



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Γ. Ανωγειανάκης Α.Μ :4038

ΘΕΡΜΑΝΣΗ - ΨΥΞΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ



Επίβλεψη: Κατσαπρακάκης Δημήτριος
Επίκουρος Καθηγητής Α.Τ.Ε.Ι Κρήτης

Ηράκλειο 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ενέργεια είναι άμεσα συνδεδεμένη με κάθε πτυχή της ζωής του ανθρώπου. Είναι απαραίτητη για τη θέρμανση, τον κλιματισμό, το φωτισμό των χώρων διαβίωσης και για το μαγείρεμα και τη συντήρηση των τροφίμων. Καλύπτει ακόμα τις ανάγκες των μέσων μετακίνησης, τις βιομηχανίες, τους κάθε είδους εργασιακούς χώρους και γενικά όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στη σημερινή εποχή, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας προέρχεται από την εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων, όπως ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Όμως από το τέλος της δεκαετίας του 1960 άρχισαν να αναγνωρίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιομηχανικής ανάπτυξης και ιδιαίτερα της καύσης των ορυκτών καυσίμων και ο άνθρωπος άρχισε να ευαισθητοποιείται στο θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος. Η ευαισθητοποίηση αυτή σε συνδυασμό με τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970 οδήγησαν στην ανάπτυξη τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης ενεργειακά ανανεώσιμων πηγών. Η πτώση όμως των τιμών του πετρελαίου τη δεκαετία του 1980 και του 1990 λειτούργησε ανασταλτικά στην ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών, καθώς συνέχισε να προωθείται για οικονομικούς λόγους η εκμετάλλευση των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Στη σημερινή εποχή, τα ορυκτά καύσιμα καλύπτουν περίπου το 81% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης. Μεταξύ αυτών το πετρέλαιο κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό (35%) και ακολουθεί ο άνθρακας (25%) και το φυσικό αέριο (21%). Το υπόλοιπο μερίδιο αντιστοιχεί στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) και την πυρηνική ενέργεια με ποσοστά 13% και 6% αντίστοιχα.

Στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να προωθήσει όσο το δυνατόν τη χρησιμοποίηση Α.Π.Ε και να εξηγήσει όσο γίνεται πιο αναλυτικά το τι είναι γεωθερμική ενέργεια του εδάφους και ποιες είναι οι μορφές με τις οποίες εμφανίζεται. Ακόμη παρουσιάζονται εκτενώς οι χρήσεις της γεωθερμίας στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου, όπως επίσης και σύγχρονες τεχνολογικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευσή της. Τέλος, αναδεικνύονται τα οφέλη και οι αρνητικές επιπτώσεις από την χρήση της ενέργειας αυτής, ενώ παρατίθεται και μια μελέτη για την ψύξη και θέρμανση ενός σπιτιού (μετά από κάτοψη που έχει δοθεί) στην περιοχή της Κρήτης.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to promote as much as possible the use of RES and explain in more detail as possible what is geothermal energy from the ground and what are the forms in which it appears. Even presented extensively uses of geothermal energy in everyday human life , as well as modern technological methods used to exploit it . Finally , highlighting the benefits and adverse effects from the use of this energy , while listed as a study for cooling and heating a home (after a plan has been given) in the region of Crete.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μόλυνση του περιβάλλοντος, η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης τα τελευταία χρόνια, καθώς και τα μειονεκτήματα των ορυκτών καυσίμων, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρον από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, έχουν οδηγήσει την ανθρωπότητα στην αναζήτηση νέων μορφών ενέργειας. Όπως είναι προφανές, η εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών σε παγκόσμιο επίπεδο αποτελεί μια από τις σημαντικότερες λύσεις στα παραπάνω προβλήματα. Έτσι λοιπόν την τελευταία εικοσαετία έχει σημειωθεί τεράστια ανάπτυξη των τεχνολογιών και των διατάξεων αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών για την παραγωγή ενέργειας.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός της γεωθερμίας και κάποιες γενικές πληροφορίες για αυτή την ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Επίσης παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή, τότε χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά και πως εξελίχθηκε μέχρι τις μέρες μας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι μορφές της γεωθερμικής ενέργειας και πως αυτή συναντάται στη γη. Τις ιδιότητές της και τα στοιχεία που την χαρακτηρίζουν.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας στην καθημερινή ζωή. Περιγράφονται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας στην ηλεκτροπαραγωγή και για άμεση χρήση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας και των εφαρμογών της, όπως επίσης και οι επιπτώσεις της χρήσης της στο περιβάλλον.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ιδιότητες εδάφους οι λειτουργία των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας καθώς και η μέθοδος Διαστασιολόγησης γεωθερμικών εναλλακτων.

Στο έκτο κεφάλαιο παρατίθεται μια μελέτη ψύξης-θέρμανσης κατοικίας με σύστημα γεωθερμίας, στην περιοχή της Κρήτης. Σύμφωνα με μια κάτοψη που έχει δοθεί, αναλύονται οι διάφορες παράμετροι μιας τέτοιας διαδικασίας.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται το κόστος εγκατάστασης καθώς και λειτουργίας των γεωθερμικών συστημάτων και η σύγκριση τους με συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης . Επίσης παρουσιάζονται και τα τελικά συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3

1° ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΓΕΝΙΚΑ – ΘΕΩΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

1.1 Γεωθερμία και ενεργειακό μέλλον	8
1.2 Ιστορία της Γεωθερμικής ενέργειας	10
1.3 Τα γεωθερμικά πεδία	10
1.4 Γεωθερμικό σύστημα	11
1.5 Γεωθερμικοί πόροι	13
1.6 Θερμά ξηρά πετρώματα	13

2° ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΟΡΦΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ – ΠΩΣ ΣΥΝΑΝΤΑΤΑΙ

2.1 Ταξινόμηση Γεωθερμικών συστημάτων	15
2.2 Ομαλή ή αβαθής Γεωθερμία	16
2.3 Υδροθερμική ενέργεια – Υδροθερμικές πηγές	17
2.4 Γεωπεπιεσμένες πηγές	17
2.5 Μάγμα	18

3° ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ ΖΩΗ

3.1 Εισαγωγή	19
3.2 Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας	19
3.3 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας	21
3.3.1 Ξηρού ατμού	22
3.3.2 Στρόβιλοι υγρού ατμού	22
3.3.3 Δυαδικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό	22
3.4 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας	23
3.4.1 Άμεση θέρμανση χώρων	23
3.4.2 Τηλεθέρμανση	24
3.4.3 Θέρμανση θερμοκηπίων	25
3.4.4 Γεωργία – Κτηνοτροφία	26
3.4.5 Υδατοκαλλιέργειες – Ιχθυοκαλλιέργειες	26
3.4.6 Βιομηχανικές εφαρμογές	27
3.4.7 Θέρμανση πισινών – Ιατρικές εφαρμογές	27
3.4.8 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού	27
3.5 Αβαθής γεωθερμία	28
3.5.1 Νερό	29
3.5.2 Έδαφος	29

4° ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

4.1 Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας	31
4.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα	31
4.3 Προβλήματα παραγωγής και ρύπανσης	33
4.3.1 Αποθέσεις μετάλλων	33
4.3.2 Υδρολογικές αλλαγές	33
4.3.3 Διάβρωση	34
4.3.4 Ρύπανση	34
4.3.5 Επανεγχυσή	35
4.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Γ.Α.Θ	36
4.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης Των γεωθερμικών πεδίων	37
4.5.1 Γεωτρήσεις έρευνας, παραγωγής και επανεισαγωγής	37
4.5.2 Θόρυβος	37
4.5.3 Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς	38
4.5.4 Πρόκληση καθιζήσεων	38
4.5.5 Δημιουργία μικροσεισμικότητας	38
4.5.6 Υδροθερμικές εκρήξεις	38

5° ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ-ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΝΛΛΑΚΤΩΝ

5.1 Θερμοκρασία εδάφους	39
5.2 Θερμικές ιδιότητες εδάφους	41
5.3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας(Γ.Α.Θ)	44
5.3.1 Αρχή λειτουργίας(Γ.Α.Θ)	44
5.4 Κλειστά γεωθερμικά συστήματα	45
5.4.1.1 Οριζόντιο κλειστό γεωθερμικό σύστημα	45
5.4.1.2 Διστασιολόγηση οριζόντιου γεωθερμικού εναλλάκτη Κλειστού κυκλώματος	46
5.4.2.1 Κάθετο κλειστό γεωθερμικό σύστημα	52
5.4.2.2 Διστασιολόγηση κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη Κλειστού κυκλώματος	53
5.5 Ανοικτό γεωθερμικό σύστημα	60

6 ° ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΜΕΛΕΤΗ-ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ - ΚΑΘΕΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

6.1 Χαρακτηριστικά της κατοικίας	61
6.2 Ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας ,θερμικές απώλειες ψυκτικά φορτία	62
6.3 Σχεδιασμός συστήματος	63
6.4 Διαστασιολογισή οριζοντίου γεωεναλλάκτη (κλειστού συστήματος)	65
6.4.1 Επιλογή γεωθερμικής αντλίας θερμότητας	67
6.4.2 Υπολογισμός παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη	68
6.4.3 Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη	68
6.4.4 Μήκος εναλλάκτη	70
6.4.5 Υπολογισμός κυκλοφορητή -δοχείου διαστολής	71
6.5 Διαστασιολογισή κάθετου γεωεναλλάκτη (κλειστού συστήματος)	74
6.5.1 Διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη	75
6.5.2 Απαιτούμενο βάθος κάθετου εναλλάκτη	77
6.5.3.1 Θερμική αντίσταση σωλήνωσης	78
6.5.3.2 Θερμοκρασία εδάφους	78
6.5.3.3 Συντελεστής θερμικών απωλειών	79
6.5.4 Απαιτούμενο βάθος κάθετου εναλλάκτη	80
6.6 Ανοικτό σύστημα γεωθερμίας	84
6.6.1 Υπολογισμός αντλίας θερμότητας	84
6.6.2 Διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη	84
6.6.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωτρήσεων	85
6.6.4 Υπολογισμός υποβρ. αντλίας - Δοχείου διαστολής	86
6.6.5 Χρονοδιάγραμμα εργασιών	90
6.6.6 Συντήρηση γεώτρησης	90

7. ° ΚΕΦΑΛΑΙΟ : ΚΟΣΤΟΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ- ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

7.1 Κόστος εγκατάστασης οριζόντιου γεωθερμικού συστήματος	91
7.2 Κόστος εγκατάστασης κάθετου γεωθερμικού συστήματος	92
7.3 Κόστος εγκατάστασης κάθετου ανοικτού γεωθερμικού συστήματος	93
7.4 Κόστος λειτουργίας - Χρόνος απόσβεσης	94
7.4 .1 Ενεργειακή ανάλυση -κόστος λειτουργίας λέβητα πετρελαίου -Αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα vs Γεωθερμία	95
7.4.1.1 Υπολ. ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου	95
7.4.1.2 Χρηματοοικονομικός υπολ. ετησίας κατανάλωσης σε πετρέλαιο	96
7.4.1.3 Χρηματοοικονομικός υπολ. ετησίας κατανάλωσης σε ρεύμα αντλίας αέρα-αέρα	97
7.4.1.4 Χρηματοοικονομικός υπολ. ετησίας κατανάλωσης	

σε ρεύμα με γεωθερμική αντλία θερμότητας	98
7.5 Χρόνος απόσβεσης	100
7.6 Συμπεράσματα - πρόσθετες εφαρμογές	101
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	102
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	103
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	113
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	145

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΑ – ΘΕΩΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

1.1 Γεωθερμία και ενεργειακό μέλλον

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, έχει οριστεί πως ο όρος της Γεωθερμίας αφορά τον επιστημονικό κλάδο, ο οποίος περιλαμβάνει όλα τα στάδια της έρευνας. Από τη μελέτη της γήινης ροής θερμότητας, τις συνθήκες κατανομής θερμότητας στο υπέδαφος, το μηχανισμό κυκλοφορίας των υπόγειων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες, καθώς και τα φυσικό-χημικά χαρακτηριστικά τους, μέχρι τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με κατάλληλες παραγωγικές γεωτρήσεις .

Τα κύρια χαρακτηριστικά της γεωθερμικής ενέργειας είναι ότι αποτελεί μια φυσική, ήπια πηγή ενέργειας η οποία είναι αρκετά ανανεώσιμη . Η συγκεκριμένη μορφή ενέργειας προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, με ή χωρίς αέρια σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω, καθώς και σε θερμά-ξηρά πετρώματα. Για να είναι πραγματοποιήσιμη η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής , θα πρέπει οι γεωλογικές συνθήκες, να συνδυάζονται με το θερμικό φορτίο και να πετυχαίνουν ένα συγκριτικό οικονομικό αποτέλεσμα. Η γεωθερμική ενέργεια εντοπίζεται σε θερμά-ξηρά πετρώματα σε μεγάλα βάθη, σε γεωπεπιεσμένους σχηματισμούς και σε λιωμένα πετρώματα (μάγματα). Η αξιοποίηση όμως της συγκεκριμένης μορφής ενέργειας είναι αρκετά δύσκολη σύμφωνα με τα σημερινά τεχνικά και οικονομικά δεδομένα. Αντιθέτως η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται όλο και περισσότερο , από ρηχά ρευστά ή πετρώματα, παρόλο που έχουν μικρή θερμοκρασία (Φυτίκας&Ανδρίτσος, 2004).

Κυριότερος στόχος της γεωθερμίας είναι ο εντοπισμός και η μελέτη των γεωθερμικών περιοχών, δηλαδή των περιοχών εκείνων που παρουσιάζουν θετικές θερμικές ανωμαλίες και ευνοϊκές γενικά συνθήκες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας.

Σε μερικές περιοχές της γης παρατηρούνται ασυνήθιστα υψηλές τιμές της θερμικής ροής, δηλαδή της μετάδοσης της θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια. Αυτές οι περιοχές, με θετική θερμική ανωμαλία, έχουν βεβαίως προτεραιότητα στη γεωθερμική έρευνα και αξιοποίηση. Όμως, με τις σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις και σε συνδυασμό με την ολοένα αυξανόμενη τιμή της ενέργειας, την ορατή προοπτική εξάντλησης των συμβατικών καυσίμων και την ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος, γίνονται ενδιαφέρουσες και περιοχές με μικρότερες θερμικές ανωμαλίες ή και χωρίς καμία ανωμαλία. Αρκεί οι περιοχές αυτές να διαθέτουν αξιόλογες ποσότητες ρευστών, σε μικρά σχετικά βάθη, μέχρι 3000 μέτρα. Το βάθος αυτό θεωρείται γενικά ως το μέγιστο βάθος των γεωτρήσεων γεωθερμίας με τα σημερινά οικονομικά δεδομένα .

Η αξιοποίηση της ενέργειας αυτής είναι ένα αντικείμενο που παρουσιάζει κάποιες ιδιαιτερότητες αλλά και πλεονεκτήματα. Αρχικά, θα ήταν σωστό να δοθούν οι ορισμοί από κάποιες σημαντικές έννοιες.

- 1) Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης σε μορφή νερού, ατμών, αερίων ή ακόμα και ως ενέργεια από τα πετρώματα. Είναι η φυσική ενέργεια της γης που διαρρέει το εσωτερικό της προς την επιφάνεια.
- 2) Γεωθερμικό δυναμικό, είναι το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών υδάτων, επιφανειακών ή υπογείων και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25 βαθμούς Κελσίου.
- 3) Γεωθερμικό πεδίο είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό (Καραγιάννης&Μουζά&Καράμπελας, 1992).

Τα Γεωθερμικά πεδία χωρίζονται στις εξής κατηγορίες, ανάλογα με το θερμοκρασιακό τους επίπεδο:

A) Υψηλής ενθαλπίας (>150°C)συνήθως χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή ηλεκτρισμού. Τις πιο πολλές φορές αυτά τα ρευστά αποτελούνται από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού.

B) Μέσης ενθαλπίας (80 - 150°C) χρησιμοποιούνται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων, όπως επίσης και μερικές φορές για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Γ) Χαμηλής ενθαλπίας (25 - 80°C)χρησιμοποιούνται για θερμάνσεις χώρων, θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

Δ) Περιβαλλοντική (ή πολύ χαμηλής ενθαλπίας, με θερμοκρασίες συνήθως χαμηλότερες των 25°C, κανονική, ομαλή ή αβαθής) χρησιμοποιούνται συνήθως για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού.

Η ενθαλπία σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι είναι ανάλογη της θερμοκρασίας και συνήθως χρησιμοποιείται για να εκφράσει την περιεχόμενη θερμική ενέργεια των ρευστών και δίνει μια γενική εικόνα της ενεργειακής αξίας τους. Η μετάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται με 2 τρόπους :

- Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,04 – 0,06W/m².
- Με ρεύματα μεταφοράς που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα σύνορα των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

- 4) Προϊόν του γεωθερμικού πεδίου θεωρείται το αξιοποιήσιμο θερμοενεργειακό του περιεχόμενο.
- 5) Παραπροϊόντα λέγονται άλλα προϊόντα που παράγονται συγχρόνως εκτός από το θερμοενεργειακό περιεχόμενο του πεδίου.
- 6) Υποπροϊόν λέγεται το γεωθερμικό ρευστό που απομένει, έπειτα από την απόληψη των κατά τα ανωτέρω προϊόντων και παραπροϊόντων.
- 7) Διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου ονομάζεται το σύνολο των δραστηριοτήτων που πραγματοποιούνται και αποσκοπούν στην παραγωγική εξόρυξη του γεωθερμικού ρευστού, ην ορθολογική αξιοποίηση προϊόντων και παραπροϊόντων, τη διανομή και ελεύθερη διάθεσή του σε τρίτους για κάθε είδους εφαρμογές και την περιβαλλοντικά συμβατή διάθεση των υποπροϊόντων (Mary&Dickson&Fanelli, 2004).

1.2 Ιστορία της Γεωθερμικής ενέργειας

Από την αρχαιότητα, η γεωθερμική ενέργεια συνηθιζόταν να χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους για την προσωπική τους καθαριότητα αλλά και για θέρμανση. Ακόμα και στις μέρες μας, σε αρκετά μέρη του κόσμου οι θερμές πηγές χρησιμοποιούνται για ζεστά μπάνια, και αρκετοί άνθρωποι υποστηρίζουν την άποψη ότι τα καυτά μεταλλικά νερά έχουν φυσικές θεραπευτικές δυνάμεις. Η χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι νέα επινόηση. Πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε από μια ομάδα Ιταλών το 1904 (Varet, 1982).

Αυτή η ομάδα Ιταλών, χρησιμοποίησε τον ατμό που πηγάζει μέσα από τη γη, για να κινήσει μια γεννήτρια με τη βοήθεια στροβίλου. Η γεωθερμική ενέργεια είναι ένα είδος ενέργειας την οποία εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος πλέον σε πολλές χώρες του κόσμου, όπως οι ΗΠΑ, η Ισλανδία, η Ιταλία, η Νέα Ζηλανδία, η Ιαπωνία, οι Φιλιππίνες, το Μεξικό, η Ρωσία κ.ά. Στην Ισλανδία, όπου η ατμόσφαιρά της είναι από τις πιο καθαρές του κόσμου, το 70% του πληθυσμού χρησιμοποιεί για θέρμανση την ενέργεια των θερμών πηγών και των θερμοπηδάκων της χώρας. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 η παγκόσμια παραγόμενη ισχύς από γεωθερμικές μονάδες (οι μισές από τις οποίες βρίσκονται στις ΗΠΑ), ξεπερνούσε τα 5.000 μεγαβάτ. Στις ΗΠΑ βρίσκεται και μία από τις μεγαλύτερες γεωθερμικές εγκαταστάσεις στον κόσμο, η μονάδα GEYSER της Καλιφόρνια, που περιλαμβάνει 20 γεωθερμικούς σταθμούς συνολικής ισχύος 2.000 μεγαβάτ.

Οι έρευνες για την ύπαρξη γεωθερμικής ενέργειας στην χώρα μας άρχισαν το 1970 και ως το 1980 είχε να κάνει με περιοχές στις οποίες υπήρχαν ενδείξεις για υψηλή ενθαλπία. Βρέθηκαν τα γεωθερμικά πεδία της Μήλου και της Νισύρου και προέκυψαν πολλά ή λιγότερα στοιχεία για πιθανά πεδία στην Κίμωλο, Πολύαιγο, Σαντορίνη, Κω και Λέσβο. Κάποιες από τις παραπάνω περιοχές μπορεί να διαπιστωθεί ότι δεν έχουν σε οικονομικά βάθη, γεωθερμικά ρευστά υψηλής αλλά μόνο μέσης ενθαλπίας, όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποδειχθεί συμφέρουσα σε μερικές περιπτώσεις (Armstead, 1983).

1.3 Γεωθερμικά πεδία

Η θέρμανση του υπεδάφους και το φαινόμενο διάπυρο υλικό που υπάρχει στο εσωτερικό της γης, προκύπτει να κινείται προς την επιφάνεια. Αυτό ωστόσο εμφανίζεται σε περιοχές όπου έχει υπάρξει σχετικά πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η θερμότητα αυτή συμβαίνει πολλές φορές να μεταφέρεται σε τυχόν υδάτινους σχηματισμούς που υπάρχουν στην γύρω περιοχή, και σαν αποτέλεσμα τα νερά ζεσταίνονται και κυκλοφορούν μέσα από τα πετρώματα, φθάνοντας έτσι πολλές φορές μέχρι και την επιφάνεια, αφού εμπλουτίζονται από τα άλατα που έχουν τα πετρώματα, ενώ κάποιες άλλες φορές, τα νερά εγκλωβίζονται σε μη υδροπερατά πετρώματα και αποκτούν θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 350°C.

Η θερμική ροή εμφανίζεται :

1. Κατά τη βύθιση λιθοσφαιρικών πλακών.
2. Στα ηπειρωτικά βυθίσματα.
3. Στις ηπειρωτικές περιοχές διόγκωσης.

Καθώς τα ωφέλει της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολλά και αποτελεί φυσικό επίγειο πλούτο, είναι σκόπιμο να αντιμετωπίζεται σοβαρά και με ιδιαίτερο αναπτυξιακό χαρακτήρα τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Η

απαιτούμενη τεχνολογία για τη σωστή εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής, έχει περάσει από εξετάσεις σε ευρεία κλίμακα (Ellis.&Mahon, 1997) .

Ωστόσο τα γεωθερμικά πεδία ξεχωριστά, παρουσιάζουν ιδιομορφίες και απαιτούνται διαφορετικές όσο και εξειδικευμένες μελέτες για τη σωστή από τεχνικής όσο και οικονομικής άποψης εκμετάλλευσή τους. Από την άλλη μεριά, ότι έχει να κάνει με την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας που εμπεριέχεται στα θερμά ξηρά πετρώματα και τα ενεργά ηφαίστεια, η τεχνολογία δεν έχει δώσει ακόμα πρακτικά αποδεκτές λύσεις.

Παρόλ'αυτά, θα μπορούσαν να εξασφαλιστούν μερικές εκατοντάδες MW_e λόγω του γεωθερμικού δυναμικού υψηλής ενθαλπίας και μάλιστα σε ευαίσθητους νησιωτικούς χώρους όπου η παραγωγή όσο και η διάθεση του ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να επιτευχθεί με αρκετά χαμηλότερο κόστος ανά KWh.

Στη χώρα μας υπάρχουν αρκετά γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας, όπου είναι έτοιμες πολλές δεκάδες γεωτρήσεων παραγωγής, με πολύ μεγάλο δυναμικό. Από αυτό το δυναμικό, ένα μικρό μέρος (περίπου τα 3/20) είναι σε χρησιμότητα σήμερα για θέρμανση χώρων, ιαματικά λουτρά, θέρμανση θερμοκηπίων και ιχθυοκαλλιέργειες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς της χώρας το 2005 ανήλθε σε 74,8 MW_{th}.

Κάποιες φορές, άλατα αλλά και αέρια τα οποία είναι αξιοποιήσιμα, εμπεριέχονται στα γεωθερμικά πεδία. Μεταξύ των πρώτων αναφέρονται για τη χρησιμοποίησή τους τα άλατα καλίου και μαγνησίου που παράγονται από γεωθερμικές ενέργειες. Παρόμοια ρευστά πολύ πλούσια σε θειικό κάλιο βρέθηκαν τελευταία στο καινούργιο γεωθερμικό πεδίο Cesano της Ιταλίας. Ένα αέριο που έχει τεράστια σημασία για τα θερμοκήπια είναι το CO₂ το οποίο παράγεται συνήθως σε αφθονία στα γεωθερμικά πεδία (Καρυδάκης, 2003).

1.4 Γεωθερμικό σύστημα

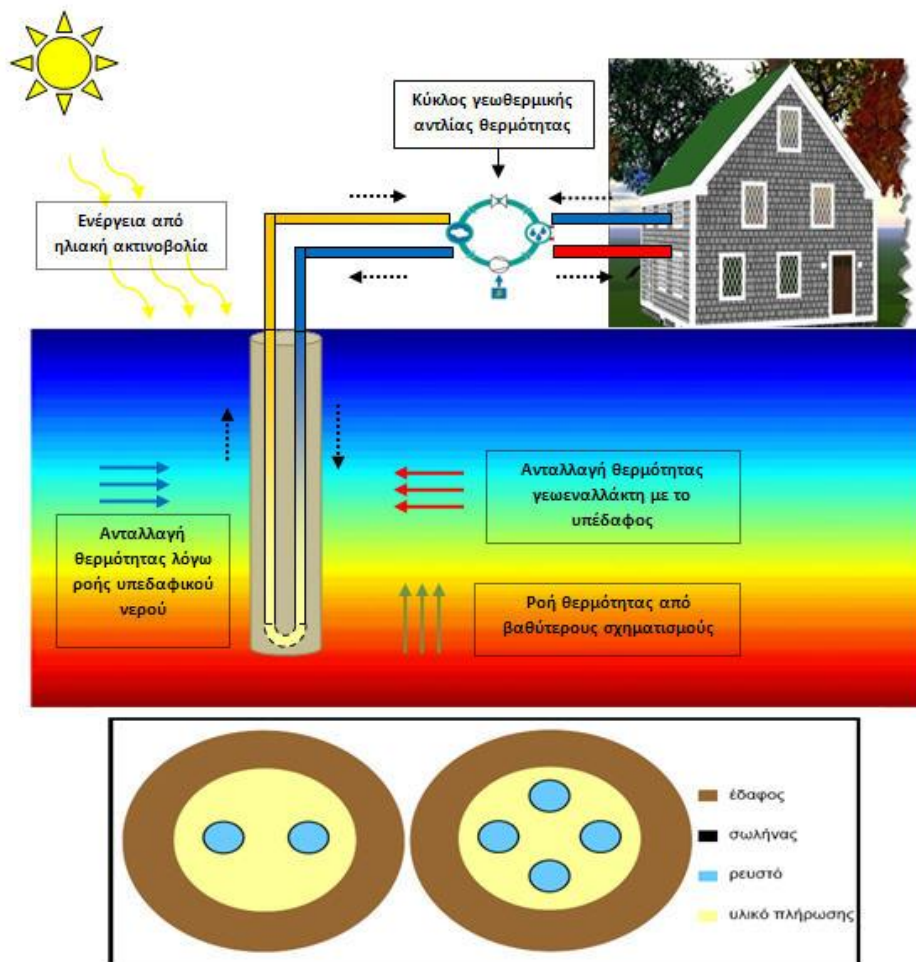
Εκεί όπου υπάρχει κρυμμένη η γεωθερμική ενέργεια, μέσα στη γη, λέγεται γεωθερμικό σύστημα. Φυσικά, συγκεντρώνοντας και κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Τα συστήματα αυτά, τις πιο πολλές φορές υπάρχουν σε περιοχές με κανονική ή λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα και κυρίως γύρω από τα όρια των τεκτονικών πλακών, όπου εκεί η βαθμίδα αυτή μπορεί να είναι πολύ πιο υψηλή της μέσης τιμής.

Με πιο χαμηλές θερμοκρασίες που δεν ξεπερνούν τους 100°C συνήθως απαντώνται τα γεωθερμικά συστήματα της πρώτης περίπτωσης, από την άλλη στα γεωθερμικά συστήματα της δεύτερης περίπτωσης οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτουν ένα πιο ευρύ φάσμα, από σχετικά χαμηλές μέχρι και μεγαλύτερες, της τάξεως των 400°C.

Το γεωθερμικό σύστημα περιγράφεται ως ένα σύστημα που βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης. Το σύστημα στο εσωτερικό του περιέχει κινούμενο νερό, το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μια πηγή σε μια δεξαμενή θερμότητας, η οποία συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια. Έτσι λοιπόν ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία τα οποία είναι τα εξής: την εστία θερμότητας, τον ταμιευτήρα και το γεωθερμικό ρευστό, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας (Ellis&Mahon,1977) .

Η εστία θερμότητας μπορεί να παρατηρηθεί σε δύο καταστάσεις, είτε πολύ υψηλής θερμοκρασίας (>600°C) με μαγματική διείσδυση που φτάνει σε σχετικά

μικρά βάθη (5-10 Km), είτε σε συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας, όπου όσο αυξάνεται το βάθος στο εσωτερικό της γης αυξάνεται και η θερμοκρασία των πετρωμάτων της. Ο σχηματισμός από θερμά πετρώματα όπου μπορεί και περνάει το νερό, είναι ο ταμιευτήρας. Τα πετρώματα αυτά επιτρέπουν τη κυκλοφορία των ρευστών και το ρευστό αντλεί θερμότητα. Πάνω στον ταμιευτήρα συνήθως βρίσκεται ένα κάλυμμα αδιαπέραστων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται σε μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, διαμέσου της οποίας νερό από βροχές ή και επιφανειακό κατεβαίνει και αντικαθιστά μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται μέσω γεωτρήσεων. Ουσιαστικά το γεωθερμικό ρευστό δεν είναι τίποτα άλλο από νερό, όπου ανάλογα με το τι συνθήκες επικρατούν, πίεσης και θερμοκρασίας, στον ταμιευτήρα, βρίσκεται και στην ανάλογη φάση, υγρή ή αέρια. Το γεωθερμικό ρευστό συνήθως είναι εμπλουτισμένο με χημικά στοιχεία και αέρια όπως CO₂, H₂S κ.α. Στο παρακάτω σχήμα 1.4 φαίνεται σε πιο απλή μορφή ένα πρότυπο γεωθερμικού συστήματος (Eliasson , 2001).



Σχήμα 1.4 Πρότυπο Γεωθερμικό σύστημα
 Πηγή: www.geothermal-energy.org

1.5 Γεωθερμικοί πόροι

Ως γεωθερμικός πόρος αναφέρεται η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από την επιφάνεια της γης σε κάποιο προσβάσιμο βάθος και μπορεί να ανακτηθεί με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας. Το διάστημα στο οποίο ένας ωφέλιμος όσο και προσβάσιμος γεωθερμικός πόρος μπορεί να ανακτηθεί στο σχετικά άμεσο μέλλον με νόμιμο και οικονομικά συμφέροντα τρόπο, είναι τα 100 χρόνια. Ο οικονομικά επωφελής γεωθερμικός πόρος αποτελεί μέρος του ωφέλιμου και προσβάσιμου πόρου. Οι γεωθερμικοί πόροι αυτοί λέγονται και αποθέματα και αναφέρονται στην ποσότητα της γεωθερμικής ενέργειας μιας περιοχής, η οποία συγκριτικά με άλλες πηγές ενέργειας, μπορεί να αξιοποιηθεί με ανταγωνιστικό κόστος. Στο παρακάτω πίνακα 1.5 δίνεται μια εκτίμηση του παγκόσμιου γεωθερμικού δυναμικού (Lindal , 1992).

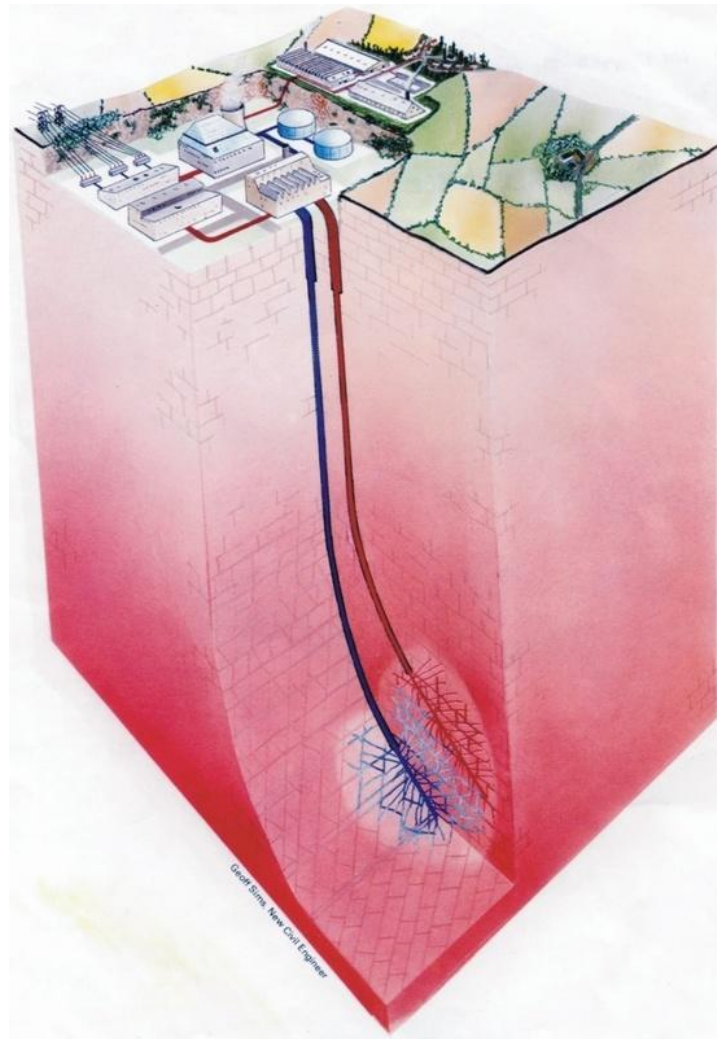
KΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ [Exajoules]
Θεωρητικό δυναμικό (βάθος 5km)	140.000.000
Διαθέσιμο δυναμικό	600.000
Ωφέλιμο και προσβάσιμο δυναμικό	5.000
Οικονομικά επωφελές δυναμικό	500

Πίνακας 1.5 Εκτίμηση παγκόσμιου γεωθερμικού δυναμικού
Πηγή: www.geothermal-energy.org

1.6 Θερμά ξηρά πετρώματα

Η κατηγορία αυτή, ανήκει σε μια ειδική κατηγορία γεωθερμικών πόρων. Συχνά αναφέρονται ως ένας θερμός γεωλογικός σχηματισμός. Οι ελλείψεις ταμιευτήρα όσο και γεωθερμικού μέσου είναι οι μεγαλύτερες διαφορές με άλλους γεωθερμικούς πόρους και το τυπικό γεωθερμικό σύστημα. Για να αξιοποιηθούν σωστά τα θερμά ξηρά πετρώματα γίνεται –μέσω ειδικών γεωτρήσεων- τεχνητή εισαγωγή νερού με υψηλή πίεση σε ένα θερμό όσο και συμπαγές πέτρωμα, το οποίο είναι σε μεγάλο βάθος.

Λόγω της μεγάλης πίεσης του νερού, προκαλείται στο πέτρωμα υδραυλική διάρρηξη. Αφού το νερό διαπεράσει τις τεχνητές διαρρήξεις, έρχεται σε επαφή με τις μεγάλες επιφάνειες θερμού πετρώματος, θερμαίνεται με αυτό τον τρόπο και έτσι λειτουργεί ως ένας φυσικός ταμιευτήρας. Στη συνέχεια ο ταμιευτήρας διαπερνάται από μια δεύτερη γεώτρηση μέσα από την οποία αντλείται το νερό που θερμάνθηκε. Στο παρακάτω σχήμα 1.6 φαίνεται όλο αυτό το σύστημα, το οποίο και με τις απαραίτητες εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης που θα υπάρχουν στην επιφάνεια, αποτελούν ένα κλειστό κύκλωμα (Armstead, 1983).



Σχήμα 1.6 Σύστημα θερμών ξηρών πετρωμάτων
Πηγή: www.geothermal-energy.org

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΟΡΦΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ – ΠΩΣ ΣΥΝΑΝΤΑΤΑΙ

2.1 Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορούν να ταξινομηθούν τα γεωθερμικά συστήματα. Μερικά από αυτά είναι το είδος των γεωθερμικών πόρων, ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών, ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά, το είδος της εστίας θερμότητας, αν υπάρχουν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα κα.

Υπάρχουν 2 τρόποι για την άντληση της γεωθερμικής ενέργειας και αυτοί είναι, η ρηχή και η βαθιά. Η ρηχή που πραγματοποιείται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και η βαθιά η οποία γίνεται σε πιο υψηλές θερμοκρασίες. Η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον φλοιό της γης με μορφή θερμότητας, λέγεται αβαθής γεωθερμία. Τα βάθη που κυμαίνονται είναι έως 150 μέτρα και με θερμοκρασίες υπεδάφους μέχρι 18°C.

Η βαθιά γεωθερμική ενέργεια όπου πήρε το όνομά της εξαιτίας της άντλησής της από τα βαθύτερα στρώματα της γης, απαιτεί τη διάνοιξη πηγαδιών σε μεγάλο βάθος. Τα θερμά υπόγεια ύδατα που ίσως υπάρχουν, χρησιμοποιούνται και απευθείας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Τα γεωθερμικά συστήματα συνήθως διακρίνονται, σε αυτά με κυρίαρχο ρευστό το νερό, στην υγρή φάση και σε αυτά που κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός. Στα συστήματα αυτά που επικρατεί το νερό, η πίεση ελέγχεται από την υγρή φάση. Στη φάση αυτή μπορεί να περιέχονται και κάποια αέρια με τη μορφή μικρών φυσαλίδων. Τα συστήματα των οποίων οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 125-225°C είναι και τα πιο συνηθισμένα παγκοσμίως (Marshall&Braitwaite, 1972).

Η κατάσταση ισορροπίας που αφορά τον ταμιευτήρα είναι άλλη μια βοήθεια για τον τρόπο ταξινόμησης των γεωθερμικών συστημάτων. Σύμφωνα με αυτή τη ταξινόμηση λαμβάνονται υπόψη η κυκλοφορία των ρευστών του ταμιευτήρα και ο μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας. Στα δυναμικά συστήματα ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με νερό, το οποίο θερμαίνεται. Στη συνέχεια ο ταμιευτήρας αποφορτίζεται είτε γιατί το θερμό ρευστό ανέβηκε μέχρι την επιφάνεια είτε γιατί άρχισε να γεμίζει τους υδατοπερατούς υπόγειους σχηματισμούς. Η θερμότητα μεταφέρεται στο σύστημα μέσω του μηχανισμού της συναγωγής και της κυκλοφορίας του ρευστού .

Στη κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται συστήματα τόσο υψηλής (>150°C) όσο και χαμηλής (<100°C) θερμοκρασίας. Τα συστήματα στα οποία δεν υπάρχει τροφοδοσία του ταμιευτήρα ή υπάρχει έστω ελάχιστη, λέγονται στατικά ή στάσιμα. Ο μηχανισμός αγωγής είναι ο μόνος υπεύθυνος για τη μεταφορά της θερμότητας στα συστήματα αυτά.

Οι πέντε κατηγορίες συστημάτων σύμφωνα με το είδος των γεωθερμικών πόρων είναι οι ακόλουθες : Υδροθερμική ενέργεια, Αβαθής γεωθερμία, Προχωρημένα συστήματα, Γεωπεπιεσμένη ενέργεια, Ενέργεια μάγματος.

α) Στην υδροθερμική ενέργεια, τα υπόγεια θερμά ρευστά που είναι μέσα στη γη σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από κάποιες εστίες θερμότητας και εκτονώνονται στην επιφάνεια με κάποια μορφή θερμών

εκδηλώσεων. Στην ουσία, στα μέρες μας είναι και τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται, γι' αυτό συχνά ταυτίζονται και με το σύνολο των γεωθερμικών πεδίων.

β) Μια πολλά υποσχόμενη κατηγορία γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί η λεγόμενη αβαθής γεωθερμία, κατά την οποία λαμβάνονται ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού σε κλειστές υδροφόρες ή «ξηρές» γεωτρήσεις ή σε ρηχές επιφάνειες εδάφους/πετρωμάτων.

γ) Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα, τα οποία αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος και περιορισμένα από μη περατά πετρώματα, που η πίεσή τους υπερβαίνει την υδροστατική. Συγκαταλέγονται στα στατικά συστήματα και συνυπάρχουν με υδρογονάνθρακες (κυρίως αερίου).

δ) Τα συστήματα βαθιών θερμών-ξηρών πετρωμάτων, δηλαδή τα θερμά πετρώματα σε βάθος 3-10km χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που διοχετεύεται από την επιφάνεια μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων, και ανακτάται θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων.

ε) Ενέργεια μάγματος, η οποία έχει να κάνει με την λήψη θερμότητας από μάγμα που βρίσκεται σε σχετικά μικρό βάθος (Ανδρίτσος&Καράμπελας&Φυτίκας, 1999).

Τα κύρια τυπικά τμήματα ενός υδροθερμικού συστήματος είναι η εστία θερμότητας, ο ταμιευτήρας, το μη περατό κάλλυμα και η περιοχή επαναφόρτισης. Ο ταμιευτήρας είναι το σημαντικότερο τμήμα ενός γεωθερμικού συστήματος από την άποψη της ενεργειακής αξιοποίησης των περιεχόμενων ρευστών.

Στα συστήματα τα οποία γίνεται ένας πρώτος διαχωρισμός όσον αφορά τα υδροθερμικά συστήματα, είναι αυτά όπου κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός και που χρησιμοποιούνται μόνο για ηλεκτροπαραγωγή και σε αυτά με κυρίαρχο ρευστό το ζεστό νερό.

Το πιο συχνό κριτήριο για τον διαχωρισμό των υδροθερμικών συστημάτων νερού βασίζεται στην ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία είναι και οι φορείς της θερμότητας στην επιφάνεια της γης από τα θερμά ξηρά πετρώματα. Η ενθαλπία των ρευστών, η οποία είναι ανάλογη της θερμοκρασίας τους, χρησιμοποιείται για την έκφραση του θερμικού περιεχομένου τους (Lund&Freeston&Boyd, 2005).

2.2 Ομαλή ή αβαθής γεωθερμία

Ομαλή ή αβαθής γεωθερμία αποκαλείται η ενέργεια που προκύπτει από την λήψη της θερμότητας από νερά, υπόγεια και επιφανειακά ή γεωλογικούς σχηματισμούς, που βρίσκονται σε μικρό βάθος. Οι θερμοκρασίες που συναντώνται είναι συνήθως κάτω των 25°C και προέρχονται τις περισσότερες φορές από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης.

Αυτό το είδος ενέργειας το οποίο είναι και σταθερό και μόνιμο, χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς όπως, θέρμανση νερού για το καλοριφέρ τον χειμώνα έως 50°C, το καλοκαίρι για την ψύξη του νερού του κλιματισμού έως 10°C, αλλά και για την επάρκεια ζεστού νερού όλο το έτος (Barbier, 1997).

2.3 Υδροθερμική ενέργεια – Υδροθερμικές πηγές

Τα γεωθερμικά νερά βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες μέσα στα πετρώματα (στα καρστικά ή άλλα έγκοιλα), στα ανοικτά ρήγματα και τους ενδιάμεσους πόρους των σχηματισμών, ακόμα και στη δομή των ορυκτών. Κινούνται συνήθως αρκετά αργά στο υπέδαφος, παίρνουν θερμότητα από τα πετρώματα και σύντομα η θερμοκρασία τους εξισώνεται με αυτή των γεωλογικών σχηματισμών, μέσα στους οποίους βρίσκονται και κυκλοφορούν. Με τον τρόπο αυτό, μεταφέρουν θερμική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις, με σχετικά μικρές απώλειες (ανάλογα βέβαια και με την ταχύτητα κίνησης και τη διαφορά θερμοκρασίας από το ένα περιβάλλον στο άλλο) όταν κινούνται από βαθύτερα σημεία προς περιοχές πιο κοντινές στην επιφάνεια. Χαρακτηριστικό των υδροθερμικών συστημάτων είναι η κυκλοφορία νερού σε μικρά έως μέσα βάθη (100m-4,5km).

Τρία είναι τα βασικά χαρακτηριστικά μιας υδροθερμικής πηγής :

A) μια θερμική πηγή

B) ένας προσπελάσιμος στα ύδατά του υδροφόρος ορίζοντας

Γ) και ένα στεγανό πέτρωμα που να σφραγίζει τον υδροφόρο ορίζοντα.

Στα υδροθερμικά συστήματα η γεωθερμική ενέργεια εμφανίζεται με τη μορφή νερού ή ατμού και πραγματοποιείται με την διάτρηση του υδροφόρου ορίζοντα. Οι υδροθερμικές πηγές με υψηλή θερμοκρασία (180°C έως πάνω από 350°C) συνήθως θερμαίνονται από θερμό τηγμένο πέτρωμα, οι χαμηλής θερμοκρασίας (100°C έως 180°C) δημιουργούνται με πολλές διαδικασίες (Coudert&MetJaudin, 1988).

2.4 Γεωπεπιεσμένα συστήματα

Με τον όρο γεωπεπιεσμένα ρευστά εννοούνται τα γεωθερμικά ρευστά του υπεδάφους που βρίσκονται εγκλωβισμένα υπό μεγάλη πίεση (550-1350bar, πολύ μεγαλύτερης της υδροστατικής) μέσα σε παλαιότερους γεωλογικούς σχηματισμούς, πάντα μαζί με μεθάνιο. Τα ρευστά έχουν υψηλή αλατότητα και θερμοκρασίες στην περιοχή των 50-250°C. Οι περατοί σχηματισμοί με τέτοια ρευστά είναι συνήθως ιζηματογενείς και πτυχωμένοι, με τα ρευστά να καταλαμβάνουν τους πόρους των πετρωμάτων. Τα ρευστά εκεί βρίσκονται υπό πίεση που υπερβαίνει την υδροστατική. Τέτοιοι ταμιευτήρες απομονώνονται στο βάθος από υπερκείμενους μη περατούς σχηματισμούς, που είναι συνήθως αργιλικά ιζήματα. Τα περισσότερα δεδομένα για τα γεωπεπιεσμένα συστήματα έχουν προέλθει από γεωτρήσεις πετρελαίου. Γεωπεπιεσμένα πεδία υπάρχουν σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Μια μεγάλη περιοχή με γεωπεπιεσμένα ρευστά βρίσκεται στον κόλπο του Μεξικού, όπου η αποθηκευμένη ενέργεια εκτιμάται σε $1,7 \times 10^{23} \text{ J}$.

2.5 Μάγμα – Συστήματα μάγματος

Οι διεισδύσεις μάγματος αντιπροσωπεύουν τοπικές περιοχές με τεράστια συγκεντρωμένη θερμική ενέργεια με τη μορφή λιωμένου ή σχεδόν λιωμένου μάγματος, σε θερμοκρασίες στην περιοχή των 650-1200°C. Το μάγμα είναι βασικά η πρωταρχική πηγή θερμότητας όλων των υδροθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας. Για να ταξινομηθεί μια περιοχή μάγματος ως γεωθερμικός πόρος, θα πρέπει να βρίσκεται σε προσβάσιμα βάθη, δηλαδή σε βάθη μικρότερα από 10km. Συνήθως βέβαια μάγμα βρίσκεται σε βάθη της τάξης των 5km. Σε σπάνιες περιπτώσεις, διεισδύσεις μάγματος βρίσκονται πιο κοντά στην επιφάνεια, κάτω ή γύρω από ενεργά ηφαίστεια. Έρευνα για να διαπιστωθεί η δυνατότητα αξιοποίησης αυτής της μορφής ενέργειας ξεκίνησε ήδη από τη δεκαετία του 1970 στις Η.Π.Α., την Ιαπωνία, την Ισλανδία και την πρώην Σοβιετική Ένωση (Gudmunsson&Lund, 1985).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ ΖΩΗ

3.1 Εισαγωγή

Οι χρήσεις της Γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται συνήθως σε **ηλεκτρικές** και **άμεσες χρήσεις**. Στην κατηγορία των άμεσων χρήσεων ανήκει η εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς ενδιάμεσα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πιο καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Ρευστά με θερμοκρασία πιο μεγάλη από 150°C χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη τη κλίμακα θερμοκρασιών.

Ενώ η χρήση της γεωθερμίας στο σύνολό της είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις παγκόσμιες ανάγκες (μόλις το 0,5%), για κάποιες χώρες παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Έτσι π.χ. για την Ισλανδία, το 50% της πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας της χώρας προέρχεται από τα γεωθερμικά ρευστά (και ένα άλλο 18% από την υδροηλεκτρική ενέργεια), ενώ στις Φιλιππίνες το 22% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από τη γεωθερμική ενέργεια.

Σε ότι έχει να κάνει με το κόστος της παραγόμενης θερμότητας, η γεωθερμική ενέργεια ανταγωνίζεται σε ικανοποιητικό βαθμό το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου (για την αρχική έρευνα και ανάπτυξη των πεδίων), ενώ από την άλλη μεριά, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο. Επίσης, ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι τις πιο πολλές φορές δοκιμασμένος σε άλλες τεχνολογικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, σε βαθιές γεωτρήσεις, η τεχνολογία που χρησιμοποιείται δανείζεται πολλά στοιχεία από την τεχνολογία των γεωτρήσεων πετρελαίου. Για πιο ρηχές γεωτρήσεις και για νερά χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται η τεχνολογία των υδρογεωτρήσεων, η οποία είναι προσαρμοσμένη στη γεωθερμία (Barbier, 2002).

3.2 Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας

Αν και η γεωθερμική ενέργεια βρίσκεται παντού κάτω από την επιφάνεια της Γης, η χρήση της είναι δυνατή μόνο όταν ικανοποιούνται συγκεκριμένες συνθήκες.

- Η ενέργεια πρέπει να είναι προσπελάσιμη μέσω γεωτρήσεων, συνήθως σε βάθη μικρότερα των 3km αλλά ενδεχομένως και σε βάθη 6-7km, σε ιδιαίτερα ευνοϊκά περιβάλλοντα.
- Εν αναμονή επίδειξης της τεχνολογίας και των οικονομικών για τη διάρρηξη και την παραγωγή ενέργειας από πετρώματα χαμηλής περατότητας, το πορώδες των ταμιευτήρων και διαπερατότητα πρέπει να είναι αρκετά υψηλά ώστε να επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων θερμού νερού.
- Επειδή το κόστος της γεωθερμικής εγκατάστασης αυξάνει ανάλογα με το βάθος της γεώτρησης, σε όσο πιο μικρό βάθος βρεθεί συσσωρευμένη η γεωθερμική ενέργεια τόσο το καλύτερο.
- Εξαιτίας των σωληνώσεων που μπορούν να φτάσουν τα μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, σε περίπτωση που χρειαστεί να μεταφερθούν τα γεωθερμικά οικονομικά, θα πρέπει οποιαδήποτε εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής ή άμεσης χρήσης πρέπει να βρίσκεται στην γεωθερμική ανωμαλία ή κοντά σε αυτή (Armstead, 1983).

Θερμοκρασία ταμιευτήρα	Ρευστό ταμιευτήρα	Συνήθης χρήση	Τεχνολογία που συνήθως επιλέγεται
Υψηλή θερμοκρασία (> 220°C)	Νερό ή ατμός	Ηλεκτροπαραγωγή	<ul style="list-style-type: none"> • Ακαριαίος ατμός • Συνδυασμένος κύκλος (ακαριαίος & δυαδικός)
		Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> • Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας
Ενδιάμεση θερμοκρασία (100-220°C)	Νερό	Ηλεκτροπαραγωγή	<ul style="list-style-type: none"> • Δυαδικός κύκλος
		Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> • Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας
Χαμηλή θερμοκρασία (50-150°C)	Νερό	Άμεση χρήση	<ul style="list-style-type: none"> • Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας

Πίνακας 3.2 Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας

Πηγή: Φυτίκας&Ανδρίτσος, 2004

3.3 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού έχει διαδοθεί λόγω διαφόρων παραγόντων. Οι χώρες όπου επικρατούν οι γεωθερμικές πηγές επιθυμούν να αναπτύξουν τους ίδιους πόρους αντί του να εισάγουν καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρισμού. Σε χώρες όπου υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές πηγές παραγωγής ηλεκτρισμού και μέσα σε αυτές η γεωθερμία, συνήθως προτιμάται διότι δεν μπορεί να μεταφερθεί προς πώληση, ενώ μέσω αυτής επιτρέπεται η χρήση των συμβατικών καυσίμων για ανώτερους και καλύτερους σκοπούς από την παραγωγή ηλεκτρισμού. Ο πιο συνηθισμένος αλλά και τεχνικοοικονομικά συμφέρον τρόπος αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας είναι η χρήση τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται είναι ανάλογες και με τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής πηγής. Οι περισσότερες από τις πηγές που έχουν ήδη εξερευνηθεί είναι υδροθερμικού τύπου (ζεστό νερό υπό πίεση), η εκμετάλλευση των οποίων γίνεται με 2 τρόπους. Ο πρώτος τρόπος εξαρτάται από το αν η θερμοκρασία της πηγής είναι χαμηλότερη των 204°C. Όταν συμβαίνει αυτό, τότε το γεωθερμικό φρέαρ εξοπλίζεται με αντλία που δημιουργεί τέτοια πίεση στη γεωθερμική άλμη ώστε να διατηρείται το ζεστό νερό υπό πίεση.



Εικόνα 3.3 Πηγή με ζεστό νερό υπό πίεση
Πηγή: www.google.gr/imgres

Ο δεύτερος τρόπος, δηλαδή για τις πηγές άνω των 204°C, η καταλληλότερη μέθοδος παραγωγής είναι η φυσική ροή από το φρέαρ, η οποία αποφέρει ένα ακαριαία ατμοποιούμενο μίγμα άλμης και ατμού. Ο τύπος μετατροπής της γεωθερμίας που χρησιμοποιείται, εξαρτάται από την κατάσταση του ρευστού (είτε είναι ατμός είτε νερό), τη θερμοκρασία του, την πίεση και την παροχή. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι τρεις (Brower, 1997).

3.3.1 Ξηρού ατμού

Στην τεχνολογία αυτή, ο ατμός στροβιλίζεται, και μέσω αυτού τίθεται σε λειτουργία μια γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Αυτός είναι ο παλαιότερος τύπος γεωθερμικών εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε στο Larderello της Ιταλίας το 1904 και συνεχίζει να είναι πολύ αποτελεσματικός. Η τεχνολογία που βασίζεται στον ατμό χρησιμοποιείται στις μέρες μας σε γκέυζερ στη βόρεια Καλιφόρνια, όπου εξακολουθεί να υπάρχει το μεγαλύτερο γεωθερμικό πεδίο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο (Huttrer, 2001).

3.3.2 Στρόβιλοι υγρού ατμού

Για τη μετατροπή του γεωθερμικού ρευστού σε διφασικό μίγμα υπάρχουν δύο τρόποι. Ο ένας είναι να εισέλθει ως διφασική ροή από τη γεώτρηση και ο άλλος είναι να εκτονωθεί σε πίεση χαμηλότερη από την πίεση που επικρατεί στην κεφαλή της γεώτρησης. Στη συνέχεια το μίγμα αυτό διαχωρίζεται σε κατακόρυφο διαχωριστή και ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Στην περίπτωση που η θερμοκρασία και η πίεση του γεωθερμικού υγρού είναι οι κατάλληλες, τότε έχει ως αποτέλεσμα το υγρό να μπορεί να εκτονωθεί για δεύτερη φορά ή και περισσότερες, ώστε να παραχθεί επιπλέον ατμός, ο οποίος στη συνέχεια θα αυξήσει σημαντικά την απόδοση της μονάδας. Τέτοια εγκατάσταση λειτουργεί στο Imperial Valley, στην Καλιφόρνια (Huttrer, 2001).

3.3.3 Δυαδικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό

Σε αυτό το είδος τεχνολογίας, το γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση (και εξάτμιση) σε έναν εναλλάκτη του δευτερεύοντος ρευστού (νερό & αμμωνία, ισοβουτάνιο, ισοπεντάνιο, CO₂ κ.λπ.) του οποίου το σημείο ζέσεως, είναι μικρότερο από το νερό. Οι ατμοί του δευτερεύοντος ρευστού οδηγούνται αρχικά στο στρόβιλο και εν συνεχεία στο συμπυκνωτή. Τέλος το ρευστό συμπιέζεται από το συμπυκνωτή και επανεισάγεται πάλι στον εναλλάκτη μέσω της αντλίας ανακυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου. Μία τέτοια εγκατάσταση λειτουργεί στο Soda Lake, στη Νεβάδα (Marshall&Braitwaite, 1973).

3.4 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας

Η άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας, είναι άλλη μια παγκοσμίως γνωστή και σημαντική χρήση της γεωθερμίας, σε θερμοκρασίες ταμιευτήρων συνήθως μικρότερες των 100°C. Στη γεωθερμία, ο άμεσος τρόπος χρησιμοποιείται για θέρμανση κτιρίων (ανεξάρτητες κατοικίες, συγκροτήματα διαμερισμάτων, μέχρι και ολόκληρες κοινότητες), ψύξη κτιρίων (με χρήση μονάδων απορρόφησης βρωμιούχου λιθίου), θέρμανση θερμοκηπίων και καλλιεργήσιμων εκτάσεων, αλλά και για την παροχή ζεστού ή χλιαρού νερού για οικιακή χρήση, επεξεργασία προϊόντων (π.χ. την παραγωγή χαρτιού), καλλιέργεια οστρακοειδών και ψαριών, θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών και θεραπευτικούς σκοπούς (ιαματικά λουτρά, spa), και για θερμικές διεργασίες (π.χ ξήρανση προϊόντων) (Rylen, 1980).

3.4.1.1 Άμεση θέρμανση χώρων

Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης χώρων δεν έχουν σημαντικές διαφορές από τις συσκευές που χρησιμοποιούνται και σε άλλα συστήματα θέρμανσης, όπως αυτά με φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Συνήθως όμως, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών στα γεωθερμικά νερά, οι τελικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στα κτίρια, λειτουργούν επίσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (π.χ. μικρότερη από 60°C) ή επειδή απαιτείται η χρήση εναλλάκτη θερμότητας.

Η θέρμανση των χώρων στα κτήρια γίνεται με την είσοδο του γεωθερμικού νερού (ή του νερού λειτουργίας που θερμάνθηκε από γεωθερμικό ρευστό) μέσα από τους εναλλάκτες θερμότητας αέρα-υγρού, κάτι που συμβαίνει και με τα συμβατικά θερμαντικά σώματα. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι τέτοιων εναλλακτών, κυριότεροι εκ των οποίων είναι α) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με ροή αέρα (εξαναγκασμένη συναγωγή), β) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με φυσική συναγωγή, γ) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με ακτινοβολία (σωλήνες τοποθετημένοι στο πάτωμα, σε τοίχους ή στην οροφή). Οι εναλλάκτες εξαναγκασμένης ροής αέρα (αερόθερμα) αποτελούνται ουσιαστικά από σειρές χάλκινων αγωγών μικρής διαμέτρου, συνδεδεμένων μεταξύ τους με αγωγούς σχήματος U, μέσα από τους οποίους διέρχεται το γεωθερμικό νερό ή το νερό λειτουργίας. Στους χάλκινους αγωγούς βρίσκονται προσκολλημένα φύλλα αλουμινίου, σε απόσταση περίπου 3mm το ένα από το άλλο. Ο αέρας που πρόκειται να θερμανθεί με τη διέλευσή του ανάμεσα από τα φύλλα αλουμινίου, μπορεί να προέλθει είτε από μια κεντρική μονάδα και σύστημα αγωγών διανομής του αέρα (στα μεγάλα κτήρια), είτε από μεμονωμένο ανεμιστήρα είτε από συμπιεστή. Μια μέση ταχύτητα του αέρα μέσα στο αερόθερμα είναι 2m/s. Τα αερόθερμα ενδείκνυται για θερμοκρασίες νερών από 35°C μέχρι 60°C.

Τα κοινά θερμαντικά σώματα απαιτούν θερμοκρασία νερού τουλάχιστον 65°C και γι' αυτό το λόγο, δεν προσφέρονται για γεωθερμική θέρμανση. Αντίθετα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν αγωγοί με πτερύγια, οι οποίοι καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο και απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες νερού από ότι τα αερόθερμα. Έχουν όμως το πλεονέκτημα να μην απαιτούν κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.

Η ενδοδαπέδια θέρμανση με ακτινοβολία είναι κατάλληλη για χώρους που βρίσκονται σε περιοχές με αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα για

βιομηχανικά πατώματα, τα οποία δεν έχουν ιδιαίτερη κάλυψη. Στην τελευταία περίπτωση και για όχι ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις θέρμανσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν νερά ακόμη και στους 35°C.

Στις πιο πολλές περιπτώσεις εγκαταστάσεων θέρμανσης χώρων με γεωθερμία, απαιτείται εγκατάσταση που θα ικανοποιεί τις αυξημένες ανάγκες αιχμής για κάποιο χρονικό διάστημα (π.χ. δεξαμενή αποθήκευσης θερμού νερού ή αύξηση της θερμοκρασίας του νερού λειτουργίας με χρήση συμβατικών καυσίμων) και σύστημα ελέγχου.

Στη θέρμανση χώρων με γεωθερμία περιλαμβάνεται και η θέρμανση θερμού νερού, πισινών ή κολυμβητηρίων, άμεσα ή έμμεσα με γεωθερμικό νερό. Η θέρμανση του νερού είναι προτιμότερο να γίνεται σε ένα δεύτερο εναλλάκτη, που θα εκμεταλλεύεται την έξοδο του γεωθερμικού νερού από τον εναλλάκτη θέρμανσης χώρων (Lund&Freeston, 2001).

3.4.2 Τηλεθέρμανση

Η περιφερειακή θέρμανση οικισμών και πόλεων βρίσκει εφαρμογή σε πολλές χώρες του εξωτερικού, όπως και στη χώρα μας. Η τηλεθέρμανση είναι ένας τρόπος θέρμανσης ιδιαίτερα συμφέρων για τον καταναλωτή, καθώς οι εγκαταστάσεις που χρειάζονται για την παραγωγή της θερμικής ενέργειας είναι χαμηλού κόστους, όπως επίσης η συντήρησή τους αλλά πιο βασικά η κυρίως λειτουργία.

Οι θερμικές απαιτήσεις της εκάστοτε εγκατάστασης εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες στις οποίες βρίσκεται ο συγκεκριμένος χώρος, όπως επίσης και από τις θερμοκρασίες σχεδιασμού για την εκάστοτε χρήση (κατοικίες 18-20°C, γραφεία 17-18°C κ.λπ.). Για να γίνει συνδυασμός τηλεθέρμανσης και κάλυψης αναγκών σε ζεστό νερό πρέπει η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού να είναι τουλάχιστον 65°C. Το ποσοστό του κόστους που θα πρέπει να αντιστοιχεί η γεωθερμική ενέργεια με σύστημα τηλεθέρμανσης, με το κόστος του πετρελαίου θα πρέπει να είναι 50-60%, για να συμφέρει οικονομικά στον καταναλωτή.

Για την κατασκευή ενός συστήματος τηλεθέρμανσης χρειάζεται μεγάλο αρχικό κεφάλαιο. Το κύριο κόστος αφορά την αρχική επένδυση η οποία έχει να κάνει με την κατασκευή των γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής, την αγορά των συστημάτων άντλησης και μεταφοράς των ρευστών, την κατασκευή των δικτύων και των σωληνώσεων, την προμήθεια του εξοπλισμού ελέγχου και παρακολούθησης των εγκαταστάσεων, την κατασκευή των σταθμών διανομής και των δεξαμενών αποθήκευσης. Ωστόσο, τα λειτουργικά έξοδα τα οποία έχουν να κάνουν με την ενέργεια που καταναλώνεται για την άντληση των ρευστών, τη συντήρηση του συστήματος και τη διαχείριση της εγκατάστασης, είναι σημαντικά μικρότερα σε σύγκριση με αυτά μιας συμβατικής μονάδας. Ένας σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό του αρχικού κόστους του συστήματος είναι η πυκνότητα του θερμικού φορτίου ή αλλιώς οι θερμικές απαιτήσεις δια της επιφάνειας που καλύπτει η περιοχή που πρόκειται να θερμανθεί.

Η υψηλή θερμική πυκνότητα καθορίζει την οικονομική βιωσιμότητα του έργου τηλεθέρμανσης, αφού το δίκτυο διανομής απορροφά μεγάλα κεφάλαια. Οικονομικά οφέλη θα μπορούσαν να προκύψουν από το συνδυασμό θέρμανσης και ψύξης σε μέρη όπου οι κλιματικές συνθήκες επιτρέπουν τέτοιες εφαρμογές. Ο

συντελεστής φορτίου σε ένα τέτοιο σύστημα ψύξης-θέρμανσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που αντιστοιχεί μόνο στη θέρμανση, και η τιμή της ενεργειακής μονάδας πρέπει να είναι κατά συνέπεια χαμηλότερη (White, 1973).

3.4.3 Θέρμανση θερμοκηπίων

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας στις καλλιέργειες συμβάλλει στην αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών, ενώ επιτρέπει την καλλιέργεια φυτών και την παραγωγή αγροτικών προϊόντων «εκτός εποχής», καθώς και ορθολογικό προγραμματισμό της παραγωγής.

Τα βασικά στοιχεία ενός θερμοκηπίου είναι ο σκελετός (μεταλλικός επιψευδαργυρωμένος, αλουμινένιος ή ακόμα και ξύλινος), το υλικό κάλυψης (γυαλί, πλαστικό-PE, fiberglass, διπλό με χώρο αέρα ανάμεσα κτλ.), το σύστημα δροσισμού, η κουρτίνα σκίασης, το σύστημα άρδευσης και αυτό που ενδιαφέρει την γεωθερμία, το σύστημα θέρμανσης. Οι κλιματολογικές συνθήκες, τα υλικά κατασκευής των θερμοκηπίων αλλά και το είδος της καλλιέργειας, ορίζουν και τη χρήση αλλά και το μέγεθος των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων. Επειδή η ενέργεια που απαιτείται είναι μεγάλη, η γεωθερμία αποτελεί μια πολύ καλή λύση για αγροτικές εφαρμογές, λόγω και του μικρού κόστους της. Τα γεωθερμικά ρευστά που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια, πρέπει να ξεπερνούν τους 30°C. Μια πολύ κοινή περίπτωση για τα ελληνικά δεδομένα, είναι η θέρμανση γυάλινων θερμοκηπίων με ντομάτα και με θερμαντικό μέσο, γεωθερμικά ρευστά 40-55°C. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται 150.000 kcal/h το στρέμμα για μια περίοδο θέρμανσης, κατά μέσο όρο 1250 ωρών, διατηρώντας μια εσωτερική θερμοκρασία αέρα τουλάχιστον 14°C. Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται στην περίπτωση αυτή είναι της τάξεως των 24 τόνων ισοδύναμου πετρελαίου το στρέμμα ή περίπου 7000€/έτος το στρέμμα. Ένα θερμοκήπιο μπορεί να θερμανθεί με 5 τρόπους:

- Με εναέριους, επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες τοποθετημένους μέσα στο χώμα (σε βάθος 5-20cm).
- Με εναλλάκτη αέρα-γεωθερμικού νερού ή νερού λειτουργίας (αερόθερμο).
- Με τοποθέτηση θερμαντικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου.
- Με ψεκασμό της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής (κυρίως για αντιπαγωτική προστασία).
- Με συνδυασμό των προηγούμενων τρόπων (www.eere.energy.gov).

3.4.4 Γεωργία – Κτηνοτροφία

Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας στην γεωργία και την κτηνοτροφία, γίνεται συνήθως σε ανοικτές καλλιέργειες. Το θερμό νερό χρησιμοποιείται στις καλλιέργειες αυτές για την άρδευσή τους και/ή τη θέρμανση του εδάφους. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της άρδευσης με χλιαρό νερό εντοπίζεται στο γεγονός ότι, για να επιτευχθεί κάποια αξιόλογη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους θα πρέπει οι μεγάλες ποσότητες νερού να έχουν θερμοκρασία τόσο χαμηλή ώστε να μην προκαλούν ζημιές στις αρδευόμενες καλλιέργειες. Η βέλτιστη λύση φαίνεται ότι είναι ο συνδυασμός θέρμανσης εδάφους και άρδευσης.

Τα γεωθερμικά νερά καθώς και η χημική τους σύσταση, θα πρέπει να εξετάζονται και να παρακολουθούνται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται τυχόν βλαβερές συνέπειες στα φυτά.

Ένας τρόπος που θα μπορούσε να αποδειχτεί πιο συμφέρων οικονομικά, από την εκμετάλλευση των γεωθερμικών νερών είναι, μέσα από τη συνδυασμένη χρήση τους σε κτηνοτροφικές μονάδες και γεωθερμικά θερμοκήπια. Η ενέργεια που χρειάζεται για την θέρμανση μιας μονάδας εκτροφής ζώων είναι περίπου το 50% αυτής που απαιτείται για ένα θερμοκήπιο ίδιας έκτασης, οπότε η κλιμακωτή χρήση των γεωθερμικών ρευστών θεωρείται ενδεδειγμένη. Η εκτροφή ζώων σε ένα περιβάλλον ελεγχόμενης θερμοκρασίας συνεισφέρει στη βελτίωση της υγείας τους, ενώ η χρήση των θερμών ρευστών θα μπορούσε να επεκταθεί στον καθορισμό και την εξυγίανση των χώρων τους, αλλά και στην ξήρανση των αποβλήτων τους (www.egec.net).

3.4.5 Υδατοκαλλιέργειες – Ιχθυοκαλλιέργειες

Η ανάπτυξη των περισσότερων ψαριών (χέλια, λαβράκια, τσιπούρες κ.ά.), των θαλάσσιων μαλακόστρακων (π.χ. γαρίδες) και ερπετών με εμπορική αξία (π.χ. αλιγάτορες) είναι πολύ μεγαλύτερη σε θερμοκρασίες νερού 20-30°C.

Η γεωθερμία μπορεί να προσφέρει και ήδη το κάνει, με οικονομικό τρόπο στη θέρμανση του νερού σε υδατοκαλλιέργειες συγκεκριμένων ειδών. Οι τρόποι θέρμανσης είναι είτε άμεσα, με την απευθείας εισαγωγή του γεωθερμικού νερού στις δεξαμενές ή λιμνούλες ανάπτυξης, είτε έμμεσα, ύστερα από τη θέρμανση γλυκού ή θαλασσινού νερού. Για την άμεση χρήση του γεωθερμικού νερού χρειάζεται να μην υπάρχουν τοξικά συστατικά στο νερό (δηλ. βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, αρσενικό κ.ά.).

Οι απώλειες θερμότητας μιας δεξαμενής υδατοκαλλιέργειας που δεν είναι καλυμμένη και βρίσκεται εκτεθειμένη στο περιβάλλον, οφείλονται στους παρακάτω λόγους: α) εξάτμιση από την ανοικτή επιφάνεια, β) συναγωγή, γ) ακτινοβολία και δ) αγωγή. Η εξάτμιση είναι η κύρια αιτία απώλειας θερμοκρασίας και συμβαίνει ακόμα κι όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του νερού. Οι μόνες λύσεις για τη μείωση των θερμικών απωλειών είναι ο εγκλεισμός της δεξαμενής με κατασκευή παρόμοια των θερμοκηπίων ή τη κάλυψη της επιφάνειας με πλαστικό φύλλο. Βέβαια, τις πιο πολλές φορές οι λύσεις αυτές δεν είναι και πρακτικές.

Στην κατηγορία των υδατοκαλλιεργειών υπάρχει και η ανάπτυξη ορισμένων φυκιών με εμπορική αξία, όπως η σπιρουλίνα. Σε αυτή τη περίπτωση αξιοποιείται και το διοξείδιο του άνθρακα, που συνήθως περιέχεται στα οξυανθρακούχα γεωθερμικά νερά (www.geoheat.oit.edu).

3.4.6 Βιομηχανικές εφαρμογές

Η βιομηχανία είναι ένας τομέας όπου η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να φανεί χρήσιμη και από οικονομικής πλευράς όπως εξίσου και από πλευράς απόδοσης. Συγκεκριμένα παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών είναι η λεύκανση λαχανικών, η προπαρασκευή κονσερβοποιημένων τροφών, η εμφιάλωση του νερού και των ανθρακούχων ποτών, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων, η παραγωγή χαρτιού κ.ά. Επίσης, άλλες εφαρμογές για χρήση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας είναι για το λιώσιμο πάγου και αντιπαγωτική προστασία πεζοδρομίων, ως και σχέδια για τη διάλυση της ομίχλης σε κάποια αεροδρόμια.

Στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ρευστών σε διαδικασίες προθέρμανσης ή η ανύψωση της θερμοκρασίας τους με τη χρήση αντλιών θερμότητας ή με συμπληρωματική θέρμανση (με συμβατικά καύσιμα). Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση των γεωθερμικών ρευστών από υφιστάμενη βιομηχανική μονάδα είναι η γεινίαση της τελευταίας με το γεωθερμικό πεδίο (www.geothermal.org).

3.4.7 Θέρμανση πισινών – Ιατρικές εφαρμογές

Μια από τις πιο γνωστές χρήσεις της γεωθερμίας σε όλο τον κόσμο είναι η θέρμανση πισινών και οι ιατρικές εφαρμογές. Σήμερα, υπάρχει μια πληθώρα από «λουτρά» και πολλά και στην Ελλάδα, τα οποία χρησιμοποιούν το γεωθερμικό νερό είτε για θεραπευτικούς λόγους είτε για αναζωογόνηση. Όσον αφορά τις θεραπευτικές εφαρμογές, οι δράσεις των γεωθερμικών νερών στον ανθρώπινο οργανισμό διαφέρουν ανάλογα με τη σύστασή τους (μεταλλικά στοιχεία, θερμοκρασία) αλλά και με τον τρόπο χρήσης τους. Οι κυριότερες εφαρμογές είναι: λουτροθεραπεία, ποσιθεραπεία, εισπνοθεραπεία και λασποθεραπεία. Σε ότι έχει να κάνει με εφαρμογές αναζωογόνησης, πρόκειται για λουτροπόλεις με κέντρα υγείας και ομορφιάς, κύριος στόχος των οποίων είναι η ξεκούραση και η ανανέωση του ανθρώπινου οργανισμού.

Στην Ελλάδα η εφαρμογή αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη, με λουτροθεραπευτικά κέντρα σε όλη τη χώρα, με πιο γνωστά αυτά των Θερμοπυλών και της Αιδηψού (White, 1965).

3.4.8 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Το πρόβλημα της επάρκειας γλυκού νερού είναι αρκετά έντονο σε πολλές περιοχές του κόσμου, όπως και της Ελλάδας. Η παραγωγή αφαλατωμένου νερού με χρήση γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- Με απευθείας συμπύκνωση γεωθερμικού ατμού. Μπορεί να εφαρμοσθεί στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας της Μήλου και της Νισύρου.
- Με εξάτμιση θαλασσινού νερού σε συνθήκες μερικού κενού.

- Με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη γεωθερμία.

Οι βασικές τεχνικές για τη θερμική αφαλάτωση του νερού είναι δύο. Η πρώτη και παλαιότερη μέθοδος είναι η πολυβάθμια εκτονωτική εξάτμιση (MSF) και η δεύτερη μέθοδος είναι η απόσταξη πολλαπλού φαινομένου (MED).

Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον 60°C. Η θερμοκρασία απόρριψης σχεδιάζεται να είναι 40-50°C. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για περίπτωση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 75°C και παροχής 100m³ /h επιτυγχάνεται αφαλάτωση 600m³ /h την ημέρα, σε οκτώ δράσεις, με εκτιμώμενο κόστος επένδυσης 1600€ και κόστος αφαλάτωσης νερού περί το 1€/m³. Για να θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα μια εκμετάλλευση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί το πολύ στο 60% του κόστους της αφαλάτωσης με πετρέλαιο (DiPirro, 2002).

3.5 Αβαθής γεωθερμία

Ομαλή ή αβαθής γεωθερμία λέγεται η ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό και βρίσκονται σε μικρό βάθος.

Οι θερμοκρασίες των πετρωμάτων και υπόγειων νερών που αναπτύσσει η ομαλή γεωθερμική ενέργεια σε βάθη 0-200m, είναι κατά το πλείστον κατώτερες από 25°C. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει αβαθής θερμότητα του υπεδάφους, η οποία είναι μια περιβαλλοντική ενέργεια και μάλιστα μέρος αυτής, κυρίως στα βάθη των 0-30m περίπου, είναι ηλιακής προέλευσης. Στα βάθη 0-15m το ποσοστό της θερμότητας ηλιακής προέλευσης γίνεται εμφανές, αυξανόμενο καθώς μικραίνει η απόσταση από την εδαφική επιφάνεια και καθώς μεγαλώνει το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Η περιβαλλοντική θερμική ενέργεια αξιοποιείται με τις αντλίες θερμότητας, οι οποίες αποτελούν σήμερα σημαντικό μέσο εξοικονόμησης ενέργειας και περιορισμού των ρυπογόνων καυσίμων.

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σήμερα εμπορικά με αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού. Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας γίνεται με δύο τρόπους. Χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας είτε τα αβαθή υπόγεια νερά, είτε τη θερμοκρασία των πετρωμάτων μικρού βάθους. Πλεονέκτημα των αβαθών γεωθερμικών πηγών είναι οι σταθερές θερμοκρασίες σε όλη τη διάρκεια του έτους, αφού δεν επηρεάζονται από τις θερμοκρασιακές και μετεωρολογικές, εποχιακές και ημερήσιες μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνεια της Γης (Dickson&Fanelli, 1995).

3.5.1 Νερό

Το νερό αποτελεί μια ικανοποιητική και σε πολλές περιπτώσεις ιδανική πηγή θερμότητας. Το νερό του δικτύου της πόλης σπάνια χρησιμοποιείται γιατί κοστίζει πολύ και υπάρχουν νομικοί περιορισμοί για τη χρήση του σε τέτοιες εφαρμογές. Το επιφανειακό σε ποτάμια ή λίμνες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά η θερμοκρασία του πέφτει αισθητά το χειμώνα, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται δυσμενώς η λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και το νερό της θάλασσας ιδιαίτερα σε παραθαλάσσια ξενοδοχεία.

Τα υπόγεια νερά είναι μια ελκυστική πηγή θερμότητας διότι έχουν σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του έτους σταθερή θερμοκρασία (10-20°C), η οποία είναι αρκετά υψηλή για την λειτουργία των Α.Θ. Συχνά υπάρχουν υπόγεια νερά σε επαρκείς ποσότητες, τα οποία αφού χρησιμοποιηθούν διοχετεύονται πάλι στον υδροφόρο ορίζοντα και έτσι το κόστος είναι μηδενικό και αλλάζει μόνο η θερμοκρασία του. Στην περίπτωση των υπόγειων νερών σαν πηγή θερμότητας, σημαντικά είναι τα παρακάτω σημεία:

- Η θερμοκρασία του νερού της πηγής να έχει ικανοποιητική και σταθερή θερμοκρασία.
- Το νερό να βρίσκεται σε εκμεταλλεύσιμο βάθος και να είναι γνωστή η παροχή και η διεύθυνση της ροής του.
- Η παροχή του νερού να διατηρείται σταθερή.
- Πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ώστε το νερό να μη μολύνεται από διαρροές λαδιού ή ψυκτικού μέσου.
- Το νερό να είναι χημικά κατάλληλο και να δίνεται προσοχή στην πιθανή διάβρωση του εναλλάκτη της Α.Θ.

Στις εφαρμογές όπου αξιοποιούνται τα επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα της γης (λίμνη, πηγάδι, ποτάμι, γεώτρηση ή και η ίδια η θάλασσα) ως πηγή θερμότητας, χρησιμοποιείται ειδικός τύπος σωληνώσεων που ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης ανοικτού κυκλώματος (Φυτίκας, 1991).

3.5.2 Έδαφος

Για την εκμετάλλευση της ενέργειας των πετρωμάτων του υπεδάφους, χρησιμοποιείται η τεχνική του θαψίματος δικτύου σωληνώσεων σε σχετικά μικρό βάθος. Η τεχνική αυτή άρχισε να εφαρμόζεται τη δεκαετία του '40 σε περιορισμένη όμως κλίμακα. Από τότε μέχρι και σήμερα η πρόοδος που έχει γίνει στον τομέα αυτό, της αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας του εδάφους, είναι αλματώδης. Σε αυτή την εξέλιξη συνέβαλε καθοριστικά τόσο η χρήση ανθεκτικότερων υλικών στο δίκτυο σωληνώσεων όσο και η χρήση νέου τύπου αντλιών θερμότητας, με αποτέλεσμα σήμερα τα συστήματα γεωεναλλακτών-αντλιών θερμότητας να αποτελούν ένα από τα πιο αποδοτικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης.

Η σύνθεση του χώματος, η οποία αλλάζει από περιοχή σε περιοχή (υγρός άργιλος, άμμος, βραχώδεις έδαφος κ.τ.λ.) επιδρά καθοριστικά στις θερμικές του ιδιότητες και επομένως και στο βαθμό απόδοσης των Α.Θ. Το σημαντικότερο

μέγεθος είναι η θερμική διαχυτότητα, που όμως είναι δύσκολο να υπολογιστεί χωρίς επαρκείς δεδομένα για τη ποιότητα του χώματος. Η θερμική διαχυτότητα είναι ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας προς το γινόμενο της πυκνότητας και της ειδικής θερμότητας.

Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους εξαρτάται από το περιεχόμενό του σε υγρασία. Η λογική της χρήσης σωληνώσεων χωμένων στο έδαφος στηρίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία της γης σε βάθος 2 έως 3 μέτρων διατηρείται σχεδόν σταθερή σε όλη τη διάρκεια του έτους (10-18°C), κάτι που δε συμβαίνει φυσικά με τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Συνήθως οι σωληνώσεις στο έδαφος είναι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας. Στο κύκλωμα των σωληνώσεων αυτών, κυκλοφορεί νερό (ή αντιπηκτικό διάλυμα για την αποφυγή δημιουργίας πάγου σε ψυχρά κλίματα) το οποίο όμως δεν αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα του υπεδάφους αλλά διοχετεύεται από το ειδικό σύστημα παροχής που εγκαθίσταται από ηλεκτρολόγο-μηχανολόγο μηχανικό και αποκτά σταδιακά την θερμοκρασία του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή το δίκτυο σωληνώσεων ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος. Όπου εφαρμόζονται τέτοιοι εναλλάκτες χρησιμοποιείται και ένας κυκλοφορητής για την ομαλή τροφοδοσία της αντλίας θερμότητας. Το βασικό πλεονέκτημα του κλειστού κυκλώματος είναι ότι το κύκλωμα της γης και του σπιτιού, είναι κλειστά και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζονται επικαθίσεις αλάτων σε αυτά, με αποτέλεσμα η συντήρηση του συστήματος να είναι μηδαμινή (www.igshpa.okstate.edu).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

4.1 Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια έχει χρόνο ζωής και αξιοποιείται πλέον για πάνω από τρεις δεκαετίες. Αυτό συμβαίνει διότι διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας και άλλων ΑΠΕ. Πιο ειδικά:

- Αποτελεί ένα τοπικό ενεργειακό πόρο που μπορεί να μειώσει τη ζήτηση για εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα.
- Έχει σημαντική θετική επίδραση στο περιβάλλον με την αντικατάσταση της καύσης των ορυκτών καυσίμων.
- Είναι αποδοτική και ανταγωνιστική με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Οι γεωθερμικοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, χωρίς εμπόδια που επιβάλλονται από τις καιρικές συνθήκες, αντίθετα με άλλες ΑΠΕ.
- Διαθέτει εγγενή ικανότητα αποθήκευσης και είναι καταλληλότερη για την κάλυψη της ζήτησης του φορτίου βάσης.
- Είναι μια αξιόπιστη και ασφαλείς ενεργειακή πηγή που δεν απαιτεί αποθήκευση ή μεταφορά των καυσίμων.

Επιπλέον η νεώτερη γενιά των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής εκπέμπει μόνο 136gr CO₂ /kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά μέσο όρο, έναντι των 453gr CO₂ /kWh μιας μονάδας με καύσιμο φυσικό αέριο ή των 1042gr / kWh CO₂ από ένα θερμικό σταθμό άνθρακα. Αυτή τη στιγμή, οι ΑΠΕ με το μέγιστο δυναμικό και τις χαμηλότερες εκπομπές στην Ευρώπη, βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, είναι η υδραυλική και η γεωθερμική ενέργεια. Ο συντελεστής διαθεσιμότητας της γεωθερμικής ενέργειας, δηλαδή το ποσοστό του χρόνου που μπορεί να παράγεται η ονομαστική ενέργεια, εξαρτάται από τη φύση της πηγής και κατά δεύτερο λόγο από τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού (Boyle, 1998).

4.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια καθαρή μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα όταν συγκρίνεται με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, με πολύ μικρές έως και μηδαμινές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της. Ακόμη και όταν υπάρχουν κάποιες περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αυτές μπορούν πάντοτε να αντιμετωπισθούν με τη χρήση της τεχνολογίας. Τα κύρια πλεονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας είναι:

- Διαθέσιμη μέρα και νύχτα όλο το χρόνο και δεν επηρεάζεται από καιρικές συνθήκες.
- Προσφέρεται έτοιμη σαν θερμικό προϊόν. Δεν μπορεί να μεταφερθεί μακριά, άρα θα πρέπει να αξιοποιηθεί επί τόπου από τις παραγωγικές δυνάμεις.
- Αναπτύσσεται σε πεδινές περιοχές με άριστες συνθήκες αξιοποίησης στη σύγχρονη γεωργία, αγροτοβιομηχανία, ιχθυοκαλλιέργεια, αστικές και βιομηχανικές χρήσεις κλπ.
- Μπορεί να συμβάλει στην αγροτουριστική και οικοτουριστική ανάπτυξη.
- Λόγω της αυξημένης θερμικής ροής της περιοχής μπορεί να γίνει χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Πιο συγκεκριμένα τα περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμίας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Συνεχόμενη παροχή ενέργειας με υψηλό συντελεστή λειτουργίας >90%.
- Μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος εγκατάστασης είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας.
- Δεν παράγει επικίνδυνα αέρια καύσης αλλά ούτε και σωματίδια, ούτε τέφρα, ούτε καπνό.
- Υπάρχει μικρή απαίτηση γης για την αξιοποίηση της (εγκατάσταση μονάδας, χώρος γεωτρήσεων, σωληνώσεις μεταφοράς κτλ) συγκριτικά με αυτή που απαιτείται από ατμοηλεκτρικούς, υδροηλεκτρικούς σταθμούς κτλ.
- Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε και του πρωτόκολλου του Κιότο.
- Συμβολή στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μας χώρας, με τον περιορισμό εισαγωγών ορυκτών καυσίμων (Σελλούντος, 1996).

Φυσικά σε όλα τα πράγματα, εκτός από τα θετικά δε μπορεί παρά να υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα. Έτσι και στην γεωθερμία, όπου για να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη, τα προβλήματα αυτά θα πρέπει να λυθούν σε ικανοποιητικό βαθμό. Τα προβλήματα αυτά, που σχετίζονται άμεσα με τη ιδιάζουσα χημική σύσταση των περισσότερων γεωθερμικών ρευστών, είναι:

- Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε σχεδόν κάθε επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό.
- Διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών.
- Ορισμένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, όπως διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους και εκπομπές τοξικών αερίων κυρίως του υδρόθειου.

Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε γεωργικές μονάδες μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό, αν όχι ολοκληρωτικά, με μια πληθώρα τεχνικών και μεθόδων. Μερικοί τρόποι και τυπικές πρακτικές είναι οι εξής:

- Ο σωστός σχεδιασμός της μονάδας και η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας της.
- Η ρύθμιση του pH του ρευστού.
- Η προσθήκη χημικών ουσιών (αναστολέων δημιουργίας επικαθίσεων).
- Η απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά ή φυσικά μέσα στη διάρκεια προγραμματισμένων ή όχι διακοπών λειτουργίας της μονάδας.

Οι δυνατότητες ελέγχου της διάβρωσης στις γεωθερμικές μονάδες επικεντρώνονται στα εξής:

- Επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής.
- Επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών με ανθεκτικά στη διάβρωση στρώματα.
- Προσθήκη αναστολέων διάβρωσης.
- Σωστός σχεδιασμός της μονάδας.

Αν και η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ήπια μορφή ενέργειας, σε σύγκριση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, υπάρχουν όμως και κάποιες επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της οι οποίες συχνά δεν είναι αμελητέες. Τα προβλήματα από τη διάθεση των ρευστών που χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις (ρευστά μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) είναι κατά κανόνα ηπιότερα, σχεδόν μηδενικά, από τα ρευστά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ρευστά χαμηλής ενθαλπίας). Θα πρέπει να τονιστεί ότι στην περίπτωση που εφαρμόζεται η άμεση επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμειυτήρα, οι επιπτώσεις είναι ελάχιστες (www.iga.igg.cnr.it).

4.3 Προβλήματα παραγωγής και ρύπανσης

Στα κυριότερα προβλήματα κατά την παραγωγή γεωθερμικής ισχύος περιλαμβάνονται οι αποθέσεις μετάλλων, οι μεταβολές στις υδρολογικές συνθήκες και η διάβρωση του εξοπλισμού. Προβλήματα ρύπανσης προκύπτουν κατά τον χειρισμό των γεωθερμικών αποβλήτων, τόσο του νερού όσο και του ατμού.

4.3.1 Αποθέσεις μετάλλων

Σε κάποια πεδία όπου το νερό είναι το στοιχείο που επικρατεί μπορούν να υπάρξουν αποθέσεις μετάλλων από το καυτό γεωθερμικό ρευστό. Για παράδειγμα, η απόθεση πυριτίου στα φρέατα, προκάλεσε προβλήματα στο πεδίο του Salton Sea (Καλιφόρνια). Συχνότερα, μπορεί να περιοριστεί η ανάπτυξη ενός πεδίου από το σχηματισμό αποθέσεων ανθρακικών αλάτων ασβεστίου στα φρέατά της ή στα πετρώματα της περιοχής, όπως για παράδειγμα συνέβη στη Τουρκία και στις Φιλιππίνες. Το τελευταίο καιρό, πεδία με ζεστά νερά και υψηλά ολικά ανθρακικά άλατα αντιμετωπίζονται με καχυποψία. Με την απόρριψη των θερμών υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια, η απόθεση πυριτίου στους αγωγούς και τους διαύλους του νερού μπορεί να προκαλέσει προβλήματα (www.iea.org).

4.3.2 Υδρολογικές αλλαγές

Με την μεγάλη σε έκταση παραγωγή από φρέατα αλλάζουν οι τοπικές υδρολογικές συνθήκες. Η ελάττωση της πίεσης του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να προκαλέσει βρασμό στο νερό των πετρωμάτων (κάτι που οδηγεί σε μεταβολές των χαρακτηριστικών του ρευστού της γεώτρησης), τη διείσδυση του κρύου νερού από τις παρυφές του πεδίου, ή μεταβολές στη χημεία του νερού

λόγω των μειωμένων θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων των αερίων. Με την συνεχή άντληση ζεστού νερού από πετρώματα μικρής αντοχής μπορεί να συμβεί τοπική γαιόχωση (μέχρι μερικά μέτρα) και να μειωθεί σε ένταση η αρχική φυσική θερμική δραστηριότητα.

Μερικές μεταβολές προκύπτουν σε όλους τους τομείς και απαιτείται η καλή κατανόηση της γεωλογίας και της υδρολογίας ενός συστήματος προκειμένου να μπορέσει να συνδυαστεί ο ρυθμός άντλησης της γεώτρησης με τη μακροπρόθεσμη δυνατότητα αυτής να παρέχει ρευστό (www.iea.org).

4.3.3 Διάβρωση

Τα γεωθερμικά νερά προκαλούν την ταχεία διάβρωση των περισσότερων κραμάτων μετάλλων, αλλά αυτό δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα κατά τη χρήση τους εκτός από τις περιοχές όπου αντλούνται υψηλής θερμοκρασίας όξινα ύδατα (πολύ σπάνια), για παράδειγμα σε ενεργές ηφαιστειακές ζώνες. Το σύνθηρες βαθύ γεωθερμικό νερό έχει σχεδόν ουδέτερο pH. Οι κυριότερες επιπτώσεις διάβρωσης μετάλλων που πρέπει να αποφεύγονται είναι η διάβρωση με στίγματα σουλφιδίου και χλωριδίου ορισμένων ανοξειδωτών και υψηλής αντοχής χαλύβων και η ταχεία διάβρωση των κραμάτων χαλκού. Το υδρόθειο, ή τα προϊόντα οξειδωσής του, προκαλεί επίσης την πιο ταχεία από την κανονική υποβάθμιση των οικοδομικών υλικών, π.χ. του σκυροδέματος, των πλαστικών και των βαφών (www.nrel.gov).

4.3.4 Ρύπανση

Από γεωτρήσεις οι οποίες δεν είναι ηχομονωμένες μπορεί να προκύψει υψηλό επίπεδο θορύβου (μέχρι 120dB), ενώ οι εκτονώσεις των φρεάτων μπορεί να ψεκάσουν αλατούχα και πυριτιούχα ρευστά στα φυτά και τα κτίρια. Με την εφαρμογή ορθών πρακτικών μπορούν να μειωθούν οι επιδράσεις αυτές σε αποδεκτά επίπεδα. Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ρεύματος, λόγω της χαμηλότερης αποδοτικότητάς τους, εκπέμπουν περισσότερους υδρατμούς ανά μονάδα ισχύος από τους σταθμούς με ορυκτά καύσιμα. Ο ατμός από τους σιγαστήρες των κεφαλών των φρεάτων και τους πύργους ψύξης των σταθμών μπορεί να προκαλέσει τοπικά μια αυξημένη τάση για σχηματισμό ομίχλης και χειμερινού πάγου.

Τα απόβλητα γεωθερμικά νερά που ελευθερώνονται σε υδάτινους διαύλους μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα θερμικής ρύπανσης, εκτός εάν αραιώνονται κατά 100:1 τουλάχιστον. Οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να έχουν τέσσερα κύρια ρεύματα αποβλήτων. Μεγάλοι όγκοι απορριπτόμενου ζεστού αλατούχου νερού παράγονται στα υδροθερμικά πεδία. Μη καθαρός υδρατμός αναδύεται από τους πύργους ψύξης των σταθμών, οι οποίοι παράγουν επίσης μια ροή συμπυκνώματος που περιέχει ποικίλες συγκεντρώσεις αμμωνίας, σουλφιδίων, ανθρακικών αλάτων και βορίου. Απόβλητα αέρια διαφεύγουν από τις εξόδους απαερίωσης των αντλιών.

Οι γεωθερμικοί ατμοί ποικίλουν ευρέως ως προς τα περιεχόμενα αέρια, τα οποία είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, μεθάνιο και αμμωνία. Η απαγωγή του υδρόθειου μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις εάν δεν διασκορπίζεται επαρκώς, και σε ένα μεγάλο γεωθερμικό σταθμό κοντά σε

κοινότητες με χαμηλή ανοχή στις οσμές χρειάζεται μια μονάδα παγίδευσης του θείου. Οι επιπτώσεις από την διασπορά των σουλφιδίων στα δέντρα και τα φυτά φαίνεται να είναι μικρή. Η χαμηλή συγκέντρωση ραδονίου στον ατμό, όταν διασκορπίζεται είναι απίθανο να έχει επιπτώσεις στην υγεία (www.jxj.com).

Ο υδράργυρος των γεωθερμικών ρευστών τελικά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, αλλά οι δημιουργημένες συγκεντρώσεις δεν είναι επικίνδυνες. Η σύσταση των γεωθερμικών νερών ποικίλλει ευρέως. Στις πρόσφατες ηφαιστειακές περιοχές αυτά είναι συνήθως αραιά (<0,5%) αλατούχα διαλύματα, αλλά τα νερά στις ιζηματογενείς λεκάνες ή τις ενεργές ηφαιστειακές περιοχές έχουν ιδιαίτερα μεγάλη συγκέντρωση σε άλμες. Σε σύγκριση με τα επιφανειακά, τα περισσότερα γεωθερμικά νερά περιέχουν υπερβολικές συγκεντρώσεις βορίου, φθοριδίων, αμμωνίας, πυριτίου και αρσενικού.

Στα συνήθη αραιά γεωθερμικά νερά, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, π.χ. σιδήρου μαγγανίου, μολύβδου, ψευδαργύρου και καδμίου, σπάνια υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα για το πόσιμο νερό όρια. Πάντως, οι συμπυκνωμένες άλμες μπορεί να περιέχουν ικανά επίπεδα βαρέων μετάλλων.

Λόγω της σύνθεσής τους, τα απόβλητα γεωθερμικά νερά ή συμπυκνώματα μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στις παροχές πόσιμου ή αρδευτικού νερού και την υδρόβια ζωή. Η αμμωνία μπορεί να αυξήσει την ανάπτυξη των φυκιών στους υδάτινους διαύλους και να ευνοήσει τον ευτροφισμό τους, ενώ η εισχώρηση του βορίου στα αρδευτικά ύδατα μπορεί να έχει επιπτώσεις σε ευαίσθητα φυτά, όπως τα εσπεριδοειδή. Μικρές ποσότητες ιζήματος μεταλλικού σουλφιδίου, που περιέχουν αρσενικό, αντιμόνιο και υδράργυρο, μπορεί να συσσωρευτούν στα ιζήματα των ρυακιών και να προκαλέσουν ανεπιθύμητα υψηλές (πάνω από 0,5 ppm) συγκεντρώσεις υδραργύρου στα ψάρια (www.geo-energy.org).

4.3.5 Επανάγχυση

Το πρόβλημα της επιφανειακής διάθεσης μπορεί να αποφευχθεί με την επανέγχυση των απορριπτόμενων νερών ή συμπυκνωμάτων πίσω στα έγκατα μέσω φρεάτων απόρριψης. Η επανέγχυση του συμπυκνώματος ατμού εμφανίζει λίγα προβλήματα και εφαρμόζεται στην Ιταλία και τις ΗΠΑ. Σε πολύ μεγάλους όγκους διαχωριζόμενου απόβλητου ζεστού νερού (περίπου 50 μετρικοί τόνοι ανά MW) και πεδία υπερίσχυσης νερού, τα πράγματα είναι πιο δύσκολα στην επανέγχυση.

Η απόθεση πυριτίου και ανθρακικών αλάτων μπορεί να προκαλέσει αποφράξεις στις σχισμές των πετρωμάτων, εάν δεν ικανοποιούνται οι κατάλληλες θερμοκρασιακές, χημικές και υδρολογικές συνθήκες στο βάθος απόρριψης. Μερικές φορές πριν την επανέγχυση μπορεί να χρειάζεται η χημική επεξεργασία της άλμης. Η επιλεκτική επανέγχυση του νερού στο θερμικό σύστημα μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση των πιέσεων του υδροφόρου ορίζοντα και στην απόληψη περισσότερης θερμότητας από το πέτρωμα. Ένα επιτυχές σύστημα επανέγχυσης νερού λειτουργεί για αρκετά χρόνια στο Ελ Σλβαδόρ (Brower, 1997).

4.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα Γ.Α.Θ

Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες το 24ωρο, 365 μέρες το χρόνο. Οι ΓΑΘ αξιοποιούν τις ιδιότητες θερμοεναλλαγής του νερού και την ήπια θερμοκρασία του εδάφους, η οποία παραμένει σταθερή σχεδόν όλο το χρόνο – ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες – και παρέχουν αποδοτική θέρμανση, κλιματισμό και ζεστό νερό χρήσης στα κτίρια. Η χρήση ΓΑΘ για θέρμανση και κλιματισμό έχει σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα από την εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων, 30% μικρότερο κόστος λειτουργίας από το καλύτερο αερόψυκτο σύστημα, κόστος συντήρησης μόλις το 1/3 από αυτό ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης – κλιματισμού και σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (25-30 έτη).

Τα πιο βασικά πλεονεκτήματα των ΓΑΘ είναι:

- Αξιόπιστη τεχνολογία, φιλική προς το περιβάλλον χωρίς εκπομπές αέριων ρύπων.
- Άντληση δωρεάν ενέργειας από το υπέδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.
- Εξοικονόμηση 75% της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση και 40% για ψύξη-θέρμανση ενός κτιρίου.
- Μείωση των δαπανών της κατοικίας για θέρμανση και κλιματισμό από 25-75%.
- Χαμηλό κόστος συντήρησης εγκατάστασης και εξοπλισμού. Τα ΓΑΘ δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα.
- Απουσία θορύβου κατά την λειτουργία της εγκατάστασης.
- Παρέχουν υψηλής ποιότητας άνεση στους εσωτερικούς χώρους.
- Απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε σχέση με το συμβατικό λεβητοστάσιο. Δεν απαιτείται λέβητας, δεξαμενή πετρελαίου, ή καπνοδόχος, ενώ δεν απαιτείται αερόψυκτος ψύκτης για τον κλιματισμό του κτιρίου.
- Μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με μια εγκατάσταση πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Τα μειονεκτήματα των ΓΑΘ είναι:

- Το αρχικό κόστος ενός γεωθερμικού συστήματος είναι υψηλότερο από αυτό των συμβατικών συστημάτων, η αγορά όμως μπορεί να ενισχυθεί από κρατική χορηγία.
- Σε κλειστά κυκλώματα υπάρχει δυσκολία επισκευής μια διαρροής.
- Για τα ανοικτού κυκλώματος συστήματα απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού.
- Κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων δημιουργείται λάσπη, η οποία θα πρέπει να ξηρανθεί και να απομακρυνθεί από το χώρο ανέγερσης της κατοικίας (www.jxj.com).

4.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων

Αφού αποδειχθεί ότι τα αποτελέσματα της γεωθερμικής έρευνας είναι επαρκή και η μελέτη σκοπιμότητας έχει θετικά αποτελέσματα, ακολουθεί η ανάπτυξη της υποδομής που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών. Στο στάδιο αυτό ακολουθούνται οι ακόλουθες εργασίες:

1. Όρυξη των γεωτρήσεων παραγωγής – και των γεωτρήσεων επανεισαγωγής (εάν έχει κριθεί απαραίτητο για τη διάθεση των γεωθερμικών ρευστών μετά την εκμετάλλευσή τους).
2. Κατασκευή του δικτύου άντλησης, μεταφοράς και τελικής διάθεσης (απόρριψης) των γεωθερμικών ρευστών (www.elsevier.com).

4.5.1 Γεωτρήσεις έρευνας, παραγωγής και επανεισαγωγής

Από τις πρώτες επιπτώσεις που λαμβάνουν χώρα από την αρχή της εφαρμογής ενός γεωθερμικού έργου, είναι οι γεωτρήσεις, ανεξάρτητα από το αν αυτές φτάνουν σε μικρά βάθη και αποσκοπούν στη μέτρηση της γεωθερμικής βαθμίδας κατά το στάδιο έρευνας, ή αν είναι γεωτρήσεις παραγωγής και επανεισαγωγής. Η εγκατάσταση ενός γεωτρητικού συγκροτήματος, που περιλαμβάνει και όλο το βοηθητικό εξοπλισμό του, απαιτεί τη διάνοιξη – επισκευή δρόμων για την πρόσβαση στο σημείο των γεωτρήσεων. Αποτέλεσμα όλων αυτών των ενεργειών είναι να αλλάξει έστω και λίγο η επιφανειακή μορφολογία της περιοχής, ενώ δεν αποκλείεται να προκληθούν και μικρές ζημιές στην χλωρίδα και τη πανίδα. Επίσης, κατά τη διάρκεια κατασκευής των γεωτρήσεων ή των δοκιμών παραγωγής, υπάρχει κίνδυνος διαφυγής στην ατμόσφαιρα κάποιων ανεπιθύμητων αερίων. Ιδιαίτερα προβλήματα διαρροών μπορεί να υπάρξουν από τα ρευστά που εκρέουν κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων, σε περίπτωση ατυχήματος ή διάρρηξης των σωληνώσεων (παραγωγής και επανεισαγωγής) και από τις όχι καλά στεγανοποιημένες τεχνητές λίμνες του πολφού κυκλοφορίας ή των γεωθερμικών ρευστών. Αρκετά υψηλή μπορεί να είναι η οπτική όχληση κατά τη διάρκεια της διάτρησης οφειλόμενη στην παρουσία των γεωτρήσεων και στην έκταση του εργοταξίου. (οι εργασίες που πραγματοποιούνται οφείλουν να τηρούν τον «Κανονισμό Γεωθερμικών Εργασιών» σύμφωνα με το νόμο (ΦΕΚ Β' 1530/7-11-2005) (Twidell, 1996).

4.5.2 Θόρυβος

Ο θόρυβος σε γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μεγαλύτερος από το θόρυβο που προκαλείται σε συμβατικές μονάδες, ενώ σε εγκαταστάσεις χαμηλής ενθαλπίας ο θόρυβος είναι μηδαμινός. Κατά τη φάση της ανόρυξης των γεωτρήσεων και την κατασκευή της μονάδας μπορούν να παρουσιαστούν ορισμένα προβλήματα από αυξημένα επίπεδα θορύβου και για το λόγω αυτό συνιστάται οπωσδήποτε η χρήση ωτοασπίδων από το προσωπικό του εργοταξίου. Στη φάση αυτή, κάποια ενδεικτικά επίπεδα θορύβου είναι:

- Ανόρυξη γεωτρήσεων με αέρα (air drilling): 120dBa (γίνεται πολύ σπάνια).
- Ανόρυξη γεωτρήσεων με κυκλοφορία πολφού (mud drilling): 80dBa.
- Άντληση τσιμέντου: 80dBa.

- Δοκιμή γεωτρήσεων: 70-120dBa (ελεύθερη εκροή από γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας: μέγιστο 120dBa, το οποίο μειώνεται στα 85dBa με χρήση σιγαστήρα).
- Μηχανές ντίζελ (π.χ. συμπιεστές): 45-60dBa.
- Εκσκαφείς, φορτηγά, τρακτέρ κτλ.: 55-75dBa.

Κατά τη φάση της λειτουργίας της μονάδας, τα επίπεδα του θορύβου ελέγχονται από μόνιμες εγκαταστάσεις σιγαστήρων ή άλλων συσκευών μείωσης του θορύβου (www.the-gx.com).

4.5.3 Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς

Η εγκατάσταση του δικτύου μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών και η κατασκευή των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, επηρεάζει επιπλέον την πανίδα, την χλωρίδα και την επιφανειακή μορφολογία της περιοχής. Το τοπίο της περιοχής μπορεί να αλλάζει ελαφρώς, παρόλο που σε κάποιες περιπτώσεις, όπως στο Larderello στην Ιταλία, το δίκτυο των σωληνώσεων που διαπερνά την περιοχή και οι πύργοι ψύξης των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν γίνει αναπόσπαστα τμήματα του τοπίου (www.energia.com).

4.5.4 Πρόκληση καθιζήσεων

Η αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων νερού ή ατμού από ένα γεωθερμικό πεδίο, όταν οι ταμιευτήρες του αποτελούνται από πορώδεις σχηματισμούς, μπορεί να προκαλέσει ορισμένες φορές καθίζηση του εδάφους, από λίγα εκατοστά μέχρι μερικά μέτρα. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και κατά την εξόρυξη πετρελαίου ή φυσικού αερίου, καθώς και από την άντληση νερού για άρδευση και ύδρευση. Οι καθιζήσεις μπορούν να αποφευχθούν ή να μειωθούν με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών νερών στον ταμιευτήρα (Φυτίκας, 1991).

4.5.5 Δημιουργία μικροσεισμικότητας

Με την επανεισαγωγή των υγρών στον ταμιευτήρα υπάρχει πιθανότητα πρόκλησης μικροσεισμών στην περιοχή, επειδή τα υγρά κατά την επανεισαγωγή δρουν ως λιπαντικό για τα υπερκείμενα πετρώματα. Αντίστοιχα φαινόμενα παρατηρούνται κατά την εισαγωγή νερού σε ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Επειδή τα περισσότερα γεωθερμικά πεδία βρίσκονται σε σεισμογενής περιοχές, είναι πιθανό οι μικροί αυτοί σεισμοί να «ανακουφίζουν» τις τοπικές συνθήκες και έτσι να συνδράμουν στην αποφυγή μεγαλύτερου σεισμού (www.geothermal-energy.org).

4.5.6 Υδροθερμικές εκρήξεις

Αυτές είναι σπάνιες αλλά είναι ένας πιθανός κίνδυνος στα πεδία υψηλής θερμοκρασίας. Εμφανίζονται όταν η πίεση ατμού στα υδροφόρα στρώματα κοντά στην επιφάνεια μπορεί να εκτινάξει το εδαφικό υλικό και να προκαλέσει τη δημιουργία κρατήρων. Οι διαστάσεις των κρατήρων μπορεί να κυμαίνονται από 5m-500m διάμετρο και βάθος έως 500m (αν και τα περισσότερα είναι λιγότερο από 10m βαθιά) (Armstead, 1983).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΝΛΛΑΚΤΩΝ

5.1 Θερμοκρασία εδάφους

Η αρχή του Γεωθερμικού Κλιματισμού (Θέρμανση - Ψύξη) βασίζεται στο γεγονός ότι λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης, η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή στους 12 - 14° C. Σε αυτή την αρχή της θερμοδυναμικής βασίζεται η χρήση των γεωθερμικών εναλλακτών, που κατά μια έννοια "μεταφέρουν", με τη βοήθεια της αντλίας θερμότητας, τους θερμοκρασία του εδάφους μέσα στο σπίτι μας καταναλώνοντας έτσι την ελάχιστη δυνατή ηλεκτρική ενέργεια. Κατά ανάλογο τρόπο, το χειμώνα το γεωθερμικό σύστημα καλείται να ανυψώσει τη θερμοκρασία του εδάφους μέχρι τους 20 - 22° C για να ζεστάνει το χώρο μας. Η οικονομία και εδώ είναι τεράστια σε σχέση με μία συμβατική αντλία θερμότητας αέρα.

Στην Ελλάδα η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας του υπεδάφους σε βάθος >2 μέτρων, είναι της τάξης των 16-20°C. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος το καλοκαίρι μπορεί να φτάσει και τους 40-42°C, ενώ το χειμώνα τους 0-5°C. Αυτή ακριβώς τη διαφορά θερμοκρασίας, μεταξύ του εξωτερικού αέρα του περιβάλλοντος και του υπεδάφους εκμεταλλευόμαστε με τη χρήση Γεωθερμικού συστήματος για να ψύξουμε ή να θερμάνουμε το κτήριο και να μειώσουμε την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ ώστε να εξοικονομήσουμε ενέργεια.

Πρέπει να λάβουμε δε υπόψη μας ότι συμβατικά κλιματιστικά μηχανήματα αδυνατούν σχεδόν να ζεστάνουν το χώρο σε θερμοκρασίες κάτω από 0° C. Έτσι, το χειμώνα, το υγρό που κυκλοφορεί στον γεωεναλλάκτη απορροφά τη θερμότητα του εδάφους και μέσω της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας την αποδίδει στο κτήριο.

Το δε καλοκαίρι, λειτουργώντας αντίστροφα απομακρύνει τη θερμότητα από το κτήριο και μέσω του γεωεναλλάκτη την αποδίδει στο πιο δροσερό έδαφος, εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη θέρμανση ή δροσισμό, χωρίς να χρειάζεται να αυξομειωθεί δραματικά η θερμοκρασία του νερού που κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες.

Επειδή δε το σύστημα ανταλλάσσει θερμότητα με το υπέδαφος και όχι απευθείας με το περιβάλλον λειτουργεί αξιόπιστα σε ακραίες καιρικές συνθήκες (καύσωνα - παγετό).

Η Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας αντί να χρησιμοποιεί τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος για να αποβάλλει (καλοκαίρι) ή να αντλήσει (χειμώνας)

θερμότητα, χρησιμοποιεί τη θερμότητα που περικλείουν τα υπόγεια νερά, τα νερά των λιμνών και της θάλασσας, ή ακόμα και τη θερμότητα που περικλείει το χώμα!

Μια γεωθερμική αντλία θερμότητας καταναλώνει γύρω στο 25-30% της ενέργειας που αποδίδει, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Μπορεί κανείς να μην αρκεστεί στην οικονομία που προσφέρει η εγκατάσταση, αλλά δίνεται η δυνατότητα να συνδυαστεί με την άφθονη δωρεάν ηλιακή ενέργεια, μέσω των ηλιακών συλλεκτών δημιουργώντας έτσι ένα σύστημα "Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας συνεργαζόμενης με ηλιακό σύστημα".

Χάρη στη χρήση ηλιακών συλλεκτών και εξελιγμένων συστημάτων αυτοματισμών το σύστημα εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια παρέχοντας την για θέρμανση νερού χρήσης και ακόμα για την θέρμανση του χώρου προκαλώντας μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία απορροφάται από την αντλία.

Αυτό οδηγεί σε εξοικονομήσεις, αναλόγως της εκάστοτε εγκατάστασης, σημαντικά μεγαλύτερες του 75% που προσφέρουν από μόνες τους οι εγκαταστάσεις των αντλιών.

Τέλος ο χώρος που απαιτείται για την εγκατάσταση μιας Γεωθερμικής Αντλίας θερμότητας είναι μικρότερος από αυτόν που χρειάζονται τα συμβατικά συστήματα, αφού δε χρειάζεται χώρος για λεβητοστάσια, καμινάδες και δεξαμενές καυσίμων.

5.2 Θερμικές ιδιότητες εδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους είναι ψηλότερη από την ατμοσφαιρική κατά τη χειμερινή περίοδο, χαμηλότερη κατά την καλοκαιρινή και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες ανάλογα με το βάθος.

Το έδαφος χωρίζεται κυρίως σε τρία στρώματα, το επιφανειακό, η θερμοκρασία του οποίου επηρεάζεται από την καθημερινή αλλαγή θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα και από παράγοντες όπως την ηλιακή ακτινοβολία, τον αέρα, τη βροχόπτωση, κτλ, το αβαθές, που επηρεάζεται κυρίως από εποχιακές καιρικές αλλαγές και το βαθύτερο, η θερμοκρασία του οποίου παραμένει σχετικά σταθερή και ανεπηρέαστη από τις καιρικές συνθήκες. Το πεδίο βάθους κάθε στρώματος σχετίζεται κυρίως με την μορφολογία του εδάφους και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας μειώνεται με το βάθος και γίνεται αμελητέα κάτω από 15 μ. Οι τοπικές θερμοκρασίες εδάφους εξαρτώνται από το κλίμα κάλυψη εδάφους, κλίση, ιδιότητες χώματος κλπ.

Η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης αποτελεί την γεωθερμική ενέργεια και είναι τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας για τα ανθρώπινα μέτρα. Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε αβαθή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες.

Αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη σε μορφή θερμότητας ενέργεια του φλοιού της γης, σε βάθη έως 150 m. και με θερμοκρασίες υπεδάφους έως 18 °C. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (σχεδόν το 50% από τη συνολική ποσότητα που φθάνει στη Γη) από τη γήινη επιφάνεια και που στα γεωγραφικά πλάτη της εύκρατης ζώνης κάτω από κάποιο βάθος παραμένει περίπου σταθερή (10-18 °C) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Στις περιοχές στις οποίες η θερμική ενέργεια της γης είναι επαρκώς συγκεντρωμένη ώστε να δημιουργεί εκμεταλλεύσιμη ενεργειακή πηγή, αναπτύσσονται γεωθερμικά συστήματα που ανάλογα με τα θερμικά χαρακτηριστικά τους ταξινομούνται σε υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. Τα υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρισμού, τα μεσαίας ενθαλπίας για παροχή άμεσης θερμότητας σε κατοικίες και βιομηχανία ενώ τα χαμηλής ενθαλπίας για θέρμανση και ψύξη κτιρίων μέσω γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Η σύνθεση του χώματος, η οποία ποικίλλει (υγρός άργιλος, άμμος, βραχώδες έδαφος κ.τ.λ.), έχει μια καθοριστική επίδραση στις θερμικές του ιδιότητες και επομένως και στο βαθμό απόδοσης των Α.Θ. Το σημαντικότερο μέγεθος είναι η θερμική διαχυτότητα, που όμως είναι δύσκολο να υπολογισθεί χωρίς επαρκή

δεδομένα για την ποιότητα του χώματος. Η θερμική διαχυτότητα είναι ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας προς το γινόμενο της πυκνότητας και της ειδικής θερμότητας.

Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους εξαρτάται από το περιεχόμενό του σε υγρασία. Η λογική της χρήσης σωληνώσεων ενταφιασμένων στο έδαφος στηρίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία της γης σε βάθος δύο έως τριών μέτρων διατηρείται σχεδόν σταθερή (μεταξύ 10°C και 18 °C) καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου κάτι που δεν συμβαίνει με την θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα.

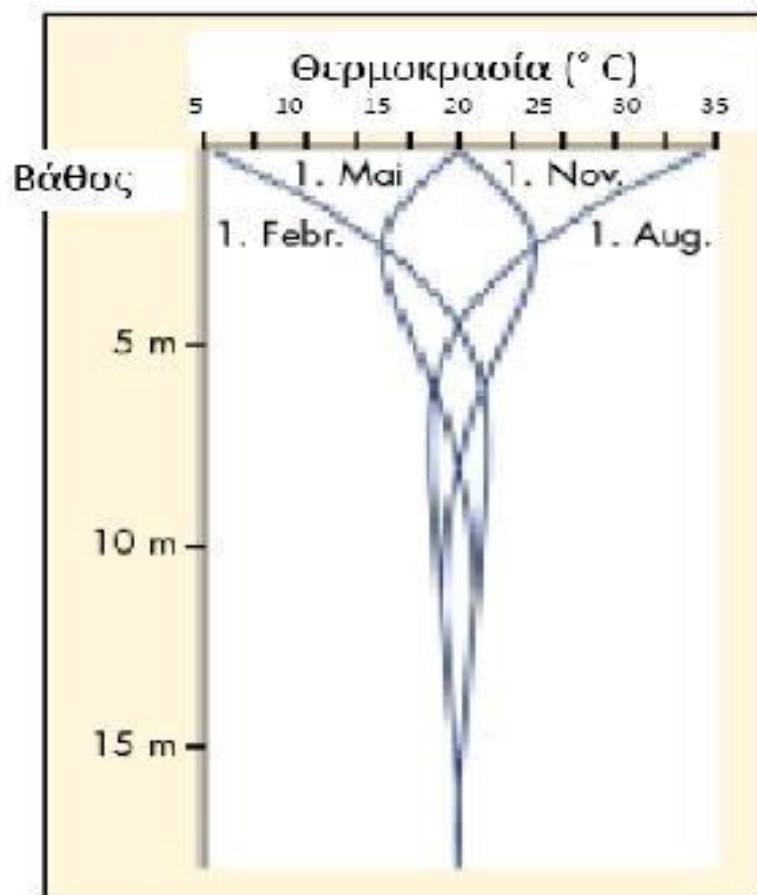
Συνήθως οι σωληνώσεις στο έδαφος είναι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας. Στο κύκλωμα σωληνώσεων κυκλοφορεί νερό (ή αντιπηκτικό διάλυμα για την αποφυγή δημιουργίας πάγου σε ψυχρά κλίματα) το οποίο όμως δεν αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα του υπεδάφους αλλά διοχετεύεται από ειδικό σύστημα παροχής που εγκαθίσταται και αποκτά σταδιακά την θερμοκρασία του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή το δίκτυο σωληνώσεων ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος. Όπου εφαρμόζονται τέτοιοι εναλλάκτες χρησιμοποιείται και ένας κυκλοφορητής για την ομαλή τροφοδοσία της αντλίας θερμότητας. Το βασικό πλεονέκτημα του κλειστού κυκλώματος είναι ότι το κύκλωμα της γης και του σπιτιού, είναι κλειστά και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζονται επικαθίσεις αλάτων σε αυτά, με αποτέλεσμα η συντήρηση του συστήματος να είναι μηδαμινή.

Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες αέρα και επιφανειακού υπεδάφους*

ΒΑΘΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜ.	ΗΜΕΡ.	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜ.	ΗΜΕΡ.
Αέρας	40,2 °C	6η/7ου	6 °C	26η /1ου
0,6μ	29,24 °C	<u>17η /7ου</u>	16,94°C	<u>16η /1ου</u>
1μ	28,24 °C	<u>27η /7ου</u>	17,94 °C	<u>24η /1ου</u>
2μ	26,38 °C	<u>22η /8ου</u>	19,72 °C	<u>22η /2ου</u>
3μ	25,20 °C	<u>17η /9ου</u>	20,98 °C	<u>19η/3ου</u>
4μ	24,44 °C	<u>13η/10ου</u>	21,74 °C	<u>14η /4ου</u>
5μ	23,95 °C	<u>12η/11ου</u>	23,23 °C	<u>10η/5ου</u>

*Υλικά υπεδάφους με $k=1,0W/mK$, $c=800kJ/kgK$, $\rho=200kg/m^3$ υγρασία ~25%

Πίνακας 5.1



Σχήμα 5.2 Θερμοκρασία εδάφους σύμφωνα με το βάθος.

5.3 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας(ΓΑΘ)

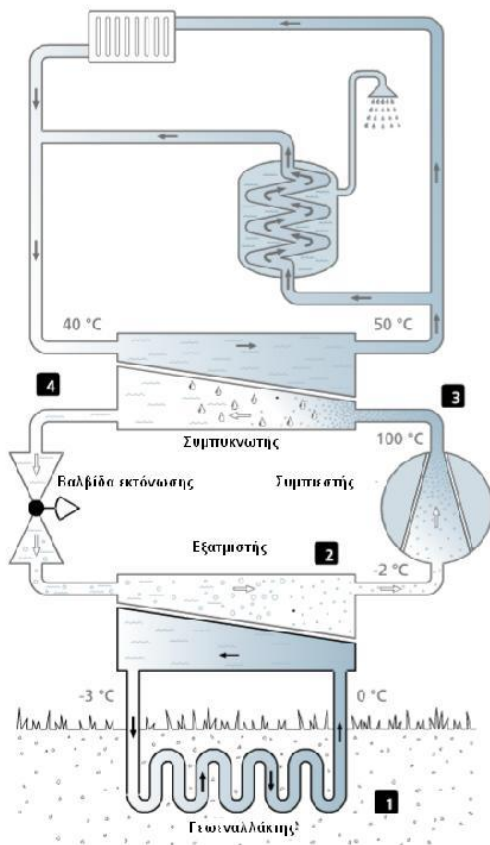
5.3.1 αρχή λειτουργίας

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) χρησιμοποιούν το έδαφος ή τα υπόγεια ύδατα ως πηγή θερμότητας.

Η αρχή της γεωθερμίας είναι εξαιρετικά απλή και βασίζεται στο γεγονός ότι λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή (για την Ελλάδα στους 14-20 Cο) καθ όλη την διάρκεια του έτους.

Το έδαφος ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες έχει αποθηκευμένα μεγάλα ποσά θερμότητας.

Η μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος γίνεται με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ) ,ενώ η θερμότητα μεταδίδεται μέσω ενός δικτύου σωληνώσεων με νερό (γεωεναλλάκτης) , που είτε βρίσκονται σε οριζόντια διάταξη και χαμηλό βάθος ,είτε σε κατακόρυφη διάταξη εκμεταλλευόμενοι μία ή περισσότερες γεωτρήσεις που γίνονται γι' αυτό το λόγο.



Σχήμα 5.3 Λειτουργία γεωθερμικής αντλίας.

1. Μέσο του ψυκτικού υγρού (γλυκόλης) το οποίο κυκλοφορεί στο κλειστό κύκλωμα των γεωεναλλακτών, απορροφούν τη θερμότητα από το έδαφος ή έναν υδροφόρο ορίζοντα ή από μια λίμνη.

2. Όταν το ψυκτικό μέσο εισέρχεται στην αντλία, συναντά ένα άλλο κλειστό κύκλωμα. Το ψυκτικό μέσο της αντλίας μετατρέπεται σε αέρια μορφή, σε χαμηλή θερμοκρασία.

3. Υπό υψηλή πίεση συμπιέζεται το ψυκτικό μέσο και αυξάνεται η πίεση του και η θερμοκρασία του. Στη συνέχεια μεταφέρεται η θερμότητα στο κλειστό κύκλωμα θέρμανσης του σπιτιού.

4. Εν τω μεταξύ το ψυκτικό μέσο επανέρχεται στην υγρή μορφή, έτοιμο να ξανά γίνει αέριο και να ξανά απορροφήσει θερμότητα.

5.4 Γεωεναλλάκτες κλειστού κυκλώματος.

5.4.1.1 Οριζόντιο κλειστό γεωθερμικό σύστημα.



Σχήμα 5.4.1 Οριζόντιος εναλλάκτης

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η ηλιακή θερμότητα αποθηκεύεται στο έδαφος.

Λίγα μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους απορροφάται και συγκρατείται θερμότητα από τη βροχή και τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η χρήση αυτής της ενέργειας για θέρμανση είναι μια οικονομική και αποδοτική μέθοδος.

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

1. Σωλήνες σε παράλληλη διάταξη: Σε βάθος περίπου 1,5-2 μέτρα από την επιφάνεια τοποθετούνται παράλληλα μήκη σωλήνας η μία δίπλα στην άλλη. Η απόσταση μεταξύ των σωλήνων πρέπει να είναι τουλάχιστον 50 εκατοστά.

2. Σωλήνες η μία πάνω από την άλλη: Η πρώτη σωλήνα τοποθετείται περίπου στα δύο μέτρα ενώ η δεύτερη τοποθετείται 40-50 εκατοστά πάνω από την πρώτη.

3. Σωλήνες απλωμένες σε σπείρες: Σε βάθος περίπου 1,5 μέτρο από την επιφάνεια απλώνεται κουλούρα πολυαιθυλενίου με τέτοια διάταξη ώστε να σχηματιστούν σπείρες η οποίες να εφάπτονται μεταξύ τους.

4. Πλέγμα: Σε βάθος περίπου δυο μέτρα από την επιφάνεια τοποθετούνται προκατασκευασμένα πλέγματα που αποτελούνται από λεπτές σωλήνες Φ8 ή Φ10.

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται συνήθως (εκτός από το πλέγμα) είναι από **πολυαιθυλένιο τρίτης γενιάς HDPE Φ32**. Για να απλωθούν οι σωλήνες συνήθως κατασκευάζεται μια τάφος και αφού τοποθετηθούν, σύμφωνα με τα παραπάνω, η τάφος καλύπτεται ξανά με χώμα. Η επιφάνεια πάνω από τον γεωεναλλάκτη μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς. Γενικά, η διάταξη του οριζόντιου γεωεναλλάκτη είναι σαφώς οικονομικότερη από αυτή του κάθετου γεωεναλλάκτη αλλά απαιτεί μεγάλη διαθέσιμη έκταση για την εφαρμογή της.

5.4.1.2 Διαστασιολόγηση οριζόντιου γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού κυκλώματος.

Σύμφωνα με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της μελέτης θερμικών - ψυκτικών φορτίων ενός κτηρίου (πίνακας 5.4.2) και των θερμοκρασιών λειτουργίας των κυκλωμάτων οριζόντιου εναλλάκτη για βέλτιστη τεχνοοικονομική λειτουργία [CRES](πίνακας 5.4.3).

ΧΩΡΟΣ	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΚΑΤΟΙΚΙΑ	Q_{heat}	Q_{cool}	m ²

Πίνακας 5.4.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Θερμικών & Ψυκτικών φορτίων

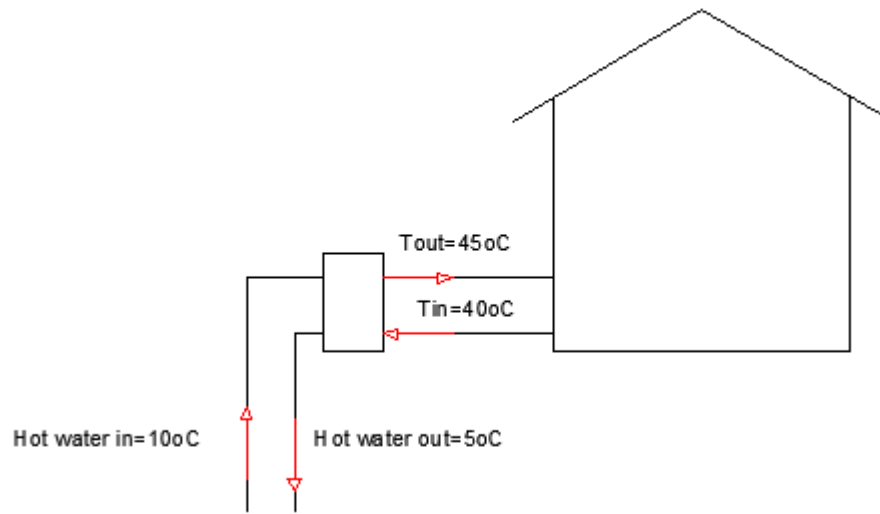
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
40/45 °C*	7/12°C
5/10°C	35/40°C

Πίνακας 5.4.3 Συνιστώμενες θερμοκρασίες λειτουργίας κυκλωμάτων για οριζόντιο εναλλάκτη(CRES)

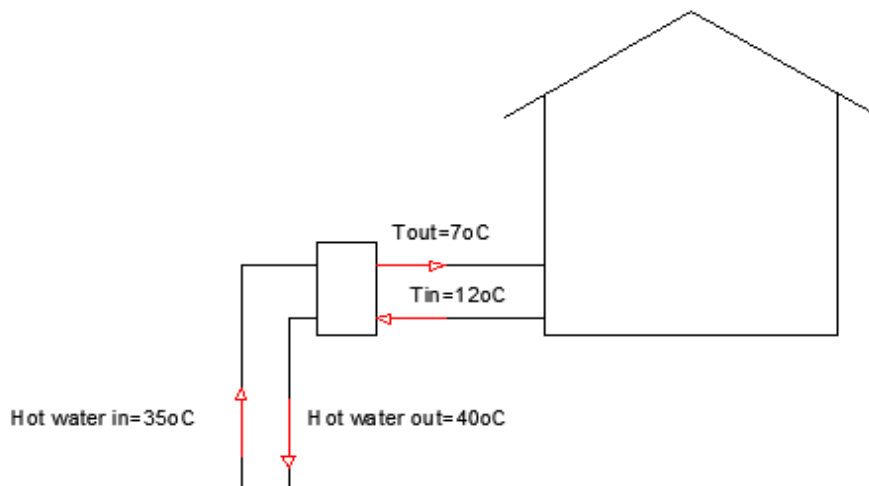
*Hot water out: 45°C και cold water in στο μηχάνημα : 10°C

Στην αριστερή στήλη, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το χειμώνα. Η θερμοκρασία εξόδου από τον συμπυκνωτή είναι 45 °C και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι 5 °C. Στη δεξιά στήλη, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το καλοκαίρι. Η θερμοκρασία εξόδου από τον εξατμιστή είναι 7 °C και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι 40 °C .

Αναλυτικά οι θερμοκρασίες λειτουργίας παρουσιάζονται στο σχήμα 5.4.4 και 5.4.5.



Σχήμα 5.4.4
Λειτουργία ΓΑΘ-χειμώνα



Σχήμα 5.4.5
Λειτουργία ΓΑΘ-Θέρος

Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας

Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία το χειμώνα :

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 45°C και εισόδου στον εξαμιστή 10°C και με κριτήριο ότι πρέπει η θερμική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{heat} ($P_c > Q_{heat}$) επιλέγουμε (από Πίνακα 5 παράρτημα Ι) την ΓΑΘ, με χαρακτηριστικά

- P_f = ψυκτική ισχύς kW
- P_{α} = απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς kW
- P_c = θερμική ισχύς kW
- P_r = ισχύς για ζεστά νερά kW

Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία Θέρος:

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 50 °C και εισόδου στον εξατμιστή 12°C και με κριτήριο ότι πρέπει η ψυκτική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{cool} , ($P_f > Q_{cool}$) επιλέγουμε (από Πίνακα 5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι) την ΓΑΘ με χαρακτηριστικά:

- P_f = ψυκτική ισχύς kW
- P_α = απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς kW
- P_c = θερμική ισχύς kW
- P_r = ισχύς για ζεστά νερά kW

Παρακάτω παραθέτω τα χαρακτηριστικά της Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας την οποία επιλέξαμε (από πίνακα 5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι).

- Χαρακτηριστικά Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (όπου επιλέξαμε) σε Λειτουργία Χειμώνα:

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 45 °C και εισόδου στον εξατμιστή 10 °C έχουμε χαρακτηριστικά:

- P_f = ψυκτική ισχύς kW
- P_α = απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς kW
- P_c = θερμική ισχύς kW
- P_r = ισχύς για ζεστά νερά kW

- Χαρακτηριστικά Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (όπου επιλέξαμε) σε Λειτουργία Θέρος:

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 40 °C και εισόδου στον εξατμιστή 12°C Έχουμε χαρακτηριστικά:

- P_f = ψυκτική ισχύς kW
- P_α = απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς kW
- P_c = θερμική ισχύς kW
- P_r = ισχύς για ζεστά νερά kW

Από τα χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας βρίσκουμε:

- A. Παροχή αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη.
- B. Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.
- Γ. Μήκος Εναλλάκτη

A. Υπολογισμός Παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη:

Στο γήινο εναλλάκτη το χειμώνα απορροφάται η ισχύς Q_{Hf} .

Στο γήινο εναλλάκτη το θέρος απορρίπτεται η ισχύς Q_{Hc} .

$$Q = m_c \cdot \rho \cdot \Delta\theta$$

1. Χειμώνας

$$Q_{Hf} = Q_{Hfrigorific} \text{ kW} = m \cdot c_p \cdot 5K \Rightarrow m = \dots \text{m}^3/\text{h}$$

2. Θέρος

$$Q_{Hc} = Q_{Hcalorific} \text{ kW} = m \cdot c_p \cdot 5K \Rightarrow m = \dots \text{m}^3/\text{h}$$

Στο σημείο αυτό διακρίνουμε μια διαφορά όσον αφορά τις παροχές στο κύκλωμα του οριζόντιου εναλλάκτη. Για τη σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος θα λάβουμε υπόψη την μεγαλύτερη παροχή νερού .

B. Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.

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

$$V = \frac{m}{\rho}$$

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

$$V = u \cdot A \Leftrightarrow V = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot u \Leftrightarrow u = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D_i^2}$$

- Από την παραπάνω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1-1,5 m/sec.

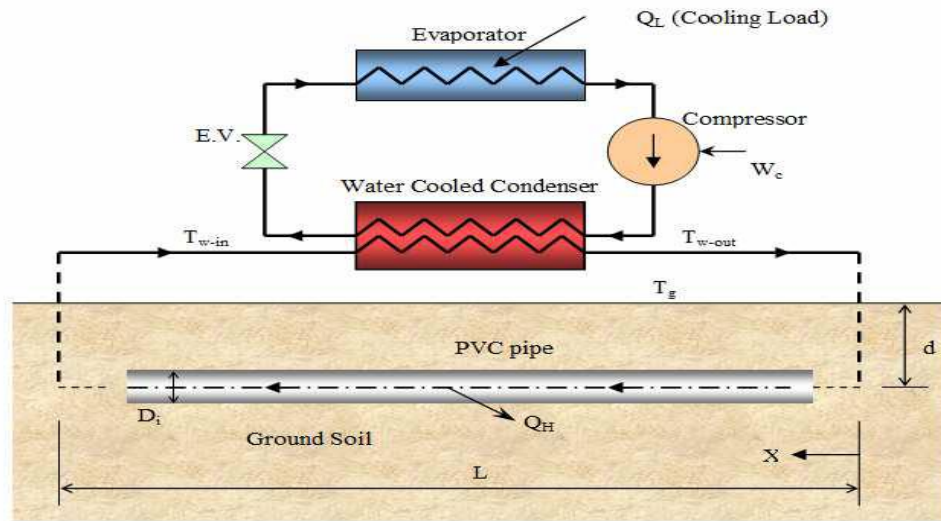
Υποθέτοντας οριζόντιο σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου D_i και εξωτερικής διαμέτρου D_o όπου θάβεται σε βάθος d από την επιφάνεια του εδάφους όπως φαίνεται στην εικόνα 3, οι Θερμικές αντιστάσεις ανά μήκος σωλήνα για τη μεταφορά νερού θα είναι :

$$\bullet R_{conv} = \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_w}$$

$$\bullet R_{pipe} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot K_{pipe}}$$

$$\bullet R_{soil} = \frac{1}{S \cdot K_{soil}}$$

$$\bullet R_{total} = R_{conv} + R_{pipe} + R_{soil}$$



Σχήμα 5.4.6

$$\text{Όπου } S = \frac{2 \cdot \pi}{\ln[(2 \cdot d/D_o) + \sqrt{(2 \cdot d/D_o)^2 - 1}]}$$

h_w : Συντελεστής συναγωγής νερού.

k_{pipe} : Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του σωλήνα.

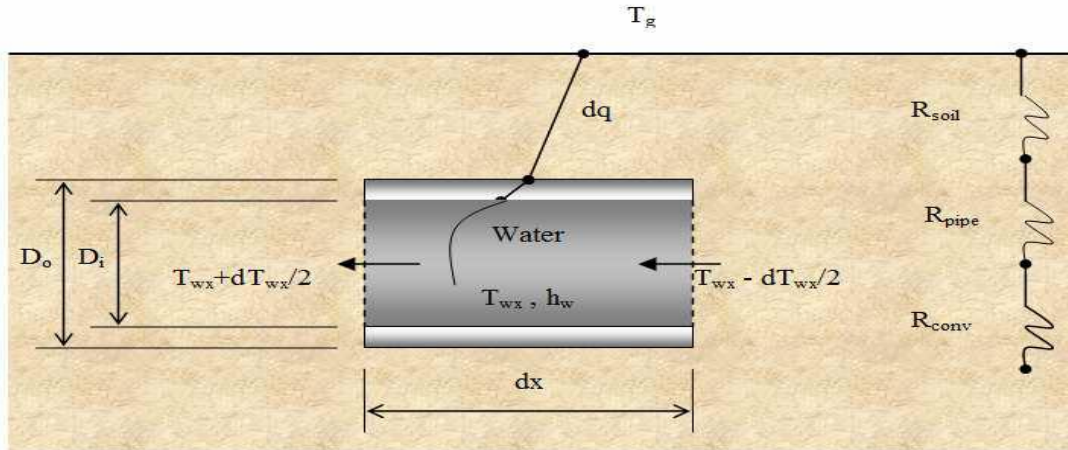
k_{soil} : Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας εδάφους.

Γ. Μήκος Εναλλάκτη

$$L = (m_w \cdot c_w \cdot R_{total}) \cdot \ln \frac{\theta_{win}}{\theta_{wout}}$$

θ_{win} : θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλάκτη.

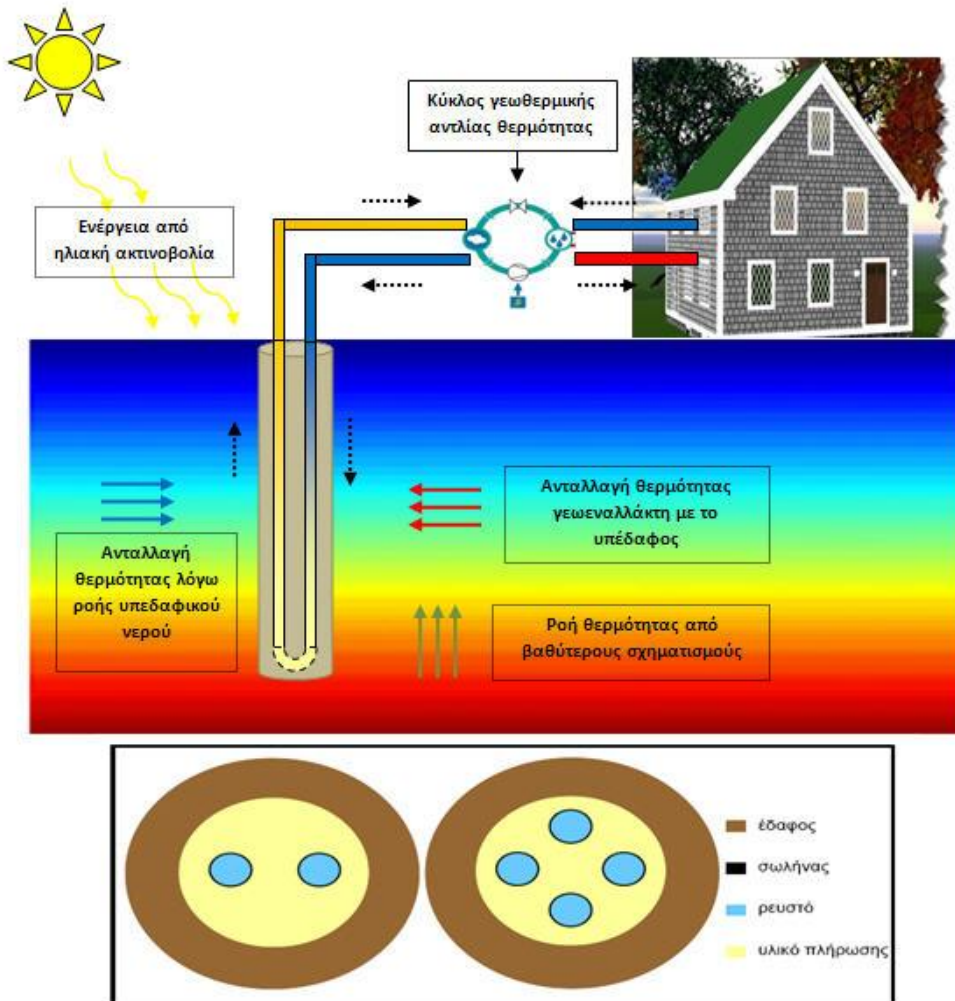
θ_{wout} : θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλάκτη.



Σχήμα 5.4.7

Μετά τους υπολογισμούς για κάθε περίοδο, διαπιστώνουμε μια διαφορά στο μήκος του εναλλάκτη. Για την κάλυψη όλων των αναγκών της κατοικίας (χειμώνα + θέρος) επιλέγουμε το μεγαλύτερο μήκος.

5.4.2.1 Κάθετο κλειστό γεωθερμικό σύστημα.



Σχήμα 5.4.7 Κάθετος κλειστός γεωθερμικός εναλλάκτης.

Χαμηλά στο υπέδαφος λεγόμενο γεωθερμικό στρώμα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους στο οποίο βρίσκεται θερμική ενέργεια , ικανή να χρησιμοποιηθεί όλο το χρόνο , με σχεδόν σταθερή θερμοκρασία . Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε πιθανό τύπο κτηρίου, μικρό ή μεγάλο , δημόσιο ή ιδιωτικό.

Ο κάθετος συλλέκτης απαιτεί μικρή διαμέτρου τρύπα και πολύ μικρή επιφάνεια , γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε ένα οικόπεδο με πολύ μικρή έκταση. Επομένως ,ένα σύστημα θέρμανσης με γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ) που χρησιμοποιεί καθέτους συλλέκτες μπορεί να αντικαταστήσει εύκολα ένα κοινό σύστημα θέρμανσης που τροφοδοτείται από τα ορυκτά καύσιμα.

Μέσα σε ένα κλειστό γεωθερμικό σύστημα με συλλέκτη εδάφους ,κυκλοφορεί ένα μείγμα νερού- γλυκόλης.

5.4.2.2. Διαστασιολόγηση κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού κυκλώματος.

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνει η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers)

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία, αρχικά πρέπει να υπολογιστεί το ακόλουθο μέγεθος q_a , το οποίο ονομάζεται «μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος»:

$$q_a = \frac{C_{fc} \cdot q_{lc} \cdot EFL_{hoursc} + C_{fh} \cdot q_{lh} \cdot EFL_{hoursh}}{T_a}$$

όπου:

q_{lc} και q_{lh} το ονομαστικό ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα σε Btu/h (το ψυκτικό φορτίο εισάγεται με αρνητικό πρόσημο στην ανωτέρω σχέση)

EFL_{hoursc} και EFL_{hoursh} οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης ετησίως.

C_{fc} και C_{fh} διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και EER αντίστοιχα

T_a το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8.760h).

Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου EFL_{hoursc} και EFL_{hoursh} μπορούν να περιγραφούν ως το ποσό ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Υπολογίζεται ως εξής:

$$EFL_{hoursc} = \frac{E_c}{q_{lc}} \quad \& \quad EFL_{hoursh} = \frac{E_h}{q_{lh}}$$

όπου:

q_{lc} και q_{lh} το ονομαστικό (μέγιστο) ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα

E_c και E_h οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας σε ψύξη και θέρμανση.

Διορθωτικοί συντελεστές C_{fc} και C_{fh}

Οι διορθωτικοί συντελεστές C_{fc} και C_{fh} σχετίζονται με τους χαρακτηριστικούς συντελεστές EER και COP της αντλίας θερμότητας αντίστοιχα. Οι τιμές τους, βάσει της μεθόδου της ASHRAE, δίνονται από τον πίνακα:

Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας			
EER (ψύξη)	C_{fc}	COP (θέρμανση)	C_{fh}
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

Πίνακας 5.5.1 Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας
Πηγή: ASHRAE

Διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.

Η διάμετρος της σωλήνωσης έχει να κάνει με τη μεταφερόμενη ισχύ από το 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 – 1,5m/sec, ώστε να επιτυγχάνεται στρωτή ροή.

Η μεταφερόμενη θερμική ισχύς και η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου σχετίζονται με τη σχέση:

$$q_{lc} = m \cdot C_V \cdot (t_{wi} - t_{wo}) \quad (\text{υπολογισμός βάσει ψύξης})$$

&

$$q_{lh} = m \cdot C_V \cdot (t_{wo} - t_{wi}) \quad (\text{υπολογισμός βάσει θέρμανσης})$$

όπου:

m : η παροχή μάζας του νερού μέσα στη σωλήνωση

$C_V = 4,184 \text{ KJoule}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 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 συνήθως να 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.

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

$$V = \frac{m}{\rho}$$

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

$$V = u \cdot A \Leftrightarrow V = u \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Leftrightarrow u = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$$

Από την ανωτέρω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1 – 1,5m/sec.

Απαιτούμενο βάθος κάθετου εναλλάκτη

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του ψυκτικού φορτίου θα γίνει σύμφωνα με τον τύπο:

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

όπου:

R_{ga}, R_{gm}, R_{gd} : ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε h·ft·°F/Btu)

R_b : θερμική αντίσταση σωλήνωσης - γεώτρησης (σε h·ft·°F/Btu)

PLF_m : ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου

F_{sc} : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων

t_g : η θερμοκρασία του εδάφους (σε °F)

t_{wi} : η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε °F)

t_{wo} : η θερμοκρασία εξόδου του υγρού από τη γεωθερμική αντλία (σε °F)

t_p : διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων (σε °F)

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του θερμικού φορτίου θα γίνει αντίστοιχα σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fh} \cdot q_{lh}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

R_{ga}, R_{gm}, R_{gd} : ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε h·ft·°F/Btu)

$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{k_g}$$

$$R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{k_g}$$

$$R_{gd} = \frac{G_2}{k_g}$$

όπου:

k_g : η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους σε Btu/(h ft °F)

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

$$G_i = 0,0769 \cdot \ln(F_{oi}) + 0,0901$$

όπου:

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

Ο αδιάστατος αριθμός Fourier ο οποίος αποδεικνύεται τελικά ότι σχετίζεται με τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους δίνεται από τη σχέση:

$$Fo = \frac{4 \cdot \alpha_g \cdot \tau}{d^2}$$

όπου

α_g : η θερμική διαχυτότητα του εδάφους σε ft²/ημέρα

τ : 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.

Θερμικές αντιστάσεις εδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους δεν μένει σταθερή. Για τους οριζόντιους βρόχους, όπου ο σωλήνας είναι κοντά στην επιφάνεια, η επίγεια θερμοκρασία αλλάζει εποχιακά.

Σε όλες τις περιπτώσεις, ο γεωθερμικός εναλλάκτης επηρεάζει τη θερμοκρασία εδάφους ως εξής:

Μακροπρόθεσμη Επίδραση. Αυτή είναι η αλλαγή στην επίγεια θερμοκρασία κατά τη διάρκεια πολλών ετών. Για παράδειγμα, η επίγεια θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί κατά 6°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 αυτές χρονικές επιδράσεις πρέπει να υπολογιστούν, ώστε να ληφθούν υπόψη οι μακροπρόθεσμες αλλαγές θερμότητας στο χώμα που μπορούν να προκύψουν

κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος και να βρεθεί έτσι επακριβώς το απαραίτητο μήκος σωλήνων.

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

ένα δεκαετή παλμό των 3.650 ημερών

ένα μηνιαίο παλμό των 30 ημερών

ένα δωρο παλμό του 25% της ημέρας.

Οι τρεις αυτοί χρόνοι ορίζονται ως εξής:

$$T_1 = 3.650 \text{ ημέρες}$$

$$T_2 = 3.650 + 30 = 3.680 \text{ ημέρες}$$

$$T_f = 3.650 + 30 + 0,25 = 3.680,25 \text{ ημέρες.}$$

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

$$F_{o1} = \frac{4 \cdot a \cdot g \cdot (T_f - T_1)}{d^2}$$

$$F_{o2} = \frac{4 \cdot a \cdot g \cdot (T_f - T_2)}{d^2}$$

$$F_{of} = \frac{4 \cdot a \cdot g \cdot T_f}{d^2}$$

Μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου

Εκφράζει το ποσοστό λειτουργίας της εγκατάστασης ως προς ισχύ και χρόνο, σε σχέση με τη διαρκή λειτουργία της σε ονομαστικό φορτίο.

Θερμική αντίσταση σωλήνωσης

Η θερμική αντίσταση της 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 προ το έδαφος, διαμέσου της σωλήνωσης και της γεώτρησης. Η μεθοδολογία που ακολουθείται δίνει τους πίνακες του παραρτήματος

για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης σωλήνωσης – γεώτρησης.

Μετατροπές μονάδων:

$$1 \text{ gallon} = 3,785 \text{ lt}$$

$$1 \text{ gpm (gallon per minute)} = 3,785 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / 60 \text{ sec}$$

$$1 \text{ gpm} = 0,0631 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec.}$$

Συντελεστής θερμικών απωλειών F_{sc}

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων F_{sc} , που εκφράζει τη θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω πίνακα.

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

Πίνακας 5.5.2 Συντελεστής θερμικών απωλειών F_{sc}

Θερμοκρασία εδάφους

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 των 31m. Η μεταβολή της θερμοκρασίας στα 2m βάθους από την επιφάνεια του εδάφους δεν μεταβάλλεται περισσότερο από $\pm 2^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια του έτους.

Όλα αυτά εξαρτώνται βέβαια και από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού του υπεδάφους. Από τη διεθνή βιβλιογραφία δίνεται για το υπέδαφος της Αθήνας μέση ετήσια θερμοκρασία ίση με $67^{\circ}\text{F} = 19,4^{\circ}\text{C}$.

Μετατροπές μονάδων:

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

Θερμοκρασίες εισόδου – εξόδου υγρού

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 έως 95°F. Τούτο ρυθμίζεται επίσης από την αντλία θερμότητας και είναι παράμετρος επιλογής. Η θερμοκρασία t_{wi} κατά τη διαδικασία της θέρμανσης μπορεί να πάρει

τιμές από 35 έως 60°F. Τούτο ρυθμίζεται επίσης από την αντλία

θερμότητας και είναι παράμετρος επιλογής. Η θερμοκρασία t_{wo} υπολογίζεται αντίστοιχα από τη ρυθμισμένη θερμοκρασιακή διαφορά $|t_{wi}-t_{wo}|$.

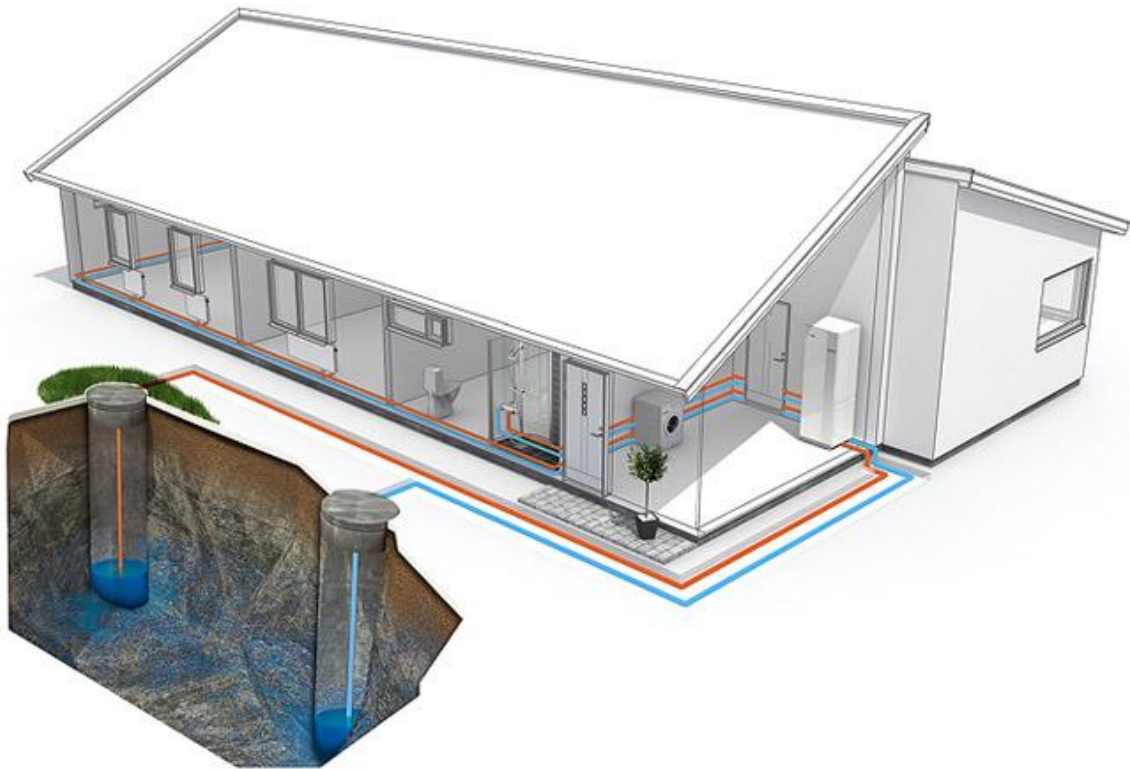
Η θερμοκρασία t_{wo} κατά την ψύξη δεν μπορεί να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία εδάφους.

Η θερμοκρασία t_{wo} κατά τη θέρμανση δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εδάφους.

Η μέθοδος υπολογισμού του βάθους που απαιτείται για τις γεωτρήσεις βασίζεται κατά πολύ στην εκτίμηση του τελευταίου συντελεστή 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 κατάλληλο πίνακα στο βιβλίο της μεθόδου της ASHRAE (βλέπε παράρτημα) που παρουσιάζεται γίνεται η εκτίμηση του συντελεστή αυτού και συγκρίνεται το αναμενόμενο βάθος με το εξαγόμενο από τους υπολογισμούς.

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

5.5 Ανοιχτό γεωθερμικό σύστημα.



Σχήμα 5.5.3 Σύστημα γεωθερμίας κάθετου ανοικτού συστήματος.

Εφόσον υπάρχει εύκολη πρόσβαση στα υπόγεια ύδατα , μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή θερμότητας λόγω του γεγονότος ότι έχουν μια θερμοκρασία μεταξύ 10 με 18 °C όλο το χρόνο. Δεν συνίσταται να τοποθετείται ανοικτού κυκλώματος σύστημα αν ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται περισσότερο από τα 15μ από τη επιφάνεια του εδάφους. Αυτό θα οδηγούσε σε πολύ υψηλές δαπάνες για τη θέρμανση – ψύξη ενός κτηρίου όπως θα αποδειχθεί και στην συνέχεια της μελέτης.

Η απόσταση μεταξύ του σημείου πρόσληψης και απόρριψης των υδάτων πρέπει να διατηρείται στα 10 έως 15 μέτρα και επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπόψη η κατεύθυνση της ροής προκειμένου να αποφευχθεί μια απευθείας ανάμιξη των υδάτων (πρόσληψης-απόρριψης). Το βάθος της υδρογεώτρησης εξαρτάται από την εκάστοτε υδροφορία.

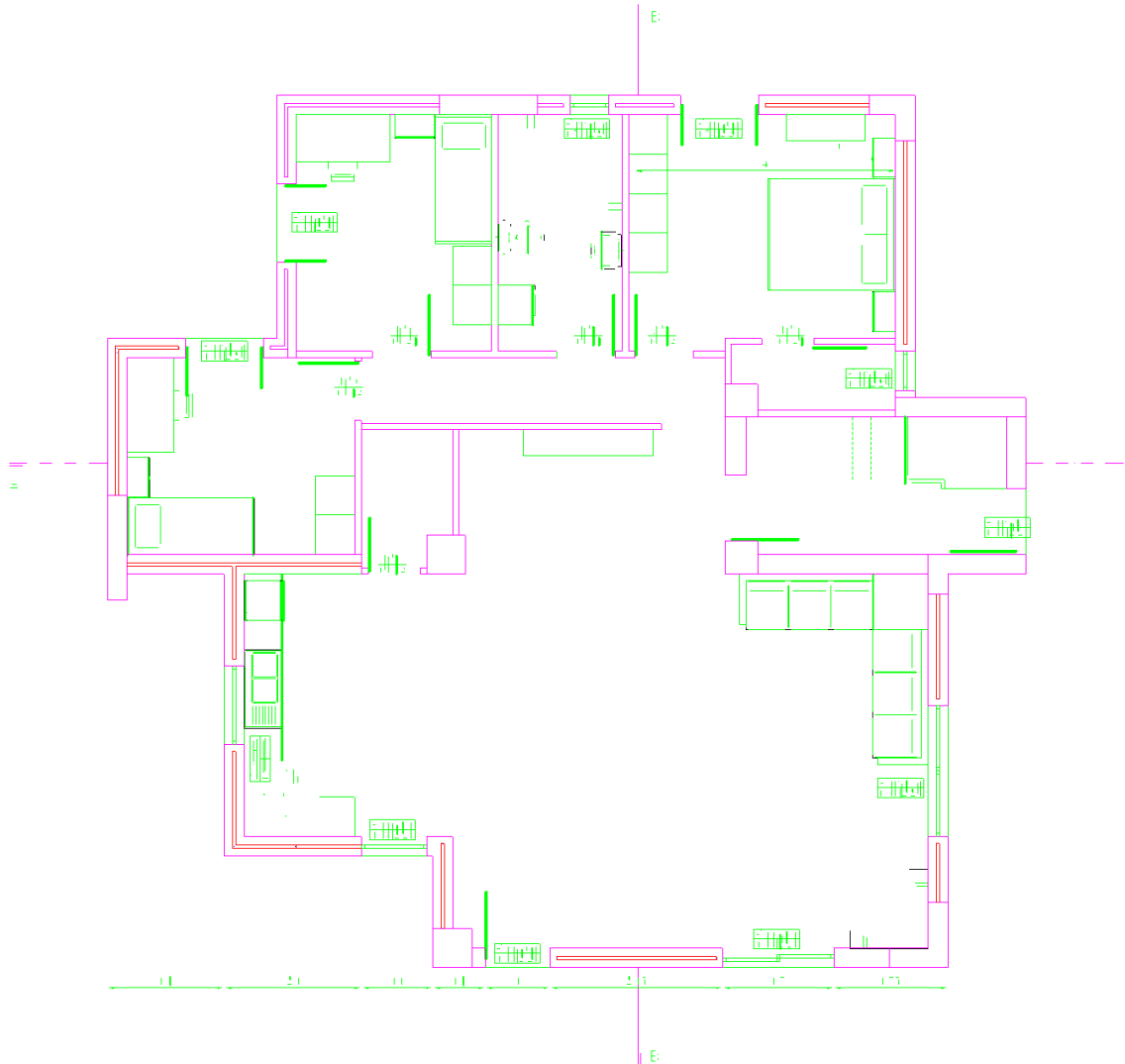
Για την άντληση του νερού χρησιμοποιείται υποβρύχια αντλία, στην συνέχεια το νερό που αντλεί φτάνει στην γεωθερμική αντλία θερμότητας που χρησιμοποιεί την θερμότητα του ύδατος και την μετατρέπει σε θερμική ή ψυκτική ενέργεια ανάλογα την εποχή χειμώνας - καλοκαίρι . το νερό επιστρέφει στον υδροφόρο ορίζοντα αλλά σε άλλη υδρογεώτρηση πια όπου γίνεται η απόρριψη και μονό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΛΕΤΗ-ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ - ΚΑΘΕΤΟΥ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ (ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ) ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ (ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ) ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

6.1 Χαρακτηριστικά κατοικίας:

Η κατοικία βρίσκεται στη Κρήτη λίγο έξω από την πόλη του Ηρακλείου. Το εμβαδόν της είναι 134 τ.μ το οποίο βρίσκεται στο δεξί άκρο οικοπέδου 1500 τμ μέτρων. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την διαστασιολόγηση και εφαρμογή και οριζοντίου γεωεναλλάκτη όπου απαιτεί αρκετά μεγάλο χώρο για την εφαρμογή του.



Σχήμα 6.1 Κάτοψη υπό μελέτη κατοικίας.

6.2 Ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας, θερμικές απώλειες - ψυκτικά φόρτια.

Με χρήση του προγράμματος της εταιρίας 4M ADAPT και σύμφωνα με τα δομικά χαρακτηριστήρηκα, τα αρχιτεκτονικά σχέδια καθώς και την περιοχή στην οποία βρίσκεται η κατοικία, έγινε ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών και των ψυκτικών φορτίων αυτής.(βλέπε παράρτημα Ι)

Θερμικές απώλειες (Watt)	Ψυκτικά φόρτια (Watt)
8.000	9.000

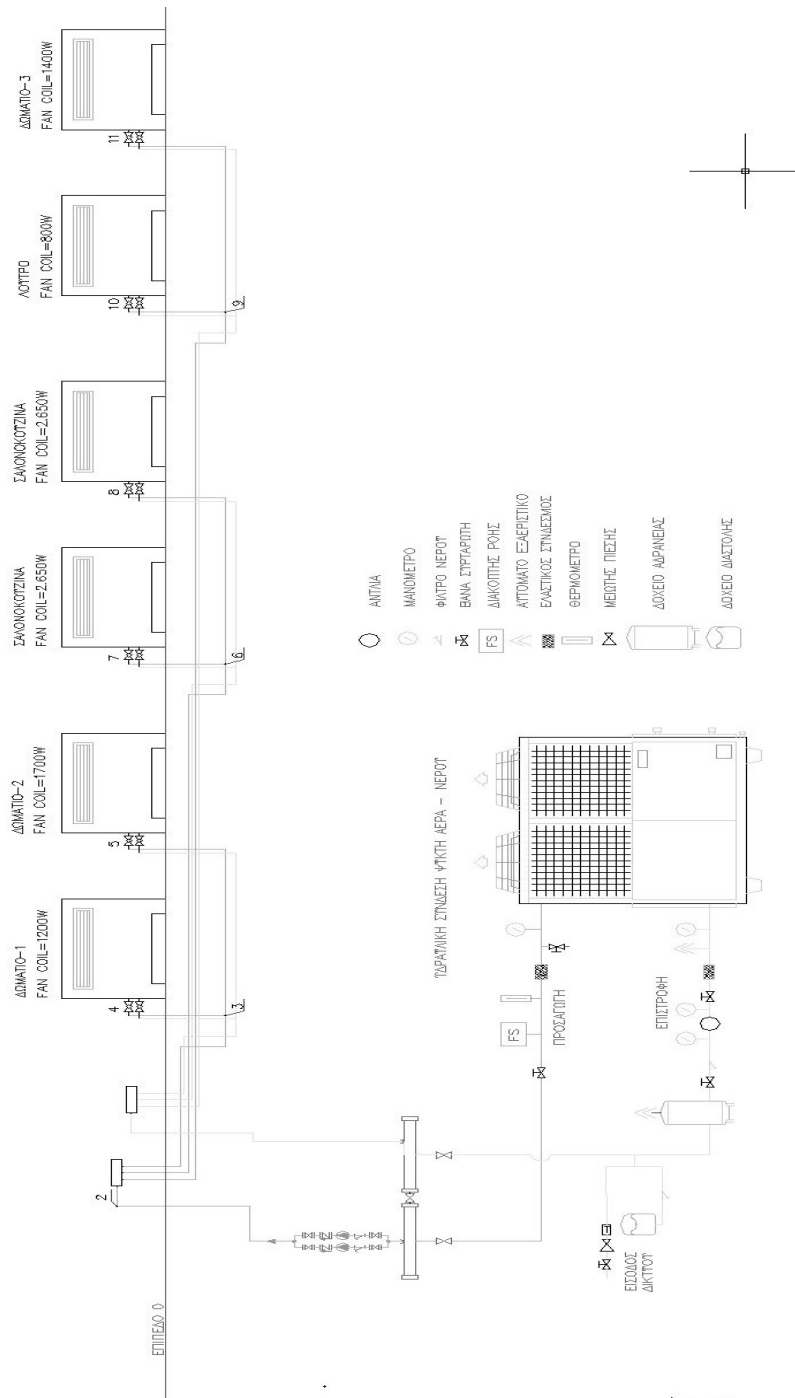
**Πίνακας 6.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα
Πηγή :Υπολογιστικό πρόγραμμα ADAPT**

Συμφώνα με τα παραπάνω αποτελέσματα θα γίνει η διστασιολόγηση των διαφόρων τύπων γεωεναλλακτων με σκοπό την επιλογή βέλτιστης τεχνο-οικονομικής λύσης για την θέρμανση και ψύξη της κατοικίας αυτής με την χρήση της γεωθερμίας.

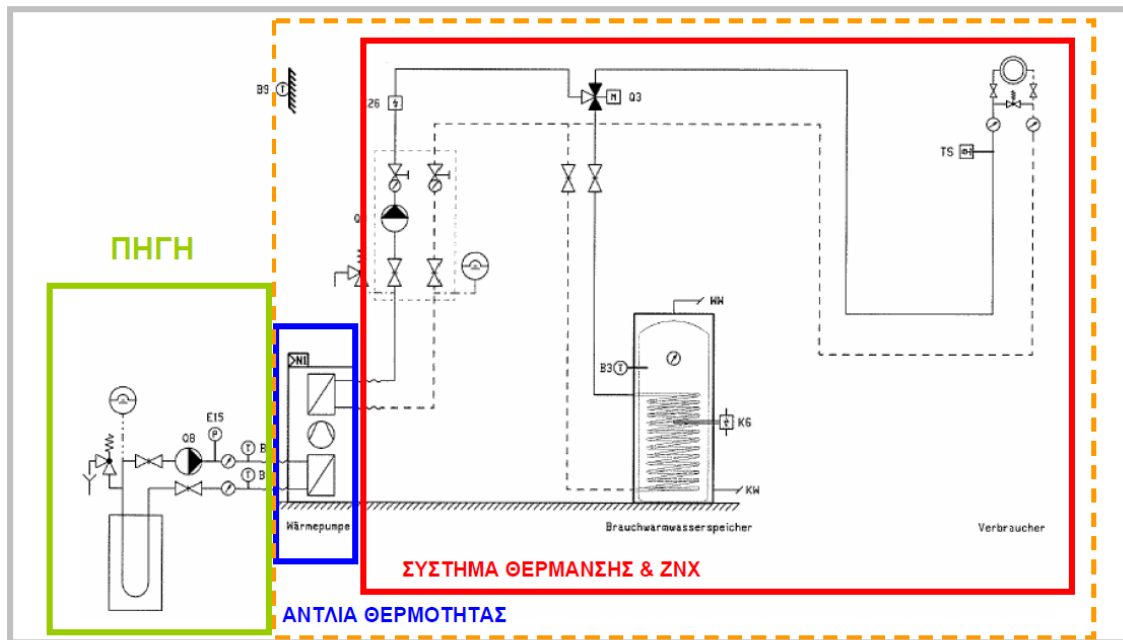
6.3 Σχεδιασμός συστήματος.

Στο παρακάτω Σχήμα φαίνεται το κύκλωμα με fan-coil που θα καλύπτει τους θερμαινόμενους / κλιματιζόμενους χώρους.

Με βάση τα συνολικά μέγιστα φορτία, επιλέγεται αντλία θερμότητας συνολικής ισχύος **11KW** με ενσωματωμένα τα στοιχεία που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 6.3.1 Σύστημα εγκατάστασης Fan Coil-Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.



ΜΗΧΑΝΟΣΤΑΣΙΟ

Σχήμα 6.3.2 Σύστημα εγκατάστασης Γεωθερμικού εναλλάκτη -Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας- Συστήματος θέρμανσης

Επιμέρους στοιχεία συστήματος

- Γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ)
- Κυκλοφορητής
- Διατάξεις εξαέρωσης και διαχωρισμού στερεών των δικτύων
- Δοχεία διαστολής
- Απαραίτητο δίκτυο σωληνώσεων

6.4 Διστασιολόγηση οριζόντιου εναλλάκτη (κλειστό σύστημα).

Σύμφωνα με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της μελέτης θερμικών - ψυκτικών φορτίων του κτηρίου (πίνακας 6.4.1) και των θερμοκρασιών λειτουργίας των κυκλωμάτων οριζόντιου εναλλάκτη για βέλτιστη τεχνοοικονομική λειτουργία [CRES](πίνακας 6.4.2).

ΧΩΡΟΣ	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ
ΚΑΤΟΙΚΙΑ	$Q_{heat} = 8kw$	$Q_{cool} = 9kw$	$m^2 = 134$

Πίνακας 6.4.1
Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Θερμικών & Ψυκτικών φορτίων(CRES)

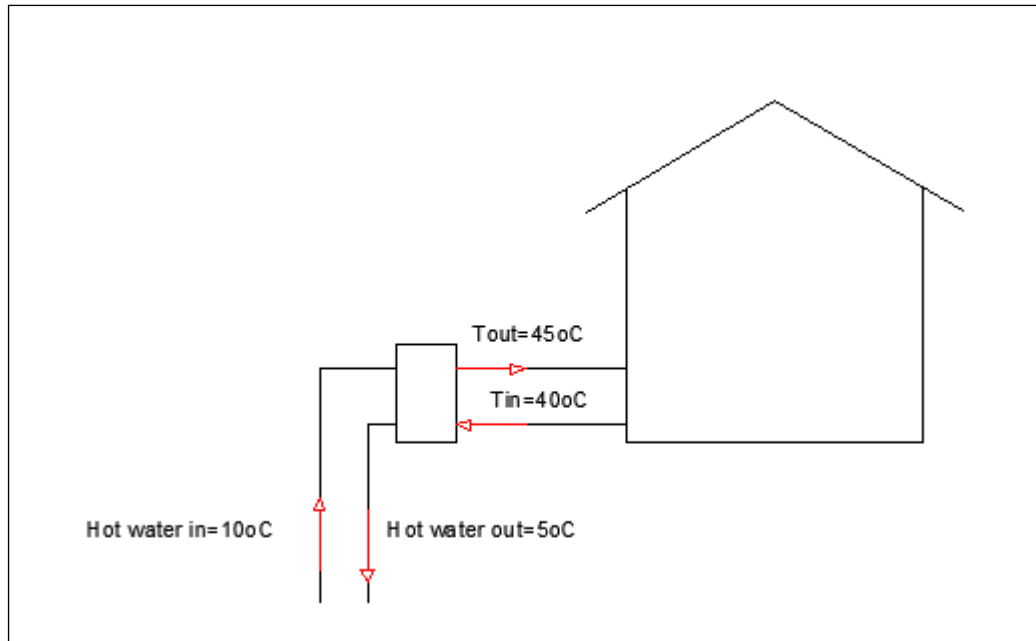
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
40/45 °C*	7/12°C
5/10°C	35/40°C

*Hot water out: 45°C και cold water in στο μηχάνημα : 10°C

Πίνακας 6.4.2
Συνιστώμενες θερμοκρασίες λειτουργίας κυκλωμάτων για οριζόντιο εναλλάκτη(CRES)

Στην αριστερή στήλη, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το χειμώνα. Η θερμοκρασία εξόδου από τον συμπυκνωτή είναι 45 °C και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι 5 °C. Στη δεξιά στήλη, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το καλοκαίρι. Η θερμοκρασία εξόδου από τον εξατμιστή είναι 7 °C και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι 40 °C .

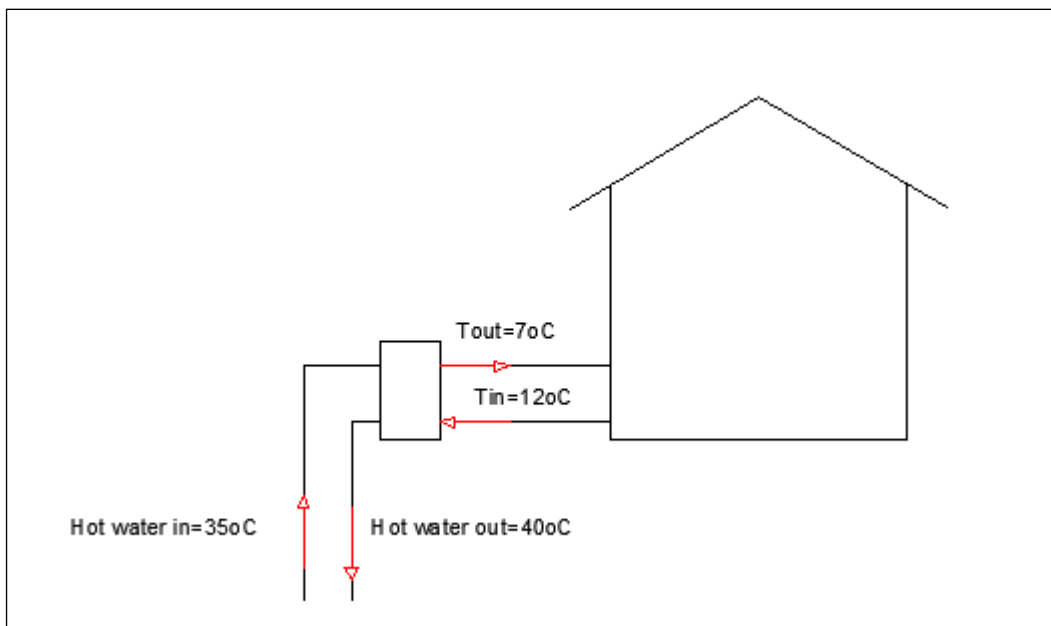
Αναλυτικά οι θερμοκρασίες λειτουργίας παρουσιάζονται στο σχήμα 6.4.3



Σχήμα 6.4.3

Λειτουργία ΓΑΘ-Χειμώνα

Αναλυτικά οι θερμοκρασίες λειτουργίας παρουσιάζονται στο σχήμα 6.4.4



Σχήμα 6.4.4

Λειτουργία ΓΑΘ-Θέρος

6.4.1 Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας

Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία το χειμώνα :

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 45°C και εισόδου στον εξατμιστή 10°C και με κριτήριο ότι πρέπει η θερμική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{heat} ($P_c > Q_{heat}$) επιλέγουμε (από Πίνακα 5 παράρτημα Ι) την ΓΑΘ 40z, με χαρακτηριστικά:

- P_f = ψυκτική ισχύς 9,6 kW
- P_α = απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς 2,8 kW
- P_c = θερμική ισχύς 10,9 kW
- P_r = ισχύς για ζεστά νερά 2,2 kW

Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία Θέρος:

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 50 °C και εισόδου στον εξατμιστή 12°C και με κριτήριο ότι πρέπει η ψυκτική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{cool} , ($P_f = > Q_{cool}$) επιλέγουμε (από Πίνακα 5 παράρτημα Ι) την ΓΑΘ 40z με χαρακτηριστικά:

- P_f = ψυκτική ισχύς 11,11 kW
- P_α = απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς 2,5 kW
- P_c = θερμική ισχύς 12 kW
- P_r = ισχύς για ζεστά νερά 1,6 kW

Από τα παραπάνω στοιχεία Μεταξύ των 2 αντλιών επιλέγουμε την ΓΑΘ η οποία έχει την επάρκεια να καλύψει και τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία της κατοικίας. (στην συγκεκριμένη περίπτωση μας καλύπτει η ίδια αντλία)

Από τα χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας βρίσκουμε:

A. Παροχή αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη.

B. Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.

Γ. Μήκος Εναλλάκτη.

6.4.2 Υπολογισμός Παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη

Στο γήινο εναλλάκτη το χειμώνα απορροφάται η ισχύς Q_{Hf} .

Στο γήινο εναλλάκτη το θέρος απορρίπτεται η ισχύς Q_{Hc} .

$$Q = m_c \cdot \rho \cdot \Delta\theta$$

1. Χειμώνας

$$Q_{Hf} = Q_{Hfrigorific} \text{ kW} = m \cdot c_p \cdot 5K \Rightarrow m = 10,9/4,2 \cdot 5 = 0,519 \text{ Kg/s} = 1,868 \text{ m}^3/\text{h}.$$

2. Θέρος

$$Q_{Hc} = Q_{Hcalorific} \text{ kW} = m \cdot c_p \cdot 5K \Rightarrow m = 11,1/4,2 \cdot 5 = 0,529 \text{ kg/s} = 1,904 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Στο σημείο αυτό διακρίνουμε μια διαφορά όσον αφορά τις παροχές στο κύκλωμα του οριζόντιου εναλλάκτη. Για τη σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος θα λάβουμε υπόψη την μεγαλύτερη παροχή νερού.

6.4.3. Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη

Από την παροχή μάζας υπολογίζεται η παροχή όγκου με τη σχέση

$$V = m/\rho = 0,529/1000 = 0,000529 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$V = u \cdot A \Leftrightarrow V = (\pi \cdot D_i^2/4) \cdot u \Leftrightarrow u = 4 \cdot V/\pi \cdot D_i^2 \Leftrightarrow$$

$$D_i = \sqrt{4 \cdot V/u \cdot \pi} = 0,0259 \text{ m}$$

για ταχύτητα ροής $u = 1 \text{ m/sec}$.

Επιλέγω σωλήνα με εξωτερική διάμετρο 32mm και εσωτερική 26mm GEO-FLEX Φ32X3

Από την παραπάνω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1-1,5 m/sec.

Υποθέτοντας οριζόντιο σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου D_i και εξωτερικής διαμέτρου D_o όπου θάβεται σε βάθος d από την επιφάνεια του εδάφους όπως φαίνεται στην εικόνα 3, οι Θερμικές αντιστάσεις ανά μήκος σωλήνα για τη μεταφορά νερού θα είναι :

- $R_{conv} = \frac{1}{\pi \cdot D_i \cdot h_w} = 0,0244 \text{ W/m}^2\text{k}$ όπου $h_w = 500 \text{ w/m}^2\text{k}$ (συντελεστής συναγωγής νερού)

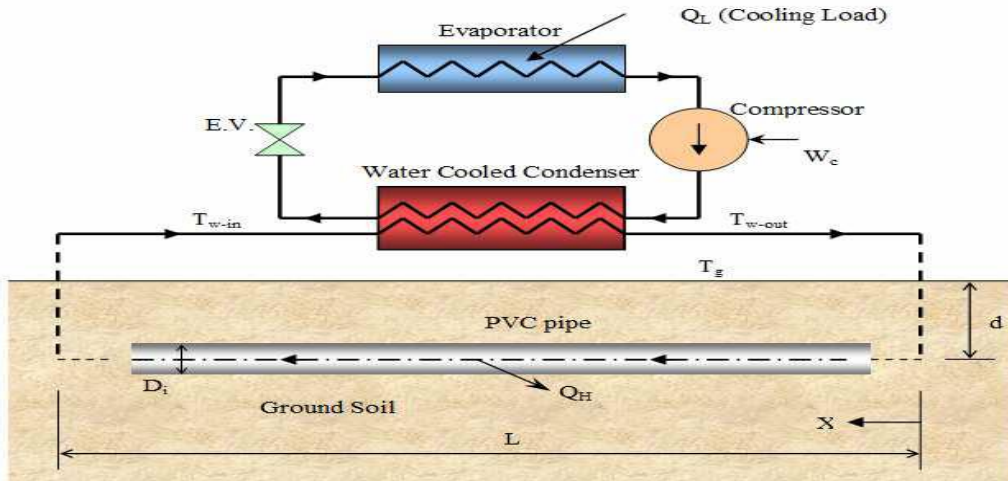
- $R_{pipe} = \frac{\ln(D_o/D_i)}{2 \cdot \pi \cdot K_{pipe}} = 0,03834 \text{ w/m}^2\text{k}$

όπου K_{pipe} συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας σωλήνα GEO-FLEX

- $R_{soil} = \frac{1}{S \cdot K_{soil}} = 0,416 \text{ w/m}^2\text{k}$

$$\text{Όπου } S = \frac{2 \cdot \pi}{\ln[(2 \cdot d/D_o) + \sqrt{(2 \cdot d/D_o)^2 - 1}]} = 1,2 \text{ και } K_{soil} = 2 \text{ w/mk}$$

$$R_{total} = R_{conv} + R_{pipe} + R_{soil} = 0,4794 \text{ w/mk}$$



Σχημα 6.4.5

Κατηγορία Περιγραφή εδάφους θερμική αγωγιμότητα υλικού

1 Άργιλος	1,5
2 Άμμος-χαλίκι	2,0
3 Ομοιογενές πέτρωμα	3,5

Θερμικές ιδιότητες εδάφους

Σε περίπτωση που ο τύπος του εδάφους δεν είναι γνωστός τότε να χρησιμοποιούνται η ακόλουθη τιμή : $\lambda=2,0 \text{ W/(m.K)}$

(CYS EN ISO 13790 Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling)

Το h_w εξαρτάται από τον αριθμό nusselt:

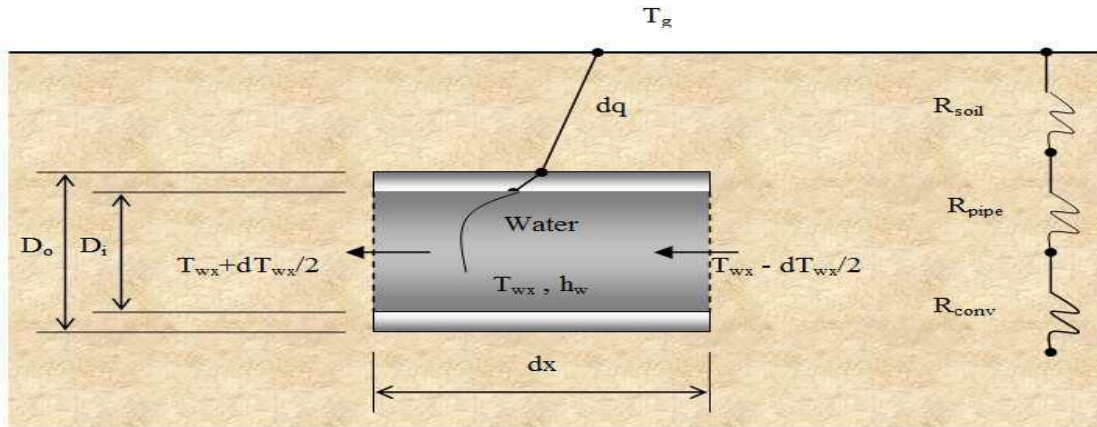
- $Nu = h_w/k = 0,023 \cdot (\rho \cdot v \cdot D_i/\mu) \cdot (Pr)$
- μ δυναμικό ιξώδες
- ν κινηματικό ιξώδες
- k θερμική αγωγιμότητα
- D_i εσωτερική διάμετρος σωλήνα
- P πυκνότητα νερού
- Pr αριθμός διαχυτότητας (από πίνακα ιδιοτήτων νερού ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι)
- $Pr = \nu/\alpha = \mu C_p/k$
- C_p ειδική θερμότητα

6.4.4 Μήκος Εναλλάκτη

$$L = (m_w \cdot c_w \cdot R_{total}) \cdot \ln \frac{\theta_{win}}{\theta_{wout}}$$

θ_{win} : θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλάκτη.

θ_{wout} : θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλάκτη.



Σχημα 6.4.6.

ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

- $L = (m_w \cdot c_w \cdot R_{total}) \cdot \ln \frac{\theta_{win}}{\theta_{wout}} = 724\text{m}$

θ_{win} : θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλακτη=10 °C

θ_{wout} : θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλακτη=5 °C

$m_w = 0,519 \text{ kg/sec}$

$c_w = 4200 \text{ w/sec}$

$R_{total} = 0,4794 \text{ w/mk}$

ΜΗΚΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

- $L = (m_w \cdot c_w \cdot R_{total}) \cdot \ln \frac{\theta_{win}}{\theta_{wout}} = 574\text{m}$

θ_{win} : θερμοκρασία εισόδου νερού στον εναλλακτη=12C

θ_{wout} : θερμοκρασία εξόδου νερού από τον εναλλακτη=7°C

$m_w = 0,529 \text{ kg/sec}$

$c_w = 4200 \text{ w/sec}$

$R_{total} = 0,4794 \text{ w/mk}$

Μετά τους υπολογισμούς για κάθε περίοδο, διαπιστώνουμε μια διαφορά στο μήκος του εναλλάκτη. Για την κάλυψη όλων των αναγκών της κατοικίας (χειμώνα + θέρος) επιλέγουμε το μεγαλύτερο μήκος του εναλλάκτη $L=724\text{M}$.

Η επιφάνεια του χώρου για την τοποθέτηση του γεωθερμικού εναλλάκτη θα είναι : έστω 10 σειρές σωληνώσεων όπου απέχουν 0.5m απόσταση μεταξύ τους, θα έχω 5m πλάτος και μήκος $724/10 = 72,4\text{m}$ άρα χρειαζόμαστε έκταση $72,4*5=362.50\text{m}^2$.

6.4.5 Υπολογισμός κυκλοφορητή-Δοχείου διαστολής

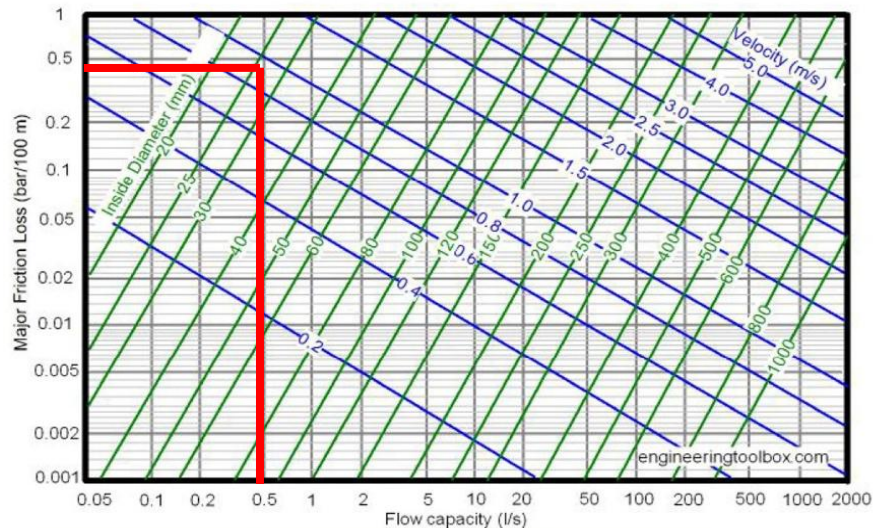
Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστούν οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή κατάλληλου κυκλοφορητή. Καθώς να υπολογίσουμε και το δοχείο διαστολής με σκοπό την διατήρηση της πίεσης του νερού μέσα στο δίκτυο σε αποδεκτά όρια.

Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

- Γραμμικές απώλειες γεωθερμικών εναλλακτών.
- Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25-0,3bar
- Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2bar.

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο, υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του στη μεταφορά θερμότητας.

Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δίνει την απώλεια πίεσης σε bar ανά 100 μέτρα σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή, την ταχύτητα και τη διάμετρο της σωλήνωσης



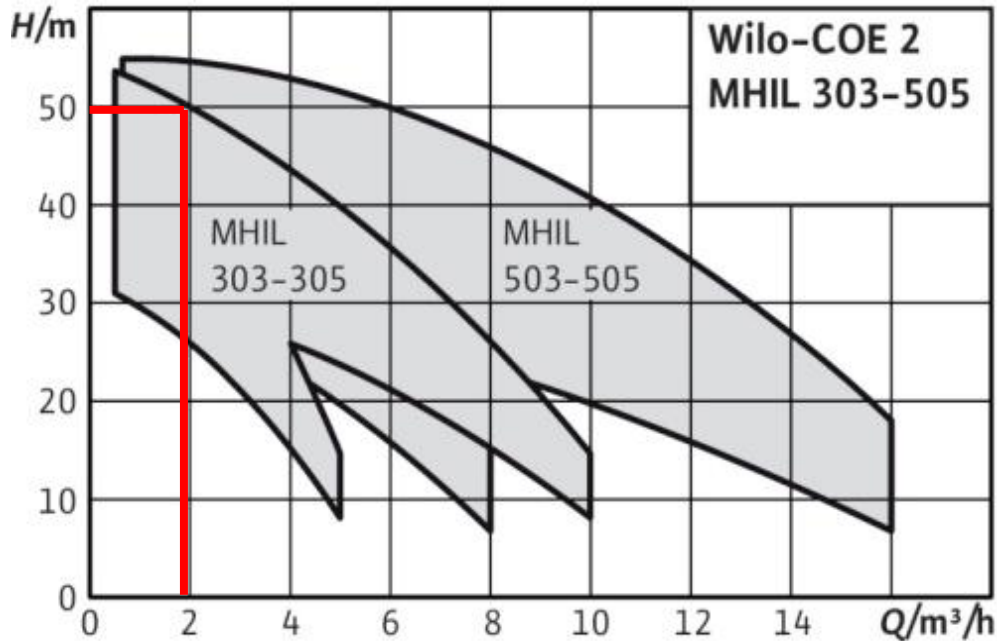
Σχήμα 6.4.7 Απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης πολυαιθυλαινίου.

Για παροχή 0,529lt/s, ταχύτητα 1m/s και εσωτερική διάμετρο 26mm από το παραπάνω διάγραμμα έχουμε ότι οι απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης του οριζόντιου γεωεναλλάκτη θερμότητας θα είναι : $\Delta p/100\text{m}=0.6\text{bar}$, έχουμε 724m μήκος οριζόντιου εναλλάκτη.

Άρα οι γραμμικές απώλειες πίεσης του εναλλάκτη θα είναι 4,34bar $*10,197162\text{m } H_2O = 44.25\text{m } H_2O$.

Συμφώνα με τα παραπάνω οι συνολικές απώλειες προκύπτουν: $H=49,35m$ H_2O .

Με τη συνολική πτώση πίεσης που βρήκαμε $H=49,35m$ H_2O και την συνολική παροχή του δικτύου $V=1.903m^3/h$ επιλέγεται από κατάλογο αντλιών της wilo κυκλοφορητής **Wilo-COE-2 MHIL BC** με την παρακάτω χαρακτηριστική καμπύλη.



Σχήμα 6.4.8 Χαρακτηριστική καμπύλη κυκλοφορητή .
Πηγή : willo

Υπολογισμός δοχείου διαστολής

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση :

$$V_t = V_s \cdot \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)}$$

Όπου :

- V_t : ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m^3
- V_s : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε m^3
- t_1 : η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($0^\circ C$)
- t_2 : η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($50^\circ C$)
- p_1 : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa
- p_2 : η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa
- V_1 : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg
- V_2 : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg .

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι ο όγκος όπου υπάρχει στις σωληνώσεις του οριζόντιου εναλλάκτη, άρα θα έχουμε:

$$V_s = 4 \cdot L \frac{\pi d_{in}^2}{4} = 1,53 \text{ m}^3$$

Ο ειδικός όγκος του νερού σε πίεση 1atm και στη θερμοκρασία των 0 °C είναι $V_1 = 0,0010002 \text{ m}^3/\text{kg}$ ενώ στη θερμοκρασία των 50 °C είναι $V_2 = 0,0010121 \text{ m}^3/\text{kg}$ (από πίνακα ιδιοτήτων νερού).

Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7 bar ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαίωση. Η ελάχιστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα λαμβάνεται 2m (0,2 bar) . Συνεπώς , η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται : $p_1 = 0,7 + 0,2 = 0,9 \text{ bar} = 90 \text{ kPa}$.

Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφάλειας . Αύτη συμφώνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι :

$$p_2 = p_1 + 1,3 \text{ bar} = 220 \text{ kPa}.$$

Υπολογίζεται ο όγκος του δοχείου διαστολής συμφώνα με τα παραπάνω :

$V_t = 0.03 \text{ m}^3 = 30 \text{ lt}$
--

6.5 Διαστασιολόγηση κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού κυκλώματος.

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνει η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία, αρχικά πρέπει να υπολογιστεί το ακόλουθο μέγεθος q_a :

$$q_a = \frac{C_{fc} \cdot q_{lc} \cdot EFL_{hoursc} + C_{fh} \cdot q_{lh} \cdot EFL_{hoursh}}{T_a}$$

όπου:

q_{lc} και q_{lh} το ονομαστικό ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα σε Btu/h (το ψυκτικό φορτίο εισάγεται με αρνητικό πρόσημο στην ανωτέρω σχέση)

$$q_{lc} = 9.000 \text{ watt} \times 3.412142 \text{ Btu/h} = 30.709 \text{ Btu/h}$$

$$q_{lh} = 8.000 \times 3.412142 \text{ Btu/h} = 27.297 \text{ Btu/h}$$

EFL_{hoursc} και EFL_{hoursh} οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης ετησίως

C_{fc} και C_{fh} διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και EER αντίστοιχα

T_a το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8.760h).

Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου EFL_{hoursc} και EFL_{hoursh} μπορούν να περιγραφούν ως το ποσό ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Υπολογίζεται ως εξής:

$$EFL_{hoursc} = \frac{E_c}{q_{lc}} = 720 \text{ h}$$

$$EFL_{hoursh} = \frac{E_h}{q_{lh}} = 960 \text{ h}$$

όπου:

q_{lc} και q_{lh} το ονομαστικό (μέγιστο) ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα E_c και E_h οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας σε ψύξη και θέρμανση.

Διορθωτικοί συντελεστές C_{fc} και C_{fh}

Οι διορθωτικοί συντελεστές C_{fc} και C_{fh} σχετίζονται με τους χαρακτηριστικούς συντελεστές EER και COP της αντλίας θερμότητας αντίστοιχα. Οι τιμές τους, βάσει της μεθόδου της ASHRAE, δίνονται από τον πίνακα:

Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας			
EER (ψύξη)	C_{fc}	COP (θέρμανση)	C_{fh}
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

Πίνακας 6.5.1 Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας
Πηγή: ASHRAE

Άρα

Μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος : $q_a = - 876,85 \text{ Btu/h}$
--

6.5.1 Διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη.

Η διάμετρος της σωλήνωσης έχει να κάνει με τη μεταφερόμενη ισχύ από το 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 – 1,5m/sec, ώστε να επιτυγχάνεται στρωτή ροή.

Η μεταφερόμενη θερμική ισχύς και η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου σχετίζονται με τη σχέση:

$$q_{lc} = m \cdot C_v \cdot (t_{wi} - t_{wo}) \text{ (υπολογισμός βάσει ψύξης)}$$

&

$$q_{lh} = m \cdot C_v \cdot (t_{wo} - t_{wi}) \text{ (υπολογισμός βάσει θέρμανσης)}$$

όπου:

m : η παροχή μάζας του νερού μέσα στη σωλήνωση.

$C_V = 4,184 \text{ KJoule}/(\text{kg}\cdot\text{s})$ 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 να ισούται με 5K.

Από τις ανωτέρω σχέσεις, δοθείσης της $|t_{wi}-t_{wo}|$ και του θερμικού φορτίου, υπολογίζεται τελικά η απαιτούμενη παροχή μάζας εντός της σωλήνωσης.

Παροχή μάζας νερού μέσα στη σωλήνωση για $q_{lc} = 9000\text{watt} > q_{lh}$
 $m = 0.430 \text{ kg/sec}$

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

$$V = \frac{m}{\rho} = 0.430 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$$

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

$$V = u \cdot A \Leftrightarrow V = u \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Leftrightarrow u = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$$

Από την ανωτέρω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1 – 1,5m/sec.

Αριθμός γεωτρήσεων (RT)

$$1RT = 3,517 \text{ KW} = 12.000,503 \text{ Btu/h}$$

Για $q_{lc} = 9000\text{watt} > q_{lh}$. Θα έχουμε $9\text{KW}/3,517\text{KW}=2,558\text{RT}$

Άρα ο αριθμός των γεωτρήσεων επιλέγεται ίσος με 3.

Αν επιλέξουμε να έχουμε διπλό βρόγχο σε κάθε γεώτρηση ,τότε η συνολική παροχή θα μοιραστεί σε έξι κατακόρυφους εναλλάκτες.

Οπότε θα προκύψει ίση με :

$$V_{\beta\rho} = \frac{V}{6} = 0.0716 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$$

Έστω ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης $\phi 32$ η εσωτερική διάμετρος θα είναι :

$$d_i = 32 - 2 \cdot 3 = 26 \text{ mm}$$

$$\text{Άρα ταχύτητα ροής } u = 0.134 \text{ m/sec αποδεκτή τιμή}$$

6.5.2 Απαιτούμενο βάθος κάθετου εναλλάκτη

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του ψυκτικού φορτίου θα γίνει σύμφωνα με τον τύπο:

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

όπου:

R_{ga} , R_{gm} , R_{gd} : ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε h·ft·°F/Btu)

R_b : θερμική αντίσταση σωλήνωσης - γεώτρησης (σε h·ft·°F/Btu)

PLF_m : ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου

F_{sc} : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων

t_g : η θερμοκρασία του εδάφους (σε °F)

t_{wi} : η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε °F)

t_{wo} : η θερμοκρασία εξόδου του υγρού από τη γεωθερμική αντλία (σε °F)

t_p : διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων (σε °F)

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του θερμικού φορτίου θα γίνει αντίστοιχα σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fh} \cdot q_{lh}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

Συμφώνα με την μεθοδολογία που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και με τον πίνακα (βλέπε παράρτημα) της ASHRAE όπου δίνονται η θερμική αγωγιμότητα k_g και η θερμική διαχυτότητα a_g του εδάφους έχουμε:

$$k_g = 1.5 \text{ Btu}/(\text{h ft } ^\circ\text{F})$$

$$a_g = 1.5 \text{ ft}^2/\text{ημέρα}$$

$$d = 26\text{mm} = 0.085\text{ft} (1\text{ft} = 305\text{mm})$$

Οι χρονικές σταθερές υπολογίζονται:

$$T_F - T_1 = 3.680,25 - 3.650 = 30,25 \text{ ημέρες}$$

$$T_F - T_2 = 3.680,25 - 3.680 = 0,25 \text{ ημέρες}$$

$$T_F = 3.680,25.$$

Οι τρεις αδιάστατοι αριθμοί Fourier προκύπτουν :

$$F_{o1} = 26.380.8$$

$$F_{o2} = 218.02$$

$$F_{of} = 3.209.520,35$$

Οι συντελεστές G υπολογίζονται :

$$G_1 = 0.8729$$

$$G_2 = 0.5041$$

$$G_f = 1.242$$

Τελικά υπολογίζονται οι θερμικές αντιστάσεις του εδάφους από τις σχέσεις ορισμού:

$$R_{ga} = 0.246 \text{ (h ft } ^\circ\text{F)/Btu}$$

$$R_{gm} = 0.245 \text{ (h ft } ^\circ\text{F)/Btu}$$

$$R_{gd} = 0.336 \text{ (h ft } ^\circ\text{F)/Btu}$$

Ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου, εκτιμάται ως εξής για την περίπτωση μιας κατοικίας:

Έστω η μονάδα δεν δουλεύει την διάρκεια της νύχτας από τις 24:00 έως τις 8:00 το πρωί, δηλαδή $8/24=0,333 * 100 = 33,3\%$ του χρόνου και τις υπόλοιπες ώρες λειτουργεί στο 60% του χρόνου. Άρα ο εξοπλισμός θα λειτουργεί 40% των συνολικών ωρών.

Τελικά ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου υπολογίζεται $PLF_m=0,40$.

6.5.3.1 Θερμική αντίσταση σωλήνωσης

Από τους πίνακες της ASHRAE (βλέπε παράρτημα ii) υπολογίζουμε την θερμική αντίσταση σωλήνωσης - γεώτρησης:

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

$$R_b=0,12(\text{h ft } ^\circ\text{F)/Btu.}$$

6.5.3.2 Θερμοκρασία εδάφους

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 των 31m. Η μεταβολή της θερμοκρασίας στα 2m βάθος από την επιφάνεια του εδάφους δεν μεταβάλλεται περισσότερο από $\pm 2^\circ\text{C}$ κατά τη διάρκεια του έτους.

Όλα αυτά εξαρτώνται βέβαια και από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού του υπεδάφους. Από τα μετεωρολογικά δεδομένα του (καπε) δίνεται για το υπεδάφος του Ηρακλείου μέση ετήσια θερμοκρασία ίση με $t_g=70^\circ\text{F} = 20,95^\circ\text{C}$.

6.5.3.3 Συντελεστής θερμικών απωλειών 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.

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

Πίνακας 6.5.2 Συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων.

Πηγή :ASHRAE

Η παροχή όγκου ανά βρόγχο όπως βρέθηκε είναι : $0.0716 \cdot 10^{-3} m^3/sec \times 2$ βρόγχους = $0.1432 \cdot 10^{-3} m^3/sec$, $1gpm = 0,0631 \cdot 10^{-3} m^3/sec$,
Έχουμε Fsc=1,02.

Θερμοκρασίες εισόδου – εξόδου υγρού

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.

Κατά την διαδικασία της ψύξης θα έχουμε:

Έστω ότι η αντλία θερμότητας ρυθμίζεται ώστε $|t_{wi} - t_{wo}| = 5^\circ C$.

Θερμοκρασία εδάφους $t_g = 69,8^\circ F = 20,95^\circ C$. (θεωρείτε σταθερή όλο το χρόνο)

Θερμοκρασία εισόδου του υγρού στον εναλλάκτη $t_{wi} = 35^\circ C$

Θερμοκρασία εξόδου του από τον εναλλάκτη $t_{wo} = 40^\circ C$

Κατά την διαδικασία της θέρμανσης θα έχουμε:

Έστω ότι η αντλία θερμότητας ρυθμίζεται ώστε $|t_{wi} - t_{wo}| = 5^\circ C$.

Θερμοκρασία εδάφους $t_g = 70^\circ F = 20,95^\circ C$. (θεωρείτε σταθερή όλο το χρόνο)

Θερμοκρασία εισόδου του υγρού στον εναλλάκτη $t_{wi} = 10^\circ C$

Θερμοκρασία εξόδου του από τον εναλλάκτη $t_{wo} = 5^\circ C$

Η μέθοδος υπολογισμού του βάθους που απαιτείται για τις γεωτρήσεις βασίζεται κατά πολύ στην εκτίμηση του τελευταίου συντελεστή 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 κατάλληλο πίνακα στο βιβλίο της μεθόδου της ASHRAE (βλέπε παράρτημα iii) που παρουσιάζεται γίνεται η εκτίμηση του συντελεστή αυτού και συγκρίνεται το αναμενόμενο βάθος με το εξαγόμενο από τους υπολογισμούς.

Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους $k_g=1.5 \text{ Btu}/(\text{h ft } ^\circ\text{F})$, $t_g=70^\circ\text{F}$, $t_{wi}=95^\circ\text{F}$, ισοδύναμες ώρες θέρμανσης και ψύξης 500 και 1500 και απόσταση γεωτρήσεων 25ft ,επιλέγεται συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας εδάφους $t_p= 3,5^\circ\text{F}$.

Το απαιτούμενο βάθος γεώτρησης ανά RT αναμένεται να προκύψει της τάξης του 206ft/RT.

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

Με βάση το ψυκτικό φορτίο το βάθος της γεώτρησης σύμφωνα με τη παραπάνω μεθοδολογία προκύπτει $L_c= 740,72\text{ft}=226\text{m}$

Έχοντας επιλέξει τρεις γεωτρήσεις με διπλό βρόχο ,το βάθος κάθε γεώτρησης προκύπτει $226/6=37,6\text{m}$.

Η διάμετρος της γεώτρησης επιλέγεται $\approx 15\text{cm}$ για εγκατάσταση διπλού βρόγχου σωληνώσεων.

Με βάση το θερμικό φορτίο το βάθος της γεώτρησης σύμφωνα με τη παραπάνω μεθοδολογία προκύπτει $L_c= 550,22\text{ft}=167,81\text{m}$

Επιλεγούμε το μεγαλύτερο βάθος γεώτρησης ώστε να μας καλύπτει και την περίοδο του καλοκαιριού και την χειμερινή περίοδο.

6.5.4 Υπολογισμός κυκλοφορητή-Δοχείου διαστολής

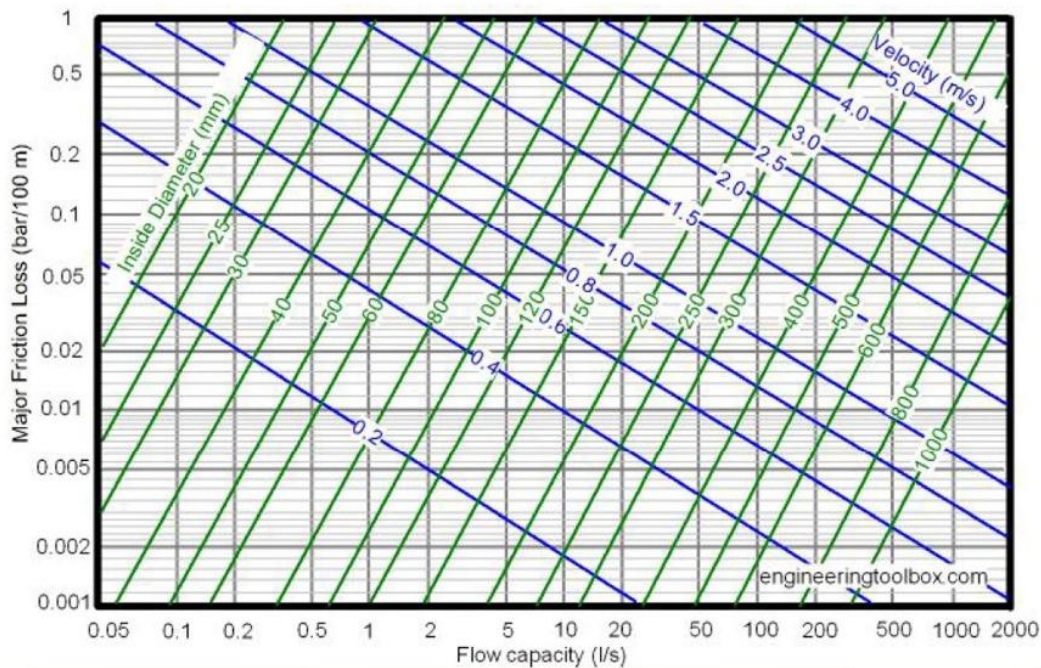
Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστούν οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή κατάλληλου κυκλοφορητή. Καθώς να υπολογίσουμε και το δοχείο διαστολής με σκοπό την διατήρηση της πίεσης του νερού μέσα στο δίκτυο σε αποδεκτά όρια.

Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

- Γραμμικές απώλειες γεωθερμικών εναλλακτών.
- Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25-0,3bar
- Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2bar
- Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή 0,005bar.

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο, υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του στη μεταφορά θερμότητας.

Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δίνει την απώλεια πίεσης σε bar ανά 100 μέτρα σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή , την ταχύτητα και τη διάμετρο της σωλήνωση



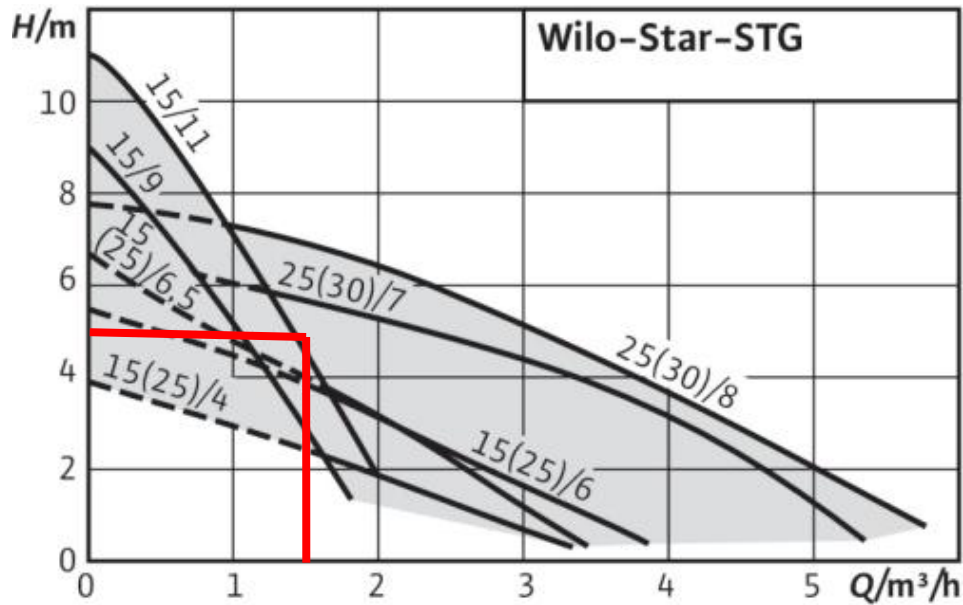
Σχήμα 6.5.3 Απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης πολυαιθλαινίου.

Επειδή οι σωληνώσεις στις 3 γεωτρήσεις είναι παράλληλες ,η πτώση πίεσης είναι η ίδια και έτσι υπολογίζεται για τον ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας .Για παροχή 0,0716 lt/s και εσωτερική διάμετρο 26mm από το παραπάνω διάγραμμα έχουμε ότι οι απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας θα είναι : $\Delta p/100m=0.018bar$, έχουμε 71,72 m μήκος οριζώντιου εναλλάκτη (διπλάσιο του βάθους της γεώτρησης, επειδή έχουμε διπλό βρόγχο).

Άρα οι γραμμικές απώλειες πίεσης του εναλλάκτη θα είναι 0,013bar
 $*10,197162m H_2O = 0,132m H_2O$.

Συμφώνα με τα παραπάνω οι συνολικές απώλειες προκύπτουν: $H=5,28m H_2O$.

Με τη συνολική πτώση πίεσης που βρήκαμε $H=5,28m H_2O$ και την συνολική παροχή του δικτύου $Q=1.55m^3/h$ επιλέγεται από κατάλογο αντλιών της wilo κυκλοφορητής **Wilo-STAR-STG 15/11** με την παρακάτω χαρακτηριστική καμπύλη.



Σχημα 6.5.4 Καμπύλη αντλίας
Πηγη:willo

Υπολογισμός δοχείου διαστολής

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση :

$$V_t = V_s \cdot \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{-1}}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)}$$

Όπου :

- V_t : ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m^3
- V_s : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε m^3
- t_1 : η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($0^\circ C$)
- t_2 : η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($50^\circ C$)
- p_1 : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa
- p_2 : η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa
- V_1 : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg
- V_2 : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg .

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι ο όγκος όπου υπάρχει στις σωληνώσεις του καθετου εναλλάκτη, άρα θα έχουμε:

$$V_s = 4 \cdot L \cdot \frac{\pi d_{in}^2}{4} = 0,456 m^3$$

Ο ειδικός όγκος του νερού σε πίεση 1atm και στη θερμοκρασία των $0^\circ C$ είναι $V_1 = 0,0010002 m^3/kg$ ενώ στη θερμοκρασία των $50^\circ C$ είναι $V_2 = 0,0010121 m^3/kg$ (από πίνακα ιδιοτήτων νερού).

Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7 bar ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαιώση. Η ελάχιστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα λαμβάνεται 2m (0,2 bar) . Συνεπώς , η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται : $p_1=0,7+0,2=0,9\text{bar}=90\text{kPa}$.

Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφάλειας . Αύτη συμφώνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι :

$$p_2=p_1+1,3\text{bar} =220\text{kPa}.$$

Υπολογίζεται ο όγκος του δοχείου διαστολής συμφώνα με τα παραπάνω :

$V_t = 0.00917 \text{ m}^3 = 9,17\text{lt}$ από τυποποιημένα επιλέγω 10lt

6.6 Ανοικτό σύστημα γεωθερμίας

Για την διαστασιολογηση του ανοικτού συστήματος γεωθερμίας είναι αρκετό να υπολογίσουμε την γεωθερμική αντλία θερμότητας που θα χρησιμοποιήσουμε καθώς και το μήκος - διάμετρος των γεωτρήσεων που θα ανοιχτούν και των σωληνώσεων όπου θα χρησιμοποιηθούν. Επίσης θα υπολογιστεί η αντλία για την άντληση του νερού από την γεώτρηση καθώς και το δοχείο αδράνειας.

6.6.1 Υπολογισμός αντλίας θερμότητας

Ο υπολογισμός της αντλίας θερμότητας καθώς και τις παροχής της αντλίας θερμότητας θα υπολογιστεί με όμοιο τρόπο όπως και στο κλειστό οριζόντιο εναλλάκτη (βλέπε κεφ 5.4.1.1.2)

Άρα θα έχουμε :

1. Χειμώνας

$$Q_{Hf} = Q_{H \text{ frigorific}} \text{ kW} = mc_p \Delta T \Rightarrow m = 10,9/4,2 \cdot 5 = 0,519 \text{ Kg/s} = 1,868 \text{ m}^3/\text{h}$$

2. Θέρος

$$Q_{Hc} = Q_{H \text{ calorific}} \text{ kW} = mc_p \Delta T \Rightarrow m = 11,11/4,2 \cdot 5 = 0,529 \text{ kg/s} = 1,904 \text{ m}^3/\text{h}$$

Στο σημείο αυτό διακρίνουμε μια διαφορά όσον αφορά τις παροχές στο κύκλωμα του οριζόντιου εναλλάκτη. Για τη σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος θα λάβουμε υπόψη την μεγαλύτερη παροχή νερού.

6.6.2 Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη

Από την παροχή μάζας υπολογίζεται η παροχή όγκου με τη σχέση

$$V = m/\rho = 0,529/1000 = 0,000529 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$V = u A \Leftrightarrow V = (\pi D_o^2/4)u \Leftrightarrow u = 4V/\pi D_o^2 \Leftrightarrow D_o = \sqrt{4V/u\pi} = 0,0259$$

για ταχύτητα ροής $u = 1 \text{ m/sec}$.

Από την παραπάνω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1-1,5 m/sec.

Από πίνακα γνώστης εταιρείας σωληνώσεων επιλέγω χαλυβδοσωληνα γαλβανισμένο βαρέως τύπου με εξωτερική διάμετρο 33.7mm και εσωτερική 29.70mm με την νέα διάμετρο η ταχύτητα ροής γίνεται $u = 0,76 \text{ m/sec} < 1-1,5 \text{ m/sec}$ όπου είναι το επιθυμητό ώστε να έχουμε στρωτή ροή.

Κρίνουμε ότι με την ανόρυξη 2 γεωτρήσεων (Γ_1, Γ_2 , ή Γ_1, Γ_2') στο οικόπεδο ενδιαφέροντος μπορούμε να αντιμετωπίσουμε τις ανάγκες της κατοικίας για θέρμανση και ψύξη . Η λειτουργία του συστήματος περιγράφεται στο κεφ 5.4.1.3.

Θα ανορυχθεί πρώτα η γεώτρηση Γ_1 . Αν βρεθεί ικανοποιητική ποσότητα νερού, θα αποπερατωθεί και ακολούθως θα κατασκευαστεί η Γ_2 . Θα γίνεται άντληση νερού από την Γ_1 ($\approx 2 \text{ m}^3 / \text{h}$), το νερό θα περνά για γεωθερμική χρήση και θα απορρίπτεται στην Γ_2 , με αυξημένη τη θερμοκρασία του κατά $5 \text{ }^\circ\text{C}$ περίπου για την διαδικασία της θέρμανσης και μειωμένη θερμοκρασία κατά $5 \text{ }^\circ\text{C}$ περίπου για την διαδικασία της ψύξης της κατοικίας.

Σε περίπτωση που το νερό δεν επαρκεί, τότε θα εφαρμοστεί εναλλακτικό σύστημα κυκλοφορίας αέρα με τοποθέτηση τετράδωμων σωλήνων στις γεωτρήσεις και πάκτωσή τους με άμμο (Γ_1, Γ_2').

Η διάτρηση της γεώτρησης θα γίνει με υδραυλικό περιστροφικό γεωτρήσιμο θεικής κυκλοφορίας, το οποίο θα είναι αυτοκινούμενο και συνολικού βάρους περίπου 30 τόνων. Η διάτρηση θα γίνει με την χρήση αέρα – νερού - σαπουνιού, ενώ η απαιτούμενη ποσότητα νερού θα μεταφερθεί με υδροφόρο φορηγό όχημα ή με σύνδεση από το δίκτυο ύδρευσης του Δήμου.

Οι εργασίες που θα εκτελεστούν σε κάθε θέση ανόρυξης γεώτρησης περιλαμβάνουν τα εξής στάδια: Την διάτρηση, σωλήνωση, χαλίκωση και τεστ αντλήσεως ή εναλλακτικά τοποθέτηση τετράδωμων σωλήνων και πάκτωση με άμμο.

6.6.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά γεωτρήσεων

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων δίδονται κατωτέρω:

- Διάτρηση σε βάθος περί τα 100 m. Η διάμετρος διάτρησης θα είναι 10,00 " ίντσες.
- Εάν διαπιστωθεί σημαντική υδροφορία στην Γ_1 ($Q \geq 2 \text{ m}^3 / \text{h}$) θα γίνει σωλήνωση της γεώτρησης από βάθους 0 μέχρι 100 m με διάμετρο σωλήνων 1". Οι σωλήνες θα είναι από γαλβανισμένο χάλυβα 2 mm . Τα φίλτρα θα τοποθετηθούν στα υδροφόρα στρώματα και θα είναι με άνοιγμα σχισμών 2mm-3mm. Θα ακολουθήσει χαλίκωση της γεωτρήσεως με κατάλληλα διαβαθμισμένο χαλικόφιλτρο κοκκομετρίας 5-10 mm από μηδέν έως το τελικό βάθος (σε m). Η απαιτούμενη ποσότητα εκτιμάται στα 10 κυβ. μέτρα συνολικά. Στη συνέχεια θα κατασκευαστεί με όμοιο τρόπο η Γ_2 .
- Δοκιμαστική άντληση για 36 ώρες με υποβρύχια αντλία και προσδιορισμός της κρίσιμης παροχής και της παροχής εκμετάλλευσης της γεώτρησης από τον επιβλέποντα γεωλόγο. Δειγματοληψία νερού για χημική ανάλυση. Η δοκιμαστική άντληση θα συνεχιστεί με ρίψη νερού στην Γ_2 για άλλες 36 ώρες.

- Σε περίπτωση που διαπιστωθεί στην Γ_1 ασθενής υδροφορία ($Q \leq 2 \text{ m}^3/\text{h}$) τότε θα τοποθετηθούν οι τετράδυμοι σωλήνες για την γεωθερμία και θα γίνει πάκτωση με άμμο. Στη συνέχεια θα ακολουθήσει με όμοιο τρόπο η κατασκευή της Γ_2' .
- Κάλυψη των γεωτρήσεων με πλάκα βαρέως τύπου για να αποφευχθεί η είσοδος ανεπιθύμητων αντικειμένων ή ακόμη και μικρών ζώων όπως ποντικιών κ.ά.
- Και τέλος, τοποθέτηση μονίμου βυθιζόμενου αντλητικού συγκροτήματος για την άντληση και σωλήνων διαμέτρου 100 mm για τις γεωτρήσεις απόρριψης.

6.6.4 Υπολογισμός Αντλίας-Δοχείου διαστολής

Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστούν οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή κατάλληλης αντλίας. Καθώς να υπολογίσουμε και το δοχείο διαστολής με σκοπό την διατήρηση της πίεσης του νερού μέσα στο δίκτυο σε αποδεκτά όρια.

Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

- Γραμμικές απώλειες γεωθερμικών εναλλακτών.
- Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25-0,3bar
- Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2bar
- Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή 0,005bar.

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από χάλυβα γαλβανισμένο βαρέως τύπου με εξωτερική διάμετρο 33.7mm και εσωτερική 29.70mm , υλικό που συνηθίζεται στις γεωτρήσεις.

Ο πίνακας που ακολουθεί μας δίνει την απώλεια πίεσης σε psi ανά 100 μέτρα σωληνώσεως, σε σχέση με την παροχή , την ταχύτητα και τη διάμετρο της σωληνώσεως.

Άρα για παροχή 0,529 lt/s και εσωτερική διάμετρο 29,7mm από το παρακάτω πίνακα θα έχουμε ότι οι απώλειες πίεσης ανά 100m σωληνώσεως της γεώτρησης θα είναι : $\Delta p/100\text{m}=0.18\text{bar}$, έχουμε 100 m μήκος σωλήνα (βάθους της γεώτρησης)

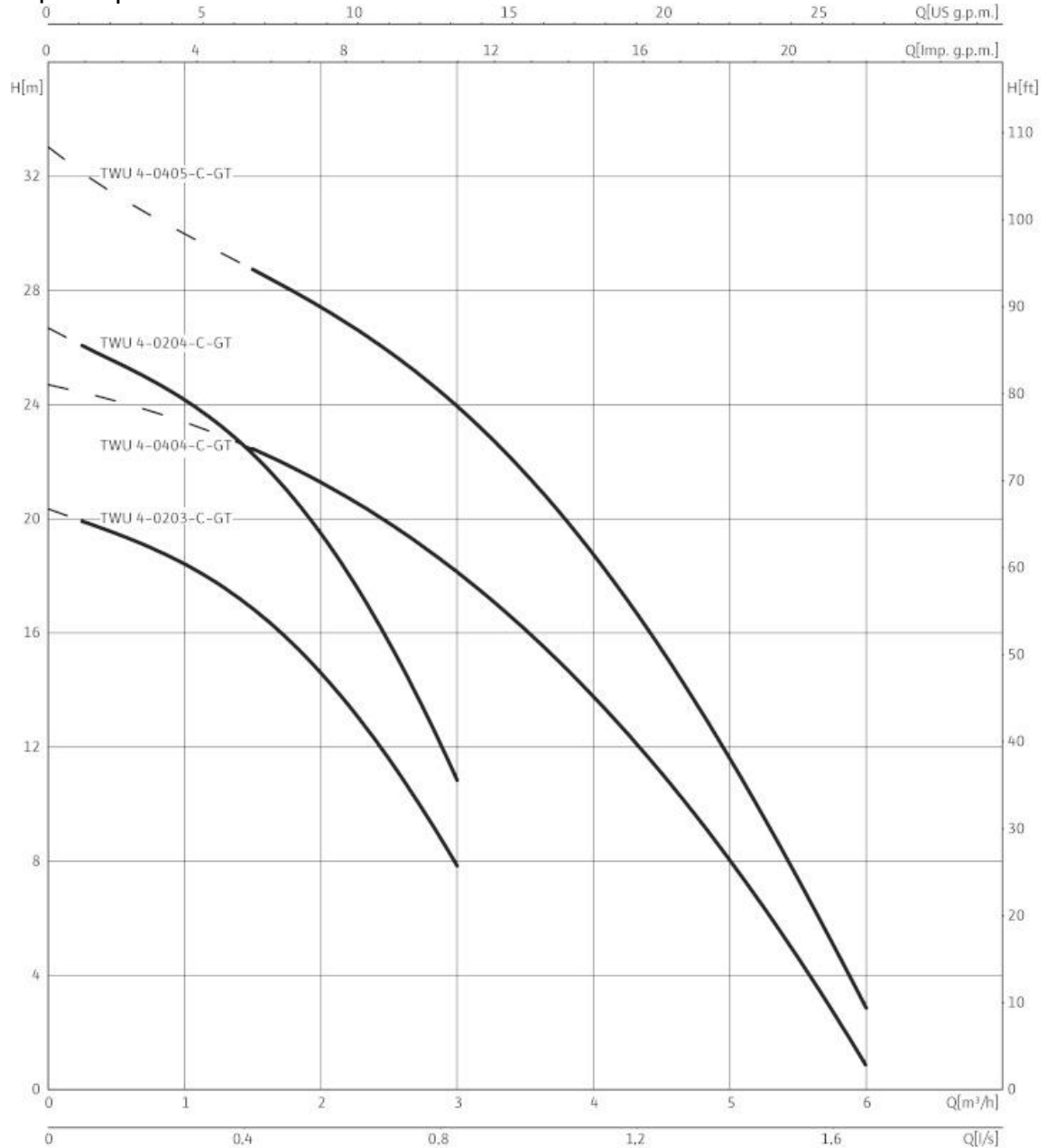
Άρα οι γραμμικές απώλειες πίεσης του εναλλάκτη θα είναι 0,18bar
 $*10,197162\text{m } H_2O = 1,80\text{m } H_2O$.

Συμφώνα με τα παραπάνω οι συνολικές απώλειες προκύπτουν: $H=6,93\text{m } H_2O$.

Πτώση πίεσης ανά 100μ χαλύβδινο σωλήνα (psi)															
Παροχή (m ³ /h)	Διαμέτρηση σωλήνων (inch)														
	1"	1,14"	1,12"	2"	2,12"	3"	3,12"	4"	5"	6"	8"	10"	12"		
0,23	0,180781														
0,45	0,557743	0,018404													
0,68	1,158138	0,308399	0,144357												
0,91	1,948819	0,508853	0,242782												
1,14	2,959318	0,774278	0,387454												
1,38	4,019029	1,082877	0,501989	0,150919											
1,62	6,922572	1,811024	0,882881	0,248063											
2,27	10,10489	2,73822	1,288404	0,374018	0,15748										
3,41	21,19423	5,774278	2,887323	0,784438	0,324833										
4,54	38,25328	9,547244	4,429134	1,288404	0,532058	0,19357									
5,68		14,33727	6,627297	1,908188	0,813848	0,24818	0,137795								
6,81		20,83848	9,547244	2,837795	1,125328	0,388882	0,19885								
7,95		27,08893	12,53281	3,58252	1,473097	0,58373	0,259188	0,137795							
9,08			15,88241	4,494751	1,929134	0,875853	0,328084	0,173885							
10,22			19,88189	5,708881	2,34252	0,823491	0,398882	0,219818							
11,38			24,50787	6,75853	2,893701	1,01708	0,472441	0,282487							
13,83				9,711288	4,002825	1,40748	0,879134	0,388882							
15,90				12,88404	5,019885	1,91801	0,889188	0,482128	0,15748						
18,17				16,50282	7,119423	2,5	1,158138	0,813517	0,208893						
20,44				20,88814	8,582892	3,024934	1,483255	0,777589	0,282487						
22,71				24,83911	10,59711	3,740157	1,728003	0,921918	0,31888	0,127953					
28,39					15,81385	5,887087	2,57874	1,43708	0,485884	0,183727					
34,07					19,81827	7,708974	3,707349	1,975088	0,889291	0,255808					
39,74					29,52758	10,48889	4,822835	2,690289	0,912073	0,331385					
45,42						13,02493	6,298213	3,348457	1,135171	0,433071					
51,10						16,48882	7,57874	4,232283	1,433727	0,544819	0,144357				
56,78						20,3084	9,358394	5,218535	1,888352	0,872572	0,180488				
62,45						24,8883	11,28889	6,003937	2,048882	0,774278	0,208893				
68,13						27,88871	13,48884	7,152231	2,431102	0,918885	0,248883				
73,81								14,92782	8,388142	2,708893	1,079398	0,288714			
79,49								17,28003	9,748894	3,139784	1,187884	0,318241			
85,18								19,9147	10,59711	3,888924	1,384829	0,384173			
90,84								22,88889	12,04888	4,10105	1,548588	0,418887			
96,52								25,52883	13,81548	4,825884	1,751989	0,48818			
102,20								28,84173	153,0512	4,92128	1,955381	0,5248934			
107,87									18,98194	5,479003	2,188039	0,564882	0,088425		
113,55									18,79821	6,088554	2,424541	0,813517	0,208893		
124,91									22,73822	7,348881	2,933071	0,74147	0,228889		
136,28										27,08883	8,758843	3,47789	0,888827	0,282152	
147,82										10,18045	3,871391	1,038745	0,331385		
158,97										11,90945	4,494751	1,21083	0,387139	0,15748	
170,33										13,84829	5,150919	1,381234	0,442913	0,180488	
181,88										14,88835	5,838895	1,571522	0,505249	0,203412	
193,04										16,58824	6,627297	1,878509	0,570888	0,228889	
204,39										18,58855	7,414888	1,879921	0,838483	0,259188	
215,75										20,7021	7,775891	2,083178	0,731827	0,288714	
227,10										22,98888	8,828889	2,322835	0,787402	0,321522	
249,81										27,75891	10,43307	2,888399	0,88885	0,387139	
272,52											12,40157	3,348457	1,072835	0,489318	
295,23											14,58883	3,707349	1,288404	0,511811	
317,94											16,88883	4,288892	1,458893	0,588551	
340,65											18,20888	4,92128	1,878509	0,879134	
363,36											20,7021	5,577428	1,791339	0,774278	
408,78											28,1811	7,088814	2,28708	0,97789	
454,20												32,31827	8,2021	2,881837	1,138451
507,75													12,79528	4,10105	1,774934
681,30													17,1918	5,905512	2,388294
794,85													23,4252	7,513123	3,284438
908,40													30,81024	9,889711	4,288892
1021,95														12,40157	5,052483
1135,50														15,32152	6,200787
1362,80														22,04724	8,968893
1589,70														27,91985	12,20472
1818,80															14,79889
2043,90															18,70079
2271,00															23,09711
2725,20															30,70888

Πίνακας 6.6.1 Πτώση πίεσης σωλήνα χάλυβα ανά 100m.

Με τη συνολική πτώση πίεσης που βρήκαμε $H=6,93m H_2O$ και την συνολική παροχή του δικτύου $Q=1.904m^3/h$ επιλέγεται από κατάλογο αντλιών της wilo, αντλία **Wilo-sub-TWU 4-0203-C-QC-GT** με την παρακάτω χαρακτηριστική καμπύλη.



Σχήμα 6.6.2 Καμπύλη αντλίας
Πηγη:willo

Υπολογισμός δοχείου διαστολής

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση :

$$V_t = V_s \cdot \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)}$$

Όπου :

- V_t : ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m^3
- V_s : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε m^3
- t_1 : η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($0^\circ C$)
- t_2 : η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ($50^\circ C$)
- p_1 : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa
- p_2 : η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa
- V_1 : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg
- V_2 : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg .

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι ο όγκος όπου υπάρχει στις σωληνώσεις του καθετου εναλλάκτη, άρα θα έχουμε:

$$V_s = 4 \cdot L \cdot \frac{\pi d_{in}^2}{4} = 0,2769 m^3$$

Ο ειδικός όγκος του νερού σε πίεση 1atm και στη θερμοκρασία των $0^\circ C$ είναι $V_1 = 0,0010002 m^3/kg$ ενώ στη θερμοκρασία των $50^\circ C$ είναι $V_2 = 0,0010121 m^3/kg$ (από πίνακα ιδιοτήτων νερού).

Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7 bar ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαιώση. Η ελαχίστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα λαμβάνεται 2m (0,2 bar) . Συνεπώς , η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται : $p_1 = 0,7 + 0,2 = 0,9 \text{ bar} = 90 \text{ kPa}$.

Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφάλειας . Αύτη συμφώνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι :

$$p_2 = p_1 + 1,3 \text{ bar} = 220 \text{ kPa}.$$

Υπολογίζεται ο όγκος του δοχείου διαστολής συμφώνα με τα παραπάνω :

$V_t = 0.0055 m^3 = 5,57 \text{ lt}$

από τυποποιημένα επιλέγω δοχείο διαστολής 6lt

6.6.5 Χρονοδιάγραμμα Εργασιών

Το χρονοδιάγραμμα των εργασιών δίδεται στον παρακάτω Πίνακα. Το αντλητικό συγκρότημα θα αποτελείται από την υποβρύχια αντλία, τις σωλήνες και τον πίνακα ελέγχου.

Εργασίες / Εβδομάδα	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η	10η
Εγκατάσταση Γεωτρύπανου										
Διάτρηση και Αποπεράτωση Γεωτρήσεων										
Δοκιμαστικές Αντλήσεις										

Πίνακας 6.6.3 Χρονοδιάγραμμα εργασιών

6.6.6 Συντήρηση Γεώτρησης :

Είναι προφανές ότι θα πρέπει να δίδεται μέριμνα ώστε στο σύνολό του ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός άντλησης και προώθησης του ύδατος να διατηρείται πάντα σε άριστη λειτουργία ώστε να υπάρχει και ο επιθυμητός βαθμός απόδοσης.

Συντελεστές που επηρεάζουν την διάρκεια ζωής μιας γεώτρησης :

Είναι οι ακόλουθοι και αναφέρονται στο :

- πόσο καλή είναι η αρχική μελέτη και κατασκευή
- πόσο καλό είναι το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται η γεώτρηση
- εάν γίνεται σκληρή χρήση ή εξαντλητική άντληση
- εάν η γεώτρηση συντηρείται καλά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**ΚΟΣΤΟΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ- ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ****7.1 Κόστος οριζόντιου γεωθερμικού συστήματος**

Στο οριζόντιο γεωθερμικό σύστημα όπως προέκυψε από την διαστασιολόγηση του οριζόντιου γεωθερμικού εναλλάκτη χρειαζόμαστε 363m^2 ακάλυπτου χώρου. Η εκσκαφή σύμφωνα με εταιρία χωματουργικών έργων ανά m^3 για τα πρώτα 3 μετρά από το έδαφος κοστίζει από 5-8 €/m³ ανάλογα με το έδαφος. Στην περίπτωση μας έχουμε $363\text{m} \times 1,5\text{m}$ βάθος = 545 m³. Έστω 5€/m³ το κόστος θα είναι $545 \times 5 = 2.725\text{€}$.

Το μήκος του εναλλάκτη προέκυψε 726m .Σύμφωνα με την NiBE εταιρεία κατασκευής σωληνώσεων πολυαιθυλενίου η τιμή ανά μέτρο είναι 1,35ευρω, συνεπώς το κόστος του σωλήνα θα είναι 980 €.

Το δοχείο διαστολής που υπολογίστηκε κοστίζει 40 Ευρώ καθώς και ο κυκλοφορητής της wilo 1056 ευρώ.

Η αντλία θερμότητας, τα fan coil, εξαρτήματα – παρελκόμενα, καθώς και τα κόστη μελέτης-επιβλεψης και εγκατάστασης θεωρούνται κοινά με τα άλλα δυο γεωθερμικά συστήματα και έχουν ως εξης :

Αντλία θερμότητας 12 kw = 5.000

Ηλεκτρολόγος : 1.000

Υδραυλικός : 2.000

Ψυκτικός : 300

Μελέτη επίβλεψη : 400

Εξαρτήματα – Παρελκόμενα: 1.000

Εγκατάσταση fan-coil: 3.000

Σύνολο	17.461 ΕΥΡΩ
--------	-------------

7.2 Κόστος κάθετου γεωθερμικού συστήματος

Στο κάθετο γεωθερμικό σύστημα υπολογίστηκε ο αριθμός των γεωτρήσεων καθώς και το μήκος αυτών. Το κόστος κάθε Γεώτρησης σύμφωνα από στοιχεία εταιρείας προκύπτει με το βάθος διάνοιξης της γεώτρησης και αυτό ανέρχεται στα 50 ευρώ το μέτρο όποτε στην περίπτωση αυτή έχουμε: 3 γεωτρήσεις από 36m η κάθε μια ,άρα το κόστος θα είναι $(3*36)*50=5.400$ ευρώ.

Το μήκος του εναλλάκτη προέκυψε 216m .Σύμφωνα με την NiBE εταιρεία κατασκευής σωληνώσεων πολυαιθυλενίου η τιμή ανά μέτρο είναι 1,35ευρω, συνεπώς το κόστος του σωλήνα θα είναι 291,6 €.

Το δοχείο διαστολής που υπολογίστηκε κοστίζει 20 Ευρώ καθώς και ο κυκλοφορητής της wilo 450 ευρώ.

Η αντλία θερμότητας, τα fan coil, εξαρτήματα – παρελκόμενα, καθώς και τα κόστη μελέτης-επιβλεψης και εγκατάστασης θεωρούνται κοινά με τα άλλα δυο γεωθερμικά συστήματα και έχουν ως έξης :

Αντλία θερμότητας 12 kw = 5.000

Ηλεκτρολόγος : 1.000

Υδραυλικός : 2.000

Ψυκτικός : 300

Μελέτη επίβλεψη : 400

Εξαρτήματα – Παρελκόμενα: 1.000

Εγκατάσταση fan-coil: 3.000

Σύνολο	18.861,60 ΕΥΡΩ
--------	----------------

7.3 Κόστος κάθετου ανοικτού γεωθερμικού συστήματος

Στο κάθετο ανοικτό γεωθερμικό σύστημα υπολογίστηκε ο αριθμός των γεωτρήσεων καθώς και το μήκος αυτών. Το κόστος κάθε Γεώτρησης σύμφωνα από στοιχεία εταιρείας προκύπτει με το βάθος διάνοιξης της γεώτρησης και αυτό ανέρχεται στα 50 ευρώ το μέτρο όποτε στην περίπτωση αυτή έχουμε: 2 γεωτρήσεις από 100m η κάθε μια ,άρα το κόστος θα είναι $(2*100)*50=10.000$ ευρώ.

Το μήκος των σωληνώσεων προέκυψε 200m .Σύμφωνα με την εταιρεία κατασκευής σωληνώσεων η τιμή ανά μέτρο είναι 10,50 ευρώ, συνεπώς το κόστος του σωλήνα θα είναι 2.100 €.

Το δοχείο διαστολής που υπολογίστηκε κοστίζει 20 Ευρώ καθώς και ο κυκλοφορητής της wilo 400 ευρώ.

Η αντλία θερμότητας, τα fan coil, εξαρτήματα – παρελκόμενα, καθώς και τα κόστη μελέτης-επιβλεψης και εγκατάστασης θεωρούνται κοινά με τα άλλα δυο γεωθερμικά συστήματα και έχουν ως εξής :

Αντλία θερμότητας 12 kw = 5.000

Ηλεκτρολόγος : 1.000

Υδραυλικός : 2.000

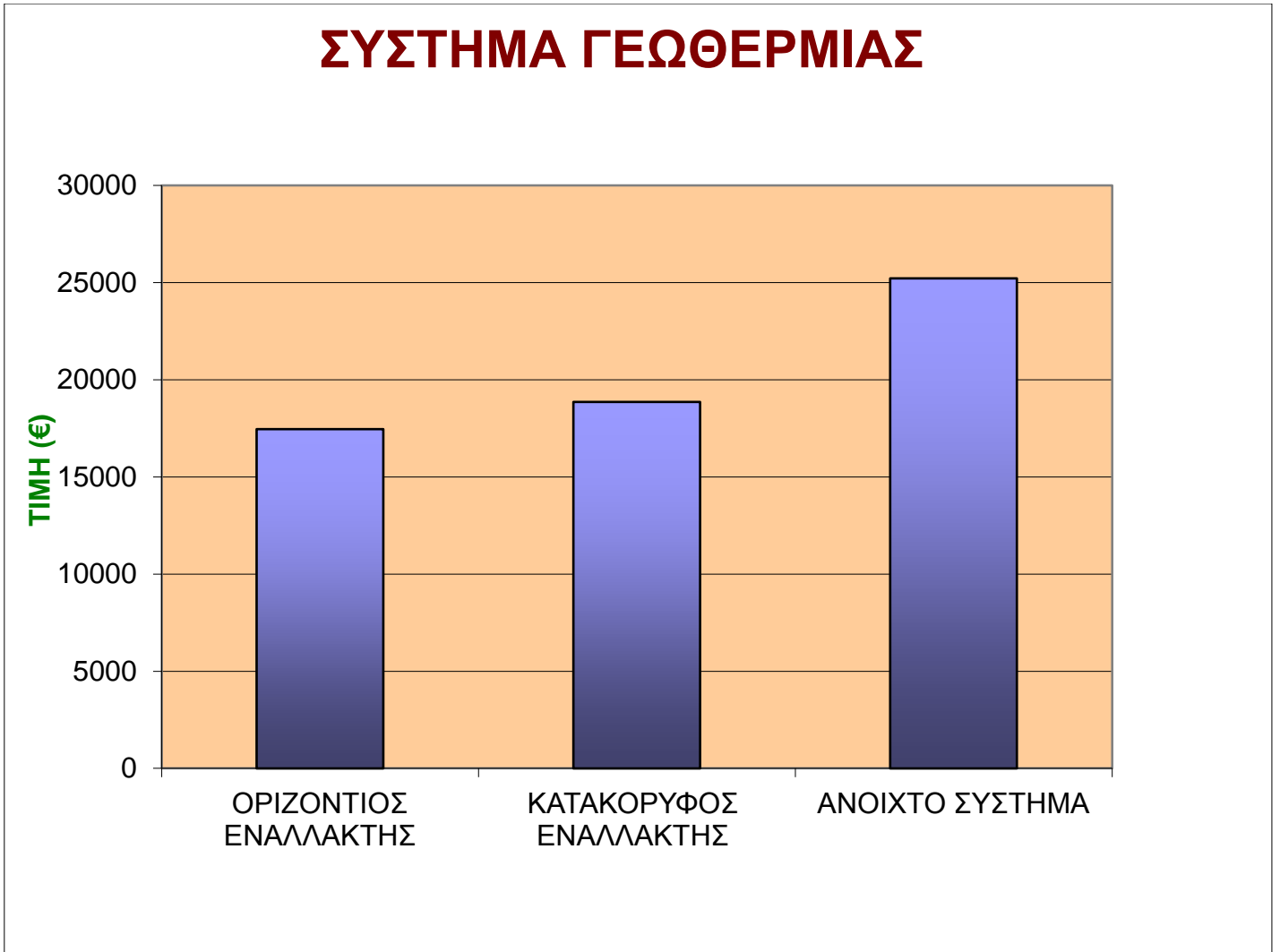
Ψυκτικός : 300

Μελέτη επίβλεψη : 400

Εξαρτήματα – Παρελκόμενα: 1.000

Εγκατάσταση fan-coil: 3.000

Σύνολο	25.220 ΕΥΡΩ
--------	-------------



Σχήμα 7.1.1 Κόστος εγκατάστασης γεωθερμικών συστημάτων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω παρατηρούμε ότι το οικονομικότερο γεωθερμικό σύστημα είναι αυτό του οριζόντιου εναλλάκτη αρκεί να υπάρχει ο απαιτούμενος χώρος.

7.4 Κόστος λειτουργίας– Χρόνος απόσβεσης

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγκριση των γεωθερμικών συστημάτων (κλειστών και ανοικτού) με ένα κοινό σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου-σωματων καλοριφέρ και με ένα κοινό σύστημα ψύξης αντλία θερμότητας αέρα - αέρα – μονάδες split.

7.4.1 Ενεργειακή ανάλυση –κόστος λειτουργίας Λέβητα πετρελαίου - Αντλία θερμότητας αέρα-αέρα vs. Γεωθερμία

Η ενεργειακή ανάλυση που ακόλουθη έχει σκοπό να προσεγγίσει το πραγματικό ετήσιο κόστος λειτουργίας ενός άριστα μονωμένου κτηρίου επιφάνειας 136 m² , το οποίο βρίσκεται στο Ηράκλειο της Κρήτης .Βασικοί προϋπόθεση κάθε εφαρμογής είναι απροβλημάτιστη λειτουργία της θέρμανσης – ψύξης σε όλους τους χώρους του κτηρίου, με εσωτερική θερμοκρασία 20-22 °C ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.

7.4.1.1. Υπολογισμός ενεργειακών απαιτήσεων του κτηρίου :

i. Ενεργειακή απαίτηση κτηρίου σε σχέση με την θερμική του μόνωση:

	Θερμαινόμενη επιφάνεια m ²	Θερμικές απώλειες κτιρίου (kw)	Ισχύς θέρμανσης (KW)
Ενεργειακές απαιτήσεις Q _a σε kw για θέρμανση	136	8	11

ii. Αναγωγή σε ετήσια ενεργειακή απαίτηση για θέρμανση:

	Ισχύς kw	Ετήσιες ώρες λειτουργίας h/έτος*	Σύνολο ισχύος kwh/έτος
Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ΣQ _{aθ} σε kw/έτος για θέρμανση	11	960	10.560

iii. Αναγωγή σε ετήσια ενεργειακή απαίτηση για ψύξη:

	Ισχύς kw	Ετήσιες ώρες λειτουργίας h/έτος*	Σύνολο ισχύος kwh/έτος
Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις $\Sigma Q_{a\psi}$ σε kw/έτος για ψύξη	11	720	7.920

Λαμβάνεται περίοδος θέρμανσης 4 μήνες για 8 ώρες ημερησίως και περίοδος ψύξης

3 μήνες για 8 ώρες ημερησίως.

Άρα για τον υπολογισμό του $\Sigma Q_{a\theta}$ λαμβάνεται 960 ώρες /έτος και

για τον υπολογισμό του $\Sigma Q_{a\psi}$ λαμβάνεται 720 ώρες /έτος.

7.4.1.2 Χρηματοοικονομικός υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης σε πετρέλαιο:

	Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ΣQ_a σε kwh/έτος για θέρμανση: 10.560		Ετήσια ποσότητα πετρελαίου σε lt
Ετήσια κατανάλωση σε πετρέλαιο	Θερμαντικό αποτέλεσμα πετρελαίου σε kwh/lt: 11,9	Πραγματικός βαθμός απόδοσης λέβητα πετρελαίου Buderus 0.85	1.044

ι. Το ετήσιο κόστος λειτουργίας με λέβητα πετρελαίου ,με τρέχουσες τιμές καύσιμων προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

	Ετήσια ποσότητα πετρελαίου σε lt	Τρέχουσα τιμή πετρελαίου €/lt	Κόστος ετήσιας χρήσης €
Ετήσιο κόστος λειτουργίας	1.044	1.30	1.357

7.4.1.3 Χρηματοοικονομικός υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης σε ρεύμα με αντλία θερμότητας αέρος-αερος (κλιματιστικά τύπου split) .

	Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ΣQa σε kwh/έτος για ψυξη:	Ετήσια κατανάλωση ρεύματος σε kwh/έτος
	7.920	
Ενεργειακή απαίτηση αντλίας θερμότητας αέρος-αέρος σε kwh/έτος	Ετήσιος βαθμός απόδοσης λειτουργίας	2.828
	2.8	

Ο ετήσιος βαθμός απόδοσης λειτουργίας της αντλίας θερμότητας αέρα – αέρα αφορά κλιματιστικές μονάδες τύπου split ενεργειακής κλάσης C.

ι.Το ετήσιο κόστος λειτουργίας της αντλίας θερμότητας αέρος-αερος με μέση τιμή κλιμακωτού ρεύματος από τον πάροχο- Δ.Ε.Η- προκύπτει από την παρακάτω σχέση:


	Ετήσια κατανάλωση ρεύματος σε kwh/έτος	Τιμή ρεύματος με κλιμακωτό τιμολόγιο €/kwh	Κόστος ετήσιας χρήσης €
Ετήσιο κόστος λειτουργίας	2.828	0.14	360

7.4.1.4. Χρηματοοικονομικός υπολογισμός ετήσιας κατανάλωσης σε ρεύμα με Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας.


	Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ΣQa σε kwh/έτος για θέρμανση: 10.560	Ετήσια κατανάλωση ρεύματος σε kwh/έτος
Ενεργειακή απαίτηση Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας σε kwh/έτος	Ετήσιος βαθμός απόδοσης λειτουργίας 3,9	2.707
	Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις ΣQa σε kwh/έτος για ΨΥΞΗ 7.920	Ετήσια κατανάλωση ρεύματος σε kwh/έτος
Ενεργειακή απαίτηση Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας σε kwh/έτος	Ετήσιος βαθμός απόδοσης λειτουργίας 4,44	1.784

Ο ετήσιος βαθμός απόδοσης λειτουργίας της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (Γ.Α.Θ), αφορά συνθήκες λειτουργίας με θερμοκρασία νερού προσαγωγής + 45 °C.

i. Το ετήσιο κόστος λειτουργίας της Γ.Α.Θ, (Για θέρμανση) με μέση τιμή κλιμακωτού ρεύματος από τον πάροχο –Δ.Ε.Η. προκύπτει από την παρακάτω σχέση:


	Ετήσια κατανάλωση ρεύματος σε kwh/έτος	Τιμή ρεύματος με κλιμακωτό τιμολόγιο €/kwh	Κόστος ετήσιας χρήσης €
Ετήσιο κόστος λειτουργίας	2.707	0.14	379

ii. Το ετήσιο κόστος της Γ.Α.Θ , (Για θέρμανση) σε συνδυασμό κατανάλωσης νυχτερινού ρεύματος από τον πάροχο –Δ.Ε.Η- προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

	Κατανάλωση με κλιμακωτό τιμολόγιο kwh/έτος	Τιμή ρεύματος με κλιμακωτό τιμολόγιο €/kwh	Κόστος ετήσιας χρήσης €
	1082	0.14	151,6
Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Κατανάλωση με νυχτερινό τιμολόγιο kwh/έτος 1625	Τιμή ρεύματος με νυχτερινό τιμολόγιο €/kwh 0,052	84,5
	Συνολικό κόστος ετήσιας χρήσης € με Φ.Π.Α		236,1

Στο παραπάνω ετήσιο κόστος, έχει υπολογιστεί ότι η αντλία θερμότητας θα καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια με το μειωμένο τιμολόγιο της Δ.Ε.Η., στο 60% του συνολικού χρόνου λειτουργίας της. Ωράριο λειτουργίας νυχτερινού τιμολογίου από τις 1 Νοεμβρίου έως και τις 30 Απριλίου, από τη Δ.Ε.Η.: **2:00-8:00 και 15:30-17:30.**

iii. Το ετήσιο κόστος λειτουργίας της Γ.Α.Θ, (Για ψύξη) με μέση τιμή κλιμακωτού ρεύματος από τον πάροχο –Δ.Ε.Η προκύπτει από την παρακάτω σχέση :

	Ετήσια κατανάλωση ρεύματος σε kwh/έτος	Τιμή ρεύματος με κλιμακωτό τιμολόγιο €/kwh	Κόστος ετήσιας χρήσης €
Ετήσιο κόστος λειτουργίας	1.784	0.14	250

7.5 Χρόνος απόσβεσης:

Θεωρείται κόστος εγκατάστασης κοινού συστήματος θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου, υποδομές (καμινάδες κτλ), κατασκευή λεβητοστασίου περίπου 7.500€ και κλιματιστικών εγκαταστάσεων, εξωτερική μονάδα με αντίστοιχες εσωτερικές 3.500€

Κόστος εγκατάστασης συστήματος γεωθερμίας με οριζόντιο κλειστό σύστημα όπως υπολογίστηκε 17.461€.

Κόστος εγκατάστασης συστήματος γεωθερμίας με κάθετο κλειστό σύστημα 18.861€.

Κόστος εγκατάστασης συστήματος γεωθερμίας με κάθετο ανοικτό σύστημα 25.220€.

	Θέρμανση με σύστημα λέβητα απόδοσης 85%	ψύξη με σύστημα κλιματισμού τύπου split EER=2,8	Θέρμανση με Γ.Α.Θ COP=3,8	Ψύξη με Γ.Α.Θ EER=4,44	Θέρμανση με Γ.Α.Θ COP=3,8 (κλιμακωτό τιμολόγιο Δ.Ε.Η)
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ /ΕΤΟΣ (€)	1.357	360	379	250	236
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ/ΕΤΟΣ (€)	200	80	0	0	0
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ /ΕΤΟΣ (€)	1.557	440	379	250	236
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ /ΕΤΟΣ (€)		1.997		629	486

Πίνακας 7.1.2 Συγκεντρωτικά κόστη συστημάτων θέρμανσης- ψύξης.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι γίνεται εξοικονόμηση περίπου 1.088€ / έτος σχετικά με την κατανάλωση. Λαμβάνοντας υπόψη και ένα κόστος συντήρησης του λέβητα πετρελαίου και γενικά του συστήματος περίπου 200€/έτος και 80€/έτος στις κλιματιστικές μονάδες, σε αντίθεση με το σύστημα γεωθερμίας όπου η συντήρηση είναι αμελητέα μπορεί να θεωρηθεί εξοικονόμηση περίπου 1.368€ /έτος.

Όλα τα παραπάνω καταλήγουν σε απόσβεση του οριζοντίου κλειστού συστήματος σε περίπου **4,5-5 έτη**, του κάθετου κλειστού συστήματος σε **5,5-6 έτη**, του κάθετου ανοικτού συστήματος σε **10-10,5 έτη** χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η πιθανή αύξηση της τιμής του πετρελαίου τα επόμενα έτη.

Συμπεράσματα-πρόσθετες εφαρμογές:

Από τη σύγκριση των συστημάτων θέρμανσης σε ένα σύγχρονο κτίριο, προκύπτει ότι το κόστος λειτουργίας θέρμανσης- ψύξης με χρήση Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας μειώνεται περισσότερο από 75% σε σχέση με το κόστος που προκύπτει από τη χρήση συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Συμπληρωματικά με τα συστήματα θέρμανσης με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας εάν συνυπολογιστούν η θερμομόνωση του κτιρίου, η ηλιακή υποστήριξη της θέρμανσης και του ζεστού νερού χρήσης καθώς και η ενεργή ανάκτηση θερμότητας, διαμορφώνεται η ενεργειακή ταυτότητα ενός κτιρίου σε A+.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με το πέρασμα των ετών η ανάγκη για απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα γίνεται όλο και πιο επιτακτική, καθώς η χρήση τους παρουσιάζει μια σειρά μειονεκτημάτων. Η αλόγιστη χρήση τους και οι σημερινοί ρυθμοί εξόρυξης τους θα οδηγήσουν σε εξάντληση των περιορισμένων πλέον αποθεμάτων τους. Ακόμη, η καύση τους είναι υπεύθυνη για τους ρύπους που δημιουργούν φαινόμενα όπως αυτό του θερμοκηπίου και της όξινης βροχής. Λόγω της δυσμενούς αυτής κατάστασης δίνεται όλο και μεγαλύτερη ώθηση στην έρευνα για εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε) οι οποίες είναι ανεξάντλητες και φιλικές προς το περιβάλλον.

Μια μορφή Α.Π.Ε που κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος στην Ελλάδα είναι η γεωθερμία, καθώς η χώρα μας είναι ευνοημένη γεωθερμικά. Βέβαια δεν υπάρχει τρόπος παραγωγής ενέργειας ή μετατροπής της από μια μορφή σε άλλη για να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο, που να μην προκαλεί κάποιες έμμεσες ή άμεσες επιπτώσεις για το περιβάλλον. Ακόμη και η παλαιότερη και πιο απλή μορφή παραγωγής θερμικής ενέργειας, δηλαδή αυτή της καύσης του ξύλου, έχει κάποιο αντίκτυπο στο περιβάλλον. Το ίδιο προκύπτει και στην περίπτωση της αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Όμως δεν χωρά καμία αμφιβολία ότι πρόκειται για μια μορφή ενέργειας από τις πλέον καθαρές και ελάχιστα ρυπαντικές.

Τέλος, θα ήταν σωστό να σημειωθεί ότι σε περίπτωση επανεισαγωγής του αντλούμενου γεωθερμικού ρευστού στον ταμειυτήρα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχεδόν ελαχιστοποιούνται. Αυτή ακριβώς η διαδικασία δικαιολογεί την ταξινόμηση της γεωθερμίας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου (για την αρχική έρευνα και την ανάπτυξη των πεδίων), ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο. Επίσης, ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι τις περισσότερες φορές δοκιμασμένος σε άλλες τεχνολογικές εφαρμογές. Η δυνατότητα για ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας και αντίστοιχα της απασχόλησης είναι μετρήσιμη. Οι στόχοι και οι προοπτικές έχουν τεθεί από διάφορους οργανισμούς.

Οι προσπάθειες που καταβάλλονται για να εκπληρωθούν οι στόχοι του Κιότο, καθώς επίσης και η αυξανόμενη ανάγκη για καθαρότερη ενέργεια, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τεχνολογίες όπως η γεωθερμική ενέργεια πρέπει να αναπτυχθούν και να υποστηριχθούν περισσότερο. Στις Ευρωπαϊκές χώρες, ο στόχος είναι να διπλασιαστεί το ποσοστό των Α.Π.Ε. Δηλαδή μέχρι το 2010, το 12% της ενέργειας θα έπρεπε να παραχθεί από ανανεώσιμες πηγές.

Ήδη η γεωθερμική ενέργεια παρουσιάζει μια πραγματικά δυναμική εξέλιξη και είναι μείζονος σημασίας ο κόσμος να στραφεί προς αυτή αλλά και τις υπόλοιπες Α.Π.Ε για να υπάρχει η δυνατότητα οι επόμενες γενιές να ζήσουν σε ένα περιβάλλον καλύτερο και πιο καθαρό.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

τύπος	υλικό	εξωτερική διάμετρος (mm)	Πάχος τοιχώματος (mm)	θερμική αγωγιμότητα (W/(m.K))	θερμική αντίσταση (K.m/W)
PE DN25 PN8	Πολυαιθυλένιο	25	2	0,42	0,066
PE DN32 PN8	Πολυαιθυλένιο	32	2	0,42	0,051
PE DN40 PN8	Πολυαιθυλένιο	40	2,3	0,42	0,046
PE DN50 PN8	Πολυαιθυλένιο	50	2,9	0,42	0,047
PE DN20 PN12	Πολυαιθυλένιο	20	2	0,42	0,085
PE DN25 PN12	Πολυαιθυλένιο	25	2,3	0,42	0,077
PE DN32 PN12	Πολυαιθυλένιο	32	3	0,42	0,079
PE DN40 PN12	Πολυαιθυλένιο	40	3,7	0,42	0,078
PE DN50 PN12	Πολυαιθυλένιο	50	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	0,42	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	0,22	0,121
SDR-13 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	34,9	2,6	0,22	0,117
SDR-13 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	41,3	3,1	0,22	0,118
SDR-13 2"	Πολυαιθυλένιο	54	4	0,22	0,116

Πίνακας 1. Στοιχεία σωληνώσεων.

Πηγή:ASHRAE.

Διάμετρος σωλήνωσης τύπου U	SDR	Παροχή νερού ανω των 2gpm	παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 3gpm	παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 5gpm	παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 10gpm
3/4 in	SDR 11	0.09	0,12	-	-
	SDR 9	0,11	0,15	-	-
	SDR 40	0,1	0,14	-	-
1 in	SDR 11	0,09	0,14	0,1	-
	SDR 9	0,11	0,15	0,12	-
	SDR 40	0,1	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 2 .Θερμική αντίσταση σωλήνωσης σε h ft °F/Btu.

Πηγή:ASHRAE.

Αριθμός ισοδύναμων ωρών (Θέρμανση /Ψύξη)	Απόσταση γεώτρησεων (ft)	Θερμοκρασία εδάφους και εισαγωγής υγρού στον εναλλάκτη (°F)					
		tg =50°F (tw=35/80)		tg =60°F (tw=45/85)		tg = 70°F (tw=60/95)	
		kg (Btu/(h ft °F)					
		1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5
Διορθωτικός συντελεστής θερμοκρασίας εδάφους tr(°F) Απαιτούμενο βάθος γεώτρησης ανά RT							
1.500 / 500	15	-4,4 (318)	-4,4 (248)	-	-	-	-
	20	-2,3 (276)	-2,3 (216)	-	-	-	-
	25	-1,2 (258)	-1,2 (202)	-	-	-	-
1.000 / 1.000	10	12,9 (318)	11,8(245)	-	11,8 (313)	-	-
	15	5,4 (237)	4,3 (186)	4,7 (245)	4,7 (225)	-	-
	20	3,4 (220)	1,9(172)	2,5 (263)	2,4 (206)	-	-
500 / 1.500	15	15,1 (379)	15,1 (294)	-	12,8 (345)	-	-
	20	7,8 (277)	8 (216)	6,7 (326)	6,7 (254)	6,7 (336)	6,7 (259)
	25	4,1 (224)	4,3 (190)	3,5 (287)	3,5 (224)	3,5 (293)	3,5 (229)
0 / 2.000	15	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	10,3 (406)	10,4 (316)	10,4 (414)	10,5 (322)
	25	-	-	5,4 (323)	5,5 (252)	5,4 (332)	5,5 (257)

Πίνακας 3. Συντελεστής διόρθωσης θερμοκρασίας εδάφους.

Πηγή:ASHRAE.

Υλικό πλήρωσης γεώτρησης	Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (Btu/(h ft °F))	Υλικό πλήρωσης γεώτρησης	Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (W/(mK))
20% μπετονιτής	0,42	Αμμοχάλικο	0,4
30% μπετονιτής	0,43	Νερό στάσιμο	0,6
Τσιμέντο	0,40-0,45	Μπετονιτής 10%, νερό	0,7
Σκυρόδεμα 130/150 lb/ft ³	0,60-0,80	Μπετονιτής/τσιμέντο/άμμος 9/9/20%, νερό	0,7-0,8
Σκυρόδεμα 50 % χαλαζιακή άμμος	1,10-1,70	Υγρή άμμος	1
20% μπετονιτής-40% χαλαζιτής	0,85	Παγωμένος μπετονιτής 10%	1,4
30% μπετονιτής-30% χαλαζιτής	0,70-0,75	Μπετονιτής /χαλαζιτής 12/50% ,νερό	1,5
30% μπετονιτής-30% σιδηρομετάλλευματα	0,45	Χαλίκι,νερό	1,8
60% χαλαζιτής-τέφρα-άμμος	1,07	Πάγος	2,3
		Τσιμέντο /άμμος 27%/58%/,νερό	2,4
		Χαλαζιτής , νερό	2,4-2,7
		Τσιμέντο/γραφίτης	2

Πίνακας 4.Θερμική αγωγιμότητα υλικών πλήρωσης γεωτρήσεων.

Πηγή:ASHRAE.

Αγωγιμότητα εδάφους (Btu/(h ft °F))	0,9		1,3			1,7	
Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (Btu/(h ft °F))	0,5	2	0,5	1	2	0,5	1
Διαμετρος γεώτρησης 4in							
1 in σωλήνωση τύπου U	0,11	-0,05	0,14	0,03	-0,02	0,17	0,05
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,13	0,04
Διαμετρος γεώτρησης 5in							
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
Διαμετρος γεώτρησης 6in							
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
1 -1/2in σωλήνωση τύπου U	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,11	0,04

Πίνακας 5.Διόρθωση θερμικής αντίστασης.

Πηγή:ASHRAE.

CIAT Water / water reversible heat pumps
auréa

COOLING AND HEATING OUTPUTS

AUREA MODULO	Cold water T ₁ in °C	HOT WATER OUTLET TEMPERATURE °C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
		30						35						40						45						50						55																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
		RT	Pa	Pc	Pt	RT	Pa	Pc	Pt	RT	Pa	Pc	Pt	RT	Pa	Pc	Pt	RT	Pa	Pc	Pt	RT	Pa	Pc	Pt	RT	Pa	Pc	Pt																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
40Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	5.3	1.9	6.2	1.0	4.8	2.1	5.8	1.3	4.4	2.4	5.2	1.6	4.1	2.7	4.8	2.0	3.8	3.0	4.2	2.7	3.5	3.5	3.4	3.6	5.8	1.9	6.9	0.9	5.4	2.1	6.2	1.3	5.0	2.4	5.8	1.6	4.7	2.7	5.4	2.0	4.3	3.0	4.7	2.7	4.8	3.5	3.8	3.6	6.8	1.9	7.8	0.9	6.2	2.1	7.1	1.2	5.7	2.4	6.7	1.5	5.4	2.7	6.1	2.0	5.0	3.0	5.4	2.7	4.5	3.5	4.4	3.7	7.8	1.9	8.7	0.8	6.8	2.1	7.9	1.1	6.4	2.5	7.4	1.5	6.0	2.8	6.7	2.0	5.6	3.1	5.9	2.7	5.1	3.5	4.8	3.7	8.2	1.9	9.3	0.8	7.4	2.1	8.5	1.0	6.9	2.5	7.9	1.5	6.5	2.8	7.2	2.0	6.0	3.1	6.4	2.8	5.5	3.5	5.2	3.8	8.7	1.9	10.4	0.8	8.3	2.1	9.4	1.1	7.8	2.5	8.8	1.5	7.3	2.8	8.0	2.1	6.8	3.1	7.8	2.9	6.2	3.5	5.7	4.0	10.0	1.9	11.1	0.7	9.0	2.2	10.1	1.1	8.4	2.5	9.5	1.5	7.9	2.8	8.8	2.1	7.3	3.1	7.8	2.9	6.6	3.5	6.2	4.0	10.4	1.9	11.5	0.8	9.4	2.1	10.4	1.1	8.8	2.5	9.7	1.5	8.2	2.8	8.9	2.1	7.5	3.1	7.8	2.9	6.9	3.5	6.4	4.0	11.0	1.9	12.2	0.8	9.9	2.2	11.0	1.1	9.3	2.5	10.3	1.5	8.7	2.8	9.4	2.1	8.1	3.1	8.3	2.9	7.3	3.5	6.8	4.0	12.1	1.9	13.2	0.8	11.0	2.2	12.0	1.1	10.3	2.5	11.2	1.6	9.6	2.8	10.2	2.2	8.9	3.1	8.8	3.0	8.0	3.5	7.4	4.2	13.1	1.9	14.2	0.8	11.8	2.1	12.9	1.1	11.1	2.5	12.0	1.6	10.4	2.8	10.9	2.2	9.6	3.1	9.6	3.1	8.7	3.5	7.9	4.3	13.7	2.0	15.0	0.7	13.1	2.1	14.0	1.1	12.3	2.5	13.1	1.7	11.5	2.8	11.9	2.0	10.7	3.1	10.5	3.2	10.0	3.7	8.8	4.9	pure water	5	9.7	1.9	10.4	0.8	8.3	2.1	9.4	1.1	7.8	2.5	8.8	1.5	7.3	2.8	8.0	2.1	6.8	3.1	7.8	2.9	6.2	3.5	5.7	4.0	6	10.0	1.9	11.1	0.7	9.0	2.2	10.1	1.1	8.4	2.5	9.5	1.5	7.9	2.8	8.8	2.1	7.3	3.1	7.8	2.9	6.6	3.5	6.2	4.0	7	10.4	1.9	11.5	0.8	9.4	2.1	10.4	1.1	8.8	2.5	9.7	1.5	8.2	2.8	8.9	2.1	7.5	3.1	7.8	2.9	6.9	3.5	6.4	4.0	8	11.0	1.9	12.2	0.8	9.9	2.2	11.0	1.1	9.3	2.5	10.3	1.5	8.7	2.8	9.4	2.1	8.1	3.1	8.3	2.9	7.3	3.5	6.8	4.0	10	12.1	1.9	13.2	0.8	11.0	2.2	12.0	1.1	10.3	2.5	11.2	1.6	9.6	2.8	10.2	2.2	8.9	3.1	8.8	3.0	8.0	3.5	7.4	4.2	12	13.1	1.9	14.2	0.8	11.8	2.1	12.9	1.1	11.1	2.5	12.0	1.6	10.4	2.8	10.9	2.2	9.6	3.1	9.6	3.1	8.7	3.5	7.9	4.3	15	13.7	2.0	15.0	0.7	13.1	2.1	14.0	1.1	12.3	2.5	13.1	1.7	11.5	2.8	11.9	2.0	10.7	3.1	10.5	3.2	10.0	3.7	8.8	4.9	50Z	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	6.8	2.3	7.7	1.2	6.0	2.8	7.8	1.8	5.5	3.0	6.8	1.9	5.5	3.3	6.4	2.4	4.8	3.7	5.3	3.2	4.4	4.4	4.2	4.6	-4	7.4	2.3	8.8	1.1	6.7	2.8	7.8	1.5	6.2	3.0	7.4	1.9	5.8	3.0	6.7	2.4	5.4	3.7	5.9	3.2	5.0	4.3	4.7	4.8	-2	8.8	2.3	9.8	1.1	7.7	2.8	8.9	1.4	7.2	3.0	8.4	1.8	6.7	3.4	7.7	2.4	6.2	3.8	6.8	3.2	5.7	4.4	5.4	4.6	0	9.5	2.4	10.8	1.0	8.8	2.8	9.9	1.3	8.0	3.1	9.3	1.8	7.3	3.4	8.5	2.4	6.9	3.8	7.3	3.3	6.4	4.4	6.0	4.7	2	10.3	2.3	11.7	0.9	9.3	2.8	10.6	1.2	8.7	3.1	10.0	1.8	8.1	3.4	9.1	2.4	7.5	3.8	8.0	3.3	6.8	4.4	6.5	4.8	5	11.8	2.3	13.0	0.9	10.4	2.8	11.8	1.3	9.8	3.1	11.0	1.8	9.1	3.5	10.1	2.5	8.5	3.9	8.9	3.5	7.8	4.4	7.2	5.0	6	12.5	2.4	14.0	0.9	11.3	2.7	12.7	1.3	10.6	3.1	11.9	1.8	9.9	3.5	10.8	2.5	9.2	3.9	9.6	3.5	8.4	4.4	7.8	5.0	pure water	7	13.0	2.4	14.4	0.9	11.7	2.7	13.1	1.3	11.0	3.1	12.2	1.9	10.2	3.5	11.2	2.5	9.5	3.9	9.9	3.5	8.7	4.4	8.0	5.1	8	13.8	2.4	15.3	0.9	12.5	2.7	13.9	1.3	11.7	3.2	13.0	1.9	10.9	3.5	11.8	2.6	10.1	3.9	10.4	3.5	9.2	4.4	8.5	5.1	10	15.2	2.3	16.6	0.9	13.7	2.7	15.1	1.3	12.9	3.1	14.1	1.9	12.0	3.5	12.8	2.6	11.1	3.9	11.3	3.6	10.1	4.4	9.2	5.3	12	16.4	2.3	17.8	1.0	14.8	2.6	16.1	1.3	13.9	3.1	15.1	2.0	13.0	3.5	13.7	2.7	12.6	3.8	12.1	3.7	10.9	4.4	9.9	5.4	15	17.3	2.6	19.1	0.7	16.4	2.6	17.6	1.4	15.4	3.1	16.4	2.0	14.3	3.5	15.0	2.8	13.3	3.8	13.2	3.9	12.3	4.4	11.3	5.5	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	8.8	2.9	9.4	1.4	7.2	3.2	8.5	2.0	6.7	3.7	8.9	2.4	6.2	4.1	7.4	2.9	5.8	4.6	6.5	3.9	5.4	5.4	5.1	5.6	-4	9.0	2.9	10.5	1.4	8.2	3.2	9.5	1.9	7.6	3.7	9.0	2.3	7.0	4.1	8.2	2.9	6.8	4.6	7.2	4.0	6.1	5.5	5.9	5.7	-2	10.4	2.9	12.0	1.3	9.4	3.2	10.9	1.7	8.7	3.7	10.2	2.2	8.1	4.1	9.3	2.9	7.5	4.8	8.2	4.0	6.9	5.4	6.8	5.7	0	11.5	2.9	13.2	1.3	10.4	3.2	12.0	1.6	9.7	3.8	11.3	2.2	9.0	4.2	10.3	3.0	8.4	4.7	9.1	4.0	7.7	5.4	7.3	5.9	2	12.5	2.9	14.3	1.1	11.2	3.2	13.0	1.5	10.5	3.8	12.1	2.2	9.8	4.2	11.1	3.0	9.1	4.7	9.8	4.1	8.3	5.4	7.9	5.9	5	14.0	2.9	15.8	1.1	12.7	3.3	14.4	1.6	11.9	3.8	13.4	2.3	11.1	4.3	12.2	3.1	10.3	4.8	10.8	4.3	8.4	5.5	8.7	6.2	6	15.2	2.9	17.0	1.1	13.7	3.3	15.4	1.6	12.8	3.9	14.4	2.3	12.0	4.3	13.2	3.1	11.1	4.8	11.8	4.3	10.1	5.5	9.4	6.2	pure water	7	15.7	2.9	17.5	1.1	14.2	3.3	15.9	1.6	13.3	3.9	14.9	2.3	12.4	4.3	13.8	3.1	11.5	4.8	12.0	4.3	10.5	5.4	9.7	6.2	8	16.7	3.0	18.6	1.1	15.1	3.3	16.9	1.6	14.1	3.9	15.8	2.3	13.2	4.3	14.4	3.1	12.3	4.8	12.7	4.3	11.1	5.5	10.3	6.3	10	18.4	2.9	20.2	1.1	16.8	3.3	18.3	1.6	15.8	3.9	17.1	2.3	14.5	4.3	15.8	3.2	13.5	4.8	13.8	4.3	12.3	5.4	11.2	6.5	12	19.9	2.9	21.8	1.2	18.0	3.2	19.6	1.6	16.9	3.9	18.3	2.4	15.7	4.3	16.7	3.3	14.8	4.7	14.8	4.6	13.3	5.4	12.0	6.6	15	20.9	3.2	23.3	0.9	19.9	3.2	21.4	1.7	18.7	3.8	20.0	2.5	17.4	4.3	18.2	3.4	16.1	4.7	16.1	4.7	15.0	5.5	13.7	6.7	30% Mono Ethylene Glycol solution	-6	9.4	3.4	11.2	1.6	8.8	2.8	10.2	2.2	7.9	4.4	9.8	2.7	7.3	4.8	8.8	3.2	6.8	5.4	7.8	4.4	6.2	6.1	6.3	6.0	-4	10.7	3.4	12.5	1.5	9.7	2.8	11.3	2.1	8.9	4.3	10.7	2.6	8.3	4.8	9.8	3.3	7.7	5.4	8.8	4.5	7.8	6.1	7.0	6.1	-2	12.3	3.4	14.3	1.4	11.1	2.8	13.0	1.9	10.3	4.4	12.2	2.4	9.6	4.9	11.2	3.2	8.9	5.4	9.8	4.5	8.1	6.1	8.1	6.1	0	13.7	3.5	15.8	1.3	12.3	2.8	14.4	1.7	11.5	4.4	13.5	2.4	10.7	4.9	12.3	3.3	9.9	5.5	10.9	4.6	9.0	6.2	8.9	6.3	2	14.8	3.4	17.0	1.2	13.3	2.8	15.5	1.7	12.4	4.5	14.5	2.4	11.8	5.0	13.2	3.3	10.8	5.5	11.7	4.6	9.7	6.2	9.6	6.3	5	16.6	3.5	18.9	1.2	15.0	2.9	17.1	1.7	14.0	4.5	16.0	2.5	13.1	5.0	14.8	3.5	12.1	5.6	12.9	4.8	11.0	6.2	10.8	6.6	pure water	6	18.0	3.5	20.3	1.2	16.2	2.9	18.4	1.7	15.2	4.6	17.2	2.5	14.1	5.1	15.7	3.5	13.2	5.7	14.2	4.7	11.8	6.3	11.4	6.6	7	18.6	3.5	20.9	1.2	16.8	2.9	19.0	1.7	15.7	4.6	17.8	2.5	14.7	5.1	16.2	3.5	13.7	5.7	14.7	4.7	12.2	6.2	11.9	6.7	8	19.8	3.5	22.2	1.2	17.9	2.9	20.1	1.7	16.7	4.6	18.8	2.5	15.6	5.1	17.2	3.5	14.7	5.8	15.6	4.7	13.0	6.3	12.5	6.8	10	21.8	3.5	24.1	1.2	19.7	2.9	21.9	1.8	18.4	4.6	20.4	2.6	17.2	5.1	18.7	3.6	16.1	5.7	16.9	4.9	14.3	6.2	13.8	7.0	12	23.8	3.4	25.8	1.3	21.3	2.8	23.4	1.7	20.0	4.6	21.9	2.7	18.6	5.1	20.0	3.7	17.4	5.7	18.2	5.0	15.3	6.2	14.5	7.1	15	24.8	3.8	27.7	0.9	23.5	2.9	25.8	1.8	22.1	4.6	23.9	2.8	20.8	5.1	21.8	3.8	18.4	5.8	20.2	5.0	17.5	6.2	16.5	7.2

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικά Γεωθερμικής αντλίας θερμότητας CIAT

τύπος πετρώματος	Συχνότητα εμφάνισης στη γη(%)	Θερμική αγωγιμότητα K-100% (Btu/hft°F)	Θερμική αγωγιμότητα K-80% (Btu/hft°F)	Ειδική θερμότητα Cp (Btu/hft°F)	πυκνότητα ρ (lb/ft ³)	θερμική διαχυτότητα α (ft ² /day)
πυρηνική πετρώματα						
Γρανίτης (10% χαλαζίας)	10,4	1,1-3,0	1,3-4,9	0,21	165	0,9-4,3
Γρανίτης (25% χαλαζίας)			1,5-2,1			1,0-1,4
Αμφιβολίτης	42,8	1,1-2,7	1,5-2,2	0,12	175-195	1,1-4,7
Ανδεσίτης		0,8-2,8	0,9-1,6		160	
Βασάλτης		1,2-1,4		0,17-0,21	180	0,7-0,9
Gabbro (Cen.Plains)		0,9-1,6				0,65-1,15
Gabbro (Rocky Mtns)	1,2-2,1		0,18	185	0,85-1,5	
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
Ιζημετογενή 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)	4,2	0,6-2,3		0,21	130-165	0,9-1,2
Wet shale (0% χαλαζίας)						0,5-0,6
Dry shale (25% χαλαζίας)						0,7-1,0
Dry shale (0% χαλαζίας)						0,45-0,55
Μεταμορφωγενή πετρώματα						
Γνευσίτης	21,4	1,1-3,3	1,3-2,0	0,22	160-175	0,9-1,2
Μάρμαρο	0,9	1,2-3,2	1,2-1,9	0,22	170	0,8-1,2
Χαλαζίας		3,0-4,0		0,2	160	2,2-3,0
Σχιστόλιθος (schist)	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 7. Θερμική αγωγιμότητα Kg και θερμική διαχυτότητα ag του εδάφους

Πηγή: ASHRAE

t (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	ν (m ² /s)	k (W/m·K)	α (m ² /s)	Pr	β (K ⁻¹)
Water, H ₂ O							
0	1 002.28	4.2178 × 10 ³	1.788 × 10 ⁻⁶	0.552	1.308 × 10 ⁻⁷	13.6	0.18 × 10 ⁻³
20	1 000.52	4.1818	1.006	0.597	1.430	7.02	
40	994.59	4.1784	0.658	0.628	1.512	4.34	
60	985.46	4.1843	0.478	0.651	1.554	3.02	
80	974.08	4.1964	0.364	0.668	1.636	2.22	
100	960.63	4.2161	0.294	0.680	1.680	1.74	
120	945.25	4.250	0.247	0.685	1.708	1.446	
140	928.27	4.283	0.214	0.684	1.724	1.241	
160	909.69	4.342	0.190	0.680	1.729	1.099	
180	889.03	4.417	0.173	0.675	1.724	1.004	
200	866.76	4.505	0.160	0.665	1.706	0.937	
220	842.41	4.610	0.150	0.652	1.680	0.891	
240	815.66	4.756	0.143	0.635	1.639	0.871	
260	785.87	4.949	0.137	0.611	1.577	0.874	
280.6	752.55	5.208	0.135	0.580	1.481	0.910	
300	714.26	5.728	0.135	0.540	1.324	1.019	

Πίνακας 8. Ιδιότητες νερού
 Πηγή : Μεταφορά θερμότητας Donald Pitts & Leighton Sissom.

Σωλήνας πολυαιθυλενίου (για οριζόντιο γεωεναλλάκτη) και συγκολλημένο το ακροσωλήνιο (για κατακόρυφο γεωεναλλάκτη). Χαρακτηριστικό του σωλήνα είναι ο αυξημένος χρόνος αντοχής στη δοκιμή τεχνητής υπεροξείδωσης (Oxidation Induction Time), που του δίνει το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης αντοχής στη γήρανση υπό δυσμενείς συνθήκες λειτουργίας (Environmental Stress Cracking Resistance), όπως είναι αυτές των υπόγειων εγκαταστάσεων (θαμμένοι στο έδαφος).

Μεγάλο πλεονέκτημα επίσης, αποτελεί ο υψηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας των σωλήνων Geo-Flex ($\lambda=0,862 \text{ W/m}\cdot\text{C}$, αποτέλεσμα μέτρησης του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης), ο οποίος είναι 110% μεγαλύτερος από τους κοινούς σωλήνες πολυαιθυλενίου ($\lambda=0,410 \text{ W/m}\cdot\text{C-DIN 8075}$). Η **Interplast** κατάφερε να επιτύχει αυτήν τη βελτιωμένη ιδιότητα με τη χρήση ειδικών προσθέτων κατά την παραγωγή των σωλήνων. Η υψηλή θερμική αγωγιμότητα των σωλήνων Geo-Flex τους καθιστά ιδανικούς για εφαρμογές γεωθερμίας, εξαιτίας του ότι η μεταφορά της θερμότητας από τη γη προς το κτίριο έχει το μέγιστο βαθμό απόδοσης.

Πιστοποίηση: SKZ Γερμανίας



Σχήμα 9 . Σωλήνας πολυαιθυλενίου για οριζόντιο και για κατακόρυφο γεωεναλλάκτη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών και Ψυκτικά Φορτία

1.1. Θερμικές Απώλειες

1.1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα μελέτη έγινε σύμφωνα με την μεθοδολογία DIN 4701 και τις 2421/86 (μέρος 1 & 2) και 2427/86 TOTEE, ενώ ακόμα χρησιμοποιήθηκαν και τα ακόλουθα βοηθήματα:

- α) Erlaeterungen zur DIN 4701/83, mit Beispielen, Werner-Verlag
- β) Recknagel-Sprenger, Taschenbuch fuer Heizung und Klimatechnik,
- γ) Rietschel, Raiss, Heiz und Klimatechnik, Springer-Verlag
- δ) Κεντρικές Θερμάνσεις, Β. Σελλούντος
- ε) Εγχειρίδιο για τον Μηχανικό θερμάνσεων Garms/Pfeifer (TEE)

1.1.2. Παραδοχές και κανόνες υπολογισμών

Με βάση το DIN 4701, οι θερμικές απώλειες ενός χώρου συνίστανται από:

α) Οι απώλειες θερμοπερατότητας υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q_o = k \cdot f \cdot (t_i - t_a) = \frac{F(t_i - t_a)}{1/k} \text{ σε w (ή Kcal/h)}$$

όπου:

- Q_o : Απώλειες θερμότητας
- F : Επιφάνεια του δομικού τμήματος m^2
- k : Συντελεστής θερμοπερατότητας $W/m^2 K$ (ή $Kcal/m^2 K$)
- $1/k$: Αντίσταση θερμοπερατότητας σε $m^2 K/W$
- t_i : Θερμοκρασία χώρου σε $^{\circ}C$
- t_a : Θερμοκρασία εξωτερικού αέρα σε $^{\circ}C$

β) Οι προσαυξήσεις υπολογίζονται % και διακρίνονται σε:

β1) προσαύξηση Z_H την επίδραση του προσανατολισμού.

($Z_H = -5$ για N, NΔ, NA $Z_H = +5$ για Β, ΒΔ, ΒΑ και $Z_H = 0$ για Δ και Α)

β2) προσαύξηση $Z_U + Z_A = Z_D$ διακοπής λειτουργίας και ψυχρών εξωτερικών τοίχων (στο DIN 4701/83)

αγνοείται ο συντελεστής Z_U). Η προσαύξηση Z_D προσδιορίζεται με βάση το $D = Q_o / (F_{ges} \times \Delta t)$, όπου F_{ges} η συνολική επιφάνεια που περιβάλλει τον χώρο, και τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης, σύμφωνα με τον πίνακα:

β2.1) Z_D για DIN77 Τιμή D

Τρόπος Λειτουργίας	0.1-0.29	0.30-0.69	0.70-1.49
0 ώρες διακοπής	7	7	7
8-12 ώρες διακοπής	20	15	15
12-16 ώρες διακοπής	30	25	20

Πίνακας 1.1 Συντελεστής D

β2.2) Ο συντελεστής Z_D για το DIN83 μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του D περίπου γραμμικά (βλ. καμπύλη Z_D για το DIN83) παίρνοντας τιμές από το 0 μέχρι το 13.

Επομένως οι θερμικές απαιτήσεις μαζί με τις προσαυξήσεις είναι:

$$Q_T = Q_o (1 + Z_D + Z_H) = Q_o \times Z$$

γ) Οι απώλειες αερισμού Q_L υπολογίζονται εναλλακτικά:

γ1) από την σχέση που υπολογίζει τον απαιτούμενο αερισμό:

$$Q_L = V \times \rho \times c (t_i - t_a) \text{ (σε w)}$$

όπου:

V: Όγκος εισερχομένου αέρα σε m^3/s

c: Ειδική θερμότητα του αέρα σε $kJ/g K$

ρ : Πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3

γ2) από την σχέση υπολογισμού απωλειών λόγω χαραμάδων (στην περίπτωση που δεν υπάρχει εξαερισμός):

$$Q_L = \sum Q A_i, \text{ όπου: } Q A_i = \alpha \times \Sigma l \times R \times H \times \Delta t \times Z_{\Gamma} \text{ για κάθε άνοιγμα.}$$

Οι παράμετροι της παραπάνω σχέσης είναι:

α : Συντελεστής διείσδυσης αέρα

Σl : Συνολική περίμετρος ανοίγματος (σε m)

R: Συντελεστής διεισδυτικότητας (στο DIN 4701/83 ορίζεται ο συντελεστής r).

H: Συντελεστής θέσης και ανεμόπτωσης (στο DIN 4701/83 ο συντελεστής H προσαυξάνεται αυτόματα

για ύψος πάνω από 10 m σύμφωνα με τον συντελεστή ϵ_{GA}).

Δt : Διαφορά θερμοκρασίας (σε βαθμούς $^{\circ}C$)

Z_{Γ} : Συντελεστής γωνιακών παραθύρων (στην περίπτωση γωνιακών παραθύρων παίρνει την τιμή 1.2 αντί της κανονικής 1)

δ) Το τελικό σύνολο των θερμικών απωλειών δεν είναι παρά το άθροισμα των Q_T και Q_L , δηλαδή: $Q_{o\lambda} = Q_T + Q_L$

1.1.3. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται πινακοποιημένα ως εξής:

α) Στο επάνω μέρος του πίνακα παρουσιάζονται τα δομικά στοιχεία που έχουν απώλειες από θερμοπερατότητα με τα χαρακτηριστικά τους. Οι στήλες του πίνακα αντιστοιχούν στα ακόλουθα μεγέθη:

Είδος στοιχείου (πχ. **T**=τοίχος, **A**=Ανοιγμα, **O**=οροφή **Δ**=Δάπεδο)

Προσανατολισμός

Πάχος

Μήκος

Ύψος ή πλάτος

Επιφάνεια

Αριθμός όμοιων επιφανειών

Συνολική Επιφάνεια

Συντελεστής k

Διαφορά Θερμοκρασίας Δt

Καθαρές Θερμικές Απώλειες

β) στο κάτω μέρος του πίνακα συμπληρώνονται οι προσαυξήσεις και οι απώλειες αερισμού, με πλήρη ανάλυση.

Πόλη	Ηράκλειο Κρήτης
Μέση Ελάχιστη Εξωτερική Θερμοκρασία (°C)	3
Επιθυμητή Εσωτερική Θερμοκρασία (°C)	20
Θερμοκρασία Μη Θερμαινόμενων Χώρων (°C)	10
Θερμοκρασία Εδάφους (°C)	10
Αριθμός Επιπέδων Κτιρίου (1-15)	1
Σύστημα Μονάδων	watt

Πίνακας 1.2 Στοιχεία Κτιρίου

Τυπικά στοιχεία:

- T7 = ΔΟΚΟΙ / ΚΟΛΩΝΕΣ $U=0.50 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
- T2 = ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ $U=0.52 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
- Δ1 = ΔΑΠΕΔΟ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΜΘΧ
 $U=1 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
- O1 = ΣΤΕΓΗ $U=0.42 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
- A# = ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ
- E# = ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΜΟΝΩΤΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

Υπολογισμοί Θερμικών Απωλειών

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφαν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
T2	Δ	3.60	3.00	10.80	3.72	7.08	0.52	17.00	62.59
A1	Δ	1.20	2.20	2.64		2.64	2.75	17.00	123.4
T7	Δ	3.60	0.30	1.08		1.08	0.5	17.00	9.18
T2	B	3.00	3.00	9.00	3.18	5.82	0.52	17.00	51.45
T7	B	3.00	0.30	0.90		0.90	0.5	17.00	7.65
T1	B	0.76	3.00	2.28		2.28	0.52	17.00	20.16
Δ1	E	1	10.79	10.79		10.79	1	10.00	107.9
O1		1	10.79	10.79		10.79	0.42	17.00	77.04

Πίνακας 1.3 Επίπεδο: ΙΣΟΓΕΙΟ, Χώρος : Δωμάτιο-2

Απώλειες Θερμοπερατότητας Q₀ 459

Προσαύξηση λόγω προσανατολισμού ZH = 5

Προσαύξηση λόγω διακοπών ZD = 25

Συνολική Προσαύξηση ZD+ZH = 30 %

138

$D=Q_0/(F_{ges} \times \Delta t)= 459/ (92.3 \times 17) = 0.29$

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ Q_T=Q₀ x (1+ZD+ZH) 597

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΑΡΑΜΑΔΩΝ Q_L=ΣQ_{Ai} (Q_{Ai}=αxΣl_xR_xH_xΔt_xZΓ) = 93.64

Οπου:

Χαρακτηριστικός Αριθμός Κτιρίου H = 0.60

Χαρακτηριστικός Αριθμός Χώρου R (ή r) = 0.9

Συντελεστής Γωνιακών Παραθύρων ZΓ = 1

ΣΥΝΟΛΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ Q_{ολ} = Q_T + Q_L = 691

Είδος Επιφ.	Προσανατολισμός	Μήκος (m)	Ύψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Συνολ. Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφ. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
T2	B	1.90	3.00	5.70	5.70	2.01	3.69	0.52	17.00	32.62
A1	B	0.60	0.70	0.42	0.42		0.42	2.75	17.00	19.64
T7	B	1.90	0.30	0.57	0.57		0.57	0.5	17.00	4.85
T1	B	0.34	3.00	1.02	1.02		1.02	0.52	17.00	9.02
Δ1	E	1	6.85	6.85	6.85		6.85	1	10.00	68.50
O1		1	6.85	6.85	6.85		6.85	0.42	17.00	48.91

Πίνακας 1.3 Επίπεδο: ΙΣΟΓΕΙΟ, Χώρος : Λουτρό-1

Απώλειες Θερμοπερατότητας Q₀= 184

Προσαύξηση λόγω προσανατολισμού ZH = 5

Προσαύξηση λόγω διακοπών ZD = 30

Συνολική Προσαύξηση ZD+ZH = 35 %

64

$D=Q_0/(F_{ges} \times \Delta t)= 184/ (60.8 \times 17) = 0.18$

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ Q_T=Q₀ x (1+ZD+ZH) 248

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΑΡΑΜΑΔΩΝ Q_L=ΣQ_{Ai} (Q_{Ai}=αxΣI_xR_xH_xΔt_xZΓ) = 35.80

Χαρακτηριστικός Αριθμός Κτιρίου H =0.60

Χαρακτηριστικός Αριθμός Χώρου R (ή r) =0.9

Συντελεστής Γωνιακών Παραθύρων ZΓ =1

ΣΥΝΟΛΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ Q_{ολ} = Q_T + Q_L = 284

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Συνολ. Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφαν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
T2	A	3.40	3.00	10.20	10.20	1.77	8.43	0.52	17.00	74.52
T7	A	3.40	0.30	1.02	1.02		1.02	0.5	17.00	8.67
T1	A	0.25	3.00	0.75	0.75		0.75	0.52	17.00	6.63
T2	B	4.20	3.00	12.60	12.60	4.65	7.95	0.52	17.00	70.28
A1	B	1.20	2.20	2.64	2.64		2.64	2.75	17.00	123.4
T7	B	4.20	0.30	1.26	1.26		1.26	0.5	17.00	10.71
T1	B	0.25	3.00	0.75	0.75		0.75	0.52	17.00	6.63
Δ1	E	1	14.61	14.61	14.61		14.61	1	10.00	146.1
O1		1	14.61	14.61	14.61		14.61	0.42	17.00	104.3

Πίνακας 1.4 Επίπεδο: ΙΣΟΓΕΙΟ, Χώρος : Δωμάτιο-3

Απώλειες Θερμοπερατότητας Q₀ 551

Προσαύξηση λόγω προσανατολισμού ZH = 5

Προσαύξηση λόγω διακοπών ZD = 30

Συνολική Προσαύξηση ZD+ZH = 35 % 193

$$D=Q_0/(F_{ges} \times \Delta t)= 551/ (121.7 \times 17) = 0.27$$

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ Q_T=Q₀ x (1+ZD+ZH) 744

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΑΡΑΜΑΔΩΝ Q_L=ΣQ_{Ai} (Q_{Ai}=αxΣl_xR_xH_xΔt_xZΓ) = 93.64

Όπου

Χαρακτηριστικός Αριθμός Κτιρίου H =0.60

Χαρακτηριστικός Αριθμός Χώρου R (ή r) =0.9

Συντελεστής Γωνιακών Παραθύρων ZΓ =1

ΣΥΝΟΛΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ Q_{ολ} = Q_T + Q_L = 838

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Συνολ. Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφαν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. κ (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
T2	B	2.30	3.00	6.90	6.90	3.33	3.57	0.52	17.00	31.56
A1	B	1.20	2.20	2.64	2.64		2.64	2.75	17.00	123.4
T7	B	2.30	0.30	0.69	0.69		0.69	0.5	17.00	5.86
T2	Δ	2.90	3.00	8.70	8.70	2.52	6.18	0.52	17.00	54.63
T7	Δ	2.90	0.30	0.87	0.87		0.87	0.5	17.00	7.39
T1	Δ	0.55	3.00	1.65	1.65		1.65	0.52	17.00	14.59
T2	N	1.70	3.00	5.10	5.10	0.51	4.59	0.52	17.00	40.58
T7	N	1.70	0.30	0.51	0.51		0.51	0.5	17.00	4.33
E1	E	3.05	3.00	9.15	9.15		9.15	1.5	10.00	137.3
Δ1	E	1	10.12	10.12	10.12		10.12	1	10.00	101.2
O1		1	10.12	10.12	10.12		10.12	0.42	17.00	72.26

Πίνακας 1.5 Επίπεδο: ΙΣΟΓΕΙΟ, Χώρος : Δωμάτιο-1

Απώλειες Θερμοπερατότητας

$Q_0 = 593$

Προσαύξηση λόγω προσανατολισμού $ZH = 5$

Προσαύξηση λόγω διακοπών $ZD = 25$

Συνολική Προσαύξηση $ZD + ZH = 30\%$

178

$D = Q_0 / (F_{ges} \times \Delta t) = 593 / (87.0 \times 17) = 0.40$

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ $Q_T = Q_0 \times (1 + ZD + ZH) = 771$

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΑΡΑΜΑΔΩΝ $Q_L = \sum Q_{Ai} (Q_{Ai} = \alpha \times \sum l_i \times R_i \times H_i \times \Delta t_i \times Z_i) =$

93.64

Όπου:

Χαρακτηριστικός Αριθμός Κτιρίου $H = 0.60$

Χαρακτηριστικός Αριθμός Χώρου R (ή r) $= 0.9$

Συντελεστής Γωνιακών Παραθύρων $Z_i = 1$

ΣΥΝΟΛΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ $Q_{ολ} = Q_T + Q_L =$

865

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Συνολ. Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφαν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. k (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E	2.55	3.00	7.65	7.65		7.65	1.5	10.00	114.8
T2	A	1.05	3.00	3.15	3.15	1.26	1.89	0.52	17.00	16.71
A1	A	0.70	0.70	0.49	0.49		0.49	2.75	17.00	22.91
T7	A	1.05	0.30	0.32	0.32		0.32	0.5	17.00	2.72
T1	A	0.15	3.00	0.45	0.45		0.45	0.52	17.00	3.98
Δ1	E	1	2.67	2.67	2.67		2.67	1	10.00	26.70
O1		1	2.67	2.67	2.67		2.67	0.42	17.00	19.06

Πίνακας 1.6 Επίπεδο: ΙΣΟΓΕΙΟ, Χώρος : Λουτρό-2

Απώλειες Θερμοπερατότητας Q₀ 207

Προσαύξηση λόγω προσανατολισμού ZH=0

Προσαύξηση λόγω διακοπών ZD = 25

Συνολική Προσαύξηση ZD+ZH = 25 %

52

$$D=Q_0/(F_{ges} \times \Delta t)=207/ (27.4 \times 17) = 0.44$$

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ Q_T=Q₀ x (1+ZD+ZH) 259

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΑΡΑΜΑΔΩΝ Q_L=ΣQ_{Ai} (Q_{Ai}=αxΣl_xR_xH_xΔt_xZΓ) = 38.56

Χαρακτηριστικός Αριθμός Κτιρίου H = 0.60

Χαρακτηριστικός Αριθμός Χώρου R (ή r) =0.9

Συντελεστής Γωνιακών Παραθύρων ZΓ =1

ΣΥΝΟΛΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ Q_{ολ} = Q_T + Q_L = 297

Είδος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Συνολ. Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφαν. Υπολ. (m ²)	Συντελ. κ (Kcal/m ² hc)	Διαφορ. Θερμοκ. (°C)	Καθ. Απώλ. (Kcal/h)
E1	E	2.40	3.00	7.20	7.20	2.20	5.00	1.5	10.00	75.00
A1	E	1.00	2.20	2.20	2.20		2.20	2.75	10.00	60.50
E1	E	1.20	3.00	3.60	3.60		3.60	1.5	10.00	54.00
E1	E	1.50	3.00	4.50	4.50		4.50	1.5	10.00	67.50
E1	E	1.95	3.00	5.85	5.85		5.85	1.5	10.00	87.75
E1	E	1.55	3.00	4.65	4.65		4.65	1.5	10.00	69.75
T2	Δ	4.05	3.00	12.15	12.15	2.66	9.49	0.52	17.00	83.89
A1	Δ	1.20	1.20	1.44	1.44		1.44	2.75	17.00	67.32
T7	Δ	4.05	0.30	1.22	1.22		1.22	0.5	17.00	10.37
T2	N	3.50	3.00	10.50	10.50	3.25	7.25	0.52	17.00	64.09
A1	N	1.00	2.20	2.20	2.20		2.20	2.75	17.00	102.8
T7	N	3.50	0.30	1.05	1.05		1.05	0.5	17.00	8.92
T2	Δ	1.90	3.00	5.70	5.70	0.57	5.13	0.52	17.00	45.35
T7	Δ	1.90	0.30	0.57	0.57		0.57	0.5	17.00	4.85
T2	N	6.90	3.00	20.70	20.70	9.66	11.04	0.52	17.00	97.59
A1	N	1.70	2.20	3.74	3.74		3.74	2.75	17.00	174.8
A1	N	1.00	2.20	2.20	2.20		2.20	2.75	17.00	102.8
T7	N	6.90	0.30	2.07	2.07		2.07	0.5	17.00	17.60
T1	N	0.55	3.00	1.65	1.65		1.65	0.52	17.00	14.59
T2	A	5.75	3.00	17.25	17.25	7.98	9.27	0.52	17.00	81.95
A1	A	1.00	2.20	2.20	2.20		2.20	2.75	17.00	102.8
A1	A	2.00	1.20	2.40	2.40		2.40	2.75	17.00	112.2
T7	A	5.75	0.30	1.73	1.73		1.73	0.5	17.00	14.71
T1	A	0.55	3.00	1.65	1.65		1.65	0.52	17.00	14.59
E1	E	3.15	3.00	9.45	9.45		9.45	1.5	10.00	141.8
Δ1	E	1	69.16	69.16	69.16		69.16	1	10.00	691.6
O1		1	69.16	69.16	69.16		69.16	0.42	17.00	493.8

Πίνακας 1.7 Επίπεδο: ΙΣΟΓΕΙΟ, Χώρος : Σαλονοκουζίνα

Απώλειες Θερμοπερατότητας Q₀ 2863

Προσαύξηση λόγω προσανατολισμού ZH = -5

Προσαύξηση λόγω διακοπών ZD = 25

Συνολική Προσαύξηση ZD+ZH = 20 %

573

$$D=Q_0/(F_{ges} \times \Delta t)= 2863/ (559.3 \times 17) = 0.30$$

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ QT=Q₀ x (1+ZD+ZH)

3436

ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΑΡΑΜΑΔΩΝ QL=ΣQ_{Ai} (Q_{Ai}=αxΣl_xR_xH_xΔt_xZΓ) =

526.0

Όπου:

Χαρακτηριστικός Αριθμός Κτιρίου $H = 0.60$

Χαρακτηριστικός Αριθμός Χώρου R (ή r) $= 0.9$

Συντελεστής Γωνιακών Παραθύρων $Z\Gamma = 1$

ΣΥΝΟΛΟ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ $Q_{ολ} = Q_T + Q_L =$ 3962
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΧΩΡΩΝ (Kcal/h & KW)

1	ΔΩΜΑΤΙΟ-2	:	691
2	ΛΟΥΤΡΟ-1	:	284
3	ΔΩΜΑΤΙΟ-3	:	838
4	ΔΩΜΑΤΙΟ-1	:	865
5	ΛΟΥΤΡΟ-2	:	297
6	ΣΑΛΟΝΟΚΟΥΖΙΝΑ	:	3962

Συνολικές Απώλειες Κτιρίου : 6936 Kcal/h
Συνολικές Απώλειες Κτιρίου : 8,066 KW

1.2. Υπολογισμός Ψυκτικών Φορτίων

1.2.1. Εισαγωγή

Η παρούσα μελέτη έγινε σύμφωνα με την μεθοδολογία Carrier, ακολουθώντας επίσης τις οδηγίες της 2425/86 TOTEE και χρησιμοποιώντας και τα ακόλουθα βοηθήματα:

- α) Recknagel-Sprenger, Taschenbuch fuer Heizung und Klimatechnik
- β) VDI Kuehlstregeln, VDI 2078
- γ) Carrier Handbook of Air Conditioning System Design
- δ) Αερισμός και Κλιματισμός Κ. Λέφα

1.2.2. Παραδοχές και κανόνες υπολογισμών

Ακολουθώντας πιστά την Carrier, το ψυκτικό φορτίο (ή θερμικό κέρδος) ενός χώρου προκύπτει από το άθροισμα των φορτίων που οφείλονται στις ακόλουθες αιτίες:

1. Εξωτερικοί τοίχοι

$$Q_i = K \times A \times Dt_{ei}$$

όπου:

- Q_i: Το φορτίο κατά την ώρα i
- i: Οι ώρες της ημέρας
- K: Θερμική αγωγιμότητα τοίχου
- A: Το εμβαδόν της επιφάνειας του τοίχου
- Dt_{ei}: Η ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά για την ώρα i

Η ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά παίρνεται από πίνακες ανάλογα με το βάρος του τοίχου και τον προσανατολισμό του. Οι τιμές του πίνακα 1 διορθώνονται σύμφωνα με συντελεστή διόρθωσης (υπολογίζεται από τον πίνακα 4 σύμφωνα με την ημερήσια διακύμανση και τη διαφορά της εξωτερικής θερμοκρασίας στις 3μμ του υπολογιζόμενου μήνα από τη θερμοκρασία χώρου) και το χρώμα του τοίχου.

Για σκούρο χρώμα:

$$Dt_{ei} = (Dt_{em i} + D)$$

Για ενδιάμεσο χρώμα:

$$Dt_{ei} = 0.78 \times (Dt_{em i} + D) + 0.22 \times (Dt_{es i} + D)$$

Για ανοικτό χρώμα:

$$Dt_{ei} = 0.55 \times (Dt_{em i} + D) + 0.45 \times (Dt_{es i} + D)$$

όπου:

D: Ο συντελεστής διόρθωσης τοίχων

$D_{t_{emi}}$: Ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά ανάλογα με τον προσανατολισμό και το βάρος, για τοίχο εκτεθειμένο σε ήλιο

$D_{t_{esi}}$: Ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά από πίνακα, ανάλογα με το βάρος, για τοίχο σκιασμένο (Βόρειος προσανατολισμός)

Αν ο τοίχος είναι σκιασμένος, τότε το σκιασμένο τμήμα του τοίχου υπολογίζεται με ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά ($D_{t_{esi}} + D$) ενώ το υπόλοιπο τμήμα με την θερμοκρασιακή διαφορά που αναφέρθηκε παραπάνω δηλαδή:

$$Q_i = (K \times D_{t_{ei}} \times R_e) + (K \times (D_{t_{esi}} + D) \times R_{es})$$

όπου:

R_e : Επιφάνεια εκτεθειμένη στον ήλιο

R_{es} : Σκιασμένη επιφάνεια

2. Οροφές

Ο υπολογισμός των φορτίων από οροφές είναι αντίστοιχος με τον υπολογισμό των εξωτερικών τοίχων, χρησιμοποιώντας διαφορετικό πίνακα ισοδύναμων θερμοκρασιακών διαφορών.

3. Εσωτερικοί τοίχοι

Ο υπολογισμός των φορτίων από εσωτερικούς τοίχους προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της θερμικής αγωγιμότητας του τοίχου με το εμβαδόν της επιφάνειας του τοίχου και με την ισοδύναμη διαφορά θερμοκρασίας για κάθε ώρα.

$$Q_i = K \times A \times D_{t_i}$$

όπου:

Q_i : Το φορτίο κατά την ώρα i

i: Οι ώρες της ημέρας 8πμ-6μμ

K: Θερμική αγωγιμότητα τοίχου

A: Το εμβαδόν της επιφάνειας του τοίχου

D_{t_i} : Η ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά σε μη κλιματιζόμενους χώρους για την ώρα i

4. Δάπεδα

Τα φορτία από τα δάπεδα υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q = K \times A \times Dt$$

όπου:

Q: Το υπολογιζόμενο φορτίο

K: Η θερμική αγωγιμότητα του δαπέδου

A: Το εμβαδόν της επιφάνειας του δαπέδου

Dt: Η διαφορά της θερμοκρασίας του κλιματιζόμενου χώρου από τη θερμοκρασία εδάφους (θεωρείται σταθερή)

5. Ανοίγματα

Τα φορτία από τα ανοίγματα προκύπτουν από το άθροισμα των φορτίων από θερμική αγωγιμότητα και των φορτίων από ακτινοβολία.

$$Q_i = Q_{ki} + Q_{ai}$$

όπου:

Q_i: Το συνολικό φορτίο από τα ανοίγματα κατά την ώρα i

Q_{ki}: Το φορτίο λόγω θερμικής αγωγιμότητας κατά την ώρα i

Q_{ai}: Το φορτίο λόγω ακτινοβολίας κατά την ώρα i

Το φορτίο λόγω θερμικής αγωγιμότητας (Q_{ki}) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q_{ki} = K \times A \times D_{ti}$$

όπου:

i: Οι ώρες της ημέρας

K: Η θερμική αγωγιμότητα του ανοίγματος

A: Το εμβαδόν της επιφάνειας του ανοίγματος

D_{ti}: Η ισοδύναμη θερμοκρασιακή διαφορά για αγωγιμότητα ανοιγμάτων κατά την ώρα i.

Ο υπολογισμός της ισοδύναμης θερμοκρασιακής διαφοράς για αγωγιμότητα ανοιγμάτων (D_{ti}) αναφέρεται αναλυτικά στα γενικά στοιχεία της μελέτης.

Το φορτίο λόγω ακτινοβολίας προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της επιφάνειας του ανοίγματος με το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσα από κοινό τζάμι διορθωμένο κατά τους απαραίτητους συντελεστές:

$$Q_{ai} = (A \times D_i \times ES_{out\ i} \times ES_{in} \times S_1 \times S_2 \times (1 + (A_t \times 0.007 / 300))) \times (1 + ((19.5 - T_{adp}) \times 0.005 / 4))) + (A \times D_{es\ i} \times (1 - ES_{out\ i}) \times ES_{in} \times S_1 \times S_2 \times (1 + (A_t \times 0.007 / 300))) \times (1 + ((19.5 - T_{adp}) \times 0.005 / 4)))$$

όπου:

i: Οι ώρες της ημέρας 8πμ-6μμ

A: Το εμβαδόν της επιφάνειας του ανοίγματος

D_i: Το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσα από κοινό τζάμι, για τον δοθέντα

προσανατολισμό

D_{esi} : Το ηλιακό θερμικό κέρδος μέσα από κοινό σκιασμένο τζάμι (βόρειος προσανατολισμός)

E_{Souti} : Ο συντελεστής εξωτερικής σκίασης

E_{Sin} : Ο συνολικός συντελεστής για ηλιακό θερμικό κέρδος μέσα από τζάμια με ή χωρίς μηχανισμό σκίασης

S1: Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από το πλαίσιο του ανοίγματος. Έχει τιμή 1 για τζάμια με ξύλινο πλαίσιο και 1.17 για τζάμια χωρίς πλαίσιο ή μεταλλικό πλαίσιο

S2: Συντελεστής που εξαρτάται από την ύπαρξη ή όχι ομίχλης. Έχει τιμή 1 για περιοχή χωρίς ομίχλη και τιμή 0.90 για περιοχή με ομίχλη

At: Το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται το κτίριο

Tadr: Η τιμή του σημείου δρόσου

6. Φορτία φωτισμού

Τα θερμικά κέρδη λόγω φωτισμού υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$q_{\text{tot}} = q_{\text{c},\theta} + q_{\text{r},\theta} = (q_{\text{t},\theta} \times C_p) + R_p \times (r_0 \times q_{\text{r},\theta} + r_1 \times q_{\text{r},\theta-1} + \dots + r_{23} \times q_{\text{r},\theta-23})$$

όπου:

$q_{\text{t},\theta}$: $q_{\theta} \times L_c \times H_{\text{c},\theta}$

$q_{\text{r},\theta}$: $q_{\text{t},\theta} \times R_p$

q_{θ} : Φορτίο φωτισμού ανά ώρα θ

L_c : Συντελεστής φωτισμού

$H_{\text{c},\theta}$: Ετεροχρονισμός ανά ώρα θ

R_p, C_p : Ποσοστό ακτινοβολών και μεταγωγικών θερμικών κερδών.

r_0, r_1, \dots : Συντελεστές ακολουθίας ακτινοβολίας

7. Υπολογισμός φορτίων ατόμων

Το θερμικό φορτίο από τα άτομα διακρίνεται σε αισθητό και λανθάνον. Οι σχέσεις υπολογισμού είναι οι παρακάτω:

$$Q_{\text{ai}} = \sum_{j=1}^k F_{\text{aj}} \times N_{\text{ji}}$$

$$Q_{\text{li}} = \sum_{j=1}^k F_{\text{lj}} \times N_{\text{ji}}$$

όπου:

Q_{ai} : Το αισθητό φορτίο από τα άτομα την ώρα i

Q_{li} : Το λανθάνον φορτίο από τα άτομα την ώρα i

j : Ο τύπος βαθμού ενεργητικότητας των ατόμων σύμφωνα με τον πίνακα της

Carrier.

F_{aj} : Το αισθητό φορτίο ενός ατόμου βαθμού ενεργητικότητας j που εξαρτάται από την θερμοκρασία ξηρού βολβού του χώρου

F_{lj} : Το λανθάνον φορτίο ενός ατόμου βαθμού ενεργητικότητας j . Εξαρτάται από την θερμοκρασία ξηρού βολβού του χώρου

N_{ij} : Ο αριθμός των ατόμων βαθμού ενεργητικότητας j που βρίσκονται στο χώρο κατά την ώρα i

8. Φορτία συσκευών

Όπως το φορτίο από τα άτομα έτσι και το φορτίο από τις συσκευές διακρίνεται σε αισθητό και λανθάνον. Οι σχέσεις υπολογισμού είναι οι παρακάτω:

$$Q_a = \left(\sum_{j=1}^k F_{aj} \times N_j \right) + Q_1$$

$$Q_l = \left(\sum_{j=1}^k F_{lj} \times N_j \right) + Q_2$$

όπου:

Q_a : Το συνολικό αισθητό φορτίο από συσκευές

Q_l : Το συνολικό λανθάνον φορτίο από συσκευές

j : Ο τύπος της συσκευής σύμφωνα με τον πίνακα 7

F_{aj} : Το αισθητό φορτίο μίας συσκευής τύπου j

F_{lj} : Το λανθάνον φορτίο μίας συσκευής τύπου j

N_j : Ο αριθμός των συσκευών τύπου j που λειτουργούν στο χώρο

Q_1 : Συνολικό αισθητό φορτίο από συσκευές που δεν περιέχονται στους πίνακες

Q_2 : Συνολικό λανθάνον φορτίο από συσκευές που δεν περιέχονται στους πίνακες

9. Φορτία από χαραμάδες

Τα φορτία αυτά λαμβάνονται υπόψη μόνο όταν δεν υπάρχουν στο χώρο εναλλαγές αέρα από κλιματιστικές συσκευές και υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q_i = \left(\sum_{j=1}^n P_j \times a_j \times b \right) \times D t_i$$

όπου:

Q_i : Το συνολικό φορτίο από χαραμάδες την ώρα i

P_j : Η περίμετρος του ανοίγματος j

n : Ο αριθμός των ανοιγμάτων

a_j : Ο συντελεστής διείσδυσης του αέρα για το άνοιγμα j . Εξαρτάται από τον

τύπο του ανοίγματος

b: Συντελεστής που εξαρτάται από την έκθεση του κτιρίου σε ανέμους, το λόγο της επιφάνειας των εξωτερικών ανοιγμάτων προς την επιφάνεια των εσωτερικών ανοιγμάτων και τη θέση του ανοιγμάτων. Η τιμή του κυμαίνεται από 0.24 έως 1.6

D_{t_i}: Η διαφορά της εξωτερικής από την εσωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού κατά την ώρα i

10. Αερισμός

Ο υπολογισμός αυτός αφορά την εισαγωγή εξωτερικού αέρα για αερισμό των κλιματιζόμενων χώρων. Το φορτίο του αερισμού διακρίνεται σε αισθητό και σε λανθάνον, και υπολογίζεται από τους παρακάτω τύπους:

$$Q_{a_i} = 0.29 \times V \times n \times D_{t_i}$$

$$Q_{l_i} = 0.71 \times V \times n \times D_g$$

όπου:

Q_{a_i}: Το αισθητό φορτίο αερισμού την ώρα i

Q_{l_i}: Το λανθάνον φορτίο αερισμού την ώρα i

V: Ο όγκος του χώρου

n: Ο αριθμός εναλλαγών αέρα ανά ώρα

D_{t_i}: Η διαφορά της εξωτερικής από την εσωτερική θερμοκρασία ξηρού βολβού κατά την ώρα i

D_g: Η διαφορά της εξωτερικής από την εσωτερική απόλυτη υγρασία. Η διαφορά αυτή θεωρείται σταθερή για όλες τις ώρες υπολογισμού

1.2.3. Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται συγκεντρωτικά και αναλυτικά για όλες τις ώρες από 8 πμ μέχρι 6 μμ. Στα φύλλα υπολογισμών ανά χώρο τα αποτελέσματα πινακοποιούνται στις παρακάτω ομάδες:

1. Πίνακας Δομικών Στοιχείων, οι στήλες του οποίου είναι οι εξής:

Είδος Επιφάνειας (πχ. T= Τοίχος κλπ)

Προσανατολισμός

Μήκος (m)

Πλάτος (m)

Επιφάνεια (m²)

Αριθμός Όμοιων Επιφανειών

Συνολική Επιφάνεια (m²)

Αφαιρούμενη Επιφάνεια (m²)

Επιφάνεια Υπολογισμού (m²)

Συντελεστής Εσωτερικής Σκίασης

Ύπαρξη Εξωτερικής Σκίασης

2. Φορτία του παραπάνω πίνακα ανά επιφάνεια και ώρα (btu/h, w, ή kcal/h)

3. Πρόσθετα Φορτία ανά ώρα (btu/h, w, ή kcal/h)

Φωτισμού
Ατόμων
Συσκευών

4. Συνολικά Φορτία Χώρου ανά ώρα (kbtu/h, kw, ή Mcal/h)**5. Φορτία Αερισμού ανά ώρα (και μέγιστο) (kbtu/h, kw, ή kcal/h)**

α) Στην πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται οι γεωμετρικές διαστάσεις των στοιχείων, καθώς επίσης και ενδείξεις σχετικές με πιθανές σκιάσεις σε αυτά.

β) Στην δεύτερη ομάδα παρουσιάζονται τα ψυκτικά φορτία όπως υπολογίστηκαν για κάθε στοιχείο, σύμφωνα με τους παραπάνω κανόνες υπολογισμών 1-5.

γ) Η τρίτη ομάδα περιέχει τα φορτία που οφείλονται σε πρόσθετες αιτίες, δηλαδή στον φωτισμό, τα άτομα, συσκευές και χαραμάδες (κανόνες 6-9), και αναλύονται σε αισθητό, λανθάνον και συνολικό φορτίο.

δ) Στην τελευταία ομάδα παρουσιάζονται τα σύνολα των φορτίων ανά ώρα, και ξεχωριστά για αισθητό και λανθάνον, αλλά και συνολικά, καθώς επίσης και τα φορτία αερισμού.

Ανάλογη παρουσίαση έχουν και τα φύλλα υπολογισμών συστημάτων, στα οποία συγκεντρώνονται τα φορτία των χώρων που αντιστοιχούν στο σύστημα, αναλυόμενα στις διάφορες αιτίες. Στα φύλλα αυτά εμφανίζεται και ο αερισμός. Τέλος, οι συντελεστές σκίασης παρουσιάζονται σε ξεχωριστά φύλλα.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΜΕΓ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ(°C)	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ(°C)
21 ΙΟΥΝ.	30,4	9,1
23 ΙΟΥΛ.	32.0	8,9
24 ΑΥΓ.	31.5	8,5

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ(%): 50

ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%): 54

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C):26

ΔΙΑΦΟΡΑ Τ ΕΞΩΤ.- Τ ΜΗ ΚΛΙΜ. ΧΩΡΩΝ (°C): 5

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΚΤΙΡΙΟΥ (1 - 15):1

ΤΥΠΙΚΟ ΥΨΟΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ (m): 3

ΣΥΣΤ. ΜΟΝΑΔΩΝ: WATT

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ: CARRIER

Τυπικά στοιχεία:

- T7 = ΔΟΚΟΙ / ΚΟΛΩΝΕΣ $U=0.50 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
- T2 = ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ $U=0.52 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
- Δ1 = ΔΑΠΕΔΟ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΟΝΩΜΕΝΟ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΜΟΧ $U=1 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
- O1 = ΣΤΕΓΗ $U=0.42 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$
- A# = ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ
- E# = ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΜΟΝΩΤΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

ΕΠΙΠΕΔΟ: ΙΣΟΓΕΙΟ, ΧΩΡΟΣ: ΔΩΜΑΤΙΟ-2

Είδ. Επιφ.	Προσανατολισμός	k (Kcal/m ² hC)	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Αριθ. Επιφ.	Συν. Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφ. Υπολ. (m ²)
T2	Δ	0.52	3.60	3.00	10.80	1	10.80	3.72	7.08
A1	Δ	2.75	1.20	2.20	2.64	1	2.64		2.64
T7	Δ	0.5	3.60	0.30	1.08	1	1.08		1.08
T2	Β	0.52	3.00	3.00	9.00	1	9.00	3.18	5.82
T7	Β	0.5	3.00	0.30	0.90	1	0.90		0.90
T1	Β	0.55	0.76	3.00	2.28	1	2.28		2.28
Δ1	Ε	1	1	10.79	10.79	1	10.79		10.79
O1		0.42	1	10.79	10.79	1	10.79		10.79

Πίνακας 2.1 Υπολογισμός επιφανειών χώρου.

Είδ. Επιφ.	Επιφ. Υπολ. (m ²)	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
T2	7.08	260	260	261	263	266	269	272	275	279	283	288
A1	2.64	77	97	116	141	162	228	336	463	580	657	670
T7	1.08	40	40	40	40	41	41	41	42	43	43	44
T2	5.82	68	67	66	66	65	65	65	66	66	67	68
T7	0.90	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11
T1	2.28	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	27
Δ1	10.79	-74	-62	-50	-36	-23	-8	6	13	6	1	-4
O1	10.79	106	106	105	105	104	104	103	103	103	103	103

Πίνακας 2.2 Φορτία Ανα Επιφάνεια

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Φωτισμός	216	194	173	173	173	216	216	216	216	216	216
Άτομα (Αισθητό)	70	63	56	56	56	63	70	70	70	70	70
Άτομα (Λανθάνον)	45	41	36	36	36	41	45	45	45	45	45
Άτομα (Σύνολο)	115	104	92	92	92	104	115	115	115	115	115
Συσκευές (Αισθητό)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Συσκευές (Λανθάνον)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Συσκευές (Σύνολο)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

Πίνακας 2.3 Πρόσθετα Φορτία Ανα Ωρα

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.92	0.93	0.93	0.97	1.01	1.14	1.27	1.41	1.52	1.60	1.62
Λανθάνον	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Σύνολο	0.97	0.97	0.97	1.00	1.04	1.18	1.32	1.45	1.57	1.65	1.66

Πίνακας 2.4 Συνολικά Φορτία Ανα Ωρα (KW)

ΕΠΙΠΕΔΟ: ΙΣΟΓΕΙΟ, ΧΩΡΟΣ: ΔΩΜΑΤΙΟ-3

Είδ. Επιφ.	Προσανατολισμός	k (Kcal/m ² h c)	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Αριθ. Επιφ.	Συν. Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφ. Υπολ. (m ²)
T2	A	0.52	3.40	3.00	10.20	1	10.20	1.77	8.43
T7	A	0.5	3.40	0.30	1.02	1	1.02		1.02
T1	A	0.55	0.25	3.00	0.75	1	0.75		0.75
T2	B	0.52	4.20	3.00	12.60	1	12.60	4.65	7.95
A1	B	2.75	1.20	2.20	2.64	1	2.64		2.64
T7	B	0.5	4.20	0.30	1.26	1	1.26		1.26
T1	B	0.55	0.25	3.00	0.75	1	0.75		0.75
Δ1	E	1	1	14.61	14.61	1	14.61		14.61
O1		0.42	1	14.61	14.61	1	14.61		14.61

Πίνακας 2.5 Υπολογισμός επιφανειών χώρου

Είδ. Επιφ.	Επιφ. Υπολ. (m ²)	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
T2	8.43	309	309	311	314	317	320	324	328	332	337	342
T7	1.02	37	37	38	38	38	39	39	40	40	41	41
T1	0.75	28	28	28	28	28	28	29	29	30	30	30
T2	7.95	92	91	91	90	89	89	89	89	90	92	93
A1	2.64	53	74	94	119	139	159	169	182	185	188	200
T7	1.26	15	14	14	14	14	14	14	14	14	15	15
T1	0.75	9	9	9	8	8	8	8	8	9	9	9
Δ1	14.61	-100	-84	-68	-49	-31	-11	8	17	8	1	-6
O1	14.61	144	143	142	142	141	140	140	140	140	140	140

Πίνακας 2.6 Φορτία Ανα Επιφάνεια

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Φωτισμός	216	194	173	173	173	216	216	216	216	216	216
Άτομα (Αισθητό)	70	63	56	56	56	63	70	70	70	70	70
Άτομα (Λανθάνον)	45	41	36	36	36	41	45	45	45	45	45
Άτομα (Σύνολο)	115	104	92	92	92	104	115	115	115	115	115
Συσκευές (Αισθητό)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125
Συσκευές (Λανθάνον)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Συσκευές (Σύνολο)	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

Πίνακας 2.7 Φορτία Ανα Ωρα

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	1.00	1.01	1.01	1.06	1.10	1.19	1.23	1.26	1.26	1.26	1.28
Λανθάνον	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Σύνολο	1.04	1.05	1.05	1.09	1.13	1.23	1.28	1.30	1.30	1.31	1.32

Πίνακας 2.8 Συνολικά Φορτία Ανα Ώρα (KW)

ΕΠΙΠΕΔΟ: ΙΣΟΓΕΙΟ, ΧΩΡΟΣ: ΔΩΜΑΤΙΟ-1

Είδ. Επιφ.	Προσανατολισμός	k (Kcal/m ² hc)	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Αριθ. Επιφ.	Συν. Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφ. Υπολ. (m ²)
T2	B	0.52	2.30	3.00	6.90	1	6.90	3.33	3.57
A1	B	2.75	1.20	2.20	2.64	1	2.64		2.64
T7	B	0.5	2.30	0.30	0.69	1	0.69		0.69
T2	Δ	0.52	2.90	3.00	8.70	1	8.70	2.52	6.18
T7	Δ	0.5	2.90	0.30	0.87	1	0.87		0.87
T1	Δ	0.55	0.55	3.00	1.65	1	1.65		1.65
T2	N	0.52	1.70	3.00	5.10	1	5.10	0.51	4.59
T7	N	0.5	1.70	0.30	0.51	1	0.51		0.51
E1	E	1.5	3.05	3.00	9.15	1	9.15		9.15
Δ1	E	1	1	10.12	10.12	1	10.12		10.12
O1		0.42	1	10.12	10.12	1	10.12		10.12

Πίνακας 2.9 Υπολογισμός επιφανειών χώρου.

Είδ. Επιφ.	Επιφ. Υπολ. (m ²)	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
T2	3.57	41	41	41	40	40	40	40	40	41	41	42
A1	2.64	53	74	94	119	139	159	169	182	185	188	200
T7	0.69	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
T2	6.18	227	227	228	230	232	235	237	240	244	247	251
T7	0.87	32	32	32	32	33	33	33	34	34	35	35
T1	1.65	61	61	61	61	62	63	63	64	65	66	67
T2	4.59	99	99	99	99	100	100	101	102	104	105	107
T7	0.51	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12
E1	9.15	-94	-79	-64	-46	-29	-10	8	16	8	1	-5
Δ1	10.12	-69	-58	-47	-34	-21	-8	6	12	6	1	-4
O1	10.12	100	99	99	98	98	97	97	97	97	97	97

Πίνακας 3.1 Φορτία Ανα Επιφάνεια

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Φωτισμός	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216	216
Άτομα (Αισθητό)	140	126	112	112	112	126	140	140	140	140	140
Άτομα (Λανθάνον)	90	81	72	72	72	81	90	90	90	90	90
Άτομα (Σύνολο)	230	207	184	184	184	207	230	230	230	230	230

Πίνακας 3.2 Πρόσθετα Φορτία Ανα Ωρα

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.75	0.77	0.79	0.85	0.90	1.01	1.06	1.09	1.09	1.09	1.10
Λανθάνον	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Σύνολο	0.80	0.81	0.83	0.88	0.94	1.05	1.11	1.14	1.13	1.13	1.14

Πίνακας 3.3 Συνολικά Φορτία Ανα Ώρα (KW)

ΕΠΙΠΕΔΟ: ΙΣΟΓΕΙΟ, ΣΑΛΟΝΟΚΟΥΖΙΝΑ

Είδ. Επιφ.	Προσανατολισμός	k (Kcal/m ² hc)	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Αριθ. Επιφ.	Συν. Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφ. Υπολ. (m ²)
E1	E	1.5	2.40	3.00	7.20	1	7.20	2.20	5.00
A1	E	2.75	1.00	2.20	2.20	1	2.20		2.20
E1	E	1.5	1.20	3.00	3.60	1	3.60		3.60
E1	E	1.5	1.50	3.00	4.50	1	4.50		4.50
E1	E	1.5	1.95	3.00	5.85	1	5.85		5.85
E1	E	1.5	1.55	3.00	4.65	1	4.65		4.65
T2	Δ	0.52	4.05	3.00	12.15	1	12.15	2.66	9.49
A1	Δ	2.75	1.20	1.20	1.44	1	1.44		1.44
T7	Δ	0.5	4.05	0.30	1.22	1	1.22		1.22
T2	N	0.52	3.50	3.00	10.50	1	10.50	3.25	7.25
A1	N	2.75	1.00	2.20	2.20	1	2.20		2.20
T7	N	0.5	3.50	0.30	1.05	1	1.05		1.05
T2	Δ	0.52	1.90	3.00	5.70	1	5.70	0.57	5.13
T7	Δ	0.5	1.90	0.30	0.57	1	0.57		0.57
T2	N	0.52	6.90	3.00	20.70	1	20.70	9.66	11.04
A1	N	2.75	1.70	2.20	3.74	1	3.74		3.74
A1	N	2.75	1.00	2.20	2.20	1	2.20		2.20
T7	N	0.5	6.90	0.30	2.07	1	2.07		2.07
T1	N	0.55	0.55	3.00	1.65	1	1.65		1.65
T2	A	0.52	5.75	3.00	17.25	1	17.25	7.98	9.27
A1	A	2.75	1.00	2.20	2.20	1	2.20		2.20

Είδ. Επιφ.	Προσανατολισμός	k (Kcal/m ² hc)	Μήκος (m)	Υψος ή Πλάτος (m)	Επιφ. (m ²)	Αριθ. Επιφ.	Συν. Επιφ. (m ²)	Αφαιρ. Επιφ. (m ²)	Επιφ. Υπολ. (m ²)
A1	A	2.75	2.00	1.20	2.40	1	2.40		2.40
T7	A	0.5	5.75	0.30	1.73	1	1.73		1.73
T1	A	0.55	0.55	3.00	1.65	1	1.65		1.65
E1	E	1.5	3.15	3.00	9.45	1	9.45		9.45
Δ1	E	1	1	69.16	69.16	1	69.16		69.16
O1		0.42	1	69.16	69.16	1	69.16		69.16

Είδ. Επιφ.	Επιφ. Υπολ. (m ²)	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
E1	5.00	-51	-43	-35	-25	-16	-6	4	9	4	1	-3
A1	2.20	-41	-35	-28	-20	-13	-5	4	7	4	1	-2
E1	3.60	-37	-31	-25	-18	-11	-4	3	6	3	1	-2
E1	4.50	-46	-39	-31	-23	-14	-5	4	8	4	1	-3
E1	5.85	-60	-50	-41	-29	-18	-7	5	10	5	1	-3
E1	4.65	-48	-40	-32	-23	-15	-5	4	8	4	1	-3
T2	9.49	348	348	350	353	356	360	365	369	374	380	386
A1	1.44	42	53	63	77	88	124	183	252	316	358	365
T7	1.22	45	45	45	45	46	46	47	47	48	49	50
T2	7.25	157	156	156	157	158	159	160	162	164	166	168
A1	2.20	35	71	121	181	236	275	290	284	268	247	232
T7	1.05	23	23	23	23	23	23	23	23	24	24	24
T2	5.13	188	188	189	191	193	195	197	200	202	205	208
T7	0.57	21	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23
T2	11.04	239	238	238	239	240	241	243	246	249	253	256
A1	3.74	59	121	206	308	400	467	493	483	456	420	394
A1	2.20	35	71	121	181	236	275	290	284	268	247	232
T7	2.07	45	45	45	45	45	45	46	46	47	47	48
T1	1.65	36	36	36	36	36	36	36	37	37	38	38
T2	9.27	340	340	342	345	348	352	356	361	366	371	377
A1	2.20	356	427	458	443	404	391	368	363	345	321	308
A1	2.40	389	466	499	483	441	426	401	396	376	350	336
T7	1.73	63	64	64	64	65	66	66	67	68	69	70
T1	1.65	61	61	61	61	62	63	63	64	65	66	67
E1	9.45	-97	-81	-66	-48	-30	-11	8	16	8	1	-5
Δ1	69.16	-472	-396	-320	-232	-145	-52	40	80	40	7	-26
O1	69.16	681	678	674	671	668	665	663	661	661	661	663

Πίνακας 3.5 Φορτία Ανα Επιφάνεια

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Φωτισμός	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
Άτομα (Αισθητό)	210	189	168	168	168	189	210	210	210	210	210
Άτομα (Λανθάνον)	135	122	108	108	108	122	135	135	135	135	135
Άτομα (Σύνολο)	345	311	276	276	276	311	345	345	345	345	345
Συσκευές (Αισθητό)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Συσκευές (Λανθάνον)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Συσκευές (Σύνολο)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

Πίνακας 3.6 Πρόσθετα Φορτία Ανα Ωρα

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	2.96	3.33	3.67	4.04	4.34	4.76	5.04	5.16	5.08	4.96	4.85
Λανθάνον	0.14	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Σύνολο	3.09	3.45	3.78	4.15	4.45	4.89	5.17	5.30	5.21	5.09	4.98

Πίνακας 3.7 Συνολικά Φορτία Ανα Ωρα (KW)

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα (KW)

ΕΠΙΠΕΔΟ: ΙΣΟΓΕΙΟ, ΧΩΡΟΣ: ΔΩΜΑΤΙΟ-2

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.92	0.93	0.93	0.97	1.01	1.14	1.27	1.41	1.52	1.60	1.62
Λανθάνον	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Σύνολο	0.97	0.97	0.97	1.00	1.04	1.18	1.32	1.45	1.57	1.65	1.66

Πίνακας 3.8 Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα (KW)

ΕΠΙΠΕΔΟ: ΙΣΟΓΕΙΟ, ΧΩΡΟΣ: ΔΩΜΑΤΙΟ-3

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	1.00	1.01	1.01	1.06	1.10	1.19	1.23	1.26	1.26	1.26	1.28
Λανθάνον	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Σύνολο	1.04	1.05	1.05	1.09	1.13	1.23	1.28	1.30	1.30	1.31	1.32

Πίνακας 3.9 Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα (KW)

ΕΠΙΠΕΔΟ: ΙΣΟΓΕΙΟ, ΧΩΡΟΣ: ΔΩΜΑΤΙΟ-1

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	0.75	0.77	0.79	0.85	0.90	1.01	1.06	1.09	1.09	1.09	1.10
Λανθάνο ν	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Σύνολο	0.80	0.81	0.83	0.88	0.94	1.05	1.11	1.14	1.13	1.13	1.14

Πίνακας 4 Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα (KW)

ΕΠΙΠΕΔΟ: ΙΣΟΓΕΙΟ, ΧΩΡΟΣ: ΣΑΛΟΝΟΚΟΥΖΙΝΑ

Είδος Φορτίου	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ
Αισθητό	2.96	3.33	3.67	4.04	4.34	4.76	5.04	5.16	5.08	4.96	4.85
Λανθάνον	0.14	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Σύνολο	3.09	3.45	3.78	4.15	4.45	4.89	5.17	5.30	5.21	5.09	4.98

Πίνακας 4.1 Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα (KW)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος (2004). Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα
2. M, H. Dickson & M. Fanelli, What is Geothermal Energy? : CNR, Pisa Italy
3. Ellis, A.J. & Mahon, W.A.J., (1977), Chemistry and Geothermal Systems. Academic Press, London
4. Eliasson E.T. (2001), «Power Generation from High-Enthalpy Geothermal Resources». Geo-Heat Center Bulletin Vol. 22, No. 2, p. 26-34
5. Lindal B. (1992), Review of industrial applications of geothermal energy and future considerations. Geothermics Vol. 21, Issues 5-6, p. 591-604
6. Lund J., Freeston D, Boyd T. (2005), Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review. Geothermics Vol. 34, Issue 6, p. 691-727
7. Barbier, E. (1997), Nature and technology of geothermal energy: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1, 1-69
8. Coudert, J.M. et Jaudin, F. (1988), French experience in geothermal energy. Geothermics, 17, 195-204
9. Gudmunsson, J., and Lund, J.W. (1985), Direct uses of earth heat. Energy research, 9, 345-375
10. Armstead, H.C.H. (1983), Geothermal Energy. Spon LTD, London, pp. 404
11. Barbier, E. (2002), Geothermal energy technology and current status: an overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6, 3-65
12. Armstead, H.C.H. (1983), Geothermal Energy. Spon LTD, London, pp. 404
13. Brower, M. (1997), Cool Energy: Renewable Solutions to Environmental Problems. MIT Press,
14. Hutterer, G. W. (2001), The status of world geothermal power generation 1995 2000. Geothermics, 30, 1-27
15. Lund, J.W., and Freeston, D.H. (2001), World-wide direct uses of geothermal energy 2000. Geothermics, 30, 29-68
16. Marshall, T. and Braitwaite, W.R. (1973), Corrosion control in geothermal systems. Unesco 1973, Geothermal Energy, 151-160
17. Rylen, D.J. (1980), Analysis of the flow in the reservoir-well system. In the Sourcebook on the Production of Electricity from Geothermal Energy, (Ed. J. Kestin) DOE/RA-28320-2
18. White, D.E. (1973), Characteristics of geothermal resources. In Geothermal Energy (Kruger, P. and Otte, C.,eds). Stanford University Press, Stanford, pp. 69-94
19. White, D.E.(1965), Geothermal Energy. U.S.G.S. Circular 519, pp. 17
20. Σελλούντος, Β.Η.(1996) Θέρμανση-Κλιματισμός. Εκδόσεις Δορυφόρος, Αθήνα
21. Φυτίκας, Μ. (1991), Μαθήματα Γεωθερμίας. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη
22. Dickson, M.H. and Fanelli, M.(1995), Geothermal Energy. Wiley, John & Sons
23. DiPippo, R. (2002), Geothermal Energy As a Source of electricity: A Worldwide Survey of the Design and Operation of Geothermal Power Plants (2002).
24. Boyle, G. Renewable (1998), Energy: Power for a Sustainable Future. Oxford University Press, Oxford

25. Brower, M. Cool (1997), Energy: Renewable Solutions to Environmental Problems. MIT Press
26. Twidell, J. and Weir, T. (1996), Renewable Energy Resources. E & FN Spon, London

Σελίδες στο διαδίκτυο:

1. EERE – Energy Efficiency and Renewable Energy www.eere.energy.gov
2. EGEC – European Geothermal Energy Council www.egec.net
3. Geo-Heat Center <http://geoheat.oit.edu/>
4. GRC – Geothermal Resources Council www.geothermal.org/
5. IGA – International Geothermal Association <http://iga.igg.cnr.it/index.php>
6. International Energy Agency: <http://www.iea.org/>
7. International Ground Source Heat Pump: <http://www.igshpa.okstate.edu/>
8. NREL – National Renewable Energy Laboratory www.nrel.gov/learning/
9. GEA - Geothermal Energy Association <http://www.geo-energy.org/>
10. Geothermal Exchange www.the-gx.com/main.asp
11. Geothermics. Elsevier, UK <http://www.elsevier.com/locate/geothermics>
12. Renewable Energy, Elsevier Science
<http://www.energia.com.inca/publications/store/9/6/9/>
13. Renewable Energy World, James & James publication
<http://www.jxj.com/magsandj/rew/index.html>
14. IGA - http://www.geothermal-energy.org/319_.html