

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ

“ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

GEOCELL

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ – ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

ΤΣΑΚΤΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Πτυχ. Γεωλογίας

Θεσσαλονίκη

2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΜΕΡΟΣ Α. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ – ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	1
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	2
1.3 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.....	13
2 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ.....	19
2.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	22
2.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	25
3 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ.....	27
3.1 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ.....	28
3.2 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ.....	39
3.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ.....	30
3.3.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥΣ.....	32
3.3.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	35
3.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΕΥΡΕΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	40
4 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	41
4.1 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ.....	42
4.2 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΙΑΜΑΤΙΚΟΣ ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ.....	42
4.3 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	43
4.4 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ.....	43
4.5 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	45
4.5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ.....	45
4.6 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΠΑΓΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....	46
4.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.....	47
5 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΑΒΑΘΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	48
5.1 ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ.....	51
5.2 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (GHP).....	53
5.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	56
5.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....	56
5.4.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	57
5.4.2 ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΕΣ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	59
5.4.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	60
5.4.4 ΒΥΘΙΖΟΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	62
5.4.5 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ.....	63
5.4.6 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΚΛΕΙΣΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ.....	63
5.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....	64
5.5.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	65

5.5.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΟΙΚΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ.....	66
5.6 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	67
5.7 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	67
5.7.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ.....	67
5.7.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ.....	68
5.8 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ.....	68

ΜΕΡΟΣ Β. ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΓΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ ΑΒΑΘΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ – Η ΕΠΙΤΥΧΙΑ ΤΗΣ ΕΛΒΕΤΙΑΣ

1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ (ΒΗΕ)....	2
4 ΜΙΑ ΜΟΝΑΔΙΚΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΒΗΕ.....	3
5 ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΒΗΕ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ.....	6
6 Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΛΒΕΤΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΠΙΝΑΚΑ ΑΜΕΣΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ.....	7
7 ΝΕΑ ΣΥΝΟΡΑ – ΝΕΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	8
8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΑΠΟΦΕΙΣ.....	10

ΜΕΡΟΣ Γ. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

1 ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....	1
1.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΑΘ.....	1
1.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ.....	1
1.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΓΑΘ.....	1
1.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΓΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑ 130 m ²	2
1.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	3

1.5 ΣΤΟΧΕΥΣΗ ΣΕ ΕΡΓΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.....	9
1.5.1 ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	9
1.5.2 ΨΥΞΗ – ΘΕΡΜΑΝΣΗ.....	10
1.6 ΑΝΟΙΚΤΟ – ΚΛΕΙΣΤΟ.....	10
1.6.1 ΤΙΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....	11
1.6.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ Δ.Ε.Η.....	11
1.7 ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.....	11
1.7.1 ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	11
1.7.2 ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....	11
1.7.3 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ.....	12

ΜΕΡΟΣ Δ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	1
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	2
ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	3
ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ.....	3
ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ.....	3
ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.....	4
ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ.....	4
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΤΡΑ.....	4
ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	5

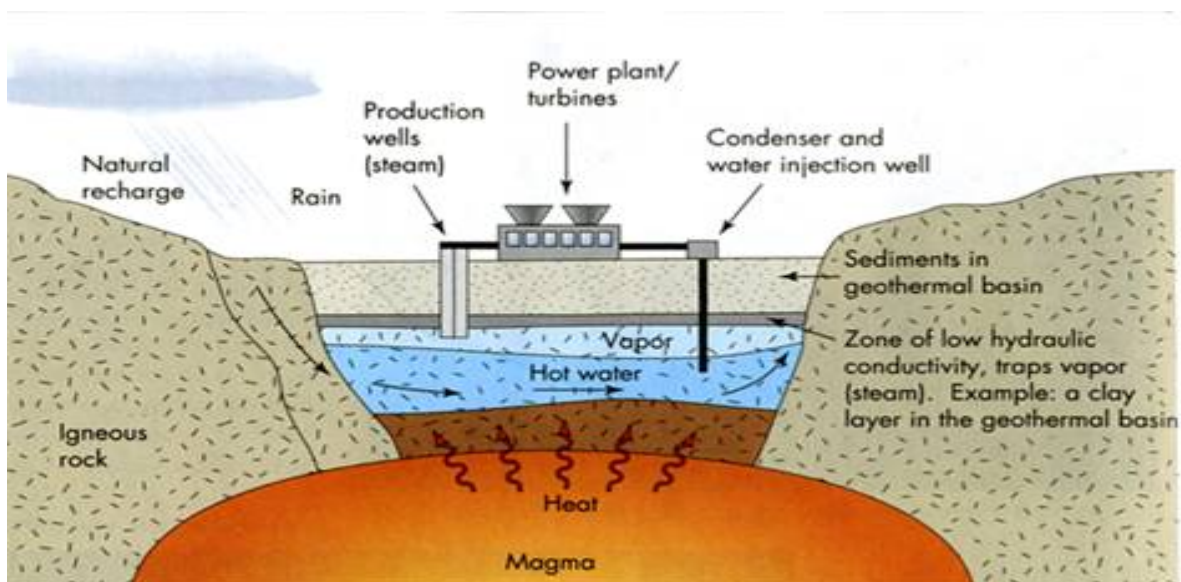
ΜΕΡΟΣ Α

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ – ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.

Στα μέσα της δεκαετίας του '70 παρατηρήθηκε μια σημαντική αύξηση του κόστους ενέργειας των συμβατικών καυσίμων, γεγονός που συνετέλεσε στη συνειδητοποίηση του γεγονότος ότι αυτά κάποτε με μαθηματική ακρίβεια πρόκειται να εξαντληθούν. Έτσι λοιπόν το βλέμα όλου του πλανήτη στράφηκε σε άλλες πηγές για την παραγωγή ενέργειας πέραν των συμβατικών και πυρηνικών καυσίμων, οι οποίες παρουσίαζαν κι ένα επιπλέον σημαντικό χαρακτηριστικό: το ότι είναι ΑΝΕΞΑΝΤΛΗΤΕΣ! Για το λόγο αυτό οι πηγές αυτές, ονομάστηκαν «ανανεώσιμες» και σε αυτές σημαντικό ρόλο έχει κατέχει η γεωθερμική ενέργεια.

Με τον όρο γεωθερμική ενέργεια καλούμε τη φυσική πηγή με γήινη προέλευση που με τη μορφή θερμών ρευστών (ατμού, νερού, αερίων) είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη. Η γεωθερμική ενέργεια είναι μία ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη σε ανθρώπινη κλίμακα μορφή ενέργειας και με αυτή την έννοια ανανεώσιμη, γιατί τα ρευστά που εκμεταλλευόμαστε έχουν μετεωρική, επιφανειακή προέλευση και ανανεώνονται. Γεωθερμική καλείται



Εξιδανικευμένο μοντέλο γεωθερμικού συστήματος.(Πηγή GEO – Heat Center)

επίσης και η ενέργεια των θερμών πετρωμάτων (hot rocks) ή των λιωμένων μαγματικών υλικών.

Λαμβάνοντας τη γεωθερμική ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας θα πρέπει να προσεχθούν δύο σημεία:

1. Κάθε γεωθερμικό πεδίο έχει ένα ορισμένο ενεργειακό δυναμικό που με το χρόνο και ανάλογα με τη χρήση του θα πρέπει να προσεχθεί να μην εξαντληθεί.
2. Οι επιπτώσεις της γεωθερμικής ενέργειας στο περιβάλλον ορισμένες φορές δεν είναι εντελώς ήπιες. Έτσι ανάλογα με τη φύση του γεωθερμικού ρευστού και με τη διάρκεια χρήσης του, μπορεί να προκληθεί ρύπανση αν δε ληφθούν έγκαιρα τα κατάλληλα μέτρα.

Το γεωθερμικό ρευστό μπορεί να είναι είτε επιφανειακό, οπότε δεν χρειάζονται ή χρειάζονται απλές εγκαταστάσεις για τη λήψη του, είτε βρίσκεται σε κάποιο βάθος, οπότε χρειάζονται εκτεταμένες εργασίες για τη λήψη αυτού.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.

Τα ηφαίστεια και οι θερμές εκδηλώσεις ήταν γνωστά από τους προϊστορικούς χρόνους, στα οποία η Μυθολογία μας αφιέρωσε ένα θεό, τον Ήφαιστο. Αντίστοιχα, και σε άλλους πολιτισμούς (Αφρική, Χαβάη, Ιαπωνία, Αμερική προ του Κολόμβου) είναι συχνή η θεοποίηση των ηφαιστειών. Αρχικά ο Ήφαιστος συνδέθηκε με το υπόγειο εργαστήριο του στη Λήμνο, όπου κατασκεύαζε τα με περισσή τέχνη τις πανοπλίες και άλλα χρήσιμα μεταλλικά εργαλεία για τους θεούς. Στη συνέχεια συνδέθηκε με τα ηφαίστεια και, κυρίως, με την Αίτνα που ήταν (και συνεχίζει να είναι) ένα από τα πιο ενεργά ηφαίστεια του κόσμου και πολύ συχνά δημιουργεί εκρήξεις. Κάτω από αυτό το βουνό είχαν τοποθετήσει οι αρχαίοι τη δραστηριότητα του θεού των αρχαίων Ελλήνων και Ρωμαίων, οι οποίοι τον ονόμαζαν Vulcanus.

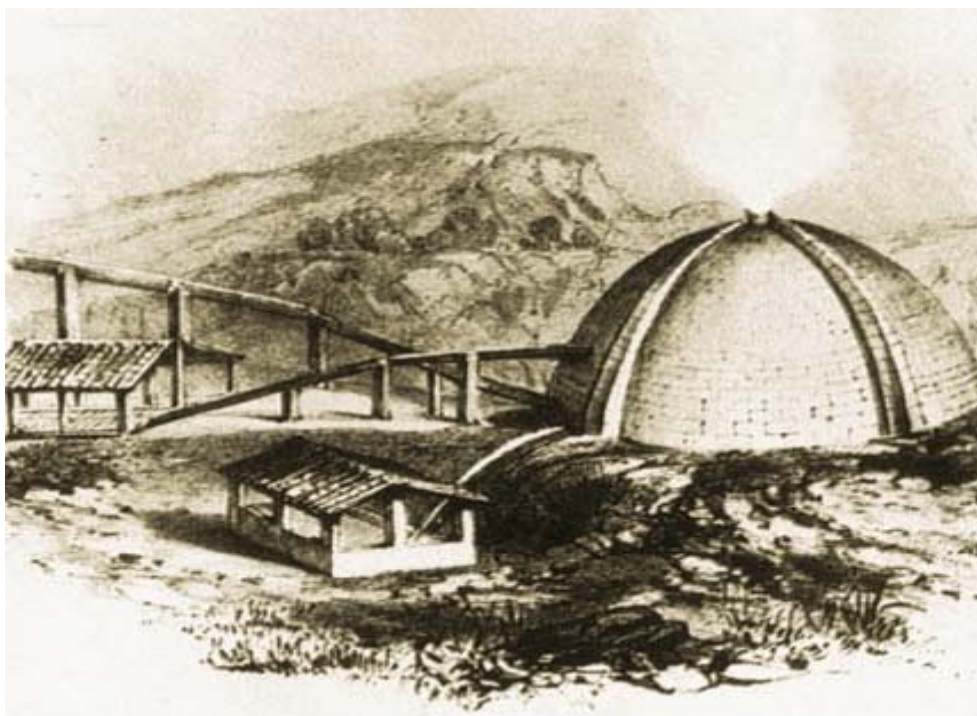
Ο ημίθεος Ηρακλής συνδέθηκε και με τα θερμά λουτρά, τα οποία συχνά επισκεπτόταν για να πάρει την εντυπωσιακή σωματική του δύναμη. Πολλές ιαματικές εγκαταστάσεις κοντά σε φυσικές θερμές πηγές έχουν πάρει το όνομα τους από αυτόν τον ημίθεο και ονομάστηκαν «Θερμές του Ηρακλή». Και οι Νύμφες συνδέθηκαν με τις θερμές πηγές, όπως π.χ. οι Ανιγροίδες Νύμφες, οι οποίες ζούσαν στη σπηλιά των σημερινών Θερμών λουτρών Καϊάφα, στη Δυτική Πελοπόννησο.

Οι θερμές πηγές θεωρούνταν από την αρχαιότητα ότι είχαν θεραπευτικές και υπερφυσικές ιδιότητες, και γι' αυτό το λόγο τα Ασκληπιεία αλλά και άλλοι

ιεροί χώροι, βρίσκονταν κοντά σε θερμές πηγές. Ο ναός της Αρτέμιδας στη Λέσβο είναι κτισμένος επάνω στο χώρο όπου αναβλύζουν και σήμερα θερμές πηγές. Υπάρχουν πολλές παραστάσεις, κυρίως πάνω σε αγγεία, που συνδέουν τις θερμές πηγές με τη χρήση του νερού για ιαματικούς σκοπούς, ακόμα και για θρησκευτικούς.

Η χρήση των φυσικών θερμών ρευστών ήταν γνωστή και στους αρχαίους ανατολικούς λαούς, στη Κίνα και την Ιαπωνία, με πληθώρα μαρτυριών στη μυθολογία και την ιστορία τους. Οι Ετρούσκοι και οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν τα θερμά νερά, όχι μόνο για ιαματικούς σκοπούς αλλά και για τη θέρμανση οικιών. Ο Γαληνός προσέφερε φρούτα εκτός εποχής στους καλεσμένους του, τα οποία παρήγαγε σε κάποια «γεωθερμικά» θερμοκήπια. Ο στρατηγός Σίλας χρησιμοποίησε τις θερμές πηγές της Αιδηψού για να γιατρευτεί και το όνομα του φέρει μέχρι σήμερα μία πηγή και ο χώρος, στον οποίο υπάρχει το ομώνυμο σύγχρονο λουτροθεραπευτικό - ξενοδοχειακό συγκρότημα.

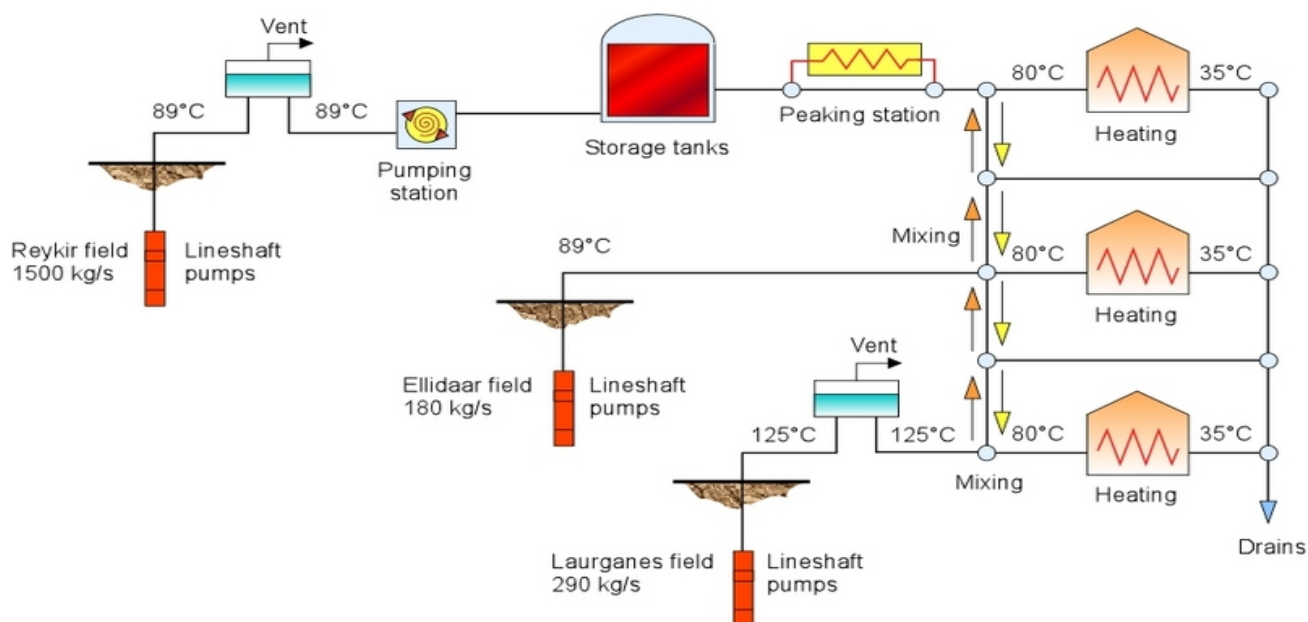
Τα φυσικά λοιπόν θερμά ρευστά χρησιμοποιήθηκαν από πολύ παλιά, κυρίως για τις θεραπευτικές τους ιδιότητες, σπάνια για τις ενεργειακές τους ιδιότητες. Οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεψαν, κατά τον προηγούμενο κυρίως αιώνα, την απόληψη της γεωθερμικής θερμότητας. Προηγουμένως έλειπαν προφανώς οι μεγάλες ποσότητες ρευστών που μπορούν να παραχθούν με τις γεωτρήσεις, αφού η τεχνολογία των γεωτρήσεων αναπτύχθηκε ουσιαστικά μόλις τον προηγούμενο αιώνα. Πράγματι, οι ποσότητες των ρευστών που καταφέρνουν να φθάνουν από μόνα τους στην επιφάνεια είναι πάρα πολύ μικρές, σε σύγκριση με τα ρευστά που είναι εγκλωβισμένα στο υπέδαφος και «περιμένουν» τις γεωτρήσεις για να ανέβουν στην επιφάνεια της Γης, είτε με τη δίκη τους πίεση είτε ύστερα από άντληση.



Το “Covered Lagoon” χρησιμοποιούνταν μέχρι το μισό του 19^{ου} στο Larderello, Ιταλία, για τη συλλογή των ζεστών νερών και την εξαγωγή βορικού οξέος.

([google\images\thehistoryofgeothermia](#))

Στη σύγχρονη εποχή, η πρώτη βιομηχανική αξιοποίηση της γεωθερμίας πραγματοποιήθηκε στο Larderello της Ιταλίας. Στο πεδίο αυτό, από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα χρησιμοποιούνταν υπέρθερμος ατμός για την παραγωγή βορικού οξέος (με εξάτμιση των υπέρθερμων ρευστών που περιείχαν σημαντικές ποσότητες του οξέος) και για τη θέρμανση κτηρίων. Εκεί, το 1904, έγινε η πρώτη πετυχημένη προσπάθεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με τη χρήση των φυσικών ατμών που έβγαιναν με πίεση. Η πρώτη συστηματική αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων και κτηρίων ξεκίνησε στη δεκαετία του 1920 στην Ισλανδία. Σήμερα, το μεγαλύτερο μέρος



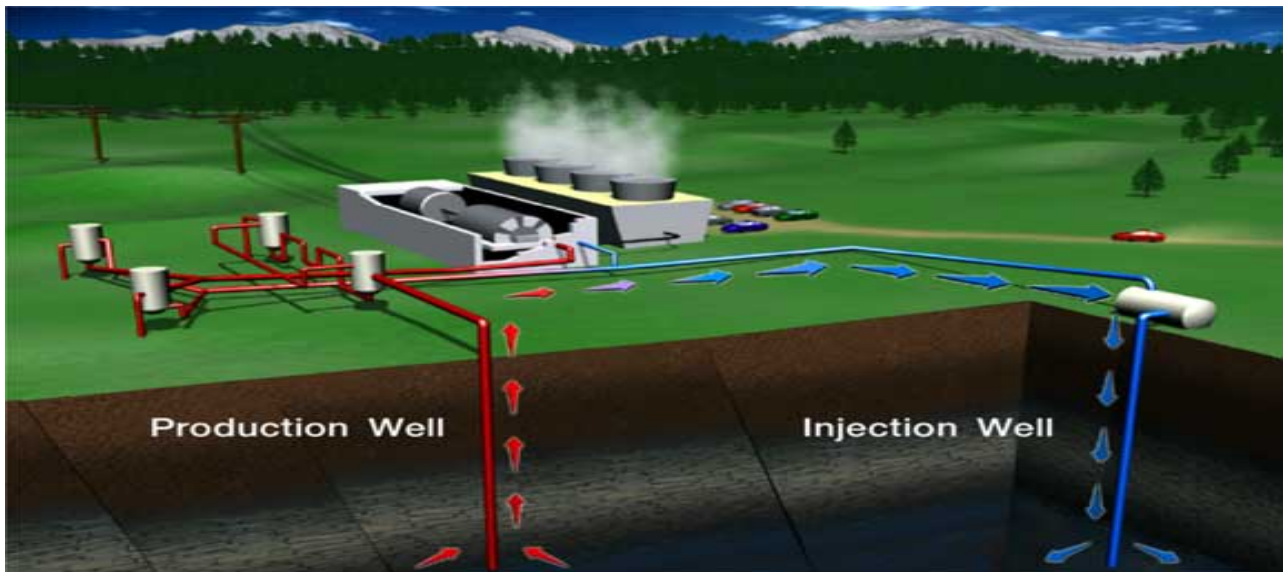
Σύστημα απευθείας θερμικών χρήσεων στο Reykjavik.

(google\images\reykjavikgeothermy)

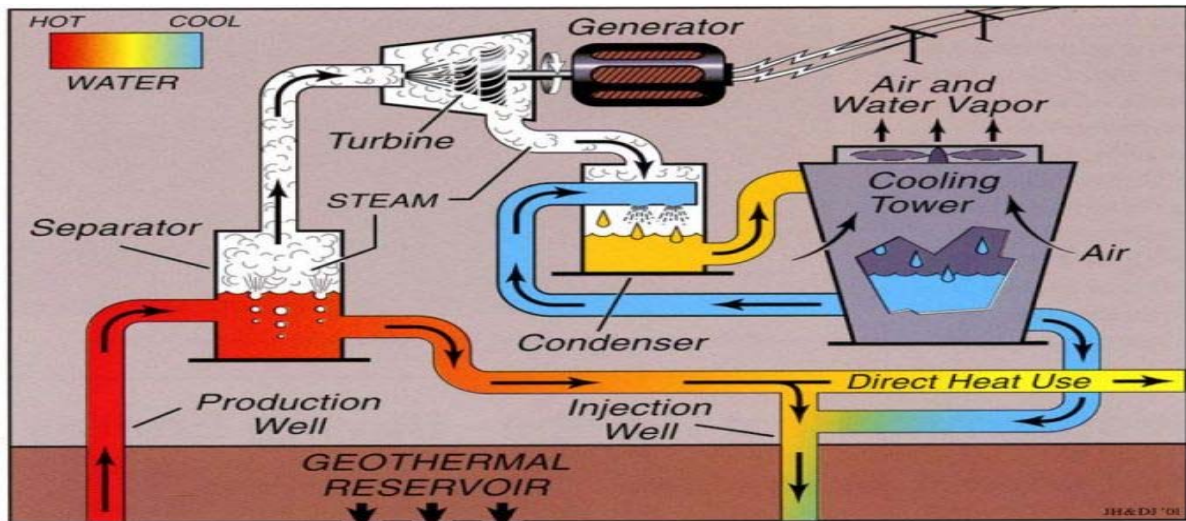
του πληθυσμού της Ισλανδίας (και ολόκληρη η πόλη του Reykjavik) θερμαίνονται με γεωθερμικά ρευστά. Συγχρόνως, υπάρχουν ποικίλες άλλες εφαρμογές, όπως παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, θέρμανση θερμοκηπίων και πισινών (ονομαστή είναι η μεγάλη σε έκταση πισίνα Blue Lagoon στο Grindavík, η οποία θεωρείται ότι έχει και ιαματικές ιδιότητες), χρήση των νερών στην ιχθυοκαλλιέργεια, ξήρανση γης διατόμων κ.α., με συνολική εγκατεστημένη ισχύ θερμικών μονάδων 1469 MWt (ποσοστό 17% των παγκόσμιων θερμικών χρήσεων) και ηλεκτρικών μονάδων 170 MWe. Το παράδειγμα της Ισλανδίας μιμήθηκαν και πολλές άλλες χώρες της Ευρώπης, αλλά και της Ασίας και της Αμερικής. Σήμερα ο αριθμός των χωρών που έχουν εμπλακεί ουσιαστικά στη γεωθερμική ενέργεια και εκμετάλλευση για γεωθερμικούς σκοπούς ξεπερνά τις 60, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ που υπερβαίνει τα 15000 MWt (Lund and Freeston, 2001). Στην ηλεκτροπαραγωγή, εκτός από την Ιταλία, από το 1950 και μετά έχουν εμπλακεί κατά σειρά η Ν. Ζηλανδία, οι Η.Π.Α., η Ιαπωνία, το Μεξικό, οι Φιλιππίνες και αρκετές χώρες της Κεντρικής Αμερικής.



Γεωθερμικό εργοστάσιο ηλεκτροπαραγωγής στο Geyserville, California
(google\images\geothermalplans)



Απεικόνιση γεωθερμικού ηλεκτροπαραγωγικού εργοστασίου
(google\images\geothermalplans)

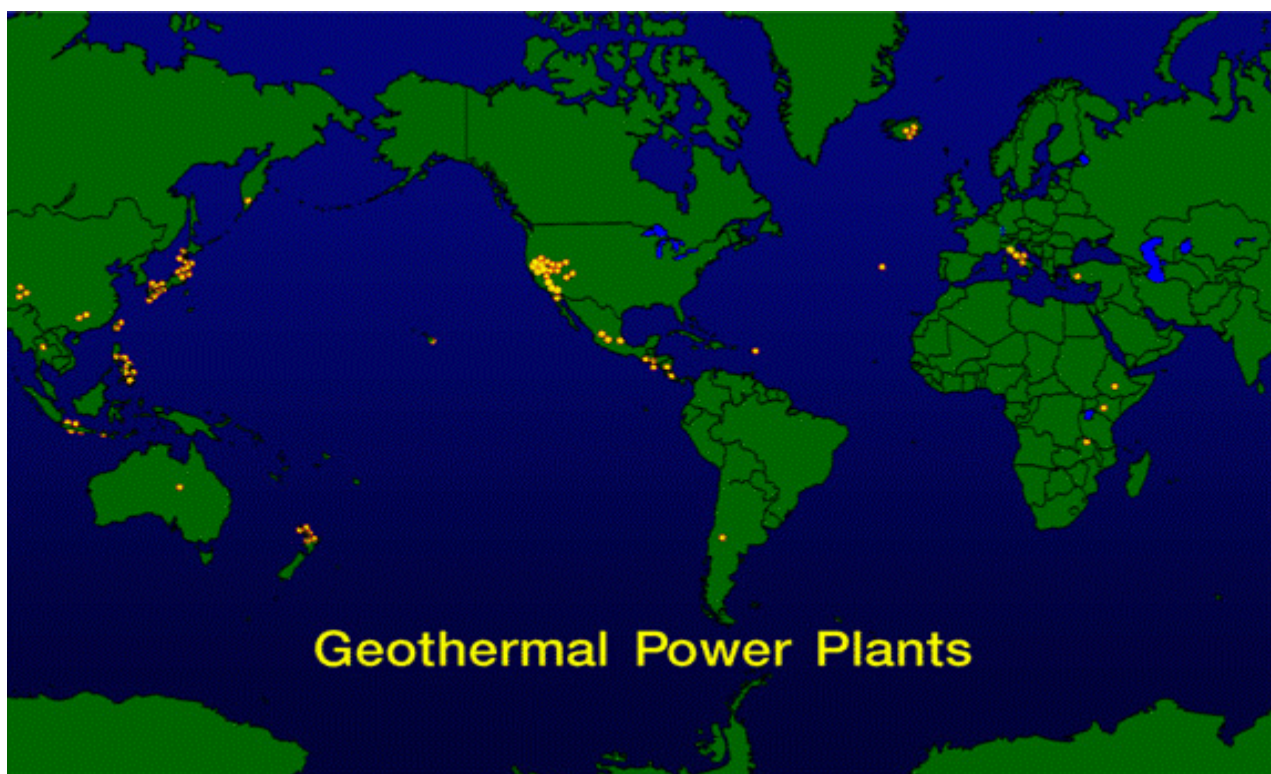


Η διαδρομή του γεωθερμικού ρευστού μέσα στο εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

(google\images\geothermalplans)

Όσον αφορά την Ευρώπη, υπάρχουν 28 «γεωθερμικά» ενεργές χώρες με εφαρμογές αμέσων χρήσεων και έξι χώρες με γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή (Ιταλία, Ισλανδία, Γαλλία, Γερμανία, Αυστρία και Πορτογαλία), με εγκατεστημένη ισχύ 971 MWe και παραγωγή 5635 GWh το χρόνο ηλεκτρικής ενέργειας (Huttrer, 2001).

Ενώ το δυναμικό της γεωθερμικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο (αλλά και στην Ελλάδα) είναι σημαντικό, υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στο να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά αυτό το δυναμικό. Αυτοί οι περιορισμοί μπορούν να είναι τεχνικής (διάβρωση, δημιουργία επικαθήσεων), περιβαλλοντικής (κυρίως εκπομπές υδρόθειου), νομοθετικής και οικονομικής φύσεως. Οι οικονομικοί περιορισμοί παίζουν σπουδαίο ρόλο σε κάθε προσπάθεια αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Γενικά είναι πιθανότερη η αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών όταν αυτά βρίσκονται κοντά σε βιομηχανικές, αστικές ή αγροτικές περιοχές, ή όταν υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.



Υπάρχοντα γεωθερμικά ηλεκτροπαραγωγικά εργοστάσια στον κόσμο.

(google\images\geothermalplansworldmap)

Country	1995 (MW _e)	2000 (MW _e)	1995-2000 (increase in MW _e)	% increase (1995-2000)	2003 (MW _e)
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

Εγκαταστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς παγκοσμίως από το 1995 έως το 2000
(Huttrer,2001) και στα τέλη του 2003

Country	Power (MW _t)	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	37 908
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	1713

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	2.4	49
Philippines	1	25
Poland	68.5	275
Portugal	5.5	35
Romania	152.4	2871
Russia	308.2	6144
Serbia	80	2375
Slovak Republic	132.3	2118
Slovenia	42	705
Sweden	377	4128
Switzerland	547.3	2386
Thailand	0.7	15
Tunisia	23.1	201
Turkey	820	15756

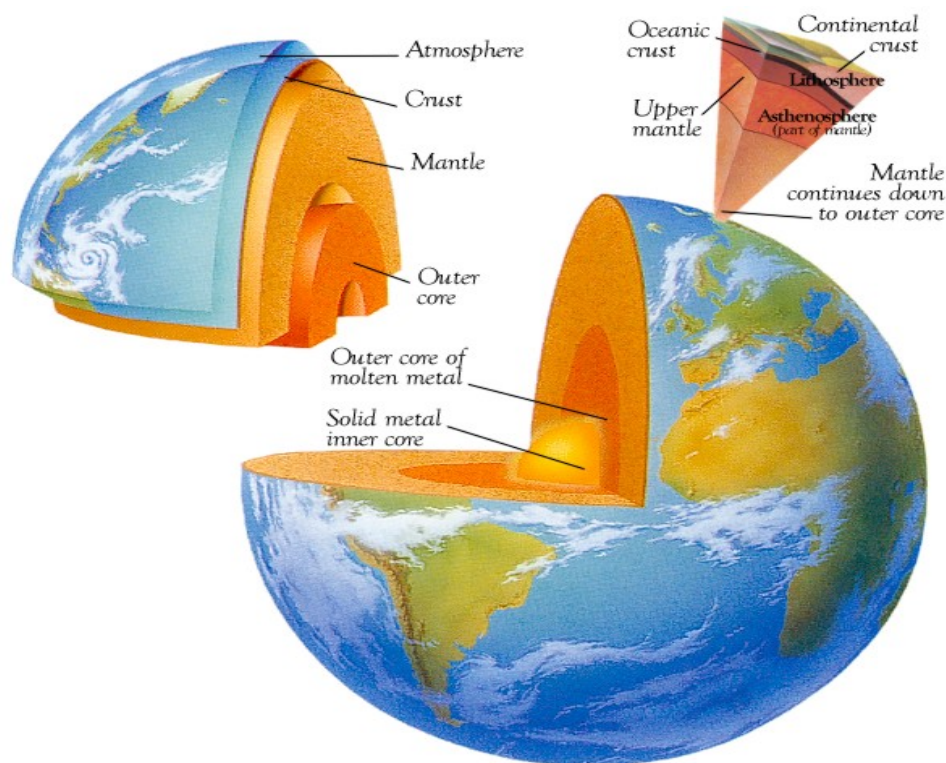
United Kingdom	2.9	21
USA *	3766	20302
Venezuela	0.7	14
Yemen	1	15
Total	15145	190699

Μη ηλεκτρικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως (2000): εγκατεστημένη θερμική ισχύς σε MWt και ενεργειακή χρήση σε TJ/yr, από Lund & Freeston 2001.

1.3 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Η Θερμική ενέργεια προέρχεται από το εσωτερικό της Γής. Η κατανομή της, η ροή και οι μεταβολές της, είναι υπεύθυνες για την γένεση και την εξέλιξη πολλών γεωλογικών φαινομένων σε πλανητική κλίμακα (κίνηση λιθοσφαιρικών πλακών, ηφαιστειακή δραστηριότητα, μαγματική δράση, μεταμόρφωση των πετρωμάτων).

Πηγή της θερμικής ενέργειας είναι η θερμότητα του εσωτερικού της Γης, καθώς και η διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων που βρίσκονται κατανεμημένα στον πυρήνα και στο μανδύα. Η γεωθερμική ενέργεια κάνει έντονα την εμφάνισή της σε σχετικά μεγάλα κατά κανόνα βάθη (η μέση γεωθερμική βαθμίδα αντιστοιχεί σε άνοδο θερμοκρασίας 1⁰C ανά 33 m), εκτός από τις περιπτώσεις όπου έχουμε είτε τοπική άνοδο μανδουακού υλικού (και μετάδοση της θερμότητας σε στρώματα του φλοιού) ή άνοδο - δια μέσου ρωγμών- θερμών ρευστών τα οποία μεταφέρουν την υπόγεια θερμότητα σε μικρότερα βάθη.



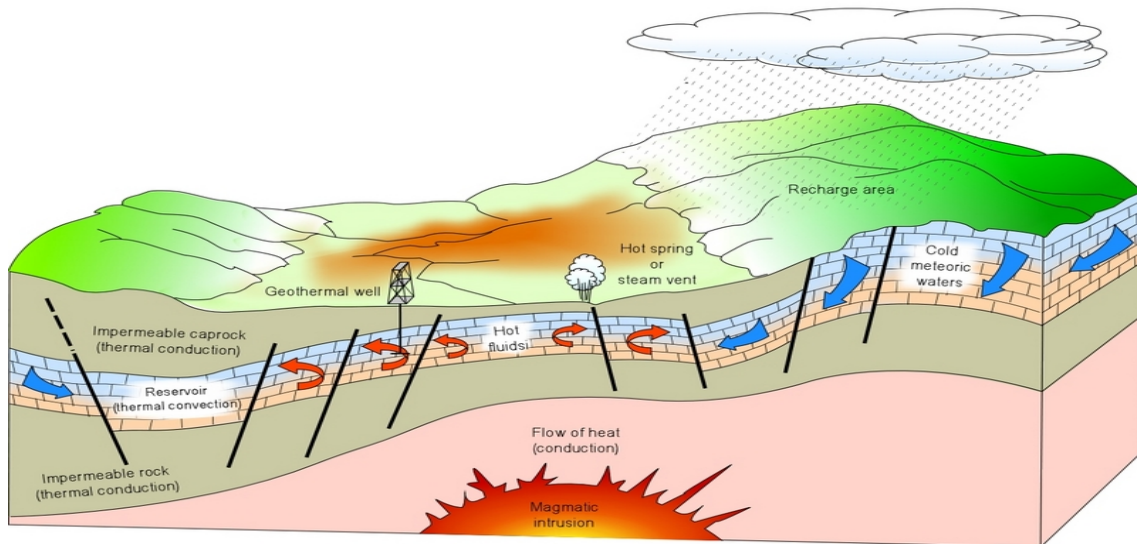
Η δομή της Γης
(Πηγή U.S. Geological Survey)

Αλλά ακόμη και σε σχετικά μικρά βάθη (πολλές φορές μικρότερα από 20 m), υπάρχει ένα σημαντικό –για τα ανθρώπινα μέτρα- ενεργειακό φορτίο που βρίσκεται αποθηκευμένο στο έδαφος, και οφείλεται στη μεγάλη θερμοχωρητικότητα των πετρωμάτων και στην ικανότητα τους να αποθηκεύουν τα μεγάλα ποσά της θερμότητας που δέχονται συνεχώς από τα βαθύτερα στρώματα.

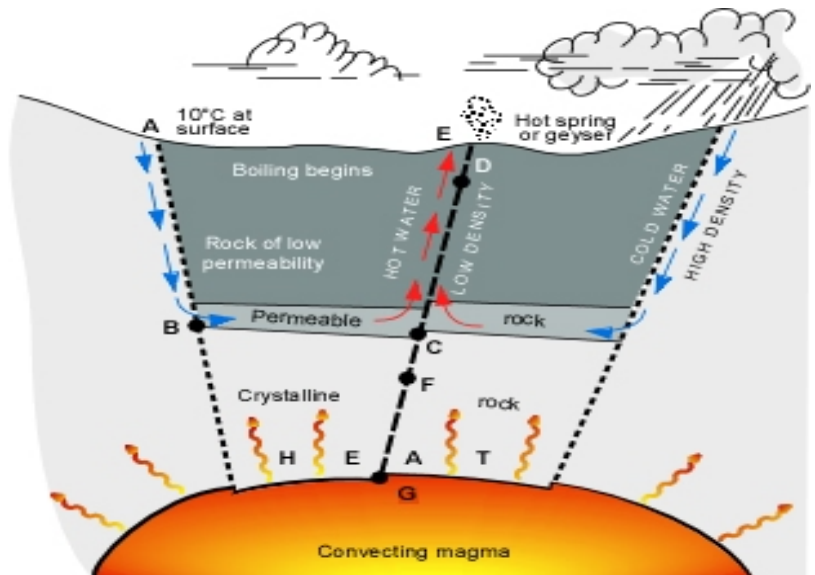
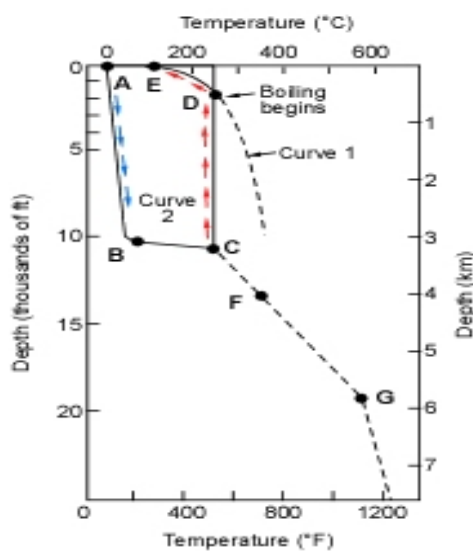
Τόσο η έννοια και η χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα έχουν θεσμοθετηθεί από το 1984. Σύμφωνα με το υπ. Ν 1475/84 άρθρο 1 παρ.1 (ΦΕΚ 131 τεύχος Α 1984):

1. Γεωθερμικό δυναμικό νοείται το σύνολο των γηγενών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπογείων και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών.
2. Γεωθερμική ενέργεια νοείται η ενέργεια που εμπεριέχεται στο γεωθερμικό δυναμικό και αντλείται από αυτό.

3. Θερμά νερά νοούνται τα νερά των οποίων η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 25° C.



Σχηματική αναπαράσταση γεωθερμικού συστήματος (www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php)



Πρότυπο μοντέλο γεωθερμικού συστήματος. Η γραμμή (1) είναι η καμπύλη αναφοράς του σημείου ζέσεως του καθαρού νερού. Η καμπύλη (2) δείχνει τη θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος μίας τυπικής. (www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php)

Για τη γεωθερμική ενέργεια και την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού στην Ελλάδα ψηφίστηκε πρόσφατα ο Νόμος 3175/2003 (Αρ. ΦΕΚ 207 Α' /29.8.2003), ο οποίος αντικατέστησε τον προηγούμενο νόμο 1475/84. Συνοπτικά ο νέος νόμος περιλαμβάνει τις εξής διατάξεις που αφορούν τη γεωθερμία:

1. Το γεωθερμικό δυναμικό χαρακτηρίζεται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία συμβάλει στην αιεφόρο ανάπτυξη και το γενικό συμφέρον των πολιτών. Για την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού (Γ.Δ.) και για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιούνται οι διατάξεις του Μεταλλευτικού Κώδικα (Ν.Δ. 210/73).
2. Ως Γ.Δ. θεωρούνται οι γηγενείς φυσικοί ατμοί, τα θερμά νερά και η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25°C.
3. Για τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας (25 – 90 °C) η αρμοδιότητα ανήκει στις Περιφέρειες που ανήκουν, ενώ για τα πεδία με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 90°C αρμόδιο είναι το Υπουργείο Ανάπτυξης (Υ.Α.).
4. Εισάγεται ο όρος της διαχείρισης του γεωθερμικού πεδίου για την παραγωγική εξόρυξη των ρευστών, την ορθολογική αξιοποίηση των διαφόρων προϊόντων κ.λ.π., τη διανομή και ελεύθερη διάθεση τους σε τρίτους και για κάθε είδους χρήσιμες εφαρμογές.
5. Το δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης του Γ.Δ. ανήκει στο Δημόσιο. Στα βεβαιωμένα πεδία εκμισθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης σε τρίτους ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό για 15 χρόνια και δυνατότητα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή για 5 ακόμα χρόνια.
6. Για χώρους και πεδία που δεν έχουν ερευνηθεί εκμισθώνεται το δικαίωμα έρευνας πάλι με διαγωνισμό, για 5 χρόνια, με δικαίωμα παράτασης για άλλα. εφόσον η έρευνα καταλήξει θετικά, παρέχεται στο μισθωτή και το δικαίωμα της διαχείρισης χωρίς νέο διαγωνισμό.
7. Οι ειδικότεροι όροι και οι διαδικασίες της εκμίσθωσης ρυθμίζονται με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης. Η εκμίσθωση και η διαχείριση των πεδίων χαμηλής θερμοκρασίας διενεργείται σύμφωνα με το μεταλλευτικό κώδικα.

8. Ο μισθωτής υποχρεώνεται σε κατάθεση εγγυητικών επιστολών εκπλήρωσης των όρων της σύμβασης και την εκτέλεση των ερευνητικών προγραμμάτων και των οικονομοτεχνικών μελετών. Επίσης καταβάλλει στο Δημόσιο αναλογικό μίσθωμα βάσει του μεταλλευτικού κώδικα (1% έως 3% της καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας) και εφοδιάζεται με τις προβλεπόμενες διοικητικές άδειες και εγκρίσεις.
9. Το 30% του εισπραττόμενου μισθώματος προορίζεται για τους ΟΤΑ, στην περιοχή των οποίων βρίσκεται το πεδίο.
10. Ο μισθωτής δικαιούται να διαχειρίζεται το γεωθερμικό πεδίο στο πλαίσιο της μελέτης και να διαθέτει ελεύθερα τα προϊόντα, παραπροϊόντα και υποπροϊόντα του πεδίου. Ακόμη, μπορεί να καταλαμβάνει προσωρινώς εδάφη με τη διαδικασία του μεταλλευτικού κώδικα.
11. Τα δικαιώματα εκμίσθωσης μπορούν να εκχωρηθούν σε τρίτους μόνο ύστερα από έγκριση του Δημοσίου.
12. Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης θεσπίσθηκε Κανονισμός Γεωθερμικών Εργασιών.
13. Απαγορεύεται η έρευνα, η διαχείριση, η εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων χωρίς το σχετικό δικαίωμα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το Γ.Δ. επιτρέπεται μόνο ύστερα από το διαγωνισμό και την έκδοση άδειας παραγωγής σύμφωνα με τις διατάξεις του ν.2773/1999 (ΦΕΚ 286 Α', «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας – Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις»).
14. Αντιμετωπίζεται και η δυνατότητα θέρμανσης - ψύξης χώρων με εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών με θερμοκρασίες $< 25^{\circ}\text{C}$ (αβαθής γεωθερμία), για την οποία αρμόδια είναι η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση.
15. Δικαιώματα έρευνας ή εκμετάλλευσης Γ.Δ., που έχουν παραχωρηθεί μέχρι την έκδοση του νόμου αυτού, παραμένουν ισχυρά με τους ίδιους όρους. Επέκταση αυτών μπορεί να γίνει μόνο με τις διαδικασίες του νέου νόμου.
16. Επιτρέπεται η εγκατάσταση, διαχείριση και εκμετάλλευση του δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους ύστερα από άδεια του Υ.Α. και γνωμάτευση της Ρ.Α.Ε. (Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας).

Οι κυριότεροι νεωτερισμοί και βελτιώσεις που εισάγονται με το νέο νόμο είναι:

1. Ίση αντιμετώπιση των υποψηφίων μισθωτών του Γ.Δ. ύστερα από διαγωνισμό, οι όροι του οποίου είναι διοικητικά ίδιοι και η πλειοδοσία προκύπτει από τα στοιχεία, τις μελέτες και τις ικανότητες των υποψηφίων.
2. Προκήρυξη διαγωνισμού με πρωτοβουλία της δημόσιας αρχής, που αφορούν σε ενιαία κατά το δυνατόν γεωθερμικά πεδία (και όχι κατατεμαχισμένα) και για κάθε πεδίο χωριστά. Οι ειδικοί όροι των διαγωνισμών και η διαδικασία εκμίσθωσης ρυθμίζονται από την απόφαση του Υ.Α. και είναι ενιαίοι.
3. Ο διαχειριστής του πεδίου θα πρέπει να έχει τα τεχνικά προσόντα και να μπορεί να προβεί στις αναγκαίες επενδύσεις, ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη υποδομή για παραγωγή και διάθεση σε τρίτους έτοιμης ενέργειας (θερμικής ή ηλεκτρικής).

Αποφασιστικό ρόλο για την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας των εφαρμογών της γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα (όπου υπάρχει σημαντικό έλλειμμα) πιστεύεται ότι θα παίξουν οι κατάλληλοι διαχειριστές των βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων, τα οποία είναι αρκετά και το βεβαιωμένο δυναμικό τους ανέρχεται σε πολλές εκατοντάδες MW.

4^ο ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ / ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΕΙΣ

Τα γεωθερμικά συστήματα επιχορηγούνται από το 4^ο Κ.Π.Σ. για την τουριστική ανάπτυξη ή τον εκσυγχρονισμό. Στις συνολικές δαπάνες συμπεριλαμβάνονται η ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων, ο γεωσυλλέκτης, τα δίκτυα διανομής του νερού, οι γεωθερμικές αντλίες, ο ηλεκτρολογικός πίνακας, οι μελέτες και η επίβλεψη του έργου καθώς επίσης και οι μονάδες εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα ή ενδοδαπέδια θέρμανση. Την επιχορήγηση έχουν δικαίωμα να την λάβουν νομικά πρόσωπα και ΜΟΝΟ, και εφ' όσον πληρούν τις προϋποθέσεις της επιχορήγησης. Το ποσοστό της επιχορήγησης είναι συνάρτηση του κεντρικού άξονα στο οποίο υπάγεται η επιχορήγηση. Στο τομέα του εκσυγχρονισμού το ποσοστό της επιχορήγησης κυμαίνεται βάση της γεωγραφικής τοποθεσίας που υπάγεται το έργο, ενώ στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι σταθερή σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια.

2 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Η συγκεντρωμένη θερμότητα στο εσωτερικό της Γης μεταφέρεται στην επιφάνεια μέσω των γεωλογικών φαινομένων, δημιουργώντας έτσι υπέρθερμες περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα πολύ μεγαλύτερη από τη κανονική. Το σημαντικότερο από αυτά τα γεωλογικά φαινόμενα είναι αυτό των Λιθοσφαιρικών Πλακών. Βάση αυτής, το εσωτερικό κέλυφος της Γης, η Λιθόσφαιρα, δεν είναι ενιαία, αλλά αποτελείται από πολλά κομμάτια, τις Λιθοσφαιρικές Πλάκες. Οι πλάκες αυτές βρίσκονται σε διαρκή κίνηση που πραγματοποιείται με πολύ μικρή ταχύτητα, μόλις μερικά εκατοστά το χρόνο. Στα όρια τους παρατηρούνται 3 ειδών κινήσεις:

1. Οι δύο πλάκες αποκλίνουν, απομακρύνονται η μια από την άλλη. Στο κενό που δημιουργείται ανέρχεται μάγμα από τον μανδύα, που στερεοποιείται και δημιουργεί καινή λιθόσφαιρα. Έτσι δημιουργούνται οι «ράχες».

2. Οι δύο πλάκες συγκλίνουν, βυθίζεται η μια (αυτή που έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα άρα και βαρύτερη) κάτω από την άλλη κι εν συνεχεία απορροφάται από τον μανδύα και καταστρέφεται. Φαινόμενα τριβής στα όρια των πλακών έχουν σαν αποτέλεσμα, μέρος της μηχανικής ενέργειας να μετατρέπεται σε θερμότητα, που εκτονώνεται με μορφή ηφαιστειότητας. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται τάφροι, όπου η λιθόσφαιρα καταστρέφεται με το ρυθμό που δημιουργείται στις «ράχες».

3. Οι πλάκες κινούνται παράλληλα η μια στην άλλη, έτσι ώστε χωρίς να δημιουργείται ή να καταστρέφεται.

Τόσο οι «τάφροι» όσο και οι «ράχες» συνδέονται με ηφαιστειακή δράση, άρα με υπέρθερμες περιοχές. Γι' αυτό και τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται στις συγκεκριμένες περιοχές, δηλαδή στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, «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:

1. Τοπικά υψηλή θερμική ροή από τον μανδύα και τη βάση του φλοιού προς την επιφάνεια σε μεγάλες περιοχές (ηφαιστειότητα θερμών κηλίδων, hot spots)
2. Αυξημένες συγκεντρώσεις των ραδιενεργών στοιχείων ουρανίου, θορίου και καλίου.

3. Σε ορισμένες περιοχές στο φλοιό της Γης, που συντελούν στην παραγωγή θερμότητας και κατά συνέπεια αύξηση της γεωθερμικής βαθμίδας. Πετρώματα με αυξημένες αυτές τις συγκεντρώσεις είναι τα γρανητικά με 5-10 ppm σε ουράνιο και 80 ppm σε θόριο.

4. Φαινόμενα συναγωγής που προκαλούνται από κυκλοφορία θερμού νερού διαμέσου πορώδων σχηματισμών ή μέσα από συστήματα ρηγμάτων. Έτσι μεταφέρεται η θερμότητα σε μικρότερα βάθη και αυξάνει η γεωθερμική βαθμίδα.

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

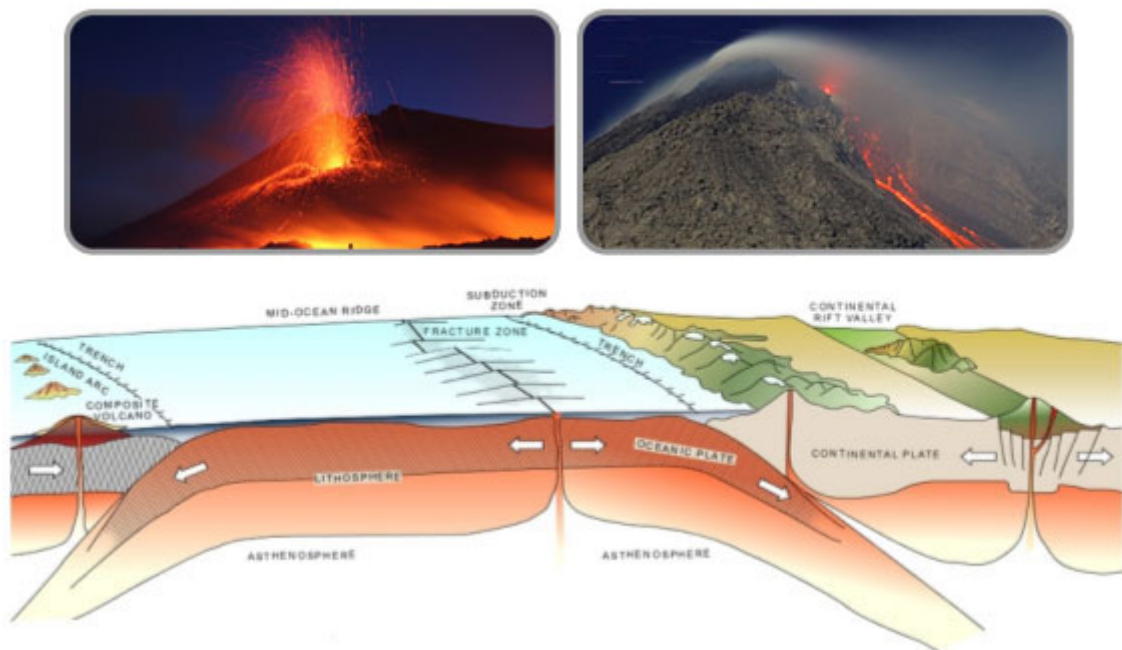
Οι παραπάνω μηχανισμοί μπορεί να δημιουργήσουν δευτερεύουσας σημασίας γεωθερμικές ανωμαλίες μακριά από τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Έτσι, ενώ σημαντικές θερμικές ανωμαλίες εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, περιοχές με ελαφρά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα συναντώνται σε όλη τη Γη.

Γνωρίζοντας ότι η θερμότητα του πλανήτη μας βρίσκεται στο εσωτερικό του, πρέπει να γίνουν γεωτρήσεις προκειμένου να προσπελάσουν τις ζώνες των σεισμικών εστιών. Θερμοκρασίες κατάλληλες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να βρεθούν σε βάθη 2-3 Km, ενώ σε αυτά τα βάθη, σε περιοχές με μέση γεωθερμική βαθμίδα, οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλότερες, ικανές μόνο για κάλυψη θερμικών αναγκών.

Σε αυτές τις περιοχές χρειάζονται γεωτρήσεις βάθους 6 - 7 Km για να βρεθούν θερμοκρασίες κατάλληλες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά είναι τα μέγιστα βάθη γεωτρήσεων που πραγματοποιούνται επειδή οι βαθιές γεωτρήσεις κοστίζουν πολύ, δεν είναι ιδιαίτερα ασφαλείς και επιπλέον σε αυτά τα βάθη μπορεί να μην υπάρχει καθόλου υδροφορία.

Η ύπαρξη υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας σε κάποια περιοχή δεν είναι η μοναδική συνθήκη- προϋπόθεση για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Η γεωθερμική ενέργεια που 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 γεωθερμικό νερό (σε υγρή ή αέρια φάση) που περιέχεται μέσα σε πορώδη πετρώματα ή με συστήματα ρηγμάτων. Έτσι η παραγωγικότητα μιας θερμικής περιοχής προσδιορίζεται και συχνά καθορίζεται από την υδρολογία των γεωλογικών σχηματισμών. Δεν έχουν όμως όλες οι περιοχές κατάλληλη υδρολογία των γεωλογικών σχηματισμών που αποτελεί τη δεύτερη συνθήκη για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Άρα, ένα φυσικό γεωθερμικό πεδίο είναι συνδυασμός θερμών πετρωμάτων και ύπαρξης νερού που κυκλοφορεί μέσα σε αυτά.



Σχηματική τομή που δείχνει τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις τεκτονικές πλάκες. (www.Boudouri.gr)



Οι θερμότερες γνωστές γεωθερμικές περιοχές του κόσμου
(google\images\geothermalregionsmaps)

2.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις άμεσες χρήσεις.

Οι πιο σημαντικές άμεσες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας είναι η θέρμανση κλειστών χώρων και εγκαταστάσεων, η αύξηση της αγροτικής παραγωγής (θέρμανση θερμοκηπίων), θέρμανση εδαφών για πρωίμηση καλλιεργειών, (όπως μανιτάρια και σπαράγγια), ξήρανση καρπών, πότισμα με γεωθερμικό νερό και οι υδατοκαλλιέργειες (χρήση ζεστού νερού για την αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης υδρόβιων ειδών). Επίσης η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία για προθέρμανση χαρτοπολτού, παστερίωση γάλακτος, προθέρμανση προϊόντων, ξήρανση ξυλείας, κρεμμυδιών, σκόρδων, τροφίμων, φρούτων, παραγωγή τσιμεντόλιθων, κατεργασία ιχθύων, παραγωγή αλατιού, βαφεία, ζύμωση αστικών λυμάτων, πλυντήρια μαλλιού και μάλλινων υφασμάτων, παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, εμπλουτισμός μεταλλευμάτων χρυσού και αργύρου. Η παλιότερη όμως και πιο διαδεδομένη χρήση διεθνώς είναι τα ιαματικά λουτρά. Χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι και η θέρμανση μεμονωμένων ή ομάδων κτιρίων ή ακόμα και η τηλεθέρμανση ολόκληρων οικισμών. Τα κτίρια αυτά μπορούν να είναι κατοικίες, ξενοδοχεία, γραφεία, καταστήματα,

κτηνοτροφικές μονάδες. Συνήθως η θέρμανση των κτιρίων γίνεται παράλληλα και με παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με γεωθερμική ενέργεια. Το γεωθερμικό νερό ακόμη μπορεί να διοχετευθεί κάτω από το οδόστρωμα, σε δρόμους και διαδρόμους προσγείωσης – απογείωσης αεροδρομίων, προκειμένου να παρέχει αντιπαγετική προστασία. Άλλες εφαρμογές είναι η βιομηχανική ψύξη, η αφαλάτωση θαλασσινού νερού και ηλεκτροπαραγωγή με κύκλο οργανικής ουσίας χαμηλού σημείου ζέσεως. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να έχουμε αν μεταδώσουμε ένα μέρος της θερμότητας των ρευστών, που έχουν μικρή σχετικά ενθαλπία, σε ειδικά υγρά με πολύ χαμηλό σημείο ζέσης όπως είναι και το φρέον, το ισοβουτάνιο, το προπάνιο και το χλωριούχο αιθύλιο. Στη Ρωσία λειτουργεί πειραματικός σταθμός 680 KWe και στις Η.Π.Α. σταθμός με ισοβουτάνιο, που θερμαίνεται με νερό θερμοκρασίας 81,5 °C. Υπάρχουν σήμερα μεγάλοι σταθμοί με μεγαλύτερες θερμοκρασίες (100 – 150°C).

Για να αντιληφθούμε το μέγεθος της καθαρής απολήψιμης ενέργειας θα πρέπει να σκεφτούμε ότι για να θερμάνουμε 100 m³ νερού από τους 17 °C στους 70 °C, καταναλώνουμε 500 λίτρα πετρελαίου την ώρα, που μπορούμε να αποφύγουμε με την εκμετάλλευση μιας συνηθισμένης γεωθερμικής γεώτρησης, με ρευστά 75°C στον ταμιευτήρα.

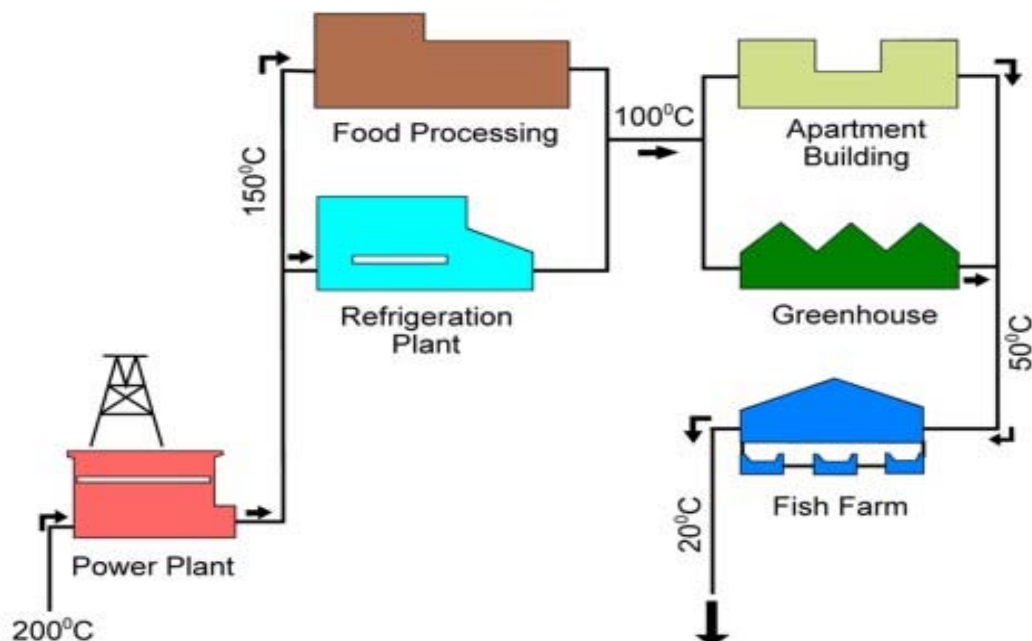
Η εκμεταλλευσιμότητα ενός γεωθερμικού πεδίου δεν εξαρτάται μόνο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, αλλά και από την οικονομικότητα της επένδυσης που πρέπει να γίνει. Η οικονομικότητα αυτή σχετίζεται με το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η επένδυση. Για παράδειγμα, οι τιμές των ορυκτών καυσίμων καθώς και οι δυσμενείς επιπτώσεις που έχουν αυτά τα καύσιμα στο περιβάλλον καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την οικονομικότητα και σκοπιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης.

Τα γεωθερμικά πεδία έχουν πολλές φορές χρήσιμα άλατα ή αέρια. Μεταξύ των πρώτων αναφέρουμε άλατα καλίου και μαγνησίου που παράγονται σε γεωθερμικές πηγές. Παρόμοια ρευστά, πολύ πλούσια σε θειικό κάλιο, βρέθηκαν τελευταίο στο καινούριο γεωθερμικό πεδίο Cesano της Ιταλίας.

Ένα αέριο που έχει μεγάλη σημασία για τα θερμοκήπια είναι το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται σε αφθονία στα γεωθερμικά πεδία. Η τεχνητή αύξηση της περιεκτικότητας σε CO₂ σε κλειστούς χώρους, όπως τα

θερμοκήπια ,είναι το καλύτερο χημικό λίπασμα και μπορεί ακόμα να διπλασιάσει την παραγωγή.

Τέλος σε μερικές περιπτώσεις, τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν σε ελάχιστες ποσότητες πολύτιμα ορυκτά, που μπορούν να αξιοποιηθούν ως υποπροϊόντα της όλης εκμετάλλευσης.

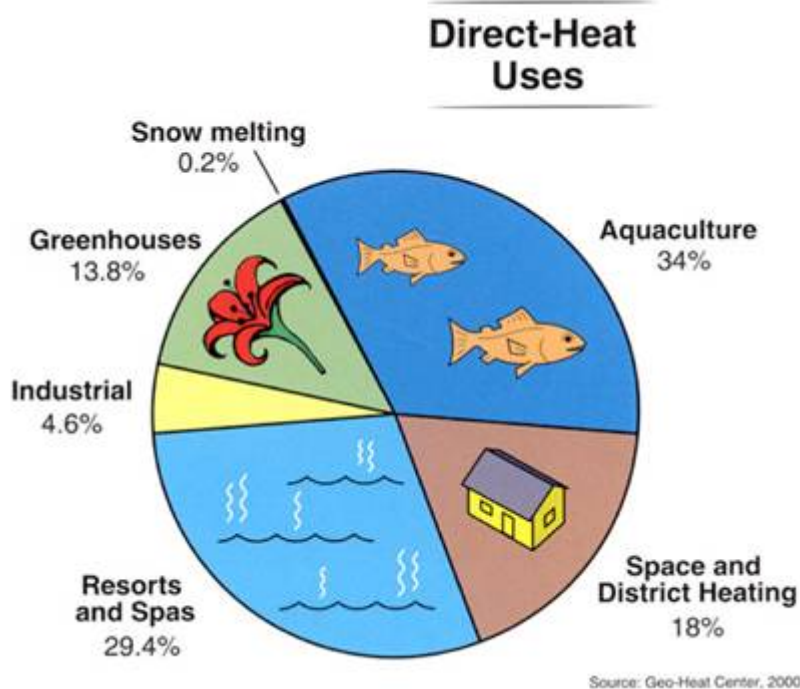


Διαδοχική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας, Geo – Heat Center, Klamath Falls, Oregon.

Χώρα	Αποδεδ ειγμένες Πηγές	Εγκατεσ τημένη Ισχύς	Συνολικά Χρησιμοπ ιούμενη Ενέργεια	Για Άμεση Χρήση			
				Εγκατεστημένη Ισχύς		Σύνολο Χρησιμοποιούμενης Ενέργειας	
	[MWt]	[MWt]	[TJ/yr]	[MWt]	[%]	[TJ/yr]	[%]
Βουλγαρία	180	34	550	21	62	200	36
Κροατία	220	28	250	10	36	100	40
Ουγγαρία	900	340	5.860	105	31	1.600	27
Βαρντάσκα – Σκόπια	150	70	610	55	78	400	65
Πολωνία	350	63	740	43	68	530	71

Ρουμανία	480	158	2.760	137	87	1.900	69
Σερβία	300	80	1.970	60	75	530	27
Σλοβακία	280	100	1.800	64	64	780	43
Σλοβενία	180	37	760	20	54	320	42
Ουκρανία	812	120	1.950	45	53	1.220	63

Απευθείας χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης.(Freeston, 1995)



Οι πιο κοινές χρήσεις τις γεωθερμικής ενέργειας (Geo – Heat Center,2000)

2.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της γεωθερμίας είναι εκείνο της πολύ μικρής περιβαλλοντικής επίπτωσης από τη χρήση της. Τα γεωθερμικά ρευστά δεν προέρχονται από καύσεις και γι' αυτό δεν παράγουν αιωρούμενα σωματίδια, τέφρα ή καπνό.

Από περιβαλλοντικής απόψεως λοιπόν, με την παραγωγή ενέργειας γεωθερμικής προέλευσης, επιτυγχάνεται η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, το οποίο αν και δεν είναι βλαβερό για την υγεία του ανθρώπου, παρόλα αυτά, είναι το κύριο αίτιο του φαινομένου του θερμοκηπίου, που απειλεί σοβαρά την οικολογική ισορροπία του πλανήτη με τις κλιματικές αλλαγές που προκαλεί.

Παράλληλα επιτυγχάνεται η μείωση και των άλλων εκπεμπόμενων ρύπων, οι οποίοι έχουν βλαβερές μακροχρόνιες επιδράσεις. Σημαντικότερος από τους ρύπους αυτούς είναι το H_2S , που προκαλεί την όξινη βρόχη, η οποία έχει καταστεί σημαντικό πρόβλημα για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Σημειώνεται ότι η εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων από μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργεί με χρήση γεωθερμίας, είναι πάρα πολύ μικρότερη μιας αντίστοιχης μονάδας που λειτουργεί με καύσιμο τον άνθρακα.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εκάστοτε γεωθερμικής εγκατάστασης ενδέχεται να προέλθουν τόσο από την κατασκευή και τυχόν κακοτεχνίες του έργου όσο και από την κακή συντήρηση και λειτουργία αυτού. Όμως η κατασκευή και η συντήρηση του έργου αποτελεί μια επίπτωση περιορισμένου χρονικού διαστήματος και είναι μερικών ημερών μονάχα. Κατά τη διάρκεια κατασκευής του έργου το γεωτρύπανο δημιουργεί θόρυβο, αέριους ρύπους και δονήσεις κατά τη διάτρηση οι οποίοι είναι μικρής διάρκειας και συνήθως βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων. Κατά τη διάτρηση συνηθίζεται η χρήση ενός μείγματος νερού / σαπουνιού που δημιουργεί αφρό, ο οποίος διοχετεύεται από το σημείο της γεώτρησης σε καθορισμένο χώρο όπου και διαλύεται σε μικρό χρονικό διάστημα από μόνος του χωρίς να υπάρχουν οποιασδήποτε μορφής κατάλοιπα.

Πιθανότητα και συχνότητα πιθανής περιβαλλοντικής επίπτωσης από προγράμματα άμεσης χρήσης της γεωθερμίας.

ΕΠΙΠΤΩΣΗ	Πιθανότητα Συμβάντος	Σοβαρότητα Επιπτώσεων
Υποβάθμιση ποιότητας του αέρα	M	M
Μόλυνση επιφανειακών νερών	M	M

Υπεδάφια μόλυνση	X	M
Υποβάθμιση τοπίου	X	X με M
Υψηλά επίπεδα θορύβου	H	X με M
Εκτόνωση γεωτρήσεων	X	X με M
Διαμάχες με πολιτιστικούς και αρχαιολογικούς φορείς	X με M	M με Y
Κοινωνικο – οικονομικά προβλήματα	X	X
Χημική ή θερμική μόλυνση	X	M με Y
Διαχείριση στερεών αποβλήτων	M	M με Y

X = χαμηλή , M = μεσαία , Y = υψηλή από Lunis & Breckenridge (1991)

3 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

Τα χημικά χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών αποτελούν κατά ένα τρόπο την ταυτότητα του πεδίου που εξετάζουμε ή εκμεταλλευόμαστε, γι' αυτό και η εργαστηριακή μελέτη τους είναι πάντα αναγκαία.

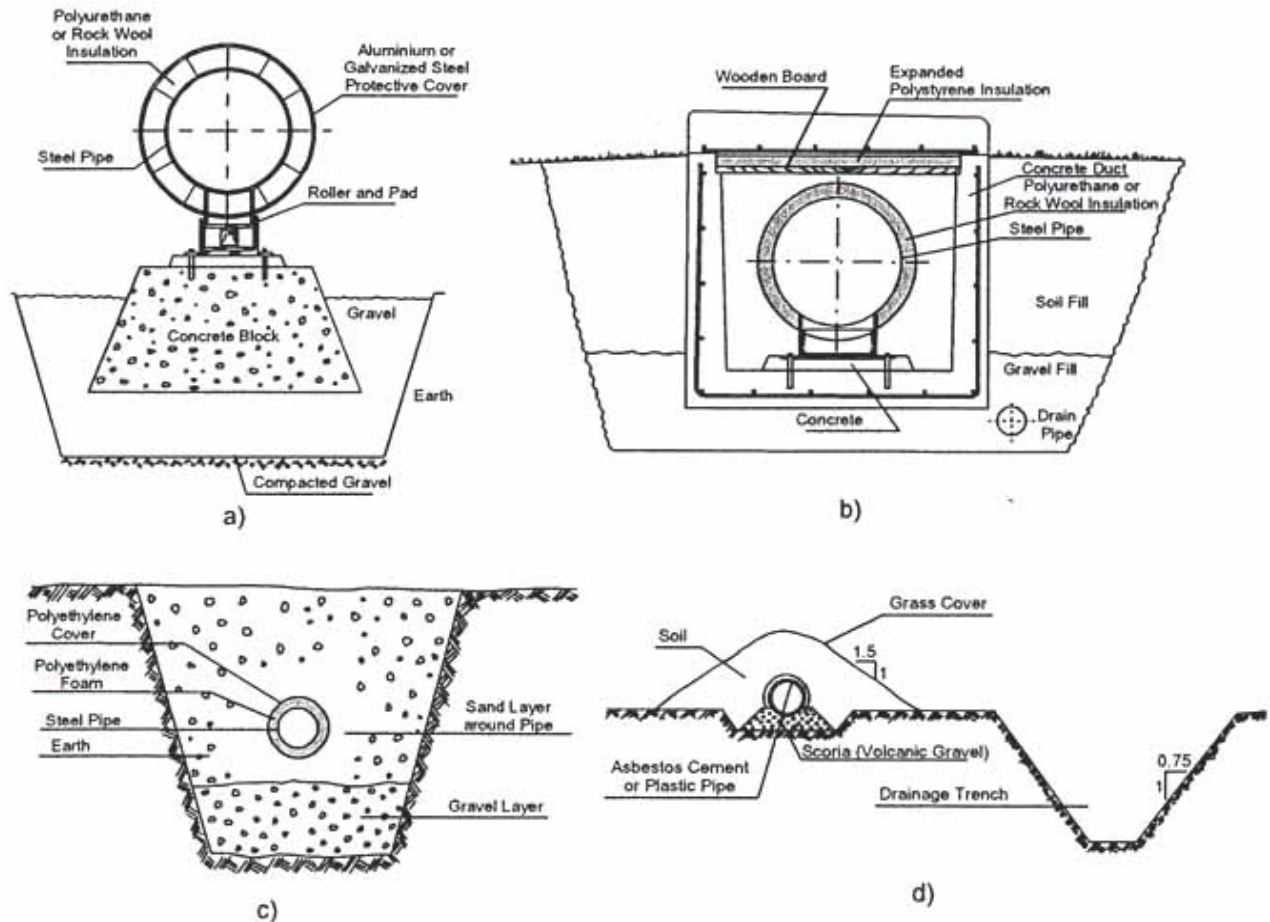
Τα αέρια που διαφεύγουν από τα διαλύματα του μάγματος περιέχουν HCl, SO₂, και CO₂, καθώς το νερό της βροχής περιέχει το διαλυμένο CO₂ από την ατμόσφαιρα (κυρίως με την μορφή HCO₃⁻). Το HCl του μάγματος αντιδρά με τα γύρω πετρώματα και σχηματίζει ουδέτερα χλωριδιούχα υπόγεια ύδατα, τα οποία περιέχουν κυρίως NaCl και KCl. Ποσότητες των νερών αυτών διαφεύγουν στην επιφάνεια ως χλωριούχες ζεστές πηγές. Το SO₂ φτάνει στην επιφάνεια για να σχηματίσει τις όξινες θειϊκές ζεστές πηγές και τα όξινα ύδατα επικάθονται στα πετρώματα. Ο θερμός ατμός των γεωθερμικών ρευστών κοντά στην επιφάνεια είναι πλουσιότερος σε σουλφίδια από εκείνα σε μεγαλύτερο βάθος, τα οποία έχουν αναμειχθεί με τα βαθύτερα, πλούσια σε χλώριο, διαλύματα. Υπάρχει μια εξελισσόμενη αύξηση σε περιεχόμενο HCO₃⁻ με την απόσταση από το μαγματικό κέντρο, εξαιτίας της μίξης με το CO₂ των μετεωρικών υδάτων που κατεισδύουν. Έτσι, το νερό των γεωτρήσεων περιέχει πολλά διαλυμένα άλατα, διαφορετικά σε είδος και ποσότητα κατά

περίπτωση (μερικές φορές χρήσιμα) που φτάνουν σε μερικές περιπτώσεις, υπερδιπλάσιες ποσότητες από αυτό που έχει το νερό της θάλασσας.

Το γεωθερμικό νερό περιέχει καμιά φορά και μη επιθυμητά στοιχεία όπως: B, As, Hg, Pb, αλλά σε περιορισμένες περιεκτικότητες (μερικά μέρη ή κλάσματα ανά εκατομμύριο, ppm). Τα αέρια είναι λίγα (1% - 5% κατά βάρος), αποτελούνται από το μη τοξικό CO₂ αλλά και σε ελάχιστες έως μηδαμινές ποσότητες H₂S, N₂, CH₄, NH₃, H₂, Ar, Ne. Από τη χημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται οι οικονομοτεχνικές συνθήκες αλλά και ο καταλληλότερος τρόπος εκμετάλλευσης του κάθε πεδίου.

3.1 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ

Το γεωθερμικό ρευστό έχει μετεωρική ή επιφανειακή προέλευση, δηλαδή προέρχεται από την κατείδυση του. Το νερό τις βροχές και τα χιόνια εισχωρεί στο έδαφος και προχωρεί στο εσωτερικό της Γης φτάνοντας σε βάθη μέχρι 5 Km. Στην πορεία του θερμαίνεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας των σχηματισμών και στη συνέχεια βρίσκει διόδους μέσα από ρήγματα και ρωγμές για να επιστρέψει στην επιφάνεια. Από αναλύσεις βασισμένες σε ραδιοϊσότοπα βρέθηκε ότι ο κύκλος του νερού σε ένα γεωθερμικό σύστημα είναι μέχρι και 500 χρόνια. Η παροχή τροφοδοσίας του συστήματος μπορεί να βρίσκεται πολύ κοντά στο πεδίο ή σε μεγάλη απόσταση από αυτό, μέχρι και 200 Km, οπότε και η διαδρομή του ρευστού ποικίλει, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Το νερό, λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας, λειτουργεί και σαν «συμπυκνωτής» θερμότητας. Η μέση θερμοχωρητικότητα των πετρωμάτων είναι 85 kJ/kg, ενώ του νερού στην ίδια θερμοκρασία (130 °C) είναι 420 kJ/kg, δηλαδή πενταπλάσια. Η θερμοχωρητικότητα του κορεσμένου ατμού στους 236 °C είναι 2790 kJ/kg, δηλαδή τριακονταπλάσια αυτής των πετρωμάτων. Για να απορροφήσει το νερό αυτή τη θερμότητα, είτε πρέπει να έρθει σε επαφή με μεγάλες μάζες πετρωμάτων που βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία, είτε να διανύσει πολύ μεγάλη διαδρομή μέχρι να φτάσει στις γεωτρήσεις. Και στις δύο περιπτώσεις, οι μάζες των πετρωμάτων που συμμετέχουν στο σύστημα πρέπει να είναι πολύ μεγάλες, της τάξης των εκατοντάδων κυβικών χιλιομέτρων.



Παραδείγματα σωλήνων μεταφοράς γεωθερμικών ρευστών.

α) σωλήνας πάνω από το έδαφος με ασάλινο μεταλλικό κάλυμα

β) ασάλινος σωλήνας μέσα σε τσιμεντένιο τούνελ

γ) ασάλινος σωλήνας με μόνωση πολυουρεθάνης και κάλυμα πολυαιθυλενίου

δ) σωλήνας ασβεστοκονιάματος με εδαφο-,χλωοκάλυψη

3.2 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Τα γεωθερμικά πεδία χωρίζονται σε τρεις ομάδες:

1. Στα πεδία υψηλής ενθαλπίας (ρευστό με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150 °C).
2. Στα πεδία μέσης ενθαλπίας (ρευστό θερμοκρασίας 100 – 150 °C).
3. Στα πεδία χαμηλής ενθαλπίας (ρευστό θερμοκρασίας μικρότερης των 100 °C).

Κατάταξη γεωθερμικών πηγών (°C)

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Πηγές χαμηλής ενθαλπίας	< 90	<125	<100	≤150	≤190
Πηγές ενδιάμεσης ενθαλπίας	90-150	125-225	100-200	-	-
Πηγές υψηλής ενθαλπίας	>150	>225	>200	>150	>190

Πηγές: (a) Muffler & Cataldi (1978) , (b) Hochstein (1990) , (c) Benderitter & Cormy (1990) ,
(d) Nicholson (1993) , (e) Axellson & Gunnlaugsson (2000)

3.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Σε όλη την έκταση της Γης συναντάμε περιοχές, στις οποίες οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών ποικίλουν. Ανάλογα με την θερμοκρασία των ρευστών μπορούμε να διαχωρίσουμε περιοχές με γεωθερμικά πεδία υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας.

Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας (με θερμοκρασίες ρευστών 25 – 100 °C) ειδικότερα τα συναντάμε σε λεκάνες πρόσφατης ηλικίας που έχουν δημιουργηθεί από τεκτονική εφελκυστικού τύπου. Παρατηρείται σε αυτά μια θερμική ανωμαλία εξαιτίας των «ανοικτών» ρηγμάτων που επιτρέπουν τη σύντομη άνοδο βαθύτερης προέλευσης θερμών ρευστών και τη μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Μπορούν επίσης να εντοπιστούν σε παλιότερες λεκάνες ή άλλες γεωλογικές περιοχές γεωτεκτονικά σταθερές, με γεωθερμική βαθμίδα κανονική (με τον όρο γεωθερμική βαθμίδα εννοούμε τον ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος με μέση τιμή 30 °C/Km).

Χαρακτηριστική είναι η εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας σε πολλές χώρες του εξωτερικού, όπως για παράδειγμα στην Ισλανδία, στη Γαλλία και στις Η.Π.Α.. Βέβαια στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται κάποια πρόοδος όσον αφορά τη χρησιμοποίηση των γεωθερμικών πεδίων για οικιακές και αγροτικές εφαρμογές.

Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες ανανεώσιμες και περιβαλλοντικά καθαρές πηγές ενέργειας (ηλιακή, αιολική). Το μεγαλύτερο από αυτά είναι ότι,

είναι διαθέσιμη με σταθερή παροχή σε όλη τη διάρκεια του χρόνου και υπο οποιεδήποτε καιρικές συνθήκες.

Επίσης οι απαιτήσεις σε χώρο μιας εγκατάστασης εκμετάλλευσης είναι ασήμαντες και δε δημιουργούν σοβαρά αισθητικά προβλήματα. Τέλος, οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω των 25 °C) σε συνδυασμό με τις αντλίες θερμότητας προσφέρονται σχεδόν παντού για την παραγωγή τόσο ζεστού νερού όσο και ψυχρού νερού, δηλαδή για θέρμανση και ψύξη χώρων.

Η κατασκευή συστημάτων εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας είναι εφικτή σήμερα, για διάφορους καταναλωτές σε καινούρια και παλαιά κτίρια, καθώς επίσης και σε βιοτεχνίες και εργοστάσια, που πέρα από την θέρμανση και την ψύξη χρειάζονται και ζεστό νερό.

Οι κατηγορίες των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Βαθείς ερευνητικές - παραγωγικές γεωτρήσεις που φτάνουν σε βάθος 1000 – 3000 m και αναλογικά με τη γεωθερμική βαθμίδα μας δίνουν νερό με θερμοκρασίες 50 – 100 °C. Η επιτυχία των γεωτρήσεων αυτών εξαρτάται από την ποσότητα του ζεστού νερού και την θερμοκρασία του. Συνεπώς η μεθοδολογία αυτή αφενός είναι δαπανηρή και αφετέρου έχει υψηλό ρίσκο αποτυχίας.
2. Γεωτρήσεις βάθους μέχρι 150 m, με τις οποίες εκμεταλλευόμαστε την αβαθή γεωθερμία με τις αντλίες θερμότητας. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται δύο μέθοδοι:
 - i. η μέθοδος που εκμεταλλεύεται τη θερμική ενέργεια αβαθών υπογείων νερών και,
 - ii. η μέθοδος που εκμεταλλεύεται τη θερμική ενέργεια των πετρωμάτων χωρίς την ανάγκη υπόγειου νερού.

Με τη δεύτερη μέθοδο , αξιοποιείται η γεωθερμική ενέργεια της Γης σε οποιαδήποτε περιοχή, χωρίς να είναι απαραίτητη η θετική ανωμαλία της γεωθερμικής βαθμίδας ή η ύπαρξη υδροφορίας. Έτσι τα συστήματα αυτού του είδους μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιαδήποτε τοποθεσία και για το λόγο αυτό είναι πολύ διαδεδομένα διεθνώς.

3.3.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥΣ.

Ένα γεωθερμικό πεδίο χαρακτηρίζεται ως χαμηλής θερμοκρασίας ή ενθαλπίας, όταν παρουσιάζει θερμοκρασίες κάτω από 100 °C μέχρι και 25 °C (στη χώρα μας). Στα πεδία αυτά, που συναντώνται συχνότερα, απουσιάζει η μαγματική πηγή θερμότητας. Το υπόγειο νερό θερμαίνεται λόγω της φυσιολογικής αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος. Η γεωθερμική ανωμαλία είναι μικρότερη ή ανύπαρκτη. Τα συγκεκριμένα πεδία παράγουν νερό και μη συμπυκνούμενα αέρια. Πολλές φορές υπάρχει η πιθανότητα τα νερά να μην έχουν καθόλου αέρια και άλατα.

Κυρίαρχο λόγο στη δημιουργία ενός γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας παίζει η τεκτονική, η φυσική θερμική ροή, και η υπόγεια κυκλοφορία των ρευστών. Η ύπαρξη κατάλληλων γεωλογικών – τεκτονικών δομών καθορίζει την κυκλοφορία των θερμών ρευστών και τη μεταφορά ενέργειας από μεγάλα βάθη, και την αποθήκευση της σε «ρηχότερους» υδατοπερατούς λιθολογικούς σχηματισμούς. Έτσι, σε περιοχές με εφελκυστικού τύπου τεκτονική που δημιουργούν πρόσφατης ηλικίας (τριτογενείς και τεταρτογενείς) λεκάνες, έχουμε μικρή θερμική ανωμαλία.

Εξαιτίας των «ανοικτών» ρηγμάτων και της ύπαρξης καλής υδροφόρων οριζόντων, κυρίως στη βάση των νεότερων ιζημάτων, και του άνω τμήματος του μεταμορφωμένου ή μεσοζωικής ηλικίας υποβάθρου, καθώς επίσης και των καλών στεγανών σχηματισμών πάνω από αυτούς, επιτρέπεται η σύντομη άνοδος βαθύτερης προέλευσης θερμών ρευστών και η μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω δημιουργούνται οι ευνοϊκές συνθήκες για τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής και πολλές φορές μέσης ενθαλπίας.

Επίσης, σε παλιότερες λεκάνες ή άλλες γεωλογικές περιοχές γεωτεκτονικά σταθερές, με γεωθερμική βαθμίδα κανονική και ανάλογες λοιπές συνθήκες, μπορεί να εντοπισθούν ταμειυτήρες χαμηλής ενθαλπίας (π.χ. 75 °C σε βάθος 1,5 – 2 Km).

Σε περιοχές με μέση και χαμηλή ενθαλπία υπάρχουν δύο πιθανοί λόγοι για την παρουσία μικρών γεωθερμικών ανωμαλιών:

- i. είναι πιθανό να διαθέτουν καλύτερες μονωτικές ιδιότητες συγκριτικά με το μέσο όρο στα πρώτα χιλιόμετρα του φλοιού (οι ιζηματογενείς λεκάνες είναι ιδανική περίπτωση).
- ii. είναι πιθανό να περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις ραδιενεργών ορυκτών αναφορικά με τη σύσταση των πετρωμάτων στον ανώτερο φλοιό.

Για συγκεκριμένα γεωθερμικά πεδία θα μπορούσαμε να πούμε πως η θερμότητα αποσπάται γρηγορότερα από ότι αντικαθίσταται. Σε αυτή και μόνο την περίπτωση και με αυτό το σκεπτικό θα μπορούσαμε να αναφέρουμε, πως η γεωθερμική ενέργεια «εξορύσσεται».

Στα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας διακρίνουμε και τα πεδία πολύ χαμηλής ενθαλπίας. Σε αυτά οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από τους 60 °C έως και τους 20 °C. Τα γεωθερμικά αυτά ρευστά είναι συνήθως επιφανειακά με αποτέλεσμα να παράγονται με περιορισμένο βάθος και κόστος γεώτρησης. Επίσης έχουμε τα γεωθερμικά πεδία αβαθούς υπεδαφικής θερμότητας. Στην πραγματικότητα πρόκειται για εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμίας στο υπέδαφος, το πολύ στα 200 m κάτω από την επιφάνεια της Γης. Η θερμότητα αυτή είναι γνωστή ως αβαθής γεωθερμική ενέργεια και περιλαμβάνει ποσοστό ηλιακής προέλευσης (στα πρώτα 15 – 30 m).

Το πλεονέκτημα των αβαθών γεωθερμικών πηγών ενέργειας είναι ότι διατηρούν στη διάρκεια όλου του έτους σταθερή θερμοκρασία που κυμαίνεται από 15°C έως 25°C και ότι βρίσκεται σχεδόν πάντα κοντά στον καταναλωτή. Τα υπόγεια νερά που κυκλοφορούν σε βάθος 15 – 100 m έχουν συνήθως θερμοκρασία ίση ή λίγο μεγαλύτερη από την ετήσια θερμοκρασία του αέρα του τόπου. Αυτά που κυκλοφορούν σε βάθη 0 έως 15m έχουν θερμοκρασία που επηρεάζεται από τις εποχιακές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της εδαφικής επιφάνειας. Η εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού είναι σχεδόν μηδενική σε βάθος κάτω από 15 m και αυξάνει μειούμενου του βάθους, μέχρις ότου φθάσει βαθμιαία τη διακύμανση της εδαφικής επιφανείας, όταν το νερό αυτό βρίσκεται στο επιφανειακό εδαφικό στρώμα. Φυσικά η θερμοκρασία του και η διακύμανση επηρεάζονται σημαντικά από τις υπόγειες κυκλοφορίες και τη σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών.

Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας συναντώνται σε πολύ πιο εκτεταμένες περιοχές ανά τον κόσμο και ιδιαίτερα, όπως ήδη αναφέρθηκε, σε

μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες και ζώνες ενεργού τεκτονικής. Υπάρχει εκτεταμένη χρήση αυτών, με αυξητικές τάσεις, που προσδιορίζονται κύρια από τα σημαντικά μικρότερα κόστη επένδυσης και χρήσης των συστημάτων λειτουργίας σε σχέση με τη μέση και υψηλή ενθαλπία, καθώς και την πιο εύκολη τεχνολογία που απαιτείται. Εγκατεστημένη ισχύς στον κόσμο το 1997 ήταν συνολικά πάνω από 10.000 MWt. Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται για θέρμανση κατοικιών και σε αγροτικές ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ο τύπος αυτός της γεωθερμίας εμφανίζεται πολύ συχνά και οδηγεί αναμφίβολα σε ιδιαίτερα γενικευμένη χρήση μετά από επιτυχείς εγκαταστάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε πολλές χώρες, όπως στην Ουγγαρία, την Ισλανδία, τη Ρωσία, τη Γαλλία και αλλού. Το υψηλό κόστος που συνεπάγεται τη δημιουργία γεωτρήσεων σε μεγάλο βάθος επιβάλλει τη σχετική συγκέντρωση των χρήσεων και την κατανομή τους στο ίδιο περίπου χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά τον τύπο της γεωθερμικής ενέργειας των πολύ χαμηλής ενθαλπίας πεδίων, μπορεί να προσαρμοστεί σε χρήσεις που είναι αποκεντρωμένες και ειδικά για τη θέρμανση ή την ψύξη κτιρίων. Η απόδοση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιείται σε μεγάλες θερμαντικές επιφάνειες, είτε για ενδοδαπέδια θέρμανση, είτε για λειτουργία ανεμιστήρων, πάντα με τη χρήση των αντλιών θερμότητας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η τελευταία περίπτωση προϋποθέτει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα παρέχει τη δυνατότητα ανάληψης θερμότητας από τους χώρους εξασφαλίζοντας και ψύξη, δηλαδή συνδυάζει το πλεονέκτημα λειτουργίας του συστήματος ως κλιματιστικής εγκατάστασης. Ο τύπος αυτός γεωθερμικού πεδίου προσαρμόζεται επίσης σε μια σειρά αγροτικών εφαρμογών όπως είναι η θέρμανση θερμοκηπίων, η θέρμανση του εδάφους, η ιχθυοκαλλιέργεια κ.λ.π.

Η θέρμανση χώρων και νερού χρήσης αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό εφαρμογών των ρευστών χαμηλής ενθαλπίας, που μαζί με τις αντλίες θερμότητας, αντιπροσωπεύουν περίπου το 50 % των χρήσεων. Οι αγροτικές, αγροτοβιομηχανίες και υδατοκαλλιεργητικές εφαρμογές αντιπροσωπεύουν το 26%, ενώ ένα σημαντικό ποσοστό (15%) αντιπροσωπεύουν και οι ιαματικές και λουτρικές δραστηριότητες.

Αλγερία	100	Ελλάδα	23	Κίνα	1915	Σλοβακία	99
Αυστρία	19	Η.Π.Α.	1874	Ν. Ζηλανδία	246	Σλοβενία	39
Βέλγιο	4	Ιαπωνία	318	Πολωνία	63	Σουηδία	47
Γαλλία	337	Ισλανδία	1443	Ρουμανία	130	Π.Γ.Δ.Μ.	69
Γεωργία	245	Ιταλία	307	Ρωσία	210	Τουρκία	140
Ελβετία	110	Ισραήλ	44	Ν.Γιουγκ.	80	Σύνολο	7880

Εγκατεστημένη θερμική ισχύς γεωθερμικών Εφαρμογών Χαμηλής Ενθαλπίας (σε MW, κατά D.H. Freeston, 1995)

(Πηγή: Καγκέλη Ο.,1999)

3.3.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στον ελλαδικό χώρο υπάρχουν πολλές περιοχές με συμφέρουσες οικονομικά συνθήκες παραγωγής και εκμετάλλευσης ρευστών χαμηλής ενθαλπίας. Πολλές από αυτές συνδυάζονται με εύφορες πεδιάδες και μερικές άλλες είναι κοντά σε πόλεις, οικισμούς, βιομηχανικές περιοχές ή περιοχές με ιχθυοκαλλιεργητικές ή αγροτοβιομηχανικές εγκαταστάσεις. Οι μέχρι τώρα έρευνες του Ι.Γ.Μ.Ε., εντόπισαν αρκετά γεωθερμικά πεδία σε ενδιαφέρουσες περιοχές, που περιγράφονται με συντομία.



Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα
(google\images\hellenicgeothermalfields)

ΛΕΚΑΝΗ ΣΤΡΥΜΟΝΑ

Στην περιοχή Θερμών Νιγρίτας έχει ανακαλυφθεί ένα αξιόλογο πεδίο χαμηλής ενθαλπίας. Μερικές γεωτρήσεις έρευνας δίνουν γεωθερμικά νερά αρτεσιανά, θερμοκρασίας 40-60 °C στην επιφάνεια, από γεωθερμικούς υδροφόρους ορίζοντες που βρίσκονται σε βάθος 120-450 m. Το δυναμικό του υδροφόρου είναι σημαντικό (καλή παροχή) και τα νερά έχουν αρκετά καλή χημική σύσταση (Σύνολο διαλυμ. Αλάτων ΣΔΑ μέχρι 4 g/l) και άφθονο CO₂ που μπορεί να παραχθεί σαν υποπροϊόν. Λειτουργούν ήδη άνω από 50 στρέμματα «γεωθερμικών» θερμοκηπίων (τα 40 γυάλινα, προηγμένης τεχνολογίας) και υδατοκαλλιέργειας (spirulina). Η εγκατεστημένη ισχύς το 1986 ήταν 6MWt περίπου και η εξοικονόμηση ενέργειας ίση με 1650 T.I.Π./χρόνο.

Στην περιοχή Θερμοπηγής Σιδηροκάστρου εντοπίστηκαν ενδιαφέροντες γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες σε βάθη 30-400 m, που παράγουν νερά πολύ καλής ποιότητας (ΣΔΑ = 1-2 g/l) και θερμοκρασίες 40-75 °C. Ο Δήμος

Σιδηροκάστρου, μαζί με συνεταιρισμούς, εγκατέστησε (και ετοιμάζει άλλα 6 στρέμματα) ένα θερμοκήπιο 4 στρεμμάτων, που χρησιμοποιεί νερά του γεωθερμικού πεδίου. Υπάρχει και ιδιωτικό θερμοκήπιο 8 στρεμμάτων.

Στην περιοχή Λιθότοπου - Ηράκλειας εντοπίστηκε ένα πολύ σημαντικό πεδίο έκτασης 25 km² και ρευστά θερμοκρασίας μέχρι 62 °C. Παρόμοιο είναι το πεδίο στον Αχινό – Ίβηρα – Τράγγιλο.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΞΑΝΘΗΣ

Στην περιοχή Ν. Κεσσάνης Ξάνθης έχει εντοπισθεί σημαντικό γεωθερμικό πεδίο έκτασης 15 km². Οι γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες βρίσκονται σε βάθος 120 -140 m (πιθανώς υπάρχουν και βαθύτερα, στα 600 m. περίπου) με θερμοκρασίας μέχρι 80 °C. Τα παραγόμενα νερά είναι καλής σχετικά ποιότητας (ΣΔΑ = 4 – 7 g/l). Έχουν γίνει 5 γεωτρήσεις παραγωγής στα 1400 - 1500 m με πολύ καλά αποτελέσματα.

Κατασκευάστηκαν θερμοκήπια 6 στρεμμάτων από την Ε.Τ.Β.Α. για την Κοινοτικόσυνεταιριστική Επιχείρηση, που χρησιμοποιεί μέρος από τα νερά μιας γεώτρησης, με θερμοκρασία 75 ° C (ισχύς 2 MWt περίπου). Έγινε και πλήρης μελέτη αξιοποίησης του πεδίου.

Στην περιοχή Μαγγάνων Ξάνθης φαίνεται βασικά ότι υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες για ρευστά χαμηλής ενθαλπίας σε μικρά βάθη. Πράγματι, εντοπίστηκε σημαντική υδροφορία σε βάθος 300- 400 m με θερμοκρασίες έως 62 ° C και πολύ καλή ποιότητα ρευστών. Γίνεται πρωίμηση σπαραγγιών, ξήρανση ντομάτας, ιχθυοκαλλιέργεια ψαριών καλής ποιότητας.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΒΑΛΑΣ

Στην πεδινή περιοχή Δέλτα Νέστου (περιοχή Ερατεινού Χρυσούπολης) εντοπίστηκε ένα πολύ μεγάλο γεωθερμικό πεδίο έκτασης 40 km². Ένας γεωθερμικός υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στα 550 – 650 m και οι θερμοκρασίες του 70 -75 °C. Σαν προοπτικές τοποθετούνται οι δυνατότητες χρήσης σε κοντινή βιομηχανική περιοχή Καβάλας της ΕΤΒΑ, στη θέρμανση οικισμών (Χρυσούπολη), θερμοκήπια, ξήρανση καλαμποκιού, ιχθυοκαλλιέργειες, πρωίμηση σπαραγγιών κ.λ.π.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Στη λεκάνη των λιμνών Λαγκαδά – Βόλβης έχουν εντοπιστεί ενδιαφέροντες «ρηχοί» γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες με νερά 35 - 50 °C που έχουν πολύ καλή χημική σύσταση. Στις περιοχές Λαγκαδά, Νυμφόπετρας και Ν. Απολλωνίας λειτουργούν ήδη 23 στρέμματα πλαστικών «γεωθερμικών» θερμοκηπίων, συνολικής ισχύος 4MWt περίπου. Στη λεκάνη νότια της Θεσσαλονίκης (περιοχή αεροδρομίου) φαίνεται ότι υπάρχουν ενδιαφέρουσες γεωθερμικές συνθήκες.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Στα Ελαιοχώρια Χαλκιδικής μια γεώτρηση 62 m παράγει αρτεσιανό νερό μέχρι και 600 m³ /h και σε θερμοκρασία 34 °C. Σε 1,5 συνολικά στρέμματα 6 μικρών πειραματικών θερμοκηπίων μελετήθηκε ο καλύτερος από τεχνική και οικονομική άποψη τρόπος θέρμανσης, χρησιμοποιώντας εγχώρια υλικά εναλλαγής της θερμότητας. Στην περιοχή έγιναν και άλλες ρηχές γεωτρήσεις που παράγουν μεγάλες ποσότητες νερών μέχρι 41,5 °C. Στην Αγία Παρασκευή Κασσάνδρας φαίνεται ότι υπάρχουν επίσης καλές συνθήκες για ανεύρεση ρευστών χαμηλής ενθαλπίας σε μικρά σχετικά βάθη.

ΑΛΛΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ

Στις περιοχές Αλμωπίας και στα νοτιοδυτικά της Θεσσαλίας, οι έρευνες του Ι.Γ.Μ.Ε. εντόπισαν κατ' αρχήν ενδιαφέρουσες γεωθερμικές περιοχές. Στη Λεκάνη Σπερχειού η έρευνα βρίσκεται σε καλό στάδιο και οι γεωθερμικές συνθήκες είναι ενθαρρυντικές. Στη Λεκάνη Σπερχειού η έρευνα βρίσκεται σε καλό στάδιο και οι γεωθερμικές συνθήκες είναι ενθαρρυντικές. Στην περιοχή Ληλαντίου Πεδίου Βασιλικών Ευβοίας και Ανδραβίδας Πελοποννήσου, οι προκαταρκτικές έρευνες του Ι.Γ.Μ.Ε. εντόπισαν σημαντικές υδροφορίες σε μικρά έως πολύ μικρά βάθη, που έχουν όμως χαμηλές θερμοκρασίες (της τάξης των 32 και 26 °C αντίστοιχα).

Τέλος, πολύ ενδιαφέροντα στοιχεία ή πληροφορίες υπάρχουν για τις περιοχές Αλεξανδρούπολης Έβρου, Σαμοθράκης, Σαππών Ροδόπης, Θερμών Ξάνθης, Αγγίστρου Σερρών, Λιμνοχωρίου Φλώρινας, Ξυνιάδας Φθιώτιδας, Καβάσιλων Ιωαννίνων, Σούδας Χανίων, Λήμνου, νότιας Χίου ,

Ικαρίας, Σάμου κ.λ.π. Στα βέβαια πεδία ανήκουν επίσης οι περιοχές της Λέσβου, Μήλου και της Νισύρου (που ανήκουν και στα υψηλής ενθαλπίας πεδία). Πράγματι, στην περιοχή Πολιχνίτου Λέσβου εντοπίστηκαν δύο γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες χαμηλής ενθαλπίας, ο θερμότερος των οποίων παράγει νερά μέχρι 95 °C σε βάθος μέχρι 150m. Μία από τις γεωτρήσεις θερμαίνει θερμοκήπιο 25 συνολικά στρεμμάτων, που άνοιξαν τη γεωθερμική αξιοποίηση στο νησί της Λέσβου. Έγιναν και 4 στρέμματα στο Λισβόρι. Στη Μήλο εντοπίστηκαν επίσης ζεστά νερά 40 - 90 °C σε βάθος 10 - 80 m. Λειτουργεί το πρώτο γεωθερμικό θερμοκήπιο 6 στρεμμάτων και εξελίσσεται πρόγραμμα για μεγαλύτερες μονάδες θερμοκηπίων αλλά και αφαλάτωσης. Το Ι.Γ.Μ.Ε. ερεύνησε καταρχήν στο νησί το δυναμικό των «ρηχών» θερμών υδροφόρων και εκτιμήθηκε το μέγεθος τους. Επίσης εντοπίστηκε και ένα άλλο δυναμικό που προέρχεται από τα πεδία «θερμών εδαφών και ατμιδών», τα οποία έχουν συνολική έκταση 70.000 m². Έχει διαπιστωθεί, μετά από μετρήσεις, ότι από τα πεδία αυτά μπορούν να παραχθούν 500 kcal/h ανά m² /h. Η ενέργεια αυτή, που δεν είναι καθόλου αμελητέα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επωφελώς. Πεδία «θερμών εδαφών και ατμιδών» υπάρχουν και στη Νίσυρο, όπου λειτούργησε και θερμοκήπιο που θερμαινόταν γεωθερμικά. Στο Σουσάκι εντοπίστηκαν με γεωτρήσεις παραγωγής γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες θερμοκρασίας 60-75 °C στα 100 - 150 m περίπου.

Ανάμεσα στα πεδία χαμηλής ενθαλπίας πρέπει να περιληφθεί και το δυναμικό των σημαντικότερων θερμών πηγών, ιαματικών και μη, που μπορούν να τύχουν ενεργειακής εκμετάλλευσης είτε σ' όλο το χρόνο είτε στην περίοδο μη χρησιμοποίησής τους, για ιαματικούς σκοπούς. Αναφέρουμε για παράδειγμα τα 400 m³/h της Αιδηψού με θερμοκρασία μέχρι 78 °C, που στο μεγαλύτερο διάστημα της χρονιάς και προπαντός το χειμώνα «ζεσταίνουν» χωρίς λόγο τη θάλασσα.

3.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΕΥΡΕΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ήδη αναφέρθηκαν τα κυριότερα γεωθερμικά πεδία που ανακαλύφθηκαν στον ελληνικό χώρο ή εκείνα που πιθανώς θα προκύψουν από την παραπέρα έρευνα. Η μέχρι τώρα εμπειρία, σε συνδυασμό με τα στοιχεία από την έρευνα υποδομής (χάρτες θερμικής ροής, θερμοκρασιών σε διάφορα βάθη, μελέτη νεώτερης ηφαιστειότητας, έρευνες γεωτεκτονικής, γεωφυσικά και γεωχημικά δεδομένα) μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε τις περιοχές της χώρας που προσφέρονται καταρχήν για τη γεωθερμική έρευνα, και κατά δεύτερον για την αναζήτηση και τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων. Κατά σειρά ενδιαφέροντος και κατηγορίας, αυτές οι περιοχές είναι οι εξής:

1. Περιοχές με μεγάλη γεωθερμική ανωμαλία εξαιτίας κάποιας ενεργού ή πρόσφατης ηφαιστειακής δραστηριότητας, όπως είναι αυτές του τόξου Νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη κ.λ.π.)
2. Περιοχές αυξημένης ροής είτε από διείσδυση όξινων πλουτωνιτών κυρίως τριτογενούς ηλικίας, είτε από πρόσφατη – ενεργό τεκτονική εφελκυστικού τύπου που δημιουργήσε τριτογενείς- τεταρτογενείς λεκάνες, είτε από καλυμμένες «υψηλές» δομές υδροπερατών ή κατακερματισμένων σχηματισμών του υποβάθρου (βόρεια και ανατολική Ελλάδα).
3. Περιοχές με περιορισμένη σε έκταση θερμική ανωμαλία εξαιτίας μεγάλων κανονικών ή με οριζόντια μετατόπιση ρηγμάτων, που αφορούν κυρίως σχηματισμούς του υποβάθρου.
4. Περιοχές με κανονική γεωθερμική βαθμίδα, με γεωθερμικό ταμιευτήρα και αντίστοιχο στεγανό κάλυμμα σε περιοχές με ομαλές κατά το πλείστον πτυχές.
5. Ομοίως, περιοχές με νεότερα ιζήματα στο εσωτερικό τριτογενών λεκανών.
6. Περιοχές θερμών ξηρών πετρωμάτων είτε από πλουτωνίτες είτε από κρυσταλλικά «συμπαγή και εύθραυστα» πετρώματα (π.χ. γρανίτης).

4 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια προέρχεται κυρίως (80 - 90%) από την κανονική ροή της γήινης θερμότητας, η οποία ανέρχεται από το εσωτερικό της γης προς τα επιφανειακά εδαφικά στρώματα. Σε μικρά, τελείως επιφανειακά, βάθη (<30 m) έχουμε και επιπρόσθετη ενέργεια από διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το έδαφος (κυρίως τις θερμές εποχές του έτους), η οποία αποθηκεύεται σε ποσοστό περίπου 47% του συνόλου της προσπίπτουσας στο έδαφος ενέργειας, και αποτελεί το επιπρόσθετο 10-20% του συνολικού ενεργειακού φορτίου του εδάφους.

Δύο παράγοντες συντελούν στην ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει την θερμότητα:

1. Η θερμοχωρητικότητα του εδάφους και γενικά των πετρωμάτων
2. Η απώλεια θερμότητας προς την ατμόσφαιρα (με ακτινοβολία), αν και αυτό γίνεται όμως με αργό ρυθμό.

Όλα αυτά αποτελούν και τον κύριο παράγοντα της διατήρησης μιας σταθερής μέσης θερμοκρασίας στο υπέδαφος μετά από ένα ορισμένο βάθος, το οποίο έχει βρεθεί ότι είναι από 30 m και κάτω. Η αβαθής γεωθερμία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της θερμικής κατάστασης που παρουσιάζεται στο μικρό αυτό βάθος, όπου έχουμε πρακτικά σταθερή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία της επιφάνειας. Στον ελλαδικό χώρο, στην περιοχή της Αττικής, έχει μετρηθεί ότι η θερμοκρασία αυτή είναι 18 - 20 °C. Στην κεντρική Ευρώπη είναι χαμηλότερη (γύρω στους 13 °C), ενώ σε βορειότερες χώρες (Σουηδία) είναι ακόμη πιο χαμηλή. Κάτω από το βάθος των 30m έχουμε μόνο την προσθετική επίδραση της γήινης θερμοβαθμίδας (1 °C ανά 33 m κατά μέσο όρο).

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

Η αβαθής γεωθερμία αποτελεί μια καινοτομία εξέλιξης στον τομέα της ψύξης – θέρμανσης. Η χρήση της ενδείκνυται για όλους τους χώρους (οικιακούς, ξενοδοχειακές επιχειρήσεις, βιομηχανικές εγκαταστάσεις,

κτηνοτροφικές μονάδες, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες) που απαιτείται η ύπαρξη θέρμανσης και δροσιάς.

Παρουσιάζει τεράστιο ενδιαφέρον προς τον πολίτη, διότι αποτελεί έναν από τους φθηνότερους τρόπους κλιματισμού. Προϋποθέτει την ιδιωτική εκμετάλλευση της εγκατάστασης και αναφέρεται στην χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

4.1 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ

Η χρήση της θαλάσσιας υδροφορίας για τον κλιματισμό κτηριακών εγκαταστάσεων αποτελεί έναν από τους οικονομικότερους τρόπους κλιματισμού. Η εφαρμογή της γεωθερμίας στη μέθοδο κλιματισμού καταργεί το σύστημα με θέρμανσης με καυστήρα – λέβητα και οποιοδήποτε κεντρικό σύστημα ψύξης. Για την αποφυγή των επικαθίσεων και διάβρωσης λόγω της υφαλμυρότητας του νερού χρησιμοποιούνται είτε γεωθερμικές αντλίες θερμότητας με εναλλάκτη Ni/Cu είτε σύστημα με κλειστό κύκλωμα ανακυκλοφορίας πρώτου βρόγχου. Στην πρώτη περίπτωση ο συντελεστής απόδοσης του γεωθερμικού συστήματος είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του υδροφόρου ορίζοντα. Στην τελευταία περίπτωση υπάρχει δυνατότητα βελτιστοποίησης του συστήματος με τη χρήση δοχείων αδράνειας στο πρωτεύον κύκλωμα. Τα σενάρια εξοικονόμησης επέρχονται από τη μη συνεχή λειτουργία του υποβρύχιου συγκροτήματος, τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του νερού ανακυκλοφορίας με στόχο την αύξηση του συντελεστή απόδοσης στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, την ελαχιστοποιημένη συντήρηση του εξοπλισμού λόγω της ανύπαρκτης υφαλμυρότητας και τέλος τη μερική ισοστάθμιση των ενεργειακών ισοζυγίων μεταξύ παραγωγής ζεστού νερού κατανάλωσης και ψύξης του κτηρίου.

4.2 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΙΑΜΑΤΙΚΟΣ ΤΟΥΡΙΣΜΟΣ

Στις περιπτώσεις όπου γίνεται χρήση ιαματικών νερών σε τουριστικές εγκαταστάσεις και η θερμοκρασία ή η καταλληλότητα της χημικής σύστασης του δεν του επιτρέπει για επιπλέον θέρμανση του κτηρίου ή παραγωγή ζεστού

νερού χρήσης, τότε η αβαθής γεωθερμία αποτελεί μια βέλτιστη ενεργειακή λύση. Είναι πλέον γνωστό ότι οι μονάδες γεωθερμίας παρέχουν τη δυνατότητα παραγωγής θερμού- ψυχρού νερού για τον κλιματισμό και ζεστού νερού χρήσης, καταργώντας το σύστημα καυστήρας- λέβητας και τον πύργο ψύξης. Σε συνδυασμό με τα ιαματικά νερά όμως μπορούν να επιτύχουν συντελεστές υψηλότερους των 1:6 με αποτέλεσμα να δημιουργούν τεράστια μεγέθη εξοικονόμησης. Για την επιτυχία του συστήματος απαιτείται ένα πρωτεύον δίκτυο και η αναγκαία ποσότητα των υπόγειων νερών.

4.3 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα αβαθή γεωθερμικά συστήματα συνδυάζονται με συστήματα εξοικονόμησης όπως π.χ. έναν ηλιακό θερμοσίφωνα, φωτοβολταϊκά κ.α. Ο συνηθέστερος τρόπος να εξοικονομήσουμε ενέργεια σε συνδυασμό με ένα γεωθερμικό σύστημα είναι η χρήση ενός ηλιακού θερμοσίφωνα, τόσο για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, όσο και για την ανύψωση της θερμοκρασίας του νερού που ανακυκλοφορεί στο γήινο συλλέκτη. Με αυτή τη μέθοδο, η περίσσεια ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από ένα ηλιακό πλαίσιο διοχετεύεται αρχικά στο boiler για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και μετέπειτα στο πρωτεύον δίκτυο ανακυκλοφορίας του γήινου εναλλάκτη.

4.4 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

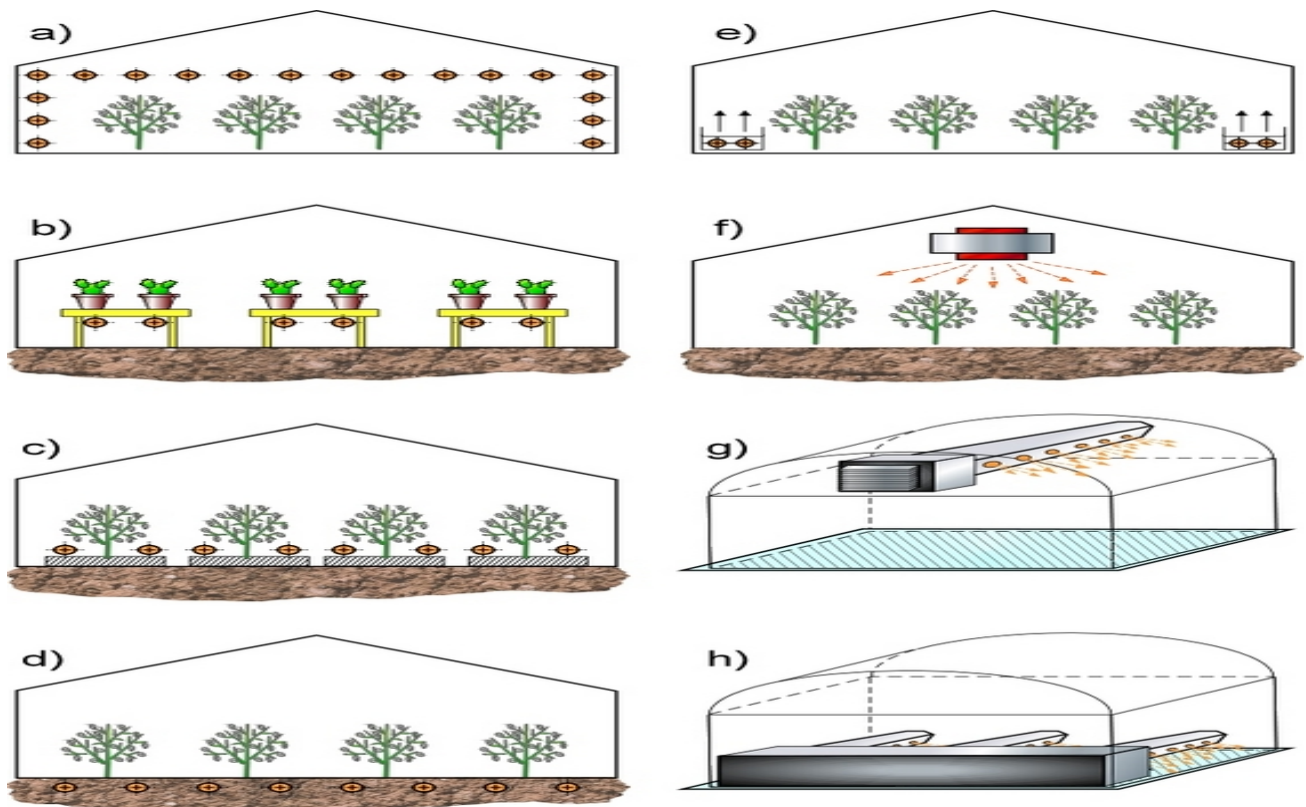


Η συνηθέστερη εφαρμογή ενός γεωθερμικού συστήματος στη γεωργία είναι η θέρμανση και η ψύξη των θερμοκηπίων. Λόγω των υψηλών θερμικών / ψυκτικών απαιτήσεων και την παρουσία των υφιστάμενων υδρογεωτρήσεων, οι γεωθερμικές εφαρμογές στα θερμοκήπια περιορίζονται στα ανοικτού τύπου κυκλώματα. Τα κλειστού τύπου κυκλώματα αποτελούν μια ελκυστική λύση όταν το θερμοκήπιο βρίσκεται στο στάδιο κατασκευής.

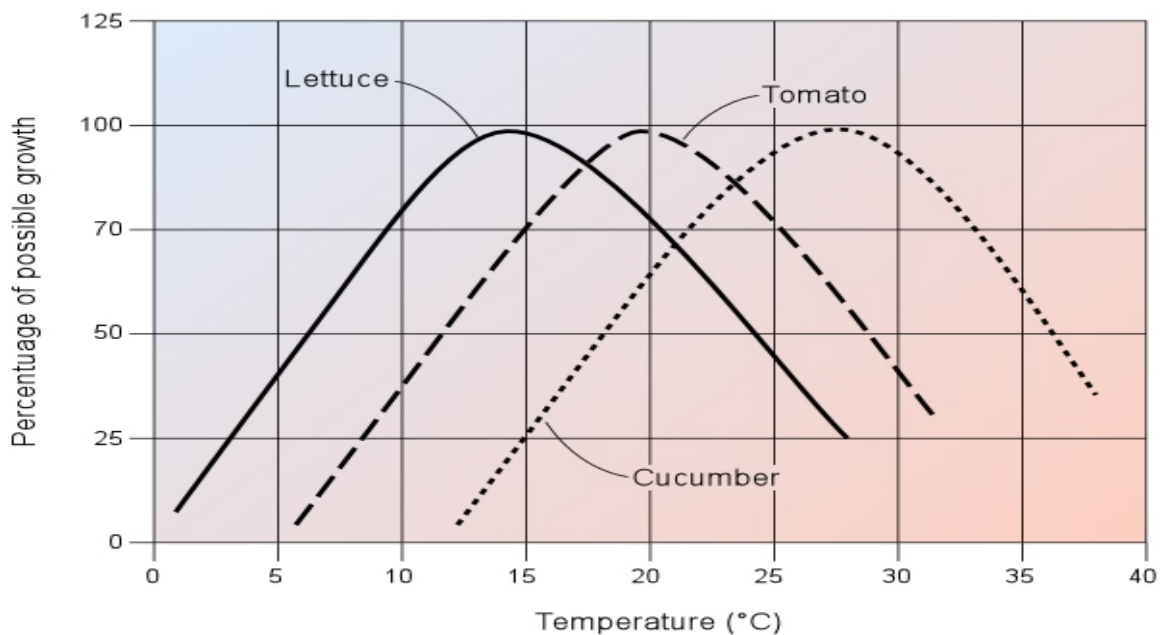
Η θέρμανση ή ψύξη του θερμοκηπίου πραγματοποιείται από γεωθερμικές αντλίες θερμότητας νερού – νερού ή νερού – αέρα. Στην τελευταία περίπτωση

επιτυγχάνεται τόσο η θέρμανση όσο και η ψύξη του θερμοκηπίου με αέρα. Η εξαναγκασμένη ανακυκλοφορία του αέρα σε συνδυασμό με την εισαγωγή του νωπού αέρα στην εγκατάσταση αποτελεί μια ελκυστική πρόταση εφαρμογής διότι δεν απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός. Περαιτέρω, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, νερού – αέρος παρέχουν τη δυνατότητα διαφορετικού κλιματισμού ανά τμήμα του θερμοκηπίου. Αυτό σημαίνει ότι έχουν τη δυνατότητα τόσο να θερμαίνουν ένα χώρο όσο και να ψύχουν έναν άλλον ταυτόχρονα.

Στην περίπτωση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας νερού- νερού, απαιτείται είτε σωλήνωση στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είτε μονάδες εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας αέρα. Στην τελευταία περίπτωση επιτυγχάνεται η θέρμανση και ψύξη του χώρου αλλά με βεβαιωμένη ανακυκλοφορία αέρα. Εναλλακτικά θα επιτευχθεί μόνο η θέρμανση και ο δροσισμός του θερμοκηπίου που ίσως με τη σκίαση και τις κουρτίνες που χρησιμοποιούνται να είναι ικανοποιητικά. Η μέθοδος μεταφοράς του ενεργειακού φορτίου στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι επιλογή του εκάστοτε αγρότη.



Γεωθερμικές εφαρμογές σε θερμοκήπια (Πηγή Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης)



Καμπύλες ανάπτυξης ορισμένων φυτών από Beall & Samuels, 1971.

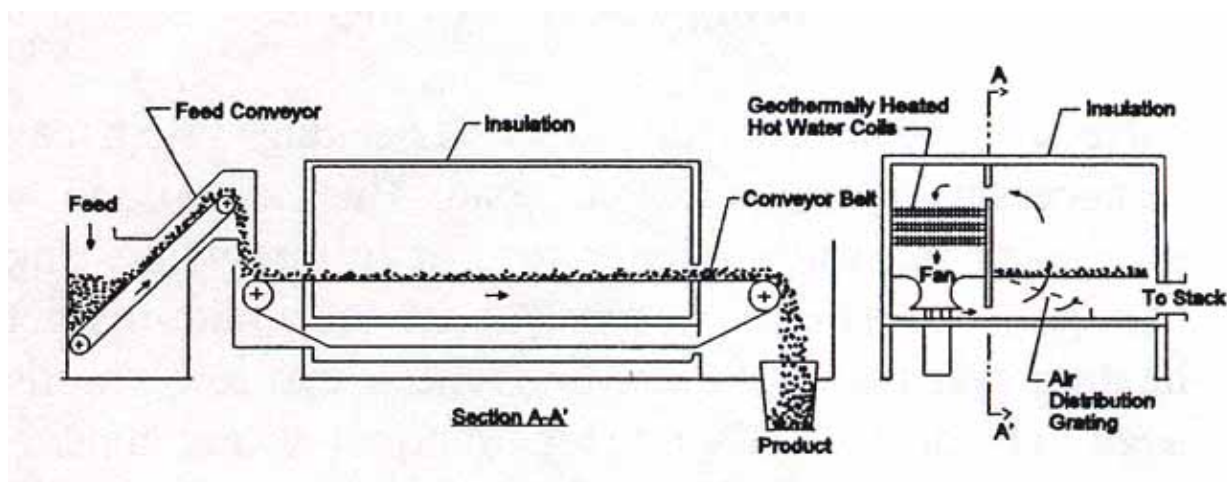
4.5 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

Η χρήση των αβαθών γεωθερμικών συστημάτων στις παραγωγικές διεργασίες είναι εφικτή όπου απαιτείται μέση θερμοκρασία θερμού νερού ή αέρα. Συνδυάζεται με συστήματα εξοικονόμησης της ενέργειας και ανάκτησης της θερμότητας. Κλασικό παράδειγμα αποτελεί μια διεργασία που είναι εξώθερμης αντίδρασης ή μια εκροή χαμηλής θερμοκρασίας νερού, όπου η ανάκτηση της σε έναν εναλλάκτη θερμότητας δεν είναι εφικτή για την εξοικονόμηση της ενέργειας. Το βασικό πλεονέκτημα που παρέχουν οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στην παραγωγική διεργασία είναι ότι δύναται να καταναλώσουν 1 KW ηλεκτρικής ενέργειας για την παραγωγή τουλάχιστον 3 KW – 5 KW θερμικών ή ψυκτικών φορτίων.

4.5.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

- Προθέρμανση νερού : Χρησιμοποιείται ευρέως για την προθέρμανση του νερού των διεργασιών, ακόμα και άμεσης χρήσης όταν πρόκειται για ήπιες θερμοκρασίες

- Ζεστός αέρας: Χρήση ζεστού αέρα σε ξηραντήρια και σε συστήματα απομάκρυνσης της υγρασίας



Σχήμα ξηραντήριου συνεχώμενης ζώνης (continuous belt)
(Πηγή Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης)

- Ανάκτηση της θερμότητας: Εφαρμόζεται σε συστήματα ανάκτησης της θερμότητας για το συνδυασμό ψυχρών και θερμών ρευμάτων με στόχο τη μείωση των ρύπων, εξοικονόμησης ενέργειας και μείωση των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη

4.6 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΠΑΓΕΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Τα γεωθερμικά συστήματα συνδυάζονται με ενδοδαπέδιες σωληνώσεις για το λιώσιμο των πάγων από τις ράμπες, τα πεζοδρόμια και τους δρόμους. Το σύστημα επιλέγεται σε τοποθεσίες όπου οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι χαμηλές και η ρίψη χιονιού δυσχαιρένει την πρόσβαση στην εγκατάσταση. Το σύστημα λειτουργεί αυτόνομα από τον υπόλοιπο κλιματισμό του χώρου και δεν επιβαρύνει με επιπλέον δαπάνη τη συνολική λειτουργία της εγκατάστασης. Η αντιπαγετική προστασία μπορεί να συνδυαστεί σε σκάλες, ράμπες, πεζοδρόμια, κεντρικές εισόδους κατοικιών κ.ο.κ.



Δρόμος με γεωθερμική αντιπαγετική προστασία (www.aidengineering.gr)

4.7 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Α. Ενέργεια σε ελάχιστο κόστος

Λόγω της χαμηλής κατανάλωσης και της σχεδόν ανύπαρκτης συντήρησης του εξοπλισμού, τα γεωθερμικά συστήματα κλιματισμού μπορούν να εξοικονομήσουν από 55% έως 70% από την ετήσια δαπάνη σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης και δροσισμού. Το μόνο ενεργειακό κόστος της εγκατάστασης είναι η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από τον συμπιεστή και τις αντλίες το οποίο είναι οικονομικότερο σε σχέση χρήση λέβητα πετρελαίου κατά 20 – 25 %.

Β. Απόδοση

Ένα γεωθερμικό σύστημα είναι 3 -5 φορές αποδοτικότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Επειδή δεν καίει ορυκτά καύσιμα για να παράγει θερμότητα, παρέχει 3 -5 μονάδες ενέργειας για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί το σύστημα.

Γ. Ανεξαρτησία από το πετρέλαιο θέρμανσης

Δ. Ασφάλεια

Με ένα σύστημα γεωθερμίας δεν υπάρχει καύση και φλόγα, δεν υπάρχουν καπνοί, καπναγωγοί και οσμές. Δεν υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης φωτιάς ή ασφυξίας από το μονοξείδιο του άνθρακα.

Ε. Φιλικό προς το περιβάλλον

Επειδή δεν χρησιμοποιούνται καύσιμα δεν συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που είναι υπεύθυνο για την αύξηση της θερμοκρασίας στον

πλανήτη. Δεν απαιτείται χρήση λεβητοστασίων, δεξαμενής καυσίμων, καμινάδων.

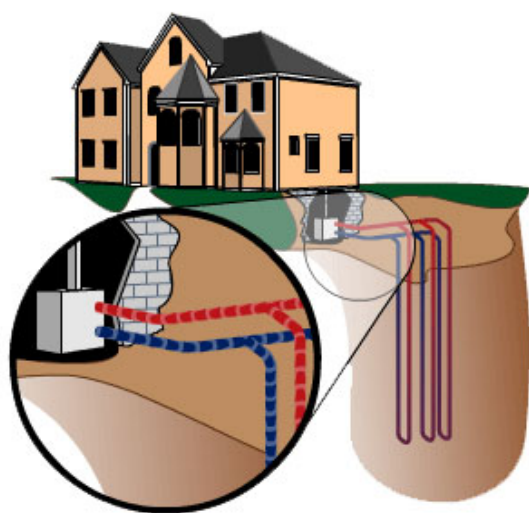
Στ. Γρήγορη απόσβεση

Ζ. Δυνατότητα επιδότησης

Η. Αξιοπιστία κατασκευών

Τα συστήματα γεωθερμίας χρησιμοποιούνται πάνω από 50 χρόνια σε κράτη όπως Η.Π.Α. και 20 – 30 χρόνια στην Ιαπωνία, Γερμανία, Ελβετία, Αυστρία, Σουηδία.

5 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΑΒΑΘΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Στο υπέδαφος κάθε τόπου, συνεπώς και κάθε κτιρίου, επικρατεί μόνιμη και σταθερή θερμική ροή, με κατεύθυνση προς τα άνω, που εκδηλώνεται με τη γεωθερμική βαθμίδα. Μέχρι σήμερα στην Ελλάδα ερευνώνται μόνο τα ανώμαλα γεωθερμικά πεδία και μάλιστα αυτά που έχουν αισθητά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα, σημαντικά

μεγαλύτερη των $0,3 \text{ K}(^{\circ}\text{C})/\text{m}$. Αντίθετα, σε άλλες χώρες η έρευνα και η αξιοποίηση τόσο της ομαλής, όσο και αυτής που οφείλεται σε ελαφρά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα, έχουν προχωρήσει σημαντικά. Η αξιοποίηση είναι επιτυγχάνεται με βαθιές γεωτρήσεις, βάθους άνω των 1000 m, στις οποίες αναζητούμε υπόγεια νερά θερμοκρασίας άνω των 50°C , είτε με αβαθείς γεωτρήσεις, βάθους 50 – 150 m, στις οποίες εκμεταλλευόμαστε τη θερμική ενέργεια με τη χρήση των αντλιών θερμότητας. Με αυτές μπορούμε επίσης να εκμεταλλευθούμε και το θερμικό περιεχόμενο των αβαθών υπογείων υδάτων σε γεωτρήσεις ή φρέατα ή ακόμα και άμεσα το θερμικό περιεχόμενο των πετρωμάτων.

Με τη χρήση αντλίας θερμότητας νερού – νερού είναι δυνατόν να εκμεταλλευτούμε με οικονομικό όφελος ακόμη και θερμοκρασίες του υπεδάφους 8 – 10°C . Στις χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης και

στον Καναδά σ' αυτές τις θερμοκρασίες βασίζεται η λειτουργία των γεωθερμικών αντλιών, δηλαδή των αντλιών θερμότητας που εκμεταλλεύονται την υπεδαφική θερμική ενέργεια.

Σε βάθη μέχρι 150 m έχουμε αποθηκευμένη θερμική ενέργεια που προέρχεται και ανανεώνεται συνεχώς από δύο πηγές, τη γεωθερμική, που βρίσκεται στο εσωτερικό της Γης, και την ηλιακή, που με την ακτινοβολία της διοχετεύει θερμική ενέργεια μέσω της εδαφικής επιφάνειας στο υπέδαφος. Λόγω του κλίματος και της γεωγραφικής θέσεως της χώρας μας η ποσότητα της ηλιακής θερμικής ενέργειας που αποθηκεύεται στο υπέδαφος αυτής είναι πολύ μεγαλύτερη από τις βορειότερες χώρες. Έτσι οι υπεδαφικές θερμοκρασίες σε βάθη μέχρι 150 m στον ελλαδικό χώρο είναι 15 – 20 °C, είναι πολύ πιο ευνοϊκές για την απόδοση των γεωθερμικών αντλιών και δίνουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων θερμικής ενέργειας.

Γίνεται φανερό λοιπόν, ότι σε μικρά βάθη τα υπόγεια στρώματα πετρωμάτων και τα υπόγεια νερά μετεωρικής προέλευσης αποθηκεύουν ποσότητες θερμικής ενέργειας, οι οποίες είναι εν μέρει ηλιακές και μαζί με την από τα βαθύτερα στρώματα του φλοιού της Γης ανερχόμενη γεωθερμική ενέργεια, δημιουργούν ένα γεωθερμικό απόθεμα, το οποίο καλείται αβαθές γεωθερμικό και το οποίο αποτελεί μια περιβαλλοντικά καθαρή ενεργειακή πηγή και προσφέρεται για εκμετάλλευση με τη βοήθεια των αντλιών θερμότητας.

Η γεωθερμική ενέργεια που αφορά θερμοκρασίες χαμηλότερες των 25°C (ενέργεια αβαθούς γεωθερμίας), παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα και ορισμένα μειονεκτήματα σε σχέση με την αιολική και την ηλιακή ενέργεια, από πλευράς εκμετάλλευσης.

Πλεονεκτήματα:

1. Είναι διαθέσιμη με σταθερές παροχές όλη τη διάρκεια του χρόνου, υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες και σχεδόν παντού.
2. Οι απαιτήσεις σε χώρο μιας εγκατάστασης εκμετάλλευσης είναι ασήμαντες και δεν δημιουργούν αρχιτεκτονικά ή αισθητικά περιβαλλοντικά προβλήματα.

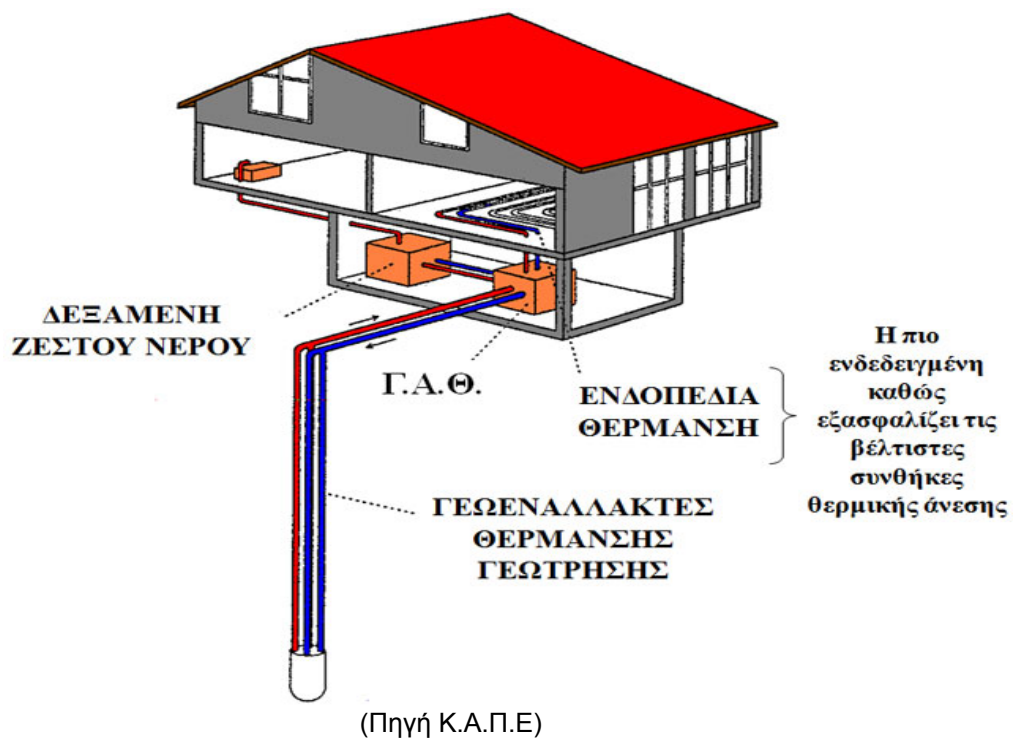
3. Οι πολύ χαμηλές υπεδαφικές θερμοκρασίες (κάτω των 25°C) σε συνδυασμό με γεωθερμικές αντλίες προσφέρονται για την παραγωγή τόσο ζεστού νερού, όσο και ψυχρού νερού, δηλαδή για θέρμανση και ψύξη χώρων και νερού χρήσης.

Μειονεκτήματα:

1. Το σχετικά υψηλό κόστος της εγκατάστασης, που μπορεί να απαιτήσει σημαντικές δαπάνες για γεωτρήσεις και γήινους εναλλάκτες θερμότητας.
2. Η χαμηλή ισχύς της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας.

Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας με γεωθερμικές αντλίες άρχισε στις τεχνολογικά προηγμένες χώρες, όπως είναι οι Η.Π.Α., ο Καναδάς, η Σουηδία, η Γαλλία, η Ελβετία και η Γερμανία γύρω στο 1980 (μετά την άνοδο των τιμών του πετρελαίου). Μέχρι το 1990 υπήρχε σε λειτουργία σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων με γεωθερμικές αντλίες στις χώρες αυτές, που αυξάνεται με ταχύ ρυθμό. (>1 εκατομ. στις Η.Π.Α., >350.000 στην Ευρώπη, κυρίως Σουηδία, Γερμανία, Αυστρία, Ελβετία κ.α.).

Έναντι του συμβατικού συστήματος θέρμανσης, το σύστημα εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα από άποψη ασφαλούς λειτουργίας, ρύπανσης και συχνότητας ρυθμίσεων. Το ουσιαστικότερο μειονέκτημα όμως είναι το αρχικό κόστος εγκατάστασης.



5.1 ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

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

1. στην απαγωγή της εδαφικής θερμότητας, μέσω ενός συστήματος το οποίο αποτελείται από κάποιο ρευστό (συνήθως νερό) που κυκλοφορεί σε σύστημα σωληνώσεων που τοποθετούνται μέσα στο έδαφος, και το οποίο ονομάζεται γεωεναλλάκτης
2. στην αναβάθμιση της μέσω μιας αντλίας θερμότητας και,
3. στη συνέχεια, μεταφορά της μέσω συστήματος σωληνώσεων ή fancoils που καταλήγουν σε δίκτυο δαπέδου (επιδαπέδιο), οροφής, τοίχων, ή ακόμη και σε συμβατικά σώματα (καλοριφέρ), τα οποία έχουν ενσωματωμένο ανεμιστήρα για τη διασπορά της θερμότητας, και χρήση της για τη θέρμανση χώρων. Εναλλακτικά, η αρχή αυτή χρησιμοποιείται και για ψύξη, με μεταφορά της θερμότητας απευθείας από την επιφάνεια (κτίριο) στο υπέδαφος και διάχυση της εκεί.

Τα τρία αυτά μέρη (γήινος εναλλάκτης - αντλία θερμότητας - σύστημα μεταφοράς και διασποράς) απαρτίζουν τα συστήματα χρήσης της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες εφαρμογής διαφοροποιούνται μεταξύ

τους στα επιμέρους τμήματα (μικρά ή μεγάλα) ως εξής: Π.χ. στη χρήση διαφόρων τύπων αντλίας θερμότητας, στο διαφορετικό σύστημα γεωεναλλάκτη (ανοικτό ή κλειστό σύστημα, ρηχότερες ή βαθύτερες γεωτρήσεις, με μεγαλύτερη οριζόντια ή κατακόρυφη ανάπτυξη), στο διαφορετικό σύστημα διασποράς της θερμότητας στο κτίριο (επιδαπέδιο, επιτοίχιο, με θερμαντικά σώματα), κ.λ.π..

Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι υλοποίησης (τοποθέτησης) του γεωεναλλάκτη:

1. Οριζόντιο κύκλωμα, το οποίο εφαρμόζεται σε περιπτώσεις με αρκετό διαθέσιμο οριζόντιο ελεύθερο χώρο (επιφάνεια) σε μικρό βάθος (1-3m)

2. Κατακόρυφο κύκλωμα, το οποίο είναι πολύ καλή επιλογή όταν έχουμε περιορισμένη διαθέσιμη επιφάνεια, και είναι η συνηθέστερη (ίσως και μοναδική) επιλογή στις πόλεις όπου τα κτίρια έχουν περιορισμένο διαθέσιμο χώρο γύρω τους

3. Οριζόντιο κύκλωμα σε λίμνη ή θάλασσα, όπου η τοποθέτηση του εναλλάκτη γίνεται στον πυθμένα γειτονικής λίμνης ή θάλασσας (όταν βέβαια η λίμνη ή η θάλασσα βρίσκονται σε μικρή απόσταση). Η διάταξη αυτή είναι ιδιαίτερως οικονομική διότι αποφεύγουμε το κόστος εκσκαφής.

4. Ανοιχτό κύκλωμα, το οποίο εκμεταλλεύεται αντλώντας τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα μέσω γεωτρήσεων ως άμεση πηγή ενέργειας. Σε ιδανικές συνθήκες αποτελεί το πιο οικονομικό σύστημα. Μοναδικό πρόβλημα στην περίπτωση αυτή είναι η διάθεση του νερού μετά τη χρήση του.

Από τους παραπάνω τύπους οι συνηθέστεροι στην εφαρμογή είναι το κατακόρυφο και μετά το οριζόντιο κύκλωμα, διότι δεν απαιτούν ειδικές συνθήκες (κοντινή λίμνη ή παρουσία υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα σε μικρό βάθος). Ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι αυτός του κατακόρυφου κυκλώματος, ο οποίος μπορεί να έχει πρακτική εφαρμογή σε όλες τις πυκνοκατοικημένες περιοχές. Οι γεωτρήσεις βάθους μέχρι 150 m τοποθετούνται οριζόντια κι η μεταξύ τους απόσταση της τάξης των 5 m.

Τα συστήματα που βασίζονται στη χρήση της αβαθούς γεωθερμίας αναφέρονται διεθνώς με το όνομα **GEOTHERMAL HEAT PUMP SYSTEMS** (συστήματα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας) ή **GEOEXCHANGE** (γεωεναλλακτικά συστήματα ή συστήματα γεωεναλλαγής).



Γεωθερμική αντλία θερμότητας ΓΑΘ



Γεωεναλλάκτης

5.2 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (GHP)

Όπως αναφέρθηκε, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (GHP) είναι πολλές φορές απαραίτητες για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας. Πρόκειται για συσκευές που έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν θερμότητα από ένα μέσο με υψηλή θερμοκρασία σε ένα άλλο μέσο με χαμηλότερη θερμοκρασία. Αυτό πραγματοποιείται με απορρόφηση θερμότητας από μια πηγή χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας (όπως είναι το υπόγειο ή επιφανειακό νερό, ο εξωτερικός αέρας και το υπέδαφος) και απόδοσή της σε ένα θερμότερο μέσο, όπως είναι για παράδειγμα μια οικία. Τα βασικά εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας είναι τα ίδια με τα κοινά κλιματιστικά και περιλαμβάνουν το συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τον εξατμιστήρα, τη βαλβίδα εκτόνωσης και βέβαια μια πηγή ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις η αντλία θερμότητας είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να αντιστρέφει την ψυκτική και θερμαντική λειτουργία, επιτρέποντας τη χρήση της ίδιας συσκευής για ψύξη και θέρμανση.

Η αντλία θερμότητας τροφοδοτείται με θερμότητα από το 'ψυχρό' μέσο σε χαμηλή θερμοκρασία T_o . Έτσι προσφέρεται μηχανικό έργο W_{net} για τη μεταφορά της θερμότητας σε υψηλότερη θερμοκρασία T_h

Ισχύει λοιπόν ο τύπος: $Q_H = Q_L + W_{net}$

Η σωστή λειτουργία της αντλίας θερμότητας εκφράζεται από το συντελεστή απόδοσης COP, ο οποίος ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$COP = \text{Αποδιδόμενη έξοδος} / \text{απαιτούμενη είσοδος} = Q_H / Q_{net}$

Στις αντλίες θερμότητας ο συντελεστής απόδοσης κυμαίνεται από 1,5 έως 5, και βέβαια όσο μεγαλύτερη η τιμή του τόσο περισσότερο οικονομική γίνεται η χρήση της αντλίας.

Ο COP προσδιορίζει την απόδοση της αντλίας και αποτελεί το θερμικό αποτέλεσμα που παράγεται από το σύστημα (σε BTU/ώρα), διαιρεμένο από την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος (σε BTU/ώρα) και είναι αδιάστατο μέγεθος.

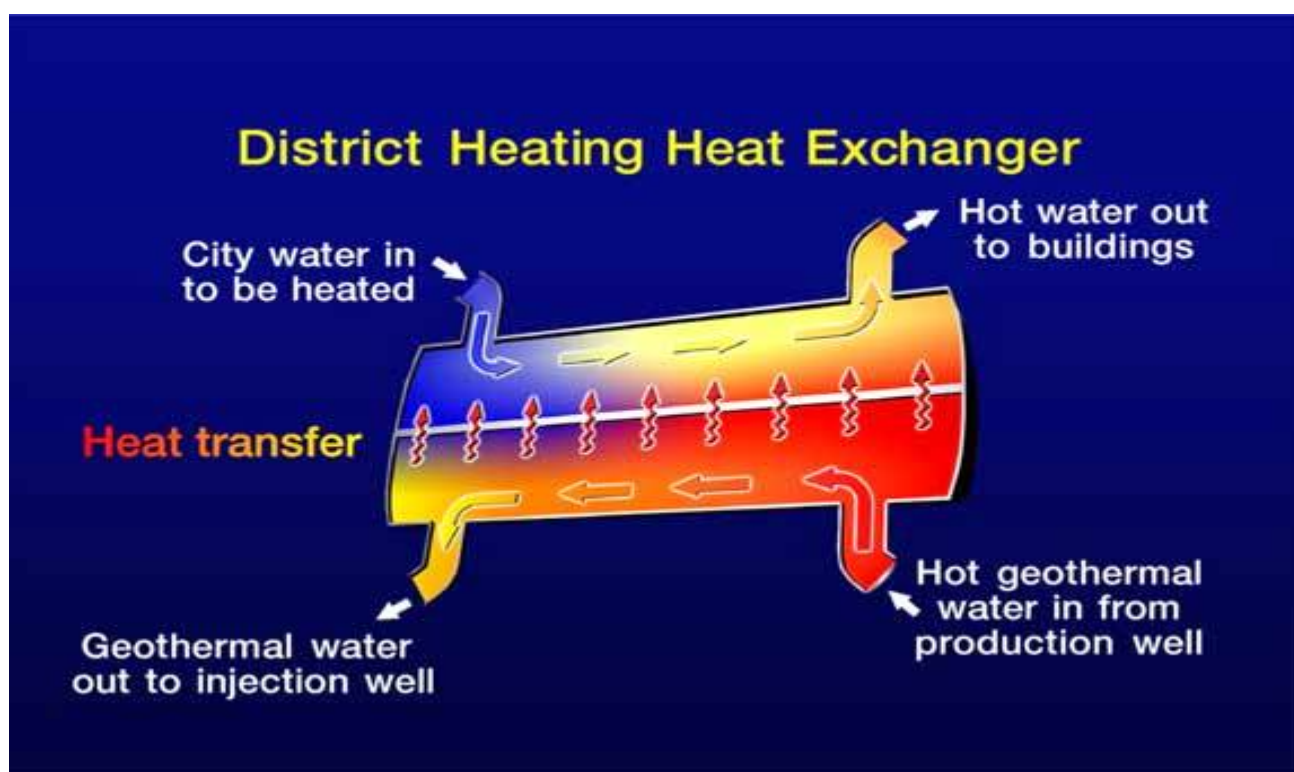
Υπάρχει και ένας άλλος συντελεστής που προσδιορίζει την απόδοση ψύξης. Ο δείκτης αυτός ονομάζεται EER (Ρυθμός Απόδοσης Ενέργειας) και είναι το αποτέλεσμα του πηλίκου της «ψυκτικής ισχύος», (της ενέργειας σε BTU που μπορεί να αφαιρέσει η ψυκτική μηχανή από ένα χώρο σε μία ώρα), προς το σύνολο της ηλεκτρικής ισχύος που απαιτείται για το σκοπό αυτό (σε watt). Ο δείκτης EER, είναι και αυτός αδιάστατο μέγεθος.

Ο ρόλος μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας είναι η μεταφορά του ενεργειακού φορτίου, από και προς το έδαφος. Ο υψηλός συντελεστής απόδοσης που παρουσιάζει οφείλεται στην υψηλή, μη κορεσμένη θερμοκρασία του εδάφους. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί την θερμοκρασία των πετρωμάτων για την εξάτμιση του υγρού φρέον και με τη βοήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας συμπιέζει το αέριο πια φρέον, με στόχο την ανύψωση της πίεσης και θερμοκρασίας του. Το αέριο φρέον αποδίδει την θερμοκρασία του στον κλιματιζόμενο χώρο, εφόσον έρχεται σε επαφή σε μια διεπιφάνεια με το νερό ή αέρα ανακυκλοφορίας θέρμανσής ή ψύξης του κτηρίου, διαμέσου ενός εναλλάκτη θερμότητας. Ο θερμός αέρας ή το θερμό νερό μεταβιβάζονται στο κτήριο με στόχο την θέρμανση του, ενώ το υγρό πια φρέον εκτονώνεται για την πτώση της πίεσης του. Η επανάληψη του κύκλου δημιουργεί τη συνεχή θέρμανση του κτηρίου. Για την ψύξη του κτηρίου αντιστρέφεται ο κύκλος του φρέον με αποτέλεσμα το έδαφος να αποτελεί τον αποδέκτη της θερμότητας, ενώ το κτήριο την πηγή ενέργειας, δηλαδή ως εξατμιστή.

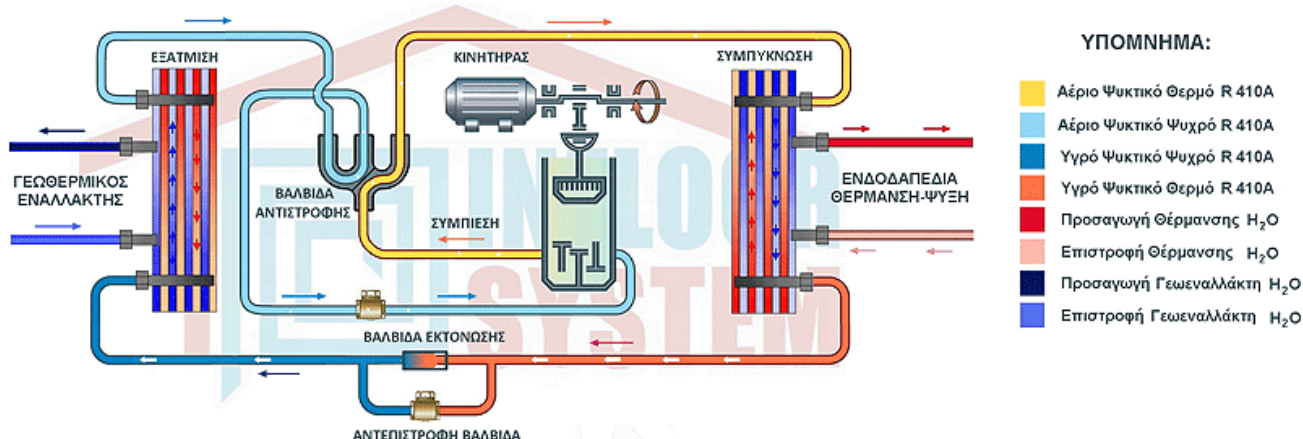
Η αντλία θερμότητας είναι μια ηλεκτρική μονάδα η οποία με τον μηχανισμό της, μεταφέρει θερμότητα ή ψύξη από έναν χώρο στον άλλο. Η μόνη διαφορά μεταξύ της αντλίας θερμότητας και της ψυκτικής μονάδας είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα, το οποίο για την ψυκτική μονάδα είναι η ψύξη και για την αντλία είναι η θέρμανση. Επιπλέον οι αντλίες θερμότητας μπορούν να

παρέχουν θέρμανση ή ψύξη στο χώρο.

Στην ορολογία των αντλιών θερμότητας, η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας στην οποία απορροφάται η θερμότητα (θερμοκρασία πηγής) και της θερμοκρασίας στην οποία αποδίδεται (θερμοκρασία χώρου απόθεσης) αναφέρεται ως 'ανύψωση'. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανύψωση, τόσο μεγαλύτερη είναι η εξωτερική (εισαγόμενη) ενέργεια που απαιτείται από την αντλία θερμότητας. Αυτό είναι σημαντικό, επειδή αποτελεί πλεονέκτημα όσον αφορά την απόδοση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα.



Αρχή λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας
(Πηγή Geo – Heat Center)



Ολοκληρωμένο σύστημα γεωθερμίας
(Πηγή Κ.Α.Π.Ε.)

5.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

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

1. Σωλήνες κλειστού κυκλώματος
2. Σωλήνες ανοικτού κυκλώματος

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

5.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ένα υπόγειο δίκτυο πλαστικών σωλήνων υψηλής αντοχής, που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας. Στο κύκλωμα κυκλοφορεί ένα ρευστό υλικό μεταφοράς θερμότητας, τυπικά νερό ή ένα υδροαντιψυκτικό διάλυμα, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλα ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Όταν οι απαιτήσεις για ψύξη προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού στο κλειστό κύκλωμα, τότε μεταφέρεται

θερμότητα στο ψυχρότερο έδαφος. Αντιστρόφως, όταν οι απαιτήσεις για θέρμανση προκαλούν την πτώση της θερμοκρασίας του ρευστού στο κλειστό κύκλωμα, τότε η θερμότητα απορροφάται από το θερμότερο έδαφος.

Υπάρχουν αρκετές ποικιλίες διατάξεων κλειστού κυκλώματος, όπως είναι το οριζόντιο, το σπειροειδές, το κατακόρυφο και το καταβυθιζόμενο.

Η επιλογή μεταξύ των διαφόρων τύπων που διέπουν τα κλειστά γεωθερμικά συστήματα εξαρτάται από τη μορφολογία της ευρύτερης περιοχής και φυσικά τη διαθεσιμότητα του περιβάλλοντα χώρου, καθώς επίσης και το στάδιο της κατασκευής.

Ένα τυπικό κλειστό γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τον γεωσυλλέκτη (οριζόντια, κωνική ή κάθετη διάταξη) τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το δίκτυο διανομής του ενεργειακού φορτίου.

5.4.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

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



Οριζόντιοι γεωσυλλέκτες (www.aidengineering.gr / www.Boudouri.gr)

Πλεονεκτήματα:

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

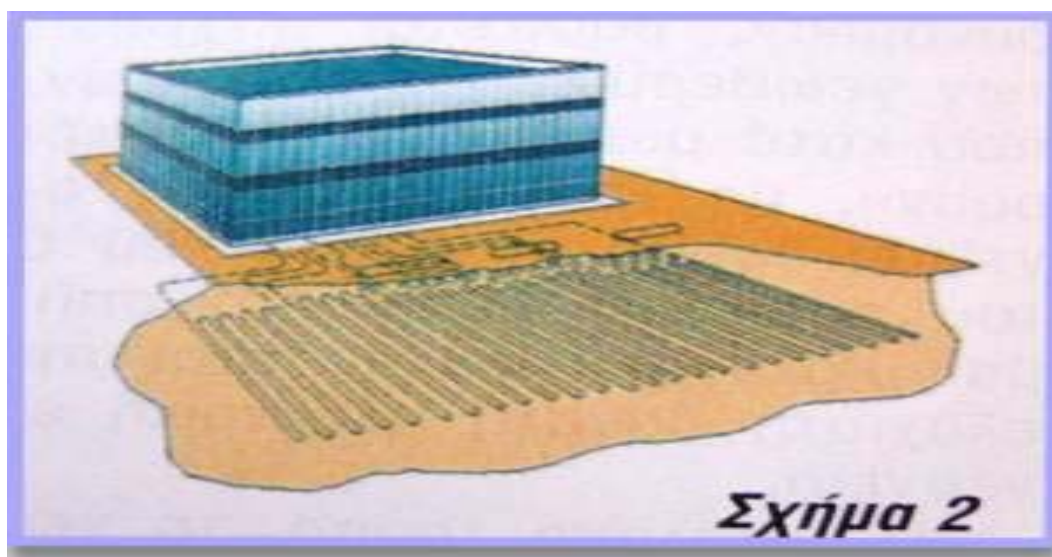
Μειονεκτήματα:

1. Απαιτείται μεγάλη εδαφική περιοχή.
2. Η θερμότητα του εδάφους υπόκειται σε εποχιακές διακυμάνσεις γιατί είναι σε μικρά βάθη.
3. Οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους κυμαίνονται ανάλογα με την εποχή, τη βροχή, το βάθος ταφής και το είδος του σχηματισμού.
4. Η ξηρότητα του εδάφους πρέπει να μετρηθεί κατάλληλα για το σχεδιασμό του απαιτούμενου μήκους σωλήνων, ειδικά σε αμμώδη εδάφη και στις κορυφές των βουνών, στα οποία υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν προβλήματα λειψυδρίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.
5. Το σύστημα των σωληνώσεων μπορεί να καταστραφεί κατά τη διεργασία επαναδιοχέτευσης.
6. Απαιτούνται μεγαλύτερα μήκη σωλήνων σε σχέση με τις

κατακόρυφες γεωτρήσεις.

7. Η πυκνότητα του αντιψυκτικού διαλύματος αυξάνει την ενέργεια των αντλιών, ενώ μειώνει το ρυθμό μεταφοράς, ώστε έτσι να μειώνεται και η συνολική απόδοση. Γι' αυτό παρατηρείται ακόμα πιο χαμηλή απόδοση του συστήματος.

8. Το σύστημα σωληνώσεων υπόκειται και σε κινδύνους από τα ριζικά συστήματα των δένδρων που μπορούν να αναπτυχθούν γύρω του.



Οριζόντιο κύκλωμα.
(Πηγή www.Boudouri.gr)

5.4.2 ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΕΣ ΚΥΚΛΩΜΑ

Μια παραλλαγή της διάταξης οριζόντιου κυκλώματος (κάποιες φορές και κατακόρυφου αλλά πολύ λιγότερο διαδεδομένη και σπάνια) με πολλαπλούς σωλήνες είναι το σπειροειδές κύκλωμα. Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από σωλήνες που στριφογυρίζουν σε ένα κυκλικό κύκλωμα μέσα σε τάφρους. Μια άλλη παραλλαγή του συστήματος με σπειροειδές κύκλωμα περιλαμβάνει την τοποθέτηση του κυκλώματος όρθιου σε στενές τάφρους. Η διάταξη του σπειροειδούς κυκλώματος απαιτεί γενικά περισσότερους σωλήνες τυπικά 150 - 300 m ανά τόνο ψύξης, αλλά λιγότερες συνολικά τάφρους από τα συστήματα οριζόντιου κυκλώματος με πολλαπλούς σωλήνες. Για το σχεδιασμό των

οριζόντιων σπειροειδών κυκλωμάτων, οι τάφροι έχουν πλάτος γενικά 0,9 -1,8 m. Πολλαπλές τάφροι απέχουν τυπικά περίπου 3,7 m. Για το σχεδιασμό των κατακόρυφων σπειροειδών κυκλωμάτων, οι τάφροι έχουν πλάτος γενικά 1,5 m.

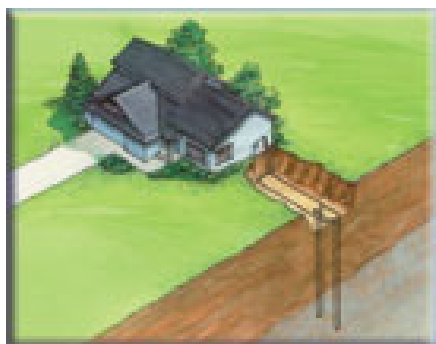
Πλεονεκτήματα:

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

Μειονεκτήματα:

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

5.4.3 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΚΥΚΛΩΜΑ



Τα κατακόρυφα κυκλώματα χρησιμοποιούνται γενικά όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι περιορισμένη. Διανοίγονται γεωτρήσεις σε βάθη από 23 έως 150 m βάθος. Οι σωλήνες κλειστού κυκλώματος εισάγονται μέσα στην κατακόρυφη γεώτρηση.

Το απαιτούμενο μήκος ποικίλει από 60 -180 m ανά τόνο ψύξης, και εξαρτάται από το έδαφος και τις συνθήκες θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται πολλαπλές γεωτρήσεις, που απέχουν μεταξύ τους 3 έως 5 m και οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι είτε σε σειρά είτε σε παράλληλη διάταξη, ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις για τη συνολική μεταφορά θερμότητας. Τα κατακόρυφα συστήματα εφαρμόζονται εκεί που

είναι περιορισμένη η εδαφική περιοχή, εκεί που το έδαφος είναι βραχώδες ή υπάρχει γεωλογικό υπόβαθρο. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι για τους εναλλάκτες θερμότητας του κατακόρυφου συστήματος:

i. Σωλήνας σε σχήμα U , ii. Διαχωρισμένοι σωλήνες , iii. Ομόκεντροι σωλήνες



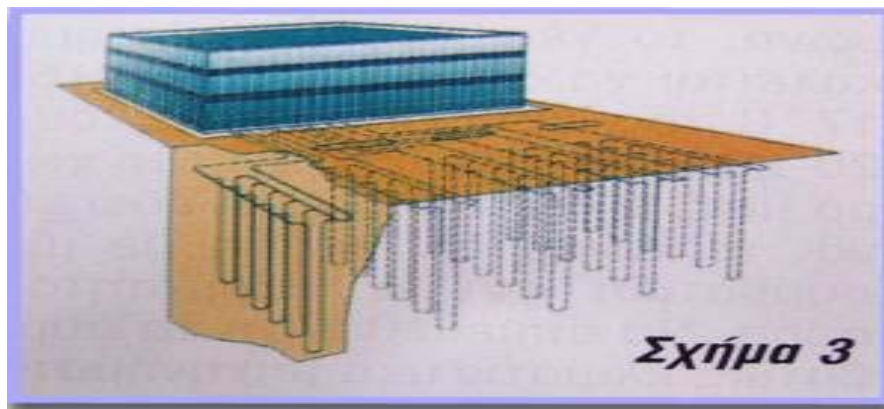
Διάφοροι τύποι κάθετων γεωεναλλακτών (www.aidengineering.gr / www.Boudouri.gr)

Πλεονεκτήματα:

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

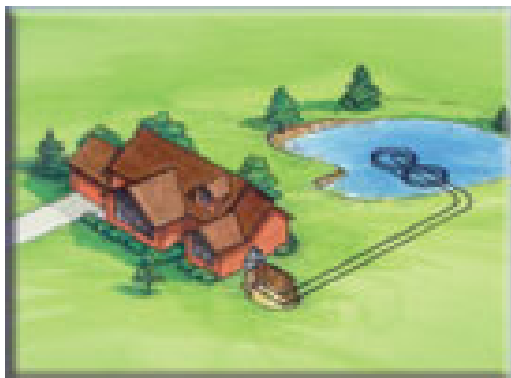
Μειονεκτήματα:

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



Συνδιασμός οριζόντιου και κάθετου κυκλώματος
(Πηγή www.Boudouri.gr)

5.4.4 ΒΥΘΙΖΟΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ



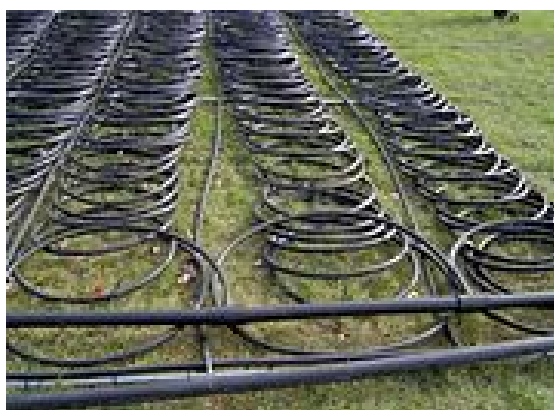
Αν μία μετρίου μεγέθους υδάτινη τάφρος ή λίμνη είναι διαθέσιμες, τότε το κλειστό κύκλωμα μπορεί να καταβυθιστεί μέσα στο νερό. Οι εφαρμογές των καταβυθισμένων κυκλωμάτων απαιτούν ειδικές συνθήκες, γεγονός που απαιτεί τη συμβολή ενός μηχανικού εξειδικευμένου σε τέτοιες εφαρμογές. Αυτός ο τύπος συστήματος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

Πλεονεκτήματα:

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

Μειονεκτήματα:

1. Απαιτεί μεγάλη ποσότητα νερού



Καταβυθιζόμενοι εναλλάκτες κλειστού κυκλώματος λίμνης (www.aidengineering.gr / www.Boudouri.gr)

5.4.5 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΛΕΙΣΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

- i. Δύσκολη πρόσβαση μετά την ταφή του γεωσυλλέκτη
- ii. Ακριβές χωματουργικές εργασίες για βραχώδεις περιοχές
- iii. Απαιτούν αρκετό περιβάλλοντα χώρο
- iv. Ο σταθερός συντελεστής απόδοσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, εξαρτάται από το ποσοστό μεταφοράς του ενεργειακού φορτίου
- v. Παρουσιάζουν δύσκολη απομάκρυνση του αέρα
- vi. Η τοποθέτηση τόσο του συλλέκτη όσο και η επανατοποθέτηση του εδάφους απαιτεί γνώση και υπομονή

5.4.6 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΚΛΕΙΣΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Τα κάθετα κλειστά γεωθερμικά συστήματα αποτελούν απειλή για την ισορροπία του περιβάλλοντος, μονάχα στην περίπτωση που η «τσιμέντωση» της γεώτρησης έχει δημιουργήσει ρωγμές και ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας έχει μολυνθεί είτε από την διείσδυση ενός επιφανειακού υδροφόρου, είτε από τυχόν διαφυγή αντιψυκτικού υγρού από τις σωληνώσεις του γεωσυλλέκτη. Η βλάβη είναι αποτέλεσμα της διαφορετικής θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ του αντιψυκτικού και του τσιμέντου ή του «μπετονίτη» που έχει χρησιμοποιηθεί. Το τσιμέντο που περικλείει την σωλήνωση του γεωσυλλέκτη δρα ως θερμομωνοτικό, χωρίς όμως να αντέχει τη διαφορά της αγωγιμότητας με αποτέλεσμα να δημιουργεί ρωγμές από μέσα προς τα έξω. Γι' αυτό το λόγο σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται θερμικά

εμπλουτισμένα μείγματα για την τσιμέντωση των κάθετων οπών.

5.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

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

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

- i. την ποσότητα του νερού
- ii. την καταλληλότητα του διαθέσιμου νερού
- iii. το πρόβλημα της διάθεσης του υπόγειου νερού μετά τη χρήση του

Στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος ο εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού υλικού και του υπεδαφικού νερού υπόκειται σε διάβρωση. Ο ρυθμός ροής που απαιτείται μέσω του πρωταρχικού εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού υλικού και του υπεδαφικού νερού κυμαίνεται από 0,4 έως 0,8 m³/h ανά τόνο ψύξης. Το υπόγειο νερό πρέπει είτε να επαναφέρεται μέσα στο έδαφος από ξεχωριστές γεωτρήσεις, είτε να χύνεται σε ένα επιφανειακό σύστημα, όπως π.χ. ένα ποτάμι, μια λίμνη, θάλασσα, χείμαρρος. Ο νόμος 3175/03 απαιτεί την επαναδιοχέτευση του νερού στον ίδιο υδροφόρο με άλλη γεώτρηση.

Πλεονεκτήματα:

1. Χρησιμοποιούνται λιγότερες γεωτρήσεις σε σχέση με τα συστήματα κλειστού κυκλώματος.

2. Λειτουργούν καλύτερα συγκριτικά με τα συστήματα κλειστού κυκλώματος. Κι αυτό γιατί υπάρχει καλύτερη τεχνογνωσία σε θέματα κατασκευής γεωτρήσεων για τη μεταφορά νερού σε θερμοκρασία υπόγειων στρωμάτων σε σχέση με την κατασκευή εναλ/ακτών (για τη μεταφορά

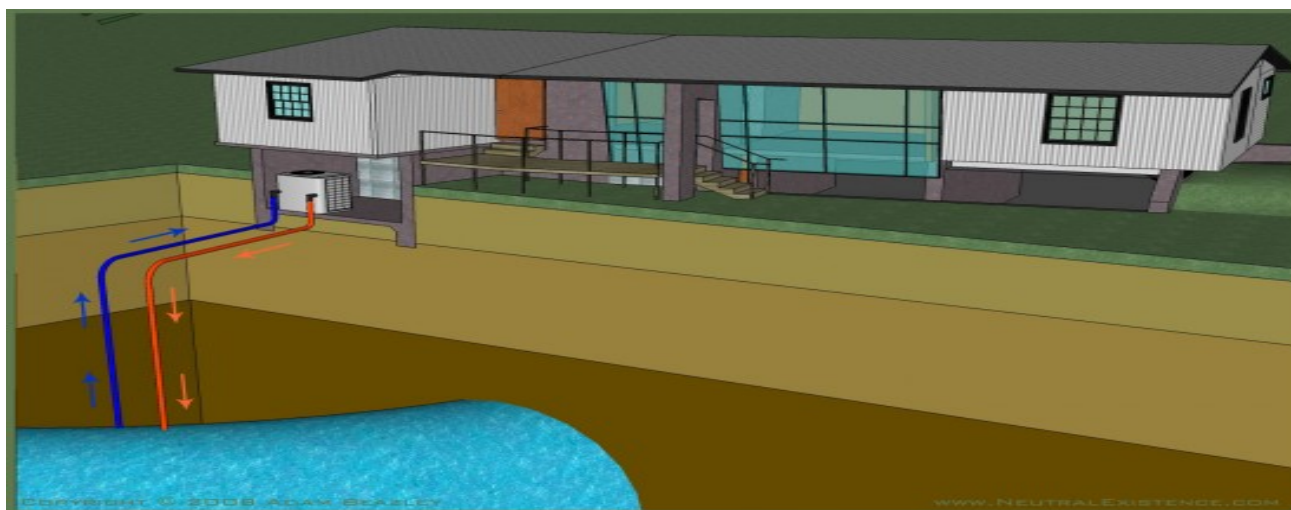
ρευστού σε θερμοκρασία διαφορετική από αυτή των υπόγειων στρωμάτων του εδάφους).

3. Έχουν τυπικά χαμηλότερο κόστος, ειδικά αν συνδυαστεί με γεώτρηση τροφοδοσίας πόσιμου νερού.

4. Χαμηλό κόστος λειτουργίας, αν το νερό αντλείται και για άλλους σκοπούς, όπως η άρδευση.

Μειονεκτήματα:

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



Ανοιχτό γεωθερμικό σύστημα
(Πηγή www.aidengineering.gr)

5.5.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Αυτά εντοπίζονται:

- Με εξαίρεση την παραθαλάσσια ζώνη, δύσκολα διαπιστώνεται συνεχόμενη πλούσια σε ποσότητα υδροφορία
- Ακριβό το κόστος των υδρογεωτρήσεων

- Προσοχή στην μεταφορά σωματιδίων και κόκκων (στατική μεταβολή)
- Η διάμετρος ανόρυξης θα εξαρτηθεί από την απαιτούμενη υδροφορία του συστήματος
- Όταν υπάρχει υφάλμυρο νερό θα πρέπει να δημιουργηθεί βρόγχος ανακυκλοφορίας γλυκού νερού και αυτό θα επιβαρύνει το κόστος και θα μειώσει τους συντελεστές απόδοσης του συστήματος
- Υπάρχουν αντλίες που χρησιμοποιούν Ni/ Cu ή Ti αλλά είναι ακριβότερες και χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή για τα επιμέρους υλικά που θα χρησιμοποιηθούν
- Αρτεσιανά νερά παρουσιάζουν μεταβολές στις θερμοκρασίες του νερού και μεταβάλλουν τους συντελεστές απόδοσης
- Δύσκολη αντιμετώπιση ομοιόμορφης κατανομής της ροής στο σύστημα

5.5.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΝΟΙΚΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Σε ένα ανοιχτό γεωθερμικό σύστημα κατά τη διάρκεια της θέρμανσης η αντλία θερμότητας θα κάνει χρήση των υπογείων ρευμάτων που θα αντλούνται μέσω της παραγωγικής γεώτρησης, θα θερμαίνουν το πτητικό υγρό της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στον εναλλάκτη θερμότητας και θα επιστρέφει στον ταμιευτήρα από όπου προήλθαν μέσω της γεώτρησης επανεισαγωγής, χωρίς να έχουν έρθει σε επαφή τα δύο υγρά μεταξύ τους. Το τελευταίο επιτυγχάνεται αρκετά εύκολα εφ' όσον χρησιμοποιούνται κατάλληλοι εναλλάκτες θερμότητας που απαγορεύουν την επικοινωνία των δυο υγρών ακόμα και στην περίπτωση της διάβρωσης. Ο μελετητής θα πρέπει να σχεδιάσει ένα σύστημα με όσο το δυνατόν μικρότερη τη μεταβολή της διαφοράς της θερμοκρασίας του αντλούμενου νερού, για να μην μεταβάλλει τη θερμοκρασία του υδροφόρου από όπου προήλθε. Τέλος η διαδικασία εμπλουτισμού της γεώτρησης επανεισαγωγής αποτελεί ίσως το πιο δύσκολο κατασκευαστικά τμήμα της συνολικής εφαρμογής και προϋποθέτει τη μη ύπαρξη αλλαγής, στη φυσικοχημική σύσταση του υγρού, δηλαδή τη μη χρήση ή ανάμιξη του νερού σε οποιαδήποτε άλλη διεργασία.

5.6 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα υβριδικά γεωθερμικά συστήματα παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον όταν πρόκειται για μεγάλες κτηριακές εγκαταστάσεις και αστικές περιοχές. Τα υβριδικά γεωθερμικά συστήματα εφαρμόζονται σε αστικές περιοχές όπου η δημιουργία υδρογεωτρήσεων ή η τοποθέτηση του γεωσυλλέκτη είναι σχεδόν ανέφικτη. Τα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούν γεωθερμικές αντλίες θερμότητας νερού – αέρα και όχι νερού – νερού.

Η φιλοσοφία λειτουργίας ενός υβριδικού γεωθερμικού συστήματος δεν απέχει από τον κλασικό τρόπο ενός ανοικτού ή κλειστού γεωθερμικού συστήματος. Στηρίζεται στη διοχέτευση νερού σε σταθερή θερμοκρασία στις γεωθερμικές μονάδες νερού – αέρος, με τη διαφορά όμως ότι αυτή επιτυγχάνεται τεχνητά άλλοτε από το σύστημα καυστήρα – λέβητα και άλλοτε από τον πύργο ψύξης. Το υβριδικό γεωθερμικό σύστημα στηρίζεται σε τεχνητή δημιουργία σταθερής θερμοκρασίας, ενώ το κλασικό γεωθερμικό στηρίζεται στην σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους. Παρ' όλο που δεν επιτυγχάνεται η απελευθέρωση από το πετρέλαιο θέρμανσης, η εξοικονόμηση χρημάτων που παρουσιάζουν αγγίζει το 45 %.

5.7 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Ανάμεσα στις μεταβλητές που έχουν σημαντική επίδραση στο μέγεθος και την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος χρήσης υπόγειων εναλλακτών, μεγάλη σημασία έχουν οι θερμοκρασίες υπεδάφους και ο τύπος του εδάφους.

5.7.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Η θερμοκρασία του υπεδάφους έχει σημασία για το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας από υδάτινη πηγή. Σε ένα σύστημα ανοικτού κυκλώματος, η θερμοκρασία του υπεδάφικου νερού που εισέρχεται στην αντλία θερμότητας έχει μια άμεση επιρροή στην απόδοση του συστήματος. Σε ένα σύστημα κλειστού κυκλώματος, η θερμοκρασία του υπεδάφους θα επηρεάσει το μέγεθος του απαιτούμενου συστήματος υπόγειων εναλλακτών και την αποτελεσματικότητα του υπόγειου θερμικού

εναλλάκτη. Επομένως, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η θερμοκρασία του υπεδάφους προτού ξεκινήσει ο σχεδιασμός του συστήματος.

Οι ετήσιες θερμοκρασίες του αέρα, η περιεκτικότητα σε υγρασία, ο τύπος του εδάφους και το εδαφικό κάλυμμα, επιδρούν στη θερμοκρασία του υπεδάφους. Επιπρόσθετα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η θερμοκρασία του υπεδάφους ποικίλει ετησίως ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του επιφανειακού αέρα, του τύπου του εδάφους και του βάθους.

5.7.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Ο πιο σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό και την επιτυχή λειτουργία ενός συστήματος αντλιών θερμότητας από υδάτινη πηγή (κλειστού κυκλώματος), είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του συστήματος υπόγειων εναλλακτών κλειστού κυκλώματος και του περιβάλλοντος εδάφους και πετρωμάτων. Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους και των πετρωμάτων καθορίζει το απαιτούμενο μήκος σωλήνων. Το μήκος των σωλήνων επιδρά στο κόστος εγκατάστασης, καθώς και στη λειτουργική αποδοτικότητα, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει το κόστος λειτουργίας. Εξαιτίας τοπικών μεταβολών στον τύπο του εδάφους και στις συνθήκες υγρασίας, ο οικονομικός σχεδιασμός μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την περιοχή.

Οι ταξινομήσεις του εδάφους περιλαμβάνουν χονδρόκοκκη άμμο και χαλίκια, λεπτόκοκκη ιλύ και άργιλο, καθώς και πηλό (ισοδύναμο μίγμα άμμου, ιλύος και αργίλου). Τα πετρώματα διαχωρίζονται σε εννέα διαφορετικές πετρολογικές ομάδες. Οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας ποικίλλουν σημαντικά σε κάθε μια από τις εννέα ομάδες. Κάθε μια από αυτές τις πετρολογικές ομάδες παίζει κάποιο ρόλο στον προσδιορισμό της θερμικής αγωγιμότητας και έτσι επηρεάζει το σχεδιασμό του συστήματος υπόγειων εναλλακτών.

5.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ

Οι εναλλάκτες θερμότητας κλειστού κυκλώματος μπορούν να σχεδιαστούν σε σειρά ή σε παράλληλη διάταξη ή σε συνδυασμό και των δύο.

Στα συστήματα σε σειρά, το ρευστό μεταφοράς θερμότητας μπορεί να

πάρει ένα μονοπάτι μέσα στο κύκλωμα, ενώ στα συστήματα με παράλληλη διάταξη, το ρευστό μπορεί να πάρει δύο ή περισσότερα μονοπάτια μέσα στο κύκλωμα. Η επιλογή θα επηρεάσει τη λειτουργία, τις απαιτήσεις άντλησης και το κόστος. Τα περισσότερα μεγάλα συστήματα υπόγειων εναλλακτών χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα ροής σε σειρά και σε παράλληλη διάταξη. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διατάξεων συγκεντρώνονται παρακάτω. Σε μεγάλα εμπορικά συστήματα, η πτώση πίεσης και το κόστος άντλησης πρέπει να ληφθούν προσεκτικά υπόψη, αλλιώς θα έχουν πολύ υψηλές τιμές. Οι αγωγοί, των οποίων η ταχύτητα του νερού είναι μεταβλητή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελαττώσουν την ενέργεια άντλησης και το κόστος κατά τη διάρκεια των συνθηκών ημιφόρτωσης (περιορισμένου φορτίου).

**ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΟΥΣ
ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΓΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗ ΑΒΑΘΩΝ
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ – Η ΕΠΙΤΥΧΙΑ ΤΗΣ
ΕΛΒΕΤΙΑΣ**

Eugster W.J., Rybach L., (1997)

**“Borehole heat exchangers to tap shallow geothermal resources –
The Swiss success story”**

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.

Τα συστήματα διπλής θερμικής αντλίας BHE είναι ιδανικά για την άντληση των πολύ διαδεδομένων αβαθών γεωθερμικών πηγών. Με 16.000 εγκαταστάσεις μέχρι σήμερα, η Ελβετία κατέχει την υψηλότερη εμβαδομετρική πυκνότητα συστημάτων BHE (Borehole Heat Exchangers Systems) παγκοσμίως (1 εγκατάσταση κάθε 3 Km²) και βρίσκεται στην Πέμπτη θέση στον κόσμο στην απευθείας χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Ο ρυθμός αύξησης είναι 10% το χρόνο. Περιβαλλοντικά καθώς και οικονομικά κίνητρα είναι υπεύθυνα γι' αυτήν την ανάπτυξη. Επίσης έρχονται στην επιφάνεια και νέες ενεργειακές λύσεις.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Ελβετία είναι μια μικρή χώρα (41.000 Km² έκταση και 7 εκατομμύρια πληθυσμό) με πρακτικά καμία εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (περίπου 60% υδροηλεκτρική, 40% πυρηνική ενέργεια). Υπάρχει επίσης και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασισμένη στη γεωθερμία. Τα κυριότερα ενεργειακά μέσα για θέρμανση και μεταφορές (ορυκτά καύσιμα) πρέπει να εισαχθούν. Σε αυτήν την κατάσταση, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση ξεκίνησε σημαντικά βήματα στην ενεργειακή πολιτική όπως το πρόγραμμα Energy 2000 (Rybach and Gorhan 1997), το οποίο περιέχει αναπτυξιακά προγράμματα προς την κατεύθυνση της εκμετάλλευσης των ιθαγενών και περιβαλλοντικά ήπιων μορφών ενέργειας. Έμφαση δίνεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στις οποίες στην Ελβετία, επίσημα συγκαταλέγεται και η γεωθερμική.

Για άμεση γεωθερμική χρήση, οι παραδοσιακές μορφές όπως οι διαδοχικές χρήσεις των νερών των θερμών πηγών και νέες λύσεις όπως την εκμετάλλευση υπόγειων υδάτων έχουν περιορισμένες εφαρμογές και προοπτικές. (Πίνακας.1). Επίσης το κυβερνητικό πρόγραμμα για την κάλυψη αμφιβόλου επιτυχίας βαθιών (>400m) γεωθερμικών γεωτρήσεων στη δεκαετία 1987 – 1997 είχε ανάμεικτα αποτελέσματα. Από τις 11 γεωτρήσεις μόνο οι 5 ήταν επιτυχημένες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η εμφάνιση των γεωθερμικών ρευστών σε βάθος δεν ευνοείται με κανένα τρόπο από το υπέδαφος της Ελβετίας.

Από την άλλη πλευρά, αβαθείς γεωθερμικές πηγές (<400m βάθος, όριο θεσπισμένο από το Ελβετικό κράτος) βρίσκονται παντού. Κάτω από τα 15 – 20 m τα πάντα είναι γεωθερμικά. Η θερμοκρασία του πεδίου επηρεάζεται από τη γήινη θερμική ροή και την τοπική θερμική αγωγιμότητα (+- την ύπαρξη ροής υπογείου νερού). Το ευρέως διαδεδομένο θερμικό περιεχόμενο των αβαθών πηγών μπορεί να είναι προσβάσιμο και με τεχνητό κύκλωμα όπως το σύστημα γεωτρήσεων με θερμικό εναλλάκτη (BHE – Borehole Heat

Exchanger). Αν και λειτουργεί σε πολύ μικρότερες θερμοκρασίες το BHE, μπορεί να θεωρηθεί ως ο μικρός αδερφός των HDR (Θερμών ξηρών πετρωμάτων) συστημάτων από άποψη αρχής λειτουργίας. Στην πραγματικότητα τα συστήματα BHE έγιναν πολύ δημοφιλή στην Ελβετία, κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό στο σύνολο των απευθείας γεωθερμικών χρήσεων (Πίνακας.1). Η συνολική χρήση γεωθερμικής ενέργειας υπερβαίνει π.χ. της ηλιακής.

ΣΥΣΤΗΜΑ	Εγκατεστημένη ισχύς (MWt)
Θερμές πηγές	10
Βαθιοί υδροφόροι ορίζοντες (>400m)	5
Γεωτρήσεις με θερμικούς εναλλάκτες BHE	200
Σύνολο	215

Πίνακας.1. Γεωθερμικές επιλογές το 1997 για άμεση χρήση (θέρμανση χώρων, κ.λ.π.) στην Ελβετία

3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΟΥΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ (BHE)

Τα συστήματα BHE είναι ιδανικά για χρήση των αβαθών γεωθερμικών πηγών, που βρίσκονται ακριβώς κάτω από τα πόδια μας. Το πιο δημοφιλές σύστημα θέρμανσης BHE είναι με μία ή δύο τυπικές γεωτρήσεις σε βάθος 50 – 150 m. Είναι ένα κλειστό κύκλωμα με σύστημα αντλίας θερμότητας (HP), ιδανικό για την παροχή θερμότητας σε μικρά απόκεντρα κτίρια, όπως είναι οι μονοκατοικίες και οι πολυκατοικίες (για λεπτομέριες βλέπε Rybach et al. 1992). Οι θερμικοί εναλλάκτες (συνήθως διπλοί σχήματος U πλαστικοί σωλήνες) μπορούν να εγκατασταθούν σε σχεδόν όλων των ειδών τους γεωλογικούς σχηματισμούς (εκτός των υλικών με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα όπως π.χ. ξηρό χαλίκι). Αυτά τα συστήματα δουλεύουν με επαγωγή και δεν παράγονται ρευστά. Η ενέργεια για τον θερμικό εναλλάκτη προέρχεται από διάφορες πηγές: την κατακόρυφη θερμική ροή, την εισαγωγή θερμότητας οριζοντίως λόγω επαγωγής, μεταφορά θερμότητας από υπόγειο νερό αν υπάρχει και την θερμική ανταλλαγή μεταξύ του επιφανειακού εδάφους και της ατμόσφαιρας. Οι κλιματικές συνθήκες στην Ελβετία, όντας μία αλπική χώρα, δεν χρειάζεται πρακτικά κλιματισμό ψύξης, τα συστήματα BHE χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση χώρων, έτσι οι αντλίες θερμότητας

(HP), σε αντίθεση με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στις Η.Π.Α., χρησιμοποιούνται μόνο για θέρμανση.

Πειραματικές και θεωρητικές έρευνες αποδεικνύουν ότι τα συστήματα BHE, αν σχεδιαστούν σωστά, λειτουργούν αξιόπιστα για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Eugster et al. 1992, Rybach and Hopkirk 1995). Ένα νέο θερμικό ισοζύγιο προσδιορίζεται στο έδαφος γύρω από το σύστημα BHE ύστερα από μερικά χρόνια λειτουργίας, έτσι επιτυγχάνεται συνεχής θερμική εξαγωγή.

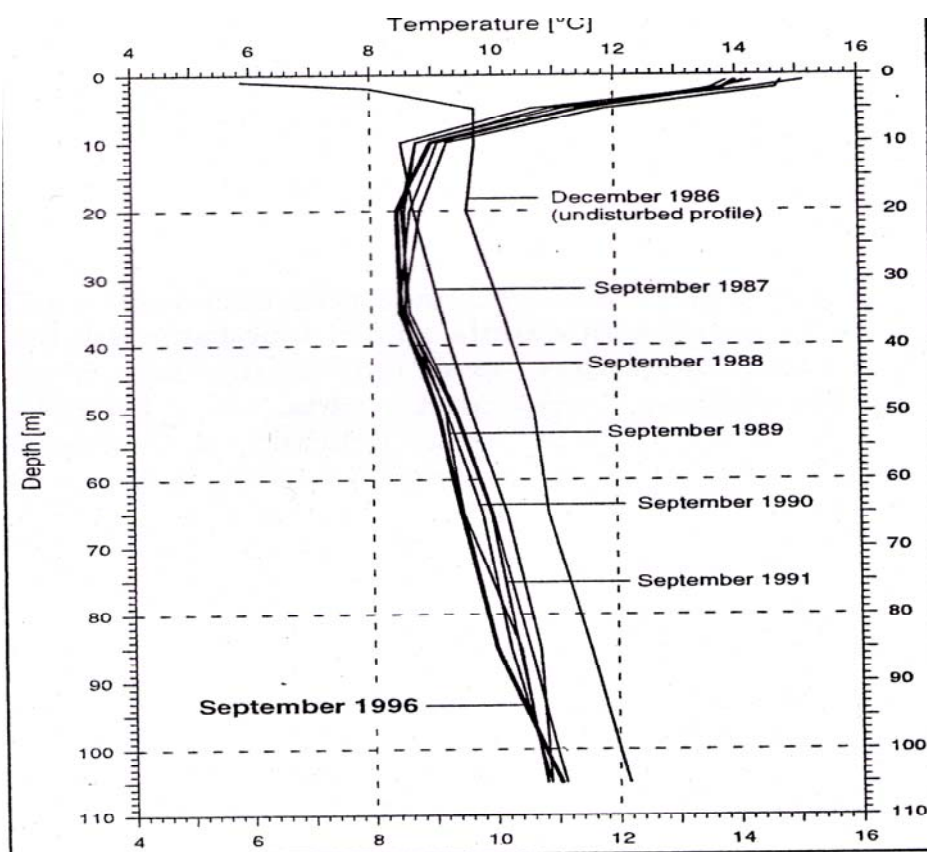
4. ΜΙΑ ΜΟΝΑΔΙΚΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΑ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ BHE

Για να εξακριβωθεί η αξιοπιστία των αριθμητικών μοντέλων εξομίωσης σχετικά με την μακροχρόνια απόδοση των BHE συστημάτων, έγινε μια εκτεταμένη μελέτη μόνο στις εμπορικές εγκαταστάσεις συστημάτων BHE στο Elgg κοντά στη Ζυρίχη. Καταγράφηκαν εδαφικές θερμοκρασίες σε 2 διαφορετικές ακτινικές αποστάσεις από τις γεωτρήσεις σε 10 διαφορετικά βάθη (μεταξύ 1m και 105m) σε διάστημα 30 min και για περίοδο άνω των 5 ετών (1986 – 1991). Επίσης καταγράφηκαν και ατμοσφαιρικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και όλοι οι παράγοντες που σχετίζονται με την λειτουργία όλου του συστήματος (ροή υδραυλικού κυκλώματος, θερμοκρασία κυκλώματος, ηλεκτρική κατανάλωση της αντλίας θερμότητας κ.λ.π.)(Eugster 1991). Στην επιλογή του εξοπλισμού δόθηκε μεγάλη προσοχή στην μεγάλη ακρίβεια μέτρησης της θερμοκρασίας στην περίοδο της μελέτης. Οι αισθητήρες, οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από λευκόχρυσο (Pt₁₀₀), βαθμονομήθηκαν πολύ προσεκτικά κι ένας ένας ξεχωριστά από το Ομοσπονδιακό Γραφείο Βαθμονόμησης. Το αποτέλεσμα στην ακρίβεια των μετρήσεων που έγιναν στην ύπαιθρο, για όλη την περίοδο της έρευνας, ήταν καλύτερο από $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Οι μετρήσεις έδειξαν μία γενική ψύξη γύρω στους $0,8^{\circ}\text{C}$ κατά μήκος ολόκληρου του συστήματος BHE, σε μήκος 105m, μετά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας. Η αύξηση του ελλείμματος της θερμοκρασίας επιβραδύνεται ασύμπτωτα τα επόμενα χρόνια έως ότου επιτευχθεί ένα νέο ισοζύγιο. Η επίδραση της ατμόσφαιρας είναι ορατή μέχρι το βάθος των 15m, κάτω από αυτό κυριαρχεί η ροή θερμότητας από το εσωτερικό της Γης. Τα συστήματα BHE παρέχουν μέγιστη θερμική ενέργεια περίπου 45W ανά m μήκους.

Το Φθινόπωρο του 1996 (ύστερα από 10 χρόνια λειτουργίας) ξανάρχισε το σύστημα μέτρησης. Εξαιτίας της εξαναγκασμένης παλαίωσης των Pt₁₀₀ αισθητήρων διατηρήθηκε η υψηλή ποιότητα της θερμοκρασιακής μέτρησης και η επαναληψιμότητα των μετρήσεων είναι καλύτερη από $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$. Το καινούριο θερμοκρασιακό προφίλ δεν δείχνει καμία σημαντική περαιτέρω

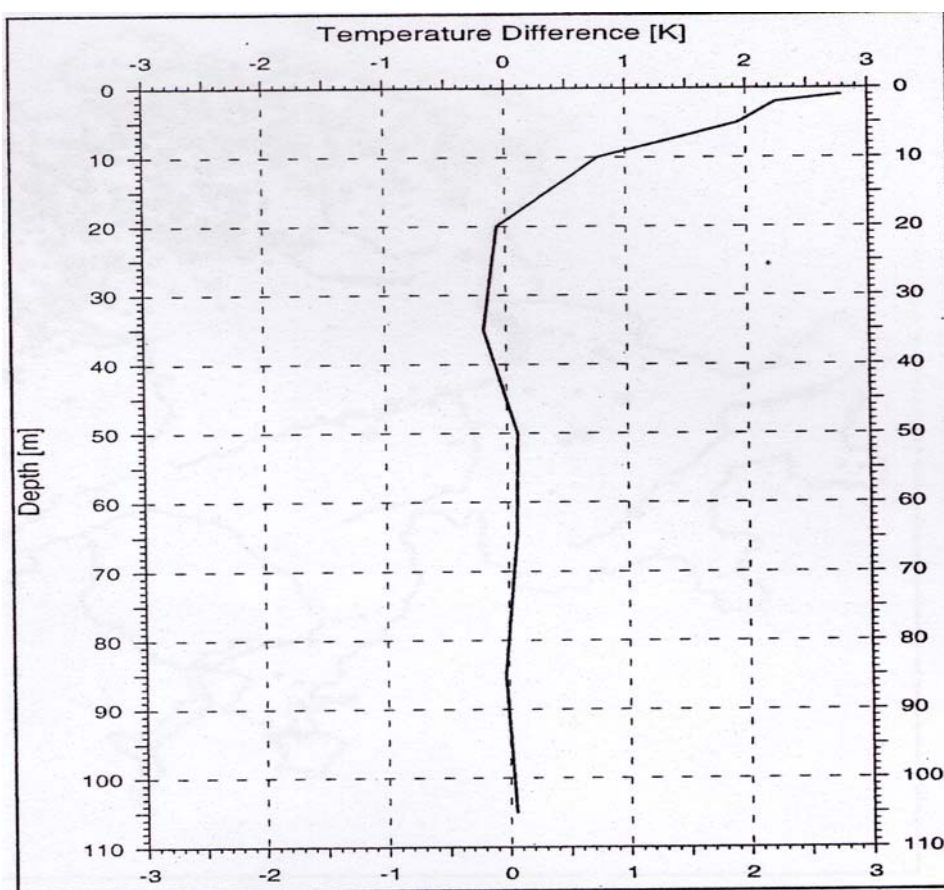
αλλαγή προς τις χαμηλότερες θερμοκρασίες αποδεικνύοντας έτσι ότι ένα ημισταθερό ισοζύγιο έχει επιτευχθεί μετά από τα λίγα πρώτα χρόνια. Οι μικρές διαφορές μεταξύ των προφίλ των μετέπειτα χρόνων ύστερα από τουλάχιστον 3 χρόνια λειτουργίας είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών ετήσιων θερμικών αναγκών, οι οποίες ανάγκες δίνονται από τις αναλλοίωτες συνήθειες ζωής των ιδιοκτητών, είναι προϊόν της εξωτερικής θερμοκρασίας. Για ένα σωστά σχεδιασμένο ΒΗΕ σύστημα με απουσία νερού και με γεωτρήσεις βάθους αυτής της τάξης, αυτό ανταποκρίνεται στις θεωρητικές προσδοκίες



Σχήμα.1. Προφίλ εδαφικών θερμοκρασιών σε απόσταση 1m από τη γεώτρηση ΒΗΕ στο Ellg. Η καμπύλη «Δεκέμβριος 1986» δείχνει το αδιατάρακτο προφίλ στην αρχή της πρώτης σεζόν λειτουργίας. Οι υπόλοιπες καμπύλες δείχνουν τις καταστάσεις μετά την χειμερινή θερμική εξαγωγή και την καλοκαιρινή ανάρρωση, λίγο πριν την αρχή της επόμενης χρονιάς θερμαντικής λειτουργίας.

Δεδομένα από παλαιότερες περιόδους μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν για βαθμονόμηση ενός διδιάστατου κυλινδρικού αριθμητικού μοντέλου για ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το μοντέλο επεξεργάζεται την επαγωγή στον εδαφικό σχηματισμό και μέσα στο σωλήνα της γεώτρησης, την κίνηση αέριων μαζών μέσα στο σύστημα ΒΗΕ, την επαγωγική ανταλλαγή θερμότητας στους σωλήνες του ΒΗΕ και την θερμική ανταλλαγή μεταξύ εδάφους και

ατμόσφαιρας. Οι θερμοκρασίες που μετρήθηκαν τα πρώτα 5 χρόνια ταυτίζονταν με απόκλιση ενός ή δύο δεκάτων του °C. Επίσης προβλέφθηκε η θερμοκρασία του εδάφους για αρκετά ακόμη χρόνια χρησιμοποιώντας υποθετικά προφίλ. Αυτές οι ηλεκτρονικές εξομοιώσεις σήμερα υπολογίζονται ξανά χρησιμοποιώντας ένα προσαρμοσμένο προφίλ βασισμένο στις ατμοσφαιρικές θερμοκρασίες που μετρήθηκαν (1991 – 1996) συγχρόνως σε κοντινό μετεωρολογικό σταθμό (Tanikon/TG). Επιπλέον το υπολογιστικό αυτό μοντέλο βελτιώθηκε έτσι ώστε να αξιοποιεί όλο το εύρος απόδοσης των σημερινών ηλεκτρονικών υπολογιστών, Η διαφορά μεταξύ μετρημένων εδαφικών θερμοκρασιών (1996) και αυτών που υπολογίσθηκαν από το μοντέλο εξομοίωσης φαίνεται στο Σχήμα.2. Η διαφορά είναι αμελητέα, εκτός από τα πρώτα 20m που επηρεάζονται από ατμοσφαιρικές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, και είναι μέσα στο σφάλμα μέτρησης.



Σχήμα.2. Διαφορά μεταξύ μετρημένων και θεωρητικών εδαφικών θερμοκρασιών μετά από 10 χρόνια λειτουργίας.

Η μοναδική βάση δεδομένων που καλύπτει χρονικά αρκετά χρόνια, καθώς και το αριθμητικό μοντέλο που βασίστηκε πάνω σε αυτήν, αποδεικνύει ότι μπορεί να επιτευχθεί συνεχής εξαγωγή θερμότητας. Η αξιόπιστη μακροχρόνια

απόδοση εξασφαλίζει μια συμπαγής βάση χωρίς προβλήματα εφαρμογή. Οι σωστά μελετημένες διαστάσεις του συστήματος BHE δίνουν την ευκαιρία για ευρεία χρήση και καλύτερο αποτέλεσμα.

5. ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ BHE ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ

Έως σήμερα πάνω από 16.000 συστήματα BHE έχουν εγκατασταθεί στην Ελβετία, με συνολικό μήκος γεωτρήσεων 3.000Km. Αν και το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος BHE είναι περίπου 30% υψηλότερο από ένα συμβατικό σύστημα καύσης πετρελαίου, υπάρχουν αρκετά κίνητρα για τους ιδιοκτήτες κατοικιών και εργολαβικών εταιριών να προτιμήσουν τα συστήματα BHE.

- Τα συστήματα BHE παρέχουν θέρμανση χωρίς την εκπομπή CO₂.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης των υπογείων υδάτων όπως συμβαίνει με τις δεξαμενές πετρελαίου.
- Υπάρχει κρατική επιδότηση για τις αντλίες θερμότητας.

Υπέρ των συστημάτων BHE δεν είναι μόνο οι ιδιοκτήτες με περιβαλλοντικές ανησυχίες, αλλά υπάρχει και καθαρά οικονομικό κίνητρο.

- Πρόσφατες κοινοβουλευτικές συζητήσεις δείχνουν ότι υπάρχει πιθανότητα εφαρμογής φόρου εκπομπής CO₂.
- Η κυβέρνηση επιχορηγεί με περίπου 1.500 δολάρια Η.Π.Α. την αντικατάσταση του παλιού boiler με σύστημα BHE/HP.
- Αν και η εξάρτηση σε μελλοντικά ορυκτά καύσιμα κοστίζει, η απόδοση της επένδυσης γίνεται αντιληπτή μέσα σε 6 – 10 χρόνια

Αυτοί οι παράγοντες οδήγησαν στην ευρεία διάδοση των συστημάτων BHE στην Ελβετία. Οι αριθμοί αυτών των συστημάτων αυξάνονται κάθε χρόνο κατά περίπου 1.400 μονάδες. Πολλές εμπορικές εταιρίες προσφέρουν την εγκατάσταση έτοιμων συστημάτων (key – ready system installation).

6. Η ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΕΛΒΕΤΙΑΣ ΣΤΟΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΠΙΝΑΚΑ ΑΜΕΣΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ

Στο Σχήμα.3 φαίνεται η περιοχική κατανομή των εγκαταστάσεων BHE που έγινε από μία μόνο εταιρία (Grundtag, Gossau/SG: 7.900 συστήματα με συνολικό μήκος 695Km , κατάσταση στα μέσα του 1997). Η μεγάλη εξάπλωση αυτών των συστημάτων εξασφαλίζει στην Ελβετία μία

προνομιούχο θέση. Η περιοχική πυκνότητα συστημάτων ΒΗΕ στην Ελβετία είναι η υψηλότερη παγκοσμίως (1 ΒΗΕ εγκατάσταση κάθε 3Κm²). Το ουσιαστικό αυτό μερίδιο συμμετοχής των ΒΗΕ συστημάτων στη συνολική γεωθερμική χρήση της Ελβετίας, είναι υπεύθυνο για την κατάκτηση της πέμπτης θέσης . Αυτό αποδεικνύεται με τα παρακάτω:

Από όλες τις χώρες η Κίνα, με 2,1GWt, έχει τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ και ακολουθούν οι Η.Π.Α. με 1,8GWt. (Fridleifsson 1997).Αυτά είναι πραγματικά εντυπωσιακά νούμερα αλλά η Κίνα και οι Η.Π.Α. είναι τεράστιες χώρες. Οπότε πρέπει να γίνει μια εξομάλυνση λαμβάνοντας το μέγεθος της χώρας.

Μια κατάλληλη μέθοδος εξομάλυνσης είναι να σχετίσουμε ένταση των άμεσων χρήσεων γεωθερμικής ενέργειας με τον πληθυσμό της χώρας, δηλαδή να υπολογίσουμε την χρήση κατά κεφαλή. Γι' αυτό το σκοπό μπορεί να υπολογιστεί η παραγωγή ξεχωριστών χωρών σε GWh ανά χρόνο. Μια καλύτερη ματιά της διαθέσιμης βάσης πληροφοριών (πίνακες με την εγκατεστημένη ισχύ σε (MWt) και ετήσιας παραγωγής από Fridleifsson 1996,1997) αποκαλύπτει ωστόσο ότι μόνο η ισχύς μπορεί να θεωρείται ως αξιόπιστη, έτσι με την εξομάλυνση που έγινε στη βάση δεδομένων της εγκατεστημένης ισχύος και τον πληθυσμό της χώρας, υπολογίστηκε η εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς για άμεση χρήση κατά κεφαλή, τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 2.

Θέση	Χώρα	Εγκατεστημένη Ισχύς (MWt)*	Πληθυσμός (million)	Ισχύς κατά κεφαλή (Wt)
1.	Ισλανδία	1.443	0,27	5.344
2.	N. Ζηλανδία	264	3,5	75,4
3.	Ουγγαρία	638	10,1	63,1
4.	Βαρντάσκα – Σκόπια	70	2,1	33,3
5.	Ελβετία	215**	7	30,7
6.	Σλοβακία	100	5,3	18,9
7.	Γαλλία	456	57,7	7,9
8.	Η.Π.Α.	1.874	260	7,2

Πίνακας.2. Παγκόσμιος πίνακας άμεσων γεωθερμικών χρήσεων. *)από Fridleifsson

**)τελευταία Ελβετικά δεδομένα

Η Ισλανδία με πάνω από 5 kWt κατά κεφαλή είναι η παγκόσμια πρωταθλήτρια, πολύ μπροστά από όλες τις άλλες χώρες, όχι μόνο εξαιτίας του διάσημου “hitaveita” (Framannson 1991). Η Ν. Ζηλανδία είναι δεύτερη με τους άφθονους πόρους της και με τον σχετικά μικρό πληθυσμό της. Η Ουγγαρία με τις γνωστές αγροτικές χρήσεις, όπως τα θερμοκήπια κατέχει την Τρίτη θέση. Τα Σκόπια (μικρός πληθυσμός και κυρίως αγροτικές χρήσεις) είναι στην τέταρτη θέση. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο ότι δεν είναι όλη η εγκατεστημένη ισχύς σε χρήση στα Σκόπια εξαιτίας οικονομικών δυσκολιών (Porovsky 1997). Η Ελβετία βρίσκεται τη Πέμπτη θέση εξαιτίας των αναρίθμητων και δημοφιλών ΒΗΕ εγκαταστάσεων.

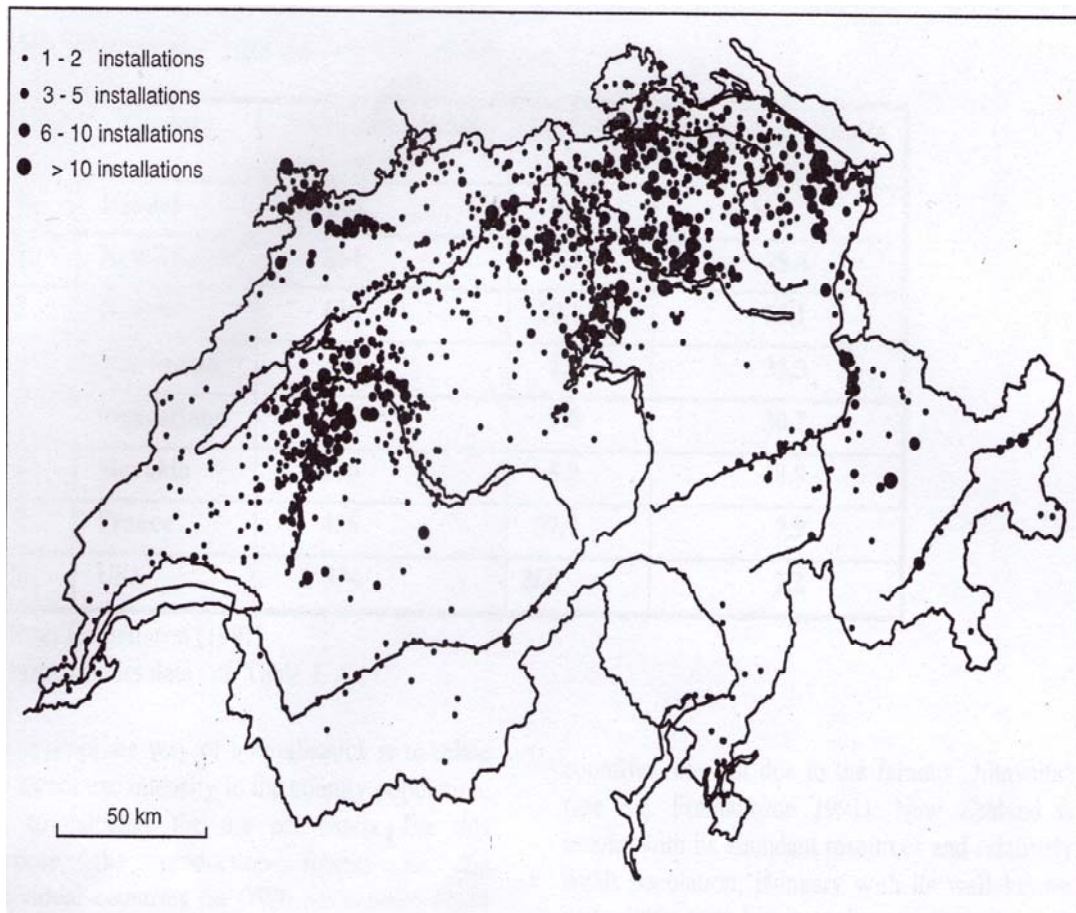
Αναμένεται ότι αυτή η προοδευτική χρήση των ρηχών γεωθερμικών πόρων, ευρέως διαδεδομένων στον πλανήτη μας, θα αυξήσει τα νούμερα του Πίνακα 1 στα επόμενα χρόνια καθώς επίσης μπορεί να αλλάξει τη σειρά των θέσεων στον Πίνακα 2.

7. ΝΕΑ ΣΥΝΟΡΑ – ΝΕΕΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΕΣ.

Η χρήση των ρηχών γεωθερμικών πόρων γενικά και η εξαγωγή θερμότητας μέσω συστημάτων ΒΗΕ συγκεκριμένα είναι ένας περίβλεπτος στόχος με ευρείες προοπτικές. Αυτό το ταχέως αυξανόμενο πεδίο έρευνας και αξιοποίησης στην Ελβετία μπορεί να συνοψιστεί αναφέροντας ορισμένα κύρια θέματα.

- Πολλαπλά ΒΗΕ συστήματα. Υπάρχει μία τάση αύξησης του μεγέθους των γεωθερμικών εγκαταστάσεων χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό ΒΗΕ γεωτρήσεων. Εδώ, εκτεταμένες μελέτες διεξάγονται στο να προσδιοριστούν τα βέλτιστα βάθη και κενά μεταξύ των γεωτρήσεων. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το πεδίο ΒΗΕ με 40 γεωτρήσεις βάθους 150m στο σπά Scuol/GR.
- Εξαγωγή θερμότητας συνδυαζόμενη με αποθήκευση. Πολλαπλά ΒΗΕ συστήματα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να έχουμε πρόσβαση σε ένα αποθηκευτικό όγκο για εποχιακή αποθήκευση της αποβληθείσας θερμότητας από μεγάλα κτίρια ή με ηλιακή ενέργεια (ηλιακούς συλλέκτες, επίπεδες οροφές κτιρίων, επιφάνειες δρόμων και χώρων στάθμευσης). Υπό αυτή την άποψη, μια καλή διαχείριση του υπεδάφιου αποθέματος λαμβάνοντας υπό όψη τοπικούς παράγοντες, είναι σημαντική. Ο αποθηκευτικός αυτός όγκος είναι πάνω από 100.000 m³ και μπορεί να εγκατασταθεί ακριβώς κάτω από τα κτιριακά συγκροτήματα. Η χρήση του για θέρμανση το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι είναι εφικτή. Διάφορες τέτοιες εγκαταστάσεις δουλεύουν ικανοποιητικά όπως το εργοστάσιο κοσμημάτων Meister στο Wollerau/SZ με 32 γεωτρήσεις ΒΗΕ 135m βάθους, το αντιπαγωγτικό σύστημα οδικής

γέφυρας στο Darligen/BE με 91 γεωτρήσεις BHE βάθους 65 m, χσρίς αντλία θερμότητας.



Σχήμα.3. Θέσεις συστημάτων BHE στην Ελβετία, εγκατεστημένα από μία μόνο εταιρία (GRUNDAG AG, Gossau/SG).

- Ενεργειακά αγκύρια θεμελίωσης. Αγκύρια μήκους άνω των 10m συχνά τοποθετούνται μέσα σε προβληματικό έδαφος για να αυξηθεί η σταθερότητα και να γίνει σωστή θεμελίωση. Η ιδέα είναι να εξοπλιστούν αυτά τα αγκύρια με θερμικούς εναλλάκτες. Σε αυτό το περιβάλλον, η επιρροή ισχύος φόρτισης, την μείωση της θερμοκρασίας γύρω από τα αγκύρια και το φαινόμενο της κυκλικής θερμικής εξαγωγής μέσα στα χρόνια πρέπει να υπολογιστούν προσεκτικά. Δύο εγκαταστάσεις στο Kreuzlingen/TG (συνολικό μήκος αγκυρίων 1.023m) και στο Finkerweg (4.200m) μπορούν να αναφερθούν αν παραδείγματα.

Μεγάλα αεροδρόμια συχνά χρειάζονται να χρησιμοποιούν αγκύρια για την ηχητική θεμελίωση των αεροδιαδρόμων. Μέσω των ενεργειακών αγκυρίων η εξαγόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για

αντιπαγετική προστασία των αεροδιαδρόμων και των χώρων στάθμευσης των αεροσκαφών (έτσι παύει να γίνεται αναγκαία η χρήση αλατιού ή τοξικών ουσιών), καθώς και για θέρμανση κτιρίων του αεροδρομίου το χειμώνα (ή ψύξη το καλοκαίρι). Μια ακριβώς έτσι συνδυασμένη χρήση προβλέπεται για την επέκταση του αεροδρομίου Zurich – Kloten (σχέδιο “Midfield”). Βασιζόμενοι σε αυτού του τύπου ελβετική εμπειρία, παρόμοια τέτοια έργα σχεδιάζονται όπως η επέκταση του αεροδιαδρόμου στο Vienna Airport Schwechat, Austria.

- Υπάρχουν επίσης και νέες λύσεις στον οικονομικό τομέα όπως το “energy contracting”, που είναι διαθέσιμο για τις εγκαταστάσεις ΒΗΕ συστημάτων. Αυτό σημαίνει ότι ο εργολάβος εγκαθιστά το σύστημα με δικά του έξοδα και το πουλάει (σε μια συμφωνημένη τιμή Xcents / kWh) στους πελάτες.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΑΠΟΨΕΙΣ

Τα συστήματα ΒΗΕ αντιπροσωπεύουν έναν εφικτό τρόπο εκμετάλλευσης των ευρέων διαδεδομένων ρηχών γεωθερμικών πηγών. Τέτοια συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν αξιόπιστα για μεγάλο χρονικό διάστημα, όπως αποδείχθηκε από πειραματικές και θεωρητικές έρευνες, για τις οποίες υπάρχει διαθέσιμη μια μοναδική βάση δεδομένων.

Τα συστήματα ΒΗΕ είναι εμπορικά αντικείμενα στην Ελβετία και η ευρεία εγκατάστασή τους εξασφαλίζει την υψηλότερη περιοχική συχνότητα και την Πέμπτη θέση στο παγκόσμιο πίνακα άμεσων χρήσεων γεωθερμικής ενέργειας. Πέραν του περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος υπάρχει και οικονομικό κίνητρο για την προτίμηση συστημάτων ΒΗΕ μαζί με αντλία θερμότητας.

Με γύρω στις 1.400 νέες εγκαταστάσεις ΒΗΕ συστημάτων το χρόνο, η Ελβετία θα κρατήσει την προνομιούχα αυτή θέση στον παγκόσμιο πίνακα της εκμετάλλευσης αβαθών γεωθερμικών πηγών.

ΜΕΡΟΣ Γ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

1 ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

- 1 λίτρο πετρελαίου αποδίδει 10.835 θερμίδες ή 10,6 θερμικές kWh
- 1 λίτρο πετρελαίου κοστίζει (2006) 0,65€
- Με απόδοση λέβητα ίση με 80% το κόστος ανέρχεται στα 0,81€
- Συνεπώς για 10,6 θερμικές kWh ο πελάτης πληρώνει ~ 0,8€

1.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΑΘ

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

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

1.2 ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ

- Βαθμός Απόδοσης συμβατικού ψύκτη = 1,7
- Δηλαδή για παραγωγή 1,7 ψυκτικών kWh, ο ψύκτης καταναλώνει 1 ηλεκτρική kWh
- Άρα για 100 kWh ψύξης, καταναλώνει 59 ηλεκτρικές kWh
- Με το οικιακό τιμολόγιο της Δ.Ε.Η. πληρώνει 0,11€/kWh
- Συνεπώς για 100 ψυκτικές kWh ο πελάτης πληρώνει ~ 6,5€

1.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΓΑΘ

- Βαθμός Απόδοσης (COP) = 3
- Δηλαδή για παραγωγή 3 ψυκτικών kWh, η ΓΑΘ καταναλώνει 33 ηλεκτρικές kWh
- Με το οικιακό τιμολόγιο της Δ.Ε.Η. πληρώνει 0,11€/kWh
- Συνεπώς για 100 ψυκτικές kWh ο πελάτης πληρώνει ~ 3,7€

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

1.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΓΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑ 130m²

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

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

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

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

Αν θέλαμε να παράξουμε αυτές τις 14.000 ψυκτικές kWh με συμβατικό aircondition που έχει απόδοση 1,7, θα έπρεπε να καταναλώσουμε περίπου 8.250 ηλεκτρικές kWh.

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

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

Ένας ηλεκτρικός θερμοσίφωνας των 150 λίτρων έχει ηλεκτρική αντίσταση 4kW. Αν η λειτουργία του το χειμώνα είναι για 150 ημέρες, 3 ώρες την ημέρα, τότε η κατανάλωση του είναι 1800kWh. Με κόστος kWh = 0,11€ το συνολικό κόστος είναι περίπου 200€. Η ΓΑΘ με Βαθμό Απόδοσης (COP) = 4, θα χρειαστεί μόνο το ¼ αυτών των χρημάτων, δηλαδή 50€.

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

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

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

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

Πλεονεκτήματα:

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

1.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ & ΚΟΣΤΟΥΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

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

α/α	Ποιότητα από άποψη μόνωσης	Συνολικός συντελεστής θερμικής διαπερατότητας “U”	Θερμικές ανάγκες
		W/m ² K	kW
0	Άριστη Μόνωση	U < 0,4	Q < 4,0
1	Πολύ Καλή Μόνωση	0,6	7,0
2	Μέσης Ποιότητας Μόνωση	1,0	10,5
3	Κακής Ποιότητας Μόνωση	1,4	14,5

Ανάλυση θερμικών κτιρίων (Βραχόπουλος Μ., 2003)

Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης συμβατικής κεντρικής θέρμανσης, όταν χρησιμοποιούνται αξιόπιστες συσκευές ανέρχεται για την πρώτη περίπτωση στο ποσό των 4.600€.

Η ανάλυση του παραπάνω ποσού έχει όπως παρακάτω:

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

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

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

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

2. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών χώρων (θερμαντικά στοιχεία ανεμιστήρα (fan coils), σωληνώσεις, διανεμητές νερού και θερμοστάτες χώρου) περίπου 2.600€.
3. Κατασκευή γεωθερμικού συστήματος άντλησης θερμότητας, περίπου 5.300€.
4. Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, συστήματα αυτοματισμών περίπου 300€.

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

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

1. Η κεντρική θέρμανση απαιτεί μεγάλο χώρο για εγκατάσταση των συσκευών παραγωγής ζεστού νερού, αποθήκευσης καυσίμων, διαφυγής καυσαερίων κτλ.
2. Η κεντρική θέρμανση παρουσιάζει συχνά ακαθαρσίες κατά τη λειτουργία και μονίμως κίνδυνο με την ύπαρξη φλόγας στο υπόγειο (χώρο λεβητοστασίου).
3. Η κεντρική θέρμανση απαιτεί συχνά καθαρισμό και ρυθμίσεις ενώ για περιοχές που επικρατεί θερμοκρασία κάτω των 5°C, απαιτεί ειδική προθέρμανση στο πετρέλαιο ή παρουσιάζει συχνά μπουκώματα, λόγω στερεοποίησης της παραφίνης και του κεριού που περιέχεται στο πετρέλαιο θέρμανσης.
4. Τέλος το κόστος λειτουργίας μιας εγκατάστασης θέρμανσης για περιοχές χαμηλών θερμοκρασιών, η Βόρεια Ελλάδα παρουσιάζει απαιτήσεις χρήσης επί 6 μήνες για 20 ώρες την ημέρα, που στην περίπτωση της καλής μόνωσης απαιτείται ενέργεια της τάξης των 25.000 kWh/έτος. Για τη μέση περιοχή της χώρας (Αθηνών) η ετήσια κατανάλωση ανέρχεται σε 18.000 kWh/έτος. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας σαν συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας για την πρώτη περίπτωση (Πίνακας «Ανάλυση θερμικών απαιτήσεων κτιρίων», Βραχόπουλος Μ., 2003).

Θερμοκρασία Ακραία περιβάλλοντος (συχνή)	Περίοδος	Χρόνος	Θερμική Ισχύς	Ενέργεια
οC	Μήνας	Ώρες	kW	kWh
Χειμώνας				
-5	6	17	7	30607
0	5	14	6	21006
5	4	12	5,5	14406
Καλοκαίρι				
30	3	7	7	6307
35	3,5	8	6	8406
40	4,5	10	5,5	13506
Σύνολο				36914
				29412
				27911

(Βραχόπουλος Μ., 2003)

Ο μέσος ετήσιος βαθμός εκμετάλλευσης της θερμικής ενέργειας που περιέχεται στο καύσιμο (πετρέλαιο), σε εγκαταστάσεις κεντρικών θερμάνσεων ανέρχεται στο 75% (όταν η εγκατάσταση λειτουργεί πάρα πολύ καλά), οι ενεργειακές απαιτήσεις (αγορά πετρελαίου) ανέρχεται σε 34.000 kWh ή 2.900 kg πετρέλαιο, που αντιστοιχεί σε κόστος περίπου 750€ ετησίως.

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

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

Για τη θερινή περίοδο η εγκατάσταση κλιματισμού με αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας αποδίδει την απαιτούμενη ψυκτική ενέργεια με απόδοση της τάξης του τετραπλάσιου και καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια 1.800 kWh.

Σε αντίθεση η χρήση συσκευών διμερούς τύπου για την κάλυψη των αντίστοιχων αναγκών απαιτεί κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ύψους 3.600 kWh. Το επιπλέον ετήσιο κόστος λειτουργίας ανέρχεται σε 150€. Επίσης το κόστος των συσκευών διμερούς τύπου για την κάλυψη των αναγκών του δροσισμού ανέρχεται σε 2.350€

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

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

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

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

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

α/α	Εγκατάσταση	Κόστος	Καταλαμβανόμενος χώρος
		€	m ²
1	Κεντρική Θέρμανση	4.600	10, Υπόγειο
2	Κεντρική Θέρμανση και Διμερούς κλιματιστικά	6.950	10, Υπόγειο & εξωτ.-εσωτ στοιχεία
3	Κεντρικός Κλιματισμός (κοινό)	9.00	8, Ταράτσα
4	Γεωθερμική εγκατάσταση με κάθετο εδαφ. εναλλάκτη	13.200	4,5 , Υπόγειο
5	Γεωθερμική εγκατάσταση με οριζόντιο εναλλάκτη	9.500	4,5 , Υπόγειο
6	Γεωθερμική εγκατάσταση με εναλλάκτη Θαλάσσης	8.900	4,5 , Υπόγειο
7	Γεωθερμική εγκατάσταση με εναλλάκτη λίμνης	8.500	4,5 , Υπόγειο

(Βραχόπουλος Μ., 2003)

α/α	Εγκατάσταση	Απόσβεση
		Έτη
1	Κεντρική Θέρμανση	Μη συγκρίσιμο
2	Κεντρική Θέρμανση και Διμερούς κλιματιστικά	14
3	Κεντρικός Κλιματισμός (κοινό)	6
4	Γεωθερμική εγκατάσταση με κάθετο εδαφ. εναλλάκτη	-

5	Γεωθερμική εγκατάσταση με οριζόντιο εναλλάκτη	Οικονομικότερη
6	Γεωθερμική εγκατάσταση με εναλλάκτη Θαλάσσης	Οικονομικότερη
7	Γεωθερμική εγκατάσταση με εναλλάκτη λίμνης	Οικονομικότερη

(Βραχόπουλος Μ., 2003)

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

1.5 ΣΤΟΧΕΥΣΗ ΣΕ ΕΡΓΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

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

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

Παρακάτω αναλύονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόσβεση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας.

1.5.1 ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

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

Περίοδος θέρμανσης:

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

Περίοδος ψύξης:

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

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

1.5.2 ΨΥΞΗ – ΘΕΡΜΑΝΣΗ

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

1.6 ΑΝΟΙΚΤΟ – ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

ΑΠΟΣΒΕΣΗ

ΜΕΓΕΘΟΣ	100 kW		150 kW		200 kW	
	ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗ					
	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΟΧΙ
ΚΛΕΙΣΤΟ	4,7	12,7	3,9	10,5	4,4	11,6
ΑΝΟΙΚΤΟ	2,9	9,6	1,0	5,8	0,8	5,5
ΔΙΑΦΟΡΑ	38%	24%	74%	45%	82%	53%

1.6.1 ΤΙΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

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

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

1.6.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ Δ.Ε.Η.

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

Το τιμολόγιο της Δ.Ε.Η που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους ενός συμβατικού συστήματος ψύξης είναι το Τιμολόγιο Γενικής Χρήσης υπό χαμηλή τάση με τιμή χρέωσης της ενέργειας 0,11655€/kW.

Αν υπήρχε διαθέσιμη μέση τάση και χρησιμοποιούμε το Τιμολόγιο Γενικής Χρήσης υπό μέση τάση (0,048235€/kW), τότε για τον ίδιο εξοπλισμό και τον ίδιο χρόνο λειτουργίας το ετήσιο λειτουργικό όφελος αυξάνεται κατά 50%.

1.7 ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

1.7.1 ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

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

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

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

1.7.2 ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

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

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

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

1.7.3 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ

Αναφέρεται ενδεικτικά το κόστος του έργου με εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ισχύος 100 – 300kW:

Τύπος Γ/Ε	Κόστος Έργου / kWh
Κλειστό Σύστημα – Οριζόντιο	650€ / kWh
Κλειστό Σύστημα – Κατακόρυφο	1030€ / kWh
Ανοικτό Σύστημα	870€ / kWh

(Πηγή ΤΕΜΑ Ενεργειακή Α.Ε.)

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

Τύπος Γ/Ε	% Κόστος έργου
Κλειστό Σύστημα – Οριζόντιο	40%
Κλειστό Σύστημα – Κάθετο	50%
Ανοικτό Σύστημα	51%

(Πηγή ΤΕΜΑ Ενεργειακή Α.Ε.)

Ενδεικτικά πάντα αναφέρεται ότι το κόστος έργου (παρόμοιου τύπου με το δημαρχείο της Πυλαίας), με γεωθερμική αντλία θερμότητας ισχύος 150 kW και κατακόρυφο γεωεναλλάκτη, ανέρχεται σε 160.000€.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑ
ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ 150 kW – ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ	
ΑΝΑΓΚΗ kW	150
ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	2 x Standard OWWP96
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ
ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	8 x 100 m
ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ	Πετρέλαιο Θέρμανσης

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	
Κόστος Αντλίας Θερμότητας	50.000€
Κόστος Γεωτρήσεων	48.000€
Αντλητικό Συγκρότημα	3.500€
Κόστος Σωληνώσεων	4.471€
Κόστος Μικροϋλικών & Αναλωσίμων	1.500€
Εργασία Υδραυλικού	2.400€
Απρόβλεπτα	16.481€
Μικτό Περιθώριο	37.906€
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP	164.257€

ΓΙΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού Συστήματος	60.000€	60.000€
Επιδότηση Συμβατικού Συστήματος	0%	0%

Τελικό Κόστος Συμβατικού Συστήματος	60.000€	60.000€
Κόστος Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	164.257€	164.257€
Επιδότηση Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	98.554€	164.257€
Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος Συμβατικού Συστήματος	20.185€	20.185€
Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος GSHP	10.246€	10.246€
Ετήσιο Λειτουργικό Όφελος	9.939€	9.939€
Διαφορά Κόστους Συμβατικού & GSHP	38.554€	104.257€
Απόσβεση (έτη)	3,9	10,5

ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού Συστήματος	60.000€	60.000€
Επιδότηση Συμβατικού Συστήματος	0%	0%
Τελικό Κόστος Συμβατικού Συστήματος	60.000€	60.000€
Κόστος Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	164.257€	164.257€
Επιδότηση Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	98.554€	164.257€
Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος Συμβατικού Συστήματος	33.642€	33.642€
Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος GSHP	17.077€	17.077€
Ετήσιο Λειτουργικό Όφελος	16.565€	16.565€

Διαφορά Κόστους Συμβατικού & GSHP	38.554€	104.257€
Απόσβεση (έτη)	2,3	6,3

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τον τιμοκατάλογο της OCHSNER.
- Το κόστος των γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 40€/m.
- Το συνολικό κόστος του αντλητικού συγκροτήματος για κλειστό σύστημα είναι 1750€.
- Το κόστος των σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 0,7452€/m.
- Το κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας.
- Η εργασία του υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων.
- Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου.
- Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA.
- Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58€/lt.
- Θεωρήθηκαν τιμολόγια Δ.Ε.Η. χαμηλής τάσης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ 150 kW – ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ	
ΑΝΑΓΚΗ kW	150
ΑΡΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	2 x Standard OWWP96
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	2 x 100 m
ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ	Πετρέλαιο Θέρμανσης

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	
Κόστος Αντλίας Θερμότητας	50.000€
Κόστος Γεωτρήσεων	18.000€
Αντλητικό Συγκρότημα	4.000€
Κόστος Σωληνώσεων	4.000€
Κόστος Μικροϋλικών & Αναλωσίμων	1.500€
Εργασία Υδραυλικού	900€
Απρόβλεπτα	11.760€
Μικτό Περιθώριο	27.048€
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP	117.208€

ΓΙΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού Συστήματος	60.000€	60.000€
Επιδότηση Συμβατικού Συστήματος	0%	0%
Τελικό Κόστος Συμβατικού Συστήματος	60.000€	60.000€
Κόστος Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	117.208€	117.208€
Επιδότηση Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	70.325€	117.208€
Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος Συμβατικού Συστήματος	20.185€	20.185€

Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος GSHP	10.246€	10.246€
Ετήσιο Λειτουργικό Όφελος	9.939€	9.939€
Διαφορά Κόστους Συμβατικού & GSHP	10.325€	57.208€
Απόσβεση (έτη)	1,0	5,8

ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ		
Κόστος Συμβατικού Συστήματος	60.000€	60.000€
Επιδότηση Συμβατικού Συστήματος	0%	0%
Τελικό Κόστος Συμβατικού Συστήματος	60.000€	60.000€
Κόστος Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	117.208€	117.208€
Επιδότηση Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	40%	0%
Τελικό Κόστος Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας	70.325€	117.208€
Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος Συμβατικού Συστήματος	33.642€	33.642€
Ετήσιο Λειτουργικό Κόστος GSHP	17.077€	17.077€
Ετήσιο Λειτουργικό Όφελος	16.565€	16.565€
Διαφορά Κόστους Συμβατικού & GSHP	10.325€	57,208€
Απόσβεση (έτη)	0,6	3,5

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Το κόστος αντλίας θερμότητας είναι σύμφωνα με τον τιμοκατάλογο της OCHSNER.
- Το κόστος γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 90€/m.

- Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για ανοικτό σύστημα είναι:

Υποβρύχια αντλία	1.200€
Κεφαλή	500€
Διαφορά	500€

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

ΜΕΡΟΣ Δ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας, ενώ είχε πολύ εντυπωσιακά ερευνητικά αποτελέσματα, δεν είχε αξιόλογη ανάπτυξη των εφαρμογών κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας διαφόρων προβλημάτων (έλλειψη εμπειρίας, αδικαιολόγητων καθυστερήσεων, λαθών κλπ. Και προπαντός εξαιτίας της παραπληροφόρησης των κατοίκων της Μήλου που τελικά αντέδρασαν για «περιβαλλοντικούς λόγους» στην ανάπτυξη μιας ήπιας μορφής ενέργειας όπως είναι η γεωθερμική).

Στη χαμηλή ενθαλπία, αντίθετα υπήρξε σημαντική πρόοδος στην αύξηση του γεωθερμικού δυναμικού (παρόλο που δεν είναι δυνατόν αυτό να εκτιμηθεί επακριβώς εξαιτίας της έλλειψης πολλών κατάλληλων γι' αυτό γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου) και στην εφαρμογή εκμεταλλεύσεων. Το Ι.Γ.Μ.Ε. έχει προχωρήσει σε συστηματική έρευνα των ελπιδοφόρων περιοχών, όπως Δέλτα Νέστου, Λιθότοπου Ηράκλειας, Σιδηροκάστρου, Μυγδονίας και Ανθεμούντα Θεσσαλονίκης, Αλμωπίας, Νοτίου Θεσσαλίας, Σπερχειού, Ληλαντίου Πεδίου, Ανδραβίδας, ενώ σε μερικές άλλες περιοχές η έρευνα βρίσκεται στην παλιά κατάσταση. Η ανάπτυξη των εφαρμογών γεωθερμίας στα θερμοκήπια ήταν μάλλον ικανοποιητική και έγινε σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ξεπεράστηκαν ή ξεπερνιούνται τα αρχικά τεχνικά προβλήματα. Σε αυτό βοήθησαν και τα διάφορα τεχνικά ιδρύματα. Η σχεδόν απαγορευτική δυνατότητα παραχώρησης άδειας γεωθερμικής εκμετάλλευσης, σύμφωνα με το Ν. 1475/84, σε ιδιώτες στέρησε την δυνατότητα ταχύτερης ανάπτυξης των εφαρμογών.

Αντίθετα, υπάρχουν αξιόλογες προσπάθειες ανάπτυξης γεωθερμικών εφαρμογών χαμηλής ενθαλπίας, κυρίως σε θερμοκήπια, από Ω.Τ.Α και Συνεταιρισμούς που ενθαρρύνονται από το Ν. 1475/84 και το Ν. 1262/82. Στις πρωτοβουλίες όμως αυτές αντιμετωπίζονται καθυστερήσεις υλοποίησης από γραφειοκρατικούς λόγους και έλλειψη εμπειρίας, οργάνωσης και ικανότητας. Δε φτάνει η συμπαράσταση της Ε.Τ.Β.Α., Ι.Γ.Μ.Ε κλπ. Τέτοιες πρωτοβουλίες προχώρησαν, έστω και με καθυστερήσεις, στη Ν. Κεσσάνη Ξάνθης, Πολίχνιτο Λέσβου, Μήλο, Σιδηρόκαστρο, Νιγρίτα, Λαγκαδά. Υπήρξε ένα σοβαρό πρόβλημα διάθεσης κατάλληλων γεωτρήσεων για γεωτρήσεις έρευνας – παραγωγής σε ενδιάμεσο βάθος (50 – 600 m). Η Δ.Ε.Π ανέλαβε γεωτρήσεις βαθιές (800 – 2500 m) και κάλυψε αυτό το χώρο σε δύο περιπτώσεις. Τελευταία η ΓΕΜΕΕ προμηθεύτηκε κατάλληλο γεωτρήσιμο για βαθιές γεωτρήσεις και ήδη πραγματοποίησε γεώτρηση και ήδη χρησιμοποίησε γεώτρηση 1000 m στη Ν. Κεσσάνη.

Ακόμη, διαπιστώνεται με τον καιρό, ολοένα και περισσότερο πως οι ανάγκες για οικονομικότερη ψύξη και θέρμανση στο εσωτερικό των χωρών δίνουν ώθηση στην προώθηση έργων με χρήση αντλιών θερμότητας.

Τα συστήματα GHP είναι από τα μόλις πιο ανταγωνιστικά εναλλακτικά συστήματα για τους εξής λόγους:

- Απλός σχεδιασμός
- Ασφάλεια στη χρήση
- Αθόρυβο και διακριτικό

Οι μονάδες είναι εσωτερικά των σπιτιών, συνεπώς θεωρείται δεδομένη η προστασία τους από εξωτερικούς παράγοντες. Επίσης είναι δεδομένο πως χρειάζεται περιορισμένη συντήρηση, αλλάζοντας τα φίλτρα και εφαρμόζοντας ετήσιο καθαρισμό.

Με την παρουσία των GHP δεν επηρεάζεται η εξωτερική εμφάνιση των σπιτιών και δεν υφίσταται θόρυβος εξωτερικού συμπιεστή.

Αν λάβουμε υπόψη ότι το σύστημα παραδίδει τρεις ελεύθερες μονάδες ενέργειας για κάθε μονάδα ετήσιας απόδοσης, αυτό σημαίνει αυτόματα ότι το κόστος θέρμανσης μπορεί να μειωθεί περίπου 50% κατά τη διάρκεια του χειμώνα και το κόστος ψύξης περίπου 25% κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Το σύστημα GHP μπορεί να έχει μεγαλύτερο αρχικό κόστος από τα συμβατικά συστήματα, αλλά εξασφαλίζει χαμηλότερο κόστος χειρισμού.

Τέλος η κυκλοφορία των GHP έχει πολλαπλά οφέλη:

- Μείωση στους λογαριασμούς ενέργειας
- Μεγαλύτερη αποδοτικότητα
- Χαμηλότερη εθνική κατανάλωση ενέργειας
- Μείωση της μόλυνσης του αέρα

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Το γεωθερμικό δυναμικό της χώρας είναι σίγουρα πολύ μεγάλο και με πολύ καλές συνθήκες (βάθος, ποιότητα ρευστών, θερμοκρασία, παροχή γεωτρήσεων). Για παράδειγμα η Λέσβος μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα από τη μέση ενθαλπία (κύκλος RANKINE) και έχει τεράστιο δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας σε πολύ μικρά βάθη. Άλλα νησιά του Αιγαίου έχουν πιθανώς παρόμοιες συνθήκες με τη Λέσβο, αλλά η έρευνα βρίσκεται σε αρχική φάση (Χίος, Σάμος, Ικαρία, Κώς, Πάτμος, Σαμοθράκη, Λήμνος). Το ίδιο ισχύει και για μερικά κυκλαδίτικα νησιά, όπως η Σέριφος και η Κύθνος.

Όσον αφορά τη χαμηλή ενθαλπία θα πρέπει να υπάρξει ενημέρωση του καταναλωτικού κοινού για τις παροχές και τις ωφέλειές της, μια που στον

ελλαδικό χώρο συναντώνται αρκετά ευνοϊκές συνθήκες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας.

Η ενεργειακή αυτοδυναμία των νησιών που δεν έχουν άλλες ενεργειακές πρώτες ύλες κάνει πιο ελκυστική την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών όπως είναι η γεωθερμική. Στη βόρεια κυρίως Ελλάδα, οι ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες συνδυάζονται με αυξημένη ενεργειακή ζήτηση λόγω κλίματος και κατάλληλες αναπτυξιακές δομές. Στα γνωστά μέχρι στιγμής πεδία θα πρέπει να αναπτυχθούν προγράμματα γεωτρητικής έρευνας μεγάλης διαμέτρου για παραγωγή και μελέτη των συνθηκών των ταμιευτήρων. Χρειάζονται μέσα, κονδύλια και επιστημονική προσπάθεια.

Επίσης θα πρέπει να αναπτυχθούν περισσότερες και πολύπλευρες ενεργειακές εφαρμογές (κυρίως θέρμανσης, βιομηχανικές χρήσεις), εκτός από τα ανακαλυφθέντα πεδία επιβάλλεται να ερευνηθούν συστηματικά και νέες περιοχές, όπως οι Λεκάνες Αλμωπίας, Θεσσαλίας, Σπερχειού, περιοχές δυτικής Χαλκιδικής, Αλεξανδρούπολης, Σαππών, Άγγιστρου Σερρών, Αμυνταίου Φλώρινας, Δομοκού κλπ. Να αναπτυχθούν και νέες μέθοδοι έρευνας με μεγαλύτερη συμμετοχή και συνεργασία των γεωεπιστημόνων. Επίσης, χρειάζεται διεθνής συνεργασία και συνεχής ενημέρωση και μετεκπαιδεύσεις καθώς και συμπλήρωση των ειδικοτήτων που λείπουν. Στη γεωθερμία, που έχει ανάγκη της γεωλογικής επιστήμης σε πολλές ειδικότητες, η συμμετοχή όλο και περισσότερων γεωεπιστημόνων μπορεί να δώσει παραπέρα ικανοποιήσεις και να συνδράμει θετικά στην ενεργειακή οικονομία και ανάπτυξη και παράλληλα στην ποιότητα ζωής και το περιβάλλον.

ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ

Πρωώθηση των ΑΠΕ μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Ο πιο απλός και εύκολος τρόπος είναι η πληροφόρηση του κοινού (αλλά και των πολιτικών) για τις νέες τεχνολογίες και τα βραχυχρόνια ή μακροχρόνια οφέλη από τη διείσδυση των ΑΠΕ. Ένας άλλος, «παράλληλος» τρόπος, είναι η υποστήριξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων σε κάθε βαθμίδα εκπαίδευσης. Γενικά οι ΑΠΕ μπορούν να προωθηθούν με τα παρακάτω μέτρα.

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΟΧΩΝ

Οι διάφορες χώρες (ή πολιτείες, περιφέρειες, πόλεις) μπορούν να ενισχύσουν τη θέση των ΑΠΕ με τον καθορισμό συγκεκριμένων στόχων σε

σχέση με τη συμμετοχή του συνόλου των ΑΠΕ ή ορισμένων ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Όπως είναι γνωστό, η Ε.Ε. έθεσε ως στόχο τη συμμετοχή των ΑΠΕ σε ποσοστό 12% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης για το 2010. Επίσης, η κοινοπολιτεία της Καλιφόρνιας έχει καθορίσει πρόσφατα το στόχο να εγκατασταθούν ηλιακά συστήματα σε ένα εκατομμύριο σπίτια (Million Home Plans) μέχρι το 2017.

ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Η υποστήριξη αυτή θα πρέπει να είναι συστηματική, συνεχής και συνεπής και να μην εξαρτάται από τις αυξομειώσεις της τιμής του αργού πετρελαίου. Η υποστήριξη αυτή είναι διαφορετική από την κρατική επιχορήγηση πιλοτικών ή εμπορικών εφαρμογών των ΑΠΕ. Είναι αξιοσημείωτο ότι μερικές φορές μία, όχι ιδιαίτερα υψηλή, συστηματική ενίσχυση της έρευνας μπορεί να φέρει σημαντικά αποτελέσματα. Στη δεκαετία του '80 ενισχύθηκαν πολλές μικρές εταιρείες ανεμογεννητριών στη Δανία, ενώ το κρατικό εργαστήριο Riso παρείχε υπηρεσίες, ευκολίες δοκιμών και πιστοποίηση προϊόντων. Οι ενέργειες αυτές έθεσαν τη βάση για την ταχεία ανάπτυξη της δανέζικης βιομηχανίας παραγωγής ανεμογεννητριών, που σήμερα αποτελεί τη μεγαλύτερη στον κόσμο στον τομέα αυτό. Αντίστοιχο παράδειγμα αποτελεί η ανάπτυξη της βιομηχανίας ηλιακών θερμοσιφώνων στη χώρα μας.

ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

Ειδικές νομοθετικές ρυθμίσεις μπορούν να γίνουν (παράλληλα με τις αυστηρές προδιαγραφές για τη θερμομόνωση των κτιρίων) αναφορικά με την υποχρέωση εγκατάστασης ηλιακού συλλέκτη σε κάθε νέα κατοικία (π.χ. Ισραήλ), τη χωροθέτηση περιοχών για εγκατάσταση αιολικών πάρκων, την υποχρέωση παραγωγής μέρους της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (π.χ. Ηνωμένο Βασίλειο, Η.Π.Α.).

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

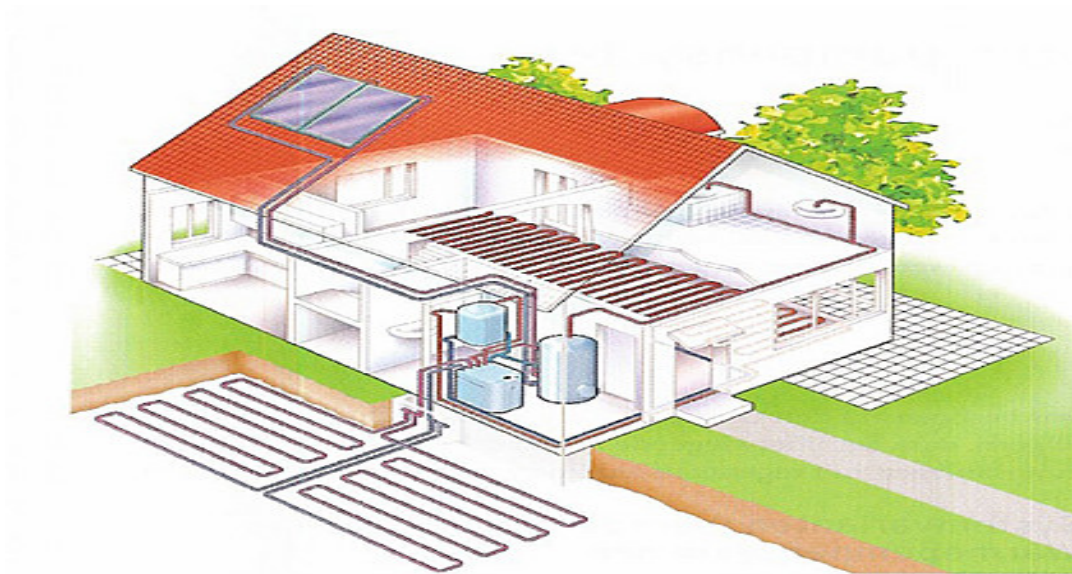
Τα περισσότερα κράτη βασίζονται στη θέσπιση οικονομικών κινήτρων για τη διείσδυση των ΑΠΕ και των τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας.

Μερικά από αυτά τα μέτρα είναι:

- Εγγυημένη ενίσχυση της παραγόμενης ενέργειας (κυρίως ηλεκτρικής) για το συγκεκριμένο (renewable feed – in tariff, REFIT). Η ενίσχυση αυτή

θα πρέπει να εξαρτάται από το επίπεδο ανάπτυξης της ανανεώσιμης τεχνολογίας και από το ύψος της αρχικής επένδυσης. Με αυτόν τον τρόπο η ενίσχυση, η ενίσχυση της φωτοβολταϊκής kWh είναι μεγαλύτερη από την αιολική kWh.

- Επιδότηση του πάγιου κόστους της ανανεώσιμης εφαρμογής. Σε ορισμένες χώρες σε αυτό το πρόγραμμα συμμετέχουν και οι εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μείωση της άμεσης ή έμμεσης φορολογίας των συστημάτων ΑΠΕ. Για παράδειγμα μείωση του Φ.Π.Α. των ηλιακών συλλεκτών και συσκευών ΑΠΕ και αφαίρεση της πάγιας επένδυσης από το φορολογητέο εισόδημα.
- Προσφορά δανείων με μηδενικό ή μικρό επιτόκιο για αγορά συστημάτων ΑΠΕ. Παράδειγμα η Ιαπωνία με τα δάνεια μηδενικού επιτοκίου για φωτοβολταϊκές στέγες.
- Αύξηση της τιμής της συμβατικής ενέργειας, ώστε να καλυφθεί μέρος του «εξωτερικού» κόστους και να γίνει περισσότερο ελκυστικό το κόστος της ανανεώσιμης ενέργειας.



Συνδυασμός συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.(Πηγή Greenpeace)

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

- Ένταξη της Γεωθερμίας και των Αντλιών Θερμότητας ξεχωριστά και διάφανα στα προγράμματα της ανταγωνιστικότητας των ΚΠΣ όπως χαρακτηρίζονται και στη «Λευκή Βίβλο» της Ε.Ε.

- Μείωση του φορολογητέου εισοδήματος ίση με το κόστος εγκατάστασης συστήματος γεωεναλλάκτη.
- Μείωση του Φ.Π.Α. από 19% σε (%) όπως έχει ζητηθεί για όλες τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.
- Επιδότηση γεωεναλλακτών αντίστοιχη με των άλλων χωρών της Ε.Ε. (Clear Skies U.K.)
- Αξιοποίηση της μείωσης των ρύπων σε όλα τα επίπεδα των εφαρμογής των γεωεναλλακτών (Δημόσια κτίρια, ιδιωτικές επιχειρήσεις, κατοικίες).
- Εφαρμογή ευνοϊκών τιμολογίων ηλεκτρισμού αντίστοιχων με των άλλων χωρών της Ε.Ε. (Γερμανία).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ❖ McQuiston C.F., Parker D.J., επιμέλεια Βραχόπουλος Μ., (2003), «Θέρμανση, αερισμός και κλιματισμός. Σχεδιασμός & Ανάλυση», Εκδόσεις Ιων, 1^η ελληνική έκδοση
- ❖ Ελληνική Τράπεζα Βιομηχανικής Αναπτύξεως, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση Ενέργειας (ΓΔ XVII), (Σεπτέμβριος 1995), Πρόγραμμα ALTENER, Έργο: πληροφόρηση και υποστήριξη επιχειρηματικών φορέων για την υλοποίηση παραγωγικών επενδύσεων με αξιοποίηση γεωθερμικής ενέργειας. «Ενημερωτικός οδηγός για τις δυνατότητες αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα».
- ❖ Καραμάνης Ε., (2005), «Χρήση της αβαθούς γεωθερμίας», Θεσσαλονίκη
- ❖ Παπαγεωργάκης Ι., (Οκτώβριος 1993), «Η πρώτη στην Ελλάδα κατοικία με γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης – ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού», Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- ❖ Rafferty K., (1997), “An information Survival kit for the prospective residential owner”, GeoHeat Center Bulletin, Oregon Institute of Technology, Oregon.
- ❖ Κυριακίδης Ν., Μιχόπουλος Α., Πάπτας Κ., (2002), «Πρώτος χρόνος λειτουργίας του γεωθερμικού εναλλάκτη Πυλαίας, Ενεργειακή αξιολόγηση» Τεχν. Χρον. Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, IV, Τεύχ. 1 – 2, Θεσσαλονίκη.
- ❖ Καγκέλη Ο., (1999), «Η χρήση των αντλιών θερμότητας για την αξιοποίηση της γεωθερμίας χαμηλών – μέσων θερμοκρασιών», Θεσσαλονίκη
- ❖ Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν., (2004), «Γεωθερμία», Α.Π.Θ, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- ❖ Τσεκούρα Α., Αρζόγλου Σ., (2002), «Γεωλογικά θέματα: διερεύνηση και μελέτη των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης με αντλίες θερμότητας στο νέο δημαρχείο Πυλαίας», Θεσσαλονίκη.
- ❖ Φυτίκας Μ., (1993), «Η έρευνα στη γεωθερμία και τα αποτελέσματα της τα τελευταία 40 χρόνια στον Ελλαδικό χώρο – μελλοντικές προοπτικές», 40 χρόνια εξέλιξη και προσφορά της Γεωλογίας, μελλοντικές προοπτικές, Διήμερο Συμπόσιο 22 – 23 Μαΐου Ειδ. Δημοσιεύσεις της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας Νο. 2.
- ❖ Φυτίκας Μ., (Οκτώβριος 2004), «Μέτρα προώθησης της γεωθερμικής ενέργειας», Θεσσαλονίκη.
- ❖ Μπουσκολίτης Χ., (2004), «Οδηγός επιβίωσης για τον μελλοντικό ιδιοκτήτη γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, Μετάφραση – σχολιασμός», Θεσσαλονίκη.
- ❖ Βραχόπουλος Μ., (Φεβρουάριος 2003), «Θέρμανση κτιρίων με αβαθή γεωθερμία στην Ελλάδα» Τεχν. Χρον., Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ.
- ❖ Φυτίκας Μ., (2005), «Γεωεναλλάκτες – γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας θέρμανση – ψύξη – ζεστό νερό. Πρόταση μέτρων προώθησης», Θεσσαλονίκη.

- ❖ Σιμιτόπουλος Χ., Βραχόπουλος Μ., (2005), «Υπολογισμός κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών», Συνέδριο Συλλόγου Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα.
- ❖ Παπαγεωργιάκης Ι., (Μάρτιος 1996), «Γεωθερμία σε κτίριο της Πολυτεχνειούπολης για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των εκπομπών CO₂».
- ❖ Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2005), «Συστήματα αβαθούς γεωθερμίας – Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας, Ανοικτό - Κλειστό κύκλωμα»
- ❖ Καϊκή Π., Τσίτση Μ., (2000), «Χρησιμοποίηση τη γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας στη θέρμανση και ψύξη με αντλίες θερμότητας», Θεσσαλονίκη
- ❖ Μιχόπουλος Α., Μπόζης Δ., Κυριάκης Ν., (2006), 29 - 31 «Συμπεράσματα από τη λειτουργία του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας του νέου δημαρχείου Πυλαίας κατά τα έτη 2003 – 2005» Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής 8^ο Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας τεύχος περιλήψεων, Θεσσαλονίκη.
- ❖ Μιχόπουλος Α., Πάττας Κ., Κυριάκης Ν., (2006), «Το μέγιστο φορτίο κατακόρυφου γεωεναλλάκτη ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του εδάφους», Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής, 8^ο Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, τεύχος περιλήψεων, Θεσσαλονίκη.
- ❖ Ανδρίτσος Ν., Αρβανίτης Α., Κολιός Ν., Κουτσινός Σ., (29 – 31 Μαρτίου 2006), «Εφαρμογή Γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σύστημα μιας γεώτρησης και η συμβολή τους στην εξοικονόμηση ενέργειας», Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής, 8^ο Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, τεύχος περιλήψεων, Θεσσαλονίκη.
- ❖ Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν., (29 – 31 Μαρτίου 2006), «Παγκόσμιο συνέδριο γεωθερμίας 2005: παρούσα κατάσταση στον κόσμο και την Ελλάδα και προοπτικές» Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής, 8^ο Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, τεύχος περιλήψεων, Θεσσαλονίκη.
- ❖ Γκουλαιμάνης Σ., (2002), «Πολυσταδιακή χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για τη θέρμανση – ψύξη κτιρίων στο Λαγκαδά Θεσσαλονίκης», Θεσσαλονίκη.
- ❖ Λουκίδης Κ., (2002), «Διερεύνηση της δυνατότητας θέρμανσης των θερμών Νιγρίτας με γεωθερμική ενέργεια», Θεσσαλονίκη.
- ❖ Water Furnace, «Θέρμανση και ψύξη με γεωεναλλάκτες, συχνές ερωτήσεις»
- ❖ Ανδρίτσος Ν., Καράμπελας Α.Ι., Φυτίκας Μ., (2000), «Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα: παρούσα κατάσταση, τεχνικά προβλήματα, προοπτικές» Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής, 6^ο Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας.
- ❖ Σιγάλας Ι., Κολδέλλης Ι., (2000), «Βέλτιστη ενεργειακή διαχείριση εγκατάστασης αναερόβιας επεξεργασίας βιολογικής ιλύος με χρήση

γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας», Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής, 6^ο Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας.

- ❖ Οικονομίδης Γ., Μπολολιά Μ., Καραγιωργας Μ., (2002), «Βιοκλιματικό κτίριο με επίδειξη ενεργειακών τεχνολογιών στις εγκαταστάσεις του ΚΑΠΕ στο Πικέρι».
- ❖ Ευαγγελίδης Ε., Γιαννουσάς Ε., (Μάιος 2006), «Γεωθερμία Άμεσης και Έμμεσης Χρήσης με Αντλίες Θερμότητας για Κλιματισμό Χώρων – Εφαρμογές στον Ελλαδικό χώρο», Αθήνα.
- ❖ Σιγάλας Ι., Κολδέλλης Ι., (2000), «Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας», 6^ο Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας του Ινστιτούτου ηλιακής τεχνικής «Βέλτιστη ενεργειακή διαχείριση εγκατάστασης αναερόβιας επεξεργασίας βιολογικής ιλύος με χρήση γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας».
- ❖ Ελληνική Τράπεζα Βιομηχανικής Αναπτύξεως, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση Ενέργειας (ΓΔ XVII), (Μάρτιος 1996), Πρόγραμμα ALTENER, Έργο: πληροφόρηση και υποστήριξη επιχειρηματικών φορέων για την υλοποίηση παραγωγικών επενδύσεων με αξιοποίηση γεωθερμικής ενέργειας. «Επενδυτικός οδηγός για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας σε παραγωγικές δραστηριότητες στην Ελλάδα».
- ❖ Lynch R.D., Hutchenson C.E., (1991), “Enviromental education,profession/ecology/industry” colloquium “Industrial Ecology”, National Academy of Sciences, Washington, DC.
- ❖ Κουρίδης Χ., Παπουτσίδου Ο., (2005), «Εγκατάσταση συστήματος ψύξης – θέρμανσης σε εμπορική αποθήκη της εταιρείας Συμεωνίδης Χ & Π. Ο.Ε.», Θεσσαλονίκη.
- ❖ Ναγκούλης Α., (2001), «Θέρμανση – κλιματισμός, εγκατάσταση πεδίου γεωτρήσεων του νέου δημαρχείου Πυλαίας (ΜΠΕ)», Θεσσαλονίκη.
- ❖ Πάττας Κ., Κικίδης Π., Μπόζης Δ., Καμπίσης Γ., (1997), «Θέρμανση – κλιματισμός, εγκατάσταση πεδίου γεωτρήσεων του νέου δημαρχείου Πυλαίας, Τεχνική μελέτη, τεχνική περιγραφή, τεχνικές προδιαγραφές, τεχνική συγγραφή υποχρεώσεων», Θεσσαλονίκη.
- ❖ Ναγκούλης Α., (2002), «Θέρμανση κλιματισμός, εγκατάσταση – πεδίου γεωτρήσεων του νέου δημαρχείου Πυλαίας, Γεωλογική – Τεχνική Έκθεση», Θεσσαλονίκη.
- ❖ Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Εξοικονόμηση ενέργειας από σύστημα (ΓΑΘ)».
- ❖ Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Ενδεικτικό κόστος έργου με εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών».
- ❖ Βλαμίδης Ιωάννης, (2005), «Βελτιστοποίηση του πολτού διάτρησης στις γεωτρήσεις. Μετρήσεις διαφόρων παραμέτρων στις παραγωγικές γεωτρήσεις Ν. Ρυσίου και Κυμίνων Θεσσαλονίκης».
- ❖ Παπαχρήστου Μ., (2004), «Προκαταρκτική μελέτη για το αεροδρόμιο Μακεδονία, Θεσσαλονίκης».
- ❖ Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Σύστημα γεωθερμικού κλιματισμού».

- ❖ Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Παράδειγμα για κατοικία 130 m²»
- ❖ Eugster W.J., Rybach L., (10 – 14 November 1997), “Borehole heat exchangers to tap shallow geothermal resources – The Swiss success story”, paper prepared for the 19th New Zealand Geothermal Workshop.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- http://www.europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/index_en.htm
- <http://www.europa.eu.int/scadplus/leg/el/lvb/128066.htm>
- <http://www.geoexchange.org>
- <http://www.igshpa.okstate.edu>
- <http://www.geoheat.oit.edu>
- <http://www.clear-skies.org>
- <http://www.waterfurnace.com>
- <http://www.tema.gr>
- http://www.tema.gr/GR_GroupPres.asp?Group=4
- <http://www.cres.gr>
- <http://www.energyhomes.gr/GRECE/Geo-1.htm>
- <http://www.wfiglobal.com/HeatingCycleAnimation.asp>
- <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php?lang=gr>
- <http://www.energyhomes.gr/GRECCE/zestonero.htm>
- <http://www.eere.energy.gov/geothermal/animations.html>
- http://www.sciencenews.gr/articles.asp?Cat_id=9&offset=5&Article_id=624
- <http://www.kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/alternative/geothermiki.htm>
- <http://www.physics4u.gr/energy/geotherme.html>
- <http://www.iaheatpump.org/winter.html>
- <http://www.iaheatpump.org/air.html>
- http://www.ape.chania.teicrete.gr/aep/geothermia/main_geotherm.htm
- <http://www.ape.chania.teicrete.gr/aep/geothermia/anaptixinf.htm>
- <http://www.aidengineering.gr/gr/profile/Projectstudies/geothermal2.htm>
- <http://www.news.pathfinder.gr/ecology/greenpeace/geothermics.html>
- <http://www.greenpeace.org/greece/137368/137369/138606>
- http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_geothermal.htm
- http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm
- <http://www.cres.gr/kape/kidsol/geotherm/bottom.htm>
- http://www.spinel.semafor.ch/promot_plone/indexgr.html?set_language=el
- <http://www.google.com/int/el/help/features.html#cached>
- <http://www.waermepumpen-marktplatz-nrw.de/>
- <http://www.kfw.de/EN/Inhalt.jsp>
- <http://www.ghp.gr/egatast.htm>
- <http://www.Boudouri.gr>

