



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΚΟΚΚΙΝΙΔΗΣ Δ. ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΟ
ΚΤΙΡΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΤΟΥ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2022





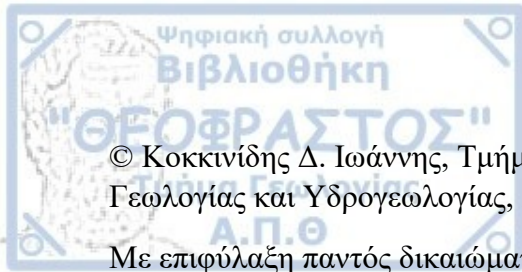
ΚΟΚΚΙΝΙΔΗΣ Δ. ΙΩΑΝΝΗΣ
Φοιτητής του τμήματος Γεωλογίας
ΑΕΜ 5631

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΤΟΥ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας
και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπουσα

Δρ. Μαρία Παπαχρήστου, Ε.ΔΙ.Π. Τμήματος Γεωλογίας



© Κοκκινίδης Δ. Ιωάννης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Εγκατάσταση Συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας στο κτίριο Υδραυλικής της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Διπλωματική εργασία

© Kokkinidis D. Ioannis School of Geology, Department of Geology, Laboratory of Engineering Geology and Hydrogeology, 2022

All rights reserved

Installation of a shallow geothermal system (Ground Source Heat Pump) in the building of “Hydraulics”, Polytechnic School, AUTh, Bachelor Thesis

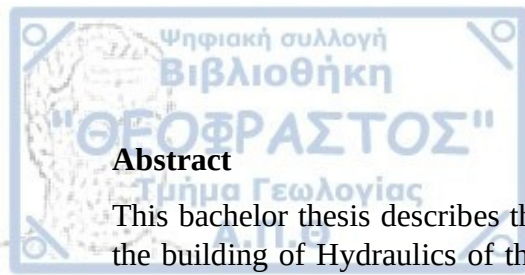
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται στο συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφονται οι εργασίες εγκατάστασης ενός συστήματος αβαθούς γεωθερμίας στο κτίριο της Υδραυλικής της Πολυτεχνικής Σχολής του ΑΠΘ και συγκεκριμένα ενός κλειστού κυκλώματος κατακόρυφων εναλλακτών. Για την τοποθέτησή τους διανοίχτηκαν 10 μικρής διαμέτρου γεωτρήσεις, 9 βάθους 100 μέτρων και 1 βάθους 50 μέτρων σε παρακείμενο υπαίθριο χώρο. Οι εναλλάκτες συνδέθηκαν με αντλία θερμότητας 90 KW. Το σύστημα θα χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση του ισογείου του εν λόγω κτηρίου. Στο πλαίσιο της εγκατάστασης, πραγματοποιήθηκε δοκιμή θερμικής απόκρισης (Thermal Response Test) στα δύο είδη εναλλακτών, τα αποτελέσματα της οποίας έδειξαν ότι ο ομοαξονικός εναλλάκτης είναι πιο αποδοτικός, όμως πιο ευαίσθητος σε φθορές με το πέρασμα του χρόνου. Το σύστημα αβαθούς γεωθερμίας αναμένεται να λειτουργήσει εντός του 2022. Το έργο χρηματοδοτήθηκε από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα «INTERREG - Διαχείριση Υπόγειων Υδάτων για Μη Πόσιμες χρήσεις, Προστασία Υπογείων και Θέρμανση-Πilotική Εφαρμογή στο κτίριο Υδραυλικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου της Θεσσαλονίκης»



Abstract

This bachelor thesis describes the installation of a closed loop shallow geothermal system in the building of Hydraulics of the Polytechnic School (Aristotle University of Thessaloniki). Ten vertical heat exchangers were installed in ten slim boreholes, nine of which were drilled at the depth of 100m and one at 50m. The heat exchangers (9 of U type and one coaxial) were connected to a 90 KW heat pump. The geothermal system will be used for heating of the ground floor of the Hydraulics building. The thermal response test (TRT) that was performed for both types of heat exchangers, showed that the coaxial exchanger is a better energy-efficient configuration; however it is more susceptible to damages over time. The geothermal system is expected to fully operate later in 2022. The project was funded by the European program “INTERREG - Groundwater Management for Non-Drinking Uses, Groundwater Protection and Heating - Pilot Application at the Hydraulics Building of the Aristotle University of Thessaloniki”.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	11
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	11
2.2 ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ.....	11
2.3 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	17
2.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ - ΨΥΞΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΟ ΑΠΘ.....	20
3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.....	20
3.2 ΧΩΡΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΑΘ (ΚΤΙΡΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ).....	21
3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	23
3.3.1 Γεωτρήσεις.....	23
3.3.2 Γεωεναλλάκτες.....	24
3.3.3 Συλλέκτες προσαγωγής - επιστροφής.....	26
3.3.4 Αντλία θερμότητας.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΣΤ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ TRT.....	28
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	28
4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ TRT ΣΤΟ ΚΤΙΡΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	32
Βιβλιογραφία.....	33



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και ανατέθηκε από την Δρ. Μαρία Παπαχρήστου, ΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωλογίας.

Η εργασία πραγματεύεται το θέμα της αβαθούς γεωθερμίας και τους τρόπους αξιοποίησής της, παρουσιάζοντας την εγκατάσταση ενός συστήματος Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (ΓΑΘ) κλειστού τύπου σε κτίριο του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Για την εκπόνηση της εργασίας, πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις στον εσωτερικό και εξωτερικό χώρο του κτιρίου Υδραυλικής της Πολυτεχνικής Σχολής του ΑΠΘ για την καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης πριν την έναρξη των εργασιών εγκατάστασης των γεωεναλλακτών. Στη συνέχεια, υπήρξε καθημερινή παρακολούθηση όλων των εργασιών που έλαβαν χώρα, σε συνεργασία με την κατασκευάστρια εταιρεία “ΑΜ Κατασκευαστική”.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο της εταιρείας κ. Αργύριο Μπαϊρακλή για το συγκεκριμένο έργο, καθώς και όλο το προσωπικό που συμμετείχε στις εργασίες, για την άριστη συνεργασία και την παροχή των δεδομένων που επέτρεψαν την υλοποίηση και την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής. Επίσης, ευχαριστώ τον κ. Παναγιώτη Βερζαμάνη, ο οποίος είχε την επίβλεψη του έργου εκ μέρους της Τεχνικής Υπηρεσίας του ΑΠΘ.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Μαρία Παπαχρήστου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην ανάθεση της εργασίας και για την πολύτιμη βοήθειά της καθ’ όλη την διάρκεια της εκπόνησής της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο γεωθερμική ενέργεια νοείται η θερμότητα που είναι αποθηκευμένη κάτω από την επιφάνεια της Γης και εμπεριέχεται στο υπέδαφος, μέσα σε θερμά ρευστά ή θερμά πετρώματα. Πρόκειται για μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με πολύ ήπιες έως μηδενικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η οποία αξιοποιείται από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα με διαφορετικούς τρόπους και σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Η γεωθερμική ενέργεια σήμερα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εξής:

- Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν οι θερμοκρασίες των ρευστών υπερβαίνουν τους 85-90°C.
- Άμεσα, μέσω της απευθείας εκμετάλλευσης της θερμότητας των ρευστών ή των θερμών πετρωμάτων σε διάφορες χρήσεις, όπως θέρμανση χώρων, ξήρανση, αφαλάτωση, αγροτικός τομέας, κλπ. , όταν οι θερμοκρασίες των ρευστών είναι συνήθως μεγαλύτερες των 25°C
- Με τη βοήθεια των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας, όταν οι θερμοκρασίες είναι αρκετά χαμηλές, συνήθως μικρότερες των 25 °C (αβαθής γεωθερμία)

Με βάση την ελληνική νομοθεσία (Ν. 4602/2019), ως **γεωθερμικό δυναμικό** ορίζεται το σύνολο των γηγενών φυσικών θερμών ρευστών, επιφανειακών ή υπογείων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που η θερμοκρασία τους υπερβαίνει τους 30°C.

Σύμφωνα με τον Ν. 3175/2003, **αβαθής γεωθερμία** είναι η αποθηκευμένη ενέργεια των γεωλογικών σχηματισμών (πετρωμάτων, υδροφορέων) του φλοιού της γης με μορφή θερμότητας, σε θερμοκρασία μικρότερη των 25°C.

Η ενέργεια αυτή προέρχεται από την αποθήκευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη γήινη επιφάνεια. Είναι προφανές, ότι το όριο διαχωρισμού της αβαθούς γεωθερμίας από το γεωθερμικό δυναμικό είναι πλέον οι 30°C.

Η γεωθερμική ενέργεια στην Ελλάδα χρησιμοποιείται μόνο για άμεσες χρήσεις και κυρίως στο τομέα της λουτροθεραπείας και για τη θέρμανση θερμοκηπίων, ενώ το σημαντικότερο μερίδιο στην εγχώρια αγορά γεωθερμία κατέχει η χρήση των ΓΑΘ (Papachristou et al, 2021). Στο Σχήμα 1, παρουσιάζονται οι κύριοι τομείς αξιοποίησης της γεωθερμίας στην Ευρώπη το 2018 ενώ στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι κύριες εφαρμογές της γεωθερμίας στην Ελλάδα (με στοιχεία έως τον Δεκέμβριο του 2020).



Σχήμα 1: Οι κύριοι τομείς αξιοποίησης της γεωθερμίας στην Ευρώπη για το 2018
(www.energypress.gr)



Πίνακας 1: Αξιοποίηση της γεωθερμίας στην Ελλάδα (Παπαχρήστον κ. ά., 2021)

Χρήση	Εγκατεστημένη Ισχύς (MW)
Ηλεκτροπαραγωγή	0
Λουτροθεραπεία	43
Θέρμανση θερμοκηπίων	37,83
Θέρμανση εδάφους	4,5
Θέρμανση χώρων (εκτός ΓΑΘ)	1,75
Ξήρανση/Αφυδάτωση	0,3
Υδατοκαλλιέργειες	0,75
Αβαθής γεωθερμία (ΓΑΘ)	175
ΣΥΝΟΛΟ	263,43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Αβαθής γεωθερμική ενέργεια θεωρείται η θερμότητα της γης που είναι αποθηκευμένη σε μικρό βάθος στο υπέδαφος, στα υπόγεια ή επιφανειακά νερά και αφορά χαμηλές θερμοκρασίες, συνήθως μικρότερες των 25°C. Χρησιμοποιείται για θέρμανση, ψύξη και παροχή ζεστού νερού. Είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμη, βρίσκεται πρακτικά παντού, και για την αξιοποίησή της είναι απαραίτητη η χρήση ειδικού εξοπλισμού, των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας.

Οι ΓΑΘ ουσιαστικά εκμεταλλεύονται την σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους, το οποίο λειτουργεί ως δεξαμενή ή «αποθήκη» θερμότητας, ανάλογα με την εποχή (χειμώνας-καλοκαίρι). Πρόκειται για ενεργειακά συστήματα απόλυτα φιλικά προς το περιβάλλον, με σχεδόν μηδενικές εκπομπές ρύπων, ενώ παρέχουν πολύ μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων, όπως αποδεικνύεται από πληθώρα εφαρμογών. Ενδεικτικά αναφέρονται οι περιπτώσεις που περιλαμβάνονται στις εργασίες των Σαββίδη (2018) και Πλατιόπουλου (2020) και αφορούν παραδείγματα ΓΑΘ από τη βόρεια Ελλάδα.

Ένα τυπικό σύστημα αβαθούς γεωθερμίας, μία ΓΑΘ δηλαδή, διακρίνεται από τρία κύρια τμήματα: τον γεωεναλλάκτη, την αντλία θερμότητας, και το εσωτερικό σύστημα θέρμανσης - ψύξης, τα οποία αναλύονται στη συνέχεια.

2.2 ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ

Ο γεωεναλλάκτης είναι το τμήμα της ΓΑΘ που είναι υπεύθυνο για την αναρρόφηση ή την απόθεση θερμικής ενέργειας στο έδαφος (Εικόνα 1) ή στο νερό. Αποτελείται από σωλήνες που συνδέουν τη γη με την αντλία θερμότητας, και κατά συνέπεια με τον εσωτερικό χώρο που κλιματίζεται με τη βοήθεια της γεωθερμίας. Μέσα στους σωλήνες κυκλοφορεί νερό, αντιψυκτικό υγρό ή διάλυμα νερού και αντιψυκτικού υγρού, το οποίο θερμαίνεται από την πηγή ενέργειας (έδαφος ή νερό) και, πηγαίνοντας στον εξατμιστή, μεταφέρει τη θερμότητά του στο ψυκτικό υγρό της αντλίας θερμότητας.



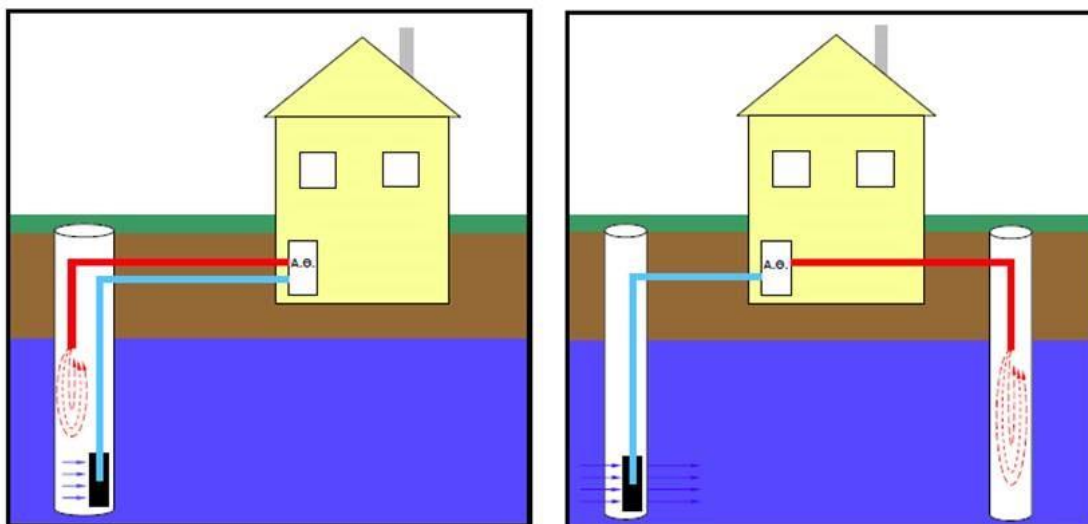
Εικόνα 1: Σωληνώσεις οριζόντιου γεωεναλλάκτη (www.nikolaospsarras.com)

Η σύνδεση του γεωεναλλάκτη με το έδαφος ή το νερό ονομάζεται βρόγχος ή κύκλωμα. Ανάλογα με τον τύπο του γεωεναλλάκτη, με το είδος της πηγής θερμότητας και τον τρόπο που είναι συνδεδεμένος με αυτήν, κατηγοριοποιείται και το σύστημα αβαθούς γεωθερμίας. Υπάρχουν ανοικτά και κλειστά συστήματα ΓΑΘ, με τη διαφορά τους να εντοπίζεται στο ότι

στα κλειστά συστήματα η ΓΑΘ οι ανταλλαγές θερμότητας γίνονται αποκλειστικά μεταξύ αντιψυκτικού και ψυκτικού υγρού χωρίς το πρώτο να έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον (πλην των ανταλλαγών θερμότητας), ενώ στα ανοικτά συστήματα αντί για αντιψυκτικό υγρό χρησιμοποιείται επιφανειακό ή υπόγειο νερό, το οποίο αφού επιστρέφει στο αρχικό περιβάλλον από το οποίο αντλήθηκε (υπόγειος υδροφόρας, λίμνη, ποτάμι, θάλασσα κλπ).

Ανοικτά κυκλώματα (ΓΑΘ ανοικτού τύπου)

Στα ανοικτά κυκλώματα η πηγή ενέργειας είναι το νερό. Σε περίπτωση που η ΓΑΘ συνδεθεί με υπόγειο νερό, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ικανοποιητική υδροφορία και καλής ποιότητας νερό χωρίς σημαντικές μεταβολές στη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Η αξιοποίηση του υπόγειου νερού γίνεται είτε με μία υδρογεώτρηση (σύστημα φρέατος), όπου χρησιμοποιείται τόσο για άντληση όσο και για επαναεισαγωγή του νερού μετά τη χρήση του στην αντλία θερμότητας, είτε με δύο ξεχωριστές γεωτρήσεις (Σχήμα 2) που συνδέονται με την αντλία θερμότητας. Τα συστήματα αυτά έχουν πιο εύκολη και οικονομική συντήρηση, και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).



Σχήμα 2: Ανοικτό σύστημα αβαθούς γεωθερμίας. Αριστερά: μονού φρέατος (αριστερά), Δεξιά: διπλού φρέατος (Μιχόπουλος κ.α., 2015)

Εκτός από τα υπόγεια, είναι δυνατή και η χρήση επιφανειακών υδάτων (πχ. ποτάμια, λίμνες, θάλασσες, κλπ). Το κυριότερο πλεονέκτημα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας που λειτουργούν με επιφανειακά νερά (Σχήμα 3) είναι το μειωμένο κόστος εγκατάστασης διότι δεν απαιτείται η ανόρυξη γεωτρήσεων (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004). Σε ιδανικές συνθήκες η μέθοδος αυτή αποτελεί το οικονομικότερο σύστημα γεωθερμίας, ωστόσο πρέπει να γίνεται προσεκτική εφαρμογή και τηρούνται όλες οι νομοθετικές διατάξεις περί προστασίας των υδάτινων πόρων.



Σχήμα 3: Ανοικτό σύστημα ΓΑΘ συνδεδεμένο με επιφανειακό νερό (www.kensaheatpumps.com)

Εκτός των παραπάνω, μπορεί ένα ανοικτό σύστημα να είναι μικτό ή υβριδικό, αποτελώντας δηλαδή συνδυασμό ενός συστήματος μονού φρέατος με μια επιφανειακή συγκέντρωση νερού (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Ανοικτό υβριδικό σύστημα ΓΑΘ (www.glgeothermal.com)

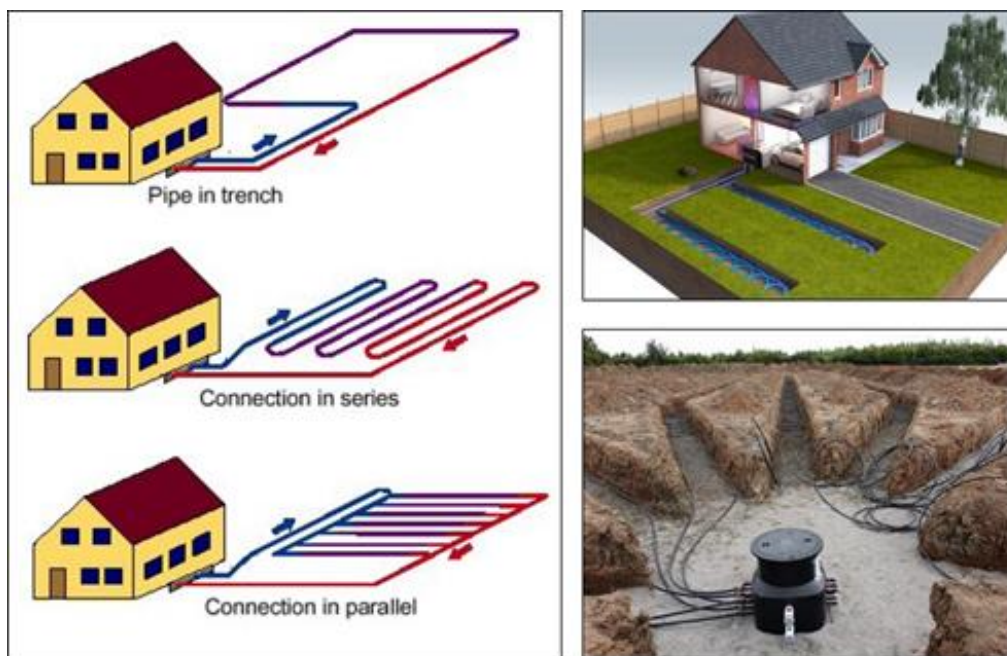
Κλειστά κυκλώματα (ΓΑΘ κλειστού τύπου)

Στα κλειστά κυκλώματα αξιοποιείται η θερμότητα του υπεδάφους, των ρηχών γεωλογικών σχηματισμών, ή ακόμη και του νερού. Με βάση την διάταξη των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη, τα κλειστά συστήματα διαχωρίζονται σε:

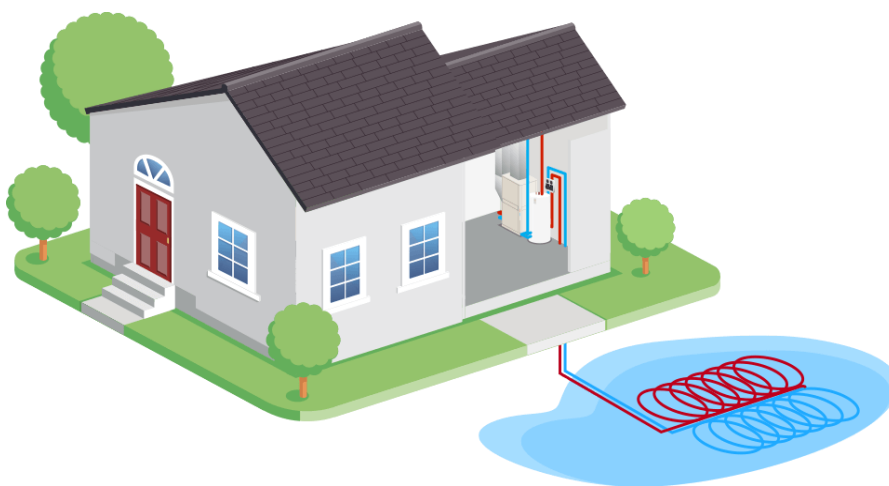
Α) Οριζόντια συστήματα

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση του γεωεναλλάκτη μπορεί να γίνει με διάφορες διατάξεις, όπως ενδεικτικά απεικονίζονται κάποιες στο Σχήμα 5 (σε σειρά, παράλληλα, σπειροειδή, αστεροειδή ή και υβριδικά, ανάλογα και με τη διαθέσιμη επιφάνεια, ή και τις απαιτήσεις για θέρμανση και δροσισμό). Στο Σχήμα 6 απεικονίζεται η τοποθέτηση κλειστού οριζόντιου συστήματος γεωεναλλάκτη μέσα σε έναν επιφανειακό ταμιευτήρα νερού.

Τα πλεονεκτήματα της οριζόντιας διάταξης είναι το σχετικά χαμηλό κόστος εκσκαφής των οριζόντιων ορυγμάτων και η εύκολη τοποθέτηση του γεωεναλλάκτη, ενώ στα βασικά μειονεκτήματα περιλαμβάνεται η απαίτηση για μεγάλη διαθέσιμη επιφάνεια, οι αυξομειώσεις στη θερμοκρασία του υπεδάφους, λόγω μικρού βάθους τοποθέτησης των σωληνώσεων και η σχετικά μικρή απόδοση κατά τη λειτουργία της ψύξης (Μολωνάς, 2013).



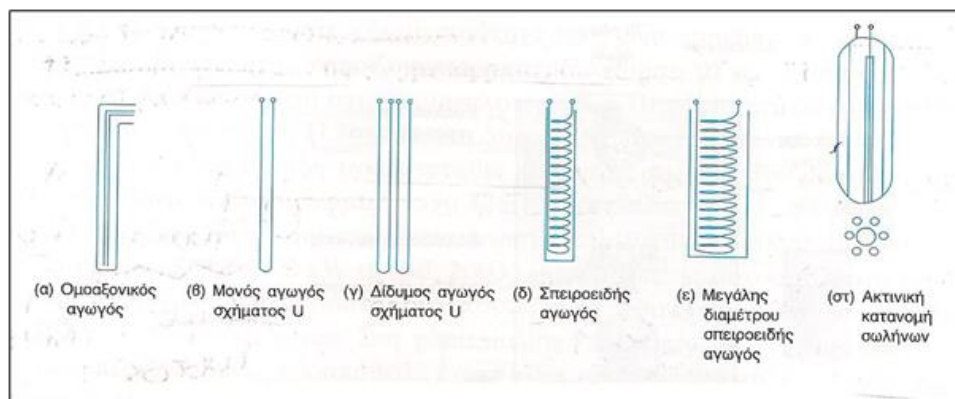
Σχήμα 5: Διαφορετικές διατάξεις γεωεναλλάκτη σε οριζόντιο σύστημα ΓΑΘ που συνδέεται με το υπέδαφος (<https://docireport.org>, <https://vittheating.com>)



Σχήμα 6: Κλειστό οριζόντιο σύστημα ΓΑΘ με τοποθέτηση σωληνώσεων μέσα σε επιφανειακό νερό (www.kensaheatpumps.com)

Β) Κατακόρυφα συστήματα

Η κατακόρυφη διάταξη γεωεναλλάκτη χρησιμοποιείται κυρίως όταν δεν υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χώρος για τοποθέτηση οριζόντιων σωληνώσεων, όπως κατά κύριο λόγο συμβαίνει σε αστικές περιοχές. Όπως και με τους οριζόντιους γεωεναλλάκτες, και οι κατακόρυφοι μπορεί να έχουν διαφορετικές μορφές σωληνώσεων (Σχήμα 7). Για την τοποθέτησή τους ανοίγεται κατακόρυφη τάφρος ή γίνεται διάνοιξη μικρής διαμέτρου γεωτρήσεων, σε βάθη από 15 έως 200m (Εικόνα 2). Το τελικό τους βάθος εξαρτάται από τη γεωλογία της περιοχής, τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου και το κόστος ανόρυξης της γεώτρησης. Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών γεωτρήσεων είναι 3-6 m (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).



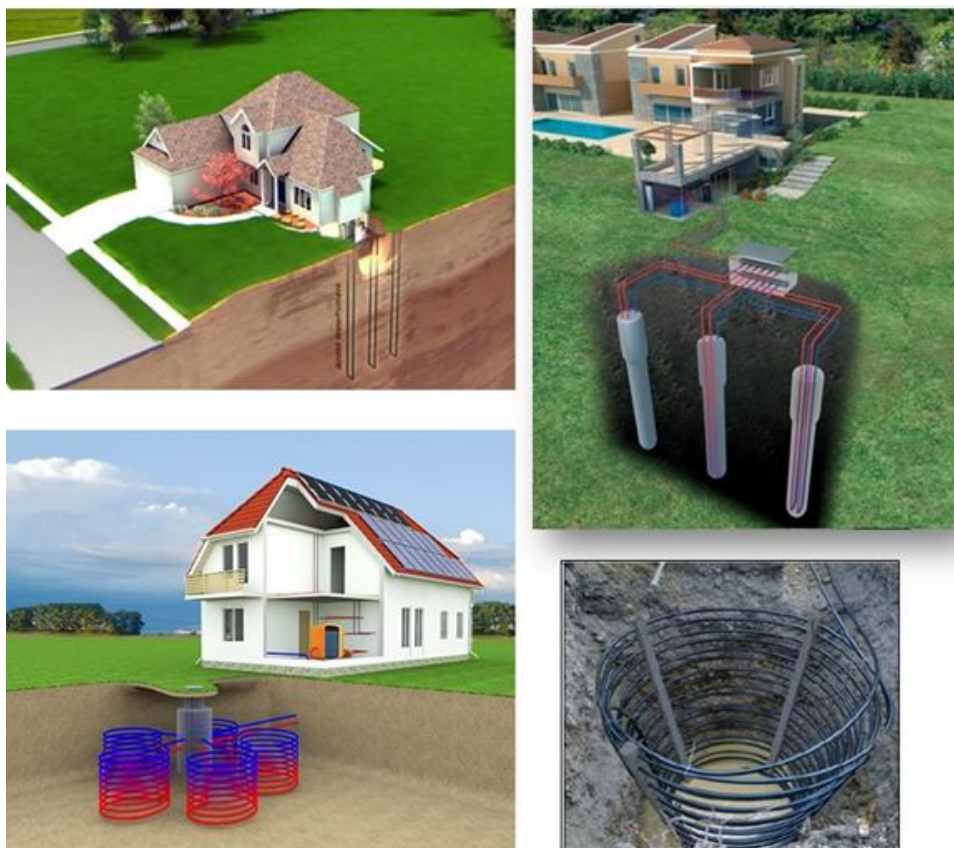
Σχήμα 7 : Τύποι κατακόρυφων γεωεναλλακτών (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)



Εικόνα 2: Εισαγωγή γεωεναλλάκτη σε γεώτρηση σε θεμέλια κτιρίου (www.rehau.de)



Εικόνα 3: Διαδοχικές γεωτρήσεις για την τοποθέτηση κατακόρυφου γεωεναλλάκτη (www.rehau.de)



Σχήμα 8: Διάφορα παραδείγματα κατακόρυφων συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας (Κοτανίδου, 2018)

Τα πλεονεκτήματα της κατακόρυφης διάταξης είναι (Μυλωνάς, 2013):

- i) το μικρό συνολικό μήκος σωληνώσεων
- ii) η απαίτηση για μικρή έκταση γης

- iii) η μικρή επίδραση της εξωτερικής θερμοκρασίας σε αυτήν του εδάφους
- iv) η υψηλή και σταθερή αποδοτικότητα σε όλη την διάρκεια του έτους

Τα μειονεκτήματα της κατακόρυφης διάταξης είναι (Μυλωνάς, 2013):

- i) το αυξημένο αρχικό κόστος εξαιτίας της διάνοιξης γεωτρήσεων
- ii) η ανάγκη για εξειδικευμένη εγκατάσταση

2.3 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η αντλία θερμότητας είναι μία συσκευή (μηχανή), η οποία καταναλώνοντας ηλεκτρική ενέργεια, αντιστρέφει τη φυσική ροή της θερμότητας, μεταφέροντάς της από ένα σώμα (χώρο) υψηλής χαμηλής θερμοκρασίας σε ένα θερμότερο σώμα. Μία αντλία θερμότητας αποτελείται από δύο εναλλάκτες θερμότητας (εξατμιστής και συμπυκνωτής) με εναλλασσόμενη λειτουργία ανάλογα με τις ανάγκες για θέρμανση ή ψύξη, έναν συμπιεστή και μία βαλβίδα εκτόνωσης. Οι σωληνώσεις της αντλίας διαρρέονται από οργανικό ψυκτικό υγρό με ειδικές θερμοδυναμικές ιδιότητες (χαμηλό σημείο ζέσεως, πολύ πτητικό κλπ). Τα τέσσερα κύρια μέρη της αναλύονται ως εξής:

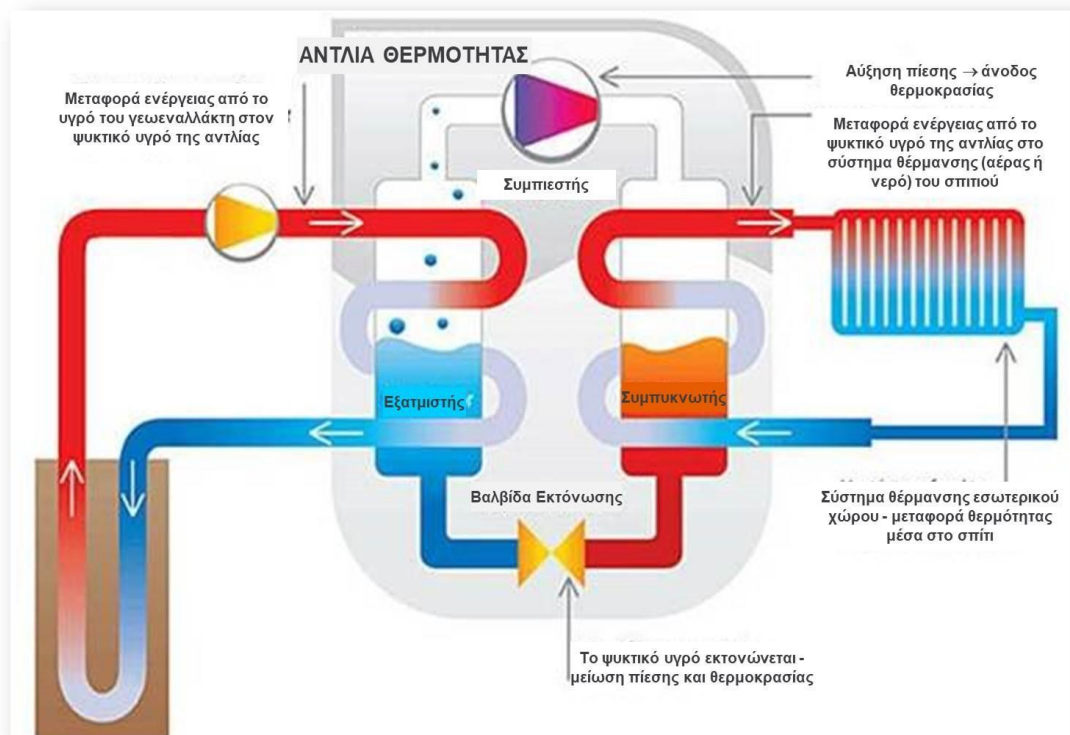
1. Εξατμιστής: είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, μέσω του οποίου ανταλλάσσεται θερμότητα μεταξύ του ψυκτικού (οργανικού) ρευστού που τον διαρρέει και του αντιψυκτικού υγρού του γεωεναλλάκτη. Στον κύκλο θέρμανσης, απορροφά θερμότητα από τη γη (γεωεναλλάκτη) και την αποδίδει στο οργανικό ρευστό, το οποίο εξατμίζεται και στην συνέχεια οδηγείται στον συμπιεστή. Κατά την ψυκτική του λειτουργία η θερμότητα απορροφάται από τον εσωτερικό χώρο που θέλουμε να δροσίσουμε. Σε κάθε περίπτωση, ο εξατμιστής πρέπει πάντα να βρίσκεται πάντα σε συνθήκες χαμηλότερης θερμοκρασίας από το περιβάλλον με το οποίο ανταλλάσσει θερμότητα.
2. Συμπιεστής: είναι το τμήμα της αντλίας με τον πιο σημαντικό ρόλο καθώς αναρροφά τους ατμούς του ψυκτικού ρευστού από τον εξατμιστή, προκαλεί σημαντική συμπίεσή τους μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία, και καλύπτει τυχόν απώλειες πίεσης στις σωληνώσεις τους συστήματος.
3. Συμπυκνωτής: στον δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας, οι ατμοί του ψυκτικού ρευστού συμπυκνώνονται και υδροποιούνται ξανά αποδίδοντας της θερμότητά τους στον χώρο όπου θέλουμε να θερμάνουμε είτε στη γη (στον γεωεναλλάκτη) στην περίπτωση της ψύξης. Ο συμπυκνωτής πρέπει να είναι πάντα πιο θερμός από τον χώρο στον οποίον πρέπει να αποβάλει τη θερμότητά του.
4. Βαλβίδα εκτόνωσης: είναι το μέρος όπου αποσυμπιέζεται το ψυκτικό υγρό πριν κατευθυνθεί και πάλι στον εξατμιστή για να επαναληφθεί ο κύκλος λειτουργίας της αντλίας.

Συνεπώς, η αντλία θερμότητας λειτουργεί με δύο κύκλους (Γιαννάκος, 2014):

α) Θέρμανση → Μεταφορά θερμότητας από το περιβάλλον σε έναν εσωτερικό χώρο. Ο βαθμός απόδοσής της ονομάζεται *ειδικός βαθμός απόδοσης* (Coefficient Of Performance) και είναι ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το έργο που καταναλώνεται σε θέρμανση → $COP = Q/W$

β) Ψύξη → Μεταφορά θερμότητας από έναν εσωτερικό χώρο προς το περιβάλλον. Ο βαθμός απόδοσής της ονομάζεται *βαθμός ενεργειακής απόδοσης* (Energy Efficiency Ratio) και είναι ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας προς το έργο που καταναλώνεται σε ψύξη → $EER = Q/W$

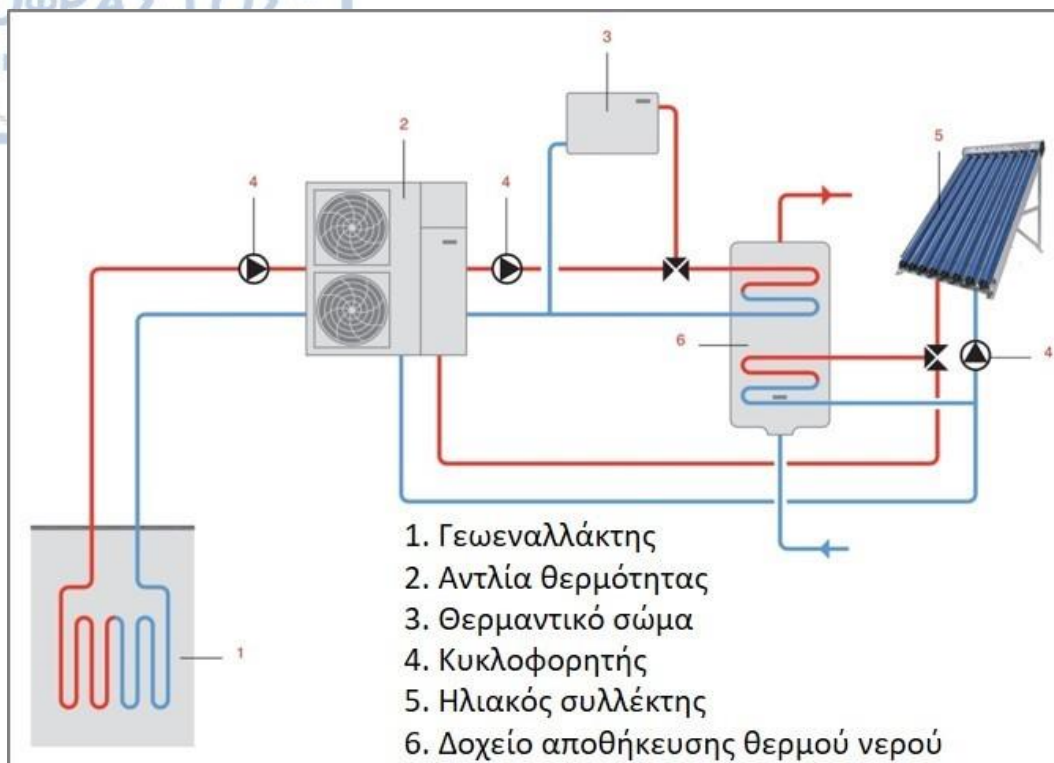
Στο Σχήμα 9 απεικονίζεται σχηματικά μία αντλία θερμότητας και η λειτουργία της κατά τον κύκλο θέρμανσης.



Σχήμα 9: Αντλία θερμότητας (Παπαχρήστου, παρουσιάσεις του μαθήματος «Γεωθερμία», Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, τροποποίηση από <http://www.digtheheat.com>)

2.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ - ΨΥΞΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Μία γεωθερμική αντλία θερμότητας μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε ένα νέο είτε σε ένα υπάρχον κτίριο και να συνδεθεί με υπάρχοντα θερμαντικά σώματα, με ενδοδαπέδια θέρμανση καθώς και με σώματα τύπου Fan Coils. Δύναται επίσης να συνδυαστεί με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι τα ηλιακά συστήματα (Σχήμα 10).



Σχήμα 10 Συνδυασμός ηλιακού θερμικού συστήματος με αντλία θερμότητας (www.ktirio.gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΟ ΑΠΘ

Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού έργου INTERREG “Διαχείριση Υπόγειων Υδάτων για Μη Πόσιμες χρήσεις, Προστασία Υπογείων και Θέρμανση - Πιλοτική Εφαρμογή” και σε συνεργασία με τις εταιρείες “ΑΜ Κατασκευαστική” και “Γεωτρήσεις Παπαδόπουλος” εγκαταστάθηκε σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στο κτίριο της Υδραυλικής, εντός του campus του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Το κτίριο αυτό (Εικόνα 4) αποτελεί τμήμα της Πολυτεχνικής σχολής βρίσκεται όπισθεν του νοσοκομείου ΑΧΕΠΑ, με συντεταγμένες $40^{\circ}37'41.4''\text{N}$, $22^{\circ}57'38.8''\text{E}$.

Το συνολικό κόστος του έργου ανήλθε σε € 74.000, χωρίς να περιλαμβάνεται η αγορά της αντλίας θερμότητας, η οποία προϋπήρχε.



Εικόνα 4: Άποψη της περιοχής και του κτηρίου εγκατάστασης της ΓΑΘ (Google Earth)

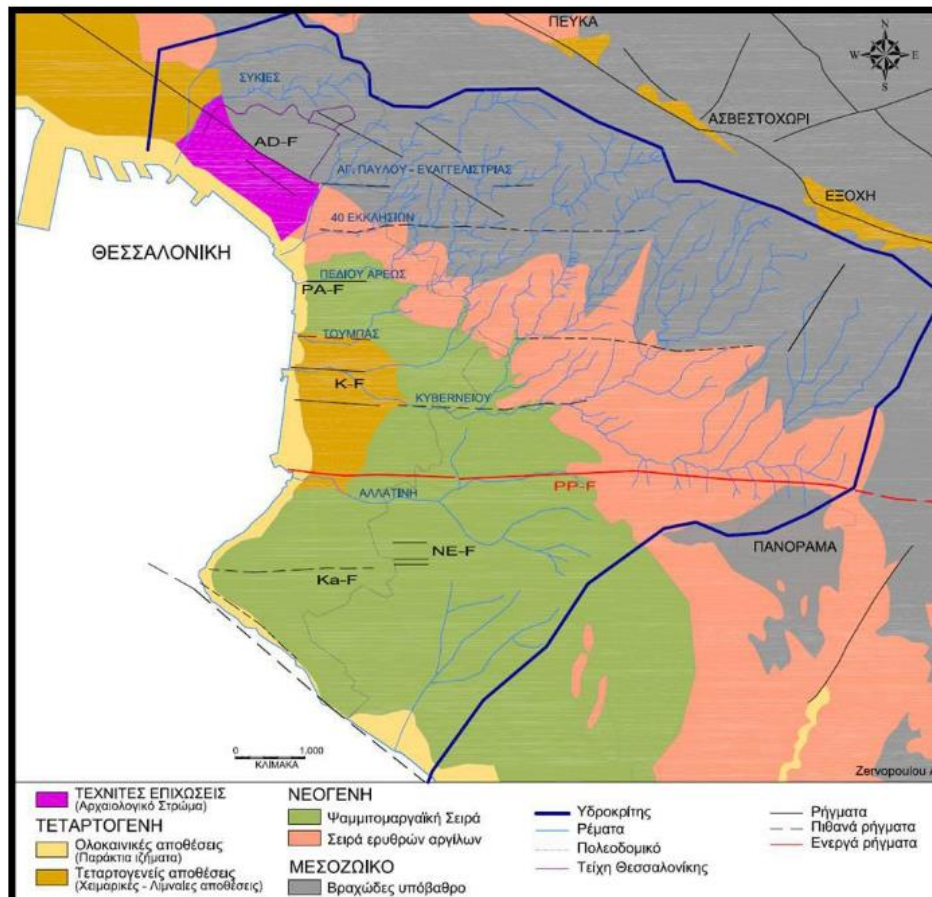
3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Το υπόβαθρο της περιοχής που εγκαταστάθηκε το σύστημα αβαθούς γεωθερμίας, ανήκει κυρίως στην Περιοδοπική Ζώνη (Ενότητες Ασπρης Βρύσης Χορτιάτη, Μαγματική σειρά Χορτιάτη και Μελισσοχωρίου-Χολομώντα) και μερικώς στη Σερβομακεδονική Μάζα (σειρά Βερτίσκου). Το υπόβαθρο καλύπτεται από νεογενείς με τεταρτογενείς αποθέσεις. Η διάταξη των ζωνών και των πετρωμάτων υποβάθρου ακολουθεί την ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση (Ζερμπούλου και Παυλίδης, 2005).

Αναλυτικότερα, οι σχηματισμοί του υποβάθρου είναι διμαρμαρυγικοί γενέσιοι και σχιστόλιθοι της Σερβομακεδονικής ζώνης, αμμούχοι αργιλικόι σχιστόλιθοι και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι της ενότητας Ασπρης Βρύσης - Χορτιάτη με χαλαζίτες, φυλλίτες και ασβεστόλιθους της ενότητας Μελισσοχωρίου – Χολομώντα. Μέσα σε αυτά

εμφανίζονται ως παρεμβολές εκρηξιγενή πετρώματα όπως οι γνεύσιοι, πρασινοσχιστόλιθοι και οι περιδοτίτες της οφειολιθικής σειράς (Μουντράκης, 1985).

Οι νεογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από την ψαμμιτομαργαϊκή σειρά και την σειρά των ερυθρών αργίλων και στο τέλος ακολουθούν οι τεταρτογενείς αποθέσεις, στις οποίες συναντώνται κατά κύριο λόγο άργιλοι, ιλύες, χαλαρές αποθέσεις, αλλουβιακά και ιστορικά ιζήματα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου και Παυλίδης, 2005).



Σχήμα 11: Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης (Ζερβοπούλου και Παυλίδης, 2008)

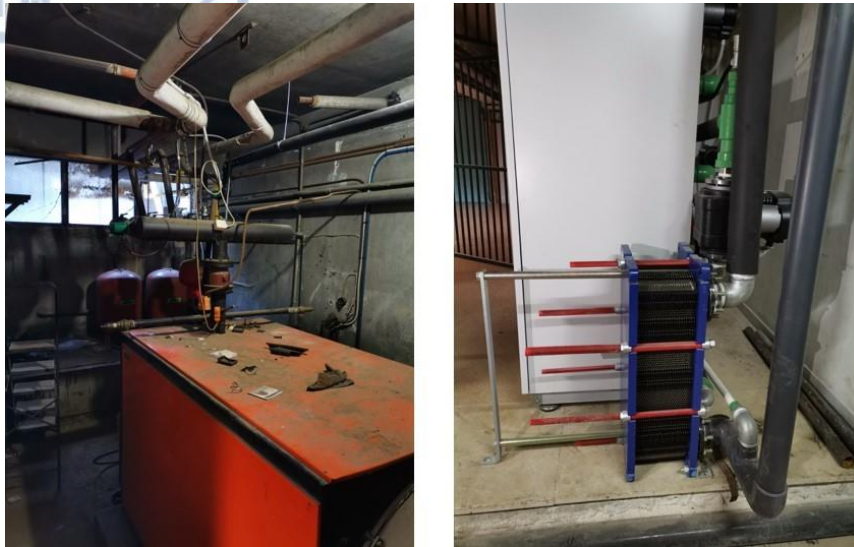
3.2 ΧΩΡΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΓΑΘ (ΚΤΙΡΙΟ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ)

Στον υπόγειο χώρο του κτιρίου Υδραυλικής υπάρχει προ-εγκατεστημένο μηχανοστάσιο γεωθερμίας (Εικόνα 5), το οποίο αποτελείται από δύο γεωθερμικές αντλίες θερμότητας συνολικής θερμικής ισχύος 180 KW, (2 x 90 KW), ένα δοχείο αδρανείας χωρητικότητας 1000 λίτρων (Εικόνα 6), αντλίες κυκλοφορίας και από ένα υδραυλικό και ηλεκτρολογικό δίκτυο.

Το μηχανοστάσιο είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο θέρμανσης του κτιρίου, καθώς η προηγούμενη εγκατάσταση αφορούσε ένα ανοιχτό κύκλωμα ΓΑΘ με μία υδρογεώτρηση συνολικού βάθους 25 μέτρων (Εικόνα 7).

Ωστόσο, οι υδατικές ανάγκες του χώρου και η πολύ μικρή παροχή νερού από τη γεώτρηση, κατέστησαν ανέφικτη την λειτουργία του συστήματος. Για τον λόγο αυτό, κρίθηκε αναγκαία η εγκατάσταση νέου, κλειστού, συστήματος ΓΑΘ, με τοποθέτηση κατακόρυφων

γεωεναλλακτών στον υπαίθριο χώρο του κτιρίου και σύνδεσή τους με το υφιστάμενο γεωθερμικό σύστημα.



Εικόνα 5: Μηχανοστάσιο στο υπόγειο του κτηρίου Υδραυλικής που συνδέεται με το γεωθερμικό σύστημα



Εικόνα 6: Δοχείο αδράνειας στο υπόγειο του κτιρίου Υδραυλικής



Εικόνα 7: Κεφαλή υδρογεώτρησης του ανοικτού συστήματος ΓΑΘ στον προαύλιο χώρο του κτιρίου Υδραυλικής

3.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Η κατασκευή του κλειστού συστήματος ΓΑΘ αφορά συνολικά 10 (δέκα) κάθετους γεωεναλλάκτες οι οποίοι θα συνδεθούν με την μία εκ των δύο αντλιών θερμότητας, η οποία έχει συνολική θερμική ισχύ 90 KW.

3.3.1 Γεωτρήσεις

Κατασκευάστηκαν εννέα (9) γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου $\Phi 150\text{mm}$ και βάθους 100 μέτρων η κάθε μία, στον προαύλιο χώρο του κτηρίου Υδραυλικής, με απόσταση περίπου 6 μέτρων μεταξύ τους (Εικόνα 8), καθώς και μία γεώτρηση βάθους 50m, ίδιας διαμέτρου. Στην Εικόνα 9 φαίνεται το γεωτρύπανο που χρησιμοποιήθηκε για τη διάνοιξη των γεωτρήσεων, καθώς και η δεξαμενή μπεντονίτη.

Κατά την διάρκεια των γεωτρήσεων, διατρήθηκαν στα πρώτα μέτρα χαλαρά νεογενή ιζήματα και εν συνεχεία βρέθηκαν εναλλαγές στρωμάτων σχιστόλιθων και γνευσίων, που αποτελούν και το γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης.



Εικόνα 8: Προαύλιος χώρος κτιρίου Υδραυλικής

Οι γεωτρήσεις πληρώθηκαν με θερμοαγώγιμο ένεμα (αγωγιμότητα 1.5W/mK) με χρήση του σωλήνα πλήρωσης, από τη βάση της γεώτρησης προς τα επάνω. Το θερμοαγώγιμο ένεμα χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει την μεταφορά της θερμότητας από το έδαφος προς τα τοιχώματα του γεωεναλλάκτη και είναι μίγμα μπετονίτη, χαλαζιακής άμμου και νερού (Εικόνα 10).



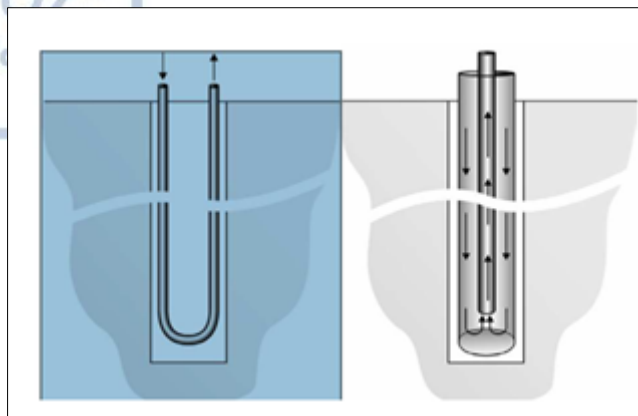
Εικόνα 9: Εγκατάσταση γεωτρύπανου και περιβάλλον χώρος εργασιών



Εικόνα 10: Πλήρωση της γεώτρησης με θερμοαγώγιμο ένεμα

3.3.2 Γεωεναλλάκτες

Στις γεωτρήσεις, εγκαταστάθηκαν γεωεναλλάκτες πολυαιθυλενίου μονού U (Σχήμα 12), PE 100, διατομής $\Phi 40 \times 3,7$ mm, SDR11, 16 bar με προκατασκευασμένη γωνία 180° στο άκρο (Εικόνα 11). Για την καλύτερη εγκατάσταση των σωλήνων, τοποθετήθηκαν βαρίδια 45 kg έτσι ώστε να εξαιρεθούν οι δυνάμεις άνωσης του ρευστού διάτρησης.



Σχήμα 12: Κατακόρυφος γεωεναλλάκτης τύπου U (αριστερά) και ομοαξονικός εναλλάκτης (δεξιά)
(Gehlin, 2002)

Στη μικρότερου βάθους γεώτρηση (50m) τοποθετήθηκε γεωεναλλάκτης ομοαξονικού τύπου (Σχήμα 12), με σκοπό να μελετηθεί η απόδοσή του σε σύγκριση με αυτούς του πολυαιθυλενίου. Ο συγκεκριμένος ομοαξονικός γεωεναλλάκτης αποτελείται από σωλήνα μέσα σε σωλήνα με μεγαλύτερες δυνατότητες μεταφοράς θερμικής ενέργειας. Αναλυτικότερα, αποτελείται από έναν εξωτερικό μεταλλικό γαλβανιζέ σωλήνα διατομής 2΄΄. Ο εσωτερικός σωλήνας είναι PE Φ20 προ-μονωμένος με ειδικούς δακτύλιους για την έκκεντρη τοποθέτησή του (Εικόνα 11).

Το αντιψυκτικό ρευστό στα δίκτυα συναλλαγής θερμότητας με το υπέδαφος είναι ένα διάλυμα νερού – γλυκόλης της Delta Oil σε ποσοστό 80% και 20% αντίστοιχα για θερμοκρασίες έως και -20°C.



Εικόνα 11: Σωλήνες γεωεναλλάκτη που χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα ΓΑΘ του ΑΠΘ



Εικόνα 12: Σωλήνες ομοαξονικού γεωεναλλάκτη

3.3.3 Συλλέκτες προσαγωγής - επιστροφής

Οι συλλέκτες είναι κατασκευασμένοι από πλαστικούς σωλήνες Φ75 και εξασφαλίζουν συνθήκες λειτουργίας από -20°C έως 40°C σε μέγιστη πίεση λειτουργίας τα 6 bar. Αποτελούνται από 10 αναμονές Φ40 για τη σύνδεσή τους με τους γεωεναλλάκτες και είναι τοποθετημένοι εντός φρεατίου στον προαύλιο χώρο (Εικόνα 13).

Η εγκατάστασή τους επίσης περιλαμβάνει μανόμετρο, εξαεριστικό, βάνα πλήρωσης-εξαέρωσης και βάνα στα σημεία εισαγωγής και εξαγωγής αλλά και στις συνδέσεις με τα κεντρικά δίκτυα.



Εικόνα 13: Φρεάτιο συλλεκτών προσαγωγής-επιστροφής

3.3.4 Αντλία θερμότητας

Η αντλία θερμότητας που βρίσκεται στο υπόγειο του κτηρίου Υδραυλικής είναι τύπου-TPE 40-270/2 της εταιρείας GRUNDFOS (Εικόνα 14). Θεωρείται κατάλληλη για εγκατάσταση σε χώρους με θερμοκρασία από -20°C έως και $+50^{\circ}\text{C}$ και για κυκλοφορία ψυκτικού ρευστού για θερμοκρασίες από -25°C έως και $+120^{\circ}\text{C}$ με μέγιστη πίεση τα 16 bar και παροχή $12.5 \text{ m}^3/\text{h}$.



Εικόνα 14: Αντλία θερμότητας στο κτίριο Υδραυλικής του ΑΠΘ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΣΤ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ (TRT)

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το Τεστ Θερμικής Απόκρισης ευρέως γνωστό και ως TRT (Thermal Response Test) είναι μία αναγνωρισμένη μέθοδο υπολογισμού της θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους και της θερμικής αντίστασης του γεωεναλλάκτη. Η πρώτη πειραματική εφαρμογή του TRT πραγματοποιήθηκε στη Σουηδία την δεκαετία του 1990, έκτοτε όμως έχει καθιερωθεί η χρήση του διεθνώς, κυρίως σε μεγάλες εγκαταστάσεις ΓΑΘ.

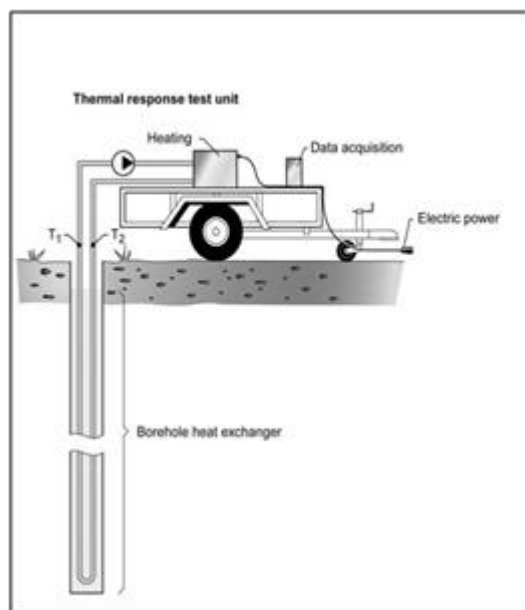
Πρόκειται για ένα βασικό εργαλείο καθοδήγησης για τον κατάλληλο σχεδιασμό, την επιτυχή διαστασιολόγηση και την ομαλή λειτουργία ενός νέου συστήματος αβαθούς γεωθερμίας, καθώς και για την υπόδειξη πιθανής κακοτεχνίας ή η επιβεβαίωση της σωστής λειτουργίας ενός ήδη εγκατεστημένου συστήματος (www.geothermia.gr).

Η εφαρμογή του κρίνεται αναγκαία σε μεγάλες εγκαταστάσεις διότι η υπο- ή υπερ-διαστασιολόγηση των γεωεναλλακτών μπορεί να επιφέρει σημαντικές διαφοροποιήσεις τόσο στο κόστος της εγκατάστασης όσο και στην λειτουργία του. Σε μικρές εγκαταστάσεις, οι υπολογισμοί είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν και με εμπειρικές μεθόδους και με βάση κατάλληλους πίνακες.

Οι θερμικές ιδιότητες του γεωεναλλάκτη οι οποίες είναι άμεσα εξαρτώμενες από:

- A) Τις θερμικές ιδιότητες του υπεδάφους
- B) Τις θερμικές ιδιότητες του μέσου πλήρωσης των γεωτρήσεων
- Γ) Τον τύπο των σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται

Κατά την διαδικασία της εφαρμογής του, διοχετεύεται στον γεωεναλλάκτη ένα σταθερό ποσό θερμότητας (Σχήμα 13) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το οποίο πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 24 ώρες. Το διάστημα αυτό, εξαρτάται από την διάμετρο της γεώτρησης, την θερμική αγωγιμότητα και την θερμοχωρητικότητα του εδάφους.



Σχήμα 13: Γενική διάταξη για την εκτέλεση TRT (Gelhin, 2002)

Εν συνεχεία, μετριοούνται και καταγράφονται οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του ρευστού, και δια μέσου ειδικών λογισμικών γίνεται η επεξεργασία και η εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων για τη θερμική αγωγιμότητα (λ) και τη θερμική αντίσταση (rb) του γεωεναλλάκτη. Επίσης πρέπει να είναι γνωστή η θερμοκρασία του εδάφους, όταν αυτό βρίσκεται σε θερμική ισορροπία.

Ο όρος θερμική αγωγιμότητα (λ) αναφέρεται στην ιδιότητα ενός υλικού που προσδιορίζει πόσο εύκολα ή δύσκολα επιτρέπει τη διάδοση της θερμικής ενέργειας στο εσωτερικό του και ο όρος θερμική αντίσταση (rb) εκφράζει τη δυσκολία μεταφοράς της θερμικής ενέργειας από τα τοιχώματα της γεώτρησης στο ρευστό μεταφοράς που υπάρχει στο εσωτερικό των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη (Κοτανίδου, 2018).

Όπως είναι προφανές, για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος, η θερμική αντίσταση του εναλλάκτη θα πρέπει να είναι σχετικά χαμηλή

Για τον υπολογισμό του $rb > 5ro^2/a$, η βασική εξίσωση που χρησιμοποιείται είναι:

$$Tm = Q / 4\pi\lambda H(\ln(4at/ro^2)-\gamma) + Qrb / H + Ts \quad (1)$$

ή

$$Tm = K\ln(t) + m \text{ όπου } K = Q\ln(t) / 4\pi\lambda H \quad (2)$$

Όπου:

λ : Θερμική αγωγιμότητα (W/mK)

C: Θερμοχωρητικότητα (J / m³K)

α : Διάχυση, λ/C (m²/s)

rb : Θερμική αντίσταση (K/(W/m)

ro : Ακτίνα γεώτρησης (m)

H : Βάθος γεώτρησης (m)

Q : Θερμική ισχύς (W)

Tm : Μέση θερμοκρασία εισόδου- εξόδου (°C)

Ts : Θερμοκρασία υπεδάφους (°C)

tb : Χρόνος σταθεροποίησης (sec)

$\gamma = 0.5772$, σταθερά Eulers

Η συνάρτηση της Tm σε σχέση με το $\ln(t)$ είναι μία γραμμική εξίσωση. Βρίσκοντας την κλίση (K) της συνάρτησης τότε:

$$\lambda = Q / 4\pi KH \quad (3)$$

$$rb = H(Tm-Ts) / Q-(\ln(t)+\ln(4a/ro^2)-\gamma) / 4\pi\lambda \quad (4)$$

4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ TRT ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

Μετά το πέρας των εργασιών και τουλάχιστον 48 ώρες μετά την ενεμάτωση των γεωτρήσεων εκτελέστηκε TRT στην γεώτρηση με τον ομοαξονικό γεωεναλλάκτη και σε μία από αυτές που τοποθετήθηκε εναλλάκτης τύπου U, με σκοπό την μελέτη και την σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο διαφορετικών εναλλακτών. Η δοκιμή διήρκησε 48 ώρες.

Για τον **ομοαξονικό εναλλάκτη** ισχύει:

Ισχύς αντιστάσεων : 3500 W

Τύπος κυκλοφορητή : WILO, TOP S 30/10

Τύπος καταγραφικών θερμοκρασίας : RC-30B

Διάρκεια μέτρησης : 48 h

Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις, προκύπτει:

$\lambda = 3,06 \text{ W /mK}$ και $rb = 0,04 \text{ K / (W/m)}$

Για τον **εναλλάκτη τύπου U**:

Ισχύς αντιστάσεων : 7000 W

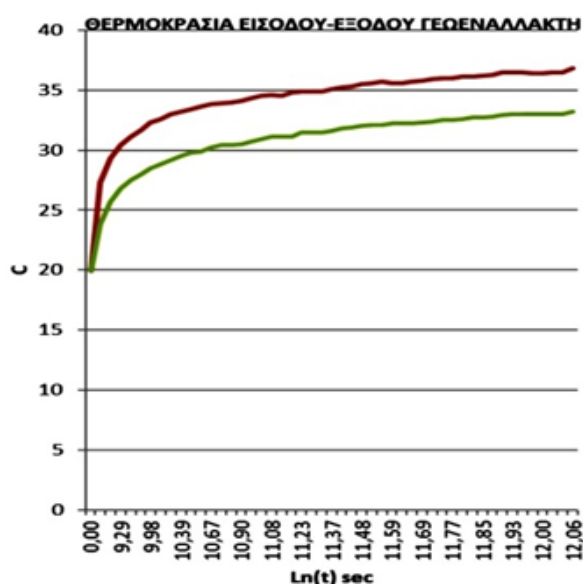
Τύπος κυκλοφορητή : WILO, TOP S 30/10

Τύπος καταγραφικών θερμοκρασίας : RC-30B

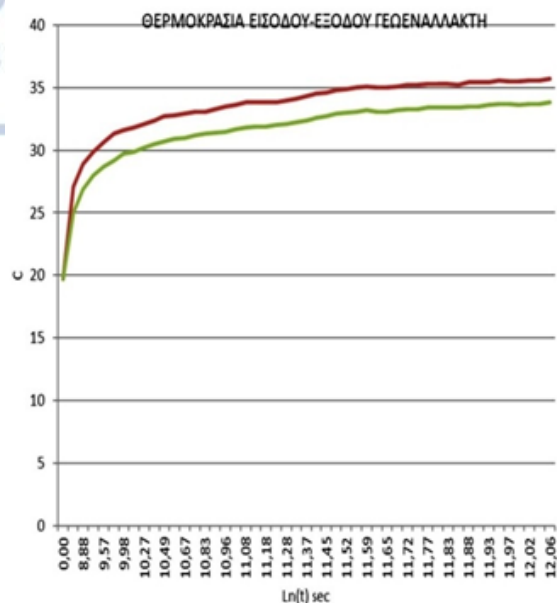
Διάρκεια μέτρησης : 48 h

$\lambda = 2,90 \text{ W /mK}$ και $rb = 0,18 \text{ K / (W/m)}$

Με βάση την βιβλιογραφία, η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας (λ) και η τιμή της θερμικής αντίστασης (rb) είναι αναμενόμενες τιμές για ένα περιβάλλον γνευσίου. Στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήματα 14 και 15) παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του υγρού στα δύο είδη γεωεναλλακτών όπου έγιναν οι μετρήσεις.



Σχήμα 14: Θερμοκρασίες εισόδου (κόκκινο χρώμα) και εξόδου (πράσινο χρώμα) του ρευστού στον ομοαξονικό εναλλάκτη



Σχήμα 15: Θερμοκρασίες εισόδου (κόκκινο χρώμα) και εξόδου (πράσινο χρώμα) του ρευστού στον εναλλάκτη U

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 15) απεικονίζεται ο εξοπλισμός που απαιτήθηκε για την εφαρμογή του Τεστ Θερμικής Αποκρίσεως.



Εικόνα 15. Εξοπλισμός για τη δοκιμή θερμικής απόκρισης στο κτίριο Υδραυλικής ΑΠΘ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμίας διά μέσου γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, έχει αναπτυχθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες παγκοσμίως. Στο τέλος του έτους 2020, η αβαθής γεωθερμία αξιοποιούνταν σε 54 χώρες, με την συνολική εγκατεστημένη ισχύ από ΓΑΘ να ξεπερνά τα 77,5 GW, κάτι που αντιστοιχεί σε περισσότερες από 6 εκατομμύρια εγκατεστημένες μονάδες (Παπαχρήστου κ.ά., 2021). Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας θεωρούνται μία από τις πλέον αποδοτικές τεχνολογίες θέρμανσης/ψύξης και παροχής ζεστού νερού χρήσης, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Ενέργειας (wikipedia.org).

Παρόλο που στην Ελλάδα η χρήση των ΓΑΘ δεν αποτελεί ακόμη βασική επιλογή για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, αυτή η μέθοδος δείχνει να κερδίζει σταθερά έδαφος, κυρίως σε δημόσιες κτιριακές εγκαταστάσεις. Η αβαθής γεωθερμία είναι πάντα άμεσα διαθέσιμη προς εκμετάλλευση ανεξάρτητα της ύπαρξης γεωθερμικού πεδίου στην περιοχή, ενώ σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξή της στην Ελλάδα παίζει και το γεγονός ότι οι γραφειοκρατικές διαδικασίες για την παροχή των σχετικών αδειών είναι ιδιαίτερα απλές.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάστηκε συνοπτικά το πιλοτικό έργο εγκατάστασης συστήματος αβαθούς γεωθερμίας στο κτίριο της Υδραυλικής του Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Το έργο αυτό χρηματοδοτήθηκε από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα «INTERREG» και το κόστος του ανήλθε σε 74.000 ευρώ, χωρίς να περιλαμβάνεται η αντλία θερμότητας η οποία προϋπήρχε.

Διανοίχθηκαν συνολικά 10 μικρής διαμέτρου γεωτρήσεις για την τοποθέτηση 10 (δέκα) κατακόρυφων γεωεναλλακτών, από τους οποίους οι 9 (εννέα) ήταν τύπου U και τοποθετήθηκαν σε αντίστοιχες γεωτρήσεις βάθους 100 μέτρων και ένας ήταν ομοαξονικός και τοποθετήθηκε σε γεώτρηση βάθους 50 μέτρων. Η χρήση δύο διαφορετικών τύπων γεωεναλλάκτη, πραγματοποιήθηκε για να μελετηθεί και να συγκριθεί η απόδοση και η αντοχή τους. Οι γεωεναλλάκτες συνδέθηκαν με αντλία θερμότητας ισχύος 90kW για τη θέρμανση του ισόγειου χώρου του κτιρίου.

Από την διενέργεια Δοκιμής Θερμικής Απόκρισης (TRT) και τις σχετικές εκτιμήσεις των μελετητών (ΑΜ Κατασκευαστική) προέκυψε πως ο ομοαξονικός γεωεναλλάκτης μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερα ποσά θερμικής ενέργειας σε σχέση με τον εναλλάκτη τύπου U, ωστόσο είναι πιο ευαίσθητος σε τυχόν φθορές με το πέρασμα των χρόνων.

Στο κτίριο της Υδραυλικής υπήρχε ήδη εγκατεστημένο σύστημα αβαθούς γεωθερμίας, ανοιχτού τύπου, ωστόσο η παροχή νερού από την υδρογεώτρηση που είχε κατασκευαστεί για τον σκοπό αυτόν, ήταν πολύ μικρή και δεν κατέστη δυνατή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συστήματος, το οποίο πρακτικά δεν λειτούργησε ποτέ ομαλά.. Το νέο σύστημα θέρμανσης αναμένεται να λειτουργήσει πλήρως κατά την χειμερινή περίοδο 2022-2023, οπότε και θα υπάρχουν περισσότερα στοιχεία για την απόδοσή του, την εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων σε σχέση με το φυσικό αέριο καθώς και την ομαλή λειτουργία του.

Η επιτυχία αυτής της εγκατάστασης θα πρέπει να αποτελέσει ένα θετικό παράδειγμα προς μίμηση για χρήση της αβαθούς γεωθερμίας και σε άλλα κτίρια του ΑΠΘ, ιδιαίτερα στη σημερινή συγκυρία με την εκτόξευση των τιμών της ενέργειας παγκοσμίως και τη γενικότερη αντίληψη που θα πρέπει να επικρατεί σε ένα ανώτατο εκπαιδευτικό ίδρυμα για τη χρήση μορφών ενέργειας στους χώρους του με ελάχιστο έως μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.



Διεθνής βιβλιογραφία

Gelhin, S. (2002): Thermal Response Test, Method Development and Evaluation, Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Sweden 2002

Hobyung Chae, Katsunori Nagano, Takao Katsura, Yoshitaka Sakata, Ahmed A. Serageldin (2022): Life cycle cost analysis of ground source heat pump system based on multilayer thermal response test, Energy and Buildings, V. 261

Xianbiao Bu, Zhipeng Guo, Lingbao Wang (2021), Performance analysis of shallow depth hydrothermal enhanced geothermal system for building heating, Case Studies in Thermal Engineering, V. 26

Ελληνική βιβλιογραφία

Μιχόπουλος, Α., Βούλγαρη, Β., Ζαχαριάδης, Θ. (2015): Οδηγός Σχεδιασμού και Εγκατάστασης Συστημάτων Αβαθούς Γεωθερμίας

Αναστασιάδης, Γ., Μιχόπουλος, Α., Μπαλτζή, Α., Μπουσγολίτης, Χ. (2012): Γεωθερμία στην Κεντρική Μακεδονία, Θεσσαλονίκη 2012

Γιαννάκος, Ν. (2014): Αντλίες θερμότητας σε συστήματα θέρμανσης. Σχεδιασμός - Ενεργειακή αξιολόγηση, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, ΑΠΘ

Ζερβοπούλου Α., Παυλίδης Σ., Μορφοτεκτονική μελέτη της ευρύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης για τη χαρτογράφηση νεοτεκτονικών ρηγμάτων, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVIII, 2005

Ζερβοπούλου Α., Παυλίδης Σ., Νεοτεκτονικά ρήγματα πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης, Πρακτικά 3^{ου} Συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, 5-7 Νοεμβρίου 2008, άρθρο 1865, Θεσσαλονίκη

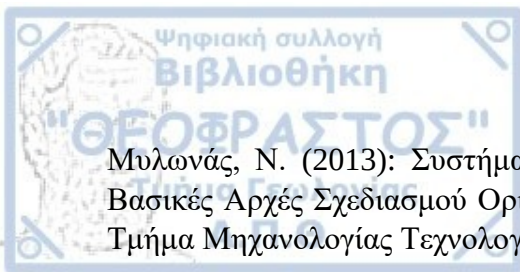
Ζούφιος, Ι. (2011): Μελέτη Γεωθερμικού Συστήματος, Ανάλυση της Μεθόδου Thermal Response Test (TRT) και Εύρεση των Δύο Βασικών Παραμέτρων Σχεδιασμού Γεωθερμικών Συστημάτων με Χρήση Κατάλληλου Μοντέλου Πάνω σε Πραγματικά Δεδομένα. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Πολυτεχνείο Κρήτης, Κρήτη

Κοτανίδου, Θ. (2018): Αβαθής γεωθερμία και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Παράδειγμα εφαρμογής σε κατοικία στη Σιθωνία Χαλκιδικής. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ

Σαββίδης, Π. (2018): Αξιοποίηση της αβαθούς Γεωθερμίας με τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας – Παραδείγματα από την Βόρεια και Δυτική Ελλάδα, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ

Μουντράκης Δ.Μ. (1985): Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press

Μπινιάρης, Γ. (2012): Εξοικονόμηση Ενέργειας Θέρμανσης-Κλιματισμού με Γεωθερμία σε Κατοικία. Διπλωματική Εργασία, Ηράκλειο 2012



Μυλωνάς, Ν. (2013): Συστήματα Αξιοποίησης Εδάφους για Θέρμανση/Ψύξη Κατοικιών. Βασικές Αρχές Σχεδιασμού Οριζόντιου Γεωεναλλάκτη Θερμότητας. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολογίας Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Ηράκλειο

Παπαχρήστου, Μ., Ανδρίτσος, Ν., Αρβανίτης, Α., Δαλαμπάκης, Π., Μενδρινός Δ. (2021): Ανασκόπηση των γεωθερμικών χρήσεων στην Ελλάδα και τον κόσμο, Πρακτικά 12ου Εθνικού Συνεδρίου για της Ήπιες Μορφές Ενέργειας, ΙΗΤ, Θεσσαλονίκη 07-09.04.202

Πλατιόπουλος, Α. (2020): Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας-Παραδείγματα από τη βόρεια Ελλάδα, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ.

Φυτίκας, Μ. και Ανδρίτσος, Ν. Γεωθερμία. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη 2004

Διαδικτυακές πηγές

- www.digtheheat.com
- www.docireport.org
- www.energypress.gr
- www.eneroots.gr
- www.geothermia.gr
- www.glgeothermal.com
- www.kensaheatpumps.com
- www.ktirio.gr
- www.nikolaospsarras.com
- www.rehau.de
- www.rpdarmstadt.hessen.de
- www.vittheating.com
- www.rehau.de