

**«ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΒΑΘΟΥΣ
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ»**



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Οι σπουδαστές :
Μοσκοφόπουλος Γεώργιος
Λασπίτας Παναγιώτης

Ο επιβλέπων καθηγητής :
Δρ. Χασάπης Δ. Δημήτριος

ΣΕΡΡΕΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

Πρόλογος

Στην περίοδο που διανύουμε, η οικονομική κρίση σε συνδυασμό με την ακατάπαυστη εξάντληση των ενεργειακών πόρων και τη συνεχή μόλυνση του περιβάλλοντος, έχουν καταστήσει τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πιο επιτακτική από ποτέ.

Μια άκρως ανανεώσιμη, πλήρως εναλλακτική και φιλική προς το περιβάλλον μορφή ενέργειας, με ποικίλες εφαρμογές σε αρκετές χώρες του εξωτερικού και με συνεχώς αυξανόμενες εφαρμογές στην πατρίδα μας, είναι και η αβαθής γεωθερμική ενέργεια.

Το αντικείμενο αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η ενδοδαπέδια θέρμανση και ο δροσισμός κατοικίας με χρήση γεωθερμικής ενέργειας, αβαθούς γεωθερμίας. Κατά την ανάπτυξη του αντικειμένου δώσαμε το ιστορικό και τις γενικές αρχές της Γεωθερμίας με έμφαση στην Αβαθή Γεωθερμία, τα πλεονεκτήματά της σε σχέση με άλλες συμβατικές μεθόδους θέρμανσης – ψύξης και τους τρόπους αξιοποίησής της. Επίσης αναπτύξαμε τις γενικές αρχές και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται από τους Μηχανολόγους Μηχανικούς για την προμελέτη, μελέτη και την τελική εγκατάσταση ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας για την θέρμανση και τον δροσισμό κατοικιών, παρουσιάζοντας και την πρακτική εφαρμογή της στην θέρμανση και δροσισμό μιας συγκεκριμένης κατοικίας στα Μουδανιά της Χαλκιδικής με σύστημα αβαθούς γεωθερμίας κλειστού συστήματος με κατακόρυφο γεωεναλλάκτη.

Περιεχόμενα

•Πρόλογος	1
•Περιεχόμενα	2
•Κεφάλαιο 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	
1.1 Η έννοια της γεωθερμίας	5
1.2 Ιστορική αναδρομή	7
1.3 Η γεωθερμία στην Ελλάδα	11
1.4 Εφαρμογές της γεωθερμίας	13
1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της Γεωθερμίας	14
•Κεφάλαιο 2 : ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	
2.1 Σύστημα αβαθούς γεωθερμίας με γεωθερμική αντλία θερμότητας και αρχή λειτουργίας του	16
2.2 Ταξινόμηση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας	18
2.3 Ο ρόλος του εδάφους και υπεδάφους στην αβαθή γεωθερμία	28
•Κεφάλαιο 3 : ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	
3.1 Ορισμός αντλίας θερμότητας	34
3.2 Η ιδανική λειτουργία αντλίας θερμότητας	35
3.3 Κατηγοριοποίηση των αντλιών θερμότητας	36
3.4 Η πραγματική λειτουργία αντλίας θερμότητας του εμπορίου σε σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Περιγραφή του ψυκτικού κύκλου	38

3.5 Ο ρόλος του δοχείου αδράνειας σε σύνδεση με την αντλία θερμότητας	44
3.6 Τα ψυκτικά ρευστά, (εργαζόμενα μέσα), που χρησιμοποιούνται στις αντλίες θερμότητας	45
•Κεφάλαιο 4 : ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗ	
4.1 Βασικές αρχές εγκατάστασης του συστήματος	52
4.2 Ποσοτικές μέθοδοι υπολογισμού και διαστασιολόγησης κατακόρυφου γεωεναλλάκτη	53
4.3 Στοιχεία μετάδοσης θερμότητας με αγωγή και συναγωγή για τον υπολογισμό της θερμοροής του γεωεναλλάκτη	57
•Κεφάλαιο 5: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ	
5.1 Γενικά για τις θερμικές απώλειες κατοικίας	72
5.2. Μέθοδοι υπολογισμού θερμικών αναγκών κτιρίων	73
5.3. Μεθοδολογία εφαρμογής μεθόδου DIN 4701/1977 για τον υπολογισμό θερμικών αναγκών διώροφης κατοικίας	73
•Κεφάλαιο 6: ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	
6.1 Γενικά για την ενδοδαπέδια θέρμανση	82
6.2 Πλεονεκτήματα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης	83

6.3 Μελέτη εγκατάστασης ενδοδαπέδιας θέρμανσης	86
6.4 Τα βήματα της εγκατάστασης της ενδοδαπέδιας θέρμανσης	91
6.5 Τελικό στάδιο συνδέσεων για την λειτουργία της γεωθερμικής εγκατάστασης	99

•Κεφάλαιο 7: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

7.1 Γενικά	108
7.2 Συγκριτικός υπολογισμός κόστους εγκατάστασης σε κατοικία 400 m ²	108
7.3 Αναλυτικός συγκριτικός υπολογισμός κόστους λειτουργίας	110

• Κεφάλαιο 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ, ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

113

• ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

115

• ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

117

Κεφάλαιο 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

1.1 Η έννοια της γεωθερμίας

Γεωθερμία ή **Γεωθερμική ενέργεια** ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που ρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια, είτε μέσω ηφαιστειακών εκροών, είτε μέσω ρηγμάτων του υπεδάφους, από τα οποία αναβλύζουν ατμοί και θερμό νερό.

Ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών που ανέρχονται στην επιφάνεια, η γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως:

- υψηλής ενθαλπίας (για θερμοκρασίες άνω των 150°C), η οποία χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχετικά μεγάλες μονάδες με την διαδικασία του κύκλου Rankin.
- μέσης ενθαλπίας (για θερμοκρασίες 100 -150°C), η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση ή ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων και σε μικρές μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού με εργαζόμενο μέσο φρέον.
- χαμηλής ενθαλπίας (για θερμοκρασίες μικρότερες από 100°C), η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση κατοικιών και γενικά χώρων, θέρμανση θερμοκηπίων, ιχθυοκαλλιέργειες και παραγωγή γλυκού νερού από την θάλασσα με την διαδικασία της αντίστροφης ώσμωσης.

Επεκτείνοντας την ευρύτερη έννοια της γεωθερμίας, αναφέρεται και η εκμετάλλευση της ενέργειας που συσσωρεύεται σε μικρά βάθη του φλοιού της Γης (σχεδόν επιφανειακά) και ονομάζεται **αβαθής γεωθερμία**. Με αυτόν τον όρο χαρακτηρίζεται η ενέργεια των γεωλογικών σχηματισμών και των ρευστών, επιφανειακών και υπογείων, που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό, έχουν δηλαδή θερμοκρασίες οι οποίες δεν ξεπερνούν τους 25°C.

Η αβαθής (ή επιφανειακή) γεωθερμία είναι βασισμένη στη συνεχόμενη ηλιακή ακτινοβολία του ήλιου. Η μέση τιμή ακτινοβολίας του ήλιου, η οποία απορροφάται από το έδαφος, ανέρχεται στις 1500kWh/m² ετησίως, ενώ η γεωθερμική διαθέσιμη ενέργεια ή δυναμικότητα, λ.χ. για τη Γερμανία, δεν ξεπερνά το 0,6 kWh/m² ετησίως. Με απλά λόγια αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια την οποία απορροφά ένα τέτοιο γεωθερμικό σύστημα είναι αποτέλεσμα της ηλιακής ενέργειας και όχι της γεωθερμικής ενέργειας η οποία προέρχεται από τα βάθη της γης.

Χαρακτηριστικό πλεονέκτημα της αβαθούς γεωθερμίας είναι η σταθερότητα της θερμοκρασίας του εδάφους καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, ανεξαρτήτως από τις κλιματολογικές μεταβολές. Η διατήρηση της θερμοκρασίας αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ο ήλιος ζεσταίνει την επιφάνεια του εδάφους, το οποίο απορροφά στο βάθος την θερμότητα που του παρέχεται, ενώ στη διάρκεια του χειμώνα η ίδια επιφάνεια ψύχεται και αφαιρεί θερμότητα από εκείνη που είχε συσσωρευτεί στο υπέδαφος. Αυτό όμως γίνεται πολύ αργά και με μεγάλη διαφορά φάσης, έτσι ώστε ενώ στην επιφάνεια του εδάφους η θερμοκρασία παρουσιάζει σημαντική διακύμανση, όσο προχωρούμε σε βάθος η διακύμανση αυτή στη διάρκεια ενός έτους γίνεται μικρότερη και ουσιαστικά κάτω από τα 5 μέτρα σχεδόν εξαφανίζεται. Έτσι αποκαθίσταται μια κατάσταση ισορροπίας στο επίπεδο 18-20°C. Σε βόρειες χώρες, όπως η Σουηδία ή ο Καναδάς αυτή η ισορροπία αποκαθίσταται σε χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας.

Λόγω της πολύ μεγάλης θερμοχωρητικότητας του υπεδάφους η αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια, όπως εξηγήθηκε παραπάνω, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση κατοικιών και γενικά χώρων, όπου ζούμε και εργαζόμαστε. Η δυνατότητα αυτή έχει εξαιρετικό ενδιαφέρον, γιατί εξοικονομείται έτσι σημαντική ποσότητα καυσίμου για την θέρμανση κατοικημένων χώρων προς όφελος της οικονομίας, αλλά και του περιβάλλοντος, αφού όπως ξέρουμε η χρήση του οποιουδήποτε καυσίμου οδηγεί αναπόφευκτα και σε ατμοσφαιρική ρύπανση.

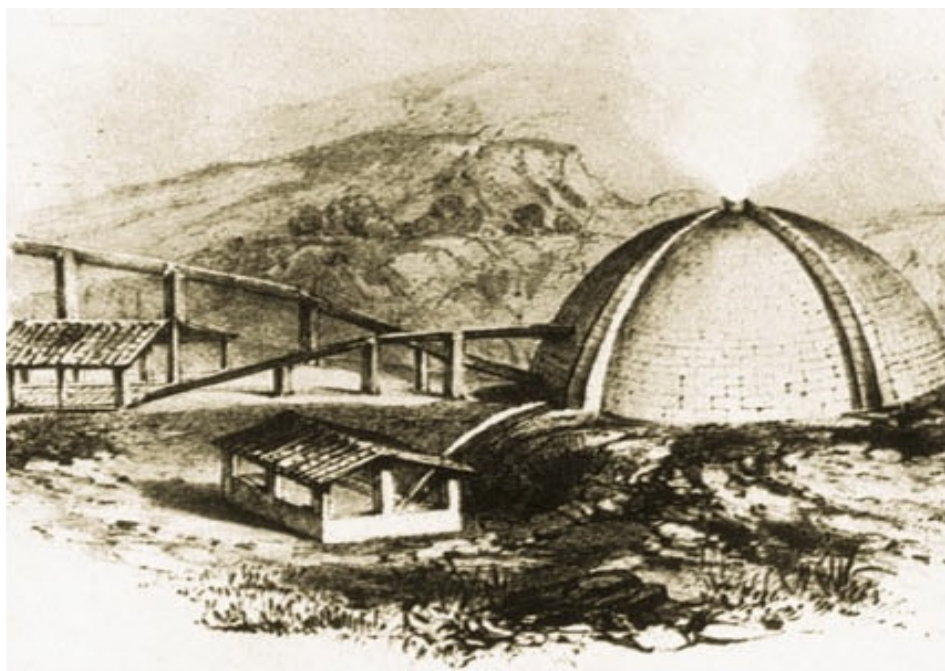
1.2 Ιστορική αναδρομή

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

Οι πρώτες μετρήσεις με θερμόμετρο έγιναν κατά πάσα πιθανότητα το 1740, σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας (Bullard, 1965). Ήδη από το 1870, για τη μελέτη της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της Γης, χρησιμοποιούνταν κάποιες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι, ενώ η θερμική κατάσταση που διέπει τη Γη, η θερμική ισορροπία και εξέλιξή της κατανοήθηκαν καλύτερα τον 20^ο αιώνα, με την ανακάλυψη του ρόλου της «ραδιενεργής θερμότητας».

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

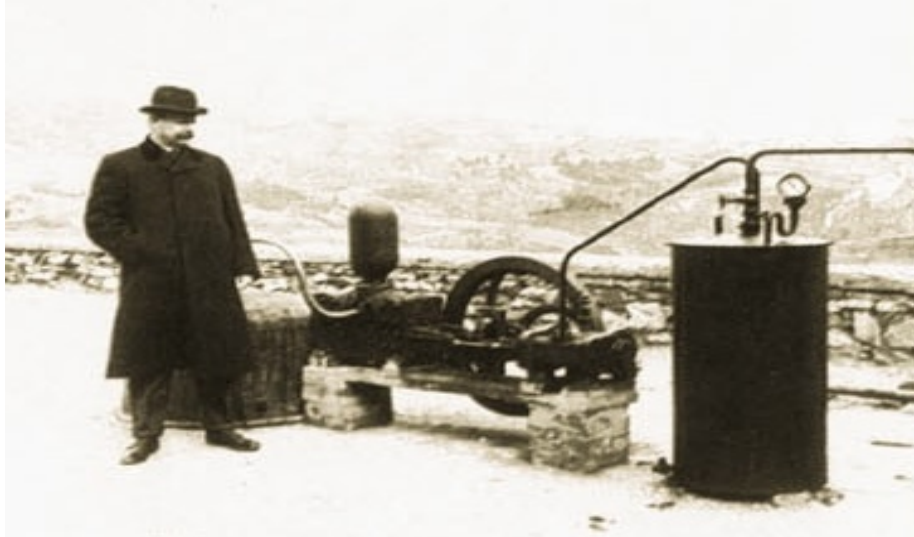
στημα για τη χρήση της θερμότητας των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης.



Εικόνα 1: Η καλυμμένη «λιμούλα» που χρησιμοποιούνταν κατά το πρώτο μισό του 19^{ου} αιώνα στην περιοχή του Larderello, για την συλλογή των βοριούχων υδάτων και την παραγωγή βορικού οξέος.

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

τάλλευση των γεωθερμικών ρευστών (κυρίως θερμών νερών) για τη θέρμανση κατοικιών. Το 1904, έγινε η πρώτη απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό, και πάλι στο Larderello της Ιταλίας.



Εικόνα 2: Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό. Διακρίνεται επίσης ο εφευρέτης της, ο πρίγκιπας Piero Ginori Conti.

Η επιτυχία αυτής της πειραματικής προσπάθειας έδωσε μια ξεκάθαρη ένδειξη για τη βιομηχανική αξία της γεωθερμικής ενέργειας και σηματοδότησε την έναρξη μιας μορφής εκμετάλλευσης, που επρόκειτο έκτοτε να αναπτυχθεί σημαντικά. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Larderello αποτέλεσε πράγματι μια εμπορική επιτυχία. Το 1942, η εγκατεστημένη γεωθερμο-ηλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 kW. Σύντομα, πολλές χώρες ακολούθησαν το παράδειγμα της Ιταλίας. Το 1919, κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Berpu της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο The Geysers της Καλιφόρνια των Η.Π.Α.. Το 1958, ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959, στις Η.Π.Α. το 1960 και ακολούθησαν πολλά άλλα σε διάφορες χώρες. Κατά το 2005, 72 χώρες έχουν αναπτύξει γεωθερμικές εφαρμογές

χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας, κάτι που δηλώνει σημαντική πρόοδο σε σχέση με το 1995, όταν είχαν αναφερθεί εφαρμογές μόνο σε 28 χώρες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας ανήλθε το 2007 στα 28268 MW, παρουσιάζοντας αύξηση 75% σε σχέση με το 2000, με μέση ετήσια αύξηση 12%. Αντίστοιχα, η χρήση ενέργειας αυξήθηκε κατά 43% σε σχέση με το 2000 και ανήλθε στα 273.372 TJ (75.940 GWh/έτος). Το 2007 η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής ενέργειας στον κόσμο ανήλθε στα 9735 MW, σημειώνοντας αύξηση περισσότερων από 800 MW σε σχέση με το 2005. Το 2008 παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με γεωθερμική ενέργεια γινόταν σε 24 χώρες. Το 2012 η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς έχει φτάσει πλέον τα 11.224 MW, ανακοίνωσε ο αμερικανικός σύνδεσμος γεωθερμίας, τονίζοντας ότι οι Η.Π.Α. έχουν την μερίδα του λέοντος με 3.187 MW εγκατεστημένα.

1.3 Η γεωθερμία στην Ελλάδα

Λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500μ.). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας άρχισε ουσιαστικά το 1971 με βασικό φορέα το Ι.Γ.Μ.Ε. και μέχρι το 1979 (πριν από την δεύτερη ενεργειακή κρίση) αφορούσε μόνο τις περιοχές υψηλής ενθαλπίας. Κατά την εξέλιξη των εργασιών η Δ.Ε.Η. σαν άμεσα ενδιαφερόμενη για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των πεδίων, χρηματοδοτώντας επιπλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές. Συντάχθηκε ο προκαταρκτικός χάρτης γεωθερμικής ροής του ελληνικού χώρου, όπου φάνηκε ότι η γεωθερμική ροή στην Ελλάδα είναι σε πολλές περιοχές εντονότερη από τη μέση γήινη. Από το 1971 ερευνήθηκαν οι περιοχές : Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθανα, Θερμοπύλες, Υπάτη, Αιδηψός, Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως, Νότια Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή Στρυμόνα, Ξάνθη, Σαμοθράκη και άλλες.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας που πολλές φορές ξεπερνούν τους 100°C/km. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες, η ενέργεια αυτή θερμαίνει «ρηχούς» υπόγειους ταμιευτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι 100°C. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθόσον αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό στο περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Στη Μήλο και στη Νίσυρο έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής (5 και 2 αντίστοιχα). Στη Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325°C σε βάθος 1000 μέτρων και στη Νίσυρο 350°C σε βάθος 1500 μέτρων. Οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίξουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 20 και 5 MW, ενώ το πιθανό συνολικό δυναμικό υπολογίζεται να είναι της τάξης των 200 και 50 MW αντίστοιχα.

Στη βόρεια Ελλάδα η γεωθερμία προσφέρεται για θέρμανση, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες κ.τ.λ. Στη λεκάνη του Στρυμόνα έχουν εντοπισθεί τα πολύ σημαντικά πεδία Θερμών-Νιγρίτας, Λιθότοπου-Ηράκλειας, Θερμοπηγής-Σιδηροκάστρου και Αγκίστρου. Πολλές γεωτρήσεις παράγουν νερά μέχρι 75°C, συνήθως αρτεσιανά και πολύ καλής ποιότητας και παροχής. Μεγάλα και μικρότερα γεωθερμικά θερμοκήπια λειτουργούν στη Νιγρίτα και το Σιδηρόκαστρο.

Στην πεδινή περιοχή του Δέλτα Νέστου έχουν εντοπισθεί δύο πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία, στο Ερατεινό Χρυσούπολης και στο Ν. Εράσμιο Μαγγάνων Ξάνθης. Νερά άριστης ποιότητας μέχρι 70°C και σε πολύ οικονομικά βάθη παράγονται από γεωτρήσεις στις εύφορες αυτές πεδινές περιοχές. Στη Ν. Κεσσάνη και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης, σε μεγάλης έκτασης γεωθερμικά πεδία, παράγονται νερά θερμοκρασίας μέχρι 82°C. Στη λεκάνη των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά έχουν εντοπισθεί τρία πολύ ρηχά πεδία με θερμοκρασίες μέχρι 56°C. Στη Σαμοθράκη υπάρχουν ενθαρρυντικά στοιχεία, καθώς γεωτρήσεις βάθους μέχρι 100 μέτρων συνάντησαν νερά της τάξης των 100°C.

Η αβαθής γεωθερμία από την άλλη, αναφέρεται σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια και δύναται να καλύψει τις ανάγκες τόσο σε θέρμανση όσο και ψύξη κτιριακών εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής του ζεστού νερού χρήσης.

1.4 Εφαρμογές της γεωθερμίας

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία και περιλαμβάνουν :

- Ηλεκτροπαραγωγή ($\theta > 90^{\circ}\text{C}$), παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δυαδικό κύκλο (Rankine).
- Θέρμανση χώρων (με καλοριφέρ για $\theta > 60^{\circ}\text{C}$, με αερόθερμα για $\theta > 40^{\circ}\text{C}$, με ενδοδαπέδιο σύστημα για $\theta > 25^{\circ}\text{C}$).
- Ψύξη και κλιματισμό (με αντλίες θερμότητας απορρόφησης για $\theta > 60^{\circ}\text{C}$, ή με υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας για $\theta < 30^{\circ}\text{C}$).
- Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών, επειδή τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα και γίνονται μεγαλύτερα με τη θερμότητα ($\theta > 25^{\circ}\text{C}$), ή και για αντιπαγετική προστασία.
- Ιχθυοκαλλιέργειες ($\theta > 15^{\circ}\text{C}$), επειδή τα ψάρια χρειάζονται ορισμένη θερμοκρασία για την ανάπτυξή τους.
- Βιομηχανικές εφαρμογές, όπως αφαλάτωση θαλασσινού νερού ($\theta > 60^{\circ}\text{C}$), ξήρανση αγροτικών προϊόντων, κτλ.
- Θερμά λουτρά ($\theta = 25-40^{\circ}\text{C}$).

1.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αβαθούς γεωθερμίας

Όπως με όλες τις μορφές ενέργειας, έτσι και με τη χρήση της αβαθούς γεωθερμίας εκτός από τα σημαντικά οφέλη που μας προσφέρει, παρουσιάζονται και κάποια προβλήματα τα οποία αναφέρουμε παρακάτω.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της αβαθούς γεωθερμίας είναι:

- Αξιόπιστη τεχνολογία, φιλική προς το περιβάλλον χωρίς εκπομπές αέριων ρύπων. Επειδή δεν χρησιμοποιούνται καύσιμα, δεν συμβάλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που είναι υπεύθυνο για την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη.

- Ενέργεια σε χαμηλό κόστος. Λόγω της χαμηλής κατανάλωσης και της σχεδόν ανύπαρκτης συντήρησης του εξοπλισμού, τα γεωθερμικά συστήματα κλιματισμού μπορούν να εξοικονομήσουν από 55% μέχρι και 70% από την ετήσια δαπάνη σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης και δροσισμού. Το μόνο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης είναι η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από τον συμπιεστή και τις αντλίες, το οποίο είναι οικονομικότερο σε σχέση με τη χρήση λέβητα και πετρελαίου κατά 65-85%.

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

- Ένα σύστημα γεωθερμίας παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με μία εγκατάσταση πετρελαίου ή φυσικού αερίου, διότι δεν υπάρχει καύση και φλόγα. Επίσης δεν υπάρχουν καπνοί, καπναγωγοί και οσμές. Δεν υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης, φωτιάς ή ασφυξίας από το μονοξείδιο.

- Απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε σχέση με το συμβατικό λεβητοστάσιο. Δεν απαιτείται

λέβητας, δεξαμενή πετρελαίου ή καπνοδόχος, όπως επίσης και αερόψυκτος ψύκτης για τον κλιματισμό του κτιρίου.

- Μεταφορά (άντληση) δωρεάν ενέργειας από και προς το υπέδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων αντίστοιχα, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.

- Αθόρυβη λειτουργία. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν για να είναι σχεδόν αθόρυβες.

- Ανεξαρτησία από το πετρέλαιο θέρμανσης.

- Γρήγορη απόσβεση.

- Ζεστό νερό χειμώνα και καλοκαίρι.

- Δροσιά χωρίς κόστος το καλοκαίρι.

- Δυνατότητα επιδότησης.

- Συμβολή στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων.

Τα κύρια μειονεκτήματα της αβαθούς γεωθερμίας είναι:

- Το αρχικό κόστος ενός γεωθερμικού συστήματος είναι υψηλότερο από αυτό των συμβατικών συστημάτων, αλλά κάνει απόσβεση μέσα σε λίγα χρόνια.

- Κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων δημιουργείται λάσπη, η οποία θα πρέπει να ξηρανθεί και να απομακρυνθεί από το χώρο ανέγερσης της κατοικίας.

- Για τα ανοιχτά γεωθερμικά κυκλώματα απαιτείται παροχή καθαρού νερού, διαφορετικά θα σχηματιστούν επικαθίσεις σε σχεδόν κάθε επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό, διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, καθώς και περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις (διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους, εκπομπές τοξικών αερίων, ιδίως του υδροθείου).

Κεφάλαιο 2: ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

2.1 Σύστημα αβαθούς γεωθερμίας με γεωθερμική αντλία θερμότητας και αρχή λειτουργίας του

Ένα πλήρες σύστημα αβαθούς γεωθερμίας που τροφοδοτεί μία εγκατάσταση θέρμανσης - ψύξης/δροσισμού αποτελείται εν γένει από τα παρακάτω τμήματα:

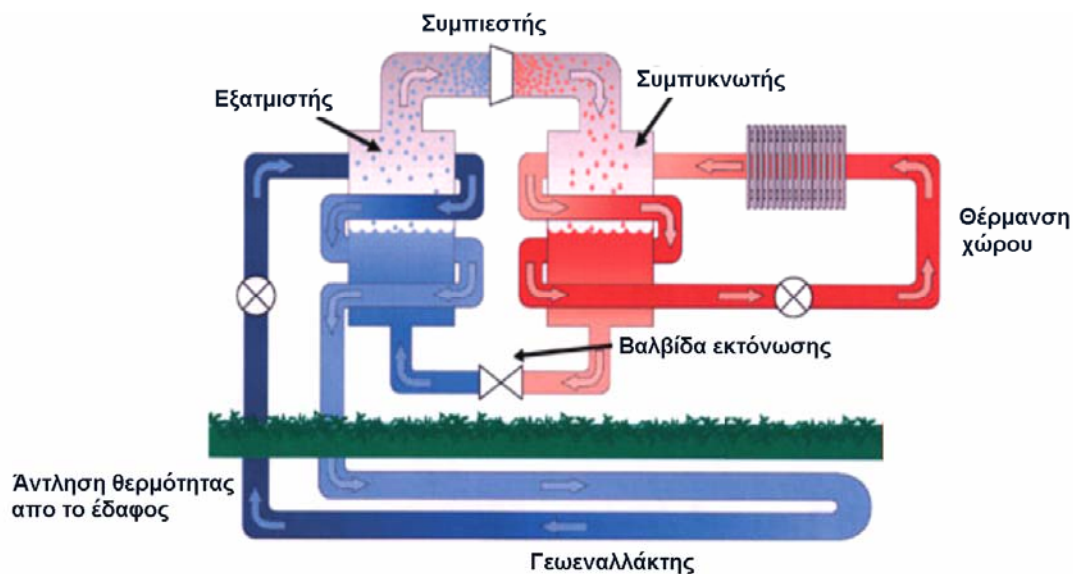
1) **Την αντλία θερμότητας νερού – νερού**, που με την βοήθεια των δύο εναλλακτών της, (εξατμιστής , συμπυκνωτής), προσάγει ζεστό ή κρύο νερό στην εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης-ψύξης/δροσισμού (ενδοδαπέδια, μονάδες fan coil, σώματα χαμηλών θερμοκρασιών κ.α.).

2) **Τον γεωεναλλάκτη**, που βρίσκεται στον εξωτερικό χώρο, (κλειστό ή ανοιχτό κύκλωμα δικτύου σωληνώσεων) αξιοποιώντας τη σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους για να δεσμεύσει θερμότητα μέσω του διαλύματος νερού – γλυκόλης (αντιπηκτικού), που κυκλοφορεί στους σωλήνες.

3) Την εσωτερική **εγκατάσταση θέρμανσης – ψύξης/δροσισμού** του κτηρίου.

Η διαδικασία μεταφοράς του θερμικού φορτίου από το κτίριο προς το υπέδαφος και αντιστρόφως, γίνεται διά μέσου μίας συσκευής που ονομάζεται γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ). Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι διατάξεις που κατευθύνουν τη θερμότητα αντίθετα από τη διεύθυνση που θα ακολουθούσε με φυσικό τρόπο, δηλαδή την εξαναγκάζουν να κατευθυνθεί από ένα ψυχρό μέσο σε ένα άλλο θερμότερο. Οι αντλίες θερμότητας δεν είναι τίποτα περισσότερο από συσκευές που λειτουργούν όπως τα κοινά ψυγεία. Κάθε ψυκτική συσκευή (air-condition, ψυγείο, καταψύκτης κ.λ.π.) παίρνει θερμότητα από ένα χώρο που πρέπει να παραμείνει σε χαμηλή θερμοκρασία και την απελευθερώνει σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η μόνη διαφορά της αντλίας θερμότητας από μια ψυκτική μονάδα εντοπίζεται στην αντιστρέψιμη λειτουργία των

γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, δηλαδή στην ικανότητά τους να παρέχουν τόσο ψύξη όσο και θέρμανση στο χώρο.



Εικόνα 3: Αρχή λειτουργίας συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για θέρμανση κατοικίας.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το μίγμα νερού και γλυκόλης που κυκλοφορεί στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη απορροφά ενέργεια από το έδαφος, που οδηγείται στον εξατμιστή της ΓΑΘ, ο οποίος τη δεσμεύει. Μέσω του εξατμιστή μεταδίδεται θερμότητα στο ψυκτικό μέσο της αντλίας το οποίο μετατρέπεται από υγρό σε αέριο. Το ψυκτικό μέσο, το οποίο κινείται σε ένα κλειστό κύκλωμα, περνάει από το συμπιεστή και συμπιέζεται, ώστε να αυξηθεί η πίεση και η θερμοκρασία του. Έπειτα, οδηγείται στο συμπυκνωτή όπου και αποβάλλει όλη τη θερμότητα που έχει αποθηκεύσει στο νερό του κυκλώματος της εσωτερικής εγκατάστασης. Το ψυκτικό μέσο μεταφέρεται στη βαλβίδα εκτόνωσης και εκτονώνεται, ώστε να επιστρέψει στον εξατμιστή και να επαναλάβει την ίδια διαδικασία. Η διαδικασία αυτή μπορεί να αντιστραφεί το καλοκαίρι, οπότε οι ΓΑΘ απάγουν θερμότητα από το κτίριο - ή αλλιώς παρέχουν ψύξη/δροσισμό σε αυτό - και τη διοχετεύουν στο υπέδαφος μέσω του γεωεναλλάκτη.

2.2 Ταξινόμηση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας

Τα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- συστήματα ανοικτού τύπου (open loop systems)
- συστήματα κλειστού τύπου (closed loop systems)

2.2.1 Συστήματα ανοικτού τύπου

Τα συστήματα ανοικτού κύκλου αντλούν το νερό επιφανειακών υδρολογικών σχηματισμών της περιοχής για την τροφοδοσία του πρωτεύοντος κυκλώματος της αντλίας θερμότητας. Το νερό αφού αποδώσει την ενέργεια του στο σύστημα στη συνέχεια επαναπροωθείται στην πηγή από την οποία αντλήθηκε, είτε σε ένα γειτονικό υδροφόρο στρώμα της περιοχής. Ο υδρολογικός σχηματισμός μπορεί να είναι είτε επιφανειακός (θάλασσα, λίμνη, ποτάμι), είτε υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας μέσω γεώτρησης ή πηγαδιού.

Για την σωστή λειτουργία του συστήματος πρέπει να υπάρχει σταθερή παροχή νερού καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Η απαιτούμενη παροχή του νερού εξαρτάται από τις θερμικές απώλειες του χώρου θέρμανσης και την ισχύ που απορροφά ο συμπιεστής της ΓΑΘ. Ενδεικτικά για την θέρμανση μιας μονοκατοικίας με εμβαδόν 150 m² η μαζική παροχή του νερού, είναι της τάξης των 2 m³/h.

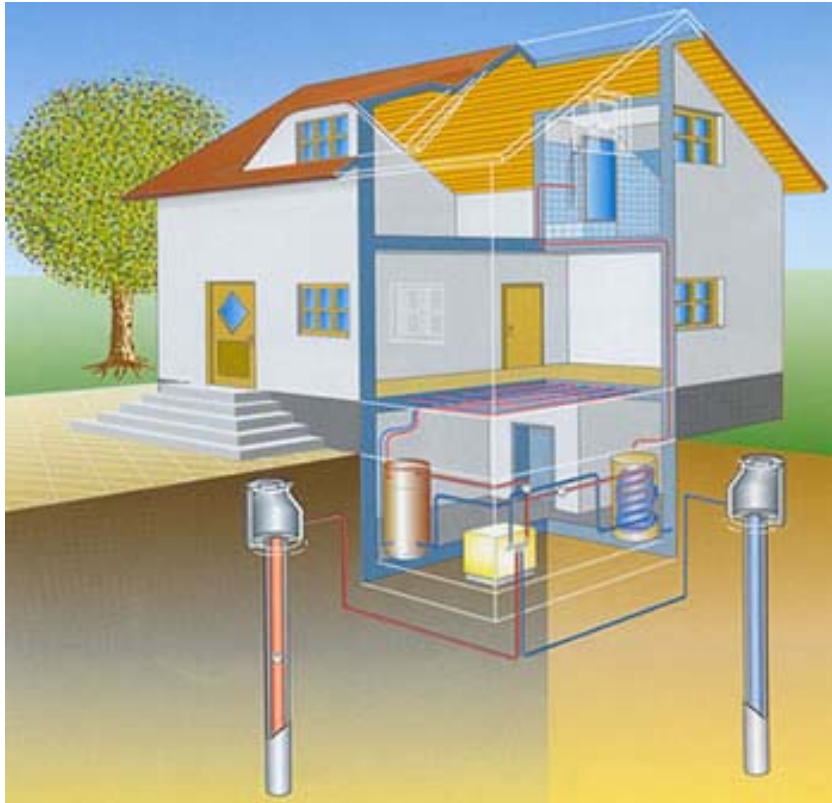
Τα συστήματα ανοικτού τύπου διακρίνονται σε:

- α) φρέατος
- β) επιφανειακά
- γ) μεικτά

2.2.1.1 Συστήματα φρέατος ανοικτού τύπου

Τα συστήματα φρέατος με την βοήθεια της αντλίας αναρρόφησης αντλούν νερό από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα μέσω γεώτρησης

και αφού αυτό αποδώσει την θερμική του ενέργεια στον χώρο που θέλουμε, απορρίπτεται στον ίδιο υδροφόρο ορίζοντα με την βοήθεια μιας δεύτερης αντλίας απόρριψης και του κατάλληλου σωλήνα της σε αρκετή απόσταση και κατάντη του σημείου άντλησης για να αποφεύγεται η ανάμιξη του νερού.



Εικόνα 4: Σύστημα φρέατος αβαθούς γεωθερμίας ανοικτού τύπου για θέρμανση κατοικίας.[16]

2.2.1.2 Επιφανειακά συστήματα ανοικτού τύπου

Στα επιφανειακά συστήματα ανοικτού τύπου με την βοήθεια της αντλίας αναρρόφησης αντλούν νερό από μια επιφανειακή πηγή, (θάλασσα, λίμνη, ποταμός) και αφού αυτό αποδώσει την θερμική του ενέργεια στον χώρο που θέλουμε, απορρίπτεται στην ίδια επιφανειακή πηγή.



Εικόνα 5: Μεικτό σύστημα αβαθούς γεωθερμίας για θέρμανση κατοικίας. [15]

2.2.1.3 Μεικτά συστήματα ανοικτού τύπου

Τα μεικτά συστήματα ανοικτού τύπου αποτελούν ένα συνδυασμό συστήματος φρέατος και επιφανειακού. Το νερό με την βοήθεια της αντλίας αναρρόφησης αντλείται είτε από την επιφανειακή πηγή, είτε από το φρέαρ και αφού αυτό αποδώσει την θερμική του ενέργεια στον χώρο που θέλουμε, απορρίπτεται αντίστοιχα, είτε στο φρέαρ είτε στην επιφανειακή πηγή. Δηλαδή τα σημεία άντλησης και απόρριψης του νερού είναι διαφορετικά.

2.2.1.4 Σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την λειτουργία συστημάτων ανοικτού τύπου

Σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν την λειτουργία αλλά και το βαθμό απόδοσης των υπεδαφικών ανοιχτών συστημάτων είναι:

α) Η ποιότητα του υπόγειου νερού ώστε να μην δημιουργούνται διαβρώσεις ή φραξίματα στην υποβρύχια αντλία από σωματίδια στο νερό.

β) Η ποιότητα της γεώτρησης και ειδικά ο τρόπος κατασκευής, η χαλίκωση γύρω από το φίλτρο και η σταθεροποίηση των διαφορετικών σχηματισμών του υπεδάφους.

γ) Ο σχεδιασμός των γεωτρήσεων όσον αφορά την απόσταση μεταξύ της γεώτρησης άντλησης και αυτής της επαναφοράς, η διάμετρος της γεώτρησης και της εσωτερικής σωλήνωσης.

δ) Αρτεσιανά νερά παρουσιάζουν μεταβολές στις θερμοκρασίες του νερού και μεταβάλλουν τους συντελεστές απόδοσης.

Σε περιπτώσεις που η γειτνίαση με τη θάλασσα ή με λίμνη είναι τέτοια που να επιτρέπει την χρήση της, δεν υπάρχει ανάγκη για διάνοιξη γεωτρήσεων αφού με ένα απλό υδραυλικό δίκτυο το νερό προσάγεται και απάγεται από την αντλία θερμότητας μέσω ενός κυκλοφορητή. Φυσικά στα συστήματα αυτά και ειδικά στις θάλασσας, είναι απαραίτητος ο ενδιάμεσος εναλλάκτης θερμότητας από τιτάνιο -Ti-, ή ντουραλουμίνιο -Ni/Cu-, για να προστατεύει τα εσωτερικά κυκλώματα της αντλίας θερμότητας από το υφάλμυρο νερό.

Τα συστήματα ανοιχτού τύπου προτείνονται:

Όταν υπάρχει συνεχόμενη και πλούσια υδροφορία χωρίς μεταβολές στη στάθμη της (π.χ. παραθαλάσσιες περιοχές) με σταθερή παροχή. Ενδείκνυται για ενεργή και παθητική ψύξη.

Πλεονεκτήματα:

- Σταθερή και υψηλή απόδοση σε όλη την διάρκεια του χρόνου.
- Απαιτείται μικρή επιφάνεια εδάφους.
- Πολύ υψηλός βαθμός απόδοσης (> 5).

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος επένδυσης. Εξειδικευμένη εγκατάσταση.
- Δυσκολότερη αδειοδότηση.
- Περιορισμοί από την ποιότητα του νερού.
- Άμεση εξάρτηση της απόδοσης του συστήματος από την παροχή νερού της γεώτρησης.
- Μεγαλύτερο κόστος συντήρησης (κυρίως λόγω των επικαθίσεων στο πρωτεύοντα εναλλάκτη).

2.2.2 Συστήματα κλειστού τύπου

Τα συστήματα κλειστού κύκλου αποτελούνται από ένα κλειστό δίκτυο σωληνώσεων πολυαιθυλενίου, το οποίο βρίσκεται θαμμένο στο έδαφος σε κάθετη ή οριζόντια διάταξη ή είναι ποντισμένο σε κάποια λίμνη. Το δίκτυο σωληνώσεων στην περίπτωση αυτή ονομάζεται γεωεναλλάκτης, μέσα στον οποίο κυκλοφορεί νερό ή διάλυμα νερού/αντιπηκτικού, (π.χ. νερού και αιθυλενογλυκόλης), ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας και ανταλλάσει ενέργεια με το έδαφος.

Τα συστήματα κλειστού τύπου διακρίνονται σε:

- α) οριζόντια
- β) κατακόρυφα

2.2.2.1 Οριζόντια συστήματα κλειστού τύπου

Ο οριζόντιος γεωεναλλάκτης κατασκευάζεται σε σκάμμα ορισμένης επιφάνειας στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου σε βάθος 1,0-2,5m και με πυκνότητα σωληνώσεων 0,5-0,8m. Στο επίπεδο αυτό αναπτύσσεται το οριζόντιο σύστημα αποτελούμενο από κυκλώματα σωλήνων δικτυωμένου πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας μέγιστου μήκους 100m, τα οποία μέσω των επιμέρους συλλεκτών οδηγούνται στην αντλία θερμότητας.

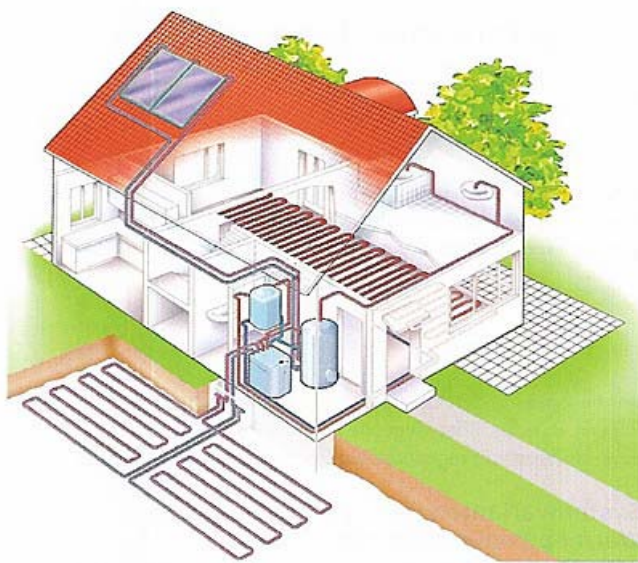
Στο οριζόντιο κλειστό γεωθερμικό σύστημα το υπέδαφος λειτουργεί και ως εποχιακή αποθήκη θερμικής και ψυκτικής ενέργειας, γεγονός που συμβάλλει σημαντικά στην υψηλότερη απόδοση της εγκατάστασης.

Τα οριζόντια γεωθερμικά συστήματα αποτελούν ίσως την οικονομικότερη κατασκευαστική λύση από οποιοδήποτε άλλο γεωθερμικό σύστημα. Η απαιτούμενη έκταση που είναι αναγκαία είναι συνάρτηση των θερμικών και ψυκτικών απαιτήσεων του κτιρίου. Για την διαστασιολόγηση του γεωθερμικού εναλλάκτη, απαιτείται η γνώση των θερμοκρασιών του εδάφους και των θερμικών αποκρίσεων στο βάθος εγκατάστασης.

Επιπρόσθετα, καθορίζονται η περιοχή εγκατάστασης, η θερμική αντίσταση του εδάφους και του σωλήνα, καθώς και τα όρια μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας του διαλύματος που εισέρχεται στην αντλία θερμότητας. Η απόδοση του οριζόντιου εναλλάκτη κυμαίνεται μεταξύ $20-35\text{W}/\text{m}^2$, ανάλογα με τα γεωλογικά στοιχεία του υπεδάφους.

Με την σειρά τους τα οριζόντια συστήματα κλειστού τύπου, ανάλογα με την διάταξη των σωλήνων του γεωεναλλάκτη, διακρίνονται σε:

- 1) Σειριακά
- 2) Παράλληλα
- 3) Σπιράλ



Εικόνα 6: Οριζόντιο σύστημα σε σειρά αβαθούς γεωθερμίας κλειστού τύπου για θέρμανση κατοικίας. [15]

Τα συστήματα οριζοντίων συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας κλειστού τύπου δίνουν συνήθως $20-30\text{W}/\text{m}^2$. Απαιτείται επιφάνεια σκαμμένου εδάφους $1.5 - 2 \text{ m}^2$ ανά m^2 θερμαινόμενης επιφάνειας. Δηλαδή για μια μονοκατοικία 150 m^2 θερμαινόμενης επιφάνειας απαιτούνται περίπου $220-300 \text{ m}^2$ σκάμματος. Το βάθος εκσκαφής είναι περίπου $1.20-1.40 \text{ m}$. Κατάλληλα είναι όλα τα εδάφη που μπορούν να σκαφτούν με εκσκαφέα-μπουλντόζα.

Τα οριζόντια συστήματα προτείνονται σε περιπτώσεις που υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση του γεωεναλλάκτη, τουλάχιστον διπλάσιου εμβαδού, από το εμβαδόν του χώρου θέρμανσης.[17]

Πλεονεκτήματα:

- Εύκολη τοποθέτηση.
- Μικρό κόστος εγκατάστασης.
- Βαθμός απόδοσης (COP) 4 – 4.5.
- Ευκολότερη αδειοδότηση.

Μειονεκτήματα:

- Απαιτείται μεγάλη επιφάνεια για το στρώσιμο του γεωεναλλάκτη.
- Σχετικά μειωμένη απόδοση στην ψύξη.
- Περιορισμοί στην φύτευση και ενδεχομένως επιρροή στις φάσεις της βλάστησης.

2.2.2.2 Κατακόρυφα συστήματα κλειστού τύπου

Το μέγεθος του διαθέσιμου ελεύθερου χώρου και η σύσταση του υπεδάφους καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τον τύπο του γεωθερμικού εναλλάκτη. Ο κάθετος γεωεναλλάκτης κλειστού κυκλώματος εφαρμόζεται σε εγκαταστάσεις με περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο και σε περιοχές με αδυναμία πρόσληψης νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα. Το πλήθος των γεωτρήσεων είναι συνάρτηση της ισχύος της εγκατάστασης, ενώ η απόδοσή των κατακόρυφων συστημάτων παρουσιάζει σταθερότητα σε όλη τη διάρκεια του έτους. Σημαντικό πλεονέκτημα των κάθετων συστημάτων αποτελεί το γεγονός της γρήγορης αποκατάστασης των θερμοκρασιακών διαταραχών του υπεδάφους, οι οποίες προκαλούνται από την εκμετάλλευση του θερμικού περιεχομένου του.

Ο σχεδιασμός, η εγκατάσταση και η δοκιμαστική λειτουργία των γεωθερμικών εναλλακτών περιγράφονται λεπτομερώς και ακολουθούν το γερμανικό πρότυπο VDI 4460. Σύμφωνα με αυτό, η

ανάπτυξη του κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη γίνεται με τις παρακάτω γενικές προδιαγραφές.

α) Η διάμετρος της κάθε γεώτρησης είναι 6-8” και το βάθος τους κυμαίνεται μεταξύ 60 –120m.

β) Στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης-ψύξης, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση σωληνώσεων από ακτινοδικτυομένο πολυαιθυλένιο Pex για την εξασφάλιση της λειτουργίας σε βάθος χρόνου. Μετά την τοποθέτηση του δικτύου, γίνεται η πλήρωση των γεωτρήσεων με θερμοαγώγιμο μίγμα (τσιμέντο, μπετονίτης ή με το παράγωγο διάνοιξης της ίδιας της γεώτρησης).

γ) Η απόσταση μεταξύ των κάθετων γεωτρήσεων, προτείνεται να είναι μεγαλύτερη των 6m για την αποφυγή τοπικού θερμικού κορεσμού του υπεδάφους.

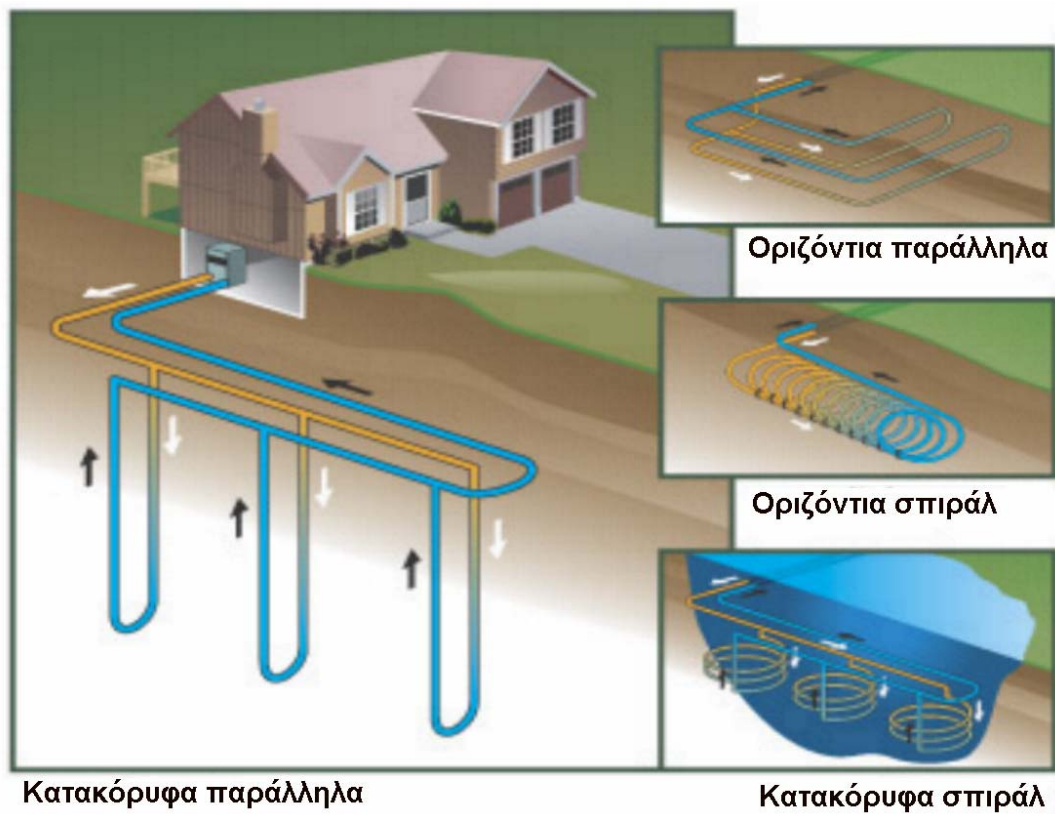
δ) Η μέση απόδοση του κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη κυμαίνεται μεταξύ 35–65W/m ανάλογα με τα γεωλογικά στοιχεία του υπεδάφους και τη συνεχή απαίτηση σε μέγιστο φορτίο.

Με την σειρά τους τα κατακόρυφα συστήματα κλειστού τύπου, ανάλογα με την διάταξη των σωλήνων του γεωεναλλάκτη, διακρίνονται σε:

1) Σειριακά

2) Παράλληλα

3) Σπιράλ



Εικόνα 7: Κατακόρυφες και οριζόντιες διατάξεις γεωεναλλακτών αβαθούς γεωθερμίας κλειστού τύπου για θέρμανση κατοικίας.



Εικόνα 8: Επιφανειακό σύστημα αβαθούς γεωθερμίας κλειστού τύπου για θέρμανση κατοικίας.[15]

Τα συστήματα κατακόρυφων συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας κλειστού τύπου δίνουν συνήθως 50-80W/m βάθους γεώτρησης. Για ένα σπίτι 150 m² απαιτούνται περίπου 100 - 160 m γεώτρησης. Αυτά μπορούν να μοιραστούν και σε περισσότερες μικρότερες γεωτρήσεις. Το μέγιστο βάθος γεώτρησης είναι συνήθως τα 120 m.

Τα συστήματα αυτά είναι κατάλληλα σχεδόν για όλα τα εδάφη.

Τα συστήματα κατακόρυφων γεωεναλλακτών προτείνονται:

- Όταν δεν επαρκεί ο περιβάλλον χώρος.
- Όταν το έδαφος είναι βραχώδες, οπότε και αντενδείκνυται η χρήση οριζόντιων γεωεναλλακτών. [17]

Πλεονεκτήματα:

- Σταθερή και υψηλή απόδοση σε όλη την διάρκεια του χρόνου.
- Απαιτείται μικρή επιφάνεια εδάφους.
- Βαθμός απόδοσης 4.5 – 5.
- Ενδείκνυται για ενεργή και παθητική ψύξη.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος επένδυσης.
- Εξειδικευμένη εγκατάσταση.
- Δυσκολότερη αδειοδότηση.

2.3 Ο ρόλος του εδάφους και του υπεδάφους στην αβαθή γεωθερμία

Η σύσταση, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, η διαθεσιμότητα, η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία του εδάφους και του υπεδάφους, καθορίζουν αποφασιστικά την επιλογή του συστήματος της γεωθερμικής αντλίας και την λειτουργία του. Θα επισημάνουμε μερικά χαρακτηριστικά του εδάφους και του υπεδάφους που συνδέονται με την αβαθή γεωθερμία.

2.3.1 Ορισμός εδάφους και υπεδάφους

Ως έδαφος ορίζεται το χαλαρό υλικό που υπάρχει στο ανώτατο στερεό στρώμα του φλοιού της γης με πάχος περίπου 30 – 50 cm και προήλθε από την αποσάθρωση (διάβρωση λόγω νερού, αέρα, αλλαγές θερμοκρασίας) των πετρωμάτων της γήινης επιφάνειας καθώς και την αποσύνθεση των φυτών και ζώων. Ως υπέδαφος θεωρείται το στρώμα του γήινου φλοιού που βρίσκεται κάτω από το στρώμα του εδάφους.

2.3.2 Μερικά χαρακτηριστικά του εδάφους και υπεδάφους

Τα εδάφη ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων που τα αποτελούν και τις μηχανικές ιδιότητες τους. Με βάση την διάμετρο των κόκκων, σύμφωνα με το Ενοποιημένο σύστημα ταξινόμησης, διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες εδαφικών κόκκων:

- 1) Ογκόλιθοι ή και λίθοι ($d > 300\text{mm}$)
- 2) Κροκάλες ($300 > d > 75\text{mm}$)
- 3) Χαλίκια ($75 > d > 4,5\text{mm}$)
- 4) Άμμος ($4,75 > d > 0,075\text{mm}$)
- 5) Ιλύς ($0,075 \geq d \geq 0,002\text{mm}$)
- 6) Άργιλος ($d < 0,002\text{mm}$)

Οι σημαντικότερες μηχανικές ιδιότητες των εδαφών είναι:

- 1) **Η πλαστικότητα** του, δηλαδή η ιδιότητα που έχει να παραμορφώνεται και να διατηρεί αυτή την παραμόρφωση με την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων.
- 2) **Η συνεκτικότητα** του, δηλαδή η ιδιότητα που σχετίζεται με την συνοχή και την συνάφεια στο να συνδέεται με συνδετικά υλικά, (ηλεκτρολύτες, νερό, χημικές ουσίες, αερισμός).[19]

2.3.3 Πού επιδρά και από τι εξαρτάται η θερμοκρασία του εδάφους και υπεδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους κυρίως (και λιγότερο του υπεδάφους) επιδρά [2]:

- 1) Στην ταχύτητα των φυσικοχημικών αντιδράσεων και των βιολογικών διεργασιών των συστατικών που περιέχει.
- 2) Στην ταχύτητα αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών που περιέχει.
- 3) Στην ποσότητα του εξατμιζόμενου νερού που συγκρατεί.
- 4) Στην ανάπτυξη των φυτικών και ζωικών οργανισμών.
- 5) Στο θερμικό του περιεχόμενο και τις ανταλλαγές του με το υπόλοιπο περιβάλλον, (αέρας, νερό, γεωθερμικά συστήματα).

Η θερμοκρασία του εδάφους εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- 1) Την ηλιακή ακτινοβολία η οποία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την διαμόρφωσή της.
- 2) Τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν τοπικά. Σε θερμά κλίματα η θερμοκρασία του εδάφους είναι υψηλή, ενώ σε ψυχρά κλίματα είναι χαμηλή.
- 3) Από την ταχύτητα του επιφανειακού ανέμου. Γενικά αύξηση της ταχύτητας του ανέμου οδηγεί σε ελάττωση της θερμοκρασία του εδάφους.

4) Την περιεκτικότητα σε νερό. Το νερό επιδρά στην θερμοκρασία πέντε φορές περισσότερο από ότι επιδρούν σε αυτή τα στερεά συστατικά του εδάφους.

5) Την θερμική αγωγιμότητα και την θερμοχωρητικότητα της περιοχής του εδάφους που μας ενδιαφέρει, η οποία εξαρτάται με την σειρά της από την σύσταση του εδάφους και την παρουσία νερού σε αυτό.

Η θερμική αγωγιμότητα και η θερμοχωρητικότητα αποτελεί σημαντική παράμετρο που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τον σχεδιασμό ενός συστήματος αβαθούς γεωθερμίας.

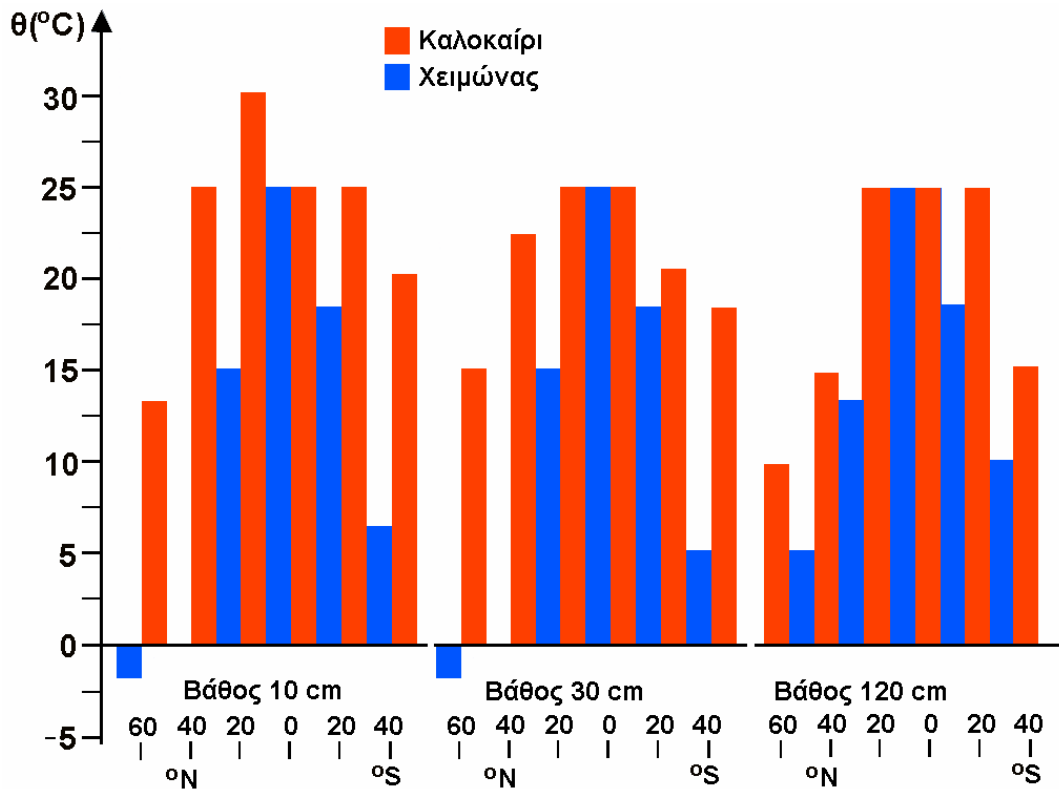
6) Το γεωγραφικό πλάτος. Η θερμοκρασία του εδάφους μειώνεται καθώς αυξάνει το γεωγραφικό πλάτος. Το έδαφος των χωρών που βρίσκονται προς τους πόλους έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από το έδαφος των χωρών που βρίσκονται κοντά στον ισημερινό.

7) Το υψόμετρο. Η θερμοκρασία του εδάφους είναι αντιστρόφως ανάλογη του υψομέτρου.

8) Η βλάστηση. Η βλάστηση στο έδαφος, επηρεάζει την σταθερότητα της θερμοκρασίας του, περιορίζοντας τις ακραίες μεταβολές της.

2.3.4 Το προφίλ θερμοκρασιών του εδάφους και υπεδάφους

Το θερμοκρασιακό προφίλ του εδάφους, δηλαδή οι πληροφορίες που συλλέγονται για να βρεθεί η κατανομή της θερμοκρασίας σε αυτό, αφορά ολόκληρη την επιφάνεια της γήινης σφαίρας, (παγκόσμιο προφίλ θερμοκρασιών) ή μια περιορισμένη επιφάνεια μιας περιοχής που μας ενδιαφέρει (παγκόσμιο προφίλ θερμοκρασιών). Το παγκόσμιο προφίλ θερμοκρασιών, κάνει χονδρικές εκτιμήσεις της κατανομής της θερμοκρασίας του εδάφους σε διάφορες περιοχές του πλανήτη και παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 9: Παγκόσμιο προφίλ θερμοκρασιών εδάφους για διάφορα βάθη και γεωγραφικά πλάτη.[2]

Το τοπικό προφίλ θερμοκρασιών, συνήθως αφορά το προφίλ των χωρών κατά την διάρκεια του έτους, αλλά στην αβαθή γεωθερμία ενδιαφέρει το τοπικό προφίλ στην θέση που μας ενδιαφέρει, κατά την διάρκεια του έτους. Το προφίλ αυτό γίνεται ασφαλέστερα με δειγματοληπτικούς ελέγχους των θερμοκρασιών στα διάφορα βάθη που μας ενδιαφέρουν, αλλά και με επιφανειακές μετρήσεις και εφαρμογή εμπειρικών σχέσεων, όπως για παράδειγμα η **εξίσωση του Kasuda** με την οποία υπολογίζεται η θερμοκρασία του εδάφους και υπεδάφους, για διάφορα βάθη, σε συνάρτηση με την χρονική διάρκεια ενός έτους.

Η εξίσωση του Kasuda δίνει μια συνημιτονοειδή μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους γύρω από την μέση θερμοκρασία του εδάφους στην διάρκεια ενός έτους και είναι [4]:

$$T_{\text{εδαφ}}(h,t) = \bar{T}_g - T_{\text{amp}} e^{\left(-h\sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right)} \cos\left[\frac{2\pi}{365}\left(t - t_o - \frac{h}{2}\sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right)\right]$$

Όπου:

$T_{\text{εδαφ}}$ = η θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος h την χρονική στιγμή t , (σε $^{\circ}\text{C}$).

\bar{T}_g = η μέση θερμοκρασία του εδάφους κατά την διάρκεια ενός έτους, (σε $^{\circ}\text{C}$). Οι τιμές της μέσης θερμοκρασίας των συνήθων εδαφών των ΗΠΑ, κυμαίνονται από $8,5^{\circ}\text{C}$ έως 25°C .

T_{amp} = το πλάτος της θερμοκρασίας μεταξύ της χαμηλότερης και υψηλότερης τιμής της στην επιφάνεια της γης, κατά την διάρκεια του έτους, (σε $^{\circ}\text{C}$). Οι τιμές του πλάτους της θερμοκρασίας των συνήθων εδαφών των ΗΠΑ, κυμαίνονται από $6,1^{\circ}\text{C}$ έως 14°C .

h = το βάθος του εδάφους μετρούμενο από την επιφάνεια της γης, (σε m)

α = η θερμική διαχυτότητα του εδάφους, (σε m^2/s).

Οι τιμές της θερμικής διαχυτότητας των συνήθων εδαφών των ΗΠΑ, κυμαίνονται από $7 \cdot 10^{-7} (m^2/s)$ έως $1 \cdot 10^{-6} (m^2/s)$ [3].

t = η ημέρα του έτους, (σε $days$). Ο χρόνος παίρνει τιμές από 1 d μέχρι 365.

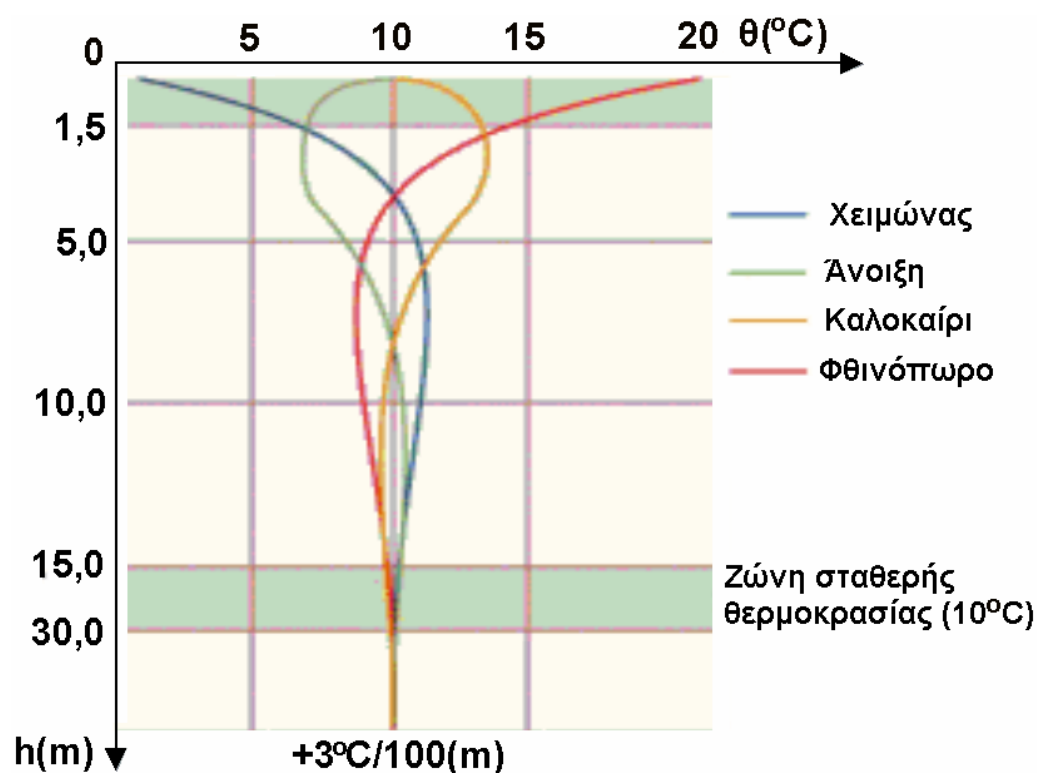
t_o = η μέρα του έτους, (από την έναρξη του), στην οποία εμφανίζεται η ελάχιστη θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους, (σε $days$).

Οι μέρες του έτους που εμφανίζεται η ελάχιστη θερμοκρασία των συνήθων εδαφών των ΗΠΑ, κυμαίνονται από 36(d) έως 37(d).

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι μέσες τιμές της πυκνότητας ρ , της θερμικής διαχυτότητας α και της θερμικής αγωγιμότητας k , διαφόρων τύπων εδάφους [5].

Τύπος εδάφους	Πυκνότητα (ρ), (kg/m^3)	Θερμική διαχυτότητα (α), (m^2/s)	Θερμική αγωγιμότητα (k), (W/mK)
Βραχώδες	2400-2800	$2 \cdot 10^{-7} - 3,5 \cdot 10^{-7}$	2,1-3,8
Αμμώδες ξηρό	1925	$1,3 \cdot 10^{-7}$	0,7
Αμμώδες υγρό	1985	$1,5 \cdot 10^{-7}$	1,5
Αργιλώδες ξηρό	1285	$2,5 \cdot 10^{-7}$	1,2
Αργιλώδες υγρό	1265	$3 \cdot 10^{-7}$	1,4

Η γραφική παράσταση της θερμοκρασίας συνήθων εδαφών σε συνάρτηση με το βάθος (h) για τις τέσσερις εποχές του έτους, δίνεται στην παρακάτω εικόνα.



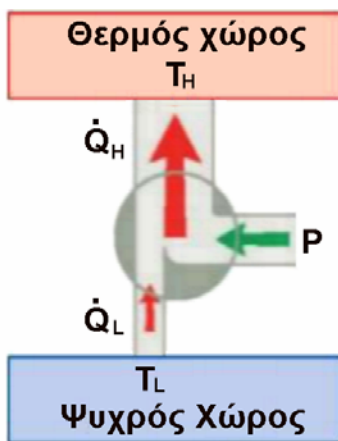
Εικόνα 10: Προφίλ θερμοκρασιών εδάφους για διάφορα βάθη κατά την διάρκεια των τεσσάρων εποχών του έτους. [2]

Κεφάλαιο 3: ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

3.1 Ορισμός αντλίας θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας είναι συσκευές (μηχανές) μεταφοράς θερμικής ενέργειας (θερμότητας) από ένα χώρο με χαμηλότερη θερμοκρασία, σε ένα χώρο με υψηλότερη. Η μεταφορά της θερμότητας γίνεται με την χρήση κατάλληλου ρευστού το οποίο ονομάζεται εργαζόμενο ρευστό ή ψυκτικό ρευστό.

Η γενική αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, δείχνεται στο παρακάτω σχήμα .



Εικόνα 11: Η γενική αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν:

α) **Ως ψυκτήρες.** Για τον σκοπό αυτό στην μηχανή προσφέρεται ηλεκτρική ενέργεια, (στην πράξη μέσω του συμπιεστή), στο ψυκτικό ρευστό με ρυθμό P με σκοπό αυτό να αφαιρέσει, (στην πράξη με την βοήθεια του εξατμιστή), ένα ποσό θερμότητας με έναν ρυθμό \dot{Q}_L από έναν ψυχρό χώρο, (χώρος ψύξεως ή μέσο ψύξεως), τον οποίο θέλουμε να διατηρήσουμε σε χαμηλή θερμοκρασία και απορρίπτοντας ένα ποσό θερμότητας με ρυθμό $\dot{Q}_H = P + \dot{Q}_L$ στο θερμότερο περιβάλλον.

β) **Ως θερμαντήρες.** Για τον σκοπό αυτό στην μηχανή προσφέρεται ηλεκτρική ενέργεια, (στην πράξη μέσω του συμπιεστή), στο ψυκτικό ρευστό με ρυθμό P με σκοπό αυτό να προσάγει ένα ποσό θερμότητας,

(στην πράξη μέσω του συμπυκνωτή), με έναν ρυθμό $\dot{Q}_H = P + \dot{Q}_L$ σε ένα θερμό χώρο τον οποίο θέλουμε να διατηρήσουμε σε υψηλότερη θερμοκρασία, (χώρος θέρμανσης ή μέσο θέρμανσης), αντλώντας ένα ποσό θερμότητας με ρυθμό \dot{Q}_L από ένα ψυχρότερο περιβάλλον.

γ) **Ως ψυκτήρες και ως θερμαντήρες** με κατάλληλη ρύθμιση, στην ίδια συσκευή, μιας τετράοδης βαλβίδας ανάμιξης η οποία ενεργοποιείται από την διάταξη ελέγχου που έχει κάθε αντλία θερμότητας.

3.2 Η ιδανική λειτουργία αντλίας θερμότητας

Η ιδανική λειτουργία της αντλίας θερμότητας στηρίζεται στον ανάδρομο θερμοδυναμικό κύκλο Carnot ο οποίος καθορίζει την θεωρητική (μέγιστη) απόδοση της αντλίας θερμότητας με την χρήση του **συντελεστή λειτουργίας ή συμπεριφοράς COP** (Coefficient Of Performance), όταν αυτή λειτουργεί μεταξύ των απόλυτων θερμοκρασιών T_L (του ψυχρότερου χώρου) και T_H , (του θερμότερου χώρου).

Αναλόγως του τρόπου λειτουργίας της αντλίας θερμότητας για θέρμανση ή ψύξη ενός χώρου ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$\text{Για λειτουργία ως θερμαντήρας: } COP_{\Theta} = \frac{\dot{Q}_H}{P} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

$$\text{Για λειτουργία ως ψυκτήρας: } COP_{\Psi} = \frac{\dot{Q}_L}{P} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

Ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας ($COP > 1$). Στα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας οι τιμές του COP κυμαίνονται από 3 μέχρι 5.

Σημαντικό είναι να παρατηρήσουμε, από τις παραπάνω σχέσεις, ότι: Όσο μικρότερη είναι η διάφορα θερμοκρασίας του μέσου από το οποίο αντλείται η θερμότητα και της θερμοκρασίας του μέσου στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα, ($T_H - T_L$), τόσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς εκφράζει τον λόγο της ωφέλιμης θερμότητας που λαμβάνεται προς την ηλεκτρική ενέργεια που δαπανάμε. Για παράδειγμα αν ο συντελεστής συμπεριφοράς σε μια αντλία θερμότητας είναι 4, αυτό σημαίνει ότι:

α) Αν η αντλία θερμότητας λειτουργεί ως θερμαντήρας, τότε η ωφέλιμη θερμική ισχύς που προσάγεται στον θερμαινόμενο χώρο είναι 4 φορές μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ισχύ που δαπανάμε για την λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

β) Αν η αντλία θερμότητας λειτουργεί ως ψυκτήρας, τότε η ωφέλιμη θερμική ισχύς που αντλείται από τον χώρο που ψύχεται είναι 4 φορές μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ισχύ που δαπανάμε για την λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

3.3 Κατηγοριοποίηση των αντλιών θερμότητας

Παρόλο που η γενική αρχή λειτουργίας όλων των αντλιών θερμότητας είναι η ίδια, οι τεχνικές λεπτομέρειες των αντλιών θερμότητας του εμπορίου μπορεί να διαφέρουν, ανάλογα με το σκοπό και τον τρόπο χρήσης για τον οποίο προορίζονται. Έτσι υπάρχουν διάφοροι τύποι και κατηγοριοποίηση αντλιών θερμότητας.

A) Ανάλογα με το μέσο από το οποίο αντλείται η θερμότητα και το μέσο στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα, οι αντλίες θερμότητας ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

- 1) Αέρα – Αέρα
- 2) Αέρα – Νερού

3) Νερού – Αέρα

4) Νερού – Νερού

5) Εδάφους – Αέρα , (σε συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας)

6) Εδάφους – Νερού, (σε συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας)

Β) Ανάλογα με το είδος της κινητήριας μηχανής (συμπιεστής) οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

1) Με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές

2) Με συμπιεστές κινούμενους από μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ)

3) Με υψηλής θερμοκρασίας τρίτης θερμικής πηγής να παίζει τον ρόλο συμπιεστή.

Γ) Ανάλογα με τα ανεξάρτητα μέρη στα οποία χωρίζονται οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

1) Συμπαγείς ή αυτόνομες σε κοινό κέλυφος.

2) Διμερείς με εσωτερική και εξωτερική μονάδα. Ως μονάδες θεωρούνται ο συμπιεστής και ο εξατμιστής.

Δ) Ανάλογα με τον τρόπο αναστροφής της λειτουργίας, από θερμαντήρα σε ψυκτήρα, οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

1) Σταθερού κυκλώματος του ψυκτικού μέσου. Στην περίπτωση αυτή η ροή του ψυκτικού μέσου είναι σταθερής κατεύθυνσης και αλλάζουν οι θέσεις των τμημάτων απαγωγής και προσαγωγής θερμότητας.

2) Μεταβλητού κυκλώματος του ψυκτικού μέσου. Στην περίπτωση αυτή η ροή του ψυκτικού μέσου γίνεται με αλλαγή της κατεύθυνσής της, μέσω τετράοδης βαλβίδας και οι θέσεις των τμημάτων απαγωγής και προσαγωγής θερμότητας είναι σταθερές.

3.4 Η πραγματική λειτουργία αντλίας θερμότητας του εμπορίου σε σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Περιγραφή του ψυκτικού κύκλου.

Θα παρουσιάσουμε την πραγματική λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας του εμπορίου, χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα μια αντλία θερμότητας που αποτελεί τμήμα του συστήματος της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και η οποία ανήκει στην κατηγορία εδάφους - νερού. Η πραγματική λειτουργία και των άλλων αντλιών θερμότητας είναι παρόμοια.

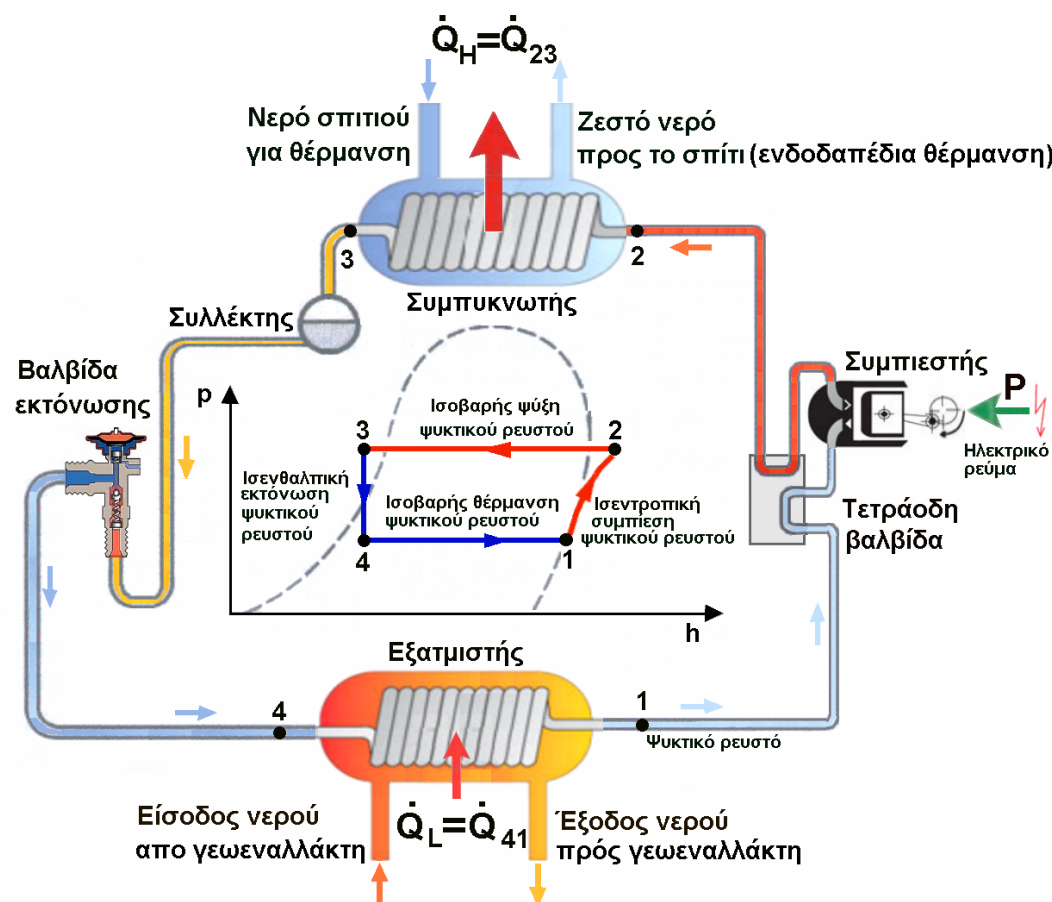
Η πραγματική λειτουργία των αντλιών θερμότητας βασίζεται σε διάφορους ψυκτικούς κύκλους με επικρατέστερο αυτόν της συμπίεσης ατμών ενός ψυκτικού ρευστού. Για να λειτουργήσει μια αντλία θερμότητας σαν θερμαντήρας και σαν ψύκτης, (με αλλαγή των ρόλων των δύο εναλλακτών θερμότητας μέσω της αλλαγής ροής στις σωληνώσεις με την χρήση τετράοδης βαλβίδας), σύμφωνα με τον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμών του ψυκτικού ρευστού, είναι απαραίτητες οι παρακάτω συσκευές:

- 1) Ο συμπιεστής.
- 2) Ο συμπυκνωτής.
- 3) Η βαλβίδα εκτόνωσης ή στραγγαλισμού.
- 4) Ο εξατμιστής.
- 5) Η τετράοδη βαλβίδα.

Εκτός των παραπάνω συσκευών στο κύκλωμα λειτουργίας της αντλίας θερμότητας υπάρχουν και πολλά εξαρτήματα ή δοχεία, (π.χ. δοχείο αδράνειας, δοχείο συλλογής κ.α.), που ο τεχνικός τους ρόλος είναι σημαντικός.

Όταν επιθυμούμε να πετύχουμε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες μέσω ψυκτικών μηχανών συμπίεσης ατμού αυτό συνεπάγεται αναγκαστικά υψηλούς λόγους συμπίεσεων. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται πολυβάθμιοι συμπιεστές, (συνήθως διβάθμιοι), οι οποίοι συνοδεύονται από πολυβάθμιες ψυκτικές εγκαταστάσεις. Σε ότι αφορά τις αντλίες θερμότητας σε συστήματα αβαθούς γεωθερμίας, οι συμπιεστές είναι μονοβάθμιοι και η ψυκτική εγκατάσταση λειτουργεί με ένα ψυκτικό κύκλο.

Θα παρουσιάσουμε τις βασικές αρχές λειτουργίας κάθε συσκευής της αντλίας θερμότητας εδάφους – νερού, όταν αυτή λειτουργεί σαν θερμαντήρας, κατά την διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας της, ο οποίος μπορεί να παρακολουθηθεί στο θερμοδυναμικό διάγραμμα πίεσης (p), ειδικής ενθαλπίας (h) του ψυκτικού υγρού που ακολουθεί.



Εικόνα 12: Ο ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμών του ψυκτικού ρευστού στο διάγραμμα p-h και η λειτουργία των τμημάτων της αντλίας θερμότητας για θέρμανση σπιτιού με αβαθή γεωθερμία

3.4.1 Η λειτουργία του συμπιεστή

Ο συμπιεστής είναι μία αντλία ατμού, η οποία αναρροφά τους κορεσμένους (ή υπέρθερμους) ατμούς του ψυκτικού ρευστού από τον εξατμιστή, (θέση 1) και τους συμπιέζει αυξάνοντας την πίεση, από τη χαμηλή πίεση (p_1) στην υψηλή πίεση (p_2), ενώ ταυτόχρονα καλύπτει και τις απώλειες πίεσης που προκαλούνται στις σωληνώσεις και τα άλλα εξαρτήματα του ψυκτικού κύκλου. Κυρίως όμως ο συμπιεστής αυξάνει την θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού από την χαμηλή θερμοκρασία $T_1 = T_L$ στην υψηλή θερμοκρασία $T_2 = T_H$. Η θερμοδυναμική διεργασία που εκτελεί ο συμπιεστής είναι ισεντροπική, (αντιστρεπτή αδιαβατική) και το ψυκτικό ρευστό μετατρέπεται σε υπέρθερμο ατμό. Για να πετύχει την συμπίεση, ο συμπιεστής δαπανά ηλεκτρική ισχύ P και παράγει έργο συμπίεσης με ρυθμό P_{12} .

Αν η είναι ο βαθμός απόδοσης του συμπιεστή, τότε ισχύει:

$$\eta = \frac{P_{12}}{P}$$

Όπου:

P = η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνει ο συμπιεστής, (σε W).

P_{12} = η ισχύς που αξιοποιεί ο συμπιεστής για την συμπίεση του ρευστού, (σε W). Η ισχύς αυτή υπολογίζεται μέσω της διαφοράς της ειδικής ενθαλπίας του ψυκτικού ρευστού από την σχέση:

$$P_{12} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

Οι τιμές της ειδικής ενθαλπίας του ψυκτικού ρευστού παίρνονται από πίνακες ή διαγράμματα με τις θερμοφυσικές ιδιότητές του, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες βρίσκεται το ψυκτικό ρευστό στις διάφορες θέσεις.

\dot{m} , ο μαζικός ρυθμός του ψυκτικού ρευστού, (σε kg/s).

3.4.2 Η λειτουργία του συμπυκνωτή

Ο συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας και αποτελεί το τμήμα της αντλίας θερμότητας στο οποίο αποβάλλεται η θερμότητα από το ψυκτικό ρευστό, κατά τρόπο που το ψυκτικό μέσο από την κατάσταση του υπέρθερμου ατμού στην οποία βρίσκεται, να μετατραπεί σε υπόψυκτο (ή κορεσμένο) υγρό.

Κατά την λειτουργία της αντλίας θερμότητας ως θερμαντήρας, ο συμπυκνωτής παραλαμβάνει το ψυκτικό ρευστό από την έξοδο του συμπιεστή (θέση 2) και αφαιρώντας θερμότητα από το ψυκτικό μέσο το συμπυκνώνει, ενώ αποβάλλει την θερμότητα προς τον χώρο θέρμανσης του σπιτιού, (την μεταφέρει στο νερό που κυκλοφορεί για την θέρμανση του σπιτιού).

Η θερμοδυναμική διεργασία που εκτελεί ο συμπυκνωτής είναι ισοβαρής και το ψυκτικό ρευστό μετατρέπεται σε υπόψυκτο (ή κορεσμένο) υγρό (θέση 3). Το ψυκτικό ρευστό μέσα στον συμπυκνωτή αποδίδει θερμότητα στο θερμό χώρο ή το μέσο (νερό) που θέλουμε να τον διατηρήσουμε θερμό.

Η θερμική ισχύς $\dot{Q}_L = \dot{Q}_{23}$, (σε W), που απορρίπτει το ψυκτικό υγρό στον συμπυκνωτή υπολογίζεται μέσω της διαφοράς της ειδικής ενθαλπίας του ψυκτικού ρευστού από την σχέση:

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_{23} = \dot{m}(h_3 - h_2)$$

\dot{m} , ο μαζικός ρυθμός του ψυκτικού ρευστού, (σε kg/s).

Στην έξοδο από τον συμπυκνωτή (θέση 3), υπάρχει ένα δοχείο - **συλλέκτης** του υγρού ψυκτικού μέσου.

Παρατήρηση:

Κατά την λειτουργία της αντλίας θερμότητας ως ψυκτήρας, ο συμπυκνωτής, (της αντλίας θερμότητας – θερμαντήρα), αλλάζει ρόλο

και γίνεται εξατμιστής, (της αντλίας θερμότητας που τώρα παίζει ρόλο ψυκτήρα) και το ψυκτικό ρευστό, που τώρα κινείται με αντίθετη φορά, απορροφά την θερμότητα από τον χώρο που θέλουμε να ψύξουμε (δροσίσουμε), δηλαδή από το σπίτι με την βοήθεια fan coils.

3.4.3 Η λειτουργία της βαλβίδας εκτόνωσης

Η βαλβίδα εκτόνωσης είναι μια θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα, που επιτρέπει στο ψυκτικό ρευστό να εκτονωθεί και περνάει από μια στενή δίοδο η οποία στην συνέχεια γίνεται φαρδύτερη, μειώνοντας την υψηλή πίεση του ($P_3 = P_2$) στην χαμηλή πίεση ($P_4 = P_1$), όπως και την υψηλή του θερμοκρασία ($T_3 = T_2 = T_H$) στην χαμηλή του ($T_4 = T_1 = T_L$).

Η θερμοδυναμική διεργασία που εκτελεί η βαλβίδα εκτόνωσης είναι ισενθαλπική και το ψυκτικό ρευστό μετατρέπεται σε μείγμα υγρού – ατμού (θέση 4). Το ψυκτικό ρευστό θεωρητικά δεν υφίσταται ενεργειακή μεταβολή, αλλά στην πράξη υπάρχουν ενεργειακές απώλειες εξαιτίας των τριβών. Η είσοδος και η έξοδος της βαλβίδας εξόδου συνδέονται με ρυθμιστή αλλαγής της ροής, ο οποίος αλλάζει την κατεύθυνση της ροής ανάλογα με το αν η αντλία θερμότητας λειτουργεί ως θερμαντήρας ή ψυκτήρας, (στην εικόνα 9 δεν φαίνεται ο ρυθμιστής της ροής).

3.4.4 Η λειτουργία του εξατμιστή

Ο εξατμιστής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας και αποτελεί το τμήμα της αντλίας θερμότητας στο οποίο αντλείται η θερμότητα από το έδαφος μέσω του γεωεναλλάκτη και προσλαμβάνεται η θερμότητα από το ψυκτικό ρευστό το οποίο βρίσκεται σε κατάσταση υγρού – ατμού, ώστε αυτό να εξατμιστεί (βράσει) μετατρέπόμενο σε κορεσμένο ατμό. Κατά την λειτουργία της αντλίας θερμότητας ως θερμαντήρας, ο εξατμιστής παραλαμβάνει το ψυκτικό ρευστό από την έξοδο του από την βαλβίδα εκτόνωσης (θέση 4) και προσφέροντάς του θερμότητα, (η οποία προέρχεται από τον γεωεναλλάκτη), το εξατμίζει (το βράζει).

Η θερμοδυναμική διεργασία που εκτελεί ο εξατμιστής είναι ισοβαρής και το ψυκτικό ρευστό μετατρέπεται σε κορεσμένο ατμό

(θέση 1). Κατά την λειτουργία της αντλίας θερμότητας ως ψυκτήρας ο εξατμιστής απορροφά θερμότητα από το θερμό περιβάλλον.

Η θερμική ισχύς $\dot{Q}_H = \dot{Q}_{41}$, (σε W), που απορροφά το ψυκτικό υγρό στον εξατμιστή υπολογίζεται μέσω της διαφοράς της ειδικής ενθαλπίας του ψυκτικού ρευστού από την σχέση:

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_{41} = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

\dot{m} , ο μαζικός ρυθμός του ψυκτικού ρευστού, (σε kg/s).

Παρατήρηση:

Κατά την λειτουργία της αντλίας θερμότητας ως ψυκτήρας, ο εξατμιστής, (της αντλίας θερμότητας – θερμαντήρα), αλλάζει ρόλο και γίνεται συμπυκνωτής, (της αντλίας θερμότητας – ψυκτήρα) και το ψυκτικό ρευστό απορρίπτει την θερμότητα που παρέλαβε από τον χώρο που θέλουμε να ψύξουμε (δροσίσουμε), στο θερμότερο περιβάλλον.

3.4.5 Η λειτουργία της τετράοδης βαλβίδας

Η τετράοδη βαλβίδα συνδέεται με δύο από τις διόδους της με τους σωλήνες εισόδου και εξόδου του ρευστού ψύξης στον συμπιεστή, ενώ η μία από τις άλλες δύο διόδους συνδέεται με τον σωλήνα του ρευστού ψύξης που έρχεται (ή πάει) από τον εξατμιστή και η άλλη συνδέεται με τον σωλήνα του ρευστού ψύξης που πάει (ή έρχεται) στον συμπυκνωτή.

Η τετράοδη βαλβίδα επιτρέπει στην αντλία θερμότητας να μετατρέπεται σε θερμαντήρας ή ψύκτης, αντιστρέφοντας τον κύκλο λειτουργίας και αλλάζοντας τον ρόλο των δύο εναλλακτών θερμότητας που μετατρέπονται από εξατμιστής σε συμπυκνωτής και αντίστροφα.

3.4.6 Υπολογισμός του συντελεστή συμπεριφοράς

Αναλόγως του τρόπου λειτουργίας της αντλίας θερμότητας για θέρμανση ή ψύξη ενός χώρου ο **συντελεστής συμπεριφοράς (COP)** υπολογίζεται από τις σχέσεις:

Για λειτουργία ως θερμαντήρας:
$$\text{COP}_\Theta = \frac{\dot{Q}_H}{P} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{h_3 - h_2}{h_2 - h_1}$$

Για λειτουργία ως ψύκτης:
$$\text{COP}_\Psi = \frac{\dot{Q}_L}{P} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

3.5 Ο ρόλος του δοχείου αδράνειας σε σύνδεση με την αντλία θερμότητας

Το δοχείο αδράνειας (buffer tank), είναι ένα δοχείο που βρίσκεται στο σημείο συνάντησης περισσοτέρων πηγών θερμότητας, (αντλία θερμότητας, ηλιακά πάνελ, λέβητες κ.α.), το οποίο περιέχει νερό του κυκλώματος θέρμανσης (το ίδιο νερό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα της αντλίας θερμότητας και των θερμαντικών σωμάτων, fan-coil ή της ενδοδαπέδιας θέρμανσης). Το δοχείο αδράνειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για ψύξη-κλιματισμό-δροσισμό, είτε για θέρμανση. Αποτελεί αναπόσπαστο μέρος μια εγκατάστασης θέρμανσης.

Το δοχείο αδράνειας είναι απαραίτητο συστατικό μιας εγκατάστασης αντλίας θερμότητας. Ειδικά τους χειμερινούς μήνες, η λειτουργία απόψυξης του στοιχείου της εξωτερικής μονάδας της αντλίας θερμότητας, απαιτεί την ύπαρξη δοχείου αδράνειας, για να μην στέλνει κρύο νερό μέσα στον θερμαινόμενο χώρο. Εκτός αυτού, συχνές διακοπές του συμπιεστή αποφεύγονται, χαρίζοντας μια ομαλότερη λειτουργία, όταν υπάρχει δοχείο αδράνειας στην εγκατάσταση. Ειδικά σε οικίες όπου υπάρχει χρέωση νυχτερινού ρεύματος, μια υποδιαστασιολογημένη αντλία θερμότητας, με ένα σωστά διαστασιολογημένο δοχείο αδράνειας, θα μπορούσαν να μειώσουν στο ελάχιστο το κόστος λειτουργίας.

Το δοχείο αδράνειας εξυπηρετεί, δύο βασικές λειτουργίες :

- 1) Δρα ως δοχείο αδράνειας μεταξύ πηγής θερμότητας και κατανάλωσης, εξομαλύνοντας την προσφορά θερμότητας με την ζήτηση θερμότητας.
- 2) Δρα ως θερμοδοχείο μεταξύ πηγής θερμότητας και κατανάλωσης, αποθηκεύοντας θερμότητα για να την παρέχει αργότερα ανάλογα με την ζήτηση.

3.6 Τα ψυκτικά ρευστά,(εργαζόμενα μέσα), που χρησιμοποιούνται στις αντλίες θερμότητας

Το ψυκτικό ρευστό που κυκλοφορεί στις σωληνώσεις της εγκατάστασης του ψυκτικού κύκλου, είναι χημική ουσία που λειτουργεί ως το εργαζόμενο μέσο της θερμοδυναμικής κυκλικής μεταβολής και μεσολαβεί στις αντίστοιχες ενεργειακές μεταβολές κατά την διάρκεια του κύκλου.

3.6.1 Χαρακτηριστικά ψυκτικού μέσου

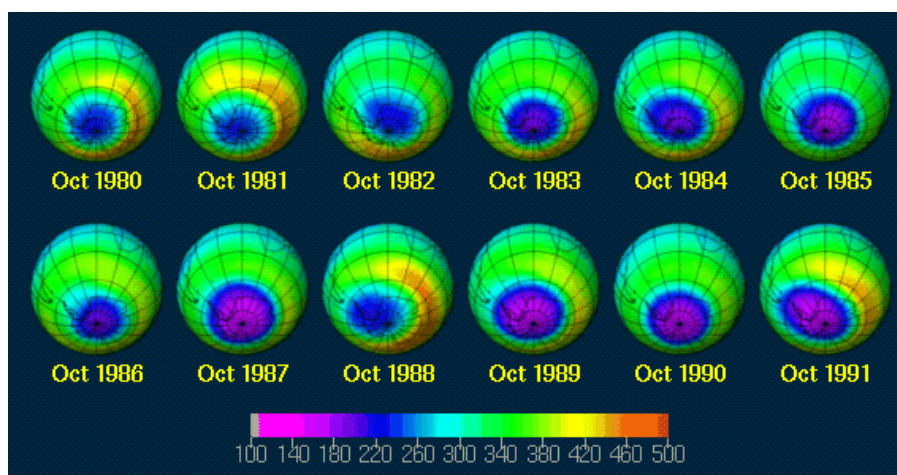
Ένα ψυκτικό μέσο πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά[1]:

- 1) Να μην είναι τοξικό, εύφλεκτο, διαβρωτικό, εκρηκτικό και περιβαλλοντολογικά βλαπτικό.
- 2) Να μη διαλύεται στα λιπαντικά με τα οποία έρχεται σε επαφή.
- 3) Η περιοχή κορεσμού τους πρέπει να βρίσκεται σε ευνοϊκή περιοχή πίεσης και θερμοκρασίας. Η πίεση εξατμίσεως να είναι μεγαλύτερη από αυτήν του περιβάλλοντος, ώστε να αποφεύγεται η εκροή προς το περιβάλλον. Η πίεση συμπίεσης να μην είναι πολύ υψηλή, ώστε να μην απαιτείται δαπανηρή εγκατάσταση για την λειτουργία τους και η κρίσιμη θερμοκρασία να είναι αρκετά υψηλότερη από την μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του κύκλου που εμφανίζεται κατά την διάρκεια της συμπίκνωσης.
- 4) Να έχει μεγάλη ενθαλπία εξατμίσεως, ώστε να ελαχιστοποιείται η μάζα τους για την λειτουργία του κύκλου.

- 5) Να είναι χημικά σταθερή ένωση, ώστε να έχει σταθερές θερμοφυσικές ιδιότητες.

3.6.2 Διαχρονική εξέλιξη ψυκτικών μέσων

Τα ψυκτικά μέσα μέχρι το 1930 ήταν το ισοβουτάνιο (C_4H_{10}), η αμμωνία (NH_3), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το διοξείδιο του θείου (SO_2), οι οποίες ήταν όμως τοξικές ή και εύφλεκτες ουσίες. Στην συνέχεια αντικαταστάθηκαν από ασφαλέστερα (και ακριβότερα σε κόστος), ψυκτικά μέσα, υπό την γενική ονομασία "Freon", που ήταν οι φθοριωμένοι χλωροϋδρογονάνθρακες (CFCs) και οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs). Τα ψυκτικά μέσα αυτά καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος που υπάρχει στην γήινη στρατόσφαιρα και μας προστατεύει από την επικίνδυνη υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Το γεγονός αυτό έχει δημιουργήσει τα εξαιρετικά σοβαρά περιβαλλοντολογικά προβλήματα της ονομαζόμενης "τρύπας του όζοντος", ιδιαίτερα στην Ανταρκτική, και του "φαινόμενου του θερμοκηπίου". Έτσι σταδιακά η χρήση τους περιορίστηκε, με την Συνθήκη της Βιέννης (1986), την Συμφωνία της Κοπεγχάγης (1992), το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1997) και το Πρωτόκολλο του Κιότο (1997).



Εικόνα 13: Η εξέλιξη της τρύπας του όζοντος πάνω από την Ανταρκτική, (διακρίνεται με το ιώδες χρώμα)[8].

Η ενδεδειγμένη εναλλακτική λύση στην αντικατάσταση των CFCs και HCFCs, προς το παρόν, είναι οι υδροφθοράνθρακες (HFCs), οι οποίοι

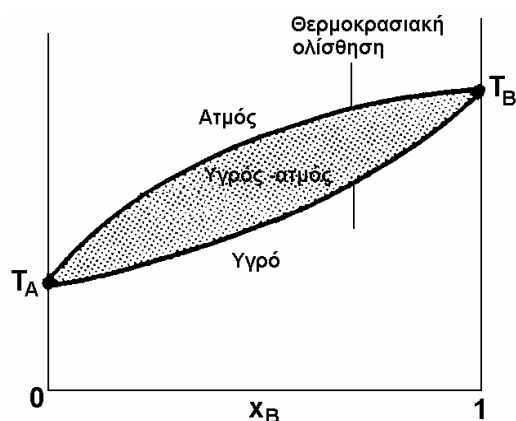
δεν βλάπτουν το όζον, έχουν καλή απόδοση και είναι μη τοξικά και μη αναφλέξιμα, αν και υπάρχει αναπτυσσόμενη επιστημονική έρευνα η οποία αποσκοπεί στο να βρει πιο λειτουργικά και κατάλληλα ψυκτικά μέσα για την λειτουργία των αντλιών θερμότητας.

Η επιστημονική έρευνα έχει εντοπιστεί στις εναλλακτικές λύσεις ψυκτικών μέσων που αποτελούν μείγματα ουσιών που ο συνδυασμός των ιδιοτήτων των συστατικών τους έχει τα επιθυμητά χαρακτηριστικά.

3.6.3 Ζεοτροπικά και αζεοτροπικά μείγματα ψυκτικών ρευστών

Τα μείγματα των ψυκτικών μέσων κατατάσσονται σε δύο σημαντικές ομάδες τα ζεοτροπικά και αζεοτροπικά .[9]

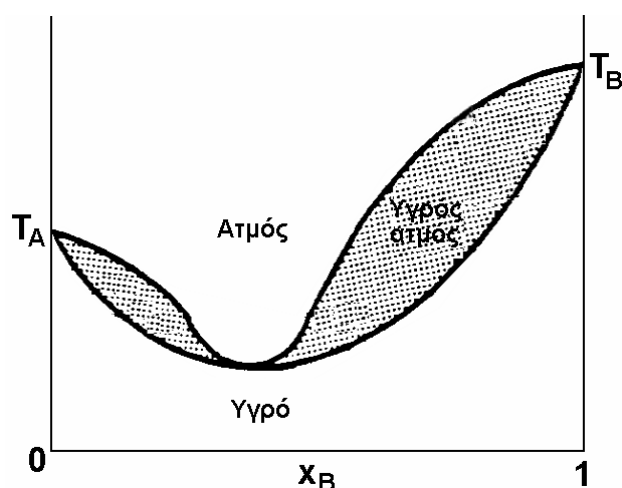
Τα ζεοτροπικά μείγματα, (π.χ. R-134a/R-32), έχουν το χαρακτηριστικό ότι αλλάζουν την φάση τους από υγρό σε ατμό σε μια περιοχή θερμοκρασιών (και όχι σε μια σταθερή θερμοκρασία, όπως συμβαίνει στις καθαρές χημικές ενώσεις), για δοσμένη πίεση, μεταξύ των σημείων βρασμού των συστατικών τους. Η μέση θερμοκρασία βρασμού του ζεοτροπικού μείγματος μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του βρασμού καθώς τα συστατικά έχουν διαφορετικά σημεία βρασμού και έτσι κατά τον βρασμό ή την συμπύκνωσή τους, αλλάζουν την σύστασή τους, γεγονός που επηρεάζει την θερμοκρασία βρασμού και την διαφοροποιεί από την θερμοκρασία συμπύκνωσης. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ``θερμοκρασιακή ολίσθηση`` και εκφράζει την διαφορά των θερμοκρασιών ατμοποίησης – συμπύκνωσης για δοσμένη σύσταση του μείγματος.



Εικόνα 14: Ζεοτροπικό μείγμα δύο συστατικών A και B.

Η θερμοκρασιακή διολίσθηση προκαλεί αστάθεια στην λειτουργία του ψυκτικού κύκλου,(αυξανόμενη αντίσταση στην μεταφορά μάζας στο στάδιο ατμοποίησης και συμπύκνωσης) και χρειάζονται επιπλέον εξαρτήματα για να την διορθώσουν. Επιπλέον τυχόν διαρροή του μείγματος, αλλάζει την σύσταση του εναπομείναντος ψυκτικού υγρού στο σύστημα, γεγονός που προκαλεί επιπρόσθετα προβλήματα στην περαιτέρω λειτουργία του. Παρόλα αυτά τα ζεοτροπικά μείγματα έχουν το πλεονέκτημα ότι σε ορισμένες εφαρμογές προσφέρουν καλύτερη απόδοση.

Τα αζεοτροπικά μείγματα, (π.χ. R-143a/R-125), έχουν το χαρακτηριστικό ότι ατμοποιούνται και υγροποιούνται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, (χωρίς να υπάρχει θερμοκρασιακή ολίσθηση στην θερμοκρασία αυτή), όπως ένα καθαρό υγρό, για τον λόγο αυτό και προτιμούνται σε σχέση με τα ζεοτροπικά μείγματα, αφού δεν παρουσιάζουν τα προβλήματα που προκαλούνται από την χρήση αυτών. Η θερμοκρασία αυτή αντιστοιχεί σε ένα μέγιστο ή ελάχιστο που εμφανίζει το αζεοτροπικό μείγμα για δοσμένη αναλογία των συστατικών του, για διαφορετική αναλογία σύνθεσης όμως εμφανίζουν θερμοκρασιακή διολίσθηση, (εκατέρωθεν του μεγίστου ή ελαχίστου).



Εικόνα 15: Αζεοτροπικό μείγμα δύο συστατικών A και B με σχηματισμό ελαχίστου.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των αζεοτροπικών μειγμάτων είναι ότι έχουν πιέσεις ατμών λειτουργίας πολύ συγκεκριμένες που η περιοχή τους απέχει από την περιοχή των ψυκτικών τύπων Freon και κατά

συνέπεια απαιτούν νέα ιδιαίτερη τεχνολογία στην χρήση τους, σε σχέση με την καθιερωμένη. Πάντως η τεχνολογία αυτή έχει ήδη αναπτυχθεί και έτσι τα αζεοτροπικά μείγματα, αντικαθιστούν σταδιακά τα ζεοτροπικά.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα βασικά ψυκτικά μέσα που χρησιμοποιούνται σήμερα με δείκτη ικανότητας καταστροφής του όζοντος ODP = 0, και τα χαρακτηριστικά τους, μαζί με τον δείκτη συμβολής στο φαινόμενο του θερμοκηπίου της Γης (GWP).

ΨΥΚΤΙΚΟ	ΣΥΝΘΕΣΗ	ΣΗΜΕΙΟ ΒΡΑΣΜΟΥ (°C), σε 1bar	ΚΡΙΣΙΜΗ ΘΕΡΜΟΚΡ.	GWP	ΟΜΑΔΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ
R-134a	C ₂ H ₂ F ₄	-26	101	1300	A1
R-413A	R-134a.218/600a	-35	101	1900	A1/A2
R-404A	R-143a/125/134a	-47	73	3800	A1/A1
R-507A	R-143A/125	-47	71	3900	A1
R-407C	R-32/125/134a	-44	87	1700	A1/A1
R-417A	R-125/134a/600	-43	90	2200	A1/A1
R-410A	R-32/125	-51	72	2000	A1/A1
R-508	R-23/116	-86	13	12000	A1
R-717	NH ₃	-33	133	0	B2
R-600A	CH(CH ₃) ₃	-12	135	20	A3
R-290	C ₃ H ₈	-42	97	20	A3
R-1270	C ₃ H ₆	-48	92	20	A3
R-744	CO ₂	-57	31	1	A1

Πηγή : UNEP, 2002 report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pump Technical Options Committee --2002 Assessment.

3.6.4 Η επιλογή της ισχύος της αντλίας θερμότητας για την θέρμανση και ψύξη/δροσισμό κατοικίας.

Η επιλογή της ισχύος της αντλίας θερμότητας για την θέρμανση και την ψύξη/δροσισμό μιας κατοικίας, γίνεται με βάση τις ανάγκες της θέρμανσης και είναι ίση με την θερμική ισχύ απωλειών, οι οποίες εξαρτώνται από το εμβαδόν της κατοικίας και από το αν η μόνωση της κατοικίας είναι καλή ή κακή και υπολογίζονται με βάση την μεθοδολογία που αναπτύσσουμε στο Κεφαλαίο 5.

Η ισχύς της αντλίας θερμότητας υπολογίζεται από την σχέση:

$$\dot{Q}_{A/\Theta} = \dot{Q}_{ολ}$$

Όπου $\dot{Q}_{ολ}$ η θερμική ισχύς ολικών απωλειών, (σε kW).

Κεφάλαιο 4: ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΓΕΩΘΕΝΑΛΛΑΚΤΗ



Εικόνα 16: Γεωθερμική αντλία θερμότητας με κατακόρυφο γεωθεναλλάκτη κλειστού κυκλώματος μιας γεώτρησης, για θέρμανση κατοικίας.



Εικόνα 17: Φωτογραφία από τις γεωτρήσεις κατά την εγκατάσταση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με κατακόρυφο γεωθεναλλάκτη κλειστού κυκλώματος.



Εικόνα 18: Άλλη φωτογραφία από τις γεωτρήσεις κατά την εγκατάσταση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με κατακόρυφο γεωεναλλάκτη κλειστού κυκλώματος.

4.1 Βασικές αρχές εγκατάστασης του συστήματος

Οι βασικές αρχές τις οποίες πρέπει να έχει υπόψη του και να ακολουθήσει ο Μηχανολόγος Μηχανικός για την εγκατάσταση ενός συστήματος ανοικτής γεωθερμίας για την θέρμανση και τον δροσισμό μιας κατοικίας είναι:

1) Να γνωρίσει και να εκτιμήσει τις ενεργειακές ανάγκες που απαιτούνται για την θέρμανση και τον δροσισμό, λαμβάνοντας υπόψη την κατασκευή καθώς και τις αντίστοιχες ενεργειακές απώλειες που πρέπει να καλυφθούν ανά περίοδο του έτους, καθώς και την τοπολογία - γεωλογία του περιβάλλοντος του συγκεκριμένου σπιτιού με επιτόπια παρουσία του και απαραίτητες μετρήσεις.

2) Να εκτιμήσει τα δεδομένα της γεωθερμίας του περιβάλλοντος του σπιτιού και να αποφασίσει για το καταλληλότερο σύστημα γεωθερμίας που θα χρειαστεί.

3) Να κάνει τους υπολογισμούς και την διαστασιολόγηση του όλου έργου, καθώς και την τεχνικοοικονομική μελέτη αυτού, προτείνοντας και τις αντίστοιχες εναλλακτικές λύσεις. Πιο συγκεκριμένα πρέπει:

α) Να υπολογίσει και να διαστασιολογήσει τον γεωεναλλάκτη.

β) Να επιλέξει την καταλληλότερη αντλία θερμότητας με βάση τους ενεργειακούς υπολογισμούς του συστήματος.

γ) Να επιλέξει ή να προτείνει τα απαραίτητα υλικά και τα εξαρτήματα που αφορούν την ενδοδαπέδια θέρμανση του σπιτιού καθώς και τον δροσισμό του.

4) Να προΐσταται κατά την εκτέλεση - εγκατάσταση του έργου από τους τεχνικούς, φροντίζοντας να γίνουν όλα με βάση την υπολογιστική μελέτη του έργου.

5) Να ελέγξει την λειτουργία της εγκατάστασης και αν υπάρχουν προβλήματα να προτείνει τις τεχνικές διορθώσεις που πρέπει να γίνουν, ώστε αυτό να λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του.

6) Να γνωρίζει την σχετική νομοθεσία που αφορά την εγκατάσταση του συστήματος. (βλ. Παράρτημα σελίδες 118,119,120).

4.2 Ποσοτικές μέθοδοι υπολογισμού και διαστασιολόγησης κατακόρυφου γεωεναλλάκτη

Το κρίσιμο μέγεθος που διαστασιολογεί έναν κατακόρυφο γεωεναλλάκτη είναι ο υπολογισμός της μέγιστης θερμικής ισχύος που μπορεί να αποδώσει ο γεωεναλλάκτης.

Ο υπολογισμός αυτός απαιτεί επιμέρους ενέργειες οι οποίες και τελικά διαστασιολογούν τον γεωεναλλάκτη. Οι επιμέρους ενέργειες είναι:

α) **εύρεση του μέσου συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και θερμικής διαχυτότητας του εδάφους** στο οποίο θα τοποθετηθεί ο γεωεναλλάκτης. Για τον σκοπό αυτό, αν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια (που είναι και το πιο επιθυμητό), γίνονται δοκιμές και μετρήσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές του IGSHPA, (International Ground

Source Heat Pump Association), οι οποίες επεξεργάζονται και αξιοποιούνται από Μηχανολόγους Μηχανικούς με τελικό αποτέλεσμα τον καθορισμό των μέσων τιμών του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και θερμικής διαχυτότητας του εδάφους.

Οι μετρήσεις των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του εδάφους είναι χρονοβόρες και αρκετά δύσκολες, αφού απαιτούνται πολλές μετρήσεις κατά την διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων του έτους. Έτσι συνήθως παίρνονται μέσες τιμές για το έδαφος, σύμφωνα με υποδείξεις οργανώσεων, όπως η αμερικάνικη ASHRAE, (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) και η Γερμανική VDI. Στην παρακάτω εικόνα δείχνεται ο πίνακας στον οποίο αναφέρονται οι μέσες τιμές των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του εδάφους παγκόσμια, σύμφωνα με τις υποδείξεις της ASHRAE.

Θερμοφυσικές ιδιότητες εδάφους	Τιμές
Θερμική αγωγιμότητα (k)	1,4 (W/mK)
Πυκνότητα (ρ)	2000 (kg/m ³)
Ειδική θερμοχωρητικότητα (c)	1400 (J/kgK)
Θερμική διαχυτότητα	5.10 ⁻⁷ (m ² /mK)

Οι επιθυμητές θερμοφυσικές ιδιότητες του εδάφους είναι, όσο το δυνατόν υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα (k) και όσο το δυνατόν μικρότερη θερμική διαχυτότητα (α), ώστε να είναι αποδοτικότεροι οι μηχανισμοί μετάδοσης της θερμότητας με αγωγή και συναγωγή από το έδαφος προς τους σωλήνες του γεωεναλλάκτη και τελικά στο εσωτερικό των όπου ρέει το νερό ή το μείγμα νερού – αντιπηκτικού.

β) Υπολογισμός και επιλογή των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη, τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού, την ανθεκτικότητα, το πάχος και το μήκος, αυτών. Οι σωληνώσεις από πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, είναι οι πιο διαδεδομένοι. Ο μελετητής πρέπει να επιλέξει τον λεπτότερο (και ανθεκτικότερο) σε πάχος τοιχωμάτων σωλήνα για το

τμήμα του γεωεναλλάκτη που είναι χωμένο στο έδαφος, (ώστε να διευκολύνει την μετάδοση θερμότητας) και τον χονδρότερο σε πάχος τοιχωμάτων σωλήνα για τα τμήματα που είναι εκτός εδάφους, (ώστε να ελαττώσει τις θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον).

Το μήκος των σωλήνων εξαρτάται από το βάθος και τον αριθμό των γεωτρήσεων του γεωεναλλάκτη. Γενικά όσο πιο αμμώδες και υγρό είναι το έδαφος, τόσο μικρότερο είναι το βάθος των γεωτρήσεων, ενώ αντίθετα τα ξηρά και αργιλώδη εδάφη απαιτούν μεγαλύτερο βάθος γεωτρήσεων. Σε συνηθισμένες εγκαταστάσεις το βάθος μιας γεώτρησης είναι περίπου 100(m).



Εικόνα 19: Σωλήνες γεωεναλλάκτη από πολυπροπυλένιο.



Εικόνα 20: Εξωτερικοί σωλήνες γεωεναλλάκτη από πολυαιθυλένιο κατά την εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας με κατακόρυφο γεωεναλλάκτη στην κατοικία των Μουδανιών της Χαλκιδικής.

γ) **Επιλογή των υγρών κυκλοφορίας** του γεωεναλλάκτη. Συνήθως το υγρό κυκλοφορίας είναι το νερό, στις περιπτώσεις που οι θερμοκρασίες δεν είναι μικρότερες των 0°C, (ώστε αυτό να μην παγώνει). Αν στην περιοχή της εγκατάστασης, εμφανίζονται σημαντικές πτώσεις της θερμοκρασίας υπό το μηδέν, τότε το υγρό κυκλοφορίας αποτελείται από νερό μαζί με αντιπηκτικό, (συνήθως αιθανοδιόλη).

δ) **Εισαγωγή των δεδομένων και υπολογισμός της μέγιστης θερμικής ισχύος** που μπορεί να αποδώσει ο γεωεναλλάκτης, (καθώς και άλλων ενεργειακών υπολογισμών), **από κατάλληλο λογισμικό Η/Υ**, (π.χ. λογισμικά της εταιρίας 4M, Trancys κ.α.).

Η ASHRAE προτείνει αλγόριθμο που επιτρέπει την αρκετά ακριβή μέτρηση της μέγιστης ειδικής θερμικής ισχύος του γεωεναλλάκτη ως συνάρτηση της αρχικής θερμοκρασίας του εδάφους θεωρώντας αρχικές θερμοκρασίες του εδάφους 5°C και 30°C, οι οποίες αποτελούν τα όρια του εύρους των θερμοκρασιών του εδάφους και των ωρών λειτουργίας για θερμοκρασία εισόδου εξόδου του νερού από 0 έως 2°C και από 9 μέχρι 11°C, τα αποτελέσματα των οποίων δίνονται σε διαγράμματα και ενδεικτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα[12].

Σύσταση εδάφους	Ειδική ανάκτηση θερμότητας (W/m εδάφους)
Ξηρές φερτές ύλες	10 – 30
Αργιλικοί σχιστόλιθοι	20 – 55
Ξηρά πετρώματα (μάρμαρα)	40 – 80
Υπέδαφος με ροή υπογείου ύδατος	50 – 100

Ο Γερμανικός οργανισμός VDI 4640 προτείνει τρόπο υπολογισμού της μέγιστης θερμικής ισχύος του γεωεναλλάκτη, ως συνάρτηση των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του εδάφους και των υλικών κατασκευής του γεωεναλλάκτη και για περιόδους λειτουργίας αυτού για 1800(h/y) και 2400(h/y), ανεξάρτητα από την θερμοκρασία του εδάφους και σύμφωνα με το πρότυπο αυτό και τον αλγόριθμο που χρησιμοποιεί, κυμαίνεται από 15 έως 100 (W/m γεώτρησης). Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου δίνονται ενδεικτικά στον πίνακα που ακολουθεί [12].

Είδος πετρώματος υπεδάφους	Ειδική απόληψη θερμότητας (W/m εδάφους)	
	1800(h/y)	2400(h/y)
Ξηρές φερτές ύλες	25	20
Αμμοχάλικο, άμμος , ξηρή	< 25	
Αμμοχάλικο, άμμος , κορεσμένα με νερό	65 – 80	55 – 65
Αργιλώδες έδαφος, υγρό	35 – 50	30 – 40
Ασβεστόλιθος (συμπαγής)	55 – 70	45 – 60
Ψαμμίτες	65 – 80	55 – 65
Γρανίτης	65 – 85	55 – 70

Επιπλέον αναφέρουμε επίσης ότι για τον υπολογισμό της μέγιστης θερμικής ισχύος που μπορεί να αποδώσει ο γεωεναλλάκτης, το Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών (ΕΚΣΔ) του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Α.Π.Θ. έχει αναπτύξει ειδικό αλγόριθμο που επιτρέπει τον υπολογισμό της μέγιστης θερμικής ισχύος του γεωεναλλάκτη, ως συνάρτηση της αρχικής θερμοκρασίας του εδάφους και της διάρκειας συνεχούς λειτουργίας.

4.3 Στοιχεία μετάδοσης θερμότητας με αγωγή και συναγωγή για τον υπολογισμό της θερμορροής του γεωεναλλάκτη.

Σε περίπτωση έλλειψης λογισμικού ή υπολογιστή, μπορούμε να υπολογίσουμε την μέγιστη θερμορροή του γεωεναλλάκτη με αναλυτικό τρόπο, χρησιμοποιώντας τις σχέσεις και την μεθοδολογία της Μετάδοσης Θερμότητας, (στις οποίες στηρίζονται τα λογισμικά) και η οποίες περιγράφονται στην συνέχεια. Φυσικά η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα.

Η επιστήμη της Μεταφοράς Θερμότητας ασχολείται με την μελέτη του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας, δηλαδή με την θερμότητα που ρέει στην μονάδα του χρόνου και τον τρόπο μετάδοσής της. Σε κάποιες περιπτώσεις μας ενδιαφέρει να μεγιστοποιήσουμε τον ρυθμό αυτό,

όπως γίνεται στους εναλλάκτες θερμότητας και σε κάποιες να τον ελαχιστοποιήσουμε όπως γίνεται όταν κάνουμε θερμομόνωση.[11]

4.3.1 Τρόποι μετάδοσης θερμότητας

Η θερμότητα μπορεί να μεταδοθεί με τρεις τρόπους:

1ος τρόπος: **Με αγωγή** (στο εσωτερικό της μάζας των στερεών, ή εντελώς ακίνητων ρευστών, η ενέργεια μεταφέρεται με ταλαντώσεις από μόριο σε μόριο του κρυσταλλικού πλέγματος ή με την κίνηση ελευθέρων ηλεκτρονίων, εξαιτίας θερμοκρασιακής διαφοράς).

2ος τρόπος: **Με συναγωγή** (μεταξύ της επιφάνειας ενός στερεού και ενός κινούμενου ρευστού (υγρού ή αέριου) ή ρευστού που αλλάζει φάση, η ενέργεια μεταφέρεται - συνάγεται κατά την κίνηση του ρευστού με αγωγή και με τις μακροσκοπικές κινήσεις ομάδων μορίων του ρευστού).

3ος τρόπος: **Με ακτινοβολία** (στα στερεά, υγρά και αέρια, η θερμότητα εκπέμπεται με την μορφή θερμικής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας – φωτονίων, εξαιτίας θερμοκρασιακής διαφοράς που επηρεάζει την ηλεκτρονιακή διαμόρφωση των ατόμων των μορίων).

Παρόλο που η ακτινοβολία μπορεί να συμβαίνει σε όλο τον όγκο ενός υλικού, θεωρείται κυρίως επιφανειακό φαινόμενο αλληλεπίδρασης που ενδιαφέρει στις στερεές επιφάνειες.

Πρέπει να τονίσουμε, ότι σε ένα μέσο δεν μπορεί να υφίστανται ταυτόχρονα και οι τρεις τρόποι μετάδοσης θερμότητας και ειδικά δεν μπορούν να υπάρχουν ταυτόχρονα η αγωγή και η συναγωγή εντός της μάζας του ίδιου υλικού.

Σε ότι αφορά την μεταφορά θερμότητας από το έδαφος προς τον γεωεναλλάκτη, με σκοπό την διαστασιολόγησή του, αυτή θεωρείται ότι γίνεται με δύο τρόπους, με αγωγή και συναγωγή, ενώ η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία δεν λαμβάνεται υπόψη, καθώς τα σώματα δεν έχουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες ($T < 40^{\circ}\text{C}$) . Πιο συγκεκριμένα:

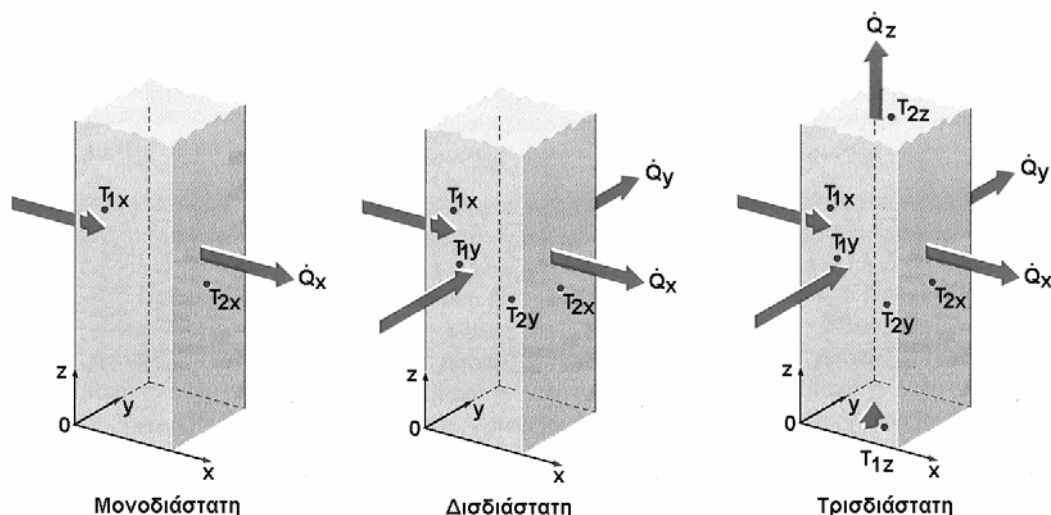
α) Με αγωγή από το εξωτερικό των τοιχωμάτων των σωλήνων, (που θεωρούνται ότι έχουν θερμοκρασία ίση με του εδάφους που τα περιβάλλει) προς το εσωτερικό των σωλήνων του γεωεναλλάκτη.

β) Με συναγωγή, (εξαναγκασμένη) από το εσωτερικό των τοιχωμάτων των σωλήνων του γεωεναλλάκτη προς το ρέον ρευστό (νερό συν το αντιπηκτικό), που ρέει μέσα στους σωλήνες.

4.3.2 Μονοδιάστατη, δισδιάστατη, τρισδιάστατη, μόνιμη και μεταβατική μετάδοση θερμότητας με αγωγή

Η θερμορροή είναι διανυσματικό μέγεθος που έχει μέτρο και κατεύθυνση. Στην γενική περίπτωση η μεταφορά θερμότητας με αγωγή, σε ένα μέσο, μπορεί να γίνεται και προς τις τρεις διευθύνσεις του χώρου, δηλαδή να είναι τρισδιάστατη και εξαρτάται και από τον χρόνο. Έτσι η θερμοκρασία του μέσου μεταβάλλεται με τη θέση και το χρόνο και σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων γράφουμε ότι είναι $T = f(x,y,z,t)$.

Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή σε ένα μέσο, σε ότι αφορά τις διευθύνσεις στον χώρο, μπορεί να είναι μονοδιάστατη, δισδιάστατη ή τρισδιάστατη.



Εικόνα 21: Μονοδιάστατη, δισδιάστατη και τρισδιάστατη μεταφορά θερμότητας με αγωγή, εντός της μάζας στερεού υλικού.

Όταν η αγωγή θερμότητας σε ένα μέσο είναι σημαντική ως προς μία διεύθυνση (π.χ. κατά τον άξονα x) και αμελητέα ως προς τις άλλες δύο διευθύνσεις (y,z), τότε λέμε ότι αυτή **είναι μονοδιάστατη**.

Όταν η αγωγή θερμότητας σε ένα μέσο είναι σημαντική ως προς δύο διευθύνσεις (π.χ. κατά τον άξονα x και y) και αμελητέα ως προς την τρίτη διεύθυνση (z), τότε λέμε ότι αυτή **είναι δισδιάστατη**.

Όταν η αγωγή θερμότητας σε ένα μέσο είναι σημαντική ως προς τις τρεις διευθύνσεις (άξονες x,y,z), τότε λέμε ότι αυτή **είναι τρισδιάστατη**.

Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με την μονοδιάστατη ροή θερμότητας με αγωγή. Η μεταφορά θερμότητας με αγωγή σε ένα μέσο, σε ότι αφορά τον χρόνο, μπορεί να είναι μόνιμη ή μεταβατική.

Μόνιμη θεωρείται η μεταφορά θερμότητας με αγωγή, όταν η θερμοκρασία του μέσου στις διάφορες θέσεις, δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Μεταβατική θεωρείται η μεταφορά θερμότητας με αγωγή, όταν η θερμοκρασία του μέσου στις διάφορες θέσεις, μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Η μεταφορά θερμότητας στο σύστημα έδαφος - γεωεναλλάκτης κατά την διαστασιολόγηση του συστήματος προσεγγίζεται ως μονοδιάστατη, (ακτινικά του σωλήνα) και μόνιμη, (στην κατάσταση που το σύστημα σταθεροποιήθηκε και η λειτουργία θεωρείται μόνιμη).

4.3.3 Θερμότητα και θερμορροή

1) Η **Ενέργεια (E)**, (σε J), είναι το φυσικό μέγεθος που ορίζεται ως η ικανότητα ενός σώματος να μπορεί να παράγει έργο. Η ενέργεια υπάρχει σε πολλές μορφές και γενικά μπορεί να μετατραπεί από την μία μορφή στην άλλη.

2) **Θερμότητα (Q)**, (σε J), είναι η μορφή της ενέργειας που μπορεί να μεταφερθεί από ένα σύστημα σε ένα άλλο, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας.

3) **Ρυθμός μετάδοσης θερμότητας ή θερμορροή (\dot{Q})**, (σε W) , ορίζεται σαν η μεταφορά του ποσού θερμότητας στην μονάδα του χρόνου.

Δηλαδή: $\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t}$

Όπου :

Δt = το χρονικό διάστημα (ή χρόνος), (σε s), στον οποίο ανταλλάχθηκε η θερμότητα Q από το σώμα.

4) **Πυκνότητα θερμορροής ή ειδική θερμορροή (\dot{q})** , $\left(\text{σε } \frac{W}{m^2}\right)$,

ονομάζεται η ποσότητα θερμότητας η οποία, ανά μονάδα χρόνου,

μεταδίδεται μέσα από τη μονάδα επιφανείας A. Ισχύει: $\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A}$

Η θερμορροή μέσα από μία επιφάνεια A, σε συνάρτηση με την πυκνότητα θερμορροής υπολογίζεται από την σχέση: $\dot{Q} = \dot{q}A$

Παρατήρηση:

Η θερμορροή και η πυκνότητα θερμορροής είναι μεγέθη που έχουν κατεύθυνση με φορά από την υψηλή θερμοκρασία T_1 προς την χαμηλή θερμοκρασία T_2 .

4.3.4 Σχέσεις υπολογισμού της θερμορροής στο σύστημα γεωεναλλάκτη

Ανάλογα με τον μηχανισμό μεταφοράς της θερμότητας, η θερμορροή μπορεί να υπολογιστεί από διάφορες σχέσεις. Για το σύστημα του γεωεναλλάκτη μας ενδιαφέρουν οι εξής σχέσεις υπολογισμού της θερμορροής:

α) Γενικά η θερμορροή που απορροφά ή χάνει σώμα, (στερεό ή ρευστό), αρχικής θερμοκρασίας T_1 , σε όλη την μάζα του, για να μεταβληθεί σε τελική θερμοκρασία T_2 σε όλη την μάζα του, ενώ διατηρεί την φυσική του κατάσταση, μπορεί να υπολογιστεί από τον

νόμο της θερμιδομετρίας: $\dot{Q} = \dot{m}c_p (|T_1 - T_2|)$

Όπου:

\dot{m} = ο μαζικός ρυθμός του σώματος, (σε kg/s).

c_p = η ειδική θερμοχωρητικότητα του σώματος υπό σταθερή πίεση, (σε J/kg°C ή J/kgK)

T_1 = η αρχική θερμοκρασία του σώματος, (σε °C ή K).

T_2 = η τελική θερμοκρασία του σώματος, (σε °C ή K).

β) Η **θερμορροή** σε συνθήκες μόνιμης αγωγής **μέσα από τα τοιχώματα στερεού κυλινδρικού σώματος**, (όπως θεωρούνται οι σωλήνες του γεωεναλλάκτη), υπολογίζεται από τον **νόμο του Fourier**:

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = \frac{2\pi\lambda L}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (|T_1 - T_2|)$$

Όπου :

λ = η θερμική αγωγιμότητα του υλικού του σωλήνα, (σε W/mK ή W/m°C).

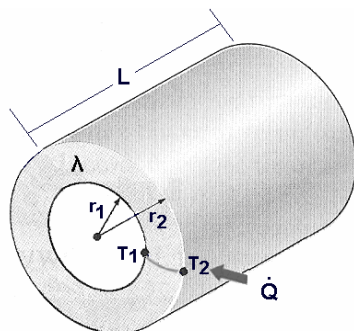
L = το μήκος του σωλήνα (σε m).

r_1 = η εσωτερική ακτίνα του σωλήνα (σε m).

r_2 = η εξωτερική ακτίνα του σωλήνα (σε m).

T_1 = η χαμηλή θερμοκρασία, εξωτερικά του σωλήνα (σε °C ή K).

T_2 = η υψηλή θερμοκρασία, εσωτερικά του σωλήνα (σε °C ή K).



Εικόνα 22: Μονοδιάστατη, μόνιμη ροή θερμότητας με αγωγή, μέσα από στερεό κυλινδρικό σωλήνα.

γ) Η θερμороή λόγω συναγωγής, κατά την κίνηση ρευστού εντός των σωλήνων του γεωεναλλάκτη με τις παραδοχές ότι η θερμοκρασία στο εσωτερικό των σωλήνων είναι σταθερή σε όλο το μήκος του σωλήνα και η ροή είναι πλήρως αναπτυγμένη, υπολογίζεται από την **σχέση του**

νόμου ψύξης του Newton: $\dot{Q}_{conv} = hA\Delta T_{ln}$

Όπου:

h = ο μέσος συντελεστής συναγωγής (σε W/m^2K).

A = η εσωτερική επιφάνεια μέσω της οποίας γίνεται η μεταφοράς της θερμότητας, (σε m^2).

ΔT_{ln} = η λογαριθμική μέση διαφορά της θερμοκρασίας, (σε $^{\circ}C$ ή K).

Η λογαριθμική μέση διαφορά θερμοκρασίας, παριστάνει την εκθετική μείωση της τοπικής διαφοράς μεταξύ του ρευστού και της εσωτερικής επιφάνειας του σωλήνα και υπολογίζεται από την σχέση:

$$\Delta T_{ln} = \frac{|T_e - T_i|}{\ln\left(\frac{T_s - T_e}{T_s - T_i}\right)} = \frac{|\Delta T_e - \Delta T_i|}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_i}\right)}$$

Όπου :

T_s = η σταθερή θερμοκρασία της επιφάνειας του στερεού (εσωτερική θερμοκρασία ίση με εξωτερική, στην περίπτωση λεπτών αγωγίμων τοιχωμάτων του σωλήνα), (σε $^{\circ}C$).

T_i = η μέση θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον σωλήνα, (σε $^{\circ}C$).

T_e = η μέση θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον σωλήνα, (σε $^{\circ}C$).

$|\Delta T_e| = |T_s - T_e|$ = απόλυτη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας επιφάνειας σωλήνα, θερμοκρασίας ρευστού στην έξοδο.

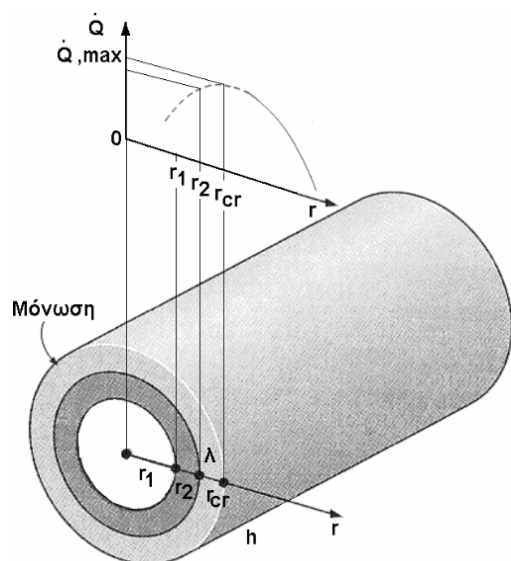
$|\Delta T_i| = |T_s - T_i|$ = απόλυτη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας επιφάνειας σωλήνα, θερμοκρασίας ρευστού στην είσοδο.

4.3.5 Κρίσιμη ακτίνα μόνωσης

Για να αποφύγουμε τις απώλειες θερμορροής στους σωλήνες του γεωεναλλάκτη που βρίσκονται έξω από το έδαφος, χρειάζεται να τους μονώσουμε με κατάλληλο μονωτικό υλικό.

Ένας πρακτικός τρόπος προς μείωση της θερμορροής είναι η επένδυση με υλικό που έχει μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας (κάτω από 2W/mK). Τα υλικά αυτά με τα οποία επιτυγχάνουμε την μείωση της θερμορροής ονομάζονται *μονωτικά υλικά*. Τέτοια υλικά είναι η άσβεστος, το μαλλί, το χαλίκι, υαλοβάμβακας, πολυουρεθάνη, μίκα κ.α.

Σε ότι αφορά όμως την θερμική μόνωση σε σωλήνες (κυλινδρικής μορφής), η τοποθέτηση μονωτικού υλικού δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη μείωση των απωλειών θερμότητας, μπορεί και να αυξήσει τις θερμικές απώλειες.



Εικόνα 23: Η κρίσιμη ακτίνα μόνωσης σε κυλινδρικό σωλήνα.

Η μείωση ή η αύξηση των θερμικών απωλειών εξαρτάται και από το πάχος του στρώματος του μονωτικού, καθόσον η θερμορροή είναι, όπως είδαμε πιο πάνω, αντιστρόφως ανάλογη του λογαρίθμου της εξωτερικής ακτίνας του κυλίνδρου και γενικά του κυλίνδρου μαζί με το μονωτικό υλικό, αλλά είναι ανάλογη επίσης και της επιφάνειας, η οποία στον κύλινδρο εξαρτάται από την εξωτερική ακτίνα επίσης.

Έτσι υπάρχει μια κρίσιμη τιμή της ακτίνας του γυμνού κυλίνδρου, που πριν από την τιμή αυτή αν προσθέσουμε μονωτικό στρώμα οι θερμικές απώλειες αυξάνονται (αντί να μειώνονται!) ενώ μετά από την τιμή αυτή μειώνονται. Δηλαδή η κρίσιμη τιμή της ακτίνας αποτελεί ένα μέγιστο στην θερμορροή, πέρα από το οποίο αυτή μειώνεται .

Η κρίσιμη τιμή της ακτίνας του κυλίνδρου για την οποία έχουμε την μέγιστη θερμορροή δίνεται από την σχέση : $r_{cr, \text{ κυλινδ}} = \frac{\lambda}{h}$

Όπου:

λ = ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μονωτικού υλικού (σε W/mK).

h = ο συντελεστής συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια της μόνωσης (σε W/m²K).

Για να πετύχουμε μείωση της θερμορροής κάτω από την τιμή που έχει αυτή για τον γυμνό σωλήνα, θα πρέπει η ακτίνα του γυμνού κυλίνδρου να είναι μεγαλύτερη από την r_{cr} και να τοποθετήσουμε πάχος μονωτικής επένδυσης $\Delta r = r - r_{cr} > 0$.

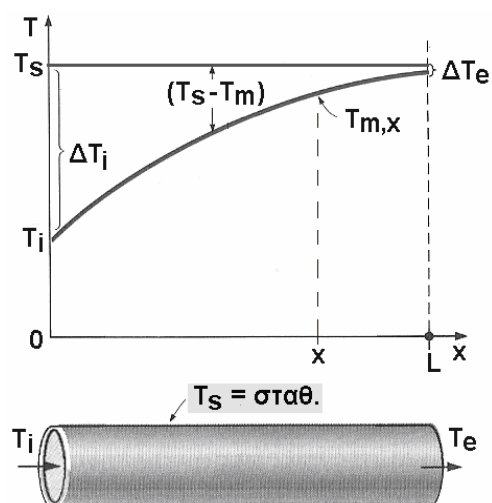
4.3.6 Υπολογισμός του μέσου συντελεστή συναγωγής σε εξαναγκασμένη συναγωγή

Ο μέσος συντελεστής συναγωγής μπορεί να υπολογιστεί, αν γνωρίζουμε τον μέσο αριθμό Nusselt [11]. Ανάλογα με το αν η συναγωγή είναι εξαναγκασμένη, (όπως συμβαίνει στο εσωτερικό των σωλήνων του γεωεναλλάκτη, εντός του εδάφους όπου ρέει το μείγμα νερού – αντιπηκτικού, αλλά και εκτός του εδάφους στον αέρα), ή φυσική, (όπως συμβαίνει κάποιες φορές στους σωλήνες του γεωεναλλάκτη που βρίσκονται εκτός εδάφους σε επαφή με τον αέρα).

Στην διαστασιολόγηση του γεωεναλλάκτη υπολογίζουμε τον συντελεστή συναγωγής σε συνθήκες εξαναγκασμένης συναγωγής, (εντός του εδάφους και εκτός του εδάφους στον εξωτερικό αέρα).

Ο υπολογισμός του μέσου συντελεστή συναγωγής στο σύστημα του γεωαναλλάκτη για εξαναγκασμένη συναγωγή, γίνεται κάνοντας τις **παραδοχές** ότι η θερμοκρασία στο εσωτερικό των σωλήνων είναι σταθερή, η ροή είναι πλήρως αναπτυγμένη και παίρνοντας υπόψη τα εξής:

1) Η μέση θερμοκρασία του ρευστού $T_{m,x}$ κατά την θέρμανση του ρευστού ξεκινάει από την θερμοκρασία στην είσοδο του ρευστού (T_i) στον σωλήνα και αυξάνεται εκθετικά τείνοντας ασυμπτωτικά στην έξοδο από τον σωλήνα στη θερμοκρασία της επιφάνειας του σωλήνα ($T_e \approx T_s$), όπως δείχνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 24: Η κατανομή της μέσης θερμοκρασίας του ρευστού $T_{m,x}$ κατά μήκος του σωλήνα.

T_s = η σταθερή θερμοκρασία της επιφάνειας του σωλήνα, (σε $^{\circ}\text{C}$).

T_i = η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον σωλήνα, (σε $^{\circ}\text{C}$).

T_e = η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον σωλήνα, (σε $^{\circ}\text{C}$).

2) Οι τιμές των θερμοφυσικών ιδιοτήτων του ρευστού (νερό), παίρνονται από πίνακες της βιβλιογραφίας, (βλ. Παράρτημα σελ.116,117) στην μέση θερμοκρασία μάζας του ρευστού T_b η οποία βρίσκεται από την σχέση:

$$T_b = \frac{T_i + T_e}{2}$$

Όπου :

T_i = η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον σωλήνα, (σε °C).

T_e = η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον σωλήνα, (σε °C).

3) Ο μέσος συντελεστής συναγωγής υπολογίζεται από την σχέση:

$$h = \frac{\lambda \overline{Nu}_D}{D}$$

Όπου:

λ = ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του ρευστού, (σε $\frac{W}{mK}$).

\overline{Nu}_D = ο μέσος αδιάστατος αριθμός Nusselt , ο οποίος είναι συνάρτηση των αριθμών Re (αριθμός Reynolds) και Pr (αριθμός Prandtl), και υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση των Petukhov - Gnielinski.

D = η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα. Σε λεπτούς σωλήνες είναι απλά η διάμετρος του σωλήνα, (σε m).

4) Η μέση ταχύτητα του ρευστού, ογκομετρική και μαζική παροχή

Για διευκόλυνση της μελέτης της ροής στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η έννοια της **μέσης ταχύτητας του ρευστού** \bar{u} .

Η μέση ταχύτητα παριστάνει την σταθερή τιμή της ταχύτητας που έπρεπε να είχαν όλα τα μόρια του ρευστού στην κατεύθυνση της ροής, η οποία θα είναι ισοδύναμο αποτελέσματος ροής (παροχής), με το αποτέλεσμα που επιτυγχάνει η πραγματική μεταβλητή ταχύτητα του ρευστού.

Η μέση ταχύτητα υπολογίζεται με την βοήθεια της σχέσης της **ογκομετρικής (ή μαζικής) παροχής** : $\dot{V} = \bar{u} A_c$

Όπου: A_c = το εμβαδόν διατομής του σωλήνα, (σε m^2).

Για σωλήνες κυκλικής διατομής, διαμέτρου D , είναι $A_c = \frac{\pi D^2}{4}$

Η **μαζική παροχή** (\dot{m}) εκφράζεται σε συνάρτηση με την ογκομετρική παροχή με την σχέση:

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

Όπου:

ρ = η πυκνότητα του ρευστού, (σε kg/m^3), στην μέση θερμοκρασία κύριας μάζας του ρευστού T_b .

5) Ο **μέσος αριθμός Re_D** υπολογίζεται από την σχέση:

$$Re_D = \frac{\bar{u}D}{\nu}$$

Όπου:

\bar{u} = η μέση ταχύτητα του ρευστού στον σωλήνα .

D = η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα. Σε λεπτούς σωλήνες είναι απλά η διάμετρος του σωλήνα, (σε m).

ν = το κινηματικό ιξώδες του ρευστού, (σε m^2/s), στην θερμοκρασία T_b .

6) Ο **μέσος αριθμός Nusselt** υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση των **Petukhov - Gnielinski**, οποία ισχύει για $2300 \leq Re_D \leq 5 \cdot 10^6$,

$0,5 \leq Pr \leq 2000$ και είναι:

$$Nu_D = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12,7\left(\frac{f}{8}\right)^{0,5}(Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \left[1 + \left(\frac{D}{L}\right)^{\frac{2}{3}} \right] \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0,14}$$

Όπου:

Re_D = η τιμή του αδιάστατου αριθμού Reynolds.

Pr = η τιμή του αδιάστατου αριθμού Prandtl, η οποία βρίσκεται σε πίνακες με τις θερμοφυσικές ιδιότητες του ρευστού, για θερμοκρασία T_b .

$\mu = \rho\nu$, το δυναμικό ιξώδες του ρευστού στην θερμοκρασία T_b , (σε kg/ms). Όπως βλέπουμε υπολογίζεται από το γινόμενο της πυκνότητας του ρευστού επί το κινηματικό του ιξώδες, τα οποία βρίσκονται από τους πίνακες με τις θερμοφυσικές ιδιότητες του ρευστού στην θερμοκρασία T_b .

$\mu_s = \rho_s\nu_s$, το δυναμικό ιξώδες του ρευστού στην θερμοκρασία T_s (της επιφάνειας του σωλήνα ή της θερμοκρασίας εξόδου του ρευστού από τον σωλήνα). Όπως βλέπουμε υπολογίζεται από το γινόμενο της πυκνότητας του ρευστού επί το κινηματικό του ιξώδες, τα οποία βρίσκονται από τους πίνακες με τις θερμοφυσικές ιδιότητες του ρευστού στην θερμοκρασία T_s .

f = παράγοντας τριβής f , ο οποίος είναι αδιάστατος αριθμός και μπορεί να υπολογιστεί από το διάγραμμα Moody ή άλλες σχέσεις.

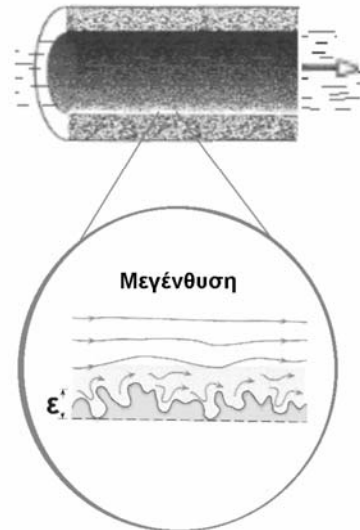
7) Ο παράγοντας τριβής f είναι ένα αδιάστατο μέγεθος, ο οποίος στην γενική περίπτωση εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds (Re) και την

σχετική τραχύτητα $\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)$.

Όπου:

ε = η απόλυτη τραχύτητα, (ή ύψος τραχύτητας), που εκφράζει το μέσο ύψος των ανωμαλιών (τραχύτητας) των τοιχωμάτων του σωλήνα, (σε m). Η τιμή του εξαρτάται από την κατασκευή του υλικού του σωλήνα και οι τιμές του δίδονται σε πίνακες της βιβλιογραφίας, όπως αυτός που ακολουθεί.

		ϵ	
ΑΤΣΑΛΙ	Εμπορίου	0.046	[mm]
	Ανοξειδωτο	0.002	[mm]
	Οξειδωμένο	2.0	[mm]
ΣΙΔΗΡΟΣ	Ηλωτό	3.0	[mm]
	Χυτός	0.26	[mm]
	Επεξεργασμένος	0.046	[mm]
	Γαλβανισμένος	0.15	[mm]
ΟΡΕΙΧΑΛΚΟΣ	Χυτός πισσαρισμένος	0.12	[mm]
	Ελατός σωλήνας	0.002	[mm]
ΠΛΑΣΤΙΚΟ	Ελατός σωλήνας	0.0015	[mm]
ΓΥΑΛΙ		λείο	
ΤΣΙΜΕΝΤΟ	Χωρίς επεξεργασία	2.0	[mm]
	Λειασμένο	0.04	[mm]
ΛΑΣΤΙΧΟ	Λείο	0.01	[mm]
ΞΥΛΟ	Σανίδα	0.5	[mm]



Εικόνα 25: Η απόλυτη τραχύτητα (ϵ) μερικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σωλήνων. Για τον γεωμεταλλάκτη χρησιμοποιείται η τιμή που αντιστοιχεί στο πλαστικό.

Ο παράγοντας τριβής f , εξαρτάται από το είδος της ροής (στρωτή ή τυρβώδης) στην πλήρως ανεπτυγμένη ροή και υπολογίζεται από κατάλληλες σχέσεις ή (κυρίως) **από το διάγραμμα Moody**.

D = η διάμετρος του σωλήνα, (σε m).

L = το μήκος του σωλήνα, (σε m).

ρ = η πυκνότητα του ρευστού, (σε kg/m^3).

\bar{u} = η μέση ταχύτητα του ρευστού, σε (m/s).

Σχέσεις υπολογισμού του παράγοντα τριβής:

α) Για στρωτή ροή ισχύει η σχέση: $f = \frac{64}{Re}$

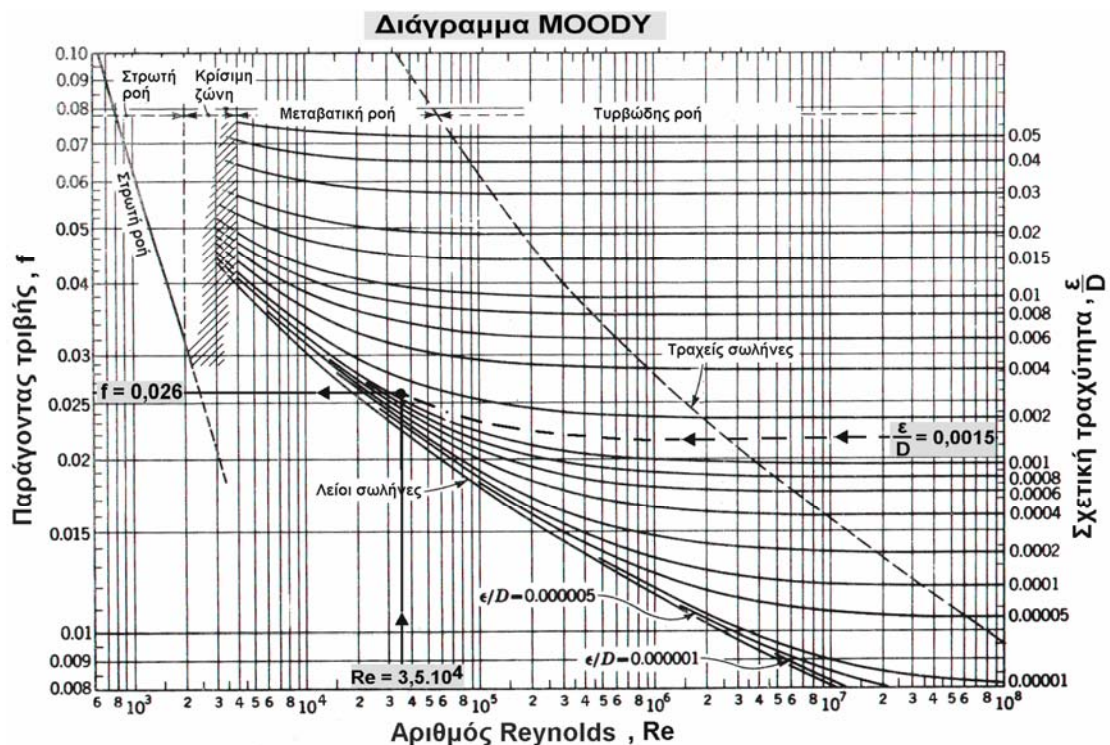
β) Για τυρβώδη ροή σε λείους σωλήνες ισχύει η σχέση: $f = \frac{0,184}{Re^{0,2}}$

γ) Για τυρβώδη ροή σε τραχείς σωλήνες ισχύει η σχέση του Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Η σχέση αυτή αναπαράγει με σχετική ακρίβεια (της τάξης του 10%) το διάγραμμα Moody και δεν επιδέχεται άμεση επίλυση ως προς το f , αλλά η λύση βρίσκεται με επαναληπτική διαδικασία δοκιμής και λάθους, υποθέτοντας μια αρχική τιμή, (συνήθως 0,02), για τον συντελεστή f και σύγκριση της ισότητας του πρώτου και δεύτερου μέρους της σχέσης Colebrook. Αν δεν ικανοποιείται η ισότητα των δύο μερών προχωράμε σε δεύτερη δοκιμαστική τιμή για το f , τρίτη κ.ο.κ μέχρι να επιτευχθεί η ισότητα των δύο μερών. Η τιμή του f που ικανοποιεί την ισότητα είναι και η σωστή – δεκτή τιμή.

γ) Το **διάγραμμα Moody**, αποτελεί τον συνήθη τρόπο υπολογισμού του παράγοντα τριβής f . Το διάγραμμα Moody δίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 26: Υπολογισμός του παράγοντα τριβής f από το διάγραμμα Moody.

Κεφάλαιο 5: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

5.1. Γενικά για τις θερμικές απώλειες κατοικίας

Οι θερμικές ανάγκες ενός χώρου και γενικότερα ενός κτιρίου είναι το ποσό θερμότητας που πρέπει να ληφθεί ως βάση για τον σχεδιασμό της εγκατάστασης θέρμανσης. Οι θερμικές ανάγκες είναι ιδιότητα του χώρου ή του κτιρίου και είναι ανεξάρτητες από το σύστημα θέρμανσης που θα εγκατασταθεί. Εξαρτώνται από το μέγεθος του χώρου, τον τρόπο κατασκευής των τοίχων, το μέγεθος και το υλικό κατασκευής των ανοιγμάτων από τον αερισμό και από άλλους παράγοντες.

Προτού γίνει ο υπολογισμός των θερμικών αναγκών σε ένα νέο κτίριο, πρέπει να γίνεται έλεγχος της θερμομόνωσης δηλαδή κατά πόσο το κτίριο εκπληρώνει τις απαιτήσεις του ελληνικού Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτιρίων (Κ.Θ.Κ).

Ο υπολογισμός των θερμικών αναγκών γίνεται για κάθε χώρο του κτιρίου ξεχωριστά, για να μπορεί να προσδιορισθεί το μέγεθος των θερμαντικών σωμάτων του κάθε χώρου. Το σύνολο των θερμικών αναγκών του κτιρίου προκύπτει από το άθροισμα των θερμικών αναγκών όλων των χώρων που θερμαίνονται.

Οι πραγματικές θερμικές απώλειες ενός κτιρίου είναι μικρότερες από το ποσό θερμότητας που μπορεί να δώσει η εγκατάσταση θέρμανσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο σχεδιασμός της εγκατάστασης γίνεται έτσι ώστε να καλύπτει τις απώλειες του κτιρίου ακόμη και στις ελάχιστες πιθανές τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας (μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία της περιοχής). Οι θερμικές ανάγκες ενός κτιρίου αποτελούν συγχρόνως και τις μέγιστες θερμικές απώλειες.

Η μεθοδολογία του υπολογισμού των θερμικών αναγκών βασίζεται στους νόμους της μετάδοσης θερμότητας. Επειδή όμως κατά τον υπολογισμό πρέπει να καθοριστούν και να εκλεγούν πολλά μεγέθη, όπως π.χ. θερμοκρασίες χώρων διαφόρων χρήσεων, ποσότητες αερισμού κλπ. για να αποφευχθούν αυθαίρετες παραδοχές, οι διάφορες χώρες καθιέρωσαν έναν ενιαίο τρόπο υπολογισμού που

δίνεται σε μορφή κανονισμού. Οι κανονισμοί αυτοί μπορούν να διαφέρουν από χώρα σε χώρα.

5.2. Μέθοδοι υπολογισμού θερμικών αναγκών κτιρίων

Στη χώρα μας δεν υπάρχει ακόμα κανονισμός υπολογισμού των θερμικών αναγκών των κτιρίων και έτσι στις μεθόδους υπολογισμού αναγκών κτιρίων από τους μελετητές έχουν επικρατήσει τρεις μέθοδοι, (που η μία διαφέρει σε μεθοδολογία από την άλλη), ανάλογα με το διαθέσιμο λογισμικό Η/Υ που διαθέτει ο Μηχανολόγος Μηχανικός ή ο Μελετητής :

α) Η γερμανική μέθοδος DIN 4701/1977 ή 1983, στην οποία βασίζεται κυρίως ο ελληνικός Κανονισμός θερμομόνωσης Κτιρίων.[20]

β) Η αμερικανική μέθοδος ASHRAE, η οποία είναι απλούστερη της αντίστοιχης γερμανικής.[21]

γ) Το πρότυπο ISO-9164, η οποία είναι επίσης απλούστερη των προηγούμενων δύο.[22]

5.3. Μεθοδολογία εφαρμογής μεθόδου DIN 4701/1977 για τον υπολογισμό θερμικών αναγκών διώροφης κατοικίας

Θα παρουσιάσουμε την βασική μεθοδολογία του τρόπου υπολογισμού των θερμικών αναγκών **διώροφης κατοικίας**, (ύψους έως 10m), με την μέθοδο DIN 4701/1977, (προτιμάται από τους περισσότερους μελετητές σε σχέση με την αντίστοιχη του 1983). Η μέθοδος είναι ενσωματωμένη σε λογισμικά Η/Υ, όπως για παράδειγμα στο λογισμικό 4M-adapt της Εταιρίας 4M, όπου απλά εισάγουμε τα δεδομένα του κάθε χώρου και ο υπολογιστής μας δίνει απευθείας τα αποτελέσματα σε πίνακες, τα οποία μπορούμε στην συνέχεια να τα επεξεργαστούμε και να τα τυπώσουμε σε έντυπα κατά DIN 4701 για κάθε δομικό στοιχείο ξεχωριστά. Το είδος του στοιχείου συμβολίζεται με κεφαλαία Ελληνικά γράμματα π.χ. **T** = τοίχος, **A** = Άνοιγμα, **O** = οροφή, **Δ** = δάπεδο και έχει δείκτη έναν αριθμό που το αριθμεί.

Παρατήρηση:

Στους υπολογισμούς της θερμορροής απωλειών η κατοικία γενικά θεωρείται κτίριο τύπου φρέατος, δηλαδή συμπαγής ορθογώνιος χώρος χωρίς να αποτελεί άθροισμα χωριστών κτισμάτων. Με βάση το DIN 4701/1977, για να βρεθούν οι θερμικές απώλειες μίας διώροφης κατοικίας, ενεργούμε με βάση τα εξής βήματα, [14], [23]:

1^ο) Συλλέγουμε τα δεδομένα ,τα οποία είναι:

α) Σχέδιο θέσης κατοικίας στο οποίο πρέπει να φαίνεται ο Βορράς, ώστε να βρίσκουμε τον προσανατολισμό των επιφανειών.

β) Σχέδια με κάτοψη και τομές της κατοικίας με τις διαστάσεις τοίχων, ανοιγμάτων κλπ.

γ) Περιγραφή κατασκευής της κατοικίας σε έντυπο που δίνει ο Πολιτικός Μηχανικός ή ο Αρχιτέκτονας που ανέλαβε το χτίσιμο της κατοικίας. Στο έντυπο αυτό φαίνονται οι λεπτομέρειες κατασκευής των τοίχων, (πάχος, υλικά διαφόρων στρωμάτων, συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας κλπ) καθώς και δεδομένα κατασκευής σκελετού, αρμών, υαλοπινάκων κα.

δ) Κλιματολογικά δεδομένα που αφορούν την μέση ετήσια ελάχιστη θερμοκρασία της περιοχής, (βλ. Σχετικό πίνακα στο Παράρτημα [23]), καθώς και την κατεύθυνση και την ένταση των επικρατούντων ανέμων στην περιοχή.

2^ο) Βρίσκουμε τις συνολικές απώλειες θερμορροής λόγω

θερμοπερατότητας \dot{Q}_o , (σε W), από το εσωτερικό του χώρου προς τον εξωτερικό αέρα μέσω των δομικών στοιχείων του χώρου, όπως τοίχοι, ανοίγματα, δάπεδα, οροφές κλπ). Για να υπολογιστούν οι απώλειες

αυτές χρησιμοποιείται η σχέση: $\dot{Q}_o = kA(T_i - T_a)$

Όπου:

k = ο συντελεστής θερμοπερατότητας, (σε W/m²K).

A = η επιφάνεια του δομικού τμήματος, (σε m²).

T_i = η θερμοκρασία του χώρου, (σε °C ή K).

T_a = η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, (σε °C ή K).

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας k υπολογίζεται από την σχέση:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_a}}$$

Όπου:

h_i = ο μέσος συντελεστής συναγωγής της εσωτερικής επιφάνειας (σε W/m^2K).

h_a = ο μέσος συντελεστής συναγωγής της εξωτερικής επιφάνειας που βρίσκεται στον εξωτερικό αέρα (σε W/m^2K).

d = το πάχος του στρώματος j , (σε m). Συνήθως ένα στρώμα είναι ο εσωτερικός σοβάς, μετά η μόνωση, μετά τα τούβλα και μετά η εξωτερική επικάλυψη.

λ_i = ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού, (σε W/mK), (Βλ. τιμές λ για διάφορα υλικά στο Παράρτημα).

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τυπικές τιμές των συντελεστών συναγωγής που χρησιμοποιούνται στην παραπάνω σχέση.
[23]

Επιφάνειες	Συντελεστές συναγωγής h , (W/m^2K)
Εσωτερικές πλευρές κλειστών χώρων με φυσική κίνηση αέρα. Επιφάνειες τοίχων, εξωτερικά παράθυρα.	8,14
Δάπεδα και οροφές με την θερμορροή να ρέει από κάτω προς τα πάνω, (ενδοδαπέδια θέρμανση).	8,14
Εξωτερικές πλευρές επιφανειών τοίχων, εξωτερικά παράθυρα με ροή αέρα ταχύτητας $u = 2(m/s)$.	23,26

3^ο) Βρίσκουμε την θερμορροή απωλειών προσαυξημένης θερμοπερατότητας \dot{Q}_T .

Η θερμορροή προσαυξημένης θερμοδιαπερατότητας \dot{Q}_T υπολογίζεται από την σχέση: $\dot{Q}_T = Z \dot{Q}_o$

Όπου:

Z = ο συνολικός συντελεστής προσαύξησης, (αδιάστατος αριθμός), ο οποίος εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις %.

Ο Z είναι το άθροισμα των επιμέρους συντελεστών προσαύξησης των θερμικών απωλειών που οφείλονται σε επίδραση του προσανατολισμού (Z_H), σε επίδραση διακοπής λειτουργίας (Z_U) και σε επίδραση ψυχρών εξωτερικών χώρων (Z_A). Οι δύο τελευταίοι συντελεστές αθροίζονται σε έναν αθροιστικό επιμέρους συντελεστή προσαύξησης Z_D ο οποίος είναι: $Z_D = Z_U + Z_A$

Έτσι ο συνολικός συντελεστής προσαύξησης Z είναι: $Z = Z_H + Z_D$

i) Ο συντελεστής προσαύξησης λόγω προσανατολισμού Z_H δίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Προσανατολισμός	Συντελεστής Z_H (αδιάστατος) Ποσοστό επί τοις %
N, NΔ, NA	- 5
B, ΒΔ, ΒΑ	+ 5
Δ, Α	0

ii) Ο αθροιστικός επιμέρους συντελεστής προσαύξησης Z_D υπολογίζεται με την βοήθεια του **συντελεστή Krischer D**, και τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης.

Ο συντελεστής Krischer D βρίσκεται από την σχέση:

$$D = \frac{\dot{Q}_o}{A_{ges} (T_i - T_a)}$$

Όπου:

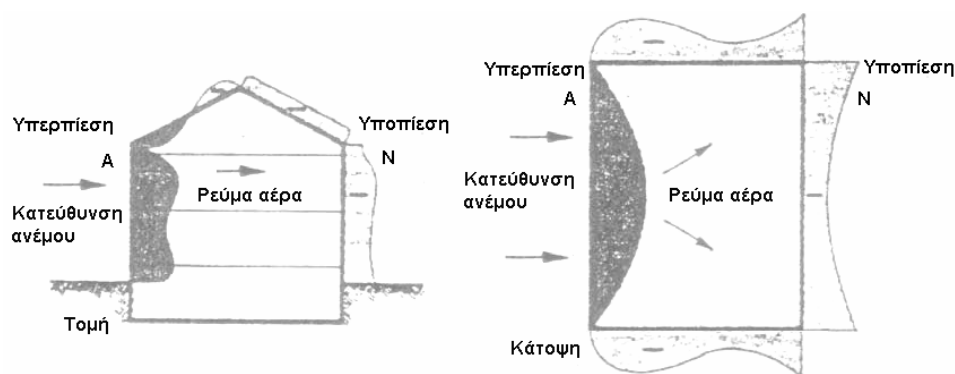
A_{ges} = η συνολική επιφάνεια που περιβάλλει τον χώρο, (σε m^2).

Η τιμή του Z_D με βάση την τιμή του D και τις ώρες λειτουργίας βρίσκεται από τον παρακάτω πίνακα.

Τιμή D	0,10 – 0,29	0,30 – 0,69	0,70 – 1,49
Ώρες λειτουργίας (h)	Z_D (%)		
24	7	7	7
16 - 14	20	15	15
8 - 12	30	25	20

4^ο) Υπολογίζουμε την θερμοροή απωλειών αερισμού του χώρου \dot{Q}_L , (σε W).

Κατά τη ροή του αέρα γύρω από ένα κτίριο δημιουργείται ανομοιόμορφη κατανομή πιέσεων. Στην πλευρά που προσπίπτει ο άνεμος (A, πλευρά πρόπτωσης ανέμου) δημιουργείται υπερπίεση, ενώ στην απέναντι πλευρά (N, πλευρά απόπτωσης ανέμου) υποπίεση, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 27: Απώλειες θερμοροής κατοικίας εξαιτίας του ανέμου.

Οι πιέσεις εξαρτώνται από την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου καθώς και από την μορφή του κτιρίου. Ανάλογα με την πίεση που δημιουργείται, μπαίνει στο κτίριο από την πλευρά της υπερπίεσης ψυχρός αέρας (και δημιουργείται θερμικό φορτίο) ενώ από την πλευρά της υποπίεσης βγαίνει θερμός αέρας. Με το ύψος του κτιρίου αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου και επομένως και η δημιουργούμενη διαφορά πίεσης. Η θερμορροή απωλειών αερισμού υπολογίζεται, ανάλογα με τον τρόπο αερισμού του χώρου, ως εξής:

α) Αν ο χώρος αερίζεται με εισερχόμενο αέρα, (μηχανική προσαγωγή αέρα π.χ. από air-condition ή και αέρα κατευθείαν από το εξωτερικό περιβάλλον μέσω ανοικτών χώρων όπως παράθυρα, πόρτες), τότε η θερμορροή απωλειών αερισμού υπολογίζεται από την σχέση:

$$\dot{Q}_L = \dot{V}_{\text{air}} \rho_{\text{air}} c_{p,\text{air}} (T_i - T_a)$$

Όπου:

\dot{V}_{air} = η ογκομετρική παροχή του εισερχόμενου αέρα, (σε m³/s).

ρ_{air} = η πυκνότητα του εισερχόμενου αέρα, (σε kg/m³). Χρησιμοποιείται η μέση τιμή $\rho_{\text{air}} = 1,2(\text{kg/m}^3)$.

$c_{p,\text{air}}$ = η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση, του εισερχόμενου αέρα, (σε J/kgK).

Χρησιμοποιείται η μέση τιμή $c_{p,\text{air}} = 1000(\text{J/kgK})$.

Η περίπτωση αυτή θεωρείται ιδιαίτερη και έτσι δεν λαμβάνεται υπόψη στις συνήθεις μελέτες.

β) Αν ο χώρος αερίζεται με εισερχόμενο αέρα μέσα από χαραμάδες, αρμούς, εξαιτίας της διαφοράς πίεσης που δημιουργεί ο άνεμος, (Α και Ν), τότε η θερμορροή απωλειών αερισμού υπολογίζεται από την σχέση:

$$\dot{Q}_L = \sum (\alpha \Pi R H Z_{\Gamma})_i (T_i - T_a)$$

Όπου:

α = συντελεστής διαπερατότητας αρμών, (σε $m^3/mhPa^{2/3}$). Η τιμή του βρίσκεται από πίνακες, όπως αυτός που ακολουθεί.

Όνομασία	α , (σε $m^3/mhPa^{2/3}$)
Παράθυρα που ανοίγουν	0,3 – 0,6
Παράθυρα που δεν ανοίγουν	0,1
Πόρτα εξωτερική	1 – 3
Πόρτα εσωτερική	3 – 9
Στεγανός τοίχος	0,1
Μη στεγανός τοίχος	1

Π = η συνολική περίμετρος του ανοίγματος, (σε m).

R = συντελεστής διεισδυτικότητας αέρα μέσα από τις πόρτες ή χαρακτηριστικός αριθμός χώρου. Παίρνει τιμές 0,7, 0,9 ή 1, ανάλογα με την τιμή του γινομένου $\alpha\Pi$, οι οποίες δίνονται σε πίνακες. Η συνήθης τιμή του R μιας κανονικής κατοικίας είναι $R = 0,9$.

H = ο συντελεστής θέσης και ανεμόπτωσης ή χαρακτηριστικός αριθμός κτιρίου, (αδιάστατος αριθμός). Δίνεται σε πίνακες όπως αυτός που ακολουθεί.

Περιοχή	Θέση του κτιρίου	H WhPa ^{2/3} / (m ³ K)		Ταχύτητα ανέμου u , m/s
		Τύπος κάτοψης I*	Τύπος κάτοψης II**	
Περιοχή ασθενών ανέμων	Κανονική	0.71	0.50	2
	Ελεύθερη	1.80	1.30	4
Περιοχή δυνατών ανέμων	Κανονική	1.80	1.30	4
	Ελεύθερη	1.80	2.20	6

* Τύπος μονοκατοικίας
 ** Τύπος κατοικίας σε συνεχή δόμηση
 Κανονική = κατοικία σε περιοχή δομημένη
 Ελεύθερη = μονοκατοικία, χωρίς κοντινή δόμηση

Παρατήρηση:

Η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$u = 2B - 1$$

Όπου B = ο αριθμός των μποφόρ (Beaufort) του ανέμου.

Για παράδειγμα ο άνεμος 3,5 μποφόρ έχει ταχύτητα

$$u = [2(3,5) - 1] \text{ (m/s)} = 6 \text{ (m/s)}.$$

Z_r = ο συντελεστής κλίσης παραθύρων. Στα κατακόρυφα παράθυρα είναι $Z_r = 1$, ενώ αυτά που παρουσιάζουν κλίση είναι $Z_r = 1,2$.

5°) Βρίσκουμε την συνολική θερμορροή απωλειών του εξεταζόμενου χώρου, από την σχέση:

$$\dot{Q}_{ολ} = \dot{Q}_T + \dot{Q}_L$$

Η συνολική θερμορροή απωλειών εμφανίζεται κατά την εκτύπωση του λογισμικού στην τελευταία στήλη του, ως άθροισμα των επιμέρους απωλειών.

Κεφάλαιο 6: ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε στην ενδοδαπέδια θέρμανση, που αποτελεί και το κύριο τελικό στάδιο απόληξης της θερμότητας από ένα σύστημα γεωθερμικής αντλίας.



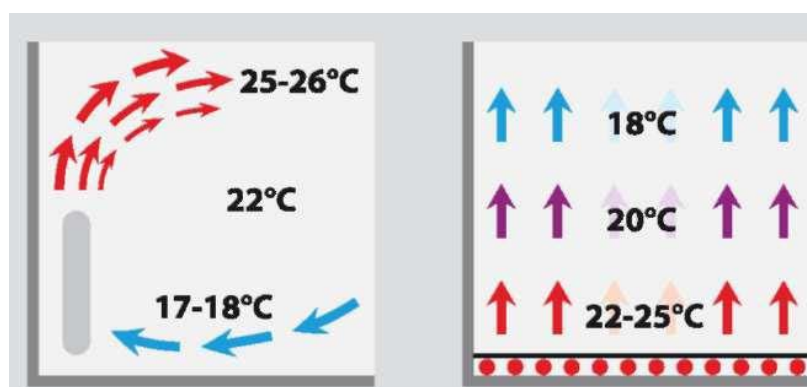
Εικόνα 28: Φωτογραφίες από την εγκατάσταση σωληνώσεων ενδοδαπέδιας θέρμανσης με αβαθή γεωθερμία στην διώροφη κατοικία στα Μουδανιά.

6.1 Γενικά για την ενδοδαπέδια θέρμανση

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

Η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται μεταξύ 35°C και 45°C ανάλογα με τις θερμικές απώλειες, την τελική επένδυση του δαπέδου και τον τόπο εφαρμογής.

Βασική ιδιαιτερότητα και συγχρόνως πλεονέκτημα αυτής της μορφής θέρμανσης είναι ότι χρησιμοποιεί σαν θερμαντικό σώμα το δάπεδο, γεγονός που έχει σαν συνέπεια την μεγάλη αύξηση της θερμαντικής απόδοσης. Χαρακτηριστικό της λειτουργίας της είναι ότι η θέρμανση του χώρου πραγματοποιείται έμμεσα με ακτινοβολία θερμότητας από το δάπεδο.

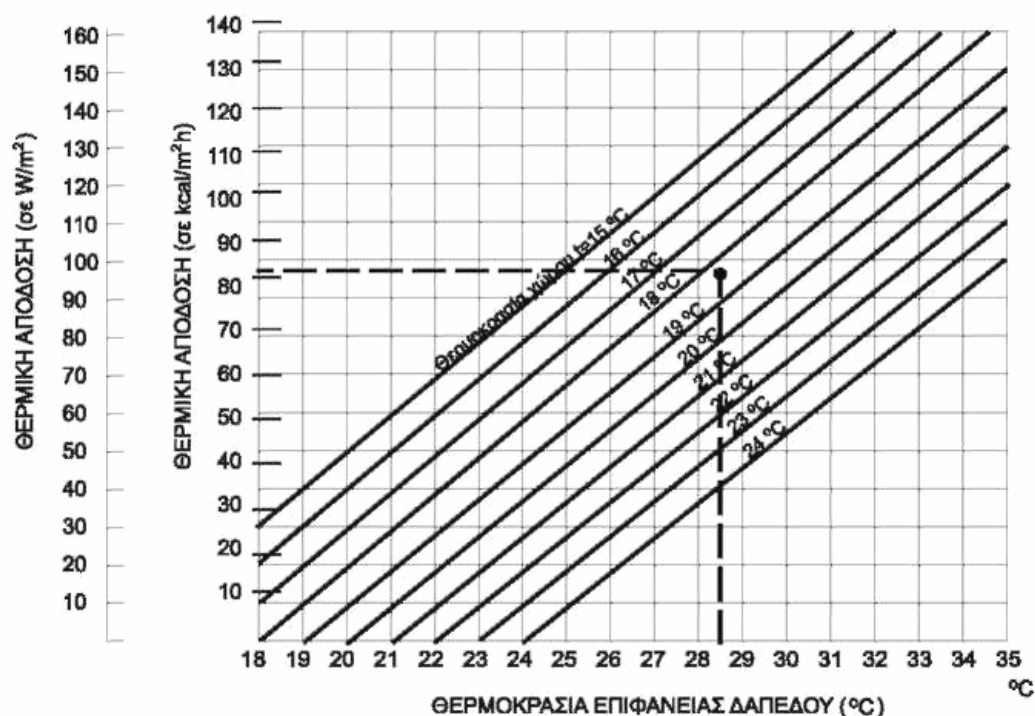


Εικόνα 29: Διαφορές του τρόπου θέρμανσης ενός χώρου με θερμαντικά σώματα και ενδοδαπέδιας θέρμανσης [13].

Το ζεστό νερό μεταφέρει θερμότητα στο θερμοπετόν που περιβάλλει τους πλαστικούς σωλήνες και στη συνέχεια το δάπεδο ακτινοβολεί θερμότητα.

Με τον τρόπο αυτό, η θερμότητα διαχέεται ομοιόμορφα στο χώρο, επιτυγχάνοντας τη βασική επιδίωξη των μορφών θέρμανσης, τη δημιουργία δηλαδή ιδανικών συνθηκών ευεξίας και θερμικής θαλπωρής σε συνδυασμό με το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος.

Μία εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες κατοικιών, σχολείων, δημοσίων κτιρίων, επαγγελματικών χώρων, ξενοδοχείων, υπόγειων κατασκευών κλπ.



Εικόνα 30: Διάγραμμα συσχετισμού θερμοκρασίας δαπέδου καθώς και της θερμικής απόδοσης ανάλογα με την θερμοκρασία του χώρου σε ενδοδαπέδια θέρμανση [13].

Λόγω της ομοιόμορφης και οριζόντιας κατανομής θερμότητας από το δάπεδο προς την οροφή, επιτρέπει την θέρμανση χώρων με μεγάλο ύψος οροφής. Ενδείκνυται για κατοικίες με εσωτερικά μπαλκόνια, εκκλησίες, βιομηχανικές εγκαταστάσεις (χώρους παραγωγής και αποθήκευσης), καθώς και για θέρμανση ελεύθερων επιφανειών για απελευθέρωση τους από χιόνι και πάγο όπως πάρκινγκ, είσοδοι γκαράζ, εξωτερικές σκάλες, γέφυρες, γήπεδα, αεροδιάδρομοι κλπ.

6.2 Πλεονεκτήματα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης

Τα ιδιαίτερα πλεονεκτήματα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης είναι:

- 1) **Δυνατότητα χρησιμοποίησης όλων των σύγχρονων πηγών θερμότητας.**

Λόγω χαμηλών θερμοκρασιών και της συνολικής αδράνειας του συστήματος, εκτός των συμβατικών πηγών ενέργειας, (καύσιμα), έχουμε τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε ήπιες και εναλλακτικές μορφές ενέργειας, όπως γεωθερμία και ηλιακή ακτινοβολία, οι οποίες εξοικονομούν ενέργεια και μειώνουν σημαντικά τις εκπομπές του CO₂.

2) Άνετη και ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας στο χώρο.

Στην ενδοδαπέδια θέρμανση, η θερμότητα διαχέεται στο χώρο μέσω ακτινοβολίας (60%-65%) και μεταφοράς (35%-40%). Με τον τρόπο αυτό περιορίζονται οι θερμοκρασιακές διαφορές, αφού οι σωληνώσεις καλύπτουν όλη την επιφάνεια.

3) Χαμηλό λειτουργικό κόστος.

Εξαιτίας της ομοιόμορφης κατανομής της θερμότητας, των σχεδόν μηδενικών απωλειών δαπέδου και της σημαντικής μείωσης των απωλειών οροφής, λόγω της κλιμάκωσης της θερμοκρασίας κατά ύψος, έχουμε τη δυνατότητα να πετύχουμε συνθήκες άνεσης στο χώρο με θερμοκρασία χαμηλότερη τουλάχιστον κατά 2°C.

4) Φιλική προς το περιβάλλον.

Λιγότερες ώρες λειτουργίας της αντλίας θερμότητας ή του λέβητα συνεπάγονται χαμηλότερη απελευθέρωση καυσαερίων, μικρότερη επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος και μεγαλύτερη οικονομία ενέργειας (λιγότερα καύσιμα).

Μπορούμε λοιπόν να χρησιμοποιήσουμε ζεστό νερό προσαγωγής χαμηλότερης θερμοκρασίας (35°C - 45°C) από αυτό των κοινών θερμαντικών σωμάτων (70°C - 80°C), με συνέπεια λιγότερες ώρες λειτουργίας της οποιασδήποτε πηγής ενέργειας και επομένως χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου.

5) Υγιεινότερες συνθήκες.

Η οριζόντια και έμμεση θέρμανση του χώρου, λόγω ακτινοβολίας θερμότητας, έχει σαν συνέπεια την επίτευξη της ιδανικής κατανομής θερμότητας για το ανθρώπινο σώμα, δηλαδή, ζεστά πόδια - κρύο κεφάλι.

Όσον αφορά τη θερμική σταθερότητα του ανθρώπινου ποδιού, που κινείται σε θερμαινόμενο δάπεδο, λαμβάνονται υπόψη τα όρια θερμοκρασιών επιφάνειας δαπέδου που καθορίζει ο Ευρωπαϊκός κανονισμός για την εκπόνηση μελετών ενδοδαπέδιας θέρμανσης.

Η αποτροπή ρευμάτων αέρα, που δημιουργούνται από τα κοινά θερμαντικά σώματα, και κατά συνέπεια η έλλειψη σκόνης και η διατήρηση της υγρασίας του αέρα στο χώρο, δημιουργεί ιδανικές συνθήκες ειδικά για πάσχοντες από άσθμα ή αλλεργίες.

6) Ασφάλεια.

Με την ενδοδαπέδια θέρμανση αποφεύγεται ο πιθανός τραυματισμός από καυτά και αιχμηρά σώματα, ειδικά εάν στο χώρο ζουν μικρά παιδιά ή ηλικιωμένοι.

7) Οικονομία ωφέλιμου χώρου.

Η αποδέσμευση ωφέλιμου χώρου (δεν υπάρχουν θερμαντικά σώματα στους τοίχους) λόγω χρήσης του δαπέδου ως θερμαντικό σώμα, όχι μόνο μας επιτρέπει την εκμετάλλευση όλων των χώρων με τον πιο λειτουργικό τρόπο, αλλά μας δίνει και ένα επιπλέον καλαίσθητο αρχιτεκτονικά αποτέλεσμα.

8) Απόσβεση κόστους βραχυπρόθεσμα.

Ορισμένοι από τους παράγοντες που συμβάλλουν στην απόσβεση του κόστους μιας εγκατάστασης ενδοδαπέδιας θέρμανσης είναι:

α) Η μειωμένη κατανάλωση καυσίμων, (πάνω από 60% αν χρησιμοποιηθεί γεωθερμικό σύστημα με αντλία θερμότητας).

β) Το μειωμένο κόστος κτιριακής συντήρησης, αφού δεν έχουμε να αντιμετωπίσουμε μαυρίσματα στους τοίχους και στις κουρτίνες.

γ) Το μηδενικό κόστος συντήρησης και αντικατάστασης θερμαντικών σωμάτων.

δ) Αύξηση του χρόνου ζωής του εξοπλισμού του μηχανοστασίου, ο οποίος λειτουργεί λιγότερες ώρες.

ε) Δυνατότητα συνδυαστικής λειτουργίας με άλλα θερμαντικά συστήματα.

Με μία μόνο αντλία θερμότητας, μπορούμε να θερμάνουμε παράλληλα χώρους με ενδοδαπέδια θέρμανση και με θερμαντικά σώματα ή fan-coils. Από την ίδια πηγή ενέργειας τροφοδοτούμε και τα ζεστά νερά χρήσης του κτιρίου.

6.3 Μελέτη εγκατάστασης ενδοδαπέδιας θέρμανσης

Απαραίτητη προϋπόθεση για τον σωστό υπολογισμό ενός συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης είναι ο ακριβής σχεδιασμός του κτιρίου, ο οποίος θα συμπεριλαμβάνει και τα αντίστοιχα δεδομένα σχετικά με την κατασκευή και τις μονώσεις του.[13]

Για το λόγο αυτό διευκολύνουν το μελετητή οι ακριβείς κατόψεις και τομές του κτιρίου υπό κλίμακα. Στα σχέδια αποδίδονται τα **κυκλώματα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης** στα οποία θα πρέπει να είναι εμφανείς οι διαστάσεις των χώρων, των ανοιγμάτων που υπάρχουν σε αυτούς (διαστάσεις κουφωμάτων), η χρήση του κάθε χώρου (κουζίνα, μπάνιο, υπνοδωμάτιο, κλπ.), καθώς και ο προσανατολισμός του κτιρίου, (βλ. εικόνες 30,31,32).

Σημαντικές για τους υπολογισμούς, είναι οι λεπτομέρειες που αφορούν τα υλικά κατασκευής και τις μονώσεις του κτιρίου, έτσι ώστε να υπολογιστούν οι συντελεστές θερμοπερατότητας (U-value) όλων των δομικών στοιχείων, καθώς και οι επενδύσεις των δαπέδων (π.χ. πλακάκι, παρκέ κλπ.). Πληροφορίες που αφορούν τη θέση σταθερών κατασκευών εντός του κτιρίου (π.χ. ντουλάπια κουζίνας, εντοιχιζόμενες ντουλάπες, τζάκια, θέσεις ειδών υγιεινής κλπ.) είναι απαραίτητο να δοθούν στο μελετητή για να υπολογίσει με ακρίβεια τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν.

Η βάση για τον υπολογισμό του ενδοδαπέδιου συστήματος οποιασδήποτε θερμαινόμενης επιφάνειας είναι ο σωστός καθορισμός των θερμικών απωλειών σύμφωνα με το DIN 4701.

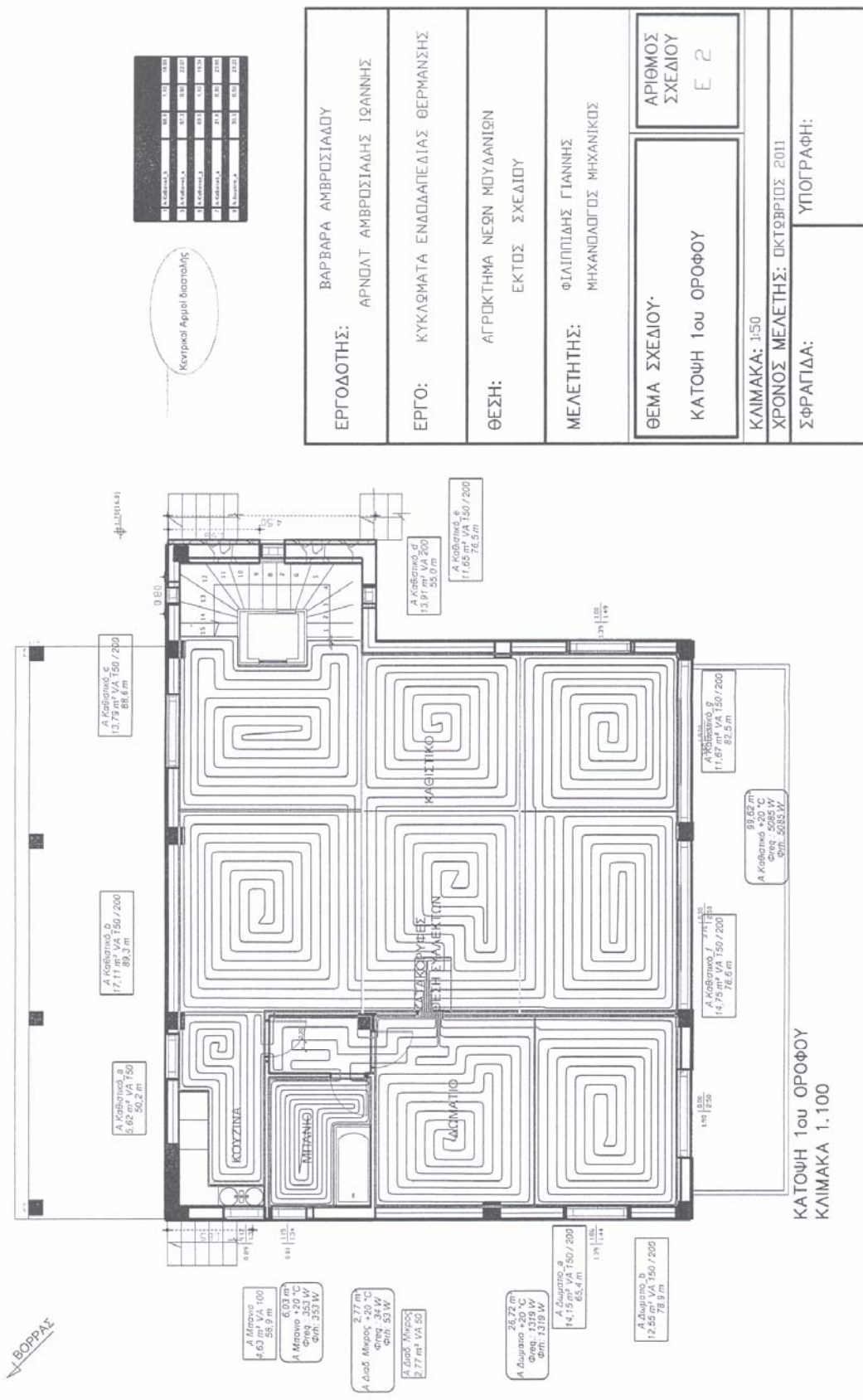
Η μελέτη απαιτεί μια σειρά σχέσεων και υπολογισμών που αφορούν τη διορθωμένη θερμική απαίτηση, τη διακύμανση της θερμοκρασίας

της επιφάνειας, τη μέση μεταφερόμενη θερμική ισχύ, τη θερμοπερατότητα προς τα κάτω, τις θερμοκρασίες επιφάνειας δαπέδου, τη θερμοκρασία νερού προσαγωγής, την πυκνότητα θερμορροής, τη μέση παροχή και την πτώση πίεσης στο σύστημα που καθορίζονται από τα DIN 4725-200 και DIN EN 1264. Βάσει των παραπάνω υπολογισμών καθορίζονται τα κυκλώματα κάθε χώρου (μήκος κυκλώματος, πυκνότητα σωλήνων, αρμοί διαστολής) για συγκεκριμένη διατομή σωλήνα (Como-Floor Φ17x2), έτσι ώστε να καλύπτουν τις απώλειες του, λαμβάνοντας πάντα υπόψη τη χρήση του χώρου, την τελική επίστρωση του δαπέδου και τις εξωτερικές θερμοκρασίες κάθε περιοχής.

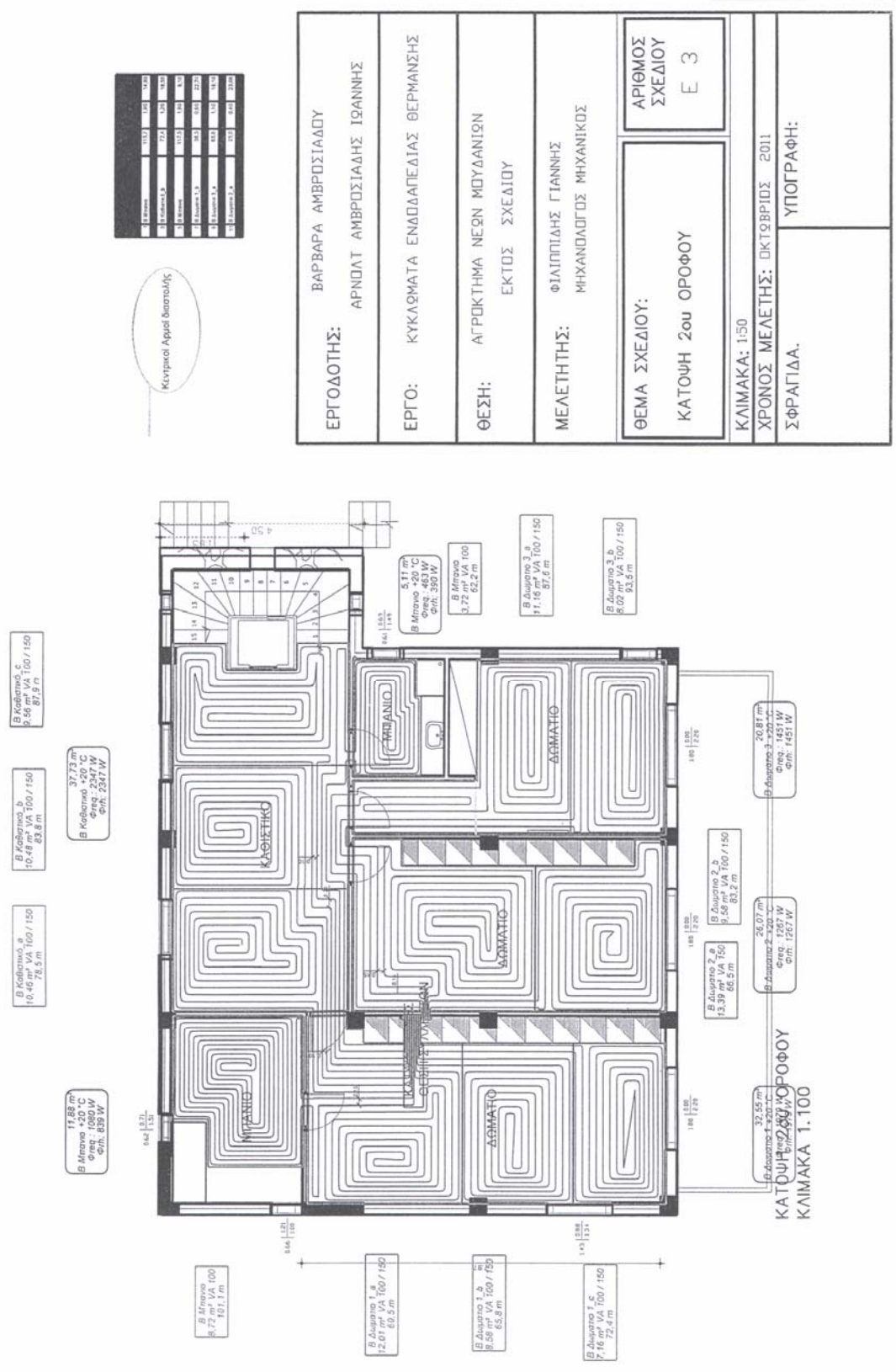
Οι αρμοί διαστολής μετατρέπουν το θερμαινόμενο δάπεδο σε «κολυμβητό δάπεδο» χωρίζοντας το από τα σταθερά δομικά στοιχεία του χώρου (περιμετρικοί αρμοί), και επιτρέποντας του να κινείται ελεύθερα, τόσο κατά την συστολή λόγω ξήρανσης, όσο και κατά την διαστολή λόγω θερμοκρασιακών διαφορών.

Οι εσωτερικοί αρμοί διαστολής αφορούν μεγάλους ενιαίους χώρους, όπου το θερμομπετόν επιβάλλεται να χωρίζεται σε επιφάνειες περίπου 40 τ.μ., χώρους όπου ο λόγος των πλευρών τους είναι μεγαλύτερος από 1:2 ή έχουν πλευρά με μήκος μεγαλύτερο των 8m ή όπου κρίνει ο μελετητής ότι πρέπει να τοποθετηθούν ανάλογα με τη διαμόρφωση του χώρου. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αρμοί αυτοί γίνονται εξαρχής γνωστοί σε όλα συνεργεία που θα ακολουθήσουν, ώστε να διατηρηθούν και κατά τη χύτευση του θερμομπετόν αλλά και κατά την δαπεδόστρωση.

Η μελέτη καθορίζει επίσης, με βάση τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, το πλήθος και το μήκος των κυκλωμάτων, την καλύτερη δυνατή θέση και τις ανάλογες διαστάσεις των πινάκων διανομής σε κάθε επίπεδο του κτιρίου.



Εικόνα 32: Κύκλωμα ενδοδαπέδιας θέρμανσης του 2^{ου} ορόφου της κατοικίας στα Μουδανιά Χαλκιδικής.



Εικόνα 33: Κύκλωμα ενδοδαπέδιας θέρμανσης του 2^{ου} ορόφου της κατοικίας στα Μουδανιά Χαλκιδικής.

Ο πίνακας διανομής καλό είναι να τοποθετείται στην ίδια πλευρά σε όλα τα επίπεδα (ορόφους) του κτιρίου για την αποφυγή διακλαδώσεων των κεντρικών σωληνώσεων στην επιφάνεια της πλάκας.

Στα σχέδια της κάτοψης φαίνονται η θέση του συλλέκτη, ο θερμαινόμενος χώρος με τον χαρακτηρισμό του (π.χ. Υπνοδωμάτιο), ο διαχωρισμός του σε μικρότερους χώρους (συνήθως όσα και τα κυκλώματα), η όδευση των κυκλωμάτων από τον συλλέκτη, η μορφή του κυκλώματος.

6.4 Τα βήματα της εγκατάστασης της ενδοδαπέδιας θέρμανσης

A. ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η ενδοδαπέδια θέρμανση προσφέρει, λόγω των ιδιοτήτων στο σχεδιασμό της, το πλήθος των πλεονεκτημάτων που προαναφέρθηκαν, αλλά συγχρόνως απαιτεί πρόβλεψη και προσοχή στην μελέτη και την εφαρμογή της.

Θα ήταν χρήσιμο, η πρόβλεψη για την επιλογή της ενδοδαπέδιας να γίνεται στη φάση της σκυροδέτησης, γιατί έτσι θα ληφθούν υπόψη εργασίες που θα διευκολύνουν την σωστή εφαρμογή της.

1) Εσωτερικό επίχρισμα.

Στους χώρους που θα εγκατασταθεί ενδοδαπέδια θέρμανση οι εργασίες εσωτερικού επίχρισματος θα πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί.

2) Τοποθέτηση πλαισίων εξωτερικών κουφωμάτων (κατωκάσια).

Τα «ρίχτια» σε εξώπορτες, μπαλκονόπορτες και σκάλες πρέπει να υπολογιστούν για πάχος δαπέδου περίπου 10 cm. και όχι 6-7 cm. όπως του παραδοσιακού συστήματος.

3) Αποφυγή διακλαδώσεων στην υδραυλική και ηλεκτρολογική εγκατάσταση.

Θα πρέπει, γενικώς, να αποφεύγονται διακλαδώσεις και περάσματα των υδραυλικών σωληνώσεων, των κεντρικών σωληνώσεων θέρμανσης και των ηλεκτρολογικών καλωδίων από την επιφάνεια της πλάκας, γιατί θα παρεμποδίσει την εγκατάσταση της ενδοδαπέδιας.

Συνιστάται η εγκατάσταση των παροχών αυτών, να γίνεται περιμετρικά και στη συνέχεια να τοποθετούνται η περιμετρική ταινία και η μορφόπλακα.

4) Τοποθέτηση του σιφονιού αποχέτευσης σε σημείο που δεν εμποδίζει την εγκατάσταση της ενδοδαπέδιας.

Πρέπει να προσεχθεί το ύψος του σιφονιού σε σχέση με το ύψος του τελικού δαπέδου. Προτείνεται η τοποθέτηση του σε σημείο που δεν θα εμποδίσει την δαπεδόστρωση και όχι στο κέντρο του λουτρού, προκειμένου να απελευθερωθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια για την τοποθέτηση των σωλήνων της δαπεδοθέρμανσης.

Σε πιθανή περίπτωση μη κάλυψης των θερμικών απωλειών με την ενδοδαπέδια θέρμανση (μελέτη ενδοδαπέδιας), προτείνεται συνδυαστική λειτουργία με θερμαντικό σώμα (πετσετοκρεμάστρα).

5) Καθαρισμός και αλφάδιασμα πλάκας-τσιμεντοκονία ισοστάθμισης.

Φτάνοντας στο στάδιο της εγκατάστασης πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στην κατάσταση της πλάκας. Στην περίπτωση που η υδραυλική και ηλεκτρολογική εγκατάσταση έχει ολοκληρωθεί πριν την απόφαση εγκατάστασης ενδοδαπέδιας, και μεγάλος αριθμός σωληνώσεων διατρέχουν το δάπεδο, ενδείκνυται η χύτευση τσιμεντοκονίας ισοστάθμισης ύψους 3-4cm, ώστε ο εγκαταστάτης να παραλάβει την πλάκα καθαρή, αλφαδιασμένη και απαλλαγμένη από τυχόν προεξοχές.

B. Η ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η εγκατάσταση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης περιλαμβάνει κάποια στάδια με τη σειρά τοποθέτησής τους:

1) Τοποθέτηση πίνακα διανομής.

Η επιλογή της θέσης του πίνακα διανομής θα πρέπει να γίνεται έχοντας υπόψη τα παρακάτω:

α) Αποφυγή, όπου αυτό είναι δυνατό, των διακλαδώσεων ή των μεγάλου μήκους προσαγωγών κεντρικών σωληνώσεων θέρμανσης στην πλάκα, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

β) Να αποφεύγεται η τοποθέτηση του πίνακα σε απομακρυσμένο σημείο από την πλειοψηφία των θερμαινόμενων χώρων (π.χ. στον εξωτερικό τοίχο απομακρυσμένου υπνοδωματίου). Στην περίπτωση αυτή έχουμε μεγάλο μήκος προσαγωγής, που έχει σαν αποτέλεσμα η θερμοκρασία του νερού να είναι αισθητά χαμηλότερη από την απαιτούμενη, όταν αυτό φτάνει στο χώρο που πρόκειται να θερμανθεί.

γ) Να μην τοποθετείται ο πίνακας σε χώρους μικρής επιφάνειας γιατί αυτή θα καλυφθεί από τις μονωμένες προσαγωγές-επιστροφές των άλλων κυκλωμάτων, με αποτέλεσμα να μην μπορεί η μικρή επιφάνεια που απομένει να καλύψει το σύνολο των θερμικών απωλειών του χώρου.

δ) Αποφυγή τοποθέτησης του πίνακα στο εσωτερικό των ντουλαπιών της κουζίνας, γιατί ανεξάρτητα από το αν μονωθούν οι προσαγωγές, δημιουργούμε θερμό περιβάλλον με υψηλό ποσοστό υγρασίας.

ε) Να μην επιλέγεται, σε χώρους με υψομετρική διαφορά, το χαμηλότερο επίπεδο για την τοποθέτηση του πίνακα.

2) Τοποθέτηση φύλλου πολυαιθυλενίου.

Όταν η εγκατάσταση πρόκειται να γίνει σε πλάκα που από κάτω υπάρχει πυλωτή, καλό θα είναι πριν την τοποθέτηση της μορφόπλακας να τοποθετηθεί ένα φύλλο πολυαιθυλενίου, το οποίο θα υπερκαλύπτεται στις ενώσεις κατά 8cm και θα ανέρχεται στο σοβατεπί στο ύψος της περιμετρικής ταινίας. Με την εφαρμογή του φιλμ προστατεύεται η εγκατάσταση από τυχόν υγροποιήσεις που μπορεί να εμφανιστούν στην επάνω επιφάνεια της πλάκας, λόγω των μεγάλων θερμοκρασιακών διαφορών που προκαλούν τα ρεύματα αέρα.

3) Τοποθέτηση περιμετρικής ταινίας-Περιμετρικοί αρμοί.

Η περιμετρική ταινία, (βλ. εικόνα 28), τοποθετείται κάθετα στο δάπεδο και περιμετρικά, σε όλους τους θερμαινόμενους χώρους, όπως και στις κάσες των εξωτερικών - εσωτερικών θυρών και τις εσωτερικές κολώνες, καθορίζοντας έτσι τους περιμετρικούς αρμούς της εγκατάστασης.

Η περιμετρική ταινία πρέπει να δίνει τη δυνατότητα στο κολυμβητό δάπεδο να κινηθεί τουλάχιστον κατά 5mm. Στη συνέχεια, ξεδιπλώνεται το φιλμ PE που είναι προσαρμοσμένο στην περιμετρική ταινία πάνω στις μορφόπλακες για την εξασφάλιση στεγανότητας σε σχέση με την τσιμεντοκονία.

4) Διαμόρφωση εσωτερικών αρμών.

Σύμφωνα με το DIN 18560 που ορίζει τους αρμούς στα θερμαινόμενα δάπεδα, εκτός των περιμετρικών αρμών που καθορίζονται με την τοποθέτηση της περιμετρικής ταινίας, θα πρέπει τα δάπεδα να διαχωρίζονται με εσωτερικούς αρμούς στις περιπτώσεις που:

- α) Έχουμε επιφάνειες μεγαλύτερες των 40m².
- β) Το μήκος του θερμαινόμενου χώρου ξεπερνά τα 8m.
- γ) Ο λόγος του μήκους προς το πλάτος μιας θερμαινόμενης επιφάνειας, ξεπερνά την αναλογία 1:2.
- δ) Έχουμε κτιριακούς αρμούς.
- ε) Έχουμε εσωτερικά κουφώματα.
- στ) Διαφορετικά υλικά τελικής επένδυσης δαπέδου στον ίδιο χώρο (π.χ. ξύλο - μάρμαρο).
- ζ) Υψομετρικές διαφορές στο ίδιο επίπεδο, κεφαλόσκαλα.

Η κατά μήκος διαστολή που εμφανίζει ένα θερμαινόμενο δάπεδο και εξαρτάται από το πάχος της τσιμεντοκονίας, μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$$

Όπου:

ΔL = κατά μήκος διαστολή, (σε m).

L_0 = μήκος πλάκας σε m.

α = συντελεστής διαστολής κατά μήκος, (σε 1/K).

ΔT = διαφορά θερμοκρασίας, (σε °C ή K).

5) Τήρηση των αρμών διαστολής στα κεφαλόσκαλα.

Θα πρέπει να δοθεί προσοχή στη τήρηση των αρμών διαστολής στο κεφαλόσκαλο κάθε εσωτερικής σκάλας και υπερυψωμένου χώρου. Προκειμένου να τηρηθούν αυτοί οι αρμοί, θα πρέπει να κατασκευαστεί στα σημεία αυτά «κόντρα» κατά μήκος της οποίας θα τοποθετηθεί η περιμετρική ταινία.

6) Τοποθέτηση μορφόπλακας.

Στη συνέχεια, τοποθετείται η μορφόπλακα στην επιφάνεια του δαπέδου κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπάρχουν κενά που θα επιτρέψουν στη συνέχεια τη διείσδυση των υγρών του θερμοπετόν. Εκτός του μονωτικού και ηχομονωτικού της ρόλου, η μορφόπλακα λειτουργεί σαν στήριγμα του σωλήνα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης.

7) Τοποθέτηση σωλήνα.

Η εγκατάσταση του σωλήνα γίνεται σε σχήμα κοχλία (σαλιγκαριού) γιατί με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασιών στην επιφάνεια του δαπέδου και κατά συνέπεια του χώρου. Ταυτόχρονα με την εφαρμογή του κοχλία μειώνεται η πιθανότητα «τσακίσματος» του σωλήνα κατά την εγκατάσταση του. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα σημεία όπου κάμπτεται ο σωλήνας, έτσι ώστε η ακτίνα καμπυλότητάς του να μην είναι μικρότερη του 8πλάσιου της διαμέτρου του σωλήνα. Επιθυμητό είναι, η εφαρμογή του σωλήνα να ξεκινάει αφήνοντας απόσταση 5cm από τον τοίχο, ενώ το συνολικό μήκος των κυκλωμάτων δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 110m.

Οι αποστάσεις των σωλήνων, οι οποίες ορίζονται από τη μελέτη, έχουν υπολογιστεί έτσι ώστε να καλύπτουν τις θερμικές απώλειες των χώρων, χωρίς να ξεπερνούν τα όρια που καθορίζει ο κανονισμός (DIN 1264) για τις θερμοκρασίες επιφάνειας δαπέδου, 29°C στους χώρους διαμονής, 33°C στα λουτρά και 35°C στις περιμετρικές ζώνες:

α) Στις περιπτώσεις θερμαινόμενων χώρων μεγάλης επιφάνειας και επαρκών μονώσεων, με μικρό αριθμό ανοιγμάτων, τα περισσότερα κυκλώματα εμφανίζουν σταθερή απόσταση μεταξύ των σωλήνων σε όλο το μήκος του κυκλώματος και αραιότερη «πλέξη».

β) Σε χώρους με μικρή επιφάνεια, αλλά μεγάλο αριθμό ανοιγμάτων ή εξωτερικών τοίχων, προκειμένου να καλύψουμε το πλήθος των θερμικών απωλειών εφαρμόζουμε κυκλώματα πυκνότερα προς τους εξωτερικούς τοίχους και πιο αραιά στις μεσοτοιχίες. Η πυκνή ενσωματωμένη ζώνη αυτών των κυκλωμάτων δεν ξεπερνάει το 1m σε πλάτος και εμφανίζει θερμοκρασία επιφάνειας δαπέδου 30°C - 32°C.

γ) Σε χώρους με μεγάλο αριθμό θερμικών απωλειών επιλέγουμε να φτιάξουμε πυκνές περιμετρικές ζώνες πλάτους 1m, οι οποίες μπορούν να εμφανίσουν θερμοκρασία επιφάνειας δαπέδου μέχρι και 35°C και να καλύψουν έτσι το μεγαλύτερο μέρος των θερμικών απωλειών, ενώ η υπόλοιπη επιφάνεια καλύπτεται με δεύτερο αραιότερο κύκλωμα.

8) Ποσότητα σωλήνα ανά m² μορφόπλακας.

Στον παρακάτω πίνακα [13] φαίνεται η ποσότητα των σωληνώσεων που απαιτούνται κατά την εγκατάσταση κυκλώματος με βάση την απόσταση που ορίζεται από τη μελέτη για κάθε κύκλωμα. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πως ο θεωρητικός υπολογισμός διαφέρει από την εφαρμογή στην πράξη. Οι διαφορές οφείλονται στις καμπύλες του σωλήνα, κυρίως στο κέντρο του κυκλώματος, όπου η θεωρία λαμβάνει υπόψη της ευθεία διάταξη των σωλήνων.

Διάστημα τοποθέτησης (cm)	Ποσοτικές ανάγκες σωληνώσεων ανά τετραγωνικό μέτρο θερμαινόμενης επιφάνειας	
	Θεωρητικά mm	Πρακτικά mm
7,5	13	11
15	6,6	5,8
22,5	4,4	3,9
30	3,3	3,0

9) Προστασία σωλήνα με σπирάλ στους εσωτερικούς αρμούς.

Πρέπει να σημειωθεί πως η διάταξη των κυκλωμάτων συμβαδίζει πάντα με την κατασκευή των εσωτερικών αρμών, έτσι ώστε οι αρμοί να μην διέρχονται ποτέ μέσα από κύκλωμα. Οι προσαγωγές και επιστροφές των κυκλωμάτων επιτρέπεται να διέρχονται από τους αρμούς εφόσον βέβαια έχουν επενδυθεί με σπирάλ προστασίας μήκους τουλάχιστον 40cm προκειμένου να προστατευθούν από καταπονήσεις που προκαλούνται κατά τις συστολοδιαστολές του θερμαινόμενου δαπέδου.

10) Μόνωση προσαγωγών μεγάλου μήκους.

Μεγάλη βαρύτητα πρέπει να δοθεί κατά την εγκατάσταση των δικτύων, στη μόνωση των σωλήνων προσαγωγής στη διαδρομή τους από το συλλέκτη προς τα κυκλώματα, για την αποφυγή μεγάλων απωλειών, αλλά και για την προστασία του δαπέδου από ανάπτυξη μεγάλων θερμοκρασιών, ιδιαίτερα στην επιφάνεια κοντά στον πίνακα διανομής.

Στο Παράρτημα παραθέτουμε το κοστολόγιο για την ενδοδαπέδια θέρμανση της κατοικίας στα Μουδανιά Χαλκιδικής.

Γ) ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΚΤΥΟΥ

Μετά το τέλος της εγκατάστασης των σωληνώσεων και πριν τη χύτευση του θερμομπετόν απαιτείται η ακόλουθη διαδικασία:

- 1) **Πλήρωση του δικτύου** (κάθε κύκλωμα ξεχωριστά) μέχρι τελικής αφαίρεσης του αέρα.
- 2) **Κομπρεσέρ αέρα** και εφαρμόζουμε **πίεση δοκιμής** αυξημένη κατά το τριπλάσιο της πίεσης λειτουργίας (π.χ. πίεση λειτουργίας 2 bar, πίεση δοκιμής 6 bar).
- 3) **Διατηρούμε την πίεση** αυτή για 30 λεπτά και επιθεωρούμε τις συνδέσεις για τυχόν διαρροές.
- 4) **Εκτονώνουμε την πίεση** στο διπλάσιο της πίεσης λειτουργίας (6 bar) αφήνοντας το σύστημα συμπιεσμένο και επιθεωρώντας το για τυχόν διαρροές για 90 λεπτά.
- 5) Η **δοκιμή πρέπει να αρχίσει τουλάχιστον 24 ώρες πριν την χύτευση του θερμοπετόν** και το δίκτυο να παραμείνει υπό πίεση καθ' όλη τη διάρκεια χύτευσης.



Εικόνα 34: Η δοκιμή πίεσης των σωληνώσεων της εγκατάστασης ενδοδαπέδιας θέρμανσης με την βοήθεια κομπρεσέρ αέρα. (Κατοικία στα Μουδανιά Χαλκιδικής).

Δ) ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΑΤΩΜΑΤΩΝ

Το στάδιο αυτό αναλαμβάνουν οι τεχνικοί κατασκευής πατωμάτων, οι οποίοι εργάζονται με ειδικές προδιαγραφές, και τα βήματα εκτέλεσης των ενεργειών τους είναι τα εξής:

- 1) Τσιμεντοκονία επικάλυψης.
- 2) Ξήρανση τσιμεντοκονίας.
- 3) Δαπεδόστρωση.
- 4) Κολυμβητή τοποθέτηση μαρμάρου.
- 5) Τοποθέτηση ξύλινου δαπέδου με κόλλα.

6.5 Τελικό στάδιο συνδέσεων για την λειτουργία της γεωθερμικής εγκατάστασης

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιούνται όλες οι συνδέσεις των σωληνώσεων, των ηλεκτρικών και άλλες λεπτομέρειες και ολοκληρώνεται έτσι η εγκατάσταση του συστήματος της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

6.5.1 Σύνδεση αντλίας θερμότητας

Αφού ελεγχθεί η ορθή λειτουργία των σωληνώσεων της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, στο μηχανοστάσιο συνδέουμε την αντλία θερμότητας και όλες τις σωληνώσεις του συστήματος με όλα τα εξαρτήματα. Στο τέλος δοκιμάζουμε την λειτουργία όλου του συστήματος.



Εικόνα 35: Η αντλία θερμότητας της εγκατάστασης ενδοδαπέδιας θέρμανσης με σύστημα γεωθερμικής αντλίας, της κατοικίας στα Μουδανιά Χαλκιδικής.



Εικόνα 36: Οι συνδέσεις των σωληνώσεων στο πίσω μέρος της αντλίας θερμότητας της εγκατάστασης ενδοδαπέδιας θέρμανσης με σύστημα γεωθερμικής αντλίας, της κατοικίας στα Μουδανιά Χαλκιδικής.



Εικόνα 37: Πίνακας ενδείξεων κατάστασης λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, (κατοικίας στα Μουδανιά Χαλκιδικής).



Εικόνα 38: Ένδειξη της πίεσης λειτουργίας της εγκατάστασης (κατοικίας στα Μουδανιά Χαλκιδικής).

6.5.2 Σύστημα μίξης και συστήματα αυτονομίας των χώρων

1) Σύστημα μίξης

Το σύστημα μίξης χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μικτών συστημάτων θέρμανσης (ενδοδαπέδια και θερμαντικά σώματα), κατοικιών, μειώνοντας το κόστος εγκατάστασης, καθώς δεν απαιτούνται ξεχωριστές διατάξεις και κλάδοι στην λειτουργία της αντλίας θερμότητας, και δίνοντας τη δυνατότητα αυτονομίας κάθε χώρου. Τοποθετείται στον πίνακα διανομής και ρυθμίζει την επιθυμητή θερμοκρασία του νερού προσαγωγής στο ενδοδαπέδιο σύστημα.

Το σύστημα μίξης αποτελείται από:

α) Βαλβίδα ανάμιξης.

β) Κυκλοφορητή - ΚΙΤ Μίξης (της WILO), ο οποίος ελέγχει την κυκλοφορία ηλιοθερμίας, δηλαδή από τους ηλιακούς συλλέκτες στο buffer του κυκλώματος θέρμανσης και στο buffer ζεστού νερού χρήσης.



Εικόνα 39: Ο κυκλοφορητής μίξης του συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης με γεωθερμία της κατοικίας στα Μουδανιά Χαλκιδικής.

γ) Υδροστάτη επαφής, ο οποίος διακόπτει τη λειτουργία του κυκλοφορητή σε περίπτωση που η θερμοκρασία νερού υπερβεί τη μέγιστη επιθυμητή ρύθμιση.

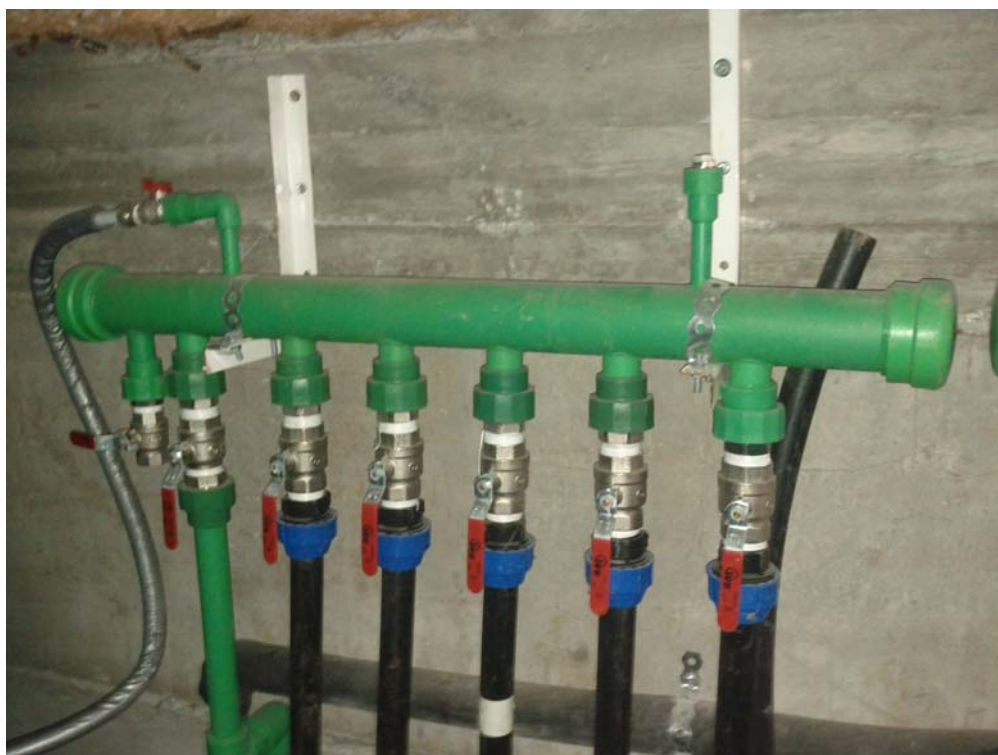
δ) Φις παροχής-σύνδεσης με θερμοστάτη χώρου που ελέγχει τον κυκλοφορητή.

2) Αναλογικό ή ψηφιακό σύστημα αυτονομίας

Η εγκατάσταση της ενδοδαπέδιας θέρμανσης μπορεί να συνδυαστεί με ένα ηλεκτρονικό (αναλογικό ή ψηφιακό) σύστημα αυτονομίας χώρων, επιτρέποντας τον έλεγχο της θερμοκρασίας κάθε δωματίου χωριστά. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε τη θερμική άνεση που επιθυμούμε σε κάθε χώρο και αυξάνουμε την απόδοση του συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης μειώνοντας την κατανάλωση.

6.5.3 Συλλέκτης. Ρυθμίσεις συστήματος

1) Ο **συλλέκτης** είναι η "καρδιά" της εγκατάστασης που ρυθμίζει τις απαιτούμενες ροές για τα κυκλώματα και την τέλεια εξισορρόπηση του συστήματος.



Εικόνα 40: Ο συλλέκτης του συστήματος ενδοδαπέδιας θέρμανσης με γεωθερμία της κατοικίας στα Μουδανιά Χαλκιδικής.

Ο συλλέκτης προσαγωγής φέρει άλεν ή ροόμετρο (flow meter) για τις ρυθμίσεις των παροχών των κυκλωμάτων ενώ ο συλλέκτης επιστροφής διαθέτει βαλβίδες θερμοηλεκτρικών κινητήρων παρέχοντας τη δυνατότητα προσαρμογής θερμοηλεκτρικών κινητήρων (actuators), οι οποίοι με εντολή των θερμοστατών κάθε χώρου επιτρέπουν την αυτόνομη λειτουργία των αντίστοιχων κυκλωμάτων. Για την τέλεια ρύθμιση του συστήματος θέρμανσης χρησιμοποιούνται οι ειδικοί μαστοί προσαγωγής και επιστροφής στους οποίους προσαρμόζονται θερμόμετρα.

2) Ρύθμιση Συστήματος

Με βάση πάντα τη μελέτη, ρυθμίζουμε από τα άλεν ή τα ροόμετρα την παροχή σε νερό στο κάθε κύκλωμα. Στόχος μας είναι να πετύχουμε κοινή θερμοκρασία επιστροφής σε όλα τα δίκτυα και μια θερμοκρασιακή διαφορά ΔT στους 5°C . Τη δυνατότητα αυτής της ρύθμισης τη δίνουν τα θερμόμετρα που βρίσκονται στους αντίστοιχους μαστούς επιστροφής και προσαγωγής.

6.5.4 Το μηχανοστάσιο. Διάγραμμα ροής της εγκατάστασης

1) Το **μηχανοστάσιο** είναι ο χώρος που βρίσκονται εγκατεστημένα η αντλία θερμότητας, το Kit μίξης, το σύστημα αντιστάθμισης, οι κυκλοφορητές, ο συλλέκτης, οι αντλίες, δοχεία, θερμιδομετρητές καταναλισκόμενης ενέργειας, οι διατάξεις αυτοματισμού και γενικά όλες οι απαραίτητες συσκευές και τα εξαρτήματα που συνδέονται με την θέρμανση και τον δροσισμό, καθώς και τα υδραυλικά του συστήματος.

Η διάταξη των συσκευών και των σωληνώσεων στο μηχανοστάσιο, πρέπει να γίνεται από ειδικούς τεχνικούς, και πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμη και διαχειρίσιμη για την λειτουργία και την συντήρηση του συστήματος.

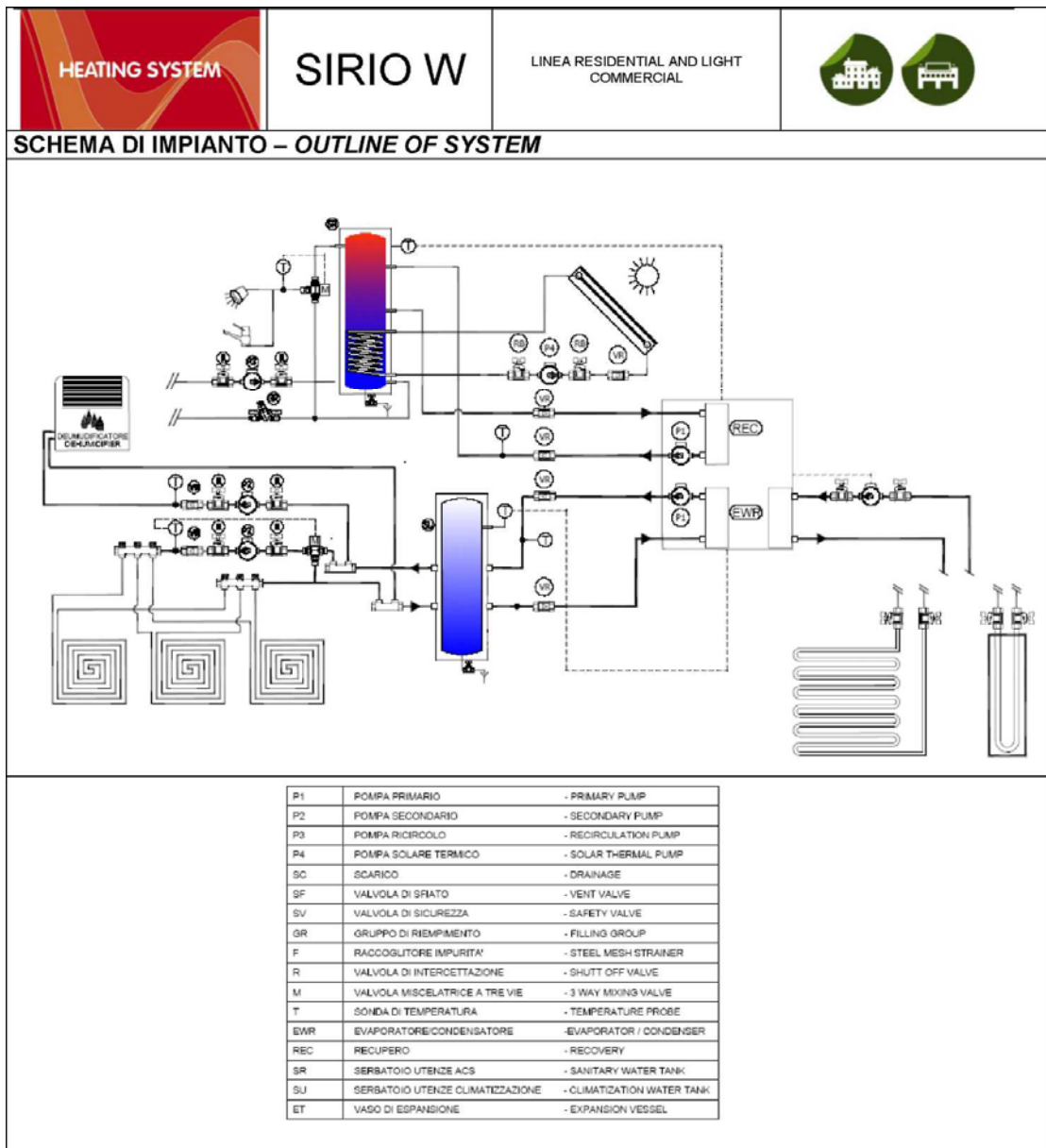
2) Τέλος σε ειδικό πίνακα του μηχανοστασίου, πρέπει να βρίσκεται το **διάγραμμα ροής** των συσκευών, σωληνώσεων και ηλεκτρικών συνδέσεων όλης της εγκατάστασης θέρμανσης– ψύξης/δροσισμού,

ώστε να υπάρχει εύκολη εποπτεία, έλεγχος και διορθώσεις του συστήματος.

Στις παρακάτω εικόνες δείχνεται μία προτεινόμενη διάταξη του Μηχανοστασίου και το διάγραμμα ροής του συστήματος γεωθερμικής αντλίας κατοικίας.



Εικόνα 41: Άποψη προτεινόμενου μηχανοστασίου με γεωθερμική αντλία θερμότητας για θέρμανση κατοικίας.



Εικόνα 42: Διάγραμμα ροής της εγκατάστασης θέρμανσης - ψύξης/δροσισμού κατοικίας με γεωθερμική αντλία, στο οποίο φαίνεται και ο ηλιακός συλλέκτης.

Κεφάλαιο 7: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

7.1 Γενικά

Γενικά, όπως προκύπτει από την ανάλυση κόστους, μια μέση συγκριτική εκτίμηση μεταξύ των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης/δροσισμού των κατοικιών με αβαθείς γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και συμβατικά μέσα θέρμανσης (λέβητας – πετρέλαιο θέρμανσης) τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να μειώσουν το κόστος λειτουργίας θέρμανσης ως και 70% και το κόστος ψύξης έως και 50%. Η μείωση αυτή γίνεται μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερες είναι οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του σπιτιού.

Το κόστος της εγκατάστασης των μονάδων θέρμανσης με αβαθείς γεωθερμικές αντλίες σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες (λέβητα), είναι μεγαλύτερο κατά 20% - 120%, ανάλογα με το είδος του γεωθερμικού συστήματος που εγκαθίσταται.

Η απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου εγκατάστασης μιας γεωθερμικής μονάδας συγκριτικά με μια συμβατική μονάδα γίνεται σε μια χρονική περίοδο λειτουργίας η οποία κυμαίνεται από 2 έως 10 χρόνια.

7.2 Συγκριτικός υπολογισμός κόστους εγκατάστασης σε διώροφη κατοικία 400 m²

Από την έρευνα αγοράς, που κάναμε, σε εταιρίες εγκατάστασης θέρμανσης, προέκυψε ότι για ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης κατοικίας 400 m², με ενδοδαπέδια θέρμανση, το μέσο κόστος μιας εγκατάστασης είναι περίπου 35000 ευρώ, ενώ το αντίστοιχο για μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 50000 ευρώ. Το μέσο κόστος των 50000 ευρώ για την γεωθερμική αντλία προκύπτει ως εξής:

1) Γεωεναλλάκτης μαζί με τοποθέτηση και γεώτρηση (6 γεωτρήσεις):

20.000 Ευρώ [25].

2) Αντλία θερμότητας και λοιπά εξαρτήματα, σωληνώσεις, μαζί με την τοποθέτηση: 15.000 Ευρώ[24].

3) Ενδοδαπέδια θέρμανση υλικά και εγκατάσταση: 15000 Ευρώ.

Δηλαδή η διαφορά κόστους εγκατάστασης είναι της τάξης των 15000 ευρώ, υπέρ του συμβατικού τρόπου θέρμανσης.

Παραθέτουμε το κοστολόγιο για τα υλικά της ενδοδαπέδιας θέρμανσης της κατοικίας 400 m² στα Μουδανιά Χαλκιδικής, (δεν περιλαμβάνεται τοποθέτηση κλπ, 5000 ευρώ).

TACKER ME ΡΟΛΟ ΜΟΝΩΣΗΣ 30MM										
Υποχρεωτικά εξαρτήματα										
UPONOR Home Comfort										
Pipes - UPONOR Home Comfort										
Προϊόν	Size	Κωδικός	Ποσότητα	Μονάδα	Ελάχιστη Ποσότητα	Τιμή Καταλόγου	Σύνολο	Εκπτώση	Σύν. με έκπτ.	
Σωλήνας Uponor MLCP 16x2.0	16 x 2.0	1013371	2500	m	2600	2,00 €	5200,00	0,00%	5200,00	
Pipe fittings - UPONOR Home Comfort										
Προϊόν	Size	Κωδικός	Ποσότητα	Μονάδα	Ελάχιστη Ποσότητα	Τιμή Καταλόγου	Σύνολο	Εκπτώση	Σύν. με έκπτ.	
Βιδιός αντάπτορας Uponor MLCP	16-3/4	1013989	62	pcs.	70	3,99	279,30	0,00%	279,30	
Manifolds - UPONOR Home Comfort										
Προϊόν	Size	Κωδικός	Ποσότητα	Μονάδα	Ελάχιστη Ποσότητα	Τιμή Καταλόγου	Σύνολο	Εκπτώση	Σύν. με έκπτ.	
Σετ μονών τμημάτων συνθετικού συλλέκτη με ροόμετρο	1way	1042471	0	pcs.	0	-43,40 €	0,00	0,00%	0,00	
Σετ μονών τμημάτων συνθετικού συλλέκτη με ροόμετρο	3way	1030583	1	pcs.	1	126,90 €	126,90	0,00%	126,90	
Σετ μονών τμημάτων συνθετικού συλλέκτη με ροόμετρο	4way	1030584	1	pcs.	1	165,10 €	165,10	0,00%	165,10	
Σετ μονών τμημάτων συνθετικού συλλέκτη με ροόμετρο	6way	1030585	4	pcs.	4	241,58 €	966,32	0,00%	966,32	
Βασικό σετ παρελκόμενων		1009209	3	set	3	97,00 €	291,00	0,00%	291,00	
Structural slabs - UPONOR Home Comfort										
Προϊόν	Size	Κωδικός	Ποσότητα	Μονάδα	Ελάχιστη Ποσότητα	Τιμή Καταλόγου	Σύνολο	Εκπτώση	Σύν. με έκπτ.	
Συνδέτηρες	14-20	1000013	7500	τιμ	8000	0,02 €	160,00	10,00%	144,00	
Μουσαμάς Tackler		1000015	356	m ²	412	2,95 €	1215,40	0,00%	1215,40	
Polystyrol insulation (lambda 0,040)	30 EPS 040 DEC	any producer	360	m ²	360	3,00 €	1080,00		1080,00	
Accessories - UPONOR Home Comfort										
Προϊόν	Size	Κωδικός	Ποσότητα	Μονάδα	Ελάχιστη Ποσότητα	Τιμή Καταλόγου	Σύνολο	Εκπτώση	Σύν. με έκπτ.	
Περιμετρική ταινία Uponor 150x10 *		1000080	301	m	400	0,60 €	240,00	10,00%	216,00	
Πρόσθετο επιχρίσματος Uponor VDI50 *		1000084	62	kg	80	0,99 €	79,20	10,00%	71,28	
Βάνα σύνδεσης συλλέκτη		1005100	3	set	3	54,08 €	162,24	0,00%	162,24	
Σύνολο							9965,46		9917,54	

Εικόνα 43: Κοστολόγιο υλικών ενδοδαπέδιας θέρμανσης της κατοικίας στα Μουδανιά Χαλκιδικής (τιμές 2012).

7.3 Αναλυτικός συγκριτικός υπολογισμός κόστους λειτουργίας

Στην εικόνα που ακολουθεί δείχνονται τα βήματα υπολογισμού και ο αναλυτικός υπολογισμός του κόστους λειτουργίας συμβατικού και γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης, για κατοικία 400 m², χωρίς να παρθούν υπόψη οι αλλαγές που επίκεινται σε ότι αφορά την εξίσωση του πετρελαίου θέρμανσης με το πετρέλαιο κίνησης, οι οποίες θα οδηγήσουν στον υπερδιπλασιασμό της τιμής του πετρελαίου, (από 1 ευρώ το λίτρο στα 1,6 ευρώ το λίτρο). Στην σύγκριση θεωρήσαμε την τιμή της μέσης ετήσιας λειτουργίας για θέρμανση 1260 (h/y), η οποία εκτιμάται για την Ελλάδα και κακή θερμική μόνωση κατοικίας με τυπικές ανάγκες 0,1 (kW/m²).

Βήματα συγκριτικού υπολογισμού κόστους λειτουργίας Συμβατικής (πετρέλαιο) - Γεωθερμικής (Α/Θ εδάφους - νερού) για θέρμανση κατοικίας 400 m²

1ο βήμα Ενεργειακές ανάγκες επιφάνειας κατοικίας	Ενεργειακές ανάγκες Q σε KW για θέρμανση	=	400 m ²	·	0,1 kW/m ²	=	40 kW
	Ενεργειακές ανάγκες Q _h = 0,08 kW/m ² (καλή θερμική μόνωση)		Επιφάνεια		Απώλειες		Ισχύς
	= 0,10 kW/m ² (κακή θερμική μόνωση)						
2ο βήμα Ετήσια ενεργειακή ανάγκη κατοικίας	Ετήσια ενεργειακή ανάγκη Q _y σε kWh/y για θέρμανση	=	40 kW	·	1260 h/y	=	50400 kWh/y
	Ετήσιες ώρες λειτουργίας για θέρμανση π.χ. 1260 h/y		Ισχύς		Ετήσιες ώρες λειτουργίας		Σύνολο ισχύος
3ο βήμα Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου	Ανάγκες Πετρελαίου σε lit. /y	=	50400 kWh/y	·	0,85	=	5822 lit/y
	Ανάγκες Πετρελαίου σε lit. /y		Ετήσια ενεργειακή ανάγκη Q _a		Κατώτατο θερμαντικό αποτέλεσμα		Λίτρα πετρελαίου
	Κατώτατο θερμαντικό αποτέλεσμα πετρελαίου = 10,08 kWh/lit		10,08 kWh/lit		0,85		
	Ετήσιος βαθμός απόδοσης π.χ. = 0,85						
4ο βήμα Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας γεωθερμικής Α/Θ	Ενεργειακή ανάγκη Α/Θ σε kWh/y	=	50400 kWh/y	·	5,00	=	10080 kWh/y
	Ενεργειακή ανάγκη Α/Θ σε kWh/y		Ετήσια ενεργειακή ανάγκη Q _y		Ετήσιος βαθμός απόδοσης λειτουργίας		KW για την Α/Θ
5ο βήμα Ετήσιο κόστος λειτουργίας	Κόστος Πετρελαίου για λειτουργία λέβητα	=	5822 lit/y	·	1 €/lit	=	5822 €/y
	Κόστος Πετρελαίου για λειτουργία λέβητα		Ανάγκες Πετρ.		Τιμή Πετρελαίου		
	Τιμή ρεύματος για λειτουργία Α/Θ Εδάφους-νερού	=	10080 kWh/y	·	0,13 €/kWh	=	1310 €/y
	Τιμή ρεύματος για λειτουργία Α/Θ Εδάφους-νερού		Ενεργειακή ανάγκη Α/Θ		Τιμή ρεύματος		
	Διαφορά κόστους λειτουργίας Α/Θ εδάφους/νερού και πετρέλαιο	=	5822 €/y	-	1310 €/y	=	4572 €/y
	Διαφορά κόστους λειτουργίας Α/Θ εδάφους/νερού και πετρέλαιο		Κόστος Πετρελαίου		Κόστος ρεύματος Α/Θ		Εξοικονόμηση/ έτος

Εικόνα 44: Βήματα και αναλυτικός υπολογισμός κόστους λειτουργίας μεταξύ συμβατικού και γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης κατοικίας 400(m²).

Παρατηρούμε ότι το **ετήσιο κόστος λειτουργίας** αντλίας θερμότητας εδάφους – νερού, (γεωθερμικής αντλίας), που λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα, σε σύγκριση με τον λέβητα που λειτουργεί με πετρέλαιο εξοικονομεί 4572 ευρώ κάθε έτος.

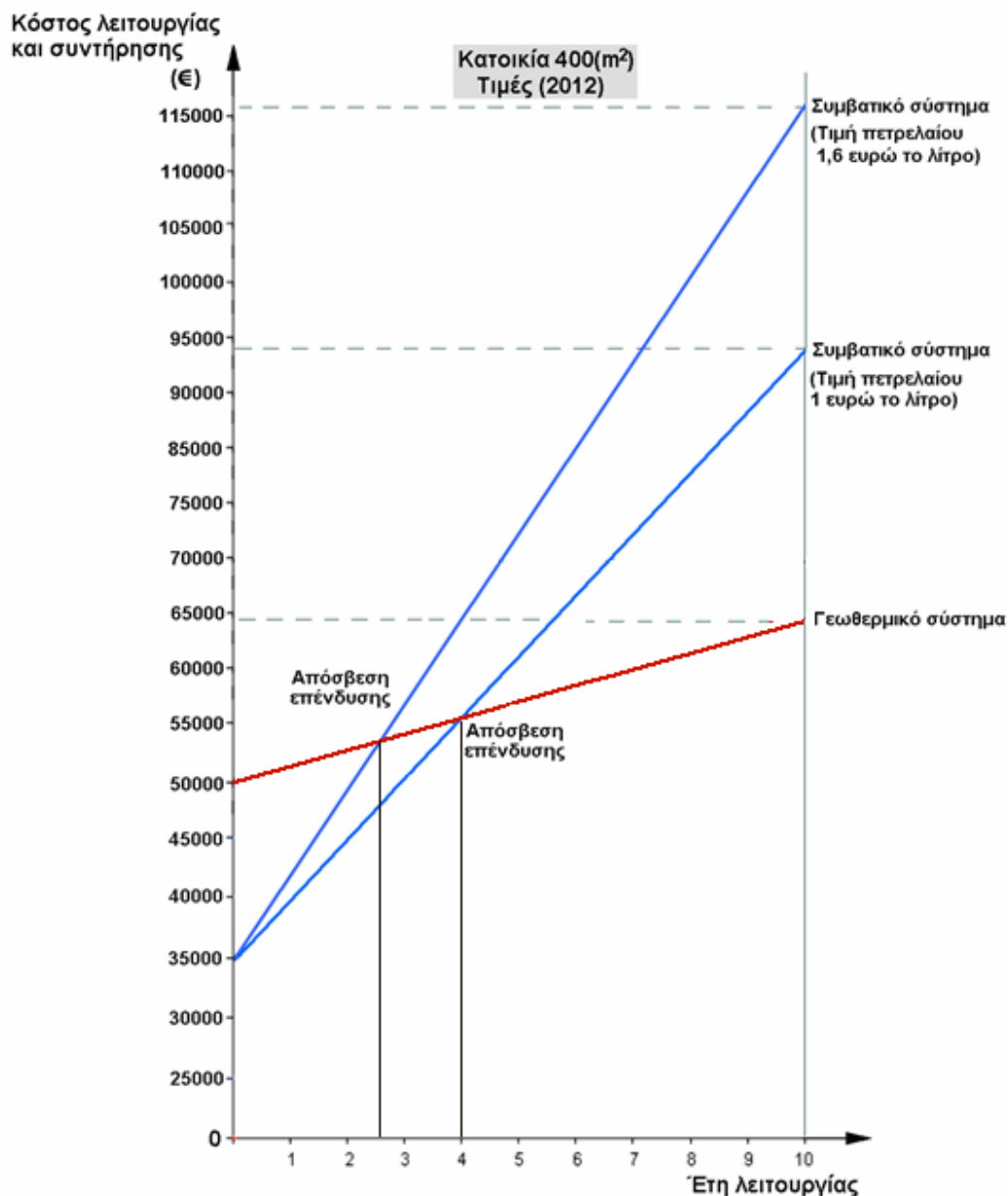
Επισημαίνουμε επίσης ότι το **ετήσιο κόστος συντήρησης** μιας συμβατικής εγκατάστασης είναι περίπου 200 ευρώ, ενώ το αντίστοιχο κόστος της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας είναι περίπου 50 ευρώ. Δηλαδή υπάρχει και μια διαφορά κόστους συντήρησης των δύο εγκαταστάσεων 150 ευρώ/ έτος υπέρ του συστήματος της γεωθερμικής αντλίας θέρμανσης και άρα το σύστημα της γεωθερμικής αντλίας εξοικονομεί ετήσια $(4572 + 150=)$ 4722 ευρώ/έτος. Αυτό σημαίνει ότι η απόσβεση του κόστους εγκατάστασης μεταξύ των δύο συστημάτων με μια διαφορά 15000 ευρώ, (όπως εκτιμήθηκε στην παράγραφο 7.2), καλύπτεται περίπου σε 4 χρόνια, όπως προκύπτει από το διάγραμμα της εικόνας 42 που δείχνουμε πιο κάτω.

Αν πάρουμε υπόψη τις αλλαγές που επίκεινται για την εξίσωση του πετρελαίου θέρμανσης με το πετρέλαιο κίνησης, τότε το ετήσιο κέρδος χρήσης του συστήματος γεωθερμικής αντλίας θέρμανσης σε σχέση με το συμβατικό φθάνει τα 8005 ευρώ, (για τιμή 1,6 ευρώ/Lt συν το ετήσιο κόστος λειτουργίας), οπότε η απόσβεση της διαφοράς κόστους εγκατάστασης των 15000 ευρώ πραγματοποιείται περίπου σε 2,6 χρόνια, όπως προκύπτει από το διάγραμμα της εικόνας 42 που δείχνουμε πιο κάτω.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί φαίνεται συγκριτικά το μέσο κόστος λειτουργίας των δύο συστημάτων, (σε σταθερές τιμές του 2012), για την θέρμανση της διώροφης κατοικία 400 m² στα Μουδανιά Χαλκιδικής για μια διάρκεια λειτουργίας 10 ετών. Η κατοικία θερμαίνεται με γεωθερμική μονάδα κλειστού κυκλώματος κατακόρυφου γεωεναλλάκτη 6 γεωτρήσεων και ενδοδαπέδια θέρμανση.

Παρατηρούμε ότι η απόσβεση του αρχικού κόστους εγκατάστασης της επένδυσης σε γεωθερμία, συγκριτικά με την συμβατική θέρμανση για τιμή πετρελαίου θέρμανσης 1 ευρώ/λίτρο, γίνεται περίπου σε 4 χρόνια λειτουργίας, ενώ με την επικείμενη αλλαγή της εξίσωσης του

πετρελαίου θέρμανσης με το πετρέλαιο κίνησης, (1,6 ευρώ/ λίτρο), η απόσβεση επιτυγχάνεται μόλις σε 2,6 χρόνια.



Εικόνα 45: Διάγραμμα κόστους λειτουργίας και συντήρησης της κατοικίας μεταξύ συμβατικού και γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης - ψύξης/δροσισμού με κατακόρυφο γεωεναλλάκτη κλειστού κυκλώματος σε συνάρτηση με τα έτη λειτουργίας (σταθερές τιμές 2012).

Επίσης παρατηρούμε από το διάγραμμα, ότι **το κέρδος στην λειτουργία και συντήρηση** από την χρήση της θέρμανσης με αβαθή γεωθερμία σε βάθος μιας δεκαετίας είναι από 30000 ευρώ περίπου μέχρι 50000 ευρώ, σε σχέση με την συμβατική θέρμανση.

Κεφάλαιο 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΠΟΝΗΣΗ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής αυτής εργασίας, είχαμε την ευτυχία, να εμπλουτίσουμε τις γνώσεις μας γενικά στην περιοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ειδικότερα στην αβαθή γεωθερμία και να οδηγηθούμε σε μερικά συμπεράσματα τα οποία είναι:

1) Η θέρμανση κατοικιών με συστήματα αβαθούς γεωθερμίας βρίσκεται σε επιταχυνόμενη εξέλιξη τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμιο επίπεδο, καταλαμβάνοντας όλο και περισσότερες προτιμήσεις στην αγορά των συστημάτων αυτών, εξαιτίας της αποτελεσματικότητας και της απόδοσης των, γεγονός που ρίχνει και τις τιμές, λόγω ανταγωνισμού με αποτέλεσμα να είναι πλέον μια εξαιρετικά συμφέρουσα επιλογή για την θέρμανση κατοικιών.

Στην Ελλάδα, η θέρμανση κατοικιών με γεωθερμικά συστήματα βρίσκεται να υστερεί σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, που επικρατούν στην αγορά, αλλά παρατηρείται τα τελευταία δύο χρόνια μια σημαντική αύξηση στις πωλήσεις τέτοιων συστημάτων, για λόγους που έχουν να κάνουν περισσότερο με το οικονομικό πρόβλημα λόγω κρίσης, παρά για λόγους περιβαλλοντολογικούς.

2) Αποδείχτηκε ότι τα γεωθερμικά συστήματα, παρόλο το μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης τους, (κυρίως λόγω του κόστους του γεωεναλλάκτη), είναι οικονομικά πολύ πιο συμφέροντα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Ο λόγος είναι ότι τα γεωθερμικά συστήματα επιτυγχάνουν εξοικονόμηση ενέργειας που σύντομα αποσβένει την επένδυση και στην συνέχεια ανοίγει δραστικά την ψαλίδα της οικονομικής ωφέλειας, καθώς οι συνεχείς αυξήσεις των τιμών του πετρελαίου, δεν προβλέπεται να σταματήσουν, αλλά αντίθετα, τελεσίδικα πλέον, θα συνεχίζονται, καθώς τα παγκόσμια διαθέσιμα αποθέματα πετρελαίου ελαττώνονται.

Οι αυξήσεις τιμών του πετρελαίου φυσικά θα επηρεάσουν και τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας με την οποία εργάζονται τα συστήματα της γεωθερμίας, αλλά όχι τόσο πολύ. Ο λόγος είναι ότι ήδη έχει

αναπτυχθεί και συνεχώς αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς η χρησιμοποίηση της ηλιακής και αιολικής ενέργειας για τον μετασχηματισμό τους σε ηλεκτρική ενέργεια και έτσι αντικαθιστούν το πετρέλαιο. Κατά συνέπεια η χρήση γεωθερμικής ενέργειας γίνεται όλο και πιο συμφέρουσα.

3) Η σχετική βιβλιογραφία για την αβαθή γεωθερμία, υπάρχει μεν, αλλά δεν έχει συστηματοποιηθεί καθώς υπάρχουν σκόρπιες και σχετικά ημιτελείς πληροφορίες. Ελπίζουμε ότι η εργασία μας αυτή θα συμβάλει προς αυτήν την κατεύθυνση, καθώς προσπαθήσαμε να μεθοδεύσουμε, όσο μας ήταν δυνατόν, την παρουσίαση του αντικειμένου της αβαθούς γεωθερμίας στα συστήματα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, ώστε να χρησιμεύσει και σε άλλους σπουδαστές που στο μέλλον θα ασχοληθούν με παρόμοια θέματα.

Η εμπειρία που αποκτήσαμε μας παρασύρει στο να τολμήσουμε να κάνουμε και κάποιες προτάσεις για θέματα μελλοντικών εργασιών πάνω σε παρεμφερή θέματα που αφορούν θερμάνσεις κατοικιών, όπως για παράδειγμα σε γεωθερμικά συστήματα με οριζόντιους γεωεναλλάκτες, γεωεναλλάκτες με σωληνώσεις τύπου σπιδράλ, κλειστού ή ανοικτού συστήματος. Επίσης θα ήταν χρήσιμες και εργασίες με θέμα τις αντλίες θερμότητας εδάφους – αέρα.

Τέλος στις προτάσεις μας είναι και μελλοντικές εργασίες που θα δώσουν έμφαση στις λεπτομέρειες του θερμοδυναμικών ψυκτικών κύκλων με συμπίεση ατμών και την χρήση fan coils, για την ψύξη και δροσισμό κατοικιών, που στην εργασία αυτή εμείς αναφέραμε και περιγράψαμε, αλλά δεν εμβαθύναμε όσο θα θέλαμε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Συγγράμματα

- [1] ``Θερμοδυναμική`` Χασάπης Δ.Δ. Εκδόσεις Γκιούρδα Β. Αθήνα.
- [2] ``Χρήση αντλίας θερμότητας για κλιματισμό χοιροστασίου αξιοποιώντας την Γεωθερμία``. Ι. Παπαγεωγίου. Μεταπτυχιακή διατριβή. Επιβλέπων καθηγητής: Γρ. Λαμπρινός. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- [3] Soil Science Society of America Journal. Pdf.
- [4] Kasuda, T., and Archenbach, P.R. "Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States", ASHRAE Transactions, Vol. 71, Part 1, 1965.
- [5] Measurements of Ground Temperature at Various Depths
Georgios Florides and Soteris Kalogirou.pdf
- [6] Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν. «Γεωθερμία». Εκδόσεις Τζιόλα. Θεσσαλονίκη 2004
- [7] Χρηστάνης Κ. «Γεωθερμία». Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών. Πάτρα 2001
- [8] Συστήματα ψύξης με Ηλιακή ενέργεια. Ε. Ξηράκης. Διπλωματική εργασία. Επιβλέπων καθηγητής: Χ. Τζιβανίδης. ΕΜΠ.
- [9] Ενεργειακή ανάλυση αντλιών θερμότητας. Α.Παπαδάκη. Διπλωματική εργασία. Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Α.Στέγγου – Σάγγια. ΕΜΠ.
- [10] Γεωθερμία και τυποποίηση. Μ.Φύτικας,κ.α.ΑΠΘ.pdf
- [11] Μεταφορά Θερμότητας. Μια πρακτική προσέγγιση. YUNUS A.CENGEL. Εκδόσεις Τζιόλα 2005.
- [12] Διατάξεις γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Κ.Καρύτσας. ΚΑΠΕ.2006.
- [13] Ενδοδαπέδια θέρμανση κατοικίας Interplast.Pdf
- [14] ``Μελέτη ύδρευσης από αποχέτευσης, θέρμανσης τριωρόφου κτιρίου`` . Γ. Παρασχάκης. Επιβλέπον Καθηγητής: Ε. Κουριδάκης. ΑΤΕΙ Κρήτης 2011.

Διευθύνσεις διαδικτύου

- [15]http://greenenergyplus.blogspot.gr/2011/10/blog-post_2163.html
- [16] <http://ecogreenconstruction.gr/?p=16>
- [17] <http://www.xn--mxadgaohu3b7d.com/>
- [18] <http://www.zeon.com.gr/permalink/3015.html>

- [19] http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_2.pdf
- [20] http://aix.meng.auth.gr/lhtee/education/Heat_load_of_buildings.pdf
- [21] <http://www.ashrae.gr/Prevezanos.pdf>. Ενεργειακή Χαρτογράφηση κτιρίων.
- [22] <http://www.academicjournals.org/sre/pdf/pdf2011/19Sep.pdf>
- [23] <http://www.greenspec.co.uk/ground-source-heat-pumps.php>
- [24] <http://home.costhelper.com/geothermal-heat-pump.html>
- [25] http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3808/3/nobilakiss_renewable.pdf

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Α : Θερμοφυσικές ιδιότητες νερού

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	λ (W/mK)	α (m ² /s)	$\nu \times 10^6$ (m ² /s)	Pr	β (K ⁻¹)
0.01	999.8	4220	0.5610	1.330.10 ⁻⁷	1.791	13.47	-6.80.10 ⁻⁵
2	999.9	4214	0.5645	1.340	1.682	12.55	-3.55.10 ⁻⁵
7	999.9	4201	0.5740	1.366	1.434	10.63	4.36.10 ⁻⁵
12	999.5	4193	0.5835	1.392	1.240	8.91	0.000112
17	998.8	4187	0.5927	1.417	1.085	7.66	0.000172
22	997.8	4183	0.6017	1.442	0.9600	6.66	0.000226
27	996.5	4181	0.6103	1.465	0.8568	5.85	0.000275
32	995.0	4180	0.6184	1.487	0.7708	5.18	0.000319
37	993.3	4179	0.6260	1.508	0.6982	4.63	0.000361
47	989.3	4181	0.6396	1.546	0.5832	3.77	0.000436
67	979.5	4189	0.6605	1.610	0.4308	2.68	0.000565
87	967.4	4202	0.6737	1.657	0.3371	2.03	0.000679
100.0	958.3	4216	0.6791	1.681	0.2940	1.75	0.000751
127	937.5	4256	0.6836	1.713	0.2332	1.36	0.000895
147	919.9	4299	0.6825	1.726	0.2030	1.18	0.001008
167	900.5	4357	0.6780	1.728	0.1808	1.05	0.001132
187	879.5	4433	0.6702	1.719	0.1641	0.955	0.001273
207	856.5	4533	0.6590	1.697	0.1514	0.892	0.001440
227	831.3	4664	0.6439	1.660	0.1416	0.853	0.001645
247	803.6	4838	0.6246	1.607	0.1339	0.833	0.001909
267	772.8	5077	0.6001	1.530	0.1278	0.835	0.002266
287	738.0	5423	0.5701	1.425	0.1231	0.864	0.002783
307	697.6	5969	0.5346	1.284	0.1195	0.931	0.003607
327	649.4	6953	0.4953	1.097	0.1166	1.06	0.005141
347	586.9	9354	0.4541	0.8272	0.1146	1.39	0.009092
367	481.5	25,94	0.4149	0.3322	0.1148	3.46	0.03971
369	463.7	34,93	0.4180	0.2581	0.1151	4.46	0.05679
371	440.7	58,91	0.4357	0.1678	0.1156	6.89	0.1030
373	403.0	204,60	0.5280	0.06404	0.1192	18.6	0.3952
374	357.3	3905,0	1.323	0.00948	0.1313	138.0	7.735

Σε ενδιάμεσες τιμές του πίνακα , χρησιμοποιούμε γραμμική παρεμβολή : $\frac{x - x_1}{x_1 - x_2} = \frac{y - y_1}{y_1 - y_2}$

Π.χ. Ο αριθμός Pr για το νερό στους 15°C είναι : $\frac{Pr - 8,91}{8,91 - 7,66} = \frac{15 - 12}{12 - 17} \rightarrow Pr = 8,16$

ΠΙΝΑΚΑΣ Β : Θερμοφυσικές ιδιότητες αέρα σε πίεση 1 bar

T (°C)	ρ (kg/m ³)	C_p (J/kg)	λ (W/mK).10 ³	α (m ² /s).10 ⁶	μ (kg/ms).10 ⁶	ν (m ² /s).10 ⁶	Pr
-150	2,866	983	11,71	4,158	8,636	3,013	0,7246
-100	2,038	966	15,82	8,036	11,89	5,837	0,7263
-50	1,582	999	19,79	12,52	14,74	9,319	0,7440
-40	1,514	1002	20,57	13,56	15,27	10,08	0,7436
-30	1,451	1004	21,34	14,65	15,79	10,87	0,7425
-20	1,394	1005	22,11	15,78	16,30	11,69	0,7408
10	1,341	1006	22,88	16,96	16,80	12,52	0,7387
0	1,292	1006	23,64	18,18	17,29	13,38	0,7362
5	1,269	1006	24,Α01	18,80	17,54	13,82	0,7350
10	1,246	1006	24,39	19,44	17,78	14,26	0,7336
15	1,225	1007	24,76	20,09	18,02	14,70	0,7323
20	1,204	1007	25,14	20,74	18,26	15,16	0,7309
25	1,184	1007	25,51	21,41	18,49	15,62	0,7296
30	1,164	1007	25,88	22,08	18,72	16,08	0,7282
35	1,145	1007	26,25	22,77	18,95	16,55	0,7268
40	1,127	1007	26,62	23,46	19,18	17,02	0,7255
45	1,109	1007	26,99	24,16	19,41	17,50	0,7241
50	1,092	1007	27,35	24,87	19,63	17,98	0,7228
60	1,059	1007	28,08	26,32	20,08	18,96	0,7202
70	1,028	1007	28,81	27,80	20,52	19,95	0,7177
80	0,9994	1008	29,53	29,31	20,96	20,97	0,7154
90	0,9718	1008	30,24	30,86	21,39	22,01	0,7132
100	0,9458	1009	30,95	32,43	21,81	23,06	0,7111
120	0,8977	1011	32,35	35,65	22,64	25,22	0,7073
140	0,8542	1013	33,74	38,98	23,45	27,45	0,7041
160	0,8148	1016	35,11	42,41	24,20	29,75	0,7014
180	0,7788	1019	36,46	45,93	25,04	32,12	0,6992
200	0,7459	1023	37,79	49,54	25,77	34,55	0,6974
250	0,6746	1033	41,04	58,90	27,60	40,91	0,6946
300	0,6158	1044	44,18	68,71	29,34	47,65	0,6935
350	0,5664	1055	47,21	78,92	31,01	54,75	0,6937
400	0,5243	1069	50,15	89,51	32,61	62,19	0,6948
450	0,4880	1081	52,98	100,4	34,15	69,97	0,6965
500	0,4565	1093	55,72	111,7	35,63	78,06	0,6986
600	0,4042	1115	60,93	135,2	38,46	95,15	0,7037
700	0,3627	1135	65,81	159,8	41,11	113,3	0,7092
800	0,3289	1153	70,37	185,5	43,62	132,6	0,7149
900	0,3008	1169	74,65	212,2	46,00	152,9	0,7206
1000	0,2772	1184	78,68	239,8	48,26	174,1	0,7260
1500	0,1990	1234	95,99	390,8	58,17	292,2	0,7478
2000	0,1553	1264	111,13	566,4	66,30	427,0	0,7539

Απαιτούμενα δικαιολογητικά για την έκδοση άδειας γεωθερμίας

1. Αίτηση - Μελέτη που απευθύνεται στην αρμόδια υπηρεσία. Η αίτηση - μελέτη υπογράφεται από τον ενδιαφερόμενο και από τους διπλωματούχους ή πτυχιούχους ή τεχνικούς επιστήμονες που έχουν κατά το νόμο αντίστοιχα δικαιώματα υπογραφής σχετικών μελετών.

2. Επικυρωμένο φωτοαντίγραφο τίτλου κυριότητας ή επικαρπίας επί του ακινήτου ή φωτοαντίγραφο της οριστικής βεβαίωσης εγγραφής στο κτηματολόγιο καθώς και σύμβαση εργολαβικής ανάθεσης, σε περίπτωση που η αίτηση υποβάλλεται από τον εργολάβο ή σύμβασης Χρηματοδότησης από Τρίτους σε περίπτωση που η αίτηση υποβάλλεται από τρίτο χρηματοδότη.

3. Επικυρωμένο φωτοαντίγραφο οικοδομικής άδειας ή άδειας νομιμοποίησης προκειμένου περί κοινού κτίσματος και των παρελκόμενων αυτού εγκαταστάσεων ή άδειας εγκατάστασης προκειμένου περί λυόμενης ή προκατασκευασμένης οικίας, ή γεωργικής, ή βιομηχανικής ή μεταλλευτικής - λατομικής εγκατάστασης, ή άδειας ανέγερσης ξενοδοχείου ή τουριστικής εγκατάστασης προκειμένου περί ξενοδοχείου ή τουριστικής εγκατάστασης, εφ' όσον απαιτείται σχετική άδεια από την κείμενη νομοθεσία.

4. Φωτοαντίγραφο του επικυρωμένου τοπογραφικού της αδείας της προηγούμενης παραγράφου επί του οποίου ο μηχανικός του έργου σημειώνει ενυπόγραφα την θέση των γεωτρήσεων που πρόκειται να ανορυχθούν καθώς και όλων των υπόγειων και επιφανειακών έργων που θα κατασκευαστούν στο πλαίσιο της εγκατάστασης του συστήματος Θ/Ψ. Επίσης βεβαιώνει ότι πληρούνται οι περιοριστικοί όροι του άρθρου 4 της παρούσης και επισυνάπτει αναλυτικό πίνακα όπου αναγράφονται όλες οι γεωγραφικές συντεταγμένες των ανωτέρω διατάξεων (αναφερόμενες σε σύστημα ΕΓΣΑ '87 ή WGS84), καθώς και τα υψόμετρα. Σε περίπτωση μη ύπαρξης ελεγμένου και επικυρωμένου τοπογραφικού σχεδιαγράμματος, υποβάλλεται νέο τοπογραφικό διάγραμμα αρμοδίως υπογεγραμμένο, κλίμακας 1:500 ή μεγαλύτερης όπου οφείλουν να έχουν τοποθετηθεί όλα τα στοιχεία της παραγράφου 1 του άρθρου 4.

5. Μελέτη πυροπροστασίας εγκεκριμένη από την κατά τόπο αρμόδια

Πυροσβεστική Υπηρεσία, εφόσον απαιτείται από την κείμενη νομοθεσία.

6. Παράβολο που προβλέπεται για την περίπτωση από την κοινή απόφαση των Υφυπουργών Οικονομίας και Οικονομικών και Ανάπτυξης αριθμ. Δ7/Β/οικ.13803/ ΓΔΦΠ/ 4213/4.8.2004 (ΦΕΚ 1228 Β) όπως αυτή κάθε φορά ισχύει.

7. Αποδείξεις κατάθεσης των δικαιωμάτων Ταμείων και των αμοιβών μελετητών, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία.

8. Αναγραφή των στοιχείων πιστοποίησης των αντλιών και συστημάτων που χρησιμοποιούνται στην αίτηση - μελέτη ή υποβολή φωτοαντιγράφων των πιστοποιητικών.

9. Εφόσον το ακίνητο βρίσκεται σε παραλία ή τα δίκτυα του συστήματος εκτείνονται επί της παραλίας ή του αιγιαλού άδεια ή έγκριση που απαιτείται από τις διατάξεις του ν. 2971/2001 (ΦΕΚ285 Α'), όπως κάθε φορά ισχύει.

10. Σε περίπτωση ανάλωσης ποσότητας νερού (δηλ. μη επαναφοράς του συνόλου των χρησιμοποιηθέντων νερών στον αρχικό αποδέκτη) οι απαιτούμενες από τις διατάξεις του άρθρου 11 σε συνδυασμό με το άρθρο 16 του ν. 3199/2003 (ΦΕΚ Α' 280), άδειες.

11. Υπεύθυνη δήλωση του ν. 1599/1986, όπου θα βεβαιώνεται η ανάθεση και ανάληψη της επίβλεψης κατασκευής της εγκατάστασης, από τους έχοντες κατά νόμο σχετικές άδειες (Διπλωματούχους ή Πτυχιούχους ή Τεχνικούς επιστήμονες). Ειδικότερα για τους χειριστές των διατρητικών μηχανημάτων η υπεύθυνη δήλωση του επιβλέποντος μηχανικού θα βεβαιώνει ότι έχουν παρακολουθήσει εκπαιδευτικά προγράμματα σχετικά με τεχνικές διάτρησης, σωλήνωσης κ.λπ. ή/και έχουν σχετική εμπειρία τουλάχιστον ενός έτους στο αντικείμενο. Επίσης θα βεβαιώνεται σε αυτή η ακρίβεια των υποβαλλομένων στοιχείων της αίτησης - μελέτης.

Προδιαγραφές μελέτης για την έκδοση άδειας γεωθερμίας

1. Στοιχεία ενδιαφερομένου: Ονομασία, έδρα, ταχυδρομική διεύθυνση, αριθμός τηλεφώνου, αστυνομικό τμήμα περιοχής.
2. Στοιχεία ακινήτου: Διεύθυνση, αριθμός τηλεφώνου, αστυνομικό τμήμα περιοχής.
3. Περιγραφή του χώρου και της ευρύτερης περιοχής σε ακτίνα 101 ή 500 μέτρων.
4. Δρόμοι προσπέλασης.
5. Περιγραφή των προς κλιματισμό χώρων. Μέγιστες και ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις.
6. Γεωλογικά στοιχεία και γεωλογική χαρτογράφηση του χώρου, στην αντίστοιχη κλίμακα.
7. Καθορισμός και περιγραφή των τυχόν απαιτούμενων γεωτρήσεων (θέση, αριθμός, βάθη, σχεδιαγράμματα ανάλογα κλίμακας, όπως παραπάνω, με κατόψεις και τομές).
8. Ποσότητες αντλούμενων ρευστών και προκειμένου για ανοικτό κύκλωμα θερμοκρασίας άντλησης - επανεισαγωγής.
9. Αναλυτικό διάγραμμα ροής, που συνοδεύεται από ειδική μελέτη υπολογισμού των ποσοτήτων και ποιοτήτων των διακινούμενων ρευστών σε κάθε φάση, καθώς και των αντίστοιχων ενεργειακών καταναλώσεων.
10. Αναλυτική περιγραφή του ηλεκτρικού και μηχανικού εξοπλισμού του συστήματος (τύπος, ισχύς και προορισμός κάθε μηχανήματος), που συνοδεύεται από κάτοψη και τομές ανάλογες Γ: κλίμακας.
11. Αναλυτικός προϋπολογισμός του ύψους της σχετικής επένδυσης και του κόστους λειτουργίας.
12. Στατική μελέτη για τις βάσεις έδρασης των μηχανημάτων εφόσον η ισχύς κλιματισμού ή η απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς είναι άνω των 3kWe και εφόσον η μελέτη αυτή δεν περιλαμβάνεται στη στατική μελέτη της οικοδομής γεγονός που πιστοποιείται με υπεύθυνη δήλωση του μηχανικού.

13. Μέτρα για το μεγαλύτερο δυνατό περιορισμό των οχλήσεων των περιοίκων, μέτρα για την υγιεινή των εργαζόμενων και την ασφάλεια εργασιών - εργαζόμενων.

Πίνακας θερμοκρασιών και άλλων στοιχείων Ελληνικών Πόλεων

Όνομα Πόλεως	Μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία (°C)	Υψόμετρο (m)	Επικρατούντες άνεμοι τον Ιανουάριο- Φεβρουάριο	Ζώνη
Άγρινιο	-3	45,8	A.	B
Αθήνα- Αστεροσκοπείο	+1	107,0	B. και N.	B
Αίγιο	0	64,0	B.Δ.	B
Άλεξανδρούπολη	-7	2,5	B.Α.	Γ
Αλιάρτος	-2	110,0	B.Δ.	B
Ανάβρυτα	-2	290,0	B. και N.Δ.	B
Αργασόλι	+1	1,7	B.Α. και N.Δ.	A
Άρτα	-2	42,0	B.Α. και N.	B
Βόλος	-3	2,7	B.	B
Δράμα	-8	74,0	N.Δ.	Γ
Έδεσσα	-7	273,0	B.	Γ
Έλευσινα	0	29,5	B.	B
Ελληνικό Ἀττικής	+2	10,2	B.	B
Ζάκυνθος	+2	6,6	B.Α.	A
Ήρακλειο	+6	38,5	N.	A
Θάσος	-6	2,0	B.Α.	Γ
Θεσσαλονίκη-Μίκρα	-5	2,8	B.Δ.	Γ
Θήρα	+3	208,0	B.	A
Ίεραπετρα	+4	13,0	B.	A
Ίωάννινα	-6	483,0	N.Α.	Γ
Καβάλα	-8	62,8	N.Α.	Γ
Καλάβρυτα	-6	731,0	B. και N.	Γ
Καλαμάτα	+1	4,6	B.	A
Καλαμπάκο	+6	226,5	Δ.	Γ
Καρπαθος	+5	9,0	Δ.	A
Κάρυστος	+1	10,0	B.	B
Κατερίνη	-5	31,5	B.	Γ
Κέρκυρα	0	1,0	N.Α.	B
Κοζάνη	-10	625,0	B.	Γ
Κομοτηνή	-7	30,0	B.Α.	Γ
Κόνιτσα	-6	542,0	B.	Γ
Κόρινθος	+1	14,4	N.	B
Κυθήρα	+4	166,0	B.Α.	A
Κύμη	0	221,1	B.	B
Κώς	+3	10,0	N.	A
Λαμία	-4	143,0	Δ.	B
Λαρίσα	-7	72,7	B. και A.	Γ
Λευκάδα	0	2,4	N.Α.	A
Λήμνος	0	12,3	B.Α.	B
Μέγαρα	0	36,0	B.Δ.	B
Μεθώνη	+1	33,0	B.Α. και Δ.	A
Μεσολογγί	-2	1,0	Δ. και B.Δ.	B
Μήλος	+3	182,0	N.Δ.	A
Μυτιλήνη	+2	3,2	N.	B
Νάξος	+4	9,0	B.	A
Ναύπλιο	0	1,5	B.	B
Νέα Φιλαδέλφεια Ἀττικής	0	136,0	B.Α.	B
Ξάνθη	-8	82,0	B.	Γ
Όρεστιάδα	-9	43,0	B.Δ.	Γ
Παλαιχώρα - Κρήτης	+5	8,0	B.	A
Πάτρα	-1	1,0	N.Δ.	B
Πειραιάς	+2	2,0	B.Α.	B
Παλιγγύρας	-8	550,0	B.Α. και B.	Γ
Πρεβεζά	0	11,8	B.Α.	B
Πτολεμαΐδα	-12	601,0	B.Δ.	Γ
Πύργος	-1	132,0	B.Δ.	B
Ρέθυμνο	+3	16,0	N. και B.	A
Ρόδος	+3	34,7	N. και Δ.	A
Σάμος	+3	48,4	N.Α. και B.Δ.	A
Σέρρες	-9	32,5	A.	Γ
Σητεία	+4	25,2	B.Δ.	A
Σκύρος	+2	4,0	B.Α.	A
Σουφλί	-10	15,0	B.	Γ
Σπάρτη	0	212,0	B.	B
Σταυρος Χαλκιδικής	-7	10,0	Δ.	Γ
Σύρος	+3	25,0	B.	A
Τανάγρα	-2	138,8	Δ.	B
Τρίκαλα	-6	116,0	B.Δ.	Γ
Τρίπολη	-5	661,4	B. και N.Δ.	Γ
Φλώρινα	-11	661,0	Δ.	Γ
Χαλκίδα	+2	4,0	B.	B
Χανιά	+3	62,5	N.Δ.	A
Χίος	+3	60,0	B.	A

Τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, λ , υλικών

ΥΛΙΚΑ	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, λ, W/m*K
1 ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	
1.1 Ψαμμίτης	2,33
1.2 Πλάκες τύπου Μάλτας	1,05
1.3 Άμμος φυσικής προέλευσης με φυσική υγρασία	1,40
1.4 Πλίνθοι συμπαγείς ωμοί	0,93
1.5 Πλίνθοι με άχυρο ωμοί	0,70
1.6 Άμμος με διάμετρο κόκκου < 5mm	0,58
1.7 Σκυρόδεμα < C12/15	1,51
1.8 Σκυρόδεμα > C16/20	2,03
1.9 Πλάκες από κισσηρόδεμα	0,29
1.10 Πλάκες από ελαφρύ σκυρόδεμα με ανάμικτα αδρανή	0,58
1.11 Γυψοσανίδες	0,58
1.12 Πλάκες από αμιαντοσιμέντο	0,35
2 ΞΥΛΑ	
2.1 Δρυς	0,21
2.2 Οξιά	0,17
2.3 Κωνοφόρα (πεύκο, έλατο, κ.λ.π.)	0,14
2.4 Κόντρα πλακέ, πλακάζ κ.λ.π	0,14
2.5 Μοριοσανίδες	0,17
3 ΜΕΤΑΛΛΑ- ΓΥΑΛΙ	
3.1 Γυαλί	0,81
3.2 Χυτοσίδηρος και χάλυβας	58,15
3.3 Χαλκός	283,79
3.4 Ορείχαλκος	53,96
3.5 Αλουμίνιο	203,52
4 ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ	
4.1 Λινόλεουμ	0,19
4.2 Ασφαλτικό σκυρόδεμα	0,70
4.3 Άσφαλτος	0,17
4.4 Ασφαλτόχαρτο	0,19
5 ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	
5.1 Πλάκες από υαλοβάμβακα με βακελίτη και λιθοβάμβακα (ορυκτοβάμβακα)	0,041
5.2 Υαλοβάμβακας μη μορφοποιημένος	0,041
5.3 Πλάκες ελαφρών κατασκευών από ξυλόμαλλο με ανόργανη συνδετική κονία, πάχους 15 mm	0,14
25 μέχρι 35 mm	0,093
50 mm και μεγαλύτερου	0,081
5.5 Πλακίδια από φελλό	0,064
5.6 Διογκωμένα συνθετικά υλικά ⁽⁶⁾ , ⁽⁷⁾	0,041
5.7 Σκληροί αφροί από συνθετικά υλικά ⁽⁶⁾ , ⁽⁷⁾	0,041