

Εκμετάλλευση Γεωθερμικών Πεδίων για την Παραγωγή Ενέργειας - Τεχνολογία και Μηχανολογικός Εξοπλισμός



ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕΦ

ΤΜΗΜΑ : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΦΛΩΡΗΣ ΣΑΒΒΑΣ

ΛΙΒΑΝΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΚ. ΕΤΟΣ: 2011- 2012

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

Πρόλογος

Αποφοιτώντας από το τμήμα Μηχανολογίας της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του ΤΕΙ Πατρών νοιώθουμε την ανάγκη να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε όλους όσους μας συμπαραστάθηκαν και μας βοήθησαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μας. Τα τέσσερα αυτά χρόνια που διήρκεσαν οι σπουδές μας είχαμε και δύσκολες και εύκολες στιγμές οι οποίες θα μας μείνουν χαραγμένες στη μνήμη μας για πάντα.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους τους καθηγητές μας για την βοήθεια και τις γνώσεις που μας προσέφεραν.

Όσον αφορά την πραγματοποίηση της πτυχιακής μας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας Δρ. Διονύσιο Παναγιωτάρα που μας ανέθεσε αυτό το αξιόλογο και ενδιαφέρον θέμα και που ήταν κοντά μας σε όλη την πορεία ολοκλήρωσης της πτυχιακής μας. Η βοήθεια του υπήρξε καθοριστική σε όλα τα στάδια προετοιμασίας της πτυχιακής από την ανεύρεση πληροφοριών έως και την διεξαγωγή συμπερασμάτων.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας οι οποίοι ήταν στο πλευρό μας και θα είναι πάντα δίπλα μας σε κάθε προσπάθεια. Με την ολοκλήρωση των σπουδών μας βλέπουν οι κόποι τους όλα αυτά τα χρόνια έπιασαν τόπο.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους μας και να τους ευχηθούμε καλή σταδιοδρομία και καλή επιτυχία σε ό,τι και αν κάνουν.

Φλωρής Σάββας
Λιβανός Γεώργιος
Πάτρα 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όπως μας λέει και ο τίτλος της παρακάτω εργασίας θα μιλήσουμε γενικά αλλά και ειδικά για τα γεωθερμικά συστήματα. Αρχικά θα αναφερθούμε στο τι είναι η γεωθερμική ενέργεια και από που προέρχεται διότι αυτή η μορφή ενέργειας είναι η κινητήριος δύναμη ώστε να στηριχθούμε και να δημιουργήσουμε τις εγκαταστάσεις και κατά συνέπεια τα συστήματα θέρμανσης αλλά και ψύξης για την κάλυψη των προσωπικών μας αναγκών. Στην συνέχεια αναφερόμαστε στα στοιχεία που αποτελείται ένα γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης - ψύξης, όπως οι γεωθερμικοί εναλλάκτες αλλά και οι αντλίες θερμότητας που είναι από τα πιο σημαντικά μέρη που συνθέτουν ένα γεωθερμικό σύστημα. Επίσης δίνουμε κάποια παραδείγματα εφαρμογών αλλά και κάποια οικονομοτεχνικά στοιχεία σχετικά με το κόστος επένδυσης και κόστος λειτουργίας μιας γεωθερμικής εγκατάστασης. Τέλος κλείνουμε με ορισμένα συμπεράσματα που αφορούν τα γεωθερμικά συστήματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	3
Περιεχόμενα.....	4-5
Εισαγωγή.....	6-13
Σύμβολα.....	14
1. ΓΕΩΘΕΡΜΕΙΑ (Γεωθερμική Ενέργεια).....	15
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.2 Συνθήκες που ευνοούν τη δημιουργία γεωθερμικών πεδίων.....	15-19
1.3 Γεωθερμία υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας.....	19-30
1.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας.....	30-43
1.5 Η γεωθερμία στην Ελλάδα.....	44-51
2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ – ΨΥΞΗΣ & ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ (κλειστού –ανοιχτού κυκλώματος, κατακόρυφου & οριζόντιου τύπου, μέθοδοι εγκατάστασης).....	52
2.1 Αβαθής γεωθερμία.....	52-54
2.2 Είδη συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας.....	54-56
2.3 Η αρχή του γεωθερμικού κλιματισμού.....	57-58
2.4 Συστήματα γεωθερμικού κλιματισμού.....	59-62
2.5 Εφαρμογές γεωθερμικών συστημάτων.....	63-66
2.6 Γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος.....	66-71
2.7 Γεωθερμικός εναλλάκτης ανοιχτού Κυκλώματος.....	72-80

3. ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΛΟΙΠΟΣ	
ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	81
Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας.....	81-83
Τρόπος λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας.....	83-84
Συστήματα γεωθερμικών αντλιών	
θερμότητας (ΓΑΘ).....	84-86
Εξοπλισμός ΓΑΘ.....	87
Είδη Συμπιεστών.....	87-94
Συχνές ερωτήσεις σχετικά με	
τα συστήματα ΓΑΘ.....	95-98
Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας «ERGON».....	98-105
(είναι η μοναδική εταιρία αντλιών που βρήκαμε πληροφορίες -	
φωτογραφικό υλικό)	
4. ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ &	
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	106
Γενικά στοιχεία μελέτης γεωθερμικού συστήματος.....	106-115
Συστήματα διανομής θερμότητας.....	115
Ενδοδαπέδια θέρμανση.....	116-118
Επιτοίχια θέρμανση.....	119-121
Θερμαντικά χαλύβδινα σώματα.....	121
Είδη συστημάτων θέρμανσης.....	122-130
5. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	131
Οικονομική προσέγγιση.....	131-134
Διεθνής και Ευρωπαϊκή αγορά συστημάτων ΓΑΘ.....	135-140
6. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	141-142
7. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	143-150
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	151

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύντομο ιστορικό της γεωθερμίας [8]

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.

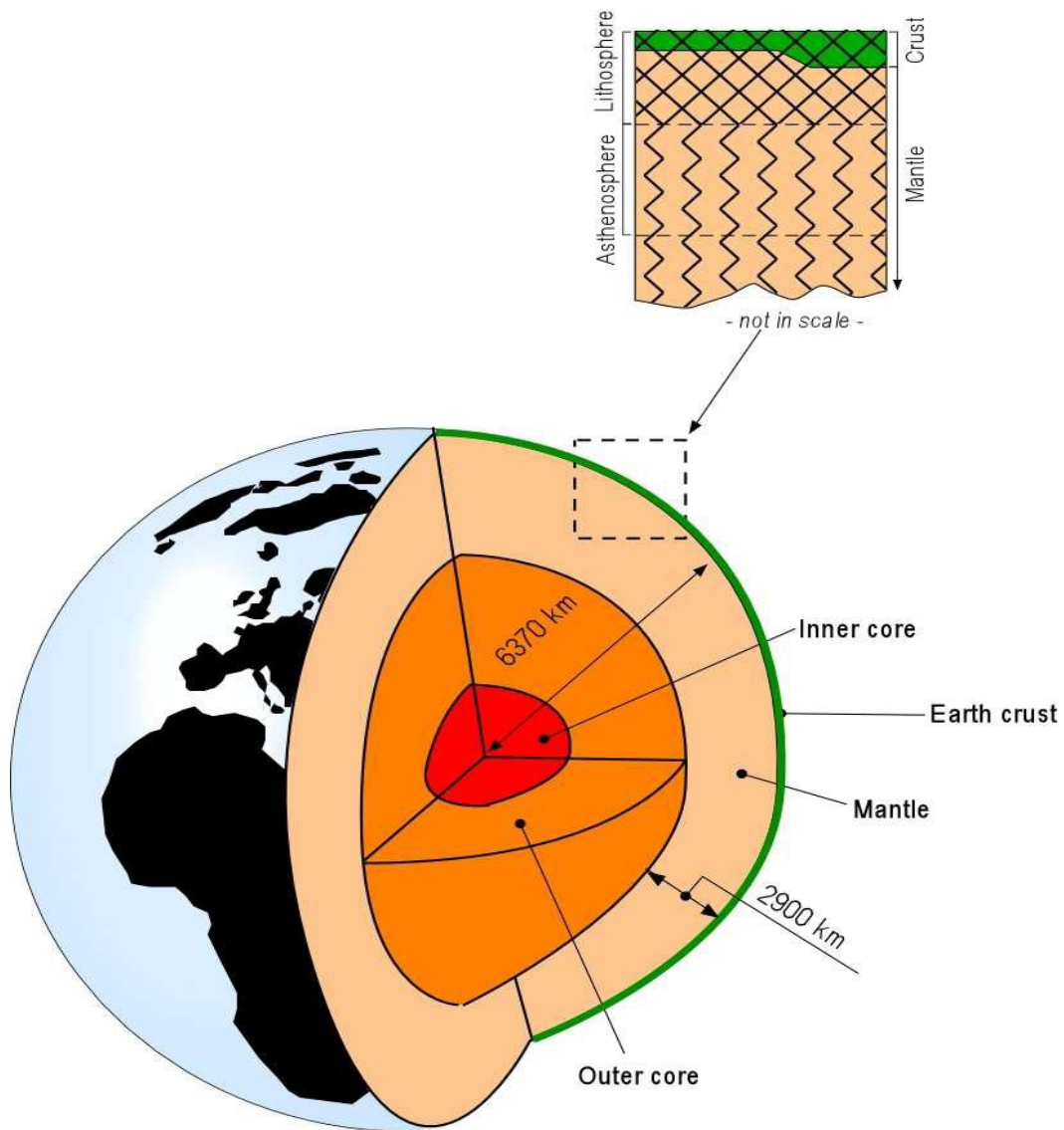
Οι πρώτες μετρήσεις με θερμομέτρο έγιναν κατά πάσα πιθανότητα το 1740, σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας (Bullard, 1965). Ήδη από το 1870, για τη μελέτη της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης χρησιμοποιούνταν κάποιες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι, ενώ η θερμική κατάσταση 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 (U238, U235), του θορίου (Th232) και του καλίου (K40), τα οποία βρίσκονται στο εσωτερικό της γης (Lubimova, 1968). Εκτός από τη ραδιενεργό θερμότητα, δρουν αθροιστικά, σε απροσδιόριστες όμως ποσότητες, και άλλες δυναμικές πηγές θερμότητας, όπως είναι η «αρχέγονη ενέργεια» από την εποχή δημιουργίας και μεγέθυνσης του πλανήτη. Μέχρι τη δεκαετία του 1980

τα μοντέλα αυτά δεν βασίζονταν 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 το 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 (βλέπε Σχήμα 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).

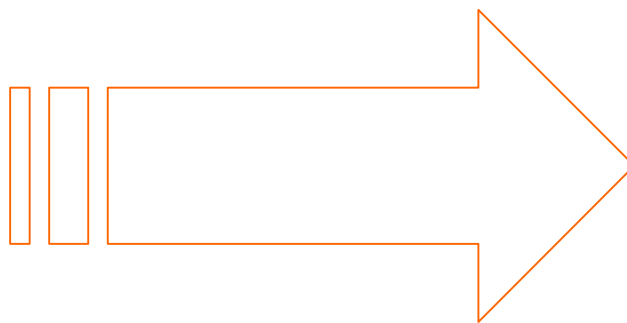
Όπως λοιπόν προκύπτει από τα παραπάνω, η θερμική ενέργεια της γης είναι απέραντη, όμως μόνο τμήμα αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί τελικά

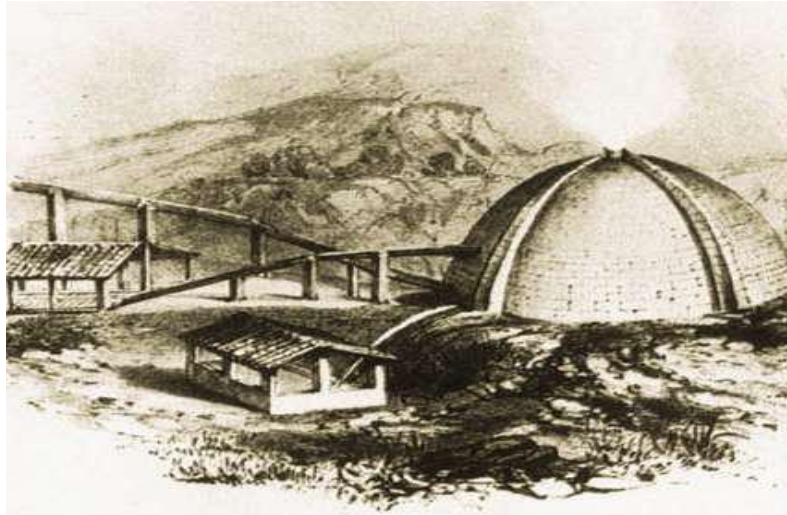
από τον άνθρωπο. Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα μέσο (νερό σε υγρή ή αέρια φάση) να «μεταφέρει» τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτήν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι *γεωθερμικοί πόροι* (geothermal resources). Πιθανώς, στο άμεσο μέλλον, νέες πρωτοποριακές τεχνικές θα μας προσφέρουν καινούργιες προοπτικές στον τομέα αυτόν.



Σχήμα 1. 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 2).





Σχήμα 2 . Η καλυμμένη «λιμούλα» (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 τηλεθέρμανσης (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 3).



Σχήμα 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 γεωθερμοηλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 kWe. Σύντομα, πολλές χώρες ακολούθησαν το παράδειγμα της Ιταλίας. Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Berpu 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.

Geysers-California



Σχήμα 4 . Το μεγαλύτερο γεωθερμικό έργο παγκόσμια ευρίσκεται στα Geysers στη Β.Καλιφόρνια.

Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας παγκοσμίως αναπτύχθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια, ενώ οι προοπτικές για περαιτέρω ανάπτυξη είναι ιδιαίτερα μεγάλες, ακόμα και με τις σημερινές χαμηλές τιμές του πετρελαίου. Το μεγαλύτερο γεωθερμικό έργο παγκόσμια ευρίσκεται στα Geysers στη Β.Καλιφόρνια.

Η εγκατεστημένη ισχύς υπερβαίνει τα 3.000 MW. Ήδη η παραγωγή καλύπτει το 15% της ηλεκτρικής ενέργειας της Β.Καλιφόρνιας, (Σχήμα 4).

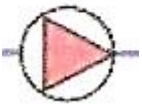
ΣΥΜΒΟΛΑ



βάνα



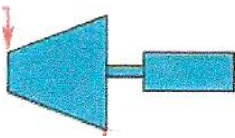
αντλία ψύξης



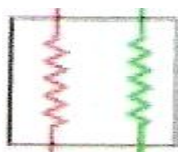
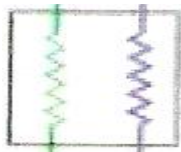
αντλία τροφοδότησης



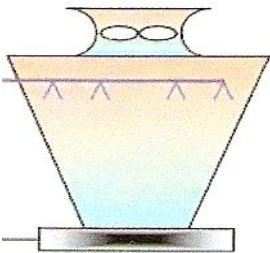
διαχωριστήρας



εναλλάκτης, γεννήτρια εναλλασσόμενου
ρεύματος



ΠΥΚΝΩΤΕΣ



πύργος ψύξης

1. ΓΕΩΕΝΕΡΓΕΙΑ (Γεωθερμική Ενέργεια).

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας και η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης, η οποία προκαλεί τη δημιουργία διαφόρων γεωλογικών φαινομένων σε παγκόσμια κλίμακα. Συνήθως όμως, ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» χρησιμοποιείται σήμερα για να δηλώσει εκείνο το τμήμα της γήινης θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο, και με την έννοια αυτή θα χρησιμοποιήσουμε τον όρο από τώρα και στο εξής.

1.2 Συνθήκες που ευνοούν τη δημιουργία γεωθερμικών πεδίων.

[8]

Η συγκεντρωμένη στο εσωτερικό της γης θερμότητα μεταφέρεται κοντά στην επιφάνειά της μέσω γεωλογικών φαινομένων, δημιουργώντας έτσι υπέρθερμες περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από 700 C/km. Το σημαντικότερο από αυτά τα γεωλογικά φαινόμενα είναι αυτό των λιθοσφαιρικών πλακών: Το εξωτερικό κέλυφος της γης, η λιθόσφαιρα, δεν είναι ενιαίο αλλά αποτελείται από πολλά κομμάτια, τις λιθοσφαιρικές πλάκες. Οι πλάκες αυτές βρίσκονται σε μια διαρκή κίνηση που πραγματοποιείται με πολύ μικρή ταχύτητα, μερικά μόλις εκατοστά το χρόνο. Ανάλογα με τη σχετική κίνηση των πλακών, στα όριά τους παρατηρούνται τρία διαφορετικά φαινόμενα:

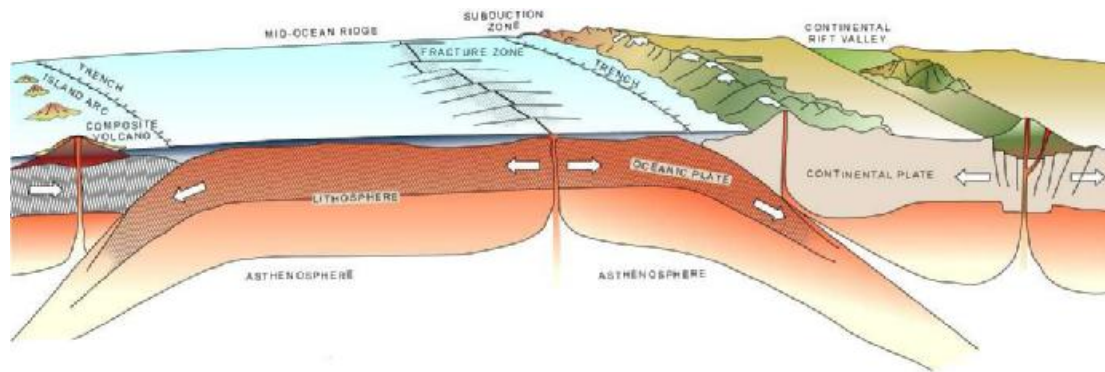
1. Οι δύο πλάκες αποκλίνουν, δηλαδή κινούνται έτσι που να απομακρύνονται η μια από την άλλη. Στο κενό που αφήνουν, αναβλύζει μάγμα που

στερεοποιείται, γεμίζει το κενό και δημιουργεί καινούργια λιθόσφαιρα, Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι λεγόμενες "ράχες".

2. Οι δύο πλάκες συγκλίνουν έτσι που η μια να βυθίζεται κάτω από την άλλη και τελικά να απορροφάται από το μανδύα ή να καταστρέφεται. Φαινόμενα τριβής στα όρια των πλακών έχουν σαν αποτέλεσμα, μέρος της μηχανικής ενέργειας να μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτή η θερμότητα εκτονώνεται με τη μορφή ηφαιστειακής δράσης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι "τάφροι". Στις τάφρους η λιθόσφαιρα καταστρέφεται με το ρυθμό που δημιουργείται στις ράχες.

3. Οι δύο πλάκες "γλιστρούν" η μια παράλληλα στην άλλη με τρόπο που ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται λιθόσφαιρα.

Όταν οι τάφροι βρίσκονται κατά μήκος των ηπειρωτικών περιθωρίων, τότε τα τόξα αποτελούνται από αλυσίδες οροσειρών με πολλά ηφαίστεια, όπως είναι οι Άνδεις. Όταν οι τάφροι εντοπίζονται σε ωκεάνιες περιοχές, όπως στον Ειρηνικό ωκεανό, τα μαγματικά τόξα αποτελούνται από πολλά ηφαιστειακά νησιά (π.χ. Ιαπωνία, Φιλιππίνες κλπ.). Στο (Σχήμα 1.2.1) περιγράφονται ακριβώς αυτά τα φαινόμενα.



Σχήμα 1.2.1: Σχηματική τομή που δείχνει τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις τεκτονικές πλάκες. [8]

Τόσο οι "τάφροι" όσο και οι "ράχες" συνδέονται με ηφαιστειακή δράση και κατά συνέπεια με υπέρθερμες περιοχές. Γι' αυτό και τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, δηλαδή στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, τις λεγόμενες "ζώνες σεισμικών εστιών". Περιοχές με μικρότερο γεωθερμικό ενδιαφέρον, δηλαδή με γεωθερμική βαθμίδα λίγο υψηλότερη από τη μέση, μπορεί να βρεθούν και εκτός των εν λόγω ζωνών. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποιον από τους ακόλουθους παράγοντες:

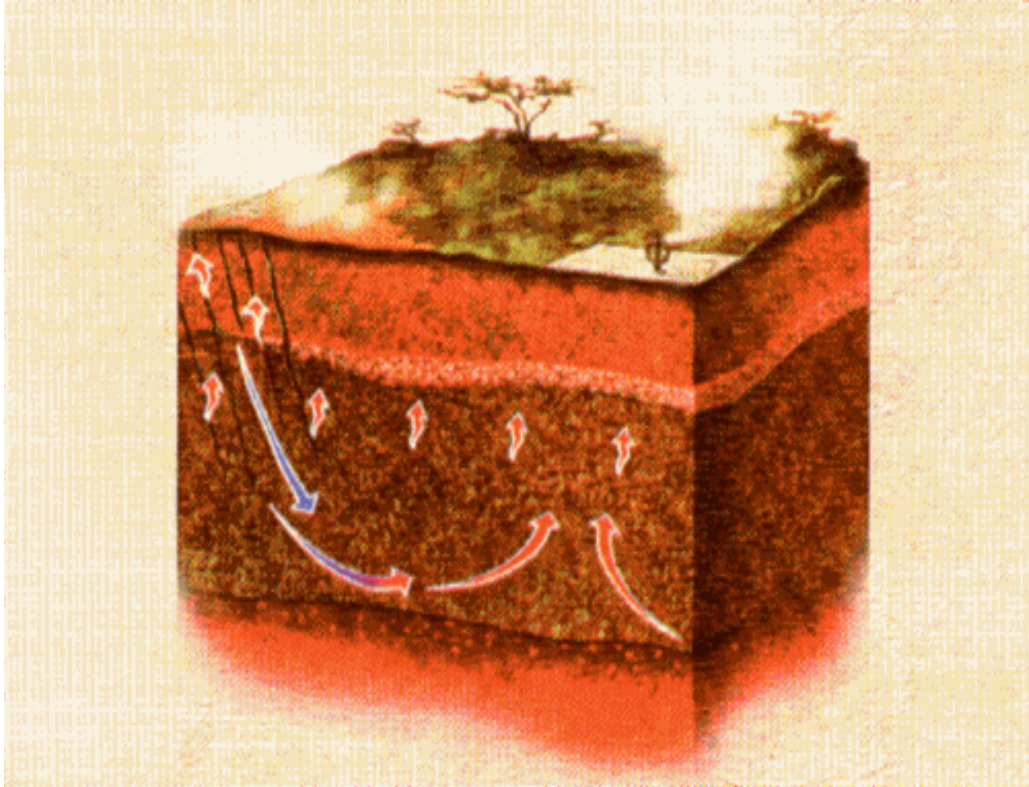
1. Τοπικά υψηλή θερμική ροή από το μανδύα και τη βάση του φλοιού προς την επιφάνεια, σε μεγάλες περιοχές.
2. Αυξημένες συγκεντρώσεις των ραδιενεργών στοιχείων ουρανίου, θορίου και καλίου σε ορισμένες περιοχές στο φλοιό της γης, που συντελούν στην παραγωγή θερμότητας και κατά συνέπεια στην αύξηση της γεωθερμικής βαθμίδας. Πετρώματα με αυξημένες αυτές τις συγκεντρώσεις είναι τα γρανιτικά με 5-10 ppm σε ουράνιο και 80 ppm σε θόριο.
3. Φαινόμενα συναγωγής που προκαλούνται από κυκλοφορία νερού διαμέσου πορωδών σχηματισμών ή μέσα από συστήματα ρηγμάτων. Με

αυτό τον τρόπο μεταφέρεται η θερμότητα σε μικρότερα βάθη και αυξάνεται η γεωθερμική βαθμίδα.

4. Σε μια περιοχή με δεδομένη θερμική ροή στη βάση του φλοιού και απουσία άλλης θερμής πηγής μέσα στο φλοιό, η γεωθερμική βαθμίδα ποικίλλει ανάλογα με τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων που αποτελούν το φλοιό. Τα αργιλικά πετρώματα έχουν τη χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα, ενώ τα κρυσταλλικά χαρακτηρίζονται από υψηλή θερμική αγωγιμότητα (περίπου 6 φορές αυτή των αργίλων) .

Οι παραπάνω μηχανισμοί μπορεί να δημιουργήσουν δευτερεύουσας σημασίας γεωθερμικές ανωμαλίες μακριά από τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Έτσι, ενώ σημαντικές θερμικές ανωμαλίες εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, περιοχές με ελαφρά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα απαντώνται σε όλη τη γη. Δεδομένου ότι η θερμότητα του πλανήτη μας βρίσκεται στο εσωτερικό του, πρέπει να γίνουν γεωτρήσεις προκειμένου να προσπελαστεί στις ζώνες σεισμικών εστιών, θερμοκρασίες κατάλληλες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να βρεθούν σε βάθη 2-3 km, ενώ σ' αυτά τα βάθη, σε περιοχές με μέση γεωθερμική βαθμίδα, οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλότερες, ικανές μόνο για κάλυψη θερμικών αναγκών.

Σ' αυτές τις περιοχές χρειάζονται γεωτρήσεις βάθους 6 - 7 km για να βρεθούν θερμοκρασίες κατάλληλες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά είναι και τα μέγιστα βάθη γεωτρήσεων που πραγματοποιούνται επειδή οι βαθιές γεωτρήσεις κοστίζουν πολύ, δεν είναι ιδιαίτερα ασφαλείς και επιπλέον σ' αυτά τα βάθη είναι πιθανόν να μη υπάρχει υδροφορία.



Σχήμα 1.2.2: Σχηματική τομή που δείχνει το κύκλο που γίνεται για την μεταφορά θερμότητας προς την επιφάνεια της γής. [4]

1.3 Γεωθερμία υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. [4]

Η γεωθερμική ενέργεια ,ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες :

- Χαμηλής ενθαλπίας (25-100 °C)
- Μέσης ενθαλπίας (100-150 °C)
- Υψηλής ενθαλπίας (>150 °C)

- Στη γεωθερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας ο ατμός που εξάγεται από τη γη - ως υπέρθερμος ή μετά από επεξεργασία αν είναι υγρός - χρησιμοποιείται σε στροβίλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εγκατεστημένη ισχύς των γεωθερμικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο ανέρχεται σε 6.000 MWe περίπου.
- Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης ενθαλπίας βρίσκεται σε διεθνές επίπεδο πολλές εφαρμογές στη γεωργία , τη γεωργική βιομηχανία, την κτηνοτροφία – ιχθυοκαλλιέργεια και τη θέρμανση χώρων. Στις ζώνες σεισμικών εστιών , υπάρχουν πεδία χαμηλής και υψηλής ενθαλπίας που σχετίζονται μεταξύ τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η Ισλανδία, που βρίσκεται πάνω στη μέσο - ωκεάνια ράχη του Ατλαντικού.

Η τεχνολογία που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών αυτής της κατηγορίας έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό και είναι ευρύτατα γνωστή . Συνιστάται κυρίως στη χρήση εναλλακτών θερμότητας ή σε μερικές περιπτώσεις , στην απευθείας χρήση των γεωθερμικών ρευστών.

Η ύπαρξη υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας σε κάποια περιοχή δεν είναι η μοναδική συνθήκη - προϋπόθεση για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Η γεωθερμική ενέργεια είναι πρωτογενώς αποθηκευμένη μέσα στα πετρώματα, είναι διασκορπισμένη μέσα στη μάζα τους και πρέπει να συγκεντρωθεί και να μεταφερθεί στην επιφάνεια της γης προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το μεταλλικό νερό (σε υγρή ή αέρια φάση) που περιέχεται μέσα σε πορώδη πετρώματα ή σε συστήματα ρηγμάτων αποτελεί το μέσο που μεταφέρει τη θερμότητα από τα πετρώματα αυτά στην επιφάνεια της γης.

Έτσι, η παραγωγικότητα μιας θερμικής περιοχής προσδιορίζεται και συχνά καθορίζεται από την υδρολογία των γεωλογικών σχηματισμών. Δεν έχουν όμως όλες οι θερμικές περιοχές κατάλληλη υδρολογία που αποτελεί τη δεύτερη συνθήκη για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Κατά

συνέπεια, ένα φυσικό γεωθερμικό πεδίο είναι συνδυασμός θερμών πετρωμάτων και ύπαρξης νερού που να κυκλοφορεί μέσα σ' αυτά.

Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα.

Η χώρα μας παρουσιάζει ένα αρκετά αξιόλογο δυναμικό γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας. Με τις σημερινές γνώσεις μας από τα δεδομένα των γεωτρήσεων και από άλλες ενδείξεις στα γεωθερμικά πεδία, εκτιμάται ότι το βεβαιωμένο συνολικό δυναμικό της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας (με βάση την απόρριψη των νερών σε θερμοκρασίες περίπου 25 °C) ανέρχεται σε 700-800 MW, περίπου. Οι ορατές εκμεταλλεύσεις τη γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα σε χρήσεις μόνο θέρμανσης (όπως τηλεθέρμανση κτιρίων, θερμοκήπια, ξηραντήρια αγροτικών προϊόντων και ιχθυοκαλλιέργειες) από το έτος 2000 έχουν αγγίξει τα 150 MW εγκατεστημένης ισχύος, εξοικονομώντας 17.000 περίπου τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Τ. Ι. Π.) το έτος.

Στην πράξη όμως σήμερα η εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας στην χώρα μας είναι ασήμαντη έως μηδαμινή. Σήμερα υπάρχουν εγκατεστημένα στην χώρα μας μόλις 200 στρ. γεωθερμικών θερμοκηπίων με εγκατεστημένη ισχύ περί τα 20 MW που εξοικονομούν 2000 Τ.Ι.Π. το έτος. Αυτό συμβαίνει παρ' όλο που οι συνθήκες παραγωγής και εκμετάλλευσης των γεωθερμικών ρευστών είναι συμφέρουσες και παρ' όλο που τα γεωθερμικά πεδία συμπίπτουν γεωγραφικά με εύφορες πεδιάδες με μεγάλη γεωργική παραγωγή. Οι πλέον συνήθεις και τεχνικοοικονομικά συμφέρουσες χρήσεις που εφαρμόζονται κατά την αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι:

A). Τηλεθέρμανση

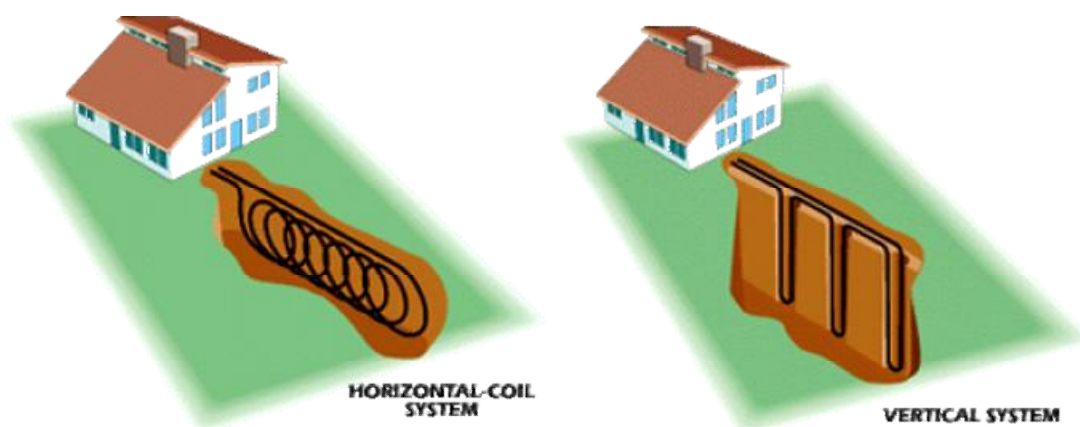
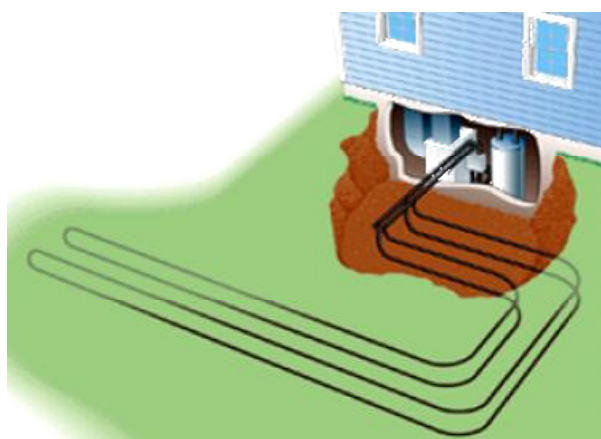
B). Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Γ). Θέρμανση θερμοκηπίων

Δ). Ιχθυοκαλλιέργειες

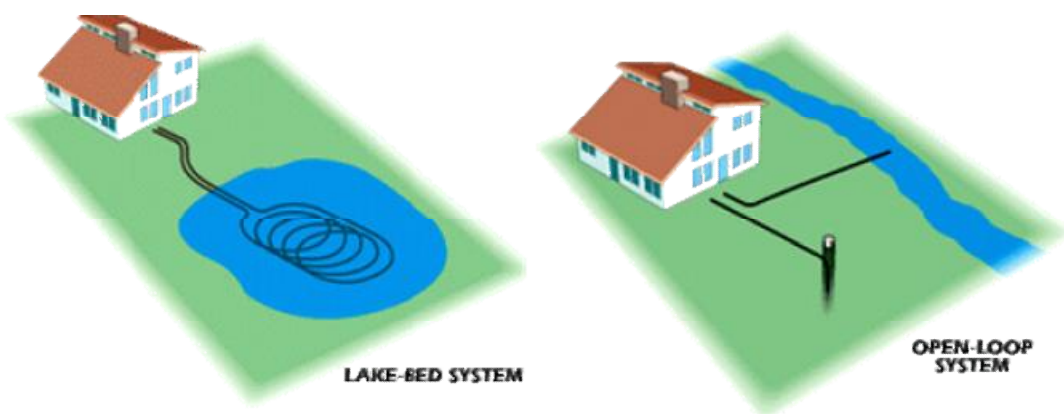
A). Τηλεθέρμανση

Η περιφερειακή θέρμανση οικισμών και πόλεων ευρίσκει εφαρμογή σε πολλές χώρες. Με την εφαρμογή τηλεθέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια δύνανται να δημιουργηθούν ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες εκμετάλλευσης διότι η παραγωγή θερμικής ενέργειας εξασφαλίζεται από εγκαταστάσεις χαμηλού κόστους κατασκευής, συντηρήσεως και, κυρίως, λειτουργίας.



Σχήμα 1.3.1: Απεικονίσεις οριζοντίων κλειστών γεωθερμικών συστημάτων.[4]

Οι θερμικές απαιτήσεις εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες, ενώ οι θερμοκρασίες σχεδιασμού από τη χρήση (κατοικίες 18-20 °C, γραφεία 17-18 °C κ.λ.π.).



Σχήμα 1.3.2: Απεικονίσεις οριζοντίων ανοιχτών γεωθερμικών συστημάτων.[4]

Για να γίνει συνδυασμός τηλεθέρμανσης και κάλυψης αναγκών σε ζεστό νερό πρέπει η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού να είναι τουλάχιστον $65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα μια εκμετάλλευση τηλεθέρμανσης με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί στο 50-60% του κόστους πετρελαίου.

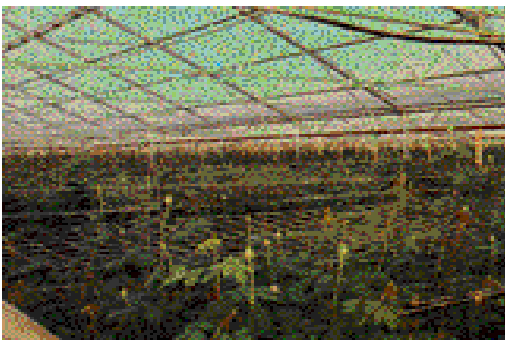
B). Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο δύνανται να επιτευχθεί με τη μέθοδο της πολυσταδιακής εξάτμισης εν κενό (MES). Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η θερμοκρασία απόρριψης σχεδιάζεται να είναι $40\text{-}50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για περίπτωση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ και παροχής $100\text{ m}^3/\text{h}$ επιτυγχάνεται αφαλάτωση $600\text{ m}^3/\text{h}$ την ημέρα, σε οκτώ δράσεις, με εκτιμώμενο κόστος επένδυσης $1.500.000\text{ }\text{€}$ και κόστος αφαλάτωσης νερού περί της $1\text{ }\text{€} / \text{m}^3$. Για να θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα μία εκμετάλλευση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας

πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί το πολύ στο 60% του κόστους αφαλάτωσης με πετρέλαιο.

Γ). Θέρμανση θερμοκηπίων

Οι χρήσεις και το μέγεθος των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων εξαρτάται από τη διαθέσιμη γεωθερμική ενέργεια, από τις κλιματολογικές συνθήκες, από τα υλικά κατασκευής των θερμοκηπίων και από το είδος της καλλιέργειας. Μια πάρα πολύ κοινή περίπτωση, για τα δεδομένα του ελλαδικού χώρου είναι η θέρμανση γυάλινων θερμοκηπίων με ντομάτα και με θερμαντικό μέσο γεωθερμικά ρευστά 40 – 55 °C . Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται περί τις 150.000 kcal / h το στρέμμα για μία περίοδο θέρμανσης, κατά μέσο όρο, 1.250 ωρών (Load Factor 14%) διατηρώντας μία εσωτερική θερμοκρασία αέρα τουλάχιστον 14 °C. Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται στην περίπτωση αυτή είναι της τάξεως των 24 τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου το στρέμμα ή περί τα 6.500 €/ έτος το στρέμμα.



Σχήμα 1.3.3: Γεωθερμικά Θερμοκήπια .[4]

Παράδειγμα Γεωθερμικού θερμοκηπίου Σιδηρόκαστρο Σερρών

Το γεωθερμικό πεδίο της Θερμοπηγής Σιδηροκάστρου, του νομού Σερρών εκτείνεται 10 km βόρεια του Σιδηροκάστρου και η βεβαιωμένη έκταση του καταλαμβάνει 6 km². Το βάθος του ταμιευτήρα κυμαίνεται από 30 - 400m με θερμοκρασιακό εύρος από 40 - 57°C, αλατότητα 800 - 2200 ppm TDS και με αυξημένη περιεκτικότητα σε CO₂. Το πιθανό δυναμικό του πεδίου εκτιμάται σε 1000 m³/h έχοντας δυνατότητα παραγωγής 28 MW (θερμοκρασία απόρριψης στους 250°C). Στην περιοχή υπάρχουν γεωθερμικά θερμοκήπια συνολικής εκτάσεως 17,5 στρεμμάτων με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 6,64 MW και η επιτυγχανόμενη εξοικονόμηση ενέργειας είναι της τάξεως των 1180 ΤΙΠ / έτος.

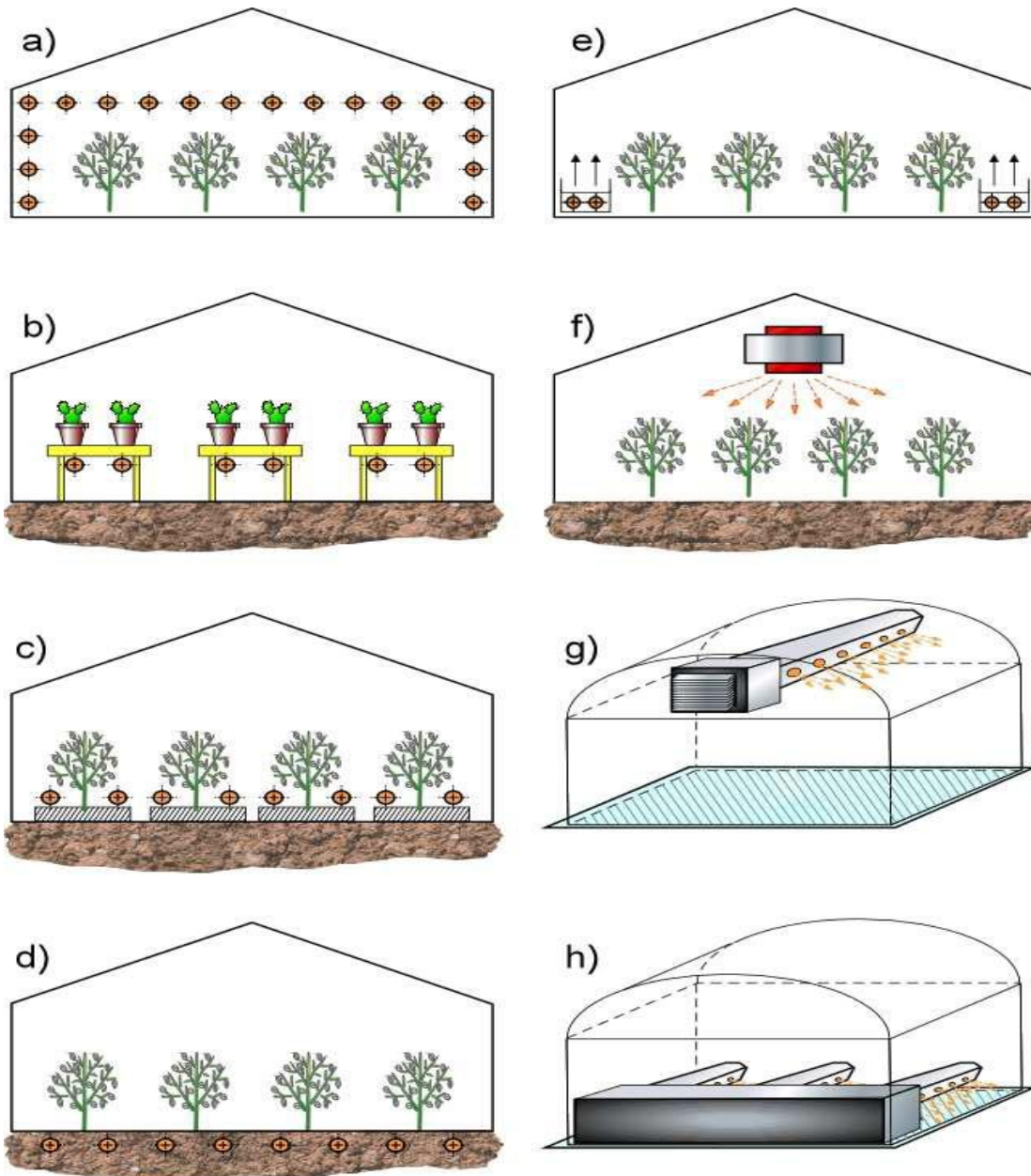


ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΣΙΔΗΡΟΚΑΣΤΡΟΥ ΣΕΡΡΩΝ

Σχήμα 1.3.4: Θερμοκηπίου Σιδηρόκαστρο Σερρών.[4]

Από αυτά τα θερμοκήπια, αυτό που λειτουργεί, πλήρως, εκμεταλλεζόμενο όλες τις φυτεύσεις ανά έτος, είναι μια εγκατάσταση γεωθερμικού θερμοκηπίου εκτάσεως 415 στρεμμάτων. Το υλικό κάλυψης του συγκεκριμένου θερμοκηπίου είναι γυαλί. Η εγκατεστημένη ισχύς του είναι 1,9 MW και η ετήσια εξοικονόμηση 365,8 TΙΠ / έτος.

Το γεωθερμικό πεδίο της Θερμοπηγής Σιδηροκάστρου έχει αρκετές δυνατότητες αξιοποίησης, κυρίως για θέρμανση θερμοκηπίων. Αν αξιοποιηθεί ορθολογικά όλο το βεβαιωμένο δυναμικό του πεδίου μπορεί να πολλαπλασιασθεί η έκταση των εγκατεστημένων θερμοκηπίων σε πενήντα στρέμματα τουλάχιστον.



Σχήμα 1.3.5: Συστήματα θέρμανσης σε γεωθερμικά θερμοκήπια. [8]

Εγκαταστάσεις θέρμανσης με φυσική κίνηση του αέρα (φυσική συναγωγή): **(α)** εναέριοι σωλήνες θέρμανσης **(β)** θέρμανση πάγκων **(γ)** σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένοι χαμηλά **(δ)** θέρμανση εδάφους Εγκαταστάσεις θέρμανσης με εξαναγκασμένη κίνηση του αέρα (εξαναγκασμένη συναγωγή) **(ε)** πλευρική τοποθέτηση σωλήνων **(f)** εναέριο αερόθερμα **(g)** αγωγοί τοποθετημένοι ψηλά **(h)** αγωγοί τοποθετημένοι χαμηλά (von Zabeltitz, 1986).

Δ). Ιχθυοκαλλιέργειες

Οι **υδατοκαλλιέργειες**, οι οποίες στην ουσία αποτελούν την ελεγχόμενη εκτροφή υδρόβιων οργανισμών, αποκτούν σήμερα ολοένα και μεγαλύτερη σπουδαιότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω της αυξημένης ζήτησής τους στην αγορά. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας εκτροφής των ειδών αυτών είναι πολύ πιο σημαντικός σε σχέση με τα είδη που αναπτύσσονται στην ξηρά (θηλαστικά και πτηνά).

Διατηρώντας με τεχνητά μέσα τη θερμοκρασία σε βέλτιστα επίπεδα, καθίσταται δυνατή και η εκτροφή εξωτικών ειδών, η βελτίωση της παραγωγής ή ακόμη και ο διπλασιασμός του αναπαραγωγικού κύκλου σε μερικά είδη (Barbier and Fanelli, 1977). Τα είδη που κατά παράδοση εκτρέφονται σε τέτοιες μονάδες είναι: κυπρίνος, γατόψαρο, λαβράκια, κέφαλοι, χέλια, σολωμοί, μουρούνες, γαρίδες, αστακοί, караβίδες, κάβουρες, στρείδια, μύδια, χτένια κλπ.

Οι υδατοκαλλιέργειες περιλαμβάνουν επίσης την εκτροφή κροκοδείλων και αλιγατόρων, που αξιοποιούνται συνήθως ως τουριστικό αξιοθέατο αλλά και για την εκμετάλλευση του δέρματός τους, η οποία μπορεί να αποτελέσει μια πολύ επικερδή δραστηριότητα. Με βάση την εμπειρία από τις Η.Π.Α., φαίνεται ότι, διατηρώντας τη θερμοκρασία ανάπτυξής του σταθερή στους 30°C, ένας αλιγάτορας μπορεί να μεγαλώσει σε μήκος περίπου 2 μέτρα μέσα σε 3 χρόνια, ενώ εάν ζούσε σε φυσικές συνθήκες η αύξηση του μήκους του δεν θα ξεπερνούσε τα 1,20 μέτρα κατά την ίδια χρονική περίοδο. Τέτοια ερπετά εκτρέφονται εδώ και χρόνια σε ειδικές εγκαταστάσεις στο Κολοράντο και το Άινταχο των Η.Π.Α., ενώ παρόμοιες εφαρμογές σχεδιάζονται και στην Ισλανδία.

Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για τα υδρόβια είδη κυμαίνονται κατά βάση μεταξύ 20°C και 30°C. Το μέγεθος των εγκαταστάσεων εξαρτάται από

την αρχική θερμοκρασία των ρευστών, τη θερμοκρασία που απαιτείται στις δεξαμενές εκτροφής

και από τις θερμικές απώλειες των τελευταίων.

Η καλλιέργεια της σπιρουλίνας (*Spirulina*) θεωρείται επίσης μια μορφή υδατοκαλλιέργειας. Λόγω της υψηλής διατροφικής του αξίας, αυτό το μονοκυτταρικό, σπειροειδές και γαλάζιο - πράσινο φίκος, συχνά αποκαλείται «υπερτροφή». Επίσης, έχει προταθεί ως λύση στο πρόβλημα της ασιτίας στις φτωχότερες περιοχές του πλανήτη, όμως για την ώρα χαρακτηρίζεται στο εμπόριο απλά ως «συμπλήρωμα διατροφής». Η σπιρουλίνα καλλιεργείται σήμερα σε αρκετές τροπικές και υπο-τροπικές χώρες, σε λίμνες ή τεχνητές δεξαμενές, όπου επικρατούν ιδανικές συνθήκες για τη γρήγορη ανάπτυξή της (μέσα σε ένα ζεστό, αλκαλικό περιβάλλον, πλούσιο σε CO₂). Παρόλα αυτά, σε αρκετές χώρες των εύκρατων ζωνών η γεωθερμική ενέργεια έχει ήδη αξιοποιηθεί επιτυχώς σε τέτοιες υδατοκαλλιέργειες, για την ανάπτυξη της spirulina σε ετήσια βάση, παρέχοντας την απαραίτητη θερμότητα αλλά και το CO₂.

1.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας. [8]

— Μετά το 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε ελκυστική σε πολλές χώρες, επειδή ήταν ανταγωνιστική ως προς άλλες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η ενέργεια αυτή δε χρειαζόταν να εισαχθεί από άλλες χώρες, όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα ενώ σε πολλές περιπτώσεις αποτελούσε τον μοναδικό διαθέσιμο εγχώριο ενεργειακό πόρο. Στον Πίνακα 1.1 αναφέρονται οι χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς και η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς: 1995 (6.833 MW), 2000 (7.974 MW) και η αύξηση μεταξύ των ετών 1995-2000 (Huttrer, 2001). Στον ίδιο Πίνακα φαίνεται επίσης η

συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις αρχές του 2003 (9.028 MW). Η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς στις αναπτυσσόμενες χώρες το 1995 και το 2000 αντιπροσωπεύει αντίστοιχα το 38% και το 47% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως.

Πίνακας 1.1: Εγκατεστημένη θερμική ισχύς σε παγκόσμια κλίμακα, από το 1995 έως το 2000 (Huttrer, 2001) και στις αρχές του 2003. [8]

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

Η χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες παρουσιάζει ενδιαφέρουσες τάσεις με το χρόνο. Μεταξύ των ετών 1975 και 1979 η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς σ'αυτές τις χώρες αυξήθηκε από 75 σε 462 MW. Στο τέλος της επόμενης πενταετίας (1984) έφτασε στα 1.495 MW, παρουσιάζοντας ένα ρυθμό αύξησης κατά τη διάρκεια των δύο αυτών περιόδων 500% και 223% αντίστοιχα (Dickson and Fanelli, 1988). Στα επόμενα 16 χρόνια, από το 1984 έως το 2000, υπήρξε μια περαιτέρω αύξηση της τάξης του 150%.

Η γεωθερμική ενέργεια συμμετέχει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο αρκετών περιοχών. Για παράδειγμα, το 2001 η ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε από γεωθερμικούς πόρους αντιπροσώπευε το 27% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στις Φιλιππίνες, το 12,4 % στην Κένυα, το 11,4% στην Κόστα Ρίκα και το 4,3% στο Ελ Σαλβαδόρ.

Όσον αφορά τις μη - ηλεκτρικές ή άμεσες εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας, ο Πίνακας 1.2 δίνει την εγκατεστημένη ισχύ (15.145 MW) και την ενεργειακή παραγωγή και χρήση (190.699 TJ) σε παγκόσμια κλίμακα για το έτος 2000. Κατά τη διάρκεια του έτους αυτού, άμεσες χρήσεις (direct uses) της γεωθερμίας καταγράφηκαν σε 58 χώρες, σε σύγκριση με τις 28 το 1995 και τις 24 το 1985. Ο αριθμός των χωρών αυτών είναι πολύ πιθανόν να έχει αυξηθεί από το 2000, όπως φυσικά και το ύψος της εγκατεστημένης ισχύος και της ενεργειακής χρήσης.

Η πιο συνηθισμένη μη-ηλεκτρική χρήση της γεωθερμίας παγκόσμια είναι οι αντλίες θερμότητας (heat - pumps) (34,80%) και ακολουθούν η λουτροθεραπεία (26,2%), η θέρμανση χώρων (21,62%), η θέρμανση θερμοκηπίων (8,22%), οι υδατοκαλλιέργειες (3,93%) και οι βιομηχανικές χρήσεις (3,13%) (Lund and Freeston, 2001).

Πίνακας 1.2: Μη-ηλεκτρικές χρήσεις της ηλεκτρικής ενέργειας ανά τον κόσμο (2000): εγκατεστημένη ισχύς (σε MW) και ενεργειακή χρήση (σε TJ / έτος) (Lund and Freeston, 2001). [8]

Country	Power (MW)	Energy (TJ/yr)
Algeria	100	1586
Argentina	25.7	449
Armenia	1	15
Australia	34.4	351
Austria	255.3	1609
Belgium	3.9	107
Bulgaria	107.2	1637
Canada	377.6	1023
Caribbean Islands	0.1	1
Chile	0.4	7
China	2282	37908
Colombia	13.3	266
Croatia	113.9	555
Czech Republic	12.5	128
Denmark	7.4	75
Egypt	1	15
Finland	80.5	484
France	326	4895
Georgia	250	6307
Germany	397	1568
Greece	57.1	385
Guatemala	4.2	117
Honduras	0.7	17
Hungary	472.7	4086
Iceland	1469	20170
India	80	2517
Indonesia	2.3	43
Israel	63.3	17.13
Italy	325.8	3774
Japan	1167	26933
Jordan	153.3	1540
Kenya	1.3	10
Korea	35.8	753
Lithuania	21	599
Macedonia	81.2	510
Mexico	164.2	3919
Nepal	1.1	22
Netherlands	10.8	57
New Zealand	307.9	7081
Norway	6	32

Peru	204	49
Philippines	1	25
Poland	68.5	275
Portugal	5.5	35
Romania	152.4	2871
Russia	308.2	6144
Serbia	80	2375
Slovak Republic	132.3	2118
Slovenia	42	705
Sweden	377	4128
Switzerland	547.3	2386
Thailand	0.7	15
Tunisia	23.1	201
Turkey	820	15756
United Kingdom	2.9	21
USA*	3766	20302
Venezuela	0.7	14
Yemen	1	15
Total	15145	190699



Σχήμα 1.4.1: Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας. [8]

Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας παγκοσμίως αναπτύχθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια, ενώ οι προοπτικές για περαιτέρω ανάπτυξη είναι ιδιαίτερα μεγάλες, ακόμα και με τις σημερινές χαμηλές τιμές του πετρελαίου. Το μεγαλύτερο γεωθερμικό έργο παγκόσμια ευρίσκεται στα Geysers στη Β. Καλιφόρνια. Η εγκατεστημένη ισχύς υπερβαίνει τα 3.000 MW. Ήδη η παραγωγή καλύπτει το 15% της ηλεκτρικής ενέργειας της Β. Καλιφόρνιας.

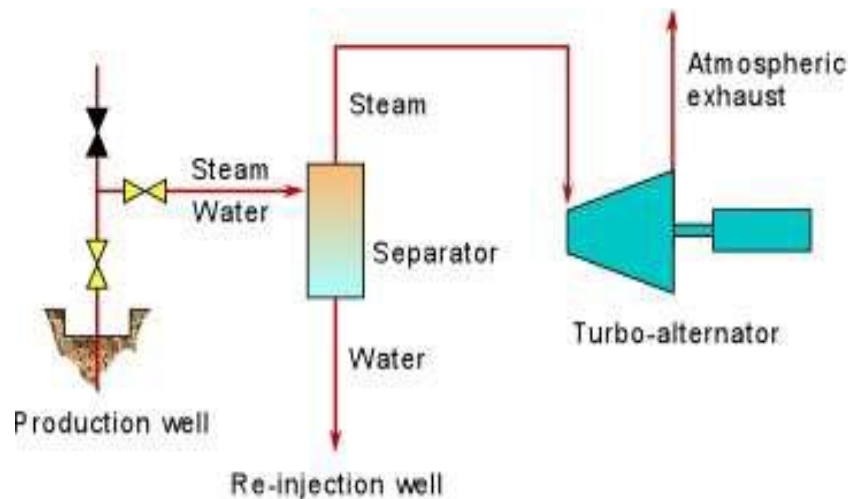
Geysers-California



Σχήμα 1.4.2: Το μεγαλύτερο γεωθερμικό έργο παγκόσμια ευρίσκεται στα Geysers στη Β. Καλιφόρνια.

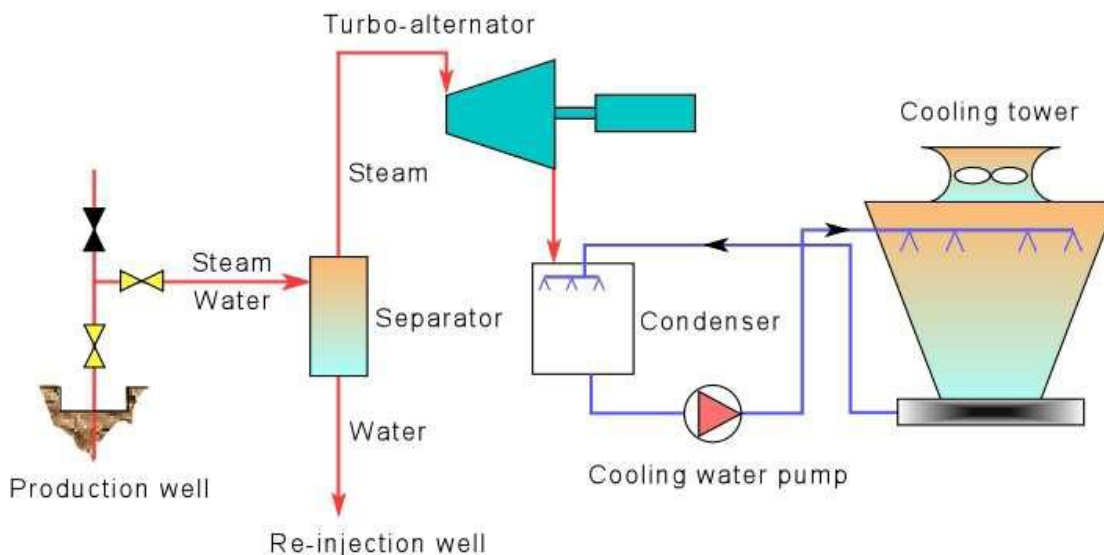
Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά λαμβάνει χώρα σε μονάδες που λειτουργούν είτε με συμβατικούς ατμοστρόβιλους ή με δυαδικό κύκλο, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πόρου. Οι συμβατικοί *ατμοστρόβιλοι* απαιτούν ρευστά που έχουν θερμοκρασίες τουλάχιστον 150°C. Η μονάδα μπορεί να λειτουργεί με συμπυκνωτές, όπου η πίεση διατηρείται συνεχώς σε χαμηλά επίπεδα (condensing type) ή χωρίς

(back pressure type), οπότε γίνεται διάθεση του ατμού στην ατμόσφαιρα. Ο τύπος με αμοστρόβιλους αμοσφαιρικής εκτόνωσης είναι απλούστερος και φθηνότερος. Ο ατμός που έρχεται, είτε απευθείας από γεωτρήσεις που παράγουν ξηρό ατμό, είτε από γεωτρήσεις με υγρό ατμό αφού γίνει ο διαχωρισμός του νερού, περνά από τον αμοστρόβιλο και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα (Σχήμα 1.4.3). Σε μια τέτοια μονάδα, η κατανάλωση ατμού (με ίδια πίεση εισόδου) ανά παραγόμενη κιλοβατώρα είναι περίπου διπλάσια από αυτήν σε μια μονάδα με συμπυκνωτές. Όμως, οι αμοστρόβιλοι αμοσφαιρικής εκτόνωσης είναι εξαιρετικά χρήσιμοι σε πιλοτικές ή εφεδρικές μονάδες, σε περιπτώσεις μικρών παροχών από μεμονωμένες γεωτρήσεις, καθώς και στην παραγωγή ηλεκτρισμού στη φάση των δοκιμών παραγωγής των γεωτρήσεων κατά την ανάπτυξη του πεδίου. Χρησιμοποιούνται επίσης στις περιπτώσεις όπου ο ατμός περιέχει μεγάλες ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων (>12% κατά βάρος). Οι μονάδες διάθεσης του ατμού στην ατμόσφαιρα κατασκευάζονται και εγκαθίστανται πολύ γρήγορα και μπορούν να τεθούν σε λειτουργία μέσα σε περίπου 13-14 μήνες από την ημερομηνία παραγγελίας τους. Τέτοιου είδους μονάδες είναι συνήθως διαθέσιμες σε μικρά μεγέθη (2,5-5 MW).



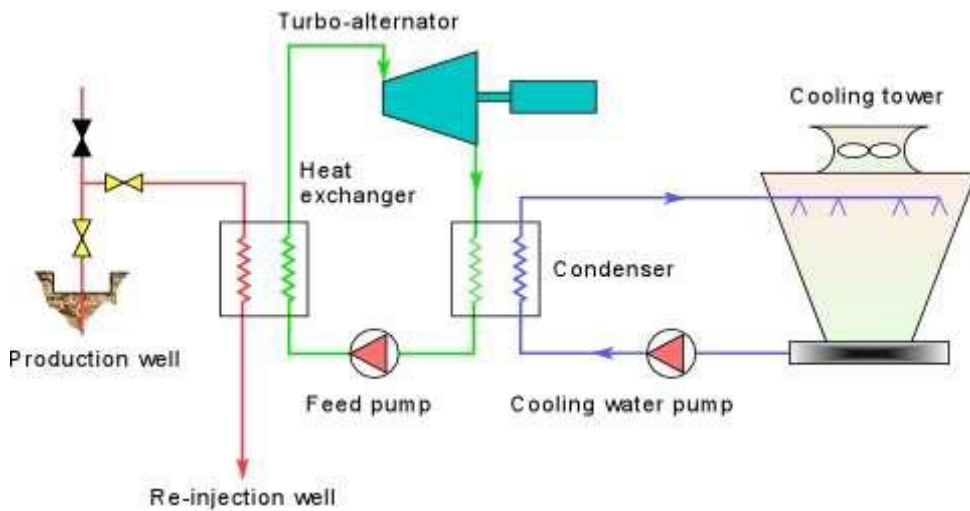
Σχήμα 1.4.3 Σκαρίφημα γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με διάθεση του ατμού απευθείας στην ατμόσφαιρα. Η ροή του γεωθερμικού ρευστού σημειώνεται με κόκκινο χρώμα. [10]

Οι μονάδες με συμπυκνωτές, εξαιτίας του ότι συνοδεύονται από περισσότερο βοηθητικό εξοπλισμό, είναι πιο περίπλοκες στο σχεδιασμό τους από τις προηγούμενες, και αυτές που είναι μεγαλύτερης ισχύος χρειάζονται διπλάσιο χρόνο κατασκευής και εγκατάστασης. Όμως, η κατανάλωση ατμού είναι περίπου μισή σε σχέση με την περίπτωση των αμοστροβίλων ατμοσφαιρικής εκτόνωσης. Οι πιο συνηθισμένες εγκαταστάσεις με συμπυκνωτές έχουν ισχύ 55-60 MW, όμως πρόσφατα κατασκευάστηκαν και έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται μονάδες με ισχύ 110 MW (Σχήμα 1.4.4).



Σχήμα 1.4.4: Σκαρίφημα μιας γεωθερμικής μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας με συμπυκνωτές. Η ροή των ρευστών υψηλής θερμοκρασίας σημειώνεται με κόκκινο χρώμα, ενώ του νερού ψύξης με μπλε. [10]

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ρευστά χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας και από το υψηλής θερμοκρασίας νερό που εξέρχεται από τους διαχωριστές στα γεωθερμικά πεδία υγρής φάσης, σημειώνει αξιόλογη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, κυρίως εξαιτίας της προόδου που επιτεύχθηκε στην τεχνολογία των δυαδικών ρευστών. Σε τέτοιου τύπου εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται ένα δευτερεύον – συνήθως οργανικό - ρευστό (ίσο-πεντάνιο), το οποίο έχει χαμηλό σημείο ζέσεως και υψηλή τάση ατμών σε χαμηλές θερμοκρασίες, αν συγκριθεί με τον υδάτινο ατμό. Το δευτερεύον ρευστό χρησιμοποιείται μέσα σε ένα συμβατικό οργανικό κύκλο Rankine (OCR) ως εξής: το γεωθερμικό ρευστό προσφέρει θερμότητα στο δευτερεύον υγρό μέσω εναλλακτών θερμότητας, οπότε το τελευταίο εξατμίζεται. Ο ατμός που παράγεται κινεί έναν κανονικό στρόβιλο αξονικής ροής, στη συνέχεια ψύχεται και συμπυκνώνεται, οπότε ο κύκλος αρχίζει ξανά (Σχήμα 1.4.5).



Σχήμα 1.4.5: Σκαρίφημα μιας γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με δυαδικό κύκλο. Το γεωθερμικό ρευστό σημειώνεται με το κόκκινο χρώμα, το δευτερεύον ρευστό με πράσινο και το νερό ψύξης με μπλε. [10]

Εάν γίνει σωστή επιλογή του δευτερεύοντος ρευστού, τα δυαδικά συστήματα μπορούν να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιούν γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία που κυμαίνεται μεταξύ 85 – 170 °C. Το ανώτερο όριο εξαρτάται από τη θερμική σταθερότητα του οργανικού ρευστού και το κατώτατο όριο από οικονομοτεχνικούς παράγοντες: κάτω από αυτή τη θερμοκρασία, εξαιτίας του μεγέθους και της ικανότητας των απαιτούμενων εναλλακτών, το όλο πρόγραμμα ίσως κατέληγε ασύμφορο από οικονομική άποψη. Εκτός από τις περιπτώσεις χαμηλής- μέσης ενθαλπίας, τα δυαδικά συστήματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εκεί όπου η εφαρμογή του κύκλου εκτόνωσης των ρευστών (flashing) θα πρέπει να αποφεύγεται (π.χ. για την αποφυγή απόφραξης των γεωτρήσεων). Στην περίπτωση αυτή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υποβρύχιες αντλίες, ώστε να ρευστά να παραμένουν υπό σταθερή πίεση και σε υγρή φάση, ενώ η ενέργεια μπορεί να

λαμβάνεται από το ρευστό κυκλοφορίας με τη βοήθεια του δυαδικού συστήματος.

Τα δυαδικά συστήματα κατασκευάζονται συνήθως σε μικρές αρθρωτές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, των οποίων η ισχύς ποικίλλει από μερικές εκατοντάδες kW έως λίγα MW. Τέτοια συστήματα εντούτοις έχουν τη δυνατότητα να κατασκευάζονται σε συστοιχία ώστε τελικά να δημιουργούνται μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνολικής ισχύος κάποιων δεκάδων MW. Το κόστος τους εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες, ιδιαίτερα όμως από τη θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών, η οποία επηρεάζει το μέγεθος των στροβίλων, των εναλλακτών και του συστήματος ψύξης. Το συνολικό μέγεθος των εγκαταστάσεων δεν επηρεάζει κατά πολύ το ειδικό κόστος, καθώς μια σειρά αρθρωτών μονάδων συνδέονται μεταξύ τους, για να επιτευχθεί τελικά μεγαλύτερη συνολική ισχύς.

Η τεχνολογία των δυαδικών συστημάτων είναι ένα οικονομικά συμφέρον και αξιόπιστο μέσο για τη μετατροπή σε ηλεκτρική της ενέργειας των ρευστών ενός γεωθερμικού συστήματος υγρής φάσης με θερμοκρασία μικρότερη από 170 °C.

Ένας νέος τύπος δυαδικών συστημάτων, ο επονομαζόμενος κύκλος Kalina που αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1990, χρησιμοποιεί ως δευτερεύον ρευστό εργασίας ένα μίγμα νερού-αμμωνίας. Το ρευστό αυτό εκτονώνεται σε υπέρθερμες συνθήκες όταν διέρχεται από το στρόβιλο υψηλής πίεσης και στη συνέχεια επαναθερμαίνεται πριν εισέλθει στο στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Μετά τη δεύτερη εκτόνωση, οι κορεσμένοι ατμοί μεταφέρονται σε ένα θερμαντήρα και ακολούθως συμπυκνώνονται σε έναν υδρόψυκτο συμπυκνωτή.

Ο κύκλος Kalina είναι πιο αποτελεσματικός από τα υπάρχοντα OCR δυαδικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά είναι πολύ πιο περίπλοκος.

Μικρές «κινητές», συμβατικές ή όχι, μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα μπορούσαν όχι μόνο να συμβάλλουν στη μείωση του κινδύνου μερικής αποτυχίας των νέων γεωτρήσεων, αλλά κυρίως να βοηθήσουν στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών απομονωμένων περιοχών.

Το βιοτικό επίπεδο απομονωμένων κοινοτήτων θα μπορούσε να βελτιωθεί σημαντικά εάν υπήρχε η δυνατότητα να βασιστούν σε τοπικούς ενεργειακούς πόρους. Η ηλεκτρική ενέργεια θα διευκόλυνε πολλές, φαινομενικά απλοϊκές, αλλά, εξαιρετικά σημαντικές εργασίες, όπως η άντληση νερού για άρδευση και η ψύξη φρούτων και λαχανικών για συντήρηση σε μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η διευκόλυνση που παρέχουν οι «κινητές» μονάδες γίνεται περισσότερο εμφανής στις περιοχές που δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε συμβατικά καύσιμα, και στις κοινότητες για τις οποίες το κόστος σύνδεσής τους με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο είναι εξαιρετικά υψηλό, έστω και αν υπάρχουν γραμμές υψηλής τάσης σε κοντινές αποστάσεις. Τα έξοδα που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση αυτών των μικρών κοινοτήτων είναι απαγορευτικά, καθώς οι μετασχηματιστές που χρειάζεται να εγκατασταθούν και να συνδεθούν με δίκτυα υψηλής τάσης κοστίζουν περισσότερο από 675.000 δολάρια ΗΠΑ ο καθένας, ενώ η πιο απλή μορφή τοπικής διανομής ηλεκτρισμού στα 11 kV, με τη χρήση ξύλινων στύλων, κοστίζει το λιγότερο 20.000 δολ. ΗΠΑ / χλμ. (τιμή δολαρίου 1994). Για σύγκριση, το κόστος κεφαλαίου (δολ. ΗΠΑ 1998) ενός δυαδικού συστήματος είναι της τάξης των 1500 - 2500 δολ. ΗΠΑ / εγκατεστημένο kWe, μη συμπεριλαμβανομένων των γεωτρητικών δαπανών. Οι απαιτήσεις για ηλεκτρική ισχύ ανά άτομο στις περιοχές εκτός δικτύου θα κυμαίνεται μεταξύ 0,2 kW στις λιγότερο ανεπτυγμένες και 1,0 kW ή περισσότερο στις ανεπτυγμένες περιοχές. Μία μονάδα ισχύος 100 kWe θα μπορούσε να εξυπηρετήσει 100 - 500 άτομα, ενώ αντίστοιχα μια μονάδα 1 MW 1000 - 5000 άτομα (Entingh et al. 1994).

Πίνακας 1.3: ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟ 1987

Περιοχή ή χώρα	(DI Pippo)	
	Εγκατεστημένη ισχύς	Ισχύς υπό εγκατάσταση ή σε προχωρημένο στάδιο (75% σε λειτουργία το 1992 MW)
ΕΟΚ	513	315
(ΙΤΑΛΙΑ)	502	305
Λοιπή Ευρώπη	60	11
εκτός ΕΣΣΔ		
(Ισλανδία)		
Λοιπός Κόσμος	4431	1178
(ΗΠΑ)	2212	436
(Ιαπωνία)	215	138
Συνολική Ισχύς MW	5004	1504
Συνολική ενέργεια $\times 10^3$ Τ.Ι.Π. / έτος	6800	2000

**Πίνακας 1.4: ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ (1987)
ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ (SOMMARUGA), ΣΕ MW**

Περιοχή ή χώρα	Σύνολο	Τηλεθέρμανση	Γεωργία	Ιαματικές χρήσεις	Λοιπά
ΕΟΚ	1325	720	202	376	27
(ΙΤΑΛΙΑ)	651	113	135	370	27
(ΓΑΛΛΙΑ)	618	600	15	3	0
Λοιπή Ευρώπη εκτός ΕΣΣΔ	3652	1138	931	1031	552
(Ισλανδία)	1306	945	77	209	75
(Ουγγαρία)	1540	75	565	9581	319
Λοιπός κόσμος	7363	842	867	4993	661
(ΗΠΑ)	478	70	190	5	213
(ΙΑΠΩΝΙΑ)	4764	49	50	4475	190
Συνολική Ισχύς	12250	2700	2000	6400	1240
Συνολική ενέργεια $\times 10^3$ Τ.Ι.Π / έτος	4300	1000	600	2150	550

1.5 Η γεωθερμία στην Ελλάδα. [2]

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

Σε κάποιες περιοχές η έρευνα προχώρησε αρκετά έτσι ώστε σήμερα να έχουν αναπτυχθεί αξιόλογες εφαρμογές. Στο Σιδηρόκαστρο, η Συνεταιριστική Επιχείρηση του Δήμου Σιδηροκάστρου προχώρησε στην κατασκευή ενός θερμοκηπίου 5 στρεμμάτων που χρησιμοποιεί νερά μιας γεώτρησης του ΙΓΜΕ. Στη Ν. Κεσσάνη βρίσκεται σε εξέλιξη ένα μεγάλο πρόγραμμα ανάπτυξης του πεδίου που χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα VALOREN της ΕΕ. Στο Λαγκαδά, στη Νυμφόπετρα και στη Νέα Απολλωνία λειτουργούν ήδη δεκάδες στρέμματα πλαστικών "γεωθερμικών" θερμοκηπίων , ενώ στο Λαγκαδά λειτούργησε για δύο χρόνια μικρή πειραματική μονάδα εκτροφής χελιών. Στα Ελαιοχώρια Χαλκιδικής λειτουργούν 6 μικρά πειραματικά θερμοκήπια. Τα αποτελέσματα από αυτές τις εφαρμογές είναι αισιόδοξα και δίνουν ώθηση για παραπέρα έρευνα σε γεωθερμικά πεδία που έχουν εντοπιστεί αλλά δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά.



Σχήμα 1.5.1: Εφαρμογές γεωθερμίας. [2]

Το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ελλάδος) συμβάλλει στην προσπάθεια αξιοποίησής τους.

Η προσπάθεια εκμετάλλευσης γεωθερμικών πεδίων στη Μήλο και στη Νίσυρο δεν ευδοκίμησε, λόγω έκλυσης στο περιβάλλον δύσσοσμων αερίων, γεγονός που προκάλεσε την αντίδραση των κατοίκων. Η γεωθερμική ενέργεια έχει και αγροτικές εφαρμογές. Ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας, π.χ. θερμοκρασίας 20 - 25 °C απαιτείται για τις ιχθυοκαλλιέργειες, 40 - 60 °C για θέρμανση εδάφους και περίπου 80 °C για θέρμανση θερμοκηπίων. Τέτοια πεδία χαμηλής ενθαλπίας αξιοποιούνται στην Κεντρική Μακεδονία, Θράκη και Λέσβο. Με δεδομένο την ύπαρξη πλούσιου γεωθερμικού δυναμικού στη χώρα μας, θετική θα ήταν η ενημέρωση με σκοπό την ευρύτερη αποδοχή και την αξιοποίησή του.

Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα σε ολόκληρη τη χώρα και εντοπίζονται κυρίως σε αγροτικές περιοχές. Στον Πίνακα 1.5 δίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας και οι περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος αντίστοιχα.

Πίνακας 1.5: Κυριότερα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής νθαλπίας και οι περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος. [1]

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ (km²)	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ (°C)	ΒΕΒΑΙΩΜΕΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ (m³/h)	ΠΙΘΑΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ (m³/h)
Ν. Κεσσάνη Ξάνθης	15	45-80	250-350	1000
Ν. Εράσμειο Μάγγανα Ξάνθης	15	56-65	400	1000
Χρυσούπολη /Ερατεινό Καβάλας	40	70-90	-	2000
Σιδηρόκαστρο Σερρών	10	35-67	-	1000
Ηράκλεια Σερρών	25	40-62	200	500
Νιγρίτα Σερρών	16	40-60	400	1000
Λαγκαδάς Θεσ/κης	6	33-40	300	1000
Νυμφόπετρα Θεσ/κης	2	39-45	200	500
Ν. Απολλωνία Θεσ/κης	2	34-51	400	600
Ελαιοχώρια Χαλκης	30	33-42	1000	2000
Στύψη / Καλλονή Λέσβου	10	42-67	30	2000
Πολύχνιτος Λέσβου	10	67-92	400	1000
Άργεννος Λέσβου	-	86	800	1500
Σουσάκι Κορινθίας	8	50-80	450	1000
Μήλος	50	30-80	200	1000
Νίσυρος	-	25-95	100	500

Σαντορίνη	10	25-70	-	500
------------------	-----------	--------------	----------	------------

ΘΕΡΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΛΟΥΤΡΟΠΟΛΕΙΣ ΣΤΗΝ
ΕΛΛΑΔΑ



Εικόνα 1.1: Χάρτης θερμών πηγών και λουτροπόλεων στην Ελλάδα. [1]

- Η ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΕΒΡΟΥ (ΘΡΑΚΗ)

- Ø Γεωθερμικό Πεδίο Αριστηνού Αλεξανδρούπολης(Έβρος)
- Ø Γεωθερμική Περιοχή Τυχερού Έβρου

• Η ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΞΑΝΘΗΣ - ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ (ΘΡΑΚΗ)

- Ø Γεωθερμικό Πεδίο Νέας Κεσσάνης (Ξάνθη)
- Ø Γεωθερμική Περιοχή Σαππών (Ν. Ροδόπης)

• Η ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΝΕΣΤΟΥ - ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΝΕΣΤΟΥ (ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ - ΘΡΑΚΗ)

- Ø Γεωθερμικό Πεδίο Ν. Εράσμιο - Μαγγάνων (Ν. Ξάνθης)
- Ø Περιοχή Ερατεινού - Χρυσούπολης (Ν. Καβάλας)

• Η ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΣΤΡΥΜΟΝΑ (ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ)

- Ø Γεωθερμικό Πεδίο Θερμών Νιγρίτας (Ν. Σερρών)
- Ø Γεωθερμικό πεδίο Θερμοπηγής Σιδηροκάστρου (Ν. Σερρών)
- Ø Γεωθερμικό πεδίο Λιθοτόπου - Ηράκλειας
- Ø Γεωθερμικό Πεδίο Αγκίστρου (Ν. Σερρών)

• Η ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΜΥΓΔΟΝΙΑΣ (ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ)

- Ø Γεωθερμικό Πεδίο Λαγκαδά (Ν. Θεσσαλονίκης)
- Ø Γεωθερμικό Πεδίο Νυμφόπετρας (Ν. Θεσσαλονίκης)
- Ø Γεωθερμικό Πεδίο Νέας Απολλωνίας (Ν. Θεσσαλονίκης)

• Περιοχή Θέρμης - Ανθεμούντα Θεσσαλονίκης (Περιοχή Αεροδρομίου)

• Περιοχή Ελαιοχωρίων (Ν. Χαλκιδικής)

• Περιοχή Αλμωπίας (Ν. Πέλλας)

• Λεκάνη Γρεβενών - Καστοριάς

• Λεκάνη Θεσσαλίας

• Περιοχή Θερμοπυλών

• Περιοχή Αιδηψού (Εύβοια)

• Γεωθερμικό πεδίο Σουσακίου (Ν. Κορινθίας)

• Περιοχή Καϊάφα - Ανδραβίδας (Ν. Ηλείας)

• Γεωθερμικό Πεδίο Μήλου (Κυκλάδες)

- [Γεωθερμικό Πεδίο Νισύρου \(Δωδεκάνησα\)](#)
- [Γεωθερμικά Πεδία Νήσου Λέσβου](#)



Σχήμα 1.5.2: Παραγωγική Γεώτρηση στις Συκιές Άρτας. [2]



Εικόνα 1.2: Γενικός χάρτης γεωθερμικών πεδίων στην Ελλάδα. [1]

2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ – ΨΥΞΗΣ & ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ (κλειστού – ανοιχτού κυκλώματος, κατακόρυφου & οριζόντιου τύπου, μέθοδοι εγκατάστασης).

2.1 Αβαθής γεωθερμία. [6]

Η Αβαθής Γεωθερμία είναι μια νέα μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που αντικαθιστά πλήρως τη χρήση πετρελαίου αλλά και όλα τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Συγκαταλέγεται στις ήπιες μορφές ενέργειας, χωρίς επιβάρυνση του περιβάλλοντος με ρύπους ή απόβλητα και προσφέρει οικονομία και ενεργειακή ανεξαρτησία.

Αβαθής Γεωθερμία ορίζεται η εκμετάλλευση της ενέργειας από το εσωτερικό της γης, από όπου με τη χρήση μιας Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας επιτρέπεται η μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος για παραγωγή ψύξης, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης για οικιακές αλλά και ευρύτερης κλίμακας εφαρμογές.

Τα **πλεονεκτήματά** της είναι:

- η ανεξαρτησία από το πετρέλαιο θέρμανσης,
- η οικονομική της λειτουργία (το ετήσιο κόστος της είναι κατά πολύ μικρότερο από το αντίστοιχο κόστος του πετρελαίου),
- ο χωρίς κόστος δροσισμός (air condition) το καλοκαίρι,
- το μηδενικό κόστος συντήρησης,
- η δυνατότητα επιδότησης (σαν ήπια μορφή ενέργειας),
- η αποφυγή ακαλαίσθητων επεμβάσεων στο σπίτι (εσωτερικά ή εξωτερικά), καθώς δεν υπάρχουν λεβητοστάσια, καμινάδες, δεξαμενές πετρελαίου και άλλες παρεμφερείς κατασκευές που απαιτούν οι συμβατικές εγκαταστάσεις θέρμανσης ή ψύξης.

Κάποια από τα **μειονεκτήματα** που υπάρχουν είναι ότι :

- το αρχικό κόστος κατασκευής είναι υψηλότερο από αυτό του συμβατικού και
- ότι για τα ανοικτού κυκλώματος συστήματα απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού.

Για να υλοποιηθεί ένα τέτοιο σχέδιο θέρμανσης - ψύξης απαιτείται μια Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας. Πρακτικά δεν είναι τίποτε άλλο από μια μηχανή που μπορεί να μεταφέρει τη θερμότητα από τον ψυχρό χώρο στον θερμό. Ακριβώς την ίδια δουλειά εκτελεί το οικιακό ψυγείο και το κλιματιστικό μηχάνημα που συναντάμε στα σπίτια και στα γραφεία.

Από τι αποτελείται μια εγκατάσταση αβαθούς γεωθερμίας:

Μια πλήρης εγκατάσταση αβαθούς γεωθερμίας αποτελείται εν γένει από τα παρακάτω τμήματα:

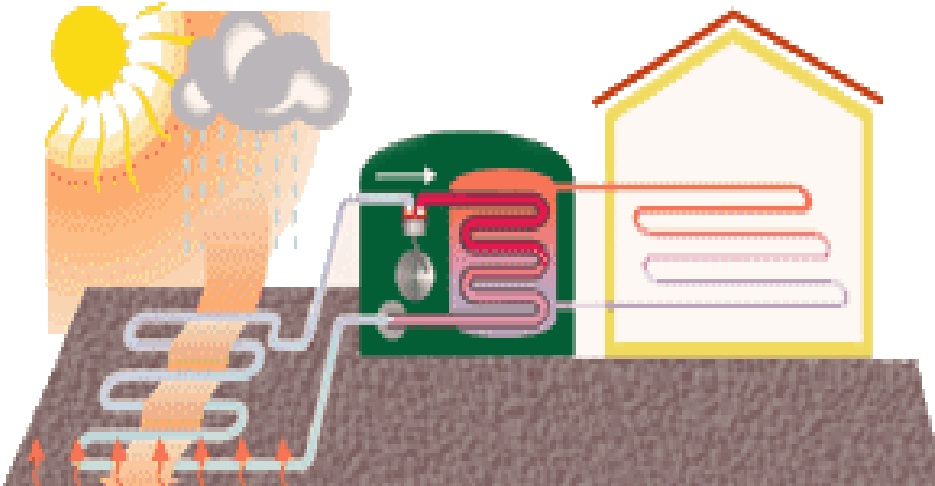
α) Από τη γεωθερμική αντλία θερμότητας .

β) Από τον γεωθερμικό εναλλάκτη, που είναι ένα κλειστό σύστημα σωληνώσεων από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, με διάρκεια ζωής άνω των 50 ετών, που διαρρέεται από νερό και τοποθετείται μέσα στο έδαφος(μιλάμε τότε για σύστημα κλειστού βρόγχου) ή εναλλακτικά από ένα σύστημα ανοικτού βρόγχου με απ' ευθείας γεωτρήσεις στον υπάρχοντα υδροφόρο ορίζοντα.

γ) Από την εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης και ψύξης της κατοικίας (του κτιρίου), που δεν διαφέρει σε τίποτε από τις γνωστές μας εγκαταστάσεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδοδαπέδιο ή ενδοτοιχείο σύστημα θέρμανσης και δροσισμού ή σύστημα fan coils για θέρμανση και ψύξη. Ακόμη

και σώματα θερμαντικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν (αλλά θα είναι πολύ μεγάλα σε μέγεθος).

δ) Από τον αυτοματισμό της εγκατάστασης.



Σχήμα 2.1.1: Εγκατάσταση οριζόντιας διάταξης.

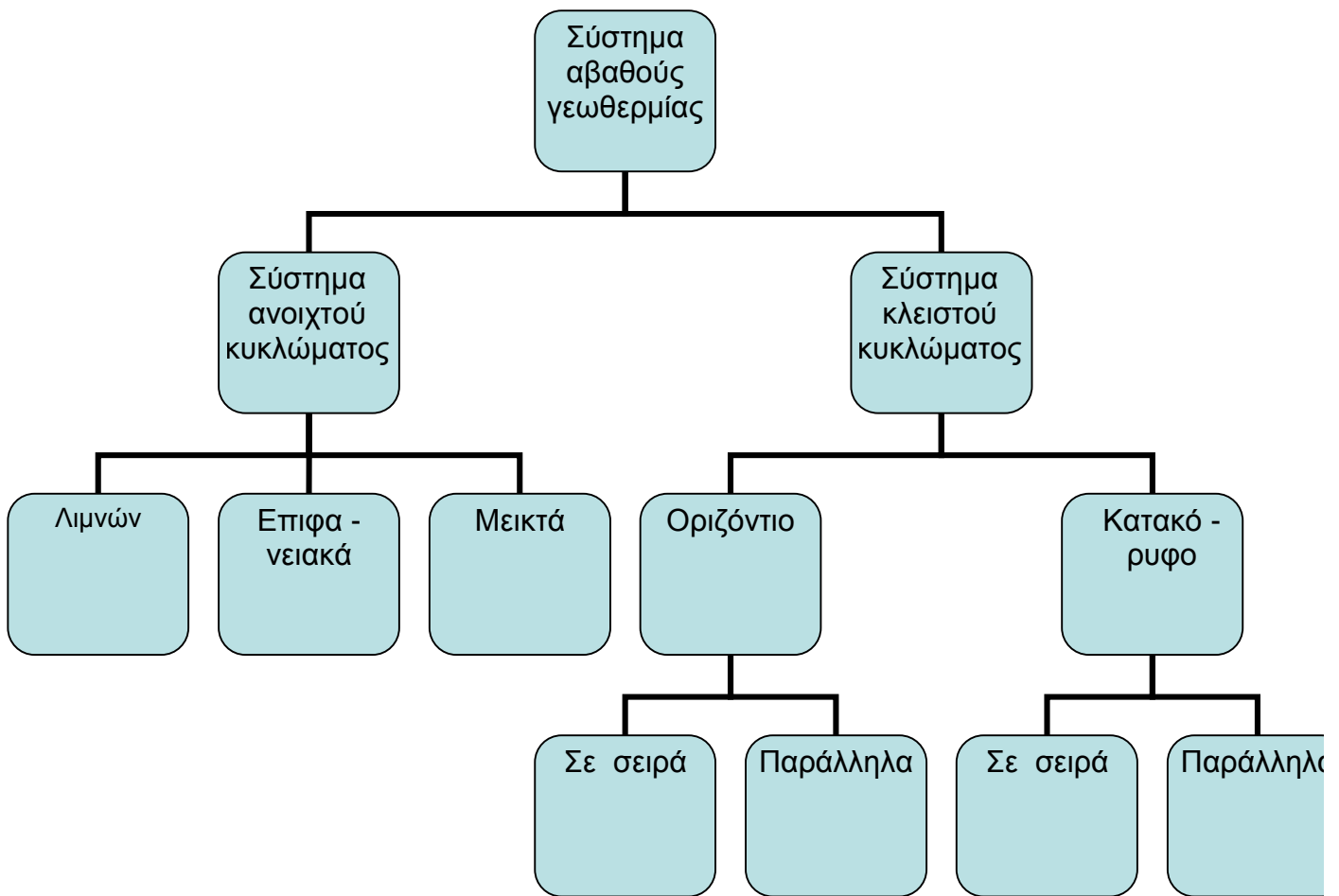
2.2 Είδη συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας: [6]

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες συστημάτων:

- A) Συστήματα κλειστού κυκλώματος (closed loop systems).
- B) Συστήματα ανοιχτού κυκλώματος (open loop systems).



Σχήμα 2.2.1 Εγκατάσταση οριζόντιας διάταξης. [10]

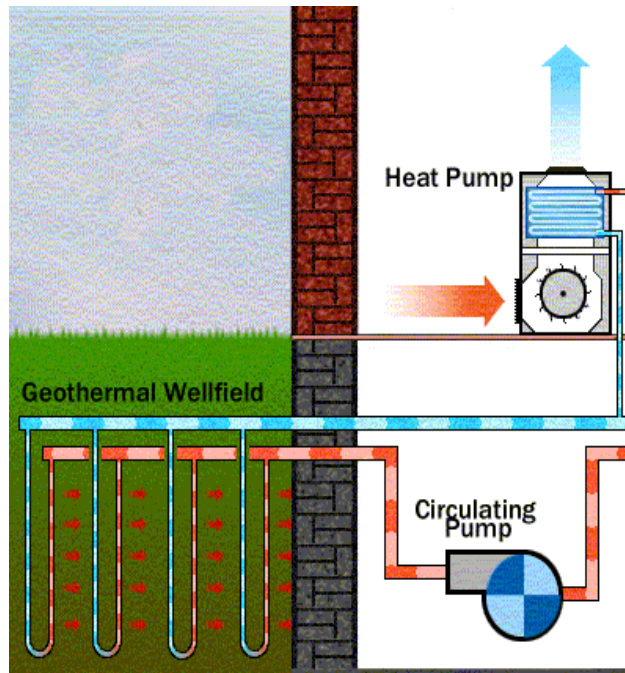


Διάγραμμα 2.1: Σύστημα αβαθούς γεωθερμίας

2.3 Η αρχή του γεωθερμικού κλιματισμού. [3]

Η γη απορροφά περίπου 50% της ηλιακής ενέργειας και παραμένει σε μια σταθερή θερμοκρασία στους 10 - 21 °C. Η φιλοσοφία του γεωθερμικού συστήματος βασίζεται στην αξιοποίηση της διαφοράς της θερμότητας μεταξύ του υπεδάφους και της επιφάνειας, με αποτέλεσμα την λειτουργία του κλιματισμού της εγκατάστασης για θέρμανση το χειμώνα και δροσιά το καλοκαίρι. Η εκμετάλλευση της θερμοκρασίας του εδάφους πραγματοποιείται με τη βοήθεια ειδικών γεωεναλλακτών (γεωθερμικών αντλιών θερμότητας) ανεβάζοντας τη έως και 55 °C. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω ειδικού δικτύου σωληνώσεων πολυαιθυλενίου που είτε βρίσκονται σε οριζόντια διάταξη σε χαμηλό βάθος, είτε σε κατακόρυφη διάταξη εκμεταλλευόμενοι την γεώτρηση που γίνεται γι'αυτό το λόγο. Οι σωλήνες συνδέονται με την αντλία θερμότητας ολοκληρώνοντας το κλειστό σύστημα, στο οποίο κυκλοφορεί διάλυμα γλυκόλης - νερού (25% και 75% αντίστοιχα) που χαρακτηρίζεται ως αντιψυκτικό και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Η γεώτρηση πραγματοποιείται για αξιοποίηση και μεταφορά της θερμοκρασίας με βάση το αντιψυκτικό υγρό και όχι παροχή νερού από τη γη, καθόσον το σύστημα είναι κλειστό.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε υβριδικά συστήματα, από κοινού με ηλιοθερμικά.



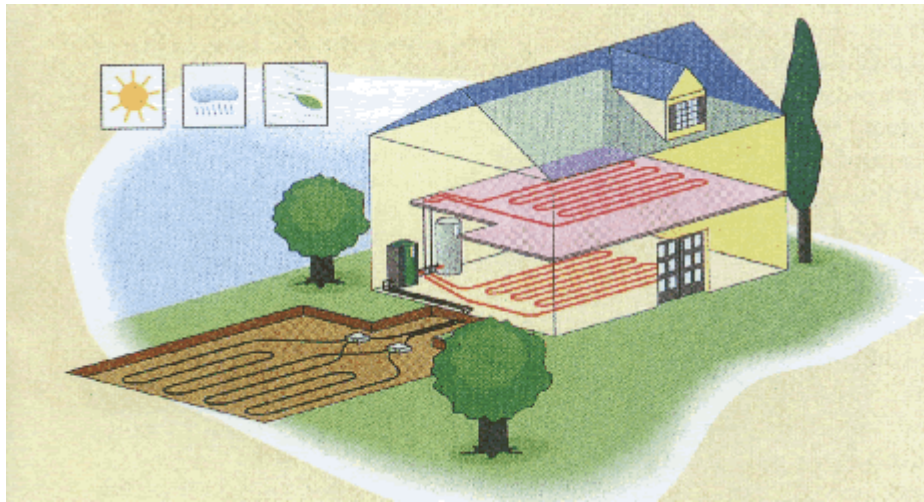
Σχήμα 2.3.1: Διαδικασία κυκλοφορίας νερού. [3]

- Circulating pump = αντλία κυκλοφορίας.
- Heat pump = αντλία θερμότητας.
- Geothermal well field = γεωθερμικό πεδίο.



Σχήμα 2.3.2: Αντλία κλιματισμού. [3]

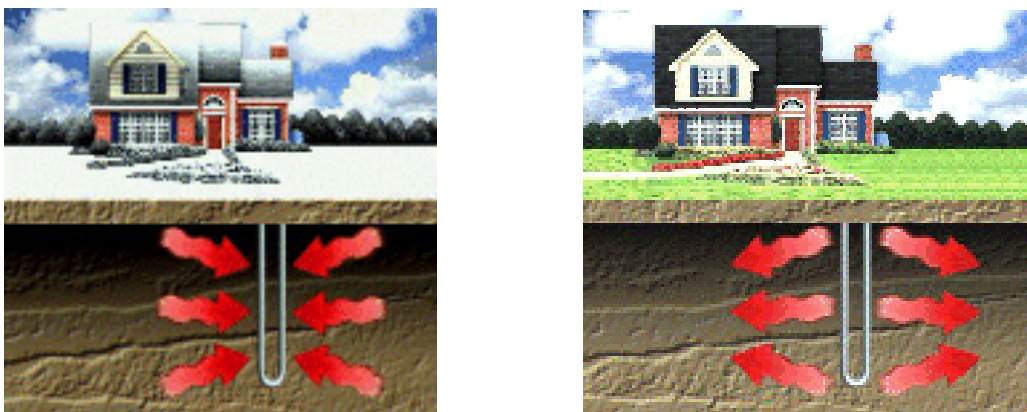
2.4 Συστήματα γεωθερμικού κλιματισμού. [3]



Σχήμα 2.4.1: Εγκατάσταση οριζόντιας διάταξης. [6]

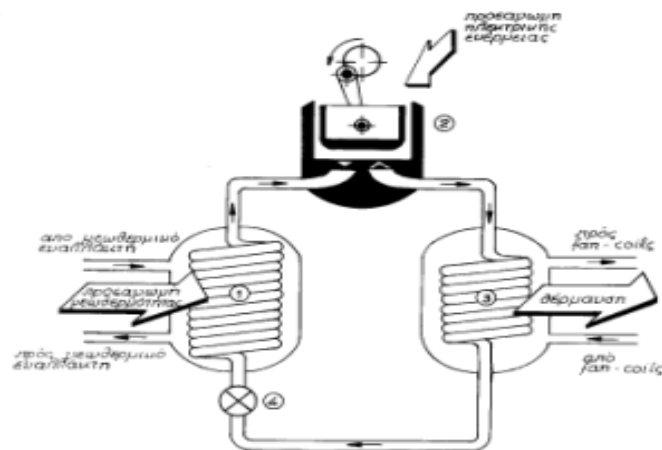
Τα συστήματα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας αποτελούνται από τρεις ενότητες:

- 1) Τον γεωθερμικό εναλλάκτη που είναι το σύστημα το οποίο απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα στο έδαφος.



Σχήμα 2.4.2: Εγκατάσταση κατακόρυφης διάταξης. [6]

2) Την αντλία θερμότητας που λειτουργεί αντίστοιχα με τις αντλίες νερού μόνο που ανυψώνει αντί για νερό θερμική ενέργεια. Δηλαδή αντλεί ενέργεια από ένα χώρο (π.χ. θερμοκρασίας 5 °C) και την μεταφέρει σε ένα άλλο χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας (π.χ. θερμοκρασίας 25 °C). Η πιο γνωστή αντλία θερμότητας είναι το ψυγείο, το οποίο αντλεί θερμική ενέργεια από τον εσωτερικό του χώρο και την απορρίπτει στο δωμάτιο που είναι εγκατεστημένο, διατηρώντας έτσι την θερμοκρασία του εσωτερικού του σε χαμηλά επίπεδα. Η ηλεκτρική ενέργεια που ξοδεύουμε για την λειτουργία της αντλίας είναι πολύ λιγότερη από αυτή που μεταφέρουμε.



Σχήμα 2.4.3: Σχεδιάγραμμα αντλίας θερμότητας - 1.Εξατμιστής, 2. Συμπιεστής, 3. Συμπυκνωτής, 4. Στοιχείο εκτόνωσης [3]

3) Το σύστημα που προσδίδει ή απορροφά θερμότητα από το σπίτι. Οι αντλίες θερμότητας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα κοινά σώματα των καλοριφέρ καθώς αυτά απαιτούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες νερού, αλλά μόνο με fan coil (σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα) ή με ενδοδαπέδιο / επιτοίχια θέρμανση. Η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι και η πιο ενδεδειγμένη καθώς εξασφαλίζει τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης και επιτρέπει και την εκμετάλλευση άλλων ήπιων συστημάτων

όπως οι ηλιακοί συλλέκτες. Επιπλέον είναι ιδανική για χώρους με μεγάλο ύψος καθώς αποτρέπει την θερμική διαστρωμάτωση του αέρα.

Πηγή θερμότητας.

Τρεις είναι οι κύριες πηγές θερμότητας που μπορεί να εκμεταλλευτούμε, ο αέρας, το νερό και η γη. Ο αέρας είναι η πιο εύκολη πηγή θερμικής ενέργειας για μια αντλία θερμότητας για αυτό και έχει το χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης, αλλά έχει και μειονεκτήματα το σημαντικότερο των οποίων είναι η χαμηλή θερμοκρασία του κατά τις νύχτες του χειμώνα.

Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην θερμοκρασία άντλησης και στην θερμοκρασία απόρριψης της θερμικής ενέργειας τόσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να ξοδέψουμε.

Πλεονεκτήματα του συστήματος γεωθερμικού κλιματισμού:

- **Εξοικονόμηση:** Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να μειώσουν το κόστος θέρμανσης ως και 60% και το κόστος ψύξης έως και 40% και να παρέχουν ζεστό νερό χρήσεις για της ανάγκες της κατοικίας.
- **Περιβάλλον:** Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να εκμεταλλευτούν στο έπακρο και να πολλαπλασιάσουν την αποτελεσματικότητα άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά και από μόνα τους είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά συστήματα καθώς μειώνουν τις εκπομπές αέριων ρύπων και τα συνεπακόλουθα προβλήματά τους (όξινη βροχή, φαινόμενο του θερμοκηπίου, τρύπα του όζοντος κ.λ.π).

- **Αξιοπιστία:** τα γεωθερμικά συστήματα διαρκούν περισσότερο από τα συμβατικά καθώς αποτελούν «κλειστά» συστήματα, όπως το ηλεκτρικό ψυγείο, που εγκαθίστανται μέσα στα κτίρια ή στο υπόγειο χώρο τους.
- **Συντήρηση:** Τα γεωθερμικά συστήματα δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα . Έχοντας ένα παρόμοιο τρόπο κατασκευής με αυτό των ηλεκτρικών ψυγείων οι ΓΑΘ έχουν πολύ λίγα κινούμενα εξαρτήματα που θα μπορούσαν να χαλάσουν. Ο γεωθερμικοί εναλλάκτες είναι κατασκευασμένοι από πιστοποιημένους πλαστικούς σωλήνες και μπορούν να λειτουργούν αποδοτικά πενήντα χρόνια μετά την εγκατάσταση τους.
- **Θόρυβος:** Εκτός από μια απαλή δροσιά το καλοκαίρι και μια γλυκιά ζέστη το χειμώνα τα γεωθερμικά συστήματα δεν αφήνουν κανένα άλλο ίχνος της παρουσίας τους . Οι ΓΑΘ δεν χρειάζονται εκτεθειμένα θορυβώδη μηχανήματα να ενοχλούν του ένοικους ή τους γείτονες. Χωρίς ηχητική υπενθύμιση ίσως ξεχάσετε ότι έχετε ένα γεωθερμικό σύστημα.
- **Σε μεγάλες εγκαταστάσεις:** μπορούν να εξοικονομηθούν χρήματα καθώς είναι εφικτή η μεταφορά θερμότητας από ζώνες του κτιρίου που είναι πιο ζεστές προς άλλες ψυχρότερες για τις ανάγκες θέρμανσης το χειμώνα και το αντίστροφο το καλοκαίρι για τις ανάγκες ψύξης.

Μειονεκτήματα του συστήματος γεωθερμικού κλιματισμού:

- Το αρχικό κόστος κατασκευής είναι υψηλό από του συμβατικού.
- Υπάρχει δυσκολία στην επιδιόρθωση μιας διαρροής στα κλειστά κυκλώματα.
- Για τα ανοικτού κυκλώματος συστήματα απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού.

2.5 Εφαρμογές γεωθερμικών συστημάτων. [7]

Ένα γεωθερμικό σύστημα χρησιμοποιεί τη σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους της γης, για να θερμάνει ή για να ψύξει ένα χώρο και παρέχει ζεστό νερό όλο το 24ωρο.

Για να λειτουργήσει ένα γεωθερμικό σύστημα χρειάζεται:

- Ένα γεωθερμικό εναλλάκτη, που μπορεί να είναι **κλειστού κυκλώματος** (κατακόρυφου ή οριζόντιου τύπου) ή **ανοιχτού κυκλώματος** (υπογείων νερών, νερών μιας μικρής λίμνης ή ακόμα και της θάλασσας).
- Μια αντλία θερμότητας, στην οποία εισέρχεται νερό σταθερής θερμοκρασίας από το δίκτυο του γεωθερμικού εναλλάκτη και χρησιμοποιείται για να αυξήσουμε την θερμοκρασία (θέρμανση) ή για να την μειώσουμε (ψύξη).
- Ένα εσωτερικό δίκτυο σωληνώσεων, δηλαδή τις κτιριακές σωληνώσεις που χρησιμοποιούμε για να θερμάνουμε ή να ψύξουμε τον χώρο μας. Το δίκτυο αυτό μπορεί να είναι **επιδαπέδιο, ενδοδαπέδιο, ενδοτοιίχιο** ή δίκτυο με **Fan coils**.

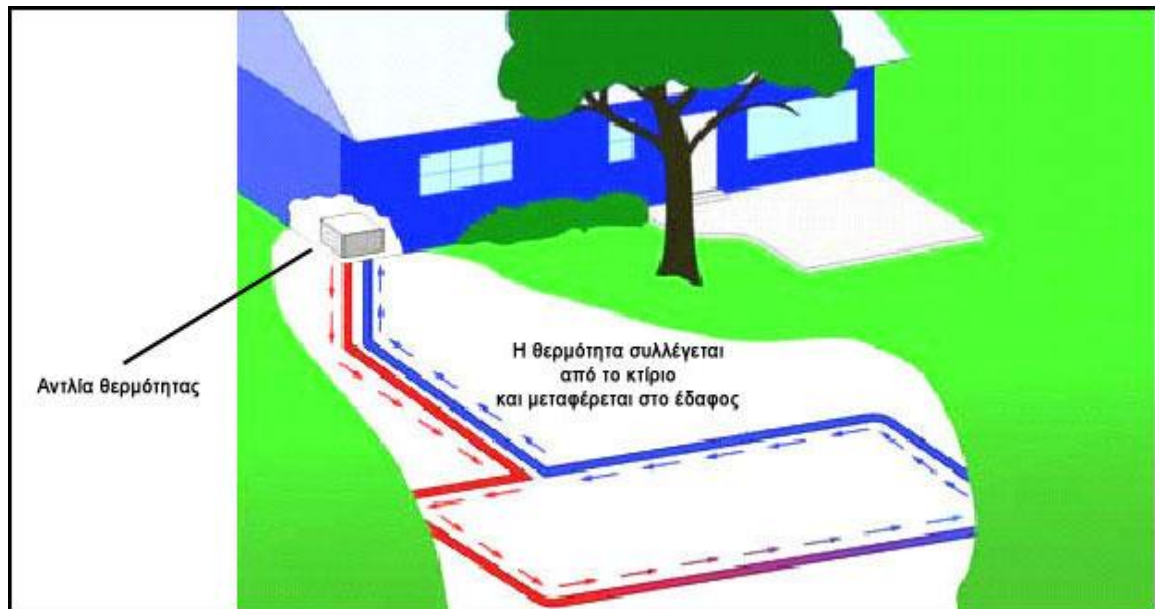


Σχήμα 2.5.1: Εγκατάσταση κατακόρυφου γεωεναλλάκτη.[7]

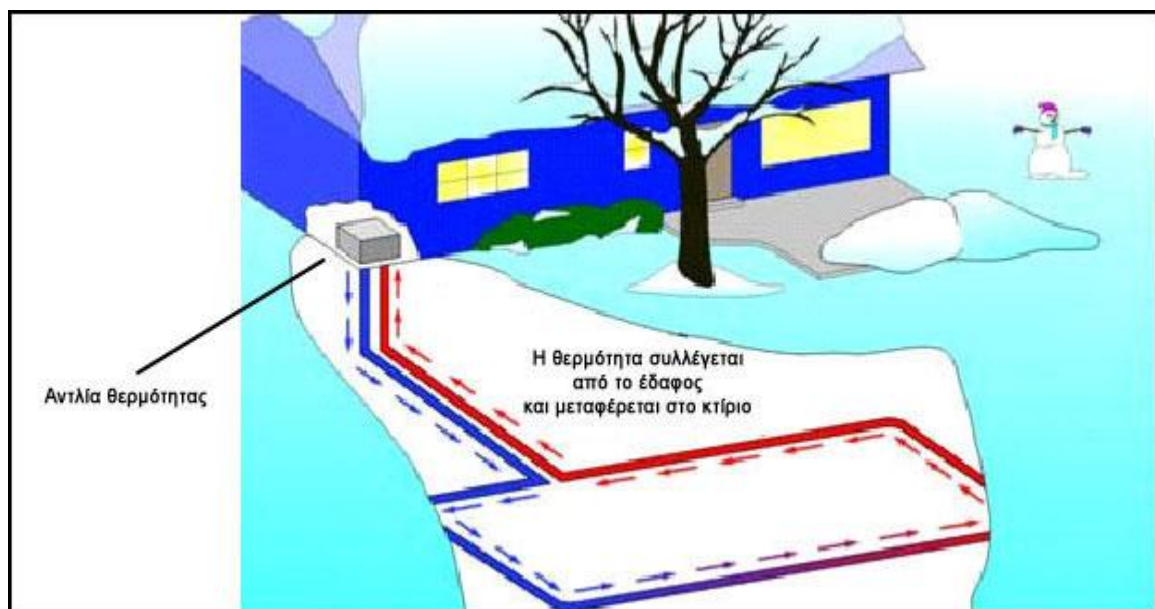
- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1. Γεωθερμικός εναλλάκτης. | 4. Θερμαντικά σώματα. |
| 2. Αντλία θερμότητας. | 5. Υποδαπέδια θέρμανση. |
| 3. Μπόιλερ ζεστού νερού. | 6. Καταναλώσεις νερού. |

Σύστημα θέρμανσης – ψύξης με άντληση θερμότητας από το νερό ή το έδαφος.

Αντλία θερμότητας το καλοκαίρι.



Αντλία θερμότητας τον χειμώνα.



Σχήμα 2.5.2: Λειτουργία Αντλίας θερμότητας καλοκαίρι – χειμώνα.[7]

Σημαντικοί λόγοι για να χρησιμοποιήσουμε τα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης – ψύξης:

- Αρμονία με το περιβάλλον (χωρίς ρύπους, σκόνες, μυρωδιές και καπνό).
- Ανεξαρτησία από πετρέλαιο και αέριο.
- Αθόρυβη και ασφαλή λειτουργία.
- Υπεραξία του ακινήτου εξαιτίας της ιδιόκτητης πηγής ενέργειας.
- Οικονομικό κόστος λειτουργίας, 50 – 70% λιγότερο κόστος σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης – ψύξης.
- Μηδαμινό κόστος συντήρησης.

2.6 Γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος. [7]

Γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος (κατακόρυφου ή οριζόντιου τύπου).

Τα γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος βασίζονται στην κατασκευή ενός γεωεναλλάκτη στο υπέδαφος. Ο γεωεναλλάκτης αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό σωληνώσεων μέσα στις οποίες κυκλοφορεί νερό ή διάλυμα νερού και αντιψυκτικού (σε περιπτώσεις που υπάρχουν χαμηλές θερμοκρασίες υπεδάφους).

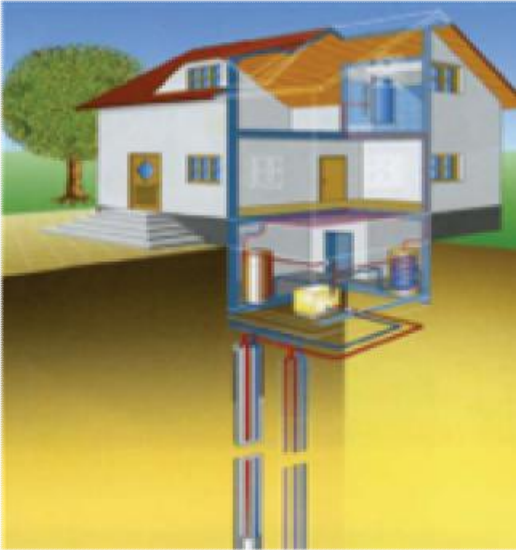
Το χειμώνα η αντλία θερμότητας τροφοδοτείται με νερό από τον γεωεναλλάκτη σταθερής θερμοκρασίας περίπου 16 βαθμών Κελσίου, όση περίπου και η θερμοκρασία του υπεδάφους. Απορροφώντας περίπου 4 με 5 βαθμούς Κελσίου πριν το επιστρέψει στη γη, η αντλία θερμότητας παράγει ζεστό νερό από 35 ως 50 βαθμούς Κελσίου κατάλληλο για θέρμανση χώρων με ενδοδαπέδια συστήματα θέρμανσης ή με fan coil αλλά και για προθέρμανση νερού χρήσης. Ο βαθμός απόδοσης μιας γεωθερμικής αντλίας

θερμότητας στη θέρμανση (COP), κυμαίνεται μεταξύ 4,5 και 5,5 Το καλοκαίρι αντιστρέφεται η λειτουργία της αντλίας θερμότητας και χρησιμοποιείται για παραγωγή ψυχρού νερού για κλιματισμό χώρων. Η αντλία θερμότητας απορρίπτει θερμότητα από τους κλιματιζόμενους χώρους στο σταθερής θερμοκρασίας υπέδαφος. Τροφοδοτείται από τον γεωεναλλάκτη με νερό περίπου 25 βαθμών Κελσίου ενώ το επιστρέφει στη γη πέντε βαθμούς θερμότερο. Παράγει μ'αυτόν τον τρόπο ψυχρό νερό θερμοκρασίας 7 βαθμών Κελσίου κατάλληλο για ένα σύστημα ψύξης με fan coil. Παράλληλα το νερό στο οποίο έχει απορρίψει θερμότητα, πριν επιστρέψει στη γη μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Ο βαθμός απόδοσης μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στην ψύξη (EER), κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5.

Τα **πλεονεκτήματα** του κλειστού κυκλώματος είναι:

- Μεγάλος χρόνος ζωής (>50 χρόνια).
- Δεν χρειάζεται συντήρηση.
- Αξιοπιστία

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ.

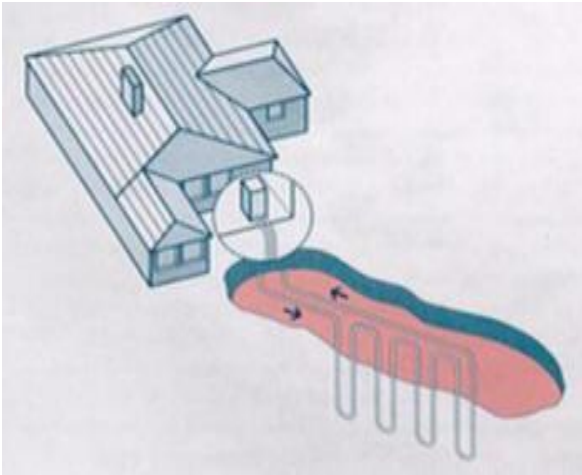


Σχήμα 2.6.1: Συστήματα κατακόρυφου γεωεναλλάκτη.[10]

Συνήθως χρησιμοποιούνται σε μεγάλες εφαρμογές όπου η απαιτούμενη ανάγκη δεν μπορεί να καλυφθεί από ένα οριζόντιο κύκλωμα και σε περιπτώσεις που υπάρχει έλλειψη διαθέσιμου περιβάλλοντα χώρου (κυρίως σε αστικά κέντρα). Η κατασκευή του κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη γίνεται στα εξής στάδια:

- I. Κατασκευή στεγνών γεωτρήσεων διαμέτρου 81/2" σε βάθη 100m.
- II. Συναρμολόγηση γεωεναλλάκτη στην επιφάνεια. Ο γεωεναλλάκτης αποτελείται από 4 σωλήνες (2 προσαγωγής & 2 επιστροφής) οι οποίες ενώνονται μεταξύ τους με ειδικά τεμάχια (U bends).
- III. Δοκιμή αντοχής γεωεναλλάκτη στην επιφάνεια με νερό στα 10 bar.
- IV. Τοποθέτηση γεωεναλλάκτη μέσα στις στεγνές γεωτρήσεις.
- V. Πλήρωση γεωτρήσεων με μείγμα τσιμέντου, μπετονίτη και άμμου.
- VI. Κατασκευή φρεατίου επίσκεψης στην επιφάνεια.

Τα συστήματα των κάθετων γεωεναλλακτών αποδίδουν περίπου 7,5 kW ανά 100 m γεωεναλλάκτη. Αυτό σημαίνει ότι για μια εμπορική εφαρμογή των 100 kW θα απαιτηθούν περίπου 10 γεωτρήσεις των 100 m, ενώ ο απαιτούμενος περιβάλλοντας χώρος είναι περίπου 55 τ.μ.



Σχήμα 2.6.2: Συστήματα κατακόρυφου γεωεναλλάκτη.[7]

ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΣ ΓΕΩΘΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ.



Σχήμα 2.6.3: Συστήματα οριζόντιου γεωθεναλλάκτη.[10]

Σε περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλος διαθέσιμος περιβάλλοντας χώρος, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διάταξη του οριζόντιου γεωθεναλλάκτη. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές τοποθέτησης του οριζόντιου γεωθεναλλάκτη στο υπέδαφος:

- I. Σωλήνες σε παράλληλη διάταξη: Σε βάθος περίπου 1,5 m από την επιφάνεια τοποθετούνται παράλληλα μήκη σωλήνας η μία δίπλα στην άλλη. Η απόσταση μεταξύ των σωλήνων πρέπει να είναι τουλάχιστον 60 cm. Η μέθοδος αυτή αποδίδει 30 - 40 W ανά τ.μ. εδάφους.
- II. Σωλήνες η μία πάνω από την άλλη: Σ'αυτή τη μέθοδο "σάντουιτς" η πρώτη σωλήνα τοποθετείται περίπου στα 2 m ενώ η δεύτερη τοποθετείται 40 - 50 cm πάνω από την πρώτη. Η μέθοδος αυτή αποδίδει περίπου 50 - 60 W ανά τ.μ. εδάφους.
- III. Σωλήνες απλωμένες σε σπείρες: Σε βάθος περίπου 1,5 m από την επιφάνεια απλώνεται κουλούρα πολυαιθυλενίου με τέτοια διάταξη ώστε να

σχηματιστούν σπείρες η οποίες να εφάπτονται μεταξύ τους. Η μέθοδος αυτή αποδίδει 30 - 40 W ανά τ.μ. εδάφους.

IV. Πλέγμα: Σε βάθη περίπου 2 m από την επιφάνεια τοποθετούνται προκατασκευασμένα πλέγματα που αποτελούνται από λεπτές σωλήνες $\Phi 8$ ή $\Phi 10$. Η μέθοδος αυτή αποδίδει περίπου 80 W ανά τ.μ. εδάφους.

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται συνήθως (εκτός από το πλέγμα) είναι από πολυαιθυλένιο τρίτης γενιάς HDPE $\Phi 32$ ή $\Phi 40$. Για να απλωθούν οι σωλήνες συνήθως κατασκευάζεται μια τάφρος και αφού τοποθετηθούν, σύμφωνα με τα παραπάνω, η τάφρος καλύπτεται ξανά με χώμα. Η επιφάνεια πάνω από τον γεωεναλλάκτη μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς (κήπος, χώρος στάθμευσης, κτίριο).



Σχήμα 2.6.4: Συστήματα οριζόντιου γεωεναλλάκτη.[7]

2.7 Γεωθερμικός εναλλάκτης ανοιχτού κυκλώματος [7]

Γεωθερμικός εναλλάκτης ανοιχτού κυκλώματος (υπογείων νερών, νερών μιας μικρής λίμνης ή ακόμα και της θάλασσας).

Τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού κυκλώματος, αντλούν σταθερής παροχής νερό το οποίο μπορεί να προέρχεται από ένα υπόγειο ταμιευτήριο, από τη θάλασσα ή από λίμνες. Ένας ενδιάμεσος εναλλάκτης νερού/νερού, παρεμβάλεται μεταξύ του ανοιχτού κυκλώματος και της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, προστατεύοντας έτσι τον συμπυκνωτή ή τον εξατμιστή της από διαβρώσεις λόγω κακής ποιότητας νερού. Το εσωτερικό κλειστό κύκλωμα που δημιουργείται, τροφοδοτεί την αντλία θερμότητας με νερό θερμοκρασίας 16 βαθμών Κελσίου το χειμώνα και 25 βαθμών Κελσίου το καλοκαίρι.

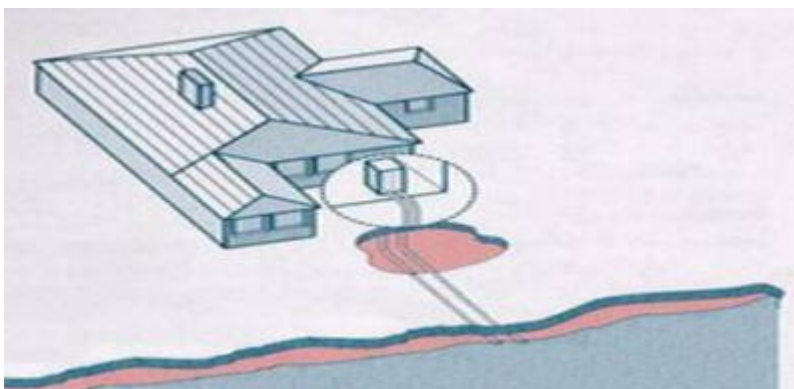
Το χειμώνα η αντλία θερμότητας, παράγει ζεστό νερό από 35 ως 50 βαθμούς Κελσίου κατάλληλο για θέρμανση χώρων με ενδοδαπέδια συστήματα θέρμανσης ή με fan coil αλλά και για προθέρμανση νερού χρήσης. Ο βαθμός απόδοσης μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στη θέρμανση (COP), κυμαίνεται μεταξύ 4,5 και 5,5. Το καλοκαίρι παράγει ψυχρό νερό θερμοκρασίας 7 βαθμών Κελσίου κατάλληλο για ένα σύστημα ψύξης με fan coil. Παράλληλα το νερό στο οποίο έχει απορρίψει θερμότητα, πριν επιστρέψει στη γη μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Ο βαθμός απόδοσης μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στην ψύξη (EER), κυμαίνεται μεταξύ 4 και 5.

Τα πλεονεκτήματα του ανοιχτού κυκλώματος είναι:

- Δυνατότητα κάλυψης μεγάλων φορτίων > 500 kw.
- Σταθερής θερμοκρασίας πηγή θερμότητας που οδηγεί σε πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης.
- Χαμηλότερο αρχικό κόστος επένδυσης σε σχέση με έναν κάθετο γεωεναλλάκτη για την ίδια ανάγκη.

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΑΝΤΛΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΑ ή ΛΙΜΝΗ.

Μια παραλλαγή των υδρογεωτρήσεων είναι τα συστήματα με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας που αντλούν νερό από θάλασσα ή από κάποια λίμνη. Τα συστήματα αυτά μπορούν να αξιοποιήσουν την θερμοκρασία της θάλασσας (ή της λίμνης) η οποία αποτελεί μια δεξαμενή σταθερής θερμοκρασίας για άντληση και απόρριψη θερμότητας. Το νερό σε βάθη περίπου 7-10 μέτρα έχει σταθερή θερμοκρασία τόσο το χειμώνα (12-15 βαθμούς Κελσίου), όσο και το καλοκαίρι (17-20 βαθμούς Κελσίου). Δεν υπάρχει ανάγκη για διάνοιξη γεωτρήσεων αφού με ένα απλό υδραυλικό δίκτυο το νερό προσάγεται και απάγεται από την αντλία θερμότητας μέσω ενός κυκλοφορητή.



Με άντληση νερού από θάλασσα.

Σχήμα 2.7.1: Σύστημα άντλησης νερού από θάλασσα



Με άντληση νερού από λίμνη.



Με άντληση νερού από ποτάμι.

Σχήμα 2.7.2: Συστήματα άντλησης νερού από λίμνη ή από θάλασσα.[7]

ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΗ.

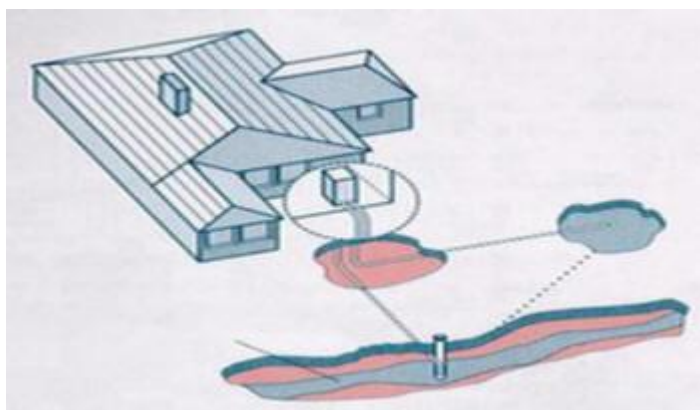
Τα συστήματα αυτά ήταν τα πρώτα που εμφανίστηκαν στην αγορά και έχουν να επιδείξουν μεγάλη επιτυχία στην εφαρμογή τους εδώ και δεκαετίες. Είναι τα απλούστερα συστήματα από πλευράς εγκατάστασης και ο περιορισμός τους αφορά την εύρεση ικανών κοιτασμάτων νερού σε υπόγειους ταμιευτήρες. Σε περιπτώσεις που υπάρχει υπόγειος ταμιευτήρας και η ποσότητα του νερού είναι ικανή να καλύψει τις απαιτήσεις της αντλίας θερμότητας για την κάλυψη της συγκεκριμένης ανάγκης, τότε τα συστήματα αυτά αποτελούν μια απλή και οικονομική λύση.

Για την λειτουργία αυτών των συστημάτων αποτελούνται τουλάχιστον δύο γεωτρήσεις, η μία παραγωγική και η άλλη επανεισαγωγής. Η παραγωγική γεώτρηση είναι μια τυπική γεώτρηση για άντληση νερού, διαμέτρου συνήθως 12" με εσωτερική σωλήνωση 8" και φίλτρο από χαλίκι. Το βάθος της ποικίλει ανάλογα με το βάθος που θα βρεθεί η απαιτούμενη ποσότητα νερού. Για παράδειγμα, για μια εμπορική εφαρμογή 300 kW, η απαίτηση της αντλίας θερμότητας είναι για

50 m³ / h. Η γεώτρηση επανεισαγωγής πρέπει να γίνει τουλάχιστον 30 m μακριά από την παραγωγική αλλά πάντα σε σημείο που υπάρχει υδροφόρος ορίζοντας για να μπορέσει το νερό να απορροφηθεί.

Σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την απόδοση του συστήματος είναι:

- I. Η ποιότητα του υπόγειου νερού ώστε να μην δημιουργούνται διαβρώσεις ή φραξίματα στην υποβρύχια αντλία από σωματίδια στο νερό.
- II. Η ποιότητα της γεώτρησης και ειδικά ο τρόπος κατασκευής, η χαλίκωση γύρω από το φίλτρο και η σταθεροποίηση των διαφορετικών σχηματισμών του υπεδάφους.
- III. Ο σχεδιασμός των γεωτρήσεων όσον αφορά την απόσταση μεταξύ της γεώτρησης άντλησης και αυτής της επαναφοράς, η διάμετρος της γεώτρησης και της εσωτερικής σωλήνωσης και το βάθος που τοποθετούνται τα φίλτρα.



Σχήμα 2.7.3: Σύστημα με υδρογεώτρηση. [7]

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΦΡΑΧΤΗ.

Ο ενεργειακός φράχτης είναι ένα κλειστό κύκλωμα σωλήνων σε μορφή φράχτη οικοπέδου. Αποτελεί μία οικονομική λύση με αντλίες θερμότητας, ειδικά για εκσυγχρονισμό θέρμανσης όπου πρέπει εκ των υστέρων να τοποθετηθεί ένα σύστημα απορρόφησης ενέργειας. Χρησιμοποιεί την άμεση ακτινοβολία του ήλιου όπως ένας ηλιακός συλλέκτης.



Σχήμα 2.7.4: Σύστημα ενεργειακού φράχτη.[10]

ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΔΑΤΟΣΥΛΛΕΚΤΗ.

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται δύο πηγάδια. Από το πρώτο αντλείται το νερό και οδηγείται στην αντλία θερμότητας, όπου αφού παραληφθεί η ενέργεια διοχετεύεται πίσω στον υδροφόρο ορίζοντα μέσω του δεύτερου πηγαδιού. Είναι ιδανική λύση σε περίπτωση ύπαρξης υπόγειων νερών.



Σχήμα 2.7.5: Σύστημα υδατοσυλλέκτη.[10]

ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΥΚΤΙΑ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ.

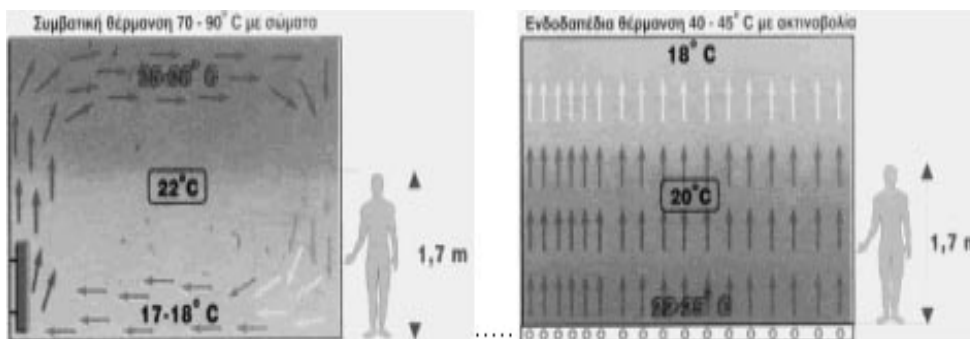
Τα χρησιμοποιούμε για να θερμάνουμε ή να ψύξουμε τον χώρο μας. Το δίκτυο αυτό μπορεί να είναι **επιδαπέδιο**, **ενδοδαπέδιο**, **ενδοτοιχίο** ή δίκτυο με **Fan coils**.

Ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης.

Η ποιότητα της θέρμανσης αυτής είναι ασύγκριτα ανώτερη από οποιοδήποτε άλλο σύστημα διανομής καθώς είναι ομαλή και ομοιόμορφη χωρίς την ύπαρξη ψυχρών ή θερμών σημείων στο χώρο. Η απουσία θερμαντικών σωμάτων ή άλλων μηχανισμών από τους χώρους, συμβάλει στην εξοικονόμηση χώρου και την βελτίωση της αισθητικής του χώρου.

Θα έχουμε αποδοτικότερη ψύξη καθώς η ψύξη μεταδίδεται πιο αποδοτικά από πάνω προς τα κάτω αντίθετα με την θέρμανση.

Η μεγάλη θερμική αδράνεια που αποκτά το κτίριο με αποτέλεσμα να μην κρύνει το κτίριο ακόμα και σε μια μακροχρόνια διακοπή ρεύματος.



Σχήμα 2.7.6: Σύγκριση συμβατικής και ενδοδαπέδιας θέρμανσης.[2]

Επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης.

Το επιδαπέδιο σύστημα αποτελείται από ένα δίκτυο σωληνώσεων που τοποθετούνται κάτω από το δάπεδο αλλά πάνω από το μπετό της πλάκας.

Η θέρμανση αυτού του συστήματος διανομής είναι ομαλή και ομοιόμορφη χωρίς την ύπαρξη θερμών ή ψυχρών σημείων στο χώρο. Η απουσία θερμαντικών σωμάτων ή άλλων μηχανισμών από τους χώρους, συμβάλει στην εξοικονόμηση χώρου και την βελτίωση της αισθητικής του χώρου.

Σήμερα δεν υπάρχει κανένας λόγος ανησυχίας για αυτά τα συστήματα καθώς:

- Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται είναι κατασκευασμένες ειδικά για αυτό το σκοπό και παρέχονται με 30 χρόνια εγγύηση.
- Ακόμα και αν παρουσιαστεί κάποια διαρροή μπορεί να εντοπιστεί ο χαλασμένος σωλήνας και να απομονωθεί, χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία του συστήματος.
- Τέλος μπορεί να υπάρξει πρόβλεψη για τη μετάβαση του συστήματος σε fan coils.

Ενδοτοιχίο σύστημα θέρμανσης.

Το σύστημα της ενδοτοιχίας θέρμανσης αποτελείται από σωλήνες που ενσωματώνονται μέσα στους τοίχους κατά το κτίσιμο του τοίχου.

- Η θέρμανση αυτού του συστήματος διανομής είναι ομαλή και ομοιόμορφη χωρίς την ύπαρξη θερμών ή ψυχρών σημείων στο χώρο.
- Ικανοποιεί 100% τις ανάγκες και κατά την ψύξη του χώρου.
- Η απουσία θερμαντικών σωμάτων ή άλλων μηχανισμών από τους χώρους, συμβάλει στην εξοικονόμηση χώρου και την βελτίωση της αισθητικής του χώρου.

Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

Το σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (Fan coils) είναι ένα σύστημα από αεραγωγούς που μεταφέρει την θερμότητα ή την ψύξη στους διάφορους χώρους.

Τα σύστημα έχουν:

- Μικρότερο κόστος.
- Αποτελεσματικότητα δηλαδή ικανοποιεί τις απαιτήσεις του χρήστη.

3. ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΛΟΙΠΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.

3.1 . Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας. [5]

Τι είναι η "Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας";

Πρακτικά δεν είναι τίποτε άλλο από μια μηχανή που μπορεί να μεταφέρει τη θερμότητα από τον ψυχρό χώρο στον θερμό, ή στη γλώσσα των μηχανικών, από τη "θερμή δεξαμενή" στην "ψυχρή δεξαμενή". Ακριβώς την ίδια δουλειά εκτελεί το οικιακό ψυγείο και το κλιματιστικό μηχάνημα που απαντάται στα σπίτια και στα γραφεία. Μια διαφορά που έχει το ψυγείο με το κλιματιστικό είναι το ότι στο δεύτερο μπορεί να οριστεί από το χρήστη η θερμή και ψυχρή δεξαμενή. Το καλοκαίρι ορίζουμε θερμή δεξαμενή το περιβάλλον και ψυχρή τον εσωτερικό χώρο (επιλέγοντας λειτουργία ψύξης) και το μηχάνημα αποβάλλει στο περιβάλλον τη θερμότητα του σπιτιού.

Το χειμώνα ορίζουμε θερμή δεξαμενή τον εσωτερικό χώρο και ψυχρή το περιβάλλον (επιλέγοντας λειτουργία θέρμανσης) και το μηχάνημα αποβάλλει τη θερμότητα που υπάρχει στο περιβάλλον μέσα στο σπίτι.

Αρχές Λειτουργίας

Η Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (Geothermal Heat Pump ή για συντομία GHP) αντί να χρησιμοποιεί τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος για να αποβάλλει (καλοκαίρι) ή να αντλήσει (χειμώνας) θερμότητα, χρησιμοποιεί τη θερμότητα που περικλείουν τα υπόγεια νερά, τα νερά των λιμνών και της θάλασσας, ή ακόμα και τη θερμότητα που περικλείει το χώμα. Έχει επαληθευτεί το γεγονός ότι λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους η θερμοκρασία είναι σχεδόν σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η GHP

χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο σωληνώσεων, όπου κυκλοφορεί νερό, κατάλληλα τοποθετημένων ανταλλάζει θερμότητα με το έδαφος ή με τη θάλασσα αναλόγως την εγκατάσταση.

Σύγκριση με συμβατικά συστήματα:

Μπορεί να κάνει κάποιος τη σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα κλιματισμού με αερόψυκτες εξωτερικές μονάδες όπως πχ τα πολύ γνωστά σε όλους μας κλιματιστικά μηχανήματα διαιρούμενου τύπου, οι εξωτερικές μονάδες των οποίων είναι εμφανείς στα μπαλκόνια των διαμερισμάτων ή στα δώματα των κτιρίων. Όλοι όσοι τα έχουν χρησιμοποιήσει το καλοκαίρι κατά τη διάρκεια μιας πολύ ζεστής μέρας (35 ή και 40 °C), γνωρίζουν τη δραματική πτώση της απόδοσής τους και την αδυναμία τους να δροσίσουν ικανοποιητικά το χώρο. Αυτό συμβαίνει γιατί η συσκευή καλείται να αποβάλει θερμότητα σε ένα περιβάλλον ήδη κορεσμένο από θερμικό φορτίο και καταβάλλει μια μάταιη προσπάθεια καταναλώνοντας υπερβολικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας.

Αν όμως η κλιματιστική συσκευή απέβαλε τη θερμότητα σε ένα ψυχρότερο περιβάλλον, όπως αυτό του εσωτερικού του εδάφους, όπου ακόμη και στις θερμότερες μέρες του καλοκαιριού η θερμοκρασία δεν ξεπερνάει τους 20 °C, τότε η απόδοσή της θα ήταν πάρα πολύ μεγάλη και η οικονομία σε ηλεκτρική ενέργεια τεράστια. Σε αυτή την αρχή της θερμοδυναμικής βασίζεται η χρήση των γεωθερμικών εναλλακτών, που κατά μια έννοια "μεταφέρουν", με τη βοήθεια της αντλίας θερμότητας, τους 200 °C του εδάφους μέσα στο κτίριο, καταναλώνοντας έτσι την ελάχιστη δυνατή ηλεκτρική ενέργεια. Κατ' ανάλογο τρόπο, το χειμώνα, το γεωθερμικό σύστημα καλείται να ανυψώσει τους 15-17 °C του εδάφους μέχρι τους 20-220 °C για να ζεστάνει το εσωτερικό του κτιρίου. Η οικονομία και εδώ είναι τεράστια σε σχέση με μία συμβατική αντλία

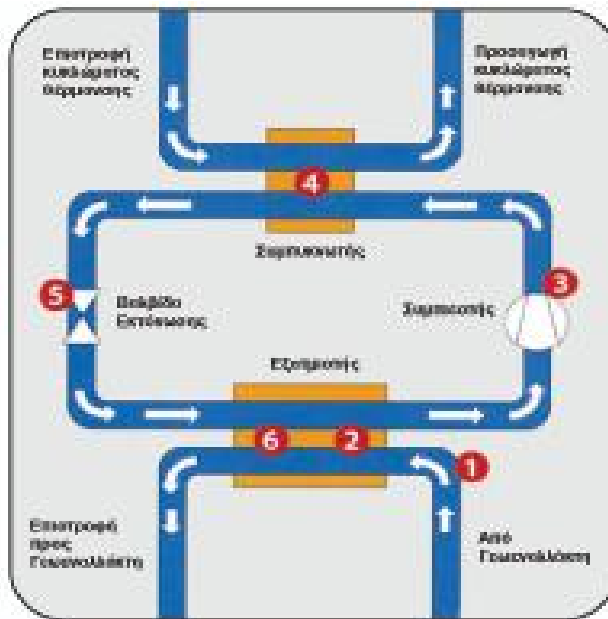
θερμότητας αέρα. Να σημειωθεί ότι τα συμβατικά κλιματιστικά μηχανήματα αδυνατούν σχεδόν να ζεστάνουν το χώρο σε θερμοκρασίες κάτω των 0 °C.



Σχήμα 3.1.1: Οριζόντιο γεωθερμικό σύστημα με ενδοδαπέδια θέρμανση. [7]

3.2 Τρόπος λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας. [10]

1. Το διάλυμα νερού με αντιψυκτικό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα γεωεναλλάκτη παίρνει την ενέργεια από το έδαφος, τα υπόγεια νερά ή τον αέρα.
2. Στον **εξατμιστή**, η ενέργεια μεταδίδεται σε ένα οικολογικό ψυκτικό μέσο με χαμηλό σημείο βρασμού, το οποίο μετατρέπεται σε αέριο για να κυκλοφορήσει σε ένα κλειστό κύκλωμα.
3. Στο **συμπιεστή**, αυξάνεται η πίεση του ψυκτικού μέσου, καθώς και θερμοκρασία του που φθάνει σε επίπεδο κατάλληλο για θέρμανση.

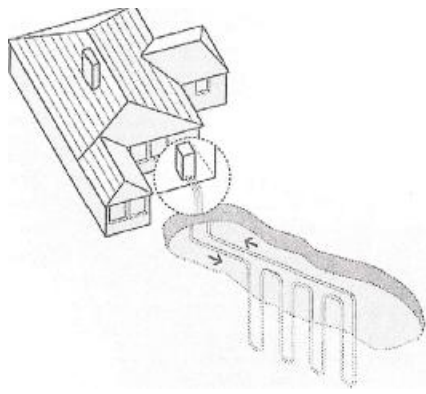


Σχήμα 3.2.1: Τρόπος λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας.[10]

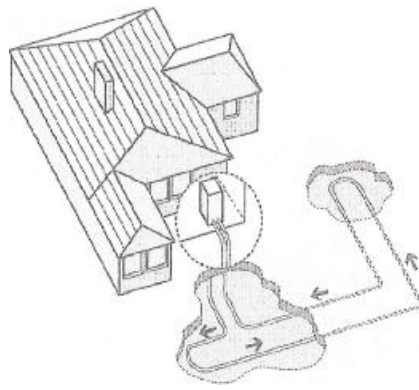
4. Στο **συμπυκνωτή**, η θερμότητα από το ψυκτικό μέσο αποδίδεται στο κύκλωμα θέρμανσης της κατοικίας.
5. Η πίεση του ψυκτικού μέσου εκτονώνεται στη **βαλβίδα εκτόνωσης**.
6. Το ψυκτικό μέσο ρέει πάλι προς τον **εξατμιστή** και η διεργασία επαναλαμβάνεται.

3.3 Συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (ΓΑΘ).[13]

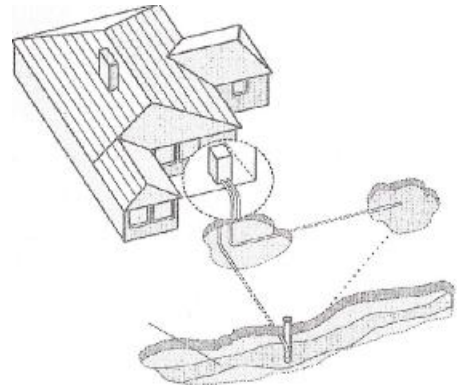
- Σύστημα θέρμανσης – ψύξης / δροσισμού (fan coils, ενδοδαπέδια κ. τ. λ.).
- Αντλία θερμότητας.
- Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Θερμότητας (ΓΕΘ).



(α)

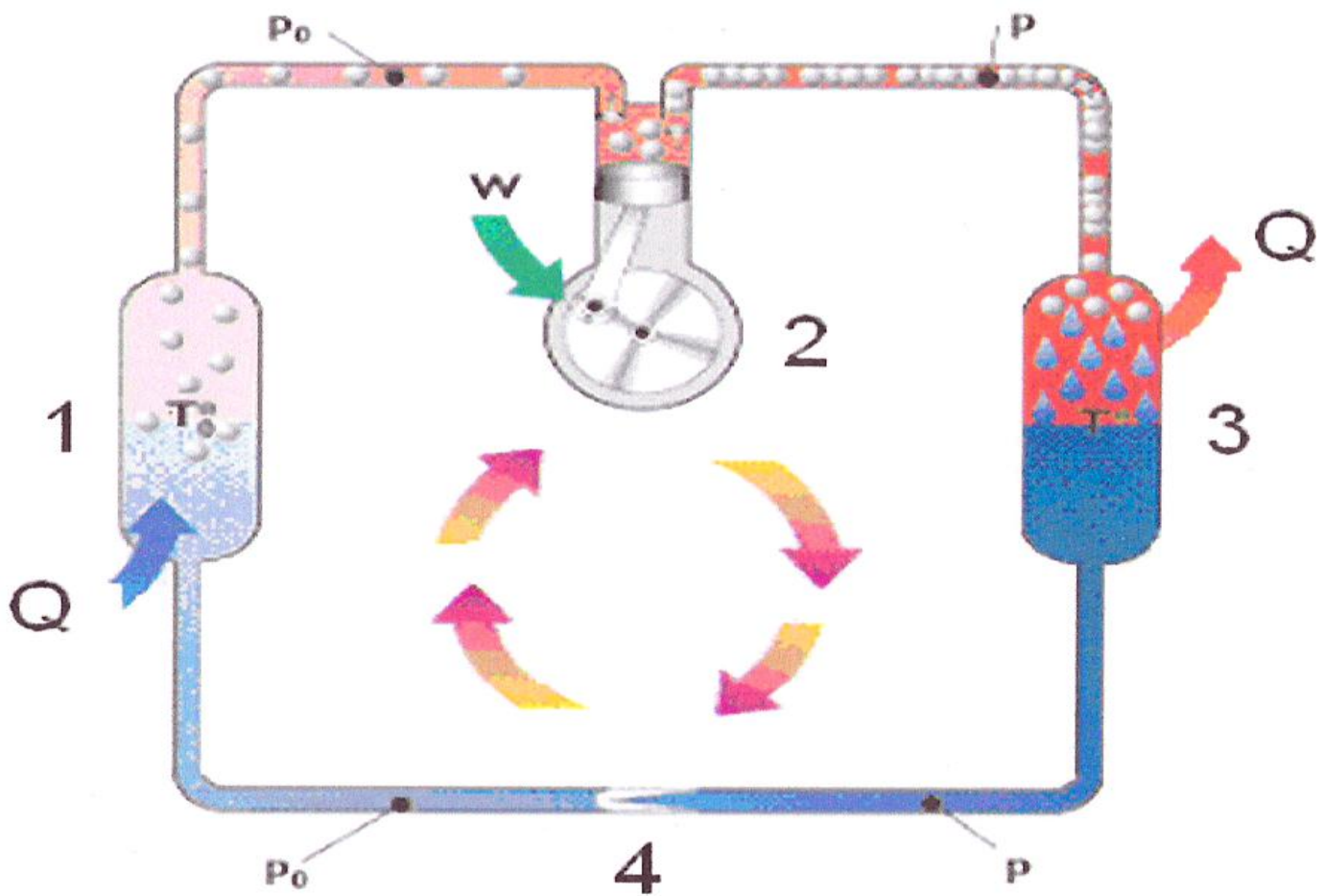


(β)



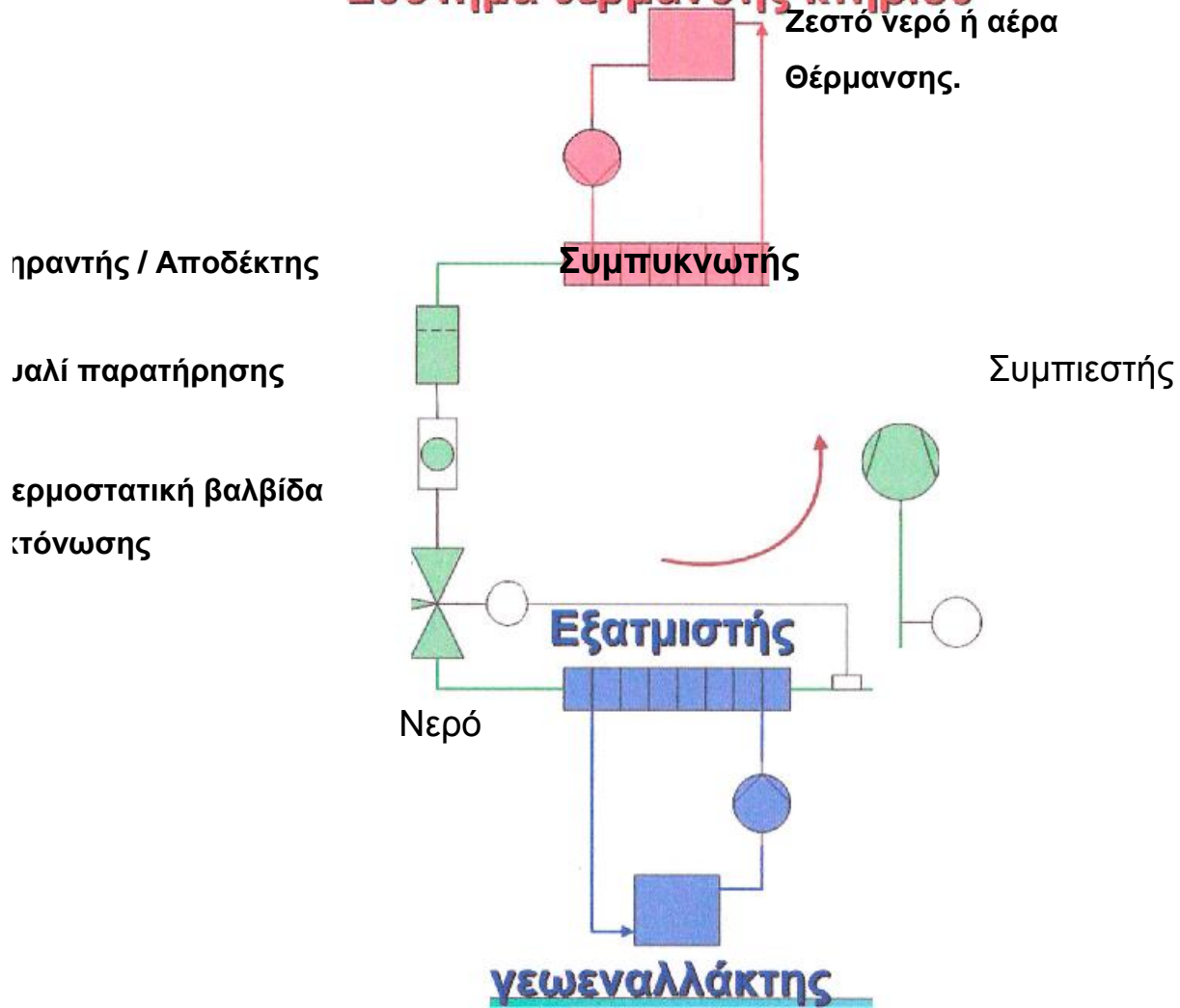
(γ)

Σχήμα 3.3.1: Γεωθερμικά συστήματα: α) Κατακόρυφη διάταξη, β) Άντληση από λίμνη, Υδρογεώτρηση [13]



Σχήμα 3.3.2: Αρχή λειτουργίας αντλίας θερμότητας

Σύστημα θέρμανσης κτηρίου



Σχήμα 3.3.3: Αρχή λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

3.4 Εξοπλισμός ΓΑΘ. [15]

3.4.1 Είδη Συμπιεστών :

Παλινδρομικοί



Σπειροειδείς



Κοχλιωτοί



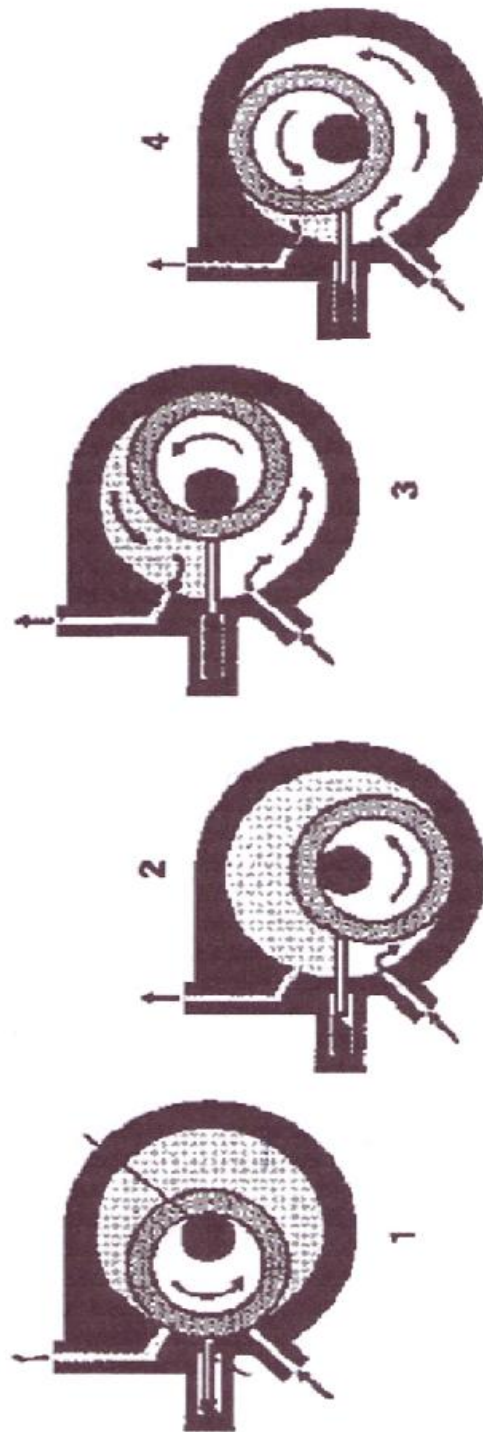
Φυγοκεντρικοί



Εικόνα 3.1: Παλινδρομικοί, σπειροειδείς, κοχλιωτοί, φυγοκεντρικοί συμπιεστές

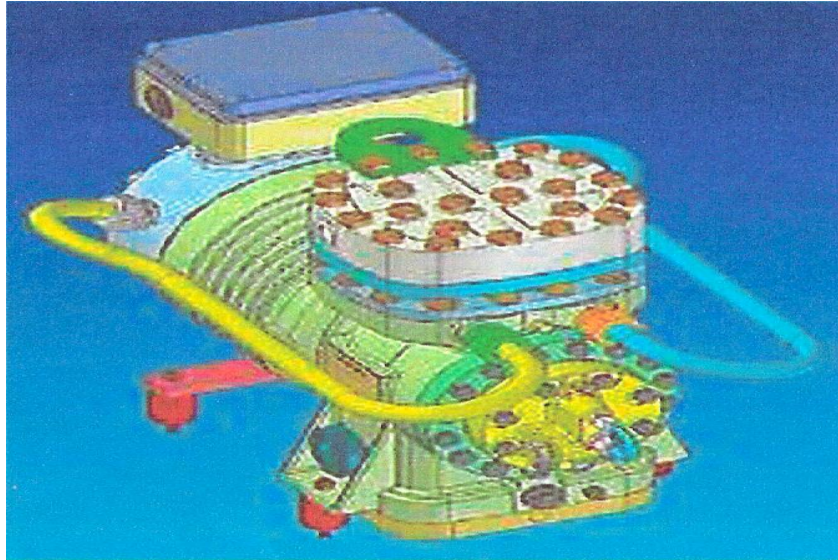
A) Περιστροφικοί Συμπιεστές.

Φάσεις λειτουργίας
περιστροφικού συμπιεστή:

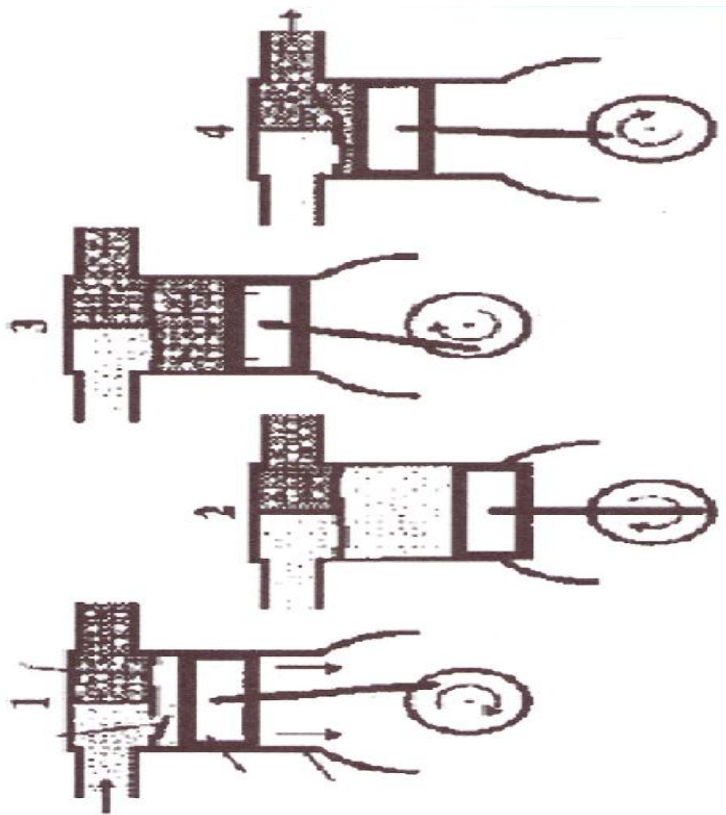


Εικόνα 3.2: Περιστροφικοί συμπιεστές

B) Παλινδρομικοί Συμπιεστές.



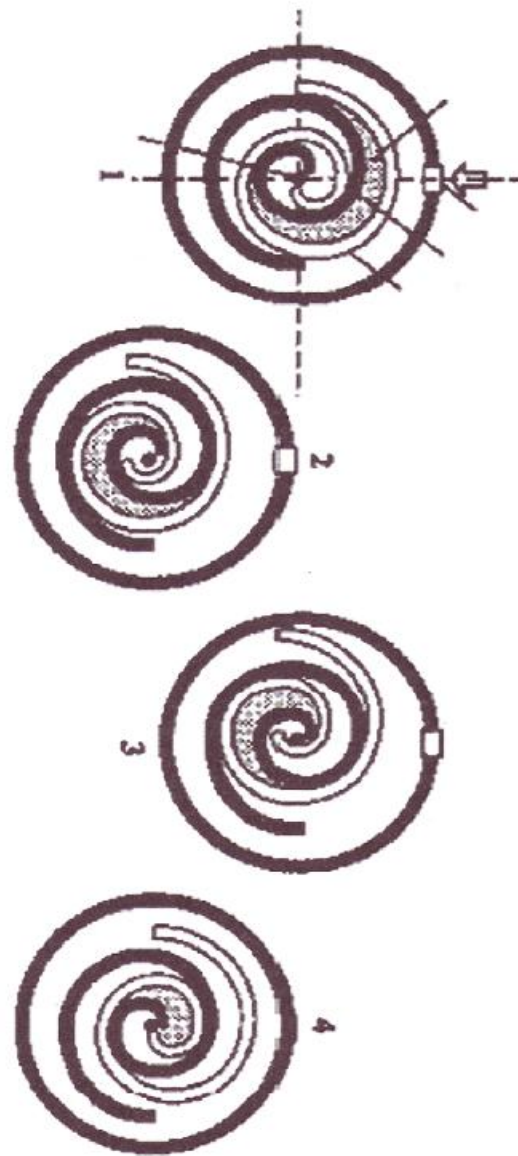
Εικόνα 3.3: Παλινδρομικοί συμπιεστές



Σχήμα 3.4.1.1: Φάσεις λειτουργίας παλινδρομικού συμπιεστή

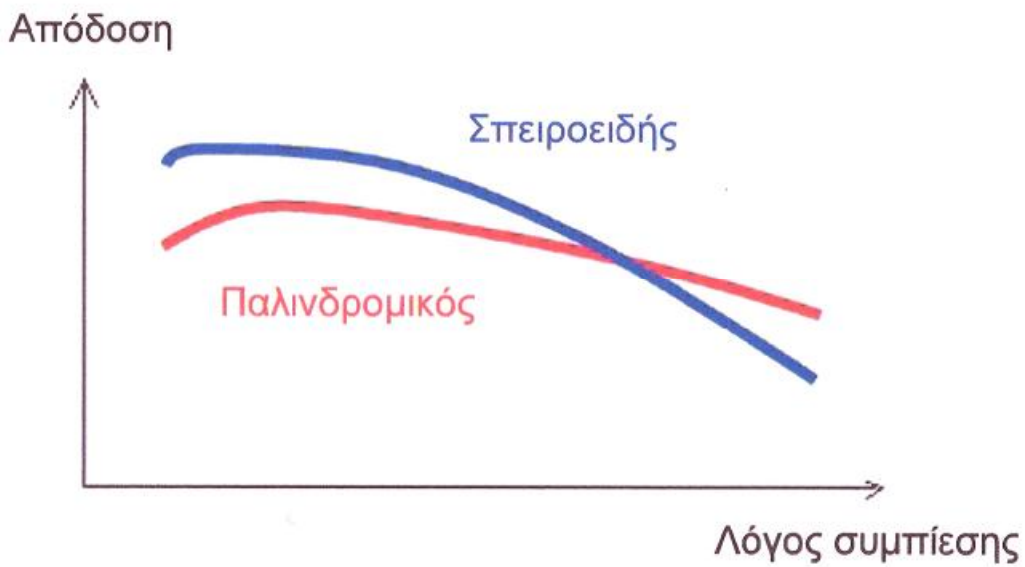
Γ) Σπειροειδείς Συμπιεστές.

Φάσεις λειτουργίας
σπειροειδή συμπιεστή:



Εικόνα 3.4: Σπειροειδείς συμπιεστές

Σύγκριση Σπειροειδών με Παλινδρομικούς Συμπιεστές.

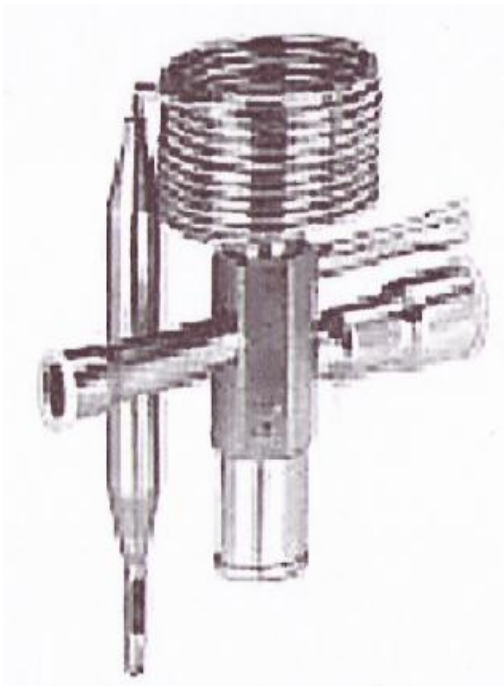


Διάγραμμα 3.1: Σύγκριση σπειροειδών με παλινδρομικούς συμπιεστές

Βαλβίδες εκτόνωσης:

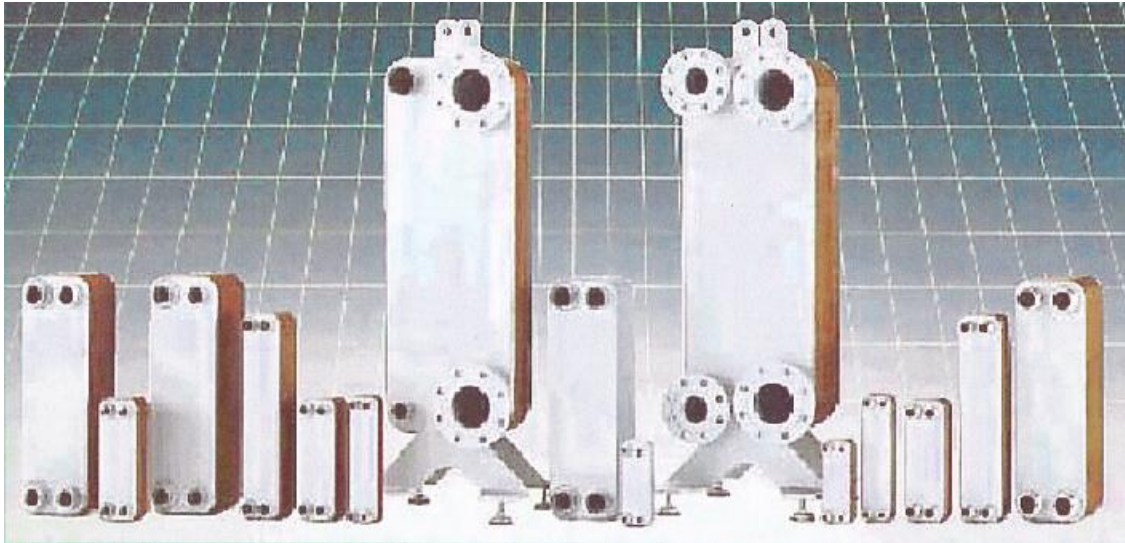
Θερμοστατική

Ηλεκτρονική



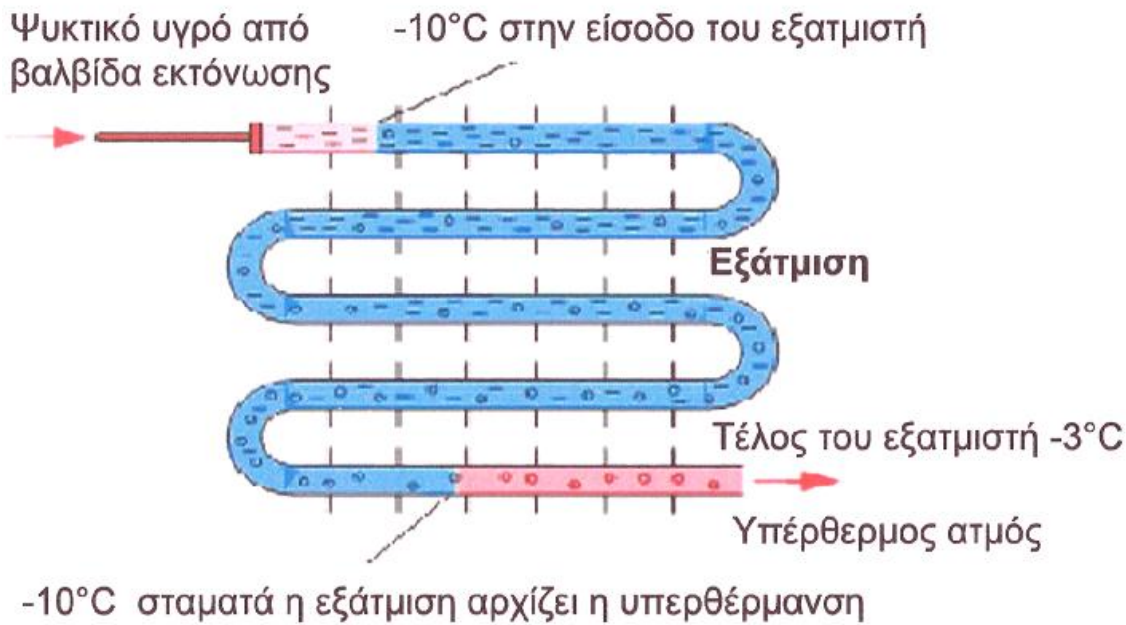
Εικόνα 3.5: Βαλβίδες εκτόνωσης

Πλακοειδείς Εναλλάκτες Θερμότητας.



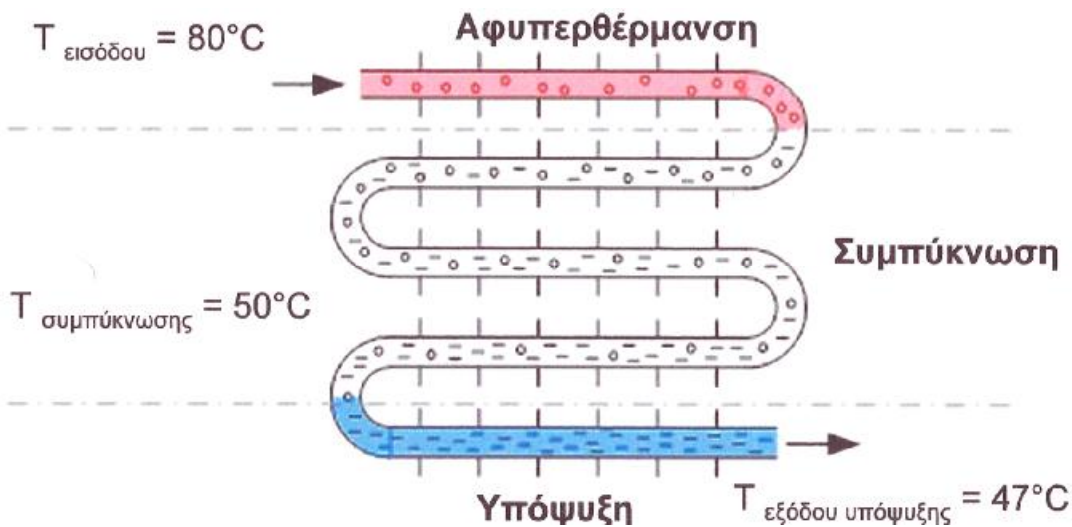
Εικόνα 3.6: Πλακοειδείς αναλλάκτες θερμότητας

Διεργασία εντός του Εξατμιστή.



Σχήμα 3.4.1.2: Διεργασία εντός του εξατμιστή

Διεργασία εντός του Συμπυκνωτή.



Σχήμα 3.4.1.3: Διεργασία εντός του συμπυκνωτή

Λοιπά στοιχεία και εξαρτήματα.

- Γυαλί παρατήρησης.
- Φίλτρο ψυκτικού ρευστού.
- Αποδέκτης ψυκτικού ρευστού.
- Πιεζοστατικές βαλβίδες.
- Λιπαντικό λάδι.

Ψυκτικά ρευστά.

Ø CFC / HCFC

R22

Ø HFC

R410A, R407c, R134a

Ø HC

R290, R600a

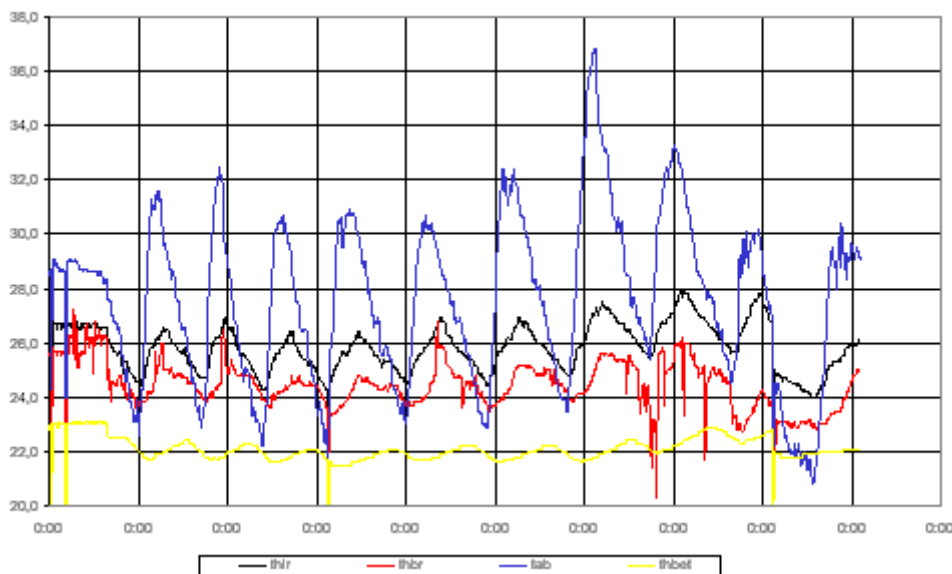
Ø NH₃, CO₂

3.4.2 Συχνές ερωτήσεις σχετικά με τα συστήματα ΓΑΘ. [6]

A) Υπάρχουν αποδείξεις για την απόδοση του κλιματισμού με χρήση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας;

Κατά την χρονική περίοδο από 10 / 7 / 2003 έως 21 / 7 / 2003 πραγματοποιήθηκε μελέτη στην οποία μετρήθηκε και καταγράφηκε η θερμοκρασία ανά χρονικά διαστήματα 10 λεπτών σε διάφορα σημεία σπιτιού στο οποίο είναι εγκατεστημένο σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης με αντλία θερμότητας. Τα αποτελέσματα αποτυπώθηκαν σε διάγραμμα που παρουσιάζει την μεταβολή των θερμοκρασιών (εξωτερική, μπετό, υπνοδωμάτιο,σαλόνι)και προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Παρατηρούμε καταρχήν ότι υπάρχει μια εμφανής διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στους εσωτερικούς χώρους και την εξωτερική θερμοκρασία που μας επιτρέπει να χαρακτηρίσουμε το σύστημα ψύξης ως αποδοτικό. Στο Διάγραμμα 3.2 φαίνεται χαρακτηριστικά πως ενώ η μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία φτάνει τους 37 °C η θερμοκρασία στο υπνοδωμάτιο και το σαλόνι την ίδια στιγμή είναι 27 °C και 25 °C αντίστοιχα, ενώ η θερμοκρασία μπετό είναι στους 23 °C. Βλέποντας την εσωτερική θερμοκρασία τόσο στο υπνοδωμάτιο όσο και στο σαλόνι για όλο το διάστημα των μετρήσεων να κυμαίνονται από 23 °C έως 26,8 °C και από 24,5 °C έως 27,8 °C αντίστοιχα καταλαβαίνουμε ότι το σύστημα μπορεί να πετύχει θερμοκρασίες που να ικανοποιούν απόλυτα τις ανάγκες του χρήστη σε όλη την διάρκεια του χρόνου.



Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασιών σε συνάρτηση με το χρόνο (εξωτερική θερμοκρασία, θερμοκρασία μπετό, δωματίου, σαλονιού)

Παρατηρώντας στο Διάγραμμα 3.2 την γραμμή που διαγράφει η εξωτερική θερμοκρασία και τις γραμμές των θερμοκρασιών των εσωτερικών χώρων βλέπουμε ότι σε κάθε μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας οι εσωτερικές θερμοκρασίες ανταποκρίνονται με καθυστέρηση της τάξης των 5 ωρών, πράγμα που σημαίνει ότι παρακολουθώντας την εξωτερική θερμοκρασία και ρυθμίζοντας το φορτίο μπορούμε να πετύχουμε σταθερή εσωτερική θερμοκρασία. Ακόμα περισσότερο εκμεταλλευόμενοι αυτό το χαρακτηριστικό της καθυστέρησης του συστήματος στην απόδοση της θερμότητας στους εσωτερικούς χώρους καταφέρνουμε ένα μεγάλο οικονομικό όφελος καθώς το σύστημα λειτουργεί την νύχτα καταναλώνοντας το απαραίτητο ηλεκτρικό ρεύμα με νυχτερινό μειωμένο τιμολόγιο και αποδίδοντας την επόμενη ημέρα την παραγόμενη ψυκτική ισχύ. Έτσι το ήδη μειωμένο κόστος λειτουργίας σε σχέση με άλλα συστήματα μειώνεται ακόμη περισσότερο.

B) Μπορώ να συνδυάσω το σύστημα ΓΑΘ με άλλα συστήματα θέρμανσης ψύξης;

ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΓΑΘ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Εγκαθιστώντας ένα σύστημα ΓΑΘ μπορείτε να αξιοποιήσετε και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η υδροηλεκτρική ή η ηλιακή ή η αιολική. Οι ΓΑΘ μπορούν να πολλαπλασιάσουν κάθε «υδροηλεκτρική» κιλοβατώρα για κάλυψη θερμικών ή ψυκτικών αναγκών εύκολα και οικονομικά καθώς το κόστος ενός γεωθερμικού εναλλάκτη ανοικτού κυκλώματος είναι σχεδόν μηδενικό στις συγκεκριμένες εφαρμογές.

Η διαστασιολόγηση ενός γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού κυκλώματος γίνεται βάσει των ετήσιων ενεργειακών αναγκών, αν εγκατασταθούν και ηλιακοί συλλέκτες το μέγεθός του μπορεί να ελαττωθεί και επιπλέον θα μειωθεί το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης είτε με την άμεση θέρμανση του κτιρίου όταν υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια είτε με την αύξηση της αποδοτικότητας της ΓΑΘ με την προσαγωγή θερμότερου νερού σε αυτή.

Γ) Θα έχω και ζεστό νερό για χρήση;

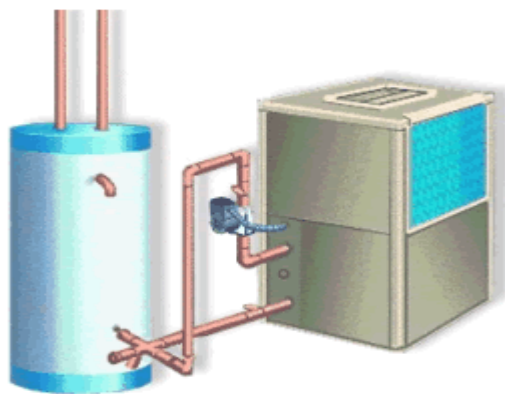
ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ

Για εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί το σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για παροχή ζεστού νερού προς χρήση. Το ζέσταμα του νερού μπορεί να παραχθεί πολύ πιο αποτελεσματικά με την τεχνολογία εξάτμισης συμπίεσης παρά με συστήματα ηλεκτρικών αντιστάσεων ή με συστήματα παραγωγής ζεστού

νερού με καυστήρα.

Το ζεστό νερό χρήσης παράγεται δωρεάν κατά την θερινή περίοδο αφού αποτελεί παραπροϊόν της διαδικασίας ψύξης. Κατά την χειμερινή περίοδο το ζεστό νερό που μπορεί να παραχθεί από τις ΓΑΘ είναι πολύ πιο οικονομικό από οποιοδήποτε άλλο σύστημα

Για να εξασφαλίσετε το ζεστό νερό χρήσης του κτιρίου απαιτείται να εγκατασταθεί ένα Boiler και να συνδεθεί μέσω ενός ξεχωριστού συστήματος.



Σχήμα 3.4.2.1: Σύνδεση ΓΑΘ με boiler για παραγωγή ζεστού νερού. [6]

3.4.3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας «ERGON». [10]



Σχήμα 3.4.3.1: HAUTEC: ΓΑΘ Υψηλής Τεχνολογίας [10]

Με στόχο πάντα την τελειότητα των συστημάτων της, η ERGON, συνεργάζεται με τον κορυφαίο Γερμανικό Οίκο HAUTEC, πρωτοπόρο στο χώρο από το 1978, από τον οποίο και προμηθεύεται Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας με τα εξής προηγμένα πλεονεκτήματα:

- Ø **Υψηλός Βαθμός Απόδοσης** λόγω της υψηλής ποιότητας υλικών και Τεχνολογίας HAUTEC.
- Ø **Αθόρυβη Λειτουργία** λόγω του ηχομονωτικού περιβλήματος της Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας.
- Ø **Τηλεχειρισμός** του πίνακα λειτουργιών και ελέγχου HAUTEC με ασύρματο ψηφιακό τηλεχειριστήριο.
- Ø **Έλεγχος και Συντήρηση μέσω Internet**. Ο κάτοικος ή το εξουσιοδοτημένο συνεργείο μπορεί ανά πάσα στιγμή να επιτηρήσει το σύστημα θέρμανσης από οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη.
- Ø Συσκευές βραβευμένες με Σφραγίδα Έγκρισης Ποιότητας «**DACH**».



Σχήμα 3.4.3.2.: Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (Κομοτηνή). [11]

ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΥΠΟΙ ΛΕΒΗΤΩΝ. [10]

Ανοιχτού κυκλώματος.



Σειρές Carno HCW - PN και HCW - EC

Αντλίες Θερμότητας Ανοιχτού Κυκλώματος για θερμικές και ψυκτικές ανάγκες
5,9 – 33,3 Kw.



Σειρές HWW - PN και HWW - EC

Αντλίες Θερμότητας Ανοιχτού Κυκλώματος για θερμικές και ψυκτικές ανάγκες
40,3 – 352 kW.

Κλειστού κυκλώματος.



Σειρά HWS - PN

Αντλίες Θερμότητας Κλειστού Κυκλώματος για θερμικές και ψυκτικές ανάγκες
26,9 – 276 kW.



Σειρά Carno HCS - PN

Αντλίες Θερμότητας Κλειστού Κυκλώματος για θερμικές και ψυκτικές ανάγκες
4,6 – 26 kW.



HWBL

Αντλία θερμότητας ζεστού νερού χρήσης και μπόϊλερ με πηγή θερμότητας τον αέρα δωματίου.



HWBW - K

Αντλία Θερμότητας ζεστού νερού χρήσης και μπόϊλερ, με πηγή θερμότητας το νερό επιστροφής της ενδοδαπέδιας θέρμανσης & ψύξης.



Σειρές Compact HKS- PN και HKW - PN

Θέρμανση – ψύξη και ζεστό νερό χρήσης, όλα σε μία συσκευή.



Τομή αντλίας θερμότητας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1:Τεχνικά χαρακτηριστικά ΓΑΘ – «ERGON» [10]

Μοντέλο →		17Z	19Z	110Z	113Z	115Z	121Z	126Z	130Z	140Z	240Z	245Z	255Z	265Z	280Z	290Z	
Απόδοση στην Ψύξη *(1)	KW	6,8	8,4	9,8	12,6	14,7	21,2	25,5	30,2	38,7	36,7	43,6	53,0	61,5	75,5	86,8	
Απόδοση στη Θέρμανση *(2)	KW	8,4	10,3	11,8	14,9	17,9	26,1	30,9	36,5	46,5	43,9	53,2	63,7	73,9	91,5	114,0	
Αριθμός Συμπιεστών		1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	
Ισχύς στους Συμπιεστές	KW	1,6	1,9	2,1	2,6	3,2	4,9	5,6	6,4	7,9	7,7	9,6	11	12,7	15,9	28,3	
Ηλεκτρική Αντίσταση Λαδιού	W	70	70	70	70	70	70	70	70	70	140	140	140	140	140	140	
Παροχή Νερού στον Συμπυκνωτή	m ³ /h	1,4	1,8	2,0	2,6	3,1	4,5	5,3	6,3	8,0	7,6	9,2	11,0	12,7	15,7	19,6	
Παροχή Νερού στον Εξατμιστή	m ³ /h	1,2	1,4	1,7	2,2	2,5	3,6	4,4	5,2	6,7	6,3	7,5	9,1	10,6	13,0	14,9	
Ηλεκτρική Παροχή		230V/1ph/50Hz							400V/3ph+n/50Hz								
COP *(3)		5,1	5,3	5,8	5,9	5,6	5,3	5,5	5,7	5,9	7,6	7,4	7,7	7,8	7,6	6,9	
ESEER *(4)		5,0	5,2	5,5	5,7	5,4	5,2	5,4	5,6	5,8	7,6	7,4	7,7	7,7	7,6	6,8	
Στάθμη Θορύβου *(5)	dB(A)	31	32	34	37	37	37	37	38	38	40	40	42	42	43	45	
Διαστάσεις	Πλάτος	mm	450	450	450	450	600	600	600	600	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
	Μήκος	mm	550	550	550	550	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
	Ύψος	mm	830	830	830	830	830	1240	1240	1240	1240	1440	1440	1440	1440	1440	
Βάρος	kg	66	71	76	98	108	260	273	325	350	392	408	448	488	540	632	

*(1) Θερμοκρασίες Εξατμιστή 12°C / 7°C, Συμπυκνωτή 30°C / 35°C

*(4) Σύμφωνα με UNI/EN 10963

*(2) Θερμοκρασίες Εξατμιστή 15°C / 10°C, Συμπυκνωτή 40°C / 45°C

*(5) Υπολογισμός σύμφωνα με ISO 3744 στα 5 μέτρα απόσταση

*(3) Σύμφωνα με ARI standard 550/590

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Για μεγαλύτερες Αντλίες Θερμότητας μέχρι 1,6 MW απευθυνθείτε στην KLT



Σχήμα 3.4.3.3: Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (GHP). [11]



Σχήμα 3.4.3.4: Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (Χαλκιδική). [11]

4. ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ & ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.

4.1 Γενικά στοιχεία μελέτης γεωθερμικού συστήματος. [13]

Εκτίμηση θερμικού φορτίου κτιρίου.

- Υπερεκτίμηση φορτίου (λόγω κακής εκτίμησης ή λόγω σκοπιμότητας) και ακόλουθη υπερδιαστασιολόγηση της A/Θ έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος εγκατάστασης και αγοράς, υψηλότερο κόστος συντήρησης, μείωση της διάρκειας ζωής της A/Θ καθώς και αυξημένους ρύπους.
- Το θερμικό φορτίο υπολογίζεται με βάση τη θερμοκρασία σχεδιασμού των ελληνικών πόλεων που αναφέρεται στη σχετική οδηγία της ΤΟΤΕΕ 2425 / 86.

Εξωτερικές θερμοκρασίες βάση TOTEE 2425 / 86. [13]

Πίνακας 4.1: Εξωτερικές θερμοκρασίες πόλεων.

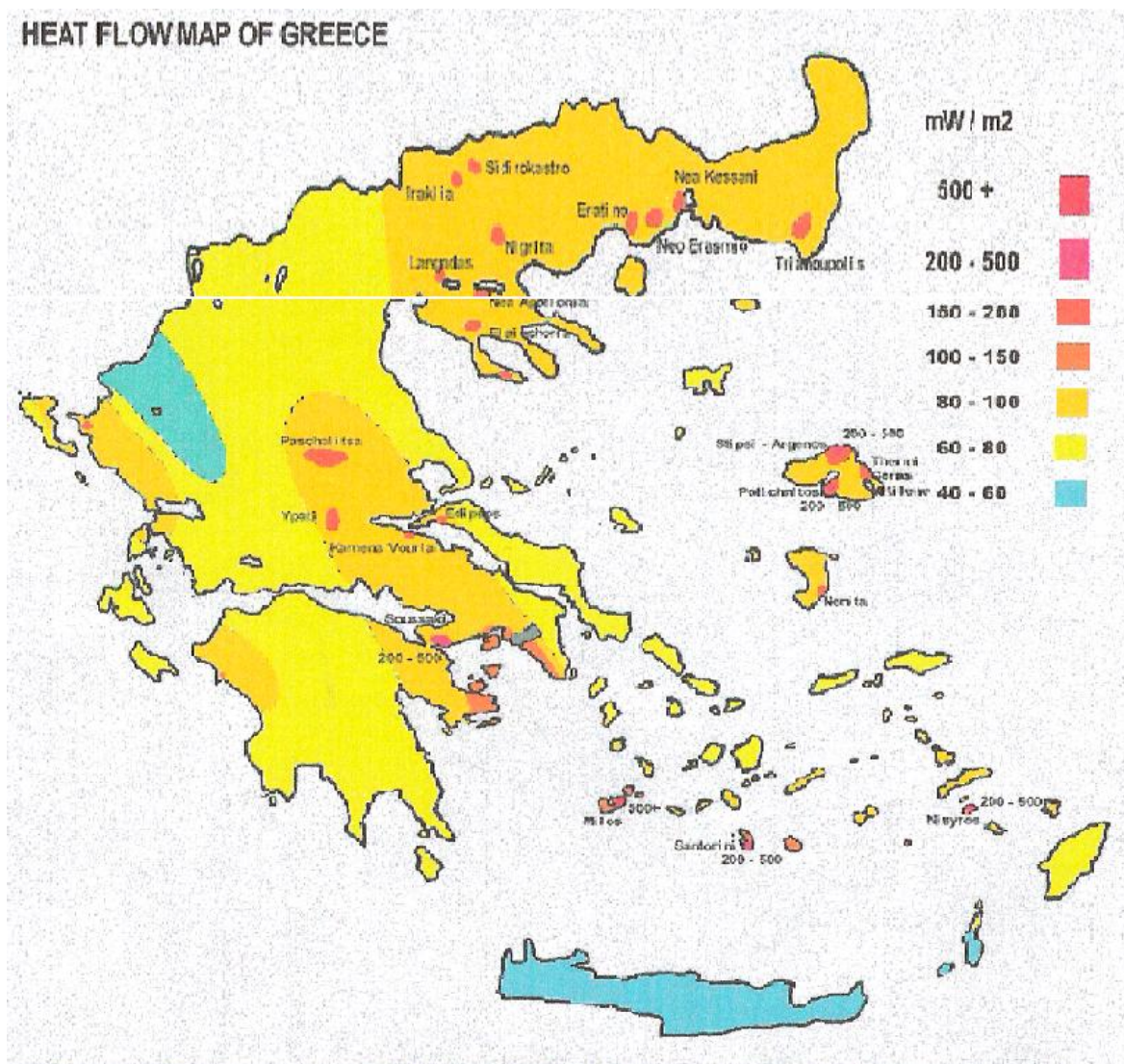
15,0 14-Ιουλ-99		Καλοκαίρι	Χειμώνας
α/α	Πόλη με Σταθμό Μετρήσεων	toa_max	toa_min
1	Αγρίνιο	35,5	-3
2	Αθήνα [Αστερ/πειό	36,0	1
3	Αθήνα [Ελληνικό]	34,5	0
4	Αθήνα [Ν. Φιλ./φεια]	36,5	-2
5	Αθήνα [Τατόϊ]	35,5	-3
6	Αλεξανδρούπολη	33,5	-7
7	Αργοστόλι	31,5	2
8	Βόλος [Αγχιάλος]	34,0	-4
9	Ελευσίνα	36,0	-1
10	Ζάκυνθος	33,0	4
11	Ηράκλειο	32,5	4
12	Θεσσαλονίκη [Παν/μιο]	35,0	-7
13	Θεσσαλονίκη [Μίκρα]	34,5	-6
14	Ιεράπετρα	35,0	3
15	Ιωάννινα	31,0	-6
16	Καλαμάτα	34,5	0
17	Κέρκυρα	33,5	-1
18	Κοζάνη	33,5	-10
19	Κομοτηνή	33,5	-6

20	Κορινθος	33,5	0
21	Λαμία	36,0	-1
22	Λάρισα	37,0	-7
23	Λήμνος	31,0	-1
24	Μυτιλήνη	33,0	0
25	Νάξος	29,5	4
26	Πάτρα [Αραξος]	34,5	-1
27	Πειραιάς	33,5	2
28	Πύργος [Ανδραβίδα]	34,0	-1
29	Ρόδος	34,0	2
30	Σάμος	33,0	2
31	Σέρρες	34,5	-8
32	Σκύρος	30,5	2
33	Τανάγρα	36,0	-4
34	Τρίπολη	34,0	-5
35	Φλώρινα	33,0	-12
36	Χανιά [Σούδα]	35,0	4

Χάρτες θερμών πηγών & γεωθερμικών πεδίων στην Ελλάδα. [13]



Εικόνα 4.1: Χάρτες θερμών πηγών και γεωθερμικών πεδίων στην Ελλάδα

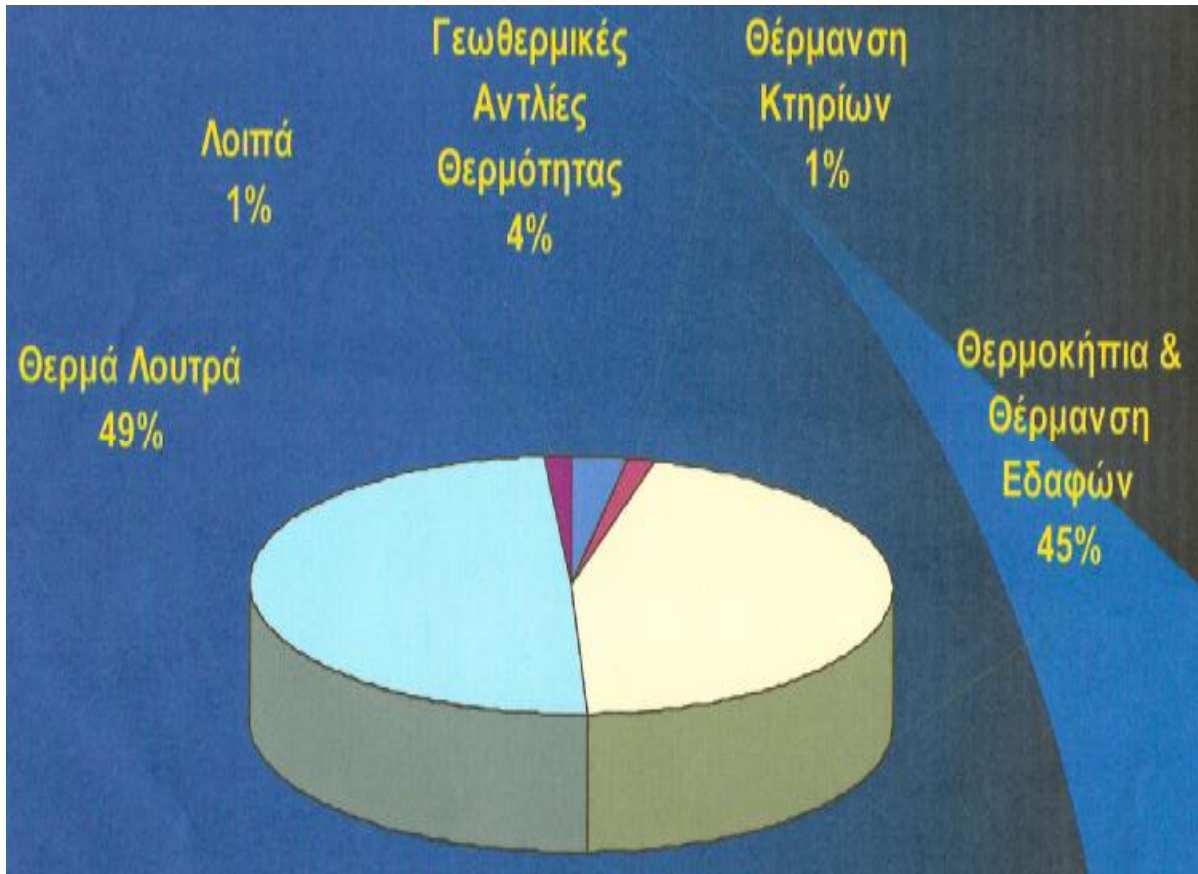


Εικόνα 4.2: Χάρτες θερμικών πηγών και γεωθερμικών πεδίων στην Ελλάδα

Μέση θερμοκρασία υπεδάφους στα 8m στην Ελλάδα:

Βόρεια Ελλάδα	12 – 14 °C.
Κεντρική Ελλάδα	13 – 15 °C.
Νότια Ελλάδα	14 – 16 °C.
Νησιωτικές περιοχές	15 – 17 °C.
Ορεινές περιοχές	2 – 4 °C χαμηλότερα.

Εφαρμογές γεωθερμίας στην Ελλάδα – 2005: 78 MW.



Εικόνα 4.3: Εφαρμογές γεωθερμίας στην Ελλάδα -2005: 78MW

Θερμικό φορτίο με εμπειρικά στοιχεία. [14]

- Παλιά κτίρια χωρίς μόνωση: $> 50 \text{ kcal} / \text{m}^3 = 145 \text{ W} / \text{m}^2 = 500 \text{ BTU} / \text{m}^2$.
- Παλιά κτίρια με καλή μόνωση: $50 \text{ kcal} / \text{m}^3 = 145 \text{ W} / \text{m}^2 = 500 \text{ BTU} / \text{m}^2$.
- Καινούργια κτίρια με καλή μόνωση: $40 \text{ kcal} / \text{m}^3 = 100 \text{ W} / \text{m}^2 = 350 \text{ BTU} / \text{m}^2$.
- Κτίρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης: $25 \text{ kcal} / \text{m}^3 = 60 \text{ W} / \text{m}^2 = 200 \text{ BTU} / \text{m}^2$.

** Εκτός από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου , το θερμικό και ψυκτικό φορτίο ενός κτιρίου σχετίζεται άμεσα με τη γεωγραφική θέση (εξωτερική θερμοκρασία), την τοποθεσία, ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής, ηλιασμό του κτιρίου κ.α.

Υπολογισμός θερμικού φορτίου βάση ενεργειακών καταναλώσεων του έτους. [14]

Η ετήσια θερμική κατανάλωση προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$Q_{\text{ET}} = 24 * Q_{\text{TOT}} * G * K * \lambda / \Delta T \text{ (kcal)}$$

Όπου:

Q_{TOT} : συνολικές απώλειες θερμότητας κτιρίου (kcal / h).

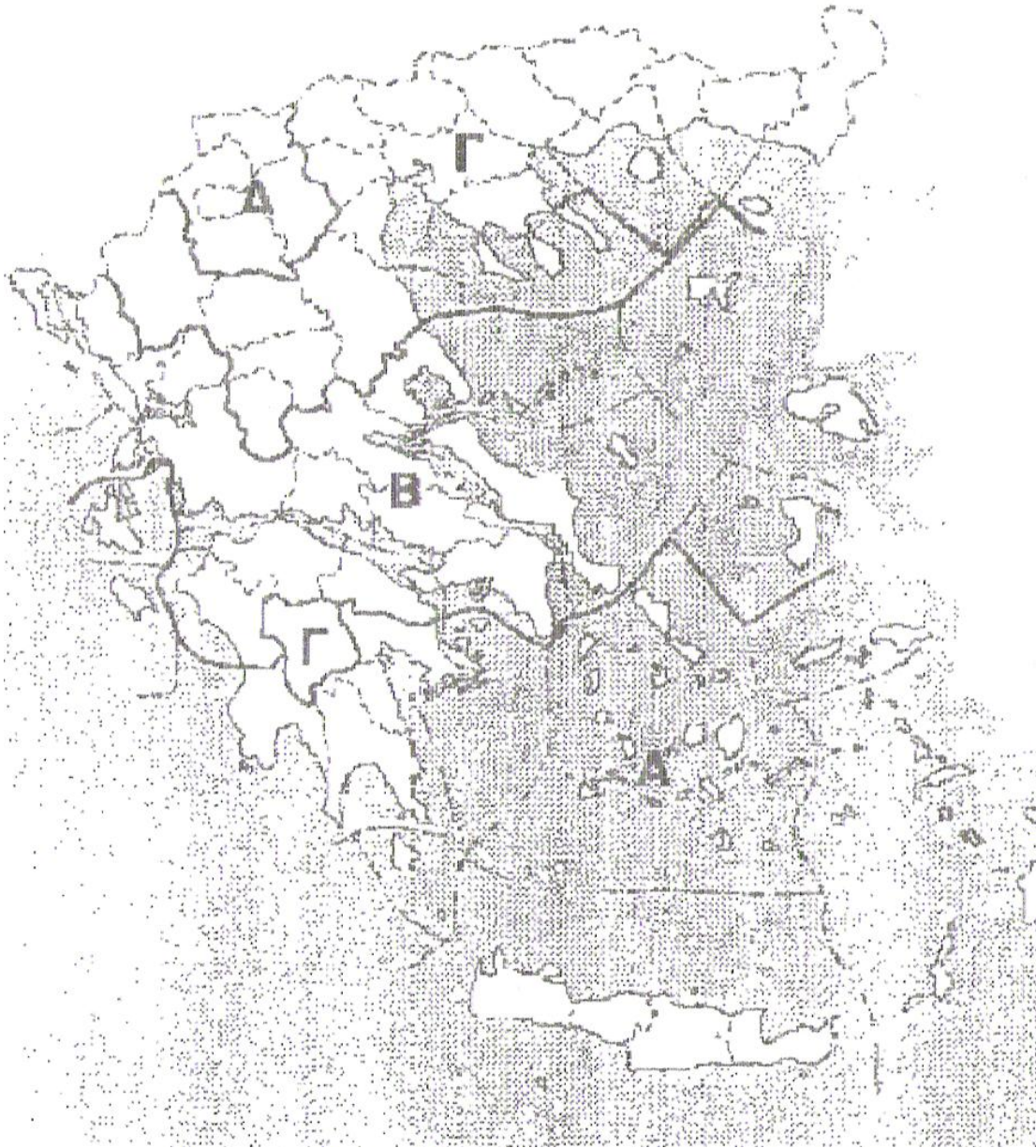
G : ετήσιος αριθμός βαθμοημερών θέρμανσης = ΒΗΘ.

K : συντελεστής διάρκειας λειτουργίας σε ώρες / ημέρα.

λ : συντελεστής διάρκειας λειτουργίας σε ημέρες / επταήμερο.

ΔT : ονομαστική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικής επιθυμητής θερμοκρασίας & θερμοκρασίας περιβάλλοντος 0 °C (π.χ. Αθήνα = 0 °C).

Υπολογισμός θερμικού φορτίου βάσει ενεργειακών
καταναλώσεων του έτους. [13]



Εικόνα 4.4: Χάρτης θερμικού φορτίου βάσει ενεργειακών καταναλώσεων ανά έτος

Ισχύει η παρακάτω κλιμάκωση:

Ζώνη Α από 601 – 1100 ΒΗΘ.

Ζώνη Β από 1101 – 1600 ΒΗΘ.

Ζώνη Γ από 1601 – 2200 ΒΗΘ.

Ζώνη Δ > 2201 ΒΗΘ. ΒΗΘ = βαθμομέρες σε θερμοκ. 19 °C.

Στοιχεία καυσίμων (θερμογόνες ικανότητες καυσίμων). [13]

Πετρέλαιο :	10,25	kWh / λίτρο.
Φ.Α :	11,13	kWh / Nm ³ . (Normal cubic meter)
Wood Pellers:	5,69	kWh / kg.
Πυρηνόξυλο :	4,77	kWh / kg.
LPG:	12,73	kWh / kg. (Low Pressure Gas)

Υπολογισμός θερμικής ισχύος A / Θ. [13]

$$P_{A/\Theta} = (P_{\Theta} * P_{ZN}) * P_{ΠΡ}$$

Όπου :

$P_{A/\Theta}$ = Ισχύς της αντλίας θερμότητας (Kw).

P_{Θ} = Θερμικό φορτίο του κτιρίου (Kw).

P_{ZN} = Θέρμανση για ζεστό νερό χρήσης. (Kw).

$P_{ΠΡ}$ = Συντελεστής προσαύξησης για απώλειες στο δίκτυο διανομής και για το μεταβατικό στάδιο θέρμανσης (=15 – 25 %).

Υπολογισμός θερμικής ισχύος ΖΝΧ. [13]

$$P_{ZN} = m * C_p * \Delta\theta / 3600$$

Όπου:

P_{ZN} = Θέρμανση για ζεστό νερό χρήσης (Kw).

M = Όγκος νερού δεξαμενής ζεστού νερού (λίτρα / ώρα – 4 μελής οικογένεια θέλει 100 λίτρα περίπου).

C_p = 4,18 KJ / Kg * K.

$\Delta\theta$ = θ_{ZN} – θ δικτύου.

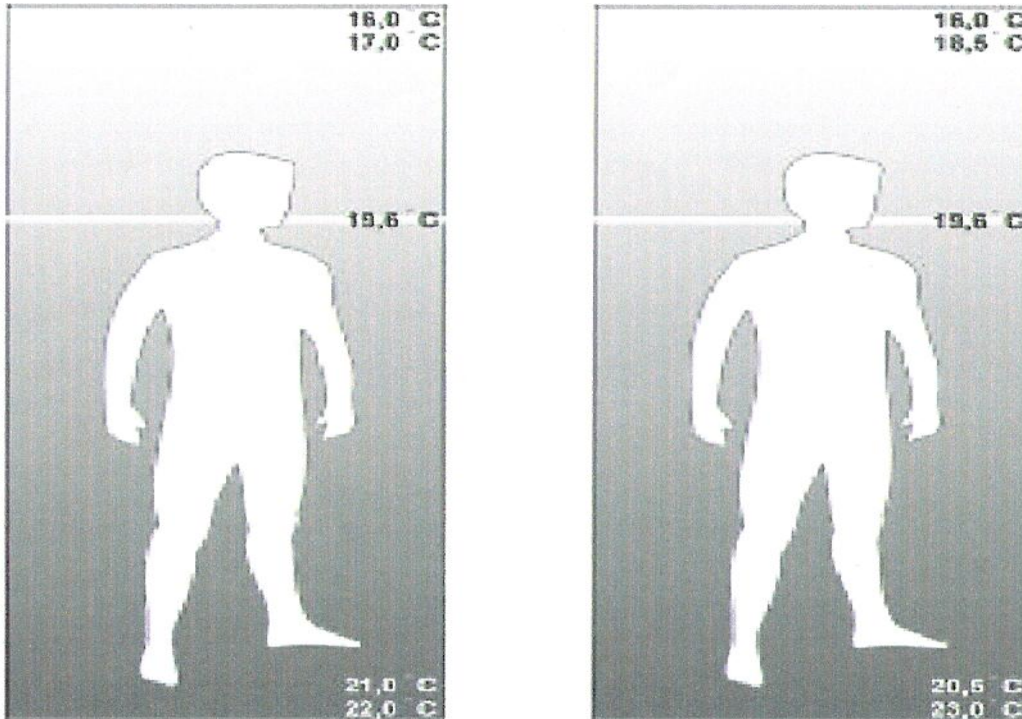
Συντελεστής ενεργειακής απόδοσης. [13]

$$COP = \frac{\text{ωφέλιμη θερμότητα}}{\text{ηλεκτρική ενέργεια}}$$

4.2 Συστήματα διανομής θερμότητας. [13]

- Ενδοδαπέδια θέρμανση.
- Επιτοίχια θέρμανση.
- Θερμαντικά σώματα.

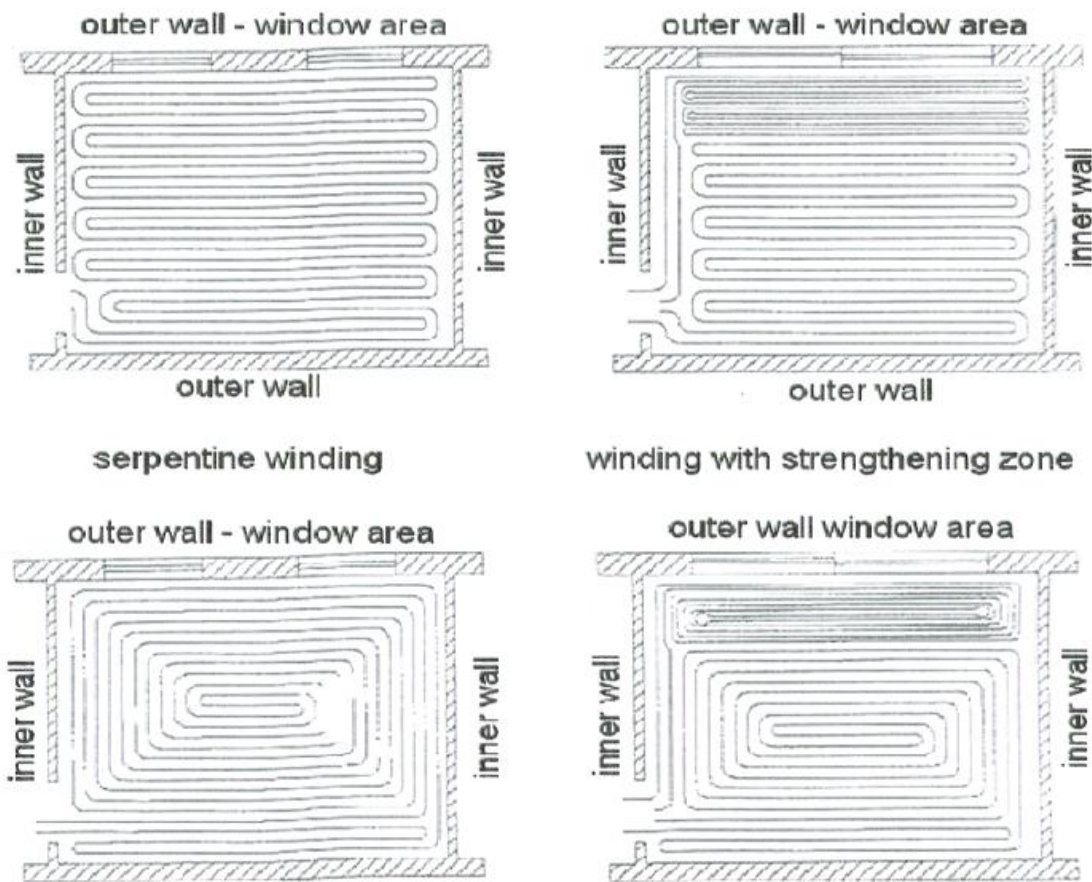
4.2.1 Ενδοδαπέδια θέρμανση.



Σχήμα 4.2.1.1: Διάταξη κατανομής θερμοκρασιών στην ενδοδαπέδια θέρμανση.[13]

Η θερμοκρασία του δαπέδου δεν πρέπει να ξεπερνά τους 29 °C. Μόνο σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να φτάσει τους 35 °C. Με την ενδοδαπέδια θέρμανση επιτυγχάνεται η βέλτιστη κατανομή θερμότητας.

Διάταξη σωληνώσεων.



Σχήμα 4.2.1.2: Διατάξεις σωληνώσεων(σερπαντίνας - σαλίγκαρου).[13]

Παράμετροι σχεδίασης.

Στη διαστασιολόγηση και σχεδίαση του συστήματος τα παρακάτω πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- Θερμοκρασιακή διαφορά προαγωγής – επιστροφής = 5 °C.
- Διάταξη των επίπλων και χαλιών.
- Αγωγιμότητα πατώματος.
- Το μήκος ενός σωλήνα δεν πρέπει να ξεπερνά τα 100 m.
- Το κάθε δωμάτιο να έχει δικό του κύκλωμα.

- Τα κυκλώματα σε κάθε όροφο να ξεκινάνε από συλλέκτη.
- Δυνατότητα εξαέρωσης του κάθε κυκλώματος.
- Να επιτυγχάνεται υδραυλική εξισορρόπηση.
- Να τηρούνται οι υποδείξεις του κατασκευαστή.

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα:

- Καλή κατανομή θερμότητας.
- Χαμηλές θερμοκρασίες προσαγωγής (υψηλό COP A / Θ).
- Εξοικονόμηση χώρου.
- Μικρές θερμοκρασιακές διαφορές μειώνουν τα ρευστά.
- Συνθήκες άνεσης επιτυγχάνονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (1 – 2 °C).
- Αυξημένη ασφάλεια.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλότερο κόστος εγκατάστασης.
- Αλλαγές στη διάταξη επίπλων και χαλιών να επιφέρουν αλλαγές στην απόδοση του συστήματος.
- Χαμηλή θερμική αδράνεια.

4.2.2 Επιτοίχια θέρμανση. [13]

Χρησιμοποιείται όταν:

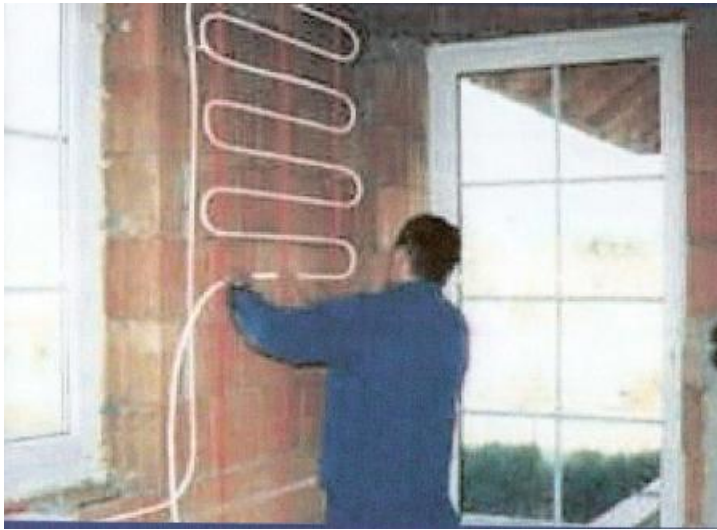
- 1) Για την θέρμανση του χώρου δεν επαρκεί η ενδοδαπέδια θέρμανση.
- 2) Σε υφιστάμενα κτίρια δεν μπορεί να εφαρμοστεί η ενδοδαπέδια θέρμανση.

Στοιχεία σχεδιασμού.

Στη διαστασιολόγηση και σχεδίαση του συστήματος τα παρακάτω πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- Θερμοκρασία προσαγωγής – επιστροφής = 5 °C.
- Θερμοκρασία προσαγωγής 25 – 45 °C.
- Το κάθε δωμάτιο να έχει δικό του κύκλωμα.
- Τα κυκλώματα σε κάθε όροφο να ξεκινάνε από συλλέκτη.
- Δυνατότητα εξαέρωσης του κάθε κυκλώματος.
- Οι σωληνώσεις να καλύπτονται με τουλάχιστον 10 mm σοβά.

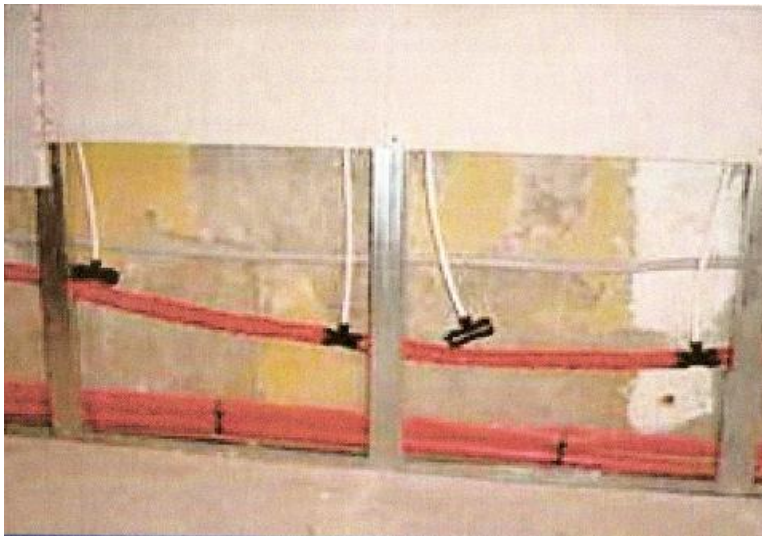
Σε θερμική επαφή με τον τοίχο.



Σχήμα 4.2.2.1: Τοποθέτηση επιτοίχιων σωληνώσεων θέρμανσης.[13]

Εφαρμόζεται σε μη – σοβατισμένο τοίχο & επικαλύπτεται με ειδικό σοβά με υψηλή θερμική αγωγιμότητα.

Χωρίς θερμική επαφή με τον τοίχο.



Σχήμα 4.2.2.2: Τοποθέτηση επιτοίχιων σωληνώσεων θέρμανση. (Μεταξύ των σωληνώσεων & την τοιχοποιία παρεμβάλλεται στρώμα θερμικής μόνωσης).[13]

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: Απόδοση συστήματος.

	Θερμική απόδοση (w / m ²) ως συνάρτηση της θερμοκρασίας δωματίου.			
T (°C) νερού	18	20	22	24
30	95	80	65	50
32.5	115	100	85	70
35	135	120	105	90
37.5	155	140	125	110
40	175	160	145	130

4.2.3 Θερμαντικά χαλύβδινα σώματα. [13]

Πλεονεκτήματα:

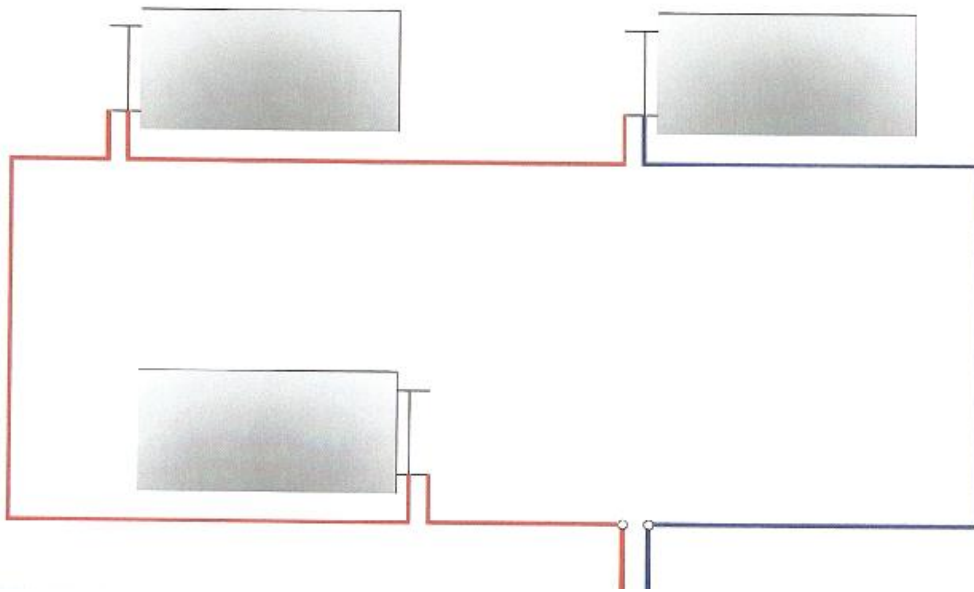
- Μακρόχρονη εμπειρία τεχνικών / εγκαταστατών.
- Χαμηλό κόστος τοποθέτησης.
- Ελαστικότητα στην αλλαγή θέσης και μεγέθους σωμάτων.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλότερη θερμοκρασία προσαγωγής και χαμηλότερο COP A / Θ.
- Μεγαλύτερη επιφάνεια σωμάτων.
- Αισθητική.
- Υψηλότερες θερμοκρασίες άνεσης.
- Κατανομή θερμότητας μη ιδεατή.
- Ρεύματα αέρα λόγο θερμοκρασιακής διαφοράς.

4.2.4 Είδη συστημάτων θέρμανσης. [13]

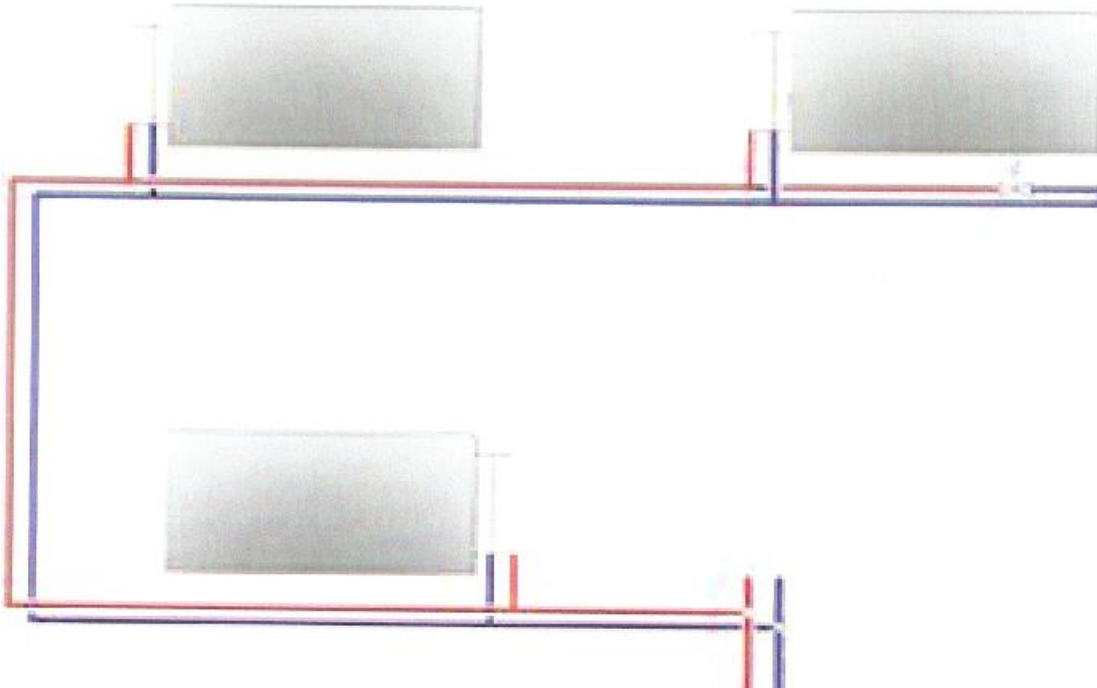
Μονοσωλήνιο σύστημα θέρμανσης.



Σχήμα 4.2.4.1: Μονοσωλήνιο σύστημα θέρμανσης

Δεν ενδείκνυται για Α / Θ καθώς απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες για να καλύψουν τη μείωση της θερμοκρασίας από σώμα σε σώμα.

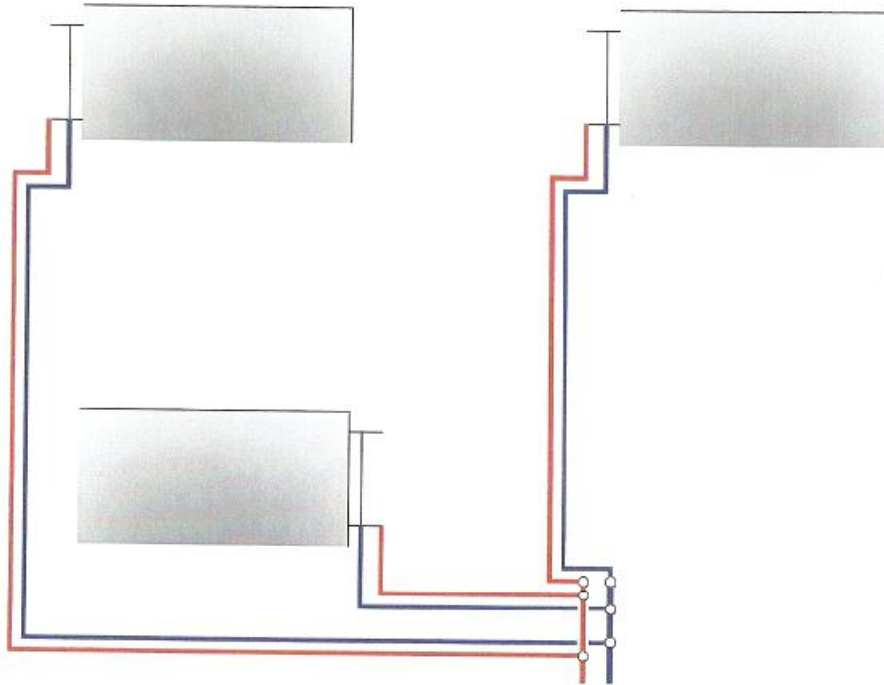
Δυσωλήνιο σύστημα θέρμανσης.



Σχήμα 4.2.4.2: Δυσωλήνιο σύστημα θέρμανσης

Θα μπορούσε να εφαρμοστεί με Α / Θ με ταυτόχρονη χρήση δοχείου αδρανείας.

Σύστημα θέρμανσης (Συλλέκτης - σώμα).



Σχήμα 4.2.4.3: Σύστημα θέρμανσης (συλλέκτης – σώμα)

Θα μπορούσε να εφαρμοστεί με A / Θ με ταυτόχρονη χρήση δοχείου αδρανείας.

Δοχείο αδρανείας.

Χρησιμοποιείται για:

- Την ελαχιστοποίηση των ON / OFF της A / Θ (οι κατασκευαστές συστήνουν να περάσουν τουλάχιστον 5 – 10 λεπτά μεταξύ παύσης λειτουργίας και εκκίνησης για να μην υπερθερμανθούν οι περιελίξεις του κινητήρα).
- Τον ελάχιστο χρόνο λειτουργίας της A / Θ .

- Ενδοδαπέδια - λόγω θερμικής αδράνειας του δαπέδου δεν απαιτείται συνήθως δοχείο αδρανείας (εκτός αν θερμαίνεται και το ζεστό νερό χρήσης).
- Χαλύβδινα σώματα / FCU – επιβάλλεται λόγω της μικρής θερμικής αδράνειας.

Στην ουσία το δοχείο αδρανείας είναι ένας αποθηκευτικός χώρος νερού ο οποίος χρησιμοποιείται κάποιες συγκεκριμένες ώρες της ημέρας που επιλέγουμε για να έχουμε αμέσως ζεστό ή κρύο νερό μέχρι να τεθεί σε λειτουργία η εγκατάσταση. Με την λειτουργία της εγκατάστασης το δοχείο αναπληρώνει το νερό που έχουμε χρησιμοποιήσει για θέρμανση ή ψύξη.

Διαστασιολόγηση δοχείου αδρανείας:

Το μέγεθος και η θέση τοποθέτησης ενός δοχείου διαστολής εξαρτάται από:

- 1) Το σύστημα θέρμανσης (σώματα, FCU, κλπ.).
- 2) Στον όγκο νερού του κλειστού κυκλώματος θέρμανσης.
- 3) Στην ανάγκη θερμότητας για την απόψυξη του συμπυκνωτή A / Θ.

$$\frac{V}{P} = \frac{t}{4.18 \times \Delta\theta}$$

Όπου:

V = όγκος του δοχείου (λίτρα).

P = θερμικό φορτίο (Kw).

t = χρόνος μεταξύ παύσης και εκκίνησης (sec).

$\Delta\theta$ = μείωση θερμοκρασίας στο δοχείο κατά τον χρόνο t (°C).

4,18 = C (Kj / kg * °K).

Μελέτη – διαστασιολόγηση κυκλώματος.

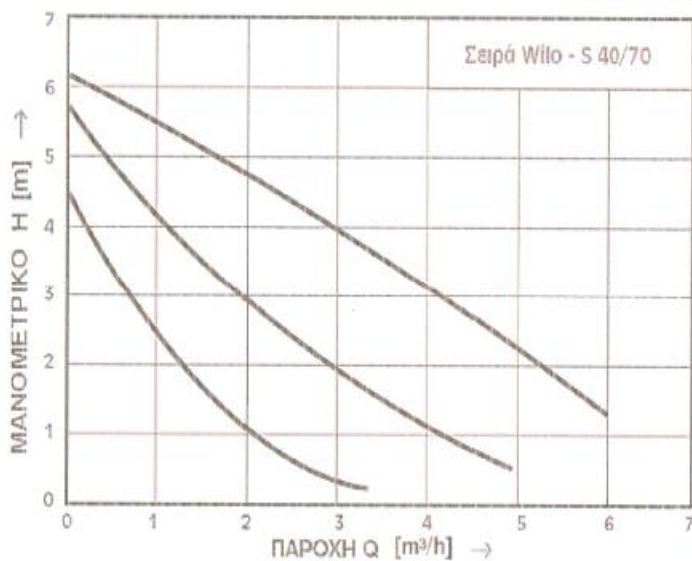
Για εφαρμογές όπου απαιτούνται πάνω από 1 A / Θ:

- 1) Αν είναι ίδιου τύπου, τότε συνδέονται εν παραλλήλω.
- 2) Αν είναι διαφορετικού τύπου, τότε συνδέονται σε σειρά.

Το σύστημα διανομής θερμότητας συνήθως περιλαμβάνει τουλάχιστον:

- 1) Έναν κυκλοφορητή.
- 2) Μια ηλεκτρική αντίσταση ως εφεδρική πηγή (υποχρεωτικό για A / Θ, αέρα / νερού).
- 3) Δοχείο διαστολής με βαλβίδα ασφαλείας.
- 4) Κεντρικό συλλέκτη προσαγωγής.
- 5) Δοχείο αδρανείας.

Κυκλοφορητές.



Εικόνα 4.5: Κυκλοφορητές

Για εφαρμογές ψύξης:

- 1) Πιθανή συμπύκνωση δεν πρέπει να δημιουργήσει προβλήματα βραχυκυκλώματος.
- 2) Η μόνωση της αντλίας δεν πρέπει να φθείρεται στην περίπτωση υπερθέρμανσης.

Η διαφορά θερμοκρασίας προσαγωγής – επιστροφής δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 7 °C.

Σωληνώσεις.

- Η παροχή του κύριου κυκλώματος είναι πάντα μεγαλύτερη από το δευτερεύον κύκλωμα για την αποφυγή αντίστροφης ροής.
- Η ταχύτητα του νερού είναι τέτοια που να μην ξεπερνά τα 15 mm / H₂O (1 m / sec).
- Μόνωση σωληνώσεων εσωτερικού χώρου με ARMAFLEX (9 mm μέχρι Φ 20, 13 mm από Φ 25 και πάνω).
- Μόνωση σωληνώσεων εξωτερικού χώρου με κατάλληλο μονωτικό 25 mm.

Συλλέκτες.

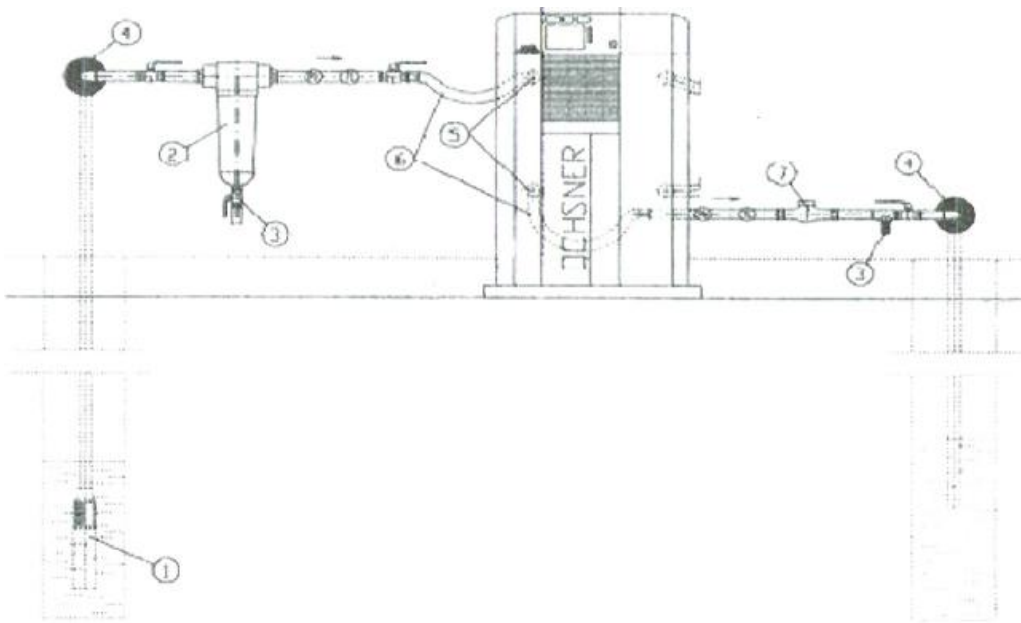
- Τοποθετούνται σε σημείο όπου είναι εύκολη η πρόσβαση.
- Είναι συνήθως ορειχάλκινα.

- Στα κυκλώματα θέρμανσης – ψύξης συνίστανται από μια σωλήνα προσαγωγής στον κεντρικό συλλέκτη και ως έξι σωλήνες προσαγωγής στο κύκλωμα θέρμανσης – ψύξης.
- Το εμβαδόν του συλλέκτη ισούται με το άθροισμα των εμβαδών των σωλήνων που συνδέονται.

ΠΙΝΑΚΑΣ4.3:Διαστασιολόγηση δεξαμενής αποθήκευσης (Παράδειγμα).

Θερμική απόδοση ΓΑΘ (Kw) για $\Delta T = 8^{\circ}C$ & 6 λεπτά μεταξύ παύσης & εκκίνησης.	4	6	8	10	12	14	16
Όγκος δεξαμενής. (λίτρα)	40	60	90	110	130	150	170

Διάγραμμα σύνδεσης. [13]



Σχήμα 4.2.4.4: Διάγραμμα σύνδεσης

- 1) Αντλία υδρογέωτρησης.
- 2) Φίλτρο (απαραίτητο ανεξάρτητα από την σύσταση – καθαρότητα νερού).
- 3) Βάνα εκκένωσης φίλτρου.
- 4) Σωλήνωση.
- 5) Είσοδος – έξοδος γήινου κυκλώματος.
- 6) Συνδετικοί σωλήνες.
- 7) Θερμιδόμετρο.

Σημαντικοί παράγοντες.

- Η θερμοκρασία τροφοδοσίας πρέπει να διατηρηθεί όσο το δυνατόν χαμηλότερη στο σύστημα θέρμανσης.
- Η αντλία θερμότητας θα παράγει μόνο νερό στη θερμοκρασία που απαιτείται εκείνη τη συγκεκριμένη στιγμή. Κατά συνέπεια, πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μεταβαλλόμενη συμπύκνωση.
- Επιλέξτε μια πηγή θερμότητας με την μέγιστη ετήσια μέση θερμοκρασία.
- Σιγουρευτείτε ότι ο εξοπλισμός ελέγχου δεν επιτρέπει ποτέ την μη απαραίτητη ενεργοποίηση της συμπληρωματικής πηγής θερμότητας.
- Χρειάζεται προσοχή με τα νυχτερινά τιμολόγια και την αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, δεδομένου ότι μπορεί να προκαλέσουν την ενεργοποίηση του συμπληρωματικού συστήματος.
- Εάν είναι δυνατόν αφήστε την αντλία θερμότητας να παράγει θερμότητα για το σύστημα θέρμανσης αντί για το σύστημα ζεστού νερού βρύσης (προτεραιότητα θέρμανσης) όταν απαιτείται μια συμπληρωματική πηγή θερμότητας. Αυτό θα μεγιστοποιήσει τον COP.

5. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.

5.1 Οικονομική προσέγγιση. [15]

Τα στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάθε φορά που γίνεται εκτίμηση του κόστους της εγκατάστασης ή της λειτουργίας μιας γεωθερμικής μονάδας, και της αξίας των «προϊόντων» της γεωθερμικής ενέργειας, είναι πολύ περισσότερα και πιο σύνθετα σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας. Συνεπώς, θα πρέπει όλα αυτά τα στοιχεία να αξιολογούνται πολύ προσεκτικά πριν την εκπόνηση ενός γεωθερμικού προγράμματος.

Στο σημείο αυτό, μόνο κάποιες γενικές ενδείξεις μπορούν να αναφερθούν, οι οποίες σε συνδυασμό με τις πληροφορίες για τις τοπικές συνθήκες και την αξία των διαθέσιμων ρευστών, θα βοηθούσαν ίσως το μελλοντικό επενδυτή στη λήψη των σημαντικών αποφάσεων.

- Ένα σύστημα γεωθερμικού πόρου - εγκαταστάσεων (μονάδα εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας) αποτελείται από τις γεωθερμικές γεωτρήσεις, το δίκτυο μεταφοράς των ρευστών, τη μονάδα παραγωγής ή χρήσης και συχνά το σύστημα επανεισαγωγής. Η αλληλεπίδραση όλων αυτών των στοιχείων θα πρέπει να αναλύεται προσεκτικά διότι βαρύνουν σε μεγάλο βαθμό το κόστος της αρχικής επένδυσης. Για παράδειγμα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μια μονάδα ατμοσφαιρικής διάθεσης του ατμού αποτελεί την απλούστερη και φθηνότερη επιλογή συγκριτικά με μια μονάδα ίσης ισχύος που λειτουργεί με συμπύκνωση. Παρόλα αυτά, απαιτούνται σχεδόν διπλάσιες ποσότητες ατμού και συνεπώς διπλάσιος αριθμός γεωτρήσεων παραγωγής, κάτι που αυξάνει πολύ το αρχικό κόστος. Έτσι λοιπόν, παρόλο που οι γεωτρήσεις είναι ακριβές, η γεωθερμική μονάδα παραγωγής ηλεκτρισμού που λειτουργεί με συμπύκνωση αποδεικνύεται τελικά πιο φτηνή επιλογή,

παρόλο που τελικά τις περισσότερες φορές η επιλογή της γίνεται για λόγους ανεξάρτητους του κόστους.

- Τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν να μεταφερθούν σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις μέσα σε θερμικά μονωμένους σωλήνες. Υπό ιδανικές συνθήκες το μήκος των σωληνώσεων μπορεί να φτάσει ακόμη και τα 60 km. Όμως, το κόστος των σωληνώσεων, του απαιτούμενου βοηθητικού εξοπλισμού (αντλίες, βαλβίδες, κλπ) και της συντήρησής τους, επιβαρύνουν πολύ τον προϋπολογισμό και μπορεί να ανεβάσουν σημαντικά το συνολικό λειτουργικό κόστος επένδυσης και λειτουργίας της εγκατάστασης. Οπότε, η απόσταση μεταξύ του πόρου (γεωτρήσεις) και της εφαρμογής (εγκαταστάσεις) θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη.
- Το αρχικό κόστος επένδυσης μιας γεωθερμικής μονάδας εφαρμογής είναι συνήθως μεγαλύτερο, και σε κάποιες περιπτώσεις πολύ ανώτερο, από αυτό που απαιτείται για τη λειτουργία μιας αντίστοιχης μονάδας συμβατικών καυσίμων. Αντίθετα, η ενέργεια που καταναλώνεται σε μια γεωθερμική εγκατάσταση κοστίζει πολύ λιγότερο από τα συμβατικά καύσιμα και αντιστοιχεί συνήθως στο κόστος συντήρησης των διαφόρων επιμέρους τμημάτων της (σωληνώσεις, βαλβίδες, αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας κλπ.). Έτσι λοιπόν, οι υψηλότερες αρχικές δαπάνες λογικά αντισταθμίζονται από την εξοικονόμηση που γίνεται στην κατανάλωση ενέργειας. Ως εκ τούτου, το συνολικό σύστημα γεωθερμικού πόρου και εγκαταστάσεων θα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να βρίσκεται σε λειτουργία για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, ικανό για να γίνει απόσβεση της αρχικής επένδυσης, και, αν είναι δυνατό, ακόμη μεγαλύτερο.
- Αξιοσημείωτα οικονομικά οφέλη μπορούν να προκύψουν από τη χρήση συνδυαστικών και ολοκληρωμένων συστημάτων που παρέχουν μεγαλύτερους συντελεστές απόδοσης (για παράδειγμα, συστήματα που συνδυάζουν ψύξη και θέρμανση χώρων) ή συστήματα διαδοχικής

(κλιμακωτής) εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας, στα οποία οι εφαρμογές είναι συνδεδεμένες σε σειρά και η κάθε μια χρησιμοποιεί τα ρευστά που απορρίπτονται από την προηγούμενη (για παράδειγμα, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας → θέρμανση θερμοκηπίων → κτηνοτροφία).

- Για τη μείωση του κόστους συντήρησης και της πιθανότητας διακοπής της λειτουργίας της, η τεχνική πολυπλοκότητα μιας γεωθερμικής μονάδας δε θα πρέπει να ξεπερνά το βαθμό που αυτή θα είναι προσβάσιμη από το τοπικό τεχνικό προσωπικό και τους εύκολα διαθέσιμους ειδικούς. Οι πολύ εξειδικευμένοι τεχνικοί ή οι κατασκευαστές θα πρέπει να είναι απαραίτητοι μόνο για τις μεγάλης κλίμακας εργασίες συντήρησης ή στην περίπτωση εκτεταμένων ζημιών της μονάδας.
- Τέλος, εάν η γεωθερμική εφαρμογή αφορά στην παραγωγή καταναλωτικών αγαθών, θα πρέπει να προηγηθεί μια προσεκτική και εμπειριστατωμένη έρευνα αγοράς, ώστε να εξασφαλιστεί η διάθεση αυτών των προϊόντων. Επίσης, θα πρέπει υποχρεωτικά να προϋπάρχουν ή να συμπεριληφθούν στον αρχικό προϋπολογισμό οι απαραίτητες υποδομές για την οικονομικά συμφέρουσα μεταφορά των προϊόντων από το σημείο παραγωγής στον καταναλωτή.

Το πεδίο εφαρμογής των παραπάνω παρατηρήσεων καλύπτει όλες τις μορφές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας και οποιεσδήποτε τοπικές συνθήκες, και γι αυτό έχουν έναν καθαρά ποιοτικό χαρακτήρα. Όσον αφορά στον αντικειμενικό υπολογισμό του ύψους της επένδυσης και του κόστους, προτείνεται το World Energy Assessment Report, που συντάχθηκε από το UNDP, το UN - DESA και το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας (World Energy Council) και το οποίο δημοσιεύτηκε το 2000.

Τα στοιχεία του WEA παρατίθενται στους παρακάτω Πίνακες , στους οποίους γίνεται επίσης η σύγκριση ανάμεσα στη γεωθερμική ενέργεια και άλλες ανανεώσιμες πηγές (Friedleifsson, 2001).

Πίνακας 5.1: Ενεργειακό και επενδυτικό κόστος για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Friedleifsson, 2001).[14]

	Current energy cost USA/kWh	Potential future energy cost USA/kWh	Turnkey investment cost US\$/kW
Biomass	5-15	4-10	900-3000
Geothermal	2-10	1-8	800-3000
Wind	5-13	3-10	1100-1700
Solar (photovoltaic)	25-125	5-25	5000-10000
Solar (thermal electricity)	12-18	4-10	3000-4000
Tidal	8-15	8-15	1700-2500

Πίνακας 5.2: Ενεργειακό και επενδυτικό κόστος για απευθείας χρήση θερμότητας από ανανεώσιμες πηγές (Friedleifsson, 2001). [14]

	Current energy cost USA/kWh	Potential future energy cost USA/kWh	Turnkey investment cost US\$/kW
Biomass (including ethanol)	1-5	1-5	250-750
Geothermal	0.5-5	0,5-5	200-2000
Wind	5-13	3-10	1100-1700
Solar heat low temperature	3-20	2-10	500-1700

Διεθνής και Ευρωπαϊκή αγορά συστημάτων ΓΑΘ. [14]

Πίνακας 5.3: Διεθνής και Ευρωπαϊκή αγορά συστημάτων ΓΑΘ

	MW _{th}	GWh/yr
Αυστρία	275	370
Καναδάς	435	600
Γερμανία	640	930
Σουηδία	2.300	9.200
Ελβετία	525	780
ΗΠΑ	6.300	6.300

Πίνακας 5.4

Κύριες αγορές Σουηδία, Γερμανία, Ελβετία και Γαλλία

Χώρες	Δυναμική Αγοράς	
	2003	2004
Αριθ. Εγκατ.		
Σουηδία	31 564	39 359
Γαλλία	9 000	11 700
Γερμανία	7 349	9 593
Αυστρία	3 633	4 204
Φιλανδία	2 400	2 900
Ελβετία	3 558	4 380

Πίνακας 5.5: Κόστος επένδυσης ΓΑΘ 20 kW.
Εφαρμογή σε κατοικία 340 m².

	Κόστος, €
Έκδοση άδειας	1.500
Μελέτη - Επίβλεψη	2.500
Γεωεναλλάκτης (3 * 80m διπλό-υ)	8.000
Αντλία Θερμότητας (20 kW _θ , 15kW _ψ)	5.000
Η/Μ εξοπλισμός	2.000
Σωληνώσεις - Φαν.κόιλς κτηρίου	2.000
Εγκατάσταση	2.000
Εκκίνηση	2.000
Σύνολο	25.000

Πίνακας 5.6: Ετήσιο κόστος λειτουργίας ΓΑΘ 20 kW.

	kWh	COP	kWh	Κόστος, €
Θέρμανση	38.500	4,5	8.556	856
Ψύξη	12.000	3,5	3.429	343
Ζεστό νερό, χειμώνας	1.080	4,5	240	24
Ζεστό νερό, καλοκαίρι	540	-	0	0
Επισκευές, Συντήρηση				150
Σύνολο			12.224	1.372

Κόστος ηλεκτρικού ρεύματος: 0, 1 €/ kWh

Πίνακας 5.7: Ετήσιο κόστος λειτουργίας κοινού συστήματος θέρμανσης – κλιματισμού – ζεστού νερού ΓΑΘ 20 kW.

	kWh		Κόστος, €
Θέρμανση	38.500	Καλοριφέρ:	2.621
Ψύξη	12.000	Κλιματιστικά:	480
Ζεστό νερό, χειμώνας	1 .080	Θερμοσίφωνο:	108
Ζεστό νερό, καλοκαίρι	540	Θερμοσίφωνο:	54
Επισκευές, Συντήρηση			400

Κόστος ηλεκτρικού ρεύματος: 0,1 €/ kWh

Μέθοδοι αξιολόγησης επενδύσεων.

- Απλός Χρόνος Αποπληρωμής · Μέσος Βαθμός Απόδοσης
- Ταμειακές Ροές
- Κοστολόγηση σε σχέση με τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού
- Καθαρή Παρούσα Αξία
- Λοιπές:
 - Έντοκος Χρόνος Αποπληρωμής
 - Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

Απλός χρόνος αποπληρωμής.

$$T = \frac{\text{επένδυση}}{\text{ετήσιο όφελος}}$$

Μέσος βαθμός απόδοσης.

$$A = \frac{100 * \text{ετήσιο όφελος}}{\text{επένδυση}} \%$$

Κοστολόγηση σε σχέση με την διάρκεια ζωής του εξοπλισμού.

Υπολογίζεται το συνολικό ετήσιο κόστος της επένδυσης, όπου κάθε επιμέρους εξοπλισμός μετέχει με το ποσό που προκύπτει όταν το κόστος κατασκευής του διαιρεθεί με τη διάρκεια ζωής του.

Κόστος γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

- Κόστος Κεφαλαίου: 600 – 1800 €/ Kw.
- Κόστος Ενέργειας (ηλεκτρικό ρεύμα και συντήρηση):
0,012 – 0,024 €/ Kwh .
- Κόστος Ενέργειας (συμπεριλαμβανομένων κεφαλαίων με κόστος χρήματος 5% για 20 έτη):
0,030 – 0,048 €/ Kwh.

Παράδειγμα σύγκρισης συμβατικής εγκατάστασης (πετρέλαιο) και γεωθερμικής εγκατάστασης.

Μονοκατοικία 340 τμ. σε περιοχή της δυτικής Αττικής υπολογίστηκε ότι η μέγιστη αναγκαία ισχύς θέρμανσης είναι 20 kW ενώ ψύξης 15kW.

Πίνακας 5.8: Ετήσιο κόστος λειτουργίας εγκατάστασης

3 τόνους πετρελαίου = 3000 lt πετρέλαιο = 30.000 Κιλοβατώρια με απώλεια 25% = 27.500 κιλοβατώρια.		20 kW Heat Pump για να αποδώσει την ίδια θερμότητα θα χρησιμοποιήσει 8.556 κιλοβατώρια και για ψύξη 3.429 κιλοβατώρια.
Θέρμανση	3000 lt. πετρέλαιο = 2.400 €	8.556 κιλοβατώρια = 856 €
Ψύξη	Κλιματισμός = 600 € 3.000 €	3.429 κιλοβατώρια = 343 € 1.199 €
Κόστος εγκατάστασης = 16.000 €		Κόστος εγκατάστασης = 25.000 €

1 έτος = 1.800 €

5 έτη = 9.000 €

10 έτη = 18.000 €

Η απόσβεση της γεωθερμικής εγκατ.

γίνεται περίπου σε 5 έτη.

6. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ. **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.**

Σύμφωνα με όσα έχουν προηγηθεί στη συγκεκριμένη εργασία προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα.

Όσον αφορά τις Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (ΓΑΘ), Ανοιχτού ή Κλειστού κυκλώματος μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιαδήποτε σημείο απαιτείται, προσφέρουν κλιματισμό (θέρμανση – ψύξη) καθώς και ζεστό νερό χρήσης με παράλληλη μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και εν τέλει χαμηλό κόστος λειτουργίας – παραγωγής ενέργειας. Απαιτείται όμως ορθός σχεδιασμός του συνολικού κυκλώματος κυρίως με τη σωστή επιλογή του κατάλληλου κυκλώματος.

Τα γεωθερμικά συστήματα ως προς το θέμα της εξοικονόμησης, μπορούν να μειώσουν το κόστος θέρμανσης ως και 60% και το κόστος ψύξης έως και 40% για να παρέχουν ζεστό νερό χρήσης για τις ανάγκες της κατοικίας. Παράλληλα μπορούν να εκμεταλλευτούν στο έπακρο και να πολλαπλασιάσουν την αποτελεσματικότητα άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά και από μόνα τους είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά συστήματα καθώς μειώνουν τις εκπομπές αέριων ρύπων και τα συνεπακόλουθα προβλήματά τους. Είναι αξιόπιστα γιατί διαρκούν περισσότερο από τα συμβατικά καθώς αποτελούν «κλειστά» συστήματα, όπως το ηλεκτρικό ψυγείο, που εγκαθίστανται μέσα στα κτίρια ή στο υπόγειο χώρο τους. Ως προς τη συντήρηση δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα . Δεν χρειάζονται εκτεθειμένα θορυβώδη μηχανήματα να ενοχλούν του ένοικους ή τους γείτονες. Χωρίς ηχητική υπενθύμιση ξεχνάμε ότι έχετε ένα γεωθερμικό

σύστημα. Τέλος, σε μεγάλες εγκαταστάσεις μπορούν να εξοικονομηθούν χρήματα καθώς είναι εφικτή η μεταφορά θερμότητας από ζώνες του κτιρίου που είναι πιο ζεστές προς άλλες ψυχρότερες για τις ανάγκες θέρμανσης το χειμώνα και το αντίστροφο το καλοκαίρι για τις ανάγκες ψύξης.

Παρ' όλα αυτά, το αρχικό κόστος αγοράς & εγκατάστασης είναι περίπου 30 % μεγαλύτερο από την κοινή αγορά & εγκατάσταση ενός καυστήρα με πετρέλαιο αλλά η οικονομία και καθαριότητα στη χρήση και η μη ετήσια συντήρηση που απαιτείται στον ανάλογο καυστήρα θα αποσβεσθεί σε περίπου 5-6 χρόνια.

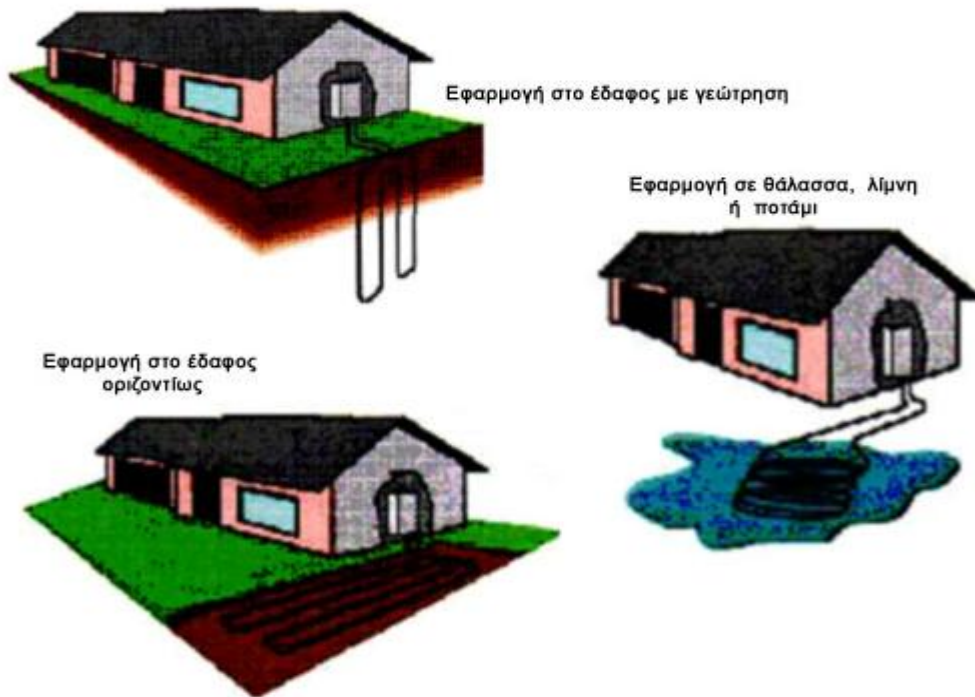
7. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ. [13] – [11]



Εικόνα 7.1: Γεωθερμικό σύστημα



Εικόνα 7.2: Γεωθερμικό σύστημα



Εικόνα 7.3: Εφαρμογή γεωθερμικού συστήματος στο έδαφος με γεώτρηση, στο έδαφος οριζοντίως και σε θάλασσα, λίμνη ή ποτάμι.



*Εικόνα 7.4: Κατοικία με GHP στην περιοχή Σερρών.
Κόστος θέρμανσης με χρήση πετρελαίου: 10 € ημερησίως.
Με GHP 3,8 €.*



Εικόνα 7.5: Κατοικία με GHP στην περιοχή Σιθωνίας Χαλκιδικής.



Εικόνα 7.6: Τοποθέτηση σπειρών οριζόντιου εναλλάκτη.



Εικόνα 7.7: Σπείρες γεωεναλλάκτη (Χαλκιδική).



Εικόνα 7.8: Κτίριο επιχείρησης με GHP στην περιοχή Κομοτηνής.



Εικόνα 7.9: Γεώτρηση κατακόρυφου εναλλάκτη (Κομοτηνή).



Εικόνα 7.10: Κατακόρυφος Γεωεναλλάκτης στην τελική μορφή.



Εικόνα 7.11: Τοποθέτηση γεωεναλλάκτη στη γεώτρηση (Κομοτηνή).



Εικόνα 7.12: Συλλέκτης κυκλώματος γης (Κομοτηνή).



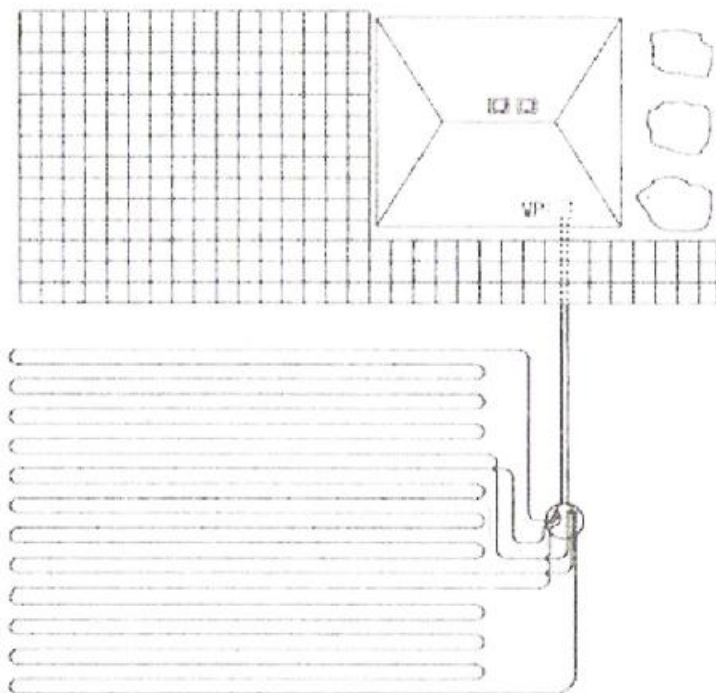
Εικόνα 7.13: Κυκλώματα νερού (Διακρίνονται οι τρίοδες βάνες για τη συνεργασία³ των κυκλωμάτων νερού). (Κομοτηνή).



Εικόνα 7.14: Δοχεία αδρανείας για αποθήκευση θερμικής ενέργειας.



Εικόνα 7.15: Σπείρες γεωεναλλάκτη (Χαλκιδική)



Εικόνα 7.16: Σύνδεση οριζόντιου κυκλώματος.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. egnatia.ee.auth.gr
2. www.geocities.com
3. www.boudouri.gr
4. ape.chania.teicrete.gr
5. www.veriorama.com
6. www.energyhomes.gr
7. www.texnikos.gr
8. iga.igg.cur.it
9. www.geothermansi.com
10. www.ergon.gr
11. www.amkat.gr
12. Μεγκούλης Ιωάννης, Μηχανολόγος Μηχανικός
Περόγλου Γεώργιος, Μηχανικός Ορυκτών Πόρων
ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΤΙΡΙΟ. Έτος 2006.
13. Δρ. Καραπαναγιώτης Νικόλαος, Βασικές αρχές
εγκατάστασης των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας,
14 – 15 Δεκεμβρίου 2006, ΚΑΠΕ.
14. Δρ. Καρύτσας Κωνσταντίνος, Γεωλόγος – Γεωθερμικός.
Υπεύθυνος Τμημάτων Γεωθερμίας και Θερμικών
Ηλιακών Συστημάτων ΚΑΠΕ, Δεκεμβρίου 2006.
15. Μενδρινός Δημήτριος, Κέντρο ανανεώσιμων πηγών
ενέργειας, Δεκεμβρίου 2006.

