

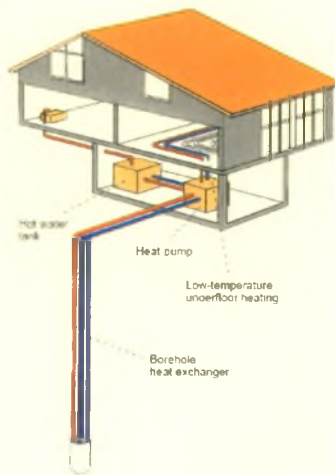
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Τεχνικό-οικονομική Μελέτη Κατακόρυφου Συστήματος Γεωθερμικής Αντλίας

Θερμότητας



Διπλωματική Εργασία Ξυδιάς Δημήτρης

(Επιβλέπων καθηγητής : Ν. Ανδρίτσος)

Βόλος Οκτώβριος 2006



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

Αριθ. Εισ.: 5051/1

Ημερ. Εισ.: 20-11-2006

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜΒ

2006

ΞΥΔ

© 2006 Δημήτρης Ξυδιάς

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).



## Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

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

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Αναστάσιος Σταμάτης  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

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

Πρώτα απ όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της Διπλωματικής Εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Δρ. Νικόλαο Ανδρίτσο για την αποδοχή του να αναλάβω αυτήν την εργασία υπό την επίβλεψη του και για την πολύτιμη βοήθεια του. Επίσης ευχαριστώ θερμά και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής της διπλωματικής εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Δρ. Αναστάσιο Σταμάτη και διδάσκων του Π.Θ. του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Δρ. Μιχαήλ Βλαχογιάννη, για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Ευχαριστώ θερμά τους φίλους μου Σπύρο Καρελή, Δανιήλ Βασιλική, Γιάννη Νικολάου, Σάββα Λαζαρίδη, Μιχάλη Ασλανίδη Αλεξάνδρα Σαλάτα, Ματούλα Μιχαλάκη, Πατρίτσια Παπά για την βοήθεια τους και την άριστη συνεργασία κατά την διάρκεια των σπουδών, καθώς και για τις ωραίες στιγμές που μου χάρισαν τα χρόνια των σπουδών στο πανεπιστήμιο.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Νικόλαο και Έλλη Ξυδιά ,, στον αδερφό μου Κώστα και στην αδελφή μου Δέσποινα, για την ηθική υποστήριξη και αγάπη που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια.

**Σας Ευχαριστώ**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 Αντικείμενο και στόχοι της Διπλωματικής εργασίας .....	7
1.2 Δομή της Διπλωματικής εργασίας.....	9
2. Βασικές έννοιες και ορισμοί .....	10
3. Διερεύνηση, Ανάπτυξη και Εκμετάλλευση-Αξιοποίηση ενός Γεωθερμικού Πεδίου	
3.1. Γεωθερμική έρευνα .....	15
3.2 Ανάπτυξη του Γεωθερμικού πεδίου .....	18
3.3. Εκμετάλλευση - Αξιοποίηση του Γεωθερμικού Πεδίου .....	19
4. Τεχνολογία για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας .....	22
4.1 Τεχνολογικές εξελίξεις σχετικές με το γεωθερμικό ταμιευτήρα .....	23
4.2 Τεχνολογικές εξελίξεις σχετικές με το γεωθερμικό ρευστό .....	24
4.3 Τεχνολογικές εξελίξεις σχετικές με τα συστήματα εκμετάλλευσης .....	25
5. Αβαθής γεωθερμία	
5.1 Αρχές .....	28
5.2 Τρόποι εκμετάλλευσης.....	30
5.3. Κύριοι τύποι αντλιών θερμότητας.....	31
5.4. Σύστημα Ανοικτού Κυκλώματος (OPEN-LOOP System). .....	31
5.5. Σύστημα Κλειστού Κυκλώματος (CLOSED-LOOP system). .....	34
5.5.1 Τύποι των συστημάτων κλειστού κυκλώματος .....	35
5.5.2. Κατακόρυφο σύστημα .....	36
5.5.3. Οριζόντιο σύστημα .....	37

5.5.4. Η τεχνολογία Enercret .....	39
6. Αντλίες θερμότητας	
6.1 Χρήση των αντλιών θερμότητας .....	41
6.2 Βασικές αρχές λειτουργίας .....	44
6.2.1 Λειτουργία θέρμανσης .....	49
6.2.2 Λειτουργία ψύξης .....	51
6.2.3 Λειτουργία παραγωγής ζεστού νερού.....	52
6.3 Συντελεστής απόδοσης .....	53
7. Διαστασιολόγηση γεώτρησης και εναλλάκτη	
Γενικά .....	54
7.1 Μήκος γεώτρησης .....	55
7.2 Θερμική Αντίσταση Σωληνώσεων .....	57
7.3 Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας .....	58
7.4 Θερμοκρασίες γεωθερμικών συστημάτων .....	59
8. Σύγκριση της γεωθερμικής λύσης με εκείνη του πετρελαίου .....	61
9. Γενικά συμπεράσματα .....	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	75



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Αντικείμενο και στόχοι της Διπλωματικής εργασίας

Στη σημερινή εποχή με την αλματώδη εξέλιξη το ενεργειακό πρόβλημα εμφανίζεται συνεχώς και πιο έντονο. Η ραγδαία άνοδος του βιοτικού επιπέδου, η οποία οφείλεται σε μια σειρά τεχνολογικών καινοτομιών και εφαρμογών στην καθημερινή ζωή έχει επιβαρύνει το ενεργειακό ισοζύγιο. Κατά συνέπεια γίνονται τεράστιες προσπάθειες, δαπανώντας τεράστια ποσά, στην έρευνα για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης των ήδη γνωστών ενεργειακών πηγών, με έμφαση στις ήπιες - ανανεώσιμες πηγές, και παράλληλα στην ανακάλυψη νέων.

Η ετήσια ανάγκη ενέργειας αυξάνεται συνεχώς για τις αναπτυγμένες χώρες. Αυτό καθιστά επιτακτική την ανάγκη για εξεύρεση και εξασφάλιση άφθονης και φθηνής ενέργειας. Μέχρι σήμερα το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που παράγεται προέρχεται από την καύση πετρελαίου και άνθρακα. Ύστερα από αυτά επιδίωξη μιας μεγάλης ομάδας επιστημόνων, ερευνητών και κοινωνικών φορέων υπήρξε η επίλυση του ενεργειακού προβλήματος, η επιτυχία του οποίου θα επιφέρει συνέχιση της ανάπτυξης και της προόδου της ανθρωπότητας και βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης.

Οι κυριότερες πηγές σήμερα, όπως προαναφέρθηκε είναι τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), το νερό και η ατομική ενέργεια. Το υψηλό κόστος σε συνάρτηση με τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς και η εξάρτηση από τις χώρες που εξορύσσουν τα ορυκτά καύσιμα επιβάλλει την έρευνα για νέες εναλλακτικές λύσεις.

Οι υδατοπτώσεις, οι οποίες παρέχουν φθηνή και χωρίς σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενέργεια, δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη. Άλλες πιθανές πηγές ενέργειας που δύνανται να είναι εκμεταλλεύσιμες είναι η παλιρροϊκή ενέργεια, η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική. Πρόκειται για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες δεν επιβαρύνουν με την εκμετάλλευσή τους το περιβάλλον.

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 κατακόρυφων συστημάτων, και μια τεχνικό-οικονομική προσέγγιση ενός τυπικού συστήματος στη χώρα μας.

## 1.2 Δομή της Διπλωματικής εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 της εργασίας γίνεται μια αναφορά στις βασικές έννοιες και ορισμούς της γεωθερμίας από την Ελληνική και ξένη βιβλιογραφία. Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφονται τα στάδια έρευνας, εκμετάλλευσης και αξιοποίησης των γεωθερμικών πεδίων. Στο επόμενο κεφάλαιο 4 επιχειρείται η περιγραφή της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται αλλά και οι εξελίξεις σχετικά με το γεωθερμικό ταμιευτήρα και το γεωθερμικό ρευστό. Το κεφάλαιο 5 ασχολείται ειδικότερα με την αβαθή γεωθερμία, τους τρόπους εκμετάλλευσης. Επίσης εξετάζει τους δυο τύπους συστημάτων αντλιών θερμότητας (ανοιχτού και κλειστού βρόχου). Στο Κεφάλαιο 6 περιγράφεται η αντλία θερμότητας, οι βασικές αρχές λειτουργίας της, κατά την θέρμανση, την ψύξη και την παραγωγή ζεστού νερού. Το Κεφάλαιο 7 επεξηγεί την διαδικασία με την οποία μπορεί κανείς να διαστασιολογήσει την γεώτρηση και τον γεωθερμικό εναλλάκτη. Εν συνεχεία, το Κεφάλαιο 8 περιλαμβάνει μια οικονομική ανασκόπηση των συστημάτων ΓΑΘ και γίνεται μια συγκριτική μελέτη μεταξύ ΓΑΘ και πετρελαίου. Τέλος το τελευταίο Κεφάλαιο επικεντρώνεται στα συμπεράσματα της εργασίας για την εξέλιξη των ΓΑΘ και την αποτελεσματική εισαγωγή τους στην Ελληνική αγορά.

## 2. Βασικές έννοιες και ορισμοί

"Γεωθερμικό δυναμικό νοείται το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπόγειων και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών. Γεωθερμική ενέργεια νοείται η ενέργεια η οποία εμπεριέχεται στο γεωθερμικό δυναμικό και αντλείται από αυτό. Θερμά νερά νοούνται τα νερά των οποίων η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 25<sup>0</sup>C. Οι παραπάνω ορισμοί αναφέρονται στα τέσσερα πρώτα άρθρα του νόμου 1475 που δημοσιεύτηκε στην εφημερίδα της κυβερνήσεως στις 11 Σεπτεμβρίου 1984.

Μελετώντας την Ελληνική και Ξένη Βιβλιογραφία καταλήγουμε ότι Γεωθερμική ενέργεια καλείται η ενέργεια του εσωτερικού της γης η οποία διαχέεται προς την επιφάνεια μέσω των πετρωμάτων του φλοιού. Γεωθερμικό πεδίο ονομάζεται η περιοχή από την οποία μπορεί να παραχθεί γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι "συγκεντρωμένη" σε κάποιο προσιτό από την επιφάνεια βάθος. Για να καταστεί δυνατή η παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας στο υπέδαφος της περιοχής αυτής είναι αναγκαίο να συντρέχουν συγκεκριμένες θερμικής και υδρογεωλογικής φύσεως παράμετροι

Ειδικότερα πρέπει να υπάρχει ένας προσιτός και οικονομικά εκμεταλλεύσιμος, διαπερατός σχηματισμός πετρωμάτων, ονομαζόμενος γεωθερμικός ταμιευτήρας (reservoir), όπου κυκλοφορούν ρευστά υψηλής θερμοκρασίας. Μέρος της περικλειόμενης θερμικής ενέργειας "αντλείται" μέσω του παραγόμενου από ειδικές γεωτρήσεις γεωθερμικού ρευστού. Το ρευστό αυτό μπορεί να είναι ατμός ή μίγμα ατμού - νερού. Θα πρέπει να

αναφερθεί και η περίπτωση γεωθερμικών πεδίων θερμών ξηρών πετρωμάτων (hot dry rock) που μπορεί να θεωρηθεί σαν μία βάσιμη και σημαντική πηγή ενέργειας για το μέλλον. Πρόκειται για την περίπτωση όπου ενώ διατίθενται τεράστια αποθέματα θερμικής ενέργειας στο πέτρωμα δεν υπάρχει κυκλοφορία ρευστού ( ατμού ή νερού) για τη "μεταφορά" της στην επιφάνεια. Ήδη η σχετική τεχνολογία βρίσκεται σε εξέλιξη (Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, Μεγάλη Βρετανία), αλλά η τεχνικοοικονομική επιτυχία ενός τέτοιου σχεδίου συστήματος εκμετάλλευσης θα πρέπει να αναμένεται την επόμενη δεκαετία.

Από τα υγρά πορώδη πετρώματα, ζεστό νερό ή ατμός ανέρχεται στην επιφάνεια διαμέσω γεωτρήσεων . Ανάλογα με την θερμοκρασία του, η γεωθερμική ενέργεια (και συνεπώς το γεωθερμικό πεδίο από το οποίο "αντλείται" αυτή) χαρακτηρίζεται ως :

- υψηλής ενθαλπίας (θερμοκρασίες ρευστών μεγαλύτερες από  $1500^{\circ}\text{C}$ ) μέσης ενθαλπίας (θερμοκρασίες ρευστών  $1000$  έως  $1500^{\circ}\text{C}$ ) και
- χαμηλής ενθαλπίας (θερμοκρασίες ρευστών μικρότερες από  $100^{\circ}\text{C}$  και ανώτερες των  $25^{\circ}\text{C}$ ). Σε αυτήν την θερμοκρασία σταματάει η εκμετάλλευση του γεωθερμικού ρευστού και το τελευταίο απορρίπτεται ή επανεγχύεται στον γεωθερμικό ταμιευτήρια).

Μία ερώτηση που απασχόλησε τους μελετητές κατά καιρούς, είναι το αν η γεωθερμική ενέργεια είναι ανανεώσιμη μορφή ενέργειας ή όχι;

Η ενέργεια που αντιστοιχεί στη μείωση της θερμοκρασίας του στερεού φλοιού της γης κατά 1°C, είναι αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες, της ανθρωπότητας σε ενέργεια για 27.000 χρόνια. Η ποσότητα αυτή είναι τόσο μεγάλη, ώστε η γεωθερμία μπορεί να θεωρηθεί ως μία πρακτικά ανεξάντλητη, συνεπώς ανανεώσιμη μορφή ενέργειας. Όμως τοπικά ένα γεωθερμικό πεδίο είναι δυνατό να εξαντληθεί ύστερα από εκτεταμένη εκμετάλλευση. Για παράδειγμα στο πεδίο της Τοσκάνης της Ιταλίας σταθερή παραγωγή εξασφαλίζεται μόνο με την ανόρυξη ολοένα και βαθύτερων γεωτρήσεων. Το πεδίο της Γουαράκι της Νέας Ζηλανδίας αναμένεται να "κρυώσει" ύστερα από χρόνια, λόγω εισροής ψυχρού νερού παρόλο που η πίεση και η θερμοκρασία έχουν σταθεροποιηθεί τα τελευταία χρόνια.

Αν ύστερα από δεκάδες χρόνων εκμετάλλευσης η θερμοκρασία ενός γεωθερμικού πεδίου μειωθεί σε τέτοιες τιμές, ώστε η περαιτέρω εκμετάλλευσή του να είναι αντιοικονομική, θα χρειαστούν χιλιάδες χρόνια ώστε η θερμοκρασία του να επανέλθει στην αρχική της τιμή. Επομένως, για εκμετάλλευση ενός γεωθερμικού πεδίου σε μεγάλη κλίμακα η γεωθερμική ενέργεια πρακτικά δεν ανανεώνεται.

Από την άλλη πλευρά, αν η εκμετάλλευση ενός γεωθερμικού πεδίου γινόταν με πολύ μικρό ρυθμό ίσο με θερμική ροή προς την επιφάνεια, όπως για παράδειγμα η αξιοποίηση μίας θερμής πηγής για ιαματικά λουτρά, τότε η γεωθερμική ενέργεια θα μπορούσε να θεωρηθεί ανανεώσιμη μορφή ενέργειας. Όμως για οικονομικούς λόγους, πάντα συμφέρει η εκμετάλλευση με ρυθμούς πολύ μεγαλύτερους από την φυσική ροή θερμότητας της περιοχής.

Οι συμβατικές ενεργειακές ορυκτές πρώτες ύλες της χώρας μας όπως γενικά ανά

τον κόσμο, είναι πεπερασμένες και μη ανανεώσιμες, με αποτέλεσμα τα αποθέματα που υπάρχουν να μην αρκούν για την κάλυψη των αναγκών μας για πολλές ακόμη δεκαετίες.

Συγκεκριμένα το πετρέλαιο αναμένεται να εξαντληθεί σε 25 έως 30 χρόνια, ανάλογα με τους ρυθμούς εκμετάλλευσής τους. Επίσης το δυναμικό των υδροηλεκτρικών έργων είναι περιορισμένο το φυσικό αέριο δεν έχει ακόμη εντοπιστεί σε ποσότητες ικανές που να καλύψει έστω και μερικώς την εσωτερική κατανάλωση. Επομένως, είναι επιτακτική η ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας.

Μία τέτοια μορφή ενέργειας είναι η γεωθερμική ενέργεια, η οποία ως προς το κόστος εκμετάλλευσης ανταγωνίζεται το πετρέλαιο, με κύρια συνιστώσα το αρχικό κεφάλαιο για έρευνα και ανάπτυξη, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι αρκετά περιορισμένο.

Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση χώρων, αγροτικές και βιομηχανικές εφαρμογές, ηλεκτροπαραγωγή (κυρίως σε περιοχές που δεν έχουν συνδεθεί με το χερσαίο δίκτυο μεταφοράς ενέργειας που παράγεται στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς Πτολεμαΐδας και Μεγαλόπολης καθώς και στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς, που ηλεκτροδοτούν τα περισσότερα νησιά του Αιγαίου) κ.λ.π., επιφέρει μείωση στην κατανάλωση πετρελαίου. Αυτό εκτός από τα βραχυπρόθεσμα οικονομικά οφέλη, οδηγεί και στον περιορισμό της εξάρτησης της χώρας μας από το εξωτερικό και τις διεθνείς οικονομικές συγκυρίες, στο μέτρο των δυνατοτήτων της, πράγμα που επιτρέπει τον καλύτερο μακροπρόθεσμο προγραμματισμό ανάπτυξης της εθνικής μας οικονομίας.

Εξάλλου η γεωθερμία είναι μία από τις εναλλακτικές και ήπιες μορφές ενέργειας (άλλες μορφές είναι : η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, η βιομάζα και τα βιοκαύσιμα, τα μικρά υδροηλεκτρικά κ.α.), οι οποίες σύμφωνα με τα δεδομένα της σημερινής τεχνολογίας, μπορούν να αναπτυχθούν σοβαρά (εκατοντάδες μεγαβάτ για παραγωγή ηλεκτρισμού και χιλιάδες μεγαβάτ για απ' ευθείας χρήση σε οικιακή θέρμανση, στον αγροτικό τομέα και στην βιομηχανία) και με ανταγωνιστικό κόστος. Μαζί με τα μικρά υδροηλεκτρικά, την αιολική και την ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να προσφέρει σημαντική ανακούφιση στο ενεργειακό μας ισοζύγιο. Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί ότι πολλά προγράμματα έρευνας και εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας χρηματοδοτούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, οι διεθνείς οικονομικές και τεχνολογικές συνθήκες σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο. Ελλαδικός χώρος είναι ιδιαίτερα ευνοημένος από γεωθερμικής πλευράς, κάνουν την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας αρκετά συμφέρουσα.



### 3. Διερεύνηση, Ανάπτυξη και Εκμετάλλευση-Αξιοποίηση ενός Γεωθερμικού Πεδίου

#### 3.1. Γεωθερμική έρευνα

Για την αναζήτηση και τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων θα πρέπει καταρχήν να υπάρχουν θετικές ενδείξεις για την ύπαρξη ηφαιστειακών και πλουτώνιων πετρωμάτων. Τέτοιες ενδείξεις συναντώνται σε ηφαιστειογενείς περιοχές ή σε περιοχές που γειτονεύουν με μαγματικές εστίες ή φωλιές σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια. Επιφανειακές εκδηλώσεις της ύπαρξης θερμών πετρωμάτων σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια είναι οι θερμομεταλλικές πηγές οι οποίες είναι καθοδηγητικές για την αναζήτηση γεωθερμικών πεδίων.

Αφού εντοπισθεί η ελπιδοφόρος περιοχή καταρτίζεται ένα πρόγραμμα έρευνας το οποίο εκτελείται σε δύο στάδια.

Στο πρώτο στάδιο (προκαταρκτική έρευνα) εκτελούνται οι εξής εργασίες:

- Γεωλογική χαρτογράφηση.
- Υδρολογική χαρτογράφηση.
- Τεκτονική και Μακροτεκτονική μελέτη.
- Εκπόνηση χάρτη ισοθερμικών καμπύλων.
- Γεωφυσική έρευνα.

- Εκτέλεση γεωτρήσεων μικρού σχετικά βάθους.

Στόχοι των εργασιών αυτών είναι οι εξής:

- Η αναγνώριση των γεωθερμικών φαινομένων.
- Η επιβεβαίωση της ύπαρξης του γεωθερμικού πεδίου.
- Η εκτίμηση του μεγέθους του ταμιευτήρα.
- Ο προσδιορισμός του τύπου του γεωθερμικού πεδίου.
- Η. επιλογή των θέσεων για την εκτέλεση γεωτρήσεων μεγαλύτερου βάθους.

Παράλληλα με την διεξαγωγή του πρώτου σταδίου της έρευνας συλλέγονται στοιχεία για να αξιολογηθεί η τεχνικοοικονομική υποδομή της περιοχής και να αποτυπωθεί η προσφορά και η ζήτηση ενέργειας στην ευρύτερη περιοχή.

Μετά την συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων που προέκυψαν συντάσσεται η προμελέτη σκοπιμότητας η οποία θα αποφανθεί εάν τα στοιχεία αυτά είναι επαρκή και εάν οι παράμετροι για περαιτέρω έρευνα και εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου είναι θετικές.

Κατόπιν εκτελούνται ερευνητικές γεωτρήσεις σε σχετικά μεγάλο βάθος και ακολουθεί το δεύτερο στάδιο έρευνας κατά το οποίο εκτελούνται οι ακόλουθες

εργασίες:

- Δοκιμές άντλησης.
- Χημικές αναλύσεις των γεωθερμικών ρευστών.
- Προσδιορισμός της ηλικίας των ρευστών.
- Προσδιορισμός του θερμικού περιεχομένου των αντλούμενων ρευστών.
- Εκτίμηση της δυναμικότητας του ταμιευτήρα.
- Σχεδιασμός του τρόπου παρακολούθησης της μελλοντικής συμπεριφοράς

του ταμιευτήρα.

- Διερεύνηση όλων των παραμέτρων που είναι δυνατόν να δημιουργήσουν προβλήματα κατά την ανάπτυξη και λειτουργία του γεωθερμικού πεδίου.

- Προσδιορισμός των πιθανών περιβαλλοντικών προβλημάτων και εξεύρεση τρόπων επίλυσης τους.

Τέλος, συντάσσεται η τελική μελέτη σκοπιμότητας για την αξιοποίηση των θετικών αποτελεσμάτων, η οποία πρέπει να συνοδεύεται και από μελέτη για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα προκύψουν από την ανάπτυξη και εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου.

### 3.2 Ανάπτυξη του Γεωθερμικού πεδίου

Εφ' όσον τα αποτελέσματα της γεωθερμικής έρευνας είναι επαρκή και η μελέτη σκοπιμότητας έχει θετικά αποτελέσματα ακολουθεί η ανάπτυξη της υποδομής που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών. Στο στάδιο αυτό εκτελούνται οι ακόλουθες εργασίες:

- Όρυξη των γεωτρήσεων παραγωγής και των γεωτρήσεων επανέγχυσης αν αυτό έχει κριθεί απαραίτητο για την διάθεση των γεωθερμικών ρευστών μετά την εκμετάλλευση τους.
- Κατασκευή του δικτύου άντλησης, μεταφοράς και τελικής διάθεσης (απόρριψης) των γεωθερμικών ρευστών.
- Μελέτη και σχεδιασμό των εγκαταστάσεων που απαιτούνται για την εκμετάλλευση του πεδίου.

Η άντληση των γεωθερμικών ρευστών πραγματοποιείται με κατάλληλες αντλίες, οι οποίες μπορεί να είναι είτε κατακόρυφες (κατακόρυφου άξονα, με την κεφαλή εγκατεστημένη στην επιφάνεια), είτε υποβρύχιες (εγκατεστημένες στο βάθος της παραγωγικής γεώτρησης) που αποτελούν και την πλέον σύγχρονη εκδοχή γεωθερμικών αντλιών.

Η μεταφορά των γεωθερμικών ρευστών επιτυγχάνεται με την χρήση ειδικών σωλήνων, οι οποίοι εξασφαλίζουν ικανοποιητική θερμομόνωση για την ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας. Οι απώλειες αυτές είναι ανάλογες:

- του μήκους του δικτύου μεταφοράς του γεωθερμικού ρευστού, από το σημείο άντλησης μέχρι τον χώρο όπου θα λάβει χώρα η εκμετάλλευση - χρήση, και
- της ποιότητας των σωλήνων μεταφοράς, δηλαδή της θερμομονωτικής ικανότητας τους.

Η διάθεση των γεωθερμικών ρευστών μετά τη χρήση τους (των "γεωθερμικών αποβλήτων" δηλαδή) ή μετά από ενδεχόμενες διαδοχικές χρήσεις μπορεί να λάβει χώρα με δύο τρόπους:

- με την απόρριψη τους σε κάποιο επιφανειακό αποδέκτη (ποτάμι, λίμνη, θάλασσα, έδαφος), με ή χωρίς προηγούμενη επεξεργασία τους,
- με την επανεισαγωγή (επανέγχυση) τους, με τη χρήση κατάλληλης αντλίας, στον ταμιευτήρα από τον οποίο αντλήθηκαν.

Η τελευταία μέθοδος αποτελεί τη πιο διαδεδομένη διεθνώς, αφού στις περισσότερες περιπτώσεις συνδυάζει την οικονομικότητα με την περιβαλλοντική προστασία αλλά και τα ευεργετικά αποτελέσματα στον ίδιο τον ταμιευτήρα.

### **3.3. Εκμετάλλευση - Αξιοποίηση του Γεωθερμικού Πεδίου**

Μετά την ανάπτυξη της προαναφερθείσης υποδομής ξεκινά το στάδιο της εκμετάλλευσης και διαχείρισης του γεωθερμικού πεδίου, αφού φυσικά προηγηθεί η απόφαση για το είδος της χρήσης των γεωθερμικών ρευστών. Η μορφή του όλου δικτύου εκμετάλλευσης εξαρτάται, εκτός από το είδος της χρήσης, από τον αριθμό, τη θέση και τον τρόπο διασύνδεσης των χρήσεων στις περιπτώσεις που αυτές είναι περισσότερες

της μίας.

Ο βασικός εξοπλισμός και η βελτιστοποίηση του δικτύου εκμετάλλευσης, καθώς και η επιλογή του εξοπλισμού και των υλικών, εντάσσονται στο αντικείμενο της τεχνικοοικονομικής μελέτης σκοπιμότητας, βάσει της οποίας θα αποφασισθεί και η σκοπιμότητα του όλου επενδυτικού εγχειρήματος.

Η εκμετάλλευση της ενέργειας που περιέχουν τα γεωθερμικά ρευστά προϋποθέτει συνήθως την ανάκτησή της μέσω εναλλακτών θερμότητας. Εναλλαγή θερμότητας είναι η μεταβίβαση θερμότητας από ένα θερμό μέσο (εν προκειμένω το γεωθερμικό ρευστό) προς ένα ψυχρότερο, όπως για παράδειγμα νερό ή αέρας που θέλουμε να θερμάνουμε. Ο εξοπλισμός δε εντός του οποίου πραγματοποιείται η εναλλαγή λέγεται εναλλάκτης θερμότητας. Ανάλογα με την εφαρμογή επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος εναλλάκτη, με συνηθέστερο, στην περίπτωση των γεωθερμικών χρήσεων, τον πλακοειδή.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, κυρίως όταν η μικρή αλατότητα του γεωθερμικού ρευστού δεν δημιουργεί σοβαρούς κινδύνους επικαθήσεως αλάτων, ενδέχεται να είναι δυνατή η απ' ευθείας χρήση του (χωρίς την παρεμβολή εναλλάκτη θερμότητας). Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η θέρμανση του εδάφους με σωλήνες εντός των οποίων ρέει το γεωθερμικό ρευστό.

Στην περίπτωση βέβαια χρήσης του γεωθερμικού ρευστού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το δίκτυο εκμετάλλευσης διαφέρει αρκετά. Συνήθως αποτελείται από :

- ένα διαχωριστή νερού, για τον διαχωρισμό του ξηρού ατμού στην περίπτωση διφασικών ρευστών (νερό και ατμός), ή έναν εναλλάκτη, για την παραγωγή καθαρού ατμού,
- έναν στρόβιλο, μέσα στον οποίο διοχετεύεται ο ατμός για να αποδώσει την ενέργεια του,
- μία γεννήτρια, στην οποία μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του στροβίλου σε ηλεκτρική ενέργεια,
- ένα συμπυκνωτή, για την υγροποίηση του ατμού που εξέρχεται του στροβίλου, και
- ένα πύργο ψύξης, στον οποίο ψύχεται το ζεστό νερό που εξέρχεται από τον συμπυκνωτή και διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα.

Είναι επίσης δυνατό (και προτιμάται) το ζεστό νερό που εξέρχεται από το συμπυκνωτή να μεταφερθεί σε ένα δεύτερο δίκτυο εκμετάλλευσης, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί σε άλλες εφαρμογές που απαιτούν ρευστό ανάλογης θερμοκρασίας.

Η εγκατάσταση εκμετάλλευσης περιλαμβάνει επίσης τις απαραίτητες αντλίες και σωληνώσεις για τη μεταφορά των ρευστών. Μπορεί ακόμα να περιλαμβάνει δεξαμενές αποθήκευσης του ρευστού, λέβητες και άλλες εφεδρικές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα για την εξασφάλιση της κάλυψης των αιχμών της ενεργειακής ζήτησης, αντλίες θερμότητας, στις περιπτώσεις εκμετάλλευσης γεωθερμικών ρευστών χαμηλών θερμοκρασιών, και άλλα είδη βοηθητικού εξοπλισμού.

#### 4. Τεχνολογία για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας

Η ανεπαρκής γνώση των ιδιοτεροτήτων και των τεχνολογικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τη γεωθερμία, στάλθηκε μία από τις πλέον βασικές αιτίες έλλειψης κατάλληλων προϋποθέσεων για δημιουργία των αναγκαίων δομών μεταφοράς της απαραίτητης τεχνολογίας, σε βαθμό που να οδηγεί στην ορθολογική έρευνα και ανάπτυξη των διαφόρων γεωθερμικών εφαρμογών στη χώρα μας. Τα τελευταία χρόνια γίνονται σοβαρές προσπάθειες για την μεταφορά τεχνολογίας και την ανάπτυξη τεχνογνωσίας - με την έννοια του λειτουργικού μηχανισμού σύνδεσης των διαφόρων δομικών χαρακτηριστικών της τεχνολογίας-από φορείς όπως:

- Ερευνητικά Ινστιτούτα και Πανεπιστήμια
- Τεχνικές Εταιρείες Μελετών και Κατασκευών
- Εταιρείες Κατασκευών εξοπλισμού και ειδικευμένων υλικών

(αντλίες, εναλλάκτες, κλπ.)

Οι κατευθύνσεις στις οποίες αναπτύσσεται τεχνολογία τα τελευταία χρόνια σχετίζονται με τα προβλήματα που συναντώνται σε τρεις τομείς που είναι :

- α) το κοίτασμα, δηλαδή ο γεωθερμικός ταμιευτήρας,
- β) το γεωθερμικό ρευστό, και
- γ) το σύστημα εκμετάλλευσης σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον.



#### 4.1 Τεχνολογικές εξελίξεις σχετικές με το γεωθερμικό ταμιευτήρα

Στον γεωθερμικό ταμιευτήρα οι περιοριστικοί παράμετροι σχετίζονται με το βάθος, την έκταση και με τα ειδικά τεχνικά χαρακτηριστικά του, τα οποία καθορίζουν την ικανότητά του για παραγωγή γεωθερμικού ρευστού.

Σε ότι αφορά το βάθος, η φυσιολογική εξέλιξη που ακολουθείται είναι να αναζητούνται, σε ολοένα και μεγαλύτερα βάθη, γεωθερμικά ρευστά μεγάλης και σταθερής παροχής και υψηλότερης θερμοκρασίας. Σήμερα, τα βάθη γεωτρήσεων σε οικονομικά συμφέρουσες εκμεταλλεύσεις γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας ξεπερνούν τα 2.000 μέτρα (Ουγγαρία, Γαλλία), ενώ στην περίπτωση υψηλής ενθαλπίας, τα αντίστοιχα βάθη ξεπερνούν τα 3.000 μέτρα (Ιαπωνία, ΗΠΑ). Σε εξέλιξη βρίσκεται και η ευρύτερη εφαρμογή και στην γεωθερμία της τεχνικής των κεκλιμένων γεωτρήσεων, που ως γνωστό εφαρμόζεται ευρέως στην εκμετάλλευση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων.

Σημειώνεται ότι το κόστος των γεωτρήσεων σε κάθε γεωθερμική εκμετάλλευση είναι η πλέον σημαντική παράμετρος (φθάνει έως το 50%) ως προς τη διαμόρφωση του τελικού κόστους της γεωθερμικής κιλοβατώρας χαμηλής ενθαλπίας. Κατά συνέπεια, τυχόν νέες τεχνικές και τεχνολογίες θα έχουν ως στόχο την τεχνικοοικονομική βελτιστοποίηση του παράγοντα γεώτρηση. Συγκεκριμένα αναμένεται η χρήση:

- καλύτερων κοπτικών άκρων (bits) και ειδικών βελτιωτικών του γεωτρητικού πολφού, που χρησιμοποιούνται κατά την όρυξη των γεωτρήσεων, και
- ειδικών οργάνων ή συσκευών που χρησιμοποιούνται για

συγκεκριμένες ειδικές μετρήσεις στο εσωτερικό των γεωτρήσεων, ώστε να έχουν αξιοπιστία και σε περιβάλλον ακόμη μεγαλύτερων θερμοκρασιών.

Επίσης αναμένονται εξελίξεις στον τομέα εκτίμησης του ενεργειακού δυναμικού του γεωθερμικού ταμιευτήρα, καθώς και στην βελτιστοποίηση των τεχνικών εκμετάλλευσής του, χάρις στην εξέλιξη και εφαρμογή των μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης. Πρόκειται για μία νέα και ταχύτατα εξελισσόμενη τεχνική επιστήμη, γνωστή με τον όρο Reservoir Engineering.

Αναφερόμενοι στο γεωθερμικό ταμιευτήρα από γεωλογική άποψη, σημειώνεται πως σε μεγάλα βάθη, ενώ συνήθως εντοπίζονται μεγάλες θερμοκρασίες δε συναντώνται εξίσου συχνά πετρώματα με ικανή διαπερατότητα, τέτοια ώστε να είναι δυνατή η κυκλοφορία ρευστών για απόληψη και μεταφορά μέχρι την επιφάνεια του γεωλογικού σχηματισμού που περικλείει τη θερμική ενέργεια. Επειδή υπάρχουν πολλές τέτοιες περιπτώσεις ανά την υφήλιο, εκτιμάται ότι τα συνολικά αποθέματα ενέργειας από τα "Θερμά Ξηρά Πετρώματα" (Hot Dry Rock) είναι τεράστια. Έτσι εδώ και αρκετά χρόνια έχει αρχίσει στις ΗΠΑ (Los Alamos) και τα τελευταία χρόνια και στην Ευρώπη (Caborne - στην Αγγλία και Souz-sous-Forêt - στην Γαλλία) ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας για την αξιοποίηση της ενέργειας αυτής. Η τεχνολογία αυτή εκτιμάται ότι βρίσκεται σε αρκετά πρώιμο στάδιο και αναμένεται να αποδώσει μετά από αρκετά χρόνια.

#### **4.2 Τεχνολογικές εξελίξεις σχετικές με το γεωθερμικό ρευστό**

Όσον αφορά το γεωθερμικό ρευστό, οι τεχνολογικές εξελίξεις που αναμένονται, θα

σχετίζονται κύρια με εκμεταλλεύσεις ρευστού που διαθέτει οριακά χαρακτηριστικά σε ότι αφορά τις θερμοδυναμικές του ιδιότητες (ειδική ενθαλπία, πίεση και θερμοκρασία), καθώς και την ποιότητά του. Ειδικότερα, προβλέπεται η διάθεση συστημάτων εκμετάλλευσης με αντλίες θερμότητας για αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών πολύ χαμηλής ενθαλπίας. Σε ότι αφορά την ποιότητα του γεωθερμικού ρευστού η εξέλιξη της σχετικής τεχνολογίας αναμένεται να δώσει περαιτέρω οικονομικές και βιώσιμες λύσεις σε προβλήματα επικαθήσεων αλάτων (scaling) ή διάβρωσης (corrosion) που σχετίζονται με την αξιοποίηση ρευστών πολύ μεγάλης αλατοπεριεκτικότητας.

#### **4.3 Τεχνολογικές εξελίξεις σχετικές με τα συστήματα εκμετάλλευσης**

Αναφορικά με τις εξελίξεις στην τεχνολογία των συστημάτων εκμετάλλευσης γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας, πιστεύεται ότι αυτές θα στοχεύουν στη βελτίωση του κόστους παραγωγής της γεωθερμικής κιλοβατώρας, ιδιαίτερα στις οριακές εκμεταλλεύσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Δηλαδή θέρμανση με την αξιοποίηση ρευστών πολύ χαμηλής ενθαλπίας, παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από ρευστά μέσης ενθαλπίας με εφαρμογή "εν σειρά" πολλών μικρής δυναμικότητας μονάδων με πτητικό οργανικό ρευστό (μονάδες τύπου ORC), καθώς και ηλεκτροπαραγωγή από τα θεωρούμενα σήμερα ως "δύσκολα" γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας (υγρή φάση με αυξημένη περιεκτικότητα σε άλατα ή μεγάλο ποσοστό μη συμπυκνωμένων στο διαχωριζόμενο γεωθερμικό ατμό).

Σαν καινοτομίες στα διάφορα συστήματα εκμετάλλευσης αναμένονται :

- Βελτίωση των συστημάτων άντλησης μέσα από τις γεωτρήσεις. Διευκρινίζεται ότι η άντληση αποτελεί ευαίσθητο σημείο στα συστήματα αξιοποίησης χαμηλής και μέσης ενθαλπίας, αφού η χρησιμοποιούμενη αντλία πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον λόγω της σχετικά υψηλής θερμοκρασίας και αλατότητας του γεωθερμικού ρευστού.

- Βελτίωση της ποιότητας των υλικών για αντιμετώπιση φαινομένων διάβρωσης και επικαθήσεις αλάτων σε καίρια σημεία της εγκατάστασης, όπως εναλλάκτες, αντλίες, σωληνώσεις δικτύων διανομής και ταυτόχρονη προσπάθεια μείωσης του αντίστοιχου κόστους τους.

Συνοψίζοντας, ως βασικά τεχνικά μέσα σύγχρονης τεχνολογίας, για την έρευνα, ανάπτυξη και εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας αναφέρονται τα παρακάτω:

- Ειδικά επιστημονικά όργανα διασκόπησης και μέτρησης διαφόρων φυσικών μεγεθών του υπεδάφους είτε από την επιφάνεια (γεωφυσικές μετρήσεις), είτε από ενδοσκοπικές καταγραφές (εντός των γεωτρήσεων) σε διάφορα βάθη (μετρήσεις LOGGINGS)

- Ηλεκτρονικά μέσα καταχώρισης φυσικοχημικών δεδομένων και εξελιγμένα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών για την εκτίμηση του εκάστοτε γεωθερμικού δυναμικού με την πλέον ασφαλή προσέγγιση.

- Ειδικός γεωτρητικός εξοπλισμός υψηλής τεχνολογίας για την πλέον

ασφαλή και οικονομική διάτρηση σε μεγάλα βάθη.

- Ειδικός εξοπλισμός σε συστήματα βέλτιστης αξιοποίησης γεωθερμικού δυναμικού με δύσκολες φυσικοχημικές συνθήκες του αντίστοιχου γεωθερμικού ρευστού.

Συγκεκριμένα αναφέρονται:

1. Υποβρύχιες αντλίες, οι οποίες τοποθετούνται σε κάποιο βάθος στο εσωτερικό των παραγωγικών γεωτρήσεων,
2. εναλλάκτες θερμότητας ανθεκτικοί σε διαθρωτικό περιβάλλον (π.χ. από Τιτάνιο),
3. αντλίες θερμότητας κλπ. (χαμηλή ενθαλπία),
4. βάνες και αντλίες για λειτουργία σε περιβάλλον υψηλών θερμοκρασιών,
5. διαχωριστές υγρής και αέριας φάσης του γεωθερμικού ρευστού,
6. στροβιλογεννήτριες με ειδικά ενισχυμένα πτερύγια,
7. αεροσυμπιεστές,
8. συστήματα επεξεργασίας γεωθερμικών αλμολοίπων, κλπ.

- Αυτοματισμοί και συστήματα τηλεχειρισμού και ελέγχων σε μονάδες εκμετάλλευσης γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ή υψηλής ενθαλπίας.

## 5. Αβαθής γεωθερμία

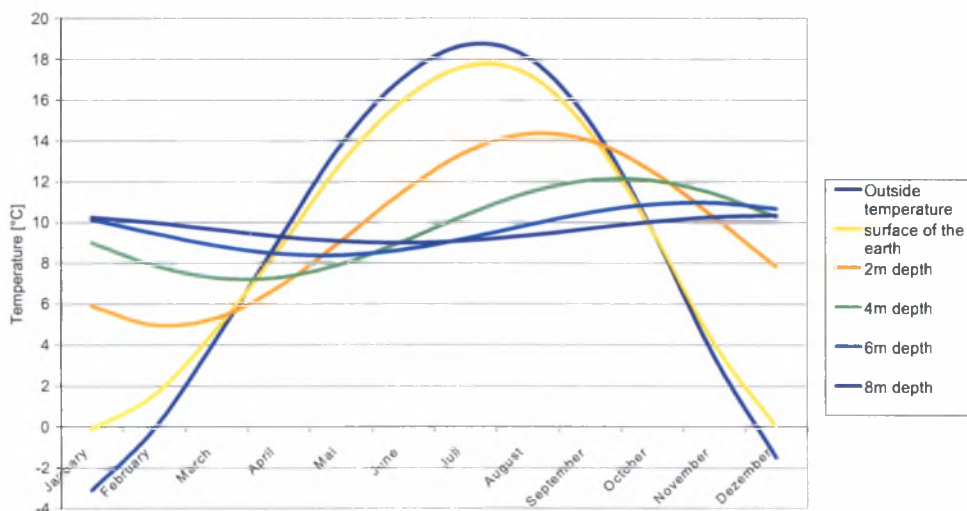
### 5.1 Αρχές

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια προέρχεται κυρίως (80-90%) από την ροή της ενδογήινης θερμότητας η οποία προέρχεται από το θερμό εσωτερικό της γης- προς τα επιφανειακά εδαφικά στρώματα. Σε μικρά -τελείως επιφανειακά- βάθη (<20 m) έχουμε και επιπρόσθετη ενέργεια από διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το έδαφος (κυρίως τις θερμές εποχές του έτους), η οποία αποθηκεύεται σε ποσοστό περίπου 47% του συνόλου της προσπίπτουσας στο έδαφος ενέργειας, και αποτελεί το επιπρόσθετο 10-20% του συνολικού ενεργειακού φορτίου του εδάφους. Δύο παράγοντες συντελούν στην ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει την θερμότητα:

- Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του εδάφους και γενικά των πετρωμάτων,
- Αν και υπάρχει απώλεια θερμότητας προς την ατμόσφαιρα (με ακτινοβολία), αυτό γίνεται όμως με αργό ρυθμό.

Όλα αυτά αποτελούν και τον κύριο παράγοντα της διατήρησης μιας σταθερής μέσης θερμοκρασίας στο υπέδαφος μετά από ένα ορισμένο βάθος το οποίο έχει βρεθεί ότι είναι στα 10-20 m. Η αβαθής γεωθερμία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της θερμικής κατάστασης που παρουσιάζεται στο μικρό αυτό βάθος, όπου έχουμε πρακτικά σταθερή θερμοκρασία καθ' όλη την διάρκεια του έτους, ανεξάρτητα από την θερμοκρασία της επιφάνειας. Στον Ελλαδικό χώρο -στην περιοχή της Αττικής- έχει

μετρηθεί ότι η θερμοκρασία αυτή είναι 18-20°C. Στην Κεντρική Ευρώπη είναι χαμηλότερη (γύρω στους 13°C) ενώ σε βορειότερες χώρες (Σουηδία) είναι ακόμη πιο χαμηλή. Κάτω από το βάθος αυτό των 20 m έχουμε και την προσθετική επίδραση της γήινης γεωβαθμίδας (1°C ανά 33 m κατά μέσο όρο).



**Σχήμα 5.1:θερμοκρασίες του εδάφους σε σχέση με το βάθος(Βραχόπουλος & Παπαγεωργάκης 1993)**

Για να δημιουργηθεί σαφής και ολοκληρωμένη εικόνα της υπεδαφικής θερμικής κατάστασης μιας περιοχής, λαμβάνονται πάντοτε υπ' όψη και οι εκάστοτε εδαφολογικές συνθήκες-ιδιαιτερότητες, η γεωλογική δομή και διάταξη των πετρωμάτων, η θερμική αγωγιμότητά τους και οι υδρολογικές συνθήκες της περιοχής.

## 5.2 Τρόποι εκμετάλλευσης

Η βασική ιδέα για την εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας συνίσταται:

- στην απαγωγή της εδαφικής θερμότητας μέσω ενός συστήματος το οποίο αποτελείται από κάποιο ρευστό (συνήθως νερό) που κυκλοφορεί σε σύστημα σωληνώσεων που τοποθετούνται μέσα στο έδαφος, και το οποίο ονομάζεται γεωεναλλάκτης
- στην αναβάθμισή της -όταν κρίνεται αναγκαίο μέσω μιας αντλίας θερμότητας,
- στην συνέχεια μεταφορά της μέσω συστήματος σωληνώσεων ή fancoils που καταλήγουν σε δίκτυο δαπέδου, οροφής, τοίχων, ή ακόμη και σε συμβατικά σώματα (καλοριφέρ) τα οποία έχουν ενσωματωμένο ανεμιστήρα για την διασπορά της θερμότητας, και χρήση της για την θέρμανση του κτιρίου.

Εναλλακτικά, η αρχή αυτή χρησιμοποιείται και για ψύξη, με μεταφορά της θερμότητας απευθείας από την επιφάνεια (κτίριο) στο υπέδαφος και διασπορά της εκεί.

Τα τρία αυτά μέρη (γεωεναλλάκτης-αντλία θερμότητας-σύστημα μεταφοράς και διασποράς) απαρτίζουν όλα τα συστήματα (τεχνολογίες) χρήσης της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες εφαρμογής διαφέρουν μεταξύ τους στις επιμέρους -μικρές ή μεγάλες- διαφοροποιήσεις των τμημάτων αυτών: π.χ. χρήση διαφόρων τύπων αντλίας θερμότητας, διαφορετικό σύστημα γεωεναλλάκτη (ανοικτό ή



κλειστό σύστημα, ρηχότερες ή βαθύτερες γεωτρήσεις, με μεγαλύτερη οριζόντια ή κατακόρυφη ανάπτυξη), διαφορετικό σύστημα διασποράς της θερμότητας στο κτίριο (επιδαπέδιο, επιτοίχιο, με θερμαντικά σώματα), κλπ.

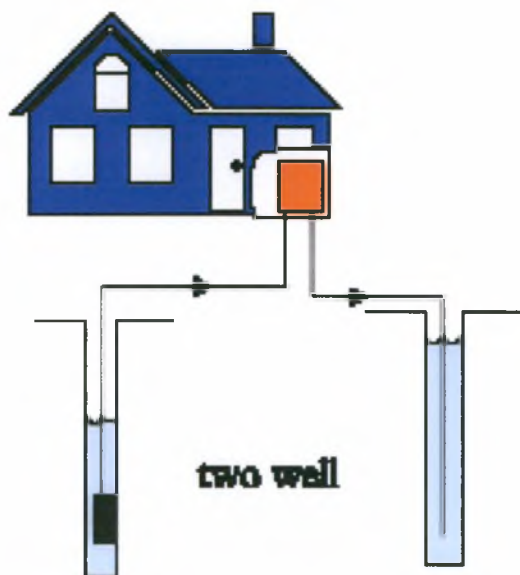
### **5.3. Κύριοι τύποι αντλιών θερμότητας.**

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι συστημάτων αντλιών θερμότητας: το open-loop system (σύστημα Ανοικτού Κυκλώματος) και το closed-loop system (σύστημα Κλειστού Κυκλώματος).

### **5.4. Σύστημα Ανοικτού Κυκλώματος (OPEN-LOOP System).**

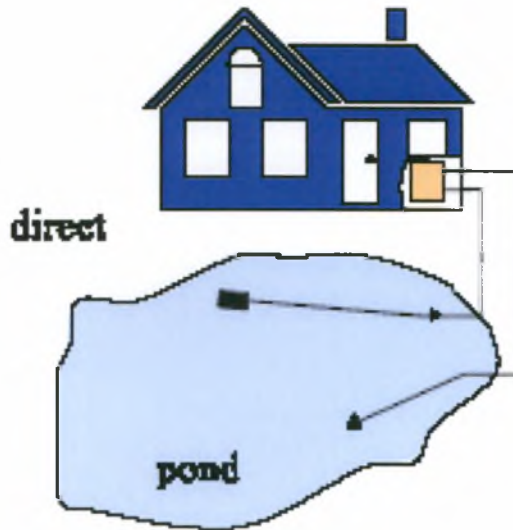
Ο όρος *σύστημα ανοικτού κυκλώματος* χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει ένα σύστημα ΓΑΘ το οποίο χρησιμοποιεί υπεδαφικό νερό από ένα συμβατική γεώτρηση σαν πηγή (φορέα) θερμότητας. Ο τύπος αυτός κυκλώματος είναι εγκατεστημένος μεταξύ της γεώτρησης, από το οποίο το νερό αντλείται- στη μονάδα θερμικής αντλίας, και μίας περιοχής στην οποία επαναδιοχετεύουμε το νερό το οποίο έχουμε ήδη χρησιμοποιήσει (γεώτρηση επανεισαγωγής. λίμνη, ρυάκι, θάλασσα κτλ).

Στην συσκευή της θερμαντλίας, εκμεταλλευόμαστε τη θερμοκρασία του υπεδαφικού νερού. Από την στιγμή που το υπεδαφικό νερό έχει σχετικά σταθερή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του χρόνου είναι μια κατάλληλη πηγή θερμότητας. Αφού έχει χρησιμοποιηθεί το νερό ή καλύτερα η θερμότητα αυτού υποβαθμισμένο πλέον επιστρέφεται είτε στην πηγή από την οποία το πήραμε. είτε σε μία άλλη κατάλληλη τοποθεσία (ποτάμι, λίμνη, κλπ.)



**Σχήμα 5.2:Σύστημα ανοιχτού κυκλώματος δυο γεωτρήσεων με επανατοποθέτηση (Rafferty, 1997)**

Συνηθέστερη περίπτωση είναι αυτή κατά την οποία το νερό που χρησιμοποιείται προέρχεται από μια γεώτρηση η οποία συναντά τον υδροφόρο της περιοχής και μετά την χρήση διοχετεύεται μέσω μιας δεύτερης γεώτρησης στο υπεδάφιο στρώμα από το οποίο το συλλέξαμε. Οι σωληνώσεις για αυτά τα συστήματα έχουν ανοικτά άκρα (άκρο εισαγωγής του νερού στην αντλία και άκρο αποφόρτισης του) και το νερό χρησιμοποιείται μόνο μια φορά.



**Σχήμα 5.3: Σύστημα ανοιχτού κυκλώματος σε λίμνη (Rafferty, 1997)**

Το σύστημα ανοιχτού βρόχου δεν χρησιμοποιεί αποκλειστικά μόνο υπεδafικό νερό. Αυτό μπορεί να είναι και το νερό μιας λίμνης ή ενός ποταμού. Το σύστημα όμως του υπόγειου νερού φαίνεται να είναι περισσότερο ικανοποιητικό από οικονομική άποψη. Το νερό το οποίο χρειάζονται οι αντλίες θερμότητας στα ανοικτά συστήματα, διαφέρει και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας και τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Ο συνδυασμός του φρεατίου και της αντλίας πρέπει να είναι πολύ καλός, ώστε να παρέχει το απαιτούμενο από την θερμοαντλία νερό και επί πρόσθετα το νερό χρήσης για τις οικιακές ανάγκες. Ο συγκεκριμένος τύπος συστήματος έχει το πλεονέκτημα της υψηλότερης από άποψη εφοδιασμού νερού απόδοσης, αφού το νερό χρησιμοποιείται στο κύκλωμα μόνο για μια φορά και μετά και μετά επαναδιοχετεύεται. Επίσης τα συστήματα ανοιχτού κυκλώματος εξασφαλίζουν το θερμοκρασιακά ζεστότερο εισερχόμενο νερό στην αντλία θερμότητας, επομένως διαθέτουν την καλύτερη λειτουργία από άποψη απόδοσης

του συστήματος. Όμως, έχει και δύο σημαντικά μειονεκτήματα:

- η ποσότητα του νερού πρέπει να ελέγχεται και να αναλύεται προσεκτικά. Το χαμηλής, ποιότητας νερό μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα διάβρωσης, απόθεσης αλάτων κ.τλ.
- το κόστος της άντληση του νερού μέσω του ανοικτού συστήματος, είναι κάπως υψηλότερο, συσχετιζόμενο με το κλειστό σύστημα.

### **5.5. Σύστημα Κλειστού Κύκλωματος (CLOSED-LOOP system).**

Ο όρος *κλειστό κύκλωμα*, χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει εκείνο το σύστημα το οποίο αποτελείται από ένα μόνιμο κύκλωμα με ειδικές, θαμμένες στο έδαφος πλαστικές σωλήνες ως εναλλάκτη θερμότητας. Οι σωληνώσεις συνδέονται με το εσωτερικά εγκατεστημένο τμήμα της μονάδας της αντλίας θερμότητας, διαμορφώνοντας έτσι ένα κλειστό υπεδafικό κύκλωμα, μέσω του οποίου ένα κατάλληλο αντιψυκτικό διάλυμα κυκλοφορεί.

Σε αντίθεση με το ανοικτό σύστημα που καταναλώνει νερό από την γεώτρηση, το κλειστό σύστημα επανακυκλοφορεί το διάλυμα που χρησιμοποιεί σαν φορέα θερμότητας, αποσπώντας, ή απορρίπτοντας θερμότητα είτε από τη γη, είτε από μια λίμνη, ρυάκι, ποτάμι, κτλ. Το διάλυμα αυτό μπορεί ακόμα να είναι και νερό, ενώ η θερμότητα την οποία αποκτά προέρχεται από τα τοιχώματα των σωληνώσεων που έρχονται σε επαφή με το θερμό υπέδαφος (πετρώματα) ή νερά.

Η ικανότητα λειτουργίας των συστημάτων αυτών είναι κάπως χαμηλότερη σε

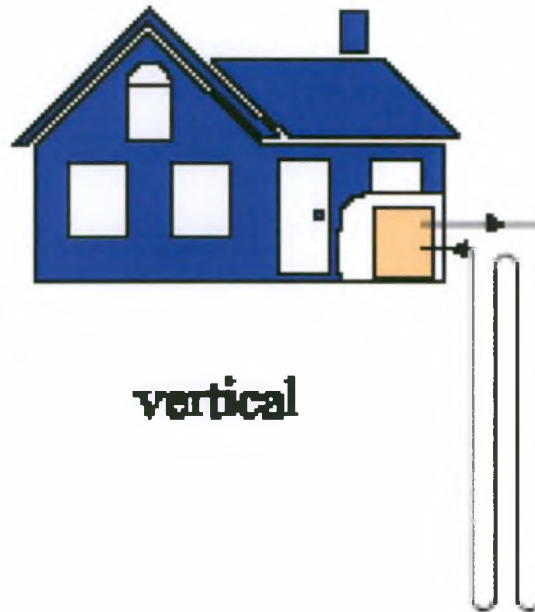
σχέση με τα προηγούμενα, αλλά δεδομένου του χαμηλότερου κόστους άντλησης που σχετίζεται με την μέθοδο αυτή, μερικές φορές, αλλά όχι πάντα, θεωρούνται οικονομικά περισσότερο προτιμητέα. Το κόστος εγκατάστασης της μεθόδου πάντως, είναι υψηλότερο και πρέπει να ληφθούν υπ'όψιν πολλοί παράγοντες πριν την απόφαση εφαρμογής.

Στα συγκεκριμένα συστήματα, η ποιότητα του νερού δεν λαμβάνεται υπ'όψιν και η διάβρωση των σωλήνων προλαμβάνεται με τη χρήση ειδικών διαλυμάτων που χρησιμοποιούνται σ' αυτές, ενώ και τα δύο άκρα των σωληνώσεων του κυκλώματος είναι κλειστά σε αντίθεση με τα ανοικτά συστήματα.

#### **5.5.1 Τύποι των συστημάτων κλειστού κυκλώματος:**

Υπάρχουν, γενικά, αρκετές διατάξεις οι οποίες χρησιμοποιούνται στα closed-loop συστήματα, όμως δύο τύποι αυτών βρίσκουν εφαρμογή από στη βιομηχανία και είναι τα *κατακόρυφα* και τα *οριζόντια* συστήματα.

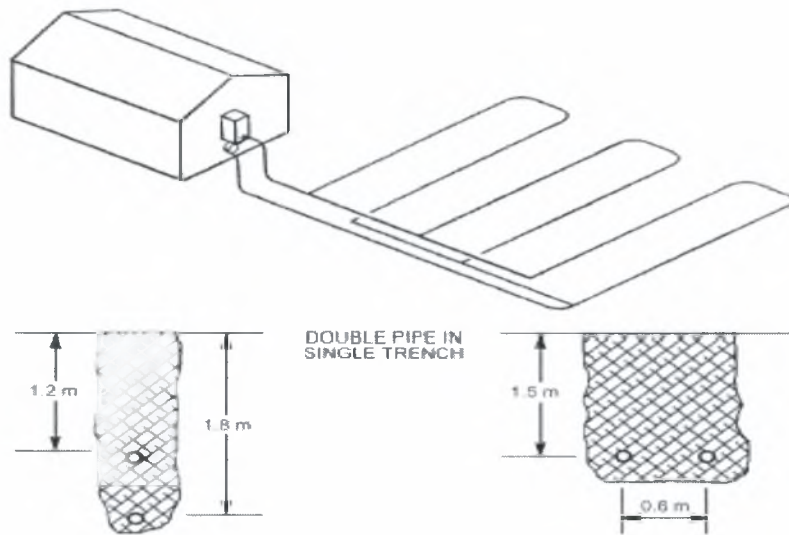
### 5.5.2. Κατακόρυφο σύστημα



**Σχήμα 5.4:Κατακόρυφο συστημα (Rafferty, 1997)**

Στις κατακόρυφες εγκαταστάσεις, σε βαθιές γεωτρήσεις του εδάφους τοποθετούμε σωλήνες. Αυτό που κάνει τον τύπο αυτό του συστήματος αξιόλογο, είναι ότι ακριβώς επειδή οι σωλήνες βρίσκονται σε μεγάλο βάθος, ανεπηρέαστες από τις επιφανειακές θερμοκρασίες, άρα και το υγρό που κυκλοφορεί σ' αυτές, η απόδοση των συστημάτων έχει σαν αποτέλεσμα, να είναι μεγαλύτερη.

### 5.5.3. Οριζόντιο σύστημα



**Σχήμα 5.5: Οριζόντιο σύστημα (Rafferty, 1997)**

Στις *οριζόντιες* εγκαταστάσεις, ανοίγονται επιφανειακοί τάφροι και τοποθετούνται σωληνώσεις ανάλογα την περίπτωση διαφορετικής γεωμετρίας, μέσα σε αυτές. Αν και το κόστος εγκατάστασης τους είναι μικρότερο, τα συστήματα είναι μικρότερης ικανότητας από τα κατακόρυφα, λόγω της επίδρασης της θερμοκρασίας του αέρα στην επιφάνεια του εδάφους.

Και στις δύο περιπτώσεις τόσο των οριζόντιων, όσο και των κατακόρυφων συστημάτων των συστημάτων κλειστού κυκλώματος, τα γήινα κυκλώματα, (Earth Loops) αποτελούνται από πλαστικούς σωλήνες πολυαιθυλενίου (HDPE) που όπως αναφέρθηκε συνδέονται ανά δύο. Το κενό μεταξύ των σωλήνων και των τοιχωμάτων τόσο των γεωτρήσεων, όσο και των φρεατίων πληρώνεται με μίγμα μπετονίτη-τσιμέντου και νερού,

ώστε να είναι σίγουρη η καλή μεταφορά θερμότητας από το υπέδαφος στην εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας.

Τόσο στα συστήματα των κλειστών σωλήνων όσο και των ανοικτών συστημάτων υπάρχουν οι περιπτώσεις της άντλησης του νερού από επιφανειακή πηγή, όπως είναι οι νερόλακκοι, λίμνες, ρυάκια, ποτάμια κτλ. Τα συστήματα αυτά αναφέρονται ως Lake ή Pond-loop και είναι ευκολότερα στην εγκατάστασή τους και φθηνότερα από τα οριζόντια. Επίσης, εδώ θα αναφερθεί η περίπτωση των Υβριδικών συστημάτων. Τα συγκεκριμένα, υπάγονται στα κλειστού κυκλώματος συστήματα και χρησιμοποιούν την τεχνολογία των πύργων ψύξεως ή άλλα μέσα ώστε να απορρίπτουν την περίσσεια θερμότητα κατά τη θέρμανση το χειμώνα στην ατμόσφαιρα. Η περίπτωση του πύργου ψύξεως μειώνει το μέγεθος (συνολικό μήκος) των υπεδαφικών κυκλωμάτων και το αρχικό κόστος εγκατάστασης, αυξάνοντας συγχρόνως την απόδοση ψύξεως του συστήματος. Τα συστήματα τα οποία συνδέονται στο υπέδαφος (Ground-coupled systems), δημιουργώντας κλειστά κυκλώματα, όπως τα closed-loop, χρησιμοποιούνται ευρύτατα από τα μέσα της δεκαετίας του 1980. Με πρόσφατα στοιχεία τα οριζόντια συστήματα, αποτελούν περίπου το μισό των εγκατεστημένων αυτών γεωθερμικών συστημάτων, τα κατακόρυφα το 35% ενώ τα pond και τα παρεμφερή αυτών πλησιάζουν το 15%.

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν το νερό των υδροφόρων οριζόντων, δηλαδή τα ανοιχτά συστήματα, χρησιμοποιούνται για κάπως μεγαλύτερο διάστημα από τα προηγούμενα και έχουν γίνει δημοφιλή από τις αρχές του 1970.



#### 5.5.4. Η τεχνολογία Enercret

Η Αυστριακή εταιρεία Nagele δραστηριοποιείται στον χώρο της αβαθούς γεωθερμίας από το 1980. Χρησιμοποιεί την καινοτόμο και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία Enercret η οποία είναι γνωστή με το όνομα solid absorber technology (τεχνολογία στερεάς απορρόφησης) που αργότερα μετονομάστηκε σε concrete absorber technology (τεχνολογία απορροφητικού σκυροδέματος). Πολλές φορές απαντάται και με την ονομασία γεωθερμική θεμελίωση (geothermal foundations). Η ιδιαιτερότητα (και διαφοροποίηση από τις συμβατικές) της τεχνολογίας αυτής είναι ότι ο γεωεναλλάκτης είναι ενσωματωμένος στη βασική δομή του κτιρίου (συγκεκριμένα στο χώρο της θεμελίωσης) είτε με την μορφή στηλών (energy piles) είτε με την μορφή τοιχιών (diaphragm wells) είτε έχει εισαχθεί απευθείας στις θεμέλιες κολώνες του κτιρίου (energy foundations). Αυτό επιτυγχάνεται με δύο τρόπους: είτε με ενσωμάτωση των σωλήνων νερού (του γεωεναλλάκτη) στα θεμέλια την ώρα της κατασκευής τους (επί τόπου στο υπό κατασκευή έργο), είτε με την χρήση προκατασκευασμένων θεμελίων (precast energy piles) τα οποία κατασκευάζονται (σύμφωνα με τις εκάστοτε προδιαγραφές και ανά περίπτωση) στο εργοστάσιο της εταιρείας και εμπεριέχουν τις απαραίτητες σωληνώσεις του γεωεναλλάκτη και στη συνέχεια μεταφέρονται και τοποθετούνται στο έργο. Και στις δύο περιπτώσεις το αποτέλεσμα είναι το ίδιο, και η απαγωγή της υπεδαφικής θερμότητας γίνεται απ' ευθείας από τα θεμέλια χωρίς να γίνεται ξεχωριστή εγκατάσταση.

Η χρήση προκατασκευασμένων θεμελίων εφαρμόζεται κυρίως σε μικρότερα κτίρια (κυρίως ιδιωτικές κατοικίες) λόγω του μεγέθους. Στις άλλες περιπτώσεις (μεγάλα

κτίρια, σχολεία, εμπορικά κέντρα κλπ) εφαρμόζεται η επί τόπου τοποθέτηση.

## 6. Αντλίες θερμότητας

### 6.1 Χρήση των αντλιών θερμότητας.

Η αντλία θερμότητας, ή θερμαντλία, ή γεωθερμαντλία (επειδή είναι συζευγμένη με τη Γη), αποτελεί προσπάθεια για την αξιοποίηση των γεωθερμικών πεδίων, κυρίως των χαμηλής ενθαλπίας. Δύο ορισμοί χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν την τεχνολογία τους γενικά:



**Φωτογραφία 6.1: Αντλία θερμότητας**

Γεωθερμικές Αντλίες θερμότητας (Geothermal Heat Pumps, GHP ) και Εδαφικής-Πηγής (Ground-Source) Αντλίες Θερμότητας (GSHP). Ο πρώτος όρος χρησιμοποιείται από την αγορά και ο δεύτερος από τον μηχανολογικό και τεχνολογικό τομέα.

Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλών θερμοκρασιών με ΓΑΘ άρχισε στις τεχνολογικά προηγμένες χώρες γύρω στο 1980 μετά την άνοδο των τιμών πετρελαίου. Μέχρι το 1990 ετέθη σε λειτουργία ήδη ένας σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων με ΓΑΘ.

Σήμερα, τόσο η ομαλή γεωθερμική ενέργεια, δηλαδή αυτή που όπως έχει αναφερθεί, προέρχεται από την κανονική γεωθερμική βαθμίδα όσο και αυτή που προέρχεται από ελαφρά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα, μπορεί να αξιοποιηθεί με τη χρήση αντλίας θερμότητας. Εκείνο όμως που κάνει τις συσκευές αυτές μοναδικές, είναι η δυνατότητά που προσφέρουν για εκμετάλλευση με οικονομικό όφελος ακόμη και των χαμηλότερων υπεδαφικών θερμοκρασιών των 8-10°C.

Η ΓΑΘ είναι ένας μηχανισμός ο οποίος, όπως αναφέρεται και από την ονομασία του, αντλεί θερμότητα από ένα σημείο για να τη δώσει σε κάποιο άλλο και συγκεκριμένα στην περίπτωση μας από το υπέδαφος για να τη χρησιμοποιήσουμε ενισχυμένη σε οποιαδήποτε εγκατάσταση. Η συσκευή αυτή λοιπόν, μεταφέρει τη θερμότητα από το υπέδαφος στην μονάδα μας, αναβαθμισμένη στη θερμοκρασία θέρμανσης ή υποβαθμισμένη στη θερμοκρασία ψύξης, ανάλογα με τις ανάγκες μας.

Στη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης αφαιρείται θερμότητα από το χώρο του υπεδάφους, ο οποίος ψύχεται και γίνεται αποθήκη ψυκτικής ενέργειας. Το καλοκαίρι, αντίθετα, η ΓΑΘ απομακρυνθεί την ενοχλητική θερμότητα από τον χώρο μας και την μεταφέρει στον ίδιο χώρο του υπεδάφους, ο οποίος γίνεται, τώρα, αποθήκη θερμικής ενέργειας, που θα χρησιμοποιηθεί την επόμενη περίοδο θέρμανσης.

Έτσι, ο χώρος μας και το υπέδαφός του, λειτουργούν με την βοήθεια της γεωθερμαντλίας, ως ενεργειακό ζεύγος, στο οποίο η θερμότητα μετακινείται στη διάρκεια του έτους εναλλάξ ανοδικά ή καθοδικά για να θερμαίνει ή να ψύχει ανάλογα με τις ανάγκες μας. Οι απώλειες θερμότητας, που συμβαίνουν κατά τη λειτουργία αυτή, αναπληρώνονται

από την ανεξάντλητη γεωθερμική ροή από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια.

Μια αντλία θερμότητας είναι ουσιαστικά παρόμοιας λειτουργίας με ένα ψυγείο εκ του γεγονότος ότι αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο για θέρμανση παρά για ψύξη. Στις αντλίες θερμότητας συγκαταλέγονται τα διαφόρων τύπων air-conditioning, τα οποία το χειμώνα με μια ηλεκτρική αντίσταση θερμαίνουν χώρους ενώ το καλοκαίρι δουλεύοντας με την αντίθετη φορά χωρίς την αντίσταση μπορούν να ψύξουν τον ίδιο χώρο.

Οι εγκαταστάσεις κλιματισμού χώρων κατανέμονται σε διάφορους τύπους, όπως εγκαταστάσεις μόνο με αέρα ή αέρα-νερού ή νερού-νερού. κ.λπ.. Οι διατάξεις κλιματισμού περικλείουν σειρά λειτουργιών, οι οποίες έχουν ως τελικό σκοπό να δημιουργήσουν πιο καλές συνθήκες για τη διαβίωση του ανθρώπου.

Τα τελευταία χρόνια, με τη ραγδαία αύξηση τοποθέτησης συστημάτων κλιματισμού αέρα-αέρα σε κτίρια και οικίες, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τους σκοπούς αυτούς αντιπροσωπεύει ένα πολύ μεγάλο ποσοστό (40%) της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Επίσης, τα κτίρια θα έχουν πάρει τα πρωτεία και θα έχουν ξεπεράσει και τη βιομηχανία στις εκπομπές CO<sub>2</sub> και, γενικά, στην επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντός μας.

Τα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης αποτελούν σήμερα μια εναλλακτική λύση φιλική προς το περιβάλλον και με κοστολόγια άκρως ανταγωνιστικά.

## 6.2 Βασικές αρχές λειτουργίας

Οι ψυκτικές μηχανές είναι διατάξεις οι οποίες αφαιρούν θερμότητα από χώρους χαμηλής θερμοκρασίας και την αποδίδουν με τη βοήθεια ενδιάμεσου σώματος σε περιβάλλοντα υψηλότερης θερμοκρασίας. Το ενδιάμεσο σώμα παίρνει ενέργεια από τον ψυχρό χώρο, σε θερμοκρασία χαμηλότερη του περιβάλλοντος χώρου, και την αποδίδει σε θερμοκρασία υψηλότερη του ψυχρού χώρου. Η ενέργεια που αποδίδεται στη θερμή πηγή είναι υψηλής ποιότητας, διότι βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία συγκρινόμενη με την πηγή από την οποία αντλήθηκε.

Δεν υπάρχει διαφορά στη λειτουργία ψυκτικής μηχανής ή θερμαντλίας. Στη πρώτη περίπτωση το ζητούμενο είναι να αφαιρεθεί από χώρο Α ενέργεια ώστε να καταστεί ψυχρότερος από χώρο Β στον οποίο αποδίδεται το αφαιρούμενο ποσόν ενέργειας, ενώ στην περίπτωση αντλίας θερμότητας ο χώρος Β θερμαίνεται αφαιρώντας ενέργεια από τον Α που όμως βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Είναι προφανές πως οι δύο λειτουργίες μπορούν να συνδυασθούν εφ' όσον τούτο είναι το επιδιωκόμενο.

Γνωρίζουμε ότι η θερμότητα είναι ένας μηχανισμός διακίνησης ενέργειας ο οποίος εργάζεται αυθόρμητα για να διακινηθεί ενέργεια από θερμό σε ψυχρό σώμα. Η αντίστροφη πορεία δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αυθόρμητα και χρειάζονται τεχνικές συνθήκες για να την πετύχουμε.

Η βασική αρχή λειτουργίας αυτών των διατάξεων στηρίζεται στις μεταβολές φυσικών σταθερών (όπως το σημείο ζέσεως ή το σημείο εξαερώσεως) των ρευστών σε

συνάρτηση με τη μεταβολή κυρίως της πίεσεως. Τούτο επιτυγχάνεται όταν το ενδιάμεσο σώμα μπορεί να ευρεθεί σε αέρια κατάσταση σε χαμηλές θερμοκρασίες σε αντίθεση με την κανονική του κατάσταση και στη συνέχεια να μπορεί να υπάρξει σαν υγρό σε υψηλές θερμοκρασίες, όπου κάτω από κανονικές συνθήκες πίεσεως θα ήταν αέριο. Αναλυτικότερα, το υγρό ενδιάμεσο σώμα, πρέπει να εξατμίζεται σε χαμηλές θερμοκρασίες αφαιρώντας την προς τούτο απαιτούμενη ενέργεια από τον περιβάλλοντα χώρο και ακολούθως να μετατρέπεται πάλι σε υγρό υψηλής θερμοκρασίας ώστε να αποδίδει την ενέργεια που αφείρεσε από τον ψυχρό χώρο.

Οι διαδικασίες μετατροπής θερμότητας σε έργο, εφ' όσον είναι τεχνητές και επιδιώκουν τη συνεχή παραγωγή έργου, πρέπει να εργάζονται κυκλικά. Δηλαδή το σύστημα που χρησιμοποιούμε, μετά από κάποια στάδια μεταβολών πρέπει να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Αυτό ακριβώς είναι η θερμική μηχανή, μια διάταξη η οποία εργάζεται με κυκλικές μεταβολές και μετατρέπει θερμότητα σε έργο. Έτσι, είναι απαραίτητο να μεταπέσει το ενδιάμεσο σώμα που αναφέραμε παραπάνω, σε υγρή κατάσταση, για να είναι δυνατό να κλείσει ο θερμοδυναμικός κύκλος.

Σε κάθε θερμική μηχανή έχουμε ένα σύστημα το οποίο ύστερα από κάθε κύκλο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση και επομένως δεν υφίσταται καμία μεταβολή της εσωτερικής του ενέργειας. Έτσι ενώ το σύστημα κατά τη διάρκεια λειτουργίας της μηχανής, παράγει έργο και απορροφά θερμότητα, ύστερα από την επανάληψη πολλών κύκλων δεν συνεισφέρει στην ενέργεια της μηχανής.

Το έργο, σύμφωνα με τους νόμους της θερμοδυναμικής κατά τη διαγραφή κύκλου

ισούται απολύτως με το εμβαδόν του κύκλου και είναι η διαφορά του παραγόμενου έργου από το σύστημα και του εκτελούμενου από το περιβάλλον στο σύστημα έργου. Έτσι η θερμοκρασία  $Q$  είναι η διαφορά της απορροφούμενης και της αποδιδόμενης από το σύστημα θερμότητας κατά τα διάφορα στάδια του κύκλου. Έτσι, όλη η θερμότητα που απορροφάτε από το σύστημα δεν μετατρέπεται σε ωφέλιμο έργο.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σε κάθε θερμική μηχανή υπάρχει ένα σύστημα με το οποίο σε κάθε κύκλο διακινούνται τα παρακάτω ποσά ενέργειας,

$Q_1$ : η θερμότητα που προσφέρεται στο σύστημα από ένα θερμό χώρο

$Q_2$ : η θερμότητα που αποβάλλει το σύστημα σε ένα ψυχρό χώρο

$W$ : το έργο που παράγει η μηχανή

Από τα ποσά αυτά, το έργο  $W$  αντιπροσωπεύει το ωφέλιμο ποσό ενέργειας ενώ το  $Q_1$  αντιπροσωπεύει τη δαπάνη για να πάρουμε αυτό το έργο. Η μηχανή έχει τρεις διόδους. Από τη μια μπαίνει η απορροφούμενη θερμότητα  $Q_1$  και από τις άλλες δύο βγαίνουν το παραγόμενο έργο  $W$  και η αποδιδόμενη θερμότητα  $Q_2$ . Η γενική αρχή διατήρησης της ενέργειας εκφράζεται με τη σχέση  $Q + W = 0$ .

Ο συντελεστής απόδοσης της θερμικής μηχανής ορίζεται με το πηλίκιο:

$$N = W / Q_1 = (Q_1 - Q_2) / Q_1 = 1 - Q_2 / Q_1 \quad (6.1)$$

Από ότι βλέπουμε, ο συντελεστής απόδοσης των θερμικών μηχανών εξαρτάται από



το ποσό  $Q_2$  . Από μια σειρά μηχανών οι οποίες δουλεύουν όλες με την ίδια δαπάνη θα δώσει περισσότερο έργο εκείνη η οποία αποβάλλει το μικρότερο  $Q_2$ . Η καθημερινή εμπειρία μας δείχνει ότι είναι αδύνατο να πάρουμε τόσο ωφέλιμο έργο όσο πληρώνουμε. Πάντοτε υπάρχουν απώλειες και πάντοτε πληρώνουμε περισσότερο από αυτό που παίρνουμε.

Αν θεωρήσουμε πως από τη δίοδο του έργου προσφέρουμε έργο στη μηχανή και την βάζουμε να δουλέψει ανάστροφα. Η μηχανή αυτή θα διακινεί τα παρακάτω ποσά ενέργειας,

$Q_1$ : η θερμότητα που το σύστημα αποβάλλει στο θερμό χώρο

$Q_2$ : η θερμότητα παίρνει από το ψυχρό χώρο

$W$  :το έργο που προσφέρουμε

Υπάρχουν δύο προφανείς περιπτώσεις. Η πρώτη είναι να χρησιμοποιήσουμε τη νέα μηχανή για να ψύξουμε χώρο, οπότε

$$N\psi = Q_2/W = (Q_1 - W) / W = 1/N - 1 \quad (6.2)$$

Στην περίπτωση αυτή συγκαταλέγονται οι ψυκτικές μηχανές (ψυγεία, κ.λπ.).

Στην δεύτερη περίπτωση είναι η μηχανή που έχει σκοπό την περαιτέρω θέρμανση του θερμού χώρου, οπότε

$$N_0=Q_1/W=1/N \quad (6.3)$$

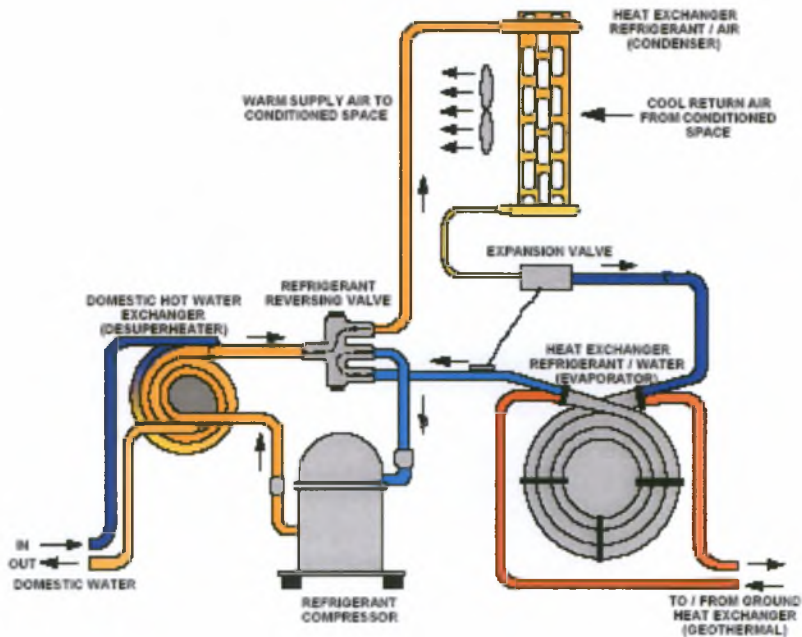
*Οι παραπάνω μηχανές αποδίδουν τα μέγιστα όταν διαγράφουν τον κύκλο του Carnot κατά την αντίστροφη φορά, καθότι ο κύκλος αυτός δίνει τη μέγιστη δυνατή απόδοση.*

Πρόκειται για έναν ιδανικό κύκλο λειτουργίας μιας θερμικής μηχανής και έχει το μέγιστο συντελεστή απόδοσης μιας μηχανής που εργάζεται μεταξύ μιας θερμής και μιας ψυχρής δεξαμενής ( $N = 1$ ). Θα πρέπει να τονιστεί πάλι ότι η λειτουργία ψυκτικής-θερμικής διατάξεως απαιτεί απαραίτητως την ύπαρξη ενδιάμεσου σώματος που διαγράφει αντίστροφο θερμοδυναμικό κύκλο.

Αν εξετασθεί το νερό σαν παράδειγμα ενός υλικού που θα αποτελέσει ενδιάμεσο σώμα στη λειτουργία μιας τέτοιας διατάξεως, τότε για την ευκολότερη κατανόηση της λειτουργίας της αναφέρονται τα παρακάτω:

Είναι γνωστό πως το νερό βρίσκεται σε υγρή κατάσταση από  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  (κατάσταση ισορροπίας, σε κανονικές συνθήκες πίεσεως). Αν όμως κατεβεί η πίεση σε χαμηλές τιμές, τότε το νερό μπορεί να εξατμισθεί ακόμη και σε θερμοκρασίες κοντά στους μηδέν  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Κατά τον ίδιο τρόπο το νερό μπορεί να υπάρξει σε υγρή κατάσταση μέχρι τους  $374\text{ }^{\circ}\text{C}$ , εάν η πίεση του αυξηθεί πολύ ( $218,3$  ατμόσφαιρες).

### 6.2.1 Λειτουργία θέρμανσης.

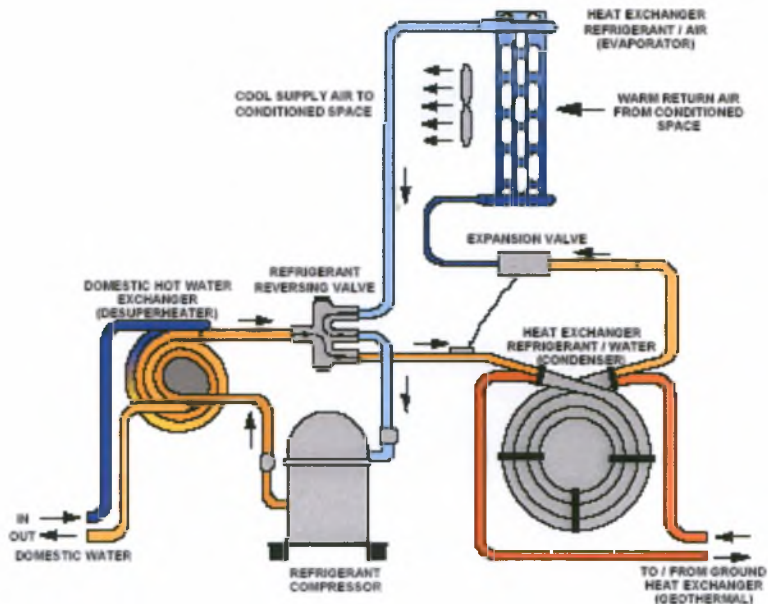


Σχήμα 6.2: Λειτουργία αντλίας θερμότητας στη θέρμανση (Lund, 2001)

Το νερό (φορέας θερμότητας) που έρχεται από το υπέδαφος μέσω του γεωθερμικού εναλλάκτη έχει θερμοκρασία ίση και μάλλον χαμηλότερη από αυτή του εδάφους, εισέρχεται στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας και προκαλεί την εξάτμιση του φρέον. Η εξάτμιση ψύχει κατά  $5^{\circ}\text{C}$ - $6^{\circ}\text{C}$  το νερό, το οποίο επιστρέφει στον εναλλάκτη, τον διαρρέει και αποκτάει πάλι τη θερμοκρασία με την οποία το παίρνουμε. Επανέρχεται στον εξατμιστή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται, με αποτέλεσμα, να μεταφέρεται θερμική ενέργεια από το υπέδαφος στον εξατμιστή συνεχώς, όσο διαρκεί η κυκλοφορία του νερού.

Το εξαεριωμένο φρέον οδεύει από τον εξατμιστή στον συμπιεστή όπου συμπιέζεται και στη συνέχεια, ερχόμενο στον συμπυκνωτή, υγροποιείται. Με την συμπίεση και υγροποίηση το φρέον θερμαίνεται μέχρι  $50^{\circ}\text{C}$  -  $55^{\circ}\text{C}$  και ζεσταίνει το νερό του κυκλώματος θέρμανσης, που περνάει από τον συμπυκνωτή. Στη συνέχεια, το υγροποιημένο φρέον φθάνει στο στοιχείο εκτόνωσης, όπου αποσυμπιέζεται (εκτονώνεται) και αποκτάει πάλι την ικανότητα να εξατμιστεί, μόλις περάσει τον εξατμιστή και έλθει σε επαφή με το νερό του γεωθερμικού συλλέκτη. Με τη λειτουργία της θέρμανσης βλέπουμε, ότι το νερό του κυκλώματος του γεωθερμικού εναλλάκτη μεταφέρει θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας (κάπου  $15^{\circ}\text{C}$ ) από τα πετρώματα του υπεδάφους στο φρέον, το οποίο, με τη βοήθεια του συμπιεστή, την μετατρέπει σε θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας ( $50^{\circ}\text{C}$ - $55^{\circ}\text{C}$ ), κατάλληλη για τη θέρμανση της κατοικίας.

## 6.2.2 Λειτουργία ψύξης



Σχήμα 8.3: Λειτουργία Αντλία θερμότητας στην ψύξη (Lund, 2001)

Κατά τη λειτουργία αυτή γίνεται αντίστροφη χρήση του ζεστού και του κρύου νερού. Η ψύξη που παράγεται στον εξατμιστή διοχετεύεται στο κύκλωμα θέρμανσης-ψύξης της κατοικίας για να τροφοδοτήσει τα κλιματιστικά σώματα (fan coils) με κρύο νερό. Αυτό, περνώντας από τους χώρους, χάνει την ψύξη του (θερμαίνεται) και επανέρχεται στον εξατμιστή για να ξαναψυχθεί.

Το εξαεριωμένο φρέον από τον εξατμιστή οδεύει στον συμπιεστή και κατόπιν στον συμπυκνωτή, όπου υγροποιείται και θερμαίνεται. Από τον συμπυκνωτή όμως περνάει τώρα το νερό του γεωθερμικού εναλλάκτη, το οποίο ζεσταίνεται σε θερμοκρασία 40-50°C και στη συνέχεια, διοχετεύεται μέσα στη γεώτρηση και κρύνει με την επίδραση της

χαμηλότερης θερμοκρασίας του υπεδάφους, αποβάλλοντας τη θερμότητα του σ' αυτό. Όταν το νερό επιστρέφει με θερμοκρασία κάπου 25-30°C στον συμπυκνωτή, αναθερμαίνεται από το φρέον και η κυκλοφορία επαναλαμβάνεται.

Με τη λειτουργία της ψύξης βλέπουμε, λοιπόν, ότι με το νερό του κυκλώματος ψύξης της κατοικίας μεταφέρεται η θερμότητα αυτής στο κύκλωμα του φρέον. Αυτό, με την εξάτμισή του, απορροφάει τη θερμότητα αυτή, και την μεταφέρει στον συμπυκνωτή. Εδώ την παραλαμβάνει το νερό του γεωθερμικού εναλλάκτη και την απορρίπτει στο υπέδαφος, που σημαίνει ότι το καλοκαίρι, με τη λειτουργία της ψύξης, η θερμότητα της μονάδας μεταφέρεται και αποθηκεύεται στα πετρώματα του υπεδάφους.

### *6.2.3 Λειτουργία παραγωγής ζεστού νερού*

Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους η γεωθερμική εγκατάσταση μπορεί να παράγει ζεστό νερό χρήσης για την μονάδα (κατοικία). Αυτό επιτυγχάνεται με το ζεστό νερό που παράγει ο συμπυκνωτής. Ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταφέρει θερμότητα από το νερό αυτό στο νερό του boiler, το οποίο στη συνέχεια διοχετεύεται στο δίκτυο ζεστού νερού της μονάδας.

Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί, ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν υπάρχει ανάγκη τόσο για δροσισμό όσο και για ζεστό νερό, τότε γίνεται συμπαραγωγή ψύξης και ζεστού νερού. Συνεπώς, η εγκατάσταση εξυπηρετεί δύο χρήσεις και μάλιστα με συντελεστή απόδοσης μέχρι 8:1, δηλαδή ο συμπιεστής της αντλίας θερμότητας

καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια ίση με το 1/8 περίπου της συνολικής ενέργειας που παράγει η εγκατάσταση.

### 6.3 Συντελεστής απόδοσης

Ως συντελεστής (βαθμός) απόδοσης, μιας θερμικής μηχανής, όπως ήδη έχει οριστεί, είναι ο λόγος του ωφέλιμου μηχανικού έργου  $W$ , προς την συνολική θερμότητα που δαπανήθηκε. Τόσο στο ψυγείο, όσο και στην αντλία θερμότητας, το έργο  $W$ , συνήθως είναι η ηλεκτρική ενέργεια που δαπανούμε.

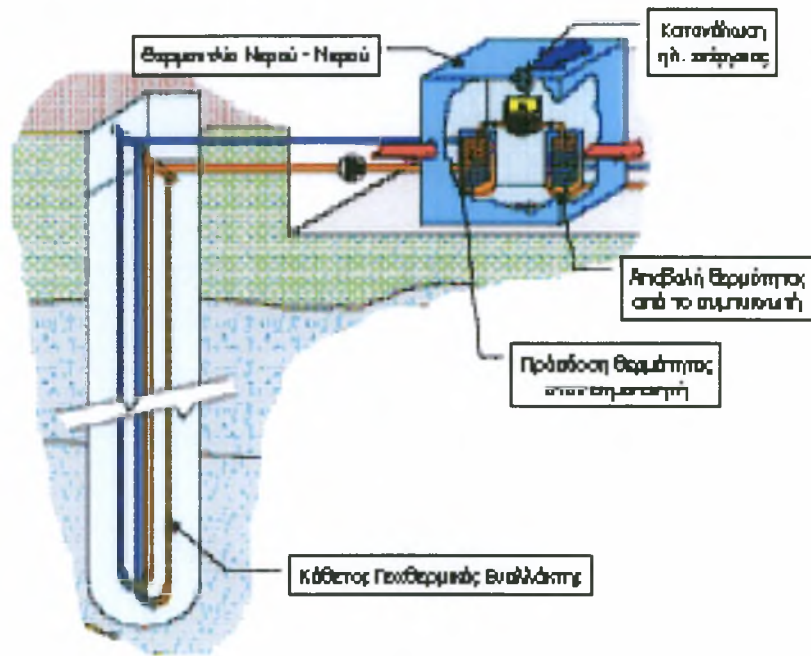
Η απόδοση των αντλιών θερμότητας είναι της τάξης του 1:4 κατά μέσον όρο, για την χρήση το χειμώνα (για θέρμανση) και ίσως, διαφέρει λίγο κατά το καλοκαίρι (5:1 για ψύξη). Δηλαδή με κατανάλωση 1 kWh ηλεκτρικού ρεύματος παράγει 4 kWh θερμικής ή ψυκτικής ενέργειας.

Στις τόσο διαδεδομένες σήμερα στη χώρα μας συμβατικές κλιματιστικές εγκαταστάσεις, που είναι συζευγμένες με αέρα, ο συντελεστής αυτός είναι το πολύ μισός και έτσι εξηγείται, η μεγάλη επιβάρυνση του ηλεκτρικού δικτύου της Δ.Ε.Η. από τη λειτουργία τους.

## 7. Διαστασιολόγηση γεώτρησης και εναλλάκτη

### Γενικά

Η θερμική συμπεριφορά ενός γεωθερμικού εναλλάκτη εξαρτάται άμεσα από την ποσότητα που έχει απορροφήσει ή απορριφθεί από το έδαφος. Είναι πιθανό να περάσουν αρκετά χρόνια για να αναπτυχθούν ακραίες θερμοκρασίες, ειδικά σε συστοιχίες γεωτρήσεων. Είναι σκόπιμο να γίνει για μεγάλο χρονικό διάστημα αξιολόγηση διότι πρόκειται για συστήματα με υψηλό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τα συμβατικά



Σχήμα 7.1: Κατακόρυφος γεωθερμικός εναλλάκτης



## 7.1 Μήκος γεώτρησης

Με βάση την μέθοδο Ingersoll είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για μακροχρόνιες διακυμάνσεις έχουμε:

$$q = \frac{L(T_g - T_w)}{R} \quad (7.1)$$

L: απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων [m]

Q: ρυθμός συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος [W]

R: θερμική αντίσταση εδάφους- εναλλάκτη [m k/W]

T<sub>g</sub>: θερμοκρασία αδιατάραχτου εδάφους [°C]

T<sub>w</sub>: μέση θερμοκρασία εισόδου-εξόδου νερού στην αντλία θερμότητας [°C]

Η παραπάνω εξίσωση εξαρτάται από το απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων (L). Η εξίσωση είναι δυνατόν να μετασχηματιστεί και να αναπαριστά και μεταβαλλόμενους ρυθμούς θερμότητας με τη χρήση γεωθερμικών παλμών.

Προκύπτει ότι:

Μήκος (L) για φορτίο ψύξης

$$L_c = \frac{q_a R_{ga} = (q_{lc} - W_c)(R_b + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{sc})}{T_g - \frac{T_{wic} + T_{woc}}{2} - T_p} \quad (7.2)$$

Μήκος (L) για φορτίο θέρμανσης

$$L_h = \frac{q_a R_{ga} = (q_{lh} - W_h)(R_b + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{sh})}{T_g - \frac{T_{wih} + T_{woh}}{2} - T_p} \quad (7.3)$$

c: φορτίο ψύξης

h: φορτίο θέρμανσης

$L_c$ : απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων για ψύξη [m]

$L_h$ : απαιτούμενος μήκος γεωτρήσεων για θέρμανσης [m]

$q_a$ : καθαρό ετήσιος ρυθμός συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος [W]

$R_{ga}$ : ισοδύναμη θερμική αντίσταση εδάφους σε ετήσιο παλμό [m.K/W]

$q_{lc}$ : φορτίο αιχμής ψύξης [W]

$W_c$ : καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς αντλίας θερμότητας σε ψύξης [W]

$W_h$ : καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς αντλίας θερμότητας σε θέρμανση [W]

$R_b$ : θερμική αντίσταση πυρήνα γεώτρηση [m.K/W]

$PLF_m$ : συντελεστής μερικού φορτίου το μήνα σχεδιασμού

$R_{gm}$ : ισοδύναμη θερμική αντίσταση εδάφους σε μηνιαίο παλμό [m.K/W]

$R_{gd}$ : ισοδύναμη θερμική αντίσταση εδάφους σε ημερήσια παλμό [m.K/W]

$F_{sc}$ : συντελεστής απωλειών θερμικού βραχυκυκλώματος σωληνώσεων εισόδου-εξόδου μιας γεώτρησης

$T_g$ : θερμοκρασία αδιατάραχτου εδάφους [ $^{\circ}C$ ]

$T_{wi}$ : θερμοκρασία εισόδου νερού από αντλία θερμότητας [ $^{\circ}C$ ]

$T_{wo}$ : θερμοκρασία εξόδου νερού από αντλία θερμότητας [ $^{\circ}C$ ]

$T_p$ : θερμοκρασιακή ποινή ολόκληρου του εναλλάκτη (λόγω επαλληλίας όμορων γεωτρήσεων)

Τελικά το μήκος της γεώτρησης προκύπτει από το μεγαλύτερο  $L_c$  και  $L_h$ . Στην περίπτωση που το μήκος ψύξης είναι μεγαλύτερο από αυτό της θέρμανσης τότε υπάρχει μεγαλύτερο όφελος στην θέρμανση, με συνέπεια μικρότερο λειτουργικό κόστος στην θέρμανση.

## 7.2 Θερμική Αντίσταση Σωληνώσεων

Οι εξισώσεις σχεδιασμού γεωθερμικών εναλλακτών περιέχουν τέσσερις όρους θερμικής αντίστασης ανά μέτρο μήκους γεώτρησης και όχι ανά μέτρο μήκους σωληνώσεων. Τρεις από αυτούς αφορούν τη θερμική συμπεριφορά του εδάφους. Έχουν τη

μορφή εξισώσεων σταθερής κατάστασης αλλά, στην ουσία, προέρχονται από τις μεταβατικές καταστάσεις που προηγούνται των αιχμών του συστήματος. Ο τέταρτος όρος είναι η ισοδύναμη θερμική αντίσταση του πυρήνα της γεώτρησης ( $R_b$ ). Ο πυρήνας, δηλαδή οι σωληνώσεις το περιεχόμενό τους ρευστό και το υλικό πλήρωσης της γεώτρησης έχουν ελάχιστη θερμική μάζα σε σχέση με το υπόλοιπο, υπό σχεδίαση, γεωθερμικό σύστημα. Για το λόγω αυτό η θερμική συμπεριφορά τους μπορεί με ασφάλεια να θεωρηθεί σταθερή. Οι τιμές του μπορούν να βρεθούν είτε από πίνακες για δεδομένους τύπους σωληνώσεων. είτε αναλυτικά, ως άθροισμα των αντιστάσεων θερμικής ροής του πλαστικού σωλήνα (για  $Re > 4000$ ) και υλικού πλήρωσης της γεώτρησης.

### 7.3 Ρυθμός μεταφοράς θερμότητας

Ο συντελεστής μερικού φορτίου μηνός σχεδιασμού (PLF<sub>m</sub>) προκύπτει από την επίλυση θερμικών και ψυκτικών φορτίων του κτιρίου

$$PLF_m = \frac{\sum(\text{φορτίο} \times \text{ώρες})}{\text{Φορτίο}_{\text{αιχμής}} \times 24h} \times \frac{\text{Ημέρες}_{\text{λειτουργίας}_{\text{στο}_{\text{μήνα}}}}}{\text{Ημέρες}_{\text{του}_{\text{μήνα}}}}$$

Με παρόμοιο τρόπο υπολογίζεται ο καθαρός ετήσιος ρυθμός συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος ( $q_a$ ). Η ετήσια συνολική απόρριψη θερμότητας προς το έδαφος είναι με αρνητικό πρόσημο και περιέχει τη θερμότητα που απορρίφθηκε από τον συμπιεστή. Η θερμότητα που απορρίφθηκε από το έδαφος κατά την περίοδο θέρμανσης είναι θετικός αριθμός και η θερμότητα αυτή αποδίδεται στο κτίριο.

Η εξίσωση γίνεται:

$$q_a = \frac{\sum q_{lc} \times \frac{COP_{\theta\epsilon\rho\mu\alpha\nu\sigma\eta\varsigma} + 1}{COP_{\theta\epsilon\rho\mu\alpha\nu\sigma\eta\varsigma}} \times hc + \sum q_{lh} \times \frac{COP_{\psi\upsilon\zeta\eta\varsigma} - 1}{COP_{\psi\upsilon\zeta\eta\varsigma}}}{8760h / \acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma}$$

$q_{lc}$ : φορτία αιχμής ψύξης

$q_{lh}$ : φορτία αιχμής θέρμανσης

#### 7.4 Θερμοκρασίες γεωθερμικών συστημάτων

Η θερμοκρασία αδιατάρακτου εδάφους ( $T_g$ ) βρίσκεται από αρμόδια αρχή η οποία είναι αρμόδια για θέματα γεωτρήσεων.

Η θερμοκρασία νερού εισόδου στην αντλία θερμότητας ( $T_{wi}$ ) αποτελεί κρίσιμη επιλογή, διότι: τιμή κοντά στην θερμοκρασία εδάφους οδηγεί σε μεγάλο μέγεθος εναλλάκτη. Διαφορετικά τιμή αρκετά μακριά από αυτή του εδάφους οδηγεί στον σχεδιασμό μικρού εναλλάκτη, συνεπώς μικρή απόδοση στην θέρμανση και μεγάλη κατανάλωση στην ψύξη. Μετά από μελέτες συνιστάται η επιλογή θερμοκρασιών εισόδου στην αντλία θερμότητας να είναι  $11-16\text{ }^\circ\text{C} > T_g$  για εφαρμογές ψύξης και  $5,5-11\text{ }^\circ\text{C} < T_g$  για εφαρμογές θέρμανσης, με σκοπό να πετύχουμε μια καλή σχέση αρχικού κόστους εγκατάστασης και κόστους λειτουργίας.

Η θερμοκρασία εξόδου νερού από την αντλία θερμότητας ( $T_{wo}$ ) εξαρτάται από την θερμική ή ψυκτική ισχύ και την απορροφούμενη ισχύ

$$T_{wo} = T_{wi} - \frac{q + W}{1161,318 \times Q_w}$$

q, W [Watt], Q<sub>w</sub> [m<sup>3</sup>/h]

η τιμή q είναι το φορτίο αιχμής για θέρμανση(θετικό) και για ψύξη (αρνητικό). Ο συντελεστής 1161,318 αφορά την ειδική θερμότητα του νερού την πυκνότητα και την μετατροπή του σε m<sup>3</sup>/h.

Η θερμοκρασία ποιής (T<sub>p</sub>), αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των όμορων γεωτρήσεων και την μείωση της συνολικής απόδοσης του γεωθερμικού εναλλάκτη λόγω αυτών. Η συνιστώμενη πρακτική εύρεσης του (T<sub>p</sub>) είναι η αρχική υπόθεση μιας αρχικής λογικής τιμής (0,5-2,5 °C για 10ετή περίοδο).με σκοπό την επιλογή μιας απόστασης κανάβου η οποία δεν θα καταλαμβάνει άσκοπα μεγάλη έκταση αλλά και δεν θα μεγαλώνει εξίσου άσκοπα το απαιτούμενο συνολικό μήκος των γεωτρήσεων.

## 8. Σύγκριση της γεωθερμικής λύσης με εκείνη του πετρελαίου

Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστεί με απλό τρόπο, μέσω οικονομικών υπολογισμών, πως η ανανεώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον γεωθερμική ενέργεια μπορεί έστω και σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες να αντικαταστήσει αξιόλογες ποσότητες συμβατικών μορφών ενέργειας, και συγκεκριμένα του πετρελαίου, με πολλαπλά οικονομικά οφέλη. Θα αναφερθούμε ειδικά στο πετρέλαιο, το οποίο αποτελεί το πιο κοινά χρησιμοποιούμενο καύσιμο θέρμανσης στην περίπτωση του Ελλαδικού χώρου.

Σε κατοικία επιφανείας  $100 \text{ m}^2$ , η οποία παρουσιάζει ορθή θερμική συμπεριφορά, είναι δηλαδή καλά μονωμένη και εμφανίζει μέση τιμή του ολικού συντελεστή θερμικής διαπερατότητας (αγωγιμότητας και συναγωγιμότητας) περίπου  $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , το ύψος των θερμικών αναγκών ανέρχεται στα  $7 \text{ kW}$ .

Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης συμβατικής κεντρικής θέρμανσης, ανέρχεται για την στο ποσό των  $5.000,00 \text{ €}$ .

Η ανάλυση του παραπάνω ποσού έχει ως εξής:

1. Προμήθεια και εγκατάσταση λεβητοστασίου (λέβητα, καυστήρα, κυκλοφορητής, δοχείου διαστολής και δεξαμενής καυσίμου) περίπου  $2.400,00 \text{ €}$ .
2. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών χώρων (θερμαντικά σώματα, σωληνώσεις, διανεμητές νερού, και θερμοστάτες χώρου) περίπου

2.100,00 €.

3. Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, συστήματα αυτοματισμών περίπου 500,00 €.

\* Στην περίπτωση της κατασκευής ενδοδαπέδιας εγκατάστασης το κόστος ανέρχεται στο ποσό των 8.000,00 €.

Για την ίδια κατοικία στην περίπτωση της εγκατάστασης κλιματισμού με σύστημα γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας, το κόστος κατασκευής ανέρχεται στο ποσό των 14.500,00 €.

1. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών μηχανοστασίου (θερμαντλία, κυκλοφορητές, δοχείο διαστολής και αυτοματισμοί) περίπου 4.500,00 €.

2. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών χώρων (θερμαντικά στοιχεία ανεμιστήρα (fan coils), σωληνώσεις, διανεμητές νερού, και θερμοστάτες χώρου) περίπου 2.900,00 €.

3. Κατασκευή γεωθερμικού συστήματος άντλησης θερμότητας, περίπου 6.600,0 €.

4. Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, συστήματα αυτοματισμών περίπου 500,00 €.

\* Στην περίπτωση της κατασκευής ενδοδαπέδιας εγκατάστασης το



κόστος ανέρχεται στο ποσό των 17.500,00 €.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος άντλησης γεωθερμικής ενέργειας, έναντι της κεντρικής θέρμανσης ορίζονται στα:

1. Η κεντρική θέρμανση απαιτεί μεγάλο χώρο για την εγκατάσταση των συσκευών παραγωγής ζεστού νερού, αποθήκευσης καυσίμου, διαφυγής καυσαερίων στην ατμόσφαιρα κτλ.

2. Η κεντρική θέρμανση παρουσιάζει συχνά ακαθαρσίες κατά τη λειτουργία και μονίμως κίνδυνο με την ύπαρξη φλόγας στο υπόγειο (χώρο λεβητοστασίου)

3. Η κεντρική θέρμανση απαιτεί συχνά καθαρισμό και ρυθμίσεις ενώ για περιοχές που επικρατεί θερμοκρασία κάτω των 5°C, απαιτεί ειδική προθέρμανση στο πετρέλαιο ή παρουσιάζει συχνά μπουκώματα, λόγω στερεοποίησης της παραφίνης και του κεριού που περιέχεται στο πετρέλαιο θέρμανσης.

4. Τέλος το κόστος λειτουργίας μιας εγκατάστασης θέρμανσης για περιοχές χαμηλών θερμοκρασιών, βόρεια Ελλάδα παρουσιάζει απαιτήσεις χρήσης επί 6 μήνες για 20 ώρες την ημέρα, που στην περίπτωση της πολύ καλής μόνωσης απαιτείται ενέργεια της τάξης των 25.000 kWh /έτος. Για τη μέση περιοχή της χώρας (Αθηνών) η ετήσια κατανάλωση ανέρχεται σε 18.000 kWh. Οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας σαν συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας για

τη περίπτωση του πετρελαίου είναι:

Θερμοκρασία ακραία περιβάλλοντος (συχνή) °C	Περίοδος month	Χρόνος Ώρες	Θερμική Ισχύς kW	Ενέργεια kWh
<b>Χειμώνας</b>				
-5	6	17	7	30607
0	5	14	6	21006
5	4	12	5,5	14406
<b>Θέρος</b>				
30	3	7	7	6307
35	3,5	8	6	8406
40	4,5	10	5,5	13506
<b>Σύνολο</b>				<b>36914</b>
				<b>29412</b>
				<b>27911</b>

**Πίνακας 8.1: θερμικές απαιτήσεις σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία (Βραχόπουλος, 2006)**

Ο μέσος ετήσιος βαθμός εκμετάλλευσης της θερμικής ενέργειας που περιέχεται στο καύσιμο (πετρέλαιο), σε εγκαταστάσεις κεντρικών θερμάνσεων ανέρχεται στο 75% (όταν η εγκατάσταση λειτουργεί πάρα πολύ καλά), οι ενεργειακές απαιτήσεις (αγορά πετρελαίου) ανέρχονται σε 34.000 kWh ή 2.900 kg πετρέλαιο, που αντιστοιχεί σε κόστος περίπου 1500,00 € ετησίως.

Το σύστημα αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας, παρουσιάζει για τις ίδιες θερμικές ανάγκες βαθμό εκμετάλλευσης περίπου 4, με αποτέλεσμα οι πραγματικές ενεργειακές καταναλώσεις να

ανέρχονται σε 6.250 kWh /έτος, που αντιστοιχούν σε κόστος λειτουργίας περίπου 750,00 €. Η οικονομικότητα στη λειτουργία μεταξύ των δυο αυτών εγκαταστάσεων ανέρχεται στο ποσό μόνο των 750,00 € ανά έτος.

Για τη θερινή περίοδο η εγκατάσταση κλιματισμού με αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας αποδίδει την απαιτούμενη ψυκτική ενέργεια με απόδοση της τάξης 4-πλάσιου και καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια 1.800 kWh. Σε αντίθεση η χρήση συσκευών διμερούς τύπου για τη κάλυψη των αντιστοιχών αναγκών απαιτεί κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ύψους 3.600 kWh. Το επιπλέον ετήσιο κόστος λειτουργίας ανέρχεται σε 400,00 €. Επίσης το κόστος των συσκευών διμερούς τύπου για τη κάλυψη των αναγκών δροσισμού ανέρχεται σε 2.350,00 €.

Με το συνολικό κόστος των εγκαταστάσεων θέρμανσης και δροσισμού να ανέρχεται σε 6.950,00 € με αποτέλεσμα την απόσβεση του επιπλέον κόστους κατασκευής που παρουσιάζει η γεωθερμική εγκατάσταση να επιτελείται σε χρόνο μικρότερο των 14 ετών.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο όγκος των εγκαταστάσεων των συσκευών του γεωθερμικού συστήματος είναι μικρότερος κατά 30% του χώρου που απαιτεί η εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης με αποτέλεσμα την πραγματική (ουσιαστική) μείωση του κόστους κατασκευής λόγω χρήσης μικρότερου χώρου οι δε εγκαταστάσεις των διμερούς τύπου κλιματιστικών αποφεύγεται πλήρως. Στο γεωθερμικό σύστημα δεν απαιτείται δεξαμενή πετρελαίου και τα προβλήματα

που αυτή επιφέρει (οσμές, ρύποι, κίνδυνος).

Σημαντικότερο πλεονέκτημα επίσης του συστήματος είναι η δυνατότητα χρήσης ειδικού αυτοματισμού, εφόσον δεν παρουσιάζει κινδύνους κατά τη λειτουργία. Ο αυτοματισμός αυτός μπορεί να ενεργοποιηθεί από απόσταση (π.χ. μέσω τηλεφώνου), με αποτέλεσμα το σύστημα να ενεργοποιείται μερικώς, με περίπου μηδενικό κόστος λειτουργίας και να συντηρεί την κατοικία, όταν αυτή είναι για καιρό ακατοίκητη σε θερμοκρασία πολύ κοντά στις θερμοκρασιακές απαιτήσεις με αποτέλεσμα την επιπλέον μείωση του κόστους λειτουργίας και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η σύγκρισή τους με τις εγκαταστάσεις κλιματισμού με στοιχεία ανεμιστήρα οδηγούν σε ακόμη καλύτερα αποτελέσματα που συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες.

a/a	Εγκατάσταση	Κόστος €	Καταλαμβάνόμενος χώρος m <sup>2</sup>
1	Κεντρική Θέρμανση	4.600,00	10 m <sup>2</sup> / Υπόγειο
2	Κεντρική Θέρμανση και Κλιματιστικά διμερούς τύπου	6.950,00	10 m <sup>2</sup> / Υπόγειο και εξωτ. – εσωτ. στοιχεία
3	Κεντρικός Κλιματισμός (κοινό σύστημα)	9.000,00	8 m <sup>2</sup> / Ταράτσα
4	Γεωθερμική εγκατάσταση με κάθετο γεωθερμικό εναλλάκτη	13.200,00	4,5 m <sup>2</sup> / Υπόγειο
5	Γεωθερμική εγκατάσταση με Οριζόντιο γεωθερμικό εναλλάκτη	9.500,00	4,5 m <sup>2</sup> / Υπόγειο
6	Γεωθερμική εγκατάσταση με εναλλάκτη θάλασσας	8.900,00	4,5 m <sup>2</sup> / Υπόγειο
5	Γεωθερμική εγκατάσταση με εναλλάκτη λίμνης	8.500,00	4,5 m <sup>2</sup> / Υπόγειο

Πίνακας 8.2: Κόστος και καταλαμβάνόμενος χώρος

εγκαταστάσεων (Βραχόπουλος, 2006)

α/α	Εγκατάσταση	Απόσβεση Έτη
1	Κεντρική Θέρμανση	Μη συγκρίσιμο
2	Κεντρική Θέρμανση και διμερούς τύπου Κλιματιστικά	14
3	Κεντρικός Κλιματισμός (κοινό σύστημα)	6
4	Γεωθερμική εγκατάσταση με κάθετο γεωθερμικό εναλλάκτη	-
5	Γεωθερμική εγκατάσταση με οριζόντιο γεωθερμικό εναλλάκτη	Οικονομικότερη
6	Γεωθερμική εγκατάσταση με εναλλάκτη θάλασσας	Οικονομικότερη
5	Γεωθερμική εγκατάσταση με εναλλάκτη λίμνης	Οικονομικότερη

Πίνακας 8.3: Συγκριτικός πίνακας απόσβεσης (Βραχόπουλος, 2006)

## 9. Γενικά συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται και είναι ήπια μορφή ενέργειας. Έχει ελάχιστες έως μηδαμινές επιπτώσεις στο περιβάλλον, σίγουρα υποπολλαπλάσιες σε σχέση με όλες τις άλλες μορφές ενέργειας (εκτός της υδραυλικής και της ηλιακής).

Πέρα από τα όποια οικονομικά οφέλη, η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας συμβάλει στην εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων, τα οποία βεβαίως δεν είναι ανεξάντλητα. Η εκμετάλλευση των διαθέσιμων γεωθερμικών, επιτρέπει την αξιοποίηση των συμβατικών καυσίμων, ειδικά του πετρελαίου, σε άλλες εφαρμογές όπου αυτά είναι καταλληλότερα ή/και η χρήση τους οικονομικά πιο συμφέρουσα, όπως αναφέρθηκε. Σπουδαιότερη από αυτές τις χρήσεις είναι οι μεταφορές, αλλά και η βιομηχανία, ειδικότερα στις εφαρμογές εκείνες όπου απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ούτε η γεωθερμία, αλλά ούτε και οι άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα, κυρίως λόγω της δυσκολίας μεταφοράς τους.

Επιπλέον, η εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών, πέρα από τα περιβαλλοντικά οφέλη, δίνει τη δυνατότητα να κατασκευαστούν τοπικά μικρές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής (συνήθως μικρότερες των 100 MW). Ως συνέπεια αυτού του γεγονότος, οι γεωθερμικές μονάδες μπορούν να εγκατασταθούν σε πολύ μικρότερο χρόνο από τις μονάδες που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα, οι οποίες επιπροσθέτως, για λόγους οικονομίας κλίματος, έχουν πολύ μεγάλο μέγεθος. Πέραν τούτου, η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος καθίσταται περισσότερο αξιόπιστη όταν οι μονάδες παραγωγής του

είναι διεσπαρμένες και δεν παρουσιάζεται συγκέντρωση λίγων μεγάλων μονάδων σε μια περιοχή. Οι χώρες που διαθέτουν αξιόλογα γεωθερμικά πεδία προτιμούν να αναπτύσσουν και να εκμεταλλεύονται τις δικές τους πηγές από το να εισάγουν καύσιμα για παραγωγή ενέργειας. Στις χώρες όπου υπάρχουν πολλές εναλλακτικές λύσεις για το σκοπό αυτό, ανάμεσά στις οποίες και η γεωθερμία, αυτή εν γένει προτιμάται, διότι αφ' ενός παρουσιάζει ανταγωνιστικό οικονομικό κόστος και αφ' ετέρου δίνεται η ευκαιρία να χρησιμοποιείται το πετρέλαιο σε άλλες εφαρμογές για τις οποίες η γεωθερμία δεν είναι κατάλληλη, καθώς δεν είναι εύκολη και συμφέρουσα η μεταφορά της.

Όσον αφορά την χρήση των αντλιών θερμότητας πρόκειται όπως ήδη αναφέρθηκε για μια από τις πολλές δυνατότητες αξιοποίησης των γεωθερμικών πεδίων για τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης των κτιρίων. Οι αντλίες θερμότητας εκμεταλλεύονται ένα ελάχιστο  $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$  μπορούν να καλύψουν, με μικρό κόστος σε ηλεκτρική ενέργεια, το σύνολο των απαιτήσεων σε θέρμανση και ψύξη μεμονωμένων κατοικιών, ή και ολόκληρων οικοδομικών συγκροτημάτων, παρέχοντας παράλληλα ζεστό νερό χρήσης καθ' όλο το χρόνο.

Έτσι, ανάλογα με τις δυνατότητες του γεωθερμικού ταμιευτήρα και τις φυσικοχημικές ιδιότητες των ρευστών αυτού, πρέπει να ακολουθηθεί ο σωστός υπολογισμός του μεγέθους των αντλιών θερμότητας σε συσχέτιση με την υπόλοιπη εγκατάσταση κλιματισμού.

Τα μηχανικά αυτά συστήματα είναι πολύ οικονομικά στην λειτουργία τους, αφού καταναλώνουν τόση ηλεκτρική ενέργεια (25% της παραγόμενης), που λίγο ξεπερνάει τη

θερμική ενέργεια που χάνεται με τα καυσαέρια κατά την θέρμανση με πετρέλαιο (20% της παραγόμενης).

Το σύστημα αυτό γεωθέρμανσης είναι απαλλαγμένο από τα απρόοπτα της αγοράς του πετρελαίου, αφού για τη λειτουργία του χρειάζεται μόνο λίγο ηλεκτρικό ρεύμα και παράγει θερμαντική ενέργεια από τη γεωθερμική, που είναι μια ενέργεια συνεχώς ανανεούμενη, ανεξάντλητη και δωρεάν διαθέσιμη για κάθε ιδιοκτήτη ή χρήστη κτιρίου.

Η εγκατάσταση γεωθέρμανσης μπορεί εύκολα και με λίγα έξοδα να μετατραπεί σε σύστημα γεωκλιματισμού και να μας προσφέρει από τη γεωθερμική ενέργεια όχι μόνο θέρμανση αλλά και ψύξη, καθώς και ζεστό νερό (με boiler) για τις οικιακές ανάγκες. Αυτές τις δυνατότητες τις προσφέρει ιδιαίτερα στην Ελλάδα, λόγω κλίματος, ενώ στα βόρεια κράτη χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση και ζεστό νερό.

Μειονέκτημα των συστημάτων αυτών, αποτελεί το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, που όπως αναφέρθηκε οφείλεται κυρίως στις δαπάνες των γεωτρήσεων και που μπορεί να ανεβάσει το χρόνο απόσβεσης, παρά το πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας σε 10-14 έτη.

Το μειονέκτημα αυτό μετριάζεται, άγνωστο πόσο, από το πιο χαμηλό κόστος συντήρησης και το μεγάλο χρόνο λειτουργίας του εγκατεστημένου γεωθερμικού εναλλάκτη, που έχει υπολογιστεί σε περισσότερα από 30 έτη.

Άλλο δυνατό μειονέκτημα, είναι το υψηλό ρίσκο των βαθιών και συνεπώς δαπανηρών γεωτρήσεων, λόγω της πιθανής αποτυχίας ανεύρεσης επαρκών για



εκμετάλλευση παροχών ζεστού νερού. Επίσης, μικρή θα μπορούσε να αναφερθεί η ισχύς ανά μονάδα όγκου υπεδαφικού υλικού.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### 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. Εκδ. ΤΕΕ IV, 18(1), 55-66, 1998
3. Βραχόπουλος, Μ.Γ Ομαλή Γεωθερμία και προοπτικές εφαρμογής. Πρακτικά συνεδρίου γεωθερμίας. Ουκρανία, 2006
4. Κ.Α.Π.Ε. Εγχειρίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Γεωθερμική ενέργεια, Πρόγραμμα ALTENER, Αθήνα, σελ. 5-14, 1998
5. Παπαγεωργάκης, Γ. Η πρώτη στην Ελλάδα κατοικία με γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού. Εγκατάσταση γεωθερμικού εναλλάκτη και αντλίας θερμότητας νερού-νερού στον Άγιο Δημήτριο Κορωπίου., ΕΜΠ, Αθήνα, σελ. 3-15, 1993
6. Παπαγεωργάκης, Γ. Αξιοποίηση της ομαλής γεωθερμικής ενέργειας στον Ελλαδικό χώρο, Αθήνα, σελ. 1-11, 1993
7. Παπάζογλου, Ε., Κυρίτσης, Σ. και Σούτερ, Χ., Θέρμανση Θερμοκηπίων-Αντλίες Θερμότητας, Διον, 1989

8. Φυτίκας, Μ., Κόλιος, Ν. και Δαλαμπάκης, Π. Γεωθερμία: Η θερμική ενέργεια της γης, Ενέργεια, Τεύχος 18, σελ. 29-46, 1996
9. ASHRAE HANDBOOK, HVAC Applications, 2003
10. ASHRAE HANDBOOK, Refrigeration
11. Ingersoll, L., and Zobel, A., Heat conduction with engineering and geological application, 2<sup>nd</sup> ed. McGraw-Hill, New York, 1954
12. Lund, W., Geothermal heat pumps-an overview, Ghc Bulletin, p 1-3, 2001
13. Lund, W., and Boyd, L., Direct use of geothermal energy in U.S., Geothermal Resources Council Transactions, p 57-60, 2001
14. Rafferty, K. An information survival kit for the prospective residential geothermal heat pump overview, Ghc Bulletin, p1-11, 1997
15. Ret Screen International, Ground-source heat pump project analysis chapter, Canada, 2001

#### Συνεντεύξεις

1. Βραχόπουλος, Μ., Μηχανολόγος μηχανικός Αν. Καθ ΤΕΙ ΧΑΛΚΙΔΑΣ, Αθήνα, 2006
2. Μπουσκολίτης, Χ., Μηχανολόγος μηχανικός, Θεσσαλονίκη, 2006
3. Φυτίκας, Μ., Καθηγητής τμ.Γεωλογίας ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2006

## Σχετικές ιστοσελίδες

1. [www.geoexchange.org](http://www.geoexchange.org)
2. <http://geoheat.oit.edu/index.html>
3. [www.enercret.com](http://www.enercret.com)
4. [www.waterfurnace.com](http://www.waterfurnace.com)
5. [www.waterfurnace.gr](http://www.waterfurnace.gr)
6. [www.geoerevna.gr](http://www.geoerevna.gr)
7. [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)
8. [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Δείγματα εφαρμογής τεχνολογίας Enercret

#### Norddeutsche Landesbank

Το κτίριο αυτό βρίσκεται στην πόλη Ανόβερο της Γερμανίας. Χρησιμοποιεί ενεργειακό σύστημα για ψύξη και θέρμανση, το οποίο βασίζεται σε *Ενεργειακούς πυλώνες* (στήλες) και η διασπορά της θερμότητας γίνεται με θερμοενεργή οροφή. Η υπεδαφική θερμότητα απορροφάτε διαμέσου των θεμελίων από νερό το οποίο μεταφέρεται μέσω σωληνώσεων ενσωματωμένων στις κολώνες των θεμελίων του κτιρίου. Όταν υπάρχει ανάγκη ψύξης η θερμοκρασία του υπεδάφους (13°C) χρησιμοποιείται άμεσα, ενώ για την θέρμανση μεσολαβεί μία αντλία θερμότητας.

Το έργο αποτελείται από 122 πυλώνες (στήλες) σκυροδέματος διαμέτρου 90 cm και μήκους 20 m. Το όλο σύστημα αποτελείται από 37000 m σωληνώσεων. Οι πυλώνες κατασκευάστηκαν επί τόπου λόγω του μεγέθους τους. Για να επιτευχθεί η θέρμανση/ψύξη των δωματίων του κτιρίου, το νερό κυκλοφορεί διαμέσου μονάδων απορρόφησης οι οποίες βρίσκονται στις οροφές και συνδέονται μέσω σωλήνων ενσωματωμένων στο σκυρόδεμα της οροφής. Οι συνολικά οκτώ (8) πλάκες των ορόφων του κτιρίου περιέχουν 505 μονάδες απορρόφησης αποτελούμενες από 77000 m σωληνώσεων.

Συγκεντρωτικά στοιχεία της εγκατάστασης Enercret του κτιρίου

Δυνατότητα ψύξης	350 kW
Δυνατότητα θέρμανσης	150 kW
Ετήσια παραγωγή ψύξης	80 MWh
Ετήσια παραγωγή θέρμανσης	80 MWh

### **Pago**

Το κτίριο αυτό είναι ένα εργοστάσιο παραγωγής ετικετών (Labeling factory) το οποίο βρίσκεται στην πόλη Grabs της Ελβετίας.

Για την υλοποίηση της τεχνολογίας Enercret χρησιμοποιήθηκαν 570 προκατασκευασμένοι ενεργειακοί πυλώνες από σκυρόδεμα ενισχυμένο με ατσάλι, οι οποίοι έχουν διαμέτρου 40 cm. Οι ενσωματωμένοι στους πυλώνες σωλήνες έχουν εξωτερική διάμετρο 20 cm, το δε συνολικό μήκος των σωληνώσεων ανέρχεται στα 95000 m.

### **Columbus Center**

Εμπορικό κέντρο στην πόλη Βιέννη της Αυστρίας.

Συγκεντρωτικά στοιχεία του κτιρίου:

Συνολικό εμβαδόν	45000 m <sup>2</sup>
Εμβαδόν χώρου καταστημάτων	16000 m <sup>2</sup>
Εμβαδόν χώρου γραφείων	7000 m <sup>2</sup>
Εμβαδόν χώρου υπόγειας στάθμευσης (parking)	700 m <sup>2</sup>

Χρησιμοποιήθηκαν 300 ενεργειακοί πυλώνες διαμέτρου 120 cm με μήκος 7 ως 12 m οι οποίοι κατασκευάστηκαν επί τόπου, και ενσωματώθηκαν στο σκυρόδεμα το οποίο είχε την μορφή τοιχίου τεχνολογία diaphragm well συνολικού εμβαδού 12400 m<sup>2</sup>. Το όλο σύστημα διατρέχεται από 90000 m σωλήνων εσωτερικής διαμέτρου 25 cm.

Συγκεντρωτικά στοιχεία της εγκατάστασης enercret του κτιρίου

Δυνατότητα ψύξης	1400 kW
Δυνατότητα θέρμανσης	1200 kW
Ετήσια παραγωγή ψύξης	1670 MWh
Ετήσια παραγωγή θέρμανσης	660 MWh

### **Bregenz Arts Centre**

Το κτίριο στεγάζει το Κέντρο Τεχνών της πόλης Bregenz της Αυστρίας.

Χρησιμοποιήθηκε τεχνολογία diaphragm well (για το γεωεναλλάκτη) σε συνδυασμό με οροφές από σκυρόδεμα ενισχυμένο με ατσάλι.

Οικονομικά στοιχεία σύγκρισης της εγκατάστασης Enercret του κτιρίου με συμβατική μέθοδο θέρμανσης-ψύξης.

	Enercret	Συμβατική μέθοδος
Κόστος εγκατάστασης για θέρμανση και ψύξη	880.000 €	2.480.000 €
Ετήσιο κόστος λειτουργίας για θέρμανσης	5.100 €	5.100 €
	Συντήρηση	Συμβατική
	730€ Enercret	2.100 €
	Σύνολο	2.550 €
Ετήσιο κόστος	Ενεργειακό	13.100 €
	1.820 €	



## Administrative Building

Το κτιριακό αυτό συγκρότημα βρίσκεται στην πόλη Bolzano της Ιταλίας, στην περιοχή του Ν. Τυρόλου. Αποτελείται από τρία επιμέρους κτίρια επτά ορόφων με τρία επίπεδα υπογείων στο καθένα. Η ολοκλήρωση της κατασκευής έγινε μέσα στο 2004. Η κατασκευή του γεωεναλλάκτη έγινε επί τόπου. Αποτελείται από σύστημα σχήματος οριζόντιας πλάκας με έκταση  $6000 \text{ m}^2$ , στο οποίο έχουν τοποθετηθεί 110 μονάδες (23500 m σωληνώσεων διαμέτρου 25 mm) με απόσταση 30 cm μεταξύ τους. Για την μεταφορά του νερού στο κτίριο χρησιμοποιήθηκαν 340 στήλες μέσα σε χαλύβδινους σωλήνες μήκους 15,30 m και διαμέτρου 193,7 mm. Σε κάθε σωλήνα τοποθετήθηκαν δύο βρόγχοι (loops) από τέτοιες στήλες (συνολικά 4 ανά σωλήνα). Το συνολικό μήκος των σωληνώσεων ήταν 20000 m.

Συγκεντρωτικά στοιχεία της εγκατάστασης Enercret του κτιρίου

Δυνατότητα ψύξης	80kW
Δυνατότητα θέρμανσης	370 kW
Ετήσια παραγωγή ψύξης	134 MWh

Ετήσια παραγωγή θέρμανσης	450 MWh
---------------------------	---------

### **Keble College Oxford**

Το κτίριο αυτό ανήκει στο Keble College το οποίο βρίσκεται Οξφόρδη της Μ. Βρετανίας. Αφορά Για την υλοποίηση της τεχνολογίας enercret χρησιμοποιήθηκαν 15 ενεργειακοί πυλώνες διαμέτρου 750 mm και μήκους 12,5 m και 14 ενεργειακοί πυλώνες διαμέτρου 600 mm και μήκους 7,5 m, οι οποίοι τοποθετήθηκαν παράλληλα μεταξύ τους έτσι ώστε να σχηματίζουν τοίχους ενεργειακών πυλώνων. Οι πυλώνες αυτοί βρίσκονται μεν στο χώρο της θεμελίωσης αλλά δεν δέχονται κανένα μέρος από το βάρος του κτιρίου, οπότε δεν αποτελούν μέρος της φέρουσας κατασκευής. Εξυπηρετούν μόνο το σύστημα του γεωεναλλάκτη. Κατασκευάστηκαν όμως και 61 ενεργειακοί πυλώνες διαμέτρου 450 mm και μήκους 5 m, οι οποίοι φέρουν το βάρος του κτιρίου (θεμελίωση), οι οποίοι παρέχουν και στήριξη αλλά και είναι τμήμα του γεωεναλλάκτη. Οι ενσωματωμένοι στους πυλώνες σωλήνες είναι τύπου PH-HD έχουν διάμετρο 20 mm και πάχος 2 mm. Σχηματίζουν 41 βρόγχους (100ps) μήκους 150 m (περιλαμβάνεται και το μέρος τους το οποίο είναι ενσωματωμένο στους ενεργειακούς πυλώνες, και το τμήμα που βρίσκεται εκτός αυτών). Το συνολικό μήκος των σωληνώσεων ανέρχεται στα 6150 m.

## Στάδια μελέτης για εγκατάσταση Enercret

### *1.Παράμετροι*

#### *Γεωτεχνικές Παράμετροι*

Οι γεωτεχνικές παράμετροι οι οποίες καταγράφονται στην φάση αυτή αφορούν στην διάταξη των εδαφικών στρωμάτων καθώς και στις παρακάτω μηχανικές τους ιδιότητες:

- Θερμοκρασία
- Θερμική αγωγιμότητα
- Θερμοχωρητικότητα
- Βάθος του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα
- Διεύθυνση και ταχύτητα της ροής του υπόγειου νερού (αν υπάρχουν)

#### *Δομικές Παράμετροι*

Οι δομικές παράμετροι που πρέπει να είναι διαθέσιμες κατά τον προσχεδιασμό, τους διαφόρους υπολογισμούς και την προσομοίωση μιας εγκατάστασης Enercret είναι:

- Τύπος και μέγεθος των θεμελίων (διάμετρος, μήκος, πλάτος, πυκνότητα υλικού)
- Βάθος της θεμελίωσης (σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους)
- Κάτοψη του κτιρίου η οποία παριστά την θέση των θεμελίων

(πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τα προσχέδια του υπό κατασκευή κτιρίου)

- Λεπτομέρειες των τυχόν επιμέρους ενισχύσεων της δομής του κτιρίου
- Κανονισμός πολεοδομίας που ισχύει στην εκάστοτε περιοχή

Η εγκατάσταση Enercret δεν επηρεάζει την ικανότητα, τις ιδιότητες ούτε την δομή της θεμελίωσης.

### ***Ενεργειακές παράμετροι***

Για να μπορέσει να σχεδιαστεί μια εγκατάσταση Enercret με συγκεκριμένη ενεργειακή απόδοση, θα πρέπει να είναι εκ των προτέρων γνωστές οι ενεργειακές απαιτήσεις τις οποίες θα κληθεί να καλύψει. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να είναι γνωστές οι μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις -peak demand- (για θέρμανση και ψύξη) του κτιρίου, καθώς και η μηνιαία κατανομή τους. Στην περίπτωση μάλιστα που αναμένεται να υπάρχουν και παρατεταμένες περίοδοι θέρμανσης ή και ψύξης -οι οποίες δεν θα δίνουν την δυνατότητα στο σύστημα να ισορροπεί σύντομα και να αναπληρώνει την θερμότητα που αφαιρείται ή αποδίδεται σε αυτό-, τότε θα πρέπει να υπάρχει επιπρόσθετα και πιο λεπτομερής αναφορά (σε εβδομαδιαία βάση) της κατανομής των ενεργειακών αυτών απαιτήσεων.

### ***Φόρμες Δεδομένων***

Όλα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν καταγράφονται συγκεντρωμένα στα έντυπα φορμών 1 και 2 τα οποία συμπληρώνονται και υποβάλλονται στην εταιρεία για την εκπόνηση της προμελέτης. Δείγματα των εντύπων αυτών παρατίθενται στο τέλος του κεφαλαίου αυτού.

## 2. Φάσεις Σχεδιασμού

### Προκαταρτικές μελέτες

Στην φάση αυτή καθορίζεται το εάν μια εγκατάσταση Enercret είναι τεχνικά κατορθωτή και οικονομικά βιώσιμη (με βάση τα υποβληθέντα στοιχεία που αναφέρθηκαν ανωτέρω). Εδώ λαμβάνεται υπ' όψιν και η -τυχόν- προϋπάρχουσα κλιματιστική εγκατάσταση, όταν βέβαια αναφερόμαστε σε ήδη κατασκευασμένα κτίρια.

Συνήθως, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων για κτίρια με βαθιά θεμελίωση, η εγκατάσταση Enercret είναι και τεχνικά κατορθωτή αλλά και οικονομικά βιώσιμη. Οι ακόλουθες τιμές μας δίνουν μια γενική εκτίμηση των τυπικών τιμών της ενεργειακής απόδοσης που αναμένεται από διάφορα στοιχεία μιας εγκατάστασης Enercret:

Ενεργειακός πυλώνας Διάμετρος 30-50 cm	40 - 60 W /m μήκους
Ενεργειακός πυλώνας Διάμετρος >60 cm	35 W /m <sup>2</sup> επιφάνειας η οποία βρίσκεται σ' επαφή με το έδαφος

<p>Ενεργειακό τοιχίο (Diaphragm wall)</p>	<p>30 W /m<sup>2</sup> επιφάνειας η οποία βρίσκεται σ' επαφή με το έδαφος</p>
<p>Εδαφική πλάκα</p>	<p>15 - 30 W/m<sup>2</sup> επιφάνειας η οποία βρίσκεται σ' επαφή με το έδαφος</p>

Οι παραπάνω τιμές διαφοροποιούνται στις περιπτώσεις όπου έχουμε υπόγεια ροή νερού, παρατεταμένες περιόδους θέρμανσης - ψύξης, χαμηλή θερμοχωρητικότητα και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων του υπεδάφους.

### *Σχεδιασμός σωληνώσεων*

Στην φάση αυτή εκπονείται ο μηχανολογικός σχεδιασμός της διάταξης των σωληνώσεων.

### *Σχεδιασμός εγκατάστασης (κατασκευής)*

Στην φάση αυτή σχεδιάζεται ο τρόπος τοποθέτησης του εξοπλισμού στο κτίριο. Η όλη διαδικασία χωρίζεται σε διάφορα στάδια και λαμβάνονται υπ' όψιν τυχόν

ακραίες συνθήκες. Επίσης γίνονται δοκιμές του προς εγκατάσταση εξοπλισμού πριν την τοποθέτησή του, ώστε να διαπιστωθούν τυχόν δυσλειτουργίες ή παραλήψεις και να διορθωθούν πριν την μεταφορά στο έργο.

### *Προσομοίωση*

Στην φάση αυτή γίνεται η τελική δοκιμή βάσει όλων των προηγούμενων στοιχείων, παραμέτρων και προσχεδίων. Με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού γίνεται προσομοίωση της συνολικής εγκατάστασης Enercret σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, και αφού εξαχθούν διάφορα αποτελέσματα, αξιολογούνται, και στην συνέχεια βγαίνουν τα τελικά συμπεράσματα, γίνονται οι κατάλληλες διορθώσεις ή συμπληρώσεις (αν υπάρχουν) και το έργο περνά στην φάση της κατασκευής ακολουθώντας την πορεία που έχει αποτυπωθεί στην προηγούμενη φάση (σχεδιασμός εγκατάστασης).



# Energy piles

# Energy diaphragm walls

# Energy foundations

## Questionnaire 1: Geotechnical and structural data

Project:

Nature of soil at proposed installation site (if possible, include copy of soil investigation report):

In-situ concrete piles: Quantity:                      Diameter:                      Length:

Prefabricated piles:    Quantity:                      Cross Section:                      Length:

Diaphragm wall:        Thickness:                      Length:                      Depth:

Level of groundwater below ground: Lowest:                      Highest:

Depth of top edge of foundation slab below ground:

Moisture content of soil at construction site (e.g. dry, damp, very damp):

Temperature of groundwater or soil at construction site:

Min. temperature:                      °C in the month of:

Max. temperature:                      °C in the month of:

Groundwater flow velocity:                      Direction of flow:

Statutory requirements:

*Please include the following drawings:*

Basement plans and cross sections showing service/utility rooms. Foundation plans showing distribution of foundations (in-situ piles, prefabricate piles, diaphragm walls, slabs)

*Note:*

Nägele Energie- und Haustechnik GesmbH cannot accept any warranty obligations whatsoever if provided with inadequate or incorrect technical data. This information serves as the basis of calculating the capacity of the absorber system.

Company:

nägele  
energie- und haustechnik gmbH

Date:

Signature: .....

Bundesstraße 24  
A-6832 Röthis  
Tel. 0043/5522/3627-404  
Fax 0043/5522/3627-400  
e-mail: [info@enercret.com](mailto:info@enercret.com)  
[www.enercret.com](http://www.enercret.com)

# Energy piles

# Energy diaphragm walls

# Energy foundations

## Questionnaire 2: Energy requirements

Project:

	Heating Capacity (kW)	Heating Energy Requirement –Annual Spread (kWh/Month)	Cooling Capacity (kW)	Cooling Energy Requirement –Annual Spread (kWh/Month)	Heating Energy Requirement –Weekly Spread (%/day)		Cooling Energy Requirement –Weekly Spread (%/day)	
January					MON		MON	
February					TUES		TUES	
March					WED		WED	
April					THUR		THUR	
May					FRI		FRI	
June					SAT		SAT	
July					SUN		SUN	
August								
September					Total	100%	Total	100%
October								
November								
December								

Maximum temperatures: absorber systems fluid –in: °C

Minimum temperatures: absorber systems fluid –out: °C

Company:

Date:

Signature: .....

nägele  
energie- und haustechnik gmbH

Bundesstraße 24  
A-6832 Röthis  
Tel. 0043/5522/3627-404  
Fax 0043/5522/3627-400  
e-mail: [info@enercret.com](mailto:info@enercret.com)  
[www.enercret.com](http://www.enercret.com)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000089112