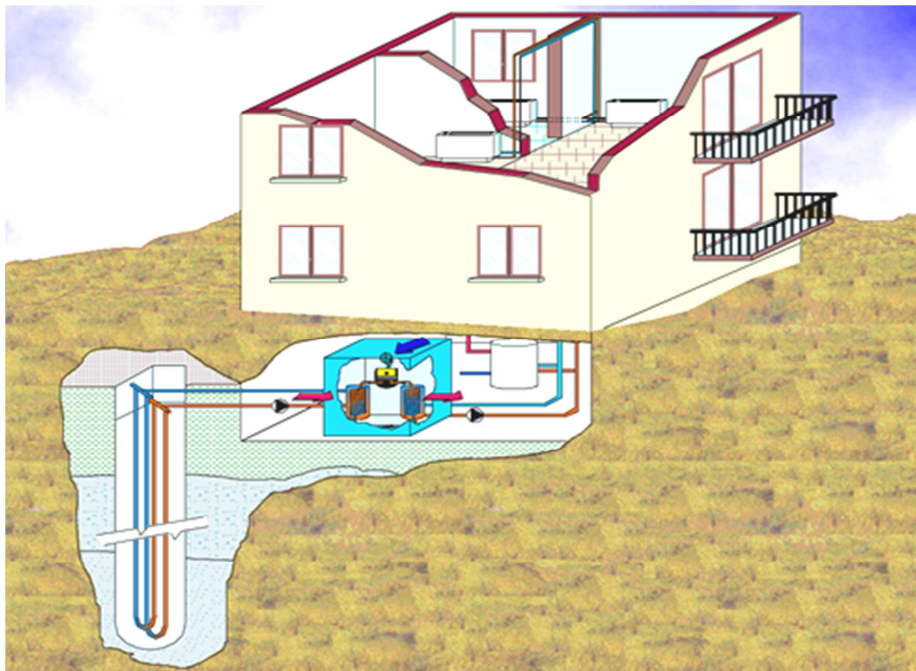




Τ.Ε.Ι. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τεχνικοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας και ενδεικτική μελέτη εγκατάστασης για κλιματισμό σχολικού κτηρίου με αβαθή γεωθερμία.



Σπουδαστής: Τσατσάκης Ιωάννης

ΑΜ:5231

Επιβλέπων καθηγητής: Κατσαπρακάκης Δημήτρης

Ηράκλειο Μάιος 2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία (2 πρώτα κεφάλαια) γίνεται μία σύντομη παρουσίαση της γεωθερμικής ενέργειας, παρουσιάζονται οι θεωρίες για την προέλευση, την εκμετάλλευση, καθώς και τη λειτουργία ενός γεωθερμικού συστήματος κλιματισμού για τη θέρμανση ενός σχολικού κτιρίου. Ενώ για το εν λόγω σχολικό κτίριο δίνεται επίσης μια ενδεικτική μελέτη εγκατάστασης κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη αβαθούς γεωθερμίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνεται μια σύντομη ενδεικτική περιγραφή του κόστους της εγκατάστασης από έναν πιστοποιημένο τιμοκατάλογο της εταιρίας της Interplast. Ενώ στο τέταρτο μια αξιολόγηση του εξοπλισμού και τι εξοικονόμηση μπορεί να επιφέρει ένα τέτοιο σύστημα σε σύγκριση με άλλα συμβατικά συστήματα συγκεκριμένα με έναν λέβητα και κλιματιστικά αέρος-αέρος. Συνεπώς αν συμφέρει μια τέτοια επένδυση να εφαρμοστεί καθώς μιλάμε για καινούργιες μορφές ενέργεια τις λεγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργεια, οι οποίες αξίζουν να μελετηθούν για την καλύτερη δημιουργία συνθηκών ανθρώπινης διαβίωσης.

Η παρούσα εργασία έγινε υπό την επίβλεψη του διδάσκοντα καθηγητή κύριου Κατσαπρακάκη Δημήτρη. Η οποία μου έδωσε τη δυνατότητα να ερευνήσω και να κατανοήσω το αντικείμενο της διαστασιολόγησης αβαθούς γεωθερμίας, καθώς επίσης να παρουσιάσω και την τεχνοοικονομική σκοπιμότητα μιας τέτοιας μελέτης.

SUMMARY

In the present work (first 2 chapters) made a brief presentation of geothermal energy, present theories on the origin, use, and operation of a geothermal system to heat a school building. Also is given for this building a tentative installation study of a vertical geothermal heat exchanger for shallow geothermal.

The third chapter gives a brief indicative description of the installation cost by a certified pricelist of Interplast company. While the fourth chapter, gives an assessment of the equipment and what savings can bring such a system in conjunction with other conventional systems, particularly: boiler and air -air conditioners. Therefore, if such an investment is interest to be applied as we talk about new forms of energy called renewable energy sources, which deserve to be studied to create the best conditions for human life.

This work was done under the supervision of the instructor Katsaprakaki Dimitri. Which gave me the opportunity to explore and understand the object dimensioning shallow geothermal energy as well as the techno-economic feasibility of such a study.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στους καθηγητές μου για τη φοίτηση μου στο ύδριμα και ιδιαίτερα στον κ. Κατσαπρακάκη Δημήτρη, για τη καθοδήγηση του και τη μετάδοση των γνώσεων τους σε όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Η ενασχόληση μου με το αντικείμενο των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συγκεκριμένα με την αβαθή γεωθερμία ήταν πολύ ενδιαφέρουσα. Μου έδωσε τη δυνατότητα να αναπτύξω πλήρως τα ερευνητικά μου ενδιαφέροντα σε μια μελλοντική μορφή ενέργειας.

Παράλληλα σε μια τόσο γενικευμένη μελέτη δεν θα ήθελα να ξεχάσω τις γνώσεις που απέκτησα στα τόσα χρόνια φοίτησης μου στο Τ.Ε.Ι Κρήτης το οποίο μου προσέφερε ένα δυνατό εφόδιο για όλη την καριέρα μου. Τέλος θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά ευγνωμοσύνη στους γονείς μου, και ιδιαίτερα στον πατέρα μου για τη στήριξη τους τόσο υλικά όσο και πνευματικά όλα αυτά τα χρόνια της φοίτησης μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

Περίληψη.....	2
Ευχαριστίες.....	4
Περιεχόμενα.....	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

• 1.Ιστορική αναδρομή.....	7
• 2.Ορισμός γεωθερμικής ενέργειας.....	12
• 3.Γεωθερμικά πεδία.....	15
• 4.Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων.....	18
• 5.Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας.....	19
• 6.ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: Συστήματος θέρμανσης Αβαθούς Γεωθερμίας.....	20
• 6.1.Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος.....	21
• 6.1.α Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) – Λειτουργία.....	21
• 6.2.Κατηγοριοποίηση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας.....	24
• 6.2.α Οριζόντιο σύστημα γεωθερμίας.....	25
• 6.2.β Κατακόρυφο σύστημα γεωθερμίας.....	28
• 7) Μονάδες θέρμανσης-ψύξης/δροσισμού κτιρίου (κλιματισμός)	
• 7.1. Ορισμός κλιματισμού.....	30
• 7.1.α Ενδοδαπέδιο Σύστημα-Λειτουργία.....	30
• 7.1.β Σύστημα τοπικών κλιματιστικών μονάδων ανεμιστήρα στοιχείου (Fan coils units) Λειτουργία.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Διαστασιολόγηση γεωθερμικού εναλλάκτη αβαθούς γεωθερμίας.

• Α)Χαρακτηριστικά κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη-Βάθος γεώτρησης κάθετου γεωθερμικούεναλλάκτη.....	34
• Β) Υπολογισμός απαιτούμενου βάθους γεώτρησης:	
• Β.1.Υπολογισμός ετήσιας ροής θερμότητας εδάφους.....	37
• Β.2. Υπολογισμός διαμέτρου σωλήνας.....	38
• Β.3. Επιλογή τύπου σωλήνας.....	40
• Β.4. Οι θερμικές αντιστάσεις του εδάφους.....	45
• Β.5. Μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου.....	47
• Β.6. Θερμική αντίσταση σωλήνωσης.....	47
• Β.7. Συντελεστής θερμικών απωλειών Fsc.....	51
• Β.8.θερμοκρασία εδάφους-Θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του υγρού στον εναλλάκτ.....	52
• Β.9. Τελικός καθορισμός απαιτούμενων παραμέτρων για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης.....	53
• Γ) Υπολογισμός πτώσης πίεσης στο υδραυλικό δίκτυο εναλλάκτη- ενδιάμεσο δίκτυο.....	55
• Δ) Δοχείο διαστολής	56
• Δ.1. Υπολογισμός δοχείου.....	57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Τεχνοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας:

• Ε) Κοστολόγηση εξοπλισμού γεωθερμικού εναλλάκτη.....	59
• Ε.1. Εξοπλισμός.....	60
• Ε.2. Κόστος εξοπλισμού (Ερευνα αγοράς).....	63
• Ε.3. Εκτίμηση κόστους λειτουργίας της εγκατάστασης.....	68

- E.4.Σύγκριση του κόστους θέρμανσης-ψύξης. Υπολογισμός χρόνου αποπληρωμής με συμβατικά συστήματα κλιματισμού (λέβητας, αντλίες αέρος -αέρος).....68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Επίλογος

- 4.1.Αξιολόγηση του εξοπλισμού-Συμπέρασμα.....70

Βιβλιογραφία.....71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

1) ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΔΡΟΜΗ

Ο όρος <<ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ>> είναι διεθνής και προέρχεται από τις λέξεις <<Γαία>> και <<θερμός>>. Συνακόλουθα, η γνώση και διατριβή στη θερμική δραστηριότητα του εσωτερικού της γης έχει σημαντικές ιστορικές καταβολές στον ελλαδικό χώρο. Οι Ελεάτες φιλόσοφοι (7ος π.Χ. αιώνας) καθώς και ο Ηράκλειτος (6ος π.Χ αιώνας) θεωρούν ως κινητήρια δύναμη δημιουργίας το <<πυρ>> που ενθυλακώνεται στο εσωτερικό της γήινης μάζας.

Ο Αριστοτέλης (4^{ος} π.Χ αιώνας) στη διατριβή του <<Περί Μετεώρων>> αναφέρει ότι εξαιτίας της εσωτερικής θερμότητας παράγεται άνεμος μέσα έξω από τη μάζα της. Ο Αναξαγόρας (5^{ος} π.Χ αιώνας),όπως αναφέρει ο Αριστοτέλης, μιλούσε για αποκλεισμό θερμού αέρα, στα βάθη της γης (<<αιθέριος>>). Άξιο αναφοράς είναι επίσης πως σύμφωνα με εικασίες- οι χρησμοί της Πυθίας στο Μαντείο των Δελφών ήταν αποτέλεσμα της έκθεσης και σε γεωθερμικά αέρια που προέρχονταν από το τοπικό ρήγμα.

Επίσης, στην αρχαία Πομπηία το υψηλής θερμοκρασίας γεωθερμικό νερό είχε χρησιμοποιηθεί στη θέρμανση των κτιρίων. Από την άλλη, οι Θερμοπόδες (θερμές πύλες) χαρακτηρίστηκαν έτσι από πηγές θερμότητας που βρίσκονταν στο υπέδαφος τους. Στην Ελλάδα υπάρχουν 56 θερμές πηγές. Οι ιαματικές πηγές στα θερμά Σαμοθράκης, γνωστές από την αρχαιότητα για τη μεγάλη του θεραπευτική αξία, κρύβουν ένα τεράστιο γεωθερμικό πεδίο και μία από τις παλαιότερες χρήσεις γεωθερμίας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, είναι τα θερμά λουτρά της θέρμης, ίσως από τα πρώτα ιαματικά λουτρά της αρχαιότητας.

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

Οι πρώτες μετρήσεις με θερμόμετρο έγιναν κατά πάσα πιθανότητα το 1740, σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας (Bullard, 1965). Ήδη από το 1870, για τη μελέτη της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης χρησιμοποιούνταν κάποιες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι, ενώ η θερμική κατάσταση που διέπει τη γη, η θερμική ισορροπία και εξέλιξη της κατανοήθηκαν καλύτερα τον 20ο αιώνα, με την ανακάλυψη του ρόλου της «ραδιενεργής θερμότητας». Πράγματι, σε όλα τα σύγχρονα πρότυπα (μοντέλα) της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης πρέπει να συμπεριλαμβάνεται η θερμότητα που συνεχώς παράγεται από τη διάσπαση των μακράς διάρκειας ζωής ραδιενεργών ισοτόπων του ουρανίου (U238, U235), του θορίου (Th232) και του καλίου (K40), τα οποία βρίσκονται στο εσωτερικό της γης (Lubimova, 1968).

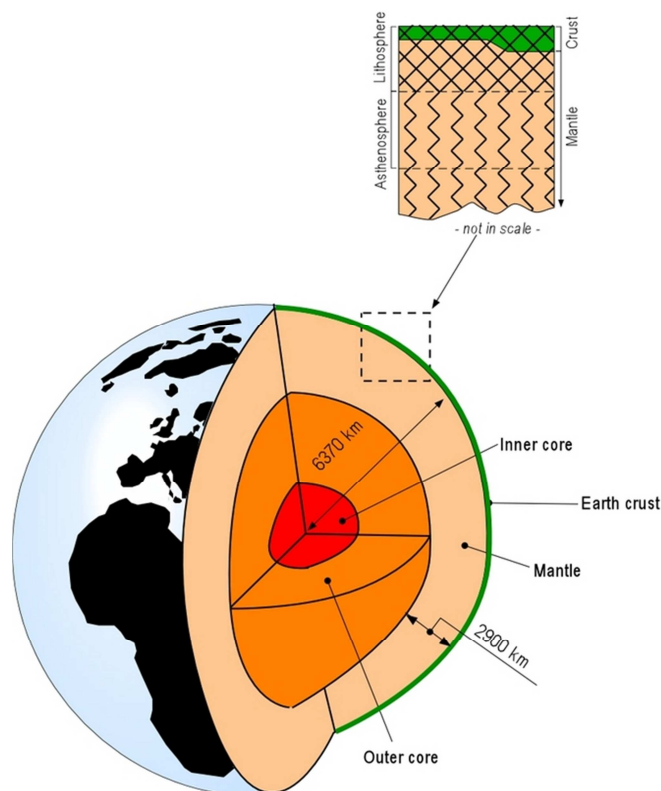
Εκτός από τη ραδιενεργό θερμότητα, δρουν αθροιστικά, σε απροσδιόριστες όμως ποσότητες, και άλλες δυναμικές πηγές θερμότητας, όπως είναι η «αρχέγονη ενέργεια» από την εποχή δημιουργίας και μεγέθυνσης του πλανήτη. Μέχρι τη δεκαετία του 1980 τα μοντέλα αυτά δεν βασίζονταν σε κάποιες ρεαλιστικές θεωρίες. Τότε όμως αποδείχθηκε ότι αφενός δεν υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ της ραδιενεργής θερμότητας που δημιουργείται στο εσωτερικό της γης και της θερμότητας που διαφεύγει από τη γη προς το διάστημα, και αφετέρου ότι ο πλανήτης μας ψύχεται με αργό ρυθμό και στο εσωτερικό του.

Ως μια γενική ιδέα της φύσης και της κλίμακας του εμπλεκόμενου φαινομένου, μπορεί να αναφερθεί η λεγόμενη «θερμική ισορροπία», όπως διατυπώθηκε από τους Stacey and Loper (1988). Σύμφωνα με αυτήν, η ολική ροή θερμότητας από τη γη (αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία) εκτιμάται ότι ανέρχεται στα 42x10¹² W. Από αυτά, 8x10¹² W προέρχονται από το φλοιό, που αντιπροσωπεύει μόνο το 2% του συνολικού όγκου της γης αλλά είναι πλούσιος σε ραδιενεργά ισότοπα, 32,3x10¹²W

προέρχονται από το μανδύα, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 82% του συνολικού όγκου της γης, και $1,7 \times 10^{12}$ W προέρχονται από τον πυρήνα, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 16% του συνολικού όγκου της γης και δεν περιέχει ραδιενεργά ισότοπα (βλέπε παρακάτω Σχήμα, ένα σχήμα της εσωτερικής δομής της γης). Αφού η ραδιενεργή θερμότητα του μανδύα εκτιμάται σε 22×10^{12} W, η μείωση της θερμότητας στο συγκεκριμένο τμήμα της γης είναι $10,3 \times 10^{12}$ W.

Σύμφωνα με πιο πρόσφατες εκτιμήσεις και υπολογισμούς, που βασίζονται σε μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων, η ολική θερμική ροή της γης είναι περίπου 6% υψηλότερη από τις τιμές που χρησιμοποίησαν οι Stacey and Loper το 1988. Ούτως ή άλλως όμως, η διαδικασία ψύξης παραμένει αργή. Η θερμοκρασία του μανδύα δεν έχει μειωθεί περισσότερο από 300-350°C τα τελευταία 3 δισεκατομμύρια χρόνια, παραμένοντας περίπου στους 4000°C στη βάση του. Έχει υπολογιστεί ότι το συνολικό θερμικό περιεχόμενο της γης (για θερμοκρασίες πάνω από τη μέση επιφανειακή των 15°C) είναι της τάξης των $12,6 \times 10^{24}$ MJ και του φλοιού $5,4 \times 10^{21}$ MJ (Armstead, 1983).

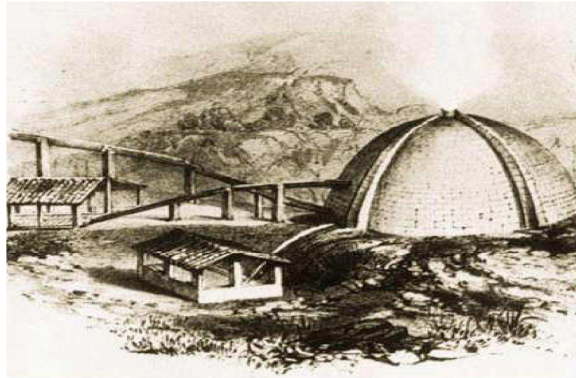
Όπως λοιπόν προκύπτει από τα παραπάνω, η θερμική ενέργεια της γης είναι απέραντη, όμως μόνο τμήμα αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί τελικά από τον άνθρωπο. Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα μέσο (νερό σε υγρή ή αέρια φάση) να «μεταφέρει» τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτήν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι γεωθερμικοί πόροι (geothermal resources). Πιθανώς, στο άμεσο μέλλον, νέες πρωτοποριακές τεχνικές θα μας προσφέρουν καινούργιες προοπτικές στον τομέα αυτόν.



Εικόνα 1. Ο Φλοιός, ο Μανδύας και ο Πυρήνας της γης. Πάνω δεξιά: τομή του φλοιού και του ανώτερου μανδύα.

Σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής οι πρακτικές εφαρμογές προηγούνται της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογικής ανάπτυξης. Η γεωθερμία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του φαινομένου αυτού. Αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχόμενου των γεωθερμικών ρευστών γινόταν ήδη από τις αρχές του 19ου αιώνα

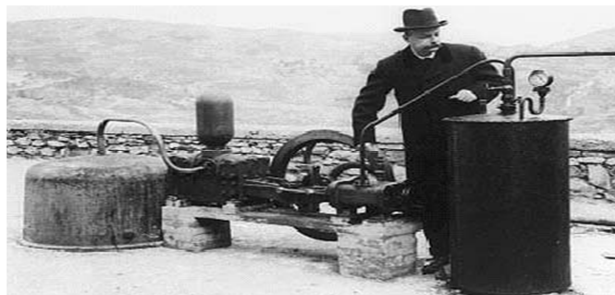
Η παραγωγή του βορικού οξέος γινόταν με εξάτμιση των βοριούχων νερών μέσα σε σιδερένιους «λέβητες», χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη ξύλα από τα κοντινά δάση. Το 1827, ο Francesco Larderel, ιδρυτής της βιομηχανίας αυτής, αντί να καίγονται ξύλα από τα διαρκώς αποψιλούμενα δάση της περιοχής, ανέπτυξε ένα σύστημα για τη χρήση της θερμότητας των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης.



Εικόνα 2. Η καλυμμένη «λιμνούλα» (covered lagoon), που χρησιμοποιούνταν κατά το πρώτο μισό του 19ου αιώνα στην περιοχή του Larderello, για τη συλλογή των βοριούχων υδάτων και την παραγωγή βορικού οξέος.

Η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του φυσικού ατμού ξεκίνησε περίπου την ίδια περίοδο. Ο γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιήθηκε για την ανέλκυση των ρευστών, αρχικά με κάποιους πρωτόγονους αέριους ανυψωτήρες και στη συνέχεια με παλινδρομικές και φυγοκεντρικές αντλίες και βαρούλκα. Ανάμεσα στο 1850 και 1875, οι εγκαταστάσεις του Larderello κατείχαν το μονοπώλιο παραγωγής βορικού οξέος στην Ευρώπη.

Μεταξύ του 1910 και του 1940, στην περιοχή αυτή της Τοσκάνης ο χαμηλής πίεσης ατμός άρχισε να χρησιμοποιείται για τη θέρμανση βιομηχανικών κτιρίων, κατοικιών και θερμοκηπίων. Εν τω μεταξύ, ολόένα και περισσότερες χώρες άρχισαν να αναπτύσσουν τους γεωθερμικούς τους πόρους σε βιομηχανική κλίμακα. Το 1892, το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλε-θέρμανσης (district heating) τέθηκε σε λειτουργία στο Boise του Άινταχο των Η.Π.Α.. Το 1928, μια άλλη πρωτοπόρος χώρα στην εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η Ισλανδία, ξεκίνησε επίσης την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών (κυρίως θερμών νερών) για τη θέρμανση κατοικιών. Το 1904, έγινε η πρώτη απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό, και πάλι στο Larderello της Ιταλίας.



Εικόνα 3. Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό. Διακρίνεται επίσης ο εφευρέτης της, πρίγκιπας Piero Ginori Conti.

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

Οι έρευνες για η την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα άρχισαν το 1970 και μέχρι το 1980 αφορούσαν μόνο στις περιοχές που είχαν καταρχήν ενδιαφέρον για την υψηλή ενθαλπία. Εντοπίστηκαν τα γεωθερμικά πεδία στη Μήλο και στη Νίσηρο και προέκυψαν πολλά ή λιγότερα στοιχεία για πιθανά πεδία στην Κίμωλο, Πολύαιγο, Σαντορίνη, Κω και Λέσβο. Μερικές από τις παραπάνω περιοχές ίσως αποδειχθεί ότι δεν έχουν σε οικονομικά βάθοι, γεωθερμικά ρευστά υψηλής αλλά μόνο μέσης ενθαλπίας, όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργεια μπορεί να αποδειχθεί συμφέρουσα σε μερικές περιπτώσεις.

Μετά το 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε ελκυστική σε πολλές χώρες, επειδή ήταν ανταγωνιστική ως προς άλλες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η ενέργεια αυτή δε χρειαζόταν να εισαχθεί από άλλες χώρες, όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα ενώ σε πολλές περιπτώσεις αποτελούσε τον μοναδικό διαθέσιμο εγχώριο ενεργειακό πόρο. Στον **Πίνακα α** αναφέρονται οι χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς και η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς: 1995 (6.833 MW_e), 2000 (7.974 MW_e) και η αύξηση μεταξύ των ετών 1995-2000 (Huttrer, 2001). Στον ίδιο πίνακα φαίνεται επίσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις αρχές του 2003 είναι (9.028 MW_e). Η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς στις αναπτυσσόμενες χώρες το 1995 και το 2000 αντιπροσωπεύει αντίστοιχα το 38% και το 47% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως.

Πίνακας α.

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

Country	1995 (MW _e)	2000 (MW _e)	1995 -2000 (increase in MW)	% increase (1995- 2000)	2003 (MW _e)
Argentina	0.67	-	-	-	-
Australia	0.15	0.15	-	-	0.15
Austria	-	-	-	-	1.25
China	28.7	29.1	0.39	1.35	28.1
Costa	55	142.	87.5	159	162.
EI	105	161	56	53.3	161
Ethiopia	-	7	-	-	7
France	4.2	4.2	-	-	15
German	-	-	-	-	0.23
Guatem	-	33.4	33.4	-	29
Iceland	50	170	120	240	200
Indonesi	309.	589.	279.	90.3	807
Italy	631.	785	153.	24.3	790.
Japan	413.	546.	133.	32.2	560.
Kenya	45	45	-	-	121
Mexico	753	755	2	0.3	953
New	286	437	151	52.8	421.
Nicaragu	70	70	-	-	77.5
Papua	-	-	-	-	6
Philippin	1227	1909	682	55.8	1931
Portugal	5	16	11	220	16
Russia	11	23	-	-	73
Thailand	0.3	0.3	-	-	0.3
Turkey	20.4	20.4	-	-	20.4
USA	2816	2228	-	-	2020
Total	6833	7972	172	16.7	8402.

Η χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στις αναπτυσσόμενες χώρες παρουσιάζει ενδιαφέρουσες τάσεις με το χρόνο. Μεταξύ των ετών 1975 και 1979 η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς σ'αυτές τις χώρες αυξήθηκε από 75 σε 462 MWe. Στο τέλος της επόμενης πενταετίας (1984) έφτασε στα 1.495 MWe, παρουσιάζοντας ένα ρυθμό αύξησης κατά τη διάρκεια των δύο αυτών περιόδων 500% και 223% αντίστοιχα (Dickson and Fanelli, 1988). Στα επόμενα 16 χρόνια, από το 1984 έως το 2000, υπήρξε μια περαιτέρω αύξηση της τάξης του 150%. Η γεωθερμική ενέργεια συμμετέχει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο αρκετών περιοχών. Για παράδειγμα, το 2001 η ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε από γεωθερμικούς πόρους αντιπροσώπευε το 27% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στις Φιλιππίνες, το 12,4 % στην Κένυα, το 11,4% στην Κόστα Ρίκα και το 4,3% στο Ελ Σαλβαδόρ.

Όσον αφορά τις μη-ηλεκτρικές ή άμεσες εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας, ο Πίνακας β δίνει την εγκατεστημένη ισχύ (15.145 MWt) και την ενεργειακή παραγωγή και χρήση (190.699 TJ) σε παγκόσμια κλίμακα για το έτος 2000. Κατά τη διάρκεια του έτους αυτού, άμεσες χρήσεις (direct uses) της γεωθερμίας καταγράφηκαν σε 58 χώρες, σε σύγκριση με τις 28 το 1995 και τις 24 το 1985. Ο 14 αριθμός των χωρών αυτών είναι πολύ πιθανόν να έχει αυξηθεί από το 2000, όπως φυσικά και το ύψος της εγκατεστημένης ισχύος και της ενεργειακής χρήσης. Η πιο συνηθισμένη μη-ηλεκτρική χρήση της γεωθερμίας παγκόσμια είναι οι αντλίες θερμότητας (heat-pumps) (34,80%) και ακολουθούν η λουτροθεραπεία (26,2%), η θέρμανση χώρων (21,62%), η θέρμανση θερμοκηπίων (8,22%), οι υδατοκαλλιέργειες (3,93%) και οι βιομηχανικές χρήσεις (3,13%) (Lund and Freeston, 2001).

Πίνακας β.

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

Country	Power (MWt)	Energy (TJ/έτος)	Country	Power	Energy
Algeria	100	1586	Norway	6	32
Argentina	25,7		Peru	2,4	49
Armenia	1	15	Macedonia	81,2	510
Australia	34,4	351	Mexico	164,2	3919
Austria	255,3	1609	Nepal	1,1	22
Belgium	3,9	107	Netherlands	10,8	57
Bulgaria	107,2	1637	New Zealand	307,9	7081
Canada Caribbean	377,6	1023	Philippines	1	25
Islands	0,1	1	Poland	68,5	275
Chile	0,4	7	Portugal	5,5	35
China	2282	37 908	Romania	152,4	2871
Colombia	13,3	266	Russia	308,2	6144
Croatia	113,9	555	Serbia	80	2375
Czech Republic	12,5	128	Slovak Republic	132,3	2118
Denmark	7,4	75	Slovenia	42	705
Egypt	1	15	Sweden	377	4128
Finland	80,5	484	Switzerland	547,3	2386
France	326	4895	Thailand	0,7	15
Georgia	250	6307	Tunisia	23,1	201
Germany	397	1568	Turkey	820	15756
Greece	57,1	385	United Kingdom	2,9	21
Guatemala	4,2	117	USA	3766	20302
Honduras	0,7	17	Venezuela	0,7	14
Hungary	472,7	4086	Yemen	1	15
Iceland	1469	20170			
India	80	2517	TOTAL	15145	190699
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			

2) ΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:

Με τον όρο <<γεωθερμική ενέργεια>> περιγράφεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Συγκεκριμένα με τον όρο γεωθερμική ενέργεια εννοούμε το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με την μορφή θερμού νερού, ατμού ή θερμών πετρωμάτων σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, δηλαδή περιορίζεται στα πρώτα τρία περίπου χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης.



Εικόνα 4. Γεωθερμική ένδειξη θερμού νερού, θερμών ατμών από το εσωτερικό της γης (ατμίδα, θερμοπίδακες γκείζερ).

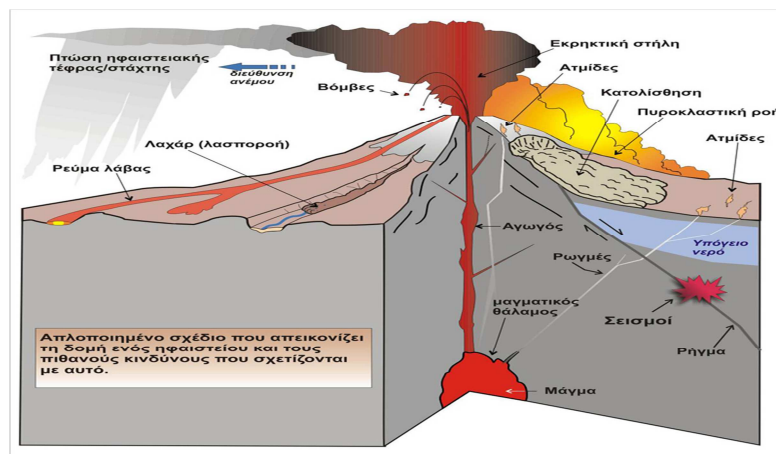
Αξιοσημείωτο είναι ότι η γεωθερμία ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας έχει πολύ ενδιαφέρον και ο λόγος είναι:

α) Παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους καθώς αυξάνεται το βάθος από την επιφάνεια του. Η ορολογία που χρησιμοποιείται για αυτή την αύξηση είναι γεωθερμική βαθμίδα. Οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι **5 μέχρι 70 ° C/km με μέση τιμή 30 ° C/km ή 1 ° C ανά 30m.**

β) Επιλέγονται περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από τη μέση τιμή.

γ) Μόνιμη παροχή ενέργειας καθ' όλο το έτος, χωρίς διακυμάνσεις και με μικρό λειτουργικό κόστος καθώς και η δυνατότητα πλήρους ανάκτησης και εκμετάλλευσης υπάρχουσας υπεδαφικής θερμότητας.

δ) Χρησιμοποιείται σε περιοχές που οι ανάγκες για θέρμανση είναι πολύ υψηλές λόγω του κλίματος.



Εικόνα 5. Ηφαιστείο άλλη μια μορφή γεωθερμικής ενέργειας.

Επίσης σε βάθη που είναι προσβάσιμα με τις σύγχρονες γεωτρητικές μεθόδους, δηλαδή μέχρι τα 10.000 m, η μέση γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται περίπου στους 2,5-3°C/100 m. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία στα πρώτα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανταποκρίνεται κατά μέσο όρο στη μέση ετήσια θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, δηλ. στους 15°C, τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία στο βάθος των 2000 m θα είναι περίπου 65-75°C, στα 3000 m 90-105°C, κ.ο.κ. για μερικά ακόμα χιλιάδες μέτρα. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλές περιοχές στις οποίες η γεωθερμική βαθμίδα αποκλίνει πολύ από τη μέση τιμή. Εκεί όπου το γεωλογικό υπόβαθρο έχει υποστεί πολύ γρήγορη βύθιση και η λεκάνη έχει πληρωθεί με γεωλογικά «πολύ νέα» ιζήματα, η γεωθερμική βαθμίδα μπορεί να είναι μικρότερη και από 1°C/100 m. Αντίθετα, σε μερικές «γεωθερμικές» καλούμενες περιοχές, η τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας μπορεί να είναι και δεκαπλάσια της μέσης γήινης.

Λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στα διάφορα στρώματα, προκαλείται ροή θερμότητας από τις βαθιές και θερμές ζώνες του υπεδάφους προς τις ρηχές και ψυχρότερες, τείνοντας έτσι στη δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών. Στην πραγματικότητα όμως, όπως πολύ συχνά συμβαίνει στη φύση, κάτι τέτοιο ουδέποτε επιτυγχάνεται πλήρως. Η μέση γήινη ροή θερμότητας στις ηπείρους και τους ωκεανούς είναι 65 και 101 mW/m² αντίστοιχα, οι οποίες, υπολογίζοντας την έκταση των περιοχών, δίνουν ένα παγκόσμιο μέσο όρο της τάξης των 87 mW/m² (Pollack et al., 1993). Οι τιμές αυτές προέκυψαν μετά από 24.774 μετρήσεις σε 20.201 θέσεις, που καλύπτουν το 62% περίπου της γήινης επιφάνειας. Υπάρχουν βέβαια και κάποιοι εμπειρικοί υπολογισμοί που αναφέρονται σε γεωλογικές χαρτογραφικές μονάδες και επιτρέπουν την εκτίμηση της θερμικής ροής χωρίς να προηγηθούν μετρήσεις. Η ανάλυση της θερμικής ροής από τους Pollack et al. (1993) είναι η πιο πρόσφατη και η μόνη σε έντυπη μορφή. Το Πανεπιστήμιο της Βόρ. Ντακότα, επιτρέπει σήμερα την πρόσβαση μέσω του Διαδικτύου σε μια ανανεωμένη βάση δεδομένων θερμικής ροής, που περιλαμβάνει στοιχεία τόσο από ωκεάνιες όσο και από ηπειρωτικές περιοχές.

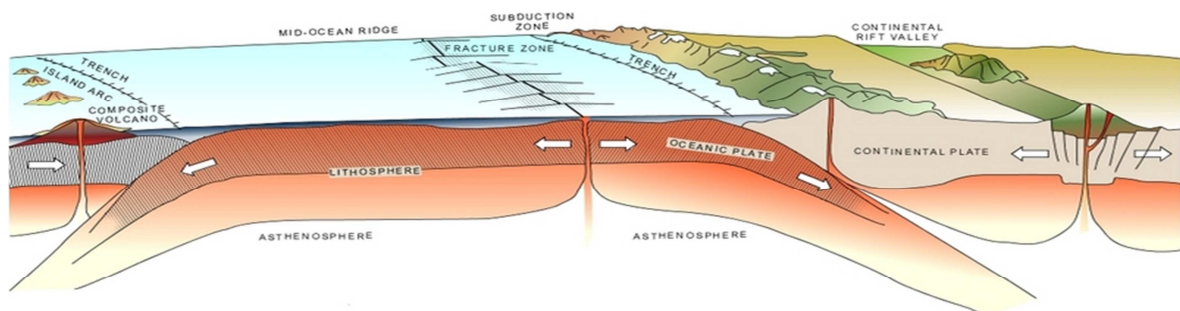
Η θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος, και τα ηφαίστεια, οι θερμοπίδακες (geysers), οι θερμές πηγές κλπ, αποτελούν κατά μία έννοια την ορατή εκδήλωση της θερμότητας του εσωτερικού της γης. Η θερμότητα αυτή όμως προκαλεί και τη δημιουργία άλλων φαινομένων, που είναι λιγότερο διακριτά από τον άνθρωπο, τέτοιου μεγέθους όμως ώστε η ύπαρξή τους να οδηγεί στην παρομοίωση της γης με μια τεράστια «θερμική μηχανή». Τα φαινόμενα αυτά αναφέρονται συνοπτικά στη «θεωρία των τεκτονικών πλακών». Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να τα περιγράψουμε με απλό τρόπο και να αναλύσουμε τη σχέση τους με τους γεωθερμικούς πόρους.

Ο πλανήτης μας αποτελείται από το *φλοιό*, το πάχος του οποίου κυμαίνεται από 20-65 km περίπου στις ηπειρωτικές περιοχές και 5-6 km στις ωκεάνιες, από το *μανδύα*, το πάχος του οποίου είναι κατά προσέγγιση 2.900 km και τον *πυρήνα* με ακτίνα περίπου 3.470 km (Σχήμα 1). Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του φλοιού, του μανδύα και του πυρήνα διαφέρουν από την επιφάνεια προς το κέντρο της γης. Το εξωτερικό στερεό περίβλημα της γης, γνωστό ως *λιθόσφαιρα*, αποτελείται από το φλοιό και το ανώτερο τμήμα του μανδύα. Έχοντας μεταβαλλόμενο πάχος, από λιγότερο των 80 km στις ωκεάνιες ζώνες μέχρι πάνω από 200 km στις ηπειρωτικές, η λιθόσφαιρα συμπεριφέρεται σαν ένα συμπαγές σώμα. Κάτω από τη λιθόσφαιρα βρίσκεται η ζώνη που ονομάζεται *ασθενόσφαιρα*, πάχους 200-300 km και με μια λιγότερο «συμπαγή» και περισσότερο «πλαστική» συμπεριφορά. Με άλλα λόγια, στη γεωλογική κλίμακα, όπου ο χρόνος μετρίεται σε εκατομμύρια χρόνια, αυτό το τμήμα της γης συμπεριφέρεται πιο κοντά με ένα ρευστό σε κάποιες διαδικασίες.

Εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στα διάφορα τμήματα της ασθενόσφαιρας, δημιουργήθηκαν πριν από μερικές δεκάδες εκατομμύρια έτη μεταφορικές (συναγωγικές) κινήσεις μεταξύ της στερεάς βάσης αυτού του στρώματος και της βάσης του φλοιού και πιθανώς κάποιοι συναγωγικοί θύλακες. Οι κινήσεις αυτές θεωρούνται τα βασικά αίτια μετατόπισης των λιθοσφαιρικών πλακών. Είναι εξαιρετικά αργές (λίγα εκατοστά/έτος), παρόλα αυτά σταθερές, λόγω της συνεχούς παραγωγής θερμότητας από τη διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων και της προσφοράς θερμότητας από τα μεγαλύτερα βάθη της γης. Λόγω των κινήσεων αυτών, τεράστιοι όγκοι βαθύτερων και θερμών λιωμένων πετρωμάτων, με μικρότερη πυκνότητα και συνεπώς μικρότερο βάρος, ανέρχονται προς την επιφάνεια, ενώ ψυχρότερα και βαρύτερα πετρώματα, που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια, βυθίζονται, αναθερμαίνονται και ανεβαίνουν πάλι στην επιφάνεια.

Στις ζώνες μικρού λιθσφαιρικού πάχους, και κυρίως στις ωκεάνιες περιοχές, η λιθόσφαιρα ωθείται προς τα πάνω και στη συνέχεια κατακερματίζεται εξαιτίας της ανόδου των θερμών, και εν μέρει λιωμένων υλικών της ασθενόσφαιρας, εκεί όπου σχηματίζεται ο ανερχόμενος κλάδος των συναγωγικών θαλάμων. Αυτός ακριβώς είναι ο μηχανισμός που δημιουργήσε και συνεχίζει να δημιουργεί τις «εκτεινόμενες ράχες (spreading ridges)», οι οποίες εκτείνονται σε μήκος μεγαλύτερο των 60 km κάτω από τους ωκεανούς. Οι ράχες αυτές σε κάποιες περιοχές, όπως στις Αζόρες και την Ισλανδία, αναδύονται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ σε άλλες, όπως στην Ερυθρά Θάλασσα, αναδύονται ανάμεσα στις ηπείρους. Ένα σχετικά μικρό ποσοστό αυτών των ασθενοσφαιρικών λιωμένων υλικών αναδύονται στην επιφάνεια της γης μέσω των κορυφογραμμών των υποθαλάσσιων οροσειρών (ράχων) και, ερχόμενα σε επαφή με το θαλασσινό νερό, ψύχονται, στερεοποιούνται και σχηματίζουν με τον τρόπο αυτό νέο ωκεάνιο φλοιό. Το μεγαλύτερο όμως μέρος του ασθενοσφαιρικού αυτού υλικού χωρίζεται σε δύο κλάδους, οι οποίοι κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις κάτω από τη λιθόσφαιρα, στη θέση ακριβώς των «μεσο-ωκεάνιων ράχων». Η συνεχής δημιουργία νέου φλοιού και η απόκλιση του ωκεάνιου πυθμένα με ένα ρυθμό της τάξης των λίγων εκατοστών ανά έτος, προκαλεί συνεχή αύξηση της ωκεάνιας λιθόσφαιρας. Σε άλλα σημεία της λιθόσφαιρας σχηματίζονται τεράστιες κατακόρυφες διαρρήξεις, εκατέρωθεν των οποίων παρατηρείται οριζόντια μετακίνηση των λιθσφαιρικών πλακών. Οι διαρρήξεις αυτές μπορούν να φτάσουν σε μήκος μερικών χιλιάδων χιλιομέτρων και ονομάζονται «ρήγματα μετασχηματισμού».

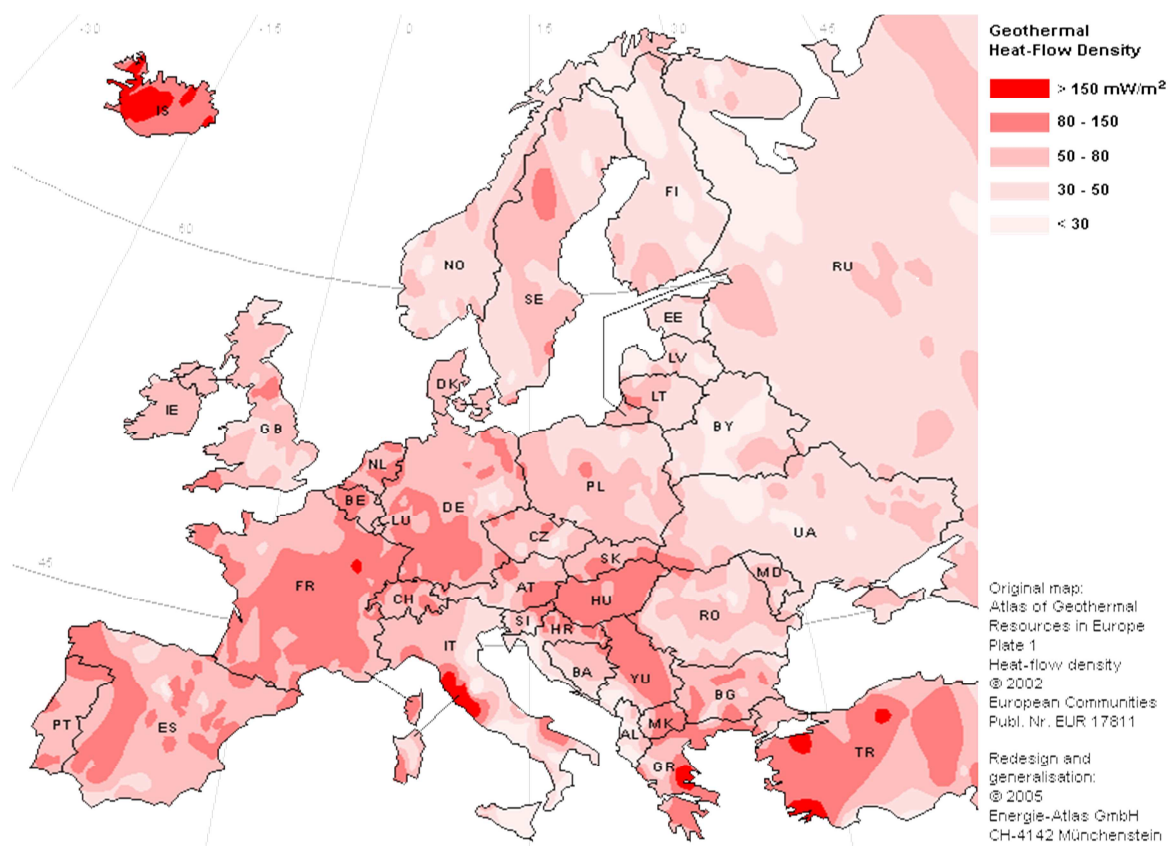
Τα φαινόμενα αυτά οδηγούν σε μια εύστοχη παρατήρηση: αφού τελικά η συνολική επιφάνεια των λιθσφαιρικών πλακών παραμένει περίπου σταθερή στο χρόνο, η συνεχής δημιουργία νέου φλοιού στις μεσοωκεάνιες ράχες και το άνοιγμα των ωκεάνιων τμημάτων θα πρέπει να εξισορροπείται κατά κάποιον τρόπο από συρρίκνωση (καταστροφή) της λιθόσφαιρας σε άλλα σημεία της γης. Αυτό ακριβώς συμβαίνει στις λεγόμενες «ζώνες καταβύθισης», οι μεγαλύτερες από τις οποίες καταδικνύονται από τις τεράστιες ωκεάνιες τάφρους, όπως αυτές π.χ. που εκτείνονται κατά μήκος των δυτικών ορίων του Ειρηνικού Ωκεανού και των δυτικών ακτών της Νότιας Αμερικής. Στις ζώνες καταβύθισης η λιθόσφαιρα κάμπτεται και βυθίζεται κάτω από την παρακείμενη λιθόσφαιρα και φθάνει μέσα στις πολύ θερμές και βαθιές ζώνες της, όπου αφομοιώνεται από το μανδύα και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Μέρος του υλικού της λιθόσφαιρας επανατίκεται και ανεβαίνει πάλι προς την επιφάνεια μέσω των ρηγμάτων του φλοιού. Συνέπεια αυτών των φαινομένων είναι η δημιουργία «μαγματικών τόξων» με πολλά ηφαιστεια που εντοπίζονται παράλληλα προς τις τάφρους, στην αντίθετη πλευρά των οροσειρών. Όταν οι τάφροι βρίσκονται κατά μήκος των ηπειρωτικών περιθωρίων, τότε τα τόξα αποτελούνται από αλυσίδες οροσειρών με πολλά ηφαιστεια, όπως είναι οι Άνδεις. Όταν οι τάφροι εντοπίζονται σε ωκεάνιες περιοχές, όπως στον Ειρηνικό ωκεανό, τα μαγματικά τόξα αποτελούνται από πολλά ηφαιστειακά νησιά (π.χ. Ιαπωνία, Φιλιππίνες κλπ.). Στο Σχήμα 6 περιγράφονται ακριβώς αυτά τα φαινόμενα.



Εικόνα 6. Σχηματική τομή που δείχνει τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις τεκτονικές πλάκες.

3) Γεωθερμικά πεδία

<<Γεωθερμικές περιοχές>> είναι θεωρητικά εκείνες που για διαφορετικές αιτίες έχουν θερμική ροή (δηλαδή η θερμότητα που μεταφέρεται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια της γης σε συνάρτηση με το χρόνο. Ο μέσος όρος της θερμικής ροής υπολογίζεται σε $(60\text{mW}/\text{m}^2)$ και επομένως η γεωθερμική βαθμίδα είναι ανώτερη από τις μέσες τιμές της γήινης. Οι περισσότερες από τις περιοχές αυτές βρίσκονται κοντά στα όρια των λιθосφαιρικών πλακών. Δεν αρκεί όμως μόνο η θερμική ανωμαλία για τη δημιουργία γεωθερμικών κοιτασμάτων η γεωθερμικών πεδίων. Χρειάζονται και άλλες ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, όπως η ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών όχι σε μεγάλα βάθη, με ικανοποιητική θερμοκρασία, καλά έως αποδεκτά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και σε αξιόλογη ποσότητα.

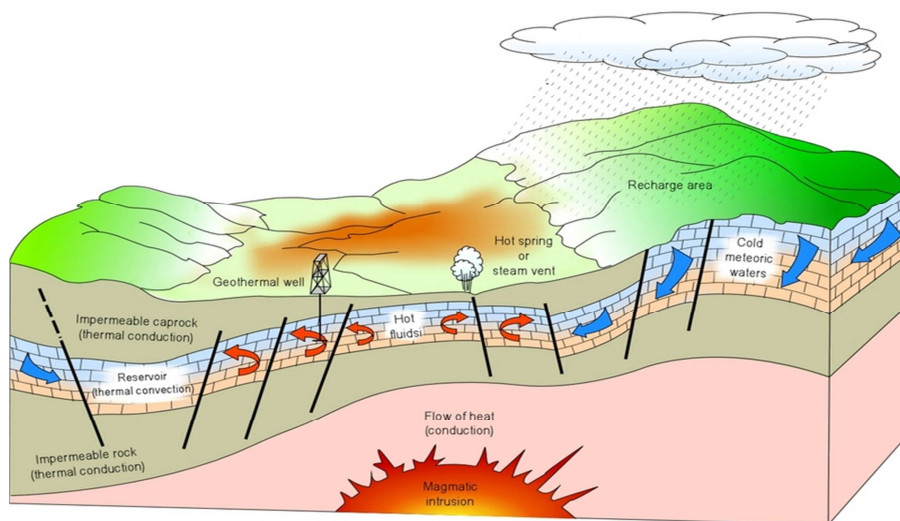


Εικόνα 7. Χάρτης γεωθερμικής πυκνότητας ροής θερμότητας: Παρατηρούμε ότι σε κάποιες Ευρωπαϊκές χώρες όπως η Ελλάδα, η Τουρκία, η Ιταλία, η Γαλλία η Ισλανδία παρουσιάζουν περιοχές αυξημένη πυκνότητα ροής πάνω από $150\text{mW}/\text{m}^2$. Ενώ η πλειοψηφία των χωρών παρουσιάζει πυκνότητα ροής $50-80\text{mW}/\text{m}^2$ και σε κάποιες όπως Ιταλία, Γερμανία, Ουγγαρία και άλλες κυμαίνεται από $80-150\text{mW}/\text{m}^2$.

Συνεπώς με τον όρο «γεωθερμικά πεδία» εννοούνται περιοχές στις οποίες η θερμική ενέργεια της γης είναι επαρκώς συγκεντρωμένη και σε μικρά σχετικά βάθη, ώστε να δημιουργεί μία εκμεταλλεύσιμη ενεργειακή πηγή. Τα γεωθερμικά πεδία ταξινομούνται με βάση τα γεωλογικά, υδρολογικά και θερμικά χαρακτηριστικά τους.

Ένα γεωθερμικό πεδίο συγκροτείται από τρία κύρια στοιχεία: μια θερμή πηγή, έναν ταμιευτήρα (reservoir) και τα ρευστά που είναι μέσα του, τα οποία περιέχουν και μεταφέρουν θερμότητα. Τις περισσότερες φορές είναι απαραίτητη και η παρουσία ενός καλύμματος, με πετρώματα αδιαπέραστα ή με πολύ χαμηλή διαπερατότητα, τα οποία υπέρκεινται του ταμιευτήρα και αποτρέπουν τη διαφυγή των θερμών ρευστών του ταμιευτήρα με γρήγορη μεταφορά προς την επιφάνεια. Τα γεωθερμικά ρευστά είναι συνήθως νερό, στις περισσότερες περιπτώσεις μετεωρικής προέλευσης, το οποίο, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον ταμιευτήρα, βρίσκεται σε υγρή ή αέρια κατάσταση. Συχνά το ρευστό είναι εμπλουτισμένο σε χημικά στοιχεία και αέρια, όπως CO₂, H₂S, κλπ. Πάντως, η απώλεια θερμότητας με αγωγή δεν αποτρέπεται από το αδιαπέραστο κάλυμμα. Εντούτοις η ποσότητα θερμότητας που άγεται είναι πολύ μικρότερη από αυτήν που θα χάνονταν μέσω διαφυγής του ρευστού.

Ο ταμιευτήρας σχηματίζεται από θερμά υδροπερατά πετρώματα, από τα οποία η θερμότητα μπορεί να αποσπασθεί μέσω των ρευστών που κυκλοφορούν. Σε πολλές, αλλά όχι σε όλες τις περιπτώσεις, ο ταμιευτήρας συνδέεται με κάποια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, που ανανεώνει το σύνολο ή μέρος των ρευστών.



Εικόνα 8. Παρουσιάζεται ένα ιδανικό γεωθερμικό σύστημα με την θερμή πηγή που είναι ο πυρήνας της γης ο οποίος μεταφέρει θερμότητα μέσω του μάγματος (Το **μάγμα** είναι φυσικό διάλυτο τμήμα πετρωμάτων που βρίσκεται στα έγκατα της Γης.), με αποτέλεσμα τα θερμά ρευστά που υπάρχουν σε μια αποθήκη στο εσωτερικό της γης να θερμαίνονται βρίσκοντας διαφυγή στον εξωτερικό φλοιό της γης. Τη θερμότητα αυτή εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος με την εφαρμογή διαφόρων γεωθερμικών συστημάτων για την κάλυψη των αναγκών του.

Η Ελλάδα διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό επιβεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας που είναι διεσπαρμένα σε ολόκληρη σχεδόν τη χώρα, αλλά και αρκετές περιοχές με γεωθερμικό ενδιαφέρον, οι οποίες όμως δεν έχουν ακόμα διερευνηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Το βεβαιωμένο δυναμικό ανέρχεται σε 300 MW θερμικής ενέργειας (MWth), ενώ το πιθανό στα 700MWth. Για την ανάπτυξη των εφαρμογών της γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα μας ισχύει ο νόμος 1475/84, όπως τροποποιήθηκε με το Άρθρο 8 του Νόμου 2244/94. Σύμφωνα με αυτόν, το δικαίωμα χρήσης των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας ανήκει στο δημόσιο και μπορεί, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, να εκχωρηθεί σε ιδιώτες.

Οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης μπορούν να εκμεταλλεύονται τα γεωθερμικά πεδία είτε εγκαθιστώντας εφαρμογές για ίδια χρήση, είτε πουλώντας την παραγόμενη ενέργεια σε ιδιώτες. Σήμερα, οι εφαρμογές της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα περιορίζονται στη θέρμανση θερμοκηπίων, αν και κατά καιρούς έχουν γίνει πιλοτικές εφαρμογές υδατοκαλλιεργειών και ξήρανσης βαμβακιού.

Γεωθερμικά πεδία υψηλής και μέσης ενθαλπίας έχουν εντοπισθεί στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου και, ειδικότερα, στα νησιωτικά συμπλέγματα της Μήλου, Σαντορίνης και Νίσυρου. Από τις έρευνες προέκυψε ότι το συνολικό γεωθερμικό δυναμικό είναι της τάξεως των 180 Wth (120 Wth στη Μήλο και 60 Wth στη Νίσυρο). Γεωθερμικά πεδία αυτού του είδους εντοπίζονται, πέραν του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου, και στη νήσο Λέσβο, όπου, μέχρι σήμερα, έχει επιβεβαιωθεί η ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών μέσης ενθαλπίας στην περιοχή της Αργέννου.

Η ΔΕΗ εγκατέστησε το 1985 μια πειραματική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ισχύος 2 MW, για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας υψηλής ενθαλπίας της Μήλου, η οποία λειτούργησε για κάποιο διάστημα, μέχρι το 1989. Η εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από ιδιώτες μπορεί να γίνει μόνο μετά από σχετική άδεια από το κράτος. Επιπλέον, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει υποχρεωτικά να πωλείται στη ΔΕΗ, σε τιμές που καθορίζονται από την εταιρεία.



Εικόνα 9. Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα από το Ινστιτούτο γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών:

Γεωθερμικά μέση ενθαλπίας(90-150⁰C) κυρίως όπως Αρίστινο, Αργεννό, Ακροποταμός, Ερατινό κ.α. Υψηλής κυρίως(T≥ 150⁰C) σε Μήλο,Νίσηρο. Οι περισσότερες περιοχές είναι χαμηλής ενθαλπίας (25-90⁰C). Οι περισσότερες περιοχές είναι χαμηλής ενθαλπίας (25-90⁰C)

4) Ταξινόμηση των Γεωθερμικών Συστημάτων

Το πιο συνηθισμένο κριτήριο για την ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων βασίζεται στην ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών. Με βάση την ενθαλπία, τα γεωθερμικά πεδία χαρακτηρίζονται ως υψηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας. Λαμβάνοντας υπόψη διάφορα όρια θερμοκρασίας υπάρχουν διάφορες ταξινομήσεις.

Η Ενθαλπία: είναι το θερμοδυναμικό μέγεθος που αντιπροσωπεύει το ολικό ποσό θερμότητας που περιέχει ένα θερμοδυναμικό σύστημα. Ειδικότερα αποτελεί το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας ενός σώματος και του γινομένου της εξωτερικής πίεσης επί του όγκου που καταλαμβάνει μια ουσία. Το γινόμενο εκφράζει την ενέργεια που απαιτείται για να εκτοπίσει το σώμα το περιβάλλον του και να καταλάβει τη θέση στην οποία βρίσκεται.

Ανάλογα με τη θερμοκρασία του υπεδάφους ή του ρευστού διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων:

- Υψηλής ενθαλπίας: Όταν η θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών ξεπερνά τους 150°C . Τα ρευστά αυτά αποτελούνται στις περισσότερες περιπτώσεις από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μέσης ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ $90-150^{\circ}\text{C}$ που χρησιμοποιούνται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές για την παραγωγή ηλεκτρισμού. (π.χ με φρέον που έχει πολύ χαμηλό σημείο ζέσεως).
- Χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ $25-90^{\circ}\text{C}$. Χρησιμοποιείται για τη θέρμανση χώρων, για τη θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

Ανάλογα με τη θερμοκρασία του υπεδάφους ή του ρευστού, διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι γεωθερμίας:

- Πολύ Χαμηλής Ενθαλπίας (Κανονική, Ομαλή ή Αβαθής) με θερμοκρασίες αντίστοιχες των μέσων ετήσιων αέρα του περιβάλλοντος (μικρότερες των 25°C). Που χρησιμοποιούνται κυρίως για τη θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού.
- Παρά πολύ χαμηλή Ενθαλπίας με θερμοκρασίες μικρότερες των 0°C (Αρνητική ή Permafrost).

Πίνακας γ. Ταξινόμηση γεωθερμικών πεδίων με βάση την ενθαλπία.

Γεωθερμικά Πεδία	Πεδία Χαμηλής Ενθαλπίας	Πεδία Μέσης ενθαλπίας	Πεδία Υψηλής ενθαλπίας
Κατά Muffer & Cataldi, 1978	$<90^{\circ}\text{C}$	$90-150^{\circ}\text{C}$	$<150^{\circ}\text{C}$
Κατά Hochstein, 1990	$<125^{\circ}\text{C}$	$125-225^{\circ}\text{C}$	$<225^{\circ}\text{C}$
Κατά Benderitter & Corny, 1990	$<100^{\circ}\text{C}$	$100-200^{\circ}\text{C}$	$100-200^{\circ}\text{C}$
Κατά Haenel, Rybach & Stegena, 1988	$<150^{\circ}\text{C}$	-	$<150^{\circ}\text{C}$

Επεκτείνοντας την ευρύτερη έννοια της γεωθερμίας, αναφέρεται και η εκμετάλλευση την ενέργειας που συσσωρεύεται σε μικρά βάθη του φλοιού της γης (σχεδόν επιφανειακά) και ονομάζεται ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ. Με αυτόν τον όρο χαρακτηρίζεται η ενέργεια των γεωλογικών σχηματισμών και των ρευστών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό. Σε γενικές γραμμές, ο όρος προσδιορίζει θερμοκρασίες γεωλογικών σχηματισμών, υπογείων και επιφανειακών ρευστών **μικρότερες από 25^oC**.

Χαρακτηριστικό πλεονέκτημα της αβαθούς γεωθερμίας είναι η σταθερότητα της θερμοκρασίας του εδάφους καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, ανεξαρτήτως από τις κλιματολογικές μεταβολές. **Η αβαθής γεωθερμία βρίσκεται σε βάθος μέχρι 100 έως 150 μέτρων** εφαρμόζεται στην ελληνική επικράτεια, σε περιοχές όπου δε χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό, και μπορεί να αξιοποιηθεί για τη θέρμανση και ψύξη/δροσισμό κτιρίων. Σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων διακρίνονται πέντε κατηγορίες γεωθερμικών συστημάτων:

α. Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι: Είναι τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά που βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, που θερμαίνονται από μια εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Τα συστήματα αυτά συχνά ταυτίζονται με το σύνολο σχεδόν των γεωθερμικών πεδίων, αφού σήμερα ουσιαστικά είναι τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται.

β. Αβαθής γεωθερμία: Με την αβαθή γεωθερμία λαμβάνονται (ή και απορρίπτονται) ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100m από την επιφάνεια της γης ή με τη κυκλοφορία υπογείων νερών ή νερών από λίμνες, ποτάμια και η θάλασσα. Αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας.

γ. Τα προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα: Αναφέρονται στα θερμά πετρώματα σε βάθος από 2 μέχρι 10km, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που διοχετεύεται από την επιφάνεια, μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων, και ανακτάται αρκετά θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων.

δ. Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα (Geopressured systems): Αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και η πίεση τους υπερβαίνει την υδροστατική.

ε. Τα μαγματικά συστήματα (magma systems): Αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη.

5) Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας

Συνολικά οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολλαπλές και άμεσα εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή τη θερμοκρασία του υπεδάφους. Η Ελλάδα, χάρη στις γεωλογικές συνθήκες οι οποίες επικρατούν, κατέχει ένα αξιόλογο δυναμικό στη γεωθερμική ενέργεια. Παρά το γεγονός ότι οι γεωθερμικές πηγές στον ελληνικό χώρο είναι καλά μελετημένες, εντούτοις μόνο η άμεση χρήση της, όπως επί παραδείγματι σε θερμοκήπια, έχει μέχρι στιγμής αξιοποιηθεί. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν επίσης επαρκής γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σήμερα, οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας στην Ελλάδα επικεντρώνονται κυρίως στην θέρμανση των θερμοκηπίων, στην ιχθυοτροφία, στην καλλιέργεια σπιρουλίνας καθώς και στην αποξήρανση λαχανικών και φρούτων.

Προς το παρόν δεν παράγεται στην Ελλάδα ηλεκτρική ενέργεια παρά την ύπαρξη πολλών γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας στο ηφαιστειακό ενεργό τόξο του Αιγαίου πελάγους. Επιπλέον σε ορισμένες άλλες περιοχές (όπως Λέσβος, η Χίος και η Σαμοθράκη) είναι δυνατό να εγκαταστηθούν μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού μέσω δυαδικού κύκλου Organic Rankine Cycle (ORC).

Πίνακας δ. Η κατανομή χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Χρήση	Εγκατεστημένη ισχύς (MWth)
Άμεση θέρμανση χώρων	1,5
Θέρμανση θερμοκηπίων-εδάφους	35
Ξήρανση αγροτικών προϊόντων	0,3
Υδατοκαλλιέργειες	9,5
Ιαματικά λουτρά	39
Υποσύνολο	85
Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	90
Σύνολο	175

Η αύξηση χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας σε σχέση με το 2004 είναι 135%. Η αύξηση αυτή οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στην ανάπτυξη εφαρμογών γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Παρόλα αυτά, η ανάπτυξη αβαθούς γεωθερμίας στην Ελλάδα δεν μπορεί να συγκριθεί με αυτή της υπόλοιπης Ευρώπης, όπου πλέον οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι μια ευρέως δοκιμασμένη τεχνολογία, καταλαμβάνοντας συνεχώς και μεγαλύτερα κομμάτια της αγοράς θέρμανσης/ψύξης. Για παράδειγμα η εγκατεστημένη ισχύς σε Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στη Σουηδία είναι πάνω από 4000MW,στη Γερμανία πάνω από 2000MW και στην Ελβετία πάνω από 1000MW,όταν η χώρα μας είναι μόλις 90MW.

Οι δυνατότητες λοιπόν που προσφέρει η τεχνολογική εξέλιξη και η ραγδαία άνοδος των τιμών των συμβατικών καυσίμων, καθιστούν τη διεϊσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, και πιο συγκεκριμένα της γεωθερμίας, μια εφικτή και εναλλακτική λύση, ειδικά έναντι των συμβατικών τρόπων θέρμανσης σε αγροτικό, οικιακό, βιομηχανικό, δημόσιο και ιδιωτικό τομέα.

6) ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Συστήματος θέρμανσης-ψύξης Αβαθούς Γεωθερμίας

Η αβαθής γεωθερμία χρησιμοποιεί την αρχή της σταθερότητας της θερμοκρασίας της γης καθ'όλη τη διάρκεια του έτους, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες, για να ρυθμίσει την εσωτερική θερμοκρασία των χώρων ενός κτιρίου. Όπως προαναφέρθηκε, η θερμοκρασία του υπεδάφους στην Ελλάδα, σε μερικά μέτρα βάθος παραμένει σταθερή, από 14-20 °C .Το <<καύσιμο>> λοιπόν στην αβαθή γεωθερμία προσφέρεται δωρεάν από τη γη, όπως και στην ηλιακή ενέργεια, ενώ το κόστος περιορίζεται στην εγκατάσταση και λειτουργία του γεωθερμικού συστήματος.

Η αξιοποίηση της θερμότητας του υπεδάφους γίνεται με συνδυασμό υδρόψυκτων αντλιών θερμότητας και του γεωεναλλάκτη θερμότητας εδάφους. Αναλυτικότερα, ένα πλήρες σύστημα αβαθούς γεωθερμίας που τροφοδοτεί μια εγκατάσταση θέρμανσης-ψύξης/δροσισμού αποτελείται εν γένει από τα παρακάτω τμήματα.

6.1) Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος

Ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας ανεξάρτητα από το είδος της εφαρμογής, αποτελείται συνήθως από τέσσερα τυπικά υποσυστήματα:

1. Τη γεωθερμική αντλία θερμότητας νερού-νερού, που με την βοήθεια των δύο εναλλακτών της, προσάγει ζεστό ή κρύο νερό στην εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης-ψύξης/δροσισμού (ενδοδαπέδια, μονάδες fan coil, σώματα χαμηλών θερμοκρασιών κ.α).
2. Το γεωθερμικό εναλλάκτη (γεωεναλλάκτη), που βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο (κλειστό ή ανοιχτό κύκλωμα δικτύου σωληνώσεων) αξιοποιώντας τη σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους για να δεσμεύσει θερμότητα μέσω του διαλύματος νερού-γλυκόλης που κυκλοφορεί στους σωλήνες.
3. Την εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης-ψύξης/δροσισμού του κτιρίου. Το σύστημα που προσδίδει ή απορροφά θερμότητα από το σπίτι. Οι Αντλίες Θερμότητας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα κοινά σώματα των καλοριφέρ, καθώς αυτά απαιτούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες νερού, αλλά μόνο με Fan Coils (Σώματα Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας αέρα) ή με Ενδοδαπέδια.

Η Ενδοδαπέδια Θέρμανση είναι και η πιο ενδεδειγμένη καθώς εξασφαλίζει τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης και επιτρέπει και την εκμετάλλευση άλλων ήπιων συστημάτων όπως οι ηλιακοί συλλέκτες. Επιπλέον είναι ιδανική για χώρους με μεγάλο ύψος καθώς αποτρέπει την θερμική διαστρωμάτωση του αέρα.

6.1.α) Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) - Λειτουργία

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

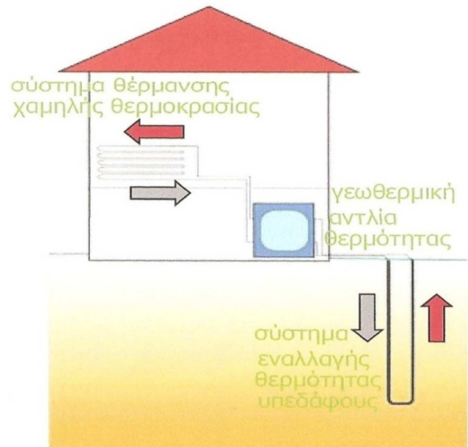
Η διαδικασία μεταφοράς θερμικού φορτίου από το κτίριο προς το υπέδαφος και αντιστρόφως, γίνεται διά μέσου μίας συσκευής που ονομάζεται γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ). Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι μηχανήματα που κατευθύνουν τη θερμότητα αντίθετα από τη διεύθυνση που θα ακολουθούσε με φυσικό τρόπο, δηλαδή την εξαναγκάζουν να κατευθυνθεί από ένα ψυχρό μέσο σε ένα άλλο θερμότερο.. Κάθε ψυκτική συσκευή παίρνει θερμότητα από έναν χώρο που πρέπει να παραμείνει σε χαμηλή Η μόνη διαφορά της αντλίας θερμότητας από μια ψυκτική μονάδα εντοπίζεται στην αντιστρέψιμη λειτουργία των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, δηλαδή στην ικανότητα του να παρέχουν τόσο ψύξη όσο και θέρμανση στο χώρο.θερμοκρασία και την απελευθερώνει σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Μια αντλία θερμότητας εκτελεί πάντα ψυκτικό κύκλο και ποτέ θερμικό γιατί τέτοιος κύκλος δεν υφίσταται. Συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι η αντλία θερμότητας ‘αντιστρέφει’ η ‘αναστρέφει’ τον κύκλο του ψυκτικού ρευστού και ανάλογα με την περίπτωση ακολουθεί ‘ ψυκτικό κύκλο’ το καλοκαίρι ή ‘θερμαντικό’ τον χειμώνα.

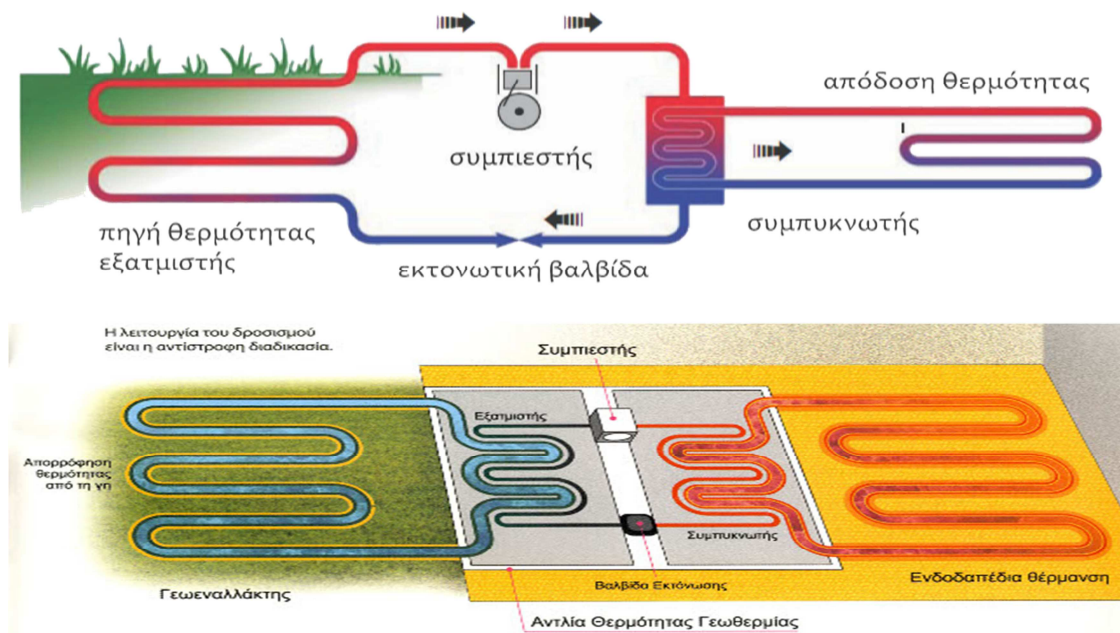
Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το μίγμα νερού γλυκόλης που κυκλοφορεί στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη απορροφά ενέργεια από το έδαφος, που οδηγείται στον εξατμιστή της ΓΑΘ, ο οποίος τη δεσμεύει. Μέσω του εξατμιστή μεταδίδεται θερμότητα στο ψυκτικό μέσω της αντλίας (τύπου R-410A, φιλικό προς το περιβάλλον) το οποίο μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Το ψυκτικό μέσο το, οποίο κινείται σε ένα κλειστό κύκλωμα, από το συμπιεστή και συμπιέζεται, ώστε να αυξηθεί η πίεση και η θερμοκρασία του. Έπειτα, οδηγείται στο συμπυκνωτή όπου αποβάλλει όλη τη θερμότητα που έχει

αποθηκεύσει στο νερό του κυκλώματος της εσωτερικής εγκατάστασης. Το ψυκτικό μέσο μεταφέρεται στη βαλβίδα εκτόνωσης και εκτονώνεται, ώστε να επιστρέψει στον εξατμιστή και να επαναλάβει τη διαδικασία.

Χειμώνας – θέρμανση



Εικόνα 10. Λειτουργίας αντλίας θερμότητας το χειμώνα

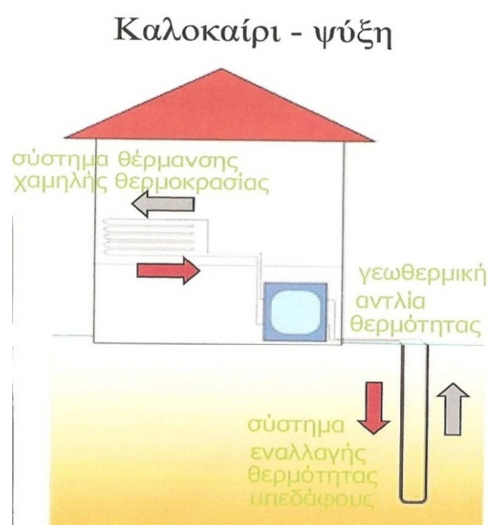


Εικόνες 11. Λειτουργίας αντλίας θερμότητας

Η διαδικασία αυτή μπορεί να αντιστραφεί το καλοκαίρι, οπότε οι ΓΑΘ παράγουν θερμότητα από το κτίριο ή αλλιώς παρέχουν ψύξη/δροσισμό σε αυτό και τη διοχετεύουν στο υπέδαφος μέσω του γεωεναλλάκτη. Ο ψυκτικός κύκλος περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με αυτόν της για την θέρμανσης. Μόνο που στην περίπτωση αυτή ο εξατμιστής εργάζεται σαν συμπυκνωτής και ο συμπυκνωτής σαν εξατμιστής.

Το καλοκαίρι ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυχόμενο χώρο και τον ψύχει, ενώ τον χειμώνα ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος στο περιβάλλον και το ψύχει, και εφόσον αντλεί θερμότητα από αυτό. Αντί λοιπόν να μεταφέρονται οι συσκευές ατμοποιητής –συμπυκνωτής από τον χώρο στο περιβάλλον, η ΑΘ με τη χρήση τετράοδης βαλβίδας αντιστρέφει την ροή του ψυκτικού μέσου διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται κανονικά η προσφορά μηχανικού έργου, για την συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου.

Την μελέτη του κύκλου για ψύξη την ξεκινάμε από τη στιγμή που το μίγμα νερού γλυκόλης ως θερμότερο έχει λάβει τη θερμότητα του κτιρίου και οδηγείται στον γεωεναλλάκτη για να αποβάλει τη θερμότητα του στο περιβάλλον. Στη συνέχεια ως πιο ψυχρό οδηγείται στο συμπυκνωτή για να λάβει τα ποσά θερμότητας του χώρου οπότε μειώνει τη θερμότητα του ψυκτικού μέσου που οδηγείται στη βαλβίδα εκτόνωσης για να παγώσει σε υγρή μορφή και στη συνέχεια οδηγείται στον εξατμιστή για να μετατραπεί σε αέριο το οποίο οδηγείται μέσω της τρίοδης στο συμπιεστή να αυξήσει τη πίεση και τη θερμοκρασία του και να επαναλάβει τη διαδικασία.



Εικόνα 12. λειτουργίας αντλίας θερμότητας το καλοκαίρι

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας παράγουν θερμοκρασίες της τάξης των 5 έως 60 °C . Είναι ειδικά σχεδιασμένες για εφαρμογές ενδοδαπέδιας θέρμανσης, αποδίδοντας τις προαπαιτούμενες θερμοκρασίες των 35 έως 48 °C ,και ψύξης ή δροσισμού (7 έως 18 °C) εξασφαλίζοντας υψηλό βαθμό απόδοσης (COP έως 6,5) με τη χαμηλότερη κατανάλωση. Για κάθε κιλοβάτ ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται από το συμπιεστή, παράγονται περίπου 6,5KW θερμότητας ανάλογα με τη διαμόρφωση της εγκατάστασης. Με τον τρόπο αυτό εξοικονομείται πάνω από 70% στους λογαριασμούς θέρμανσης σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα και σε συνδυασμό με το χαμηλότερο κόστος συντήρησης και καθαρισμού.

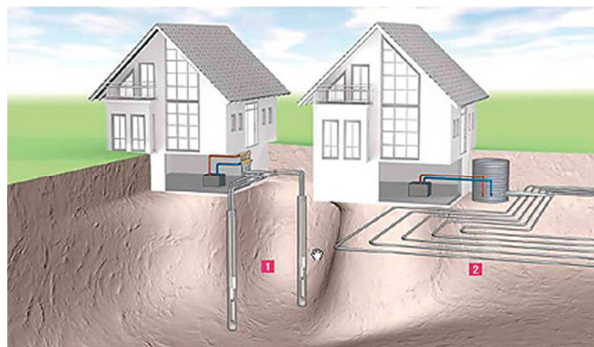
Με τη χρήση ΓΑΘ δεν χρειάζεται λέβητας. Η αντλία θερμότητας επαρκεί από μόνη της για να διαθέσει αρκετή ενέργεια θέρμανσης, ακόμα και σε δυνατό ψύχος. Παράλληλα, δύνανται να παρέχουν ζεστό νερό χρήσης ανά πάσα στιγμή (χειμώνα- καλοκαίρι, μέρα- νύχτα).Επίσης είναι κατάλληλη για σύστημα γεωθερμίας που ζητείται θέρμανση πισίνας, χρησιμοποιώντας έναν ξεχωριστό ανοξείδωτο εναλλάκτη πισίνας.

6.2) Κατηγοριοποίηση Συστημάτων Αβαθούς Γεωθερμίας

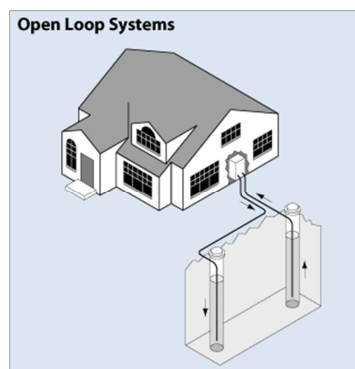
Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες εγκατάστασης γεωθερμικών συστημάτων, τα συστήματα κλειστού βρόγχου (closed loop systems) ή αλλιώς κλειστά συστήματα, και τα συστήματα ανοιχτού βρόγχου (open loop systems) ή αλλιώς ανοιχτά συστήματα.

Στα κλειστά συστήματα, σωλήνες πολυαιθυλενίου τοποθετούνται στο έδαφος, δημιουργώντας ένα κλειστό κύκλωμα μέσα στο οποίο διέρχεται μίγμα νερού και γλυκόλης. Με τον τρόπο αυτό, το σύστημα ανταλλάσσει ενέργεια με το έδαφος. Όταν οι σωληνώσεις τοποθετούνται οριζόντια στο έδαφος σε στρώσεις, αναφερόμαστε στο κλειστό οριζόντιο σύστημα, ενώ όταν τοποθετούνται κατακόρυφα στο έδαφος σε γεωτρήσεις, αναφερόμαστε σε κλειστό κατακόρυφο σύστημα.

Στα ανοιχτά συστήματα το νερό αντλείται είτε από επιφανειακή πηγή (θάλασσα, λίμνη, ποτάμι) είτε από υπόγειο υδροφόρο οριζόντια (μέσω γεώτρησης ή πηγαδιού) το οποίο αντλείται με υποβρύχια αντλίες ή αντλίες αναρρόφησης και λειτουργεί ως πηγή θερμότητας. Μεταξύ της αντλίας θερμότητας και της υδρογεώτρησης παρεμβάλλεται ένας μεταλλικός εναλλάκτης, ο οποίος μεταφέρει την ενέργεια του αντλούμενου νερού στο σύστημα με σκοπό τον καλύτερο έλεγχο του συστήματος αλλά και την προστασία της αντλίας θερμότητας από πιθανές βλάβες (οξειδώσεις, αποφράξεις από κατακρήση αλάτων και μικροσωματιδίων κ.α). Αφού αποδώσει την ενέργεια του στο σύστημα, το νερό επιστρέφει στην πηγή από όπου αντλήθηκε.



Εικόνα 13. 1.Κατακόρυφο σύστημα 2.Οριζόντιο σύστημα



Εικόνα 14. Σχηματική απεικόνιση κατακόρυφης γεωθερμίας ανοιχτού κυκλώματος.

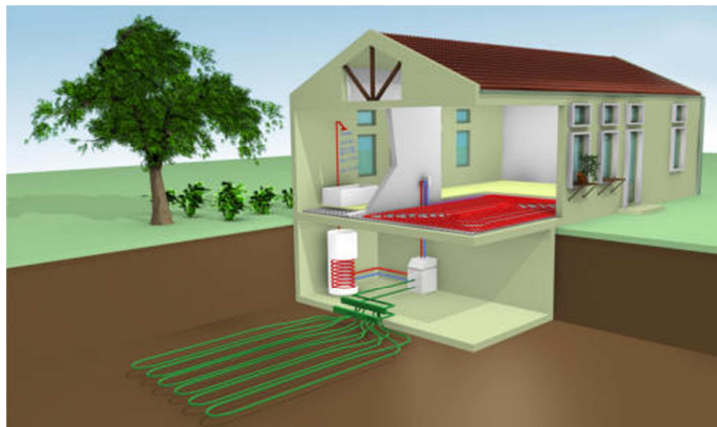
Σύμφωνα με τα παραπάνω μας ενδιαφέρει να προσέξουμε στον γεωεναλλάκτη ανοιχτού βρόγχου τα εξής: Ελέγχονται οι ιδιότητες του νερού (σκληρότητα, οξύτητα, περιεκτικότητα σιδήρου και αλάτων), ώστε να εξασφαλιστεί η ποιότητα του. Οι αναλύσεις θα καθορίσουν τα υλικά τα οποία θα πρέπει να είναι κατασκευασμένοι οι εναλλάκτες και τα λοιπά μέρη του συστήματος.

Η υποβρύχια αντλία που χρησιμοποιείται να είναι ανθεκτική στη διάβρωση. Η Συστοιχία φίλτρων πρέπει να τοποθετηθούν στην προσαγωγή των υδάτων στην αντλία θερμότητας (ο τύπος του φίλτρου εξαρτάται από την σύσταση του αντλούμενου νερού.) Θα πρέπει να υπάρχει η απαιτούμενη σταθερή παροχή νερού και να καλύπτει την ονομαστική ροή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας καθ'όλη την διάρκεια του χρόνου. Συνεπώς θα πρέπει να γίνει προσδιορισμός της ποσότητας του νερού με δοκιμαστική άντληση. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις συνέπειες από την εκτεταμένη άντληση στην γύρω περιοχή, ειδικά στην περίπτωση που πραγματοποιείται σε παραθαλάσσια περιοχή (υφαλμύρωση).

Η απόσταση των γεωτρήσεων πρέπει να είναι τουλάχιστον **10m** και το δεύτερο πηγάδι να βρίσκεται στην κατεύθυνση ροής των υπόγειων υδάτων. Το κανώτερο άκρο του σωλήνα στη γεώτρηση επανεισαγωγής πρέπει να επεκτείνεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του νερού όταν αυτό βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Αυτό το κάνουμε για να αποφύγουμε να αντλήσει ο βάτραχος νερό ίδια θερμοκρασίας με αυτό της προσαγωγής. Οι σωλήνες που μεταφέρουν υπόγεια ύδατα πρέπει να τοποθετούνται στο απαιτούμενο βάθος για την αποφυγή του παγώματος τους ή να μονώνονται.

Η θερμοκρασία του νερού να είναι τουλάχιστον **10^oC**. Να τηρούνται οι απαραίτητες προδιαγραφές/κανονισμοί (για την εφαρμογή απαιτείται άδεια). Ανάλογα με την σύνθεση του νερού, το φαινόμενο της διάβρωσης των μεταλλικών εξαρτημάτων της εφαρμογής ποικίλει, οπότε θα πρέπει να εξετάζεται σύμφωνα με το DIN 50930. Η λειτουργία του εν λόγω συστήματος απαιτεί τη χρήση υποβρύχιας ή άλλης αντλίας νερού, η οποία καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια. Το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του συστήματος είναι άμεσα συσχετισμένο με το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα αλλά και εξαρτάται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του αντλούμενου νερού. Τέλος σε μεγάλα συστήματα πιθανόν να ζητηθεί ανάλυση όλων των κύριων συστατικών του νερού και γενικές παράμετροι του (θερμοκρασία, Ph, περιεκτικότητα O₂, αγωγιμότητα, πιθανότητα οξειδοαναγωγής, ασβέστιο, μαγνήσιο κ.α).

6.2.α) Οριζόντιο σύστημα



Εικόνα 15. Σχηματική απεικόνιση οριζόντιας γεωθερμίας

. Εγκαθιστούμε στον εξωτερικό χώρο της κατοικίας, ένα οριζόντιο κλειστό κύκλωμα σωληνώσεων **PE** ειδικού τύπου για γεωθερμικές εφαρμογές, στο οποίο κυκλοφορεί ένα μίγμα νερού γλυκόλης. Αυτός ο εξωτερικός γεωεναλλάκτης τοποθετείται σε μικρό Βάθος (**1,20 έως 1,5m**) όπου δεν υπάρχουν θερμοκρασιακές εναλλαγές λόγω καιρικών συνθηκών, και καλύπτει μια επιφάνεια διπλάσια περίπου από την επιφάνεια που θέλουμε να θερμάνουμε.

Στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου εγκαθίσταται δίκτυο σωληνώσεων σε βάθος **1.20-1,50m**. Η εγκατάσταση των σωληνώσεων μπορεί να γίνει σε διάφορες διατάξεις ανάλογα και με τον διαθέσιμο χώρο, το ανάγλυφο και τη δομή του εδάφους:

- Ανοίγοντας τάφρους του απαιτούμενου βάθους και μήκους.
- Με τη διάνοιξη όλου του χώρου που θα αποτελέσει τον γεωεναλλάκτη

Γίνεται στήριξη εξωτερικών συλλεκτών **PP-R (πολυπροπυλένιο)**, παροχών ανάλογων της επιφάνειας του γεωεναλλάκτη. Εγκαθίστανται τα κυκλώματα του γεωεναλλάκτη, από σωλήνα πολυαιθυλενίου. Χαρακτηριστικό του σωλήνα ο αυξημένος χρόνος αντοχής σε δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας υψηλός συντελεστής **θερμικής αγωγιμότητας των σωλήνων**. Οι αποστάσεις μεταξύ των σωληνώσεων είναι τουλάχιστον **0,4m**. Γίνεται η πλήρωση των κυκλωμάτων με μίγμα νερού γλυκόλης, με τη βοήθεια ηλεκτρικής αντλίας από τη βαλβίδα πλήρωσης του συλλέκτη. Η σύνδεση των συλλεκτών με την αντλία γεωθερμίας γίνεται με σωλήνες PPR. Η διατομή των σωληνώσεων, το μήκος των σωληνώσεων καθώς και η αναλογία του μίγματος νερού γλυκόλης ορίζεται από τον τύπο της αντλίας και από τη μελέτη. Οι συλλέκτες φέρνουν εξαεριστικά και οι προσαγωγές και οι επιστροφές πρέπει να μονωθούν. Οι συλλέκτες επίσης τοποθετούνται σε μικρότερο βάθος από το γεωεναλλάκτη για τη καλύτερη εξαέρωση του δικτύου και για να αποφύγουμε το κίνδυνο διαρροής μίγματος νερού- γλυκόλης. Κατασκευάζονται φρεάτια για πρόσβαση στους συλλέκτες. Στο τέλος το δίκτυο δοκιμάζεται υπό πίεση.



Εικόνες 16. Συλλέκτες προπυλενίου (PP-R) προσαγωγής και επιστροφής υγρού συνδεμένες με σωλήνες πολυαιθυλενίου (PE) οριζόντιας γεωθερμίας.



Εικόνες 17. Διατάξεις Σωληνώσεων πολυαιθυλενίου οριζόντιας γεωθερμίας.

Αυτά που πρέπει να προσέξουμε στην οριζόντια γεωθερμία είναι:

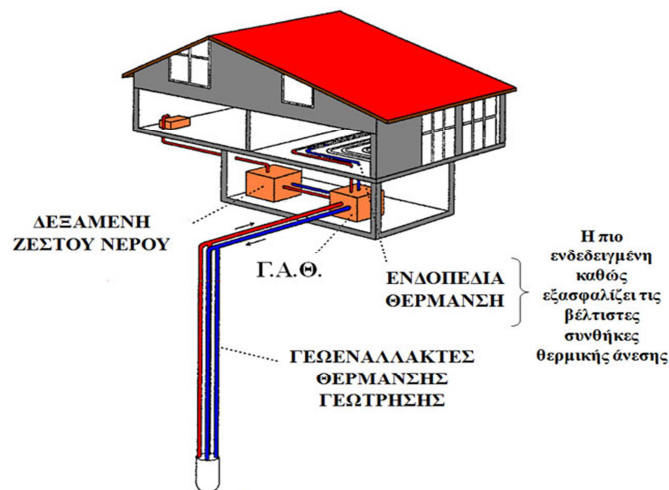
- Τις αποστάσεις μεταξύ των σωληνώσεων.
- Τη μόνωση των σωληνώσεων κοντά στο συλλέκτη.
- Την απόσταση του γεωεναλλάκτη από το κεντρικό δίκτυο ύδρευσης και αποχέτευσης της κατοικίας **(τουλάχιστον 1m)**
- Τις ισομήκεις αποστάσεις των σωληνώσεων προσαγωγής και επιστροφής από το συλλέκτη του γεωεναλλάκτη προς την αντλία θερμότητας.
- Για προστασία των σωληνώσεων, οι σωλήνες θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε στρώμα άμμου.
- Τη θέση του συλλέκτη, κεντρικά του γεωεναλλάκτη.
- Την σωστή ανάμιξη νερού-γλυκόλης. Η προσθήκη γλυκόλης πραγματοποιείται αφού πρώτα δοκιμαστεί το σύστημα σε λειτουργία με καθαρό νερό. Η γλυκόλη προστίθεται μόνο εάν κριθεί απαραίτητο για την άρτια λειτουργία του συστήματος.
- Τον τύπο της γλυκόλης που θα χρησιμοποιήσουμε όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω **πίνακα ε.**:

πίνακα ε. Τύπο της γλυκόλης			
Όνομα	Συνώνυμο	Χημικός Τύπος	Σχόλια
Ethanediol	Αιθυλενογλυκόλη	C ₂ H ₆ O ₂	
1.2-Propanediol	Προπυλενογλυκόλη	C ₃ H ₈ O ₂	
Άλλα ψυκτικά υγρά			
Χλωριούχο ασβέστιο		CaCl ₂	Διαβρωτικό
Αιθανόλη	Αιθυλική αλκοόλη	C ₂ H ₅ OH	

- Την πλήρωση και εξαέρωση του δικτύου.
- Η πυκνότητα, η υγρασία καθώς και η σύσταση του εδάφους είναι σημαντικά στοιχεία για τη σχεδίαση του βρόγχου.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του εδάφους. Συνεπώς, καλό θα ήταν μετά τη κάλυψη των σωληνώσεων, το έδαφος να πακτωθεί, με μεγάλη προσοχή, ώστε να μην προκληθούν βλάβες στις σωληνώσεις.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η υγρασία του εδάφους, τόσο καλύτερα γίνεται η μεταφορά θερμότητας. Προτείνεται η έκταση κάτω από την οποία έχει τοποθετηθεί ο γεωεναλλάκτης να φυτευτεί με φυτά μικρού ριζικού συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται:
 1. Διατήρηση της υγρασίας του εδάφους
 2. Πάκτωση του εδαφικού υλικού μέσω του ριζικού συστήματος των φυτών.
 3. Καλύτερη διατήρηση της θερμοκρασίας του εδάφους.
 4. Σύμφωνα με μετρήσεις η φύτευση μπορεί να βελτιώσει την συμπεριφορά του εδάφους ως και **5.30%**. Δεν πρέπει σε καμιά περίπτωση όμως να τοποθετηθούν φυτά σε μεγάλο ριζικό σύστημα, διότι μπορεί να προκαλέσουν φθορές στο σύστημα σωληνώσεων.
 6. Δενδροφύτευση επιτρέπεται περιμετρικά του γεωεναλλάκτη.
 7. Η επιφάνεια του γεωεναλλάκτη δεν πρέπει να είναι στεγανή ή να οικοδομηθεί.

6.2.β) Κατακόρυφο Σύστημα

Ζεύγη σωληνώσεων τύπου U τοποθετούνται μέσα σε γεωτρήσεις βάθους. Οι γεωτρήσεις εν συνέχεια πληρώνονται με ειδικό θερμοαγωγίμο μίγμα με σκοπό τη μέγιστη μετάδοση ενέργειας από τα πετρώματα στο σύστημα και αντίστροφα. Για να πραγματοποιηθεί αυτό πραγματοποιούνται γεωτρήσεις βάθους **60-120m**. Είτε στον περιβάλλοντα χώρο υπάρχοντος κτιρίου, σε απόσταση ασφαλείας 2m από το κτίριο, είτε πριν τα θεμέλια, σε νεόδμητο κτίριο.



Εικόνα 18. Κατακόρυφο σύστημα.

Η απόδοση του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη επηρεάζεται κυρίως από:

- Τη σύσταση των πετρωμάτων και συνεπώς από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά.
- Το πορώδες και το ρωγμώδες των σχηματισμών.
- Τη θερμοκρασία του υπεδάφους.
- Τη υγρασία του υπεδάφους.
- Τη σύσταση και σωστή εφαρμογή του θερμοαγωγίμου μίγματος.

Σε κάθε γεώτρηση τοποθετούνται **2 ζεύγη σωληνώσεων** μήκους αντίστοιχου της γεώτρησης, που φέρουν στο κάτω άκρο τους ακροσωλήνιο. Χρησιμοποιούνται σωλήνες πολυαιθυλενίου, εξαρτήματα ίδιου υλικού, που συνδέονται με αυτογενή συγκόλληση.

Ανάλογα με τη κατάσταση της γεώτρησης, μετά το τέλος της διάτρησης, αποφασίζεται ο τρόπος με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η τοποθέτηση των σωληνώσεων σε αυτή (κενές, πληρωμένες με νερό, με προσάρτηση εξοπλισμού πίεσης κ.α). Ανά **10m** τοποθετείται αποστάτης, ο οποίος διασφαλίζει την παραλληλότητα των σωλήνων και της ασφαλέστερη τοποθέτησή τους. Χρησιμοποιείται Βαρίδιο που προσαρμόζεται στο ακροσωλήνιο. Ταυτόχρονα με τη διάταξη των σωληνώσεων, κατεβαίνει στη γεώτρηση και ο κεντρικός σωλήνας που απαιτείται για το γέμισμα της με θερμοαγωγίμο μίγμα.

Γεώτρηση γεμίζει με θερμοαγωγίμο μίγμα, μέσω του κεντρικού σωλήνα, από το ακροσωλήνιο ως την επιφάνεια χωρίς κενά και παγίδευση αέρα. Με την πλήρωση της γεώτρησης, αποτρέπεται η εισχώρηση μολυσματικών υλικών και η μη επιτρεπτή άντληση υπόγειων υδάτων. Εξασφαλίζεται η αρτιότερη εναλλαγή θερμότητας με το υπέδαφος. Τα ζεύγη των σωληνώσεων των κατακόρυφων εναλλακτών συνδέονται παράλληλα με το συλλέκτη. Ο συλλέκτης συνδέεται με τη γεωθερμική αντλία. Το δίκτυο δοκιμάζεται σε πίεση **1,5 φορές** της πίεσης λειτουργίας του συστήματος. **Αυτά που πρέπει να προσέξουμε στην κατακόρυφη γεωθερμία:**

- Την απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων (**τουλάχιστον 5m**).
- Οι συνδέσεις των ακροσωληνίων να γίνονται από την παραγωγό βιομηχανία, σύμφωνα με την οδηγία DVS 2207 και 2208, και να δοκιμάζονται σε πίεση και ροή σύμφωνα με το DIN 4279-7.
- Τη σωστή σωλήνωση των γεωτρήσεων. Η τοποθέτηση των σωληνώσεων θα πρέπει να γίνει όσο το δυνατό γρηγορότερα μετά το πέρας της διάτρησης, για την αποφυγή καταπτώσεων.
- Οι σωληνώσεις δοκιμάζονται με πίεση (αέρα ή αζώτου ή νερού κ.α) για να διασφαλισθεί το δεν έχουν υποστεί κάποια φθορά κατά την τοποθέτησή τους. Σε περίπτωση που έχουν τραυματιστεί, ανασύρονται από τη γεώτρηση και αντικαθίστανται.
- Τη σωστή πλήρωση με θερμοαγωγίμο μίγμα της γεώτρησης.
- Για την άρτια κατασκευή και βέλτιστη απόδοση του συστήματος, η σύσταση του θερμοαγωγίμου μίγματος θα πρέπει να καθοριστεί με βάση τη δομή και τη σύσταση του υπεδάφους.
- Τη μόνωση των σωληνώσεων κοντά στον συλλέκτη.
- Τη πλήρωση και εξαέρωση του δικτύου.
- Την απόσταση των κατακόρυφων και οριζόντιων σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη από το κεντρικό δίκτυο ύδρευσης και αποχέτευσης της κατοικίας (**τουλάχιστον 1m**).
- Στις εγκαταστάσεις κατακόρυφων γεωεναλλακτών απαιτείται άδεια.



Εικόνες 19. Γεωτρήσεις αβαθούς γεωθερμίας.

7) Μονάδες θέρμανσης-ψύξης/δροσισμού κτιρίου (Κλιματισμός)

7.1) Ορισμός κλιματισμού-Συστήματα κλιματισμού

Κλιματισμός ονομάζεται η ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της κίνησης, της καθαρότητας του αέρα ενός χώρου ο οποίος ονομάζεται κλιματιζόμενος. Οι βασικές λειτουργίες που επιτελούνται σε ένα σύστημα κλιματισμού είναι:

- **Θέρμανση:** είναι η διεργασία πρόσθεσης θερμικής ενέργειας (θερμότητας) στον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την άνοδο της θερμοκρασίας ή τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ορισμένα όρια.
- **Ψύξη:** είναι η διεργασία αφαίρεσης θερμικής ενέργειας (θερμότητας) από τον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την πτώση της θερμοκρασίας ή τη διατήρηση της θερμοκρασίας σε ορισμένα όρια.
- **Υγρανση:** είναι η διεργασία πρόσθεσης νερού (υγρασίας) στον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την άνοδο της σχετικής υγρασίας ή τη διατήρησή της σε ορισμένα όρια.
- **Αφύγρανση:** είναι η διεργασία αφαίρεσης νερού (υγρασίας) από τον αέρα του κλιματιζόμενου χώρου με σκοπό την πτώση της σχετικής υγρασίας ή τη διατήρησή της σε ορισμένα όρια.
- **Ανανέωση του αέρα:** είναι η διεργασία λήψης εξωτερικού αέρα και απόρριψης αέρα από τους χώρους του κτιρίου, με σκοπό την αραίωση των αέριων προσμίξεων του αέρα και την εξασφάλιση της απαραίτητης ποιότητας του εσωτερικού αέρα.
- **Καθαρισμός του αέρα:** είναι η διεργασία αφαίρεσης των σωματιδιακών και βιολογικών προσμίξεων του αέρα με σκοπό τη βελτίωση και τη διατήρηση της ποιότητας του εσωτερικού αέρα.

Τα συστήματα με τα οποία μπορεί να επιτευχθεί ο κλιματισμός είναι με ενδοδαπέδια και fan-coils. Η ενδοδαπέδια που θεωρείται κατά πολλούς καινοτομία στο πεδίο των εφαρμογών θέρμανσης, αποτελεί τεχνική που πρωτοεμφανίστηκε στην αρχαιότητα με βασική καύσιμη ύλη τα καυσόξυλα και μέσο μετάδοσης τον αέρα που διαχεόταν σε υπόγεια κανάλια κάτω από το δάπεδο. Τα τελευταία 30 χρόνια και σχεδόν παράλληλα με την εμφάνιση των πλαστικών σωλήνων, ξανακάνει έντονη την παρουσία της με εξελιγμένες τεχνικές μεθόδους εφαρμογής και υλικά.

7.1.α) Ενδοδαπέδιο Σύστημα-Λειτουργία

Η λειτουργία της ενδοδαπέδιας θέρμανσης στηρίζεται στην προσαγωγή ζεστού νερού χαμηλής θερμοκρασίας σε πλαστικούς σωλήνες που διατρέχουν το δάπεδο.



Εικόνα 20. Εφαρμογή ενδοδαπέδια

Η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται μεταξύ 35°C και 48°C ανάλογα με τις θερμικές απώλειες, την τελική επένδυση του δαπέδου και τον τόπο εφαρμογής. Βασική εφαρμογή και συγχρόνως πλεονέκτημα αυτής της μορφής θέρμανσης είναι ότι χρησιμοποιεί σαν θερμαντικό σώμα το δάπεδο, γεγονός που έχει σαν συνέπεια την μεγάλη αύξηση της θερμαντικής απόδοσης. Χαρακτηριστικό της λειτουργίας της είναι ότι η θέρμανση του χώρου πραγματοποιείται έμμεσα με ακτινοβολία θερμότητας από το δάπεδο. Το ζεστό νερό μεταφέρει θερμότητα στο θερμομοπετόν που περιβάλλει τους πλαστικούς σωλήνες και στη συνέχεια το δάπεδο ακτινοβολεί θερμότητα. Με τον τρόπο αυτό, η θερμότητα διαχέεται ομοιόμορφα στο χώρο, επιτυγχάνοντας τη βασική επιδίωξη των μορφών θέρμανσης, τη δημιουργία δηλαδή ιδανικών συνθηκών ευεξίας και θερμικής θαλπωρής σε συνδυασμό με το χαμηλότερο κόστος. Στην ενδοδαπέδια η θέρμανση, η θερμότητα διαχέεται στο χώρο μέσω ακτινοβολίας (60%-65%) και μεταφοράς (35%-40%). Με τον τρόπο αυτό περιορίζονται οι θερμοκρασιακές διαφορές, αφού οι σωληνώσεις, καλύπτουν όλη την επιφάνεια.

7.1.β) Σύστημα τοπικών κλιματιστικών μονάδων ανεμιστήρα στοιχείου-Fan coils units F.C.U-Λειτουργία.

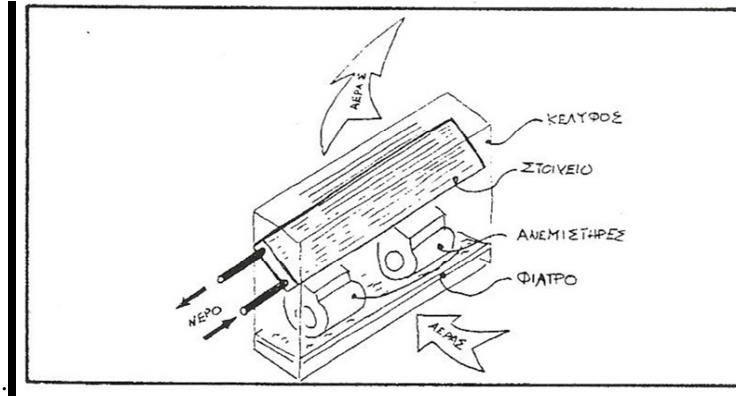
Σε κάθε χώρο έχουμε μια (ή περισσότερες) κλιματιστική μονάδα που ουσιαστικά αποτελείται από ανεμιστήρα, στοιχείο, και φίλτρο αέρα ίσως. Η μονάδα μπορεί να έχει διάφορες μορφές, δαπέδου εμφανής ή κρυφή, τοίχου, οροφής εμφανής ή κρυφή. Στο F.C.U. ο ανεμιστήρας διοχετεύει τον αέρα του χώρου μέσα από το στοιχείο, όπου ο αέρας ψύχεται πριν αυτός πάλι περάσει στο χώρο να πάρει τα φορτία για να ξαναμπεί στη μονάδα μέσα από το φίλτρο. Στο στοιχείο κυκλοφορεί κρύο νερό που ψύχει τον αέρα. Το νερό έρχεται στο και επιστρέφει στο κεντρικό μηχανοστάσιο μέσα στο δίκτυο σωληνώσεων.

Η αντίθετη διαδικασία γίνεται κατά τη θέρμανση του χώρου ζεστο νερό περνάει μέσα από τους σωλήνες και ο ανεμιστήρας διοχετεύει τον αέρα του χώρου μέσα από το στοιχείο, όπου ο αέρας θερμαίνει το χώρο πριν αυτός περάσει στο χώρο να πάρει τα φορτία για να ξαναμπεί στη μονάδα μέσα από το φίλτρο.

Η μονάδα παίρνει ζεστό ή κρύο νερό από μια κεντρική μονάδα, ή μηχανικό δωμάτιο που περιέχει εξοπλισμό για την απομάκρυνση της θερμότητας από το κλειστό κύκλωμα του κεντρικού κτιρίου. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται μπορεί να αποτελείται από μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση της θερμότητας, όπως ένα ψυκτικό συγκρότημα ή έναν πύργο και τον εξοπλισμό ψύξης για την προσθήκη θερμότητας στο νερό του κτιρίου, όπως ένα λέβητα ή ένα εμπορικό θερμοσίφωνα.

Οι μονάδες fan coil χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Δύο-pipe μονάδων fan coil ή τεσσάρων σωληνών μονάδων fan coil. Δύο-pipe μονάδων fan coil έχουν ένα (1) και ενός (1) σωλήνα επιστροφής. Ο σωλήνας τροφοδοσίας τροφοδοτεί είτε κρύο ή ζεστό νερό στη μονάδα ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Τέσσερις σωλήνες μονάδων fan coil έχουν δύο (2) σωλήνες παροχής και δύο (2) σωλήνες επιστροφής. Αυτό επιτρέπει είτε ζεστό ή κρύο νερό για να εισάγετε τη μονάδα σε κάθε δεδομένη στιγμή. Δεδομένου ότι είναι συχνά αναγκαία για τη θέρμανση και ψύξη διαφορετικές περιοχές του κτιρίου κατά την ίδια στιγμή, λόγω των διαφορών στην εσωτερική απώλεια θερμότητας ή θερμότητας κερδών, η μονάδα ανεμιστήρα τεσσάρων σωληνών είναι αυτή που πιο συχνά χρησιμοποιείται.

Ανάλογα με τις επιλεγμένες θερμοκρασίες νερού και η σχετική υγρασία του χώρου, είναι πιθανό ότι το πηνίο ψύξης θα αφυδατώσει το ρεύμα αέρα που εισέρχεται, και ως παραπροϊόν αυτής της διαδικασίας, θα είναι μερικές φορές να παράγει ένα συμπύκνωμα που θα πρέπει να είναι μεταφέρεται για να στραγγιστεί. Η μονάδα ανεμιστήρα θα περιέχει έναν σκόπιμα σχεδιασμένο δίσκο συλλογής υγρών με σύνδεση αποχέτευσης για το σκοπό αυτό. Τα απλούστερα μέσα για την αποστράγγιση του συμπυκνώματος από πολλαπλές μονάδες ανεμιστήρα θα είναι από ένα δίκτυο σωληνώσεων που θα καταλήγει σε ένα κατάλληλο σημείο. Εναλλακτικά, μια αντλία συμπυκνωμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπου ο χώρος για την εν λόγω σωληνώσεις βαρύτητας είναι περιορισμένη.

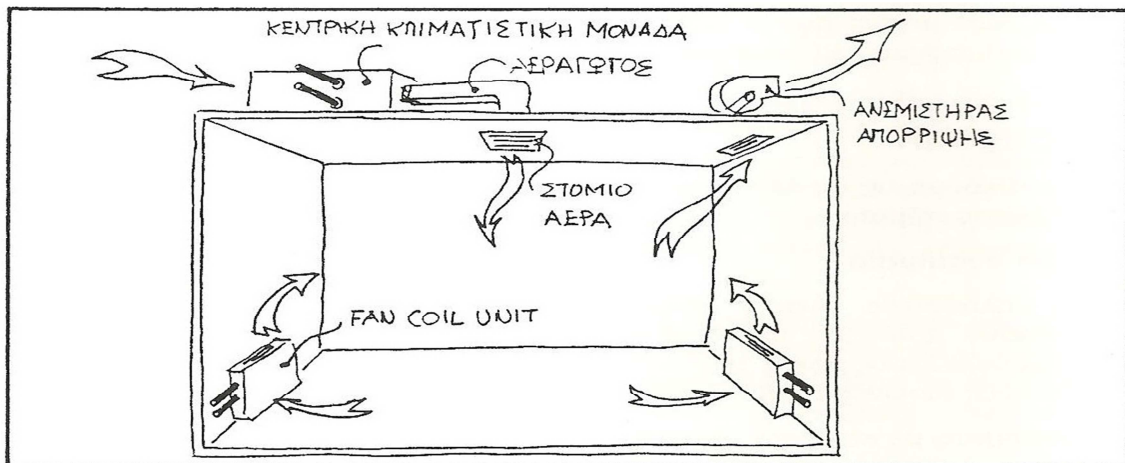


Εικόνα 21. Μονάδα ανεμιστήρα/Στοιχείου (Fan Coil Unit)

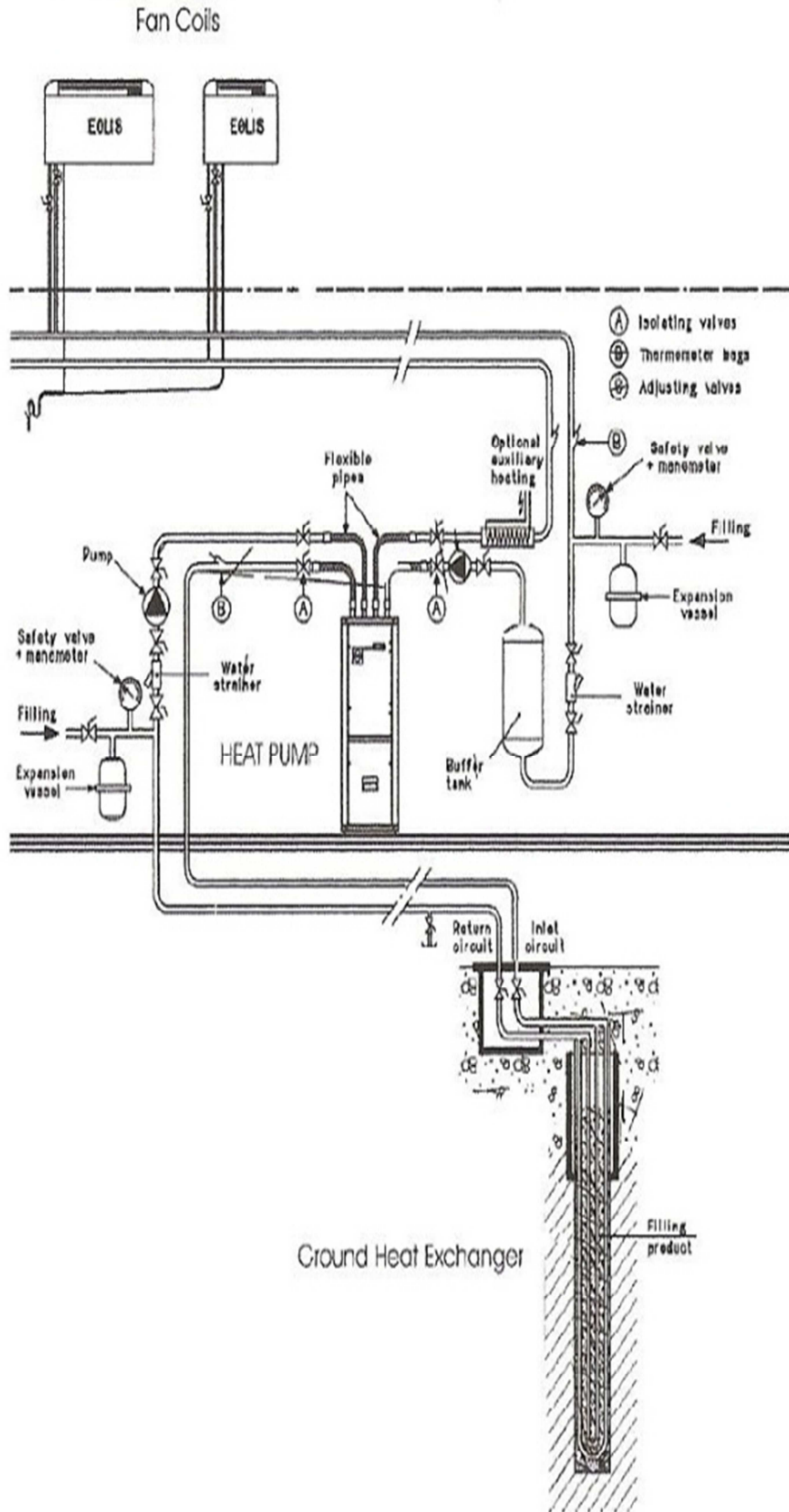


Εικόνα 22. Μονάδες fan coil οροφής-δάπεδο.

Σχεδόν πάντα τα fan coil units συνδυάζονται με κεντρική κλιματιστική μονάδα που εισάγει εξωτερικό αέρα. Αυτό γιατί τα fan coil units ανακυκλοφορούν απλά των αέρα του χώρου χωρίς να τον ανανεώνουν.



Εικόνα 23. Σχηματική απεικόνιση χώρου με fan-coil Unit.-Τοπική εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας.



Εικόνα 24. Τοπική Σχηματική απεικόνισης γεωθερμικής αντλίας Θερμότητας κατακόρυφου συστήματος συστήματος με fan coils

Κεφάλαιο 2^ο: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.

Η μελέτη για την κάλυψη των αναγκών ενός κτηρίου με γεωθερμική αντλία θερμότητας περιλαμβάνει σαν πρώτο βήμα τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους των γεωτρήσεων που θα χρειαστούν (κάθετος γεωθερμικός εναλλάκτης) ή το μήκος των σωληνώσεων που θα απαιτηθούν (οριζόντιος εναλλάκτης). Εδώ θα γίνει υπολογισμός για το απαιτούμενο βάθος των γεωτρήσεων. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα λοιπά μεγέθη:

- Ισχύς αντλίας θερμότητας
- Διάμετρος και υλικό σωληνώσεων

A) ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Ο κάθετος γεωθερμικός εναλλάκτης έχει 2 σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον οριζόντιο γεωθερμικό εναλλάκτη:

1. Σε μεγάλα βάθη η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και ίση με το μέσο όρο των χειμερινών και θερινών μέσων θερμοκρασιών της ατμόσφαιρας.
2. Οι οριζόντιοι εναλλάκτες, παρόλο που είναι ευκολότερο να εγκατασταθούν, απαιτούν σημαντικά περισσότερη περιοχή (περίπου 232,25m²/RT) από άλλους τύπους εναλλακτών. Αντίθετα οι κάθετοι βρόχοι απαιτούν μόνο περίπου 23,23 - 27,87m²/RT. (RT ψυκτικοί τόνοι)

B) ΒΑΘΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ- ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΒΑΘΟΥΣ

Ο ακριβής υπολογισμός του βάθους γεώτρησης είναι πολύ σημαντικός στην επίτευξη μιας ακριβής εκτίμησης του κόστους εγκατάστασης του συστήματος. Ο ακριβής υπολογισμός επιτυγχάνεται με το βάθος της γεώτρησης επηρεάζει άμεσα το κόστος του συστήματος. Μεγαλύτερο βάθος γεώτρησης σημαίνει μεγαλύτερες δαπάνες και μεγαλύτερο μήκος σωλήνα.

Για μεγάλες (50RT και άνω) εφαρμογές, πρέπει να εξεταστεί το χώμα ώστε να διαπιστωθούν ακριβώς οι ιδιότητες του εδάφους.

Επίσης ακριβέστερα στοιχεία εδάφους θα μας δώσουν ακριβείς πληροφορίες για τη θερμική αγωγιμότητα του, ώστε ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους να είναι πιο ασφαλής. Σύμφωνα με τα παραπάνω οι εδαφολογικές ιδιότητες, δηλαδή η αγωγιμότητα και η θερμική διαχυτότητα, πρέπει να προέλθουν είτε από μια δοκιμή στην περιοχή της εγκατάστασης (ground testing) είτε από μια ακριβή εκτίμηση.

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνει η μέθοδος της ASHRAE (American society of heating, refrigerating and air Conditioning Engineers). Σύμφωνα με τη μεθοδολογία πρώτα πρέπει να υπολογιστεί η μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος q_a :

$$q_a = \frac{C_{fc} \times q_{lc} \times E_{FL} \text{hours} + C_{fh} \times q_{lh} \times E_{fL} \text{hoursh}}{T_a}$$

Όπου:

qlc και qlh: Το ονομαστικό ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτιρίου αντίστοιχα σε btu/h

Θερμικό φορτίο ή θερμικό κέρδος χώρου (qlh): Είναι το σύνολο των θερμικών ροών (ισχύων) που εισέρχονται σε ένα χώρο ή και δημιουργούνται σε αυτών δεδομένη χρονική στιγμή (ρυθμό ροής η παραγωγής θερμότητας)

Ψυκτικό φορτίο (qlc): Είναι η θερμική ισχύ που αφαιρείται από ένα χώρο προκειμένου ο αέρας του χώρου αυτού να διατηρείται σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. (Το ψυκτικό φορτίο εισάγεται με αρνητικό πρόσημο στην ανώτερη σχέση).

Eflhoursc και Eflhoursh: οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο θέρμανσης και ψύξης ετησίως. Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου μπορούν να περιγραφούν ως το ποσό των ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός έτους. Υπολογίζονται εξής:

$$EFLhoursc = \frac{Ec}{qlc} \quad \& \quad EFLhoursh = \frac{Eh}{qlh}$$

(Ec και Eh οι ετήσιες καταναλώσεις για ψύξη και θέρμανση)

Ta: το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8.760h).

Cfc και Cfh: διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και EER αντίστοιχα της αντλίας θερμότητας (Οι COP όροι (συντελεστής απόδοσης) και EER (βαθμός ενεργειακής απόδοσης) περιγράφουν τη θέρμανση και την ψύξη της αποτελεσματικότητας των κλιματιστικών μονάδων, αντλιών θερμότητας Υποδεικνύουν την αναλογία της θέρμανσης ή ψύξης που παρέχονται από μία μονάδα σε σχέση με το ποσό της ηλεκτρικής εισόδου που απαιτείται για να την παράγουν. Όσο υψηλότερο είναι το COP και EER, το πιο ενεργειακά αποδοτικό είναι ο εξοπλισμός.) Οι τιμές βάση της μεθόδου ASHRAE δίνονται από τον πίνακα 1:

Πίνακας 1 Διορθωτικών συντελεστών αντλιών θερμότητας.			
EER (Ψύξη)	Cfc	COP (θέρμανση)	Cfh
11,0	1,31	3,0	0,75
13,0	1,26	3,5	0,77
15,0	1,23	4,0	0,80
17,0	1,20	4,5	0,82

Μπορούμε να πούμε ότι η αποδοτικότητα της αντλία θερμότητας φτάνει το 350% για θέρμανση και 126% ψύξη αυτό σημαίνει ότι για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί η αντλία θερμότητας παράγονται τρεις ή περισσότερες μονάδες θερμότητας καθώς και πάνω από μία μονάδα ψύξης που χρησιμοποιούνται στο κτίριο.

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα λειτουργία μιας Α.Θ. βασίζεται στη λειτουργία της μηχανής Carnot, που λειτουργεί όμως κατά τη φορά του ψυκτικού κύκλου. Η ποιότητα της αντλίας χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή συμπεριφοράς(επίδοσης) COP (=Coefficient of Performance) και EER (=Energy Efficiency Ratio). Κατά την θέρμανση ενδιαφέρον παρουσιάζει το ποσό θερμότητας Q2 ενώ κατά την ψύξη το Q1. Ο ενεργειακός ισολογισμός δίνει : Q2=Q1+W όπου W μηχανικό έργο.

Ο COP δίνεται από την σχέση:

$$COP = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1}$$

Στην ιδανική περίπτωση τα ποσά θερμότητας δύναται να αντικατασταθούν από τις θερμοκρασίες:

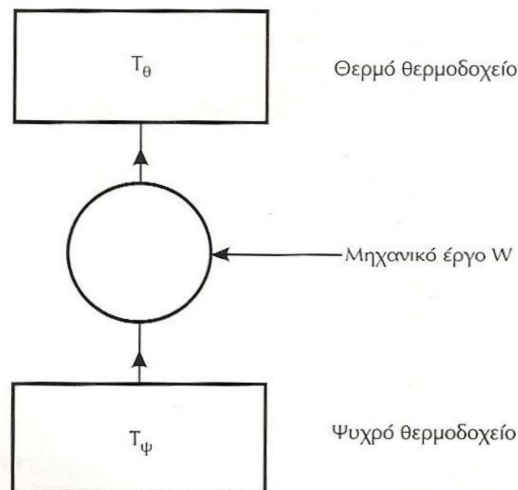
$$COP = \frac{T_{\Theta}}{T_{\Theta} - T_{\Psi}}$$

Ο EER δίνεται από την ίδια σχέση πολλαπλασιασμένος με:

$$EER = 3.412 \times \frac{T_{\theta}}{T_{\theta} - T_{\psi}}$$

Παρατηρήσεις:

1. Για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά T_θ-T_ψ ο COP βελτιώνεται όσο υψηλότερης στάθμης είναι η θερμοκρασία T_{αθ}.
2. Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κλιματιζόμενου και του εξωτερικού χώρου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο COP.



Εικόνα 25. Κύκλος θερμαντλίας.

Β.1) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΡΟΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Πίνακας 2. Θερμικών- φορτίων για τον υπολογισμό της ετήσιας ροής θερμότητας σε σχολικό κτίριο.	
Cooling load	Heating load
kW	kW
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	88,15
0,00	38,62
0,00	7,56
0,00	1,16
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00
0,00	0,00

**Σημείωση στον πίνακα δεν είναι όλες οι ετήσιες τιμές που δοθήκανε.*

Με βάση τον Πίνακα 2 υπολογίσαμε το q_{lh} και q_{lc} . Το μέγιστο αυτών των μετρήσεων από excel μας έδωσε:

$q_{lh}=240,94 \text{ kw}=822.104,43\text{btu/h}=68,51\text{RT}$ (ψυκτικοί τόνοι)

$q_{lc}=126,90 \text{ kw}=432.994,00\text{btu/h}=36,08\text{RT}$

Επίσης υπολογίζουμε τις ισοδύναμες ώρες ψύξης-θέρμανσης αφού πρώτα υπολογίσουμε την απαιτούμενη ισχύ (η οποία είναι το άθροισμα των τιμών του πίνακα 2):

Απαιτούμενη ισχύς ψύξης=**28.017,12kwh**

Απαιτούμενη ισχύς θέρμανσης=**36.914,37kwh**

Ψύξη: EFLhours=**28.017,12/126,90=220,78 hours**

Θέρμανση: EFLhoursh=**36.914,37/240,94=153,28 hours**

Διορθωτικοί συντελεστές: Από πίνακα 1

για EER(ψύξης)=**13,0** το **Cfc=1,26**

για COP(Θέρμανσης)=**3,5** το **Cfh=0,77**

Η μέση ετήσια ροή θερμότητας q_a είναι:

$$q_a = \frac{1,26 \times (-432.994) \times 220,78 + 0,77 \times 822.104,43 \times 153,21}{8760} =$$
$$= -2678,88 \text{btu} / h$$

B.2) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΣΩΛΗΝΑΣ

Η διάμετρος της σωλήνωσης έχει να κάνει με τη μεταφερόμενη ισχύ από τον κλιματιζόμενο χώρο προς το έδαφος και την παροχή του μέσου. Η επιλογή της διαμέτρου είναι τέτοια ώστε συναρτήσει της απαιτούμενης μεταφερόμενης παροχής εντός των σωληνώσεων, η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1-1,5 m/s, ώστε να επιτυγχάνεται στρωτή ροή. Η μεταφερόμενη θερμικής ισχύς και η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου σχετίζονται με τη σχέση:

$$\text{Υπολογισμός βάση θέρμανσης: } q_{lh} = m \times C_v \times (t_{wo} - t_{wi})$$

$$\text{Υπολογισμός βάση ψύξης: } q_{lc} = m \times C_v \times (t_{wi} - t_{wo})$$

Όπου:

- m η παροχή μάζας του νερού μέσα στη σωλήνωση
- $C_v=4,184\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{k})$ η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού
- T_{wi} η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωθερμικό εναλλάκτη
- T_{wo} η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το γεωθερμικό εναλλάκτη
- Η απόλυτη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας $|t_{wi}-t_{wo}|$ επιλέγεται από την αντλία θερμότητας του συστήματος ισούται με 4K.

Από τις ανωτέρω σχέσεις δοθείσης της $|t_{wi}-t_{wo}|$ και του θερμικού φορτίου, υπολογίζεται τελικά η απαιτούμενη παροχή μάζας εντός της σωλήνωσης. Επιλέγουμε το μεγαλύτερο φορτίο για το υπολογισμό της παροχής της μάζας. Οπότε το φορτίο θέρμανσης: $240,94\text{kW}=822.104,43\text{btu/hr}$. Οπότε η μάζα (ποσότητα νερού μέσα στις σωληνώσεις) είναι:

$$m = \frac{q_{lh}}{(C_v \times |t_{wi} - t_{wo}|)} = \frac{240,94\text{kW}}{(4,184\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K} \times 4\text{K})} = 14,40\text{kg} / \text{s}$$

Από την παροχή μάζας υπολογίζεται η παροχή όγκου με τη σχέση:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{14,40\text{kg} / \text{s}}{1000\text{kg} / \text{m}^3} = 0,014\text{m}^3 / \text{s} = 14,40\text{lt} / \text{s}$$

Η ταχύτητα της ροής σχετίζεται με τη διατομή και τη διάμετρο της σωλήνωσης από τη σχέση:

$$V = u \times A \Leftrightarrow V = u \times \frac{\pi \times d^2}{4}$$

Από την ανωτέρω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1-1,5 m/sec. Η συνολική παροχή όγκου θα διαμοιραστεί στις γεωτρήσεις που θα διανοιχτούν και στους βρόγχους που θα εγκατασταθούν σε κάθε γεώτρηση.

Ο αριθμός των γεωτρήσεων, με βάση την ακολουθούμενη μεθοδολογία, προκύπτει ίσος με το φορτίο RT(ψυκτικοί τόνοι).

$$1\text{RT}=3,517\text{kW} \text{ και } 1\text{RT}=12.000,503\text{Btu/hr}$$

Αναλυτικά για τον προσδιορισμό του αριθμού των γεωτρήσεων χρησιμοποιούμε το μεγαλύτερο αριθμό θερμικού ή ψυκτικού φορτίου ύστερα από σύγκριση. Όσοι είναι οι ψυκτικοί τόνοι τόσοι είναι ο αριθμός των γεωτρήσεων. Οπότε ύστερα από σύγκριση θερμικού-ψυκτικού προκύπτει:

$$Q_{lh} = 126,90\text{kW} = 126,90/3,517 = 36,08\text{RT}$$

$$Q_{lc} = 240,94\text{kW} = 240,94/3,517 = 69\text{RT}$$

Άρα ο αριθμός των γεωτρήσεων είναι 69

Αν επιλέξουμε να έχουμε **1 βρόγχο** σε κάθε γεώτρηση τότε η συνολική παροχή θα μοιραστεί σε **2 εναλλάκτες προσαγωγή του ρευστού και επιστροφή** οπότε θα προκύψει ίση με:

- Παροχή όγκου ανά γεώτρηση = παροχή όγκου/αριθμό γεωτρήσεων = $0,014\text{m}^3/\text{s}/69 = 0,000209\text{m}^3/\text{s}$

- Παροχή μάζας ανά γεώτρηση = Μάζα/αριθμό των γεωτρήσεων = $14,40\text{kg}/\text{s}/69 = 0,209\text{kg}/\text{s}$

- Παροχή μάζας βρόγχου = παροχή μάζας ανά γεώτρηση/2 = $0,209/2 = 0,1045\text{kg}/\text{s}$

B.3) Επιλογή ΤΥΠΟΥ ΣΩΛΗΝΑΣ

Ο τύπος της σωλήνας επιλέγεται από τον παρακάτω Πίνακα 3. Για την επιλογή του τύπου της σωλήνωσης επιλέγουμε σωλήνωση τέτοια ώστε η ταχύτητα της ροής μέσα στη σωλήνα να είναι μικρότερη από 1-1,5 m/s.

- Έστω ότι η ονομαστική διάμετρος της σωλήνωσης είναι 1". Η Εσωτερική διάμετρος είναι $d_i = 33,4 - 2 \times 3 = 27,4 \text{ mm}$. Η ταχύτητα ροής στο 1 βρόγχο είναι:

$$u = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 0,209 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}{3,14159 \times 0,0274^2 \text{ m}^2} = 0,3538 \text{ m/s}$$

Η ταχύτητα ροής στο 2 βρόγχο είναι:

$$u = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 0,10432 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}{3,14159 \times 0,0274^2 \text{ m}^2} = 0,1769 \text{ m/s}$$

- Αν επιλέξουμε σωλήνωση PE DN32 PN12, η εσωτερική διάμετρος θα είναι $d_i = 32 - 3 \times 2 = 26 \text{ mm}$. Η ταχύτητα ροής στο 1 βρόγχο είναι:

$$u = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 0,209 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}{3,14159 \times 0,026^2 \text{ m}^2} = 0,3930 \text{ m/s}$$

Η ταχύτητα ροής στο 2 βρόγχο είναι:

$$u = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 0,10432 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}{3,14159 \times 0,026^2 \text{ m}^2} = 0,1965 \text{ m/s}$$

Πίνακας 3: Διάμετρο σωλήνωσης					
Τύπος	Υλικό	Εξωτερική διάμετρος (mm)	Πάχος τοιχώματος (mm)	Θερμική αγωγιμότητα (W/m*k)	Θερμική αντίσταση ((K*m/W))
PE DN28 PN8	Πολυαιθυλένιο	25,0	2,0	0,42	0,066
PE DN32 PN8	Πολυαιθυλένιο	32,0	2,0	0,42	0,051
PE DN40 PN8	Πολυαιθυλένιο	40,0	3,2	0,42	0,046
PE DN50 PN8	Πολυαιθυλένιο	50,0	2,9	0,42	0,047
PE DN20 PN12	Πολυαιθυλένιο	20,0	2,0	0,42	0,085
PE DN25 PN12	Πολυαιθυλένιο	25,0	2,3	0,42	0,077
PE DN32 PN12	Πολυαιθυλένιο	32,0	3,0	0,42	0,079
PE DN40 PN12	Πολυαιθυλένιο	40,0	3,7	0,42	0,078
PE DN50 PN12	Πολυαιθυλένιο	50,0	4,6	0,42	0,077
SDR-11 3/4"	Πολυαιθυλένιο	26,7	2,5	0,42	0,079
SDR-11 1"	Πολυαιθυλένιο	33,4	3,0	0,42	0,075
SDR-11 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	42,2	3,9	0,42	0,077
SDR-11 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	48,3	4,4	0,42	0,076
SDR-11 2"	Πολυαιθυλένιο	60,3	5,5	0,42	0,076
SDR-13 1"	Πολυαιθυλένιο	28,6	2,2	0,42	0,121
SDR-13 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	34,9	2,6	0,42	0,117
SDR-13 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	41,3	3,1	0,42	0,118
SDR-13 2"	Πολυαιθυλένιο	54,0	4,0	0,42	0,116

Σημείωση τα αρχικά PE αναφέρονται στο υλικό (πολυαιθυλένιο),SDR στην πρότυπη αναλογία διαστάσεων και το PN στη μέγιστη πίεση που μπορεί να δεχτεί η σωλήνα.(Δηλ. εάν PN8 εννοούμε μέγιστη πίεση 8 bar.

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους L_c φορτίου θα γίνει βάσει του ψυκτικό φορτίου.

Ο τύπος:

$$L_c = \frac{q_a \times R_{ga} + (Cfc \times qlc) \times (Rb + PLF_m \times R_{gm} + R_{gd} \times Fsc)}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

Όπου:

Rga , Rgm , Rgd : οι ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο, ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε $h \cdot ft \cdot ^\circ F / Btu$)

Rb : θερμική αντίσταση σωλήνωσης-γεώτρησης (σε $h \cdot ft \cdot ^\circ F / Btu$)

PLFm: ο συντελεστής του μερικού φορτίου

Fsc: ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων

tg: η θερμοκρασία του εδάφους (σε $^\circ F$)

twi: η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε $^\circ F$)

two: η θερμοκρασία εξόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε $^\circ F$)

tp: διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων (σε $^\circ F$)

Οι ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις του εδάφους δίνονται R_{ga} , R_{gm} , R_{gd} δίνονται από τις σχέσεις:

$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{K_g} , \quad R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{K_g} , \quad R_{gd} = \frac{G_2}{K_g}$$

k_g : η Θερμική αγωγιμότητα του εδάφους σε $(Btu / (hr \cdot ft \cdot ^\circ F))$.

G_1, G_2, G_3 : συντελεστές που δίνονται από την παρακάτω σχέση ($i=1,2,f$):

$$G_i = 0,0769 \cdot \ln(Foi) + 0,0901$$

Όπου:

F_{oi} , $i=1,2,f$ οι αδιάστατοι αριθμοί Fourier

Ο αδιάστατος αριθμός Fourier ο οποίος αποδεικνύεται ότι σχετίζεται με θερμικές ιδιότητες του

εδάφους δίνεται από τη σχέση: $Fo = \frac{4 \cdot a_g \cdot \tau}{d^2}$

a_g : η θερμική διαχυτότητα του εδάφους σε $\frac{ft^2}{\eta\acute{\mu}\epsilon\rho\alpha}$

T: η χρονική κλίμακα (χρονικός παλμός) επίδρασης της θερμοκρασίας του εδάφους από το γεωθερμικό εναλλάκτη σε ημέρες.

d: η εσωτερική διάμετρος της σωλήνωσης του εναλλάκτη σε ft.

Η θερμική αγωγιμότητα kg και η θερμική διαχυτότητα ag του εδάφους δίνονται από τους πίνακες 4,5,6 της ASHRAE:

Πίνακας 4: Επιλογής υλικού πλήρωσης							
Τύπος πετρώματος	Συχνότητα εμφάνισης Γης (%)	Θερμική αγωγιμότητα K-100%	Θερμική αγωγιμότητα K-80%	Ειδική θερμότητα Cp (Btu/hft* °F)	Ποκνότητα ρ (lb/ft ³)	Θερμική διαχυτότητα α (ft ² /day)	
Πυρηγενή πετρώματα							
Γρανίτης (10% χαλαζίας)	10,4	1,1-3,0	1,3-4,9 1,5-2,1	0,21	165	0,9-4,3 1,0-1,4	
Γρανίτης (25% χαλαζίας)							
Αμφιβολίτης	42,8	1,1-2,7 0,8-2,8	1,5-2,2 0,9-1,6	0,12	175-195 160	1,1-4,7	
Ανδেসίτης							
Βασάλτης		1,2-1,4		0,17-0,21	180	0,7-0,9	
Gabbro (cen. Plains)		0,9-1,6			0,18	185	0,65-1,15 0,85-1,5
Gabbro (Rocky Mtns)		1,2-2,1					
Διορίτης		11,2	1,2-1,9	1,2-4,7	0,22	180	0,7-1,0
Γρανοδιορίτης	1,2-2,0			0,21	170	0,8-4,3	

Πίνακας 5: Επιλογή υλικού πλήρωσης (συνέχεια)

Τύπος πετρώματος	Συχνότητα εμφάνισης Γης (%)	Θερμική αγωγιμότητα K-100%	Θερμική αγωγιμότητα K-80%	Ειδική θερμότητα Cp (Btu/hft* ^ο F)	Πυκνότητα ρ (lb/ft ³)	Θερμική διαχυτότητα α (ft ² /day)
Μεταμορφωγική ή πετρώματα						
Γνευσίτης	21,4	1,0-3,3	1,3-2,0	0,22	160-175	0,9-1,2
Μάρματο	0,9	1,2-3,2	1,2-1,9	0,22	170	0,8-1,2
Χαλαζίτης		3,0-4,0		0,2	160	2,2-3,0
Σχιστόλιθος (shist)	5,1	1,2-2,6	1,4-2,2		170-200	
Σχιστόλιθος (slate)		0,6-4,5		0,22	170-475	0,6-0,9

Πίνακας 6: Επιλογή υλικού πλήρωσης (συνέχεια)

Τύπος πετρώματος	Συχνότητα εμφάνισης Γης (%)	Θερμική αγωγιμότητα K-100%	Θερμική αγωγιμότητα K-80%	Ειδική θερμότητα Cp (Btu/hft* ^ο F)	Πυκνότητα ρ (lb/ft ³)	Θερμική διαχυτότητα α (ft ² /day)
Ιζηματογενή πετρώματα						
Claystone		1,1-4,7				
Δολομίτης		0,9-3,6	1,6-3,6	0,21	170-475	1,1-2,3
Ασβεστόλιθος		0,8-3,6	1,4-2,2	0,22	150-475	1,0-4,4
Rock Salt		3,7		0,2	130-435	

Χαλαζιακή άμμος	1,7	1,2-2,0		0,24	160-470	0,7-4,2
Siltstone		0,8-1,4				
Wet shale (25% χαλαζίας)			1,0-4,8			0,9-1,2
Wet shale (0% χαλαζίας)	4,2	0,6-2,3	0,6-0,9	0,21	130-165	0,5-0,6
Dry shale (25% χαλαζίας)			0,8-4,4			0,7-1,0
Dry shale (25% χαλαζίας)			0,5-0,8			0,45-0,55

B.4) ΟΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η θερμοκρασία του εδάφους δεν παραμένει σταθερή. Για οριζόντιους βρόγχους, όπου ο σωλήνας είναι κοντά στην επιφάνεια, η επίγεια θερμοκρασία αλλάζει εποχιακά. Σε όλες τις περιπτώσεις ο γεωθερμικός εναλλάκτης επηρεάζει την θερμοκρασία εδάφους ως εξής:

- Μακροπρόθεσμη επίδραση. Αυτή είναι η αλλαγή στην επίγεια θερμοκρασία κατά τη διάρκεια πολλών ετών. Για παράδειγμα η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί κατά $6^{\circ}F$ σε 10 έτη λόγω της θερμότητας που προστίθεται από τον εναλλάκτη.
- Ετήσια επίδραση. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, το φορτίο θερμότητας σε ένα τομέα γεώτρησης θα αλλάξει και αυτό θα έχει επιπτώσεις στην επίγεια θερμοκρασία σε μηνιαία βάση.
- Βραχυπρόθεσμη Επίδραση. Το πραγματικό ωριαίο φορτίο έχει επίσης επιπτώσεις στη δυνατότητα του τομέα των γεωτρήσεων να διαλύσει την θερμότητα. Έτσι, η επίγεια θερμοκρασία θα αλλάξει με το ωριαίο φορτίο.
- Επομένως οι τρεις χρονικές επιδράσεις πρέπει να υπολογιστούν, ώστε να ληφθούν υπόψη οι μακροπρόθεσμες αλλαγές θερμότητας στο χώμα μπορούν να προκύψουν κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος και να βρεθεί έτσι επακριβώς το απαραίτητο μήκος σωλήνων.

Έτσι εισάγονται οι τιμές αντίσταση R_{ga} (ετήσια), R_{gm} (μηνιαία), R_{gd} (καθημερινή), που είναι υπολογισμένες με βάση τρεις διαφορετικούς παλμούς:

1. Ένα δεκαετή παλμό των 3.650 ημερών.
2. Ένα μηνιαίο παλμό των 30 ημερών.
3. Ένα 6ωρο παλμό του 25% της ημέρας.

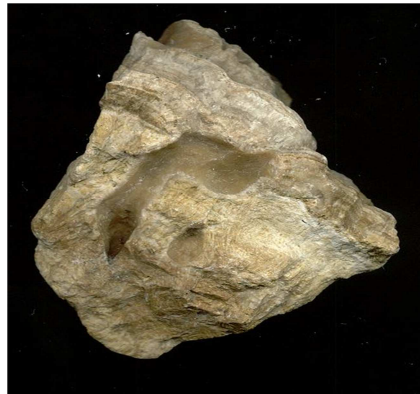
Οι τρεις αυτοί χρόνοι προσδιορίζονται ως εξής:

1. $T_1=3.650$ ημέρες
2. $T_2=3.650+30=3.680$ ημέρες
3. $T_f=3650+30+0,25=3680,25$ ημέρες

Τελικά ο υπολογισμός του αριθμού Fourier για κάθε παλμό γίνεται σύμφωνα με τους τύπους:

$$F_{o1} = \frac{4 \times ag \times (\tau_f - \tau_1)}{d^2}, \quad F_{o2} = \frac{4 \times ag \times (\tau_f - \tau_2)}{d^2}, \quad F_{of} = \frac{4 \times ag \times \tau_f}{d^2}$$

Παρατηρήθηκε επίσης ότι το έδαφος αποτελείται από **ασβεστόλιθο ο οποίος** είναι ιζηματογενές πέτρωμα, του οποίου το βασικό συστατικό είναι ο ασβεστίτης. Συχνά περιέχει πυριτικές προσμίξεις, όπως κρυπτοκρυσταλλικές μορφές του χαλαζία (πυριτόλιθο ή χαλαζίτη), άργιλο και άμμο και μικρές ποσότητες μεταλλικών αλάτων. Είναι πολύ διαδεδομένο πέτρωμα και υπάρχει άφθονο στη χώρα μας ιδιαίτερα στη δυτική Ελλάδα. Έχει Θερμική αγωγιμότητα **$K_g=1,5$ ($h \cdot ft \cdot ^\circ F$)/btu.**, θερμική διαχυτότητα **$ag=1,4$ (ft^2 /ημέρα).** Με εσωτερική διάμετρος σωλήνωσης **$d=0,026m=0,085ft$.**



Εικόνα 26. Δείγμα ασβεστόλιθου.

- Οι χρονικές σταθερές υπολογίζονται:
1. $T_f - T_1 = 3680,25 - 3.650 = 30,25$ ημέρες
 2. $T_f - T_2 = 3680,25 - 3.680 = 0,25$ ημέρες
 3. $T_f = 3680,25$.

Οι αδιάστατοι αριθμοί Fourier προκύπτουν:

$$F_{o1} = \frac{4 \times 1,4 \times 30,25}{0,085^2} = 23.446,27$$

$$F_{o2} = \frac{4 \times 1,4 \times 0,25}{0,085^2} = 193,77$$

$$F_{of} = \frac{4 \times 1,4 \times 3.680,25}{0,085^2} = 2.852.512,11$$

Οι συντελεστές G υπολογίζονται από τη σχέση: $G_i = 0,0769 \cdot \ln(Foi) + 0,0901$ οπότε από υπολογισμούς προκύπτει:

$$G_1 = 0,0769 \cdot \ln(23.446,27) = 0,8639$$

$$G_2 = 0,0769 \cdot \ln(193,77) = 0,4951$$

$$G_f = 0,0769 \cdot \ln(2.852.512,11) = 1,2331$$

Τελικά υπολογίζονται οι θερμικές αντιστάσεις από τις σχέσεις ορισμού:

$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{Kg} = \frac{1,2331 - 0,8639}{1,5} = 0,2461 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{ } ^\circ F / \text{Btu}$$

$$R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{Kg} = \frac{0,8639 - 0,4951}{1,5} = 0,2451 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{ } ^\circ F / \text{Btu}$$

$$R_{gd} = \frac{G_2}{Kg} = \frac{0,4951}{1,5} = 0,3301 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot \text{ } ^\circ F / \text{Btu}$$

B.5.) ΜΗΝΙΑΙΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

Εκφράζει το ποσοστό λειτουργίας της εγκατάστασης ως προς ισχύ και χρόνο, σε σχέση με τη διαρκή λειτουργία της σε ονομαστικό φορτίο. Εκτιμάται ως εξής για την περίπτωση ενός επαγγελματικού χώρου. Έστω ότι μια μονάδα δεν θα δουλεύει κατά τη διάρκεια της νύχτας δηλαδή το 50% της εκατό του χρόνου. Κατά τις υπόλοιπες **12 ώρες** θεωρούμε ότι η μονάδα λειτουργεί το **50%** του χρόνου. Άρα τελικά ο εξοπλισμός θα λειτουργούσε **25%** των συνολικών ωρών αν ο χώρος χρησιμοποιούνταν 7 μέρες την εβδομάδα. Όμως ο χώρος χρησιμοποιείται 5 μέρες την εβδομάδα κι έτσι ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου υπολογίζεται:

$$Plfm = \frac{4,21 \text{ kw}}{240,94 \text{ kw}} \times 0,25 \times \left(\frac{5}{7}\right) = 0,00312$$

Σημείωση ο αριθμητής είναι το μέσο ετήσιο φορτίο ενώ ο παρανομαστής η μέγιστη ισχύς θέρμανσης.

B.6.) ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ

Η θερμική αντίσταση σωλήνωσης και της γεώτρησης είναι συνάρτηση αφενός του υλικού και του πάχους της σωλήνωσης και αφετέρου του υλικού πλήρωσης της γεώτρησης. Εκφράζει την αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας από το ρευστό εντός του εναλλάκτη προς τα έδαφος, διαμέσου της σωλήνωσης και της γεώτρησης. Η μεθοδολογία που ακολουθείται δίνει τους ακόλουθους πίνακες για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης της σωλήνωσης –γεώτρησης.

Με βάση τους παρακάτω πίνακες:

1. Επιλέγεται **θερμική αντίσταση σωλήνωσης 0,09 h*ft*° F /Btu.**
2. Επιλέγεται **διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας 0,03 Btu/(h*ft*° F)**.
3. Η διάμετρος της σωλήνας γεώτρησης επιλέγεται **5in για εγκατάσταση 2 βρόγχων σωληνώσεων.**
4. Επιλέγεται **θερμική αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης 1,0 Btu/h*ft*° F .**

Πίνακας 7: θερμική αντίσταση σωλήνωσης σε h*ft*° F /Btu					
Διάμετρος σωλήνωσης τύπου U	SDR	Παροχή νερού άνω των 2 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 3 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 5 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 10 gpm
3/4 in	SDR 11	0,09	0,12	-	-
	SDR 9	0,11	0,15	-	-
	SDR 40	0,10	0,14	-	-
1 in	SDR 11	0,09	0,14	0,10	-
	SDR 9	0,11	0,15	0,12	-
	SDR 40	0,10	0,16	0,11	-
1-1/4 in	SDR 11	0,09	0,15	0,12	0,09
	SDR 9	0,11	0,17	0,15	0,11
	SDR 40	0,09	0,15	0,12	0,09
1-1/2 in	SDR 11	0,09	0,16	0,15	0,09
	SDR 9	0,11	0,18	0,17	0,11
	SDR 40	0,08	0,14	0,14	0,08

Πίνακας 8: Διόρθωση θερμικής αντίστασης							
Αγωγιμότητα εδάφους (Btu/(h*ft* ^o F))	0,9		1,3			1,7	
Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης (Btu/(h*ft* ^o F))	0,5	2	0,5	1	2	0,5	1
Διάμετρος γεώτρησης 4 in							
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,11	-0,05	0,14	0,03	-0,02	0,17	0,05
1 in σωλήνωση τύπου U	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,13	0,04
Διάμετρος γεώτρησης 5 in							
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,14	-0,06	0,18	0,04	-0,04	0,21	0,06
1 in σωλήνωση τύπου U	0,11	-0,04	0,14	0,03	-0,02	0,16	0,05
1-1/4in σωλήνωση τύπου U	0,06	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,12	0,04
Διάμετρος γεώτρησης 6 in							
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,18	-0,07	0,21	0,04	-0,05	0,24	0,07
1 in σωλήνωση τύπου U	0,14	-0,06	0,17	0,03	-0,04	0,21	0,06
1-1/4in σωλήνωση τύπου U	0,09	-0,04	0,12	0,03	-0,02	0,15	0,05
Διάμετρος γεώτρησης 5in	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,11	0,04

Σημείωση οι ενδείξεις με κίτρινο στον πίνακα δεν συνιστούνται.

Πίνακας 9: θερμική αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης.			
Υλικό πλήρωσης γεώτρησης	Αγωγιμότητα Υλικού πλήρωσης γεώτρησης (Btu/h* <i>ft</i> * ^o <i>F</i>)	Υλικό πλήρωσης Γεώτρησης	Αγωγιμότητα Υλικού Πλήρωσης γεώτρησης
20% Μπετονίτης	0,42	Αμμοχάλικο ξηρό	0,4
30% Μπετονίτης	0,43	Νερό στάσιμο	0,6
Τσιμέντο	0,40-0,45	Μπετονίτης 10% νερό	0,7
Σκυρόδεμα 130/150lb/ <i>ft</i> ²	0,60-0,80	Μπετονίτης/τσιμέντο/άμμος 9/9/20% νερό	0,7-0,8
Σκυρόδεμα 50% χαλαζιακή άμμος	1,10-1,70	Υγρή άμμος	1,0
20% Μπετονίτης-20% χαλαζίτης	0,85	Παγωμένος μπετονίτης 10%	1,4
30% Μπετονίτης-30% χαλαζίτης	0,70-0,75	Μπετονίτης/χαλαζίτης 12/50% νερό	1,5
30% Μπετονίτης-30% σιδητομετάλλευμα	0,45	Χαλίκι, νερό	1,8
60% χαλαζίτης-τέφρα-άμμος	1,07	Πάγος	2,3
		Τσιμέντο/άμμος 27%/58% , νερό	2,4
		Χαλαζίτης, νερό	2,4-2,7
		Τσιμέντο/ γραφίτης	2,0

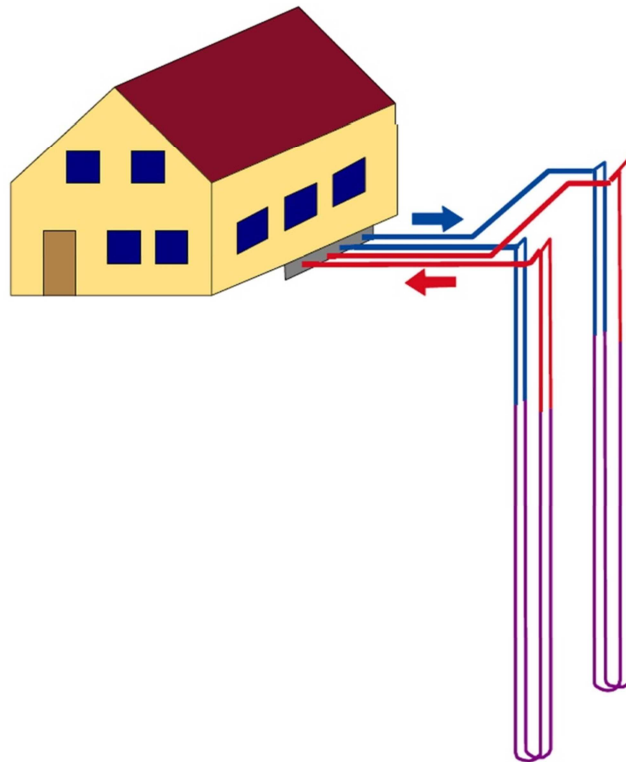
B.7) ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ Fsc

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων Fsc, που εκφράζει τη θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω πίνακα. Για παροχή όγκου ανά βρόγχο:

$$V = 0,10432 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec} \div 0,010432 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec} \div 0,0631 \text{ m}^3 / \text{sec} = 1,6533 \text{ gpm}$$

Πίνακας 9: Συντελεστής θερμικών απωλειών			
Παροχή ανά σωλήνωση (gpm)	Αριθμός βρόγχων ανά γεώτρηση		
	1	2	3
2	1,06	1,03	1,02
3	1,04	1,02	1,01

**Επιλέγουμε συντελεστή απωλειών για 2 βρόγχους. Οπότε Fsc=1,03*



Εικόνα 27. Σχηματική απεικόνιση σωληνώσεων κατακόρυφου συστήματος

B.8) ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΛΑΦΟΥΣ- ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΙ ΕΞΟΔΟΥ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ

Η θερμοκρασία εδάφους είναι ισχυρά εξαρτώμενη από τη γεωγραφική περιοχή της μελέτης. Έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία σε μικρό σχετικά βάθος, συνήθως μέχρι τα **5m** ενώ έχουν μηδενική επίδραση κάτω τα 31m. Η μεταβολή της θερμοκρασίας στα **2m** βάθους από την επιφάνεια τους εδάφους δεν μεταβάλλεται περισσότερο από $\pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά την διάρκεια του έτους. Όλα εξαρτώνται βέβαια και από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού του υπεδάφους. Έτσι από τη διεθνή βιβλιογραφία δίνεται για το υπέδαφος της Αθήνας μέση ετήσια θερμοκρασία ίση με $67^{\circ}\text{F} = 19,4\text{K}$.

Μετατροπή μονάδων:

$$\theta(^{\circ}\text{C}) = [\Theta(^{\circ}\text{F}) - 32] \times 5/9 \Leftrightarrow \Theta(^{\circ}\text{F}) = (\theta(^{\circ}\text{C}) \times 9) / 5 + 32$$

Οι θερμοκρασίες εισόδου t_{wi} και εξόδου t_{wo} του υγρού στο γεωθερμικό εναλλάκτη εξαρτώνται από τη ρύθμιση της αντλίας θερμότητας και από τη θερμοκρασία του εδάφους. Έστω ότι η αντλία θερμότητας ρυθμίζεται ώστε $[t_{wi} - t_{wo}] = 4^{\circ}\text{C}$

Η Θερμοκρασία T_{wi} κατά τη διαδικασία της ψύξης μπορεί να πάρει τιμές από 80°C έως 95°F . Η Θερμοκρασία T_{wi} κατά τη διαδικασία της θέρμανσης μπορεί να πάρει τιμές από 35 έως 60°F . Αυτά ρυθμίζονται επίσης από την αντλία θερμότητας και είναι παράμετρος επιλογής. Η Θερμοκρασία T_{wo} υπολογίζεται αντίστοιχα από τη ρυθμισμένη θερμοκρασιακή διαφορά $[t_{wi} - t_{wo}]$.

Η θερμοκρασία T_{wo} κατά τη ψύξη δεν μπορεί να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία εδάφους. Γιατί θέλουμε να έχουμε απώλειες θερμότητας του υγρού μέσου προς το περιβάλλον (έδαφος) ώστε να φτάνει κρύο στην αντλία θερμότητας

Η θερμοκρασία T_{wo} κατά τη θέρμανση δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εδάφους. Γιατί δεν θέλουμε να έχουμε απώλειες θερμότητας του υγρού μέσου προς το περιβάλλον έδαφος ώστε το νερό να φτάνει ζεστό στη αντλία θερμότητας.

Στο παρούσα εφαρμογή που αναπτύσσουμε έστω κατά τη διαδικασία της ψύξης:

- Μέση ετήσια θερμοκρασία εδάφους:

$$\begin{aligned} t_g &= 65^{\circ}\text{F} \\ t_g &= (65 - 32) * 5/9 = 18,3^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

- Θερμοκρασία εισόδου του υγρού στον εναλλάκτη:

$$\begin{aligned} T_{wi} &= 80^{\circ}\text{F} \\ T_{wi} &= (80 - 32) * 5/9 = 26,7^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

- Θερμοκρασία εξόδου του υγρού από τον εναλλάκτη:

$$\begin{aligned} t_{wo} &= T_{wi} - 4^{\circ}\text{C} = 26,7 - 4 = 22,7^{\circ}\text{C} \\ t_{wo} &= (22,7 * 9) / 5 + 32 = 72,8^{\circ}\text{F} \end{aligned}$$

B.9) ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ.

Υπολογισμός θερμική αντίστασης σωλήνωσης- γεώτρησης: Η σωλήνωση PE DN32 PN12 που προσεγγίζεται επιλέγεται από την SDR11 1''. Για αυτή τη σωλήνωση και για παροχή νερού επιλέγεται θερμική αντίσταση: $0,09 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ \text{F} / \text{Btu}$. Για αγωγιμότητα εδάφους $1,3 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ \text{F}$ και αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης $1,0 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ \text{F}$ επιλέγεται διόρθωση θερμική αντίστασης $0,03 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ \text{F}$. Συνεπώς η τελική θερμική αντίσταση της σωλήνωσης υπολογίζεται:

$$R_b = 0,09 + 0,03 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ \text{F} / \text{Btu} = 0,12 \text{ h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ \text{F} / \text{Btu}.$$

Η μέθοδος υπολογισμού του βάθους που απαιτείται για τις γεωτρήσεις κατά πολύ στην εκτίμηση του συντελεστή διόρθωσης θερμοκρασίας t_p . Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει τη μακροπρόθεσμη αλλαγή θερμοκρασίας του εδάφους λόγω της υπερβολικής απόρριψης ή εξαγωγής θερμότητας μετά από πολλά χρόνια λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τον παρακάτω πίνακα με βάση την μέθοδο της ASHRAE που παρουσιάζεται γίνεται η εκτίμηση του συντελεστή αυτού και συγκρίνεται το αναμενόμενο βάθος με το υπολογιζόμενο. Επομένως για θερμική αγωγιμότητα $1,5 \text{ btu/h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ \text{F}$, $t_g = 65^\circ \text{F}$, $t_{wi} = 80^\circ \text{F}$ οι ισοδύναμες ώρες θέρμανσης ψύξης είναι $240,94/126,90$ δεν έχουμε τιμή για συντελεστής διόρθωσης οπότε είναι 0°F από πίνακα 10.

Έχοντας πλέον υπολογίσει και επιλέξει όλα τα απαιτούμενα μεγέθη, μπορούμε να υπολογίσουμε το βάθος της γεώτρησης:

$$L_c = \frac{q_a \times R_{ga} + (C_{fc} \times q_{lc}) \times (R_b + P_{lfm} \times R_{gm} + R_{gd} \times F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} - t_{wo}}{2} - t_p} \Leftrightarrow$$

$$L_c = \frac{-2.678,88 \times 0,2461 - (432.994,00 \times 1,26) \times (0,12 + 0,00312 \times 0,2459 + 0,3301 \times 1,03)}{65 - \frac{80 - 72,8}{2} - 0} =$$

$$= 21.991,99 \text{ ft} = 21.991,99 \text{ ft} \times 0,3048 \text{ m} = 6.703,16 \text{ m}$$

Όπου:

R_{ga} , R_{gm} , R_{gd} : οι ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο, ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε $\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ \text{F} / \text{Btu}$)

R_b : θερμική αντίσταση σωλήνωσης-γεώτρησης (σε $\text{h} \cdot \text{ft} \cdot ^\circ \text{F} / \text{Btu}$)

PLFm: ο συντελεστής του μερικού φορτίου

Fsc: ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων

t_g: η θερμοκρασία του εδάφους (σε $^\circ \text{F}$)

t_{wi}: η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε $^\circ \text{F}$)

t_{wo}: η θερμοκρασία εξόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε $^\circ \text{F}$)

t_p: διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων (σε $^\circ \text{F}$).

Με Βάση την απαιτούμενη ψυκτική ισχύς ($1,88RT = 6,6kW$) υπολογίζεται ότι απαιτούνται :

$$21.991,99 \text{ ft} / 1,88RT = 11698 \text{ ft} / RT$$

$$\acute{\eta}6,6kW / 6.703,16m = 0,98 * 10^{-3} kW / m = 0,98W / m$$

Το Βάθος κάθε γεώτρησης είναι $6.703,16/69=97,15m$ επειδή έχουμε δύο βρόγχους σε κάθε γεώτρηση τότε $97,15/2=48,574m$.

Πίνακας 10: Συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας εδάφους							
Αριθμός ισοδύναμων ωρών (θέρμανσης/ψύξης)	Απόσταση γεωτρήσεων (ft)	Θερμοκρασία εδάφους και εισαγωγής υγρού στον εναλλάκτη ($^{\circ}F$)					
		tg=50 $^{\circ}F$ (tw=35/80)		tg=60 $^{\circ}F$ (tw=45/85)		tg=70 $^{\circ}F$ (tw=60/95)	
		Kg Btu/h*ft* $^{\circ}F$					
		1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,5
		Διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας εδάφους tr ($^{\circ}F$) -Απαιτούμενο βάθος γεώτρησης ανά RT					
1500/500	15	-4,4 (318)	-4,4 (248)	-	-	-	-
	20	-2,3 (276)	-2,3 (216)	-	-	-	-
	25	-1,2 (258)	-1,2 (202)	-	-	-	-
1000/1000	10	12,9 (318)	11,8 (318)	-	11,8 (313)	-	-
	15	5,4 (237)	4,3 (186)	4,7	4,7 (225)	-	-
	20	3,4 (220)	1,9 (172)	2,5	2,4 (206)	-	-
500/1500	15	15,1 (379)	15,1 (294)	-	12,8 (345)	-	-
	20	7,8 (277)	8 (216)	6,7	6,7 (254)	6,7 (336)	6,7 (259)

	Συνέχεια πίνακα						
	25	4,1 (224)	4,3 (190)	3,5	3,5 (224)	3,5 (293)	3,5 (229)
0/2000	15	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	10,3	10,4 (316)	10,4 (414)	10,5 (322)
	25	-	-	5,4	5,5 (252)	5,4 (332)	5,5 (257)

Γ) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΣΤΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ- ΣΤΟΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ- ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΔΙΚΤΥΟ.

Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστούν οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου κυκλοφορητή. Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

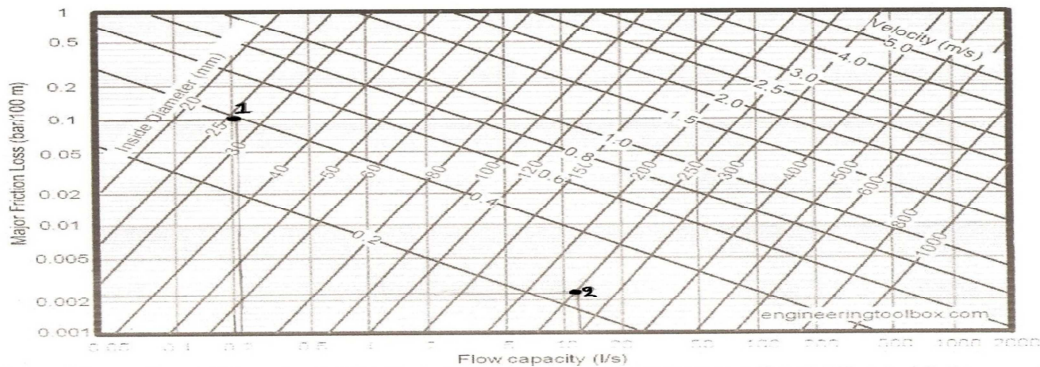
- 1.Γραμμικές απώλειες γεωθερμικών εναλλακτών.
- 2.Απώλειες ενδιάμεσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας)
- 3.Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή ίση με **0,05bar**.
- 4.Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή ίση με **0,25-0,3 bar**.

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο, υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του στις μεταφορά θερμότητας. Οι απώλειες πίεσης ανά 100 μέτρα σωληνώσεως ,όσον αφορά το τμήμα του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας για παροχή ρευστού: **0,2086 lt/sec** και **din=26mm** θα είναι: **$\Delta P/100m=0,1bar$** .

Επειδή οι σωληνώσεις στις 69 γεωτρήσεις είναι παράλληλες ,η πτώση πίεσης υπολογίζεται για το σύνολο των γεωτρήσεων. Το μήκος του κάθε εναλλάκτη θα είναι $6703,16/2=3351,58m$. Το διπλάσιο του βάθους γεώτρησης. Έτσι οι γραμμικές απώλειες πτώσης πίεσης θα είναι: **$0,1*3351,58*/100=3.35bar$** .

Το υδραυλικό δίκτυο από την έξοδο της γεώτρησης ως την είσοδο της αντλίας θερμότητας ονομάζεται ενδιάμεσο δίκτυο .Οι απώλειες του δικτύου αυτού θα υπολογιστούν με την τιμή που θα προκύψει από το παρακάτω διάγραμμα, πολλαπλασιασμένη με το συνολικό μήκος του δικτύου αυτού. Οπότε η παροχή του συστήματος αυτού ισούται με τη συνολική παροχή του δικτύου **$Q=14,4 lt/sec$** ενώ η εσωτερική διάμετρος των σωληνώσεων επιλέγεται να είναι **250mm**. Οπότε η πτώση πίεσης από το διάγραμμα προκύπτει $\Delta P/100=0,0025bar$.Έστω το ενδιάμεσο δίκτυο έως την πιο απομακρυσμένη γεώτρηση από την αντλία θερμότητας έχει μήκος **100m**.Οπότε οι απώλειες πτώσης πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο προκύπτουν ίσες με **0,0025bar**.

Διάγραμμα 1: Πτώσης πίεσης σωληνώσεων-παροχής-Διαμέτρων



Σημείωση: Το πρώτο σημείο (0,2086 lt/sec,0,1bar) δείχνει την πτώση πίεσης στο κάθετο τμήμα του γεωεναλλάκτη.

Το δεύτερο σημείο δείχνει (14,4lt/s,0,0025bar) δείχνει την πτώση πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο.

Το παραπάνω διάγραμμα δίνει την απώλεια πίεσης σε bar ανά 100 μέτρα σωλήνωσης σε σχέση με την παροχή, την ταχύτητα και τη διάμετρο της σωλήνωσης. Οι συνολικές απώλειες του συστήματος θα είναι ίσες με το άθροισμα των παρακάτω επιμέρους απωλειών:

- Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων: **0,005bar**
- Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ : **0,3bar**
- Τοπικές απώλειες λόγω λοιπών εξαρτημάτων: **0,2 bar**
- Γραμμικές απώλειες πίεσης γεωεναλλάκτη: **3,35bar**
- Γραμμικές απώλειες πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο: **0,0025bar**
- Το άθροισμα των ανωτέρω απωλειών πίεσης δίνει τη συνολική πίεση στο συνολικό υδραυλικό δίκτυο: $0,005+0,3+0,2+3,35+0,0025=3,8575\text{bar}=39,33\text{mm H}_2\text{O}$
Μετατροπές μονάδων: **1bar=10,197162mm H₂O**.

Με τη συνολική πτώση πίεσης και τη συνολική παροχή επιλέγεται ο κυκλοφορητής του υδραυλικού δικτύου. Ο κυκλοφορητής είναι μια αντλία που χρησιμοποιείται για την υπερνίκηση των αντιστάσεων του δικτύου και όχι για την άντληση και την ανύψωση του νερού. Ο κυκλοφορητής είναι ενσωματωμένος στην αντλία θερμότητας.

Δ) ΔΟΧΕΙΟ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ.

Σε κάθε υδραυλικό σύστημα είναι απαραίτητη η ύπαρξη δοχείου διαστολής. Είναι ένα κλειστό κυλινδρικό δοχείο το οποίο χωρίζεται σε 2 μέρη με μία μεμβράνη. Το ένα μέρος φέρει σπείρωμα για σύνδεση στο κύκλωμα της θέρμανσης και το άλλο βαλβίδα αέρος για τη ρύθμιση και τον έλεγχο της πίεσης του αεροθαλάμου εντός του οποίου υπάρχει αέριο άζωτο. Η ρύθμιση της πίεσης του αεροθαλάμου είναι από τον κατασκευαστή στα 1,5bar.

Το νερό θερμαινόμενο διαστέλλεται και πιέζει την μεμβράνη η οποία πιέζει με τη σειρά της το συμπιεσμένο αέριο. Έτσι μειώνεται ο χώρος του αερίου και αυξάνεται ο χώρος του νερού. Έτσι το νερό όταν κρυσταλλωθεί θα αναγκάσει το αέριο με την πίεση που έχει αποκτήσει να σπρώξει το νερό πίσω στη κεντρική θέρμανση επομένως η σχέση όγκων νερού-αέρα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση για να επαναληφθεί.

Συμπέρασμα το δοχείο διαστολής είναι ένα μικρό δοχείο που χρησιμοποιείται σε κλειστά συστήματα θέρμανσης με σκοπό να απορροφά την αύξηση πίεσης του νερού και έτσι να διατηρεί την πίεση του δικτύου σε αποδεκτά όρια.



Εικόνα 28. Δοχείο διαστολής

Η διατήρηση της πίεσης είναι απαραίτητη για:

- ✓ Να αναπληρώνονται οι απώλειες του νερού του δικτύου που οφείλονται σε τυχόν μικροδιαρροές.
- ✓ Να παραλαμβάνεται η θερμική διαστολή του νερού λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του.
- ✓ Να μην δημιουργούνται υποπίεσεις οι οποίες γίνονται αιτία ατμοποιήσεων στο δίκτυο
- ✓ Να αποτρέπεται η σπηλαίωση στην αναρρόφηση των κυκλοφορητών.

Δ.1) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ ΔΟΧΕΙΟΥ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ.

Ο όγκος δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση:

$$Vt = Vs \times \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)}$$

Όπου:

Vt: ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m^3

Vs: ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε m^3

t1: η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($0^\circ C$)

t2: η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($50^\circ C$)

p1: η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

p2: η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

V1: ο ειδικός όγκος νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg

V2: ο ειδικός όγκος νερού στη υψηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι το άθροισμα 2 μεγεθών:

- του όγκου στις σωληνώσεις του γεωθερμικού εναλλάκτη.
- του όγκου στις σωληνώσεις του οριζόντιου συστήματος.

Θεωρώντας και στις δύο περιπτώσεις τις σωληνώσεις ως απλούς κυλίνδρους έχουμε:

$$V_{\gamma.ev.} = 4 \times L_{\gamma.ev.} \times \frac{\pi \times din^2}{4} \Leftrightarrow 4 \times 3351,58 \times \frac{3,14159 \times 0,026^2}{4} \Leftrightarrow V_{\gamma.ev.} = 7,12m^3$$

$$V_{ev.\delta} = L_{ev.\delta} \times \frac{\pi \times din^2}{4} \Leftrightarrow 100 \times \frac{3,14159 \times 0,25^2}{4} \Leftrightarrow V_{\gamma.ev.} = 4,91m^3$$

Όπου $L_{\gamma.ev.}$ το μήκος των σωληνώσεων του γεωθερμικού εναλλάκτη.

$L_{ev.\delta}$ το μήκος των σωληνώσεων του οριζόντιου συστήματος.

Συνεπώς ο συνολικός όγκος του νερού στο δίκτυο είναι ίσος με: **7,12+4,91=12,03 m³**

Ο ειδικός όγκος του νερού σε πίεση **1 atm** και στη θερμοκρασία των **0°C** είναι **V1=0,0010002 m³ / kgr** ενώ στη θερμοκρασία των **50°C** είναι **V2=0,0010121 m³ / kgr**.

Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσ αυξημένη κατά **0,7bar** ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαιώση. Η ελάχιστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα θέρμανσης λαμβάνεται **2m (0,2bar)**. Συνεπώς η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται: **P1=0,7+0,2=0,9bar=90kPa**.

Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφαλείας. Αυτή σύμφωνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι: **P2= P1+1,3bar=2,2bar=220kPa**. Μετά τον καθορισμό των απαιτούμενων μεγεθών υπολογίζεται ο όγκος του δοχείου διαστολής:

$$Vt = Vs \times \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{-1}}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)} \Leftrightarrow Vt = 12,03 \times \frac{\left(\frac{0,0010121}{0,0010002}\right)^{-1}}{1 - \frac{90}{220}} \Leftrightarrow Vt = 0,24m^3$$

Κεφάλαιο 3^ο: Τεχνοοικονομική μελέτη σκοπιμότητας

E) ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ

Η συνολική δαπάνη κεφαλαίου ενός συστήματος αντλίας θερμότητας υπόγειας σύζευξης αποτελείται από τη δαπάνη για τον εξοπλισμό δηλ. τη μονάδα της αντλίας θερμότητας, τη δαπάνη για τις σωληνώσεις της υπόγειας σπείρας και την εγκατάσταση, τη δαπάνη για το σύστημα διανομής και το αντίστοιχο κόστος εγκατάστασης. Τα έξοδα για τον ανταλλακτήρα θερμότητας στο έδαφος καθώς και οι γεωτρήσεις ή οι εκσκαφές που απαιτούνται για την εγκατάστασή του αποτελούν συνήθως το 20% – 50% της συνολικής επένδυσης. Οι γεωτρήσεις και οι εκσκαφές ορυγμάτων γενικά κοστίζουν πολύ περισσότερο από την εγκατάσταση σωλήνων και για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να μεγιστοποιηθεί η εξαγωγή θερμότητας ανά μονάδα μήκους. Συνιστάται ιδιαίτερα η χρήση προηγμένων συστημάτων όπως σωλήνων σπιδράλ.

Οι τοπικές γεωλογικές συνθήκες επηρεάζουν καθοριστικά το κόστος για τις γεωτρήσεις ή τις εκσκαφές ορυγμάτων. Για την κάθετη εγκατάσταση πρέπει προηγουμένως να έχει γίνει μία γεώτρηση μικρής διαμέτρου για να διαπιστωθεί η ακριβής σύνθεση του εδάφους σε μεγαλύτερο βάθος. Αυτό φυσικά αυξάνει το συνολικό κόστος της εγκατάστασης.

Η εγκατάσταση σωλήνων πολυαιθυλενίου μέσα σε ορύγματα για την κατακόρυφη διάταξη κοστίζει συνήθως περίπου 6-12 ευρώ ανά μέτρο, μπορεί μάλιστα να κοστίζει και λιγότερο για νέα ξενοδοχεία, όταν τα μηχανήματα εκσκαφής βρίσκονται ήδη επιτόπου. Το συνολικό κόστος για μία κάθετη εγκατάσταση συμπεριλαμβανομένων των υλικών, των γεωτρήσεων και της πλήρωσης είναι συνήθως στις Ηνωμένες Πολιτείες και τις Σκανδιναβικές Χώρες 40 – 70 € ανά μέτρο. Ωστόσο, καθώς για τις κάθετες εγκαταστάσεις χρειάζεται εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό, το οποίο δεν υπάρχει σε όλες τις χώρες, δεν είναι δυνατόν να δοθούν ακριβείς τιμές για όλες τις περιοχές της Μεσογείου. Γενικά η μέση δαπάνη της ίδιας της αντλίας θερμότητας μπορεί να εκτιμηθεί ότι ανέρχεται σε 300 €/kW, αλλά σίγουρα 62 υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην αγορά. Το συνολικό κόστος της επένδυσης εξαρτάται πολύ από διάφορες παραμέτρους και πρέπει να υπολογίζεται ειδικά για κάθε συγκεκριμένη εγκατάσταση.

Η εξοικονόμηση των δαπανών για την ενέργεια και ως εκ τούτου, η περίοδος απόσβεσης εξαρτάται από το σχετικό κόστος του φυσικού αερίου ή άλλων καυσίμων. Οι αντλίες θερμότητας υπόγειας σύζευξης λειτουργούν με μέση απόδοση (COP- Coefficient of Performance = Συντελεστής Απόδοσης) που μπορεί να φθάνει το 4,5. Έτσι, εάν το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος για την ίδια θερμική ενέργεια είναι λιγότερο από το τετραπλάσιο του κόστους άλλων καυσίμων, τα συστήματα αντλιών θερμότητας υπόγειας σύζευξης καθίστανται ιδιαίτερα ανταγωνιστικά.

Μία μελέτη που διεξήχθη στις ΗΠΑ δείχνει ότι το κόστος συντήρησης ενός συστήματος με αντλία θερμότητας υπόγειας σύζευξης είναι κατά μέσο όρο περίπου το ένα τρίτο του αντίστοιχου κόστους του συμβατικού συστήματος ψύξης και θέρμανσης. Κατά συνέπεια, σε σύγκριση με ένα κλασσικό αερόψυκτο σύστημα, το σύστημα με αντλία θερμότητας υπόγειας σύζευξης έχει χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής, παρότι η αρχική δαπάνη είναι σχεδόν διπλάσια. Η περίοδος απόσβεσης μίας συγκεκριμένης εγκατάστασης είχε εκτιμηθεί σε 7 έως 9 χρόνια.

Σε αυτήν την εγκατάσταση γίνεται κοστολόγηση της εγκατάστασης από ένα φυλλάδιο καταλόγου της πιστοποιημένης εταιρίας της Interplast. Η οποία είναι μια εταιρία που παράγει πλαστικούς σωλήνες και εξαρτήματα υψηλών προδιαγραφών που βρίσκουν εφαρμογή σε εγκαταστάσεις ύδρευσης, θέρμανσης και αποχέτευσης καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα στους τομείς της οικοδομής, τεχνικών έργων και των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

Ε.1) ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

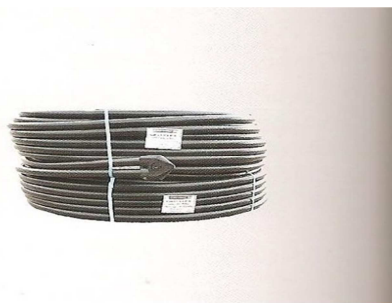
Η παρούσα η διαστασιολόγηση έγινε στο κομμάτι των γεωτρήσεων και στην εγκατάσταση της Γεωθερμική αντλίας θερμότητας αβαθούς γεωθερμίας οπότε τα υλικά/μηχανήματα που θα χρησιμοποιήσουμε για την εγκατάστασης είναι τα ακόλουθα:

1. Αντλία θερμότητας νερού/νερού η αλλιώς γεωθερμική αντλία, με την οποία μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το γεωθερμικό φορτίο του υπεδάφους με χρήση οριζόντιου ή κατακόρυφου γεωεναλλάκτη. Συμπαγείς διαστάσεις και αθόρυβη λειτουργία με χρήση συμπιεστής τύπου scroll για ψυκτικό μέσο R-410A. Μπορεί να παράγει νερό έως 60°C για θέρμανση και ζεστά νερά χρήσης και κρύο νερό από 5°C για τη χρήση και τη διάρκεια του δροσισμού. Έχει ενσωματωμένη αντλία νερού, βαλβίδα διαφορικής πίεσης και δοχείο αδρανείας, και έχει τη δυνατότητα να ενσωματωθεί και υδροστάσιο για το κύκλωμα της γεωθερμίας. Εξαιρετικά οικονομική λειτουργία με αυξημένο συντελεστή COP (έως 6,5).



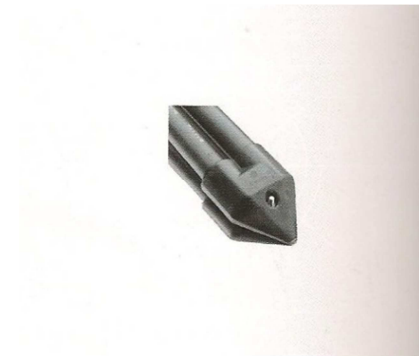
Εικόνα 29. Αντλίες θερμότητας νερού/νερού Ground

2. Σωλήνα Geo-Flex: Σωλήνα πολυαιθυλενίου με διατομή $\Phi 25$ (για οριζόντιο γεωεναλλάκτη) και $\Phi 32$, με συγκολλημένο ακροσωλήνιο για κατακόρυφο γεωεναλλάκτη.



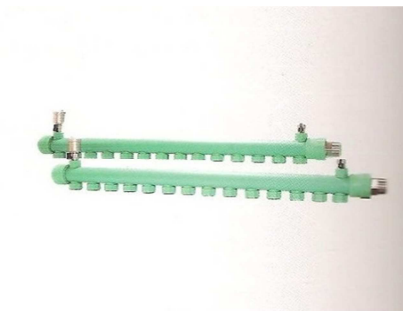
Εικόνα 30. Σωλήνας γεωεναλλακτη

3. Ακροσωλήνιο αυτογενούς συγκόλλησης: Στο ακροσωλήνιο συγκολλούνται οι τέσσερις σωλήνες GEO-FLEX Φ32, οι οποίοι τοποθετούνται σε κάθε μία γεώτρηση της κατακόρυφης γεωθερμίας.



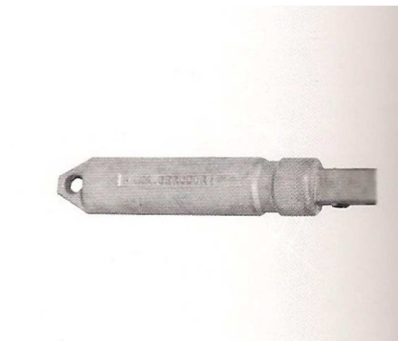
Εικόνα 31. Ακροσωληνίου

4. Συλλέκτες πολυπροπυλενίου: Για τον οριζόντιο ή κατακόρυφο γεωεναλλάκτη τοποθετούνται ζεύγη συλλεκτών (προσαγωγή επιστροφή) από πολυπροπυλένιο. Ο κορμός των συλλεκτών παρέχεται σε διατομές Φ63 και Φ32. Οι δρόμοι είναι ανάλογοι των κυκλωμάτων που θα εγκαταστήσουμε στο υπέδαφος. Έχουν επίσης, τοποθετημένο αυτόματο εξαεριστικό και μία επιπλέον βαλβίδα για πλήρωση του γεωεναλλάκτη.



Εικόνα 32. Συλλέκτες

5. Βάρος για εγκατάσταση κατακόρυφου γεωεναλλάκτη: Προσαρμόζεται στο ακροσωλήνιο και βοηθάει στην τοποθέτηση των σωλήνων στη γεώτρηση.



Εικόνα 33. Βάρος για εγκατάσταση

6. Αποστάτης σωλήνων κατακόρυφου κυκλώματος: Τοποθετείται στην τετράδα των σωλήνων που εγκαθίστανται σε κάθε γεώτρηση και διατηρεί την απόσταση μεταξύ τους σταθερή.



Εικόνα 34. Αποστάτη

7. Η ηλεκτρομούφα : Είναι ένα εξάρτημα συγκόλλησης των σωληνώσεων πολυαιθυλενίου μεταξύ τους εφαρμόζοντας μια τάση στα άκρα του εξαρτήματος αυτού με ένα μηχάνημα ηλεκτροσυγκόλλησης συγκολλούνται οι σωληνώσεις.



Εικόνα 35. Ηλεκτρομούφα συγκόλλησης

Ε.2) ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ (Έρευνα αγοράς):

Το κόστος της εγκατάστασης κυμαίνεται 1000-1500Ευρώ/kWh για τις μονάδες που συνδέονται με γεωτρήσεις και εναλλάκτες θερμότητας. Με βάση τον εξοπλισμό που βρήκαμε θα ερευνήσουμε το κομμάτι του κόστους σύμφωνα με κάποια δεδομένα:

1. Επιλογή της αντλίας θερμότητας (νερού/νερού)

Έχουμε απαίτηση για θέρμανση **240,94 kw** και για ψύξη **126,90kw** οπότε:

$$\Sigma q = 240,94 + 126,90kw = 368kw$$

Επομένως από πίνακα 11 του τιμοκαταλόγου επιλέγουμε το Μοντέλο 121 με ψυκτική ισχύς 32,40 kw και θερμική ισχύς 39,30kw και το μοντελο 17 (ψυκτική 5,97kW και θερμική 6,58Kw)τα οποία καλύπτουν τις ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη. Θα χρειαστούμε **5 αντλίες 121** και **μια 17**.

Με βασική τιμή: **5x12.090+1x8.510,00=68.960 Ευρώ.**

Πίνακας 11: Τιμοκατάλογος αντλιών.			
ΜΟΝΤΕΛΟ	ΨΥΚΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΘΕΡΜ/ΚΗ ΙΣΧΥΣ	ΒΑΣΙΚΗ ΤΙΜΗ
17	5,97 kW	6,58 kW	8510,00
21	6,40 kW	7,17 kW	8530,00
31	7,82 kW	8,90 kW	8570,00
41	10,40 Kw	11,60 Kw	8820,00
51	13,10 Kw	15,70 Kw	9385,00
61	16,10 Kw	19,10 Kw	9.940,00
71	20,00 Kw	23,60 Kw	10.550,00
81	22,10 Kw	25,30 Kw	11.550,00
91	25,60 Kw	29,50 kW	12.015,00
101	29,00 Kw	34,70 kW	12.050,00
121	32,40 Kw	39,30 kW	12.090,00

2. Κόστος σωληνώσεων γεώτρησης.

Πίνακας 12: Τιμοκατάλογος σωληνώσεων GEO-FLEX πολυαιθυλενίου για γεωθερμία.

Πίνακας 12. Τιμοκατάλογος σωληνώσεων			
Εξωτερική διάμετρος	Πάχος τοιχώματος	Μέτρα/ρολό	Τιμή
Φ25	2,3	120	1,03
Φ32	3,0	100	1,70
Φ32	3,0	120	1,70
Φ32	3,0	150	1,70
Στηρίγματα σωλήνας γεωθερμίας			10,16
Γλυκόλη		kg	3,50/lit

Εδώ επειδή έχουμε 69 γεωτρήσεις διπλού βρόγχου 40,13 m η καθεμία θα επιλέξουμε σωληνώσεις με ακροσωλήνιο Φ32x3mm. Οπότε το συνολικό κόστος των σωληνώσεων θα είναι $69 \times 2 \times 48,574m = 6.703,16m$. Οπότε για τιμή μέτρου 1,70 έχουμε $6.703,16 \times 1,70 = 11395,37$ Ευρώ. Τέλος για το οριζόντιο σύστημα για 100m σωληνώσεις έχουμε $100 \times 1,70 = 170$ Ευρώ.

Συνολικά $11.395,37 + 170 = 11.565,37$ Ευρώ.

3. Κόστος αποστατών σωληνώσεων κατακόρυφου κυκλώματος

Αποστάτες Φ32 με πάχος 2,9mm τοποθετούνται ανά 10 μέτρα οπότε επειδή έχουμε 48,574m βάθος για 69 γεωτρήσεις θα έχουμε 4 αποστάτες σε κάθε γεώτρηση άρα συνολικά $69 \times 4 = 276$ τεμ.

Η τιμή: $276(\text{αποστάτες}) \times 7,70(\text{ευρώ/αποστάτη}) = 2.125,2$ Ευρώ

4. Κόστος συλλέκτη γεωθερμίας

Πίνακας 13: Συλλέκτης γεωθερμίας από AQUA-PLUS Φ75x1''	
Παροχές	Τιμή
6 παροχές	325,00
8 παροχές	358,00
10 παροχές	390,00
12 παροχές	423,00

Επιλέγουμε Φ75x1'' επειδή έχουμε πολλές παροχές για καλύτερη κυκλοφορία του ρευστού.

Για 69 παροχές εισαγωγής και επιστροφής θα έχουμε 7 τεμάχια των 10 παροχών
Τιμή $390 \times 7 = \underline{2.730 \text{ Ευρώ}}$.

Επειδή έχουμε και το συλλέκτη επιστροφής η τελική τιμή του θα είναι $2730 \times 2 = \underline{5.460 \text{ Ευρώ}}$.

5. Μονώσεις σωληνώσεων.

Τα οριζόντια τμήματα των σωληνώσεων πολυαιθυλενίου που ξεκινούν από το άνοιγμα των γεωτρήσεων μέχρι τους συλλέκτες πρέπει να μονωθούν για να μην έχουμε απώλειες θερμότητας και επειδή έχουμε 100m σωληνώσεις Φ32x3:

$$100\text{m} \times 0,40 (\text{τιμή μέτρου μόνωσης}) = \underline{40 \text{ Ευρώ}}$$

6. Κόστος ακροσωληνίων

Το κόστος των ακροσωληνίων Φ32x2,9m του 1 μέτρου είναι:

$$69 (\text{αριθμός γεωτρήσεων}) \times 312,00 \text{ Ευρώ} = \underline{21.528 \text{ Ευρώ}}$$

Όμως έχουμε προσθέσει 69m επιπλέον τα οποία πρέπει να τα αφαιρέσουμε από το κόστος των σωληνώσεων επομένως:

$$6.703,16 - 69\text{m} = 6.634,16\text{m}, 6634,16\text{m} + 100\text{m} = 6.734,16\text{m} \text{ αυτό συνεπάγεται με}$$

$$6.734,16\text{m} \times 1,70 (\text{τιμή μέτρου σωλήνας}) = \underline{11.448,07 \text{ Ευρώ}}$$

$$\text{άρα } 21.528 \text{ Ευρώ} + 11.448,07 \text{ Ευρώ} = \underline{32.976,07 \text{ Ευρώ}}$$

7. Τιμή για τις ηλεκτρομούφες.

Θα χρειαστούμε 69 ηλεκτρομούφες καθώς στις σωληνώσεις δεν μας βγήκα ακριβώς τα μέτρα οπότε:

$$69 (\text{μούφες}) \times 10,65 (\text{ευρώ/μούφα}) = \underline{734,85 \text{ Ευρώ}}$$

8. Βάρος για εγκατάσταση κάθετου κυκλώματος

Για το Βάρος της εγκατάστασης η τιμή θα είναι:

$$110,00 (\text{τιμή βάρους}) \times 69 (\text{αριθμός γεωτρήσεων}) = \underline{7.590,00 \text{ Ευρώ}}$$

9. Δοχείο διαστολής ΓΑΘ.

Πίνακας 14: Δοχεία διαστολής τιμοκατάλογος	
Είδος	Τιμή
35lt	140,00
50lt	192,50
80lt	286,90
100lt	406,30
150lt	532,90

Ο όγκος των δοχείων διαστολής που θα χρειαστούμε είναι $0,24 m^3 = 240 \text{lt}$ οπότε θα επιλέξουμε **2 των 100 και 1 των 50 lt** οπότε το κόστος θα είναι:

$$2 \times 406,30 (\text{τιμή } 100 \text{lt}) + 1 \times 192,50 (\text{τιμή } 50 \text{lt}) = \underline{1.005,1 \text{ Ευρώ}}$$

10. Κόστος γεωτρήσεων

Το κόστος των γεωτρήσεων είναι **80 ευρώ ανά μέτρο βάθους γεώτρησης** οπότε για **69 γεωτρήσεις** των 48,574m η καθεμιά θα είναι:

$$80 (\text{Ευρώ/m}) \times 69 \times 48,574 \text{m} = \underline{26.8128,48 \text{ Ευρώ.}}$$

11. Συνολικό κόστος

Συνολικό κόστος εγκατάσταση είναι:

$$\begin{aligned} & 68.960 \text{ E (αντλίας θερμότητας)} + 2.125,2 \text{ E (αποστάτες σωληνώσεων)} + 5.460 \text{ E (Συλλέκτες)} + 40,00 \\ & \text{E (μονώσεις)} + 32.976,07 \text{ E (ακροσωλήνια -σωλήνια)} + 734,85 \text{ E (ηλεκτρομούφες)} + 7.590,00 \text{ E} \\ & \text{(βάρος εγκατάστασης)} + 1.005,1 \text{ E (δοχεία διαστολής)} + 26.8128,48 \text{ Ευρώ (γεωτρήσεις)} = \\ & = \underline{387.019,7 \text{ Ευρώ}} \end{aligned}$$

Το οποίο δίνεται το οποίο φαίνεται συνοπτικά στον **πίνακα 15**.

Πίνακας 15: Συγκεντρωτικός κοστολόγησης			
Τύπος Υλικού	Τιμή μονάδας	Αριθμός τεμαχίων /Μέτρα σωλήνας	Τελική τιμή Ευρώ
Αντλίες Θερμότητας (Νερού/Νερού) 368Kw	12.090 Ευρώ 8510 Ευρώ	5 τεμ. 71,7kw 1 τεμ. 12,55kw	68.960
Συλλέκτες νερού	390 Ευρώ	7τεμ.	5.460
Σωληνώσεις γεώτρησης	1,70 Ευρώ/m	69x2x48,574=6703,16m 6703,16-69=6634,16m 6634,16+100=6734,16m	11.448,07
Αποστάτες σωληνώσεων κατακόρυφου κυκλώματος	7,70 ευρώ/αποστάτη	69x4=276τεμ.	2.125,2
Μονώσεις	0,40 (τιμή μέτρου μόνωσης)	100m	40
Ακροσωλήνια	312,00 Ευρώ	69 τεμ.	21.528,00
Ηλεκτρομούφες	10,65 Ευρώ/μούφα	69τεμ.	734,85
Βάρος για εγκατάσταση κάθετου κυκλώματος	110,00 Ευρώ	69τεμ.	7.590,00
Δοχεία διαστολής ΓΑΘ 100lt και 35lt	406,30 (τιμή 100lt) 192,50 (τιμή 50lt)	2 (100lt) 1(50lt)	1.005,1
Γεωτρήσεις	80ευρώ/m	69x48,574=3351,60m	268.128,48
		Σύνολο	387.019,7Ευρώ

E.3) Εκτίμηση κόστους λειτουργίας της εγκατάστασης

Με βάση την τιμολόγηση της Δ.Ε.Η για σχολικά κτίρια τα οποία είναι στην κατηγορία: Γενικό ενεργειακό-Εμπορικό Τιμολόγιο Γ21. (Γραφεία, καταστήματα, κοινόχρηστα κλπ.)

Πίνακας 16. Τιμή Kwh ηλ. Ενέργεια.	
Ζώνη	Χρέωση εμπορικό (ευρώ/kwh)
Όλο το έτος	0,10801

Το κόστος λειτουργίας που μπορεί να επιτευχθεί στη συγκεκριμένη μονάδα με κλιματιστικές μονάδες με συντελεστή απόδοσης C.O.P=3,5 για θέρμανση και EER=1,26 για ψύξη. Για **36914,37 kwh θέρμανσης: $36.914,37 \text{ kwh}/3,5=10.547 \text{ kwh}$** ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται για τη θέρμανση του κτιρίου. Θεωρώντας μέσω κόστος ίσο με **0,10801ευρώ/ kwh** έχουμε **10.547 kwh*0,10801ευρώ/kwh=1.139,18ευρώ** ετησίως σε ρεύμα για θέρμανση. Για την ψύξη έχουμε αντίστοιχα **28.017,12 kwh** τότε **28.017,12/1,26=22.235,8 kwh** ηλεκτρική ενέργεια.

Ετήσιο κόστος σε ρεύμα **22.235,8kwh*0,10801ευρώ/kwh=2.401,7ευρώ**. Οπότε συνολικά απαιτούνται **1.139,18+2.401,7ευρώ=3.541ευρώ** ετησίως για το κόστος λειτουργίας. Σε αυτό το κόστος δεν προστίθεται το κόστος συντήρησης καθώς οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας δεν χρειάζονται συντήρηση. Μόνο ο εναλλάκτης έναν περιοδικό έλεγχο.

E.4) Σύγκριση του κόστους θέρμανσης-ψύξης. Υπολογισμός χρόνου αποπληρωμής με συμβατικά συστήματα κλιματισμού (λέβητας, αντλίες αέρος -αέρος).

Πέρα το αυξημένο κόστος της εγκατάστασης ο καταναλωτής επιβαρύνεται συνεχώς με το αυξανόμενο κόστος θέρμανσης λόγω της ραγδαίας αύξησης των τιμών ενέργειας. Τα παραδοσιακά συστήματα και οι λέβητες κεντρικής θέρμανσης έχουν υψηλό κόστος λειτουργίας και επιβαρύνουν ιδιαίτερα το περιβάλλον καθώς λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα. Κανείς βέβαια δεν επιθυμεί να σπαταλά τα χρήματα του σε ασύμμορφες επιλογές όταν υπάρχει εναλλακτική επιλογή.

Η εξοικονόμηση που μπορεί να επιτευχθεί με το πετρέλαιο το οποίο έχει θερμογόνο δύναμη **11,9 KWh/lit**. Αυτό σημαίνει ότι ιδανικά 1 λίτρο πετρελαίου αποδίδει **11,9 KWh** θερμικής ενέργειας. Ωστόσο, η τελική αποδιδόμενη θερμική ενέργεια εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης του καυστήρα μας. Θεωρώντας, για παράδειγμα, **βαθμό απόδοσης 90%**, για **36.914,37 kwh** θέρμανσης που θα χρειαστούμε, απαιτούνται: **36.914,37kwh/(11,9(kwh/lit) x 0.9)= 3.447** λίτρα πετρελαίου.

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι φέτος το μέσο κόστος για το πετρέλαιο θέρμανσης ανέρχεται σε **1,3 ευρώ/λίτρο**, το κόστος για πετρέλαιο υπολογίζεται στα **1,3*3.447lt=4.481,1ευρώ** το οποίο είναι μεγαλύτερο από το κόστος θέρμανσης με αντλία θερμότητας.

Για την ψύξη αφού ο λέβητας δεν προσφέρεται για αυτή τη λειτουργία θα τον συνδυάσουμε μαζί με κάποια άλλη συσκευή της οποίας το κόστος λειτουργίας θα προσμετρηθεί στο κόστος λειτουργίας με αποτέλεσμα να αυξηθεί και άλλο και να είναι μεγαλύτερο από το κόστος λειτουργίας της αντλίας θερμότητας. Εάν χρησιμοποιήσουμε κλιματιστικά αέρος-αέρος (κοινά κλιματιστικά) για **COP=3,7** για θέρμανση και **EER=3,30** για ψύξη. Στην περίπτωση της θέρμανσης για **36.914,37kwh/3,7=9976,86 kwh**, ενώ για την ψύξη για **28.017,12kwh/3,30=8490,03kwh**.

Συνεπώς το κόστος της θέρμανση θα είναι **9976,86kwh*0,10801ευρώ/kwh=1077,6ευρώ**. Και για ψύξη **8490,12kwh*0,10801ευρώ/kwh=917ευρώ**. Συνολικά για θέρμανση και ψύξη έχουμε **1077,6ευρώ+917ευρώ=1994,6ευρώ**. Μαζί με το κόστος του πετρελαίου είναι: **4481,1+1994,6=6475,7ευρώ**.

Συμπερασματικά η εξοικονόμηση του κόστους που επιτυγχάνεται με την αντλία θερμότητας σε σχέση με το κόστος του λέβητα πετρελαίου και των κλιματιστικών είναι:

$$\frac{\text{κόστος.ηλ.εν.αντλ.} - \text{κόστος.λεβ.κλιμ.}}{\text{κόστος.πετρ.λεβ.}} = \frac{3541 - 6475,7}{6475,7} = -0,55 = -55\%$$

Το πλην μας δείχνει ότι η γεωθερμική αντλία θερμότητας σε σχέση με με το λέβητα και τα κλιματιστικά έχει έως 55% εξοικονόμηση χρημάτων. Με βάση την εξοικονόμηση θα υπολογίσουμε το χρόνο αποπληρωμής του γεωθερμικού εναλλάκτη δηλαδή σε πόσο χρόνο θα καλυφθεί η αρχική επένδυση της εγκατάστασης.

$$\begin{aligned} \text{χρόνος.αποπλ.} &= \frac{\text{κόστος.εγκατάσταση}}{\text{χρήματα.εξοικονόμησης}} = \\ &= \frac{\text{κόστος.εγκατάσταση}}{\text{κόστος.λεβ.κλιμ.} - \text{κόστος.ηλ.εν.αντλίας}} = \frac{387019,7\text{Ευρώ}}{(6475,7 - 3541)\text{Ευρώ/έτος}} = 131,87\text{έτη} \end{aligned}$$

Κεφάλαιο 4^ο : Επίλογος

4.α) Αξιολόγηση του έργου-Συμπέρασμα

Για την θέρμανση και την ψύξη του σχολικού κτιρίου θα χρειαστούν 69 γεωτρήσεις βάθους 48,574m η κάθε μία για τους κατακόρυφους γεωεναλλάκτες. Επίσης θα χρειαστούν 5 αντλίες για τη κάλυψη 368 kw του χώρου με διάμετρο σωλήνωσης PE DN32 PN12 (32mm). Συνεπώς με αυτά τα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης μπορούμε κάνοντας μια κοστολόγηση του εξοπλισμού να αντιληφθούμε ότι μιλάμε για μεγάλο κόστος σε σχέση με το κόστος ενός συμμαστικού συστήματος το οποίο δεν χρειάζεται γεωτρήσεις για να λειτουργήσει. Το κόστος του εξοπλισμού εγκατάστασης ανέρχεται στα 387.019,7 Ευρώ μαζί με το κόστος των γεωτρήσεων το οποίο είναι σχεδόν τα δυο τρίτα του κόστους του εξοπλισμού με **268.128,48 Ευρώ** εξαιτίας των πολλών γεωτρήσεων.

Ο χρόνος αποπληρωμής είναι **131,87 έτη** μιλάμε για ένα πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα και αυτό γιατί τα χρήματα εξοικονόμησης είναι μόλις **2934,1 ευρώ** όποτε από άποψη επενδύσεως μια τέτοιας εγκατάσταση δεν συμφέρει. Καθώς μετά από αυτό το χρονικό διάστημα θα έχουν αλλάξει τα δεδομένα για την θέρμανση και τον κλιματισμό με πιο προηγμένα συστήματα τα οποία θα επιφέρουν αποπληρωμή χρημάτων σε μικρότερα χρονικά διαστήματα.

Από την άλλη μεριά μερικά από τα πλεονεκτήματα της γεωθερμίας είναι:

- Χαμηλό κόστος λειτουργίας. Καθώς το 70% έως 80 % της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανσης-δροσισμό απορροφάται από το γεωεναλλάκτη, το κόστος λειτουργίας ενός γεωθερμικού συστήματος είναι εξαιρετικά μειωμένο.
- Φιλικότητα προς το περιβάλλον καθώς δεν εξαντλεί τους ενεργειακούς πόρους και δεν παράγει ρύπους (μηδενικές εκπομπές CO_2).
- Ελευθερία χώρων. Περισσότερος χώρος στο σπίτι, καθώς το μόνο που χρειάζεται είναι μία μικρή και συμπαγής αντλία.
- Μηδενική συντήρηση. Ο γεωεναλλάκτης δεν χρειάζεται συντήρηση, ενώ η αντλία γεωθερμίας μόνο έναν περιοδικό έλεγχο.

Τέλος σημαντικό πλεονέκτημα της Γεωθερμίας έναντι των λοιπών Α.Π.Ε είναι η μόνιμη <<παροχή>> ενέργειας καθόλο το έτος, χωρίς διακυμάνσεις με μικρό λειτουργικό κόστος καθώς και η δυνατότητα πλήρους ανάκτησης και εκμετάλλευσης της υπάρχουσας υπεδαφικής δραστηριότητας.

Βιβλιογραφία:

1. Steve Kavanaugh and Kevin Rafferty Ground Source heat pumps-Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings Atlanta 1997.
2. Δημήτριος Κατσαμπρακάκης, Σημειώσεις Διαστασιολόγηση γεωθερμικού εναλλάκτη. Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Κρήτης (χ.χ.)
3. Καθ. Δημήτριος Κατσαμπρακάκης τμήματος μηχανολογίας, Γεωθερμία Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Κρήτης (χ.χ.)
4. Τεχνικό εγχειρίδιο σωλήνων & εξαρτημάτων PEX ενδοδαπέδιας θέρμανσης & Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της Interplast. Εγχειρίδιο πληροφορίας σχετικά με τα Γεωθερμικά συστήματα. (χ.χ.) Διαθέσιμο και από το διαδίκτυο: www.interplast.gr
5. Εισαγωγή στις εγκαταστάσεις κλιματισμού Ιωάννη Διαμιανού Μηχανολόγου σύμβουλου τεχνικών & αναπτυξιακών έργων Αθήνα 1995
6. Συστήματα Πλαστικών σωληνώσεων Interplast 2010. Τιμοκατάλογος πληροφορίας σχετικά με τα κόστος των υλικών της αβαθούς κατακόρυφης γεωθερμίας. Διαθέσιμο και από το διαδίκτυο: www.interplast.gr
7. Σωτήρης Κ. Καρβούνης Μεθοδολογία, Τεχνικές και θεωρία για οικονομικές μελέτες. Εκδόσεις ΑΘ. Σταμούλης, Αθήνα 2006.
8. Βικιπαίδεια Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια : <http://www.wikipedia.org/>
9. Διεθνής γεωθερμικής ενέργεια : <http://www.geothermal-energy.org/>
10. Λύσεις και πληροφορίες για τη θέρμανση : <http://thermansipress.gr/>