

**ΤΕΙ ΣΕΡΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

ΛΙΟΥΤΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ-ΑΕΜ: 4869

ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ-ΑΕΜ: 4817

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΚΑΒΑΛΙΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΣΕΡΡΕΣ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	5
1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	10
1.3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	11
1.4 ΤΥΠΟΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ.....	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ.....	15
2.1.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ.....	15
2.1.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΜΕΣΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ.....	16
2.1.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ.....	16
2.2 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	18
2.2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ.....	19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

3.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	22
3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	23
3.2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	27
3.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	28
3.3.1 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4.1 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	37
4.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	39
4.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ.....	45
4.4 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	47
4.5 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	52
4.5.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....	52
4.5.1.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	52
4.5.1.2 ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΕΣ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	54
4.5.1.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	56

4.5.1.4 ΚΑΤΑΒΥΘΙΖΟΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	58
4.5.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

5.1 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΓΑΘ).....	61
5.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΓΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑ 130 Τ.Μ	62
5.3 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	64
5.3.1 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΕΝΑΝΤΙ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....	66
5.4 ΣΤΟΧΕΥΣΗ ΣΕ ΕΡΓΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.....	70
5.5 ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.....	72
5.6 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ.....	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

6.1 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	87
6.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	89
6.2.1 ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	92
6.2.2 ΠΕΔΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	92
6.2.3 ΜΗΛΟΣ ΚΑΙ ΝΙΣΥΡΟΣ.....	92
6.2.4 ΆΛΛΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ.....	94
6.3 ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	95
6.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	97
6.4.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	99
6.4.2 ΙΔΙΟΚΤΗΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΣΤΟΝ ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟ ΚΟΡΩΠΙΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ.....	103
6.4.3 ΚΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΥ Ε.Μ.Π.....	107
6.4.4 ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΕ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΗΠΑ.....	108
6.4.5 ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΆΛΛΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ GEOTHERMAL HEAT PUMP CONSORTIUM.....	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

7.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ-ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ	110
7.1.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	111
7.1.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ.....	114
7.1.3 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	115
7.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ.....	116

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η συγκριτική αξιολόγηση συστημάτων θέρμανσης — ψύξης χώρων, με αντλίες θερμότητας, έναντι άλλων συμβατικών εγκαταστάσεων, που χρησιμοποιούν σαν βάση τους το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Η προσπάθεια της τεχνολογίας για την εκμετάλλευση ακόμα και των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών της γεωθερμίας, οδήγησε στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, οι οποίες παρά το γεγονός ότι αποτελούν σύνθετες μηχανικές κατασκευές λειτουργούν ικανοποιητικά και είναι σίγουρα αξιόπιστα μηχανήματα. Στην παρούσα εργασία παρατίθενται στοιχεία εκτιμήσεως τους, τόσο σε θέματα απόδοσης όσο και σε οικονομικά δεδομένα, βασιζόμενα τόσο σε έργα που έχουν ήδη περατωθεί, όσο και σε έργα που πρόκειται να γίνουν, στα οποία εξετάζεται η βιωσιμότητα τους με τη χρήση των αντλιών θερμότητας, σε τεχνικοοικονομικές μελέτες.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαια . Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή της γεωθερμίας και περιγράφονται βασικές έννοιες και αρχές της . Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας και παρατίθενται σειρά παραδειγμάτων των χρήσεων στην Ελλάδα. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται οι τύποι των γεωθερμικών πεδίων και περιγράφεται αναλυτικά η αβαθής γεωθερμία. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται βασικές αρχές λειτουργίας των αντλιών θερμότητας καθώς και οι τύποι των συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε αυτές. Στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζονται οικονομικά δεδομένα που προκύπτουν από τη σύγκριση των συστημάτων αντλιών θερμότητας με άλλα συμβατικά εγκατάστασης θέρμανσης-ψύξης. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά των γεωθερμικών περιοχών στην Ελλάδα και παρατίθενται μια σειρά εφαρμογών των αντλιών θερμότητας στην Ελλάδα (Νέο Δημαρχείο Πυλαίας Θεσσαλονίκης, κτήριο στον Άγιο Δημήτριο Κορωπίου Αττικής, κτήριο του τμήματος Ηλεκτρολόγων και Μεταλλειολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π) και σε παγκόσμιο επίπεδο. Στο έβδομο κεφάλαιο εξετάζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση της γεωθερμικής ενέργειας και περιγράφονται τα τεχνικά προβλήματα κατά την αξιοποίηση της.

Τέλος θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέπων καθηγητή κ. Γκαβαλειά Βασίλειο για την ευκαιρία που μας έδωσε να εκπονήσουμε την πτυχιακή με θέμα « αξιοποίηση της γεωθερμίας μέσω αντλιών θερμότητας » καθώς και για τις συμβουλές του και την καθοδήγηση» καθ' όλη την διάρκεια του εξαμήνου. Επίσης τον κ. Καρυδάκη Γρηγόριο για την πολύτιμη βοήθεια και υλικό που μας παρείχε, καθώς και τον κ. Βραχόπουλο Μιχάλη για τις χρήσιμες γνώσεις και πληροφορίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

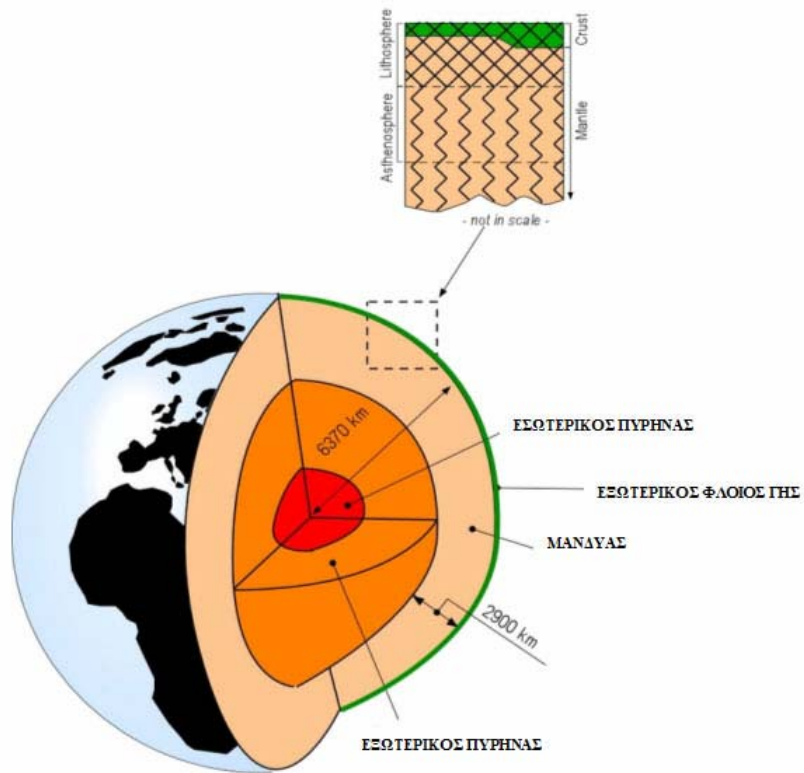
Η παρουσία ηφαιστείων, θερμών πηγών και άλλων επιφανειακών εκδηλώσεων θερμότητας είναι αυτή που οδήγησε τους προγόνους μας στο συμπέρασμα ότι το εσωτερικό της γης είναι ζεστό. Όμως, μόνο κατά την περίοδο μεταξύ του 16ου και 17ου αιώνα, όταν δηλαδή κατασκευάστηκαν τα πρώτα μεταλλεία που ανορύχθηκαν σε βάθος μερικών εκατοντάδων μέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, οι άνθρωποι, με τη βοήθεια κάποιων απλών φυσικών παρατηρήσεων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος.

Οι πρώτες μετρήσεις με θερμόμετρο έγιναν κατά πάσα πιθανότητα το 1740, σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας (Bullard, 1965). Ήδη από το 1870, για τη μελέτη της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης χρησιμοποιούνταν κάποιες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι, ενώ η θερμική κατάσταση που διέπει τη γη, η θερμική ισορροπία και εξέλιξή της κατανοήθηκαν καλύτερα τον 20ο αιώνα, με την ανακάλυψη του ρόλου της «ραδιενεργής θερμότητας». Πράγματι, σε όλα τα σύγχρονα πρότυπα (μοντέλα) της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης πρέπει να συμπεριλαμβάνεται η θερμότητα που συνεχώς παράγεται από τη διάσπαση των μακράς διάρκειας ζωής ραδιενεργών ισοτόπων του ουρανίου (U^{238} , U^{235}), του θορίου (Th^{232}) και του καλίου (K^{40}), τα οποία βρίσκονται στο εσωτερικό της γης (Lubimova, 1968). Εκτός από τη ραδιενεργό θερμότητα, δρουν αθροιστικά, σε απροσδιόριστες όμως ποσότητες, και άλλες δυνητικές πηγές θερμότητας, όπως είναι η «αρχέγονη ενέργεια» από την εποχή δημιουργίας και μεγέθυνσης του πλανήτη. Μέχρι τη δεκαετία του 1980 τα μοντέλα αυτά δεν βασιζόνταν σε κάποιες ρεαλιστικές θεωρίες. Τότε όμως αποδείχθηκε ότι αφενός δεν υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ της ραδιενεργής θερμότητας που δημιουργείται στο εσωτερικό της γης και της θερμότητας που διαφεύγει από

τη γη προς στο διάστημα και αφετέρου ότι ο πλανήτης μας ψύχεται με αργό ρυθμό και στο εσωτερικό του.

Ως μια γενική ιδέα της φύσης και της κλίμακας του εμπλεκόμενου φαινομένου, μπορεί να αναφερθεί η λεγόμενη «θερμική ισορροπία», όπως διατυπώθηκε από τους Stacey and Loper (1988). Σύμφωνα με αυτήν, η ολική ροή θερμότητας από τη γη (αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία) εκτιμάται ότι ανέρχεται στα 42×10^{12} W. Από αυτά, 8×10^{12} W προέρχονται από το φλοιό, που αντιπροσωπεύει μόνο το 2% του συνολικού όγκου της γης αλλά είναι πλούσιος σε ραδιενεργά ισότοπα, $32,3 \times 10^{12}$ W προέρχονται από το μανδύα, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 82% του συνολικού όγκου της γης και $1,7 \times 10^{12}$ W προέρχονται από τον πυρήνα, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 16% του συνολικού όγκου της γης και δεν περιέχει ραδιενεργά ισότοπα (Σχήμα 1.1 ένα σχήμα της εσωτερικής δομής της γης). Αφού η ραδιενεργή θερμότητα του μανδύα εκτιμάται σε 22×10^{12} W, η μείωση της θερμότητας στο συγκεκριμένο τμήμα της γης είναι $10,3 \times 10^{12}$ W. Σύμφωνα με πιο πρόσφατες εκτιμήσεις και υπολογισμούς, που βασίζονται σε μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων, η ολική θερμική ροή της γης είναι περίπου 6% υψηλότερη από τις τιμές που χρησιμοποίησαν οι Stacey and Loper το 1988. Ούτως ή άλλως όμως, η διαδικασία ψύξης παραμένει αργή. Η θερμοκρασία του μανδύα δεν έχει μειωθεί περισσότερο από 300-350°C τα τελευταία 3 δισεκατομμύρια χρόνια, παραμένοντας περίπου στους 4000°C στη βάση του. Έχει υπολογιστεί ότι το συνολικό θερμικό περιεχόμενο της γης (για θερμοκρασίες πάνω από τη μέση επιφανειακή των 15°C) είναι της τάξης των $12,6 \times 10^{24}$ MJ και του φλοιού $5,4 \times 10^{21}$ MJ (Armstead, 1983).

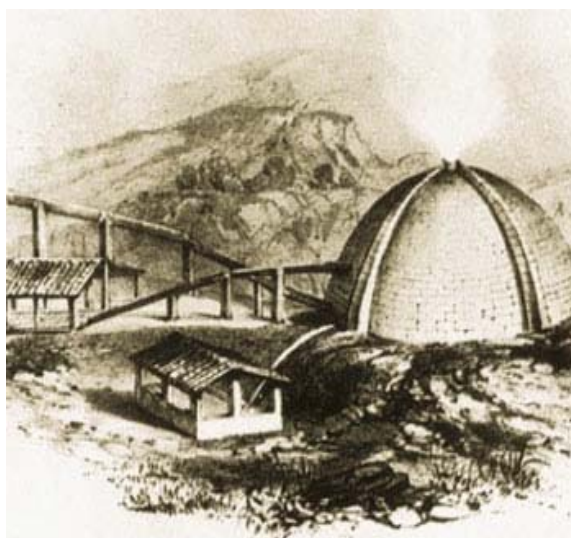
Όπως λοιπόν προκύπτει από τα παραπάνω, η θερμική ενέργεια της γης είναι απέραντη, όμως μόνο τμήμα αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί τελικά από τον άνθρωπο. Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα μέσο (νερό σε υγρή ή αέρια φάση) 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). Πιθανώς, στο άμεσο μέλλον, νέες πρωτοποριακές τεχνικές θα μας προσφέρουν καινούργιες προοπτικές στον τομέα αυτόν.



Σχήμα 1.1

Ο Φλοιός, ο Μανδύας και ο Πυρήνας της γης. Πάνω δεξιά: τομή του φλοιού και του ανώτερου μανδύα.

Σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής οι πρακτικές εφαρμογές προηγούνται της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογικής ανάπτυξης. Η γεωθερμία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του φαινομένου αυτού. Αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχόμενου των γεωθερμικών ρευστών γινόταν ήδη από τις αρχές του 19ου αιώνα. Εκείνη την περίοδο, στην Τοσκάνη της Ιταλίας και συγκεκριμένα στην περιοχή του Larderello, λειτουργούσε μια χημική βιομηχανία για την παραγωγή βορικού οξέος από τα βοριούχα θερμά νερά που ανέβλυζαν από φυσικές πηγές ή αντλούνταν από ρηχές γεωτρήσεις. Η παραγωγή του βορικού οξέος γινόταν με εξάτμιση των βοριούχων νερών μέσα σε σιδερένιους «λέβητες», χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη ξύλα από τα κοντινά δάση. Το 1827, ο Francesco Larderel, ιδρυτής της βιομηχανίας αυτής, αντί να καίγονται ξύλα από τα διαρκώς αποψιλούμενα δάση της περιοχής ανέπτυξε ένα σύστημα για τη χρήση της θερμότητας των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2

Η καλυμμένη «λιμνούλα» (covered lagoon), που χρησιμοποιούνταν κατά το πρώτο μισό του 19ου αιώνα στην περιοχή του Larderello, για τη συλλογή των βοριούχων υδάτων και την παραγωγή βορικού οξέος.

Η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του φυσικού ατμού ξεκίνησε περίπου την ίδια περίοδο. Ο γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιήθηκε για την ανέλκυση των ρευστών, αρχικά με κάποιους πρωτόγονους αέριους ανυψωτήρες και στη συνέχεια με παλινδρομικές και φυγοκεντρικές αντλίες και βαρούλκα. Ανάμεσα στο 1850 και 1875, οι εγκαταστάσεις του Larderello κατείχαν το μονοπώλιο παραγωγής βορικού οξέος στην Ευρώπη. Μεταξύ του 1910 και του 1940, στην περιοχή αυτή της Τοσκάνης ο χαμηλής πίεσης ατμός άρχισε να χρησιμοποιείται για τη θέρμανση βιομηχανικών κτιρίων, κατοικιών και θερμοκηπίων. Εν τω μεταξύ, ολοένα και περισσότερες χώρες άρχισαν να αναπτύσσουν τους γεωθερμικούς τους πόρους σε βιομηχανική κλίμακα. Το 1892, το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλε-θέρμανσης (district heating) τέθηκε σε λειτουργία στο Boise του Άινταχο των Η.Π.Α.. Το 1928, μια άλλη πρωτοπόρος χώρα στην εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η Ισλανδία, ξεκίνησε επίσης την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών (κυρίως θερμών νερών) για τη θέρμανση κατοικιών. Το 1904, έγινε η πρώτη απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό και πάλι στο Larderello της Ιταλίας (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3

Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό. Διακρίνεται επίσης ο εφευρέτης της, πρίγκιπας Piero Ginori Conti.

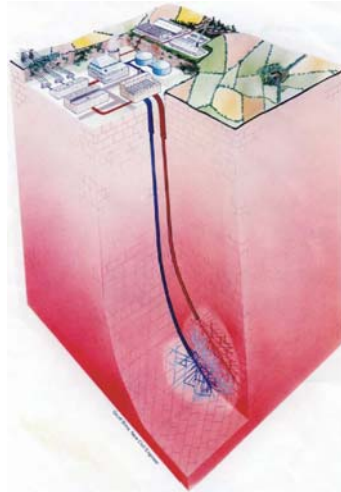
Η επιτυχία της αυτής πειραματικής προσπάθειας έδωσε μια ξεκάθαρη ένδειξη για τη βιομηχανική αξία της γεωθερμικής ενέργειας και σηματοδότησε την έναρξη μιας μορφής εκμετάλλευσης, που επρόκειτο έκτοτε να αναπτυχθεί σημαντικά. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Larderello αποτέλεσε πράγματι μια εμπορική επιτυχία. Το 1942, η εγκατεστημένη γεωθερμο-ηλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 KWe. Σύντομα, πολλές χώρες ακολούθησαν το παράδειγμα της Ιταλίας. Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Berru της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο The Geysers της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ. Το 1958 ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959, στις ΗΠΑ το 1960 και ακολούθησαν πολλά άλλα σε διάφορες χώρες.

1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Στα μέσα της δεκαετίας του '70 οι συχνές πετρελαϊκές κρίσεις και οι συνακόλουθες αυξήσεις του κόστους των συμβατικών πηγών ενέργειας (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), που είναι περιορισμένες, αλλά και η εμφάνιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων τη δεκαετία του '80, οδήγησαν στην αναθεώρηση της ενεργειακής πολιτικής των χωρών. Η διαπίστωση αυτή οδήγησε στην επιτάχυνση των ερευνών για οικονομικά αξιοποιήσιμη παραγωγή ενέργειας από άλλες πηγές, εκτός των συμβατικών και πυρηνικών καυσίμων, οι οποίες επιπλέον παρουσιάζουν το χαρακτηριστικό ότι είναι ανεξάντλητες.

Οι πηγές αυτές –γνωστές ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.)- θεωρούνται μη εξαντλήσιμες σε σχέση με τις συμβατικές και περιλαμβάνουν την υδροηλεκτρική, την αιολική, την ηλιακή, τη βιομάζα και τη **γεωθερμική ενέργεια**. Επίσης, στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συγκαταλέγονται τα αστικά και οργανικά απόβλητα, αν και είναι εξαντλήσιμα. Η τεχνολογική ανάπτυξη των Α.Π.Ε. τις καθιστά συνεχώς βιώσιμες και γίνεται προσπάθεια να αντιμετωπιστεί το κώλυμα του υψηλού κόστους κεφαλαίου σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα.

Γεωθερμική ενέργεια είναι η φυσική πηγή που προέρχεται από το εσωτερικό της Γης με τη μορφή θερμών ρευστών ατμού, νερού, αερίων και είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη. Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη σε ανθρώπινη κλίμακα μορφή ενέργειας και με αυτή την έννοια ανανεώσιμη, γιατί τα ρευστά που εκμεταλλευόμαστε έχουν μετεωρική προέλευση και ανανεώνονται. Γεωθερμική καλείται ακόμη και η ενέργεια των θερμών ανυδρών ή λιωμένων μαγματικών υλικών.



Σχήμα 1.4

Σχηματική αναπαράσταση ενός συστήματος Θερμών Ξηρών Πετρωμάτων σε οικονομική κλίμακα (από Richards et al., 1994).

1.3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η Γη όπως υπολογίζουν οι επιστήμονες σχηματίστηκε πριν από 5 δισεκατομμύρια έτη από την σκόνη και τα θερμά αέρια που αποτελούσαν το πρωτογενές ηλιακό σύστημα. Καθώς η νέα Γη ωριμάζε, η θερμότητα από την πρόσκρουση της ύλης που έπεφτε στην επιφάνειά της προκαλούσε πρόσθετη τήξη. Τα βαρύτερα υλικά (μέταλλα όπως ο σίδηρος και ο χαλκός) βυθίζονταν στον πυρήνα της, ενώ τα ελαφρύτερα βραχώδη υλικά σχημάτιζαν τους μανδύες και το φλοιό της Γης. Έτσι, η Γη αποτελείται από ανομοιογενή στρώματα που έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες και μπορεί να εμφανίζονται σε στερεή, πλαστική ή ρευστή μορφή, αναλόγως των θερμοκρασιών και των πιέσεων που επικρατούν σ' αυτά.

Η θερμοκρασία στο κέντρο της Γης εκτιμάται ότι είναι 3000-4200°C. αυτές οι θερμοκρασίες διατηρούνται και εξακολουθούν να παράγονται εφ' όσον η διάπυρη αυτή σφαίρα δεν έχει ψυχθεί ακόμη στο εσωτερικό. Επίσης, η θερμότητα που παράγεται από τη διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων των πετρωμάτων της, συντηρεί εν μέρει αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες.

Η εσωτερική θερμότητα της γήινης σφαίρας, που προέρχεται από τον έσω και τον εξωτερικό πυρήνα της, μεταδίδεται κανονικά από τους μανδύες

της προς το επιφανειακό στρώμα της και την επιφάνεια, από όπου χάνεται με ακτινοβολία στο διάστημα.

Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις φέρνουν στην επιφάνεια υλικά 1200°C, ατμίδες μέχρι 600°C και θερμά νερά μέχρι 100°C.

Τα αποτελέσματα της μετάδοσης θερμότητας από το εσωτερικό της Γης προς το φλοιό της είναι γενικά ανεπαίσθητο και η μεταβολή της θερμοκρασίας του επιφανειακού στρώματος δεν γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτή, παρά μόνο με την αύξησή της κατά την έννοια του βάθους.

Έτσι, η θερμοκρασία αυξάνει σταθερά από την επιφάνεια προς το εσωτερικό της γης με το ρυθμό της γεωθερμικής βαθμίδας, η μέση τιμή της οποίας είναι της τάξης των 30°C/Km (1°C ανά 30 m βάθους).

Η τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του λίθινου επιφανειακού στρώματος της Γης. Έτσι προκύπτει η έννοια της γεωθερμικής ροής, της θερμότητας που μεταδίδεται από το εσωτερικό προς την επιφάνειά της, που είναι πολύ πιο περιορισμένη από την ποσότητα θερμότητας που παρέχει ο ήλιος προς τη Γη.

Η ροή της θερμότητας εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων, όπως αναφέρθηκε και από τη γεωθερμική βαθμίδα αφού είναι το γινόμενο αυτών των δύο παραμέτρων και μετριέται με τις μονάδες θερμικής ροής (heat flow units, HFU, $\mu\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ ή σε mW/m^2). Η μέση τιμή της είναι ίση με 50 mW/m^2 .

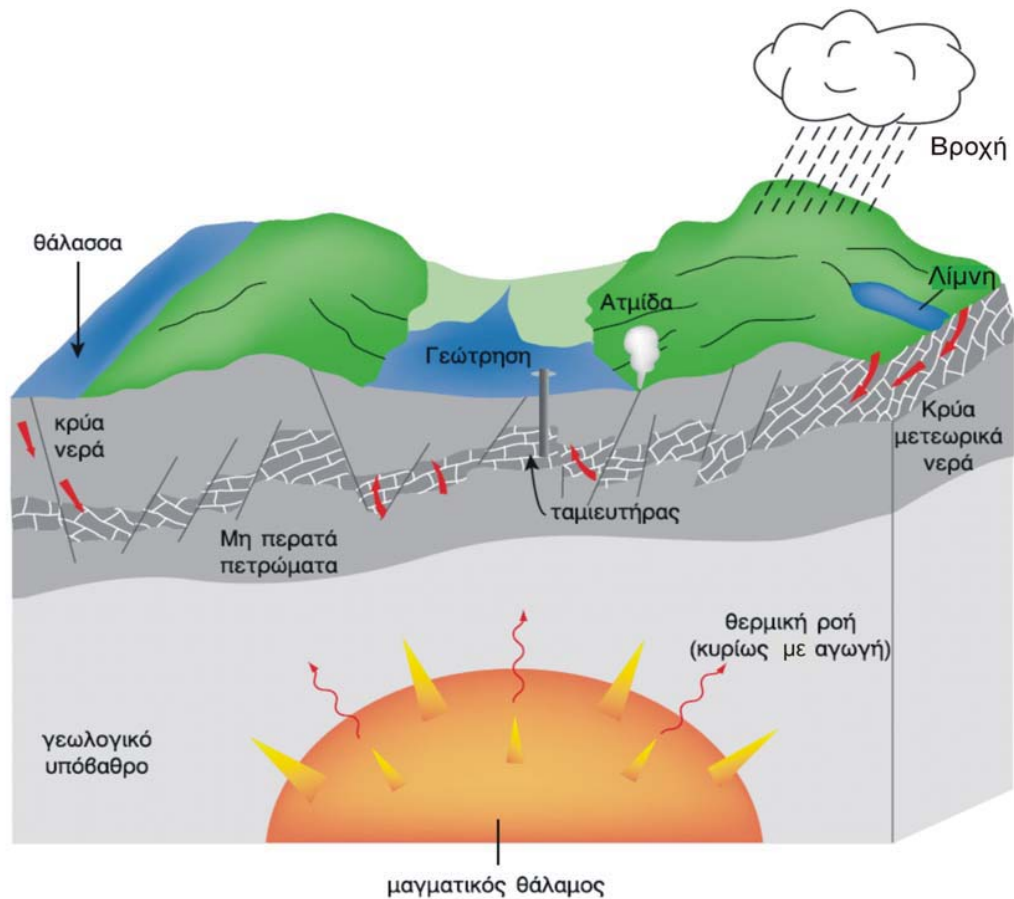
Η ροή αυτή είναι πιο υψηλή σε ορισμένες προνομιακές περιοχές της επιφάνειας της Γης που ταυτόχρονα έχουν και τιμή γεωθερμικής βαθμίδας πολλαπλάσιας της κανονικής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται γεωθερμική ανωμαλία και τέτοιες περιοχές έχουν μεγάλες πιθανότητες να αποτελούν να αποτελούν ζώνες συγκέντρωσης υψηλών θερμικών φορτίων υπό μορφή θερμών ρευστών σε μικρά βάθη, ώστε να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμα.

1.4 ΤΥΠΟΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Οι περιοχές της Γης, όπου υπάρχουν γεωθερμικά ρευστά σε ικανοποιητική ποσότητα, θερμοκρασία και μικρό σχετικά βάθος λέγονται γεωθερμικά πεδία, ενώ ο όρος «κοίτασμα» αποφεύγεται γιατί χρησιμοποιείται για συγκεκριμένα και εξαντλήσιμα μεταλλευτικά ορυκτά και ρευστά, ενώ τα γεωθερμικά ρευστά είναι ως γνωστά ανανεώσιμα και επομένως «ανοικτά» συστήματα.

Τρεις τύποι γεωθερμικών πεδίων είναι υπό εκμετάλλευση ευρύτατα σήμερα στον κόσμο. Πρόκειται για τα:

- **πεδία Υψηλής Ενθαλπίας ή Υπέρθερμα πεδία**, όταν η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού είναι από 150°C και πάνω μέχρι τους 400°C
- **πεδία Μέσης Ενθαλπίας**, όταν η θερμοκρασία αυτή κυμαίνεται μεταξύ 100 και 150°C
- **πεδία Χαμηλής Ενθαλπίας**, όταν η θερμοκρασία των ρευστών κυμαίνεται μεταξύ 25 και 100°C.



Σχήμα 1.5

Μοντέλο δημιουργίας ενός γεωθερμικό πεδίου, που παράγει ατμό, και τα κύρια γνωρίσματά του (από πάνω προς τα κάτω): η περιοχή επαναφόρτισης, το αδιαπέρατο κάλυμμα, ο ταμιευτήρας γεωθερμικών ρευστών και η πηγή ενέργειας.

Διαπιστώνεται η ανανεωσιμότητα του γεωθερμικού συστήματος, αφού τροφοδοτείται συνεχώς από επιφανειακά νερά. Στα υπέρθερμα πεδία συναντάμε κεκορεσμένους υδρατμούς, σε συνθήκες υψηλών πιέσεων. Ενώ, τόσο στα χαμηλής όσο και στα μέσης ενθαλπίας πεδία έχουμε την παρουσία θερμών ή ζεόντων υδάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

Όπως είδη αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο τα γεωθερμικά πεδία διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τις οποίες θα αναλύσουμε ξεχωριστά παρακάτω:

2.1.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Πρόκειται για υπέρθερμα πεδία στα οποία η θερμοκρασία του ρευστού ξεπερνά τους 180°C σε βάθος έως και 3 Km.

Ένα κέντρο που βρίσκεται σε μικρό σχετικά βάθος μέσα στο φλοιό της Γης κι έχει υψηλή θερμοκρασία αποτελεί τη βάση όλων των μοντέλων των γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας.

Μια τέτοια εστία αποτελείται κυρίως από μαγματικές μάζες διαφόρων διαστάσεων που διείσδυσαν στο φλοιό από μεγαλύτερα βάθη και είτε παραμένουν μέσα σε αυτόν είτε μερικές φορές βγαίνουν στην επιφάνεια. Όταν στις περιοχές αυτές δεν κυκλοφορούν ρευστά, η μεταφορά θερμότητας στο φλοιό γίνεται με αγωγή. Η περατότητα των πετρωμάτων κοντά στην επιφάνεια της Γης είναι μεγαλύτερη και έτσι επιτρέπει την κατείσδυση των ρευστών, όπου αυτά θερμαίνονται σε βάθος από την επαφή τους με τα θερμά πετρώματα. Έτσι γίνονται ελαφρύτερα και ανέρχονται προς την επιφάνεια, ενώ τα ψυχρότερα ρευστά παίρνουν την θέση τους και έτσι σχηματίζεται ένα σύστημα κυκλοφορίας που το αποτέλεσμα της θα είναι η συνεχής μεταφορά θερμότητας από το βάθος προς την επιφάνεια της Γης.

Η ενθαλπία του ρευστού είναι μεγαλύτερη όσο πιο θερμότερη και όσο πιο κοντά στην επιφάνεια της Γης είναι η εστία.

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας προσφέρονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιούνται κυρίως για αυτόν τον

σκοπό.

2.1.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΜΕΣΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Αυτά χαρακτηρίζονται από θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών μεταξύ 100 και 150°C. Οι τιμές αυτές της θερμοκρασίας δεν κρίνονται επαρκείς ώστε να επιτρέπουν την άμεση μετατροπή του ατμού σε ηλεκτρική ενέργεια. Είναι έτσι αναγκαία η μεσολάβηση ενδιάμεσων πτητικών ρευστών όπως η αμμωνία, το ισοβουτάνιο κ.λ.π. Ο τρόπος αυτός αξιολόγησης των γεωθερμικών ρευστών προξενεί κάποιες τεχνικές δυσκολίες αλλά παρά το γεγονός αυτό υπάρχουν εγκαταστάσεις αυτού του τύπου στην Ρωσία, στις Η.Π.Α, στην Κινά και αλλού.

Οι εγκαταστάσεις αυτής της κατηγορίας αναμένεται να αξιοποιηθούν ιδιαίτερα στο μέλλον γιατί επιτρέπουν την εύκολη εισαγωγή του γεωθερμικού ρευστού στο υπέδαφος.

2.1.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Ένα γεωθερμικό πεδίο χαρακτηρίζεται ως χαμηλής θερμοκρασίας ή ενθαλπίας, όταν παρουσιάζει θερμοκρασίες κάτω από 100°C μέχρι και 25°C (στη χώρα μας).

Στα πεδία αυτά -που συναντώνται συχνότερα- απουσιάζει η μαγματική πηγή θερμότητας. Το υπόγειο νερό θερμαίνεται λόγω της φυσιολογικής αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος. Η θερμική ανωμαλία είναι πολύ μικρότερη ή και ανύπαρκτη. Τα συγκεκριμένα πεδία παράγουν νερό και μη συμπυκνωμένα αέρια. Πολλές φορές υπάρχει η πιθανότητα να μην έχουν καθόλου αέρια και άλατα τα νερά.

Κύριο λόγο στη δημιουργία ενός γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας παίζει η τεκτονική, η φυσική θερμική ροή και η υπόγεια κυκλοφορία των ρευστών.

Η ύπαρξη κατάλληλων γεωλογικών-τεκτονικών δομών καθορίζει την υπόγεια κυκλοφορία θερμών ρευστών και τη μεταφορά ενέργειας από μεγάλα

βάθη και την αποθήκευση της σε «ρηχότερους» υδροπερατούς λιθολογικούς σχηματισμούς. Έτσι σε περιοχές π.χ. με εφελκιστικού τύπου τεκτονική που δημιουργούν πρόσφατης ηλικίας (τριτογενείς και τεταρτογενείς) λεκάνες, έχουμε μικρή θερμική ανωμαλία.

Εξαιτίας των «ανοικτών» ρηγμάτων και την ύπαρξη καλών υδροφόρων οριζόντων -κυρίως στη βάση των νεότερων ιζημάτων και το επάνω τμήμα του μεταμορφωμένου ή μεσοζωικού υποβάθρου- όπως επίσης και εξαιτίας των καλών στεγανών σχηματισμών πάνω από αυτούς, επιτρέπεται η σύντομη άνοδος βαθύτερης προέλευσης θερμών ρευστών και η μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας.

Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω δημιουργούνται οι ευνοϊκές συνθήκες για τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής και πολλές φορές μέσης ενθαλπίας.

Επίσης σε παλιότερες λεκάνες ή άλλες γεωλογικές περιοχές γεωτεκτονικά σταθερές, με γεωθερμική βαθμίδα κανονική και ανάλογες λοιπές συνθήκες, μπορεί να εντοπιστούν ταμειυτήρες χαμηλής ενθαλπίας (π.χ. 75°C σε βάθος 1.5-2 Km).

Στα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας διακρίνουμε και τα πεδία πολύ χαμηλής ενθαλπίας. Σε αυτά οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από τους 60°C έως και τους 20°C. Τα γεωθερμικά αυτά ρευστά είναι συνήθως επιφανειακά, με αποτέλεσμα να παράγονται σε περιορισμένο βάθος και με περιορισμένο κόστος γεώτρησης.

Επίσης έχουμε τα γεωθερμικά πεδία αβαθούς υπεδαφικής θερμότητας τα οποία θα αναπτύξουμε ειδικότερα παρακάτω.

Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας συναντώνται σε πολύ πιο εκτεταμένες περιοχές ανά τον κόσμο και ιδιαίτερα -όπως ήδη αναφέρθηκε- σε μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες και ζώνες ενεργούς τεκτονικής. Τα ρευστά αυτά χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κατοικιών και σε αγροτικές ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Ο τύπος αυτός γεωθερμίας εμφανίζεται πολύ συχνά και οδηγεί αναμφίβολα σε ιδιαίτερα γενικευμένη χρήση μετά από επιτυχείς εγκαταστάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε πολλές χώρες, όπως στην Ουγγαρία, την Ισλανδία, τη Ρωσία και άλλες. Η μεγάλη δαπάνη που απαιτείται για βαθιές γεωτρήσεις επιβάλλει σχετική συγκέντρωση των χρήσεων και κατανομή τους

στο χρόνο σε όσο το δυνατό μεγαλύτερο βαθμό.

2.2 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Η αβαθής γεωθερμία -όπως αναφέρθηκε παραπάνω- ανήκει στην κατηγορία των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας. Προέρχεται κυρίως (80-90%) από την ροή της ενδογήινης θερμότητας η οποία προέρχεται από το θερμό εσωτερικό της Γης προς τα επιφανειακά εδαφικά στρωματά. Σε μικρά τελείως επιφανειακά βάθη (<20 m) έχουμε και επιπρόσθετη ενέργεια, που προκύπτει από τη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το έδαφος (κυρίως τις θερμές εποχές του έτους), η οποία αποθηκεύεται σε ποσοστό περίπου 47% του συνόλου της προσπίπτουσας στο έδαφος ενέργειας και αποτελεί το επιπρόσθετο 10-20% του συνολικού ενεργειακού φορτίου του εδάφους. Δύο παράγοντες συντελούν στην ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει την θερμότητα:

α) η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του εδάφους και γενικά των πετρωμάτων

β) το γεγονός ότι αν και υπάρχει απώλεια θερμότητας προς την ατμόσφαιρα (με ακτινοβολία), αυτό γίνεται με αργό ρυθμό.

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

Στον ελλαδικό χώρο και συγκεκριμένα στην περιοχή της Αττικής, έχει μετρηθεί η θερμοκρασία αυτή και είναι 18-20°C. Στην κεντρική Ευρώπη είναι χαμηλότερη (γύρω στους 13°C) ενώ σε βορειότερες χώρες (Σουηδία) είναι ακόμη πιο χαμηλή. Κάτω από το βάθος αυτό των 20 m έχουμε και την προσθετή επίδραση της γήινης γεωβαθμίδας (1°C ανά 33 m κατά μέσο όρο).

Για να δημιουργηθεί σαφής και ολοκληρωμένη εικόνα της υπεδαφικής θερμικής κατάστασης μιας περιοχής, λαμβάνονται πάντοτε υπόψη και οι

εκάστοτε συνθήκες-ιδιαιτερότητες, όπως η γεωλογική δομή και διάταξη των πετρωμάτων, η θερμική αγωγιμότητα και οι υδρολογικές συνθήκες της περιοχής

2.2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

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

α) στην απαγωγή της εδαφικής θερμότητας μέσω ενός συστήματος το οποίο αποτελείται από κάποιο ρευστό (συνήθως νερό) που κυκλοφορεί σε σύστημα σωληνώσεων που τοποθετούνται μέσα στο έδαφος και το οποίο ονομάζεται **γεωεναλλάκτης**

β) στην αναβάθμιση της (όταν κρίνεται αναγκαίο) μέσω μιας αντλίας θερμότητας

γ) στην συνεχή μεταφορά της μέσω συστήματος σωληνώσεων ή fan coils που καταλήγουν σε δίκτυο δαπέδου (επιδαπέδιου), οροφής, τοίχων, ή ακόμη και σε συμβατικά σώματα (καλοριφέρ), τα οποία έχουν ενσωματωμένο ανεμιστήρα για την διασπορά της θερμότητας και χρήση για τη θέρμανση του κτιρίου.

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

Τα τρία αυτά μέρη (γεωεναλλάκτης -αντλία θερμότητας -σύστημα μεταφοράς και διασποράς) απαρτίζουν όλα τα συστήματα (τεχνολογίες) χρήσης της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες εφαρμογής διαφέρουν μεταξύ τους στις επιμέρους (μικρές ή μεγάλες) διαφοροποιήσεις των τμημάτων αυτών: π.χ. χρήση διαφόρων τύπων αντλίας θερμότητας, διαφορετικό σύστημα γεωεναλλάκτη (ανοικτό ή κλειστό σύστημα, ρηχές ή βαθύτερες γεωτρήσεις με μεγαλύτερη οριζόντια ή κατακόρυφη ανάπτυξη) διαφορετικό σύστημα διασποράς της θερμότητας στο κτήριο (επιδαπέδιο, επιτοίχιο, με θερμαντικά σώματα) κ.λ.π.

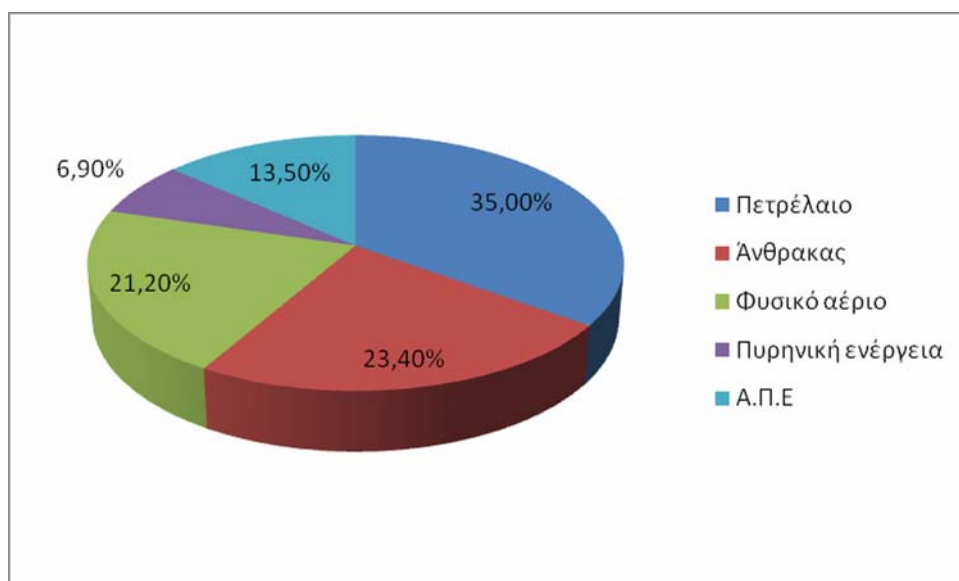
Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τρόποι υλοποίησης του γεωεναλλάκτη:

- α) οριζόντιο κύκλωμα,
- β) κατακόρυφο κύκλωμα,
- γ) οριζόντιο κύκλωμα σε λίμνη ή θάλασσα
- δ) ανοικτό κύκλωμα,

Τα οποία θα αναπτύξουμε στο κεφάλαιο 4 ξεχωριστά παραθέτοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

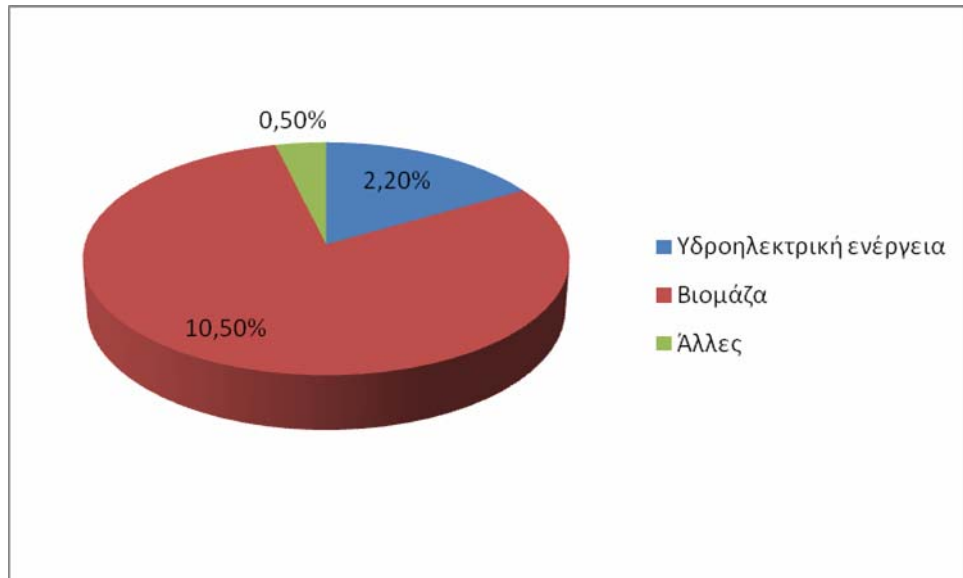
Η συμμετοχή των Α.Π.Ε στην παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας αντιπροσωπεύει το 13,5%. Στο ποσοστό αυτό το 2,2% καταλαμβάνει η υδροηλεκτρική ενέργεια ενώ το 10,5% καταλαμβάνει η βιομάζα, το υπόλοιπο 0,5% από άλλες . Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται αναλυτικά τα ποσοστά της πρωτογενούς ενέργειας.



Σχήμα 3.1

Ποσοστό συμμετοχής των Α.Π.Ε στην παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς Ενέργειας.

Α.Π.Ε



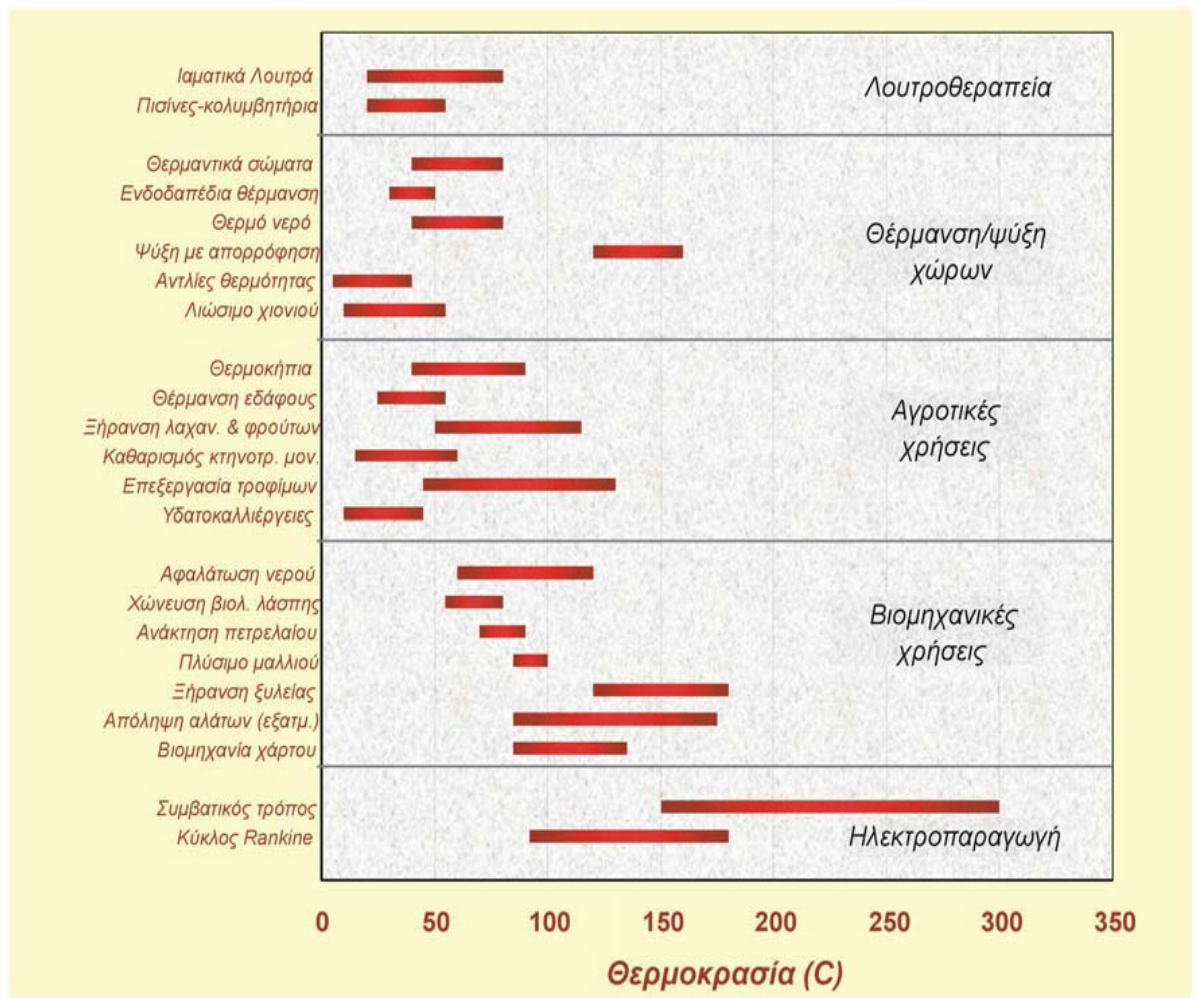
Σχήμα 3.2

Το 0,5% αντιπροσωπεύει την ηλιακή ενέργεια με ποσοστό 0,004%, την αιολική με 0,0027% και τέλος την γεωθερμική ενέργεια με ποσοστό 0,043%.

3.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται συνήθως σε **ηλεκτρικές** (electrical uses) και σε **άμεσες χρήσεις** (direct uses). Στην δεύτερη κατηγορία γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια.

Οι κυριότερες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας παρουσιάζονται συνοπτικά στο τροποποιημένο διάγραμμα Lindal (1973) (σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.3

Το τροποποιημένο διάγραμμα Lindal.

3.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ιδιαίτερα αποδοτική είναι η εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, που είναι εφικτή σε γεωθερμικά πεδία μέσης και υψηλής ενθαλπίας.

Στα υδροθερμικά αυτά συστήματα η μεταφορά της θερμότητας γίνεται με την ανοδική κυκλοφορία του φυσικά εμφανιζόμενου νερού (υγρό ή ατμός), που βρίσκεται πάνω από στερεοποιημένες (πρόσφατα) μαγματικές διεισδύσεις (600-1000°C). Άλλα υδροθερμικά συστήματα μεταφοράς οφείλονται στην κυκλοφορία μετεωρικού νερού μέσω ρηγμάτων και ρωγματώσεων σε μεγάλα βάθη, όπου υπάρχει υψηλή θερμοκρασία λόγω βάθους ή μαγματικών διεισδύσεων, θερμαίνεται και ακολουθεί ανοδική πορεία.

Τα συστήματα αυτά, ανάλογα με την κατάσταση του νερού διακρίνονται:

- σε γεωθερμικά πεδία ατμού (ξηρός ή υπέρθερμος)
- σε γεωθερμικά πεδία υγρού ατμού (νερό και ατμός).

Η ποιότητα ενός ατμού αναφέρεται στο ποσοστό του (%) στο γεωθερμικό ρευστό, όταν είναι 0% το εξερχόμενο στην επιφάνεια ρευστό είναι όλο υγρό, ενώ όταν είναι 100% το εξερχόμενο είναι όλο ξηρός ατμός.

Υπέρθερμος ατμός χαρακτηρίζεται όταν η θερμοκρασία του είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία ζέσεως στην υφιστάμενη πίεση. Ξηρός ατμός είναι όταν δεν περιέχει υγρή φάση και υγρός ατμός όταν ο ατμός περιέχει και ποσότητες υγρού (νερό) από το οποίο έχει παραχθεί.

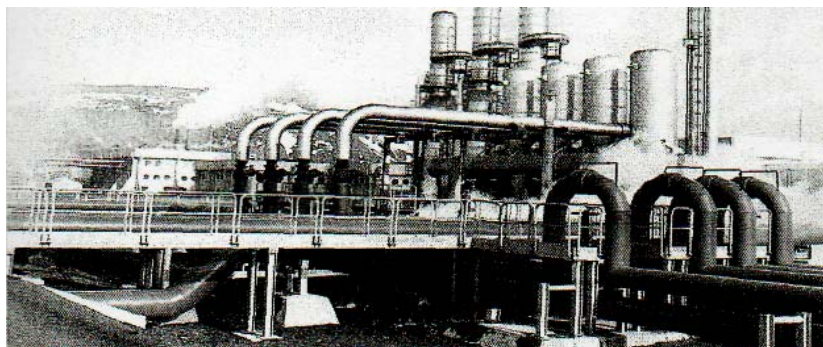
Στα περισσότερα πεδία το νερό βρίσκεται σε υγρή κατάσταση, αφού συνήθως η θερμοκρασία του είναι μικρότερη της θερμοκρασίας ζέσεως του στην υφιστάμενη πίεση του ταμιευτήρα. Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία του νερού δεν μπορεί να υπερβεί τη θερμοκρασία ζέσεως στην υπάρχουσα πίεση, απλά τότε ατμοποιείται και η ενθαλπία του μπορεί να αποκτήσει τη μέγιστη τιμή (Διάγραμμα Mollier), όταν η πίεση είναι τουλάχιστο 31,8 atm. Στον ταμιευτήρα η θερμοκρασία του νερού ελάχιστα αυξάνεται με το βάθος, ενώ αντίθετα η πίεση ανεβαίνει αρκετά, επομένως στα μεγαλύτερα βάθη η θερμοκρασία ζέσεως αυξάνεται με την αύξηση της πίεσης.

Η απόδοση των γεωθερμικών αυτών γεωτρήσεων εξαρτάται από :

- Τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα
- Τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά (διάμετρος σωληνώσεων, φίλτρα κ.λ.π)
- Τον τύπο ροής των ρευστών στη σωλήνωση
- Την ποιότητα των ρευστών (άλατα, μη συμπυκνώσιμα αέρια)
- Την πτώση θερμοκρασίας και πίεσης κατά την άνοδο των ρευστών στη σωλήνωση (απώλειες θερμότητας). Το μικρό εύρος βέλτιστης πίεσης λειτουργίας στην κεφαλή της γεώτρησης επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και την ενθαλπία.

Μια γεωθερμική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από :

- Τις γεωτρήσεις παραγωγής
- Την κεφαλή της γεώτρησης με βαλβίδες (βάνες) και μανόμετρα για τη ρύθμιση της ροής και της πίεσης των γεωθερμικών ρευστών.
- Τα δίκτυα μεταφοράς (σωληνώσεις, κλπ) των ρευστών από τις γεωτρήσεις στη μονάδα παραγωγής.
- Το σιγαστήρα κατακόρυφου κυλινδρικού σχήματος για τη μείωση του θορύβου στο στάδιο των δοκιμών και της διακοπής λειτουργίας της μονάδας .
- Τον κατακόρυφο διαχωριστή υγρού/ατμού με το συγκρατητή σταγονιδίων. Ο πιο συνηθισμένος τύπος διαχωριστή είναι ο τύπος του Werbe με σπειροειδές σύστημα εισόδου των ρευστών (υγρού/ατμού) και όχι με εφαπτομενικό σύστημα.
- Τις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ατμοστρόβιλοι, γεννήτριες, συμπυκνωτές, εξατμιστές, εναλλάκτες θερμότητας, πύργοι ψύξης του νερού των συμπυκνωτών, κλπ) και τέλος
- Το δίκτυο απομάκρυνσης του γεωθερμικού νερού με τις (συνήθεις) γεωτρήσεις επανεισαγωγής του.



Σχήμα 3.4

Γεωθερμική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ισλανδία.

Η συνολική εγκαταστημένη ηλεκτρική ισχύς των γεωθερμικών μονάδων παγκοσμίως για το 2005 υπερβαίνει τα 8.900 MW_e.

	Παραγωγή ηλεκτρισμού		Άμεσες Χρήσεις	
	Εγκατεστημένη Ισχύς, MW _e	Ετήσια παραγωγή, GWh (2004 ή 2003)	Εγκατεστημένη Ισχύς, MW _e	Ετήσια παραγωγή, GWh
Αιθιοπία	7,3	30	1,0	2,4
Αλγερία			150	671
Αργεντινή			150	169
Αυστραλία			109	824
Αυστρία	1,2		352	620
Βέλγιο			64	120
Βουλγαρία			107	464
Βραζιλία			360	1840
Γαλλία	15	102	308	1443
Γερμανία	0,2		505	808
Γεωργία			250	1752
Γουατεμάλα	33	212	2	15
Δανία			330	1222
Ελ Σαλβαντόρ	151	800		
Ελβετία			547	663
Ελλάδα			57	107
ΗΠΑ	2564	17917	7818	8678
Ιαπωνία	535	3467	822	2861
Ινδία			203	446
Ινδονησία	797	6085	2,3	12
Ιορδανία			153	428
Ισλανδία	202	1483	1844	6806
Ισραήλ			82	609
Ιταλία	791	5340	607	7554
Καναδάς			461	707
Κένυα	129	1088	10	22
Κίνα	28	95	3687	12604
Κοσταρική	163	1145		
Κροατία			114	555
Μεξικό	755	5680	104	1089
Νέα Ζηλανδία	437	2268	310	1967
Νικαράγουα	70	583	1	5,8
Νορβηγία			600	857
Ολλανδία			253	190
Ουγγαρία			694	2206
Παπούα-Ν. Γουινέα	6			
ΠΔΓΜ			62	166
Πολωνία			171	233
Πορτογαλία	16	94	30,6	107
Ρουμανία			145	789
Ρωσία	79		308	1707
Σερβία			89	660
Σλοβακία			188	843
Σλοβενία			50	203
Σουηδία			3840	10000
Τουρκία	20	105	1495	6900
Τσεχία			204	339
Τυνησία			25	61
Φιλανδία			260	542
Φιλιππίνες	1930	9253		13,31
Χιλή			8,7	36
Σύνολο	8933	56800	28268	75943

Πίνακας 3.1

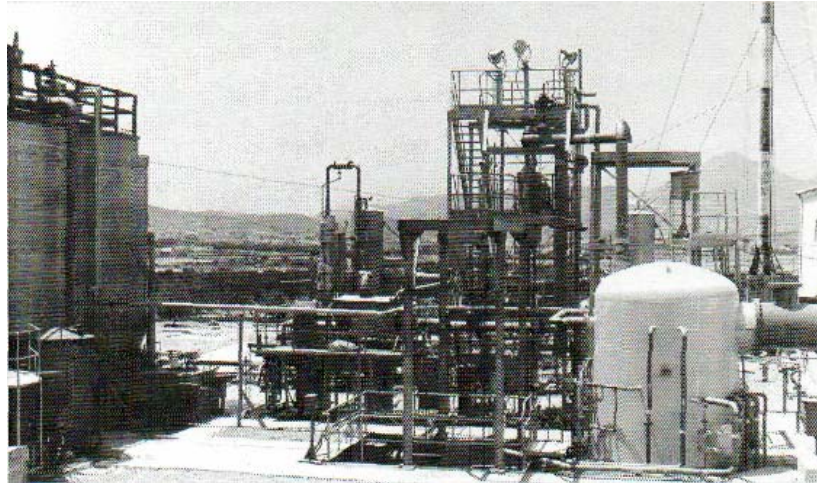
Παραγωγή ηλεκτρισμού και άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας στον κόσμο κατά το 2005.

3.2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Μετά από την ολοκληρωμένη γεωθερμική έρευνα (1971-73) στη Μήλο, η ΔΕΗ αποφάσισε την εκτέλεση (1975-76) δυο βαθιών γεωτρήσεων για τον εντοπισμό γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας. Πράγματι τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν την ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου σε βάθη ± 1000 m με θερμοκρασίες στον ταμιευτήρα 300-320°C και αξιόλογες ποσότητες ρευστών (υγρού ατμού).

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά η ΔΕΗ αποφάσισε την εκτέλεση τριών νέων παραγωγικών γεωτρήσεων, οι οποίες σε βάθη 1000-1380 m εντόπισαν ταμιευτήρες υγρού ατμού με θερμοκρασίες 290-320°C και ρυθμούς ροής άντλησης ανά γεώτρηση 40-120 tn/h μίγματος υγρού ατμού. Η αξιολόγηση των δοκιμών παραγωγής των γεωτρήσεων αυτών εκτίμησε το δυναμικό τους σε 200 tn/h ατμού με ενθαλπία 1500-2000 KJ/Kg και θερμοκρασία των ρευστών στη κεφαλή των γεωτρήσεων 180-240°C. Το δυναμικό αυτό των γεωτρήσεων εκτιμήθηκε ότι μπορούσε να υποστηρίξει μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των 25 MWe, ενώ το συνολικό δυναμικό του πεδίου της Μήλου με βάση τα μέχρι τότε αποτελέσματα της έρευνας εκτιμήθηκε άνω των 120 MWe.

Οι πρώτες δοκιμές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Μήλο έγιναν το διάστημα 1985-90 με την εγκατάσταση μιας πρόδρομης μικρής μονάδας 2 MWe (με εκτόνωση του ρευστού). Η μονάδα αντιμετώπισε αυξημένα προβλήματα επικαθίσεων αλάτων (θειούχες και πυριτικές ενώσεις) στη βαλβίδα εκτόνωσης του ρευστού και στο δίκτυο μεταφοράς του γεωθερμικού νερού στη γεώτρηση επανεισαγωγής, αλλά και προβλήματα εκπομπής H₂S, που δεν προβλέπονταν η απομάκρυνση του στο στάδιο αυτό των δοκιμών. Η εκπομπή H₂S είχε ως συνέπεια τις έντονες αντιδράσεις των κατοίκων της Μήλου. Έκτοτε η ΔΕΗ δεν λειτούργησε τη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο γεωθερμικό πεδίο του νησιού.



Σχήμα 3.5

Εγκαταστάσεις της γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο πεδίο της Μήλου.

Κατά τη γεωθερμική έρευνα (1973) στη Νίσυρο μετρήθηκε γεωθερμική βαθμίδα 20πλάσια της κανονικής σε μικρά βάθη (<100 m). Το 1982-83 η ΔΕΗ αποφάσισε την εκτέλεση δυο βαθιών γεωτρήσεων για τον εντοπισμό ρευστών υψηλής ενθαλπίας. Οι γεωτρήσεις αυτές σε βάθη 1550-1820 m εντόπισαν γεωθερμικούς ταμιευτήρες με θερμοκρασίες >350°C και αξιόλογες ποσότητες γεωθερμικών ρευστών (υγρού ατμού). Η πρώτη γεώτρηση παρουσίασε προβλήματα, ενώ η δεύτερη κρίθηκε εκμεταλλεύσιμη (θερμοκρασία στην κεφαλή 290°C, ρυθμός ροής ατμού 20 tn/h και ενθαλπία 1400 KJ/Kg) για την υποστήριξη μονάδας παραγωγής άνω των 2 MW_e. Με βάση τα στοιχεία της μέχρι τότε έρευνας το συνολικό δυναμικό του γεωθερμικού πεδίου της Νισύρου εκτιμήθηκε άνω των 50 MW_e.

3.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι μη ηλεκτρικές χρήσεις (άμεσες χρήσεις) της γεωθερμικής ενέργειας καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών. Η παγκόσμια αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας ως θερμικής (εγκαταστημένη ισχύς) υπερβαίνει κατά πολύ την αντίστοιχη της ως ηλεκτρικής ενέργειας. Οι συνήθεις χρήσεις της θερμικής ενέργειας είναι στη θέρμανση χώρων και θερμοκηπίων, στη ξήρανση προϊόντων βιομηχανίας και γεωργίας, στις υδατοκαλλιέργειες, στην

αφαλάτωση νερού και στις τουριστικές μονάδες με έμφαση στις ιαματικές χρήσεις.

Τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής και μέσης ενθαλπίας που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μετά την έξοδο τους από τη μονάδα μπορούν να αξιοποιηθούν, όπως και τα ρευστά χαμηλής ενθαλπίας, για θερμικές χρήσεις (θερμική ενέργεια).

Η συνολική εγκαταστημένη θερμική ισχύς των γεωθερμικών μονάδων παγκοσμίως ανέρχεται σε 28.268 MW_{th} και είναι σχεδόν διπλάσια της εγκαταστημένης ηλεκτρικής ισχύος των γεωθερμικών μονάδων (8.933 MW_{th}) για το έτος 2005 .

Μια γεωθερμική μονάδα παραγωγής θερμικής ενέργειας αποτελείται από:

- Τις γεωτρήσεις παραγωγής.
- Τα αντλητικά συγκροτήματα και τους διαχωριστές διφασικών ρευστών, όπου είναι αναγκαία.
- Τα δίκτυα μεταφοράς (σωληνώσεις, αντλίες, κλπ) των γεωθερμικών ρευστών από τις γεωτρήσεις στις εγκαταστάσεις αξιοποίησης τους.
- Τη μονάδα παραγωγής και διανομής της θερμικής ενέργειας από τα γεωθερμικά ρευστά (εναλλάκτες θερμότητας, κυκλοφορητές, δίκτυα διανομής, θερμαντικά σώματα, κλπ) και τέλος
- Το δίκτυο απομάκρυνσης του γεωθερμικού νερού με τις (συνήθεις) γεωτρήσεις επανεισαγωγής.

3.3.1 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για θερμικές χρήσεις στην Ελλάδα εμφανίζεται μετά το 1985. Με βάση στοιχεία του 2005 η εγκαταστημένη ισχύς της είναι στα επίπεδα των 60 MW_{th}, αν και οι δυνατότητες της είναι υπερβολικά μεγαλύτερες.

Οι θερμικές εφαρμογές της στην Ελλάδα είναι κυρίως σε:

- Λουτροθεραπευτικές μονάδες και
- Θέρμανση θερμοκηπίων (κηπευτικά, ανθοκομικά, πρωίμιση σπαραγγιού).

Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες εφαρμογών και σε άλλους τομείς :

- Ξήρανσης αγροτικών προϊόντων (βιομηχανική ντομάτα)
- Αφαλάτωσης νερού
- Θέρμανσης χώρων (και με αντλίες θερμότητας)
- Υδατοκαλλιέργειες ψαριών και μικροφύκους (*Spirulina*)
- Ενδιαφέρουσες είναι και οι περιπτώσεις αξιολόγησης στην Ελλάδα των δυνατών εφαρμογών θερμικών χρήσεων των γεωθερμικών ρευστών στα βιομηχανικά και άλλα ορυκτά (νήσος Μήλος), στη χαρτοβιομηχανία (Ν. Ξάνθης) και στην αντιπαγετική προστασία αεροδιαδρόμων (Αεροδρόμιο Θεσ/νίκης).

Θέρμανση θερμοκηπίων

Οι πρώτες νόμιμες γεωθερμικές θερμοκηπιακές μονάδες εμφανίζονται μετά το 1985 στα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας του Ν. Σερρών. Ο τρόπος θέρμανσης με αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας και ο τύπος κάλυψης (γυάλινο ή πλαστικό) επηρεάζεται από το κόστος τους και το

χημισμό των ρευστών (επικαθίσεις αλάτων και διαβρώσεις).



Σχήμα 3.6

Θέρμανση θερμοκηπίου με χρήση της γεωθερμικής ενέργειας.

Η μέθοδος θέρμανσης των θερμοκηπίων στην Ελλάδα με χρήση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας γίνεται:

- Με απευθείας χρήση (συνήθως) του γεωθερμικού νερού στα θερμαντικά σώματα, όταν ο χημισμός του δεν δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα κυρίως επικαθίσεων αλάτων και λιγότερο διαβρώσεων.
- Με θερμαντικά σώματα υπόγειων, επίγειων και υπέργειων σωληνώσεων και σε ελάχιστες περιπτώσεις με θερμαντικά πτερυγίων.
- Με εναλλάκτες πλακών γεωθερμικού νερού / γλυκού νερού και
- Με εναλλάκτες γεωθερμικού νερού / αέρα (αερόθερμα).

Οι θερμοκηπιακές μονάδες με θερμική χρήση γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα ανέρχονται σε 320 στρέμματα :

140 στρέμματα κηπευτικών

- 60 στρέμματα στο Ν. Σερρών (Νιγρίτα, Σιδ/στρο)
- 35 στρέμματα στο Ν. Θεσσαλονίκης (Λαγκαδάς, Απολλωνία)
- 35 στρέμματα στη νήσο Λέσβο, κλπ

60 στρέμματα ανθοκομικών

- 30 στρέμματα στο Ν. Σερρών (Νιγρίτα, Σιδ/στρο)

- 30 στρέμματα στο Ν. Θεσσαλονίκης (Απολλωνία)

120 στρέμματα πρωίμισης σπαραγγιού

- 30 στρέμματα στο Ν. Σερρών (Νιγρίτα)
- 20 στρέμματα στο Ν. Θεσσαλονίκης (Λαγκαδάς)
- 70 στρέμματα στο Ν. Ξάνθης (Ν. Εράσμιο) .

Ιαματικές Χρήσεις

Είναι γνωστές οι πολυάριθμες στην Ελλάδα λουτροθεραπευτικές μονάδες της με χρήση γεωθερμικών νερών, όπως στην Αιδηψό, Καμένα Βούρλα, Λαγκαδά, Απολλωνία, Σιδηρόκαστρο, Τραϊανούπολη, κλπ.



Σχήμα 3.7

Ξήρανση αγροτικών προϊόντων

Στο γεωθερμικό πεδίο Ν. Εράσμιου Ν. Ξάνθης λειτουργεί μια μονάδα ξήρανσης βιομηχανικής ντομάτας, από τις πρώτες στο συγκεκριμένο είδος παγκοσμίως. Η ξήρανση γίνεται σε θάλαμο τύπου σήραγγας με αέρα θερμαινόμενο με γεωθερμικό εναλλάκτη .

Στο γεωθερμικό πεδίο Ν. Κεσσάνης Ν. Ξάνθης σχεδιάστηκε και

κατασκευάστηκε μια πιλοτική μονάδα ξήρανσης βαμβακιού από το Σύνδεσμο Ιαματικών Πηγών Ελλάδας. Η ξήρανση γίνεται σε πύργο όπου διοχετεύεται αέρας θερμαινόμενος με γεωθερμικό εναλλάκτη.



Σχήμα 3.8

Γεωθερμικό ξηραντήριο τομάτας τύπου σήραγγας στο Ν. Εράσμιο της Ξάνθης.

Αφαλάτωση νερού

Είναι γνωστό το πρόβλημα πόσιμου νερού σε αρκετά νησιά της Ελλάδας, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες (τουρισμός). Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια (από το ΚΑΠΕ) αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας για αφαλάτωση θαλασσινού νερού.

Στη νήσο Κίμωλο ολοκληρώθηκε μια μονάδα αφαλάτωσης με τη μέθοδο της εξάτμισης πολλαπλού φαινομένου, ενώ μια άλλη μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με γεωθερμική ενέργεια βρίσκεται στο στάδιο ολοκλήρωσης της στη νήσο Μήλο.

Θέρμανση χώρων - αντλίες θερμότητας

Οργανωμένη θέρμανση κτηρίων με γεωθερμική ενέργεια στην Ελλάδα

δεν υπάρχει. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάστηκαν μεμονωμένες περιπτώσεις με ενδοδαπέδιες σωληνώσεις, όπως στα κτήρια των λουτρών Τραϊανούπολης (Αλεξανδρούπολη) και στις εγκαταστάσεις γεωθερμικής μονάδας στο Ν. Εράσμιο, Ν. Ξάνθης. Όμως αρκετές περιπτώσεις βρίσκονται υπό μελέτη.

Αντίθετα κατά την τελευταία δεκαετία η θέρμανση κτηρίων με αντλίες θερμότητας μαζί με εναλλάκτες θερμότητας εντός των γεωτρήσεων εμφανίζεται σε περιοχές της Αττικής και Θεσσαλονίκης. Την πιο χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η θέρμανση των κτιριακών εγκαταστάσεων των Σχολών Μεταλλειολόγων και Ηλεκτρολόγων του Ε.Μ. Πολυτεχνείου στην Αθήνα (σε συνεργασία με το ΚΑΠΕ) με ωφέλιμη θερμική ισχύ 1 MW_{th} , γνωστή και ως αβαθής γεωθερμία.



Σχήμα 3.9

Κτίριο Μεταλλειολόγων, άποψη της υδρογεώτρησης (εμπρός) και του θερμαινόμενου-κλιματιζόμενου κτιρίου (βάθος).

Υδατοκαλλιέργειες

Στα γεωθερμικά πεδία Ν. Κεσσάνης και Ν. Εράσμιου Ν. Ξάνθης λειτουργούν μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας με θέρμανση των λιμνών με γεωθερμικό νερό.

Ενδιαφέρουσα είναι η περίπτωση μονάδας υδατοκαλλιέργειας του μικροφύκου *Spirulina* με αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών στο πεδίο Θερμών Νιγρίτας, τόσο της θερμικής ενέργειας όσο και του γεωθερμικού παραπροϊόντος διοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 3.10

Καλλιέργεια του μικροφύκου *Spirulina* με τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στη Νιγρίτα Σερρών.



Σχήμα 3.11

Αντιπαγετική προστασία και θέρμανση τεχνητών λιμνών ιχθυοκαλλιέργειας στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης.

Η χρήση γεωθερμικού νερού (Arvanitis et al, 2004) για τη διατήρηση της θερμοκρασίας των υδάτινων δεξαμενών καλλιέργειας της *Spirulina* στα επιθυμητά επίπεδα αυξάνει τη διάρκεια της περιόδου καλλιέργειας ετησίως κατά 30%, ενώ η χρήση του γεωθερμικής προέλευσης διοξειδίου του άνθρακα (προσφέρεται χωρίς κόστος) μειώνει το κόστος παραγωγής κατά 25%. Η μονάδα αποτελείται από τις εγκαταστάσεις εργαστηρίου και ανάπτυξης του φύκου, τις δεξαμενές καλλιέργειας του και το σύστημα διαχωρισμού, ξήρανσης και συσκευασίας.

Η *Spirulina* είναι ένα μικροφύκος που η ανάπτυξη του στηρίζεται στην φωτοσύνθεση, τη θερμοκρασία, το pH και το διοξείδιο του άνθρακα. Η βιομάζα της *Spirulina* περιέχει μεγάλες ποσότητες πρωτεϊνών, μετάλλων (Fe, Zn, Ca, Mg, κλπ) και βιταμινών (B και B₁₂), κλπ. Χρησιμοποιείται για την ενίσχυση του ανοσοποιητικού, καρδιοαγγειακού και πεπτικού συστήματος, αλλά και δερματολογικών προβλημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Η αξιοποίηση των γεωθερμικών πεδίων –κυρίως χαμηλής ενθαλπίας- πραγματοποιείται με την αντλία θερμότητας ή θερμαντλία ή γεωθερμαντλία (λόγω της σύζευξής της με τη γη). Οι αντλίες θερμότητας κατηγοριοποιούνται με βάση την τεχνολογία τους σε: α) Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (Geothermal Heat Pumps) και β) Εδαφικής πηγής (Ground-Source) Αντλίες Θερμότητας (GSHP). Ο πρώτος όρος χρησιμοποιείται από την αγορά και ο δεύτερος από τον μηχανολογικό και τεχνολογικό τομέα.

Η γεωθερμική ενέργεια, που προέρχεται τόσο από την κανονική γεωθερμική βαθμίδα, όσο και από την ελαφρά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα αξιοποιείται με τη χρήση αντλιών θερμότητας. Το σημαντικό όμως είναι ότι παρέχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης με οικονομικό όφελος ακόμη και των χαμηλότερων υπεδαφικών θερμοκρασιών των 8-10°C.

Η αντλία θερμότητας (Heat Pumps) είναι ένας μηχανισμός ο οποίος όπως αναφέρεται και από την ονομασία του, αντλεί (pumps) θερμότητα από ένα σημείο για να τη δώσει σε κάποιο άλλο και συγκεκριμένα στην περίπτωση μας από το υπέδαφος για να τη χρησιμοποιήσουμε ενισχυμένη σε οποιαδήποτε εγκατάσταση.

Η συσκευή αυτή λοιπόν, μεταφέρει τη θερμότητα από το υπέδαφος στην μονάδα μας, αναβαθμισμένη στη θερμοκρασία θέρμανσης ή υποβαθμισμένη στη θερμοκρασία ψύξης, ανάλογα με τις ανάγκες μας. Στη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης αφαιρείται θερμότητα από το χώρο του υπεδάφους, ο οποίος ψύχεται και γίνεται αποθήκη ψυκτικής ενέργειας. Το

καλοκαίρι, αντίθετα, η GHP απομακρύνει την ενοχλητική θερμότητα από τον χώρο μας και την μεταφέρει στον ίδιο χώρο του υπεδάφους, ο οποίος γίνεται, τώρα, αποθήκη θερμικής ενέργειας, που θα χρησιμοποιηθεί την επόμενη περίοδο θέρμανσης.

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

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

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

Τα τελευταία χρόνια, με τη ραγδαία αύξηση τοποθέτησης συστημάτων κλιματισμού αέρα-αέρα σε κτίρια και οικίες, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τους σκοπούς αυτούς αντιπροσωπεύει ένα πολύ μεγάλο ποσοστό (40%) της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Επίσης, τα κτίρια θα έχουν πάρει τα πρωτεία και θα έχουν ξεπεράσει και τη βιομηχανία στις εκπομπές CO₂, και γενικά, στην επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος μας.

Τα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης αποτελούν σήμερα μια εναλλακτική λύση φιλική προς το

περιβάλλον και με κοστολόγια άκρως ανταγωνιστικά.

4.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

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

Οι ψυκτικές μηχανές οι οποίες σχεδιάζονται να λειτουργήσουν εξολοκλήρου για το σκοπό αυτό (αφαίρεση ενέργειας από ψυχρότερο περιβάλλον και απόδοση σε θερμότερο, αντίθετα με τη φυσική θερμοβαθμίδα) λέγονται ΘΕΡΜΑΝΤΛΙΕΣ (HEAT PUMPS).

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

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

Η βασική αρχή λειτουργίας αυτών των διατάξεων στηρίζεται στις μεταβολές φυσικών σταθερών (όπως το σημείο ζέσεως ή το σημείο εξαερώσεως) των ρευστών σε συνάρτηση με τη μεταβολή κυρίως της

πίεσεως. Τούτο επιτυγχάνεται όταν το ενδιάμεσο σώμα μπορεί να ευρεθεί σε αέρια κατάσταση σε χαμηλές θερμοκρασίες σε αντίθεση με την κανονική του κατάσταση και στη συνέχεια να μπορεί να υπάρξει σαν υγρό σε υψηλές θερμοκρασίες, όπου κάτω από κανονικές συνθήκες πίεσεως θα ήταν αέριο.

Αναλυτικότερα, το υγρό ενδιάμεσο σώμα, πρέπει να εξατμίζεται σε χαμηλές θερμοκρασίες αφαιρώντας την προς τούτο απαιτούμενη ενέργεια από τον περιβάλλοντα χώρο και ακολούθως να μετατρέπεται πάλι σε υγρό υψηλής θερμοκρασίας ώστε να αποδίδει την ενέργεια που αφαίρεσε από τον ψυχρό χώρο.

Οι διαδικασίες μετατροπής θερμότητας σε έργο, εφ' όσον είναι τεχνητές και επιδιώκουν τη συνεχή παραγωγή έργου, πρέπει να εργάζονται κυκλικά. Δηλαδή το σύστημα που χρησιμοποιούμε, μετά από κάποια στάδια μεταβολών πρέπει να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Αυτό ακριβώς είναι η θερμική μηχανή, μια διάταξη η οποία εργάζεται με κυκλικές μεταβολές και μετατρέπει θερμότητα σε έργο.

Έτσι, είναι απαραίτητο να μεταπέσει το ενδιάμεσο σώμα που αναφέραμε παραπάνω, σε υγρή κατάσταση, για να είναι δυνατό να κλείσει ο θερμοδυναμικός κύκλος.

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

Το έργο, σύμφωνα με τους νόμους της θερμοδυναμικής κατά τη διαγραφή κύκλου ισούται απολύτως με το εμβαδόν του κύκλου και είναι η διαφορά του παραγόμενου έργου από το σύστημα και του εκτελούμενου από το περιβάλλον στο σύστημα έργου. Έτσι η θερμοκρασία Q είναι η διαφορά της απορροφούμενης και της αποδιδόμενης από το σύστημα θερμότητας κατά τα διάφορα στάδια του κύκλου. Έτσι, όλη η θερμότητα που απορροφάται από το σύστημα δεν μετατρέπεται σε ωφέλιμο έργο.

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

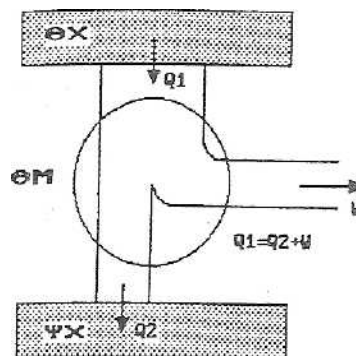
Q_1 : η θερμότητα που προσφέρεται στο σύστημα από ένα θερμό χώρο

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

W : το έργο που παράγει η μηχανή.

Από τα ποσά αυτά, το έργο W αντιπροσωπεύει το ωφέλιμο ποσό ενέργειας ενώ το Q_1 αντιπροσωπεύει τη δαπάνη για να πάρουμε αυτό το έργο.

Μια γραφική παράσταση της θερμικής μηχανής δίνεται στο σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1

Η μηχανή έχει τρεις διόδους. Από τη μια μπαίνει η απορροφούμενη θερμότητα Q_1 και από τις άλλες δύο βγαίνουν το παραγόμενο έργο W και η αποδιδόμενη θερμότητα Q_2 . Η γενική αρχή διατήρησης της ενέργειας εκφράζεται με τη σχέση $Q + W = 0$. Ο συντελεστής απόδοσης της θερμικής μηχανής ορίζεται με το πηλίκο:

$$N = W/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1$$

Από ότι βλέπουμε, ο συντελεστής απόδοσης των θερμικών μηχανών

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

Αν θεωρήσουμε πως από τη δίοδο του έργου προσφέρουμε έργο στη μηχανή του σχήματος 4.2 και την βάζουμε να δουλέψει ανάστροφα.

Η μηχανή αυτή θα διακινεί τα παρακάτω ποσά ενέργειας:

Q_1 : η θερμότητα που το σύστημα αποβάλλει στο θερμό χώρο

Q_2 : η θερμότητα που παίρνει το σύστημα από τον ψυχρό χώρο

W : το έργο που προσφέρουμε

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

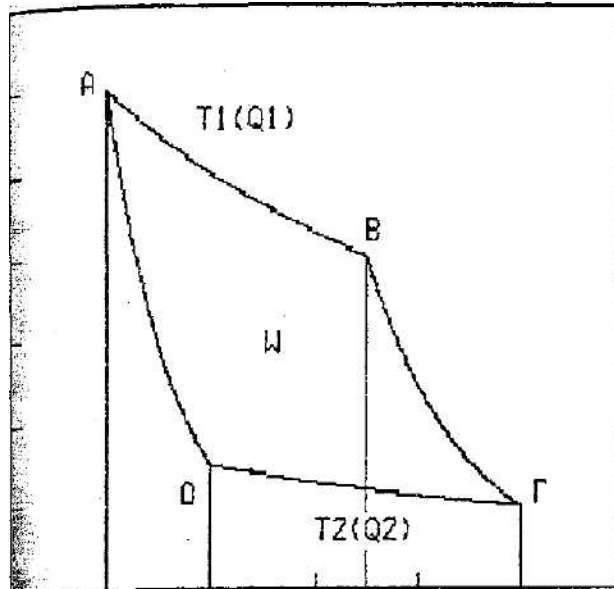
$$N_\psi = Q_2/W = (Q_1 - W)/W = 1/N - 1$$

Στην περίπτωση αυτή συγκαταλέγονται οι ψυκτικές μηχανές (ψυγεία κλπ).

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

$$N_e = Q_1/W = 1/N$$

Η μηχανή αυτή ονομάζεται **αντλία θερμότητας**.



Σχήμα 4.2

Οι παραπάνω μηχανές αποδίδουν τα μέγιστα όταν διαγράφουν το κύκλο του Carnot κατά την αντίστροφη φορά, καθότι ο κύκλος αυτός δίνει τη μέγιστη δυνατή απόδοση. Πρόκειται για έναν ιδανικό κύκλο λειτουργίας μιας θερμικής μηχανής και έχει το μέγιστο συντελεστή απόδοσης μιας μηχανής που εργάζεται μεταξύ μιας θερμής και μιας ψυχρής δεξαμενής ($N=1$).

Θα πρέπει να τονιστεί πάλι ότι η λειτουργία ψυκτικής-θερμικής διατάξεως απαιτεί απαραίτητως την ύπαρξη ενδιάμεσου σώματος που διαγράφει θερμοδυναμικό κύκλο.

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

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

Συνηθέστερα στις ψυκτικές μηχανές κυρίως, αλλά και στις θερμαντλίες χρησιμοποιούνται ψυκτικά σώματα τα οποία εμφανίζουν σειρά προδιαγραφών τέτοιων, που το νερό δεν τις καλύπτει.

Ουσιαστικά, όλες οι GHP μονάδες χρησιμοποιούν το ψυκτικό R-22, ένα HCFC. Χημικά το R-22 είναι ένα χλωρόφθωρομεθάνιο. Το συγκεκριμένο δεν προκαλεί καταστροφή του προστατευτικού στρώματος του όζοντος, όπως τα R-11 R-12. Είναι αβλαβές και φιλικό προς το περιβάλλον, ενώ δεν έχουν αναφερθεί ή παρουσιαστεί προβλήματα υγείας ή ασφάλειας λόγω χρήσης του.

Το R-22 ανήκει στην κατηγορία A1 από άποψη ασφάλειας στα Αμερικανικά Διεθνή στάνταρ (ANSI/ASHRAE 34-1992). Η τοξικότητα της ομάδας A υποδεικνύει πως δεν υπάρχει ουσιαστικά τοξικότητα σε συγκεντρώσεις μικρότερες ή ίσες του 4 ppm, ενώ η ομάδα 1 υποδεικνύει την αδυναμία της αναπαραγωγής φλόγας. Το ψυκτικό R-22 δεν έχει προδιαγραφές σταδιακής απόσυρσης, όπως συμβαίνει με άλλα.

<i>Πίνακας 4 Τιμές κρίσιμης θερμοκρασίας και κρίσιμης πίεσης για ορισμένους υδρογονάνθρακες και άλλες ενώσεις</i>		
Όνομα Σώματος	Κρίσιμη Θερμ. σε °C	Κρίσιμη Πίεση σε 3atm
Αιθάνιο	37,2	48,2
Ακετυλένιο	35,5	61,6
Βουτάνιο	270	24,6
Μεθάνιο	-82	45,8
Μεθυλοχλωρίδιο	237	60
Προπάνιο	96,8	42
Αμμωνία	132,5	112,5
Άζωτο	-147	33,5
CO ₂	31	72 -
Νερό	374	218,8
Οξυγόνο	-118,4	50,1

Όμως, όπως και κάθε ψυκτικό, πρέπει να χρησιμοποιείται προσεκτικά και να μην διασκορπίζεται στην ατμόσφαιρα. Όλοι οι εξοπλισμοί που χρησιμοποιούν αυτού είδους τις ουσίες πρέπει να συντηρούνται κατάλληλα.

4.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

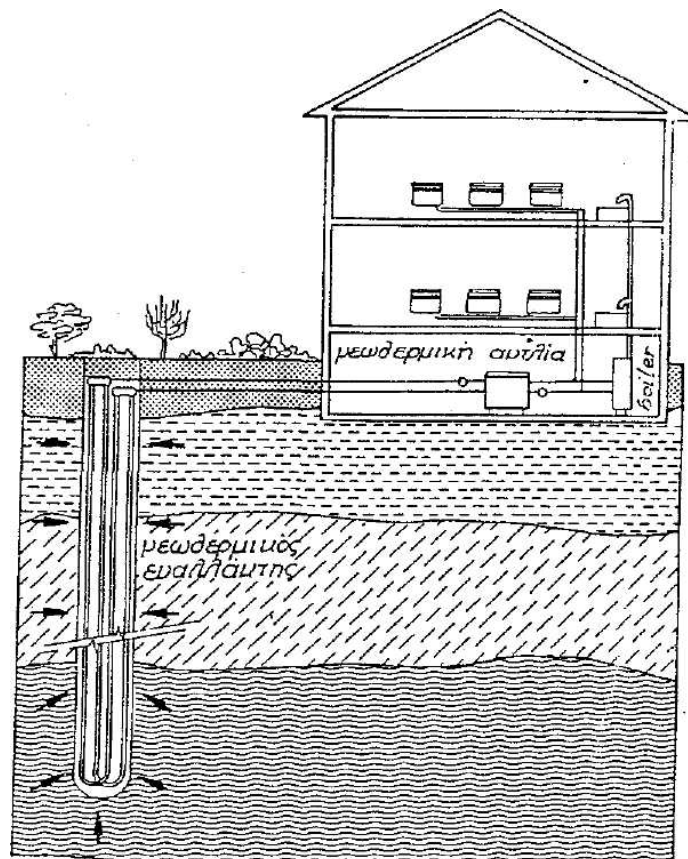
Το ψυκτικό υγρό (ενδιάμεσο σώμα), όπως ήδη αναφέρθηκε, χρησιμεύει για την απορρόφηση της θερμότητας από κάποιο χώρο και την απόδοση της σε άλλον. Τα ψυκτικά υγρά πρέπει να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές. Μερικές από αυτές αναφέρονται παρακάτω :

- πρέπει να εξατμίζονται υπό πίεση κάτω της ατμοσφαιρικής, ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες και να υγροποιούνται σε σχετικά χαμηλές πιέσεις
- η λανθάνουσα θερμότητα της εξατμίσεως τους πρέπει να είναι μεγάλη και η μάζα της ροής μικρή
- η κρίσιμη θερμοκρασία να είναι υψηλή και ο βαθμός συμπυκνώσεως χαμηλός
- δεν πρέπει να είναι εύφλεκτα, εκρηκτικά, ούτε επικίνδυνα και βλαβερά για την υγεία του ανθρώπου
- το κόστος παραγωγής να είναι χαμηλό
- να είναι χημικώς σταθερά και να μην διαλύονται σε θερμοκρασίες λειτουργίας
- δεν πρέπει να επιδρούν στο λάδι λίπανσης των συμπιεστών
- να μην είναι διαβρωτικά
- να ανιχνεύονται εύκολα σε περίπτωση διαρροής.

Λειτουργία αντλίας θερμότητας

Τα συστήματα γεωκλιματισμού αποτελούνται από τέσσερα βασικά μέρη:

- το τμήμα του Γεωθερμικού Εναλλάκτη, που είναι ένα κλειστό κύκλωμα, δηλαδή «σωλήνας» τοποθετημένος σε γεώτρηση που τροφοδοτεί την αντλία θερμότητας με νερό ή άλλο κατάλληλο διάλυμα σταθερής θερμοκρασίας
- το τμήμα της αντλίας θερμότητας
- το τμήμα θέρμανσης-ψύξης χώρων με κλιματιστικά σώματα (fan coils)
- το Boiler



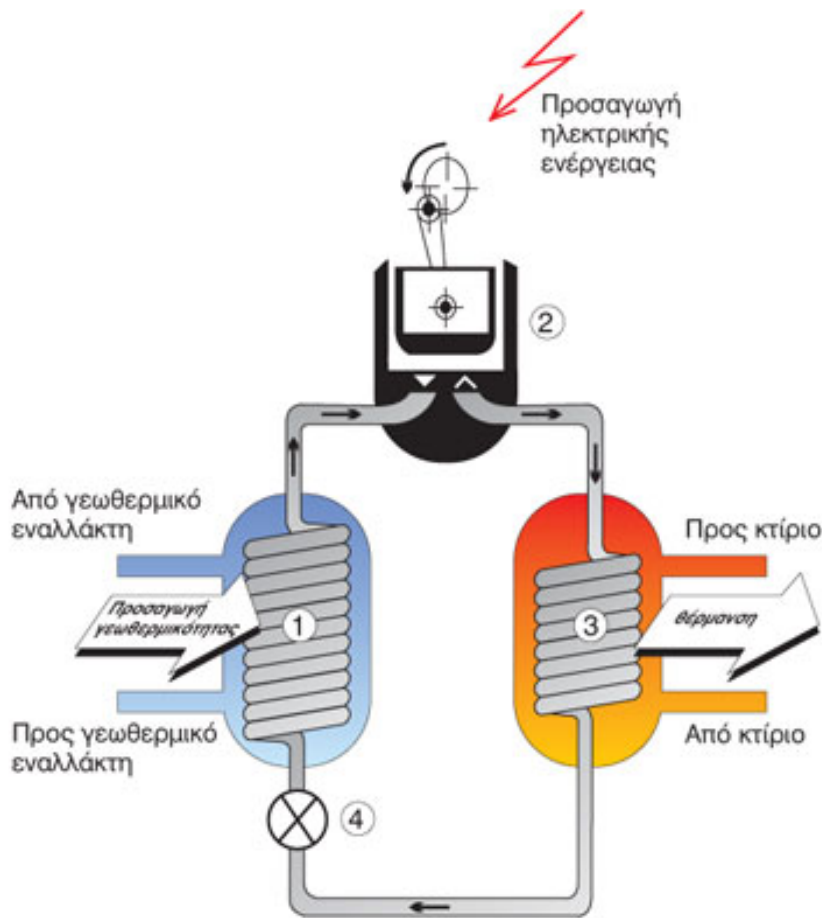
Σχήμα 4.3

Γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης κατοικίας με αντλία θερμότητας

4.4 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Στην παράγραφο αυτή θα μελετηθεί η διεργασία για να δούμε πως η εξάτμιση και η συμπύκνωση ενός ψυκτικού μέσου μπορεί να μεταφέρει θερμότητα. Θα εξετάσουμε μια αντλία θερμότητας νερού-νερού, η οποία αποτελείται από 4 στοιχεία: τον εξατμιστή, τον συμπιεστή, τον συμπυκνωτή και το στοιχείο εκτόνωσης.

Μέσα σ' αυτά κυκλοφορεί ένα ψυκτικό υγρό (refrigerant), ας υποθέσουμε το R-12, το οποίο είναι το πιο κοινά χρησιμοποιήσιμο και το οποίο ζέει μεταξύ 4°C και 10°C σε σχέση με το νερό το οποίο έχει σημείο βρασμού τους 100°C. Το υγρό αυτό έχει την ιδιότητα να εξατμίζεται και να υγροποιείται εύκολα. Όταν εξατμίζεται, ψύχει, όταν υγροποιείται, ζεσταίνει.



Σχήμα 4.4

Σχεδιάγραμμα μιας αντλίας θερμότητας: 1. Εξατμιστής, 2. Συμπιεστής, 3. Συμπυκνωτής, 4. Στοιχείο εκτόνωσης

α) Λειτουργία θέρμανσης

Το νερό (φορέας θερμότητας) που έρχεται από το υπέδαφος μέσω του γεωθερμικού εναλλάκτη έχει θερμοκρασία ίση και μάλλον χαμηλότερη από αυτήν του εδάφους, εισέρχεται στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας και προκαλεί την εξάτμιση του φρέον (R-12). Η εξάτμιση ψύχει κατά 5°C-6°C το νερό, το οποίο επιστρέφει στον εναλλάκτη, τον διαρρέει και αποκτά πάλι τη θερμοκρασία με την οποία το παίρνουμε. Επανέρχεται στον εξατμιστή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται, με αποτέλεσμα, να μεταφέρεται θερμική ενέργεια από το υπέδαφος στον εξατμιστή συνεχώς,

όσο διαρκεί η κυκλοφορία του νερού.

Το εξαεριωμένο φρέον οδεύει από τον εξατμιστή στον συμπιεστή όπου συμπιέζεται και στη συνέχεια, ερχόμενο στον συμπυκνωτή, υγροποιείται. Με την συμπίεση και υγροποίηση το φρέον θερμαίνεται μέχρι 50°C - 55°C και ζεσταίνει το νερό του κυκλώματος θέρμανσης, που περνάει από το συμπυκνωτή. Στη συνέχεια, το υγροποιημένο φρέον φθάνει στο στοιχείο εκτόνωσης, όπου αποσυμπιέζεται (εκτονώνεται) και αποκτά πάλι την ικανότητα να εξατμιστεί, μόλις περάσει τον εξατμιστή και έλθει σε επαφή με το νερό του γεωθερμικού συλλέκτη.

Με τη λειτουργία της θέρμανσης βλέπουμε, ότι το νερό του κυκλώματος του γεωθερμικού εναλλάκτη μεταφέρει θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας (κάπου 15°C) από τα πετρώματα του υπεδάφους στο φρέον, το οποίο, με τη βοήθεια του συμπιεστή, την μετατρέπει σε θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας (50°C-55°C), κατάλληλη για τη θέρμανση της κατοικίας.

β) Λειτουργία ψύξης

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

Το εξαεριωμένο φρέον από τον εξατμιστή οδεύει στον συμπιεστή και κατόπιν στον συμπυκνωτή, όπου υγροποιείται και θερμαίνεται. Από τον συμπυκνωτή όμως περνάει τώρα το νερό του γεωθερμικού εναλλάκτη, το οποίο ζεσταίνεται σε θερμοκρασία 40-50°C και στη συνέχεια διοχετεύεται μέσα στη γέωτρηση και κρυώνει με την επίδραση της χαμηλότερης θερμοκρασίας του υπεδάφους, αποβάλλοντας τη θερμότητα του σ' αυτό. Όταν το νερό επιστρέφει με θερμοκρασία κάπου 25-30°C στον συμπυκνωτή, ξαναθερμαίνεται από το φρέον και η κυκλοφορία

επαναλαμβάνεται.

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

γ) Λειτουργία παραγωγής ζεστού νερού

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

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

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

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

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

Θα θεωρήσουμε μια γεώτρηση βάθους μέχρι 100 m η οποία έχει σταθερή παροχή 20 m³/h νερού. Εάν το νερό αυτής βρίσκεται στους 18°C και ψυχθεί κατά 5°C οδηγούμενο σε αντλία θερμότητας, θα μας δώσει θερμική ενέργεια.

Με τη μείωση αυτής της θερμοκρασίας του νερού ($\Delta T = 18 - 13^\circ\text{C} = 5^\circ\text{C}$) η αντλία θερμότητας θα έχει παραλάβει θερμική ενέργεια ίση με:

$$20.000 \text{ lit/h} \times 5^\circ\text{C} = 100.000 \text{ Kcal/h} = 116 \text{ KWt.}$$

Με C.O.P. ίσον με 4:1 η αντλία θερμότητας θα αποδώσει ζεστό νερό θερμοκρασίας 45/50°C για θέρμανση και έχει ισχύ Q_{cond} .

$$\text{C.O.P.} = Q_{\text{cond}} / W_{\text{inp}} = Q_{\text{cond}} / Q_{\text{cond}} = Q_{\text{evap}}$$

Όπου Q_{cond} = ενέργεια συμπυκνωτή, W_{inp} = ενέργεια εισαγόμενη, Q_{evap} = ενέργεια εξατμιστή

$$4 = Q_{\text{cond}} / Q_{\text{evap}} - 116 = 115 \text{ KWt} \text{ και } W_{\text{inp}} = 39 \text{ KW}$$

Συνεπώς η αποδιδόμενη ενέργεια για θέρμανση με $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ θα είναι $Q_{\text{cond}} = 115 \text{ KWt}$, η αντίστοιχη καταναλισκόμενη ισχύς για την αντλία θερμότητας θα είναι $W_{\text{inp}} = 39 \text{ KW}$.

Με τη θερμική ισχύ των 155 KW_{th} , δηλαδή 133.600 Kcal/h μπορούμε να θερμάνουμε αριθμό διαμερισμάτων συνολικού εμβαδού 1000 m² περίπου με ισχύ κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος 39 KWe .

Το υπόγειο νερό μπορεί το καλοκαίρι να αποδώσει ψυκτική ενέργεια με αντιστροφή του κυκλώματος της αντλίας θερμότητας.

Όταν αναφερόμαστε στην απόδοση των αντλιών θερμότητας για κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι αναγκαίο να λαμβάνουμε υπ' όψιν μας το θερμοκρασιακό έλλειμμα που συμβαίνει στο γεωθερμικό εναλλάκτη, εάν χρησιμοποιείται ένας.

4.5 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα συστήματα με χρήση υπόγειων εναλλακτών που χρησιμοποιούνται στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες :

1. Σωλήνες κλειστού κυκλώματος
2. Σωλήνες ανοικτού κυκλώματος

Ο τύπος του υπόγειου εναλλάκτη θα επηρεάσει τη λειτουργία του συστήματος αντλιών θερμότητας (επομένως την κατανάλωση ενέργειας της αντλίας θερμότητας), τις ενεργειακές απαιτήσεις για βοηθητικές αντλίες και το κόστος εγκατάστασης. Η επιλογή του πιο κατάλληλου τύπου υπόγειων εναλλακτών για μια περιοχή εξαρτάται από τη γεωγραφία της περιοχής και τον οικονομικό παράγοντα.

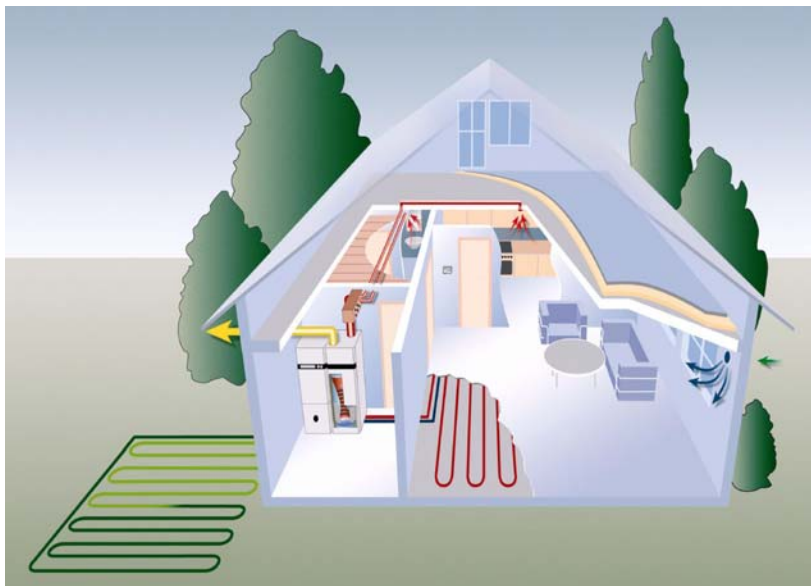
4.5.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ένα υπόγειο δίκτυο στεγανοποιημένων, πλαστικών σωλήνων υψηλής αντοχής, που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας. Στο κύκλωμα κυκλοφορεί ένα ρευστό υλικό μεταφοράς θερμότητας, τυπικά νερό ή ένα υδρο-αντιψυκτικό διάλυμα, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλα ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Όταν οι απαιτήσεις για ψύξη προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού στο κλειστό κύκλωμα, τότε μεταφέρεται θερμότητα στο ψυχρότερο έδαφος. Αντιστρόφως, όταν οι απαιτήσεις για θέρμανση προκαλούν την πτώση της θερμοκρασίας του ρευστού στο κλειστό κύκλωμα, τότε η θερμότητα απορροφάται από το θερμότερο έδαφος.

Υπάρχουν αρκετές ποικιλίες διατάξεων κλειστού κυκλώματος, όπως είναι το οριζόντιο, το σπειροειδές, το κατακόρυφο και το καταβυθιζόμενο. Στα επόμενα κεφάλαια σε επιμέρους κατηγορίες θα εξεταστούν αναλυτικά.

4.5.1.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Τα οριζόντια κυκλώματα, χρησιμοποιούνται συχνά όταν υπάρχει διαθέσιμη επαρκής επιφάνεια του εδάφους. Οι σωλήνες τοποθετούνται σε τάφρους σε ένα βάθος 1,2 έως 3 m. Ανάλογα με τον συγκεκριμένο σχεδιασμό μπορούν να τοποθετηθούν από έναν μέχρι έξι σωλήνες σε κάθε τάφρο. Παρόλο που απαιτούν περισσότερο μήκος σωλήνων, οι διατάξεις πολλαπλών σωλήνων δε δεσμεύουν την επιφάνεια του εδάφους, απαιτούν λιγότερες τάφρους και επομένως έχουν μικρότερο κόστος εγκατάστασης από τις διατάξεις μονού σωλήνα. Τα μήκη των τάφρων ποικίλλουν από 30-120 m ανά τόνο ψύξης, και εξαρτώνται από τις συνθήκες του εδάφους και τον αριθμό των σωλήνων μέσα στην τάφρο. Οι τάφροι συνήθως απέχουν 1,8 έως 3,7 m. Αυτά τα συστήματα είναι συνηθισμένα σε οικιακές εφαρμογές, αλλά δεν εφαρμόζονται συχνά σε μεγάλης χωρητικότητας εμπορικές εφαρμογές, γιατί απαιτείται μεγάλη επιφάνεια εδάφους για κατάλληλη μεταφορά θερμότητας. Τα οριζόντια συστήματα εφαρμόζονται συνήθως σε μεγάλες επιφάνειες εδάφους με υψηλή στάθμη νερού.



Σχήμα 4.5

Πλεονεκτήματα:

1. Το κόστος των τάφρων είναι τυπικά χαμηλότερο από το κόστος των γεωτρήσεων, ενώ υπάρχουν και ευέλικτες επιλογές εγκατάστασης.

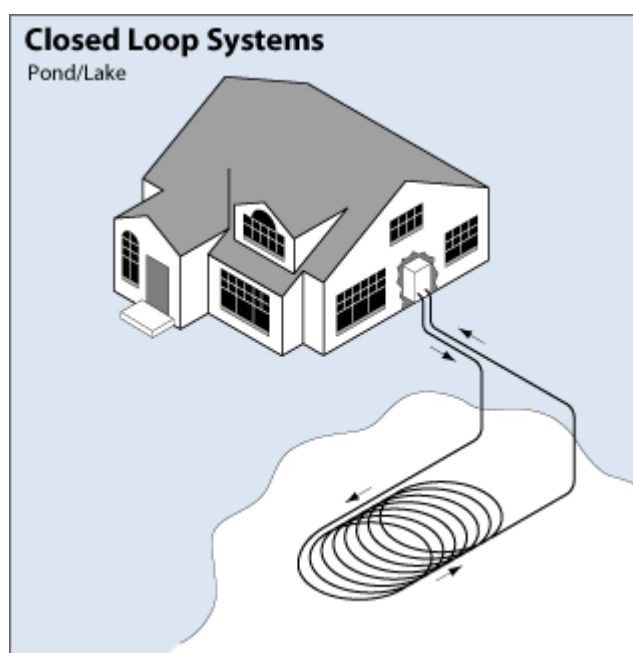
Μειονεκτήματα:

1. Απαιτείται μεγάλη εδαφική περιοχή.
2. Η θερμότητα του εδάφους υπόκειται σε εποχιακές διακυμάνσεις σε μικρά βάθη.
3. Οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους κυμαίνονται ανάλογα με την εποχή, τη βροχή και το βάθος ταφής.
4. Η ξηρότητα του εδάφους πρέπει να μετρηθεί κατάλληλα για το σχεδιασμό του απαιτούμενου μήκους σωλήνων, ειδικά σε αμμώδη εδάφη και στις κορυφές των βουνών, στα οποία υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν προβλήματα λειψυδρίας, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.
5. Το σύστημα των σωληνώσεων μπορεί να καταστραφεί κατά τη διεργασία ξαναγεμίσματος.
6. Απαιτούνται μεγαλύτερα μήκη σωλήνων σε σχέση με τις κάθετες γεωτρήσεις.
7. Η πυκνότητα του αντιψυκτικού διαλύματος αυξάνει την ενέργεια των αντλιών, ενώ μειώνει το ρυθμό μεταφοράς, ώστε έτσι να μειώνεται και η συνολική απόδοση. Γι' αυτό παρατηρείται χαμηλή απόδοση του συστήματος.

4.5.1.2 ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΕΣ ΚΥΚΛΩΜΑ

Μια παραλλαγή της διάταξης οριζόντιου κυκλώματος (κάποιες φορές και κατακόρυφου αλλά πολύ λιγότερο διαδεδομένη και σπάνια) με πολλαπλούς σωλήνες είναι το σπειροειδές κύκλωμα. Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από σωλήνες που στριφογυρίζουν σε ένα κυκλικό κύκλωμα μέσα σε τάφρους. Μια άλλη παραλλαγή του συστήματος με σπειροειδές

κύκλωμα περιλαμβάνει την τοποθέτηση του κυκλώματος όρθιου σε στενές τάφρους. Η διάταξη του σπειροειδούς κυκλώματος απαιτεί γενικά περισσότερους σωλήνες τυπικά 150 - 300 m ανά τόνο ψύξης, αλλά λιγότερες συνολικά τάφρους από τα συστήματα οριζόντιου κυκλώματος με πολλαπλούς σωλήνες. Για το σχεδιασμό των οριζόντιων σπειροειδών κυκλωμάτων, οι τάφροι έχουν πλάτος γενικά 0,9 - 1,8 m. Πολλαπλές τάφροι απέχουν τυπικά περίπου 3,7 m. Για το σχεδιασμό των κατακόρυφων σπειροειδών κυκλωμάτων, οι τάφροι έχουν πλάτος γενικά 1,5 m. Σχηματικά ένα οριζόντιο σπειροειδές φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 4.6

Πλεονεκτήματα:

1. Απαιτεί λιγότερη περιοχή εδάφους και λιγότερες τάφρους από άλλα οριζόντια συστήματα
2. Το κόστος εγκατάστασης είναι μερικές φορές μικρότερο από άλλα οριζόντια κυκλώματα

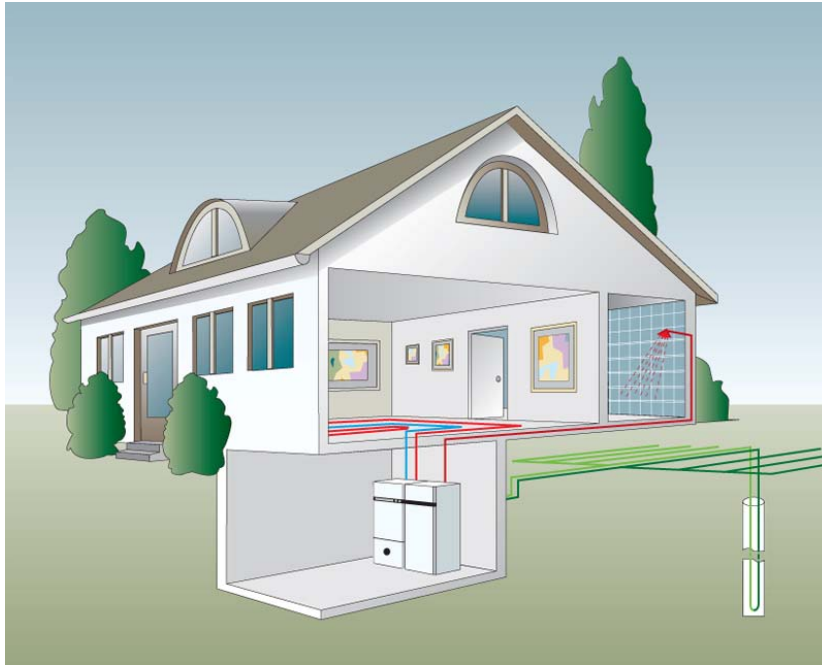
Μειονεκτήματα:

1. Απαιτεί μεγαλύτερο συνολικό μήκος σωλήνων σε σχέση με άλλα συστήματα υπόγειων εναλλακτών
2. Απαιτείται σχετικά μεγάλη περιοχή εδάφους
3. Η θερμοκρασία του εδάφους υπόκειται σε εποχιακές μεταβολές
4. Μεγαλύτερες απαιτήσεις ενέργειας των αντλιών από άλλα οριζόντια κυκλώματα. Το σύστημα σωλήνων μπορεί να καταστραφεί κατά τη διεργασία του αναγεμίματος.

4.5.1.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Τα κατακόρυφα κυκλώματα χρησιμοποιούνται γενικά όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι περιορισμένη. Διανοίγονται γεωτρήσεις σε τυπικά βάθη από 23 έως 91 m βάθος. Οι σωλήνες κλειστού κυκλώματος εισάγονται μέσα στην κατακόρυφη γεώτρηση. Το απαιτούμενο μήκος ποικίλει από 60-180 m ανά τόνο ψύξης και εξαρτάται από το έδαφος και τις συνθήκες θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται πολλαπλές γεωτρήσεις, που απέχουν 3 έως 5 m και οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι είτε σε σειρά είτε σε παράλληλη διάταξη, ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις για τη συνολική μεταφορά θερμότητας. Τα κατακόρυφα συστήματα εφαρμόζονται εκεί που είναι περιορισμένη η εδαφική περιοχή, εκεί που το έδαφος είναι βραχώδες ή υπάρχει υπόβαθρο. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι για τους εναλλάκτες θερμότητας του κατακόρυφου συστήματος

1. Σωλήνας σε σχήμα U
2. Διαχωρισμένοι σωλήνες
3. Ομόκεντροι σωλήνες



Σχήμα 4.7

Πλεονεκτήματα:

1. Απαιτεί λιγότερο μήκος σωλήνων από τα περισσότερα συστήματα κλειστού κυκλώματος.
2. Απαιτεί την ελάχιστη ενέργεια άντλησης συγκριτικά με τα υπόλοιπα συστήματα κλειστού κυκλώματος (λόγω του ότι απαιτείται μικρότερο μήκος σωλήνων σε σχέση με άλλα συστήματα)
3. Απαιτεί την ελάχιστη ποσότητα επιφανειακής περιοχής
4. Η θερμοκρασία του εδάφους δεν υπόκειται σε εποχιακές μεταβολές.

Μειονεκτήματα:

1. Απαιτεί εξοπλισμό για τη γεώτρηση, ενώ το κόστος των γεωτρήσεων είναι συχνά πιο υψηλό από το κόστος των οριζόντιων τάφρων.

4.5.1.4 ΚΑΤΑΒΥΘΙΖΟΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Αν μία μετρίου μεγέθους υδάτινη τάφρος ή λίμνη είναι διαθέσιμες, τότε το κλειστό κύκλωμα μπορεί να καταβυθιστεί. Οι εφαρμογές των καταβυθισμένων κυκλωμάτων απαιτούν ειδικές συνθήκες, γεγονός που απαιτεί τη συμβολή ενός μηχανικού εξειδικευμένου σε τέτοιες εφαρμογές. Αυτός ο τύπος συστήματος απαιτεί επαρκή επιφάνεια εδάφους και βάθος, ώστε να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης. Τυπικές εγκαταστάσεις απαιτούν σωλήνες 90 m ανά τόνο ψύξης.



Σχήμα 4.8

Πλεονεκτήματα:

1. Χρησιμοποιούν το λιγότερο συνολικό μήκος σωλήνων από κάθε άλλο κλειστό κύκλωμα
2. Είναι λιγότερο ακριβό σε σύγκριση με άλλα κλειστά κυκλώματα, αν υπάρχει διαθέσιμη αρκετή ποσότητα νερού

Μειονεκτήματα:

1. Απαιτεί μεγάλη ποσότητα νερού

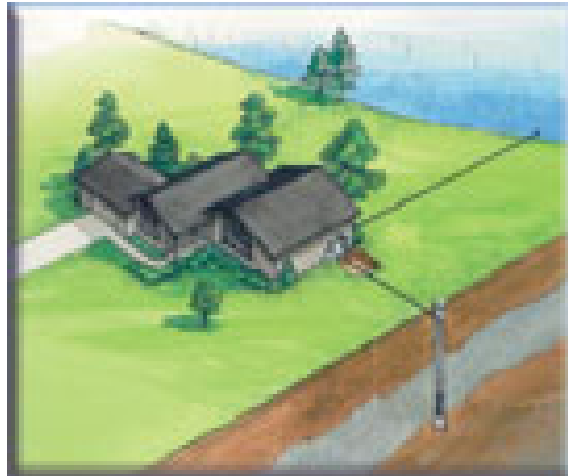
4.5.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος χρησιμοποιούν υπεδafικό νερό ως άμεσο μέσο μεταφοράς θερμότητας, σε αντίθεση με το ρευστό υλικό μεταφοράς θερμότητας που αναφέρθηκε στα συστήματα κλειστού κυκλώματος. Αυτά τα συστήματα αναφέρονται μερικές φορές ως «αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή» για να διαχωριστούν από τις «αντλίες θερμότητας από εδάφια πηγή». Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος αποτελούνται πρωταρχικά από γεωτρήσεις εξαγωγής, γεωτρήσεις επανέγχυσης ή συστήματα τα οποία βοηθούν στη μεταφορά του επιφανειακού νερού.

Υπάρχουν αρκετοί ειδικοί παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπόψη στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος:

- i. η ποσότητα του νερού
- ii. η καταλληλότητα του διαθέσιμου νερού
- iii. το πρόβλημα της διάθεσης του υπεδafικού νερού, μετά τη χρήση του.

Στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος ο πρωταρχικός εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού υλικού και του υπεδafικού νερού υπόκειται σε διάβρωση. Ο ρυθμός ροής που απαιτείται μέσω του πρωταρχικού εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού υλικού και του υπεδafικού νερού κυμαίνεται από 0,4 έως 0,8 m³/h ανά τόνο ψύξης. Το υπόγειο νερό πρέπει είτε να επαναφέρεται μέσα στο έδαφος από ξεχωριστές γεωτρήσεις, είτε να εκρέει σε ένα επιφανειακό σύστημα, όπως είναι ένα ποτάμι ή μια λίμνη.



Σχήμα 4.9

Πλεονεκτήματα:

1. Χρησιμοποιούνται λιγότερες γεωτρήσεις σε σχέση με τα συστήματα κλειστού κυκλώματος.
2. Λειτουργούν καλύτερα συγκριτικά με τα συστήματα κλειστού κυκλώματος. Κι αυτό γιατί υπάρχει καλύτερη τεχνογνωσία σε θέματα κατασκευής γεωτρήσεων για τη μεταφορά νερού σε θερμοκρασία υπόγειων στρωμάτων σε σχέση με την κατασκευή εναλλακτών (για τη μεταφορά ρευστού σε θερμοκρασία διαφορετική από αυτή των υπόγειων στρωμάτων του εδάφους).
3. Έχουν τυπικά χαμηλότερο κόστος, ειδικά αν συνδυαστεί με γεώτρηση τροφοδοσίας πόσιμου νερού.
4. Χαμηλό κόστος λειτουργίας, αν το νερό έχει ήδη αντληθεί για άλλους σκοπούς, όπως η άρδευση.

Μειονεκτήματα:

1. Υψηλές απαιτήσεις ροής νερού
2. Η διαθεσιμότητα σε νερό μπορεί να περιοριστεί
3. Ο εναλλάκτης θερμότητας της αντλίας θερμότητας υπόκειται σε διαβρωτικούς παράγοντες, περιλίθωση και βακτηριακά συστατικά
4. Υψηλό κόστος, αν απαιτείται γεώτρηση επαναφοράς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

5.1 ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (ΓΑΘ)

ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

- 1 λίτρο πετρελαίου αποδίδει 10.835 θερμίδες ή 10,6 θερμικές KWh
- 1 λίτρο πετρελαίου κοστίζει 0,65 €
- Με απόδοση λέβητα ίση με 80% το κόστος ανέρχεται στα 0,81 €
- Συνεπώς για 10,6 θερμικές KWh ο πελάτης πληρώνει - 0,8 €

ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΑΘ

- Βαθμός Απόδοσης ΓΑΘ = 4
- Δηλαδή για παραγωγή 4 θερμικών KWh, η ΓΑΘ καταναλώνει 1 ηλεκτρική KWh
- Συνεπώς για ίδια θερμική ενέργεια με το συμβατικό (10,6 KWh) καταναλώνει 2,65 KWh ηλεκτρικές
- Με το οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ πληρώνει 0,11 €/ KWh
- Άρα για τις 10,6 θερμικές KWh ο πελάτης πληρώνει ~ 0,3 €

*Εξοικονόμηση - 0,5 € ανά λίτρο πετρελαίου που καταναλώνεται για θέρμανση.

ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ

- Βαθμός Απόδοσης συμβατικού ψύκτη = 1,7
- Δηλαδή για παραγωγή 1,7 ψυκτικών KWh, ο ψύκτης καταναλώνει 1

ηλεκτρική KWh

- Άρα για 100 KWh ψύξης, καταναλώνει 59 ηλεκτρικές KWh
- Με το οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ πληρώνει 0,11 €/ KWh
- Συνεπώς για 100 ψυκτικές KWh ο πελάτης πληρώνει ~ 6,5 €

ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΓΑΘ

- Βαθμός Απόδοσης ΓΑΘ = 3
- Δηλαδή για παραγωγή 3 ψυκτικών KWh, η ΓΑΘ καταναλώνει 1 ηλεκτρική KWh
- Άρα για 100 KWh ψύξης, καταναλώνει 33 ηλεκτρικές KWh
- Με το οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ πληρώνει 0,11 €/ KWh
- Συνεπώς για 100 ψυκτικές KWh ο πελάτης πληρώνει ~3,7 €

*Εξοικονόμηση 2,8 € ανά 100 ηλεκτρικές KWh που καταναλώνεται για ψύξη.

5.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΓΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑ 130 ΤΜ

Η περίοδος θέρμανσης θεωρήθηκε 6 μήνες το χρόνο. Στο διάστημα αυτό οι αντλίες θερμότητας θα λειτουργούν 30 μέρες το μήνα, 6 ώρες την ημέρα, παράγοντας συνολικά 19.650 θερμικές KWh.

Αν θέλαμε να παράξουμε αυτές τις 19.650 θερμικές KWh με συμβατικό σύστημα καυστήρα/λέβητα που έχει απόδοση 80%, θα έπρεπε να καταναλώσουμε 1.860 λίτρα πετρελαίου θέρμανσης.

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, το σπίτι θα εξοικονομεί περίπου 0,5 € ανά λίτρο πετρελαίου που καταναλώνεται για θέρμανση. Αυτό σημαίνει ότι για τα 1.860 λίτρα η ετήσια εξοικονόμηση θα είναι περίπου 950 €.

Ομοίως, η περίοδος ψύξης θεωρήθηκε 4 μήνες το χρόνο. Στο διάστημα αυτό οι αντλίες θερμότητας θα λειτουργούν 30 μέρες το μήνα, 6 ώρες την ημέρα, παράγοντας συνολικά 14.000 ψυκτικές KWh.

Αν θέλαμε να παράξουμε αυτές τις 14.000 ψυκτικές KWh με συμβατικό air-condition που έχει απόδοση 1.7, θα έπρεπε να καταναλώσουμε περίπου 8.250 ηλεκτρικές KWh.

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, το σπίτι θα εξοικονομεί περίπου 2,8 € ανά 100 ηλεκτρικές KWh που καταναλώνει για ψύξη. Αυτό σημαίνει ότι για τις 8.250 KWh η ετήσια εξοικονόμηση θα είναι 230 €.

Υπάρχει επίσης και το όφελος από το ζεστό νερό χρήσης που παράγεται από τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, σε περίπτωση που αυτό θα παραγόταν από ηλεκτρικό θερμοσίφωνα.

Ένας ηλεκτρικός θερμοσίφωνας των 150 λίτρων έχει ηλεκτρική αντίσταση 4 KW. Αν η λειτουργία του το χειμώνα είναι για 150 ημέρες, 3 ώρες την ημέρα, τότε η κατανάλωση του είναι 1800 KWh. Με κόστος KWh = 0.11 € το συνολικό κόστος είναι περίπου 200€. Η ΓΑΘ με COP = 4, θα χρειαστεί μόνο το 1/4 αυτών των χρημάτων δηλαδή 50 €.

Αν θεωρήσουμε ότι το καλοκαίρι χρειαζόμαστε τον θερμοσίφωνα για 50 ημέρες, 3 ώρες την ημέρα, τότε η κατανάλωση του είναι 600 KWh με κόστος περίπου 70 €. Το καλοκαίρι όμως η αντλία θερμότητας παράγει ζεστό νερό για χρήση θερμοκρασίας 30 βαθμών Κελσίου ως παραπροϊόν του κύκλου ψύξης.

Η εξοικονόμηση λοιπόν το χειμώνα είναι 150 € και το καλοκαίρι 70€. Συνεπώς η συνολική εξοικονόμηση σε ζεστό νερό χρήσης σε σύγκριση με έναν ηλεκτρικό θερμοσίφωνα είναι 220 €.

Επίσης τα συστήματα ΓΑΘ δεν έχουν προγραμματισμένη συντήρηση, συνεπώς σε σχέση με τα συμβατικά για το συγκεκριμένο σπίτι θα υπάρχει ετήσια εξοικονόμηση της τάξης των 100 €.

Η μέγιστη συνολική ετήσια εξοικονόμηση που θα μπορούσε να είχε η παραπάνω κατοικία με την εγκατάσταση ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας είναι περίπου 1500 €.

Πλεονεκτήματα:

- Παραγωγή ζεστού και κρύου νερού για θέρμανση και ψύξη καθώς και ζεστού νερού χρήσης από το ίδιο μηχάνημα.

- Πλήρης αποδέσμευση από το πετρέλαιο και τις συνεχώς αυξανόμενες τιμές του.
- Μεγάλη εξοικονόμηση σε χρήματα λόγω της μεγάλης τους απόδοσης σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα.
- Εξοικονόμηση χώρων, αφού δεν υπάρχει ανάγκη για δεξαμενή πετρελαίου και καμινάδα (δεν έχουμε καύση πετρελαίου ή άλλου καυσίμου)
- Πληρωμή μετά την κατανάλωση χωρίς την ανάγκη προαγοράς πετρελαίου.
- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον αφού δεν υπάρχουν εκπομπές ρύπων.

5.3 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Σε κατοικία επιφανείας 100 m², η οποία παρουσιάζει ορθή θερμική συμπεριφορά, είναι δηλαδή καλά μονωμένη και εμφανίζει μέση τιμή του ολικού συντελεστή θερμικής διαπερατότητας (αγωγιμότητας και συναγωγιμότητας) περίπου 0,6 W/m²K, το ύψος των θερμικών αναγκών ανέρχεται στα 7 KW. Ενδεικτικά παρουσιάζεται παρακάτω πίνακας κατανομής θερμικών απαιτήσεων κτιρίων ανάλογα με την ποιότητα της μόνωσης.

α/α	Ποιότητα από άποψη μόνωσης	Συνολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας «U»	Θερμικές ανάγκες
		W/m ² K	KW
0	Άριστη Μόνωση	U<0,4	Q<4,0
1	Πολύ καλή μόνωση	0,6	7,0
2	Μέσης ποιότητας μόνωση	1,0	10,5
3	Ελλιπούς ποιότητας μόνωση	1,4	14,5

Πίνακας 5.1

Ανάλυση θερμικών απαιτήσεων κτιρίων

Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης συμβατικής κεντρικής θέρμανσης, όταν χρησιμοποιούνται αξιόπιστες συσκευές ανέρχεται για την 1η περίπτωση (Πίνακας 5.1) στο ποσό των 4.600 €. Η ανάλυση του παραπάνω ποσού έχει όπως παρακάτω:

1. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών λεβητοστασίου (λέβητα, καυστήρα, κυκλοφορητή, δοχείου διαστολής και δεξαμενής καυσίμου) περίπου 2.300 €.
2. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών χώρων (θερμαντικά σώματα, σωληνώσεις, διανεμητές νερού, και θερμοστάτες χώρου) περίπου 2.000 €.
3. Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, συστήματα αυτοματισμών περίπου 300 €.

* Στην περίπτωση της κατασκευής ενδοδαπέδιας εγκατάστασης το κόστος ανέρχεται στο ποσό των 7.900 €.

Για την ίδια κατοικία στην περίπτωση της εγκατάστασης κλιματισμού με σύστημα γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας, το κόστος κατασκευής ανέρχεται στο ποσό των 13.500,00 €.

1. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών μηχανοστασίου (θερμαντλία, κυκλοφορητές, δοχείο διαστολής και αυτοματισμοί περίπου 5.000 €.

2. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών χώρων (θερμαντικά στοιχεία ανεμιστήρα (fan coils), σωληνώσεις, διανεμητές νερού και θερμοστάτες χώρου) περίπου 2.600 €.

3. Κατασκευή γεωθερμικού συστήματος άντλησης θερμότητας, περίπου 5.300 €.

4. Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, συστήματα αυτοματισμών περίπου 300 €.

* Στην περίπτωση της κατασκευής ενδοδαπέδιας εγκατάστασης το κόστος ανέρχεται στο ποσό των 16.300 €.

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

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

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

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

4. Τέλος το κόστος λειτουργίας μιας εγκατάστασης θέρμανσης για περιοχές χαμηλών θερμοκρασιών, βόρεια Ελλάδα παρουσιάζει απαιτήσεις χρήσης επί 6 μήνες για 20 ώρες την ημέρα, που στην περίπτωση της πολύ καλής μόνωσης απαιτείται ενέργεια της τάξης των 25.000 KWh/έτος. Για τη μέση περιοχή της χώρας (Αθηνών) η ετήσια κατανάλωση ανέρχεται σε 18.000 KWh. Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας σαν συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας για τη 1η περίπτωση (Πίνακας 5.1)

Θερμοκρασία Ακραία περιβάλλοντος (συχνή)	Περίοδος	Χρόνος	Θερμική Ισχύς	Ενέργεια
°C	Μήνες	Ώρες	KW	KWh
Χειμώνας				
-5	6	17	7	30607
0	5	14	6	21006
5	4	12	5,5	14406
Θέρος				
30	3	7	7	6307

35	3,5	8	6	8406
40	4,5	10	5,5	13506
Σύνολο				36914
				29412
				27911

Πίνακας 5.2

Ο μέσος ετήσιος βαθμός εκμετάλλευσης της θερμικής ενέργειας περιέχεται στο καύσιμο (πετρέλαιο), σε εγκαταστάσεις κεντρικών θερμάνσεων ανέρχεται στο 75 % (όταν η εγκατάσταση λειτουργεί πάρα πολύ καλά), οι ενεργειακές απαιτήσεις (αγορά πετρελαίου) ανέρχονται σε 34.000 KWh ή 2.900 kg πετρέλαιο, που αντιστοιχεί σε κόστος περίπου 730 € ετησίως.

Το σύστημα αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας, παρουσιάζει για τις ίδιες θερμικές ανάγκες βαθμό εκμετάλλευσης περίπου 4, με αποτέλεσμα οι πραγματικές ενεργειακές καταναλώσεις να ανέρχονται σε 6.250 KWh /έτος, που αντιστοιχούν σε κόστος λειτουργίας περίπου 510 €.

Η οικονομικότητα στη λειτουργία μεταξύ των δυο αυτών εγκαταστάσεων ανέρχεται στο ποσό μόνο των 220 € ανά έτος.

Για τη θερινή περίοδο η εγκατάσταση κλιματισμού με αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας αποδίδει την απαιτούμενη ψυκτική ενέργεια με απόδοση της τάξης 4-πλάσιου και καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια 1.800 KWh. Σε αντίθεση η χρήση συσκευών διμερούς τύπου για τη κάλυψη των αντιστοιχών αναγκών απαιτεί κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ύψους 3.600 KWh. Το επιπλέον ετήσιο κόστος λειτουργίας ανέρχεται σε 150 €. Επίσης το κόστος των συσκευών διμερούς τύπου για τη κάλυψη των αναγκών δροσισμού ανέρχεται σε 2.350 €.

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

Πρέπει να τονιστεί ότι ο όγκος των εγκαταστάσεων των συσκευών του

γεωθερμικού συστήματος είναι μικρότερος κατά 30% του χώρου που απαιτεί η εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης με αποτέλεσμα την πραγματική (ουσιαστική) μείωση του κόστους κατασκευής λόγω χρήσης μικρότερου χώρου οι δε εγκαταστάσεις των διμερούς τύπου κλιματιστικών αποφεύγεται πλήρως.

Στο γεωθερμικό σύστημα δεν απαιτείται δεξαμενή πετρελαίου και τα προβλήματα που αυτή επιφέρει (οσμές, ρύποι, κίνδυνος).

Σημαντικότερο πλεονέκτημα επίσης του συστήματος είναι η δυνατότητα χρήσης ειδικού αυτοματισμού, εφόσον δεν παρουσιάζει κινδύνους κατά τη λειτουργία. Ο αυτοματισμός αυτός μπορεί να ενεργοποιηθεί από απόσταση (π.χ. μέσω τηλεφώνου), με αποτέλεσμα το σύστημα να ενεργοποιείται μερικώς, με περίπου μηδενικό κόστος λειτουργίας και να συντηρεί την κατοικία, όταν αυτή είναι για καιρό ακατοίκητη, σε θερμοκρασία πολύ κοντά στις θερμοκρασιακές απαιτήσεις, με αποτέλεσμα την επιπλέον μείωση του κόστους λειτουργίας και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Συγκεκριμένα, όταν απουσιάζουμε από την οικία, δε λειτουργεί η αντλία θερμότητας, αλλά λειτουργεί η αντλία κυκλοφορίας νερού που μεταφέρει τη θερμότητα στο κτίριο με χαμηλότερο κόστος και παράλληλα μεταβάλλει την κατάσταση του νερού από την αδράνεια σε κοντινότερες θερμοκρασίες της αντλίας θερμότητας. Έτσι όταν η αντλία θερμότητας λειτουργήσει, καλύπτει μικρότερη διαφορά θερμοκρασίας, μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία που έχουμε επιλέξει για το χώρο, με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας έως και 70 %.

Η σύγκριση τους με τις εγκαταστάσεις κλιματισμού με στοιχεία ανεμιστήρα οδηγούν σε ακόμη καλύτερα αποτελέσματα που συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες .

a/a	Εγκατάσταση	Κόστος	Καταλαμβανόμενος χώρος
		€	m ²
1	Κεντρική Θέρμανση	4.600,00	10. Υπόγειο
2	Κεντρική Θέρμανση και Διμερούς Κλιματιστικά	6.950,00	10, Υπόγειο και εξωτ. -εσωτ στοιχεία
3	Κεντρικός Κλιματισμός (κοινό)	9.000,00	8, Ταράτσα
4	Γεωθερμική εγκατάσταση με κάθετο εδαφ. εναλλάκτη	13.200,00	4,5, Υπόγειο
5	Γεωθερμική εγκατάσταση με Οριζόντιο εδαφ. Εναλ.	9.500,00	4,5, Υπόγειο
6	Γεωθερμική εγκατάσταση με ¹ Εναλλάκτη θάλασσας	8.900,00	4,5, Υπόγειο
7	Γεωθερμική εγκατάσταση με Εναλλάκτη λίμνης	8.500,00	4,5, Υπόγειο

Πίνακας 5.3

a/a	Εγκατάσταση	Απόσβεση
		Έτη
1	Κεντρική Θέρμανση	Μη συγκρίσιμο
2	Κεντρική Θέρμανση και Διμερούς Κλιματιστικά	14
3	Κεντρικός Κλιματισμός (κοινό)	6
4	Γεωθερμική εγκατάσταση με κάθετο εδαφ. εναλλάκτη	-
5	Γεωθερμική εγκατάσταση με Οριζόντιο εδαφ. Εναλ.	Οικονομικότερη
6	Γεωθερμική εγκατάσταση με Εναλλάκτη θάλασσας	Οικονομικότερη
7	Γεωθερμική εγκατάσταση με Εναλλάκτη λίμνης	Οικονομικότερη

Πίνακας 5.4

*Σημειώνεται ότι η σύγκριση γίνεται με την Γεωθερμική εγκατάσταση με κάθετο εδαφικό εναλλάκτη

5.4 ΣΤΟΧΕΥΣΗ ΣΕ ΕΡΓΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Για να θεωρείται **οικονομικά ελκυστικό** ένα έργο γεωθερμίας, σε μια οικονομοτεχνική μελέτη, επιδιώκονται και πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Έργα > 100 KW
- Ανάγκη για ψύξη και θέρμανση
- Συμβατικό καύσιμο πετρέλαιο
- Λειτουργία 12 μήνες το χρόνο
- Ανοιχτό κύκλωμα κατά προτίμηση
- Πελάτες μέσης τάσης κατά προτίμηση

ΓΕΝΙΚΑ

Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόσβεση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας.

1. ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η περίοδος λειτουργίας της αντλίας θερμότητας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την βιωσιμότητα της επένδυσης. Συγκεκριμένα: Περίοδος θέρμανσης:

- 6 ώρες την ημέρα
- 30 ημέρες το μήνα
- 7 μήνες το χρόνο

Περίοδος ψύξης:

- 6 ώρες την ημέρα
- 30 ημέρες το μήνα
- 5 μήνες το χρόνο

Αύξηση του χρόνου λειτουργίας κατά 40% την ημέρα (10 ώρες την ημέρα), έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου απόσβεσης κατά 40%.

ΨΥΞΗ - ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Το λειτουργικό όφελος ενός συστήματος ΑΒΓΘ σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα προέρχεται στο μεγαλύτερο ποσοστό από την θέρμανση. Συγκεκριμένα το 60% των εσόδων προέρχεται από τη θέρμανση και το 40% από τη ψύξη.

ΑΝΟΙΧΤΟ - ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

ΑΠΟΣΒΕΣΗ						
ΜΕΓΕΘΟΣ	100 KW		150 KW		200 KW	
	Επιχορήγηση					
	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι	Ναι	Όχι
ΚΛΕΙΣΤΟ	4,7	12,7	3,9	10,5	4,4	11,6
ΑΝΟΙΧΤΟ	2,9	9,6	1,0	5,8	0,8	5,5
Διαφορά	38%	24%	74%	45%	82%	53%

Πίνακας 5.5

ΤΙΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Τα λειτουργικά έξοδα ενός λεβητοστασίου εξαρτώνται αποκλειστικά από την τιμή του πετρελαίου μιας και η ηλεκτρική κατανάλωση σ' ένα λεβητοστάσιο είναι αμελητέα.

Μείωση στην τιμή του πετρελαίου κατά 10% έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου απόσβεσης κατά 14%.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ ΔΕΗ

Ένα συμβατικό σύστημα ψύξης (αερόψυκτη μονάδα) καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια στους συμπιεστές, στους κυκλοφορητές και στους ανεμιστήρες.

Το τιμολόγιο της ΔΕΗ που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους ενός συμβατικού συστήματος ψύξης είναι το Τιμολόγιο Γενικής Χρήσης υπό Χαμηλή Τάση με τιμή χρέωσης της ενέργειας 0,11655 €/KW.

Αν υπήρχε διαθέσιμη μέση τάση και χρησιμοποιούσαμε το Τιμολόγιο Γενικής Χρήσης υπό Μέση τάση (0,0482356€/KWh), τότε για τον ίδιο εξοπλισμό και τον ίδιο χρόνο λειτουργίας το ετήσιο λειτουργικό όφελος αυξάνεται κατά 50%.

5.5 ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

ΑΝΟΙΧΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Στα ανοιχτά κυκλώματα το κόστος των γεωτρήσεων είναι περίπου 90€/m και το κόστος του μπετονίτη που χρησιμοποιείται για την ολοκλήρωση της γεώτρησης είναι 200€/1200kg.

Το κόστος των γεωτρήσεων (χωρίς αντλητικό συγκρότημα, επιφανειακές σωληνώσεις και παρελκόμενα) κυμαίνεται από 12% έως 18% του συνολικού προϋπολογισμού του έργου, για γεωτρήσεις βάθους 100 m η καθεμιά.

Αν το βάθος των γεωτρήσεων αυξηθεί κατά 20% (20 μέτρα ανά γεώτρηση) τότε ο χρόνος απόσβεσης αυξάνεται κατά 8% στα συστήματα των 100 KW και φτάνει μέχρι και 10% στα συστήματα των 200 KW.

ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Στα κλειστά κυκλώματα το κόστος των γεωτρήσεων είναι περίπου 40€/m συν το κόστος του μπετονίτη ομοίως με τα παραπάνω.

Το κόστος των γεωτρήσεων (χωρίς αντλητικό συγκρότημα, επιφανειακές σωληνώσεις και παρελκόμενα) κυμαίνεται από 26% έως 30% του συνολικού προϋπολογισμού του έργου, για γεωτρήσεις βάθους 100 m η καθεμιά.

Αν το βάθος των γεωτρήσεων μεταβληθεί κατά 20% (20 μέτρα" ανά γεώτρηση) τότε ο χρόνος απόσβεσης αυξάνεται κατά 11% στο συστήματα των 100 KW και φτάνει μέχρι και 28% στο συστήματα των 200 KW (αφού αυξάνεται πολύ ο αριθμός των γεωτρήσεων).

5.6 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ

Αναφέρεται ενδεικτικά το κόστος έργου με εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (θερμικής) ισχύος 100-300KW_{th}:

Τύπος Γ/Ε	Κόστος έργου/ KW _{th}
Κλειστό Σύστημα -	650€/ KW _{th}
Κλειστό Σύστημα -	1030€/ KW _{th}
Ανοικτό Σύστημα	870€/ KW _{th}

Σε κάθε περίπτωση το κόστος κατασκευής του γεωεναλλάκτη καλύπτει ένα μέρος του συνολικού κόστους του έργου όπως φαίνεται παρακάτω:

Τύπος Γ/Ε	% Κόστος έργου
Κλειστό Σύστημα -Οριζόντιο	40%
Κλειστό Σύστημα -Κάθετο	53%
Ανοικτό Σύστημα	51%

Ενδεικτικά πάντα αναφέρεται ότι το κόστος έργου (παρόμοιου τύπου με το δημαρχείο της Πυλαίας), με γεωθερμική αντλία θερμότητας (θερμικής) ισχύος 150 KW_{th} και κάθετο γεωεναλλάκτη, ανέρχεται σε 160.000€.

Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας 100 KW –κλειστό κύκλωμα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ		
ΑΝΑΓΚΗ KW	100	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	2 x standard OWWP56	
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Κλειστό Κύκλωμα	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	8x100 m	
ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ	Πετρέλαιο Θέρμανσης	
ανάλυση κόστους εξοπλισμού και γεώτρησης		
Κόστος Αντλίας Θερμότητας	44.000 €	
Κόστος Γεωτρήσεων	32.000 €	
Αντλητικό Συγκρότημα	1.750 €	
Κόστος σωληνώσεων	2.236 €	
Κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων	1.320 €	
Εργασία υδραυλικού	1.600 €	
Απρόβλεπτο	12.436 €	
Μικτό Περιθώριο	28.602 €	
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP	123.944 €	
ΠΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	45.000 €	45.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικού Συστήματος	45.000	45.000
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	122.944 €	123.944 €
Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	74.366	123.944
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	13.156 €	13.156 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	6.923 €	6.923 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	6.233 €	6.233 €
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	29.366	78.944
Απόσβεση (έτη)	4.7	12.7

ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	45.000 €	45.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%

Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος	45.000	45.000
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	123.944 €	123.944 €
Επιδότηση συστήματος Αβαθούς <i>Γεωθερμίας</i>	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	74.366	123.944
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	21.927 €	21.927 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	11.535 €	11.538 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	10.358 €	10.388€
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	29.366	78.944
Απόσβεση (έτη)	2.8	7.6

παρατηρήσεις

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHENER
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 40€ το μέτρο
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για κλειστό σύστημα είναι 1750€.
4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 0,7452€/m
5. Το κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό Mc Quay και CALDA
9. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58€/λίτρο
10. Θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας 100 KW- ανοικτό κύκλωμα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ		
ΑΝΑΓΚΗ KW	100	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	2 x standard OWWP56	
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Κλειστό Κύκλωμα	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	2x100 m	
καύσιμο σύγκρισης	Πετρέλαιο Θέρμανσης	
ανάλυση κόστους εξοπλισμού και γεώτρησης		
Κόστος Αντλίας Θερμότητας	44.000 €	
Κόστος Γεωτρήσεων	18.000 €	
Αντλητικό Συγκρότημα	2.000 €	
Κόστος σωληνώσεων	4.000 €	
Κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων	1.320 €	
Εργασία υδραυλικού	900 €	
Απρόβλεπτο	10.533 €	
Μικτό Περιθώριο	24.226 €	
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP	104.979 €	
ΠΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	45.000 €	45.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος	45.000	45.000
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	104.979 €	104.979 €
Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	62.987	104.979
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος		
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού	13.156 €	13.156 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	6.923 €	6.923 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	6.233 €	6.233 €
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP		
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	17.987	59.979
Απόσβεση (έτη)	2.9	9.6

ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	45.000 €	45.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος	45.000	45.000

Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	104.979 €	104.979 €
Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	62.987	104.979
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	21.927 €	21.927 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	11.538 €	11.538 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	10.388 €	10.388 €
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	17.987	59.979
Απόσβεση (έτη)	1.7	5.8

παρατηρήσεις

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHENER
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 90€ το μέτρο
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για ανοιχτό σύστημα είναι
υποβρύχια αντλία 1.200 €
κεφαλή 500€
διάφορα 300€
4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 40€/m
5. Το κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA .
9. Οι ώρες λειτουργίας τόσο της αντλίας όσο και του συμβατικού

θεωρήθηκαν ίσες με 6 ώρες την ημέρα

11. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58 €/λίτρο

12. θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας 150 KW - κλειστό κύκλωμα

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ		ΒΡΕΦΟΝΗΠΙΑΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ
ΑΝΑΓΚΗ kw	150	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	2 x standard OWWP56	
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Κλειστό Κύκλωμα	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	8x100 m	
καύσιμο σύγκρισης	Πετρέλαιο Θέρμανσης	
ανάλυση κόστους εξοπλισμού και γεώτρησης		
Κόστος Αντλίας Θερμότητας	50.000 €	
Κόστος Γεωτρήσεων	48.000 €	
Αντλητικό Συγκρότημα	3.500 €	
Κόστος σωληνώσεων	4.471 €	
Κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων	1.500 €	
Εργασία υδραυλικού	2.400 €	
Απρόβλεπτο	16.481 €	
Μικτό Περιθώριο	37.906 €	
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP	164.257 €	

ΠΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	60.000 €	60.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος	60.000 €	60.000 €
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	164.257 €	164.257 €
Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	98.554	164.257
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	20.185 €	20.185 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	10.246 €	10.246 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	9.939 €	9.939 €

Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	38.554	104.257
Απόσβεση (έτη)	2.9	10.5

ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	60.000 €	60.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος	60.000 €	60.000 €
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	164.257 €	164.257 €
Επιδότηση συστήματος Αβαθούς <i>Γεωθερμίας</i>	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	98.554	164.257
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	33.642 €	33.642 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	17.077 €	17.077 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	16.565 €	16.565 €
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	38.554	104.257
Απόσβεση (έτη)	2.3	6.3

παρατηρήσεις

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHENER
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 40€ το μέτρο
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για κλειστό σύστημα είναι 1750€
4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 0.7452€/m
5. Το κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay

και CALDA .

9. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0.58€/λίτρο

θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας 150 KW- ανοικτό κύκλωμα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ		
ΑΝΑΓΚΗ KW	150	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	2 x standard OWWP56	
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Ανοικτό Κύκλωμα	
ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	2x100 m	
καύσιμο σύγκρισης	Πετρέλαιο Θέρμανσης	
Ανάλυση κόστους εξοπλισμού και γεώτρησης		
Κόστος Αντλίας Θερμότητας	50.000 €	
Κόστος Γεωτρήσεων	18.000 €	
Αντλητικό Συγκρότημα	4.000 €	
Κόστος σωληνώσεων	4.000 €	
Κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων	1.500 €	
Εργασία υδραυλικού	900 €	
Απρόβλεπτο	11.760 €	
Μικτό Περιθώριο	27.048 €	
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP	117.208 €	
ΠΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	60.000 €	60.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος	60.000	60.000
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	117.208 €	117.208 €
Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	70.325	117.208
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	20.185€	20.185€
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	10.246 €	10.246 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	9.939 €	9.939 €

Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	10.325	57.208
Απόσβεση (έτη)	1.0	5.8

ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	60.000 €	60.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος	60.000	60.000
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	117.208 €	117.208 €
Επιδότηση συστήματος Αβαθούς <i>Γεωθερμίας</i>	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	70.325	117.208
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	33.642 €	33.642 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	17.077 €	17.077 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	16.565 €	16.565 €
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	10.325	57.208
Απόσβεση (έτη)	0.6	3.5

παρατηρήσεις

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHENER

2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 90€ το μέτρο

3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για ανοιχτό σύστημα είναι:

υποβρύχια αντλία 1.200 €

κεφαλή 500€

διάφορα 300€

4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 40€/m

5. Το κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας

6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των

γεωτρήσεων

7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA .
9. Οι ώρες λειτουργίας τόσο της αντλίας όσο και του συμβατικού θεωρήθηκαν ίσες με 6 ώρες την ημέρα.
10. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58 €/λίτρο
11. Θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας 200 KW - κλειστό κύκλωμα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ	
ΑΝΑΓΚΗ KW	200
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	2 x standard OWWP56
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Κλειστό Κύκλωμα
ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	16x100 m
καύσιμο σύγκρισης	Πετρέλαιο Θέρμανσης
ανάλυση κόστους εξοπλισμού και γεώτρησης	
Κόστος Αντλίας Θερμότητας	65.000 €
Κόστος Γεωτρήσεων	64.000 €
Αντλητικό Συγκρότημα	3.500 €
Κόστος σωληνώσεων	4.471 €
Κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων	1.950 €
Εργασία υδραυλικού	3.200 €
Απρόβλεπτο	21.318 €
Μικτό Περιθώριο	49.032 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP	212.471 €

ΠΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	75.000 €	75.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικό Σύστημα	75.000	75.000
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	212.471 €	212.471 €

Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	127.483	212.471
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	26.102€	26.102€
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	14.274 €	14.274 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	11.828€	11.828€
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	52.483	137.481
Απόσβεση (έτη)	4.4	11.6

ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	75.000 €	75.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικού Συστήματος	75.000	75.000
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	212.471 €	212.471 €
Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	127.483	212.471
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	43.503 €	43.503 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	23.790 €	23.790 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	19.713 €	19.713 €
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	52.483	137.471
Απόσβεση (έτη)	2.7	7.0

παρατηρήσεις

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHENER
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 40€ το μέτρο
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για κλειστό σύστημα είναι 1750€
4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 0,7452€/m

5. Το κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA .
9. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58 €/λίτρο
10. θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας 200 KW- ανοικτό κύκλωμα.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ	
ΑΝΑΓΚΗ KW	200
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	2 x standard OWWP56
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Ανοικτό Κύκλωμα
ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	2x100 m
καύσιμο σύγκρισης	Πετρέλαιο Θέρμανσης
ανάλυση κόστους εξοπλισμού και γεώτρησης	
Κόστος Αντλίας Θερμότητας	65.000 €
Κόστος Γεωτρήσεων	18.000 €
Αντλητικό Συγκρότημα	4.000 €
Κόστος σωληνώσεων	4.000 €
Κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων	1.950 €
Εργασία υδραυλικού	900 €
Απρόβλεπτο	14.078 €
Μικτό Περιθώριο	32.378 €
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP	140.306 €

ΠΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	75.000 €	75.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικό Σύστημα	75.000	75.000
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	140.306 €	140.306 €

Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	84.183	140.306
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	26.102 €	26.102 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	14.274 €	14.274 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	11.828 €	11.828 €
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	9.183	65.306
Απόσβεση (έτη)	0.5	5.5

ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού συστήματος	75.000 €	75.000 €
Επιδότηση Συμβατικού συστήματος	0%	0%
Τελικό κόστος Συμβατικού Συστήματος	75.000	75.000
Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	140.306 €	140.306 €
Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	84.183	140.306
Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος	43.503 €	43.503 €
Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP	23.790 €	23.790 €
Ετήσιο λειτουργικό όφελος	19.713 €	19.713 €
Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP	9.183	65.306
Απόσβεση (έτη)	0.5	3.3

παρατηρήσεις

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHENER.
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 90€ το μέτρο .
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για ανοιχτό σύστημα είναι :
υποβρύχια αντλία 1.200 €
κεφαλή 500€

διάφορα 300 €

4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 40€/m
5. Το κόστος μικρούλικων και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA .
9. Οι ώρες λειτουργίας τόσο της αντλίας όσο και του συμβατικού θεωρήθηκαν ίσες με 6 ώρες την ημέρα
10. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58 €/λίτρο
11. Θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

6.1 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ελλαδικός χώρος, εξαιτίας κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, είναι από τους γεωθερμικά ευνοημένους και διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 m). Αν εξαιρέσει κανείς τη δυτική Ελλάδα, η θερμική ροή είναι μεγαλύτερη από τη μέση γήινη. Το γεγονός αυτό σημαίνει πως συναντάμε γεωθερμικούς ταμιευτήρες σε μικρά βάθη, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση (ρηχότερες και φθηνότερες γεωτρήσεις).

Στη χώρα μας, η έρευνα γεωθερμίας άρχισε ουσιαστικά το 1971, με βασικό φορέα το Ι.Γ.Μ.Ε. Κατά την εξέλιξη των εργασιών η ΔΕΗ, σαν άμεσα ενδιαφερόμενη για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των πεδίων, χρηματοδοτώντας επί πλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές.

Εκτός από την περίπτωση της υδραυλικής ενέργειας στην χώρα μας δεν έχει επιχειρηθεί ακόμη σε πολύ μεγάλο έως ικανοποιητικό βαθμό (εκτός από ορισμένες πειραματικές και ιδιωτικές προσπάθειες), να γίνει μελέτη εισαγωγής στο ενεργειακό μας σύστημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας(ηλιακής, γεωθερμικής, αιολικής), που αφθονούν σε αυτήν.

Το οξύ ενεργειακό μας πρόβλημα προσπαθούμε να το λύσουμε βασιζόμενοι κυρίως στα ρυπογόνα καύσιμα, δηλαδή στους ορυκτούς άνθρακες - λιγνίτες, στα πετρέλαια και το φυσικό αέριο. Ειδικότερα το τελευταίο, που ήδη εισάγεται σε μεγάλες ποσότητες από το εξωτερικό και παίζει σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό μας σύστημα, ελπίζουμε, πώς θα καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών μας αναγκών και θα περιορίσει τη

ρύπανση της ατμόσφαιρας μας.

- Το φυσικό αέριο όμως, πέρα από τα πολλά εκατομμύρια €, κυρίως σε συνάλλαγμα, που θα μας στοιχίσει, έχει και τα εξής σοβαρά μειονεκτήματα:

- Το έργο θα έχει ως συνέπεια, στη διάρκεια της ζωής του, την οικονομική (σε συνάλλαγμα) και εξάρτηση από ξένες χώρες.

- Παρ' όλον ότι η καύση του φυσικού αερίου μειώνει σημαντικά τη ρύπανση του περιβάλλοντος έναντι του πετρελαίου και του ηλεκτρικού ρεύματος, που παράγεται από λιγνίτες, δεν παύει να προκαλεί κάποια μικρή ατμοσφαιρική ρύπανση, αλλά κυρίως να συμβάλει σοβαρά στη γένεση του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο ενδεχομένως, μετά από 20-30 χρόνια, να πλήξει αισθητά τον πλανήτη μας, ιδιαίτερα τις μεσογειακές χώρες, στις οποίες ανήκει και η Ελλάδα.

- Το σύστημα μεταφοράς και διανομής του φυσικού αερίου είναι γενικά πολύπλοκο, που το καθιστά πιο επικίνδυνο από δυστυχήματα, εξ" αιτίας εκρήξεων και δηλητηριάσεων, αφού βάζουμε μια ξένη, ισχυρή και συχνά ανεξέλεγκτη δύναμη στο σπίτι μας. Επίσης, το δίκτυο δεν φθάνει σε όλες τις περιοχές της χώρας ή πολλές πόλεις.

Με τη νέα τεχνολογία αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι δυνατό να καλυφθεί ένα σημαντικό ποσοστό από τις ενεργειακές μας ανάγκες, χωρίς τα παραπάνω προβλήματα και μειονεκτήματα του φυσικού αερίου.

Στις τεχνολογικά αναπτυγμένες χώρες, το ποσοστό των ενεργειακών αναγκών, που καλύπτετε από τις πηγές αυτές, είναι πολύ μικρό. Ωστόσο γίνονται εκτεταμένες έρευνες και προσπάθειες, ώστε μετά από 10-20 χρόνια να περιοριστεί η χρήση των ρυπογόνων καυσίμων με αντικατάσταση τους από καθαρές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Υπάρχει στόχος να φθάσει στο 12% των ενεργειακών αναγκών η χρήση των ανανεώσιμων.

Στην Ελλάδα υπάρχει μεγάλη ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και συναλλάγματος ενώ έχουμε σοβαρά προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα καύσιμα, κυρίως στις μεγάλες πόλεις.

Διαθέτουμε άφθονη ηλιακή, αιολική και γεωθερμική ενέργεια, επιβάλλεται να εφαρμόσουμε βραχυχρόνια και μακροχρόνια προγράμματα, άμεσης εφαρμογής των ήδη γνωστών τεχνολογιών εκμετάλλευσης των πηγών αυτών με στόχους:

- την παραγωγή και χρήση καθαρής ενέργειας
- την αφομοίωση της ξένης και ανάπτυξη εγχώριας σχετικής τεχνολογίας, που σημαίνει απόκτηση γνώσης και εμπειρίας από τους μηχανικούς και τεχνικούς μας και
- την ενημέρωση του κοινού και των διαφόρων οικονομικών και επιχειρηματικών φορέων πάνω στα πλεονεκτήματα των πηγών αυτών, ώστε να συμβάλλουν ενεργά στη διάδοση της εκμετάλλευσής τους.

6.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

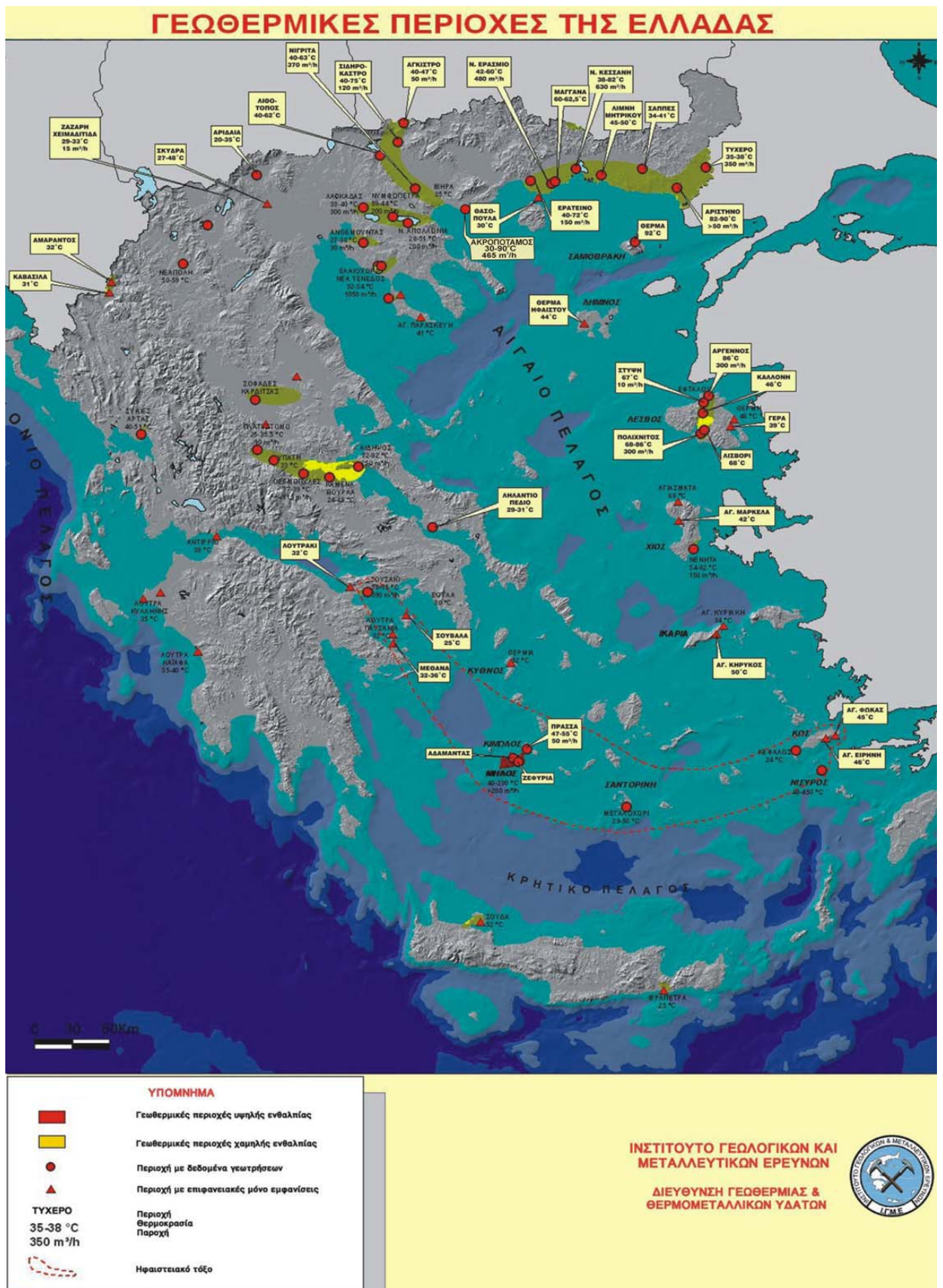
Λόγω του κλίματος και της γεωγραφικής θέσεως της χώρας μας η ποσότητα ηλιακής θερμικής ενέργειας, που αποθηκεύεται στο υπέδαφος αυτής, είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στις βορειότερες χώρες.

Σε συνάρτηση με την υψηλή γεωθερμική ροή οι υπεδαφικές θερμοκρασίες σε βάθη 0-100 m είναι 15-20°C, που είναι πολύ πιο ευνοϊκές, ιδιαίτερα για την απόδοση των γεωθερμικών αντλιών και δίνουν την δυνατότητα εκμετάλλευσης πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων γεωθερμικής ενέργειας παντού.

Τα σπουδαιότερα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα είναι:

- 1) Η λεκάνη του Έβρου (Θράκη)
 - α) Γεωθερμικό Πεδίο Αριστηνού Αλεξανδρούπολης
 - β) Γεωθερμική Περιοχή Τυχερού Έβρου.
- 2) Η λεκάνη της Ξάνθης -Κομοτηνής (Θράκη)
 - α) Γεωθερμικό πεδίο Νέας Κεσσάνης (Ξάνθη)
 - β) Γεωθερμική Περιοχή Σαππών (Ν. Ροδόπης)
- 3) Η λεκάνη του Νέστου - Δέλτα του Νέστου (Ανατολική Μακεδονία -Θράκη)

- α) Γεωθερμικό Πεδίο Ν. Εράσμιο - Μαγγάνων (Ν. Ξάνθης)
 - β) Περιοχή Ερατεινού - Χρυσούπολης (Ν. Καβάλας)
- 4) Η λεκάνη του Στρυμόνα (Μακεδονία)
- α) Γεωθερμικό Πεδίο Θερμών Νιγρίτας (Ν. Σερρών)
 - β) Γεωθερμικό Πεδίο Θερμοπηγής Σιδηροκάστρου (Ν. Σερρών)
 - γ) Γεωθερμικό Πεδίο Λιθότοπου –Ηράκλειας
 - δ) Γεωθερμικό πεδίο Αγκίστρου (Ν. Σερρών)
- 5) Η λεκάνη της Μυγδονίας (Μακεδονία)
- α) Γεωθερμικό πεδίο Λαγκαδά (Ν. Θεσσαλονίκης)
 - β) Γεωθερμικό Πεδίο Νυμφόπετρας (Ν. Θεσσαλονίκης),
 - γ) Γεωθερμικό πεδίο Νέας Απολλωνίας (Ν. Θεσσαλονίκης).
- 6) Περιοχές:
- α) Περιοχή Θέρμης - Ανθεμούντα Θεσσαλονίκης (Περιοχή Αεροδρομίου), β) Περιοχή Ελαιοχωρίων (Ν. Χαλκιδικής)
 - γ) Περιοχή Αλμωπίας (Ν. Πέλλας)
 - δ) Λεκάνη Γρεβενών - Καστοριάς
 - ε) Λεκάνη Θεσσαλίας
 - στ) Περιοχή Θερμοπυλών
 - η) Περιοχή Αιδηψού (Εύβοια)
 - θ) Γεωθερμικό πεδίο Σουσακίου (Ν. Κορινθίας)
 - ι) Περιοχή Καϊάφα - Ανδραβίδας (Ν. Ηλείας)
 - κ) Γεωθερμικό Πεδίο Μήλου (Κυκλάδες)
 - λ) Γεωθερμικό πεδίο Νισύρου (Δωδεκάνησα)
 - μ) Γεωθερμικά Πεδία Νήσου Λέσβου.



Σχήμα 6.1

6.2.1 Πεδία χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα

Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Πρόκειται για μεγάλο αριθμό επιβεβαιωμένων πεδίων αλλά και αρκετές περιοχές με γεωθερμικό ενδιαφέρον, οι οποίες όμως δεν έχουν ακόμα διερευνηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Το βεβαιωμένο δυναμικό ανέρχεται σε 300 MW θερμικής ενέργειας ενώ το πιθανό στα 700 MW.

6.2.2 Πεδία υψηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα

Γεωθερμικά πεδία υψηλής και μέσης ενθαλπίας έχουν εντοπιστεί στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου και ειδικότερα, στα νησιωτικά συμπλέγματα της Μήλου, Σαντορίνης και Νίσυρου. Από τις έρευνες προέκυψε ότι το συνολικό γεωθερμικό δυναμικό είναι της τάξης των 180 MW_{th} (120 MW_{th} στη Μήλο και 60 MW_{th} στη Νίσυρο). Γεωθερμικά πεδία αυτού του είδους εντοπίζονται, πέραν του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου και στη νήσο Λέσβο, όπου, μέχρι σήμερα, έχει επιβεβαιωθεί η ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών μέσης ενθαλπίας στην περιοχή της Αργέννου και ενόψη επίσης στην περιοχή Δέλτα Νέστου και σε άλλες τριτογενείς λεκάνες της Βόρειας Ελλάδας.

6.2.3 Μήλος και Νίσυρος

Στη Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325° C σε βάθος 1000 m και στη Νίσυρο 350° C σε βάθος 1500 m. Ρευστά με τέτοιες θερμοκρασίες

χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε πολύ φθηνότερο από το συμβατικό κόστος. Οι μικρές μονάδες ντίζελ όχι μόνο στη Μήλο και τη Νίσυρο αλλά και στα κοντινά νησιά, μπορούν να αντικατασταθούν από γεωθερμό-ηλεκτρικές μονάδες.

Ενώ εικοσιμία χώρες στον κόσμο εκμεταλλεύονται γεωθερμικά πεδία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, στην Ελλάδα πρωτοτυπήσαμε σε παγκόσμια κλίμακα: σταματήσαμε την ανάπτυξη της γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας επικαλούμενοι περιβαλλοντικά αίτια.

Χάθηκαν έτσι δαπάνες και κοινοτικές χρηματοδοτήσεις εκατομμύρια €, πολύ περισσότερα διαφυγόντα κέρδη, χάθηκε η δυνατότητα εκμετάλλευσης των πολλαπλών υποπροϊόντων και η παρελκόμενη ανάπτυξη.

Το πεδίο της Μήλου επιβεβαιώθηκε το 1975. Μετά από 5 χρόνια έπρεπε να λειτουργούν μονάδες των 50 MWe και να έχουν παραχθεί από τότε περίπου 6 δισεκατομμύρια KWh φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας αξίας 350 εκατομμυρίων €. Αντ' αυτού, έχει σταματήσει ακόμα και η πιλοτική μονάδα 2 MWe. Έτσι η χώρα έγινε ενεργειακά φτωχότερη και μάλιστα στον ευαίσθητο νησιωτικό χώρο του Αιγαίου.

Η Μήλος και η Νίσυρος είναι τα νησιά των χαμένων ευκαιριών ανάπτυξης της γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα. Δυστυχώς έχει δημιουργηθεί μεγάλη δυσπιστία των κατοίκων και των τοπικών παραγόντων προς την γεωθερμία. Το πρόβλημα προφανώς χρειάζεται αντιμετώπιση από μηδενική βάση και με διαφορετική φιλοσοφία.

Το δυναμικό των παραπάνω περιοχών σε θερμά νερά είναι απίστευτα μεγάλο. Υπάρχουν γεωτρήσεις και πηγάδια με ζεστά νερά σε βάθος λίγων δεκάδων μέτρων (π.χ. 92.5°C στα 30 m) όπως επίσης θερμά εδάφη (μέχρι 100°C στην επιφάνεια). Με πρώτη προσέγγιση, θεωρούμε ως ελάχιστο γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας στη Μήλο τα 1000m³/h, με μέση θερμοκρασία 70°C, που ισοδυναμούν με 50 τουλάχιστον MW_{th}.

Αυτό σημαίνει δυνατότητα θέρμανσης 500 στρεμμάτων θερμοκηπίων. Σημαίνει κλιματισμό ξενοδοχειακών μονάδων συνολικής

έκτασης 500.000 m² μαζί με τις πισίνες τους. Επίσης σημαίνει κλιματισμό κτιρίων που αντιστοιχούν σε 7000 σπίτια. Μπορεί επίσης να παραχθούν 6000 m³ αφρατωμένου νερού την ημέρα και θα είναι πολύ σύντομες οι αποσβέσεις των ενεργειακών επενδύσεων.

Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από την εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας θα είναι μηδαμινές, με επαναδιοχέτευση των ρευστών σε κατάλληλες ρηχές γεωτρήσεις.

Συνεπώς, πρέπει αμέσως να ενημερωθούν το κοινό, οι τεχνικοί, οι κατασκευαστικές εταιρίες, οι δημόσιες υπηρεσίες, η τοπική αυτοδιοίκηση και γενικά οι οικονομικοί παράγοντες του τόπου για τις μεγάλες δυνατότητες που έχουμε στην Ελλάδα να αξιοποιήσουμε το είδος αυτό εγχώριας ενέργειας, που θα μας προσφέρει οφέλη τόσο οικονομικά, όσο και περιβαλλοντικά.

6.2.4 Άλλες περιοχές

Σημαντικά γεωθερμικά πεδία σε μικρά βάθη με τις θερμοκρασίες σε αυτά να φτάνουν τους 95°C, εντοπίστηκαν στις τριτογενείς λεκάνες τόσο της βόρειας όσο και της ανατολικής Ελλάδας. Η ευρύτερη περιοχή Ξάνθης-Κομοτηνής έχει αξιόλογο γεωθερμικό ενδιαφέρον.

Η Σαμοθράκη, η Λήμνος, η Λέσβος, η Χίος έχουν αποδεδειγμένα μεγάλα γεωθερμικά πεδία χαμηλής και πιθανόν μέσης ενθαλπίας. Στη λεκάνη του Στρυμώνα έχουν εντοπιστεί τα πολύ σημαντικά πεδία Θερμών-Νιγρίτας, Λιθότοπου-Ηράκλειας και Θερμοπηγής-Σιδηροκάστρου. Στην ίδια λεκάνη υπάρχουν πιθανότητες ανεύρεσης νέων πεδίων στα Ίβηρα-Χουμνικό, στο Άγγιστρο, στην Κερκίνη και σε άλλες περιοχές.

Άλλες περιοχές σημαντικού ενδιαφέροντος είναι η ευρύτερη περιοχή του βυθίσματος του Σπερχειού, με τις γνωστές θερμές πηγές των Καμένων Βούρλων, Θερμοπυλών, Υπάτης, Πλατύστομου και η περιοχή της Αιδηψού με τις πολύ γνώστες θερμές πηγές.

6.3 ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Με βάση τα όσα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα, πρέπει να συνειδητοποιήσουμε, ότι σε κάθε νέα κατοικία και κτίριο, σε κάθε νέο κτιριακό συγκρότημα ή και σε κάθε παλιό ανακαινιζόμενο κτίριο και κτιριακό συγκρότημα, ιδιαίτερα στις περιβαλλοντικά βεβαρημένες πόλεις, όπως είναι η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, επιβάλλεται να προσπαθήσουμε να εφαρμόσουμε τα νέα συστήματα που εκμεταλλεύονται τις εν λόγω ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές.

Για να αντιληφθούμε το μέγεθος της καθαρής απολήψιμης ενέργειας θα πρέπει να σκεφθούμε ότι για να θερμάνουμε 100 m^3 νερού από τους 17°C στους 70°C , καταναλώνουμε 500 λίτρα πετρελαίου την ώρα, που μπορούμε να αποφύγουμε με την εκμετάλλευση μιας συνηθισμένης γεωθερμικής γεώτρησης που παράγει ρευστά 75°C στον ταμιευτήρα.

Μόνο από υπάρχουσες γεωτρήσεις σε γεωθερμικά πεδία των πεδινών εκτάσεων της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης είναι δυνατόν να αντληθούν $2500 \text{ m}^3/\text{h}$ θερμών ρευστών, με θερμοκρασίες μεταξύ 35 και $92,5^\circ\text{C}$. Το εκμεταλλεύσιμο θερμοκρασιακό εύρος είναι κατά μέσο όρο 40°C . Η θερμική ισχύς των ρευστών αυτών είναι ίση με $100 \text{ MW}_{\text{th}}$, που σημαίνει εξοικονόμηση 90.000 Τ.Ι.Π (Τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου) το χρόνο.

Σήμερα στην χώρα μας για τις ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης στα κτίρια, απαιτείται περίπου 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Συνεπώς, αυτά είναι από τους κύριους υπαίτιους της ενεργειακής ανεπάρκειας και της περιβαλλοντικής ρύπανσης. Το πετρέλαιο αποτελεί το κυρίως χρησιμοποιούμενο καύσιμο για την θέρμανση κατοικιών, χώρων εργασίας, δημοσίων κτιρίων,

νοσοκομείων, σχολείων, βιοτεχνιών, εργοστασίων καθώς και για παραγωγή ζεστού νερού (με Boiler) χρήσιμοι στις διάφορες ανάγκες, ενώ, το ρεύμα για τις μηχανές κλιματισμού νερού - αέρα.

Από μελέτες του ΠΕΡΠΑ, πάνω από 400.000 τόνοι πετρελαίου καταναλώνονται σε λέβητες-καυστήρες για θέρμανση και παραγωγή ζεστού νερού, μόνο στο λεκανοπέδιο της Αθήνας. Η ρύπανση που προκαλείται από την καύση του πετρελαίου θέρμανσης στο λεκανοπέδιο είναι σοβαρή με εκπομπές στην ατμόσφαιρα κυρίως διοξειδίου του θείου, καπνού, οξειδίων του αζώτου και διοξειδίου του άνθρακα, των οποίων οι τιμές κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών φτάνουν σε κρίσιμα όρια.

Τα κτίρια του τομέα που προαναφέρθηκαν, παρουσιάζουν την ταχύτερη ετήσια αύξηση των εκπομπών CO₂ (που προκαλεί το απειλητικό φαινόμενο του θερμοκηπίου), αλλά και πολύ υψηλή συνολική συμμετοχή στις εκπομπές αυτές, αφού το 1970 ήταν 32% και το 1990 έφτασαν το 39%. Αντίθετα οι εκπομπές της βιομηχανίας μειώθηκαν από 46% το 1997 σε 41% το 1990, ενώ στον τομέα των μεταφορών (αυτοκίνητα κλπ) η σχετική συμμετοχή στις εκπομπές CO₂ παραμένει σταθερή γύρω στο 20%.

Η οικιστική ανάπτυξη η οποία είναι σημαντική στο λεκανοπέδιο της Αττικής έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση των καταναλωτών, άρα και της ποσότητας κατανάλωσης του πετρελαίου θέρμανσης. Στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, όπου η περίοδος θέρμανσης είναι μεγαλύτερη από αυτήν των νοτιότερων τμημάτων της χώρας μας, την καθιστά επίσης βεβαρημένη ενεργειακά περιοχή με το κόστος του πετρελαίου στις δύο αυτές μεγάλες και πυκνοκατοικημένες περιοχές να φτάνει τα αρκετά εκατομμύρια € ανά έτος.

Στη χώρα μας αναπτύχθηκαν μέχρι σήμερα 200 περίπου στρέμματα "γεωθερμικών" θερμοκηπίων (περίπου 25 MW_{th}), κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα (Ν. Σερρών και Θεσσαλονίκης), που καλύπτουν τις ανάγκες θέρμανσης σχεδόν στο σύνολο τους. Ο συντελεστής χρήσης της γεωθερμίας σ' αυτές τις μονάδες δεν ξεπερνά συνήθως το 0.2, εξαιτίας της μη "επένδυσης" σε, κατάλληλα συστήματα εναλλαγής και της σπατάλης

ενέργειας.

Οι ενεργειακές αποδόσεις είναι ικανοποιητικές έως πολύ καλές και εξοικονομούνται καύσιμα της τάξης των 1.5-2 περίπου εκατομμυρίων € το χρόνο. Χρησιμοποιούνται εναλλάκτες νερού-νερού ή νερού-αέρα ως και επιδαπέδιοι σωλήνες πολυαιθυλενίου. Όταν η ποιότητα το επιτρέπει, το γεωθερμικό νερό κυκλοφορεί απευθείας σε μεταλλικούς ή πλαστικούς σωλήνες θέρμανσης.

Συνήθως έχουμε άλλες πετυχημένες εφαρμογές, πρόκειται για μεμονωμένες περιπτώσεις όπως μικρές πιλοτικές μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας που φαίνεται ότι έχουν πολύ μεγάλες προοπτικές στη χώρα μας. Επίσης λειτούργησε πιλοτική μονάδα ξήρανσης βαμβακιού ως και μονάδα διαχωρισμού του αερίου CO₂ στην Βόρεια Ελλάδα. Επίσης, και θέρμανση εγκαταστάσεων του ΕΟΤ στην Αιδηψό (με νερά 78°C) και πηγές πολύ μεγάλης παροχής (>250m³/h).

Μια άλλη ενδιαφέρουσα εφαρμογή πραγματοποιείται στις καινούργιες λουτροθεραπευτικές εγκαταστάσεις της ΕΤΒΑ στη Νέα Απολλωνία, δίπλα στη λίμνη Βόλβη. Πρόκειται για ένα συγκρότημα το οποίο περιλαμβάνει κλειστές πισίνες, χώρους υδρομασάζ και φυσικοθεραπείας με θερμό νερό, ως και ξενοδοχείο 230 κλινών και θα χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες λουτροθεραπείας και ζεστού νερού χρήσης, γεωθερμικό νερό από δύο γεωτρήσεις οι οποίες εξασφαλίζουν νερό περισσότερο των 300m³/h (υπερδιπλάσιο του απαιτούμενου) και θερμοκρασίας 56° C (μεγαλύτερης αυτής που προέβλεπε η αρχική μελέτη).

6.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Με τη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα, η οποία στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας είναι περίπου 18°C, στο βάθος των 100 m η θερμοκρασία των πετρωμάτων θα είναι κανονικά 20-21°C και σε βάθος 1000 m γύρω στους 50°C, ενώ σε βάθος 2000 m θα φτάνει γύρω στους

80°C. Έτσι, μια γεώτρηση του βάθους αυτού, αναμένεται να αποδώσει υπόγειο νερό αυτής της θερμοκρασίας.

Όλα τα υπόγεια νερά, τόσο τα ποιοτικώς κατάλληλα για κάποια χρήση, όσο και τα ακατάλληλα για οποιοδήποτε σκοπό, καθώς και αυτά που έχουν ρυπανθεί από βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, μπορούν να μας προσφέρουν θερμική ενέργεια, σύμφωνα με τα παραπάνω, με τη βοήθεια της αντλίας θερμότητας.

Σε περιοχές του λεκανοπεδίου της Αθήνας υφίστανται μέσα στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς υδροφόροι ορίζοντες με νερό κατάλληλο για αρδεύσεις, ενώ στα παραθαλάσσια προάστια, ιδιαίτερα σ' αυτά με υπόβαθρο από ασβεστόλιθους και μάρμαρα (π.χ. Ελληνικό, Γλυφάδα, Βούλα, Βουλιαγμένη, Βάρη, Βάρκιζα) υφίστανται υφάλμυροι έως και αλμυροί ορίζοντες, ενίοτε με μεγάλες παροχές, αλλά και κάποια θετική θερμική ανωμαλία.

Σε όλες αυτές τις περιοχές μπορούμε με γεωτρήσεις και πηγάδια να εκμεταλλευτούμε το θερμικό περιεχόμενο των υπόγειων νερών για θέρμανση-ψύξη των κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού για οικιακές και βιοτεχνικές χρήσεις, ενώ συγχρόνως με τις ίδιες γεωτρήσεις και τα φρέατα, εάν αποδίδουν αρδευτικό νερό, θα μπορούμε να αρδεύσουμε κήπους, άλση, κλπ.

6.4.1 Παραδείγματα από τον Ελληνικό χώρο



Σχήμα 6.2

Δημαρχείο Πυλαίας Θεσσαλονίκης

Η μελέτη και κατασκευή του συστήματος αυτού έγινε από τον Ενεργειακό Τομέα του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΑΠΘ με την συνεργασία των εταιρειών ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ ΟΕ και ΠΟΣΕΙΔΩΝ ΑΕ.

Αποτελείται από το «πρίσμα» της γης κάτω από τον πεζόδρομο, εμπρός από το νέο Δημαρχείο Πυλαίας -το οποίο εγκαινιάσθηκε τον Σεπτέμβριο του 2003 και έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Χρησιμοποιηθείσα επιφάνεια: $15 \times 30 \text{ m}$ (450 m^2)

Βάθος: 80 m

Όγκος: 36000 m^3

Αποτελείται από 21 «τυφλές» γεωτρήσεις βάθους 80 m, σε κάναβο 4,5 m χ 4,5 m και διαμέτρου 160 mm. Στις γεωτρήσεις τοποθετήθηκε αγωγός πολυαιθυλενίου μέσης πυκνότητας (PE-MD) διαμέτρου 40 mm σχήματος U και στη συνέχεια έγινε έγχυση τσιμεντοκονιάματος, (95% τσιμέντο - 5% μπετονίτης) προκειμένου να εξασφαλισθεί η θερμική αγωγιμότητα μεταξύ των σωλήνων και του περιβάλλοντος υπεδάφους,

εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα και την προστασία του πλαστικού αγωγού. Το συνολικό μήκος σωληνώσεων είναι 3500 m περίπου.

Στο πρωτεύον αυτό κύκλωμα του γεωεναλλάκτη κυκλοφορεί αποσκληρυμένο νερό και τροφοδοτεί τις αντλίες θερμότητας. Η κυκλοφορία του νερού στις γεωτρήσεις εξασφαλίζεται μέσω αντλίας-κυκλοφορητή κατασκευής WILCO.

Το δευτερεύον κύκλωμα των αντλιών θερμότητας τροφοδοτεί τοπικούς εναλλάκτες αέρος-νερού (fan-coils) οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στους προς κλιματισμό χώρους του κτιρίου.

Ο γεωεναλλάκτης Πυλαίας τέθηκε σε λειτουργία το Σεπτέμβριο του 2002 και είναι σε θέση να προσφέρει ενέργεια για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου του Νέου Δημαρχείου, το οποίο έχει συνολικό εμβαδόν 2500 m²(συνολικός όγκος 7500 m³). Οι χώροι του κτιρίου υποδιαιρούνται σε 7 ζώνες θερμοκρασίας και για τον κλιματισμό χρησιμοποιείται συγκρότημα αντλιών θερμότητας νερού-νερού κατασκευής climaveneta. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά οι τύποι και η αντίστοιχη ονομαστική ισχύς θέρμανσης και ψύξης των αντλιών θερμότητας του συγκροτήματος:

ΤΥΠΟΣ	ΤΕΜΑΧΙΑ	ΙΣΧΥΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (KW)	ΙΣΧΥΣ ΨΥΞΗΣ (KW)
HRHN 0061	2	16.2	17.2
HRHN 0071	1	20.3	21.3
HRHN 0091	5	24.3	25.6
HRHN 0101	2	28.1	29.7
HRHN 0121	1	35.0	37.0
ΣΥΝΟΛΟ	11	265.4	280.1

Μετά από την συμπλήρωση 12 μηνών από την έναρξη λειτουργίας του συστήματος, έχουν συμπληρωθεί αρκετές καταγραφές ώστε να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για την απόδοση του συστήματος καθώς και την σύγκριση του με αντίστοιχο συμβατικό και μη σύστημα θέρμανσης - ψύξης. Έτσι για λόγους σύγκρισης υπολογίσθηκε η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την περίπτωση όπου αντί για το γεωθερμικό σύστημα (γεωεναλλάκτης και αντλίες νερού-νερού – W/W) είχε υιοθετηθεί η λύση συστήματος αντλιών θερμότητας αέρα-νερού (A/W). Επίσης υπολογίσθηκε η ενεργειακή κατανάλωση και για την περίπτωση όπου το μεν σύστημα θέρμανσης θα ήταν σύγχρονος λέβητας πετρελαίου με βαθμό απόδοσης 90% (καύσιμο diesel -DIE) ενώ το σύστημα ψύξης θα ήταν αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα (A/A). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους δύο παρακάτω πίνακες (ο πρώτος για την θέρμανση και ο δεύτερος για την ψύξη):

Παραδείγματα από εφαρμογές της μεθόδου

ΜΗΝΑΣ	ΣΥΣΤΗΜΑΘΕΡΜΑΝΣΗ		
	W/W (KWh)	A/W (KWh)	DIE (KWh)
12-2002	1192	1548	2355
01-2003	2001	2452	3567
02-2003	6383	7750	9940
03-2003	2287	2691	3843
04-2003	1179	1439	2098
05-2003	0	0	0
06-2003	0	0	0
07-2003	0	0	0
08-2003	0	0	0
09-2003	0	0	0
10-2003	817	1070	1640
11-2003	690	913	1418
σύνολο	15803	19520	27422

Και για ψύξη:

ΜΗΝΑΣ	ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ		
	W/W (KWh)	A/W (KWh)	DIE (KWh)
12-2002	3	4	5
01-2003	69	91	124
02-2003	0	0	0
03-2003	0	0	0
04-2003	67	101	133
05-2003	3221	4707	5941
06-2003	12522	15953	19357
07-2003	17591	19184	23508
08-2003	14800	16603	20257
09-2003	15178	17998	22974
10-2003	9	11	15
11-2003	63	78	104
σύνολο	63555	74771	92474

Από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του παραπάνω Πίνακα (θέρμανση) είναι σαφές ότι η επιλογή συμβατικού συστήματος λέβητα είναι η δυσμενέστερη περίπτωση καθώς η κατανάλωση ενέργειας είναι 73,5% περισσότερη από αυτή του συστήματος με τον γεωεναλλάκτη. Αλλά και το σύστημα αντλίας αέρα-νερού έχει αυξημένη κατανάλωση ενέργειας κατά 23% σε σχέση με το γεωθερμικό σύστημα. Μάλιστα, τα αποτελέσματα θα ήταν ακόμη πιο ευνοϊκά για το σύστημα του γεωεναλλάκτη αν ο χειμώνας ήταν λιγότερο ήπιος, δεδομένου ότι ενώ οι επιπτώσεις στην απόδοση του συστήματος αυτού -του γεωεναλλάκτη- θα ήταν αμελητέες (αφού δεν επηρεάζονται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα), οι αντίστοιχες επιπτώσεις στην απόδοση των αντλιών αέρα-νερού θα ήταν σημαντικά μεγαλύτερες (αφού εξαρτώνται από την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος).

Από τα στοιχεία του Πίνακα (ψύξη) προκύπτει ότι το γεωθερμικό

σύστημα είναι οικονομικότερο κατά 17,6% από το αντίστοιχο σύστημα αντλιών αέρα-νερού και κατά 45,5% από το σύστημα αντλιών αέρα-αέρα.



Σχήμα 6.3

Μηχανοστάσιο Δημαρχείου Πυλαίας.

6.4.2 Ιδιόκτητο κτήριο στον Αγ. Δημήτριο Κορωπίου Αττικής

Η μελέτη και κατασκευή του πιλοτικού αυτού έργου έγιναν από το Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο σε συνεργασία με την εταιρεία Interklima ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε. Ο χρόνος μελέτης-κατασκευής ήταν Ιούνιος 1992-Ιούνιος 1993.

Το οίκημα (το οποίο ανήκει στον κ. Γ. Σκαρπαθιώτη) αποτελείται από δύο διαμερίσματα: ένα ισόγειο, εμβαδού 130 m² και ένα στον πρώτο όροφο, εμβαδού 125 m². Το έργο στόχευε (σε πρώτο στάδιο) στην κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών του οικήματος για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού. Η ισχύς των αναγκών θέρμανσης και των δύο διαμερισμάτων υπολογίστηκε σε 15 KW.

Η γεωθερμική εγκατάσταση αποτελείται από τέσσερα τμήματα:

- i. Τον γεωθερμικό εναλλάκτη, κλειστού τύπου, ο οποίος είναι τοποθετημένος σε γεώτρηση και τροφοδοτεί την αντλία θερμότητας με νερό σταθερής θερμοκρασίας 18°C περίπου.
- ii. Την γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού-νερού, που παράγει

ζεστό νερό 50°C για θέρμανση, κρύο νερό 10°C για ψύξη, και ζεστό νερό 50°C για το Boiler.

iii. Τα κλιματιστικά σώματα (fan coils) της Interklima που λειτουργούν με κυκλοφορία ζεστού ή κρύου νερού και χρησιμοποιούνται για την θέρμανση-ψύξη των δωματίων.

iv. Το Boiler, στο οποίο αποθηκεύεται ζεστό νερό για τις ανάγκες της κατοικίας.

Για να καλυφθούν οι ανάγκες θέρμανσης-ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού της κατοικίας θα χρειαζόντουσαν:

i. Δύο γεωθερμικοί εναλλάκτες μήκους 70 m ο καθένας ή ένας μήκους 140 m και

ii. Αντλία θερμότητας ισχύος 15 KW.

Για οικονομικούς λόγους κατασκευάστηκε ένας, γεωθερμικός εναλλάκτης μήκους (βάθους) 60 m και θερμότητας ισχύος 5-7 KW.

Ο γεωθερμικός εναλλάκτης αποτελείται από τέσσερις σωλήνες πολυαιθυλενίου διαμέτρου 3,2 cm που έχουν τοποθετηθεί σε γεώτρηση διαμέτρου 30 cm και βάθους 60 m. Στον πυθμένα αυτής οι σωλήνες συνδέονται ανά δύο. Το κενό μεταξύ των σωλήνων και των τοιχωμάτων της γεώτρησης πληρώθηκε με μίγμα μπετονίτη-τσιμέντου-νερού.

Από την έξοδο της γεώτρησης οι τέσσερις σωλήνες -με κάμψη- γίνονται οριζόντιοι και μέσα από τάφρο βάθους 1 m φθάνουν στο μηχανοστάσιο. Εδώ έχουν ενωθεί ανά δύο, για να καταλήξουν έτσι σε δύο σωλήνες, διαμέτρου 40 cm, ένα για την είσοδο και ένα για την έξοδο του νερού στον εναλλάκτη. Το νερό που κυκλοφορεί στους σωλήνες ονομάζεται φορέας θερμότητας γιατί μεταφέρει την θερμότητα της γης από το υπέδαφος στην αντλία θερμότητας.



Σχήμα 6.4

Τα VPA είναι μια σειρά από Boiler τα οποία είναι σχεδιασμένα για την απευθείας σύνδεση με την αντλία.

Στο μηχανοστάσιο, δωμάτιο το οποίο βρίσκεται στο ισόγειο, βρίσκονται η αντλία θερμότητας και το Boiler, καθώς και διάφορα βοηθητικά όργανα και συσκευές λειτουργίας της εγκατάστασης, όπως δοχείο διαστολής, ηλεκτρικός πίνακας, μετρητές κλπ. Η αντλία θερμότητας νερού-νερού αποτελείται από τέσσερα στοιχεία :

τον εξατμιστή, τον συμπιεστή, τον συμπυκνωτή και το στοιχείο εκτόνωσης. Μέσα σ' αυτά κυκλοφορεί φρέον, το οποίο έχει την ιδιότητα να εξατμίζεται και να υγροποιείται εύκολα. Όταν εξατμίζεται ψύχει (απορροφά θερμότητα), ενώ όταν υγροποιείται θερμαίνει (αποδίδει θερμότητα).

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Το νερό (φορέας θερμότητας) του γεωθερμικού εναλλάκτη με θερμοκρασία περίπου 15°C εισέρχεται στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας και προκαλεί την εξάτμιση του φρέον. Η εξάτμιση ψύχει το νερό κατά 5-6°C το οποίο επιστρέφει ξανά στον γεωθερμικό εναλλάκτη, τον διαρρέει και αποκτά ξανά την θερμοκρασία των 15°C. Επανέρχεται στον εξατμιστή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Με αυτό τον τρόπο μεταφέρεται συνεχώς θερμότητα από το υπέδαφος στον εξατμιστή.

Το εξαερωμένο φρέον οδεύει από τον εξατμιστή στον συμπυκνωτή, όπου συμπιέζεται και υγροποιείται αποδίδοντας έτσι θερμότητα (η υγροποίηση του φρέον θερμαίνει) και ανεβάζοντας την θερμοκρασία του νερού του κυκλώματος θέρμανσης στους 50-55°C. Στην συνέχεια, το υγροποιημένο φρέον φθάνει στο στοιχείο εκτόνωσης, όπου αποσυμπιέζεται (εκτονώνεται) και αποκτά πάλι την ικανότητα να εξατμιστεί, μόλις περάσει ξανά στον εξατμιστή και έρθει εκ νέου σε επαφή με το νερό του γεωθερμικού εναλλάκτη.

Συνολικά, το νερό του γεωθερμικού εναλλάκτη μεταφέρει θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας (15°C) από τα πετρώματα του υπεδάφους στο φρέον, το οποίο, με τη βοήθεια του συμπιεστή, την μετατρέπει σε θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας (50-55°C), κατάλληλη για την θέρμανση της οικίας.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΨΥΞΗΣ

Κατά την λειτουργία αυτή ακολουθείται αντίστροφη διαδικασία. Η ψύξη που παράγεται στον εξατμιστή διοχετεύεται στο κύκλωμα του νερού της κατοικίας για να τροφοδοτήσει τα κλιματιστικά σώματα (fan-coils) με κρύο νερό. Αυτό, περνώντας από τα δωμάτια θερμαίνεται και επανέρχεται στον εξατμιστή για να ξαναψυχθεί. Το εξαερωμένο φρέον οδεύει στον συμπυκνωτή στον συμπιεστή και μετά στον συμπυκνωτή όπου υγροποιείται αποδίδοντας θερμότητα η οποία όμως θερμαίνει το νερό του γεωθερμικού εναλλάκτη το οποίο στην συνέχεια διοχετεύεται στην γεώτρηση και κρυώνει αποβάλλοντας την θερμότητα του στα πετρώματα του υπεδάφους. Στην συνέχεια επιστρέφει και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Καθ' όλη την διάρκεια του έτους η γεωθερμική εγκατάσταση μπορεί να παράγει ζεστό νερό χρήσης για την κατοικία. Αυτό επιτυγχάνεται με το ζεστό νερό που παράγει ο συμπυκνωτής. Ένας εναλλάκτης θερμότητας

μεταφέρει το νερό αυτό στο νερό του Boiler το οποίο στην συνέχεια διοχετεύεται στο κύκλωμα ζεστού νερού της κατοικίας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, όταν στην κατοικία υπάρχει ανάγκη τόσο για ψύξη όσο και για ζεστό νερό, τότε γίνεται συμπαραγωγή ψύξης και ζεστού νερού και η εγκατάσταση εξυπηρετεί δύο χρήσεις και μάλιστα με συντελεστή απόδοσης ο οποίος φτάνει ως 8:1 (δηλαδή ο συμπιεστής της αντλίας θερμότητας καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια ίση με το 1/8 περίπου της συνολικής ενέργειας που παράγει η εγκατάσταση).

6.4.3 Κτήριο Ηλεκτρολόγων Μεταλλειολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π

Το Ε.Μ.Π έκανε ένα από τα πρώτα βήματα στην αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας, το οποίο αφορά τον κλιματισμό κτιρίων των Τμημάτων Ηλεκτρολόγων και Μεταλλειολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ (περιοχή Ζωγράφου) στην Αθήνα. Το έργο αυτό αναφέρεται στη θέρμανση και ψύξη συνολικής στεγασμένης επιφάνειας εμβαδού 6.100 m², κυρίως με γεωθερμική ενέργεια η οποία θα παραλαμβάνεται από το υπέδαφος με τη βοήθεια τριών θερμοαντλιών συνολικής μέγιστης θερμικής και ψυκτικής ισχύος περίπου 500 KW. Το νερό 22°C, θα προέρχεται από υδρογεώτρηση, βάθους 280 m (με στάθμη νερού στα 178 m) σε ποσότητες 12.5-24.4m³/h.

Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία των θερμοαντλιών είναι της τάξης των 150 KW. Τα υπόλοιπα 350 KW θα παίρνονται από την αβαθή γεωθερμία. Πιο συγκεκριμένα τα 130 KW θα παίρνονται μέσω 19 γεωτρήσεων, βάθους 120 m) η κάθε μια (συνολικό βάθος 2280 m), που έχουν μέσα τους και σε όλο το μήκος, γεωθερμικούς εναλλάκτες από σωλήνες PVC διαμέτρου 1". Αυτές θα παράγουν ενέργεια από τα τοιχώματα μέσω κλειστής κυκλοφορίας νερού ανάμεσα σε αυτές και τις αντλίες θερμότητας. Θα παράγονται ετησίως 200 MWh θερμικής ενέργειας και 205 MWh ψυκτικής ενέργειας.

Η υπόλοιπη ισχύς (μέχρι 220 KW περίπου) θα προσφέρεται από υπόγειο νερό υπόθερμης υδρογεώτρησης. Η κατανάλωση υπόγειου νερού θα είναι μηδενική, αφού αυτό μετά την ενεργειακή εκμετάλλευση στις θερμαντλίες, είτε θα επανεισάγεται στον υδροφόρο ορίζοντα, είτε θα

διατίθεται για υδατικές χρήσεις. Με τον παραπάνω τρόπο θα παράγονται 1.000.000 KWh θερμικής και ψυκτικής ενέργειας το χρόνο με κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος μειωμένη κατά 50% σε σχέση με την κατανάλωση του συμβατικού κλιματιστικού συστήματος και θα έχουμε έτσι εξοικονόμηση 300.000 KWh (22.000 €). Το κόστος κατασκευής της γεωθερμικής εγκατάστασης θα φτάσει περίπου τα 440.000 € η διαφορά του 50% (γεωτρήσεις, κυκλοφορητές, αντλίες θερμότητας αντί καυστήρα) θα αποπληρωθούν με το χαμηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης της εγκατάστασης σε λιγότερο από 8 έτη.

6.4.4 Σύντομες αναφορές σε παραδείγματα από τις ΗΠΑ

Waterfront Office Building, Louisville Kentucky USA

Η εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος στο πολυώροφο αυτό κτίριο ολοκληρώθηκε το 1994. Η κατασκευή αντικατέστησε το προϋπάρχον κλιματιστικό σύστημα.

Ο γεωεναλλάκτης είναι ανοικτού τύπου. Αποτελείται από 4 γεωτρήσεις βάθους 40 m, οι οποίες παρέχουν 2650 lt/min νερού το οποίο προέρχεται από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και έχει θερμοκρασία 14,4° C. Το νερό συγκεντρώνεται σε υπόγεια δεξαμενή χωρητικότητας 564 m³ και στην συνέχεια κατευθύνεται στις αντλίες θερμότητας. Συνολικά 250.000 lt νερού ρέουν στις σωληνώσεις του κτιρίου. Μετά την χρήση του, το νερό απορρίπτεται στον γειτονικό ποταμό Οχάιο.

Sagamore Resort, Lake George, New York, USA

Στην περίπτωση αυτή το γεωθερμικό σύστημα εξυπηρετεί ένα ολόκληρο παραθεριστικό θέρετρο το οποίο αποτελείται από 15 κτίρια, 340 δωμάτια συνολικού εμβαδού 36.232 m² και άλλα 66.000 m² σε συνεδριακούς χώρους. Το έργο είναι αρκετά παλαιό (ολοκληρώθηκε στις αρχές του 1980) και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται απέχουν πολύ

από το να είναι οι πλέον σύγχρονες. Υπάρχουν 350 αντλίες θερμότητας στις οποίες συνδέεται ο γεωεναλλάκτης συνολικού μήκους 22.860 m ο οποίος βρίσκεται σε 150 γεωτρήσεις βάθους 76,2 m.

6.4.5 Εκτιμήσεις και άλλα ενδιαφέροντα στοιχεία από το Geothermal Heat Pump Consortium

Η περιβαλλοντική υπηρεσία των ΗΠΑ έχει αναγνωρίσει ότι η χρήση της αβαθούς γεωθερμίας μειώνει σημαντικά τις εκπομπές αερίων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ παράλληλα είναι οικονομικότερη από όλες τις άλλες μεθόδους θέρμανσης-ψύξης. Για κάθε 100.000 εγκατεστημένα **οικιακά** τέτοια γεωθερμικά συστήματα **μεσαίου** μεγέθους εκτιμάται πως σε διάστημα λειτουργίας 20 ετών θα εξοικονομηθούν περισσότερο από 37,5 τρισεκατομμύρια Btu που αντιστοιχούν σε 2,18 εκατομμύρια τόνους καύσιμου άνθρακα. Η εξοικονόμηση χρημάτων είναι τάξης των 75.000.000 \$.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΥΤΟΝΟΜΙΑ ΣΕ ΚΡΑΤΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Για κάθε 100.000 γεωθερμικά συστήματα η κατανάλωση (άρα και εισαγωγή) πετρελαίου μειώνεται κατά 2.150.000 βαρέλια ετησίως. Η ηλεκτρική κατανάλωση μειώνεται κατά 799.000.000 KWh (ανά έτος).

Σήμερα στις ΗΠΑ υπάρχουν περισσότερες από 900.000 εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν την αβαθή γεωθερμία. Μερικά από τα ευεργετικά αποτελέσματα συνοψίζονται παρακάτω:

- Μείωση της εκπομπής CO₂ κατά 5,2 εκατομμύρια τόνους ετησίως
- Μείωση της κατανάλωσης καυσίμων με ενεργειακό περιεχόμενο 36 τρισεκατομμυρίων BTU ετησίως.
- Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας 7.000.000.000 KWh.
- Ελάττωση της ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος κατά 2.300.000 KW.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

7.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ-ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της γεωθερμίας ως μορφή ενέργειας είναι εκείνο της πολύ μικρής περιβαλλοντικής επίπτωσης από την χρήση της.

Τα γεωθερμικά ρευστά δεν προέρχονται από καύσεις και γι' αυτό δεν παράγουν αιωρούμενα σωματίδια , τέφρα, η καπνό.

Από περιβαλλοντικής απόψεως, με την παραγωγή ενέργειας γεωθερμικής προέλευσης, επιτυγχάνεται η μείωση των εκπομπών διοξειδίου το άνθρακα (CO₂).

Η πρώτη εργασία η οποία γίνεται στο γεωθερμικό πεδίο είναι η πάσης φύσεως ερευνητικές εργασίες είτε για την επιβεβαίωση κάποιων παραμέτρων είτε για τον έλεγχο της κατάστασης των υφιστάμενων γεωτρήσεων είτε για την διανοίξει νέων παραγωγικών γεωτρήσεων. Η γεωθερμική έρευνα, χαρτογράφηση, δειγματοληψίες και γεωφυσικές μετρήσεις δεν δημιουργούν καμία επίπτωση στο περιβάλλον. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ξεκινούν με την έναρξη των γεωτρητικών εργασιών. Ο βαθμός της επίπτωσης έχει σχέση με το είδος του πεδίου, τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού ταμιευτήρια, την ποιότητα των γεωθερμικών ρευστών και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης.

Οι επιπτώσεις συνήθως είναι περισσότερες στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την αξιοποίηση των γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας.

7.1.1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας, που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ανέρχονται υπό πίεση, μέσω βαθιών γεωτρήσεων και αποτελούνται από μίγμα φυσικού ατμού και αερίων, με ή χωρίς νερό. Ο ατμός περιέχει ουσιαστικά μόνο νερό στην αέρια φάση.

- **Η ρύπανση του αέρα από πιθανή διαρροή αερίων (κυρίως υδρόθειο).**

Τα μη συμπυκνωμένα αέρια, που μπορεί να περιέχονται στα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας, είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το υδρόθειο (H_2S), το μεθάνιο (CH_4), το ροδάνιο (Rn), η αμμωνία (NH_3), ενώ δεν εκπέμπονται σχεδόν καθόλου οξειδία του αζώτου (NO_x). Τα γεωθερμικά αέρια μπορεί να περιέχουν ίχνη υδράργυρου (Hg), ατμούς βόριου (B) και κάποιους υδρογονάνθρακες.

Οι εκπομπές του (CO_2) από γεωθερμικές μονάδες είναι κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές των ατμοηλεκτρικών μονάδων και συγκρίνονται ευνοϊκά με τις εκπομπές (έμμεσες ή άμεσες) από άλλες Α.Π.Ε. οι γεωθερμικές μονάδες νέας γενιάς εκπέμπουν λιγότερο από 0.5 kg CO_2 ανά MWh, συγκρινόμενες με τα περίπου 1.000 kg CO_2 ανά MWh που εκπέμπονται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα.

Με την εγκατάσταση κατάλληλων ασφαλιστικών διατάξεων, γίνεται δυνατή η αποφυγή κινδύνου διαρροής αερίων, μόλυνσης του αέρα και ατυχημάτων κατά τη διάνοιξη της γεώτρησης και τη λειτουργία του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Παράλληλα, η τεχνολογική εξέλιξη παρέχει την απαιτούμενη εγγύηση για την αποφυγή αστοχιών λειτουργίας του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής.

• **Ρύπανση επιφανειακών η υπόγειων υδάτων**

Για την αποφυγή θερμικής η χημικής ρύπανσης των επιφανειακών η υπόγειων αποδεκτών, στους οποίους απορρίπτεται το γεωθερμικό ρευστό υψηλής ενθαλπίας, εφαρμόζονται τεχνικές μείωσης της θερμοκρασίας και κατακράτησης των χημικών στοιχείων και ενώσεων.

Άλλος τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού είναι η επαναδιοχέτευση των γεωθερμικών "αποβλήτων" στο χώρο του πεδίου μέσω μιας γεώτρησης επανεισαγωγής .

• **Θόρυβος**

Στην διάρκεια της εκτέλεσης των γεωτρητικών εργασιών παράγεται θόρυβος από την λειτουργία του μηχανολογικού εξοπλισμού. Δεδομένου ότι η διάνοιξη των γεωτρήσεων γίνεται εκτός κατοικημένων περιοχών η επίπτωση αυτή δεν αξιολογείται ως ιδιαίτερα σημαντική.

Ο θόρυβος που συνδέεται με τη λειτουργία των γεωθερμικών εγκαταστάσεων, προκαλείται από την μεταφορά του ατμού μέσα από τους σωλήνες και στην περιστασιακή απόρριψη του στο περιβάλλον. Όμως τα συγκεκριμένα επίπεδα θορύβου είναι συνήθως αποδεκτά και έτσι δεν δημιουργείται ιδιαίτερο πρόβλημα. Στην εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής, η κύρια πηγή θορύβου προέρχεται από τους ανεμιστήρες του πύργου ψύξης, τον εκτοξευτή ατμού και το βόμβο των ατμοστρόβιλων.

Το πρόβλημα του θορύβου αντιμετωπίζεται με την τοποθέτηση μόνιμων εγκαταστάσεων σιγαστήρων και άλλων συσκευών μείωσης του.

• **Διάθεση στέρεων απόβλητων**

Στο έδαφος και στο υπέδαφος μπορεί να υπάρξουν επιπτώσεις από την απόθεση γεωθερμικών αποβλήτων. Στερεά απόβλητα σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις μπορεί να δημιουργηθούν από τις εξής πηγές:

α) Λάσπες γεωτρήσεων και τρίμματα μόνο κατά την διάρκεια της

διάτρησης,

β) Απόβλητα από τις τεχνολογίες δέσμευσης του υδρόθειου,

γ) Στερεά άλατα από την απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων στο γεωθερμικό νερό η από τον καθαρισμό σωληνώσεων από τις επικαθίσεις.

Τα στερεά αυτά δεν χαρακτηρίζονται τοξικά και επιπλέον δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες οι ποσότητες των απόβλητων αυτών ακόμα και αν συγκριθούν με απόβλητα από μονάδες που λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα.

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται και αυτό ριζικά με την ολική επανεισαγωγή στον ταμιευτήρια η εναλλακτικά με τη διαδοχική χρήση σε εφαρμογές μικρότερων θερμοκρασιών απαιτήσεων για εξοικονόμηση ενέργειας και εκμετάλλευση του θερμικού φορτίου των ρευστών και στη συνέχεια επανεισαγωγή στον ταμιευτήρια.

•Οχληση από διέλευση οχημάτων

Οι επιφανειακές οχλήσεις περιορίζονται στο στάδιο κατασκευής των γεωτρήσεων και των μονάδων και σταματούν μετά το πέρας των τεχνικών εργασιών, την απομάκρυνση των μηχανημάτων και την αποκατάσταση του χώρου. Οι οχλήσεις λόγω εκσκαφών η διάνοιξης νέων δρόμων δεν αποτελούν ιδιαιτερότητα της γεωθερμίας.

• Καθιζήσεις

Η αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων νερού η ατμού από ένα γεωθερμικό πεδίο με πορώδεις ταμιευτήρες μπορεί να προκαλέσει κατά περίπτωση καθιζήσεις λίγων εκατοστών (cm) μέχρι μερικών μέτρων (m). Κάτι τέτοιο όμως, μπορεί να συμβεί και κατά την εξόριση πετρελαίου η φυσικού αερίου καθώς και από την άντληση νερού για ύδρευση η άρδευση. Οι καθιζήσεις μπορούν να αποφευχθούν με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρια.

7.1.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας σε διάφορες άμεσες εφαρμογές (όπως θέρμανση χώρων, αγροτικές χρήσεις, λουτροθεραπεία, υδατοκαλλιέργειες κλπ) είναι πολύ ήπια έως αμελητέα. Τα ρευστά αυτά έχουν περιορισμένη η μηδενική περιεκτικότητα σε μη συμπυκνωμένα αέρια, εκτός από την περίπτωση όπου υπάρχουν ορισμένες ποσότητες CO₂, το οποίο όμως μπορεί να ανακτηθεί ως χρήσιμο παραπροϊόν. Ιδιαίτερα προβλήματα καθιζήσεων δεν έχουν καταγράψει σε πεδία χαμηλής ενθαλπίας.

Επιπτώσεις από την γεωθερμία στο έδαφος ή το υπέδαφος μπορεί να υπάρξουν κατά τη διάτρηση από την απόθεση υγρών ή στέρεων αποβλήτων, όπως ο πολφός διάτρησης, που είναι πολτός με μπεντονίτη (φυσικό προϊόν χωρίς ιδιαίτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον). Αλλά και αυτή η πρόσκαιρη περιβαλλοντική όχληση αντιμετωπίζεται με την προσωρινή αποθήκευση σε δεξαμενές η φρεάτια σε χώρο παρακείμενο της γεώτρησης, όπου γίνεται εξάτμιση του νερού και καθίζηση του στερεού κλάσματος ως φυσικού στερεού υπολείμματος, απόλυτα συμβατικού και φιλικού προς το περιβάλλον.

Πιθανή θερμική η χημική ρύπανση μπορεί να προέλθει από τη μη κατάλληλη διάθεση των υγρών-στέρεων απόβλητων και τις διαρροές κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων, προκαλώντας θερμική επιβάρυνση (αφού η θερμοκρασία των αποβαλλόμενων ρευστών είναι 30-35°C) και επίδραση στην βλάστηση της περιοχής (ανάπτυξη θερμοφίλων φυτών) και στα οικοσυστήματα των επιφανειακών αποδεκτών. Μπορεί να αντιμετωπιστεί με τον καλό σχεδιασμό των γεωτρήσεων και την επανεισαγωγή των ρευστών στο γεωθερμικό ταμειυτήρια.

Το κύριο περιβαλλοντικό πρόβλημα από τα ρευστά χαμηλής ενθαλπίας εντοπίζεται στη διάθεση των νερών μετά την απόληψη της θερμότητάς τους. Τα ρευστά αυτά περιέχουν συνήθως αβλαβή διαλυμένα άλατα, των

οποίων η περιεκτικότητα κυμαίνεται από 500 μέχρι 30.000 mg/l, αν και στην Ελλάδα παρατηρούνται αρκετά υψηλότερες περιεκτικότητες σε νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές, εξαιτίας της συμμετοχής του θαλασσινού νερού στην τροφοδοσία των γεωθερμικών συστημάτων. Επίσης η περιεκτικότητά τους σε τοξικά και επιβλαβή συστατικά (As, H₂S, Β, βαρέα μέταλλα, κλπ) είναι μικρή έως αμελητέα και επειδή συνήθως βρίσκονται κάτω από τα επιτρεπτά όρια για τη διάθεση τους σε φυσικούς επιφανειακούς αποδέκτες, συχνά διατίθενται σε λίμνες, χείμαρρους, ποταμούς και θάλασσα. Όμως η βέλτιστη πρακτική είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρια.

7.1.3 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Η αβαθής γεωθερμία, έχει μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Δεν παράγονται κανενός είδους ρύποι, υπάρχουν μόνο προσωρινές οχλήσεις κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των τεχνικών εργασιών, ενώ τέλος υπάρχει πλήρης αποκατάσταση του τοπίου και απουσιάζει οποιαδήποτε εξωτερική μονάδα.

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτει ότι:

Υπάρχει σημαντικό συγκριτικό περιβαλλοντικό πλεονέκτημα της γεωθερμίας σε σχέση με τη χρήση των συμβατικών καυσίμων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι λιγότερες και αντιμετωπίσιμες.

Η επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμιευτήρια, όπως προβλέπει και επιβάλλει η σχετική νομοθεσία, είναι η καλύτερη λύση για την ελαχιστοποίηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

7.2 Τεχνικά προβλήματα

Ορισμένα τεχνικά προβλήματα που συναντώνται κατά την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας διεθνώς και στη Ελλάδα για την οικονομική εκμετάλλευση της θα πρέπει να λυθούν . Τα προβλήματα αυτά είναι:

α) ο σχηματισμός επικαθίσεων

Σε σχεδόν κάθε επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό (π.χ στον ταμιευτήρια, τον αγωγό της γεώτρησης, τις επιφανειακές εγκαταστάσεις).

Ως σχηματισμός επικαθίσεων (fouling) ορίζεται η συσσώρευση ανεπιθύμητων υλικών στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με κάποιο ρευστό. Οι επικαθίσεις απαντούν σχεδόν σε κάθε βιομηχανική, οικιακή ή φυσιολογική διεργασία στην οποία υπάρχει ροή ρευστού, με η χωρίς μεταφορά θερμότητας μέσω της επιφάνειας αυτής.

Η χημική σύσταση του νερού, οι θερμοδυναμικές αλλαγές από την μεταβολή της πίεσης και την διεργασία εναλλαγής θερμότητας, οι συνθήκες ροής και τα συνεργητικά φαινόμενα της διάβρωσης των μεταλλικών επιφανειών είναι μερικοί παράγοντες όπου εξαρτώνται οι ρυθμοί των επικαθίσεων.

Οι επικαθίσεις αποτελούν σημαντικό μειονέκτημα διότι ελαττώνουν τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, βοηθούν στη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και αυξάνουν την πτώση πίεση των ρευστών μέσα στους αγωγούς

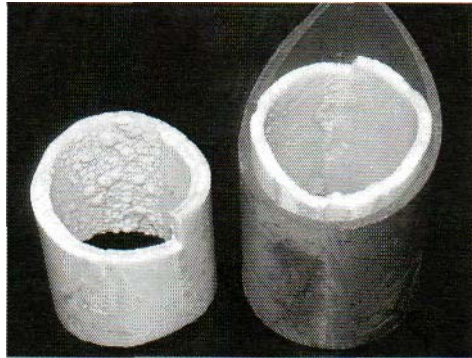
Ο Epstein (1983), ταξινόμησε τις επικαθίσεις στις παρακάτω κατηγορίες για την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων που συμβαίνουν κατά των σχηματισμό τους.

- 1) Επικαθίσεις λόγω κρυστάλλωσης ή καθυαλώσεις (precipitation fouling ή scaling)
- 2) Σωματιδιακές επικαθίσεις (particulate fouling).

3) Επικαθίσεις λόγω χημικής αντίδρασης (corrosion fouling).

4) Βιολογικές επικαθίσεις (biological fouling)

Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε γεωθερμικές μονάδες μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό, αν όχι ολοκληρωτικά, με μια πληθώρα τεχνικών μεθόδων. Μερικές από τις πιο κοινές πρακτικές είναι ο σωστός σχεδιασμός της μονάδος και η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας της, η ρύθμιση του pH του ρευστού, η προσθήκη χημικών ουσιών και τέλος η απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά ή φυσικά μέσα, στη διάρκεια προγραμματισμένων ή όχι διακοπών λειτουργίας της μονάδας.



Σχήμα 7.1

Επικαθίσεις αλάτων (ανθρακικού ασβεστίου)στα δίκτυα μεταφοράς γεωθερμικών ρευστών στο πεδίο Θερμών Νιγρίτας.

Τρεις είναι οι κύριοι τρόποι με τους οποίους επιτυγχάνεται η μηχανική αφαίρεση των επικαθίσεων:

- Με διάνοιξη της διαμέτρου των σωληνώσεων με ειδικά όργανα (well reaming).εφαρμόζεται συνήθως στον αγωγό της γεώτρησης.
- Με απόξεση και συλλογή των επικαθίσεων. Ειδικές ξύστρες εξαναγκάζονται να διέλθουν μέσα από τις σωληνώσεις και να απομακρύνουν τις περισσότερες επικαθίσεις.
- Με θρυμματισμό και μεταφορά των επικαθίσεων, εκτοξεύοντας νερό με μεγάλη πίεση.

β) η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών

Σημαντικό εμπόδιο για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας αποτελεί η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, η γήρανση πολυμερικών υλικών και σχεδόν όλων των μη μεταλλικών υλικών τα οποία έρχονται σε επαφή με τα γεωθερμικά ρευστά. Μείωση του πάχους και της αντοχής των σωληνών, διαρροές, αύξηση της τραχύτητας είναι μερικά αποτελέσματα της διαβρώσεως μεταλλικών επιφανειών.



Σχήμα 7.2

Τα κυριότερα συστατικά που προκαλούν προβλήματα διάβρωσης είναι:

- το υδρόθειο (H_2S) η τα θειούχα ιόντα (S^{2-}, HS^-)
- το οξυγόνο (O_2)
- τα ιόντα υδρογόνου, H^+ (η pH)
- η αμμωνία (NH_3) η τα ιόντα Αμμώνιου
- τα χλωριόντα (Cl^-) και τα φθοριόντα (F^-)
- τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-})
- το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και τα ανθρακικά ιόντα
- τα ιόντα βαρέων μετάλλων.

Έτσι είναι αναγκαίο να γίνεται συχνός έλεγχος και συντήρηση των σωληνώσεων η να αντικαθίστανται οι σωληνώσεις από άλλα είδη αυτών ανθεκτικότερων η και την προσθήκη ειδικών χημικών στα γεωθερμικά ρευστά.

Η προστασία των κυκλωμάτων και της αντλίας θερμότητας γίνεται μέσω των εναλλακτών θερμότητας οι οποίοι είναι αναγκαίο να εγκαθίστανται στο σύστημα ως κατάλληλα φίλτρα ώστε να προστατεύουν από φθορά που προέρχεται από στερεά σώματα που εισάγονται από τον ταμιευτήρια και ιδιαίτερα κατά την πρώτη περίοδο λειτουργίας της γεώτρησης. Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη τους κατά τον σχεδιασμό των αντλιών θερμότητας και αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα αυτών.

Επίσης μεγάλης σημασίας είναι και το υλικό κατασκευής των εναλλακτών που επηρεάζεται από το είδος του γεωθερμικού ρευστού και μπορεί να είναι από ειδικό χάλυβα η ακόμη σε δύσκολες περιπτώσεις από κράματα με τιτάνιο.

ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ

- 1. Μιχάλης Δ. Φυτίκας –Νικόλαος Β. Ανδρίτσος (2004) Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη .**
- 2. Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν.,(29-31 Μαρτίου 2006), « Παγκόσμιο συνέδριο γεωθερμίας 2005 : παρούσα κατάσταση στο κόσμο και στην Ελλάδα και προοπτικές » Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής, 8 Εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, Θεσσαλονίκη.**
- 3. Ι. Παπαγεωργάκης, (1993) « Η πρώτη στην Ελλάδα κατοικία με γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης –ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού. Εγκατάσταση Γεωθερμικού εναλλάκτη και αντλίας θερμότητας νερού-νερού στον Αγ. Δημήτριο Κορωπίου », Ε.Μ.Π Αθήνα.**
- 4. Ι. Παπαγεωργάκης, (1996) « Γεωθερμία σε κτίριο της πολυτεχνειούπολης, για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των εκπομπών CO₂ », Ε.Μ.Π, Αθήνα.**
- 5. Ι. Παπαγεωργάκης, (1993) « αξιοποίηση της ομαλής γεωθερμικής ενέργειας στον Ελληνικό χώρο », Αθήνα.**
- 6. ΤΕΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΉ Α.Ε.,(2005), « Συστήματα αβαθούς γεωθερμίας- Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας, Ανοικτό-Κλειστό κύκλωμα »**

7. Ν. Κυριακής, Α. Μιχόπουλος, Κ. Πάττας, (2002) « Πρώτος Χρόνος Λειτουργίας του Γεωενναλάκτη Πυλαίας Ενεργειακή αξιολόγηση », Τεχν. Χρον. Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, τευχος 1-2
8. Μανώλης Βουτυράκης (2009) Σ.Π.Α.Π.Ε.Κ.Ε.Ε.Κ-Ενεργειακό
9. Mary H. Dickon και Mario Fanelli Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy Ματάφραση: Μιχάλης Φυτίκας και Μαρία Παπαχρήστου. Αριστοτέλιο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης/ Τμήμα Γεωλογίας
10. Μεγκούλης Ιωάννης, Μηχανολόγος Μηχανικός-Πέρογλου Γεώργιος, Μηχανολόγος Μηχανικός Ορυκτών Πόρων « Γεωθερμικά Συστήματα σε Κτήρια » Διημερίδα-Σεμινάριο Κατάρτισης Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Κτίριο.
11. Απ. Αρβανίτης, Γεωλόγος- Δρ Γεωθερμίας (2008)« Μύθοι και Πραγματικότητα Για Την Γεωθερμία » Ι.Γ.Μ.Ε.
12. Νικόλαος Κυριακής Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ- Απόστολος Μιχόπουλος Μηχανολόγος Μηχανικός Α.Π.Θ- Κωνσταντίνος Πάττας Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ (2002) Τεχν.Χρον.Εκδ ΤΕΕ,IV,τεύχος 1-2
13. Καραμάνης Ε.,(2005), « Χρήση της αβαθούς γεωθερμίας » Θεσσαλονίκη.
14. Γρηγόριος Ι. Καρυδάκης (2005) « Γεωθερμική ενέργεια» ΑΘΗΝΑ.

Ιστοσελίδες

<http://www.poseidonenergy.gr/pulaia.htm>

<http://www.tmltd.gr/geotherm/geotherm.htm>

<http://www.ee.teihal.gr/labs/pkoukos/PROSTASIA%20PERIBALONTOS/Geothermiki%20Energeia.htm>

<http://kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/alternative/geothermal.htm>

<http://www.geocities.com/grphysics/energy/geotherme.html#nm5>

<http://www.boudouri.gr/simvatika.php>

<http://www.tema.gr>

http://www.tema.gr/GR_GroupPres.asp?Group4

<http://www.geoexchange.org>

<http://www.cres.gr>

<http://www.greenpeace.org/greece/137368/137396/138606>

<http://www.cres.gr/kape/index-gr.htm>

<http://www.cres.gr/kape/kidsol/geotherm/bottom.htm>