



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΘΕΟΔΩΡΟΣ Π. ΣΑΒΒΙΔΗΣ

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
ΑΠΟ ΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2018





ΘΕΟΔΩΡΟΣ Π. ΣΑΒΒΙΔΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5218

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ - ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Γεωλογίας,
Εργαστήριο Υδρογεωλογίας

Επιβλέπουσα:

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



© Θεόδωρος Π. Σαββίδης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2018
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ
ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ-ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗ
ΕΛΛΑΔΑ – *Πτυχιακή Εργασία*

© Theodoros P. Savvidis, School of Geology, Dept. of Geology, 2018

All rights reserved.

EXPLOITATION OF SHALLOW GEOTHERMAL ENERGY WITH GROUND
SOURCE HEAT PUMPS – APPLICATION IN NORTHERN AND WESTERN
GREECE – *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 προς το συγγραφέα.

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αβαθής γεωθερμία, η οποία αφορά στη θερμότητα που περιέχεται σε μικρό βάθος κάτω από την επιφάνεια της γης και αφορά θερμοκρασίες συνήθως μικρότερες από 25°C, είναι ο κλάδος της γεωθερμίας με τη μεγαλύτερη ανάπτυξη στην Ελλάδα. Η αξιοποίησή της γίνεται με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού, όπως είναι οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) και χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση το χειμώνα και δροσισμό το καλοκαίρι, αλλά και για παροχή ζεστού νερού και άλλες χρήσεις. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τρεις (3) περιπτώσεις εγκατάστασης συστήματος αξιοποίησης της αβαθούς γεωθερμίας, σε κτίρια διαφορετικών θερμικών απαιτήσεων που βρίσκονται σε περιοχές με αρκετά διαφορετικές καιρικές και κλιματικές συνθήκες. Πρόκειται για μία μονοκατοικία στο Μελισσοχώρι (Ν. Θεσσαλονίκης), στην οποία τοποθετήθηκε σύστημα ΓΑΘ ανοικτού κατακόρυφου κυκλώματος, με το κόστος λειτουργίας να φθάνει περίπου τα 1.500€ ανά έτος και ετήσια εξοικονόμηση της τάξεως του 70% σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης/ψύξης. Ο χρόνος απόσβεσης στο συγκεκριμένο έργο ήταν περίπου στα πέντε (5) έτη. Η δεύτερη περίπτωση αφορά ένα κατάστημα SUPER MARKET στα Γιαννιτσά (Ν. Πέλλας), στο οποίο τοποθετήθηκε κλειστό κατακόρυφο σύστημα ΓΑΘ με το κόστος λειτουργίας να φθάνει περίπου τα 9.000€ ανά έτος, ετήσια εξοικονόμηση περίπου 68% και χρόνο απόσβεσης περίπου τέσσερα (4) έτη. Η τελευταία περίπτωση είναι ένα ξενοδοχείο στο Μέτσοβο (Ν. Ιωαννίνων), στο οποίο επίσης τοποθετήθηκε κλειστό κατακόρυφο κύκλωμα ΓΑΘ. Το κόστος λειτουργίας ανήλθε περίπου στα 4.500€ ανά έτος, η ετήσια εξοικονόμηση είναι της τάξεως του 70% και ο χρόνος περίπου τρία (3) έτη. Και οι τρεις περιπτώσεις λειτουργούν άρτια εδώ και αρκετά χρόνια.



ABSTRACT

The exploitation of the shallow geothermal systems with ground source heat pumps (GSHPs) is the most developed sector of the geothermal market in Greece. The shallow geothermal energy is mainly used for heating in winter and cooling in the summer, but also for hot water and other uses. In this thesis three (3) cases of GSHP installations are presented. They regard three different types of buildings (house residence, super market and hotel), with diverse thermal requirements and located in areas where different weather and climatic conditions. The first case is a house in Melissochori (Thessaloniki), where a vertical-open loop GHPs system was installed. The operating cost is approximately €1,500 per year, with an annual saving of 70.3% compared to conventional systems. The payback time for this project was five (5) years. The second case is a super market store in Pella (Central Macedonia), with a vertical-closed loop GHPs system. The operating cost reaches approximately €9.000 per year, the annual saving 68.1% and the payback time did not exceed four (4) years. The last case is a hotel in Metsovo (Ioannina, Western Greece), where a vertical-closed loop GHPs system was installed. The operating cost is about €4.500 per year, the annual saving is 69.8% compared to conventional systems and the payback time was only three (3) years. All these installations work fine for some years now and no problems have been recorded so far.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	8
1.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	10
2.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	10
2.2 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΑΘ	11
2.3 ΤΥΠΟΙ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΓΑΘ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ	15
3.1 ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΟ ΜΕΛΙΣΣΟΧΩΡΙ (Ν. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)	15
3.1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	16
3.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	17
3.1.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	18
3.1.4 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	19
3.1.5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	20
3.2 ΚΑΤΑΣΤΗΜΑ SUPER MARKET ΜΕΤΡΟ (Ν. ΠΕΛΛΑΣ)	21
3.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	21
3.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	23
3.2.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	29
3.2.4 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	30
3.2.5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	31
3.3 ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ ΣΤΟ ΜΕΤΣΟΒΟ (Ν. ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ)	32
3.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	32
3.3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	33
3.2.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	36
3.2.4 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	36
3.2.5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	40



Η παρούσα πτυχιακή 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 και διδάσκουσα του μαθήματος «Γεωθερμία».

Η εργασία παρουσιάζει την εγκατάσταση συστημάτων αξιοποίησης της αβαθούς γεωθερμίας με τη χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ) σε τρεις διαφορετικές περιοχές της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας (Θεσσαλονίκη, Γιαννιτσά, Μέτσοβο). Οι εγκαταστάσεις αυτές λειτουργούν άρτια και χωρίς κανένα πρόβλημα εδώ και αρκετά χρόνια. Η χρήση τους έχει συμβάλει στη σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο συμβατικό σύστημα θέρμανσης.

Για την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας υπήρξε συνεργασία με την εταιρεία ΓΕΩΕΝΕΡΓΕΙΑ Ε.Π.Ε., η οποία ήταν υπεύθυνη για την κατασκευή και εγκατάσταση των συγκεκριμένων συστημάτων. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους υπεύθυνους της εταιρείας για την παροχή των δεδομένων που επέτρεψαν την υλοποίηση και ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Επίσης, ήθελα να ευχαριστήσω την Δρ. Μαρία Παπαχρήστου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την υπομονή της κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας, όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση της, για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων.

Τέλος, ευχαριστώ του γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο «Γεωθερμία» αναφερόμαστε στον επιστημονικό κλάδο που ασχολείται με την έρευνα της θερμότητας του εσωτερικού της γης, την κατανομή των θερμοκρασιών στο υπέδαφος, την υπόγεια κυκλοφορία των θερμών ρευστών και τις γεωλογικές συνθήκες που την ευνοούν, καθώς και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των ρευστών (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004). Η γεωθερμική έρευνα σχετίζεται και με τον εντοπισμό γεωθερμικών συστημάτων και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων, δηλαδή των περιοχών εκείνων που παρουσιάζουν θετικές θερμικές ανωμαλίες και ευνοϊκές συνθήκες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας.

1.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική και σε μεγάλο βαθμό ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Προέρχεται από το εσωτερικό της γης και περιλαμβάνεται κυρίως σε ατμούς, σε θερμά νερά ή σε μίγματα τους και σε θερμά πετρώματα. Για να είναι ελκυστική η εκμετάλλευση της θα πρέπει ο συνδυασμός του θερμικού φορτίου και των γεωλογικών συνθηκών (βάθος, είδος πετρωμάτων κ.λ.π.) να εξασφαλίζει ένα συγκριτικό οικονομικό αποτέλεσμα (έναντι άλλων μορφών ενέργειας συμβατικών ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας). Τα αποθέματα της γεωθερμικής ενέργειας σε ακόμα μεγαλύτερα βάθη είναι τεράστια, αλλά λόγω των σημερινών τεχνικών και οικονομικών δεδομένων η αξιοποίηση τους είναι πάρα πολύ δύσκολη και οικονομικά ασύμφορη. Αντιθέτως, η ρηχή γεωθερμική ενέργεια που περιέχεται σε ρευστά ή πετρώματα σε μικρό βάθος και με μικρή θερμοκρασία ($< 25^{\circ}\text{C}$), έχει αναπτυχθεί διεθνώς, φτάνοντας σε εντυπωσιακά μεγέθη εγκαταστημένης ισχύος.

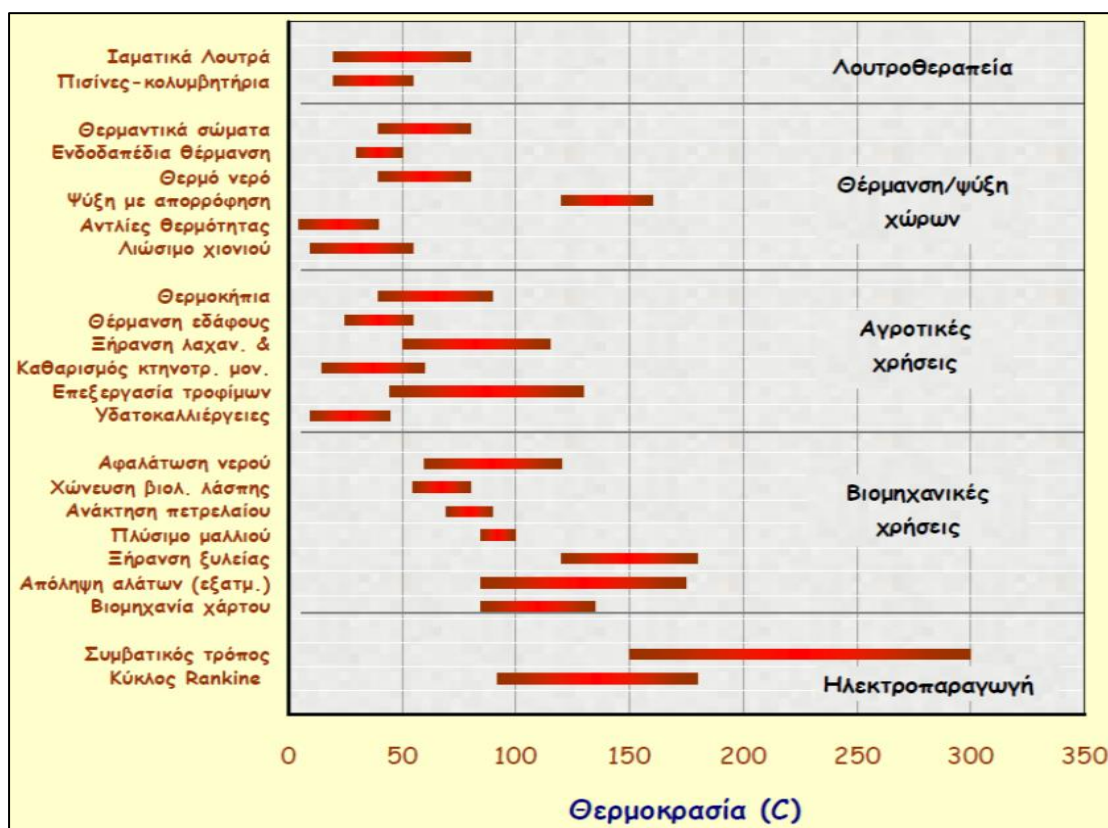
1.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας διακρίνονται κυρίως σε δύο κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τη θερμοκρασία των διαθέσιμων ρευστών:

Τις **ηλεκτρικές χρήσεις**: γίνεται εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία είναι εφικτή με θερμοκρασίες μεγαλύτερες

από 85-90 ° C. Οι κυριότεροι τύποι γεωθερμικών ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων είναι ο κύκλος ατμού, ο κύκλος εκτόνωσης διαφασικού ρευστού, ο δυαδικός κύκλος και ο κύκλος συνολικής ροής, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των ρευστών (θερμοκρασία, πίεση, χημισμός).

Τις **άμεσες χρήσεις**: αφορά άμεση χρήση της ενέργειας των θερμών ρευστών, χωρίς να προηγείται υποχρεωτικά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες χρήσεις περιλαμβάνουν: θέρμανση χώρων (κτιρίων, θερμοκηπίων κ.λ.π.), υδατοκαλλιέργειες και ιχθυοκαλλιέργειες, βιομηχανικές χρήσεις (π.χ. ξήρανση προϊόντων) κ.λ.π.



Εικόνα 1. Διάγραμμα χρήσεων Lindal (Lindal, 1973 από Γιάσλα, Α., Καρλαφτή, Μ., 2012)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

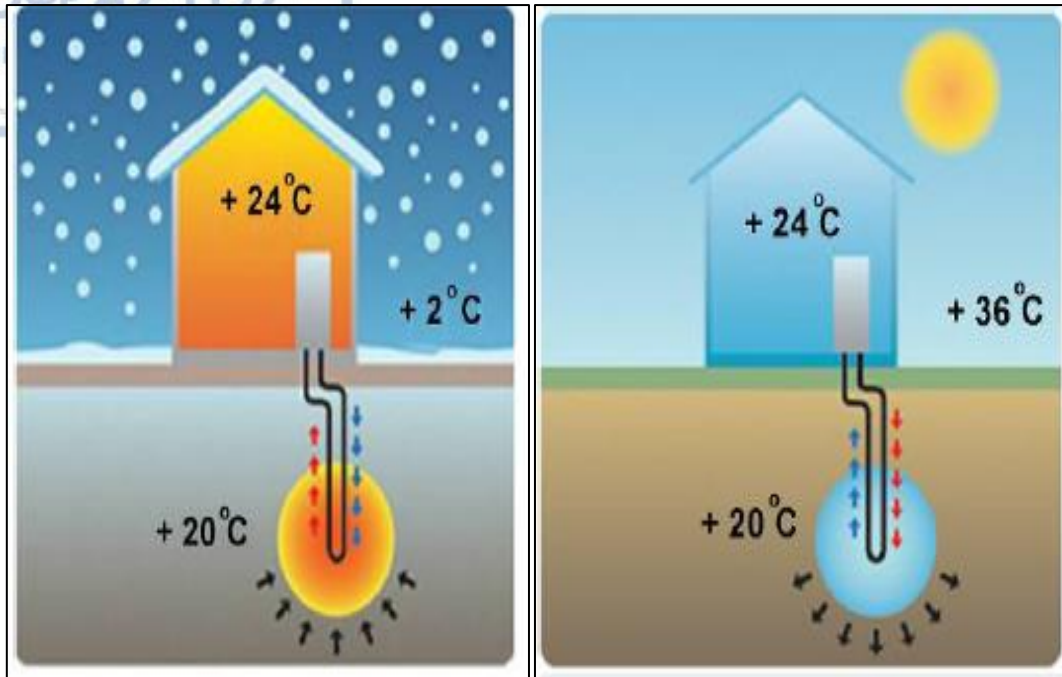
Η αβαθής γεωθερμία ορίζεται ως η εκμεταλλεύσιμη γεωθερμική ενέργεια που περιέχεται σε εδάφη, σε ρηχούς υδροφόρους και σε πετρώματα που βρίσκονται σε μικρά βάθη. Η θερμοκρασία των σχηματισμών ή των νερών αυτών, τυπικά δεν ξεπερνά τους 25 °C.

2.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Όπως ορίζεται από την ελληνική νομοθεσία (ΦΕΚ Β' 1249/24.06.2009), η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας απαιτεί τη χρήση ειδικού εξοπλισμού, όπως οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ).

Η θερμοκρασία κάτω από τα πρώτα λίγα μέτρα του υπεδάφους παραμένει σχεδόν σταθερή και κυμαίνεται από 10-22 °C κατά τη διάρκεια του έτους, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος μιας περιοχής. Από εκεί και κάτω, η θερμοκρασία μεταβάλλεται ανάλογα με τη γεωθερμική βαθμίδα. Με τη χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ) είναι δυνατή η αποδοτική και οικονομικά επωφέλης εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του υπεδάφους και της επιφάνειας της γης, μέσω της απόληψης της θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένη σε μικρά βάθη. Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται κυρίως για θέρμανση το χειμώνα και δροσισμό το καλοκαίρι, αλλά και για παροχή ζεστού νερού και άλλες χρήσεις.

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη παντού, σε κάθε περιοχή της γης, δεν εξαρτάται από τις καιρικές ή κλιματικές συνθήκες και η αξιοποίηση της επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός συστήματος που περιλαμβάνει: αντλία θερμότητας και σύστημα γεωεναλλακτών όπως (Ψαρράς Ν., 2012):



Εικόνα 2. Αξιοποίηση αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του χειμώνα (αριστερά) και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (δεξιά). (Πηγή: www.geothermalcommunities.eu)

Ένα σύστημα ΓΑΘ χωρίζεται σε τρία κύρια μέρη όπως (Ψαρράς Ν., 2012):

- 1) Το **Σύστημα Εναλλαγής Θερμότητας (Γεωεναλλάκτης, κλειστού ή ανοιχτού κυκλώματος)** εντός του εδάφους (ή του νερού), που απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα στο έδαφος.
- 2) Την **Αντλία Θερμότητας (Heat Pump)**, η οποία αντλεί θερμική ενέργεια από ένα χώρο χαμηλής θερμοκρασίας και τη μεταφέρει σε άλλο με υψηλότερη θερμοκρασία, αντίθετα δηλαδή με τη φυσική ροή.
- 3) Το **Σύστημα Θέρμανσης/Ψύξης** στο εσωτερικό χώρο εντός κτιρίου, το οποίο παρέχει ή απορροφά θερμότητα από το κτήριο (αεραγωγοί, ενδοδαπέδια, αερόθερμα, καλοριφέρ κ.λ.π.).

2.2 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΑΘ

Ένα σύστημα ΓΑΘ, χρησιμοποιεί τις σταθερές θερμοκρασίες του υπεδάφους ή του νερού και απορροφά τη διαθέσιμη ενέργεια, μέσω ενός συστήματος γεωεναλλακτών. Κατά την περίοδο του χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα

σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη, απορροφά τη θερμότητα του υπεδάφους και τη διοχετεύει στην αντλία θερμότητας, η οποία βρίσκεται στο εσωτερικό του κτηρίου. Η θερμότητα αυτή παραλαμβάνεται από ένα ειδικό ψυκτικό υγρό που κυκλοφορεί στην αντλία και διαμέσου ενός εξατμιστή, τον συμπιεστή και ενός συμπυκνωτή, μεταφέρεται στο κτήριο που πρόκειται να θερμανθεί. Το αντίστροφο συμβαίνει κατά την περίοδο του καλοκαιριού, οπότε απορροφάται θερμότητα από το κτήριο που πρέπει να ψυχθεί ή να δροσιστεί και διοχετεύεται, μέσω της αντλίας θερμότητας του γεωεναλλάκτη στο υπέδαφος.

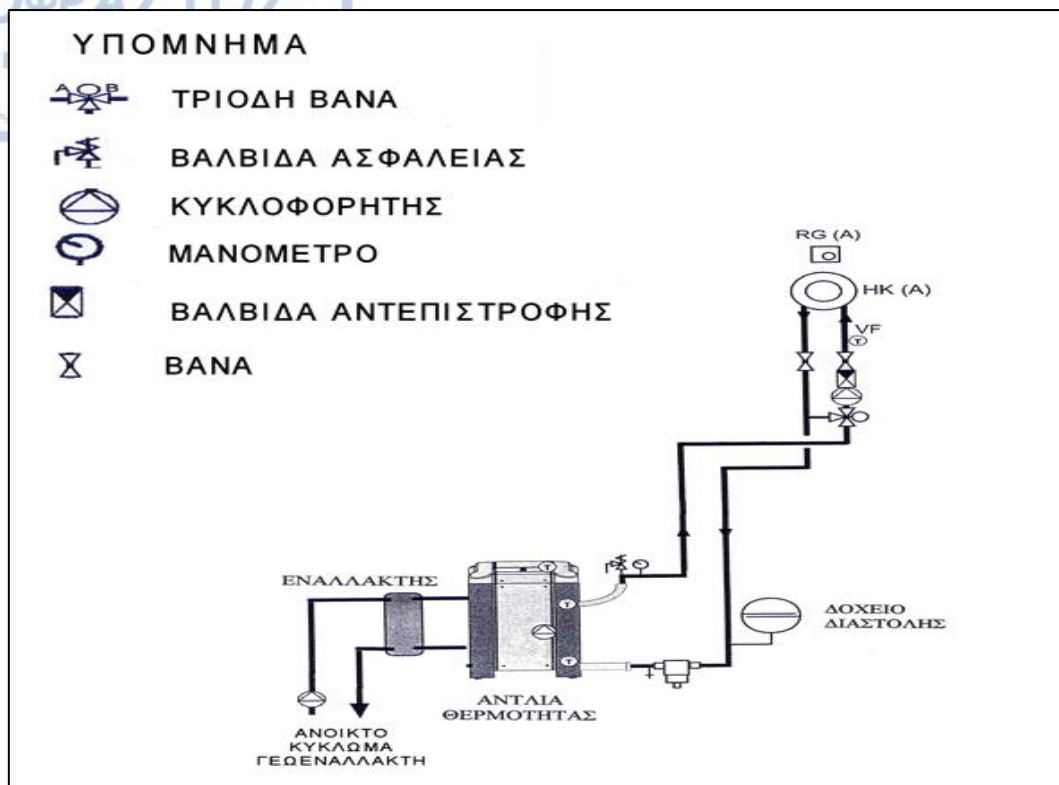
Οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας, ανάλογα με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν (νερό ή έδαφος) και τον γεωεναλλάκτη διακρίνονται σε ανοικτού ή κλειστού τύπου.

2.3 ΤΥΠΟΙ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΓΑΘ

ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος, περιλαμβάνονται αυτά που αξιοποιούν την σταθερή θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων. Το σύστημα αυτό, εφαρμόζεται σε περιοχές με ρηχό υδροφόρο ορίζοντα, ικανοποιητικό υδατικό δυναμικό και περιορισμένο διαθέσιμο χώρο. Το υπόγειο νερό προέρχεται από γεωτρήσεις που αντλούν νερό από τον υπόγειο ταμιευτήρα, το οποίο μέσω του γεωεναλλάκτη, που παρεμβάλλεται μεταξύ της αντλίας και του ανοικτού κυκλώματος, προσδίδουν ή απορροφούν ενέργεια πριν το νερό επιστρέψει στον ταμιευτήρα, με μία γεώτρηση επανεισαγωγής.

Στην Εικόνα 3 περιγράφεται το διάγραμμα ροής ενός ανοικτού κυκλώματος ΓΑΘ. Οι γεωτρήσεις συνδέονται με την αντλία θερμότητας και το όλο σύστημα συνδέεται με το πρωτεύον κύκλωμα της ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι το νερό που αντλείται από την παραγωγική γεώτρηση μεταδίδει μέσω ενός εναλλάκτη νερού – νερού την θερμότητα του και κατόπιν επιστρέφει στη γεώτρηση επανεισαγωγής χωρίς να έρθει σε επαφή με άλλο ρευστό. Το σύστημα αυτό, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3, εγκαταστάθηκε σε κατοικία στο Μελισσοχώρι Θεσσαλονίκης.



Εικόνα 3. Παράδειγμα εγκατάστασης ανοικτού κυκλώματος ΓΑΘ

ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

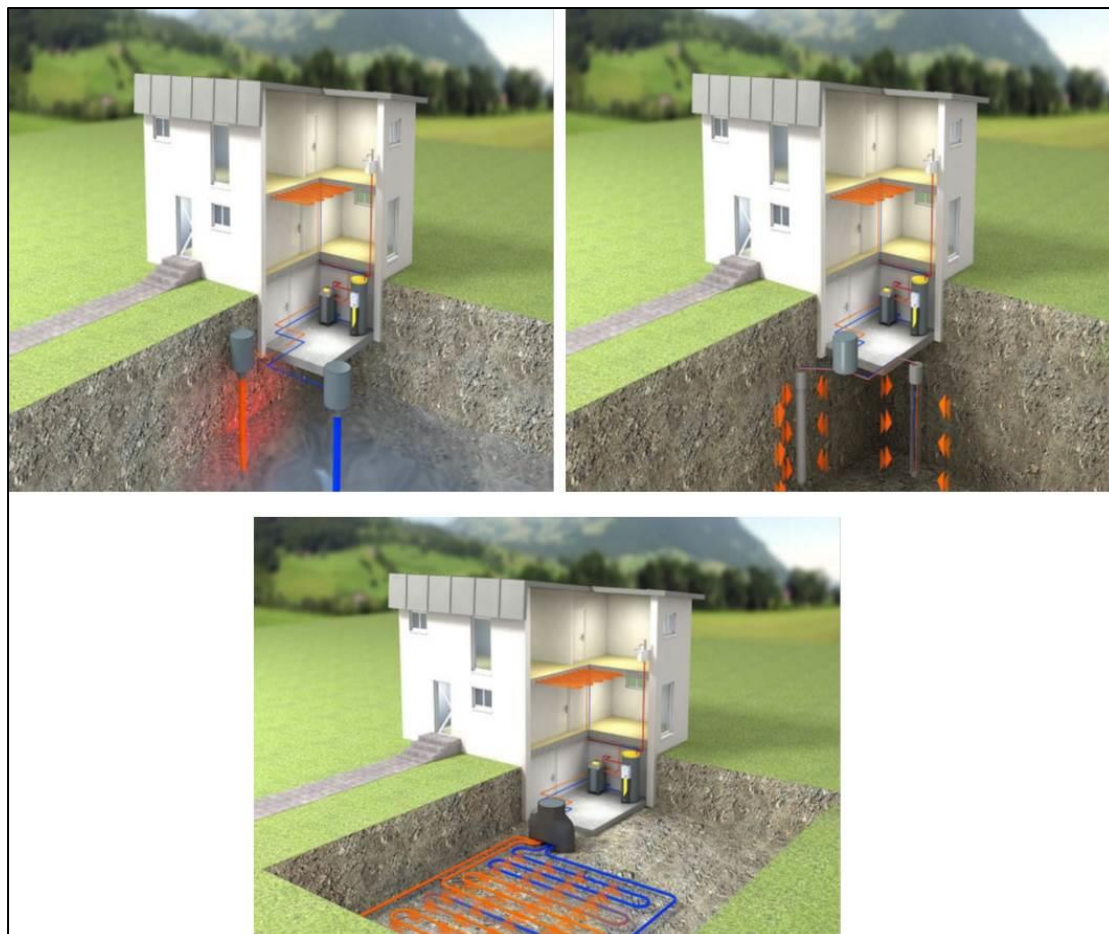
Το σύστημα κλειστού κυκλώματος εφαρμόζεται σε περιοχές όπου δεν υπάρχει ρηχή υπόγεια υδροφορία. Κατασκευάζονται γεωτρήσεις και τοποθετούνται μέσα στις οπές κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες. Στη συνέχεια, οι οπές πληρώνονται με ειδικό θερμοδιαπερατό μίγμα υλικού, το οποίο διασφαλίζει την απορρόφηση της θερμοκρασίας του υπεδάφους χωρίς τη δημιουργία κενών αέρος.

Η κατάλληλη επιλογή του συστήματος αβαθής γεωθερμίας εξαρτάται από τα τεχνικά και χωροταξικά χαρακτηριστικά του έργου και άλλους παράγοντες όπως (Ψαρράς Ν., 2012):

- Η θερμοκρασία του υπεδάφους
- Η επιφάνεια του οικοπέδου και το εμβαδό του κτηρίου
- Τα θερμικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους
- Το θερμικό και ψυκτικό φορτίο που απαιτείται
- Οι τεχνικές παράμετροι (π.χ. μήκος, διάμετρος, το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για τους αγωγούς)

Το κόστος εγκατάστασης του ανοικτού συστήματος είναι μικρότερο σε σχέση με το κλειστό, επειδή ο απαιτούμενος αριθμός γεωτρήσεων είναι συνήθως μικρός, δηλαδή ακόμα και από μία γεώτρηση μπορούν να καλυφθούν οι θερμικές ανάγκες αρκετά μεγάλων επιφανειών.

Στην Εικόνα 4 απεικονίζονται συστήματα γεωεναλλακτών ανοικτού και κλειστού τύπου.



Εικόνα 4. Απεικόνιση κατακόρυφου συστήματος γεωεναλλάκτη ανοικτού τύπου κυκλώματος (αριστερά), κατακόρυφου συστήματος γεωεναλλάκτη κλειστού τύπου κυκλώματος (δεξιά) και οριζόντιου συστήματος γεωεναλλάκτη κλειστού τύπου κυκλώματος (κάτω). (Πηγή : <https://www.idm-energie.at/en/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

Στην εργασία παρουσιάζονται τρεις (3) περιπτώσεις εγκατάστασης συστήματος αξιοποίησης αβαθής γεωθερμίας, με διαφορετικές θερμικές απαιτήσεις, που βρίσκονται σε περιοχές που επικρατούν αρκετά διαφορετικές καιρικές και κλιματικές συνθήκες. Πρόκειται για μία μονοκατοικία στο Μελισσοχώρι (Ν. Θεσσαλονίκης), ένα κατάστημα SUPER MARKET METRO (Ν. Πέλλας) και ένα ξενοδοχείο στο Μέτσοβο (Ν. Ιωαννίνων).

3.1 ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΟ ΜΕΛΙΣΣΟΧΩΡΙ (Ν. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)



Εικόνα 5. Μονοκατοικία στην περιοχή Μελισσοχωρίου (Ωραιόκαστρο Θεσσαλονίκης) στην οποία εγκαταστάθηκε σύστημα ΓΑΘ

Η μονοκατοικία (Εικόνα 5) βρίσκεται στην περιοχή του Μελισσοχωρίου, στο Δήμο Ωραιοκάστρου Θεσσαλονίκης. Πρόκειται για ένα διώροφο κτίριο με συνολική επιφάνεια 341 m², εντός έκτασης περίπου 10,5 στρεμμάτων.

Στην περιοχή του Μελισσοχωρίου η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία φτάνει τους -7°C, ενώ η μέση ετήσια θερμοκρασία διαμορφώνεται στους 15°C περίπου. Η επιθυμητή από τους ιδιοκτήτες θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων ήταν 21° C. Για

Γεωτεκτονικά, η περιοχή που εγκαταστάθηκε το σύστημα ΓΑΘ ανήκει στη Ζώνη Αξιού, υποζώνη Παιονίας και συγκεκριμένα στην Ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη. Το οικόπεδο που βρίσκεται η κατοικία είναι πάνω στον ασβεστιτικό φλύσχη της ομάδας Σβούλας (Εικόνα 6).



- Μία ανώτερη σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιόλιθους ηλικίας Λιασίου-Δογγερίου. Αποτελείται από ιζήματα που έχουν μεταμορφωθεί (πράσινους και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους, ψαμμίτες, μικροκροκαλοπαγή, κερατόλιθους –

χαλαζίτες) σε συνδυασμό με οφιολιθικά μέλη (δολερίτες, διαβάσεις και μικρολιθικά πυριγενή).

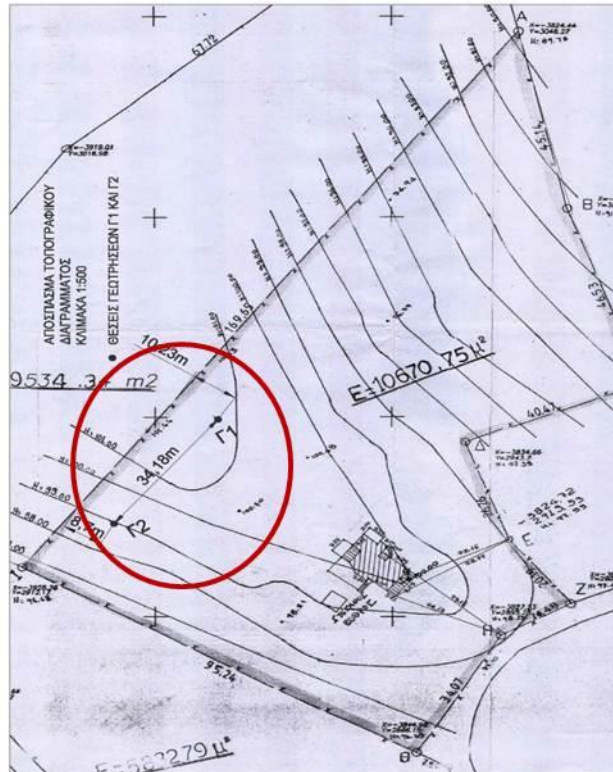
- Μία κατώτερη ιζηματογενή σειρά ηλικίας Μ. Τριαδικού – Λιασίου και αποτελείται από ένα ανώτερο λεπτό ασβεστολιθικό στρώμα με απολιθώματα Λιασίου και από ένα κατώτερο στρώμα μαρμαροειδούς ασβεστόλιθου του Τριαδικού.

3.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΟΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Για την υλοποίηση του έργου και την τοποθέτηση του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη ανοικτού τύπου, κατασκευάστηκαν δύο γεωτρήσεις (Εικόνα 7), μία παραγωγική και μία επανεισπαγωγής, βάθους 150m η κάθε μία, με απόσταση μεταξύ τους 34,18m (Εικόνα 8). Ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας εντοπίστηκε σε βάθος 83m.



Εικόνα 7. Εργασίες κατασκευής των γεωτρήσεων στην περιοχή Μελισσοχωρίου



Εικόνα 8. Θέσεις των γεωτρήσεων (Γ1, Γ2) που κατασκευάστηκαν για την τοποθέτηση του γεωεναλλάκτη

Οι γεωτρήσεις έχουν διάμετρο 170mm με σωλήνωση διαμέτρου 6 & 5/8'' και 4mm πάχος. Αμέσως μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό της γεωτρήσεων, τοποθετήθηκαν τα απαραίτητα αντλητικά συγκροτήματα. Η θερμοκρασία του αντλούμενου νερού είναι 15-16°C, ενώ η θερμοκρασία επανεισαγωγής 11-12°C. Η απαιτούμενη παροχή, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της αντλίας θερμότητας είναι 7 m³/h. Το οριζόντιο δίκτυο σωληνώσεων αποτελεί συνέχεια του κατακόρυφου δικτύου και το συνδέει με τους συλλέκτες στο μηχανοστάσιο.

Η αντλία θερμότητας που τοποθετήθηκε είναι τύπου TERRA HGL 30 S/W, η οποία αποδίδει 37,4 kW θερμική ισχύ με μέγιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύς 7 kW.

3.1.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος αξιοποίησης αβαθούς γεωθερμίας στο συγκεκριμένο έργο έφτασε στα 32.000€. Η εγκατάσταση λειτουργεί άρτια από το 2009, χωρίς να έχει παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα.

3.1.4 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η εγκατάσταση θέρμανσης με αντλία θερμότητας και την βοήθεια γεωεναλλάκτη έχει το πλεονέκτημα του πολύ καλού βαθμού απόδοσης $COP = 4,5 - 6$, διότι ο γεωεναλλάκτης παρέχει τη δυνατότητα παροχής θερμοκρασιών πολύ κοντά στις επιθυμητές θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων. Ένα αντίστοιχο σύστημα αντλίας θερμότητας που λειτουργεί με ατμοσφαιρικό αέρα (κλιματιστικό) θα είχε πολύ χαμηλότερο COP. Στους παρακάτω Πίνακες παρατίθενται στοιχεία σύγκρισης του κόστους λειτουργίας ενός συστήματος ΓΑΘ με σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και ψύξης με κοινό κλιματιστικό.

Πίνακας 1. Σύγκριση ετήσιου κόστους θέρμανσης μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

Κόστος Θέρμανσης

Καυστήρας Πετρελαίου		Αντλία Θερμότητας	
Απόδοση Καυστήρα	80	COP	6
Απόδοση Ισχύος Πετρελαίου	11 kWh/lt.	Κατανάλωση Ρεύματος	6.229 kWh
Κατανάλωση Πετρελαίου	4.247 lt.	Τιμή Ρεύματος	0,18 €
Κατανάλωση Ρεύματος Καυστήρα	100 kWh	Κόστος Ρεύματος	1.121 €
Τιμή Πετρελαίου	1 €	Κόστος Σέρβις	50 €
Τιμή Ρεύματος	0,18 €	Συνολικό Κόστος ανά Έτος	
Κόστος Πετρελαίου	4.247 €	1.171 €	
Κόστος Ρεύματος	18 €		
Κόστος Σέρβις	50 €		
Συνολικό Κόστος ανά Έτος			
4.315 €			

Πίνακας 2. Σύγκριση ετήσιου κόστους ψύξης μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

Κόστος Ψύξης

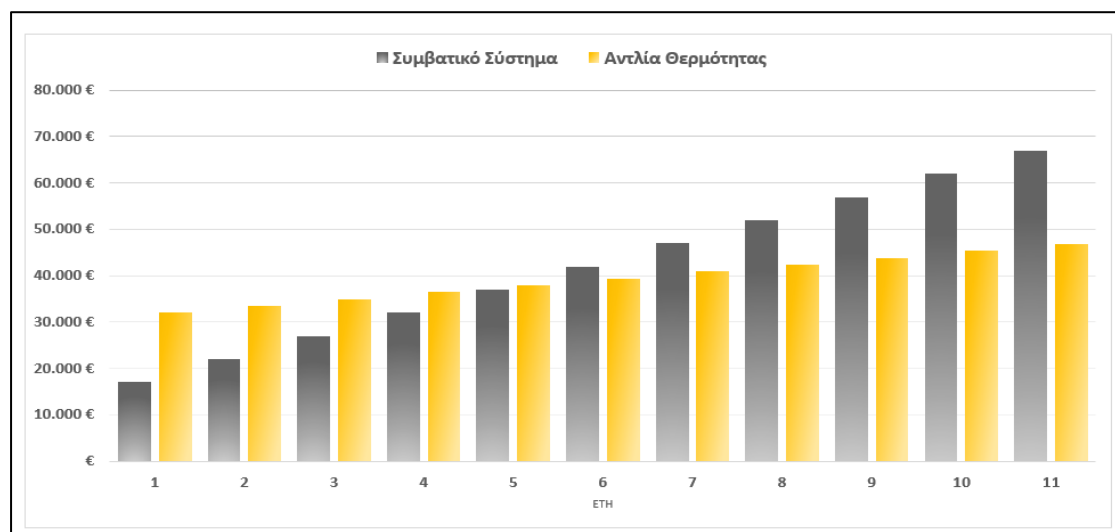
Κλιματιστικό		Αντλία Θερμότητας	
COP	2,5	COP	6
Κατανάλωση Ρεύματος	3.478 kWh	Κατανάλωση Ρεύματος	1.449 kWh
Τιμή Ρεύματος	0,18 €	Τιμή Ρεύματος	0,18 €
Κόστος Ρεύματος	626 €	Κόστος Ρεύματος	261 €
Κόστος Σέρβις	50 €	Κόστος Σέρβις	50 €
Συνολικό Κόστος ανά Έτος		Συνολικό Κόστος ανά Έτος	
676 €		311 €	

Πίνακας 3. Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας από τη χρήση ΓΑΘ

Οικονομία Θέρμανσης ανά Έτος	3143,94 €	72,9%
Οικονομία Ψύξης ανά Έτος	365,21 €	54,0%
Συνολική Οικονομία ανά Έτος	3509,15 €	70,3%

3.1.5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, και λαμβάνοντας υπόψη ότι η εγκατάσταση ενός συμβατικού συστήματος φτάνει τις 15.000€, ο χρόνος απόσβεσης υπολογίστηκε περίπου στα πέντε (5) έτη (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Σύγκριση κόστους λειτουργίας ανά έτος μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

3.2 ΚΑΤΑΣΤΗΜΑ SUPER MARKET METRO (Ν. ΠΕΛΛΑΣ)



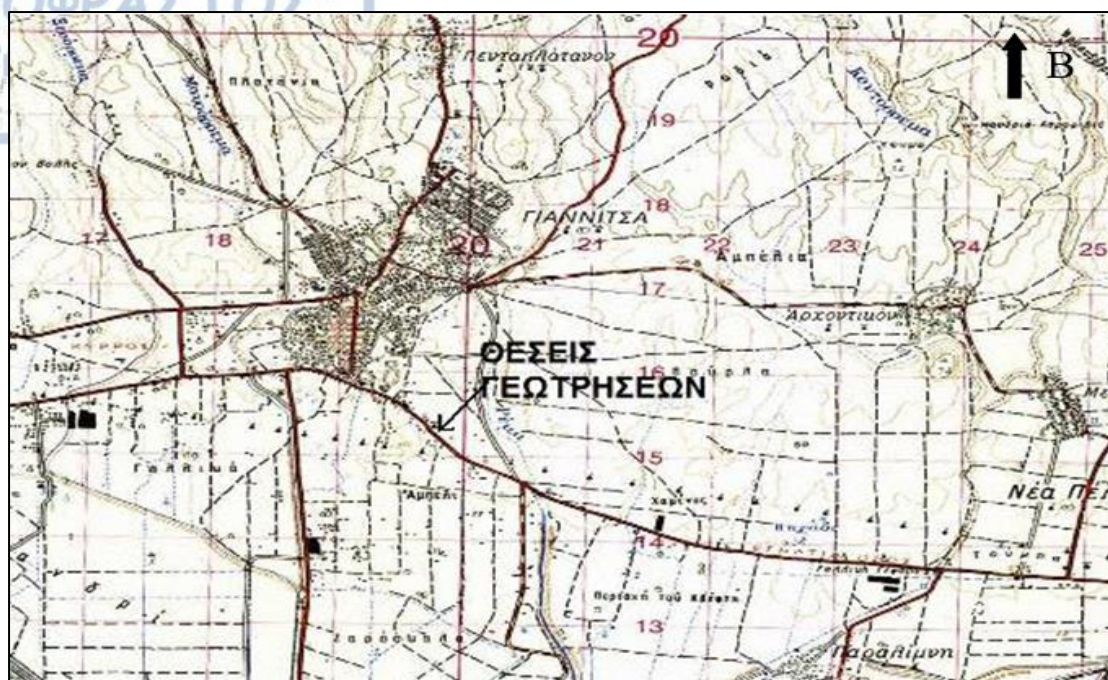
Εικόνα 10. Κατάστημα Super Market METRO στην περιοχή Γιαννιτσών (Δ. Πέλλας) στην οποία εγκαταστάθηκε σύστημα ΓΑΘ

Ο χώρος εγκατάστασης του συστήματος ΓΑΘ βρίσκεται νότιο-ανατολικά της πόλης των Γιαννιτσών (Ν. Πέλλας). Πρόκειται για ένα μονώροφο κτίριο με συνολική επιφάνεια 1850 m^2 (Εικόνα 10). Η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία φτάνει τους $-1,8^\circ\text{C}$ ενώ η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 15°C . Η επιθυμητή θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων είναι 21°C . Για τη θέρμανση/ψύξη του κτιρίου τοποθετήθηκε ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος με κατακόρυφο γεωεναλλάκτη.

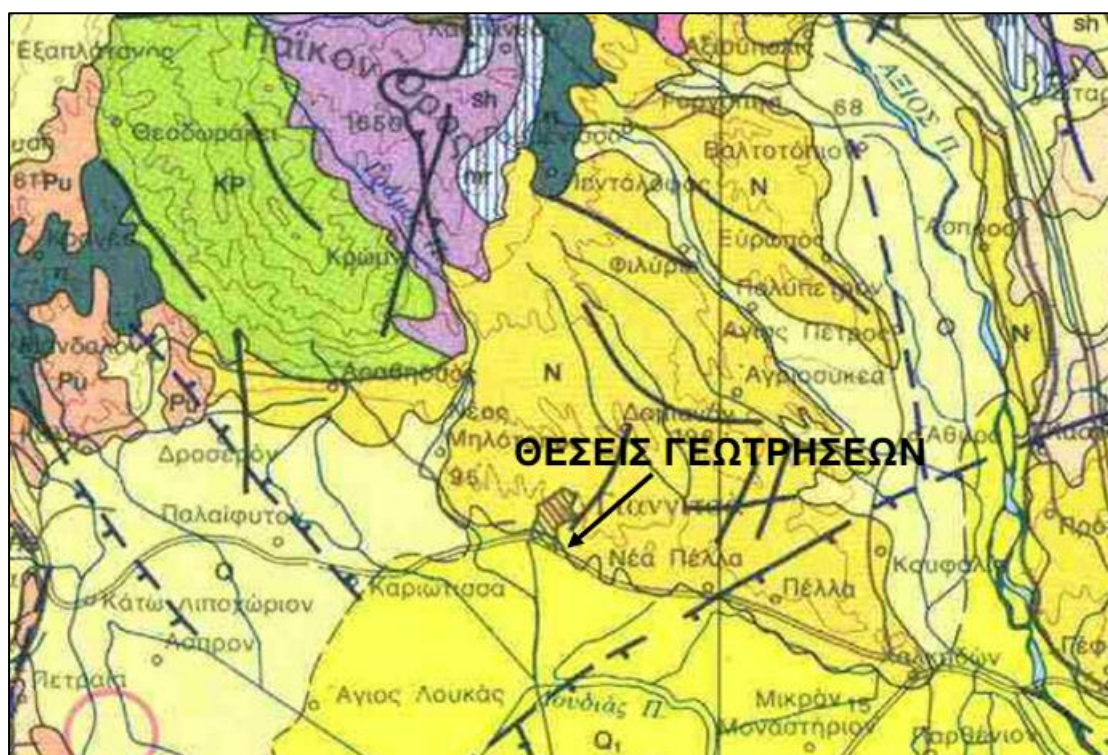
3.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης ανήκει στη ζώνη Παιονίας (μία από τις τρεις εσωτερικές ζώνες της ζώνης Αξιού) και συγκεκριμένα στην ενότητα Βαφειοχωρίου.

Το οικόπεδο που είναι κτισμένο το εν λόγω κτίριο βρίσκεται στην αργιλοαμμώδη – ψαμμιτομαργαϊκή σειρά (λιμναίας φάσης) του Νεογενούς, όπου αποτελείται κυρίως από αργιλόχυες κίτρινες άμμους, μάργες και ψαμμίτες (Εικόνα12)



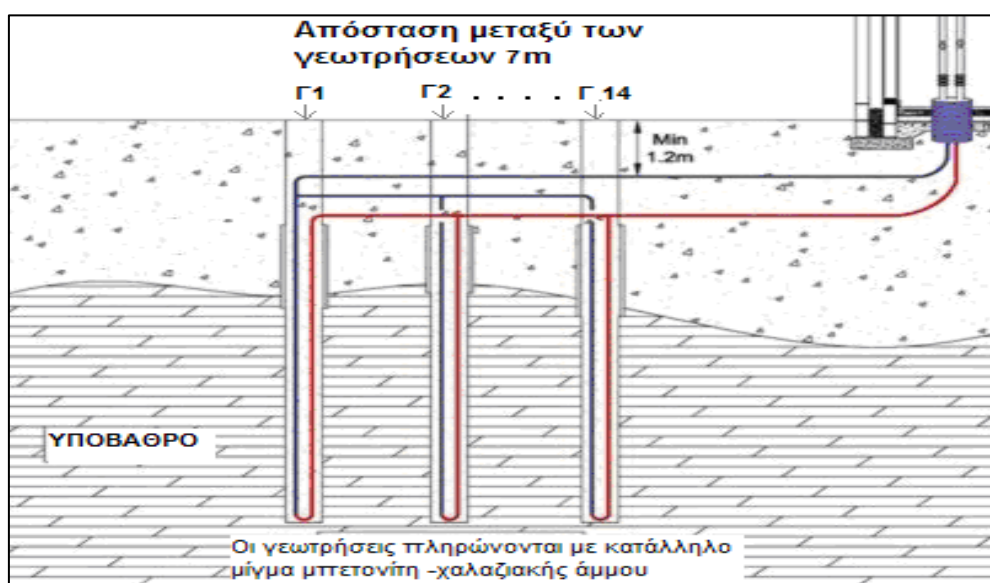
Εικόνα 11. Τοπογραφικός χάρτης Γ.Υ.Σ κλίμακας 1:50.000 ΦΥΛΛΟ «ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ» με τις θέσεις των γεωτρήσεων (Γ.Υ.Σ., 1980)



Εικόνα 12. Απόσπασμα από τον «ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΧΑΡΤΗ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ» κλίμακας 1:500.000 (ΓΓΜΕ, 1989)

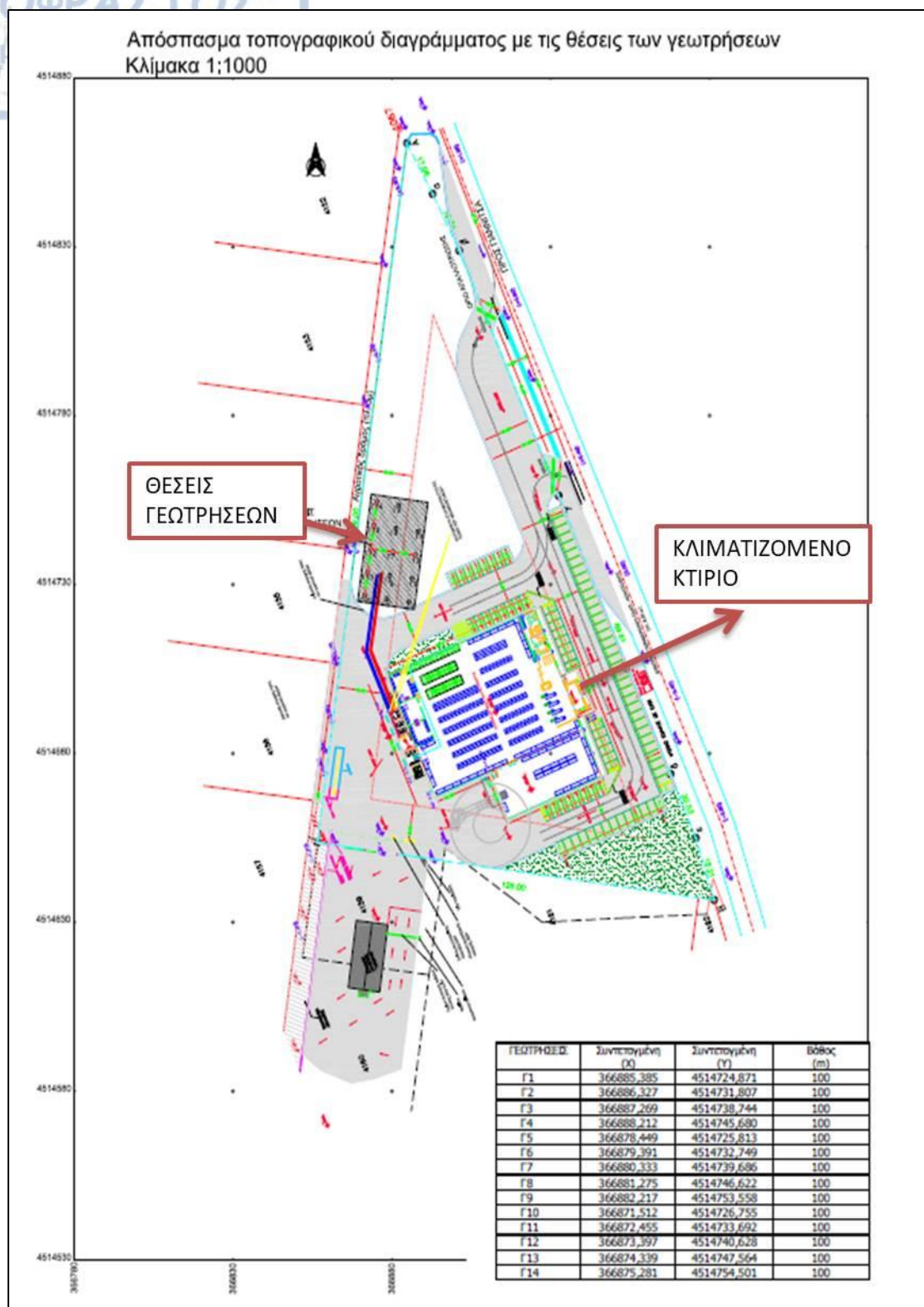
3.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Για τη θέρμανση – ψύξη των χώρων του καταστήματος τοποθετήθηκε σύστημα κατακόρυφου γεωεναλλάκτη κλειστού τύπου. Για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του κτιρίου κατασκευάστηκαν δεκατέσσερις (14) γεωτρήσεις, διαμέτρου 170mm και βάθους 100m η κάθε μία, με απόσταση μεταξύ τους 7m (Εικόνα 13). Οι γεωτρήσεις βρίσκονται βόρεια του κτίσματος, σε κοντινή απόσταση από αυτό, για να είναι εύκολη η οδήγηση των σωλήνων στο χώρο που υπάρχει το μηχανοστάσιο με την αντλία θερμότητας (Εικόνα 14).



Εικόνα 13. Σκαρίφημα της διάταξης των γεωτρήσεων σε τομή

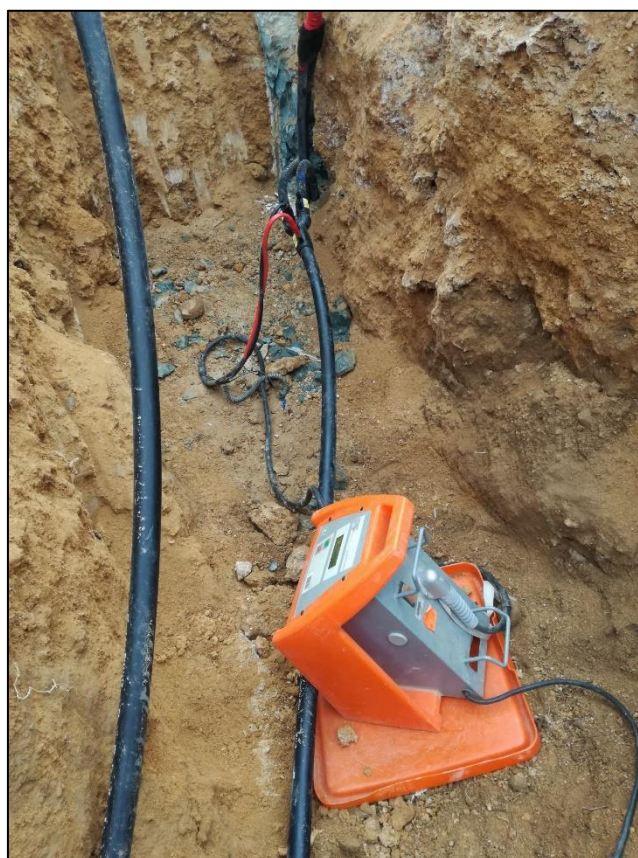
Οι γεωεναλλάκτες συνδέονται με αντλία θερμότητας TERRA MAX 90 (Εικόνα15) και αυτή με το πρωτεύον κύκλωμα των FAN COILS. Η σύνδεση των κατακόρυφων και οριζόντιων σωληνώσεων φαίνεται στην Εικόνα 16. Οι οριζόντιες σωληνώσεις συνδέουν το κατακόρυφο δίκτυο με τους συλλέκτες γεωτρήσεων στο μηχανοστάσιο (Εικόνα 17). Στο κύκλωμα αυτό, δεν χρησιμοποιείται υπόγειο νερό, ενώ το υγρό του γεωεναλλάκτη κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα.



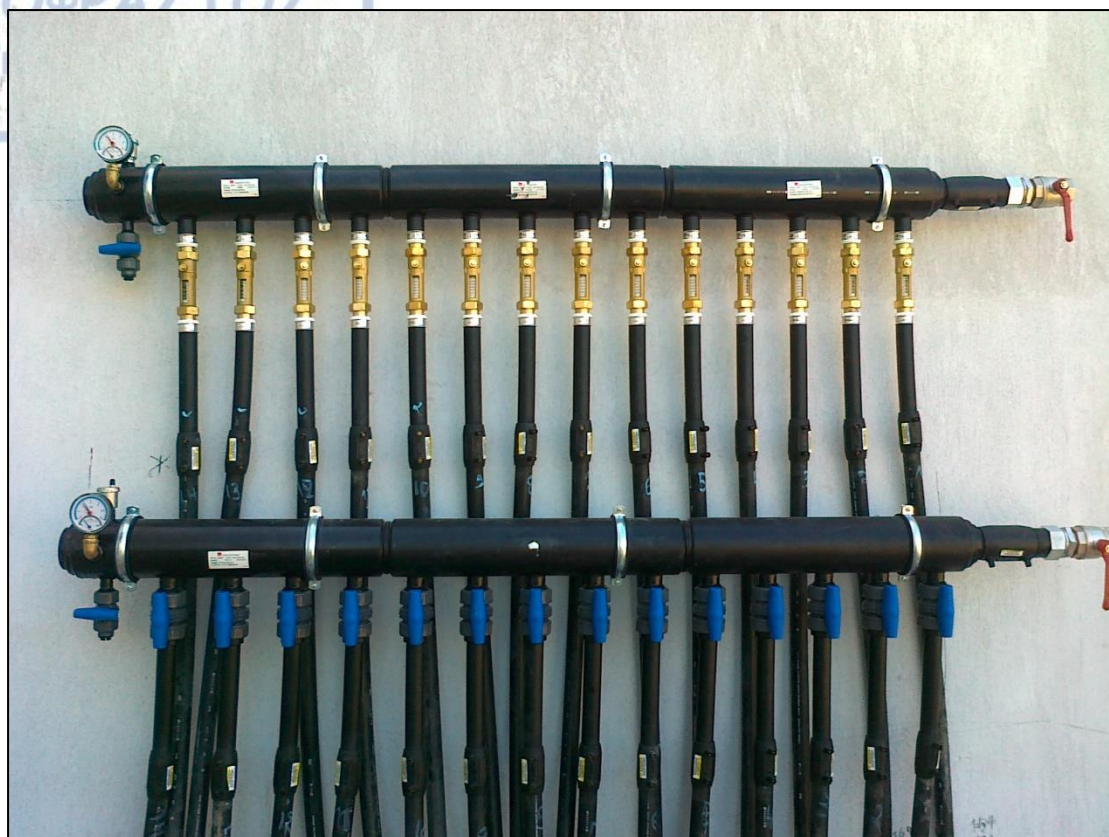
Εικόνα 14. Θέσεις των γεωτρήσεων (Γ1 – Γ14), που χρησιμοποιήθηκαν για την τοποθέτηση των κατακόρυφων, κλειστού τύπου γεωεναλλακτών στην περιοχή Γιαννιτσών.



Εικόνα 15. Αντλία θερμότητας για θέρμανση- ψύξη.



Εικόνα 16. Σύνδεση του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη με το οριζόντιο κύκλωμα



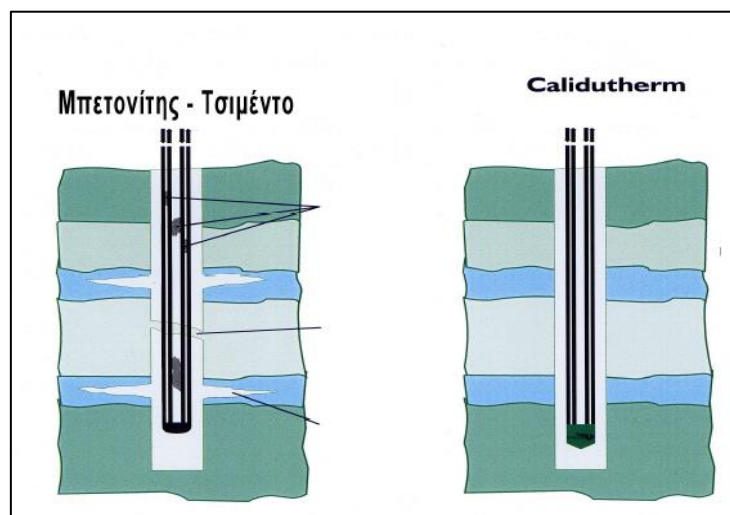
Εικόνα 17. Συλλέκτης γεωτρήσεων κλειστού κατακόρυφου κυκλώματος.

Η ανόρυξη των γεωτρήσεων έγινε με μηχανικό γεωτρύπανο (Εικόνα 18) με κυκλοφορία πολτού, και η διάτρηση πραγματοποιήθηκε με κοπτικό διαμέτρου 7'' , μέχρι το τελικό βάθος των 100m. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε και εκσκαφέας για την διαμόρφωση του χώρου και των λάκκων διαστάσεων 5x5x1,5m, μέσα στους οποίους γίνεται η απόθεση των αδρομερών υλικών της κάθε μίας γεώτρησης.

Οι εργασίες του έργου ολοκληρώθηκαν σε 20 περίπου ημέρες. Μετά το πέρας των διατρήσεων, τοποθετήθηκαν στις οπές οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες, δηλαδή τετραπλή σωλήνωση πολυαιθυλενίου PE-100 με διατομή $\Phi 32 \times 2.9$ mm και εξαρτήματα ίδιου υλικού. Στη συνέχεια, οι οπές πληρώθηκαν με το υλικό CALIDUTHERM της Terra Calidus GmbH (μίγμα ειδικού τσιμέντου – μπεντονίτη – χαλαζιακής σκόνης), το οποίο είναι θερμοδιαπερατό με συντελεστή θερμοπερατότητας $k = 1,8 \text{ W/K m}^2$ και διασφαλίζει την απορρόφηση της θερμοκρασίας του υπεδάφους χωρίς τη δημιουργία κενών αέρος (Εικόνες 19, 20 ,21).



Εικόνα 18. Εργασίες κατά τη φάση διάνοιξης των γεωτρήσεων (Γιαννιτσά, Ν. Πέλλας)



Εικόνα 19. Αριστερά: Πλήρωση των γεωτρήσεων με μίγμα μπετονίτη-νερού. Δεξιά: Πλήρωση των γεωτρήσεων με ειδικό θερμοδιαπερατό υλικό (Calidutherm). Ομοιόμορφη κατανομή σε όλη την επιφάνεια της γεώτρησης, χωρίς διαφυγές σε στρώματα νερού (Πηγή: <https://www.terra-calidus.de>).



Εικόνα 20. Πλήρωση της γεώτρησης με το υλικό CALIDUTHERM μετά από την τοποθέτηση του γεωεναλλάκτη.



Εικόνα 21. Η οπή της γεώτρησης μετά την πλήρωσή της με το θερμοδιαπερατό υλικό.

Το υγρό που κυκλοφορεί στο κλειστό κύκλωμα των γεωεναλλακτών αποτελείται από μίγμα νερού και προπυλενογλυκόλης (propylene glycol), σε κατάλληλη αναλογία (30% προπυλενογλυκόλη – 70% νερό). Η προπυλενογλυκόλη είναι αντιψυκτικό, το οποίο, εξαιτίας του χαμηλού σημείου πήξεως της ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$), παρεμποδίζει την πήξη του νερού σε χαμηλές θερμοκρασίες και την εξάτμισή του σε υψηλές θερμοκρασίες.

Το κατάστημα που έπρεπε να κλιματιστεί είναι ισόγειο, εμβαδού 1850m^2 και ύψους περίπου $4,8\text{m}$. Το εσωτερικό σύστημα θέρμανσης αποτελείται από αερόθερμα (fan coils) οροφής (Εικόνα22). Η μέγιστη ζήτηση των χώρων σε θερμική ισχύ είναι $98,949\text{ KW}$.



Εικόνα 22. Αερόθερμα Fan Coils νερού οροφής για θέρμανση – ψύξη στο κατάστημα ΜΕΤΡΟ.

3.2.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος αξιοποίησης αβαθούς γεωθερμίας στο συγκεκριμένο έργο έφτασε στα 93.000€ , ενώ η εγκατάσταση είναι σε ισχύ ήδη από το 2012 και δεν έχει παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα.

3.2.4 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ο Συντελεστής Απόδοσης (COP) της αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιήθηκε κυμαίνεται από 4.5 έως 6. Η εγκατάσταση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας οδήγησε σε σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων έναντι οποιουδήποτε άλλου συμβατικού συστήματος θέρμανσης. Στους παρακάτω Πίνακες φαίνονται αναλυτικά τα στοιχεία σύγκρισης του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας και ενός συστήματος που λειτουργεί με πετρέλαιο.

Πίνακας 4. Σύγκριση ετήσιου κόστους θέρμανσης μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

Κόστος Θέρμανσης

Καυστήρας Πετρελαίου		Αντλία Θερμότητας	
Απόδοση Καυστήρα	80	COP	5,7
Απόδοση Ισχύος Πετρελαίου	11 kWh/lt.	Κατανάλωση Ρεύματος	34.079 kWh
Κατανάλωση Πετρελαίου	22.074 lt.	Τιμή Ρεύματος	0,18 €
Κατανάλωση Ρεύματος Καυστήρα	100 kWh	Κόστος Ρεύματος	6.134 €
Τιμή Πετρελαίου	1 €	Κόστος Σέρβις	50 €
Τιμή Ρεύματος	0,18 €	Συνολικό Κόστος ανά Έτος	
Κόστος Πετρελαίου	22.074 €	6.184 €	
Κόστος Ρεύματος	18 €		
Κόστος Σέρβις	50 €		
Συνολικό Κόστος ανά Έτος			
22.142 €			

Πίνακας 5. Σύγκριση ετήσιου κόστους ψύξης μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

Κόστος Ψύξης

Κλιματιστικό		Αντλία Θερμότητας	
COP	2,5	COP	5,7
Κατανάλωση Ρεύματος	38.850 kWh	Κατανάλωση Ρεύματος	17.039 kWh
Τιμή Ρεύματος	0,18 €	Τιμή Ρεύματος	0,18 €
Κόστος Ρεύματος	6.993 €	Κόστος Ρεύματος	3.067 €
Κόστος Σέρβις	50 €	Κόστος Σέρβις	50 €
Συνολικό Κόστος ανά Έτος		Συνολικό Κόστος ανά Έτος	
7.043 €		3.117 €	

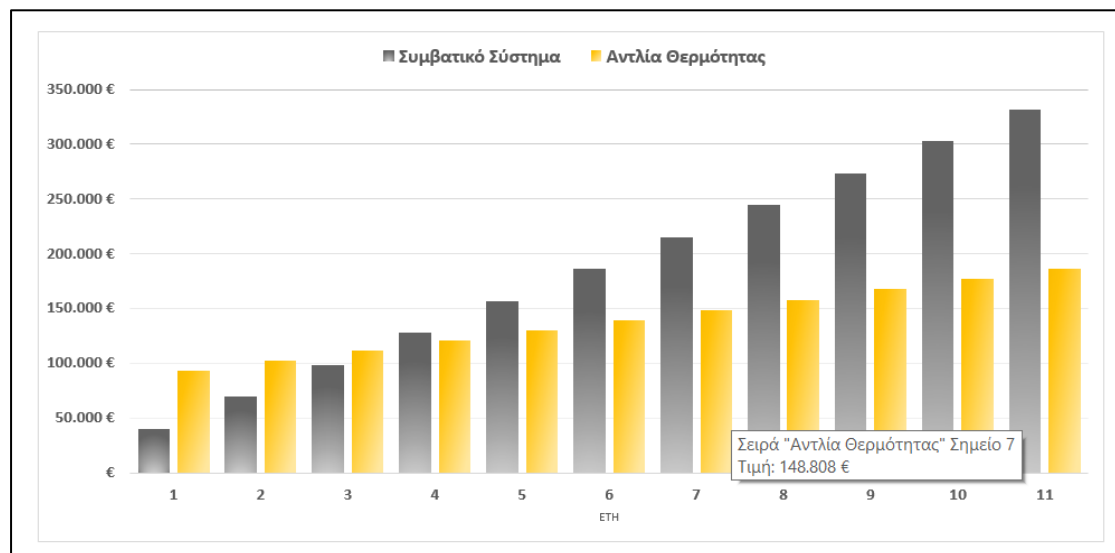
Πίνακας 6. Ετήσια διαφορά κόστους μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

Οικονομία Θέρμανσης ανά Έτος	15.957,65 €	72,1%
Οικονομία Ψύξης ανά Έτος	3.925,89 €	55,7%

Συνολική Οικονομία ανά Έτος	19.883,55 €	68,1%
-----------------------------	-------------	-------

3.2.5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, και λαμβάνοντας υπόψη ότι η εγκατάσταση ενός συμβατικού συστήματος φτάνει τις 40.000€, ο χρόνος απόσβεσης υπολογίστηκε περίπου στα τέσσερα (4) έτη (Εικόνα23).



Εικόνα23. Σύγκριση αθροιστικού κόστους λειτουργίας ανά έτος μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

3.3 ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟ ΣΤΟ ΜΕΤΣΟΒΟ (Ν. ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ)

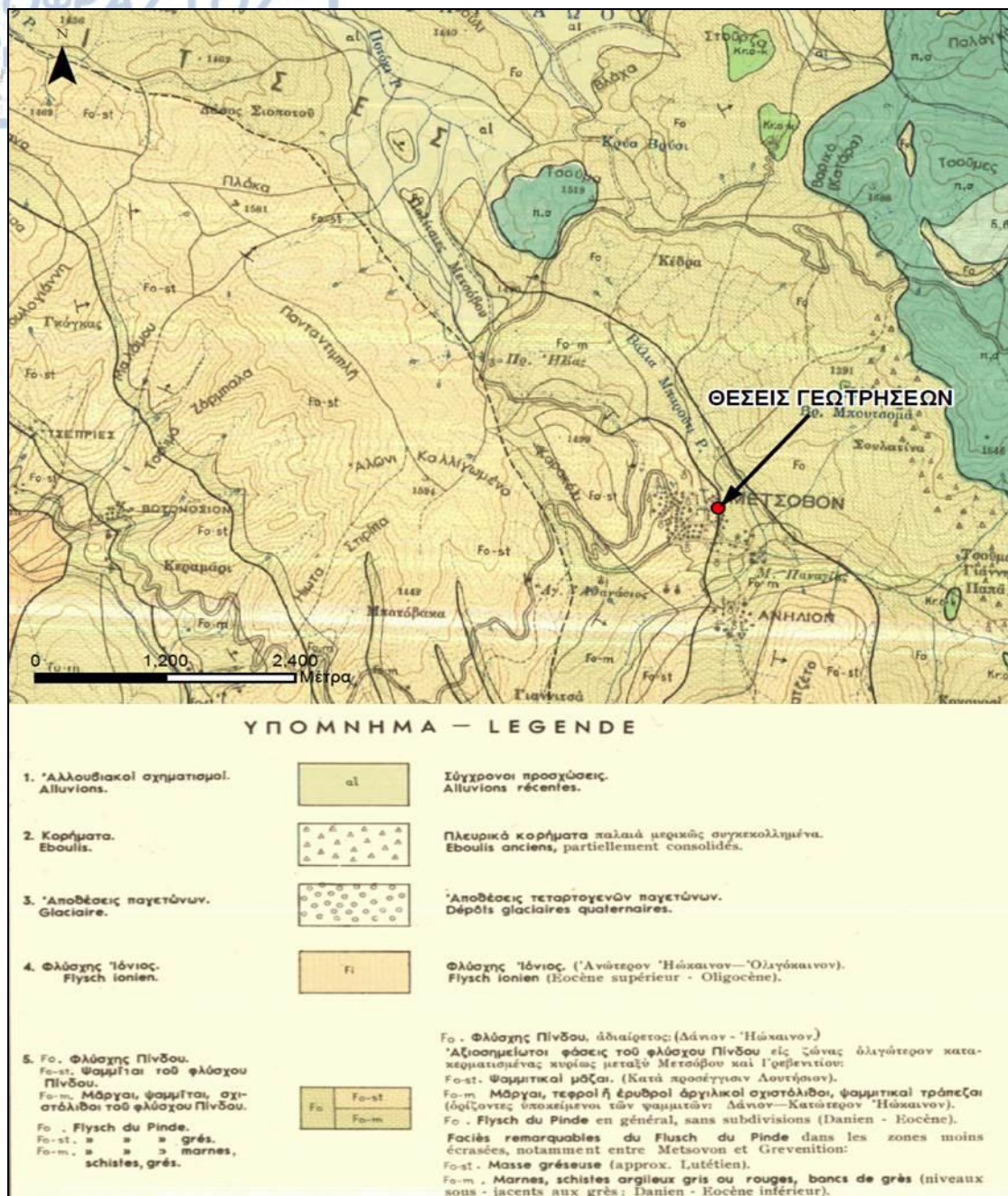


Εικόνα 24. Ξενοδοχείο στο Μέτσοβο (Ν. Ιωαννίνων) στο οποία εγκαταστάθηκε σύστημα ΓΑΘ

Το ξενοδοχείο στο οποίο εγκαταστάθηκε το σύστημα αξιοποίησης της αβαθούς γεωθερμίας βρίσκεται στο ΝΑ άκρο της κομόπολης του Μετσόβου (Ν. Ιωαννίνων). Πρόκειται για ένα πέτρινο τριώροφο κτίριο με συνολική επιφάνεια 1260m². Η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία στο Μέτσοβο φτάνει τους -12° C , ενώ η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι περίπου 15 °C. Η επιθυμητή θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων είναι 21° C. Για τη θέρμανση/ψύξη του κτιρίου τοποθετήθηκε σύστημα ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος με κατακόρυφο σύστημα γεωεναλλάκτη

3.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή του Μετσόβου ανήκει στη γεωτεκτονική Ζώνη Πίνδου, όπου κυριαρχεί ο φλύσχος της Πίνδου και αποτελείται κυρίως από ψαμμιτικές μάργες του Λουτήσιου (Εικόνα 25).



Εικόνα 25. Απόσπασμα από τον Γεωλογικό χάρτη ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000 (Φύλλο ΜΕΤΣΟΒΟ), όπου διακρίνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων.

3.3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Το σύστημα ΓΑΘ που εγκαταστάθηκε στο ξενοδοχείο αφορά τον κλιματισμό του καθ' όλη τη διάρκεια του έτους αλλά και την παροχή ζεστού νερού χρήσης με θερμοκρασία 42-55 °C. Για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης-ψύξης κατασκευάστηκαν δώδεκα (12) γεωτρήσεις και άλλες τρεις (3) για την παροχή ζεστού νερού. Οι γεωτρήσεις έχουν βάθος 100m η κάθε μία, και διαμέτρου 170mm. Η μεταξύ τους αξονική απόσταση είναι 7m. Βρίσκονται ΒΑ του κτίσματος, σε κοντινή

απόσταση από αυτό. Λόγω σαθρότητας του επιφανειακού εδάφους, χρησιμοποιήθηκαν περιφραγματικοί σωλήνες μήκους 6m (Εικόνα26). Τοποθετήθηκαν δύο αντλίες θερμότητας, η μεγάλη TERRA MAX 70 μόνο για θέρμανση – ψύξη, ενώ η μικρή TERRA SW 30 μόνο για την χρήση ζεστού νερού (Εικόνα 27 & 28).



Εικόνα 26. Γεώτρηση μετά την πλήρωση της με το θερμοδιαπερατό υλικό, όπου διακρίνεται και ο περιφραγματικός σωλήνας



Εικόνα 27. Η μικρή αντλία θερμότητας TERRA SW 30 (30 kW), η οποία χρησιμοποιείται μόνο για παροχή ζεστού νερού.



Εικόνα 28. Η μεγάλη αντλία θερμότητας TERRA MAX 70 (70 kW), η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση – ψύξη.

3.2.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος αξιοποίησης αβαθούς γεωθερμίας στο συγκεκριμένο έργο έφτασε στα 105.000€, ενώ η εγκατάσταση βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία ήδη από το 2010, χωρίς έχει παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα.

3.2.4 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Στους παρακάτω Πίνακες παρατίθενται στοιχεία σύγκρισης του κόστους θέρμανσης/ψύξης με ΓΑΘ και με λέβητα πετρελαίου/κοινό κλιματιστικό, αντίστοιχα. Η συνολική ετήσια εξοικονόμηση είναι περίπου 70%.

Πίνακας 7. Σύγκριση ετήσιου κόστους θέρμανσης μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

Κόστος Θέρμανσης

Καυστήρας Πετρελαίου		Αντλία Θερμότητας	
Απόδοση Καυστήρα	80	COP	5,7
Απόδοση Ισχύος Πετρελαίου	11 kWh/lt.	Κατανάλωση Ρεύματος	24.185 kWh
Κατανάλωση Πετρελαίου	15.665 lt.	Τιμή Ρεύματος	0,18 €
Κατανάλωση Ρεύματος Καυστήρα	100 kWh	Κόστος Ρεύματος	4.353 €
Τιμή Πετρελαίου	1 €	Κόστος Σέρβις	50 €
Τιμή Ρεύματος	0,18 €	Συνολικό Κόστος ανά Έτος	
Κόστος Πετρελαίου	15.665 €	4.403 €	
Κόστος Ρεύματος	18 €		
Κόστος Σέρβις	50 €		
Συνολικό Κόστος ανά Έτος			
15.733 €			

Πίνακας 8. Σύγκριση ετήσιου κόστους ψύξης μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

Κόστος Ψύξης

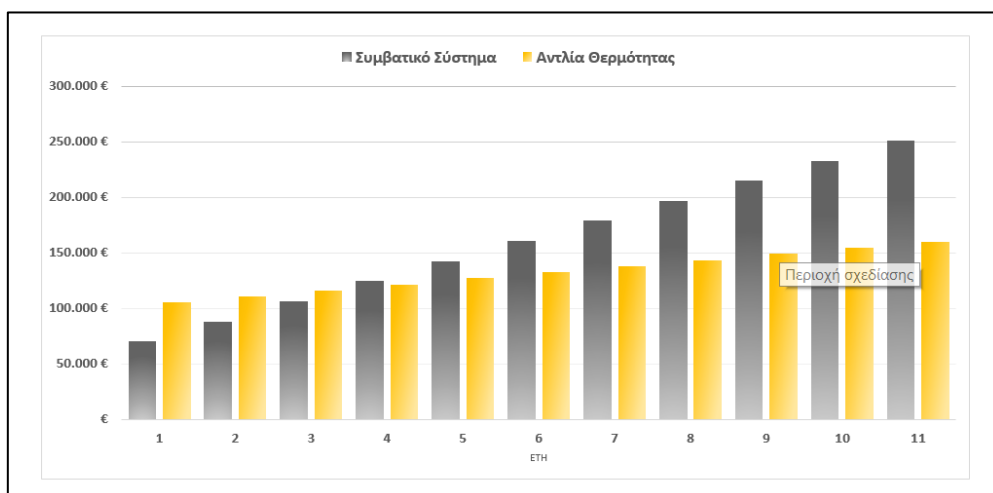
Κλιματιστικό		Αντλία Θερμότητας	
COP	2,5	COP	5,7
Κατανάλωση Ρεύματος	12.852 kWh	Κατανάλωση Ρεύματος	5.637 kWh
Τιμή Ρεύματος	0,18 €	Τιμή Ρεύματος	0,18 €
Κόστος Ρεύματος	2.313 €	Κόστος Ρεύματος	1.015 €
Κόστος Σέρβις	50 €	Κόστος Σέρβις	50 €
Συνολικό Κόστος ανά Έτος		Συνολικό Κόστος ανά Έτος	
2.363 €		1.065 €	

Πίνακας 9. Ετήσια διαφορά συνολικού κόστους μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας

Οικονομία Θέρμανσης ανά Έτος	11.330,10 €	72,0%
Οικονομία Ψύξης ανά Έτος	1.298,73 €	55,0%
Συνολική Οικονομία ανά Έτος	12.628,83 €	69,8%

3.2.5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, και λαμβάνοντας υπόψη ότι η εγκατάσταση ενός συμβατικού συστήματος φτάνει τις 70.000€, ο χρόνος απόσβεσης υπολογίστηκε περίπου στα τρία (3) έτη (Εικόνα 29).



Εικόνα 29. Σύγκριση αθροιστικού κόστους λειτουργίας ανά έτος μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορεί να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης – ψύξης ενός κτιρίου αλλά και τη ζήτηση ζεστού νερού χρήσης.

Τα βασικά πλεονεκτήματα μιας εγκατάστασης ΓΑΘ είναι τα κάτωθι:

- Δεν γίνεται καύση, δεν παράγονται ρύποι και διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα δυσμενή αέρια, που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα και συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Υπάρχει αρμονία με το περιβάλλον (χωρίς ρύπους, σκόνες, μυρωδιές και καπνό), αφού η οπτική όχληση παύει μετά το πέρας των εργασιών εγκατάστασης.
- Δεν υπάρχει εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα και φυσικό αέριο (εισαγόμενοι πόροι)
- Η λειτουργία των συστημάτων αυτών είναι ασφαλής και αθόρυβη
- Γίνεται μεγάλη εξοικονόμηση χώρου, εφόσον απαιτείται συνήθως μία μικρή και συμπαγής γεωθερμική αντλία θερμότητας, ενώ καταργούνται δεξαμενή καυσίμων και καμινάδες
- Μεγάλη εξοικονόμηση κόστους λειτουργίας (60-80% λιγότερο σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης – ψύξης)
- Μηδαμινό κόστος συντήρησης
- Υπεραξία του ακινήτου εξαιτίας της ιδιόκτητης πηγής ενέργειας

Οι εφαρμογές που παρουσιάστηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία αφορούν τρεις περιπτώσεις με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά το είδος του κτιρίου (μονοκατοικία, κατάστημα SM και ξενοδοχείο), τη γεωγραφική τους θέση και το υψόμετρο (ημιορεινή, πεδινή και ορεινή περιοχή) και, φυσικά, τις θερμικές τους ανάγκες.

Τα συστήματα γεωεναλλακτών που εγκαταστάθηκαν περιλαμβάνουν ανοικτού και κλειστού τύπου κατακόρυφες διατάξεις, που προϋποθέτουν τη διάνοιξη μίας ή περισσότερων γεωτρήσεων. Συνέπεια αυτού ήταν το σχετικά υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης που κυμάνθηκε από 32.000 έως 105.000 ευρώ, ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου, τον αριθμό των γεωτρήσεων, τον τύπο των αντλιών θερμότητας κλπ.



Τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από τη λειτουργία των τριών αυτών εγκαταστάσεων, συνοψίζονται στα εξής:

- Και οι τρεις εγκαταστάσεις λειτουργούν άρτια εδώ και αρκετά χρόνια, χωρίς να έχει παρουσιαστεί μέχρι στιγμής οποιοδήποτε πρόβλημα.
- Το συνολικό ετήσιο κόστος εξοικονόμησης λόγω της χρήσης των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας υπερβαίνει το 68% σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα κλιματισμού (θέρμανσης-ψύξης) των συγκεκριμένων κτιρίων.
- Το κόστος εξοικονόμησης είναι μεγαλύτερο όταν οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη. Η τελική απόδοσή τους αυξάνεται ακόμη περισσότερο όταν συνδυάζονται και με την παροχή ζεστού νερού χρήσης
- Οι χρόνοι απόσβεσης εξαρτώνται από το μέγεθος της εφαρμογής, και στην χειρότερη περίπτωση δεν ξεπερνούν τα 9 έτη μετά την έναρξη λειτουργίας του συστήματος ΓΑΘ. Στις μεγάλες εφαρμογές, ο χρόνος αυτός υποδιπλασιάζεται.

Με βάση τα παραπάνω, αποδεικνύεται το συγκριτικό πλεονέκτημα των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας έναντι οποιουδήποτε άλλου συμβατικού συστήματος θέρμανσης – ψύξης χώρων.



Ελληνική Βιβλιογραφία

Γ.Υ.Σ (1980) *Τοπογραφικός Χάρτης 1:50.000 ΦΥΛΛΟ «ΓΙΑΝΝΙΤΣΑ»*

Γιάσλα, Α., Καρλαφτή, Μ., 2012. *Γεωθερμία και Δυνατότητες Εφαρμογής της Χρήσης της Κατοικίας με Ενδοδαπέδια Θέρμανση*. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Μηχανολογίας Τομέας Ενέργειας – Περιβάλλοντος Α.Τ.Ε.Ι. Καβάλας, 13 σελ.

ΙΓΜΕ (1959). *Γεωλογικός Χάρτης 1:50.000 ΦΥΛΛΟ «ΜΕΤΣΟΒΟ»*

ΙΓΜΕ (1979). *Γεωλογικός Χάρτης 1:50.000 ΦΥΛΛΟ «ΚΙΛΚΙΣ»*

ΙΓΜΕ (1989). *«ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ» 1:500.000.*

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

Ψαρράς, Ν., 2012. *Γεωθερμία και Κλιματισμός, Θεωρία και Πρακτικοί Κανόνες*. Shape Τεχνικές Εκδόσεις, Αθήνα.

Διεθνής Βιβλιογραφία

Lindal, B. (1973). *Industrial and other applications of geothermal energy*. Geothermal Energy, UNESCO, Paris, 135-148

Διαδικτυακές Πηγές

<http://www.geoenergia.gr/>

<https://www.idm-energie.at/en>

<https://www.terra-calidus.de>

<http://www.geothermalcommunities.eu>