλυμα αντιψυκτικού) μέσω μιας συνεχούς σφραγισμένης και θαμμένης διάταξης σωληνώσεων το οποίο μεταφέρει θερμότητα από τη γη. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το ρευστό συλλέγει τη θερμότητα από τη γη και τη διοχετεύει μέσω του συστήματος στο σπίτι. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού το σύστημα αντιστρέφεται για να δροσίσει το σπίτι αντλώντας τη θερμότητα από αυτό, μεταφέροντάς τη μέσω του συστήματος και τοποθετώντας τη στο έδαφος.



Σχήμα 4.1: Ανοιχτά συστήματα



Σχήμα 4.2: Αντλία θερμότητας άμεσης επέκτασης



## **4.7 Τύποι Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας Ανοικτού Κυκλώματος**

Τα συστήματα αυτά είναι οικονομικότερα και αποδοτικότερα σε σύγκριση με αυτά του κλειστού κυκλώματος, όταν υπάρχει μια λίμνη ή ένα ήδη ανοιγμένο πηγάδι ή μια γεώτρηση που να μπορούν να καλύψουν τις απαιτήσεις. Επίσης, η εγκατάστασή τους θεωρείται ευκολότερη καθώς εκλείπουν παράγοντες όπως αντιψυκτικό, κρυμμένες διαρροές, σωληνώσεις που πρέπει να απαλλαχθούν από τον αέρα κ.τ.λ.

Παρ' όλα αυτά όμως υπάρχει πιθανότητα να παρουσιαστούν ορισμένες δυσκολίες δεδομένου ότι η ποιότητα του νερού μπορεί να αλλάζει με το χρόνο και η ποσότητά του να μεταβάλλεται ακανόνιστα ειδικά κατά περιόδους ξηρασίας. Επίσης, η διένεξη μιας γεώτρησης περιλαμβάνει πάντα την αβεβαιότητα για την ύπαρξη νερού ή την κάλυψη των αναγκών της αντλίας. Αξιοσημείωτο είναι ότι σε πολλές περιοχές δεν επιτρέπεται το άνοιγμα πηγαδιού ή γεώτρησης.

### **4.7.1 Γεωτρήσεις**

Σε αυτή την κατηγορία το νερό που αντλείται από τη γεώτρηση προσδίδει θερμότητα στο σύστημα και στη συνέχεια αποβάλλεται. Το απορριπτόμενο νερό εναποτίθεται σε μια άλλη γεώτρηση ή λίμνη ή γενικότερα σε έναν χώρο εναπόθεσης, αφαιρώντας έτσι συνεχώς νερό από τον υδροφόρο ορίζοντα. Η γεώτρηση που υπάρχει ήδη ή που πρόκειται να ανοιχθεί πρέπει να έχει αρκετό νερό ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις παροχής. Η χρήση νερού από τη γεώτρηση απαιτεί ένα σύστημα απόθεσής του που το επιστρέφει στον υδροφόρο ορίζοντα.

Το οικονομικότερο σύστημα, όπου το επιτρέπουν οι συνθήκες, είναι η έκχυση του νερού σε κάποιο τοπικό ποτάμι ή λίμνη (Σχήμα 4.1). Εάν το έδαφος στην περιοχή έχει υψηλή απορροφητικότητα, όπως σε περιοχές με καταβόθρες, τότε μπορεί να γίνεται εναπόθεση του νερού στην περιοχή αυτή με πολύ χαμηλό κόστος. Αν οι εναλλακτικές λύσεις δεν είναι εφικτές τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί πηγάδι επιστροφής νερού. Το πηγάδι αυτό χρειάζεται να είναι αρκετά βαθύ ώστε να μπορεί να δεχθεί ποσότητες νερού ίσες με αυτές της άντλησης και επιπλέον πρέπει να απέχει τουλάχιστον 30 μέτρα από το πηγάδι άντλησης. Στην περίπτωση που το πηγάδι έχει υψηλή στάθμη νερού (πάνω από 8 m) σταθερή κατά την διάρκεια του χρόνου και μεγάλη διάμετρο (πάνω από 1,5 m)

μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα και σαν πηγάδι επιστροφής, αρκεί να μην απαιτείται συνεχής λειτουργία και συγχρόνως η άντληση με την εναπόθεση να γίνονται σε σημεία που απέχουν πολύ μεταξύ τους.

#### 4.7.2 Λίμνες

---

Όταν υπάρχει σε μικρή απόσταση λίμνη τότε καθίσταται δυνατό να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή άντλησης νερού. Το νερό αντλείται από τη λίμνη και αφού χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή ψύξη επιστρέφει σε σημείο μακριά από το σημείο αναρρόφησης.

Για να είναι κατάλληλη μια λίμνη ως πηγή πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις ως προς την επιφάνεια και το βάθος της. Η επιφάνεια που απαιτείται ανέρχεται στα 4.000 m<sup>2</sup> ανά 14,5 kWt, ενώ η λίμνη πρέπει να έχει βάθος τουλάχιστον 1,5 m κατά μέσο όρο και επιπλέον να υπάρχει σημείο με βάθος 2 m τουλάχιστον, με καταλληλότερο τα 3-3,6 m βάθος.

Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι το χαμηλό κόστος τους καθώς δεν απαιτούνται ιδιαίτερες εγκαταστάσεις, ενώ παρέχεται ταυτόχρονα πηγή άντλησης νερού και σημείο εναπόθεσής του μετά την χρήση του. Μειονέκτημα τους αποτελεί το γεγονός ότι το νερό δεν είναι καλής ποιότητας και απαιτείται συνεχές φιλτράρισμα

### 4.8 Τύποι Γεωθερμικών Εναλλακτών Θερμότητας Κλειστού Κυκλώματος

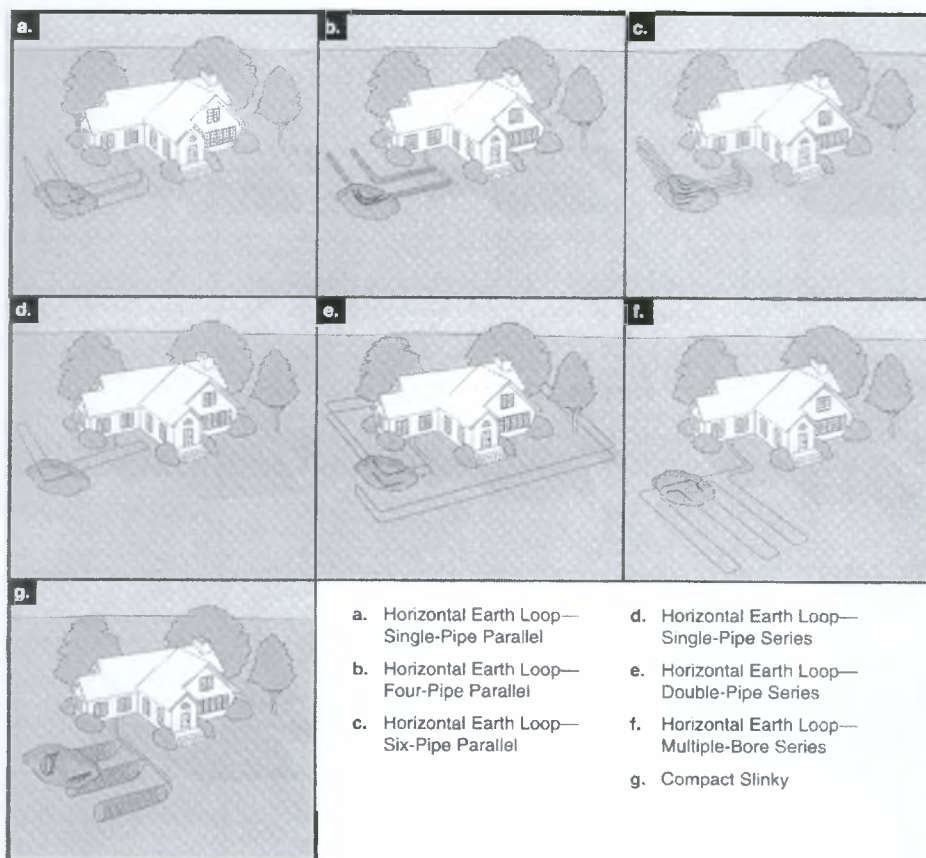
---

Ένα σύστημα κλειστών βρόχων που κυκλοφορεί την ψυκτική ουσία των αντλιών θερμότητας άμεσα στο έδαφος καλείται αντλία θερμότητας άμεσης επέκτασης (Σχήμα 4.2). Αυτοί οι τύποι συστημάτων έχουν μια μακροχρόνια ιστορία αλλά δε χαρακτηρίζονται ακόμα από διαδεδομένη χρήση. Έχουν υψηλότερες θεωρητικές αποδόσεις από τις αντλίες θερμότητας με δευτεροβάθμιους βρόχους ρευστών λόγω της αποβολής του ρευστού κυκλοφορίας (διάλυμα νερού-αντιψυκτικού).

Όπως φαίνεται παρακάτω οι βρόχοι μπορούν να εγκατασταθούν οριζόντια, κάθετα ή σε μια λίμνη. Ο τύπος που επιλέγεται εξαρτάται από τη διαθέσιμη περιοχή εδάφους και τον τύπο χώματος επί του τόπου της εγκατάστασης.

### 4.8.1 Οριζόντιο σύστημα

Στο οριζόντιο σύστημα οι σωλήνες τοποθετούνται σε χαντάκια βάθους από 1,2 έως 3 m και σε κάθε χαντάκι εγκαθίστανται 1 έως 6 σωλήνες (Σχήμα 4.3c). Οι τελευταίοι μπορεί να είναι σε διάταξη σειρών ή παράλληλη διάταξη. Το μήκος τους εξαρτάται από παράγοντες όπως το θερμικό φορτίο, το υλικό κατασκευής, το έδαφος, κ.α. Το οριζόντιο σύστημα προτιμάται λόγω του μικρού κόστους εγκατάστασης αλλά απαιτείται μεγαλύτερη έκταση γης.



Σχήμα 4.3: Κλειστά Οριζόντια Συστήματα

### 4.8.2 Διάταξη σειρών

Το μέγεθος του σωλήνα, η υψηλή θερμική απόδοση ανά μέτρο σωλήνωσης εξ' αιτίας της μεγαλύτερης διαμέτρου σωλήνα που απαιτείται και η μοναδική δίοδος παροχής που χρειάζεται είναι τα χαρακτηριστικά αυτής της διάταξης. Σε αντίθεση όμως

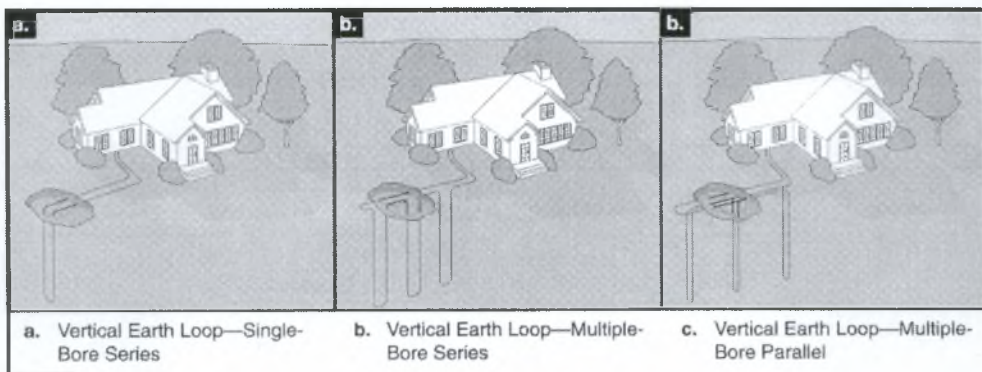
έρχονται ο μεγαλύτερος όγκος νερού και αντιψυκτικού που απαιτείται και η υψηλότερη τιμή ανά μέτρο σωλήνα λόγω της μεγάλης απόδοσης του υλικού του σωλήνα.

### 4.8.3 Παράλληλη διάταξη

Αντίθετα με τα παραπάνω, στην παράλληλη διάταξη, το υλικό της σωλήνωσης έχει χαμηλότερο κόστος και απαιτείται πολύ λιγότερο αντιψυκτικό. Σημαντικό σημείο είναι ότι πρέπει να εξασφαλίζεται η απομάκρυνση όλου του αέρα (Σχήμα 4.3f).

### 4.8.4 Κατακόρυφο σύστημα

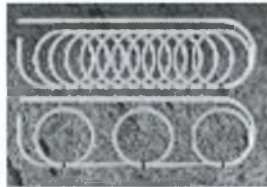
Τοποθετείται κυρίως όταν υπάρχει περιορισμένη έκταση γης, σε φρεάτια που ανοίγονται σε βάθος από 23 έως 91,5 m, φρεάτια μέσα στα οποία τοποθετούνται οι σωλήνες (Σχήμα 4.4). Αυτά που παρατηρούνται κυρίως σε τέτοια συστήματα, είναι το μικρότερο συνολικό μήκος σωλήνωσης που απαιτείται, η ανάγκη για μικρότερα ποσά ενέργειας για άντληση και η απαίτηση για μικρότερη έκταση γης. Η αξιοποιήσιμη θερμότητα του εδάφους επηρεάζεται λιγότερο από την εξωτερική θερμοκρασία (μεγαλύτερο βάθος). Στα αρνητικά συγκαταλέγεται η ανάγκη ύπαρξης εξοπλισμού γεωτρήσεων, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους που παίζει σημαντικό ρόλο. Αντίστοιχα τα κάθετα συστήματα μπορούν να είναι σε διάταξη σειρών ή παράλληλη διάταξη, έχοντας τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όπως και στο οριζόντιο σύστημα.



Σχήμα 4.4: Κλειστά Κατακόρυφα Συστήματα

#### 4.8.5 Σπειροειδές σύστημα

Αποτελείται από σωλήνες που τυλίγονται σε σπείρες (σπιράλ) και τοποθετούνται σε χαντάκια μέσα στο έδαφος. Το τυπικό σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 0,254 m, το οποίο ισοδυναμεί με 12 m σωλήνωσης ανά μέτρο χαντακιού. Το εκτεταμένο σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 1,42 m που ισοδυναμεί με 4 m σωλήνας ανά μέτρο χαντακιού (Σχήμα 4.5). Σε αυτά τα συστήματα απαιτείται μικρότερη έκταση γης, ενώ απαιτείται και το λιγότερο σκάψιμο για το άνοιγμα των χαντακιών. Στα αρνητικά συγκαταλέγεται η ανάγκη για μεγάλα μήκη σωλήνα. Το σπειροειδές σύστημα μπορεί να έχει οριζόντια ή κάθετη διάταξη με μόνη διαφορά ότι στην οριζόντια διάταξη είναι ευκολότερη η επανατοποθέτηση των χωμάτων (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.5: Τυπικό και Εκτεταμένο Σύστημα



Σχήμα 4.6: Σπειροειδές Σύστημα σε Λίμνη

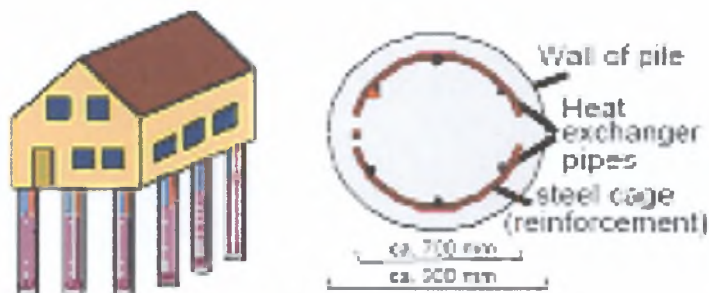
Στον Πίνακα 4.1 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών συστημάτων αντλιών θερμότητας ανοικτών και κλειστών βρόχων που εγκαθίστανται προς το παρόν.

**Πίνακας 4.1: Σύνοψη γεωθερμικών συστημάτων**

Τύπος συστήματος	Περιγραφή	Σχόλια
Κλειστά συστήματα (με βάση το νερό)	Μόνο νερό	Χαμηλό κόστος υγρού, πρέπει να υπάρχει έλεγχος για να μην παγώσει το νερό, πρέπει να αφαιρεθεί όλος ο αέρας από δίκτυο
	Διάλυμα νερού - αντιψυκτικού	Αυξάνει το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας του υγρού, πρέπει να επιλέγεται σωστό αντιψυκτικό
Κλειστά συστήματα (με βάση το ψυκτικό)	Άμεση χρήση του ψυκτικού στον γεωεναλλακτη	Ο συμπιεστής κυκλοφορεί το αντιψυκτικό στο δίκτυο απαλείφοντας την ανάγκη για δεύτερο κυκλοφορητή
Ανοιχτά συστήματα	Γεωτρήσεις με επιφανειακή εναπόθεση νερού	Χρειάζεται άφθονη παροχή νερού, καλή ποιότητα αυτού
	Γεωτρήσεις με άντληση και επιστροφή νερού στον ταμιευτήρα	Η γεώτρηση επανεισαγωγής θα πρέπει να είναι ικανή να δουλεύει για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα
	Μια γεώτρηση άντλησης και εισαγωγής	Μια γεώτρηση αποκτά και τους δυο ρόλους, πρέπει να παραμένουν καθαρές για μεγάλο διάστημα
	Άντληση και εναπόθεση νερού από επιφανειακά νερά	Ανάγκη ύπαρξης φίλτρου, καλή ποιότητα νερού

#### 4.8.6 Ενεργειακά Θεμέλια (geostructures)

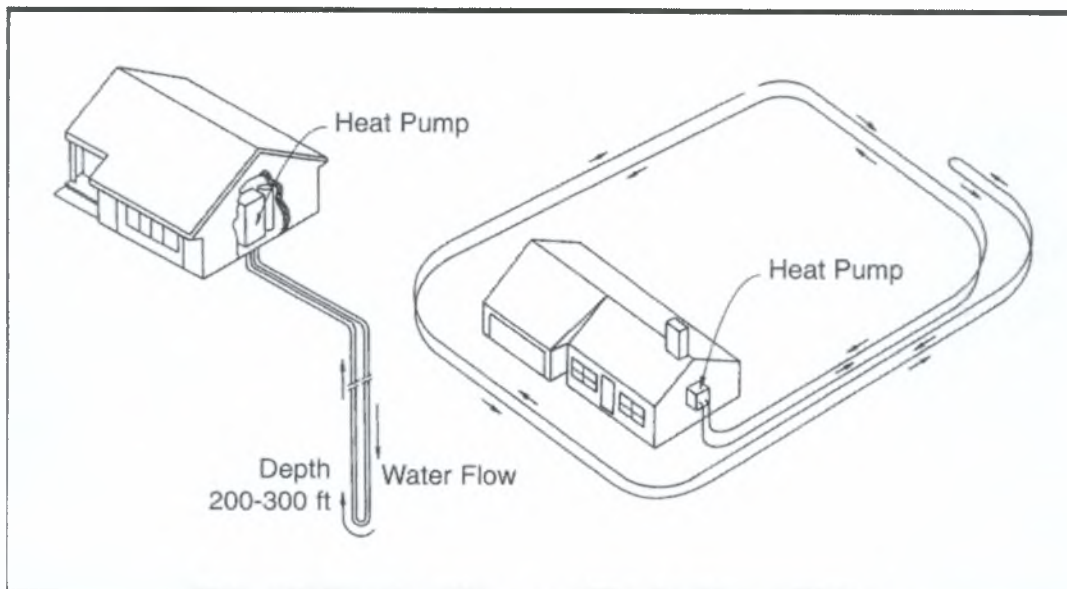
Μια ειδική περίπτωση των κάθετων κλειστών συστημάτων είναι τα θεμέλια που εξοπλίζονται με τους σωλήνες εναλλακτών θερμότητας, "ενεργειακά θεμέλια" (Σχήμα 4.7). Όλα τα είδη θεμελίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν (προκατασκευασμένα ή χυτά στην περιοχή) και οι διάμετροι ποικίλουν από 40 cm σε πάνω από 1 m.



Σχήμα 4.7: Απεικόνιση συστήματος “geostructure”

## 4.9 Βασικό Σύστημα Αντλιών Θερμότητας

Στο γεωθερμικό σύστημα αντλιών θερμότητας κλειστών βρόχων, ένας μακράς διάρκειας και υψηλής αντοχής πλαστικός σωλήνας θάβεται κάτω από την επιφάνεια της γης. Ανάλογα με τη διαθέσιμη περιοχή εδάφους, ο σωλήνας τοποθετείται είτε σε οριζόντια είτε σε κάθετη διαμόρφωση (Σχήμα 4.8). Μέσα στο σύστημα κυκλοφορούν νερό ή ένα διάλυμα αντιψυκτικού, μέσω του γεωεναλλάκτη, που μεταφέρουν τη θερμότητα στην αντλία θερμότητας το χειμώνα και στο έδαφος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Η ενεργειακή ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του ρευστού κυκλοφορίας στον γεωεναλλάκτη και της αντλίας θερμότητας εμφανίζεται στο νερό ή ψυκτικό του εναλλάκτη θερμότητας της αντλίας θερμότητας, εφόσον η αντλία χρησιμοποιεί το νερό ή κάποιο άλλο ρευστό ως μέσο. Εκτός από αυτόν τον εναλλάκτη θερμότητας, που αντικαθιστά την υπαίθρια μονάδα αέρα, τα βασικά συστατικά σε μια αντλία θερμότητας είναι τα ίδια με μια μονάδα πηγής αέρα. Επειδή δεν υπάρχει καμία απαίτηση για μια υπαίθρια μονάδα ανεμιστήρων για την ανταλλαγή θερμότητας με τον αέρα, όλα τα υπαίθρια υπέργεια συστατικά μπορούν να αποβληθούν. Δεν υπάρχει κανένα αντιψυκτικό συστατικό δεδομένου ότι οι αντιψυκτικοί κύκλοι αποβάλλονται.



Σχήμα 4.8: Τυπική οριζόντια και κάθετη διαμόρφωση βρόχων

#### 4.10 Διαμορφώσεις Αντλιών Θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας περιγράφονται από την μεριά των πηγών και των αποτελεσμάτων τους. Σε αυτό το κομμάτι οι εισαγωγές ή οι πηγές είναι αέρας και ρευστό και τα αποτελέσματα είναι αέρας ή ρευστό. Συνεπώς, υπάρχουν τέσσερις τύποι αντλιών θερμότητας:

1. Αερίου - αερίου
2. Αερίου - ρευστού
3. Ρευστού - αερίου
4. Ρευστού – ρευστού

Μέχρι σήμερα, τον πιο κοινό τύπο αποτελεί η μονάδα αερίου - αερίου. Η μέγιστη διείσδυση στην αγορά παρουσιάζεται στις περιοχές όπου οι εξωτερικές θερμοκρασίες αέρα είναι μέτριες, όπως στα νότια κλίματα. Οι μονάδες αερίου - ρευστού είναι κοινές στα εσωτερικά συστήματα ζεστού νερού και στις περιοχές όπου ένα δευτεροβάθμιο σύστημα θέρμανσης είναι διαθέσιμο, για να υποστηρίξει το σύστημα πηγής αέρα στον εξαιρετικά κρύο καιρό. Το σύστημα ρευστού - αερίου καθιερώθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες όπου απαιτούνται και η θέρμανση και η ψύξη.



Η πηγή νερού μπορεί να είναι ένα ανοικτό σύστημα (φρεάτιο νερού, άμεση χρήση της λίμνης ή νερό λιμνών, κ.λ.π.) ή ένας εναλλάκτης επίγειας θερμότητας κλειστών βρόχων.

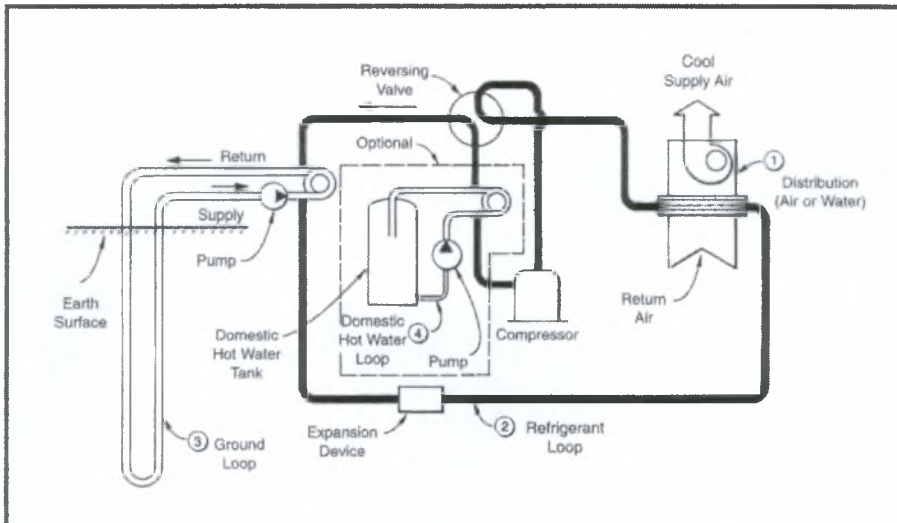
Η μονάδα αντλιών θερμότητας ρευστού – αερίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με έναν λέβητα και έναν πύργο ψύξης. Χρησιμοποιείται συχνά στα εμπορικά κτίρια για να μεταφέρει τη θερμότητα από μια περιοχή σε μια άλλη. Ένας κλειστός βρόχος μέσα στο κτίριο συνδέεται με τις μεμονωμένες μονάδες. Εάν η θερμοκρασία βρόχων γίνει πάρα πολύ μεγάλη, ο πύργος ψύξης απορρίπτει τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα. Από την άλλη, εάν μειωθεί η θερμοκρασία του βρόχου, χρησιμοποιείται ο λέβητας.

Η αντλία θερμότητας ρευστού - ρευστού εφαρμόζεται καλύτερα μόνο για θέρμανση στα βόρεια κλίματα. Στην Ευρώπη έχουν εγκατασταθεί οι περισσότερες από αυτές τις αντλίες θερμότητας, όπου τα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται σε διαμορφώσεις κάτω από το πάτωμα (ενδοδαπέδια), αν και παρατηρείται αύξηση της χρήσης τους στις βόρειες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών. Αυτά τα συστήματα έχουν υψηλή αποδοτικότητα δεδομένου ότι η απαραίτητη θερμοκρασία παραγωγής είναι χαμηλότερη από αυτή των εξαναγκασμένων συστημάτων αέρα.

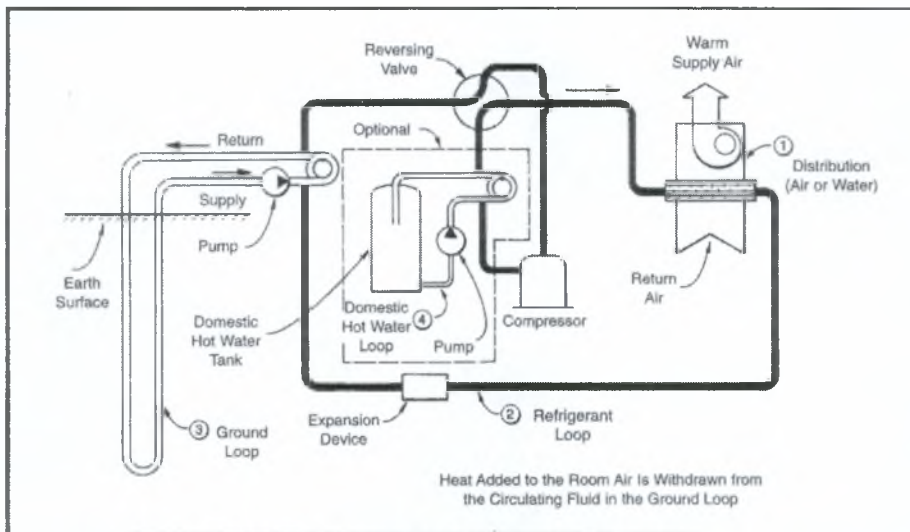
#### **4.11 Λειτουργία Αντλιών Θερμότητας**

---

Το γεωθερμικό σύστημα αντλιών θερμότητας αποτελείται από τρεις βρόχους που λειτουργούν κατά τη διάρκεια όλων των κύκλων αντλιών θερμότητας και ένα προαιρετικό τέταρτο βρόχο που προθερμαίνει εσωτερικό ζεστό νερό (υπερθερμαντήρας). Οι τέσσερις βρόχοι παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.9 και 4.10



Σχήμα 4.9: Το σύστημα σε λειτουργία ψύξης



Σχήμα 4.10: Το σύστημα σε λειτουργία θέρμανσης

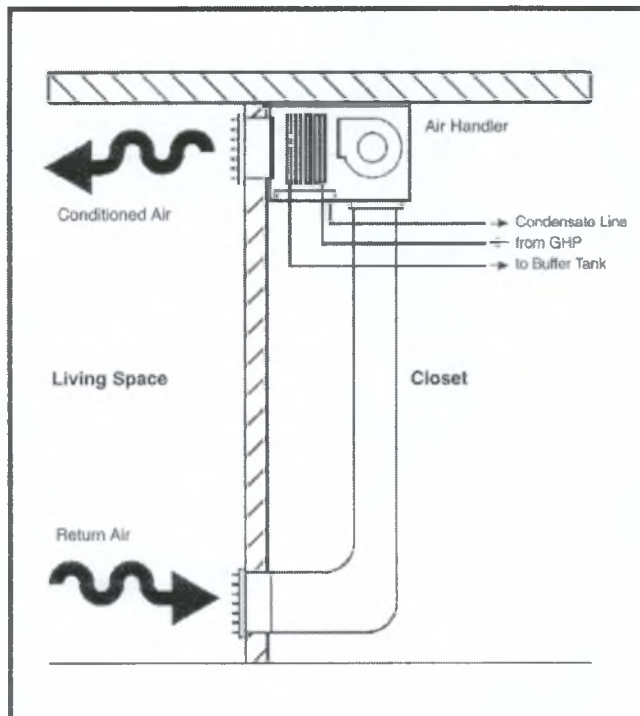
### Βρόχος Διανομής

Είναι ο βρόχος που μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από το βρόχο ψυκτικών ουσιών με τη βοήθεια ενός βρόχου αέρα (που θερμαίνεται ή ψύχεται) ή έναν βρόχο νερού (που θερμαίνεται ή ψύχεται) για το κλιματισμό χώρων.

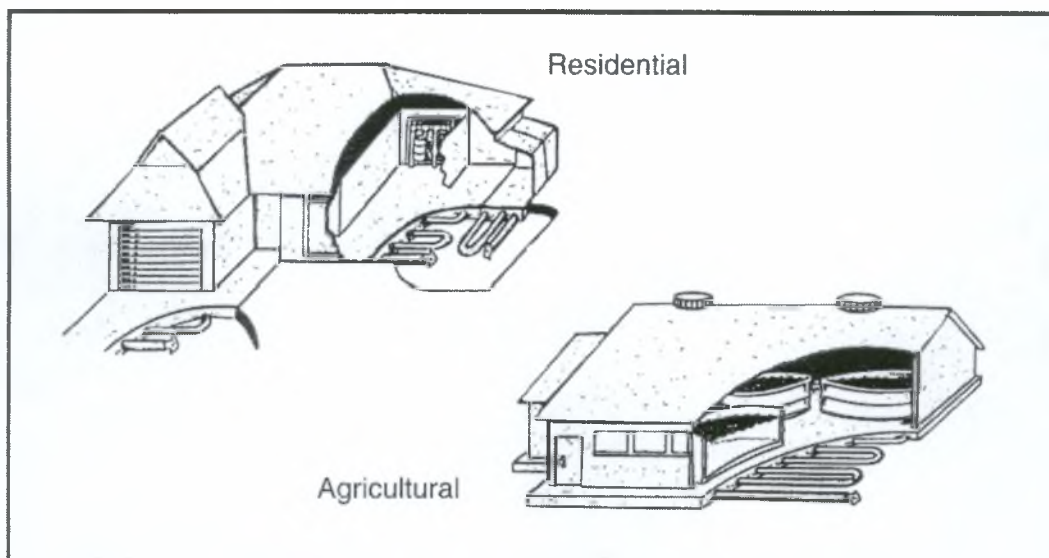
Βρόχος αέρα ονομάζεται ο βρόχος που χρησιμοποιείται για να διανείμει το ρυθμισμένο αέρα στα διάφορα τμήματα του κτιρίου. Ένας ανεμιστήρας χρησιμοποιείται για να μεταφέρει τον αέρα μέσω ενός συστήματος διανομής αγωγών.

Οι αγωγοί έχουν ως σκοπό να διανείμουν το ρυθμισμένο αέρα στις συγκεκριμένες θέσεις ανάλογα με την απώλεια θερμότητας ή το κέρδος τους.

Βρόχος νερού είναι ο βρόχος που χρησιμοποιείται για να διανείμει το κρύο ή ζεστό νερό στις μονάδες σπειρών των ανεμιστήρων (fancoil) (Σχήμα 4.11) ή στην ενδοδαπέδια θέρμανση και τα συστήματα ψύξης (Σχήμα 4.12). Ένας μικρός τροφοδοτούμενος κυκλοφορητής ρευστού κινεί ένα ρευστό προς κάθε ζώνη κλιματισμού. Τα μεμονωμένα δωμάτια μπορούν να έχουν ελεγχόμενη θερμοκρασία.



Σχήμα 4.11: Μονάδα fan coil



Σχήμα 4.12: Είδη επιδαπέδιας θέρμανσης

### **Βρόχος Ψυκτικών Ουσιών**

Είναι ένας σφραγισμένος και διατηρημένος σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση βρόχος που μεταφέρει τη θερμική ενέργεια από σημείο σε σημείο στο κύκλωμα. Η ροή ψυκτικών ουσιών κυκλοφορεί μέσω του κυκλώματος από έναν συμπιεστή που βρίσκεται στο κομμάτι της ατμοποιημένης φάσης του ρευστού του βρόχου.

### **Επίγειος Βρόχος**

Ο επίγειος βρόχος είναι ένας σφραγισμένος και διατηρημένος σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση βρόχος του νερού ή του διαλύματος αντιψυκτικού που κυκλοφορεί κάτω από τη γήινη επιφάνεια, απορροφά τη θερμότητα από την περιβάλλουσα γη το χειμώνα και απορρίπτει τη θερμότητα το καλοκαίρι. Το ρευστό με τη βοήθεια μιας χαμηλής ισχύος αντλίας κυκλοφορεί στο κύκλωμα.

### **Εσωτερικός Βρόχος Ζεστού Νερού**

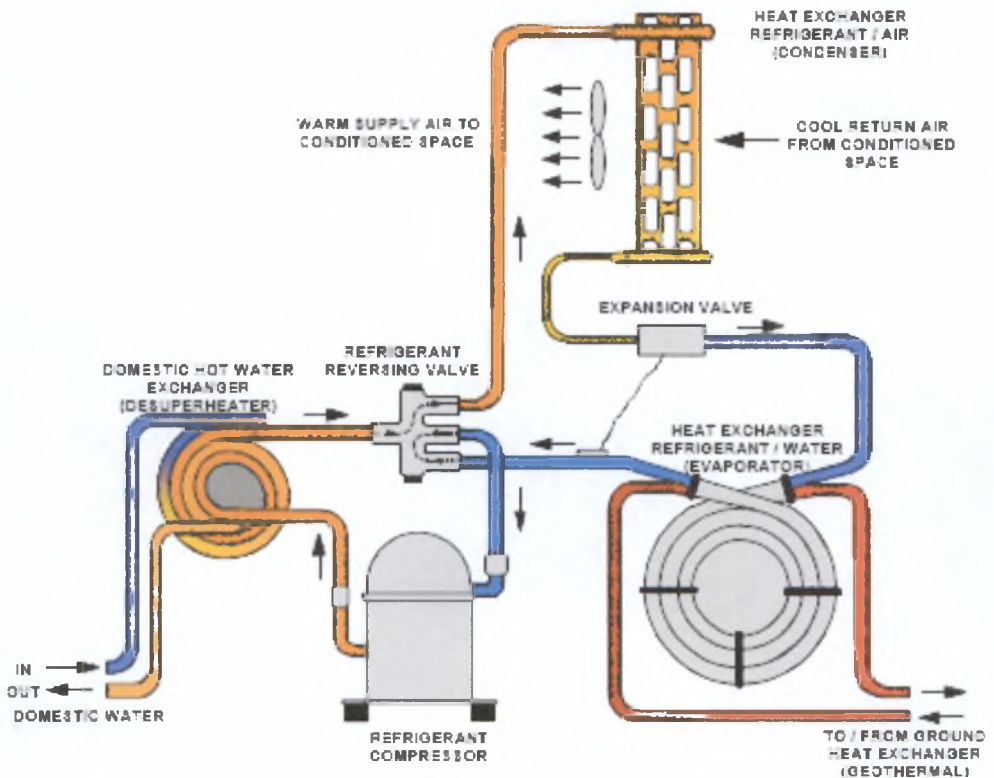
Είναι ένας σφραγισμένος και διατηρημένος σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση βρόχος που κυκλοφορεί το νερό από την εσωτερική καυτή δεξαμενή νερού μιας αντλίας θερμότητας στον υπερθερμαντήρα (ένας θερμοσίφοντας διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας) για να προθερμαίνει εσωτερικό ζεστό νερό. Το εσωτερικό ζεστό νερό σε αυτόν τον βρόχο κυκλοφορεί από μια χαμηλής ισχύος αντλία. Οι νεώτερες αντλίες θερμότητας μπορούν να έχουν την πλήρη συμπίκνωση (ολόκληρη

η ικανότητα της αντλίας θερμότητας είναι διαθέσιμη για τη θέρμανση νερού) που παρέχει 100% εσωτερικό ζεστό νερό.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας αντλιών θερμότητας, η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από έναν βρόχο σε άλλο για να παρέχει τη θέρμανση, τη ψύξη, τη ξήρανση και την εσωτερική προθέρμανση ζεστού νερού.

#### 4.11.1 Κύκλος Θέρμανσης

Κατά τη διάρκεια των κύκλων θέρμανσης (Σχήμα 4.13), εισαγωγές θεωρούνται η θερμική ενέργεια από τη γη, η ενέργεια του συμπιεστή της αντλίας θερμότητας, η αντλία κυκλοφορίας και η ενέργεια των ανεμιστήρων. Από την άλλη μεριά, τα αποτελέσματα είναι η θέρμανση χώρου και η παροχή ζεστού νερού.



Σχήμα 4.13: Κύκλος θέρμανσης

Οι σημαντικότερες εισαγωγές θερμότητας είναι η θερμική ενέργεια από τη γη και η ενέργεια συμπιεστών. Για ένα σύστημα αντλιών θερμότητας 3-τόνων (36.000 Btu/hr.) που λειτουργεί με έναν συντελεστή απόδοσης (COP) 3, τα δύο τρίτα (24.000 Btu/hr.) της παραδοθείσας ενέργειας θα προέλθουν από τη γη και το ένα τρίτο (12.000 Btu/hr.) από τις ηλεκτρικές ενεργειακές εισαγωγές. Εάν η συνολική ενέργεια που απαιτείται είναι μεγαλύτερη από αυτό, χρειάζεται επιπλέον κάποια μορφή συμπληρωματικής θερμότητας. Θεωρητικά το ποσό θερμότητας που εισάγεται στο σύστημα από τους ανεμιστήρες, τις αντλίες κ.λ.π., θα είναι μικρότερο σε σύγκριση με την ενέργεια της γης και των συμπιεστών, εντούτοις, θα ληφθεί υπ'οψιν στη διαδικασία σχεδιασμού.

Ο ατμός ψυκτικών ουσιών στο κύκλωμα συμπιέζεται αρχικά, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεση του. Αυτή η αύξηση της πίεσης αναγκάζει τον ατμό να κινηθεί μέσω του συστήματος ψυκτικών ουσιών.

Κατά τη διάρκεια του κύκλου θέρμανσης, μια αντλία κυκλοφορίας κινεί το ρευστό ή ένα διάλυμα αντιψυκτικού μέσω του θαμμένου γεωεναλλάκτη. Όταν το ρευστό κυκλοφορεί μέσω του επίγειου βρόχου, θερμαίνεται από τη γη υψηλότερης θερμοκρασίας. Ο βρόχος ψυκτικών ουσιών απορροφά τη θερμική ενέργεια από τον επίγειο βρόχο. Η θερμότητα μεταφέρεται από το ρευστό στον εναλλάκτη θερμότητας ψυκτικών ουσιών που βρίσκεται στην αντλία θερμότητας πηγής ρευστού. Κατά τη διάρκεια αυτού του κύκλου, ο εναλλάκτης θερμότητας ρευστού-ψυκτικών ουσιών χρησιμεύει ως εξατμιστήρας που μετατρέπει την υγρή ψυκτική ουσία σε ατμό.

Στην πλευρά απαλλαγής του συμπιεστή, ο καυτός ατμός ή το αέριο περνά μέσω ενός δευτέρου εναλλάκτη θερμότητας ρευστού - ψυκτικών ουσιών (για εκείνες τις μονάδες που εξοπλίζονται με υπερθερμαντήρα) και προθερμαίνει το εσωτερικό ζεστό νερό. Το εσωτερικό ζεστό νερό, που πρόκειται να προθερμανθεί, κυκλοφορεί από μια αντλία. Σε αυτό το σημείο, μόνο μια μικρή ποσότητα της συνολικής διαθέσιμης ενέργειας αφαιρείται.

Ο καυτός ατμός συνεχίζει σε έναν εναλλάκτη θερμότητας ψυκτικών ουσιών που αυξάνει τη θερμοκρασία στον κτιριακό χώρο με την παραγωγή του δροσερού αέρα επιστροφής να απορροφά τη θερμότητα από τον καυτό ατμό. Καθώς η θερμότητα αφαιρείται από την ψυκτική ουσία στον εναλλάκτη θερμότητας, ο ατμός

συμπυκνώνεται σε υγρό. Κατά συνέπεια, κατά τη διάρκεια του κύκλου θέρμανσης, η σπείρα εσωτερικού αέρα χρησιμεύει ως συμπυκνωτής του συστήματος. Το ζεστό νερό επιστρέφει από τα περάσματα του συμπυκνωτή μέσω μιας συσκευής που μειώνει την πίεσή του, προκαλώντας επίσης μια αντίστοιχη μείωση της θερμοκρασίας. Το χαμηλής πίεσεως και θερμοκρασίας υγρό πηγαίνει στη συνέχεια στον εξατμιστήρα όπου η θερμική ενέργεια από τον επίγειο βρόχο ατμοποιεί την ψυκτική ουσία και ο κύκλος συνεχίζεται.

#### 4.11.2 Ψυκτικός Κύκλος

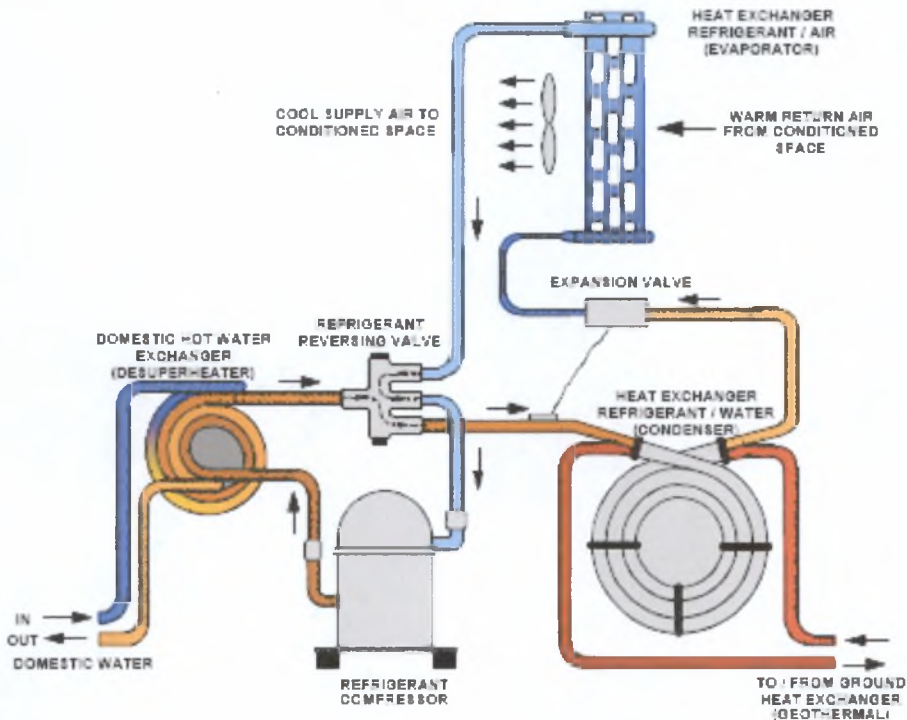
Κατά τη διάρκεια των ψυκτικών κύκλων (Σχήμα 4.14), οι εισαγωγές είναι η ψύξη του σπιτιού, η ενέργεια των συμπιεστών και η ενέργεια των αντλιών και των ανεμιστήρων. Επιπλέον, τα αποτελέσματα θερμότητας είναι η αποβολή της θερμότητας στο έδαφος και η παραγωγή εσωτερικού ζεστού νερού.

Η παραγωγή θερμότητας κατά τη διάρκεια της ψύξης θα είναι γενικά πολύ μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για το εσωτερικό ζεστό νερό. Για μια ονομαστική ψυκτική μονάδα 3 tn (36.000 Btu/hr), το καθαρό ποσό απορριφθείσας θερμότητας είναι περίπου 50.000 Btu/hr. Από αυτό, μόνο περίπου 12.000 έως 15.000 Btu/hr απαιτούνται για το εσωτερικό ζεστό νερό, εάν η μονάδα έχει αυτήν την επιλογή. Η υπόλοιπη θερμότητα πρέπει να απορριφθεί μέσω του γεωεναλλάκτη στη γη. Σε σύγκριση με τον κύκλο θέρμανσης, που απορρόφησε μόνο 24.000 Btu/hr, στους ψυκτικούς κύκλους απορρίπτεται γενικά σχεδόν η διπλάσια θερμότητα για κάθε ώρα λειτουργίας.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ψύξης, το καυτό αέριο που αφήνει το συμπιεστή προθερμαίνει το εσωτερικό ζεστό νερό και έπειτα οδηγείται στον εναλλάκτη θερμότητας νερού, όπου η υπερβολική θερμότητα απορρίπτεται στη γη. Η ψύξη χώρου ολοκληρώνεται με την ψύξη του θερμού εσωτερικού αέρα όπως η κρύα υγρή ψυκτική ουσία εξατμίζεται στον εσωτερικό αέρα του εναλλάκτη θερμότητας.

Τα Σχήματα 4.13 και 4.14 επεξηγούν τα εξαρτήματα και τη ρύθμισή τους σε μια εμπορική αντλία θερμότητας πηγής νερού. Σε αυτά τα σχέδια περιλαμβάνεται μια βαλβίδα αντιστροφής που αλλάζει την κατεύθυνση της ροής ψυκτικών ουσιών μεταξύ της σπείρας εσωτερικού αέρα και του εναλλάκτη θερμότητας σπειρών νερού

κατά τη διάρκεια των θερμαντικών και ψυκτικών κύκλων. Όπως μπορεί να σημειωθεί, η σπείρα που προθερμαίνει το εσωτερικό ζεστό νερό, βρίσκεται μεταξύ των συμπιεστών και της βαλβίδας αντιστροφής, η οποία επιτρέπει τη θέρμανση του εσωτερικού ζεστού νερού και στον κύκλο θέρμανσης και στον κύκλο ψύξης.



Σχήμα 4.14: Ψυκτικός κύκλος

### 4.11.3 Εσωτερικές Επιλογές Ζεστού Νερού (“desuperheater”)

Εκτός από τη θέρμανση και την ψύξη χώρου, οι μονάδες αντλιών θερμότητας είναι διαθέσιμες με τέσσερις συγκεκριμένες εσωτερικές επιλογές ζεστού νερού:

1. **Καμία:** Να μην υπάρχει αυτή η ικανότητα.
2. **Συμπληρωματική:** Μερική προθέρμανση (υπερθερμαντήρας) κατά τη διάρκεια της λειτουργίας αντλιών θερμότητας και στους θερμαντικούς και ψυκτικούς κύκλους.
3. **Απαιτούμενη:** Καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, συνολική (πλήρης θέρμανση νερού συμπύκνωσης) θέρμανση ζεστού νερού σε βάση πρώτης προτεραιότητας .
4. **Αφιερωμένη:** Μια αντλία θερμότητας νερού- νερού που τρέχει ανεξάρτητα από το ρυθμιζόμενο σύστημα χώρου και παρέχει συνέχεια ζεστό νερό.



Η επιλογή 1 είναι μια συμβατική αντλία θερμότητας πηγής νερού χωρίς παροχή για την εσωτερική προθέρμανση ζεστού νερού. Αυτή η διαμόρφωση αντιπροσωπεύει τη χαμηλότερη σε δαπάνες αντλία θερμότητας πηγής νερού. Χρησιμοποιείται στις κατοικίες με περισσότερες από μια αντλίες θερμότητας και όπου δεν υπάρχει καμία απαίτηση για το εσωτερικό ζεστό νερό.

Η επιλογή 2 χρησιμοποιεί έναν εναλλάκτη θερμότητας με ψυκτική ουσία το νερό (υπερθερμαντήρας) που εγκαθίσταται στην έξοδο του συμπιεστή των αντλιών θερμότητας. Στα νότια κλίματα, το ζεστό νερό είναι διαθέσιμο κατά τη διάρκεια της εποχής ψύξης και μπορεί χαρακτηριστικά να παρέχει 100% της ανάγκης για εσωτερικό ζεστό νερό.

Το χειμώνα, ο υπερθερμαντήρας που παράγει το εσωτερικό ζεστό νερό ανταγωνίζεται με το φορτίο θέρμανσης. Δεδομένου ότι υπάρχει γενικά πλεονάζουσα ικανότητα λειτουργίας για πολλές χειμερινές ώρες, το εσωτερικό ζεστό νερό παράγεται με μια αποδοτικότητα ίση με την αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας. Κατά τη διάρκεια των περιόδων που η ικανότητα αντλιών θερμότητας είναι ανεπαρκής ώστε να αντεπεξέλθει στο συνολικό φορτίο θέρμανσης, απαιτείται συμπληρωματική θερμότητα. Οι διαθέσιμες επιλογές είναι ή να κλείσει ο υπερθερμαντήρας ή να δουλεύει και να προσθέτει τη συμπληρωματική θερμότητα στο ρεύμα αέρος. Η προσθήκη της συμπληρωματικής θερμότητας στο ρεύμα αέρος θα οδηγούσε σε υψηλότερη θερμοκρασία αγωγών και μεγαλύτερη άνεση.

Στην επιλογή 3, το εσωτερικό ζεστό νερό είναι σε 100% προτεραιότητα και ολοκληρώνεται πριν οποιαδήποτε θέρμανση ή ψύξη χώρου. Όλες οι εσωτερικές απαιτήσεις ζεστού νερού καλύπτονται από το σύστημα αντλιών θερμότητας. Αυτές οι μονάδες έχουν ένα απολύτως διαφορετικό σχέδιο. Οι αντλίες θερμότητας με αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα θα έχουν τους πιο μακροχρόνιους κύκλους, οι οποίοι βελτιώνουν την απόδοση αντλιών θερμότητας και μειώνει την ετήσια απαίτηση ενεργειακών δαπανών.

Η επιλογή 4 είναι μια αντλία θερμότητας που παρέχει 100% του εσωτερικού ζεστού νερού από μια αυτόνομη αντλία θερμότητας νερού-νερού. Άλλες επιλογές συνδέσεων περιλαμβάνουν την μονάδα αέρα- νερού.

Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν μέτρα ώστε να επιτρέπεται ο καθαρισμός των σπειρών που κυκλοφορεί το νερό σε όλες τις αντλίες θερμότητας πηγής νερού για να αποφευχθούν συγκεντρώσεις κλίμακας και να αποτραπεί η μείωση της αποδοτικότητάς τους. Στις περιοχές με εξαιρετικά σκληρό νερό, πρέπει να αξιολογείται προσεκτικά η χρήση αυτών των συστημάτων.

## **4.12 Υλικά και Τμήματα Συστημάτων**

---

### **4.12.1 Πλαστικός Σωλήνας**

Το πιο κοινό υλικό που χρησιμοποιείται στους υπόγειους εναλλάκτες θερμότητας είναι το πολυαιθυλένιο επειδή θεωρείται εύκαμπτο, πράγμα που επιτρέπει την εύκολη εγκατάστασή του. Μπορεί να ενωθεί με την μέθοδο της θερμοκόλλησης, η οποία δίνει υψηλή αξιοπιστία, ενώ το χρησιμοποιούμενο μέγεθος σωλήνα πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά.

### **4.12.2 Διαλύματα Αντιψυκτικού**

Εκτός από τα πιο νοτιότερα κλίματα, απαιτείται ένα διάλυμα αντιψυκτικού για να αποτρέψει το πάγωμα του διαλύματος στο γεωεναλλάκτη των αντλιών θερμότητας. Οι επιλογές είναι οι ακόλουθες:

1. Χλωριούχο ασβέστιο και χλωριούχο νάτριο
2. Αιθύλενο-γλυκόλη και προπύλενο-γλυκόλη
3. Μεθυλική ή ισοπροπυλική ή αιθυλική αλκοόλη
4. Διάλυμα-οξικών αλάτων και ανθρακικών αλάτων

Το ρευστό που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι ασφαλές, μη τοξικό, μη διασπώμενο, να εγγυάται την καλή μεταφορά θερμότητας και να έχει χαμηλό κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Τα κυριότερα διαλύματα αντιψυκτικού αποτελούνται από γλυκόλες. Αυτές είναι ασφαλείς, μη τοξικές, γενικά μη διασπώμενες, έχουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας, μέσο κόστος και πεπερασμένη διάρκεια λειτουργίας. Σε λειτουργία χαμηλής θερμοκρασίας, οι γλυκόλες μπορούν να γίνουν ιξώδεις, απαιτώντας μεγαλύτερη δύναμη άντλησης, μειώνοντας έτσι την αποδοτικότητα

συστημάτων αντλιών θερμότητας. Στα νότια κλίματα, όπου οι θερμοκρασίες λειτουργίας των αντλιών θερμότητας κλειστών βρόχων παραμένουν πάνω από 0°C, οι γλυκόλες έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς.

Τα άλατα είναι ασφαλή και μη τοξικά, έχουν καλά χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας, χαμηλότερο κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής, αλλά είναι διαβρωτικά παρουσία του αέρα και των περισσότερων μετάλλων. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των αλάτων είναι η διαβρωτική φύση τους και τα προβλήματα καθαρισμού τους. Ένα πολύ θετικό σημείο αποτελεί το γεγονός ότι θεωρούνται μη τοξικά και περιβαλλοντικά ασφαλή, ενώ με κατάλληλη επιλογή μεταλλικών τμημάτων και τον εξαγνισμό του αέρα του συστήματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχώς. Στα βόρεια κλίματα, όπου οι θερμοκρασίες λειτουργίας βρόχων αντλιών θερμότητας φθάνουν έως και τους -5°C, έχουν χρησιμοποιηθεί το χλωριούχο ασβέστιο και η μεθανόλη.

Οι αλκοόλες δεν είναι ασφαλείς γιατί είναι καυστικές και εκρήγνυνται όταν αναμιγνύονται με τον αέρα, είναι τοξικές και σχετικά μη διασπώμενες, αλλά έχουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά μεταφοράς θερμότητας, μέσο κόστος και μεγάλη διάρκεια ζωής. Η αραίωση ενός διαλύματος αλκοόλης πριν μπει στον γεωεναλλάκτη μειώνει κάπως τον κίνδυνο έκρηξης. Οι αλκοόλες είναι μη διασπώμενες, χαρακτηριστικό το οποίο κάνει τη χρήση τους πολύ δημοφιλή. Χρησιμοποιούνται και στα βόρεια και νότια κλίματα.

Το οξικό άλας καλίου και το ανθρακικό άλας καλίου είναι σχετικά νέα ρευστά μεταφοράς θερμότητας για τις εφαρμογές αντλιών θερμότητας. Το οξικό άλας καλίου είναι ιδιαίτερα βιοδιασπώμενο με ένα χαμηλό BOD. Έχει ένα χαμηλό ιξώδες, το οποίο μειώνει τη δύναμη άντλησης στις χαμηλότερες εισηγμένες υγρές θερμοκρασίες.

#### **4.12.3 Μεταλλικά Τμήματα**

Τα μεταλλικά τμήματα στο σύστημα πρέπει να είναι συμβατά με το γεωθερμικό ρευστό κυκλοφορίας του κλειστού βρόχου. Ορισμένα τμήματα χρειάζεται να επιλεχτούν προσεκτικά, όπως η αντλία κυκλοφορίας και οι φλάντζες των αντλιών, όλοι οι μεταλλικοί σωλήνες της διοχέτευσης, οι βαλβίδες ελέγχου και οποιοδήποτε μεταλλικό τμήμα που έρχεται σε επαφή με το ρευστό κυκλοφορίας.

#### 4.12.4 Αντλίες Θερμότητας

Διάφορες άριστες αντλίες θερμότητας πηγής ρευστού στην αγορά έχουν σχεδιαστεί για τη λειτουργία του κλειστού βρόχου συνδεδεμένου με το έδαφος. Για τη σωστή λειτουργία των κλειστών βρόχων, πρέπει να εξεταστούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Όριο θερμοκρασίας του εισερχόμενου υγρού από τον κατασκευαστή
2. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα (εσωτερικό ζεστό νερό)
3. Λίστες ασφάλειας (UL, ETL, κ.λ.π.)
4. Τύπος (κομμάτια, συσκευασία, ρευστού - ρευστού, κ.λ.π.)
5. Εξουσιοδοτήσεις
6. Εκτίμηση απόδοσης

Οι αντλίες θερμότητας πηγής νερού μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τις εφαρμογές τους και συνεπώς το εύρος θερμοκρασιών εισόδου των υγρών. Παραδείγματος χάριν, στα εμπορικά κτίρια το εύρος της θερμοκρασίας μπορεί να κυμαίνεται από 15°C έως 35°C. Εάν η θερμοκρασία εισόδου του νερού πέσει κάτω από 15°C, ένας λέβητας χρησιμοποιείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία. Εάν η θερμοκρασία ανέβει πάνω από 35°C, ένας πύργος ψύξης χρησιμοποιείται για να απορρίψει τη θερμότητα. Οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για αυτόν τον τύπο εφαρμογής δεν μπορούν γενικά να χρησιμοποιηθούν για συστήματα συνδεδεμένα στο έδαφος όπου η θερμοκρασία εισόδου μπορεί να κυμανθεί από -5°C έως 40°C. Ένας δεύτερος τύπος αντλίας θερμότητας είναι μια αντλία θερμότητας υπόγειων νερών που λειτουργεί καλά σε θερμοκρασίες νερού με εύρος -5°C έως 23°C. Το συνδεδεμένο σύστημα στο έδαφος λειτουργεί από -5°C έως 35°C στα βόρεια κλίματα και από 5°C έως 40°C στα νότια κλίματα. Πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη προσοχή για να επιλεγεί μια μονάδα που είναι κατάλληλη για την αναμενόμενη ή τη θεωρητική θερμοκρασία του νερού.

#### 4.12.5 Σύνοψη ΓΑΘ

Η τεχνολογία που εφαρμόζεται ευρύτατα σήμερα είναι ο εναλλάκτης θερμότητας γεωτρήσεων (BHE). Από όλα τα σχέδια που προτείνονται για γεωθερμικές εφαρμογές, το σχέδιο u-σωλήνων έχει την καλύτερη αναλογία κόστους-απόδοσης έναντι των υπολοίπων. Στην κεντρική Ευρώπη είναι δημοφιλής ο διπλός u-σωλήνας, ενώ στη βόρεια Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική επικρατεί ο ενιαίος u-σωλήνας. Μπορεί να ειπωθεί γενικά, ότι οι διπλοί u-σωλήνες επιτρέπουν μια θερμική αποδοτικότητα 15-25% υψηλότερη από τους ενιαίους u-σωλήνες. Κατά συνέπεια, στις περιοχές με χαμηλό κόστος διάτρησης, αλλά υψηλότερο κόστος σωλήνων, προτιμάται ο ενιαίος u-σωλήνας, και στις περιοχές με υψηλό κόστος διάτρησης και φτηνούς σωλήνες, ο διπλός u-σωλήνας είναι οικονομικότερος. Πειραματικές και θεωρητικές έρευνες (στο πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα) έχουν διεξαχθεί κατά τη διάρκεια αρκετών ετών για να διαμορφώσουν μια στερεή βάση για το σχέδιο και την αξιολόγηση απόδοσης των συστημάτων BHE. Ενώ στη δεκαετία του '80 η θεωρητική θερμική ανάλυση των BHE συστημάτων επικράτησε στη Σουηδία, ο έλεγχος και η προσομοίωση έγιναν στην Ελβετία και οι μετρήσεις της μεταφοράς επίγειας θερμότητας έγιναν σε μια περιοχή δοκιμής στη Γερμανία.

## 5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η μέθοδος για τον εναλλάκτη επίγειας θερμότητας (ΓΑΘ) που περιγράφεται στην συνέχεια απαιτεί γνώση της ελάχιστης και μέγιστης επίγειας θερμοκρασίας στο βάθος της ΓΑΘ. Η θερμοκρασία του εδάφους χρησιμοποιείται επίσης και στην αξιολόγηση των απωλειών θερμότητας από τα υπόγεια κατοικημένων κτιρίων.

Ακολουθώντας την μέθοδο της IGSHPA (International Ground Source Heat Pump Association, 1988), η σταθερή επίγεια θερμοκρασία,  $T_g$ , εκφρασμένη σε °C, μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την Σχέση 5.1:

$$T_g(X_s, s) = \bar{T}_g - A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{365}\left[t - t_0 - \frac{X_s}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right]\right) \quad (5.1)$$

όπου  $X_s$  είναι το εδαφολογικό βάθος σε m,  $t$  η ημέρα του έτους,  $T_g$  η μέση ετήσια θερμοκρασία του χώματος στην επιφάνεια,  $A_s$  το ετήσιο εύρος θερμοκρασίας στην επιφάνεια ( $T_{\max} - T_{\min}$ ),  $t_0$  μια σταθερά που εκφράζεται σε ημέρες και  $\alpha$  η θερμική διαχυτότητα του εδάφους, που ισούται με :

$$a = \frac{k}{\rho C_p} \quad (5.2)$$

όπου  $k$  είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους σε  $W/m \cdot ^\circ C$ ,  $\rho$  η πυκνότητα σε  $kg/m^3$  και  $C_p$  είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα σε  $kJ/kg \cdot ^\circ C$  (Πίνακας 5.1).

Πίνακας 5.1: Στοιχεία διάφορων ειδών χόματος σε S.I.

Τύπος εδάφους	Αγωγιμότητα, W/m·°C	Διαχυτότητα, m <sup>2</sup> /s	Πυκνότητα, kg/m <sup>3</sup>	Θερμο- χωρητικότητα, kJ/ kg·°C
Ελαφρύ, υγρό έδαφος (άμμος, ιλύς)	0,9	5,2x10 <sup>-7</sup>	1600	1,05
Ελαφρύ, ξηρό έδαφος (άμμος, ιλύς)	0,3	2,8x10 <sup>-7</sup>	1400	0,84
Βαρύ, υγρό έδαφος (άργιλος, πυκνή άμμος)	1,3	6,5x10 <sup>-7</sup>	2100	0,96
Βαρύ, υγρό έδαφος (άργιλος, πυκνή άμμος)	0,9	5,2x10 <sup>-7</sup>	2000	0,84
Ελαφρύ πέτρωμα (ασβεστόλιθος)	2,4	1,3x10 <sup>-6</sup>	2800	0,84
Βαρύ πέτρωμα (γρανίτης)	3,5	1,4x10 <sup>-6</sup>	3200	0,84

Από την εξίσωση (8.1), οι ελάχιστες και μέγιστες επίγειες θερμοκρασίες για οποιοδήποτε βάθος μπορούν να εκφραστούν ως:

$$T_{g,\min} = \bar{T}_g - A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (5.3)$$

$$T_{g,\max} = \bar{T}_g + A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (5.4)$$

Για πολλά οριζόντια συστήματα σωλήνων εναλλακτών θερμότητας ή ρηχές κάθετες γεωτρήσεις, το  $X_s$  μπορεί να τεθεί ίσο με το μέσο βάθος στις παραπάνω εξισώσεις. Για τα κάθετα συστήματα συνήθως, παίρνει μια σταθερή τιμή δεδομένου ότι η υπεδάφια θερμοκρασία δεν ποικίλλει σημαντικά κατά τη διάρκεια του έτους.

## 5.1 Επίγεια Σύνδεση – ΓΑΘ Κλειστών Βρόχων

Αυτό το κομμάτι εισάγει τη διαδικασία για να υπολογιστεί το μέγεθος και η απόδοση εναλλακτών επίγειας θερμότητας κλειστών βρόχων (ΓΑΘ). Παρακάτω αποδίδονται στοιχεία και για τον εναλλάκτη αλλά και για την ίδια την αντλία.

## 5.2 Υπολογισμός Γεωεναλλάκτη

Η ταξινόμηση εναλλακτών επίγειας θερμότητας αφορά κυρίως στον προσδιορισμό του μήκους του εναλλάκτη θερμότητας. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται προσαρμόζεται κατά ένα μεγάλο μέρος στην οδηγία IGSHPA (1988). Το απαραίτητο μήκος ΓΑΘ βασισμένο στις απαιτήσεις θέρμανσης,  $L_h$ , είναι:

$$L_h = q_{q,heat} \left[ \frac{\frac{(COP_h - 1)(R_p + R_s F_h)}{COP_h}}{T_{g,min} - T_{ewt,min}} \right] \quad (5.5)$$

όπου  $COP_h$  είναι ο συντελεστής απόδοσης της θέρμανσης (COP) της αντλίας θερμότητας,  $R_p$  η θερμική αντίσταση σωλήνων,  $R_s$  η θερμική αντίσταση του χώματος,  $F_h$  ο παράγοντας φορτίων της ΓΑΘ για τη θέρμανση,  $T_{g,min}$  η ελάχιστη επίγεια θερμοκρασία και  $T_{ewt,min}$  η ελάχιστη θερμοκρασία εισόδου του νερού (EWT) στην αντλία θερμότητας.

Μια παρόμοια εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί το απαραίτητο μήκος της ΓΑΘ  $L_c$  βασισμένο στις απαιτήσεις ψύξης:

$$L_c = q_{l,cool} \left[ \frac{\frac{(COP_c + 1)(R_p + R_s F_c)}{COP_c}}{T_{ewt,max} - T_{g,max}} \right] \quad (5.6)$$

όπου  $COP_c$  είναι ο συντελεστής απόδοσης ψύξης (COP) της αντλίας θερμότητας,  $F_c$  ο παράγοντας φορτίου της ΓΑΘ για την ψύξη,  $T_{g,max}$  η μέγιστη επίγεια θερμοκρασία και  $T_{ewt,max}$  η μέγιστη θερμοκρασία εισόδου του νερού στην αντλία θερμότητας.



Οι εξισώσεις (5.5) και (5.6) δεν λαμβάνουν υπ' όψιν μακροπρόθεσμες θερμικές δυσανάλογες εκτίμησης που θα μπορούσαν να αλλάξουν την εδαφολογική θερμοκρασία για μια περίοδο πολλών ετών. Αυτές οι θερμικές δυσαναλογίες αποδίδονται γενικά σε σημαντικές διαφορές μεταξύ της ετήσιας θερμότητας που εξάγεται από το έδαφος και της θερμότητας που απορρίπτεται στο έδαφος κατά τη διάρκεια της εποχής ψύξης. Εντούτοις, αυτή η απλοποίηση θα μπορούσε να θεωρηθεί αποδεκτή κατά το προκαταρκτικό στάδιο αξιολόγησης του σχεδίου.

Επίσης, οι εξισώσεις (5.5) και (5.6) απαιτούν τον προσδιορισμό της θερμικής αντίστασης των σωλήνων  $R_p$  και τη θερμική αντίσταση του χώματος  $R_s$  οι οποίες καθορίζονται από γεωμετρικές και φυσικές εκτιμήσεις. Για οριζόντιες ΓΑΘ, η μέθοδος λαμβάνει υπόψη τις επιφανειακές επιδράσεις που παίζουν σημαντικό ρόλο στις τιμές της θερμικής αντίστασης του επιφανειακού χώματος. Οι τιμές της αντίστασης του εδάφους είναι ταξινομημένες σε πίνακες ως συνάρτηση της ακτινωτής απόστασης για διαφορετικά είδη χώματος (π.χ. ελαφρύ χώμα ή βαρύ χώμα, υγρό ή ξηρό, βράχος, κ.λ.π.). Οι θερμικές αντιστάσεις για permafrost εξήχθησαν συμπερασματικά από εκείνα για το κανονικό χώμα, με βάση τις ιδιότητες της εδαφολογικής αγωγιμότητας. Όπως παρουσιάζεται από τις εξισώσεις (5.5) και (5.6), υπάρχουν δύο πιθανά μήκη εναλλακτών θερμότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό ενός συστήματος κλειστών βρόχων. Η επιλογή μεταξύ της χρησιμοποίησης του μήκους της ψύξης ή της θέρμανσης αφήνεται στην κρίση του χρήστη βάση των ενεργειακών αναγκών του.

Η παρούσα απόφαση σχεδίου ασκεί επίδραση και στο κόστος και στην απόδοση του συστήματος GSHP. Η επιλογή ενός μήκους γεωεναλλάκτη που δεν θα είναι ικανοποιητικό για τη θέρμανση, απαιτεί ένα βοηθητικό σύστημα θέρμανσης. Η χρησιμοποίηση ενός μήκους γεωεναλλάκτη ανεπαρκούς για την ψύξη, θα απαιτήσει μια συμπληρωματική απόρριψη θερμότητας. Το πρότυπο GSHP λαμβάνει υπ' όψιν αυτές τις δύο δυνατότητες κατά τη διαμόρφωση της ΓΑΘ.

### **5.3 Σχεδιάζοντας Την Θερμοκρασία Εισόδου Του Νερού ( $T_{ewt}$ )**

Το σχέδιο μιας ΓΑΘ είναι από πολλές απόψεις παρόμοιο με αυτό ενός συμβατικού εναλλάκτη θερμότητας. Για ένα συμβατικό εναλλάκτη θερμότητας οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου συνήθως δίνονται για να υπολογιστεί ο εναλλάκτης θερμότητας.

Αυτό ισχύει επίσης και για μία ΓΑΘ. Το τελικό μέγεθος της ΓΑΘ καθορίζεται σε μεγάλο μέρος από τις απαιτήσεις του χρήστη για ελάχιστη ή μέγιστη θερμοκρασία στην έξοδο της ΓΑΘ κατά τη διάρκεια του έτους. Εντούτοις, οι τιμές για την μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία εξόδου της ΓΑΘ έχουν μια αρκετά περιορισμένη σειρά αποδεκτών τιμών.

Παραδείγματος χάριν, οι αντλίες θερμότητας με εκτεταμένη διακύμανση τιμών συνήθως έχουν ελάχιστη θερμοκρασία εισόδου νερού 20°F (-6.7°C) ( $T_{ewt,min}$ ) και 110°F (92.2°C) μέγιστη θερμοκρασία εισόδου νερού ( $T_{ewt,max}$ ). Σε άλλες εφαρμογές, οι τιμές αυτές μπορούν να κινηθούν πέρα από αυτά τα όρια αλλά δεν συνηθίζεται. Ένας τρόπος για να υπολογιστεί η ελάχιστη και η μέγιστη θερμοκρασία εισόδου του νερού είναι :

Ελάχιστη θερμοκρασία εισόδου του νερού

$$T_{ewt,min} = T_{g,min} + 9^{\circ}C \quad (5.7)$$

Μέγιστη θερμοκρασία εισόδου του νερού

$$T_{ewt,max} = \min(T_{g,max} - 6^{\circ}C, 43^{\circ}C) \quad (5.8)$$

Δεδομένου ότι το πρότυπο σχεδιάστηκε επίσης για να χρησιμοποιηθεί permafrost, ο περιορισμός της ελάχιστης εισόδου του νερού των -5°C δεν εφαρμόστηκε.

## 5.4 Παράγοντας Φορτίου (F)

Ο καθορισμός του μήκους του γεωεναλλάκτη που χρησιμοποιεί τις εξισώσεις (5.5) και (5.6) απαιτεί την αξιολόγηση του παράγοντα φορτίου των ΓΑΘ. Ο παράγοντας φορτίου (F) ισούται με τον λόγο των ωρών με πλήρες φορτίο κατά τη διάρκεια του μήνα προς το συνολικό αριθμό ωρών εκείνου του μήνα. Μπορεί να αξιολογηθεί ως:

$$F = \frac{\bar{q}}{q_{max}} \quad (5.9)$$

όπου το  $q$  και  $q_{max}$  είναι το μέσο φορτίο και μέγιστο φορτίο για το μήνα αντίστοιχα. Ο παράγοντας φορτίων F αξιολογείται για το μήνα ψύξης και το μήνα θέρμανσης, που είναι ο Ιούλιος και ο Ιανουάριος στο βόρειο ημισφαίριο, τιμές  $F_c$  και  $F_h$  αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις (5.5) και (5.6).

## 5.5 Συντελεστής Απόδοσης (COP) και Χωρητικότητα (Q)

Ο συντελεστής της απόδοσης (COP) ενός συστήματος αντλιών θερμότητας συνδέεται άμεσα με την θερμοκρασία εισόδου του νερού. Η χρήσιμη χωρητικότητα των ψυκτικών φορτίων και θερμότητας των εναλλακτών επίγειας θερμότητας συνδέεται μέσω των σχέσεων:

Για την ψύξη:

$$Q_c = Q_{he,c} \frac{COP_c}{COP_c + 1} \quad (5.10)$$

Για την θέρμανση:

$$Q_h = Q_{he,h} \frac{COP_h}{COP_h - 1} \quad (5.11)$$

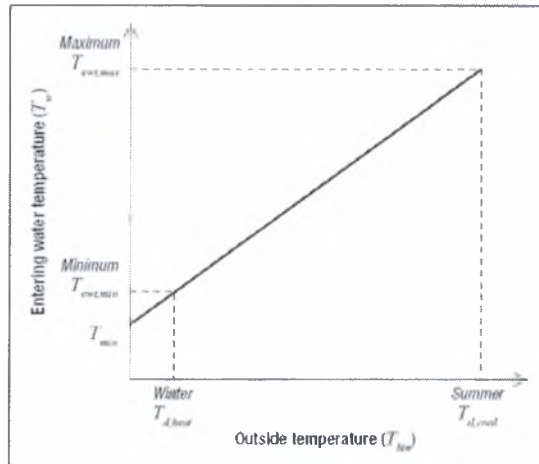
όπου  $Q_c$  είναι η χωρητικότητα ψύξης αντλιών θερμότητας στον εξαμιστήρα,  $Q_{he,c}$  η απορριφθείσα θερμότητα από τη ΓΑΘ στο συμπυκνωτή αντλιών θερμότητας κατά την ψύξη,  $Q_h$  η χωρητικότητα θέρμανσης των αντλιών θερμότητας στο συμπυκνωτή και  $Q_{he,h}$  η θερμότητα που εξάγεται από την ΓΑΘ στον εξαμιστήρα της αντλίας θερμότητας κατά την θέρμανση.

## 5.6 Θερμοκρασία Εισόδου Νερού ( $T_{w,i}$ ) Για Κλειστά Συστήματα

Για την αξιολόγηση του συντελεστή απόδοσης αντλιών θερμότητας (COP) και της σχετικής χωρητικότητας τους ( $Q_{c/h}$ ), για κάθε δοχείο θερμοκρασίας, μια μέθοδος γραμμικής παρεμβολής αναπτύχθηκε με βάση μια διαδικασία που παρουσιάζεται από την IGSHPA (1988) και παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1. Για μια δεδομένη θερμοκρασία  $T_{bin,i}$ , η θερμοκρασία  $T_{w,i}$  του νερού στην είσοδο της αντλίας θερμότητας είναι:

$$T_{w,i} = T_{min} + \left( \frac{T_{ewt,max} - T_{ewt,min}}{T_{d,cool} - T_{d,heat}} \right) (T_{bin,i} - T_{d,heat}) \quad (5.12)$$

όπου  $T_{min}$  αντιπροσωπεύει το σημείο όπου η καμπύλη κόβει των Y-άξονα και όλες οι άλλες μεταβλητές όπως καθορίστηκαν προηγουμένως.



Σχήμα 5.1: Γραμμική μέθοδος παρεμβολής

## 6 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΕΠΙΓΕΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

---

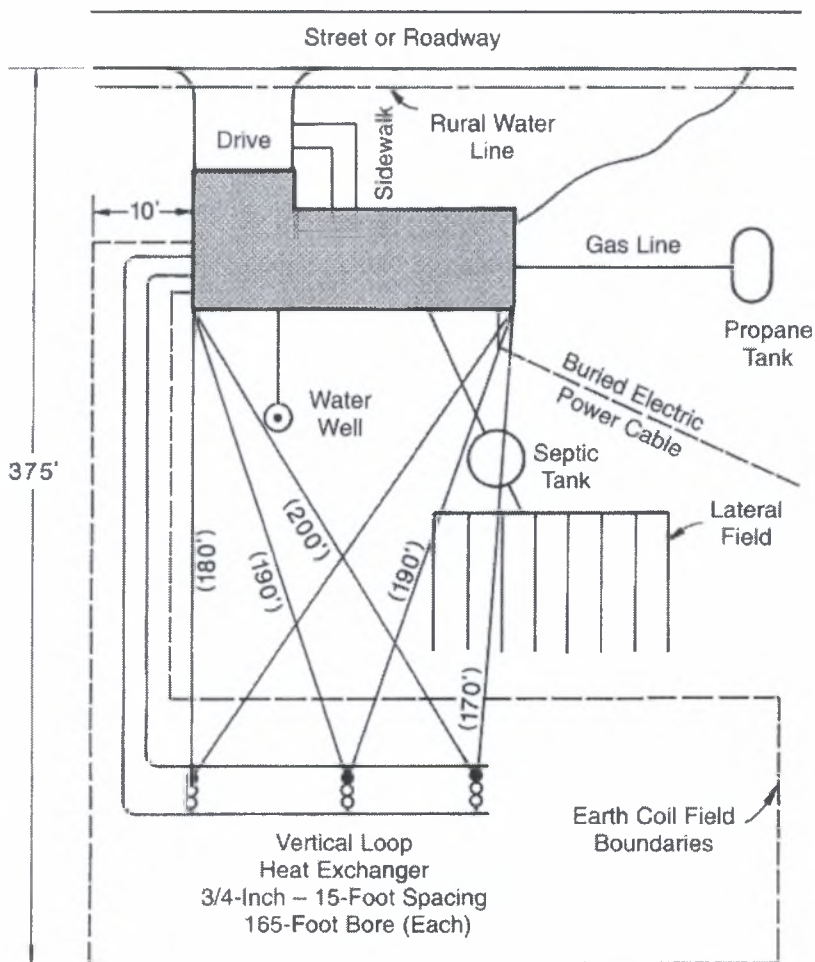
### 6.1 Προκαταρκτικά

---

Η εγκατάσταση ενός εναλλάκτη επίγειας θερμότητας είναι μια νέα δυνατότητα, αλλά και ένα νέο εμπόριο για αρκετές επιχειρήσεις. Αρχικός σκοπός του εγκαταστάτη βρόχων είναι να εγκαταστήσει, να δοκιμάσει την πίεση του γεωεναλλάκτη και να συνδέσει τους εναλλάκτες θερμότητας. Ένας κατασκευαστής συστημάτων HVAC κάνει τη σύνδεση δύο σωλήνων με την αντλία θερμότητας όπως διευκρινίζεται από τον κατασκευαστή, το διανομέα ή τον έμπορο.

Το σχέδιο της κατασκευής περιέχει μια πολύ καλή περιγραφή της θέσης των θαμμένων υπόγειων εξαρτημάτων που υπάρχουν σε μια δεδομένη περιοχή. Τα κυριότερα πράγματα που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής είναι οι δαπάνες εγκατάστασης οι οποίες αυξάνονται εντυπωσιακά καθώς άλλες υπηρεσίες κόβονται, αλλά κυρίως η διακριτοποίηση του χώρου στον οποίο έχει εγκατασταθεί το υπόγειο σύστημα στην επιφάνεια. Αυτό γίνεται διότι υπάρχει περίπτωση να ξεχαστεί η ακριβής αρχική θέση του συστήματος, αλλά και να επιδεινωθεί η κατάσταση, αφού έχει αποδειχτεί ότι τα πλέγματα κινούνται υπογείως με τον καιρό.

Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζονται μερικά από τα συστήματα που απαιτούν προσδιορισμό. Η περιγραφή της θέσης και το σχέδιο πρέπει να συμπεριλάβουν τη θέση όλων των θαμμένων εξαρτημάτων. Θα πρέπει να είναι γνωστή η θέση διαφόρων αγωγών (ρεύματος, τηλεφώνου, αερίου), αλλά και τη θέση του εναλλάκτη επίγειας θερμότητας, ο οποίος πρέπει να επισημαίνεται από δύο μόνιμα σημεία σε περίπτωση μελλοντικών ανασκαφών.



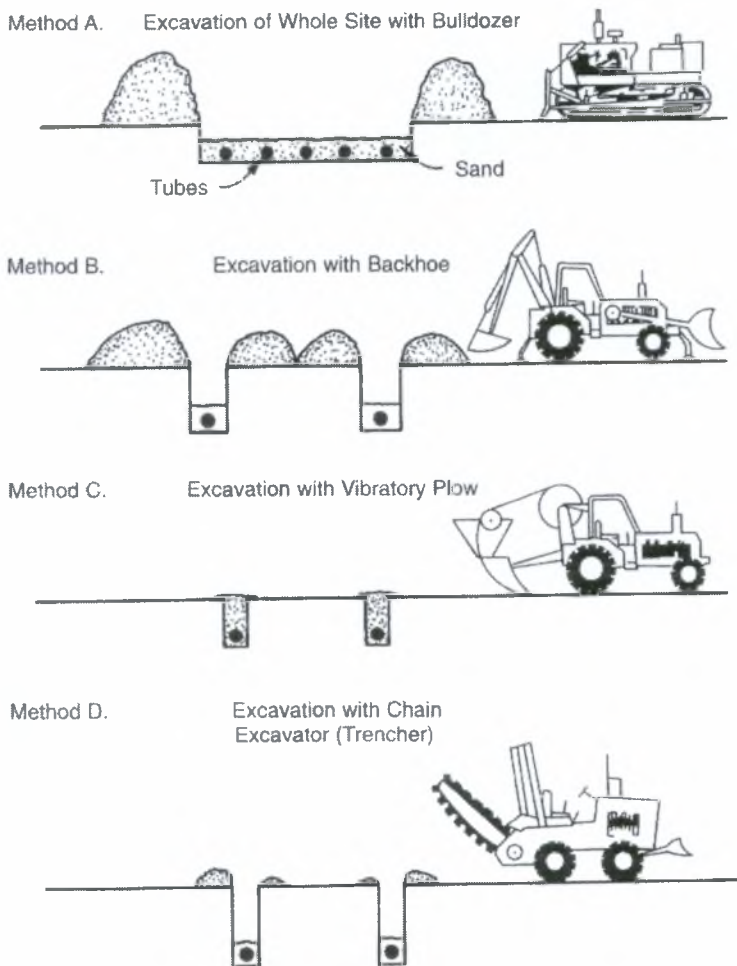
Σχήμα 6.1: Αντικείμενα που πρέπει να προσδιοριστούν πριν την έναρξη των εργασιών

Επίσης θα πρέπει να γνωστοποιούνται ειδικές περιοχές όπως:

1. Ειδικές περιοχές που πρέπει να αποφεύγονται. Πρέπει να προσδιοριστούν τα δέντρα, οι θάμνοι, και οι κήποι που δεν πρόκειται να πειραχθούν.
2. Αποδεκτές θέσεις για την είσοδο και την έξοδο του βαρέως εξοπλισμού. Μια ελαφριά μηχανή με μεγάλες ρόδες μπορεί να μειώσει τα φορτία στο έδαφος. Οι μηχανές με τετράτροχο σύστημα μπορούν να ελιχτούν σε στενές θέσεις.
3. Η θέση των εξαρτημάτων όπως υπόγειοι ψεκαστίρες νερού που δεν μπορούν να μαθευτούν ή να προσδιοριστούν εύκολα από τον κατασκευαστή.

## 6.2 Εξοπλισμός εγκατάστασης

Τα μηχανήματα αλυσίδων που σκάβουν τάφρους, οι εκσκαφείς, οι μπουλντόζες και τα δονητικά άροτρα χρησιμοποιούνται για να ανοίξουν τις τρύπες αλλά και να καλύψουν τους οριζόντιους εναλλάκτες επίγειας θερμότητας. Για την εγκατάσταση των κάθετων εναλλακτών θερμότητας απαιτούνται μηχανήματα διατρήσεων. Η επιλογή της μηχανής εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και το κόστος. Γενικά, η μηχανή που κινεί το λιγότερο ποσό χώματος θα είναι η οικονομικώς πιο αποδοτική. Στο Σχήμα 6.2 περιγράφονται οι διάφορες μηχανές που χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τους οριζόντιους εναλλάκτες επίγειας θερμότητας.



Σχήμα 6.2: Μηχανήματα οριζόντιας τοποθέτησης σωλήνων

### **6.3 Μηχανήματα Αλυσίδας Ανοίγματος Τάφρων (Trenchers)**

---

Σε πολλές περιπτώσεις, ο trencher (Σχήμα 6.2d) αποτελεί την πιο οικονομική επιλογή δεδομένου ότι το ποσό χώματος ή σκόνης που αφαιρείται είναι ελάχιστο όταν συγκρίνεται με τις υπόλοιπες μεθόδους και η παραγωγικότητα του είναι συνήθως πολύ υψηλότερη από αυτή των εκσκαφών. Τα συστήματα αναπτύσσονται έτσι ώστε να επιτρέπεται η αυτόματη τοποθέτηση και επιχωμάτωση των πολλαπλών σωλήνων σε μια ενιαία τάφρο ταυτόχρονα. Ένας συρόμενος δονητής και η προσθήκη νερού για να διαμορφωθεί ένα είδος πηλού έχουν αυξήσει την παραγωγικότητα σημαντικά για το σύστημα πολλαπλών σωλήνων. Οι τάφροι έχουν πλάτος περίπου 1,5m και βάθος 2m, για μηχανήματα των 65 ίππων. Η πιο κοινή αλυσίδα τους έχει ένα τυπικό πεδίο βάθους 1 έως 1,5m. Ο βραχίονας 2m αντιπροσωπεύει περίπου το 5% του κόστους ενός τέτοιου μηχανήματος. Οι πολλαπλοί σωλήνες στην τάφρο μειώνουν πολύ το μήκος των τάφρων και την περιοχή που απαιτείται για ένα οριζόντιο θαμμένο σύστημα σωλήνων.

### **6.4 Μπουλντόζες**

---

Η μέθοδος του Σχήματος 6.2a χρησιμοποιεί μία μπουλντόζα και είναι κατάλληλη μόνο εάν το χώμα είχε αφαιρεθεί για κάποιο άλλο σκοπό ή εάν απαιτείται ανασκαφή για ένα μεγαλύτερο σύστημα. Στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις στην Ευρώπη, οι μηχανές τύπου ερπύστριας χρησιμοποιούνται για να οργώσουν τα φρεάτια των οριζόντιων εναλλακτών επίγειας θερμότητας και την πλήρωση του χώματος γύρω από το σωλήνα σε μια συνεχή λειτουργία. Η διαδικασία πλήρωσης χώματος αποτελείται από μια ρύθμιση χοάνων και υδατοπτώσεων που τοποθετεί το υλικό στην άμεση περιοχή σωλήνων.

### **6.5 Εκσκαφείς**

---

Η μέθοδος του Σχήματος 6.2b, χρησιμοποιείται όπου υπάρχουν βράχοι, πλάκες ή λίθοι που είναι πάρα πολύ μεγάλοι ή πάρα πολύ δύσκολο να αφαιρεθούν με έναν



trencher (Σχήμα 6.2d). Εκσκαφείς χρησιμοποιούνται επίσης, όπου περισσότεροι από ένας σωλήνες τοποθετούνται σε μια ενιαία τάφρο, είτε κάθετα είτε οριζόντια.

Εκσκαφείς είναι δυνατόν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να ανοιχθεί η περιοχή γύρω από τα θεμέλια και τον εναλλάκτη επίγειας θερμότητας. Το χώμα που αφαιρείται από έναν εκσκαφέα τείνει να είναι άμορφο και μπορεί να αφήσει κενά αέρος γύρω από τους σωλήνες, μειώνοντας πολύ την ικανότητα μεταφοράς θερμότητας.

## **6.6 Δονητικά άροτρα**

---

Τα δονητικά άροτρα (Σχήμα 6.2c) χρησιμοποιούνται συνήθως σε βάθη μικρότερα από 1m. Για να διευκολυνθεί ο γρήγορος ενταφιασμός, χρησιμοποιείται ένας δονητής ή ένα δονητικό άροτρο, αλλά και για να βελτιώσει την ταχύτητα της τοποθέτησης και να μειωθεί το μέγεθος της μηχανής. Τα χαλαρά ή ασταθή χώματα είναι επίσης υποκείμενα σε αυτόν τον τύπο τοποθέτησης σωλήνων και αυτά τα άροτρα λειτουργούν αποτελεσματικότερα από έναν trencher ακόμα και σε παγετώδη εδάφη. Το ρηχό βάθος οδηγεί στη μεγαλύτερη εποχιακή ταλάντευση εδαφολογικής θερμοκρασίας και σε μεγαλύτερα μήκη του σωλήνα.

## **6.7 Κάθετες Μηχανές Γεωτρήσεων**

---

Για την εγκατάσταση των κάθετων βρόχων απαιτείται διάτρηση και οι εφαρμόσιμες τεχνικές είναι η περιστροφική διάτρηση λάσπης και αέρα και η τυποποιημένη διάτρηση τρυπανιών ή τρυπανιών κοίλων-μίσχων (Hollow-stem).

Η διάνοιξη τρυπών για την εισαγωγή κάθετων βρόχων και το άνοιγμα τρυπών για να βρεθούν τα φρεάτια νερού και πηγαδιών είναι δύο απολύτως διαφορετικοί στόχοι. Η εφαρμογή εναλλακτών επίγειας θερμότητας είναι πολύ απλούστερη. Ο στόχος είναι να εγκατασταθεί ένα διευκρινισμένο μήκος του εναλλάκτη θερμότητας σε μια κάθετη διαμόρφωση. Δεν είναι σημαντικό να επιτευχθεί ένα δεδομένο βάθος επί ενός συγκεκριμένου σημείου. Εάν απαιτούνται 200m μιας γεώτρησης, τότε δύο κάθετες γεωτρήσεις των 100m είναι αποδεκτές και μπορούν να είναι οικονομικώς πιο αποδοτικές. Η κατάσταση του χώματος και των βράχων καθορίζουν τις ποσότητες

τρυπανιών και συνεπώς ένα οικονομικό βάθος γεωτρήσεων. Δεδομένου ότι οι επίγειες θερμοκρασίες κυμαίνονται κοντά στην επιφάνεια, προτιμότερο είναι τα βάθη τρυπών να είναι μεγαλύτερα από 15m. Εντούτοις, το βάθος των 15m δεν είναι ένα κατώτατο επίπεδο. Υπάρχουν μερικές γενικές οδηγίες για την σωστή διάνοιξη τρυπών:

1. Η σταθερότητα ποσοστών υγρασίας και θερμοκρασίας αυξάνεται γενικά με το βάθος, το οποίο ευνοεί τις βαθύτερες τρύπες.

2. Λιγότερες τρύπες σημαίνει λιγότερες συνδέσεις στην επιφάνεια, το οποίο μπορεί να συνδεθεί με τον χρόνο αποταμίευσης. Επίσης, απαιτείται λιγότερη περιοχή επιφάνειας.

3. Εάν πολλές τρύπες ανοιχτούν με τρυπάνι, διάφορες γεωτρήσεις πιθανόν πρέπει να συνδεθούν στη σειρά πριν γυρίσουν πίσω στην κύρια γραμμή. Πάρα πολλά κανάλια παράλληλης ροής μπορούν να οδηγήσουν στη χαμηλή ροή και τη μειωμένη απόδοση του εναλλάκτη επίγειας θερμότητας.

4. Εάν αντιμετωπίζονται στρώματα σκληρού βράχου, μπορεί να είναι πιο κερδοφόρο να μετακινηθεί και να επαναληφθεί η διαδικασία.

5. Ο εκτενής σκληρός βράχος σε μια περιοχή εργασιών διάτρησης μπορεί εύκολα να αντιμετωπισθεί με ένα down-hole σφυρί ή την δραστηριοποίηση ενός εργολάβου διατρήσεων λατομείων, με ένα top-hole σφυρί ανοίγματος κατακόρυφων τρυπών.

6. Οι κάθετοι βρόχοι που χρησιμοποιούν 3/4 της ίντσας σωλήνες και στενό u-σωλήνα απαιτούν μόνο 1 ή 1,5m τρύπα . Αυτό το μικρότερο σύστημα χρειάζεται τη λιγότερη ροή λάσπης (ένα μικρότερο και λιγότερο ακριβό κομμάτι), μικρότερα τηγάνια λάσπης και μια μικρότερη αντλία λάσπης που οδηγεί στη λιγότερη φθορά λόγω χρήσης στην αντλία λάσπης. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτό θα οδηγήσει στις χαμηλότερες δαπάνες διάτρησης.

## **6.8 Οριζόντιες Μηχανές Γεωτρήσεων**

---

Οι οριζόντιες μηχανές διατρήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εγκατάσταση των εναλλακτών επίγειας θερμότητας χωρίς διατάραξη της επίγειας επιφάνειας. Σε αυτήν την μέθοδο, ένα κομμάτι τρυπανιών τοποθετείται 30 μοίρες από την επιφάνεια και ωθείται υδραυλικά στο έδαφος ενώ το κομμάτι περιστρέφεται. Το

βάθος και η οριζόντια κατεύθυνση του κομματιού τρυπανιών μπορούν να καθοριστούν με τη βοήθεια ενός φορητού συστήματος ελέγχου επιφάνειας και μιας συσκευής αποστολής σημάτων, που συνδέονται με το κομμάτι τρυπανιών. Η ικανότητα οδήγησης επιτρέπει στο κομμάτι τρυπανιών να αποφύγει τα στρώματα βράχου και οποιαδήποτε γνωστή υπόγεια προβληματική περιοχή.

Δεδομένου ότι η επίγεια επιφάνεια και ο υπάρχων εξωραϊσμός δεν είναι διαταραγμένα, οι δαπάνες αποκατάστασης είναι ελάχιστες. Τα πολλαπλάσια στρώματα των οριζόντιων σωλήνων μπορούν να βρεθούν στον ίδιο οριζόντιο τομέα, ελαχιστοποιώντας κατά συνέπεια την απαραίτητη περιοχή εδάφους. Οι τοπικές συνθήκες χώματος και βράχου θα καθορίσουν εάν αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση εναλλακτών θερμότητας.

## **6.9 Δαπάνες Ανοίγματος Τάφρων με Μηχανήματα Αλυσίδων (Trenchers) και Διάτρησης**

---

Το κόστος ιδιοκτησίας του εξοπλισμού trenching ή διάτρησης καθορίζεται συνήθως από τη χρησιμοποίηση και την παραγωγικότητα τους. Μια trenching μηχανή κόστους \$40.000 που αποσβένεται πάνω από πέντε έτη (\$8,000/yr) θα κόστιζε \$40 ανά εγκατάσταση για 200 εγκαταστάσεις ετησίως ή \$400 ανά εγκατάσταση για 20 εγκαταστάσεις ετησίως. Μια μικρότερη, λιγότερο παραγωγική μηχανή κόστους \$20.000 που αποσβένεται πάνω από πέντε έτη (\$4,000/yr) μπορεί να είναι ικανή μόνο για 100 εγκαταστάσεις ετησίως. Το κόστος ιδιοκτησίας θα ήταν ακόμα \$40 ανά εγκατάσταση, αλλά 200 εγκαταστάσεις ετησίως θα απαιτούσαν δύο χειριστές, ή δύο φορές τόσο το κόστος εργασίας. Η μεγαλύτερη μηχανή θα είχε πιθανώς το λιγότερο κόστος συντήρησης εάν αντιμετωπιζόταν οποιοσδήποτε βράχος. Οι δαπάνες ασφάλειας και χρηματοδότησης επηρεάζονται ομοίως.

## **6.10 Εκτίμηση Εγκαταστάσεων Σωλήνων**

---

Οι επιτυχείς πλαστικές εγκαταστάσεις σωλήνων για τις εφαρμογές εναλλακτών επίγεια θερμότητας είναι το αποτέλεσμα του καλού προγραμματισμού, της χρήσης των κατάλληλων υλικών, του εξοπλισμού και της μεγάλης προσοχής για να διορθωθούν οι

διαδικασίες. Ο χρόνος που δαπανάται στον προσεκτικό προγραμματισμό μειώνει ουσιαστικά το χρόνο και το κόστος της εγκατάστασης.

Κατά τη διάρκεια του προγραμματισμού θα πρέπει να εξετάζονται οι ακόλουθοι παράγοντες:

1. Το βάθος της τάφρου, όπου επηρεάζεται από το κλίμα, τον εδαφολογικό τύπο, και το μέγεθος του διαθέσιμου trencher

2. Το μήκος της τάφρου, όπως επηρεάζεται από την διαθέσιμη περιοχή, τα θερμαντικά και ψυκτικά φορτία, τον αριθμό σωλήνων στην τάφρο, τον τύπο χώματος και την περιεκτικότητα σε υγρασία του χώματος.

3. Το βάθος και ο αριθμός κάθετων τρυπών, εάν χρησιμοποιείται, όπως επηρεάζεται από την διαθέσιμη περιοχή, τις παρεμποδίσεις, τη θέρμανση, τα ψυκτικά φορτία και τους τύπους χώματος και βράχου.

4. Το σχέδιο τάφρων, όπως επηρεάζεται από υπέργειες και υπόγειες παρεμποδίσεις, την κλίση του εδάφους, περιορισμούς ακτίνας στροφής των trenchers, απαιτήσεις επιχωμάτωσης και αποκατάστασης. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην επισήμανση των βρόχων στην επιφάνεια.

5. Ο τύπος και το μέγεθος της αλυσίδας του trencher, όπως επηρεάζεται από τον τύπο χώματος και βράχου, το βάθος της τάφρου και το μέγεθος του trencher.

6. Ο τύπος πλαστικού σωλήνα: χρήση υψηλής ποιότητας πολυαιθυλενίου. Το PVC δεν είναι αποδεκτό είτε στα χαρακτηριστικά είτε στη δύναμη μεταφοράς θερμότητας

## **6.11 Διαδικασία Trenching**

---

Για να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα, ο χρόνος και το κόστος στη φάση του trenching, πρέπει να ακολουθηθούν διάφορες διαδικασίες:

1. Πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα μηχάνημα που να συνδυάζει στενή αλυσίδα, σωστά δόντια, τετράτροχη οδήγηση για την ικανότητα επίτευξης ελιγμών, τετράτροχης κίνησης για καλή πρόσφυση, καλή ικανότητα επιχωμάτωσης με μια λεπίδα έξι-τρόπων και αρκετά υψηλή ιπποδύναμη για να τελειώσει τις περισσότερες εργασίες σε μια ημέρα, οι οποίες θα ελαχιστοποιήσουν τις ακριβές διακοπές, τις περιπλοκές λόγω του καιρού και έτσι τις παραλλαγές στις εδαφολογικές καταστάσεις.

2 Πρέπει να αφαιρεθούν οι βράχοι που αφήνονται στο κατώτατο σημείο της τάφρου για να προληφθεί τυχόν ζημία στο σωλήνα.

3. Να χρησιμοποιηθεί εκσκαφέας με κάδο 3,5m εάν είναι απαραίτητο για να βγουν έξω οι μεγάλοι βράχοι και να σκαφτεί μια τρύπα πρόσβασης στο κτίριο.

4. Όπου υπάρχει αμμώδης κατάσταση προκαλείται σπηλαιώση. Για αυτό πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας οδηγός σωλήνων που τοποθετείται στο βραχίονα του trencher για να καθοδηγήσει το σωλήνα στο κατώτατο σημείο της τάφρου καθώς σκάβεται.

## **6.12 Διαδικασία Εγκατάστασης Σωλήνων**

---

Η φάση εγκαταστάσεων σωλήνων μπορεί να ολοκληρωθεί καθώς το trenching προχωρά. Ωστόσο πρέπει να δοθεί μεγάλη σημασία στα εξής:

1. Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι οι βράχοι έχουν αφαιρεθεί. Επίσης, να αφαιρεθούν από την άκρη της τάφρου και από την κορυφή του σωρού έτσι ώστε να μην πέσουν μέσα με την άμμο που τίθεται αρχικά στην τάφρο για να υποστηρίξει και να καλύψει το σωλήνα για προστασία.

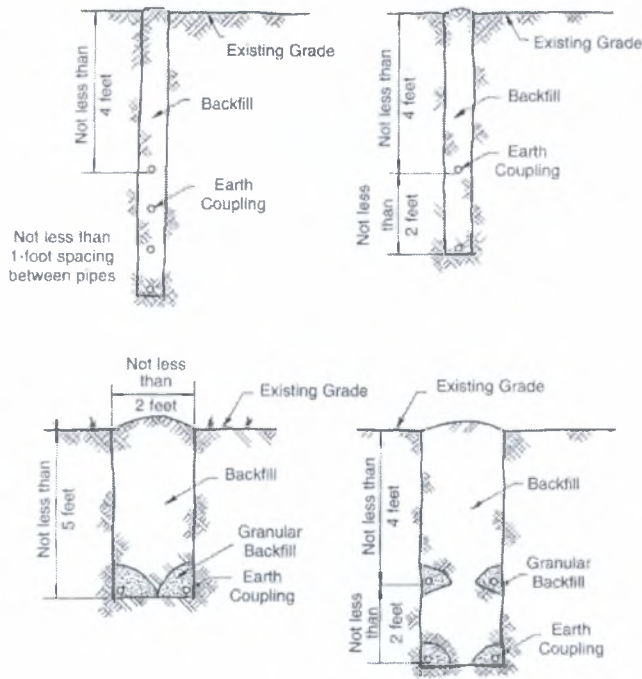
2. Ο σωλήνας πρέπει να επιθεωρηθεί πριν ακόμα μπει στην τάφρο για τυχόν εκδορές και σφάλματα.

1. Όλες οι ενώσεις πρέπει να γίνουν ενώ ο σωλήνας βρίσκεται εκτός της τάφρου και να εξεταστεί σε πίεση αέρα 3 bar.

4. Επίσης πρέπει να εξασφαλιστεί ότι οι ενώσεις είναι μηχανικά αρκετά ισχυρές έτσι ώστε να αναγκάσουν το σωλήνα να απορροφήσει την πίεση της επέκτασης στο μήκος και της συστολής που προκαλείται από τις αλλαγές θερμοκρασίας στο κυκλοφορούν υγρό. Οι άκρες σωλήνων πρέπει να είναι επιπλέον πολύ μεγάλες και να μην κοπούν στο τέλος των συναρμολογήσεων έως ότου έχει φθάσει το υπόλοιπο του σωλήνα στην εδαφολογική θερμοκρασία της τάφρου.

5. Εάν το χώμα είναι βαρύς άργιλος στα πολύ ξηρά κλίματα, μπορεί να στενέψει μακριά από το σωλήνα καθώς όταν θερμαίνεται ξεραίνετε κατά τη διάρκεια της λειτουργίας κύκλων θερινής ψύξης της αντλίας θερμότητας. Έτσι, χρησιμοποιείται για γέμισμα μια ιδιαίτερα ψιλή άμμος γύρω από το σωλήνα (Σχήμα 6.3) ή μια γραμμή άρδευσης υπεδάφους που θάβεται μερικές ίντσες επάνω από το σωλήνα. Η ιδιαίτερα

ψιλή άμμος θα διατηρήσει καλύτερα την επαφή με το σωλήνα όταν θα ξεραθούν τα αργιλικά χώματα.



Σχήμα 6.3: Τρόποι εγκατάστασης και επιχωμάτωσης σωλήνων

## 6.13 Διαδικασία Επιχωμάτωσης Σωλήνων

Η επιχωμάτωση είναι κρίσιμη. Η επιτυχής ολοκλήρωσή της εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μερικοί από τους οποίους περιγράφονται παρακάτω:

1. Εάν οι βράχοι έχουν αφαιρεθεί από την άκρη της τάφρου και από την κορυφή του σωρού και η σκόνη δεν έχει διαμορφώσει σβόλους λόγω της βροχής, μπορούμε με μία λεπίδα γωνίας να ρίξουμε την κορυφή του σωρού στην τάφρο με το πρώτο πέρασμα.
2. Πρέπει να χρησιμοποιηθούν αρκετά ακόμα πέρασματα με τη λεπίδα γωνίας για να καταστήσουν την επιχωμάτωση όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη και για να αποτραπεί τυχόν γεφύρωμα.
3. Διάφορα στάδια ταμποναρίσματος και περασμάτων με τις ρόδες του trencher είναι πιθανόν να είναι απαραίτητα για να ολοκληρωθεί η εργασία.

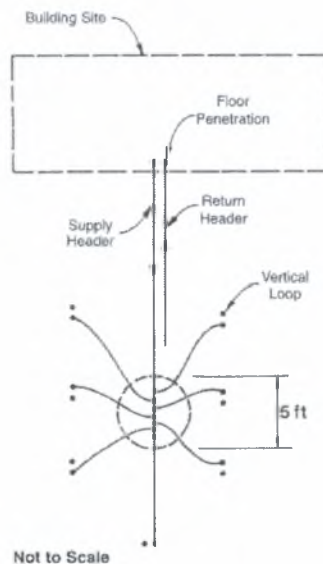
## 6.14 “Headering Up” (Σύνδεση Βρόχων)

Η διαδικασία σύνδεσης των βρόχων με την κύρια γραμμή λέγεται “Headering Up”. Εξετάζεται ένα σύστημα επτά γεωτρήσεων με την τοποθέτηση διάτρησης όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.4. Στην εγκατάσταση υπάρχουν δύο επιλογές:

1. Η γραμμή ανεφοδιασμού να επιστρέψει από τις κύριες γραμμές κάτω από το κέντρο του τομέα βρόχων και να συνδεθεί όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.4.
2. Οι κύριες γραμμές ανεφοδιασμού και επιστροφής μπορούν να έρχονται κατά μήκος μιας ενιαίας πλευράς των γεωτρήσεων.

Καθεμία μέθοδος είναι αποδεκτή. Μερικοί εργολάβοι προτιμούν να τρυπήσουν τις γεωτρήσεις σε μια ενιαία γραμμή με τρυπάνι, η οποία μειώνει τη χρονική απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων.

Πάντα πρέπει να αφήνεται περισσότερος σωλήνας στις κάμψεις για να αποφευχθεί η πτύχωση των σωλήνων. Πρέπει να ακολουθείται η οδηγία του κατασκευαστή για την ελάχιστη ακτίνα σωλήνων.



Σχήμα 6.4: Τρόποι σύνδεσης των βρόχων

## 7 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (Από την θεωρία στην πράξη)

---

### 7.1 Πρακτική Εφαρμογή

---

Όπως η φιλοσοφία του συστήματος χαρακτηρίζεται από μια απλότητα έτσι και η εγκατάσταση του είναι μια απλή διαδικασία. Με εξαίρεση την τοποθέτηση των σωληνώσεων (στο εσωτερικό του σπιτιού) που πρέπει να γίνει στο αρχικό στάδιο της κατασκευής, η εξωτερική εγκατάσταση δεν απαιτεί παρά μόνο μερικά απλά βήματα που χρειάζεται να ακολουθηθούν με σκοπό την ολοκλήρωση του συστήματος.

Σε αυτό το στάδιο ήρθαμε σε επαφή με έναν εργολάβο και παρακολούθησαμε από την αρχή την διαδικασία εγκατάστασης. Πριν λοιπόν αρχίσει η ανέγερση του κτιρίου, στο οποίο θέλουμε να τοποθετήσουμε μια γεωθερμική αντλία θερμότητας, θα πρέπει να ακολουθήσουμε τα εξής βήματα, για να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Αρχικά, είναι απαραίτητη η μελέτη κλιματισμού του κτιρίου με σκοπό να βρεθούν τα ψυκτικά φορτία και οι θερμικές απώλειες που θα έχει το συγκεκριμένο κτίριο. Το επόμενο στάδιο αποτελεί η σύγκριση και η επιλογή του είδους θέρμανσης που θα χρησιμοποιήσουμε, (επιδαπέδια, επιτοίχια, σώματα ή fan - coils), είτε συνολικά είτε επιλεκτικά. Τελευταίο στάδιο είναι αυτό της εγκατάστασης του επιλεγμένου συστήματος.

Φυσικά το τελευταίο κομμάτι δεν μπορεί να γίνει οποιαδήποτε χρονική στιγμή αλλά μετά από μια συγκεκριμένη διαδικασία και αφού προηγηθούν κάποια αλλά στάδια στο πλαίσιο του κτισίματος του κτιρίου.

Αυτά τα στάδια είναι τα εξής:

- Θεμέλια
- Μπετόν
- Τοιχοποιία
- Ύδρευση – Αποχέτευση
- Κεντρικές σωληνώσεις θέρμανσης και κλιματισμού
- Ηλεκτρολογικά
- Σοβάτισμα
- Εσωτερικά εξαρτήματα θέρμανσης και κλιματισμού



Τα ενδοδαπέδια και επιτοιχία συστήματα τοποθετούνται μαζί με τις κεντρικές σωληνώσεις. Στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας η διαδικασία διαφέρει σε ορισμένο βαθμό. Στην περίπτωση που επιλέγουμε να εγκαταστήσουμε κάθετο σύστημα, χρειάζεται να κάνουμε μαζί με τα θεμέλια και τις γεωτρήσεις, ενώ στα οριζόντιου τύπου συστήματα πρέπει, στον ακάλυπτο χώρο μπροστά από το κτίριο, να στρώσουμε το πλέγμα μας που θα παίξει τον ρόλο του εναλλάκτη. Αυτή την διαδικασία αλλά και τον προγραμματισμό του συστήματος θα περιγράψουμε στη συνέχεια.

Στην οικονομική ανάλυση που έπεται και σε συνδυασμό με τις προτιμήσεις που επέδειξε το ενδιαφερόμενο κοινό θα δούμε ότι τα συστήματα κάθετων βρόχων έχουν μεγάλο κόστος για να επιλεγθούν, παρόλο που εξοικονομούν (αλλά και δεν προαπαιτούν) μεγάλους σε έκταση ακάλυπτους χώρους. Καταλήγοντας έτσι στα οριζόντιου τύπου συστήματα, δεν έχουμε παρά να εξασφαλίσουμε μεγάλο χώρο μπροστά ή πίσω από το κτίριο και να ξεκινήσουμε τη διαδικασία εγκατάστασης του πλέγματος (βρόχου).

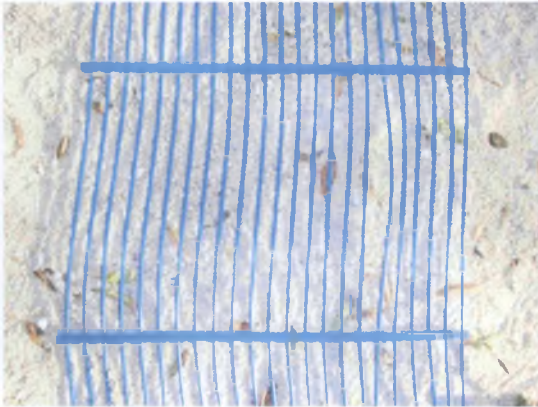
Όπως γνωρίζουμε θεωρητικά, το έδαφος έχει μια σταθερή θερμοκρασία κάτω από τα 10 m βάθος και μια αποδεκτά αξιοποιήσιμη τιμή κάτω από τα 5 m. Στην πράξη όμως τα πράγματα είναι διαφορετικά. Παρατηρήθηκε ότι όταν το πλέγμα θάφτηκε κάτω από τα 2 m, ενώ είχαμε μια υψηλή αρχική θερμοκρασία εκκίνησης, όσο περνούσε η ώρα και λειτουργούσε η αντλία και το νερό κυκλοφορούσε στο δίκτυο, η αρχικά υψηλή θερμοκρασία άρχισε να πέφτει και μάλιστα πολύ πιο κάτω από το αναμενόμενο. Σε αντίθεση με την πτώση και την κατώτατη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε σε δίκτυα που τα πλέγματα είχαν τοποθετηθεί στα 1,2 με 1,5 m βάθος από την επιφάνεια. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι όταν είμαστε πολύ βαθιά η θερμοκρασία του εδάφους είναι μεν μεγαλύτερη, αλλά δεν ανανεώνεται γρήγορα. Σε αντίθεση βέβαια με μικρότερα βάθη, όπου η θερμοκρασία είναι μικρότερη αλλά παραμένει σταθερή καθώς ο ήλιος θερμαίνει τα υψηλότερα στρώματα.

## **7.2 Διαδικασία Εγκατάστασης**

---

Αρχικά ανοίγουμε μια τάφρο, βάθους λιγότερο από 1,5 m στον ακάλυπτο χώρο και απλώνουμε πάνω από το έδαφος (πετρώδες ή χώμα) μια στρώση άμμου, είτε παραθαλάσσια είτε παραποτάμια (είναι γνωστό ότι αυτό το είδος άμμου βοηθάει και βελτιώνει τον συντελεστή θερμοαγωγιμότητας μεταξύ του εδάφους και των σωλήνων).

Αμέσως μετά τοποθετούνται τα πλέγματα που έχουν επιλεγεί και τα οποία είναι συνήθως φτιαγμένα από πολυπροπυλένιο (Σχήμα 7.1). Σε αυτό το στάδιο και όσο παραμένει ακόμα ανοιχτή η τάφρος, γίνονται οι συνδέσεις με ειδικό μηχάνημα θερμοκόλλησης (Σχήμα 7.2) για να εξασφαλιστεί η στεγανότητα του δικτύου. Αφού τελειώσει και η διαδικασία της στρώσης των πλεγμάτων, γίνεται η ένωση με τους κεντρικούς σωλήνες πολυαιθυλενίου (Σχήμα 7.3).



(α)



(β)

Σχήμα 7.1: (α) Λεπτομερής και (β) γενική άποψη των πλεγμάτων



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 7.2: Διαδικασία θερμοκόλλησης, (α) το πλέγμα πριν την θερμοκόλληση, (β) μηχανήμα θερμοκόλλησης, (γ) το πλέγμα μετά την θερμοκόλληση



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Σχήμα 7.3: (α)κεντρικός σωλήνας ένωσης των πλεγμάτων, (β) και (γ) λεπτομέρεια των ενώσεων με τις κεντρικές εισαγωγής, (δ)κεντρικές εισαγωγές και εξαγωγές μέσα στο κτίριο

Στη συνέχεια, σφραγίζεται η είσοδος αεροστεγώς, φορτίζεται το δίκτυο σε πίεση 3 bar από την έξοδο με ένα κομπρεσέρ αέρος και γίνεται έλεγχος για τυχόν διαρροές (Σχήμα 7.4). Αν οι συνδέσεις έγιναν σωστά τότε τοποθετείται πάλι άμμος πάνω από το δίκτυο μέχρι να καλυφθούν οι σωλήνες. Ο υπόλοιπος χώρος καλύπτεται με το υλικό που αφαιρέθηκε αρχικά. Το μέρος, όπου είναι τοποθετημένος ο βρόχος, πρέπει να οριοθετείται για να αποφευχθεί τυχόν τραυματισμός των σωληνώσεων στο μέλλον. Επίσης, μπορεί να αξιοποιηθεί ο χώρος για καλλωπισμό του τοπίου με εξαίρεση τα δέντρα.



(α)



(β)

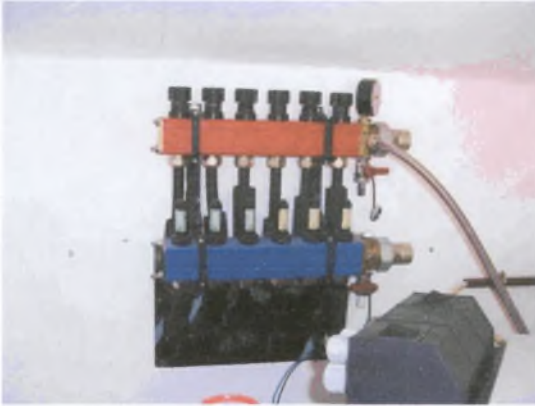


(γ)

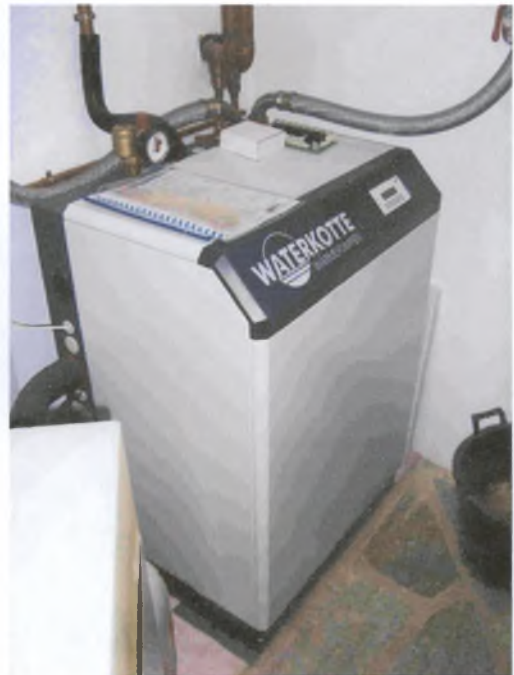
Σχήμα 7.4: (α) δίκτυο χωρίς πίεση, (β) δίκτυο υπό πίεση, (γ) κομπρεσέρ αέρος

Κατόπιν, γίνεται η σύνδεση της εισαγωγής και εξαγωγής των πλεγμάτων με την αντλία θερμότητας και ο προγραμματισμός της στις επιθυμητές τιμές. Η αντλία θερμότητας αντικαθιστά τον λέβητα στα συμβατικά συστήματα πετρελαίου και αερίου. Είναι μικρή και δεν καταλαμβάνει χώρο στο υπόγειο, αποκλείοντας την ύπαρξη

λεβητοστασίου. Η αντλία θερμότητας περιέχει την αντλία ρευστού, τον εγκέφαλο, τον εξατμιστήρα και το συμπιεστή (Σχήμα 7.8). Επίσης, μπορεί να περιέχει και μια δεξαμενή όπου αποθηκεύεται ζεστό νερό όταν δεν λειτουργεί το κομμάτι της θέρμανσης, “desuperheater”(Σχήμα 7.9). Το σύστημα από μόνο του μπορεί να προμηθεύει με ζεστό νερό αλλά και να θερμαίνει το κτίριο. Ειδική μετατροπή χρειάζεται για τον κλιματισμό του χώρου και την αντιστροφή του συστήματος. Σε δροσερά κλίματα χρησιμοποιήθηκε ελεύθερη συναγωγή με το υπάρχον σύστημα χωρίς μετατροπή του.



Σχήμα 7.5-6: Εισαγωγές και εξαγωγές επιδαπέδιας θέρμανσης και ο υπολογιστής



Σχήμα 7.7-8: Δοχείο πλήρωσης αντιψυκτικού και η αντλία θερμότητας



**Σχήμα 7.9:** Το εσωτερικό μιας αντλίας θερμότητας (διακρίνεται η δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού)



**Σχήμα 7.10** Εξοχική κατοικία στην οποία εγκαταστάθηκε το σύστημα ΓΑΘ

## **8 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΗΠΑ**

---

### **8.1 Εισαγωγή**

---

Οι ηλεκτρικές εφαρμογές είναι ο κύριος στόχος αγοράς για τα ΓΑΘ, ειδικά για εφαρμογές που είναι ήδη δεσμευμένες στην πλευρά διαχείρισης της ζήτησης. Οι συστάσεις πρέπει να είναι σύμφωνες με την επικρατούσα ενεργειακή πολιτική και να υποστηριχθούν από τα στοιχεία. Τα στοιχεία πρέπει να δείξουν ότι οι πόροι, και η τεχνολογία είναι διαθέσιμοι, αξιόπιστοι και ανταγωνιστικοί με άλλες επιλογές στο κόστος. Για να αντικατασταθεί μια τεχνολογία με ΓΑΘ θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- Πόσο απαίτηση υπάρχει για εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας,
- Χαμηλό αρχικό κόστος του επίγειου βρόχου και των φρεατίων,
- Επίδραση της αύξησης θερμοκρασίας των βρόχων εδάφους για το καλοκαίρι και τη μακροπρόθεσμη λειτουργία, ειδικά για τις εμπορικές εφαρμογές,
- Επιστροφές χρημάτων και άλλα κίνητρα, και
- Διαθεσιμότητα υποδομής των αναδόχων εμπόρων αντλιών θερμότητας και εγκαταστάσεων βρόχων.

### **8.2 Ανάλυση**

---

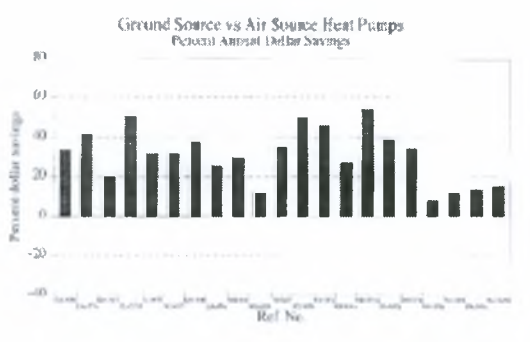
Προκειμένου να ελεγχθεί η απόδοση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, συλλέχθηκαν πληροφορίες από 256 μελέτες με εφαρμογή σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες, στις οποίες περιλαμβάνονται 184 σχολεία, 26 κατοικίες και 46 εμπορικά καταστήματα. Αυτές οι μελέτες συντάχθηκαν σε μια βάση δεδομένων η οποία περιέχει 65 τομείς στοιχείων που περιλαμβάνουν την ημερομηνία εγκατάστασης, την θέση, την διαμόρφωση των επίγειων συστημάτων, την ικανότητα παραγωγής ενέργειας και ελεγχόμενα οικονομικά στοιχεία

## 8.2.1 Κατοικίες

Τα νοικοκυριά χρησιμοποιούν το 20% της ενέργειας που καταναλώνεται στις ΗΠΑ (συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας που απαιτείται για να παραγάγει την ηλεκτρική ενέργεια και να την παραδώσει στους τελικούς χρήστες). Η θέρμανση χώρου αποτελεί το μεγαλύτερο ενιαίο μερίδιο της χρήσης αρχικής ενέργειας στον τομέα κατοικιών για τις ΗΠΑ συνολικά.

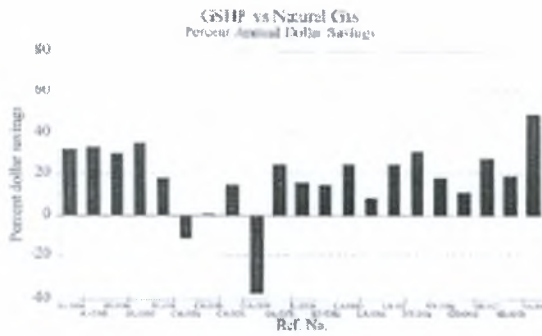
Για να καθοριστεί η δυνατότητα των γεωθερμικών συστημάτων αντλιών θερμότητας (ΓΑΘ) και να ικανοποιηθούν ο στόχος της αντικατάστασης της ηλεκτρικής θέρμανσης, τα υπάρχοντα στοιχεία και άλλες πληροφορίες συλλέχθηκαν από ηλεκτρικές εταιρίες, αγροτικούς συνεταιρισμούς, κατασκευαστές, μηχανικούς, πανεπιστήμια και άλλες πηγές.

Από τις 184 μελέτες, μόνο 128 ΓΑΘ και 46 συμβατικά συστήματα ελέγχθηκαν. Στα συμβατικά συστήματα θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν η ηλεκτρική θέρμανση με αντιστάσεις, αντλίες θερμότητας πηγής αέρος, φυσικό αέριο με ηλεκτρικό κλιματιστικό μηχανήμα (AC), πετρέλαιο με ηλεκτρικό ρεύμα και άλλα. Αυτά τα συμβατικά συστήματα συγκρίθηκαν έναντι των συστημάτων ΓΑΘ για τα σχέδια εξοικονόμησης ενέργειας, μείωσης δύναμης, για την ηλεκτρική αντίσταση (που θερμαίνει μόνο), τις λειτουργικές δαπάνες, κ.λ.π. Τα Σχήματα 8.1 και 8.2 παρουσιάζουν σχέδια της αποταμίευσης δολαρίων των κατοικιών με συστήματα ΓΑΘ έναντι των αντλιών θερμότητας αέρας-πηγής και του φυσικού αερίου. Η μέση ετήσια αποταμίευση δολαρίων ΓΑΘ έναντι των αντλιών θερμότητας πηγής αέρα είναι 31%, και έναντι του φυσικού αερίου είναι 18%.



Σχήμα 8.1.: Ποσοστό αποταμίευσης δολαρίων για στίγια με GSHP έναντι αντλιών θερμότητας πηγής αέρα



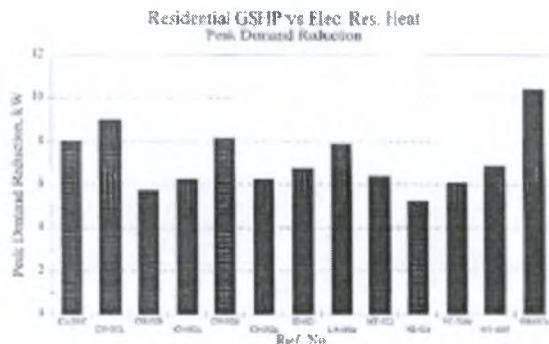


Σχήμα 8.2.: Ποσοστό αποταμίευσης δολαρίων για σπίτια με GSHP έναντι φυσικού αερίου

Λόγω του υψηλού αρχικού κόστους των συστημάτων ΓΑΘ και κυρίως λόγω των συμπληρωματικών δαπανών του επίγειου βρόχου, τα οικονομικά αποτελούν ένα σημαντικό ζήτημα. Ακόμα κι αν η αποταμίευση επί τοις εκατό σε δολάρια μπορεί να εμφανιστεί ελκυστική, λόγω των σχετικά χαμηλών ετήσιων λειτουργικών δαπανών των συμβατικών συστημάτων, είναι δύσκολο να ανακτηθεί το συμπληρωματικό αυξητικό κόστος του συστήματος ΓΑΘ χωρίς κάποια διευκόλυνση σε μορφή επιχορήγησης.

Η βέλτιστη απόδοση των συστημάτων ΓΑΘ συμπίπτει με την περίοδο αιχμής λειτουργίας της εφαρμογής. Σε αντίθεση με την μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικού ρεύματος όπου συγκριτικά με τα συστήματα ηλεκτρικής θέρμανσης έχει τις λιγότερες απαιτήσεις.

Το Σχήμα 8.3 παρουσιάζει τη χειμερινή εξοικονόμηση ενέργειας των συστημάτων ΓΑΘ έναντι των ηλεκτρικών συστημάτων θέρμανσης. Για αυτά τα 13 συστήματα, η διακύμανση ήταν 5,3 έως 10,4 kW με έναν μέσο όρο τα 7,2 kW.



Σχήμα 8.3.: εξοικονόμηση ενέργειας σε kW στα συστήματα ΓΑΘ έναντι των ηλεκτρικών συστημάτων θέρμανσης

## 8.2.2 Σχολεία

Οι περισσότερες σχολικές περιοχές στις ΗΠΑ καταβάλλουν κάθε προσπάθεια να κρατηθούν οι δαπάνες στο ελάχιστο και να παρέχεται εκπαίδευση υψηλής ποιότητας και άνετο περιβάλλον. Μειώνοντας το ενεργειακό κόστος είναι ένας από τους αμεσότερους και αποτελεσματικούς τρόπους για μείωση των δαπανών. Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας αναφέρθηκε για έξι σχολεία και συνολικά πέντε μελέτες εξέθεσαν την ετήσια αποταμίευση δολαρίων από τα 26 που μελετήθηκαν. Η δυνατότητα για την εξοικονόμηση ενέργειας στα σχολεία σε όλες τις Ηνωμένες Πολιτείες δείχνεται σε δύο συγκεκριμένες μελέτες όπως περιγράφεται στον Πίνακα 8.1. Η πρώτη είναι μια εγκατάσταση δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στο Wahpeton, στη βόρεια Ντακότα, που χρησιμοποιεί ένα συνδεδεμένο σύστημα στο έδαφος. Η δεύτερη είναι ένα γυμνάσιο που βρίσκεται στην πόλη Junction, του Όρεγκον, που χρησιμοποιεί ένα σύστημα υπόγειων νερών.

**Πίνακας 8.1.: Σύγκριση δύο σχολείων με εγκατάσταση ΓΑΘ με χρήση εδάφους στο πρώτο και υπόγειων νερών στο δεύτερο.**

	<u>Wahpeton, ND</u>	<u>Junction City, OR</u>
School:		
Installed date:	1988	1988
System:	286 boreholes (150 ft)	Production/injection wells
Application:	Middle school (57,400 ft <sup>2</sup> )	High school (55,300 ft <sup>2</sup> )
Design condition:	8564 HDD <sup>a</sup> , -25°F	4793 HDD, 17°F
Capacity:	220-tons	101-tons
Energy:	678,000 kWh/yr	193,133 kWh/yr
Installed cost:	\$418,000	\$265,000
Savings/yr:	106,800 therms of gas <sup>b</sup>	35,506 therms of gas

a. Heating degree day  
b. Calculated

Στην περίπτωση του σχολείου της βόρειας Ντακότας, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι τριπλάσια από το σχολείο του Όρεγκον και οφείλεται πρώτιστα στο γεγονός της τοποθεσίας του κτιρίου σε ένα πολύ πιο κρύο κλίμα. Τα οφέλη που αναφέρονται για τη χρησιμοποίηση ΓΑΘ στα σχολεία περιλαμβάνουν την προσθήκη βελτιωμένου ελέγχου στη μηχανική ψύξη που είναι σε θέση να ρυθμίσει μια πολύ μικρή περιοχή χωρίς να πρέπει να ρυθμιστεί ολόκληρο το σχολείο και της απλότητας της συντήρησης και της

επισκευής. Στα νότια κλίματα, η αποβολή των ψυκτικών πύργων, του υπαίθριου εξοπλισμού, τα μηχανικά δωμάτια και ο αγωγός ήταν προστιθέμενα οφέλη.

### 8.2.3 Εμπορικά Κτίρια

Οι μελέτες (46) που τεκμηριώθηκαν για ΓΑΘ στα εμπορικά κτίρια κυμάνθηκαν σε απόδοση από 30 ως 4700 τόνους. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν 370 γεωτρήσεις για ένα σύστημα 850 τόνων, σε 3 φρεάτια για ένα σύστημα υπόγειων νερών 4700 τόνων. Η μέση ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας για τα συστήματα ΓΑΘ κυμάνθηκε από 40 ως 72% και η αποταμίευση δολαρίων κυμάνθηκε από 31 ως 56% όπως μπορεί να φανεί στον Πίνακα 8.2.

**Πίνακας 8.2: Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας ΓΑΘ σε σχέση με άλλα συμβατικά συστήματα σε εμπορικά κτίρια**

Conventional System	Mean Annual Savings (%)			Dollars
	Number	Energy	Number	
Elec. res. heat/AC	6	59%	5	56%
Air-source heat pump	3	40%	3	37%
Natural gas	4	69%	4	49%
Fuel oil	6	72%	7	31%

Εκτός από τα εσωτερικά φορτία, η ενεργειακή χρήση σε εμπορικά κτίρια μπορεί επίσης να επηρεαστεί από τη μορφή και τον προσανατολισμό του κτιρίου, της ποσότητας αέρα εξαερισμού, της παρουσίας ή όχι διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας και πλήθους άλλων παραμέτρων. Με αλλαγή στα φορτία, αυτοί οι παράγοντες έχουν επιπτώσεις επίσης στην αποταμίευση που επιτυγχάνεται από τα αποδοτικότερα συστήματα HVAC.

Σαφώς όλες οι πιθανές επιρροές επάνω στην ενεργειακή χρήση στα εμπορικά καταστήματα, κάνει την πρόβλεψη της αποταμίευσης που επιτυγχάνεται με ένα σύστημα ΓΑΘ ένα πολύ συγκεκριμένο στόχο.

### 8.3 Χρόνος Απόσβεσης

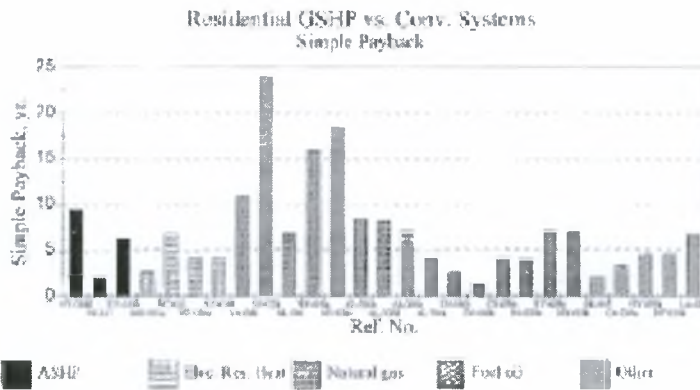
Ο χρόνος απόσβεσης των συστημάτων ΓΑΘ αντιπροσωπεύονται από την απλή επιστροφή που αναφέρεται στις μελέτες. Υπήρξαν 27 σχολεία, 5 κατοικίες και 17 εμπορικά που εξέθεσαν τις απλές επιστροφές όπως φαίνεται στον Πίνακα 8.3.

Πίνακας 8.3: Χρόνος απόσβεσης των ΓΑΘ

	Number	Simple Payback	
		Range (yr)	Mean (yr)
Residential	27	1.4 to 24.1	6.8
Schools	5	5.0 to 14.0	7.0
Commercial	17	1.3 to 4.7	2.8

Οι αποσβέσεις σε κατοικίες με απλά συστήματα ΓΑΘ συγκρίθηκαν με διάφορα συμβατικά συστήματα όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.4. Το εύρος για τις επιστροφές των χρημάτων για τις κατοικίες ήταν 1,4 έως 24,1 χρόνια με ένα μέσο όρο 6,8. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.4, οι απλές επιστροφές για όταν αντικατέστησε ένα ΓΑΘ το φυσικό αέριο κυμάνθηκαν από 4,2 έως 24,1 χρόνια με τέσσερις από τις εννέα περιπτώσεις να εκθέτουν τις απλές επιστροφές μεγαλύτερες από 10 έτη.

Οι απλές επιστροφές για τα σχολεία αναφέρθηκαν σε μόνο 5 από τις 26 μελέτες. Στατιστικά δεν είναι αποδεκτή μια τέτοιου είδους αντιπροσώπευση των οικονομικών για τη χρησιμοποίηση ΓΑΘ στα σχολεία. Οι μελέτες για τα εμπορικά κτίρια εξέθεσαν τις απλές επιστροφές για 17 από τα 46 συστήματα ΓΑΘ. Η διακύμανση ήταν 1,3 έως 4,7 με ένα μέσο όρο τα 2,8 έτη. Όλες, εκτός από τέσσερις από τις επιστροφές που αναφέρθηκαν αντιπροσωπεύουν κτίρια που βρίσκονται στα βόρεια κλίματα.



**Σχήμα 8.4: Απόσβεση χρημάτων κατοικιών με ΓΑΘ έναντι συμβατικών συστημάτων**

Προσοχή πρέπει να δοθεί στην εξαγωγή των οικονομικών συμπερασμάτων για οποιοδήποτε από τις τρεις ομάδες που παρουσιάζονται σε αυτή τη μελέτη. Εν μέρει, αυτό οφείλεται στις πολλές μεταβλητές που συνδέονται με τα συστήματα ΓΑΘ και τις ποικίλες μεθόδους οικονομικής ανάλυσης, που χρησιμοποιούνται στις μελέτες. Κατά την εξέταση ενός συστήματος ΓΑΘ είτε για νέο, είτε για τοποθετημένο στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις, είναι επιτακτική η εκτέλεση μιας οικονομικής ανάλυσης.

## 9 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΑΘ ΣΕ ΜΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

---

### 9.1 Οικονομικά Στοιχεία

---

Στην Ελλάδα όμως τα πράγματα δεν είναι τόσο ξεκάθαρα όπως τα συναντάμε σε χώρες του εξωτερικού, όπου η τεχνολογία έχει ωριμάσει αρκετά. Υπάρχουν πολύ λίγοι εγκαταστάτες τέτοιων συστημάτων κάνοντας έτσι την οικονομία των ΓΑΘ λιγότερο ανταγωνιστική.

Η σύγκριση μίας εγκατάστασης γεωθερμικού συστήματος με ένα αντίστοιχα συμβατικό είναι απαραίτητη, προκειμένου να γίνει αντιληπτή κατάσταση για τα ελληνικά δεδομένα. Στην Ελλάδα τέτοια συστήματα έχουν εγκατασταθεί κυρίως σε εξοχικές κατοικίες όπως προκύπτει από τα στοιχεία της έρευνας. Για αυτό το λόγο και για την περαιτέρω ανάλυση επιλέχθηκε μια εξοχική κατοικία στην Θεσσαλονίκη 200 m<sup>2</sup>. Η ανάλυση γίνεται σε σύστημα θέρμανσης και ψύξης καθώς στην Ελλάδα η εξοικονόμηση κατά την περίοδο των θερινών μηνών μπορεί να είναι εξίσου σημαντική όσο και κατά τους χειμερινούς μήνες.

Για μία περισσότερο αντικειμενική και αξιόπιστη ανάλυση, τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν είναι από τρεις πηγές. Έτσι, οι τιμές είτε παρατίθενται ως μέσος όρος είτε με όλο το εύρος τους

Επίσης, παρατίθενται και οι ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού το οποίο κατοικείται από 5 άτομα. Στην συγκεκριμένη περιοχή όπου επιλέχθηκε το σπίτι οι θερμικές απώλειες ανέρχονται περίπου στα 8 kW, ενώ για τις ανάγκες σε ζεστό νερό απαιτούνται 1 kW. Οι συνολικές θερμικές δαπάνες, δεδομένου ότι υπάρχει εγκατεστημένο μπόιλερ και υπερθερμαντήρας, ανέρχονται στα 9 kW. Τα ψυκτικά φορτία, αυτά υπολογίστηκαν σε ψυκτικές ανάγκες ύψους 54000 Btu.

#### **Συμβατική εγκατάσταση**

Σαν Συμβατική εγκατάσταση επιλέχθηκε αυτή του πετρελαίου, καθώς είναι και η πιο διαδεδομένη. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει θερμική ισχύ 25 kW, ενώ ο χρόνος λειτουργίας ορίζεται στις 1080 ώρες ετησίως.

Για μια τέτοια εγκατάσταση χρειάζεται να υπολογίσουμε το κόστος των εξής του λέβητα (συμπεριλαμβανόμενου της δεξαμενής πετρελαίου χωρητικότητας 1000 L), του

«μποιλερ» (θερμαντήρα ζεστού νερού χωρητικότητας 100 L), τις σωληνώσεις, τις βάνες, τα εξαρτήματα μηχανοστασίου, της καμινάδας) αλλά και τις τιμές του συστήματος θέρμανσης (σώματα).

Όσον αφορά λοιπόν την ψύξη του σπιτιού και τα 54000 Btu επειδή δεν είναι ενιαίος ο χώρος αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν 3 κλιματιστικά των 18000 Btu/h και να μοιρασθεί έτσι το φορτίο για καλύτερη κατανομή της ψύξης. Τα οικονομικά δεδομένα τριών προσφορών ενός συμβατικού συστήματος δίνονται στον Πίνακα 9.1.

**Πίνακας 9.1: Κόστη διαφόρων τμημάτων συμβατικού συστήματος**

	<i>Προσεγγιστική τιμή</i>	<i>Προσεγγιστική τιμή</i>	<i>Προσεγγιστική τιμή</i>
<i>Λέβητας</i>	4500 €	2800 €	3150 €
<i>Σύστημα θέρμανσης</i>	1500 €	700 €	857 €
<i>Σύστημα ψύξης</i>	2000 €	2292 €	2450 €
<i>Σύνολο</i>	8000 €	5792 €	6457 €

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα υπάρχουν αποκλίσεις στις τιμές ανάλογα με τον κατασκευαστή. Για χάρη τις αντικειμενικότητας θα πάρουμε έναν μέσο όρο για να το συγκρίνουμε με την ΓΑΘ. Αυτή η τιμή ανέρχεται στα 6749 € κόστος εγκατάστασης.

Όπως προείπαμε ως διάστημα λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης τον χειμώνα ορίστηκαν οι 1080 ώρες. Ομοίως υποθέτουμε και για το σύστημα ψύξης. Η τρέχουσα τιμή του πετρελαίου ορίζεται στα 0,55 €/L, ενώ το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος ανέρχεται στα 0,086 €/kWh. Το ετήσιο λοιπόν κόστος λειτουργίας της οικίας είναι:

$$\text{Θέρμανση: } 2,4 \text{ L/h} \cdot 1080 \text{ h/y} \cdot 0,55 \text{ €/L} = 1425,6 \text{ €}$$

$$\text{Ψύξη: } 1080 \text{ h} \cdot 0,97 \text{ kWh} \cdot 3 \cdot 0,086 \text{ €/kWh} = 270 \text{ €}$$

Τέλος προστέθηκε και το ετήσιο κόστος συντήρησης που ανέρχεται στα 200 € για τον καυστήρα και τα κλιματιστικά. Συνοπτικά, το πάγιο κόστος του συμβατικού συστήματος πετρελαίου βρίσκεται στα **6749 €** και το ετήσιο λειτουργικό κόστος στα **1900 €**.

## Εγκατάσταση ΓΑΘ

Αντίστοιχα, με τη χρήση γεωθερμικής αντλίας οι ανάγκες της οικίας σε θέρμανση και ψύξη παραμένουν οι ίδιες, αλλά διαφοροποιείται το κόστος και το είδος των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται. Ο οπλισμός λοιπόν, μιας αντλίας θερμότητας είναι διαφορετικός και τα στοιχεία που πρέπει να συμπεριληφθούν για να προκύψει το τελικό κόστος της είναι το κόστος εκσκαφής και εγκατάστασης του γεωεναλλάκτη, το κόστος της αντλίας θερμότητας (σωληνώσεις, διάλυμα αντιψυκτικού, βάνες, εξαρτήματα μηχανοστασίου, ενσωματωμένος υπερθερμαντήρας 250 L) και του συστήματος της ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Η ψύξη με τη χρήση αντλίας θερμότητας γίνεται με ελεύθερη συναγωγή το καλοκαίρι. Για το συγκεκριμένο σπίτι επιλέχθηκε οριζόντιο σύστημα που είναι και ο σκοπός της εργασίας.

Τα Οικονομικά δεδομένα μιας ΓΑΘ όπως παρουσιάστηκαν από τρεις διαφορετικές μελέτες.

Το κόστος των επιμέρους, αλλά και του συνολικού συστήματος προέρχεται από τρεις διαφορετικούς εγκαταστάτες συστημάτων αντλιών θερμότητας. Το πρώτο που θα παρατηρήσει κανείς είναι μια διασπορά των τιμών. Αυτό ίσως να οφείλεται στην μικρή αγορά που κινούνται οι κατασκευαστές αλλά και στην απουσία ανταγωνισμού μαζί τους.

Πίνακας 9.2: Κόστη διαφόρων τμημάτων ΓΑΘ

	Προσεγγιστική τιμή	Προσεγγιστική τιμή	Προσεγγιστική τιμή
<b>Κόστος εκσκαφής και εγκατάστασης</b>	1000 €	2600 €	1520 €
<b>Κόστος αντλίας</b>	14500 €	9500 €	11900 €
<b>Κόστος ενδοδαπέδιας θέρμανσης</b>	2000 €	1800 €	1850 €
<b>Σύνολο</b>	17500 €	13900 €	15270 €

Το αρχικό (πάγιο) κόστος λοιπόν, του συστήματος με χρήση γεωθερμικής αντλίας αυτού ανέρχεται στα **15500 €**.



Το ετήσιο κόστος στην συγκεκριμένη εφαρμογή προέρχεται από την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος της αντλίας (μέσος όρος ισχύων 2 kW) και το ετήσιο κόστος συντήρησης που ανέρχεται στα 100 €. Δηλαδή:

$$\text{Θέρμανση και ψύξη: } 1080 \text{ h} * 2 * 2 \text{ kW} * 0,086 \text{ €/kWh} = 371 \text{ €}$$

Άρα το συνολικό ετήσιο κόστος των ΓΑΘ είναι 471 €

## 9.2 Σύγκριση Τιμών και Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Μετά την οικονομική μελέτη που προηγήθηκε, είναι σκόπιμη η σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο μελετών, με σκοπό την ανάδειξη του λιγότερου δαπανηρού με τις υπάρχουσες συνθήκες, σε βάθος χρόνου.

Όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 14.1 μια ΓΑΘ έχει σαφώς μεγαλύτερο αρχικό κόστος έναντι του συμβατικού συστήματος πετρελαίου. Το αναμφισβήτητο πλεονέκτημά τους όμως, είναι το χαμηλό ετήσιο κόστος, που αποδεικνύει ότι για τη συγκεκριμένη μελέτη υπάρχει απόσβεση χρημάτων σε 7 χρόνια.



Σχήμα 9.1: Σχηματική απεικόνιση της οικονομίας των δύο συστημάτων

Με αφορμή όμως, την ανοδική τάση της τιμής του πετρελαίου πολλές οικογένειες στρέφονται σε εναλλακτικές λύσεις, όπως ηλιακά ή γεωθερμικά συστήματα. Αυτομάτως αυτό σημαίνει την ύπαρξη περισσότερων κατασκευαστών, άρα και μεγαλύτερου ανταγωνισμού, με τελικό αποτέλεσμα την μείωση των τιμών προς όφελος του καταναλωτή. Αν όλα αυτά γίνουν συγχρόνως με την επιχορήγηση και μερικών κρατικών

επιδοτήσεων ο χρόνος απόσβεσης μειώνεται σε λιγότερο από 3 χρόνια, διάστημα αποδεκτό για κάθε νέα και επικερδής επιχείρηση.

### **9.3 Συγκριτικά**

---

Συγκριτικά λοιπόν με την έρευνα που παρουσιάστηκε στην αμερικανική αγορά παρατηρούμε ότι ο χρόνος απόσβεσης τέτοιων συστημάτων στην Ελλάδα απέχει πολύ από τον μέσο όρο. Ενώ ο χρόνος απόσβεσης είναι τα 7 χρόνια (σε ένα μεμονωμένο παράδειγμα) στην Αμερική μέσα από ένα δείγμα κατοικιών ο μέσος όρος κυμαινόταν γύρω στο 6,8 με ελάχιστη τιμή τον 1,5 χρόνο και μέγιστη τα 24 χρόνια. Ίσως λοιπόν θα έπρεπε να υπάρχει μια πιο συστηματική παρακολούθηση τέτοιων συστημάτων ούτως ώστε να εξαχθούν πιο αναλυτικά συμπεράσματα.

### **9.4 Εκτίμηση Αγοράς των ΓΑΘ**

---

Μετά από επαφή με εταιρίες που εγκαθιστούν συστήματα αντλιών θερμότητας, εμπειρίας άνω των 12 χρόνων, αλλά και με νεοεισαχθείς στον χώρο και εξετάζοντας ένα δείγμα πελατών, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Το κύριο πρόβλημα που συναντάται είναι η άγνοια που επικρατεί για το συγκεκριμένο θέμα στους ανθρώπους. Η συντριπτική πλειοψηφία (κοντά στο 80%) γνώρισε το σύστημα στο εξωτερικό όπου εκεί τέτοιου είδους συστήματα είναι πιο διαδεδομένα. Αυτό μάλιστα έγινε είτε από ανθρώπους που ζούσαν στο εξωτερικό και έφεραν την τεχνολογία στην Ελλάδα είτε από ταξίδια που έχουν κάνει ανακάλυψαν την ύπαρξη αυτών των συστημάτων και αποφάσισαν να τα εγκαταστήσουν στον τόπο διαμονής τους. Το υπόλοιπο 20% ενημερώνεται από το διαδίκτυο, αλλά και δια της εμπειρίας από άτομα που το έχουν ήδη εγκαταστήσει, έχουν μείνει ικανοποιημένα και αποφάσισαν να το προτείνουν και αλλού.

Το κυρίως πρόβλημα είναι το οικονομικό, όπως προέκυψε και από την έρευνα και ανάλυση, καθώς πολύ ιδιώτες επιχείρησαν μια πρώτη επαφή, αλλά στο τέλος απέφυγαν την λύση αυτή λόγω υψηλού αρχικού κόστους. Από την άλλη, όσοι αποφάσισαν να εγκαταστήσουν μια γεωθερμική αντλία θερμότητας δεν υπολόγισαν καν το κόστος της εγκατάστασης και το θεώρησαν σαν ένα σύστημα που θα τους πρόσφερε ευκολία και σαν

μια εναλλακτική μορφή ενέργειας. Μια συνεχής λειτουργία χωρίς μηνιαίο ή όχι ανεφοδιασμό πετρελαίου.

Επειδή όμως είναι μια τεχνολογία που ήρθε από το εξωτερικό και εκεί το ρεύμα έχει διαφορετική φάση και συχνότητα παρουσιάζονται κάποια προβλήματα και πολλές φορές υπάρχει κατάρρευση του συστήματος. Άλλη αιτία μπορεί επίσης να είναι η ασταθής τάση που επικρατεί στο ελληνικό δίκτυο. Με την πάροδο του χρόνου όμως αυτά τα προβλήματα ξεπερνιούνται.

Κυρίως το σύστημα εγκαθίσταται σε μονοκατοικίες από ιδιώτες που έχουν πολύ καλή οικονομική κατάσταση και μεγάλο ελεύθερο χώρο μπροστά από το οίκημα. Όσοι εγκατέστησαν ένα τέτοιο σύστημα έμειναν απόλυτα ικανοποιημένοι από την απόδοση του. Η πρώτη επαφή γίνεται για να προταθεί μια λύση, κυρίως για ενδοδαπέδια θέρμανση. Το σύστημα που προτιμάται είναι το οριζόντιο, καθώς τα κάθετου τύπου συστήματα χαρακτηρίζονται ως αντικοινωνικά, επειδή απαιτείται μίσθωση τρυπανιού, η οποία αυξάνει πολύ το αρχικό κόστος. Επίσης για την γεώτρηση χρειάζεται άδεια.

Ενθαρρυντικό στοιχείο είναι ότι παρατηρείται αύξηση της ζήτησης για τα συγκεκριμένα συστήματα. που πρακτικά σημαίνει ότι θα αυξηθούν και οι μηχανικοί τέτοιων συστημάτων για να καλύψουν τη ζήτηση. Η αύξηση του ανταγωνισμού όμως, προσφέρει περισσότερο ελκυστικές τιμές από την μεριά του εργατικού κόστους, αλλά και συστηματική εισαγωγή γεωθερμικών αντλιών από το εξωτερικό με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους μεταφοράς.

### **10.1 Συμπεράσματα**

---

Από την μελέτη που έγινε σε αυτήν την εργασία γίνεται φανερό ότι οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αποτελούν μία πειστική τεχνολογία στις προσπάθειές μας για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Οι ΓΑΘ εκμεταλλεύονται τη σταθερή θερμοκρασία του εδάφους και μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε σημείο του πλανήτη, καθώς δεν απαιτούνται ειδικές προϋποθέσεις για την εγκατάστασή τους. Τα δύο στοιχεία που επηρεάζουν τη γεωθερμική απόδοση αντλιών θερμότητας σε μια τοποθεσία είναι τα χαρακτηριστικά του εδάφους και το κλίμα.

Τα οριζόντια συστήματα ΓΑΘ παρουσιάζουν μειωμένο κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τα κατακόρυφα συστήματα, τα οποία αν και συνήθως είναι αποδοτικότερα, χαρακτηρίζονται ως αντισυμβατικά λόγω της ανάγκης χρήσης γεωτρύπανου. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές στον τρόπο με τον οποίο μπορεί να εγκατασταθεί ο γεωεναλλάκτης, κάτι που εξαρτάται από τον κατασκευαστή. Οποιοδήποτε σύστημα όμως με κατάλληλη τοποθέτησή του μπορεί να δημιουργήσει άνετες συνθήκες μέσα σε ένα κτίριο, αλλά και να καλύψει τις ανάγκες σε ζεστό νερό. Μέχρι σήμερα, οι οριζόντιες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται κυρίως για κατοικίες και έχουν παρουσιάσει υψηλές αποδόσεις σε περιοχές με μέτριες έως υψηλές απαιτήσεις σε θέρμανση. Επιπρόσθετα, η αντιστροφή του συστήματος χρησιμεύει για την ψύξη του κτιρίου.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην εγκατάσταση του γεωεναλλάκτη και ειδικότερα στον τύπο του εδάφους που τον περιβάλλει. Διάφορες τεχνικές χρειάζεται να εφαρμοστούν στην περίπτωση που αντιμετωπίζεται πετρώδες έδαφος έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη μεταφορά θερμότητας (παράδειγμα η επικάλυψη του γεωεναλλάκτη με θαλάσσια ή ποτάμια άμμο πριν από την επιχωμάτωση). Η επιλογή του μηχανήματος με το οποίο θα γίνει το άνοιγμα της τάφρου εξαρτάται από τον τύπο του γεωεναλλάκτη που θα επιλέξουμε. Προσφέρονται πολλές επιλογές για την διάνοιξη ορυγμάτων αλλά σε κάθε περίπτωση επιλέγεται διαφορετική. Επίσης, η χρήση του

σωστού αντιψυκτικού είναι απαραίτητη προϋπόθεση καθώς μια λάθος επιλογή μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στο δίκτυο.

Σήμερα, το λογισμικό διατίθεται και από τους κατασκευαστές και από τις ανεξάρτητες πηγές βοηθώντας τους ενδιαφερόμενους να εκτιμήσουν την απόδοση των συστημάτων για κατοικίες κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη τα επίγεια χαρακτηριστικά, την μέση ετήσια θερμοκρασία του εδάφους και το κλίμα. Τα βασικά στοιχεία που χρειάζεται κανείς είναι το βάθος στο οποίο θα εγκατασταθεί ο γεωεναλλάκτης και ο τύπος του εδάφους. Από αυτά είναι δυνατόν να υπολογιστεί το απαιτούμενο μήκος του γεωεναλλάκτη και σε συνδυασμό με τις οδηγίες του κατασκευαστή να επιλεγεί το καταλληλότερο είδος πλέγματος στον γεωεναλλάκτη.

Η οικονομική ανάλυση αλλά και η έρευνα αγοράς έδειξε ότι τέτοια συστήματα, όπως και κάθε Α.Π.Ε., έχουν υψηλό αρχικό κόστος, το οποίο αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για τυχόν επενδύσεις. Όσοι αρχικά ήρθαν σε επαφή με κάποιον κατασκευαστή για να εγκαταστήσουν μια ΓΑΘ φάνηκαν αρκετά διστακτικοί, γεγονός που οφείλεται ίσως στην έλλειψη ενημέρωσης των πολιτών από το κράτος και από τους αντίστοιχους φορείς για την χρησιμότητα τέτοιων συστημάτων. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στην απομάκρυνση του αγοραστικού κοινού από την επιλογή εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος, παίζει ο σχετικά μεγάλος χρόνος απόσβεσης των χρημάτων της αρχικής επένδυσης.

Ενθαρρυντικό σημείο μπορεί να θεωρηθεί ο βαθμός ικανοποίησης που παρουσιάζουν όσοι εγκατέστησαν μια ΓΑΘ (χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης) διότι όπως δείχνει η υπάρχουσα κατάσταση, οι θετικές έως άριστες εντυπώσεις τους, είναι ο μοναδικός τρόπος προώθησης και εξάπλωσης των ΓΑΘ.

## **10.2 Προτάσεις**

---

Σε αυτήν την ενότητα παρατίθενται μερικές προτάσεις για την ανάπτυξη των ΓΑΘ και την προώθησή τους στην ελληνική αγορά.

Όσον αφορά στον τομέα της περαιτέρω ανάπτυξης των οριζόντιων συστημάτων ΓΑΘ, το τμήμα στο οποίο χρειάζεται να δοθεί μεγαλύτερη προσοχή είναι αυτό του γεωεναλλάκτη και της καλύτερης μεταφοράς θερμότητας από το έδαφος. Οι προσπάθειες

ανάπτυξης πρέπει να επικεντρωθούν στην εύρεση αποδοτικότερων αντιψυκτικών αλλά και υλικών από τα οποία κατασκευάζεται ο γεωεναλλάκτης.

Θεωρείται επιτακτική ανάγκη το κράτος και οι αρμόδιοι φορείς να εφαρμόσουν ένα κατάλληλο πρόγραμμα ενημέρωσης των πολιτών πάνω στα γεωθερμικά συστήματα, με σκοπό την ώθησή τους στην επένδυση μιας ΓΑΘ. Η πιθανή διάδοση μιας τέτοιας επιλογής, θα προκαλέσει μια αλυσίδα αλλαγών που θα βελτιώσει τα οικονομικά δεδομένα των ΓΑΘ. Σαν αποτέλεσμα λοιπόν, η αύξηση της ζήτησης θα υποχρεώσει την μικρή κοινότητα κατασκευαστικών εταιριών που ασχολούνται με αυτό το σύστημα να επεκταθεί, δημιουργώντας ένα κλίμα ανταγωνιστικότητας, μειώνοντας τουλάχιστον τα έξοδα εγκατάστασης και τεχνογνωσίας. Επίσης, η μαζική εισαγωγή ή παραγωγή των εξαρτημάτων στη χώρα μας θα μειώσει τα έξοδα μεταφοράς επηρεάζοντας έτσι θετικά την τιμή του τελικού προϊόντος.

Η εξοικονόμηση που θα επέλθει από την μείωση των παραπάνω τιμών θα μπορούσε να επενδυθεί στο άνοιγμα της τάφρου ή της γεώτρησης με σκοπό την επίτευξη μεγαλύτερου βάθους και την αποδοτικότερη λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Σε καμία περίπτωση όμως, δεν θα μειωθεί ο χρόνος απόσβεσης των χρημάτων κάτω από τα επτά χρόνια. Το αρχικό κόστος είναι τόσο μεγάλο που χρειάζονται ειδικές προϋποθέσεις για να ελαττώσουμε τον χρόνο αποπληρωμής

Στο εξωτερικό ήδη έχουν θεσπιστεί ισχυρά κίνητρα και επιδοτήσεις από την πολιτεία που μειώνουν τον χρόνο απόσβεσης της επένδυσης ακόμη και στα 3 χρόνια. Παραπλήσια μέτρα με αυτά που υπάρχουν στο εξωτερικό θα μπορούσαν να ληφθούν και στην χώρα μας.

Αρχικά θα μπορούσε να εκπίπτει το κόστος εγκατάστασης από το φορολογητέο εισόδημα εφ' άπαξ ή να κατανέμεται σε χρονικό ορίζοντα 2-3 ετών. Αυτό το μέτρο έχει αρχίσει να εφαρμόζεται από φέτος, αλλά με ένα μικρό ποσοστό του κόστους εκπίπτει από το φορολογητέο εισόδημα. Προτείνεται η μείωση του Φ.Π.Α. από 19% σε 9% για εγκαταστάσεις που αφορούν κυρίως μηχανολογικές εφαρμογές (κυρίως για αντλίες θερμότητας με πηγή το νερό). Κάθε αυτόνομη εγκατάσταση σε νέα οικία θα μπορούσε να επιδοτείται με 1500-3000 €, όπως γίνεται σε άλλες χώρες της Ε.Ε. Επίσης, η ΔΕΗ θα μπορούσε εκδώσει ευνοϊκά τιμολόγια ηλεκτρισμού για το κοινό, και να ευνοηθεί άμεσα από την ανάπτυξη της αβαθούς γεωθερμίας με τη βελτίωση των συνθηκών ζήτησης

ηλεκτρισμού κατά τις θερινές κυρίως ώρες αιχμής (το μόνο που ισχύει ως τώρα είναι το μειωμένο νυχτερινό, στοιχείο που δεν βοηθάει μιας και η λειτουργία επικεντρώνετε την ημέρα). Παράλληλα, απαραίτητη φαίνεται να είναι η προσφορά δανείων με μηδενικό ή μικρό επιτόκιο για την εγκατάσταση συστημάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

Επιπλέον, σημαντικό κομμάτι της ανάπτυξης των ΓΑΘ αποτελούν τα πεδία στα οποία βρίσκουν εφαρμογή. Καινοτόμα συστήματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την θέρμανση πεζοδρομίων αλλά και δρόμων όπου αυτό είναι αναγκαίο (παράδειγμα Φλώρινα, Μέτσοβο, Νευροκόπι, ορεινή Θράκη). Σημαντική εφαρμογή μπορεί να θεωρηθεί και η χρήση των ΓΑΘ στους δρόμους αλλά και σε γέφυρες του εθνικού δικτύου (Εγνατία Οδός), σε περιοχές όπου υπάρχει ο κίνδυνος εμφάνισης παγετού ώστε να μην αποκόπτεται ο πληθυσμός ορεινών περιοχών από το κύριο οδικό δίκτυο.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές του πετρελαίου και του ηλεκτρικού συχνά μεταβάλλονται. Έτσι η συχνή οικονομική ανάλυση των ΓΑΘ είναι απαραίτητη καθώς τυχόν αύξηση των παραπάνω τιμών μείωση της τιμής των εξαρτημάτων, θα αλλάξει τον χρόνο απόσβεσης των χρημάτων.

Παράλληλα, υπάρχει μια ανάγκη περαιτέρω τεκμηρίωσης των πληροφοριών για την εμπειρία λειτουργίας αυτής της τεχνολογίας και να εκτεθεί η επιτυχία ή/και η αποτυχία που αντιμετωπίζεται σε διάφορες περιπτώσεις ανά τη χώρα. Πειραματικές διατάξεις μπορούν να στηθούν σε περιοχές στην Ελλάδα για την εξαγωγή συμπερασμάτων, στα πλαίσια προπτυχιακών και μεταπτυχιακών εργασιών (για παράδειγμα σε ένα δρόμο), αλλά και η καταγραφή περισσότερων εφαρμογών ΓΑΘ στη χώρα μας.

### Βιβλία

---

1. Ανδρίτσος, Ν., Σημειώσεις στο Μάθημα της Ενεργειακής Οικονομίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 2004.
2. Βραχόπουλος, Μ.Γ. και Παπαγεωργάκης, Ι. Ηλιογενής και γηγενής θερμότητα στο αβαθές υπέδαφος της Αττικής. Τεχνικά Χρονικά Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ IV, 18(1), 55-66, 1998.
3. Παπάζογλου, Ε., Κυρίτση, Σ. και Σούτερ, Χ., Θέρμανση Θερμοκηπίων – Αντλίες Θερμότητας, Δίον, 1987.
4. Τσίγκας, Ε., Γεωθερμία στα Κτίρια, Άρθρο στο [www.ktirio.gr](http://www.ktirio.gr)
5. Τσιλιγκιρίδης, Γ., Σπαντιδάκης, Γ., και Χατζημωυσιάδης Σ. Μελέτη της θερμοκρασιακής συμπεριφοράς του εδάφους στο σταθμό μέτρησης του ΑΠΘ. Πρακ. 7<sup>ο</sup> Εθνικού Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Πάτρα, 6-8 Νοεμ. 2002, Τόμος Β, σελ. 115-124.
6. Greenpeace, Πράσινη Κατανάλωση, Μάιος, 2005
7. Fytikas, M., Andritsos, N., Dalabakis, P., and Kolios, N. Greek Geothermal Update. Proc. of the World Geothermal Congress – 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April, 2005.
8. Boyd, L. and Lienau, J., Geothermal Heat Pump Performance, GEO HEAT center, Oregon.
9. Bloomquist, G., Geothermal space heating, *Geothermics* 32 (2003) 513–526.
10. Hammons, T., Geothermal Power Generation Worldwide: Global Perspective, Technology, Field Experience, and Research and Development, *Electric Power Components and Systems*, 32:529–553, 2004 .
11. Al-Khoury, R., Bonnier, P. and Brinkgreve, R., Efficient finite element formulation for geothermal heating systems. Part I: Steady state, Published online in Wiley InterScience, DOI: 10.1002/nme.1313.
12. Lund, W., 2001. Geothermal heat pumps- an overview. *Bulletin Geo-Heat Center*, 22, 1,1-2.
13. Lund, W., and Boyd, L., 2001. Direct use of geothermal energy in the U.S. –2001. *Geothermal Resources Council Transactions*, 25, 57-60.
14. Gudmundsson, S., 1988. The elements of direct uses. *Geothermics*, 17,119–136.
15. Dickson, M., and Fanelli, M., What is geothermal energy?, Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy.
16. Oklahoma State University, Division of Engineering Technology, 1988. Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump System - Installation Guide, International Ground Source Heat Pump Association, Stillwater, OK.
17. Oklahoma State University, Division of Engineering Technology, 1988. Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump System - Introductory Guide, International Ground Source Heat Pump Association, Stillwater, OK.
18. Dexheimer, R. Donald, 1985. Water-Source Heat Pump Handbook. National Water Well Association, Worthington, OH.



19. Lund, W., 1988. "Geothermal Heat Pump Utilization in the United States," Geo-Heat Center Quarterly Bulletin, Vol. 11, No. 1 (Summer), Klamath Falls, OR.
20. Ret Screen International, Ground – source heat pump project analysis chapter, Canada, 2001. [www.retscreen.net]
21. Chiasson, A., Greenhouse Heating with Geothermal Heat Pump Systems,
22. Doherty, P., Al-Huthaily, S., Rifat, S. and Abodahab, N., Ground source heat pump—description and preliminary results of the Eco House system, Applied Thermal Engineering 24 (2004) 2627–2641

## Σχετικές Ιστοσελίδες

---

- [www.enercret.com](http://www.enercret.com)
- <http://www.epa.gov/appdstar/hvac/geothermal.html>
- <http://www.ghpc.org/>
- [www.igshpa.okstate.edu](http://www.igshpa.okstate.edu)
- <http://www.alliantgeo.com/>
- <http://es.epa.gov/program/epaorgs/oar/spacecon.html>
- <http://www.epa.gov/globalwarming/>
- [http://www.eere.energy.gov/consumer/your\\_home/space\\_heating\\_cooling/index.cfm/mytopic=12640](http://www.eere.energy.gov/consumer/your_home/space_heating_cooling/index.cfm/mytopic=12640)
- <http://www.groundloop.com/index.htm>
- [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=geo\\_heat.pr\\_geo\\_heat\\_pumps](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=geo_heat.pr_geo_heat_pumps)
- [http://www.cres.gr/kape/index\\_gr.htm](http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm)
- [www.geoexchange.org](http://www.geoexchange.org)
- [www.geoexchange.gr](http://www.geoexchange.gr)
- [www.thermoydravlikos.gr/article.php?ID=7](http://www.thermoydravlikos.gr/article.php?ID=7)
- [www.viotech.gr/content/view/147/2/](http://www.viotech.gr/content/view/147/2/)
- [www.geothermansi.com/heat\\_pump\\_gr.htm](http://www.geothermansi.com/heat_pump_gr.htm)
- [www.greenpeace.org/greece/137368/137396/138606](http://www.greenpeace.org/greece/137368/137396/138606)
- [www.spitia.gr/show\\_article\\_details.asp?article\\_id=429&catid=482](http://www.spitia.gr/show_article_details.asp?article_id=429&catid=482)
- [www.amkat.gr/geoheatpumpsarxes.htm](http://www.amkat.gr/geoheatpumpsarxes.htm)
- [www.texnikos.gr/modules.php?op=modload&name=News&file=index&catid=147](http://www.texnikos.gr/modules.php?op=modload&name=News&file=index&catid=147)
- [geoheat.oit.edu/ghp/ghptable.htm](http://geoheat.oit.edu/ghp/ghptable.htm)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000089094