



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΟΙΚΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ / ΨΥΞΗΣ / ΠΑΡΟΧΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΓΗΙΝΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ - ΜΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

ΖΑΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ Κ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Εξεταστική Επιτροπή:

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ, Καθηγητής (Επιβλέπων)
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΡΥΤΣΑΣ, Προϊστάμενος Τμήματος Γεωθερμίας Κ.Α.Π.Ε.
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2009

*Το πραγματικό χάρισμα που έχουμε σαν άνθρωποι,
και το οποίο είναι αποκλειστικά υπεύθυνο για οτιδήποτε έχει βελτιώσει τη ζωή μας,
είναι η τεχνολογία.*

“Peter Joseph”

στην οικογένειά μου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι πλέον κοινά αποδεκτό ότι η χρήση συμβατικών καυσίμων αποτελεί σε πολλές περιπτώσεις μια οικονομικά ασύμφορη επιλογή. Η άνοδος της τιμής του πετρελαίου θεωρείται ραγδαία - πράγμα φυσιολογικό λόγω αστάθειας σε πολλές πετρελαιοπαραγωγικές χώρες αλλά και λόγω εξάντλησης των αποθεμάτων.

Επίσης η παγκόσμια κοινότητα έχει πλέον ευαισθητοποιηθεί πολύ περισσότερο απέναντι στο περιβάλλον απ' ότι τις προηγούμενες δεκαετίες εξαιτίας των ορατών πλέον επιπτώσεων στην καθημερινότητά μας - αύξηση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας, λιώσιμο παγετώνων, μόλυνση ατμοσφαιρικού αέρα κλπ . Επομένως εκτός από το οικονομικό μέρος που προαναφέρθηκε, υπάρχει και το οικολογικό κομμάτι το οποίο προβληματίζει οποιονδήποτε πρόκειται να χρησιμοποιήσει ενέργεια κάθε μορφής.

Τα παραπάνω οδήγησαν σταδιακά την επιστημονική κοινότητα στο να στραφεί στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας οι οποίες πλεονεκτούν έναντι των συμβατικών τόσο σε επίπεδο οικολογίας όσο και σε επίπεδο κόστους πλέον. Η γεωθερμική ενέργεια ανήκει στις Α.Π.Ε. προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, σε θερμά νερα, σε μίγματα των παραπάνω και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας προϋποθέτει ευνοϊκό συνδυασμό γεωλογικών συνθηκών και θερμικού φορτίου έτσι ώστε να είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος αντλιών θερμότητας και γήινου εναλλάκτη με σκοπό την θέρμανση , την ψύξη αλλά και την παροχή ζεστού νερού σε διώροφη μονοκατοικία 350m² στην περιοχή του Αγίου Κωνσταντίνου Φθιώτιδος στην επαρχία Λοκρίδας. Παρουσιάζονται τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης χώρων και γίνεται αναλυτική περιγραφή του προτεινόμενου συστήματος. Αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας και η δομή του εναλλάκτη και της γεωθερμικής αντλίας και συγκρίνεται το κόστος της προτεινόμενης εφαρμογής με το αντίστοιχο μιας συμβατικής εγκατάστασης συναρτήσει του χρόνου.

Κατόπιν συλλογής και επεξεργασίας γεωλογικών, κλιματικών και οικονομικών δεδομένων σε συνδυασμό με τις ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού, προτάθηκε ένα κλειστό σύστημα κατακόρυφων γεωεναλλακτών το οποίο σε συνδυασμό με γεωθερμική αντλία θερμότητας θα παρέχει θέρμανση, ψύξη αλλά και ζεστό νερό στο σπίτι με κόστος μικρότερο των αντίστοιχων συμβατικών μεθόδων.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παγκόσμιο ενεργειακό ενδιαφέρον στρέφεται πλέον στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό παλιότερα γινόταν μόνο για περιβαλλοντικούς σκοπούς. Σήμερα ένας επιπλέον παράγοντας που ευνοεί αυτή τη στροφή είναι η ραγδαία πλέον άνοδος της τιμής του πετρελαίου και των προϊόντων του. Έτσι οι Α.Π.Ε. εκτός από φιλικές προς το περιβάλλον είναι και οικονομικά ανταγωνιστικές.

Γεωθερμία είναι μία ελληνική λέξη που εκφράζει την φυσική θερμότητα της γης. Μιλώντας επιστημονικά η γεωθερμία είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αποθηκευμένη στο εσωτερικό της γης και η οποία ανακτάται από εμάς μέσω διαφόρων μεθόδων. Έχει σπουδαία προοπτική ανάπτυξης στην Ελλάδα τόσο σε επίπεδο θέρμανσης οικιακών χώρων, θερμοκηπίων, υδατοκαλλιεργιών και λουτροθεραπείας όσο και σε βιομηχανικές χρήσεις και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Γ. Καρυδάκης, 2005).

Η επαφή μου με την Γεωθερμία ήρθε όταν την επέλεξα ως μάθημα επιλογής στο 9^ο εξάμηνο των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης με διδάσκοντα τον καθηγητή κύριο Μαρκόπουλο Θεόδωρο. Ο λόγος που με οδήγησε στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος είναι ο εντυπωσιακός τρόπος με τον οποίο η επιστήμη της γεωθερμίας εκμεταλλεύεται κάτι τόσο συνηθισμένο αλλά και αδικημένο, όπως είναι μερικά κυβικά μέτρα γης κάτω από κάθε σπίτι, ώστε να παράγει τα θεμελιώδη για μια άνετη ζωή μέσα σ' αυτό, δηλαδή θέρμανση και ψύξη.

Η εφαρμογή της παρούσας εργασίας αφορά την θέρμανση και ψύξη μονοκατοικίας καθώς και την παροχή ζεστού νερού καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Με χρήση υπολογιστικών φύλλων στο Microsoft Excel υπολογίζεται το τελικό κόστος και γίνεται η σύγκριση με συμβατικές μορφές ενέργειας.

Με την ολοκλήρωση της Διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Dr. Κωνσταντίνο Καρύτσα, Γεωλόγο Γεωθερμικό, Προϊστάμενο του τμήματος Γεωθερμίας του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), για την βοήθεια, τις πολύτιμες συμβουλές και την καλή συνεργασία, τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Μαρκόπουλο Θεόδωρο που με έφερε σε επαφή με το αντικείμενο, για την υποστήριξή του και τον καθηγητή κύριο Εμμανουήλ Μανούτσογλου για την βοήθειά και το ενδιαφέρον του.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	4
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	5
2.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	5
2.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	7
2.4 ΧΡΗΣΕΙΣ	8
2.5 ΟΦΕΛΗ	10
2.5.1 Περιβαλλοντικά Οφέλη	10
2.5.2 Οικονομικά Οφέλη	11
2.5.3 Κοινωνικά Οφέλη	12
2.6 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	12
2.6.1 Γενικά.....	12
2.6.2 Γεωθερμικές Χρήσεις στην Ελλάδα	15
3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΓΗΙΝΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	22
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	22
3.2 ΓΗΙΝΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΓΩΓΩΝ.....	22
3.2.1 Συστήματα Κλειστού Κυκλώματος	22
3.2.2 Συστήματα Ανοιχτού Κυκλώματος	25
3.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	26
4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	32
4.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	32
4.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΙΝΗΤΟΥ	34
5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	35
5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	35
5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	39
5.2.1 Ενεργειακές Απαιτήσεις Θέρμανσης (Αντλία Θερμότητας)	39
5.2.2 Ενεργειακές Απαιτήσεις Ψύξης (Αντλία Θερμότητας)	39
5.2.3 Ενεργειακές Απαιτήσεις Θέρμανσης (Γεωεναλλάκτης).....	40
5.2.4 Ενεργειακές Απαιτήσεις Ψύξης (Γεωεναλλάκτης).....	41
5.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	42
5.3.1 Γεωεναλλάκτης	42
5.3.2 Σύνδεση με την Αντλία Θερμότητας	45
6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	48
6.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	48
6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	48
6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51
7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	52
7.1 ΣΥΝΟΨΗ.....	52
7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	53

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54
Ελληνική Βιβλιογραφία	54
Ξένη Βιβλιογραφία	54
Ηλεκτρονικές Σελίδες	55
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	55
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	56
1.1 Υποδιαίρεση της χώρας κατά κλιματική ζώνη	56
1.2 Κατάταξη πόλεων και περιοχών σε κλιματικές ζώνες.....	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

2.1 Περιοχές δημιουργίας γεωθερμικών πεδίων.....	6
2.2 Στοιχειώδεις κομμάτι εναλλάκτη θερμότητας	10
2.3 Ξενώνας Τραϊανούπολης, ένα εκ των 4 θερμαινόμενων κτηρίων.....	15
2.4 Εναλλάκτης θερμότητας στην συγκεκριμένη εφαρμογή.....	15
2.5 Ξενώνας Τραϊανούπολης, εσωτερικό δωματίου με ενδοδαπέδια θέρμανση	16
2.6 Μηχανοστάσιο του Δημαρχείου Πυλαίας με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.....	17
2.7 Ευρ. Κέντρο Δημ. Δικαίου, άποψη του κτιρίου κατά τη διάρκεια των εργασιών....	18
2.8 Ευρ. Κέντρο Δημ. Δικαίου, υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας.....	18
2.9 Άποψη του κτιρίου γραφείων του Κ.Α.Π.Ε.....	19
2.10 Γραφεία Κ.Α.Π.Ε., γεώτρηση που τροφοδοτεί την αντλία θερμότητας.....	20
2.11 Γραφεία Κ.Α.Π.Ε., αερόθερμο δαπέδου τροφοδοτούμενο από την αντλία θερμότητας.....	20
2.12 Κτίριο Μεταλλειολόγων, κατακόρυφοι εναλλάκτες θερμότητας εδάφους	21
3.1 Κατακόρυφο κλειστό σύστημα γεωεναλλάκτη συνδεδεμένου με ΓΑΘ.....	23
3.2 Διάφοροι τύποι εγκατάστασης σωλην. εντός της γεώτρησης στα κατακόρυφα συστήματα.....	24
3.3 Οριζόντιο κλειστό σύστημα γεωεναλλάκτη συνδεδεμένου με ΓΑΘ	24
3.4 Διάφοροι τύποι εγκατάστασης σωληνώσεων σε κατακόρυφα και οριζόντια συστήματα.....	25
3.5 Διάταξη ανοικτού γεωθερμικού συστήματος	26
3.6 Ψυκτικός κύκλος στη λειτουργία θέρμανσης	30
3.7 Ισοζύγιο Ενεργειών.....	31
4.1 Χάρτης της περιοχής της Λοκρίδας.....	34
4.2 Επεξεργασμένος Γεωλογικός Χάρτης «Μύλοι».....	34
4.3 Δορυφορική εικόνα της περιοχής της Λοκρίδας	35
5.1 Υποδιαίρεση της Ελλάδος σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις ΒΗΘ θέρμανσης.....	37
5.2 Σχηματική αναπαράσταση της εφαρμογής	43
5.3 Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου κλειστού συστήματος.....	46
6.1 Διάγραμμα σύγκρισης κόστους γεωθερμικού και συμβατικού συστήματος.....	52

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1.1 Εγκατεστημένη θερμική ισχύς σε παγκόσμια κλίμακα	2
1.2 Μη ηλεκτρικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας ανά τον κόσμο	3
2.1 Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικές μονάδες παγκοσμίως	9
5.1 Ταξινόμηση των ελληνικών πόλεων σε κλιματικές ζώνες	38
5.2 Ειδικές απολήψεις / αποδόσεις συνήθων πετρωμάτων / εδαφών	16
6.1 Ετήσια κόστη ΓΑΘ και συμβατικών συστημάτων	17
6.2 Τιμές αγοράς και εγκατάστασης γεωθερμικού συστήματος	18
6.3 Σύγκριση κόστους για διάστημα 20 ετών	18

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι συχνές πετρελαϊκές κρίσεις από την δεκαετία του '70, και η εμφάνιση των περιβαλλοντικών ζητημάτων από την δεκαετία του '80, προκάλεσαν το ενδιαφέρον πολλών χωρών για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδесμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Ως "ανανεώσιμες πηγές" θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο, πυρηνικά καύσιμα).

Η γη διαθέτει τεράστια αποθέματα θερμικής ενέργειας. Θεωρητικά θα μπορούσε να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της, πρακτικά να συμμετέχει σε μεγάλο ποσοστό. Συνήθως ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» χρησιμοποιείται σήμερα για να δηλώσει το μέρος της γήινης θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο (Γ. Καρυδάκης, 2005).

Η παρουσία ηφαιστείων, θερμών πηγών και άλλων επιφανειακών εκδηλώσεων θερμότητας είναι αυτή που οδήγησε τους προγόνους μας στο συμπέρασμα ότι το εσωτερικό της γης είναι ζεστό. Όμως μόλις κατά την περίοδο μεταξύ 16ου και 17ου αιώνα, όταν δηλαδή κατασκευαστήκαν τα πρώτα μεταλλεία σε βάθος μερικών εκατοντάδων μέτρων, οι άνθρωποι μέσω απλών παρατηρήσεων συμπέραναν ότι η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος.

Η θερμική ενέργεια της γης είναι απέραντη, όμως μόνο τμήμα αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί τελικά από τον άνθρωπο. Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα μέσο (νερά, ατμοί, σχετικά θερμά πετρώματα) να «μεταφέρει» τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτήν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι γεωθερμικοί πόροι (geothermal resources).

Μετά το 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε ελκυστική σε πολλές χώρες, επειδή ήταν ανταγωνιστική ως προς άλλες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η ενέργεια αυτή δε χρειαζόταν να εισαχθεί από άλλες χώρες, όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα ενώ σε πολλές περιπτώσεις αποτελούσε τον μοναδικό διαθέσιμο εγχώριο ενεργειακό πόρο. Στον Πίνακα 1.1 αναφέρονται οι χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για παραγωγή

ηλεκτρισμού, καθώς και η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς: 1995 (6.833 MWe), 2000 (7.974 MWe) και τα ποσοστά για την περίοδο 1995 - 2000 (Huttrer, 2001). Στον ίδιο Πίνακα φαίνεται επίσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις αρχές του 2003 (9.028 MWe).

Πίνακας 1.1: Εγκατεστημένη θερμική ισχύς σε παγκόσμια κλίμακα, από το 1995 έως το 2000 (Huttrer, 2001) και στις αρχές του 2003.

Country	1995 (MWe)	2000 (MWe)	1995-2000 (increase in MWe)	% increase (1995- 2000)	2003 (MWe)
Argentina	0.67	-	-	-	-
Australia	0.15	0.15	-	-	0.15
Austria	-	-	-	-	1.25
China	28.78	29.17	0.39	1.35	28.18
Costa Rica	55	142.5	87.5	159	162.5
El Salvador	105	161	56	53.3	161
Ethiopia	-	7	7	-	7
France	4.2	4.2	-	-	15
Germany	-	-	-	-	0.23
Guatemala	-	33.4	33.4	-	29
Iceland	50	170	120	240	200
Indonesia	309.75	589.5	279.75	90.3	807
Italy	631.7	785	153.3	24.3	790.5
Japan	413.7	546.9	133.2	32.2	560.9
Kenya	45	45	-	-	121
Mexico	753	755	2	0.3	953
New Zealand	286	437	151	52.8	421.3
Nicaragua	70	70	-	-	77.5
Papua New Guinea	-	-	-	-	6
Philippines	1227	1909	682	55.8	1931
Portugal	5	16	11	220	16
Russia	11	23	12	109	73
Thailand	0.3	0.3	-	-	0.3
Turkey	20.4	20.4	-	-	20.4
USA	2816.7	2228	-	-	2020
TOTAL	6833.35	7972.5	1728.54	16.7	8402.21

Η γεωθερμική ενέργεια συμμετέχει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο αρκετών περιοχών. Για παράδειγμα, το 2001 η ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε από γεωθερμικούς πόρους αντιπροσώπευε το 27% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στις Φιλιππίνες, το 12,4 % στην Κένυα, το 11,4% στην Κόστα Ρίκα και το 4,3% στο Ελ Σαλβαδόρ. Όσον αφορά τις μη-ηλεκτρικές ή άμεσες εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας, ο Πίνακας 2 δίνει την εγκατεστημένη ισχύ

(15.145 MW) και την ενεργειακή παραγωγή και χρήση (190.699 TJ) σε παγκόσμια κλίμακα για το έτος 2000. Κατά τη διάρκεια του έτους αυτού, άμεσες χρήσεις (direct uses) της γεωθερμίας καταγράφηκαν σε 58 χώρες, σε σύγκριση με τις 28 χώρες το 1995 και τις 24 χώρες το 1985. Ο αριθμός των χωρών αυτών είναι πολύ πιθανόν να έχει αυξηθεί από το 2000, όπως φυσικά και το ύψος της εγκατεστημένης ισχύος και της ενεργειακής χρήσης. Η πιο συνηθισμένη μη-ηλεκτρική χρήση της γεωθερμίας παγκόσμια είναι οι αντλίες θερμότητας (heat pumps) (34,8%) και ακολουθούν η λουτροθεραπεία (26,2%), η θέρμανση χώρων (21,6%), η θέρμανση θερμοκηπίων (8,2%), οι υδατοκαλλιέργειες (3,9%) και οι βιομηχανικές χρήσεις (3,1%) (Lund and Freeston, 2001).

Πίνακας 1.2: Μη-ηλεκτρικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας ανά τον κόσμο (2000): εγκατεστημένη ισχύς (σε MW) και ενεργειακή χρήση (σε TJ/έτος)(Lund and Freeston, 2001).

Country	Power (MWt)	Energy (TJ/year)
Egypt	1	15
Finland	80.5	484
France	326	4895
Georgia	250	6307
Germany	397	1568
Greece	57.1	385
Guatemala	4.2	117
Honduras	0.7	17
Hungary	472.7	4086
Iceland	1469	20170
India	80	2517
Indonesia	2.3	43
Israel	63.3	1713
Italy	325.8	3774
Japan	1167	26933
Jordan	153.3	1540
Kenya	1.3	10
Korea	35.8	753
Lithuania	21	599
Skopje	81.2	510
Mexico	164.2	3919
Nepal	1.1	22
Netherlands	10.8	57
New Zealand	307.9	7081
Norway	6	32
Peru	2.4	49
Philippines	1	25
Poland	68.5	275
Portugal	5.5	35

Romania	152.4	2871
Russia	308.2	6144
Serbia	80	2375
Slovak Republic	132.3	2118
Slovenia	42	705
Sweden	377	4128
Switzerland	547.3	2386
Thailand	0.7	15
Tunisia	23.1	201
Turkey	820	15756
United Kingdom	2.9	21
USA	3766	20302
Venezuela	0.7	14
Yemen	1	15
Total	15145	190699

2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι περιβαλλοντικές αλλά και οικονομικές συνθήκες σήμερα δημιουργούν μια τάση απεξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας. Αυτό είναι κάτι που παρατηρείται σε όλες τις κλίμακες. Στην ηλεκτροπαραγωγή, σε οικιακή κλίμακα, ακόμα και στην αυτοκινητοβιομηχανία παρατηρείται μία στροφή προς τις Α.Π.Ε. όπως είναι ο ήλιος, ο άνεμος και η γεωθερμία. Αυτές οι μορφές ενέργειας είναι πολύ λιγότερο έως και καθόλου ρυπογόνες αλλά πλέον, αν λάβει κανείς υπόψη την συνεχώς ανοδική πορεία της τιμής του πετρελαίου, των προϊόντων του αλλά και του φυσικού αερίου παρατηρεί ότι οι Α.Π.Ε. είναι και συμφέρουσες οικονομικά.

Τα πλεονεκτήματα της γεωθερμίας έναντι των συμβατικών μορφών ενέργειας είναι η μηδαμινή ρύπανση του αέρα από εκπομπές CO₂, ο πολύ μικρότερος θόρυβος, οι μικρότερες απαιτήσεις σε εγκαταστάσεις. Υπερτερεί όμως και έναντι των υπολοίπων Α.Π.Ε. καθώς είναι διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών (ηλιοφάνειας, ανέμου κλπ) και συγκεκριμένα αναφορικά με τις εφαρμογές Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (Γ.Α.Θ.) η εγκατάστασή τους πρακτικά γίνεται οπουδήποτε αφού οι απαιτήσεις σε χώρο είναι σχετικά μικρές όπως θα δούμε και στο κυρίως μέρος της παρούσας εργασίας.

2.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στην επιστήμη της γεωθερμίας υπάρχουν κάποια μεγέθη τα οποία είναι σημαντικά για την καλύτερη κατανόηση της δημιουργίας και εκμετάλλευσης των γεωθερμικών πεδίων και πόρων και τα οποία πρέπει να εξηγήσουμε.

Σύμφωνα με τους Φυτίκα και Ανδρίτσο ένα συνηθισμένο γεωθερμικό πεδίο αποτελείται από τρία μέρη:

Πηγή θερμότητας: μπορεί να είναι είτε μια μαγματική διείσδυση (με θερμοκρασίες 600 - 1200 °C) η οποία έφτασε σε σχετικά μικρά βάθη (3 - 10km), είτε η κανονική θερμική ροή της γης που δημιουργεί όλο και θερμότερους σχηματισμούς όσο βαθύτερα βρισκόμαστε.

Ταμιευτήρας: αποτελείται από ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων που επιτρέπουν την εύκολη κυκλοφορία ή τον εγκλωβισμό των ρευστών τα οποία απάγουν θερμότητα.

Ρευστά: Νερά μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης που συχνά περιέχουν σημαντικές ποσότητες διαλυμένων στερεών ουσιών και αερίων. Η κατάστασή τους εξαρτάται από την πίεση και τη θερμοκρασία τους.

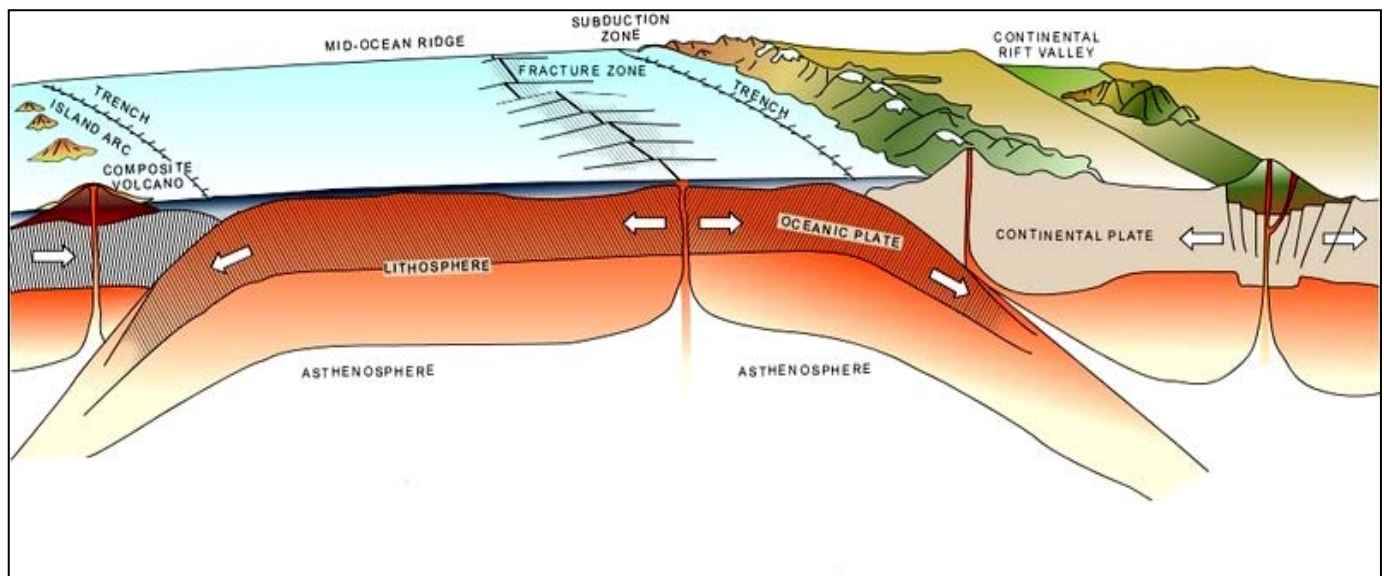
Γεωθερμική Βαθμίδα είναι ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της γης συναρτήσει του βάθους. Η μέση τιμή της είναι 1 °C ανά 30m αλλά δεν είναι σταθερή σε όλα τα σημεία του πλανήτη, και αυτό συμβαίνει επειδή επηρεάζεται από διάφορους γεωλογικούς παράγοντες που αναλύονται αμέσως παρακάτω:

Θετική Θερμική Ανωμαλία έχουμε στις περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι μεγαλύτερη από την κανονική. Υπάρχει δηλαδή γεωθερμικό πεδίο. Αυτές είναι και οι περιοχές με το μεγαλύτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Είναι περιοχές στις οποίες η θερμότητα της γης φτάνει μέχρι ένα εκμεταλλεύσιμο βάθος λόγω διαφόρων συνθηκών.

Έτσι γεωθερμικά πεδία παρατηρούνται σε:

- Όρια αποκλίνουσων λιθοσφαιρικών πλακών όπου νέο μάγμα αναδύεται από το εσωτερικό της γης, σχηματίζει νέο ωκεάνιο φλοιό, ο οποίος στη συνέχεια ενσωματώνεται στις πλάκες. Τα όρια αυτά αποτελούν τις κορυφογραμμές των υποθαλάσσιων οροσειρών που καλούνται μεσοωκεάνιες ράχες. Σε σπάνιες περιπτώσεις τμήματα των μεσοωκεάνιων ραχών βγαίνουν πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και σχηματίζουν νησιά όπως η Ισλανδία και οι Αζόρες Νήσοι.

- Όρια συγκλινουσών πλακών όπου δύο λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν ώστε η μία πλάκα να ολισθαίνει και να βυθίζεται κάτω από την άλλη. Εκεί δημιουργούνται ωκεάνιες τάφροι, συστήματα νησιωτικών τόξων και πτυχωσιγενείς οροσειρές (κορδιλιέρες). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η βύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική. Ο νέος ωκεάνιος φλοιός που δημιουργείται στις μεσοωκεάνιες ράχες, ισορροπείται από τον φλοιό που καταστρέφεται κατά τη σύγκλιση των πλακών και έτσι η συνολική επιφάνεια των λιθοσφαιρικών πλακών παραμένει σχεδόν σταθερή.
- Όρια ολισθαίνουσων πλακών όπου οι πλάκες ολισθαίνουν και μετατοπίζονται η μία σε σχέση με την άλλη χωρίς απόκλιση ή σύγκλιση. Αυτό λαμβάνει χώρα κατά μήκος μεγάλων ηπειρωτικών ή ωκεάνιων ρηγματογενών ζωνών με οριζόντια μετακίνηση. Αυτά τα ρήγματα λέγονται και ρήγματα μετασχηματισμού. Παράδειγμα τέτοιου ρήγματος αποτελεί το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. στο οποίο δεν λαμβάνει χώρα ηφαιστειακή δραστηριότητα αλλά έντονη σεισμικότητα. Τα παραπάνω φαίνονται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Περιοχές δημιουργίας γεωθερμικών πεδίων (Φυτίκας, Ανδρίτσος, 2004).

Η γεωθερμική ενέργεια υπάρχει αποθηκευμένη στις εξής μορφές (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004) :

- *Υδροθερμικά συστήματα:* φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά τα οποία βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μια εστία θερμότητας και συχνά

εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων (θερμές πηγές, geysers, ατμίδες, λεκάνες ιλύος, θερμά εδάφη). Τα γεωθερμικά ρευστά διακρίνονται σε χαμηλής μέσης και υψηλής ενθαλπίας ανάλογα με την θερμοκρασία τους. Έτσι ισχύει:

Χαμηλής Ενθαλπίας < 90 °C < Μέσης Ενθαλπίας < 150 °C < Υψηλής Ενθαλπίας

με τα πεδία υψηλής ενθαλπίας να χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας που μπορούν να προσφέρουν.

Γεωπεπιεσμένα συστήματα: αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος, βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και η πίεσή τους υπερβαίνει την υδροστατική. Συνυπάρχουν με υδρογονάνθρακες.

Συστήματα βαθέων θερμών - ξηρών πετρωμάτων: πετρώματα σε βάθος από 3 μέχρι 10 km χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών.

Μαγματικά συστήματα: μαγματικές διεισδύσεις σε μικρό σχετικά βάθος.

Αβαθής γεωθερμία: εκμεταλλευόμαστε την σταθερή θερμοκρασία του εδάφους μετά τα 5m και λαμβάνουμε ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη (μέχρι 100m) με την ανακυκλοφορία ρευστού σε γεωτρήσεις. Είναι και η περισσότερο χρησιμοποιούμενη σε εγκαταστάσεις θέρμανσης - ψύξης αφού αυτές δεν απαιτούν μεγάλες θερμοκρασίες. Η αβαθής γεωθερμία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και αν δεν υπάρχει γεωθερμικό πεδίο στην περιοχή. Πρακτικά μπορεί να εφαρμοστεί παντού.

Στην αβαθή γεωθερμία ανήκει και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας αφού θα εκμεταλλευτούμε την σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους με κλειστό κύκλωμα γεωτρήσεων και αντλία θερμότητας.

2.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Για την αξιολόγηση της οικονομικότητας του γεωθερμικού προϊόντος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί τεχνικο-οικονομικοί παράγοντες όπως το κόστος των γεωτρήσεων, η θερμοκρασία, η παροχή, και η ποιότητα των ρευστών. Με τα σημερινά οικονομικά και τεχνολογικά δεδομένα, είναι ασύμφορη η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας από βάθη μεγαλύτερα των 3000m. Για την οικονομικότητα της εκμετάλλευσης απαιτείται γεωθερμική ενέργεια η οποία είναι συγκεντρωμένη

κοντά στην επιφάνεια και κατα το δυνατόν ανανεώσιμη. Δηλαδή να μπορούμε να ανακτήσουμε την ενέργεια από γεωθερμικά ρευστά σε καλούς υδροπερατούς σχηματισμούς, οι οποίοι επανατροφοδοτούνται επαρκώς από την επιφάνεια και είναι καλυμμένοι από αδιαπέρατα πετρώματα. Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι αρκετά αξιόλογα πεδία δεν παρουσιάζουν σχεδόν καθόλου επιφανειακές ενδείξεις.

Η γεωθερμική έρευνα, εκτός από τον εντοπισμό των κατάλληλων περιοχών και σημείων για γεωτρήσεις, προσεγγίζει και τις πραγματικές συνθήκες του γεωθερμικού πεδίου. Έτσι δίνει πολύτιμες πληροφορίες για τον περαιτέρω χειρισμό του πεδίου κατά την εκμετάλλευση αλλά και πιο πριν κατά τον σχεδιασμό της.

Η γεωθερμική έρευνα περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

1. Στο αρχικό στάδιο γίνεται αξιολόγηση των υπαρχόντων στοιχείων της ευρύτερης περιοχής που αφορούν στη γεωλογία, στην τεκτονική, στα θερμομετρικά στοιχεία, στις επιφανειακές θερμές εκδηλώσεις και στα τυχόν γεωφυσικά δεδομένα. Με βάση τη μελέτη αυτή αποκλείονται ή εντοπίζονται περιοχές πιθανού γεωθερμικού ενδιαφέροντος.
2. Στο δεύτερο στάδιο μελετάται η γεωλογία (στρωματογραφία, πετρογραφία, τεκτονική, ηφαιστειότητα), η υδρολογία (κυκλοφορία, προέλευση και τροφοδοσία νερού, στεγανοί και υδροπερατοί σχηματισμοί, ρήγματα κυκλοφορίας κλπ), η γεωχημεία (προέλευση, τροφοδοσία, ποιότητα και θερμοκρασία βάθους ρευστών, υδροθερμικά εξαλλοιωμένα πετρώματα), η γεωφυσική έρευνα (μαγνητική, βαρυτομετρική, σεισμική, ηλεκτρική μέθοδος) η γεωλογική δομή της περιοχής και γίνεται η θερμομετρική έρευνα (θερμοκρασία, θερμική ροή) σε υπάρχουσες γεωτρήσεις.
3. Στο τρίτο στάδιο εκτελούνται ερευνητικές γεωτρήσεις με βάση την ερμηνεία των μέχρι τώρα δεδομένων ώστε να επιτευχθεί πλήρης περιγραφή των γεωλογικών και γεωθερμικών συνθηκών της περιοχής και να περιχαραχθεί το γεωθερμικό πεδίο.
4. Τέλος ακολουθεί το στάδιο εκτέλεσης παραγωγικών γεωτρήσεων για την εκτίμηση των υδραυλικών παραμέτρων του γεωθερμικού ταμιευτήρα και των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των γεωθερμικών ρευστών.

2.4 ΧΡΗΣΕΙΣ

Οι χρήσεις της γεωθερμίας χωρίζονται σε ηλεκτρικές και άμεσες. Ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150 °C χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για παραγωγή ηλεκτρικής

ενέργειας ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών και γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας χωρίς να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια.

Στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η μετατροπή της γεωθερμότητας σε ηλεκτρική ενέργεια γίνεται με τη χρήση ατμοστροβίλων. Στον Πίνακα 2.1 παρατίθεται η εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ενέργειας από γεωθερμικές μονάδες για το έτος 2000.

Πίνακας 2.1: Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικές μονάδες για το έτος 2000 παγκοσμίως (Huttrer, 2001).

ΧΩΡΑ	MWe	ΧΩΡΑ	MWe	ΧΩΡΑ	MWe
Η.Π.Α.	2.228	Ν.Ζηλανδία	437	Γουατεμάλα	33
Φιλιππίνες	1.909	Ισλανδία	170	Κίνα	29
Ιταλία	785	Ελ Σαλβαδόρ	161	Ρωσία	23
Μεξικό	755	Κοσταρική	142	Τουρκία	20
Ινδονησία	589	Νικαράγουα	70	Υπόλοιπες	31
Ιαπωνία	547	Κένυα	45	ΣΥΝΟΛΟ	7.974

Οι πιο συνηθισμένες άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας είναι:

- Θέρμανση χώρων (αντλίες θερμότητας)
- Ιαματικές και τουριστικές χρήσεις (λουτροθεραπείες, πισίνες, κολυμβητήρια)
- Αγροτικές Χρήσεις (θέρμανση θερμοκηπίων, ξήρανση αγροτικών προϊόντων)
- Βιομηχανικές Χρήσεις (αφαλάτωση νερού, γη διατόμων)
- Υδατοκαλλιέργειες
- Μονάδες αξιοποίησης γεωθερμικών ρευστών (βορικό οξύ στο Larderello, κάλιο και μαγνήσιο στο Μεξικό)

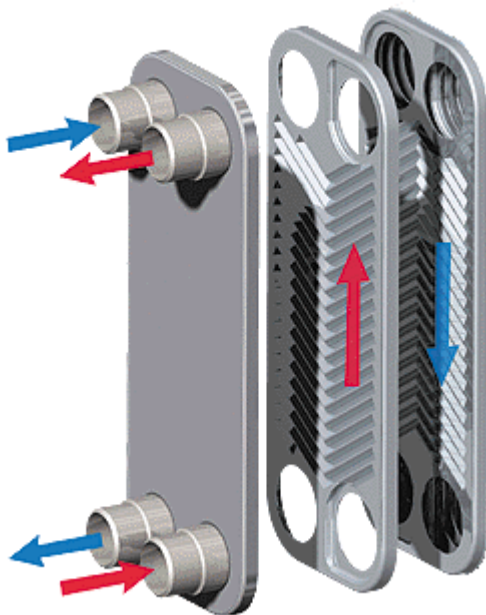
Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για άμεσες χρήσεις στην Ελλάδα εμφανίζεται μετά το 1985. Το 2005 η εγκατεστημένη ισχύς της χώρας είναι περίπου 60 MW αν και οι δυνατότητές της είναι σαφώς μεγαλύτερες. Η Ελλάδα μαζί με την Ιταλία, την Πορτογαλία και τη Γαλλία είναι οι μόνες χώρες της Ε.Ε. που διαθέτουν πεδία υψηλής ενθαλπίας και τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σημαντικό ρόλο σε όλες τις περιπτώσεις που χρησιμοποιούμε τα γεωθερμικά ρευστά της γης, παίζουν και τα προβλήματα επικαθίσεων και διαβρώσεως των αγωγών, διάθεσης των

ρευστών και τα προβλήματα εκπομπών ορισμένων τοξικών αερίων ιδίως του υδροθείου. Οι επικαθίσεις ελατώνουν σημαντικά τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, βοηθούν στην διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και αυξάνουν την πτώση πίεσης των ρευστών μέσα στους αγωγούς. Αυτό συμβαίνει διότι τα γεωθερμικά ρευστά, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της μακράς παραμονής τους σε επαφή με διάφορα πετρώματα, περιέχουν σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αλάτων και αερίων. Η αλλαγή των θερμοδυναμικών συνθηκών που λαμβάνει χώρα στο στάδιο της εκμετάλλευσης προκαλεί ευνοϊκές συνθήκες για την χημική προσβολή των μεταλλικών επιφανειών, την απόθεση διαλυμένων ή αιωρούμενων συστατικών και την απελευθέρωση στο περιβάλλον επιβλαβών ουσιών. Τα διαβρωμένα τμήματα συνήθως αντικαθίστανται και οι επικαθίσεις απομακρύνονται με χημικά και μηχανικά μέσα.

Γενικά όταν ο χημισμός των γεωθερμικών ρευστών προκαλεί τέτοιου είδους προβλήματα χρησιμοποιούνται εναλλάκτες θερμότητας (Σχήμα 2.2) οι οποίοι μεταφέρουν την ενέργεια από το ρευστό στην αντλία θερμότητας. Η χρήση εναλλάκτη θα αναλυθεί παρακάτω αφού περιλαμβάνεται και στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Σχήμα 2.2: Βασικό κομμάτι εναλλάκτη θερμότητας.



(Πηγή : www.genemco.com)

2.5 ΟΦΕΛΗ

Με μια πρώτη ματιά θα έλεγε κανείς ότι τα οφέλη από την χρήση της γεωθερμίας και γενικά των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι περιβαλλοντικά, πράγμα που αποδεδειγμένα ισχύει. Όμως λαμβάνοντας υπόψη τη ραγδαία άνοδο των τιμών των συμβατικών καυσίμων είμαστε σε θέση να λέμε ότι προκύπτουν και οικονομικά οφέλη καθώς σε πολλές περιπτώσεις η χρήση γεωθερμίας συμφέρει. Κατά συνέπεια αφού υπάρχουν οικονομικά οφέλη, υπάρχουν και κοινωνικά με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και νέων επαγγελμάτων.

2.5.1. Περιβαλλοντικά Οφέλη

Μια γεωθερμική εφαρμογή για θέρμανση χώρων δεν εκπέμπει ρύπους CO₂ σε αντίθεση με την συμβατική εφαρμογή του λέβητα πετρελαίου. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.2) παρουσιάζεται μια σύγκριση εκπομπών CO₂ για συμβατικά και γεωθερμικά συστήματα.

Πίνακας 2.2: Σύγκριση εκπομπών CO₂ για συμβατικά και γεωθερμικά συστήματα.

ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ (kg/MWh)
Άνθρακας	310
Πετρέλαιο	250
Φυσικό Αέριο	176
Γεωθερμία	0

(Πηγή: European Geothermal House www.geothermie.de)

Επίσης όταν το σύστημα των αγωγών είναι κλειστό (ανακυκλούμενο ρευστό) δεν υπάρχει καμία αλληλεπίδραση με το περιβάλλον έτσι ώστε να προκληθεί ρύπανση. Αλλά ακόμα και σε περιπτώσεις χρήσης ανοιχτού συστήματος (τροφοδοσία σε γεωθερμικό ρευστό από υδρογεώτρηση) μεριμνάται η επανεισαγωγή του ρευστού στον υδροφόρο προκειμένου να μην διαταραχθεί η περιβαλλοντική ισορροπία. Τα είδη αγωγών (κλειστά και ανοιχτά) περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.

2.5.2 Οικονομικά Οφέλη

Τα οικονομικά οφέλη προκύπτουν από την ανεξαρτητοποίηση του καταναλωτή από το πετρέλαιο και την άνοδο της τιμής του παγκοσμίως, αφού η γεωθερμία αποτελεί εγχώρια πηγή ενέργειας χαμηλού κόστους, με χαμηλές δαπάνες συντήρησης. Αυτό το πλεονέκτημα είναι και ένα πολύ δυνατό επιχείρημα για την προώθηση της γεωθερμίας σε εθνικό επίπεδο.

Η ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας σε μία περιοχή οδηγεί και στην οικονομική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής, αφού παρέχει φθηνή ενέργεια και δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας. Συμβάλει στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων. Αν και το κόστος παγίων είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, το λειτουργικό κόστος των γεωθερμικών μονάδων είναι αρκετά μικρότερο από τις άλλες μορφές ενέργειας, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας στις οποίες το κόστος συντήρησης είναι σχεδόν μηδαμινό.

Επίσης η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο, με γνωστή και καθιερωμένη τεχνολογία, σε αντίθεση με άλλες ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, κύματα - παλίρροιες), οι οποίες δεν μπορούν να παρέχουν συνεχώς ενέργεια και η χρήση τους προϋποθέτει αξιόπιστες τεχνολογίες αποθήκευσης της ενέργειας.

Άλλο ένα πλεονέκτημα της γεωθερμίας είναι ότι η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας στο θέμα της αβαθούς γεωθερμίας, καθιστά δυνατή τη χρήση της πρακτικά οπουδήποτε και όλες τις εποχές του έτους (σε συνδυασμό με την ψύξη).

2.5.3 Κοινωνικά Οφέλη

Η γεωθερμία είναι μια σχετικά νέα επιστήμη, τουλάχιστον στις περισσότερες χώρες. Αυτό δημιουργεί προϋποθέσεις για ανάπτυξη του ανταγωνισμού και της επιχειρηματικότητας. Παράλληλα δημιουργούνται θέσεις εργασίας επάνω σε ένα εξ' ολοκλήρου νέο επιστημονικό αντικείμενο το οποίο με σωστό χειρισμό μπορεί βοηθήσει κατά πολύ στην ανάπτυξη σχετικού εργατικού δυναμικού.

2.6 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

2.6.1 Γενικά

Τα αποθέματα γεωθερμικής ενέργειας είναι τεράστια σε παγκόσμιο επίπεδο και πολύ μεγάλα στη χώρα μας. Η Ελλάδα είναι μια γεωθερμικά ευνοημένη χώρα λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, έντονης ηφαιστειακής και σεισμικής δραστηριότητας και έντονης παρουσίας σχετικά νέων ρηγμάτων. Αυτό έχει αποδειχθεί πειραματικά με μετρήσεις και γεωτρήσεις. Είναι μαζί με την Ιταλία, την Πορτογαλία (Αζόρες Νήσοι) και τη Γαλλία (νήσος Γουαδελούπη στην Καραϊβική) οι μόνες χώρες της Ε.Ε. που διαθέτουν πεδία υψηλής ενθαλπίας. Επίσης υπάρχει πληθώρα περιοχών

στην Κεντρική, Βόρεια και Αιγαιακή Ελλάδα με θερμοκρασίες ταμιευτήρων που μερικές φορές ξεπερνούν τους 100 °C.

Δυστυχώς όμως η αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας μας βρίσκεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο. Συνήθως τα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα βρίσκουν εφαρμογή στη λουτροθεραπεία, ένα μικρό ποσοστό στην θέρμανση θερμοκηπίων και μόλις τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να εφαρμόζεται δυναμικά η φιλοσοφία των αντλιών θερμότητας σε κτίρια. Η εγκατεστημένη ισχύς των γεωθερμικών εφαρμογών χαμηλής θερμοκρασίας (μέχρι 90 °C) στο τέλος του 2008 στην Ελλάδα, υπερέβαινε τα 115 MW_{th} (Μ.Φυτίκας, 2009). Όλα τα γνωστά σήμερα ελληνικά γεωθερμικά πεδία ανέρχονται σε περίπου 40 (βεβαιωμένα και πιθανά σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία), ενώ οι περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος είναι πολύ περισσότερες. Τα βέβαια και πιθανά αποθέματα υψηλής ενθαλπίας στα νησιά Μήλο και Νίσυρο μόνο, μπορούν να υποστηρίξουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής της τάξης των 250 MW_e εγκατεστημένης ισχύος ενώ τα δυνατά είναι πολύ μεγαλύτερα. Η τυχόν αξιοποίησή τους θα μειώσει τις εκπομπές CO₂ σε σχέση με ισοδύναμης ισχύος λιγνιτικό σταθμό, περίπου κατά 2,5 εκ τόνους ετησίως. Πρέπει εδώ να επισημάνουμε ότι η Ε.Ε. έχει θέσει ως στόχο τη συμμετοχή των Α.Π.Ε. στο ενεργειακό ισοζύγιο κάθε χώρας κατά 20% μέχρι το 2020 (για την Ελλάδα κατά 18%) σε σχέση με το 2005. (Γεωργακόπουλος και Χατζηγιάννης, 2009).

Το Αιγαίο είναι μια περιοχή η οποία επηρεάζεται από την σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών, με την Αφρικανική πλάκα να καταβυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική, με συνέπεια την εμφάνιση ενός ενεργού ηφαιστειακού τόξου που εκτείνεται από το Σουσάκι Κορινθίας μέχρι την Κω περνώντας κάτω από τις Κυκλάδες. Σε αυτό το τόξο ανήκει το ηφαίστειο της Σαντορίνης και τα γεωθερμικά πεδία της Μήλου και της Νισύρου. Αυτά τα πεδία οφείλονται στην εμφάνιση αυξημένων όγκων βασικού μάγματος σε βάθος 3 - 5 km.

Μετά από ολοκληρωμένη γεωθερμική έρευνα (1971-73) στη Μήλο, η Δ.Ε.Η. αποφάσισε την εκτέλεση (1975-76) δύο γεωτρήσεων για τον εντοπισμό γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας σε βάθος 1000m με θερμοκρασίες ταμιευτήρα 300 - 320 °C και αξιόλογες ποσότητες ρευστών. Έγιναν τρεις επιπλέον παραγωγικές γεωτρήσεις οι οποίες εντόπισαν στα 1000 - 1300m θερμοκρασίες 290 - 320 °C με παροχή 40 - 120 τόνους ανά ώρα μίγματος υγρού - ατμού. Η θερμοκρασία στην κεφαλή των γεωτρήσεων ήταν 180 - 240 °C και το δυναμικό των γεωτρήσεων εκτιμήθηκε ότι θα μπορούσε να υποστηρίξει μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των 25 MW_e, ενώ το συνολικό

δυναμικό του νησιού εκτιμήθηκε άνω των 120 MWe. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε το 1985 με την εγκατάσταση μονάδας 2 MWe η οποία όμως αντιμετώπισε προβλήματα επικαθίσεων και εκπομπής υδροθείου η οποία προκάλεσε και τις έντονες αντιδράσεις των κατοίκων του νησιού. Τότε σταμάτησε και η λειτουργία της μονάδας (Φυτίκας, 2009).

Παρόμοια ερευνητική προσπάθεια έγινε και στη Νίσυρο με τη Δ.Ε.Η. να εντοπίζει θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 350 °C σε βάθη 1550 - 1820m με αξιόλογες ποσότητες γεωθερμικών ρευστών. Το συνολικό δυναμικό του νησιού εκτιμήθηκε στα 50 MWe.

Η περιοχή του κεντρικού και βορείου Αιγαίου χαρακτηρίζεται από εφελκυστική τεκτονική με μεγάλα βαθιά ρήγματα μέσω των οποίων κυκλοφορούν γεωθερμικά ρευστά. Τα ρήγματα αυτά είναι προέκταση του μεγάλου ρήγματος της Ανατολίας που ξεκινά από τη βόρεια Τουρκία, διασχίζει το Β. Αιγαίο και καταλήγει στη λεκάνη του Σπερχειού. Το ρήγμα αυτό εμφανίστηκε κατά το Αν. Μειόκαινο, οπότε ενεργοποιήθηκε πάλι ο χώρος των τεκτονικών βυθισμάτων με συνέπεια τη συγκέντρωση θερμικής ενέργειας και τη δημιουργία κυρίως θερμικών πεδίων χαμηλής και πιθανόν μέσης ενθαλπίας (Καρυδάκης, 2005).

Στην πεδινή περιοχή του δέλτα Νέστου έχουν εντοπιστεί δύο πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία: Στο Ερατεινό - Χρυσούπολης Καβάλας και στο Ν. Εράσμιο - Μαγγάνων Ξάνθης με νερά άριστης ποιότητας μέχρι 70 °C σε πολύ οικονομικά βάθη. Στη Ν. Κεσσάνη και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης αναβλύζουν μέσω γεώτρησης νερά με θερμοκρασίες έως 82 °C . Πεδία χαμηλής ενθαλπίας έχουν εντοπιστεί στις λεκάνες των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά.

Η δυτική Ελλάδα δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Ο ορεινός όγκος της Πίνδου με μεγάλο πάχους και βάθους φλύσχεις και οφιολίθους, δε φαίνεται να ευνοεί την ύπαρξη γεωθερμικών ταμιευτήρων. Αν και έχουν εντοπιστεί περιοχές με αυξημένες θερμοκρασίες μικρότερες όμως των 50 °C , το γεωθερμικό ενδιαφέρον στη δυτική Ελλάδα είναι μέχρι σήμερα μικρό.

Η κεντρική Ελλάδα και ειδικά η ιζηματογενής λεκάνη του Σπερχειού όπου καταλήγει το μεγάλο ρήγμα της Ανατολίας παρουσιάζει αξιόλογο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Τα μεγάλα ρήγματα και οι διασταυρώσεις τους δημιουργούν τις προϋποθέσεις κυκλοφορίας γεωθερμικών ρευστών, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τις πολλές θερμές πηγές της περιοχής. Οι πηγές στα Καμένα Βούρλα δίνουν 24 - 48 °C, στην Υπάτη 33 °C, στο Πλατύστομο 25-35 °C, στην Αιδηψό 72-82 °C με παροχή 250 m³ / h και στις Θερμοπύλες 37-39 °C με παροχή 1000m³ / h επί τουλάχιστον 2.500 χρόνια.

Η Πελοπόννησος λόγω της κάλυψής της από ασβεστόλιθους μεγάλης περατότητας δε φαίνεται να ευνοείται γεωθερμικά, αν και υπάρχουν θερμές πηγές (Καϊάφα, Κυλλήνη). Στην Κρήτη και τα Δωδεκάνησα δεν παρουσιάζεται γεωθερμικό ενδιαφέρον. Τα νησιά του ΒΑ Αιγαίου παρουσιάζουν αξιόλογο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Τα μεγάλα ρήγματα διέυθυνσης Α-Δ και ΒΑ-ΝΔ που συναντώνται στη Λέσβο δημιουργούν πεδία χαμηλής και μέσης ενθαλπίας, κάτι που επιβεβαιώνει και η ύπαρξη θερμών πηγών (θερμοκρασία $> 85\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Συμπερασματικά τα γεωθερμικά πεδία της Ελλάδας είναι αρκετά και κάθε είδους, με δυνατότητες σε όλο το φάσμα των χρήσεων, από θέρμανση θερμοκηπίων και λουτροθεραπείες μέχρι και ηλεκτροπαραγωγή. Δυστυχώς όμως παραμένουν αναξιοποίητα.

2.6.2 Γεωθερμικές χρήσεις στην Ελλάδα

Οι χρήσεις της γεωθερμίας στη Ελλάδα είναι λίγες σχετικά με άλλες χώρες. Παρατηρείται όμως μια συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για γεωθερμικές εγκαταστάσεις. Οι αντλίες θερμότητας είναι αυτές που κατέχουν την μερίδα του λέοντος της ζήτησης στην παρούσα φάση και αποτελούν την αιχμή του δόρατος της διείσδυσης της γεωθερμίας στην ελληνική αγορά. Ακολουθούν μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα γεωθερμικών εφαρμογών στον ελληνικό χώρο:

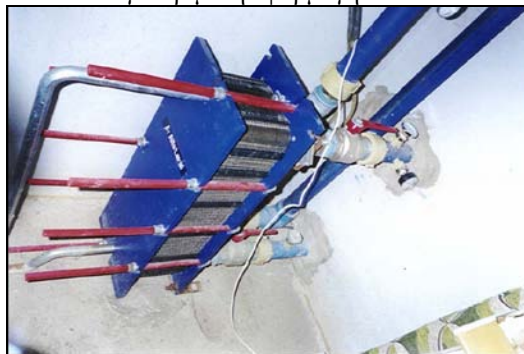
Ξενώνας Λουτρών Τραϊανούπολης

Το σύστημα περιλαμβάνει θέρμανση των 4 κτηρίων του ξενώνα από γεωθερμική γεώτρηση παραγωγής $\sim 60\text{ m}^3/\text{h}$ ζεστού νερού, θερμοκρασίας $52\text{ }^{\circ}\text{C}$, μέσω εναλλάκτη θερμότητας. Το γεωθερμικό νερό, αφού μεταδώσει τη θερμότητα του στο κλειστό κύκλωμα τηλεθέρμανσης των κτηρίων, διοχετεύεται στους υδροφόρους ορίζοντες από όπου προήλθε σε θερμοκρασία $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ διαμέσου γεώτρησης επανεισαγωγής. Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας προς και από το κάθε κτήριο, γίνεται με υπόγειες σωλήνες πολυπροπυλενίου (PP). Κάθε ένα από τα 11 δωμάτια του κάθε ξενώνα θερμαίνεται με αυτόνομο ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης που λειτουργεί σε θερμοκρασία $30\text{-}40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Παράλληλα γίνεται και προθέρμανση του ζεστού νερού χρήσης, ενώ η συνολική θερμική ισχύς του συστήματος ανέρχεται σε 1050 kW .

Σχήμα 2.3: Ξενώνας Τραϊανούπολης, ένα εκ των 4 θερμαινόμενων κτηρίων.



Σχήμα 2.4: Εναλλάκτης θερμότητας στη συγκεκριμένη εφαρμογή.



Σχήμα 2.5: Ξενώνας Τραϊανούπολης, εσωτερικό δωματίου με ενδοδαπέδια θέρμανση. (Καρύτσας και Μενδρινός, 2005)

Δημαρχείο Πυλαίας

Η θέρμανση και ο κλιματισμός του νέου κτιρίου του Δημαρχείου Πυλαίας γίνεται με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Το σύστημα περιλαμβάνει: α) πεδίο κατακόρυφων εναλλακτών θερμότητας εδάφους που αποτελείται από 21 γεωτρήσεις βάθους 80 μέτρων η κάθε μια και διαμέτρου 6 ιντσών, οι οποίες περιέχουν 1 σωλήνα τύπου U, Ø40, από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, β) υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας που παρέχουν 215 kW_c ψύξη και 155 kW_{th} θέρμανση, και γ) σύστημα θέρμανσης-κλιματισμού χαμηλής θερμοκρασίας με fan-coil και 2 κεντρικές μονάδες τροφοδοσίας αέρα. Το πεδίο των κατακόρυφων εναλλακτών θερμότητας

εδάφους χρηματοδοτήθηκε από το Κ.Α.Π.Ε., ενώ το σύστημα λειτουργεί επιτυχώς από τον Οκτώβριο του 2002.



Σχήμα 2.6: Μηχανοστάσιο του Δημαρχείου Πυλαίας με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Καρύτσας και Μενδρινός, 2005).

Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου

Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου που βρίσκεται στα Λεγραινά στην Αττική, κοντά στο Σούνιο εγκαινιάστηκε στις 28/11/2003. Η θέρμανση και ο κλιματισμός του γίνεται από συνδυασμό γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και ηλιακών συλλεκτών. Το σύστημα περιλαμβάνει υδρογεώτρηση, δεξαμενή αποθήκευσης νερού που εξασφαλίζει 6 ώρες αυτονομία, inverter για ρύθμιση της παροχής του υπόγειου νερού, εναλλάκτη θερμότητας, δύο υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας ισχύος $100 \text{ kW}_{\text{th}}$ και $70 \text{ kW}_{\text{th}}$ τοποθετημένες σε σειρά, fan - coil, κεντρικές μονάδες τροφοδοσίας αέρα, καθώς και ηλιακούς συλλέκτες για προθέρμανση του αέρα τον χειμώνα. Η μελέτη και η επίβλεψη του έργου έγινε από το Κ.Α.Π.Ε.. Η παρακολούθηση και καταγραφή της λειτουργίας του συστήματος έδειξε ικανοποιητική ενεργειακή απόδοση, με συντελεστή απόδοσης (COP) των αντλιών θερμότητας ίσο με 4,3 και 3,9 αντίστοιχα.



Σχήμα 2.7: Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου, άποψη του κτιρίου κατά τη διάρκεια των έργων (Καρύτσας και Μενδρινός, 2005).



Σχήμα 2.8: Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου, υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας (Καρύτσας και Μενδρινός, 2005).

Γραφεία Κ.Α.Π.Ε.

Το νέο κτίριο γραφείων του Κ.Α.Π.Ε. στο Πικέρμι Αττικής, το οποίο λειτουργεί εδώ και 4 χρόνια τώρα, θερμαίνεται και κλιματίζεται από γεωθερμική αντλία θερμότητας, υποβοηθούμενη από ηλιακούς συλλέκτες και συστήματα βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Οι ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση και κλιματισμό ανέρχονται σε $14,5 \text{ kW}_{\text{th}}$ και $21,5 \text{ kW}_{\text{c}}$ αντίστοιχα, και καλύπτονται από υδρόψυκτη αντλία θερμότητας τροφοδοτούμενη από $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ νερό γειτονικής υδρογεώτρησης, θερμοκρασίας 18°C , το οποίο κατόπιν επαναδιοχετεύεται στην ίδια γεώτρηση. Το κτίριο, μαζί με το σύστημα θέρμανσης-κλιματισμού μελετήθηκε και κατασκευάστηκε από το Κ.Α.Π.Ε.. Το κτίριο λειτουργεί καθημερινά, Δευτέρα έως Παρασκευή, από τις 08:30 το πρωί μέχρι τις 18:00 το απόγευμα, χωρίς να έχει παρουσιαστεί κανένα πρόβλημα υπερθέρμανσης ή ψύξης του υπόγειου νερού.



Σχήμα 2.9: Άποψη του κτιρίου γραφείων του ΚΑΠΕ (Καρύτσας και Μενδρινός, 2005).



Σχήμα 2.10: Γραφεία ΚΑΠΕ, γεώτρηση που τροφοδοτεί τη γεωθερμική αντλία θερμότητας (Καρύτσας και Μενδρινός, 2005).



Σχήμα 2.11: Γραφεία ΚΑΠΕ, αερόθερμο δαπέδου τροφοδοτούμενο από τη γεωθερμική αντλία θερμότητας (Καρύτσας και Μενδρινός, 2005).

Κτίριο των Μεταλλειολόγων στην Πολυτεχνειούπολη του ΕΜΠ

Οι ανάγκες για θέρμανση και κλιματισμό του κτιρίου των Μεταλλειολόγων στην Πολυτεχνειούπολη του Ε.Μ.Π. στην Αθήνα, που ανέρχονται αντίστοιχα σε $1000 \text{ kW}_{\text{th}}$ και 700 kW_c , καλύπτονται μερικά από σύστημα δύο γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Αυτό περιλαμβάνει υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας τροφοδοτούμενες με νερό θερμοκρασίας $18\text{--}22 \text{ }^\circ\text{C}$, προερχόμενο από συνδυασμό υδρογεώτρησης βάθους 280 m και παροχής $35 \text{ m}^3/\text{h}$

και πεδίου 13 κατακόρυφων υπόγειων εναλλακτών θερμότητας. Ο κάθε κατακόρυφος εναλλάκτης αποτελείται από σωλήνα πολυαιθυλενίου τύπου U, Ø32, τοποθετημένο εντός γεώτρησης βάθους 90 m και διαμέτρου 8½ ίντσες. Η υδρογεώτρηση παρέχει το 80% της γεωθερμικής ενέργειας στις αντλίες θερμότητας, ενώ οι υπόγειοι εναλλάκτες το υπόλοιπο 20%. Το γεωθερμικό σύστημα παρέχει 526 kW_{th} θέρμανσης και 461 kW_c ψύξης. Η μονάδα έχει εγκατασταθεί με χρηματοδότηση από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα THERMIE, και συντονιστή έργου το Κ.Α.Π.Ε.. Μετρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια των αρχικών δοκιμών και της λειτουργίας του συστήματος για θέρμανση και κλιματισμό, έδειξαν ότι και οι δύο αντλίες θερμότητας λειτουργούν με συντελεστή COP = 3,3-3,5



Σχήμα 2.12: Κτίριο Μεταλλειολόγων, κατακόρυφοι εναλλάκτες θερμότητας εδάφους κατά τη διάρκεια της κατασκευής (Καρύτσας και Μενδρινός, 2005).

3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΓΗΙΝΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως είναι γνωστό η μεταφορά θερμότητας λαμβάνει χώρα με φυσικό τρόπο από το σχετικά θερμό προς το σχετικά ψυχρό σώμα. Γι' αυτό και τον χειμώνα ένας χώρος χάνει θερμότητα αφού αυτή μεταφέρεται προς το κρύο περιβάλλον, αλλά και το καλοκαίρι ο χώρος ζεσταίνεται επειδή το θερμότερο πλέον περιβάλλον μεταφέρει θερμότητα προς αυτόν.

Οι αντλίες θερμότητας λοιπόν είναι συσκευές οι οποίες καλούνται να μεταφέρουν θερμότητα όχι από ένα σχετικά θερμό σε ένα σχετικά ψυχρό σώμα αλλά από ένα σχετικά ψυχρό σε ένα σχετικά θερμό. Για παράδειγμα ένα κλιματιστικό την χειμερινή περίοδο χρησιμοποιεί ως πηγή θερμότητας τον εξωτερικό αέρα (σχετικά ψυχρό), απάγει θερμότητα από αυτόν και την μεταφέρει εντός του κτιρίου (σχετικά θερμό). Αυτό προφανώς χρειάζεται προσφορά έργου αφού αντιβαίνει τους φυσικούς νόμους και το έργο αυτό είναι η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχουμε στην αντλία.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Γ.Α.Θ.) αναβαθμίζουν την θερμική ενέργεια που λαμβάνουν από το υπέδαφος. Αυτή η λήψη γίνεται με τη βοήθεια των γήινων εναλλακτών θερμότητας (Γ.Ε.Θ.) οι οποίοι είναι αγωγοί πληρωμένοι με το φέρον τη θερμότητα ρευστό, είναι θαμμένοι στο έδαφος, και είτε λαμβάνουν είτε απορρίπτουν θερμότητα σε αυτό, ανάλογα με την επιθυμητή λειτουργία (cooling mode / heating mode).

3.2 ΓΗΙΝΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΓΩΓΩΝ

3.2.1 Συστήματα κλειστού κυκλώματος (closed loop Ground Coupled Heat Pumps)

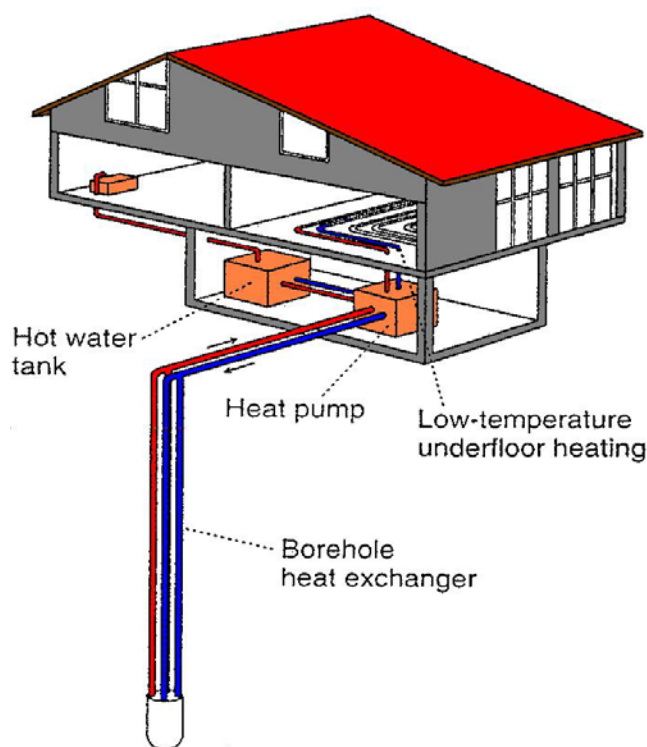
Τα συστήματα αυτά αποτελούνται ουσιαστικά από ένα σύστημα κύκλου συμπίεσης ατμών, το οποίο είναι συνδεδεμένο με υπεδάφιο εναλλάκτη εδάφους – νερού που βρίσκεται θαμμένος στο έδαφος.

Έτσι κατά την λειτουργία θέρμανσης, χρησιμοποιείται η γη σαν πηγή θερμότητας χρησιμοποιώντας το νερό ως το μέσο που μεταφέρει τη γήινη θερμότητα στον εξατμιστή της Γ.Α.Θ. . Εκεί ξεκινάει ένας κύκλος συμπίεσης και η γήινη θερμότητα αφού αναβαθμιστεί μέσω του κύκλου αυτού περνάει κατόπιν σε άλλο μεσο της επιλογής μας (αέρα για αερόθερμα, νερό για ενδοδαπέδια θέρμανση κλπ). Το νερό που μετέφερε την γήινη θερμότητα στην αντλία ανακυκλώνεται και πηγαίνει πάλι στον υπόγειο εναλλάκτη έχοντας χάσει πλέον θερμότητα.

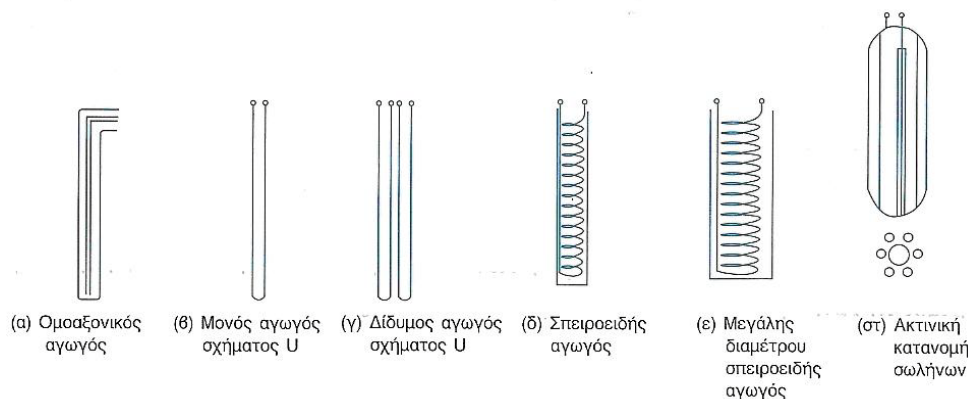
Το ίδιο σύστημα μπορεί να παρέχει και ψύξη, αντιστρέφοντας τον κύκλο και χρησιμοποιώντας τη γη σαν αποδέκτη θερμότητας. Τα συστήματα κλειστού κυκλώματος

μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξαρτήτως ύπαρξης υδροφορίας στην περιοχή, δεν επηρεάζουν καθόλου τον υδροφόρο ορίζοντα (αν υπάρχει) και έχουν διάρκεια ζωής γύρω στα 60 χρόνια.

Χωροθετικά διακρίνονται σε κατακόρυφα (Σχήμα 3.1) και οριζόντια (Σχήμα 3.3). Τα κατακόρυφα αποτελούν μια καλή επιλογή όταν η διαθέσιμη έκταση είναι περιορισμένη όπως για παράδειγμα σε κατοικίες εντός πόλης. Συνήθως εισάγονται απλοί ή διπλοί σωλήνες σχήματος U σε γεωτρήσεις. Η διάμετρος των γεωτρήσεων κυμαίνεται στα 100 – 150mm και το βάθος στα 15 – 150m ανάλογα με το υπέδαφος και το μέγεθος του συστήματος. Πρέπει να μεριμνούμε ώστε οι γεωτρήσεις να απέχουν τουλάχιστον 5m έτσι ώστε να μην υπάρχει θερμική αλληλεπίδραση μεταξύ τους.

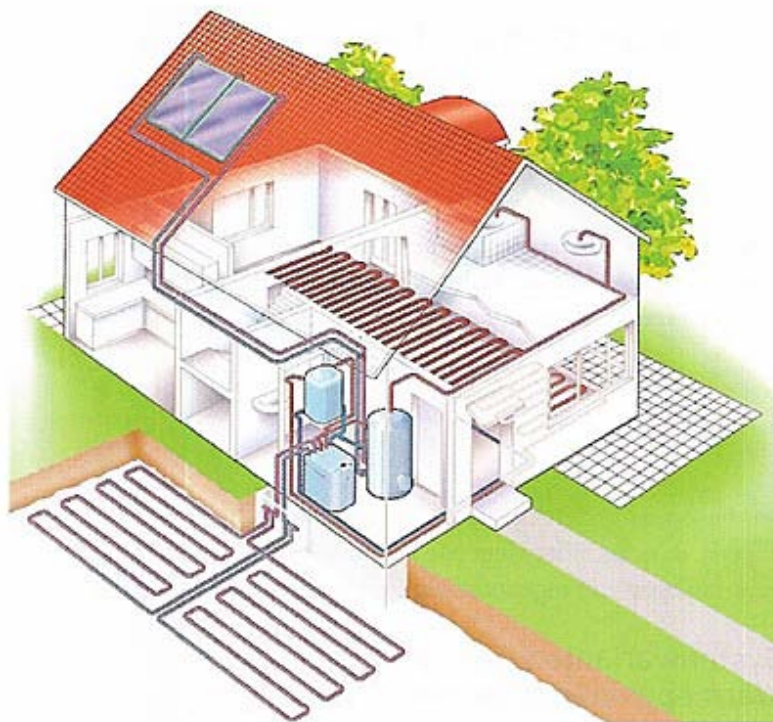


Σχήμα 3.1: Κατακόρυφο κλειστό σύστημα γεωεναλλάκτη συνδεδεμένου με ΓΑΘ (Πηγή: Google).

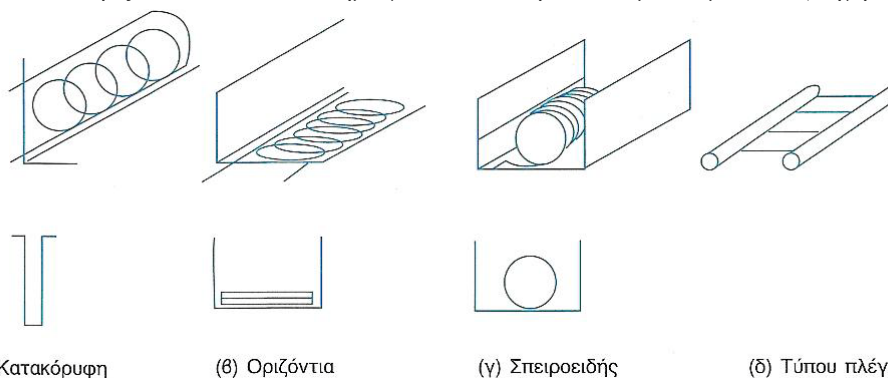


Σχήμα 3.2: Διάφοροι τύποι εγκατάστασης των σωληνώσεων εντός της γεώτρησης στα κατακόρυφα συστήματα (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).

Το υλικό κατασκευής των σωληνώσεων είναι πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (High Density Poly Ethylene – HDPE). Τα οριζόντια συστήματα είναι συνήθως φθηνότερα αλλά προϋποθέτουν σχετικά μεγάλο διαθέσιμο εμβαδό. Σε μικρό βάθος, γύρω στα 2m από την επιφάνεια, σκάβεται μία μεγάλη επιφάνεια – ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης – και τοποθετούνται μέσα σ' αυτήν όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3 οι πλαστικές σωληνώσεις από HDPE.



Σχήμα 3.3: Οριζόντιο κλειστό σύστημα γεωεναλλάκτη συνδεδεμένου με ΓΑΘ (Πηγή: Google)



Σχήμα 3.4: Διάφοροι τύποι εγκατάστασης σωληνώσεων σε (α) κατακόρυφα και (β) οριζόντια συστήματα (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004)

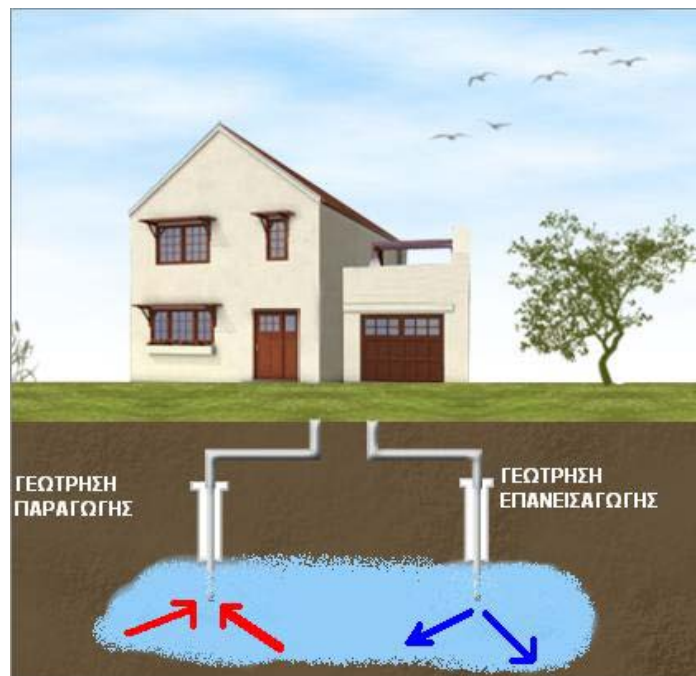
Τέλος οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα μιας εγκατάστασης ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος είναι:

- Το κλίμα
- Οι θερμικές ιδιότητες του υπεδάφους
- Το κόστος όρυξης της γεώτρησης σε κατακόρυφα συστήματα ή εκσκαφής σε οριζόντια

- Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας
- Πιθανές επιδοτήσεις

3.2.2 Συστήματα ανοιχτού κυκλώματος (open loop Ground Coupled Heat Pumps)

Αυτός ο τύπος κυκλώματος προϋποθέτει την ύπαρξη άφθονου γεωθερμικού ρευστού το οποίο χρησιμοποιείται απευθείας μέσα στο κτίριο με τη βοήθεια αντλίας. Κατασκευάζουμε δύο γεωτρήσεις, μία παραγωγής (production well) και μία επανεισαγωγής του γεωθερμικού ρευστού (re injection well). Από την πρώτη αντλούμε το γεωθερμικό ρευστό, κυκλοφορεί εντός του κτιρίου μέσω σωληνώσεων και επανεισάγεται στη γη μέσω της δεύτερης γεώτρησης (Σχήμα 3.5). Έτσι δεν διαταράσσουμε τον υδροφόρο ορίζοντα, αλλά και επανατροφοδοτούμε τον ταμιευτήρα γεωθερμικού ρευστού. Υπάρχει περίπτωση να παρουσιαστούν φαινόμενα επικαθίσεων στους σωλήνες ή να αλλάξει η στάθμη του γεωθερμικού ρευστού από ανθρώπινη χρήση ή φυσικά αίτια. Επομένως τέτοιου είδους φρέατα απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση. Καλό είναι να αποφεύγεται η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων σε γεωθερμικές πηγές πλούσιες σε υδρόθειο επειδή το τελευταίο προκαλεί διάβρωση των σωληνώσεων. Μία ακόμα δυσκολία που χρειάζεται προσοχή είναι η πιθανή άντληση άμμου.



Σχήμα 3.5: Διάταξη ανοικτού γεωθερμικού συστήματος.

3.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Γ.Α.Θ.) χρησιμοποιούν ως τροφοδότη ή αποδέκτη θερμότητας όχι τον ατμοσφαιρικό αέρα αλλά το υπέδαφος. Το υπέδαφος έχει αρκετά μεγαλύτερη θερμοκρασία από τον αέρα τον χειμώνα και αρκετά μικρότερη το

καλοκαίρι. Επίσης έχει το πλεονέκτημα ότι σε μικρά βάθη η θερμοκρασία του παραμένει σχεδόν σταθερή και μετά τα 5m περίπου ακολουθεί την γεωθερμική βαθμίδα ($3^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$), προσεγγίζοντας τη μέση ετήσια θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι, αφού το υπέδαφος παραμένει μια σχετικά θερμή πηγή - ακόμα και στα κρύα κλίματα - η θερμότητα μπορεί να απαχθεί από τον Γήινο Εναλλάκτη Θερμότητας (Γ.Ε.Θ.), κατόπιν να αναβαθμιστεί από την Γ.Α.Θ. και τέλος να καταλήξει στο σύστημα διανομής της θερμότητας εντός του κτιρίου (σώματα, ενδοδαπέδιο σύστημα, αερόθερμα κλπ).

Έτσι συμβολίζοντας με Q_c την θερμότητα που απάγει το σύστημά μας από το υπέδαφος, με w την (ηλεκτρική) ενέργεια που του προσφέρεται, και Q_{th} την θερμότητα που τελικά παίρνει ο κλιματιζόμενος χώρος, ισχύει η σχέση:

$$|Q_{th}| = |Q_{cold}| + |W|$$

Από οικονομική άποψη ο βέλτιστος κύκλος είναι εκείνος, κατά τον οποίο απάγεται το μέγιστο ποσό θερμότητας Q_{th} με την ελάχιστη κατανάλωση έργου w . Επομένως η ποσότητα που μας ενδιαφέρει είναι ο λόγος Q_{th} / w . Ο λόγος αυτός καλείται συντελεστής απόδοσης - Coefficient Of Performance (COP) είναι αδιάστατος αριθμός και είναι ίσως το σημαντικότερο μέγεθος στις αντλίες θερμότητας. Επίσης χρησιμοποιείται και ο όρος SPF (Season Performance Factor) ο οποίος αντιστοιχεί στον μέσο όρο του COP κατά την περίοδο θέρμανσης ή / και ψύξης.

Ισχύει λοιπόν:

$$\text{COP} = Q_{th} / w$$

Έτσι επιτρέπεται η χρήση Γ.Α.Θ. η οποία είτε παραλαμβάνει είτε απορρίπτει ενέργεια στο υπέδαφος, με COP υψηλότερο της αντλίας που συνεργάζεται με τον ατμοσφαιρικό αέρα (κλιματιστικό) ο οποίος χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλο εύρος θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια ενός χρόνου.

Έτσι π.χ. κατά τη θέρμανση, η ενέργεια Q_c που παίρνουμε είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με άλλα είδη αντλιών θερμότητας (π.χ. κλιματιστικά) οπότε με ίδια προσφορά έργου επιτυγχάνουμε μεγαλύτερο COP ή αλλιώς για το ίδιο COP απαιτείται λιγότερη προσφερόμενη ενέργεια w .

Από τη θερμοδυναμική σκοπιά ο κύκλος της αντλίας θερμότητας είναι ο αντίστροφος μιας θερμικής μηχανής. Η θερμική μηχανή μετατρέπει τη θερμότητα σε έργο ενώ η αντλία

θερμότητας παίρνει έργο από εμάς (ηλεκτρική ενέργεια w) και μεταφέρει θερμότητα αλλά και την αναβαθμίζει. Οι βασικές σχέσεις που διέπουν τη λειτουργία των αντλιών θερμότητας ακολουθούν τον 1ο και 2ο Θερμοδυναμικό Νόμο.

Έτσι κατά τον 1ο νόμο το άθροισμα του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας και παραγωγής έργου πρέπει να είναι μηδέν:

$$Q_{th} - Q_c - w = 0$$

Άρα για τη θέρμανση ισχύει:

$$Q_{th} = Q_c + w$$

επομένως

$$COP_{th} = \frac{Q_{th}}{w} = \frac{Q_{th}}{Q_{th} - Q_c}$$

Για την ψύξη ισχύει:

$$Q_c = Q_{th} - w$$

επομένως

$$COP_c = \frac{Q_c}{w} = \frac{Q_c}{Q_{th} - Q_c}$$

και εύκολα προκύπτει ότι:

$$COP_c = COP_{th} - 1$$

ό α δηλαδή ο συντελεστής απόδοσης ψύξης είναι κατά μια μονάδα μικρότερος του συντελεστή θέρμανσης.. Για μια τέλεια αντλία θερμότητας που ακολουθεί τον κύκλο Carnot μπορεί να αποδειχθεί ότι:

$$COP_c = (T_c + 273) / T_h - T_c$$

όπου T_h = η θερμοκρασία στην οποία απορρίπτεται η θερμότητα

T_c = η θερμοκρασία στην οποία απορροφάται η θερμότητα

Παρατηρούμε ότι ο συντελεστής απόδοσης είναι αντιστρόφως ανάλογος της διαφοράς $T_h - T_c$. Αυτό δικαιολογεί και τη μειωμένη απόδοση των αντλιών θερμότητας αέρα - αέρα (κλιματιστικών) όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή ή πολύ υψηλή, περιπτώσεις στις οποίες η διαφορά $T_h - T_c$ είναι σχετικά μεγάλη.

Σε πρακτικό επίπεδο η απόδοση των αντλιών θερμότητας είναι μικρότερη από αυτή του ιδανικού κύκλου Carnot για τους παρακάτω λόγους:

- *Πεπερασμένο μέγεθος εξατμιστή / συμπυκνωτή:* Οι εξατμιστές και οι συμπυκνωτές απαιτούν για τη λειτουργία τους μια σημαντική θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του ρευστού της Γ.Α.Θ. και της θερμής ή ψυχρής δεξαμενής. Αυτό σημαίνει ότι όταν το ρευστό βρίσκεται στον εξατμιστή πρέπει να είναι ψυχρότερο από την ψυχρή δεξαμενή και όταν βρίσκεται στον συμπυκνωτή πρέπει να είναι θερμότερο από την θερμή δεξαμενή. Το αποτέλεσμα είναι ότι το θερμοκρασιακό εύρος του ψυκτικού ρευστού στον κύκλο μας πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ θερμής και ψυχρής δεξαμενής.
- *Απώλειες έργου:* Η πτώση πίεσης του αερίου συνήθως επιτυγχάνεται μέσω της εκτόνωσης του αερίου με τη βοήθεια βαλβίδας. Εκεί παράγεται έργο που δεν χρησιμοποιείται και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσης.
- *Πεπερασμένο μέγεθος θερμής / ψυχρής δεξαμενής:* η θερμή και η ψυχρή δεξαμενή είναι ροές θερμού και ψυχρού νερού αντιστοιχα με περιορισμένες θερμοχωρητικότητες. Άρα οι θερμοκρασίες αυτών των ροών μπορεί να αλλάξουν σημαντικά μέσα στον εξατμιστή και το συμπυκνωτή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ακόμη μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας εξατμίστη και συμπύκνωσης.

Επίσης κάποια μεγέθη που μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση της αντλίας θερμότητας είναι τα εξής :

- *Μέγιστη θερμοκρασία εξόδου συμπυκνωτή:* εξαρτάται από το είδος του ψυκτικού ρευστού και τον συμπιεστή. Συνήθεις θερμοκρασίες είναι γύρω στους 70 °C για το R12. Το όριο μπορεί να φτάσει τους 85 °C σε υψηλή πίεση.
- *Ελάχιστη θερμοκρασία εξόδου εξατμιστή :* Θεωρείται η θερμοκρασία των 5 °C με σκοπό να μην παγώσουν οι εξατμιστές.
- *Μέγιστη θερμοκρασία εξόδου εξατμίστη:* εξαρτάται από το ψυκτικό ρευστό και τον τύπο του συμπιεστή. Κυμαίνεται γύρω στους 35 °C.
- *Ελάχιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εξόδου εξατμιστή και εξόδου συμπυκνωτή:* πρέπει να είναι αρκετή ώστε ο κύκλος να λειτουργεί σωστά και κυμαίνεται από 18 °C μέχρι 22 °C.
- *Ελάχιστη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του ψυκτικού ρευστού και των εξόδων:* είναι της τάξης των 4 °C έτσι ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά θερμότητας.

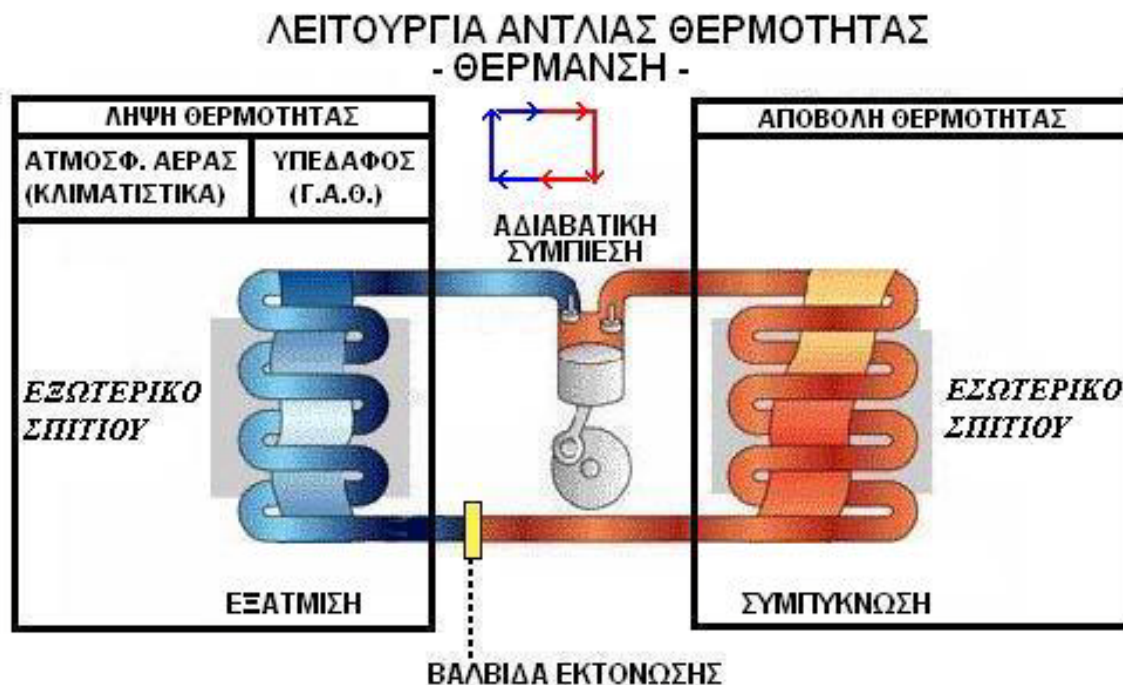
Περιγραφή λειτουργίας

Για τη λειτουργία των Γ.Α.Θ. απαιτείται η ύπαρξη ενός ψυκτικού κύκλου (Σχήμα 3.6) ο οποίος βασίζεται στην εξάτμιση και συμπύκνωση του ψυκτικού υγρού. Το υγρό απορροφά θερμότητα όταν εξατμίζεται και αποδίδει όταν συμπυκνώνεται ενώ μεταξύ συμπύκνωσης και εξάτμισης παρεμβάλλεται ο συμπιεστής για την αλλαγή της φάσης του ψυκτικού ρευστού. Το ψυκτικό υγρό επομένως θα πρέπει να είναι ένα υγρό που θα έχει την δυνατότητα να εξατμίζεται και να συμπυκνώνεται σχετικά εύκολα.

Συνήθως στο παρελθόν ως ψυκτικά υγρά χρησιμοποιούνταν CCl_2F_2 . Επειδή τα αλογόνα καταστρέφουν το όζον στην ανώτερη ατμόσφαιρα, πλέον χρησιμοποιούνται ψυκτικά υγρά όπως τα R17a, R134a, R407c, R410 κ.ά.

Τα βασικά εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας περιλαμβάνουν

- την πηγή ενέργειας
- τον συμπιεστή
- τον συμπυκνωτή
- τον εξατμιστή
- τη βαλβίδα εκτόνωσης.



Σχήμα 3.6: Ψυκτικός κύκλος στη λειτουργία θέρμανσης.

1. Η πηγή ενέργειας είναι η γεωθερμική ενέργεια που λαμβάνεται από τον εναλλάκτη. Η λειτουργία και τα χαρακτηριστικά του εναλλάκτη θα αναλυθούν παρακάτω. Η θερμότητα

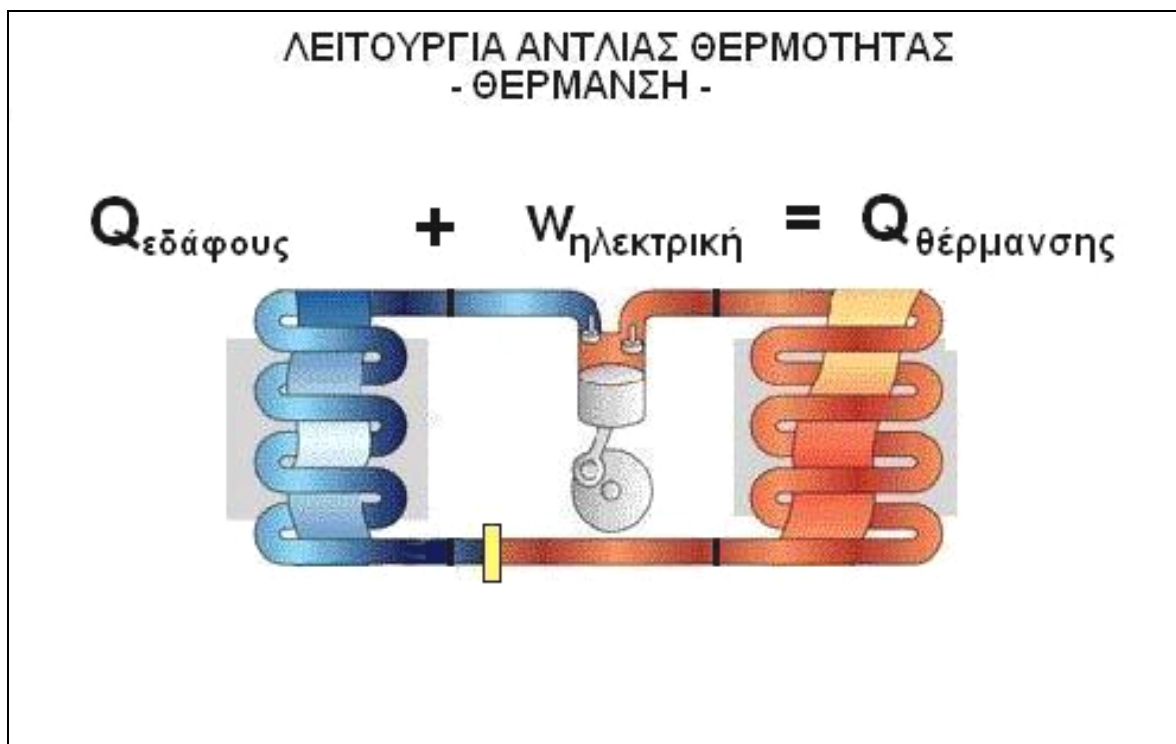
μεταφέρεται μέσω του εναλλάκτη από το υπέδαφος στον εξατμιστή της αντλίας και το ρευστό που βρίσκεται σε χαμηλή πίεση εξατμίζεται.

2. Το αέριο πλέον ρευστό συμπιέζεται αδιαβατικά στον συμπιεστή, η θερμοκρασία του αυξάνει και περνάει στον συμπακνωτή σαν υπέρθερμος ή κορεσμένος ατμός υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας.

3. Στον συμπακνωτή το αέριο συμπυκνώνεται και η θερμότητα που έχει αποθηκευμένη από την αδιαβατική συμπίεση μεταφέρεται με αγωγή στον θερμαινόμενο χώρο (πχ εσωτερικό σπιτιού)

4. Το ρευστό επιστρέφει σε χαμηλή πίεση περνώντας από την βαλβίδα εκτόνωσης. Σε αυτό το σημείο ελαττώνεται η πίεση και λαμβάνει χώρα μερική εξάτμιση συνοδευόμενη από την ψύξη του ρευστού.

5. Τελικά το ρευστό περνάει πάλι από τον εξατμιστή για να ξαναρχίσει ο κύκλος.



Σχήμα 3.7: Ισοζύγιο Ενέργειας.

Οι Γ.Α.Θ. που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να απομονωθούν από το γεωθερμικό ρευστό ειδικά στις περιπτώσεις ανοικτού κυκλώματος (open loop) διότι συνήθως προκαλούνται διαβρώσεις και επικαθίσεις. Αυτό επιτυγχάνεται με παρεμβολή εναλλάκτη μεταξύ του ρευστού και της Γ.Α.Θ. .

Σε όλες τις περιπτώσεις οι αντλίες θερμότητας είναι νερού - νερού ή νερού - αέρα. Γενικά πρέπει να σημειώσουμε ότι όλες οι εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αντλίες θερμότητας σε συνδυασμό με το έδαφος ή με υπόγεια νερά έχουν παραπλήσια τεχνικά

χαρακτηριστικά. Αποτελούνται από έναν εναλλάκτη θερμότητας που βρίσκεται μέσα στο χώμα ή το υπόγειο νερό, την αντλία κυκλοφορίας του ρευστού μεταξύ του εναλλάκτη και της Γ.Α.Θ. , και το σύστημα διανομής της θερμότητας.

Οι Γ.Α.Θ. μπορούν να εργαστούν και ως ψύκτες με την αλλαγή της φοράς λειτουργίας και το ρόλο των συσκευών.

Οφέλη

Ένα σωστά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο σύστημα Γ.Α.Θ. λειτουργεί με τουλάχιστον 30% υψηλότερη ενεργειακή απόδοση από αυτή του καλύτερου συστήματος αντλίας θερμότητας αέρα- αέρα (κοινά κλιματιστικά) λόγω:

- Της χρήσης νερού, δεδομένου ότι το νερό έχει πολύ καλύτερες ιδιοτητες μετάδοσης θερμότητας από τον αέρα.
- Της σταθερής θερμοκρασίας - που παρέχεται από τους γεωεναλλάκτες στη Γ.Α.Θ. - η οποία είναι υψηλότερη απο τις ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος σε περιπτώσεις αιχμής θερμικού (παγωνιά) ή ψυκτικού (καύσωνας) φορτίου.

Συνοπτικά οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας:

- Είναι καθιερωμένη και αξιόπιστη τεχνολογία.
- Μειώνουν τις δαπάνες για θέρμανση και κλιματισμό.
- Μειώνουν σημαντικά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).
- Αυξάνουν τη μακροπρόθεσμη αξία του κτιρίου.
- Παρέχουν υψηλής ποιότητας άνεση στους εσωτερικούς χώρους.
- Προστατεύουν το περιβάλλον.
- Συμβάλλουν στην ενεργειακά αειφόρο ανάπτυξη.

4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

4.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ - ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Γεωτεκτονικά η ευρύτερη περιοχή της τεκτονικής τάφρου της Λοκρίδας ανήκει στην υποπελαγονική ζώνη. Η υποπελαγονική γεωτεκτονική ζώνη εκτείνεται στον ελληνικό γεωγραφικό χώρο με γενική διεύθυνση των ελληνίδων γεωτεκτονικών ζωνών ΒΔ- ΝΑ από την Αλβανία κατά μήκος του μέσου περίπου του κορμού της Ελλάδος προς τη Δυτική Θεσσαλία και Ανατολική Στερεά Ελλάδα και από εκεί στα νησιά Σαλαμίνα, Ύδρα και Ανατολική Πελοπόννησο, Κρήτη, πιθανόν νήσο Κω και Μ.Ασία. Ο όρος υποπελαγονική ζώνη δόθηκε από τον J. Aubouin (1959) και καθόρισε τη

παλαιογεωγραφική θέση της υποπελαγωνικής σαν τη δυτική κατωφέρεια του ηβώματος της πελαγωνικής προς την αύλακα της ζώνης της Πίνδου και της απέδωσε έτσι χαρακτήρες ιζηματογένεσης ενδιάμεσες μεταξύ νηρητικής και πελαγικής φάσης.

Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της υποπελαγωνικής ζώνης είναι οι μεγάλες οφιολιθικές μάζες και η σχιστοκερατολιθική διάπλαση που τις συνορεύει και που έχει μεγάλη εξάπλωση. Σύμφωνα με τις σημερινές γεωτεκτονικές αντιλήψεις περί οφιολίθων η υποπελαγωνική αντιπροσωπεύει την οφιολιθική συρραφή της παλαιάς ωκεάνιας περιοχής που βρισκόταν δυτικά του Πελαγονικού ηπειρωτικού τεμάχους.

Η τοποθέτηση των οφιολίθων της υποπελαγωνικής ζώνης άλλοτε πάνω σε νηρητικά και άλλοτε πάνω σε πελαγικά ιζήματα ήταν και ο λόγος για τον οποίο θεωρήθηκε η γεωτεκτονική αυτή ζώνη κατωφέρεια της Πελαγωνικής, χαρακτηρισμός που δεν απέχει πολύ από τη σημερινή γεωτεκτονική αντίληψη στην οποία όμως, βαρύνουσα σημασία έχει η έννοια της οφιολιθικής συρραφής.

Σε πολλές θέσεις στις παρυφές της λεκάνης καθώς και στο κεντρικό μεσοζωϊκό τμήμα της έχουν διαπιστωθεί ασβεστόλιθοι, δολομίτες, δολομιτικοί ασβεστόλιθοι και σχιστόλιθοι με οφιολίθους ηλικίας Τριαδικής – Ιουρασικής. Οι δολομίτες και οι ασβεστόλιθοι έχουν ηλικία μέσο-κατώτερο Τριαδικό, Ανωτριαδικό έως Ιουρασικό. Οι επικείμενοι δολομίτες ασβεστόλιθοι και οι μετ' οφιολίθων σχιστοκερατολιθική διάπλαση έχει Ιουρασική ηλικία εν μέρει δε τριαδική στα κατώτερα μέλη της. Οι δολομίτες είναι συμπαγείς άσπροι έως τεφροί.

Η τεκτονική τάφος της ευρύτερης περιοχής της Λοκρίδας δεν είναι ενιαία αλλά αποτελείται από μικρότερες τεκτονικές λεκάνες όπως φανερώνουν τα ρήγματα και τα μεταβαλλόμενα κατά περιοχές πάχη των λιμναίων αποθέσεων, καθώς και οι μεσοζωϊκές ασβεστολιθικές και δολομιτικές νησίδες που περιεβάλλοντο η εκαλύπτοντο από τα νερά και τα ιζήματα της λίμνης του Νεογενούς- Τεταρτογενούς. Στην περιοχή της Λοκρίδας στη νότια παρυφή του κόλπου έχουν διαπιστωθεί μεγάλα ρήγματα μήκους μερικών χιλιομέτρων με διεύθυνση 120° Β και κλίση 80° ΝΔ (Τσόφλιας και Συμεωνίδης, 1990).

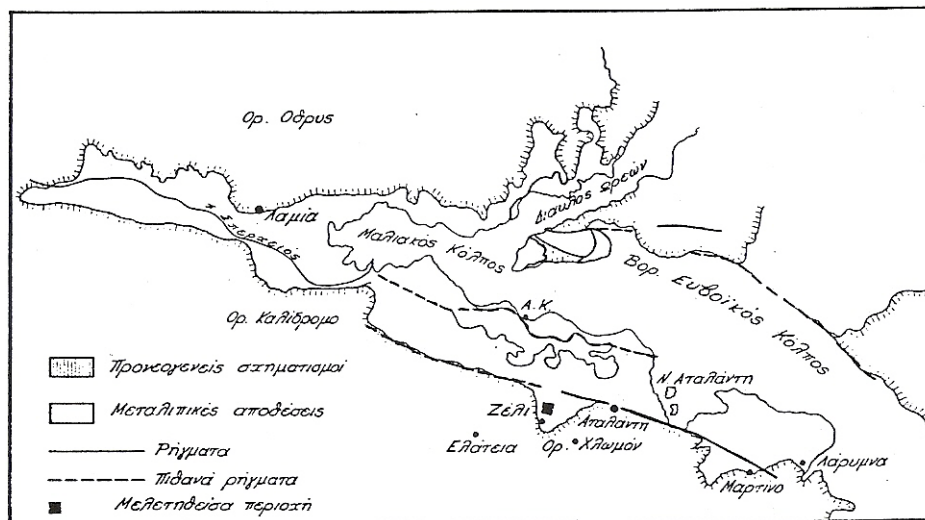
Η Θ. Ροντογιάννη (1984) μελέτησε με λεπτομέρεια την τεκτονική της περιοχής και διέκρινε τρεις τεκτονικές φάσεις παραμόρφωσης:

α) μία φάση παραμόρφωσης ηλικίας πλειόκαινου που αντιστοιχεί σε ΒΒΑ – ΝΑ διεύθυνση.

β) ένα επεισόδιο συμπίεσης στις αρχές του Τεταρτογενούς που αντιστοιχεί σε σμίκρυνση διεύθυνσης περίπου Β – Ν, και

γ) μια φάση υπέρτασης ηλικίας μέσου Πλειστόκαινου, με διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ.

Η τελευταία φάση συνεχίζεται μέχρι τις μέρες μας και προκαλεί έντονη τεκτονική δραστηριότητα..



Σχήμα 4.1: Χάρτης της περιοχής της Λοκρίδας (από το γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος Ι.Γ.Μ.Ε. κλ. 1:50.000).

Συγκεκριμένα στον Άγιο Κωνσταντίνο σύμφωνα και με το φύλλο γεωλογικού χάρτη «Μύλοι» (Σχήμα 4.2) κυριαρχούν οι προσχώσεις, άργιλοι, άμμοι, λατύπες, κροκάλες, παράκτια κροκαλοπαγή και ηπειρωτικές αποθέσεις. Το κτίριο το οποίο εξετάζει η παρούσα εργασία βρίσκεται στο ορεινό μέρος του χωριού όπου κυριαρχούν οι ασβεστόλιθοι.



Σχήμα 4.2: Επεξεργασμένος Γεωλογικός Χάρτης «Μύλοι» (Ι.Γ.Μ.Ε.)

4.2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΙΝΗΤΟΥ

Το ακίνητο στο οποίο έγινε η παρούσα μελέτη βρίσκεται στον Άγιο Κωνσταντίνο Φθιώτιδας στην περιοχή της Λοκρίδας όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3:



Σχήμα 4.3: Δορυφορική εικόνα της περιοχής (© 2009 Google)

Είναι χτισμένο σε υψόμετρο 70m και σε έντονη κατωφέρεια, «βλέποντας» την θάλασσα και έχοντας πίσω του το όρος Κνημίες. Η έκταση των στεγασμένων χώρων είναι 350m^2 τα οποία μοιράζονται σε 2 ορόφους. Τα κοντινότερα σπίτια βρίσκονται σε απόσταση 50m και είναι εκτεθειμένο από όλες τις πλευρές στα καιρικά φαινόμενα.

5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι θερμικές ανάγκες ενός χώρου και γενικότερα ενός κτιρίου είναι το ποσό θερμότητας που πρέπει να ληφθεί ως βάση για το σχεδιασμό της εγκατάστασης θέρμανσης. Οι θερμικές ανάγκες είναι μία ιδιότητα του κτιρίου ανεξάρτητη από το σύστημα θέρμανσης που θα εγκατασταθεί αλλά εξαρτώμενη από το μέγεθος του χώρου, το μέγεθος και το υλικό κατασκευής των τοίχων, τον αερισμό καθώς και από άλλους παράγοντες. Ωστόσο ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει τις απαιτήσεις θέρμανσης είναι η εξωτερική θερμοκρασία στην εκάστοτε γεωγραφική περιοχή.

Η μεθοδολογία του υπολογισμού των θερμικών αναγκών βασίζεται στους νόμους της μετάδοσης θερμότητας. Επειδή όμως στους υπολογισμούς πρέπει να καθοριστούν πολλά μεγέθη (θερμοκρασίες χώρων διαφόρων χρήσεων, ποσότητες αερισμού κλπ), για να

αποφευχθούν αυθαίρετες παραδοχές οι διάφορες χώρες καθιέρωσαν έναν ενιαίο τρόπο υπολογισμού που υπάρχει σε μορφή κανονισμού και διαφέρει από χώρα σε χώρα.

Ο ελληνικός Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων - Κ.Θ.Κ (ΦΕΚ 362/79) που βασίζεται κυρίως στο γερμανικό DIN 4108, περιέχει πολλά απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών. Η νέα έκδοση του κανονισμού του 1983 περιέλαβε και τις σύγχρονες αντιλήψεις σχετικά με τη διείσδυση του αέρα στα κτίρια, την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη θερμοχωρητικότητα των κτιρίων.

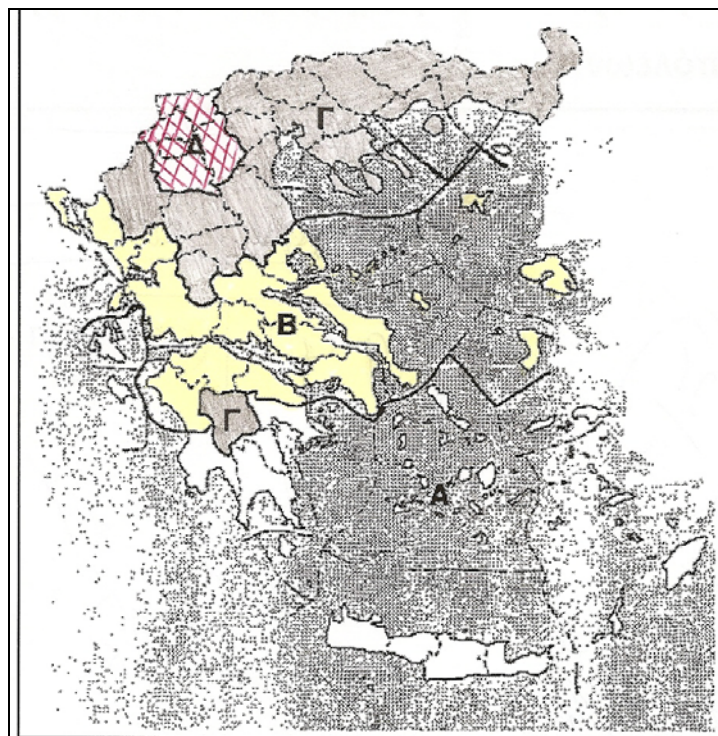
Στον υπολογισμό των θερμικών αναγκών διακρίνουμε τις κανονικές και τις ειδικές περιπτώσεις. Κανονικές είναι οι συνηθισμένες κατασκευές που περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος των κτιρίων όπως π.χ. μονοκατοικίες, πολυκατοικίες, δημόσια κτίρια, εμπορικά καταστήματα, τράπεζες, εκπαιδευτικά κτίρια, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εργοστάσια κ.λ.π. Ως ειδικές περιπτώσεις ορίζονται οι σπάνια θερμαινόμενοι χώροι (π.χ. εκκλησίες), τα κτίρια με βαριά κατασκευή (π.χ. καταφύγια, κλειστά υπόγεια γκαράζ), οι μεγάλες αίθουσες και τέλος τα θερμοκήπια. Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών γίνεται για μόνιμη κατάσταση θέρμανσης δηλ. παραδεχόμαστε ότι όλα τα μεγέθη που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς παραμένουν σταθερά στο χρόνο. Επίσης παραδεχόμαστε ότι η θερμοκρασία στις επιφάνειες των διαχωριστικών τοίχων που συνορεύουν με θερμαινόμενους χώρους, είναι η ίδια με την θερμοκρασία του αέρα του χώρου. Έτσι οι εσωτερικοί τοίχοι ανταλλάζουν ακτινοβολία μόνο με την εσωτερική επιφάνεια των εξωτερικών τοίχων.

Για τους υπολογισμούς των θερμικών αναγκών ενός κτιρίου πρέπει να προσδιοριστεί η πιθανή δυσμενέστερη (χαμηλότερη) εξωτερική θερμοκρασία στην περιοχή, που ήδη υπάρχει ή πρόκειται να κατασκευαστεί το κτίριο. Ο ελληνικός Κανονισμός Θερμομόνωσης ορίζει ως θερμοκρασία υπολογισμού των θερμικών αναγκών τη "μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία". Αυτή είναι η ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας που μπορεί να εμφανιστεί μια φορά το χρόνο, για δύο τουλάχιστον συνεχόμενες ημέρες (Ε. Καραμπάμπα, 2007).

Οι πραγματικές θερμικές απώλειες ενός κτιρίου είναι μικρότερες από το ποσό θερμότητας που μπορεί να δώσει η εγκατάσταση θέρμανσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο σχεδιασμός της εγκατάστασης γίνεται έτσι ώστε να καλύψει τις απώλειες του κτιρίου ακόμη και στις ελάχιστες πιθανές τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας. Γι' αυτό το λόγο συμβουλευόμαστε τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτιρίων για την μέση ελάχιστη θερμοκρασία της περιοχής που μας ενδιαφέρει. Οι θερμοκρασίες αυτές δίνονται σε πίνακα στο παράρτημα 1.

Κατά τον Κανονισμό Θερμομονωσης Κτιρίων λοιπόν και για τους υπολογισμούς των κύριων παραμέτρων θερμικής προστασίας του κτιριακού κελύφους, δηλαδή των

συντελεστών θερμοπερατότητας κατά την περίοδο θέρμανσης, η χώρα υποδιαιρείται σε τέσσερις (4) κλιματικές ζώνες, με βάση τις ετήσιες Βαθμοημέρες Θέρμανσης (ΒΗΘ):



Σχήμα 5.1: Υποδιαίρεση της Ελλάδος σε τέσσερις κλιματικές ζώνες με βάση τις βαθμοημέρες θέρμανσης (Κ.Ο.Χ.Ε.Ε.)

Ισχύει η παρακάτω κλιμάκωση :

Ζώνη Α	από 601	-	1100 ΒΗΘ
Ζώνη Β	από 1101	-	1600 ΒΗΘ
Ζώνη Γ	από 1601	-	2200 ΒΗΘ
Ζώνη Δ	περισσότερες από		2201 ΒΗΘ

Η περιοχή του Αγίου Κωνσταντίνου (Λοκρίδα) ανήκει στην Ζώνη Β. Αν λάβουμε υπ' όψη μας ότι η κοντινότερη πόλη από την οποία έχουμε δεδομένα στον Κ.Θ.Κ. είναι η Λαμία τότε βάσει του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1) ένα σπίτι χρειάζεται 1.467 Βαθμοημέρες Θέρμανσης (ΒΗΘ) οι οποίες αν πολλαπλασιαστούν με τις 24 ώρες τις ημέρας θα μας δώσουν 35.208 Βαθμοώρες Θέρμανσης (ΒΩΘ). Αυτό το μέγεθος είναι καθοριστικό για την συνέχεια.

Πίνακας 5.1: Ταξινόμηση των ελληνικών πόλεων σε κλιματικές ζώνες

ΠΟΛΕΙΣ	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
Αθήνα	ΖΩΝΗ B (από 1101 - 1600 ΒΗΘ)	1228
Αγρίνιο		1331
Αίγιο		1210
Άραξος		1155
Άρτα		1276
Βόλος		1471
Ελευσίνα		1240
Κάρυστος		1140
Κέρκυρα		1203
Κόρινθος		1167
Κύμη		1516
Λαμία		1467
Λευκάδα		1146
Λήμνος		1449
Μυτιλήνη		1234
Πάτρα		1207
Πύργος		1110
Σκόπελος		1452
Σκύρος		1246
Χαλκίδα		1200

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι βαθμοημέρες θέρμανσης (ΒΗΘ) είναι υπολογισμένες σε θερμοκρασία βάσης ($T_{\text{σχεδιασμού}}$) τους 19 °C.

5.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

5.2.1 Ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης (Αντλία Θερμότητας)

Γνωρίζουμε από τον ΚΘΚ ότι:

- ΒΩΘ Λαμίας = 35.208
- Μέση $T_{\min \varepsilon \xi} = -4$

Επίσης η $T_{\sigma \chi \epsilon \delta \iota \alpha \sigma \mu \acute{o} \upsilon} = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Άρα μπορούμε να υπολογίσουμε το $\Delta T_{\sigma \chi \epsilon \delta} = T_{\sigma \chi \epsilon \delta} - T_{\min \varepsilon \xi}$ (Harrison *et al.* , 1990)

- $\Delta T_{\sigma \chi \epsilon \delta \iota \alpha \sigma \mu \acute{o} \upsilon} = 19 - (-4) = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Με βάση τον όγκο και τη θερμομόνωση του κτιρίου η ισχύς που χρειαζόμαστε είναι $35 \text{ kW}_{\text{th}}$. Επομένως η απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης είναι

- Ενέργεια = $(\text{ΙΣΧΥΣ} / \Delta T_{\sigma \chi \epsilon \delta \iota \alpha \sigma \mu \acute{o} \upsilon}) \cdot \text{ΒΩΘ} = 53.577 \text{ kWh}$

Για να υπολογίσουμε την ενέργεια που καταναλώνει μόνο η ΓΑΘ για θέρμανση διαιρούμε την συνολικά απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση με το $\text{SPF}_{\text{θέρμανσης}}$ της Γ.Α.Θ.. Οπότε έχουμε:

- $53.577 / 4,5 = 11.906 \text{ kWh}_e$

5.2.2 Ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης (Αντλία Θερμότητας)

Εργαζόμαστε όπως στην περίπτωση της θέρμανσης:

- Θεωρούμε τις βαθμοώρες ψύξης = 12.000
- Μέση $T_{\max \varepsilon \xi} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Επίσης η $T_{\sigma \chi \epsilon \delta \iota \alpha \sigma \mu \acute{o} \upsilon} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Άρα μπορούμε να υπολογίσουμε το $\Delta T_{\sigma \chi \epsilon \delta} = T_{\max \varepsilon \xi} - T_{\sigma \chi \epsilon \delta}$ (Harrison *et al.* , 1990)

- $\Delta T_{\sigma \chi \epsilon \delta \iota \alpha \sigma \mu \acute{o} \upsilon} = 35 - 26 = 9 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Με βάση τον όγκο και τη θερμομόνωση του κτιρίου η ισχύς που χρειαζόμαστε είναι 22 kW_e . Επομένως η απαιτούμενη ενέργεια ψύξης είναι:

- $\text{Ενέργεια} = (\text{ΙΣΧΥΣ} / \Delta T_{\text{σχεδιασμού}}) \cdot \text{ΒΩΘ} = 29.333 \text{ kWh}$

Για να υπολογίσουμε την ενέργεια που καταναλώνει μόνο η ΓΑΘ για ψύξη διαιρούμε την συνολικά απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη με το $\text{SPF}_{\text{ψύξης}}$ της Γ.Α.Θ.. Οπότε έχουμε:

- $29.333 / 3,5 = 8.380 \text{ kWh}_e$

5.2.3 Ενεργειακές απαιτήσεις θέρμανσης (Γεωεναλλάκτης)

Για να υπολογίσουμε πόσα μέτρα γεωεναλλάκτη χρειαζόμαστε πρέπει να γνωρίζουμε πόση ισχύ απαιτούμε από αυτόν καθώς και την θερμική απόληψη / απόδοση του υπεδάφους.

Ισχύει ότι

- $\text{SPF}_{\text{th}} = (\text{Pg} + \text{Pe}) / \text{Pe}$ και
- $\text{Pg} + \text{Pe} = 35 \text{ kW}$

Pg : η ισχύς που παρέχεται στο σύστημα απο το υπέδαφος

Pe : η ισχύς που παρέχεται στο σύστημα μέσω ηλεκτρικού ρεύματος στον συμπιεστή της ΓΑΘ.

Επομένως:

- $\text{SPF}_{\text{th}} = (\text{Pg} + \text{Pe}) / \text{Pe} \rightarrow$
 $4,5 = 35 / \text{Pe} \rightarrow$
 $\text{Pe} = 7,8 \text{ kW}$ και
- $\text{Pg} + \text{Pe} = 35 \text{ kW} \rightarrow$
 $\text{Pg} = 35 - \text{Pe} = 35 - 7,8 \rightarrow$
 $\text{Pg} = 27,2 \text{ kW}.$

Άρα υπολογίσαμε την $\text{Pe} = 7,8 \text{ kW}$

και την $\text{Pg} = 27,2 \text{ kW}$

Επομένως για να υπολογίσουμε το μήκος του Γ.Ε.Θ. θα λάβουμε υπόψιν μας την ειδική θερμική απόδοση του πετρώματος που μας αφορά βάσει του παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.2: Ειδικές απολήψεις / αποδόσεις σύνηθων πετρωμάτων / εδαφών (Καρύτσας και Μενδρινός, 2004)

Είδος Πετρωμάτων Υπεδάφους	Ειδική Απόληψη/Απόδοση θερμότητας ανά m ΓΕΘ	
	για 1800 h/έτος	για 2400 h/έτος
Ξηρές φερτές ύλες	25 W/m	20 W/m
Αμμοχάλικο, άμμος - ξερή	< 25 W/m	< 20 W/m
Αμμοχάλικο, άμμος – κορεσμένα με νερό	65 - 80 W/m	55 - 65 W/m
Αργιλώδες έδαφος, υγρό	35 - 50 W/m	30 - 40 W/m
Αργιλικός Σχιστόλιθος	30 – 55 W/m	20 – 35 W/m
Ασβεστόλιθος (συμπαγής)	55 - 70 W/m	45 - 60 W/m
Ψαμμίτες	65 - 80 W/m	55 - 65 W/m
Γρανίτης	65 - 85 W/m	55 - 70 W/m

Το πέτρωμά μας είναι ασβεστόλιθος με ειδική θερμική απόληψη / απόδοση: 55W/m
Άρα θα χρειαστούμε:

- $P_g / (55\text{W/m}) = (27200\text{W}) / (55\text{W/m}) = 495\text{m ΓΕΘ}$

Δηλαδή θα χρειαστούμε σχεδόν 500m ΓΕΘ.

5.2.4 Ενεργειακές απαιτήσεις ψύξης (Γεωεναλλάκτης)

Όμοια θα εργαστούμε και για την ψύξη:

Ισχύει ότι

- $\text{SPF}_c = (P_g - P_e)/P_e$ και
- $P_g - P_e = 22\text{kW}$

P_g : η ισχύς που παρέχεται στο υπέδαφος από το σύστημα

P_e : η ισχύς που παρέχεται στο σύστημα μέσω ηλεκτρικού ρεύματος στον συμπιεστή της Γ.Α.Θ..

Επομένως:

- $\text{SPF}_c = (P_g - P_e)/P_e \rightarrow$
 $3,5 = 22 / P_e \rightarrow$

$$P_e = 6,3 \text{ kW}$$

- $P_g - P_e = 22 \text{ kW} \rightarrow$
 $P_g = 22 + P_e = 22 + 6,3 \rightarrow$
 $P_g = 28,3 \text{ kW}.$

Άρα υπολογίσαμε την $P_e = 6,3\text{kW}$ και την $P_g = 28,3\text{kW}$.

Επομένως για να υπολογίσουμε το μήκος του Γ.Ε.Θ. θα λάβουμε υπόψιν μας την ειδική θερμική απόληψη του πετρώματος που μας αφορά βάσει του πίνακα 5. Το πέτρωμά μας είναι ασβεστόλιθος με ειδική θερμική απόληψη / απόδοση: 55W/m . Άρα θα χρειαστούμε:

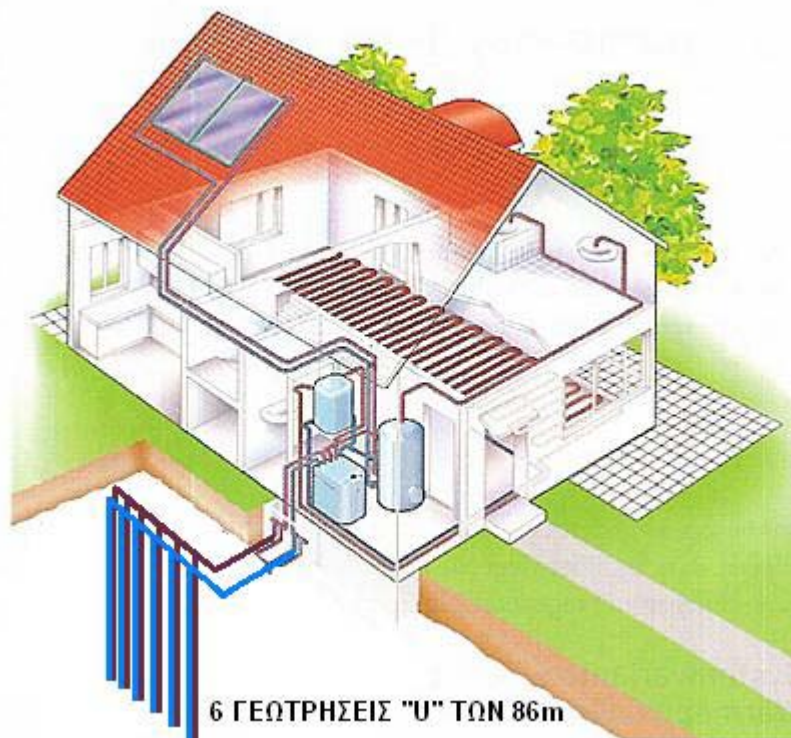
- $P_g / (55\text{W/m}) = (28.300\text{W}) / (55\text{W/m}) = 515\text{m ΓΕΘ}$

Δηλαδή θα χρειαστούμε 515m ΓΕΘ . Βλέπουμε ότι για την ψύξη χρειαζόμαστε μεγαλύτερο μήκος γεωεναλλάκτη απ' ότι για τη θέρμανση, επομένως ο σχεδιασμός μας θα συνεχιστεί με βάση τα 515m αφού έτσι καλύπτονται και οι απαιτήσεις της θέρμανσης. Αυτό το μήκος γεωεναλλάκτη θα διαμοιραστεί σε 6 γεωτρήσεις των 86m . Αυτό γίνεται διότι σε γεωτρήσεις άνω των 100m οι πιέσεις του νερού είναι μεγάλες και είναι πολύ πιθανό να δημιουργήσουν σοβαρό πρόβλημα στην γεωθερμική εγκατάσταση (π.χ. 5 γεωτρήσεις των 103m ή 4 γεωτρήσεις των 128m).

5.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

5.3.1 Γεωεναλλάκτης

Προτείνεται η δημιουργία κλειστού κυκλώματος - ground coupled / closed loop διότι δεν υπάρχουν ευνοϊκές υδρολογικές συνθήκες στην περιοχή έτσι ώστε να τις εκμεταλλευτούμε γεωθερμικά. Για την υλοποίηση του έργου, προτείνεται να κατασκευασθούν 6 τυφλές γεωτρήσεις (κατακόρυφοι γήινοι εναλλάκτες θερμότητας) βάθους εκάστης 86m . Οι κατακόρυφοι γήινοι εναλλάκτες θερμότητας θα έχουν μεταξύ τους αξονική απόσταση 6 m σχηματίζοντας τεθλασμένη γραμμή, με γενικά εύκολη οδήγηση των σωλήνων στο χώρο που υπάρχει το μηχανοστάσιο στο οποίο βρίσκονται η αντλία θερμότητας και ο λέβητας ζεστού νερού.



Σχήμα 5.2: Σχηματική αναπαράσταση της εφαρμογής.

Οι γεωτρήσεις αποτελούν προέκταση της υδραυλικής εγκατάστασης κλιματισμού του κτιρίου και έτσι γίνεται η θερμική εκτόνωση του κτιρίου, μέσω του κλειστού εναλλάκτη θερμότητας νερού-εδάφους, κατακόρυφου τύπου (Καρύτσας 2004). Στους κατακόρυφους γήινους εναλλάκτες θερμότητας (γεωτρήσεις):

- Κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα καθαρό νερό.
- Δεν εμπεριέχεται ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός (π.χ. υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα).
- Δεν γίνεται καμία απόληψη υπόγειου νερού, ενώ αυτές δεν στεγάζονται σε οποιαδήποτε κατασκευή, π.χ. οικίσκο, κiosk, στέγη, αλλά βρίσκονται θαμμένες κάτω από το τελικώς διαμορφωμένο επίπεδο του εδάφους.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι δεν προκαλείται καμία αρνητική επίπτωση στο περιβάλλον από την κατασκευή τους και κυρίως δεν επηρεάζεται ούτε κατά την εγκατάσταση ούτε κατά την λειτουργία ο υδροφόρος ορίζοντας.

Πριν την έναρξη των εργασιών κατασκευής των γεωτρήσεων οι οποίες θα πρέπει να διανοιχθούν από εξειδικευμένο συνεργείο, θα πρέπει να κατασκευαστούν σε συνεργασία με τον προμηθευτή των σωληνώσεων και την σύμφωνη γνώμη του επιβλέποντα, πρότυπη διάταξη σύνδεσης των κάτω άκρων των σωληνώσεων της γεώτρησης σε σχήμα «U». Η διάταξη αυτή θα πρέπει να ελεγχθεί ως προς τη στιβαρότητά της, αλλά και την αντοχή της σε διαρροές σε πίεση 16 atm. Οι σωληνώσεις, που πρόκειται να βυθιστούν στην γεώτρηση θα παραληφθούν σε κουλούρες των 100 m. Στα άκρα δύο ρολών θα συνδεθεί το ειδικό

τεμάχιο. τύπου «U», όπως ακριβώς έχει αποφασισθεί. Στη συνέχεια η διπλή σωλήνωση θα καθαριστεί με νερό, θα πληρωθεί με νερό από τα άλλα δύο άκρα των ρολών και θα τεθεί υπό πίεση 16 bar για περίοδο τουλάχιστον τεσσάρων ωρών. Η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση της πίεσης κατά την περίοδο αυτή δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει τα 1,5 bar υπό σκιά και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C. Στη συνέχεια τα δύο ελεύθερα άκρα της σωλήνωσης θα τεθούν υπό ατμοσφαιρική πίεση, και ενώ η σωλήνωση παραμένει πλήρης με νερό, θα ταπωθούν. Η σωλήνωση τότε θα είναι έτοιμη για βύθιση. Κάθε γεώτρηση θα πληρωθεί με μείγμα 85% τσιμέντου και 15% μπετονίτη μέχρι των άνω άκρων της. Η διπλή σωλήνωση κάθε γεώτρησης συνδέεται με οριζόντιες υπόγειες σωληνώσεις πολυαιθυλενίου με το κύκλωμα της αντλίας θερμότητας μέσα στο μηχανοστάσιο του υπογείου.

Οι γεωτρήσεις θα έχουν διάμετρο 7" και θα διανοιχθούν στα σημεία που προβλέπει η μελέτη με χρήση ειδικού εξοπλισμού που θα απαιτηθεί. Οι γεωτρήσεις προτείνεται να κατασκευασθούν με υδραυλικό γεωτρήπανο, θετικής κυκλοφορίας.

Αμέσως μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό της γεώτρησης, θα βυθιστεί μέσα σε αυτήν η προετοιμασμένη διπλή σωλήνωση (γεμισμένη με νερό) και αμέσως μετά θα πρέπει να ξεκινήσει η διαδικασία πλήρωσης της γεώτρησης με μείγμα τσιμέντου μπετονίτη - άμμου από κάτω προς τα πάνω. Οι εξωτερικές σωληνώσεις του πεδίου των γεωτρήσεων θα είναι από σωλήνα πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας εξωτερικής διαμέτρου 32mm, ονομαστικής πίεσης λειτουργίας 16atm, πάχους 4,4mm μέχρι τους συλλέκτες της αντλίας θερμότητας. Μετά την πλήρωση της γεώτρησης, η διπλή σωλήνωση θα παραμείνει πλήρης με νερό με τα δύο άνω άκρα της ταπωμένα.

Επίσης:

- Προβλέπεται η εγκατάσταση αντλητικού συγκροτήματος για την κυκλοφορία του νερού εντός του γεωεναλλάκτη.
- Ανάλογα με τον όγκο του νερού που απαιτείται για την ενδοδαπέδια θέρμανση θα επιλέξουμε και τον όγκο του δοχείου διαστολής.
- Για την απαλλαγή του πρωτεύοντος κυκλώματος νερού από τα διαλυμένα αέρια, προβλέπεται η τοποθέτηση συσκευής απαέρωσης του δικτύου.

5.3.2 Σύνδεση με την Αντλία Θερμότητας

Ο γεωεναλλάκτης έρχεται σε επαφή με τον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας. Εκεί το νερό του γεωεναλλάκτη μεταφέρει θερμότητα στο ρευστό της αντλίας και ξεκινάει ο θερμικός κύκλος της.

Οι κατακόρυφοι γήινοι εναλλάκτες θερμότητας της υπό μελέτη περίπτωσης σχεδιάζονται έτσι ώστε να έχουν την εξής ειδική απόληψη θερμότητας από το υπέδαφος (κατά τη λειτουργία θέρμανσης) ή ειδική απόδοση θερμότητας στο υπέδαφος (κατά τη λειτουργία ψύξης).

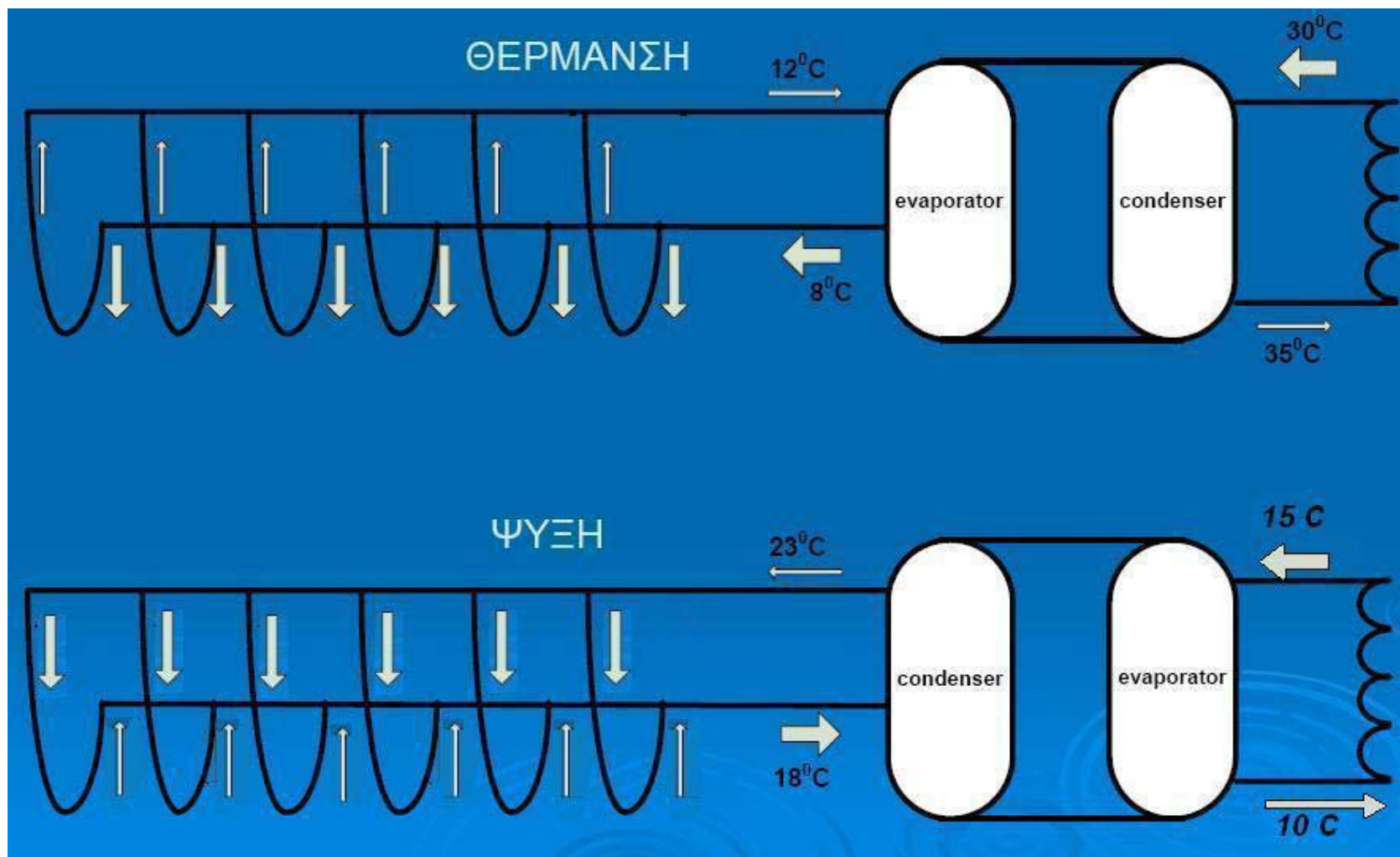
1. Λειτουργία Θέρμανσης:

- Απόληψη από το υπέδαφος 55W ανά m ΓΕΘ
- Παροχή = 8 m³/h
- Έξοδος από ΓΕΘ 12°C
- Είσοδος στον ΓΕΘ 8 °C
- Ενέργεια προερχόμενη από τους ΓΕΘ = 27,2 kWth

2. Λειτουργία Ψύξης :

- Απόδοση στο υπέδαφος 55 W ανά m ΓΕΘ
- Παροχή = 8 m³/h
- Έξοδος από ΓΕΘ 18°C
- Είσοδος στον ΓΕΘ 23°C
- Ενέργεια αποδιδόμενη στους ΓΕΘ = 28,3 kWc

Οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου φαίνονται στο παρακάτω σχηματικό διάγραμμα:



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα ροής του προτεινόμενου κλειστού συστήματος 6 κατακόρυφων γεωεναλλακτών στις λειτουργίες ψύξης και θέρμανσης.

Αφού λοιπόν η γήινη θερμότητα αναβαθμίζεται στην Γ.Α.Θ., περνάει στο κτίριο μέσω ενδοδαπέδιας θέρμανσης αποτελούμενης από σωλήνες πολυαιθυλενίου. Μέσω της ενδοδαπέδιας διαχέεται σε ολόκληρο τον όγκο του κτιρίου από κάτω προς τα πάνω σε αντίθεση με τα θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ) όπου η θερμότητα διαχέεται σφαιρικά

Όφελος από την κατασκευή του έργου.

Με το έργο θα καλυφθούν οι ανάγκες της κτιριακής εγκατάστασης για ψύξη και θέρμανση και τα πλεονεκτήματα της εγκατάστασης συνοψίζονται στα εξής:

- Η εγκατάσταση δεν θα χρειάζεται λέβητα, ούτε δεξαμενή πετρελαίου, διότι δεν χρησιμοποιείται καθόλου πετρέλαιο ή άλλο καύσιμο.
- Δεν θα χρειάζεται πύργο ψύξης ή ψυγείο, τα οποία παράγουν θόρυβο και είναι ιδιαίτερα ενοχλητικά στην λειτουργία τους. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του όλου συστήματος ο μόνος θόρυβος που παράγεται είναι αυτός της αντλίας θερμότητος (της τάξης των 50dB) . Αν λάβουμε υπόψιν ότι η αντλία βρίσκεται στο υπόγειο του σπιτιού τότε ο θόρυβος βρίσκεται σαφώς εντός των αποδεκτών ορίων.
- Δεν θα υπάρχει πουθενά καύση ή καπνοδόχος και δεν παράγονται κατά συνέπεια ρύποι (όπως μονοξείδιο του άνθρακα κτλ).
- Δεν υπάρχουν θερμές επιφάνειες και δεν δημιουργούνται σπινθήρες σε κανένα τμήμα της διαδικασίας ή των εγκαταστάσεων

Σε συνέπεια των δύο τελευταίων αναφορών δεν προκύπτουν αυξημένες ανάγκες για εξοπλισμό πυροπροστασίας.

- Δεν θα υπάρχουν στο κτίριο εξωτερικές εγκαταστάσεις και μονάδες (όπως στα κλασσικά συστήματα ψύξης - Air Condition) που είναι αντιαισθητικά στην εικόνα του κτιρίου.
- Οι εγκαταστάσεις και τα υγρά και αέρια που χρησιμοποιούνται στο κλειστό κύκλωμα είναι 100% οικολογικά.
- Δεν λαμβάνεται σε καμία περίπτωση νερό από τον υδροφόρο ορίζοντα.
- Το ετήσιο κόστος κλιματισμού (ψύξης και θέρμανσης) θα είναι, συγκρινόμενο με τις συμβατικές μεθόδους θέρμανσης (φυσικό αέριο, πετρέλαιο θέρμανσης και ηλεκτρισμός), μειωμένο.
- Η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι μειωμένη.

6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε πίνακες οι ενεργειακές και κατά συνέπεια οικονομικές απαιτήσεις των γεωθερμικών αλλά και συμβατικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης προκειμένου να γίνει ευκολότερη η σύγκριση κόστους. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών στο Κεφάλαιο 5.

Λήφθηκαν υπόψιν οι πιο πρόσφατες τιμές υλικών, προϊόντων, τιμών πετρελαίου θέρμανσης και ηλεκτρικής κιλοβατώρας έτσι ώστε η μελέτη να ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν καλύτερα στις παρούσες οικονομικο-τεχνικές συνθήκες.

6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τις σημερινές τιμές των συμβατικών μέσων θέρμανσης / ψύξης και σύμφωνα με την μελέτη που περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας θα γίνει η σύγκριση κόστους, τόσο σε επίπεδο αρχικού κόστους εγκατάστασης όσο και σε επίπεδο 20 ετίας.

Με χρήση υπολογιστικών φύλλων Microsoft Office Excel προέκυψε ο παρακάτω πίνακας ο οποίος δείχνει τα κόστη του συμβατικού αλλά και γεωθερμικού συστήματος σε ετήσια βάση (Πίνακας 6.1):

Πίνακας 6.1: Ετήσια κόστη ΓΑΘ και συμβατικών συστημάτων.

	ΕΤΗΣΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ					
			ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ			
	ΒΑΘΜΟΩΡΕΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	SPF	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ
ΘΕΡΜΑΝΣΗ	35.208	53577 kWh	0,12 € / kWh	4,5	11906 kWh	1.429 €
ΨΥΞΗ	12.000	29333 kWh	0,12 € / kWh	3,5	8381 kWh	1.006 €
			ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΛΕΒΗΤΑΣ)			
			ΚΟΣΤΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	ΑΠΟΔΟΣΗ ΛΕΒΗΤΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ
ΘΕΡΜΑΝΣΗ	35.208	53577 kWh	0,072 € / kWh (th)	0,85	63031 kWh	4.538 €
			ή 8500 kcal / kg			
			ή 35530 kJ / kg			
			ή 9,87 kWh / kg			
			ή 720 € / ton			
			ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΑ)			
			ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ	SPF	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ
ΨΥΞΗ	12.000	29333 kWh	0,12 € / kWh (e)	2	14.666 kWh	1.760 €
ΕΤΗΣΙΑ ΚΟΣΤΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ		
ΓΑΘ	1.429 €	1.006 €	150 €	2585 € / έτος		
ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ	4.538 €	1.760 €	400 €	6698 € / έτος		

Από τα ανωτέρω δεδομένα προκύπτει ότι το συνολικό ετήσιο κόστος της Γ.Α.Θ. είναι λιγότερο από το μισό του αντίστοιχου των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, με την Γ.Α.Θ. να απαιτεί περίπου 2.600 € ανά έτος και τα συμβατικά συστήματα λέβητα και κλιματιστικών να απαιτούν περίπου 6.698 € ανά έτος.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το συνολικό κόστος της γεωθερμικής εγκατάστασης που προτείνουμε συμπεριλαμβάνοντας και το κόστος του γεωεναλλάκτη, το κόστος εργασιών, αδειών, μελέτης, το κόστος αγοράς της αντλίας και του λοιπού εξοπλισμού. Συγκεκριμένα για τον γεωεναλλάκτη το κόστος είναι 50 €/m επομένως για τα 515m που χρειάζονται η τιμή κυμαίνεται στα 25.750 €.

Συνοπτικά οι απαιτήσεις είναι:

Πίνακας 6.2: Τιμές αγοράς και εγκατάστασης γεωθερμικού συστήματος

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ €
Έκδοση άδειας	1.000
Μελέτη-επίβλεψη	3.000
Γεωεναλλάκτης	25.750
Αντλία Θερμότητας 35 kW _(th)	8.500
Λοιπός εξοπλισμός	3.000
Σωλήνες	1.000
Εγκατάσταση	3.000
Εκκίνηση	1.000
ΣΥΝΟΛΟ	46.250

Στον λοιπό εξοπλισμό ανήκουν οι κυκλοφορητές, τα δοχεία διαστολής, ο ηλεκτρικός πίνακας, οι αυτοματισμοί, το μπόιλερ κλπ. Το κόστος εγκατάστασης λοιπόν του γεωθερμικού συστήματος είναι 46.250 € και τα ετήσια έξοδα λειτουργίας ανέρχονται στα 2600 €.

Σύμφωνα με την European Heat Pump Association (EHPA) και το GROUNDHIT (Ground Coupled Heat Pumps of High Technology) το κόστος της εγκατάστασης (λέβητας πετρελαίου) που θα κάλυπτε τις ανάγκες θέρμανσης του κτιρίου ανέρχεται στα 20.000 € και ετήσιο κόστος συντήρησης 200 €. Αντίστοιχα για ψύξη με συμβατικό μέσο θέρμανσης (κλιματιστικά) η αγορά και εγκατάστασή τους θα κοστίσει 4.340 € και ετήσιο κόστος συντήρησης 200€.

Όπως φαίνεται λοιπόν στους πίνακες 6.1 και 6.2 το αρχικό κόστος του γεωθερμικού συστήματος είναι μεγαλύτερο του συμβατικού. Στα 5,5 χρόνια όμως γίνεται απόσβεση χρημάτων και από εκεί και έπειτα το συμβατικό σύστημα είναι ασύμφορο οικονομικά.

6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

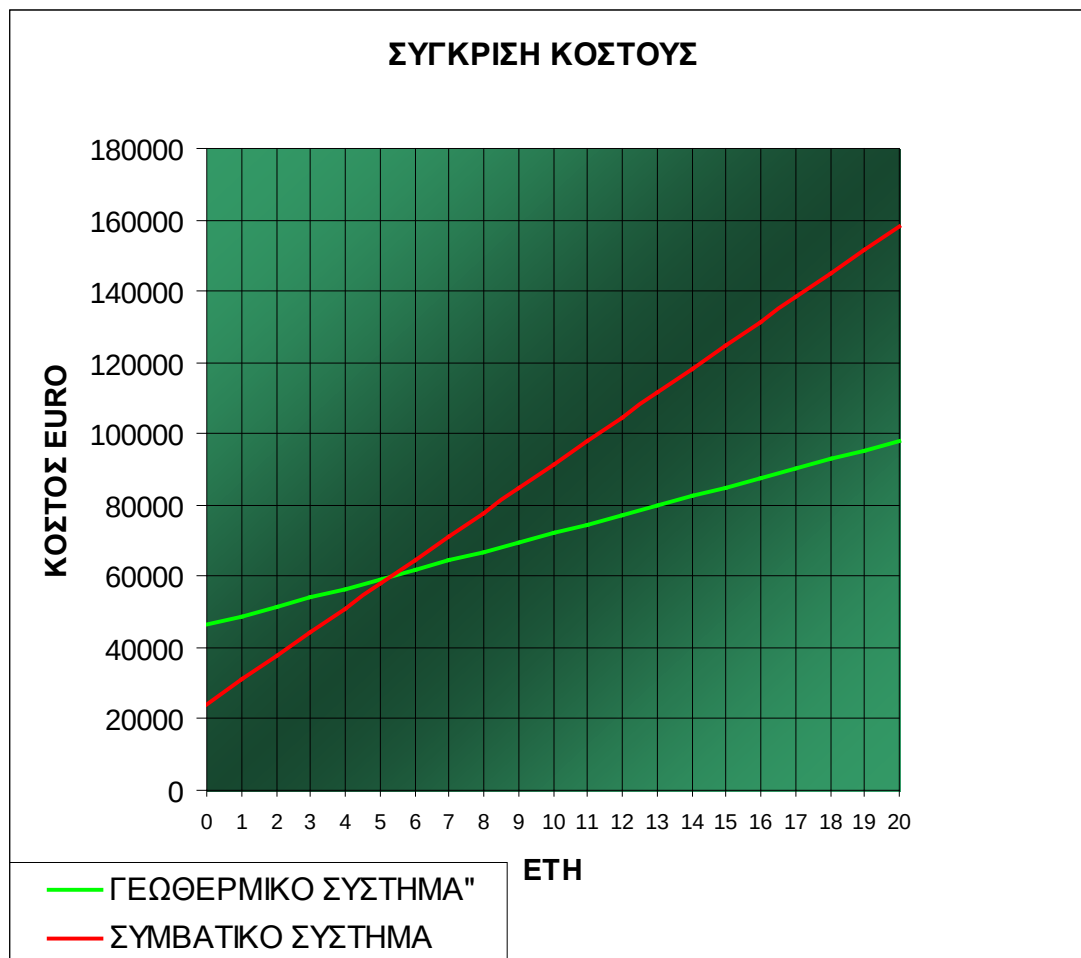
Το κόστος ενός συμβατικού συστήματος εκτιμάται σε 24.340 € με ετήσιο λειτουργικό κόστος περίπου 6.700 €. Ενώ τα αντίστοιχα κόστη του γεωθερμικού συστήματος εκτιμώνται σε 46.250 € με ετήσιο λειτουργικό κόστος περίπου 2.600 €. Δηλαδή από τη λειτουργία του γεωθερμικού συστήματος εξοικονομούνται κάθε χρόνο 4.100 €.

Η εξέλιξη του κόστους αναλογικά με τον χρόνο παρουσιάζεται στον πίνακα 6.3 και αφορά σε διάστημα εικοσαετίας

Πίνακας 6.3: Σύγκριση κόστους για διάστημα 20 ετών.

ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ		ΓΑΘ	
ΕΤΗ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ €	ΕΤΗ	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ €
0	24340	0	46250
1	31038	1	48834
2	37736	2	51418
3	44434	3	54002
4	51132	4	56586
5	57830	5	59170
6	64528	6	61754
7	71226	7	64338
8	77924	8	66922
9	84622	9	69506
10	91320	10	72090
11	98018	11	74674
12	104716	12	77258
13	111414	13	79842
14	118112	14	82426
15	124810	15	85010
16	131508	16	87594
17	138206	17	90178
18	144904	18	92762
19	151602	19	95346
20	158300	20	97930

ενώ στο σχήμα 6.1 δίδεται το διάγραμμα σύγκρισης κόστους του γεωθερμικού και του συμβατικού συστήματος, για διάστημα 20 ετών.



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα σύγκρισης κόστους συμβατικού και γεωθερμικού συστήματος για διάστημα 20 ετών.

Σε αυτό το σενάριο θεωρήσαμε ότι η τιμή του πετρελαίου και του ηλεκτρισμού θα παραμείνει στάσιμη και ότι δεν δίνονται επιδοτήσεις στους ιδιώτες για γεωθερμικές εφαρμογές, κάτι που συμβαίνει σε πολλές χώρες του εξωτερικού. Πιθανή αύξηση της τιμής του πετρελαίου θέρμανσης τα επόμενα χρόνια, και πιθανή επιδότηση κάποιου ποσοστού των εξόδων εγκατάστασης θα κάνει ακόμα πιο συμφέρουσα την επιλογή του γεωθερμικού συστήματος και η απόσβεση θα πραγματοποιηθεί ακόμα πιο σύντομα.

7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

7.1 ΣΥΝΟΨΗ

Μετά την μελέτη που πραγματοποιήθηκε και περιγράφηκε στα προηγούμενα κεφάλαια προέκυψε ότι το συνολικό κόστος της εγκατάστασης συμβατικού συστήματος εκτιμάται στα 24.340 € με ετήσιο λειτουργικό κόστος περίπου 6.700 € και το αντίστοιχο κόστος του γεωθερμικού συστήματος κατακόρυφων γεωεναλλακτών συνδυασμένων με Γ.Α.Θ. εκτιμάται στα 46.250 € με ετήσιο λειτουργικό κόστος περίπου 2.600 €.

Πρακτικά, από τη λειτουργία του γεωθερμικού συστήματος εξοικονομούνται κάθε χρόνο 4.100 € με αποτέλεσμα να γίνει απόσβεση χρημάτων στα 5,5 χρόνια, χωρίς να

λάβουμε υπόψιν μας την διαρκώς αυξανόμενη τιμή του πετρελαίου, του ηλεκτρισμού και τις πιθανές επιδοτήσεις.

7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την παρούσα εργασία προέκυψε ότι η εγκατάσταση γεωθερμικού συστήματος 6 κατακόρυφων γεωεναλλακτών βάθους 86m εκάστου, συνδυασμένων με Γ.Α.Θ. συνολικής ισχύος 35kW αποσβαίνει το κόστος της σε 5,5 χρόνια - αφού έχει χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης - και είναι οικονομικά συμφέρουσα σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης με πετρέλαιο και ψύξης με κλιματιστικά. Ανεξαρτητοποιεί τον καταναλωτή από την ανοδική πορεία της τιμής του πετρελαίου, μειώνει τις οικιακές εκπομπές CO₂ σε μηδενικό βαθμό (πλέον ο καταναλωτής επιβαρύνει το περιβάλλον μόνο με το CO₂ που παράγει ο λιγνιτικός σταθμός για να καλύψει τις ανάγκες του σπιτιού του σε ηλεκτρισμό), έχει μηδαμινό αισθητικό και ηχητικό αντίκτυπο στο κτίριο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Ευφροσύνη Αθαν. Καράμπαμπα, Πολ. Μηχ. ΕΜΠ (2007). *Ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίων – μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας στα υφιστάμενα κτίρια*, Αθήνα.
- Καρυδάκης Γρηγόριος Ι. (2005). *Γεωθερμική Ενέργεια*. Αθλότυπο, Αθήνα.
- Μ. Φυτίκας και Ν. Ανδρίτσος (2004). *Γεωθερμία*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Γεντεκάκης Ιωάννης (2003). *Φυσικοχημεία*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Γενικό Τμήμα, Χανιά.
- Αγιουτάντης Ζ. Γ. και Μερτίκας Σ. Π. (2003). *Ένας πρακτικός οδηγός για τη συγγραφή τεχνικών κειμένων*, Εκδόσεις Ίων, Περιστέρι, Αθήνα.
- Μ. Φυτίκας (2009). *Γεωθερμική ενέργεια: Η μεγάλη «αδικημένη» των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα*. Energy Point, τεύχος 23, Μάιος 2009.
- Καρύτσας Κ. και Μενδρινός Δ. (2005). *Γεωθερμία, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, εμπειρία Κ.Α.Π.Ε.* . Μεταλλειολογικά Μεταλλουργικά Χρονικά, τόμος 15, Ιούλιος – Δεκέμβριος 2005.
- *Εθνικό Συνέδριο Εφαρμογών Γεωθερμίας: πρακτικά των εργασιών του Συνεδρίου*, Θεσσαλονίκη, 23 – 25 Οκτωβρίου 1989.
- Π. Τσόφλιας και Σ. Σιμεωνίδης (1990). *Γεωλογική μελέτη τμήματος της λιγνιτοφόρου λεκάνης της ευρύτερης περιοχής της Λοκρίδος*. Μεταλλειολογικά Μεταλλουργικά Χρονικά, 75/1990.

Ξένη Βιβλιογραφία

- Young Hugh D. (1992). *Πανεπιστημιακή Φυσική*. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.
- Dickson H. Mary and Fanelli Mario (2004). *Τι είναι Γεωθερμική Ενέργεια;* Istituto di Geoscienze e Georisorse. CNR, Pisa, Italy, Μετάφραση Μ. Φυτίκας και Μαρία Παπαχρήστου. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.
- Harrison R., Mortimer N. D. and Smarason O. B. (1990). *Geothermal Heating: A Handbook of Engineering Economics*. Oxford, New York, Pergamon Press.

Ηλεκτρονικές Σελίδες

- Ground Coupled Heat Pumps of High Technology, www.groundhit.eu
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, www.cres.gr
- Geothermal Heat Pump Consortium, www.geoexchange.org
- Reaching the Kyoto targets by Ground Source Heat Pumps www.groundreach.eu
- International Geothermal Association, <http://iga.igg.cnr.it>

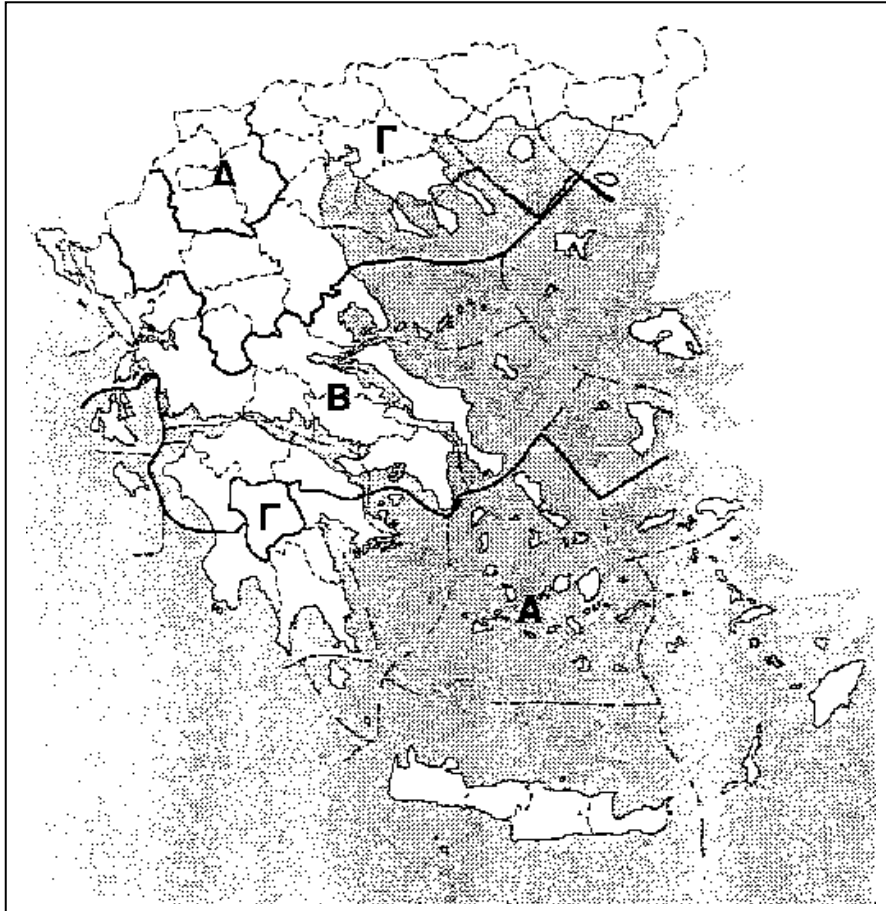
Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτιρίων (ΦΕΚ 362/79)
- Αναστασία Μπένου (2007). *Οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας*, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.).
- Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Ο.Χ.Ε.Ε.)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Π1.1 Υποδιαίρεση της χώρας κατά κλιματική ζώνη

Για τους υπολογισμούς των κύριων παραμέτρων θερμικής προστασίας του κτιριακού κελύφους, δηλαδή των συντελεστών θερμοπερατότητας κατά την περίοδο θέρμανσης, η χώρα υποδιαιρείται σε τέσσερις (4) κλιματικές ζώνες, με βάση τις ετήσιες Βαθμοημέρες Θέρμανσης (ΒΗΘ):



Ισχύει η παρακάτω κλιμάκωση :

Ζώνη Α	από 601	-	1100 ΒΗΘ
Ζώνη Β	από 1101	-	1600 ΒΗΘ
Ζώνη Γ	από 1601	-	2200 ΒΗΘ
Ζώνη Δ	>2201 ΒΗΘ		

Σημείωση: Οι βαθμοημέρες θέρμανσης (ΒΗΘ) είναι υπολογισμένες σε θερμοκρασία βάσης τους 19°C.

Π1.2 Κατάταξη πόλεων και περιοχών σε κλιματικές ζώνες

Βάσει αυτού του παραπάνω διαχωρισμού, οι νομοί της Ελλάδας ταξινομούνται ακολούθως:

ΠΙΝΑΚΑΣ Π1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΑΝΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ			
ΖΩΝΗ Α	ΖΩΝΗ Β	ΖΩΝΗ Γ	ΖΩΝΗ Δ
1. Αργολίδας 2. Δωδεκανήσου 3. Ζακύνθου 4. Ηρακλείου 5. Κεφαλληνίας 6. Κυκλάδων 7. Λακωνίας 8. Λασηθίου 9. Μεσσηνίας 10. Πειραιά ¹ 11. Ρεθύμνου 12. Σάμου 13. Χανίων	1. Αιτωλοακαρνανίας 2. Άρτας 3. Αττικής 4. Αχαΐας 5. Βοιωτίας 6. Εύβοιας 7. Ηλείας 8. Θεσπρωτίας 9. Κέρκυρας 10. Κορινθίας 11. Λέσβου 12. Λευκάδας 13. Μαγνησίας 14. Πρέβεζας 15. Φθιώτιδας 16. Φωκίδας 17. Χίου	1. Αρκαδίας ² 2. Δράμας 3. Έβρου 4. Ευρυτανίας 5. Ημαθίας 6. Θεσσαλονίκης 7. Ιωαννίνων 8. Καβάλας 9. Καρδίτσας 10. Κιλκίς 11. Λάρισας 12. Ξάνθης 13. Πέλλας 14. Πιερίας 15. Ροδόπης 16. Σερρών 17. Τρικάλων 18. Χαλκιδικής	1. Γρεβενών 2. Καστοριάς 3. Κοζάνης 4. Φλώρινας

1. Εκτός της ευρύτερης περιοχής της πόλης του Πειραιά και της Σαλαμίνας, που ανήκουν στη ζώνη Β.

2. Εκτός της επαρχίας Κυρηνουρίας, που ανήκει στη ζώνη Α.

ΠΙΝΑΚΑΣ Π1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ		
ΠΟΛΕΙΣ	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
1. Αντίπαρος	A από 601 - 1100 ΒΗΘ	899
2. Αργοστόλι		998
3. Αστυπάλαια		835
4. Γόρτυνος (Κρήτης)		1004
5. Ζάκυνθος		940
6. Ηράκλειο		829
7. Θήρα		1082
8. Ιεράπετρα		681
9. Ικαρία		877
10. Καλαμάτα		992
11. Κάρπαθος		697
12. Κύθηρα		1052
13. Κως		896
14. Μεθώνη		953
15. Μήλος		1068
16. Νάξος		856
17. Ναύπλιο		1095
18. Παλαιοχώρα (Κρήτης)		730
19. Πάρος		932
20. Πειραιάς		1001
21. Ρέθυμνο		714
22. Ρόδος		935
23. Σάμος		1022
24. Σητεία		745

ΠΙΝΑΚΑΣ Π1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ		
ΠΟΛΕΙΣ	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
25. Σούδα		1055
26. Σύρος		971
27. Τυμπάκιο		898
1. Αθήνα		1228
2. Αγρίνιο		1331
3. Αίγιο		1210
4. Ανάβρυτα		1537
5. Άραξος		1155
6. Άρτα		1276
7. Βόλος		1471
8. Ελευσίνα		1240
9. Κάρυστος		1140
10. Κέρκυρα		1203
11. Κόρινθος		1167
12. Κύμη		1516
13. Λαμία		1467
14. Λευκάδα		1146
15. Λήμνος		1449
16. Μυτιλήνη		1234
17. Ορεοί		1428
18. Πάτρα		1207
19. Πύργος		1110
20. Σκόπελος		1452
21. Σκύρος		1246
22. Τανάγρα		1546
23. Χαλκίδα		1200
24. Χίος		1113
1. Αγχίαλος		1740
2. Αλεξανδρούπολη		1923
3. Αλίαρτος		1839
4. Ανώγεια		1703
5. Δεσφίνα		1974
6. Δράμα		1945
7. Έδεσσα		2053
8. Θάσος		1781
9. Θεσσαλονίκη		1812
10. Ιωνάννινα		2027
11. Καβάλα		1970
12. Καλαμπάκα		1813
13. Κομοτινή		1996
14. Κόνιτσα		2003
15. Λάρισα		1858
16. Λιδωρίκι		1991
17. Ξάνθη		1910
18. Ορεστιάς		2187
19. Σέρρες		2010
20. Σουφλί		2124
21. Τζερμιάδες		2089
22. Τρίκαλα		1702
23. Τρίπολη		2085
24. Φάρσαλα		1777
1. Δομοκός		2376
2. Καλάβρυτα		2240
3. Κοζάνη		2469
4. Πλάτανος (Ναυπακτίας)		2363
5. Πολύγυρος		2300
6. Πτολεμαΐδα		2483
7. Φλώρινα		2620

B

από 1101 - 1600 ΒΗΘ

Γ

από 1601 - 2200 ΒΗΘ

Δ

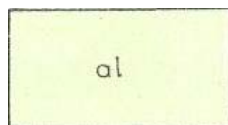
>2201 ΒΗΘ

ΠΙΝΑΚΑΣ Π1.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ		
ΠΟΛΕΙΣ	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
1. Αγρίνιο	B	1331
2. Αγχίαλος	Γ	1740
3. Αθήνα	B	1228
4. Αίγιο	B	1210
5. Αλεξανδρούπολη	Γ	1923
6. Αλίαρτος	Γ	1839
7. Ανάβρυτα	B	1537
8. Αντίπαρος	A	899
9. Ανώγεια	Γ	1703
10. Άραξος	B	1155
11. Αργοστόλι	A	998
12. Άρτα	B	1276
13. Αστυπάλαια	A	835
14. Βόλος	B	1471
15. Γόρτυνος (Κρήτης)	A	1004
16. Δεσφίνα	Γ	1974
17. Δομοκός	Δ	2376
18. Δράμα	Γ	1945
19. Έδεσσα	Γ	2053
20. Ελευσίνα	B	1240
21. Ζάκυνθος	A	940
22. Ηράκλειο	A	829
23. Θάσος	Γ	1781
24. Θεσσαλονίκη	Γ	1812
25. Θήρα	A	1082
26. Ιεράπετρα	A	681
27. Ικαρία	A	877
28. Ιωνάννινα	Γ	2027
29. Καβάλα	Γ	1970
30. Καλάβρυτα	Δ	2240
31. Καλαμάτα	A	992
32. Καλαμπάκα	Γ	1813
33. Κάρπαθος	A	697
34. Κάρυστος	B	1140
35. Κέρκυρα	B	1203
36. Κοζάνη	Δ	2469
37. Κομοτινή	Γ	1996
38. Κόνιτσα	Γ	2003
39. Κόρινθος	B	1167
40. Κύθηρα	A	1052
41. Κύμη	B	1516
42. Κως	A	896
43. Λαμία	B	1467
44. Λάρισα	Γ	1858
45. Λευκάδα	B	1146
46. Λήμνος	B	1449
47. Λιδωρίκι	Γ	1991
48. Μεθώνη	A	953
49. Μήλος	A	1068
50. Μυτιλήνη	B	1234
51. Νάξος	A	856
52. Ναύπλιο	A	1095
53. Ξάνθη	Γ	1910

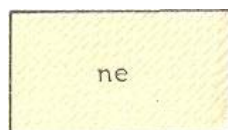
ΠΙΝΑΚΑΣ Π1.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΟΛΕΩΝ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ		
ΠΟΛΕΙΣ	ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ
54. Ορεοί	B	1428
55. Ορεστιάς	Γ	2187
56. Παλαιοχώρα (Κρήτης)	A	730
57. Πάρος	A	932
58. Πάτρα	B	1207
59. Πειραιάς	A	1001
60. Πλάτανος (Ναυπακτίας)	Δ	2363
61. Πολύγυρος	Δ	2300
62. Πτολεμαίδα	Δ	2483
63. Πύργος	B	1110
64. Ρέθυμνο	A	714
65. Ρόδος	A	935
66. Σάμος	A	1022
67. Σέρρες	Γ	2010
68. Σητεία	A	745
69. Σκόπελος	B	1452
70. Σκύρος	B	1246
71. Σούδα	A	1055
72. Σουφλί	Γ	2124
73. Σύρος	A	971
74. Τανάγρα	B	1546
75. Τζερμιάδες	Γ	2089
76. Τρίκαλα	Γ	1702
77. Τρίπολη	Γ	2085
78. Τυμπάκιο	A	898
79. Φάρσαλα	Γ	1777
80. Φλώρινα	Δ	2620
81. Χαλκίδα	B	1200
82. Χίος	B	1113



Σχήμα Π1.1: Γεωλογικός χάρτης Αγίου Κωνσταντίνου Λοκρίδος.



Τεταρτογενές. Άργιλοι, άμμοι, λατύπες, κροκάλες, ηπειρωτικές αποθέσεις, παράκτια κροκαλοπαγή



Νεογενές λιμναίο με λιγνίτες. Μάργες, άργιλλοι, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι,