



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ
ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ»

ΑΧΙΛΛΕΑΣ ΠΛΑΤΙΟΠΟΥΛΟΣ

A.E.M. 4858

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Δρ. ΜΑΡΙΑ ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΥ

Ε.ΔΙ.Π. ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

Αχιλλέας Πλατιόπουλος



«ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΒΟΡΕΙΑ
ΕΛΛΑΔΑ»

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Γεωλογίας – Εργαστήριο Υδρογεωλογίας

Επιβλέπουσα:

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

© Αχιλλέας Πλατιόπουλος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωλογίας, 2020



Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας-Παραδείγματα από τη Βόρεια Ελλάδα– *Πτυχιακή Εργασία*

© Achilleas Platiopoulos, School of Geology, Dept. of Geology, 2020

All rights reserved.

Ground Source Heat Pumps-Cases from northern 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 στον συγγραφέα.

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



Στη σύγχρονη εποχή, η γεωθερμική ενέργεια, μία ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, ανακτάται και αξιοποιείται παγκοσμίως καλύπτοντας σημαντικές ενεργειακές ανάγκες. Χρησιμοποιείται, κυρίως, για ηλεκτροπαραγωγή, θέρμανση και δροσισμό εσωτερικών χώρων, παραγωγή ζεστού νερού, αφαλάτωση καθώς και σε διάφορες αγροτικές και βιομηχανικές εφαρμογές (ζήρανση, πρωίμιση αγροτικών προϊόντων κλπ), αντικαθιστώντας τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

Η αβαθής γεωθερμία, δηλαδή η ενέργεια που περιέχεται σε γεωλογικούς σχηματισμούς που βρίσκονται σε βάθη μικρότερα από 400 μ., αποτελεί τη μορφή γεωθερμικής ενέργειας που αξιοποιείται συνηθέστερα τόσο στην Ελλάδα, όσο και παντού στον κόσμο. Ένα σύστημα αβαθούς γεωθερμίας αποτελείται από μια αντλία θερμότητας, έναν γεωεναλλάκτη, μέσω του οποίου γίνονται ανταλλαγές θερμότητας με το υπέδαφος, καθώς και το εσωτερικό σύστημα διανομής της θερμότητας.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζονται και αναλύονται τρεις περιπτώσεις εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων στη Βόρεια Ελλάδα, σε κτίρια διαφορετικών χρήσεων: σε μονοκατοικία στον Δήμο Πυλαίας-Χορτιάτη του Νομού Θεσσαλονίκης, σε σχολική μονάδα στον Δήμο Άργους Ορεστικού του Νομού Καστοριάς, καθώς και σε κτίριο διοικητικών υπηρεσιών της Περιφερειακής Ενότητας Σερρών εντός της ομώνυμης πόλης.

Στην πρώτη και την τρίτη περίπτωση τοποθετήθηκαν συστήματα ανοικτού τύπου για θέρμανση/δροσισμό των κτιρίων με τη βοήθεια υδρογεωτρήσεων, ενώ, αντίθετα η δεύτερη αφορά σε σύστημα κλειστού τύπου και κατασκευή 11 γεωτρήσεων, όπου τοποθετήθηκαν οι εναλλάκτες.

Η συνολική ετήσια εξοικονόμηση από τη χρήση των παραπάνω συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας ξεπέρασε το 80% σε σχέση με τη χρήση συμβατικών μέσων κλιματισμού, όπως είναι το πετρέλαιο (θέρμανση) και το κοινό κλιματιστικό (δροσισμός).



ABSTRACT

Among other renewable energy source, geothermal energy is also being exploited worldwide to cover certain energy demands in various sectors of human activity. It is mainly used for electricity generation, indoor heating and cooling, hot water production, as well as in various industrial and agricultural applications, substituting (partially or totally) the use of conventional fuels.

Shallow geothermal energy, i.e. the energy contained in geological formations located at depths less than 400 m., is the most commonly used form of geothermal energy. A shallow geothermal system (Ground Source Heat Pump) consists of a heat pump, a geothermal heat exchanger and the indoor heat distribution system.

Three such geothermal systems are presented in this thesis, installed in buildings located in northern Greece: a house near Thessaloniki, a school unit in the Prefecture of Kastoria and in the administration building of Serres Regional Unit.

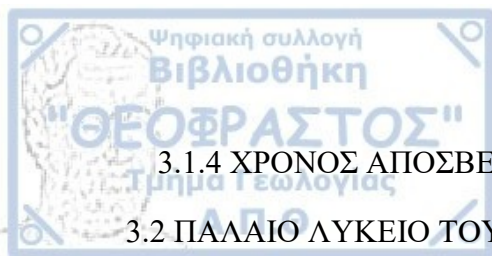
Two of them regard open loop systems (the house and the administration building), whereas a closed-loop system with 11 shallow boreholes was constructed and installed for the heating/cooling/hot water production in the school building.

In all three cases, the use of Ground Source Heat Pumps resulted in more than 80% savings compared to the use of conventional fuels (oil) and common air-condition system.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	8
1.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	9
1.3 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	11
2.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.....	11
2.2 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	12
2.3 ΤΥΠΟΙ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΓΑΘ.....	14
2.3.1 ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ	14
2.3.2 ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ	15
2.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΓΑΘ	16
2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗ	
ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ	18
3.1 ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΥΛΑΙΑΣ (ΝΟΜΟΥ	
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)	18
3.1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	19
3.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.....	22
3.1.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	23



3.1.4 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ.....	25
3.2 ΠΑΛΑΙΟ ΛΥΚΕΙΟ ΤΟΥ ΑΡΓΟΥΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟΥ (ΝΟΜΟΥ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ)	26
3.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	27
3.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	29
3.2.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	31
3.2.4 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ.....	33
3.3 ΚΤΙΡΙΟ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕΡΡΩΝ	34
3.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	35
3.3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	36
3.3.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	38
3.3.4 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	38
3.3.5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ.....	40
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42
ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ.....	Error! Bookmark not defined.
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ	42
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ	43



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο: «Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας – Παραδείγματα από τη Βόρεια Ελλάδα» εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020, στο Τμήμα Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Κύριο αντικείμενό της αποτελεί η παρουσίαση τριών περιπτώσεων εγκατάστασης και λειτουργίας συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας στην Βόρεια Ελλάδα, σε κτίρια διαφορετικής χρήσης και ενεργειακών αναγκών (κατοικία, σχολική μονάδα, κτίριο διοικητικών υπηρεσιών).

Για την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τη λειτουργία και χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στον κόσμο και την Ελλάδα, επισκέψεις στις περιοχές εγκατάστασης των συστημάτων αυτών καθώς και ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας και το όφελος που προκύπτει από τη χρήση τους.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στην Δρ. Μαρία Παπαχρήστου, ΕΔΙΠ του Τομέα Γεωλογίας του Τμ. Γεωλογίας/ΑΠΘ για την ανάθεση του θέματος, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, τη συνεχή παροχή βοήθειας και υποδείξεων καθώς και την υπομονή και το ενδιαφέρον της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας. Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο και φίλο μου Ιωάννη Σαμαρά, για τη βοήθειά του στην αναζήτηση κατάλληλης βιβλιογραφίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στους γονείς μου, για την ηθική συμπαράσταση και την οικονομική υποστήριξη που μου παρείχαν, όπως και για την αμέριστη ενθάρρυνση κατά διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η «Γεωθερμία» αποτελεί τον επιστημονικό τομέα ο οποίος ερευνά τη θερμότητα του εσωτερικού της γης, και ιδιαίτερα τις γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες που ευνοούν την ύπαρξη και τη δημιουργία γεωθερμικών συστημάτων και πεδίων, καθώς και τους τρόπους ανάκτησης και αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Ασχολείται με την κατανομή των θερμοκρασιών στο υπέδαφος, την υπόγεια κυκλοφορία και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των θερμών ρευστών και των πετρωμάτων και τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται για την εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού σε πολλές περιοχές παγκοσμίως (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).

1.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Με τον όρο «γεωθερμική ενέργεια» περιγράφεται η θερμότητα του εσωτερικού της γης, η οποία υπάρχει αποθηκευμένη στο υπέδαφος σε τεράστιες ποσότητες. Δεδομένης της πολύ αργής ψύξης του εσωτερικού τη γης καθώς και της συνεχούς παραγωγής θερμότητας λόγω διάσπασης των ραδιενεργών στοιχείων που συμμετέχουν στη σύστασή της, πρόκειται ουσιαστικά για μια ανεξάντλητη πηγή θερμότητας.

Ήδη από τον 18^ο αιώνα, είχε παρατηρηθεί ότι η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος. Ο τρόπος αύξησης της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το βάθος ονομάζεται γεωθερμική βαθμίδα, η οποία στον φλοιό της γης έχει μέση τιμή 30-33°C/km. Υπάρχουν περιοχές όπου εξαιτίας πρόσφατης ηφαιστειότητας ή ευνοϊκής τεκτονικής που διευκολύνει την άνοδο θερμών ρευστών από μεγάλα βάθη μέσω ανοικτών ρηγμάτων, η γεωθερμική βαθμίδα είναι πολλαπλάσια της μέσης γήινης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία θερμών ταμιευτήρων που περιέχουν νερό ή ατμό σε μικρό σχετικά βάθος. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται γεωθερμικά πεδία, και θεωρούνται κατάλληλες για εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας με σημαντικά οικονομικά, περιβαλλοντικά και ενεργειακά οφέλη.

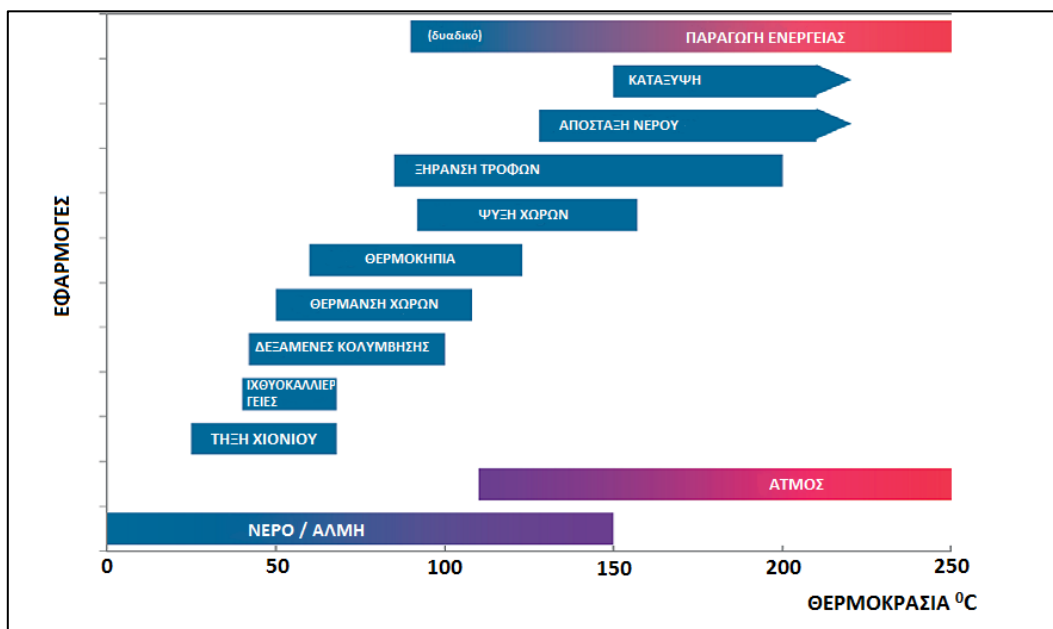
Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί, λοιπόν, μια ήπια και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία με τα σύγχρονα τεχνολογικά επιτεύγματα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες παγκοσμίως.

Σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική, αλλά και την ελληνική νομοθεσία (Νόμος 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.

Η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό, έχουν δηλαδή θερμοκρασίες μικρότερες από 30°C, αφορά στη λεγόμενη «αβαθή γεωθερμία». Σύμφωνα και με το άρθρο 2 της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2009/28/EK, η θερμο-αποθηκευτική ικανότητα των επιφανειακών στρωμάτων της Γης, δύναται να αξιοποιηθεί από τη σύγχρονη τεχνολογία, με στόχο την επίλυση των καθημερινών αναγκών για θέρμανση, κλιματισμό καθώς και παραγωγή ζεστού νερού οικονομικά και φιλικά προς το περιβάλλον (Βραχόπουλος κ.ά. 2015).

1.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία των θερμών ρευστών. Οι κυριότερες γεωθερμικές χρήσεις είναι οι εξής (Σχήμα 1.1) (www.cres.gr):



Σχήμα 1.1 Διάγραμμα γεωθερμικών χρήσεων Lindal (από Βραχόπουλος κ.ά., 2015).



- Ηλεκτροπαραγωγή
- Θέρμανση χώρων
- Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών
- Βιομηχανικές εφαρμογές όπως αφαλάτωση θαλασσινού νερού, ξήρανση αγροτικών προϊόντων κ.τ.λ.
- Λουτροθεραπεία
- Αντιπαγετική προστασία
- Ιχθυοκαλλιέργειες και υδατοκαλλιέργειες
- Κλιματισμός (θέρμανση + δροσισμός) και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

1.3 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι γεωλογικές συνθήκες στην Ελλάδα ευνόησαν τη δημιουργία πολλών γεωθερμικών πεδίων και την ανάπτυξη σημαντικού γεωθερμικού δυναμικού. Η έρευνα για τον εντοπισμό αξιοποιήσιμων γεωθερμικών ρευστών ξεκίνησε από το Ι.Γ.Μ.Ε. (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, νυν ΕΑΓΜΕ) τη δεκαετία του 1980 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα με τη συμμετοχή και άλλων ερευνητικών ιδρυμάτων και επιστημονικών φορέων.

Τα περισσότερα και πιο σημαντικά γεωθερμικά πεδία που εντοπίστηκαν στον ελληνικό χώρο βρίσκονται στο ενεργό ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη κλπ), σε νησιά του Κεντρικού και Βόρειου Αιγαίου (Εύβοια, Ικαρία, Χίος, Λήμνος, Λέσβος, Σαμοθράκη κλπ) καθώς και στη Βόρεια Ελλάδα (σε τριτογενείς τεκτονικές λεκάνες: Δέλτα Έβρου, Δέλτα Νέστου, Λεκάνη Σερρών κλπ).

Εκτός από την παραδοσιακή χρήση των θερμών νερών για λουτροθεραπεία, σε ορισμένες από αυτές τις περιοχές έχουν αναπτυχθεί και άλλες σημαντικές εφαρμογές της γεωθερμίας, όπως θέρμανση θερμοκηπίων (Νέο Εράσμιο Ξάνθης, Νέα Απολλωνία Θεσσαλονίκης, Νιγρίτα Σερρών, Πολυχνίτος Λέσβου κλπ), ξήρανση αγροτικών προϊόντων και θέρμανση εδάφους για τη πρωίμιση σπαραγγιών στο Νέο Εράσμιο και στο Μυρωδάτο της Ξάνθης, καλλιέργεια σπιρουλίνας στα Θερμά Νιγρίτας κλπ..

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Η αβαθής γεωθερμία είναι η αποθηκευμένη ενέργεια των γεωλογικών σχηματισμών (πετρωμάτων, υδροφορέων) του φλοιού της γης με τη μορφή θερμότητας, σε θερμοκρασία μικρότερη των 30°C. Περιλαμβάνει την ενέργεια που περιέχεται σε εδάφη, σε υδροφόρους ορίζοντες και σε πετρώματα που βρίσκονται σε βάθη μικρότερα από 400 μ., αν και συχνά, κυρίως στον Ελληνικό χώρο, αφορά σε βάθη μικρότερα από 150μ..

Αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, και αξιοποιείται για τον κλιματισμό χώρων (κατοικίες, εμπορικά καταστήματα, βιομηχανικά κτίρια, πισίνες κ.α.) και την παροχή ζεστού νερού χρήσης (Φυτίκας και Ανδρίτσος 2004).

2.1 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

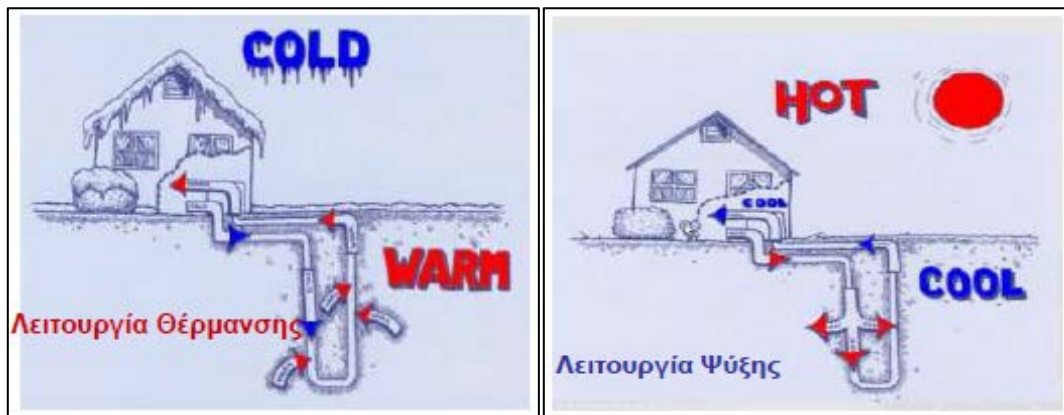
Για την εκμετάλλευση της ενέργειας που είναι αποθηκευμένη σε αβαθείς γεωλογικούς σχηματισμούς, απαιτείται η χρήση ειδικού εξοπλισμού και συγκεκριμένα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (ΓΑΘ).

Σύμφωνα με μελέτες που αφορούν στον ελληνικό χώρο, η μέση θερμοκρασία του υπεδάφους σε βάθος από 2 έως 100 μέτρα, κυμαίνεται από 16 έως 20° C (www.energoplans.com). Λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους η θερμοκρασία παραμένει πρακτικά σταθερή και ανεπηρέαστη από τη διακύμανση της εξωτερικής θερμοκρασίας. Σε μεγαλύτερα βάθη η μεταβολή της είναι ανάλογη της γεωθερμικής βαθμίδας της περιοχής. Η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας, πρακτικά επιτελείται μέσω της εκμετάλλευσης αυτής ακριβώς της σταθερής θερμοκρασίας του υπεδάφους και της υψηλής θερμοχωρητικότητας των υπόγειων υδάτων.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αποτελούν τον τεχνικό εξοπλισμό μέσω του οποίου καθίσταται δυνατή η αξιοποίηση των χαμηλών θερμοκρασιών με υψηλή αποδοτικότητα και πολύ σημαντικά ενεργειακά, οικονομικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα, αντικαθιστώντας πλήρως τη χρήση συμβατικών καυσίμων για τη θέρμανση και τον δροσισμό εσωτερικών χώρων (Σχήμα 2.1). Η γη χρησιμοποιείται ως δεξαμενή θερμότητας κατά τους χειμερινούς μήνες και ως χώρος αποθήκευσης θερμότητας το καλοκαίρι.

Ένα σύστημα αβαθούς γεωθερμίας αποτελείται από τα εξής κύρια μέρη:

- Την **Αντλία Θερμότητας (ΑΘ)**, δηλαδή μία μηχανή, η οποία, καταναλώνοντας ενέργεια, αντιστρέφει τη φυσική ροή της θερμότητας.
- Το Σύστημα Εναλλαγής Θερμότητας δηλαδή τον **Γεωεναλλάκτη**, κλειστού ή ανοιχτού τύπου, μέσω του οποίου γίνονται ανταλλαγές θερμότητας με το υπέδαφος.
- Το εσωτερικό **σύστημα διανομής της θερμότητας** (για θέρμανση/δροσισμό και χρήση ζεστού νερού).



Σχήμα 2.1 Αξιοποίηση αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας κατά τη διάρκεια του χειμώνα (αριστερά) και του καλοκαιριού (δεξιά) (Κατσιμίχας, 2010).

2.2 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

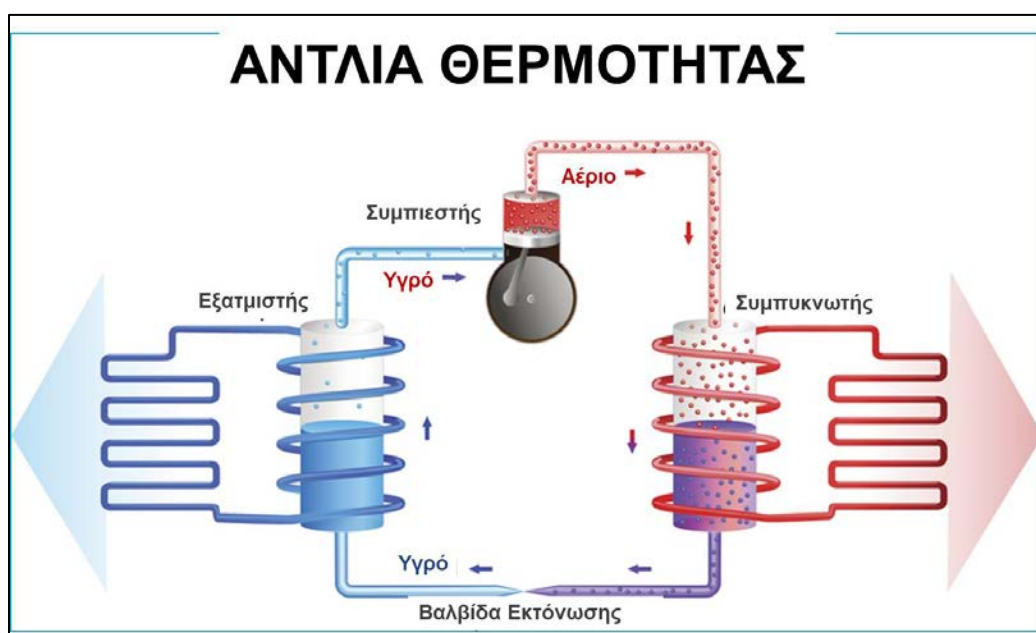
Η αντλία θερμότητας είναι μία συσκευή που έχει τη δυνατότητα αξιοποίησης του ψυκτικού κύκλου, έτσι ώστε να παρέχει θερμό ή ψυχρό αέρα και ζεστό νερό, ανάλογα με τις ανάγκες θέρμανσης ή δροσισμού του χώρου, αντίστοιχα. Ο ψυκτικός κύκλος είναι ένας διαρκής κύκλος εκτόνωσης και συμπίεσης ενός ρευστού (ψυκτικό ή εργαζόμενο μέσο).

Η αντλία θερμότητας αντιστρέφει τη φυσική ροή της θερμότητας. Δηλαδή, αντί η θερμότητα να μεταφέρεται από τα πιο θερμά σε πιο ψυχρά σώματα, γίνεται το αντίστροφο. Το καλοκαίρι η αντλία αφαιρεί θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο και την αποβάλλει στο περιβάλλον (που είναι ακόμη πιο θερμό), ενώ τον χειμώνα απορροφά από το ψυχρό περιβάλλον θερμότητα και τη διοχετεύει στο εσωτερικό ενός θερμότερου χώρου για να αυξηθεί ακόμη περισσότερο η θερμοκρασία του. Σε ένα σύστημα αβαθούς γεωθερμίας, η αντλία θερμότητας είναι συνδεδεμένη με τον γεωεναλλάκτη (Βραχόπουλος κ.ά., 2015) , (Florence, J. 2013) .

Η αντλία θερμότητας αποτελείται από τα κάτωθι βασικά μέρη (Σχήμα 2.2):

- ✓ Συμπιεστής
- ✓ Συμπυκνωτής
- ✓ Εξατμιστής
- ✓ Βαλβίδα εκτόνωσης
- ✓ Ψυκτικό υγρό

Το ψυκτικό υγρό που ρέει μέσα στις σωληνώσεις της αντλίας θερμότητας, είναι ένα ρευστό, το οποίο έχει την ιδιότητα να εξατμίζεται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Ο συμπυκνωτής και ο εξατμιστής είναι ουσιαστικά εναλλάκτες θερμότητας.



Σχήμα 2.2. Εσωτερική διάταξη αντλίας θερμότητας (Κατσιμίχας, 2010).

Κατά τον κύκλο θέρμανσης, το ψυκτικό υγρό απορροφά θερμότητα από το ρευστό ή το νερό που έρχεται από τον γεωεναλλάκτη, εξατμίζεται και οδηγείται στον συμπυκνωτή, όπου μετατρέπεται σε ένα πολύ μεγάλης πίεσης και θερμοκρασίας αέριο. Πηγαίνοντας στον συμπυκνωτή, εναλλάσσει θερμότητα με το εσωτερικό περιβάλλον και αποβάλλει μεγάλο μέρος της θερμότητάς του προς τον εσωτερικό χώρο που θέλουμε να θερμάνουμε. Επανέρχεται σε υγρή κατάσταση, συνεχίζοντας όμως να έχει υψηλή πίεση. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται περαιτέρω αποσυμπίεση, οπότε οδηγείται στη βαλβίδα εκτόνωσης, όπου αυξάνεται ο όγκος του, μειώνεται περισσότερο η πίεση και η θερμοκρασία του, και ταυτόχρονα μετατρέπεται σε ένα

μερικώς αέριο και μερικώς υγρό μίγμα. Τέλος, επιστρέφει στον εξατμιστή για να αρχίσει πάλι ο ίδιο κύκλος.

Κατά τη λειτουργία δροσισμού, οι δύο εναλλάκτες αλλάζουν ρόλους, δηλαδή ο συμπτυκνωτής «μετατρέπεται» σε εξατμιστή και ο εξατμιστής σε συμπτυκνωτή. Οπότε, η αντλία απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο που θέλουμε να δροσίσουμε (μέσω του εξατμιστή) και το μεταφέρει στη γη (μέσω του συμπτυκνωτή).

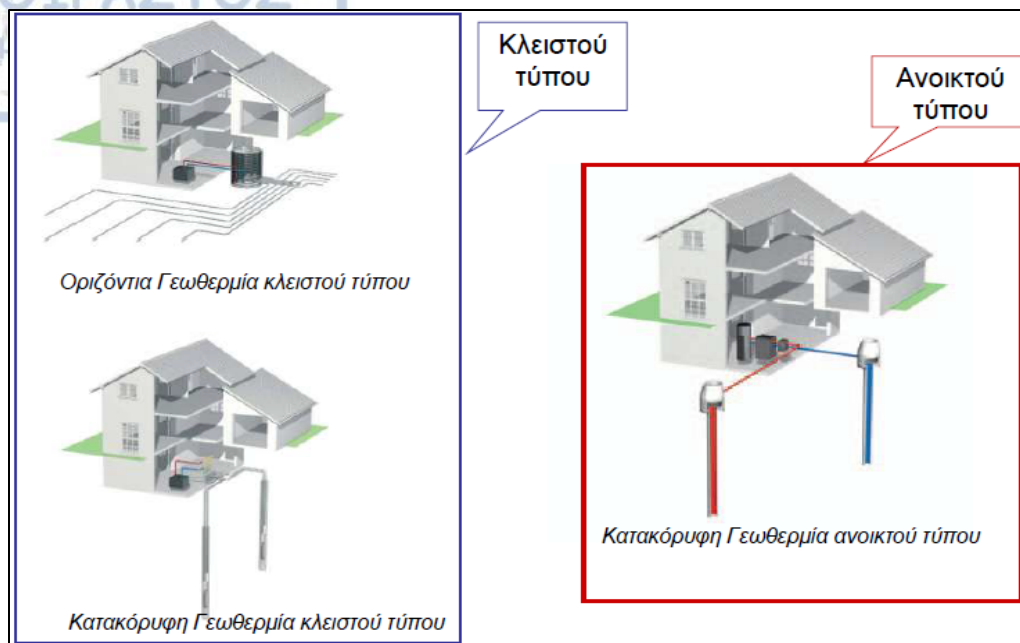
2.3 ΤΥΠΟΙ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΓΑΘ

Οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας διακρίνονται σε ανοικτού ή κλειστού τύπου, ανάλογα με τον τρόπο δέσμευσης της διαθέσιμης γεωθερμικής ενέργειας, δηλαδή τον τύπο του γεωεναλλάκτη που χρησιμοποιείται. Ο γεωεναλλάκτης αποτελείται από σωληνώσεις μέσω των οποίων γίνεται η εναλλαγή θερμότητας με τη γη ή το νερό. Μέσα στον γεωεναλλάκτη κυκλοφορεί νερό ή διάλυμα νερού και αντιψυκτικού υγρού.

2.3.1 ΑΝΟΙΚΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος είναι αυτά που συνδέονται με υπόγειο ή επιφανειακό ταμειυτήρα υδάτων. Ο ταμειυτήρας αυτός μπορεί να είναι επιφανειακός (λίμνη, ποταμός ή θάλασσα) ή υπόγειος (συστήματα φρέατος). Στην τελευταία περίπτωση, το νερό αντλείται από τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα μέσω παραγωγικής υδρογεώτρησης και οδηγείται στην αντλία, για τις απαιτούμενες εναλλαγές θερμότητας, ενώ στη συνέχεια επανεισάγεται στον υπόγειο υδροφορέα μέσω δεύτερης γεώτρησης (Σχήμα 2.3). Σε κάποιες περιπτώσεις, δεν απαιτείται δεύτερη γεώτρηση, αλλά η επανεισαγωγή του νερού γίνεται μέσω της αρχικής γεώτρησης, με κάποια ειδική διάταξη.

Σε κάθε περίπτωση όμως, η χρήση του υπόγειου ή επιφανειακού νερού σε ένα σύστημα αβαθούς γεωθερμίας, προϋποθέτει κατάλληλες και σταθερές παροχές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, καθώς και καλές φυσικοχημικές ιδιότητες του νερού, ώστε να μην παρατηρούνται προβλήματα διάβρωσης ή επικαθίσεων στις σωληνώσεις.



Σχήμα 2.3 Τύποι ΓΑΘ (Κατσιμίχας, 2010).

2.3.2 ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

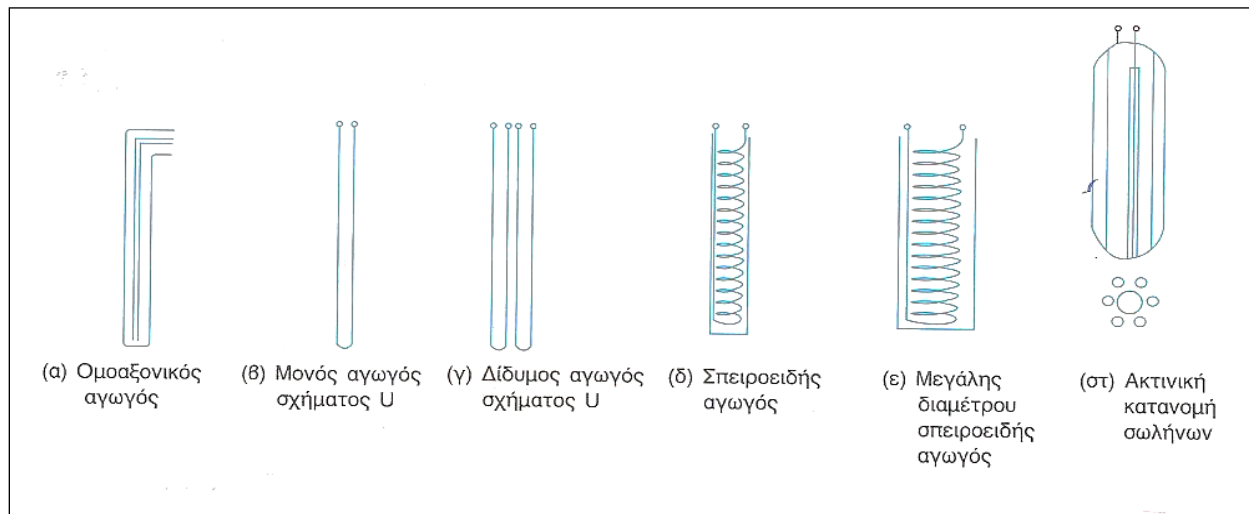
Οι γεωεναλλάκτες κλειστού τύπου αφορούν συστήματα στα οποία οι εναλλαγές θερμότητας γίνονται μέσω του αντιψυκτικού υγρού και του υπεδάφους. Διακρίνονται σε οριζόντιους και κατακόρυφους (Σχήμα 2.3).

Στα οριζόντια συστήματα, οι σωλήνες τοποθετούνται σε οριζόντια διάταξη εντός του εδάφους μέσα σε τάφρους βάθους 1,2 – 2,0 μ., ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες. Απαιτείται επαρκής περιβάλλον χώρος και συνήθως εφαρμόζονται σε οικίες, δηλ. όταν οι απαιτήσεις για θερμικά φορτία είναι σχετικά μικρές.

Στα κατακόρυφα συστήματα, οι σωληνώσεις του γεωεναλλάκτη τοποθετούνται κάθετα μέσα στο έδαφος. Για τον λόγο αυτό, κατασκευάζονται φρεάτια (γεωτρήσεις - boreholes) ή βαθιές τάφροι (Σχήμα 2.4), ενώ οι σωλήνες έχουν τη μορφή ζεύγους που ενώνονται μεταξύ τους στο κάτω άκρο με τη μορφή U. Οι γεωτρήσεις πληρώνονται με ειδικό θερμοδιαπερατό υλικό το οποίο εξασφαλίζει τη συνεχή μεταφορά θερμότητας του υπεδάφους προς τον γεωεναλλάκτη χωρίς την παρεμβολή αέρα.

Εφαρμόζονται συνήθως σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις ή όταν ο περιβάλλον χώρος δεν έχει επαρκή έκταση. Το βάθος των οπών δεν ξεπερνά στις περισσότερες περιπτώσεις τα 200 μ. και η

διάμετρός τους κυμαίνεται από 4 έως 7 ίντσες, ενώ η μεταξύ τους απόσταση δεν υπερβαίνει τα 6 μ. Οι κάθετοι βρόχοι συνδέονται στη συνέχεια με οριζόντιο δίκτυο που συνδέεται με την αντλία θερμότητας.



Σχήμα 2.4 Διατάξεις κατακόρυφων γεωεναλλακτών (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

Εκτός από τα κατακόρυφα και οριζόντια συστήματα ΓΑΘ κλειστού τύπου, υπάρχουν τα σπειρωτά (slinky) και τα κωνικά συστήματα, καθώς και αυτά της άμεσης εκτόνωσης. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι ένα κλειστό σύστημα γεωεναλλάκτη μπορεί να βρίσκεται ποντισμένο σε λίμνη.

2.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΓΑΘ

Για την επιλογή και την εγκατάσταση του κατάλληλου γεωθερμικού συστήματος σε έναν συγκεκριμένο χώρο λαμβάνονται υπόψη γεωλογικά, χωροταξικά και τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά, τα κυριότερα από τα οποία είναι συνοπτικά τα παρακάτω (Κατσιμίχας, 2010):

- Γεωλογική δομή, θερμοκρασία και υδραυλικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους
- Διαθέσιμος χώρος (επιφάνεια οικοπέδου, εμβαδό κτηρίου)
- Θερμικές – ψυκτικές απαιτήσεις του χώρου
- Σύστημα διανομής κλιματισμού
- Τεχνικές παράμετροι
- Οικονομικά κριτήρια
- Ισχύον νομοθετικό πλαίσιο

2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ένα σύστημα αξιοποίησης της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας, εφόσον έχει σχεδιασθεί και υλοποιηθεί σωστά, έχει σημαντικά περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Από την άλλη πλευρά, χαρακτηρίζεται και από κάποια προβλήματα και περιορισμούς τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη εξαρχής. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται, σε σύνοψη, τα βασικότερα πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα των ΓΑΘ.

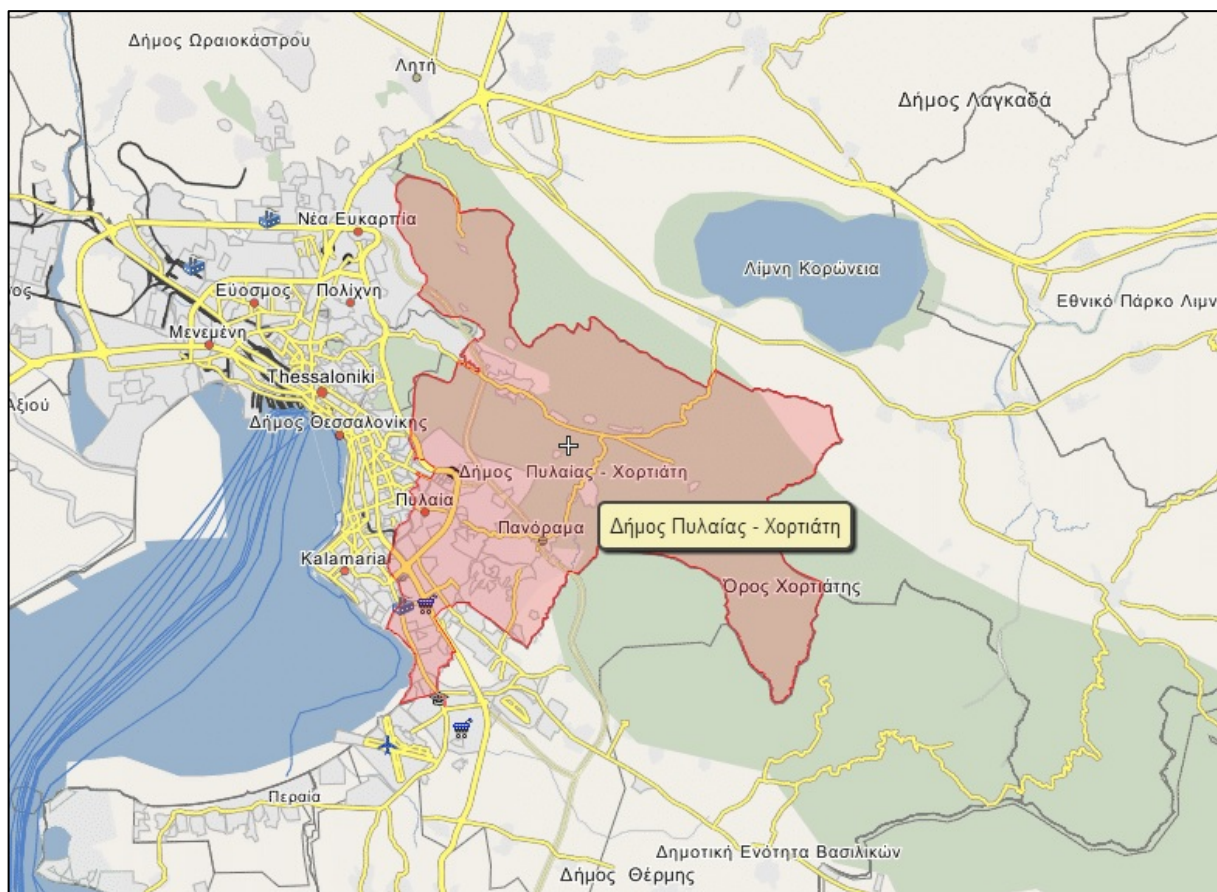
Πίνακας 2.1 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα των ΓΑΘ (Κατσιμίχας, 2010).

α/α	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
1	Πάντοτε διαθέσιμη και διαρκώς ανανεώσιμη γεωθερμική ενέργεια ανεξαρτήτως εποχής και καιρικών συνθηκών	Υψηλό αρχικό κόστος κατασκευής
2	Αξιοποίηση με δοκιμασμένες τεχνολογίες ψύξης-θέρμανσης	Εξειδικευμένη μελέτη και σχεδιασμός εγκατάστασης
3	Εξασφάλιση ψύξης/θέρμανσης/παραγωγής ζεστού νερού με την ίδια εγκατάσταση χωρίς επιπλέον κόστος	Καθορισμός της εφαρμογής από τον περιβάλλοντα χώρο
4	Αποδέσμευση από την χρήση πετρελαίου με παράλληλη εξοικονόμηση χώρου και κόστους	-
5	Φιλικότητα προς το περιβάλλον	-
6	Αισθητική αναβάθμιση κτηρίων	-
7	Αθόρυβη λειτουργία	-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

3.1 ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΥΛΑΙΑΣ (ΝΟΜΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)

Η κατοικία στην οποία τοποθετήθηκε σύστημα αβαθούς γεωθερμίας βρίσκεται στον Δήμο Πυλαίας-Χορτιάτη του Νομού Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στο Δημοτικό Διαμέρισμα Πυλαίας, ανατολικά του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης (Σχήμα 3.1). Πρόκειται για διώροφο κτίριο συνολικής επιφάνειας 185 m², εντός οικοπέδου έκτασης 5,4 στρεμμάτων (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.1 Πολεοδομικός χάρτης Δήμου Πυλαίας-Χορτιάτη του Νομού Θεσσαλονίκης
(www.pilea-hortiatis.gr).



Σχήμα 3.2 Χάρτης περιοχής κατασκευής του έργου καθώς και του οικοπέδου (Google Earth).

Για τον κλιματισμό (θέρμανση-δροσισμό) της συγκεκριμένης μονοκατοικίας τοποθετήθηκε αντλία θερμότητας που συνδυάστηκε με ανοικτό (open-loop) σύστημα αβαθούς γεωθερμίας (υδρογεωτρήσεις). Το εν λόγω έργο κατασκευάστηκε το έτος 2011.

Η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία για όλη τη διάρκεια του έτους ήταν 21°C , ενώ η μέγιστη και η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία στην περιοχή ανέρχεται στους 36°C και -7°C αντίστοιχα.

3.1.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

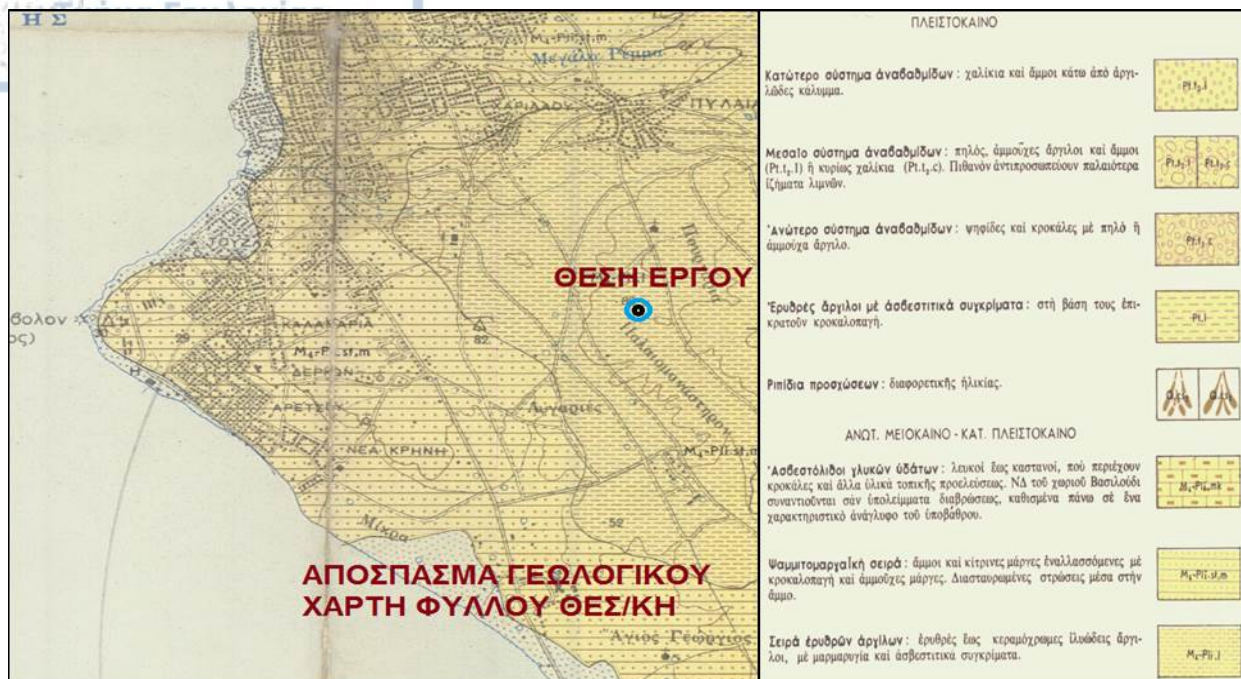
Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο πεδινό τμήμα (υψόμετρο μικρότερο των 150m) του κεντρικού τμήματος του 10^{ου} Υδατικού Διαμερίσματος (ΥΔ10-Κεντρικής Μακεδονίας, Σχήμα 3.3).

Το υπόβαθρό της ανήκει κατά κύριο λόγο στην Περιοδοπική Ζώνη (Ενότητες Άσπρης Βρύσης Χορτιάτη και Μελισσοχωρίου-Χολομώντα) και μερικώς στην Σερβομακεδονική Μάζα (Σειρά Βερτίσκου). Τα πετρώματα του υποβάθρου καλύπτονται από μεγάλου πάχους Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις.

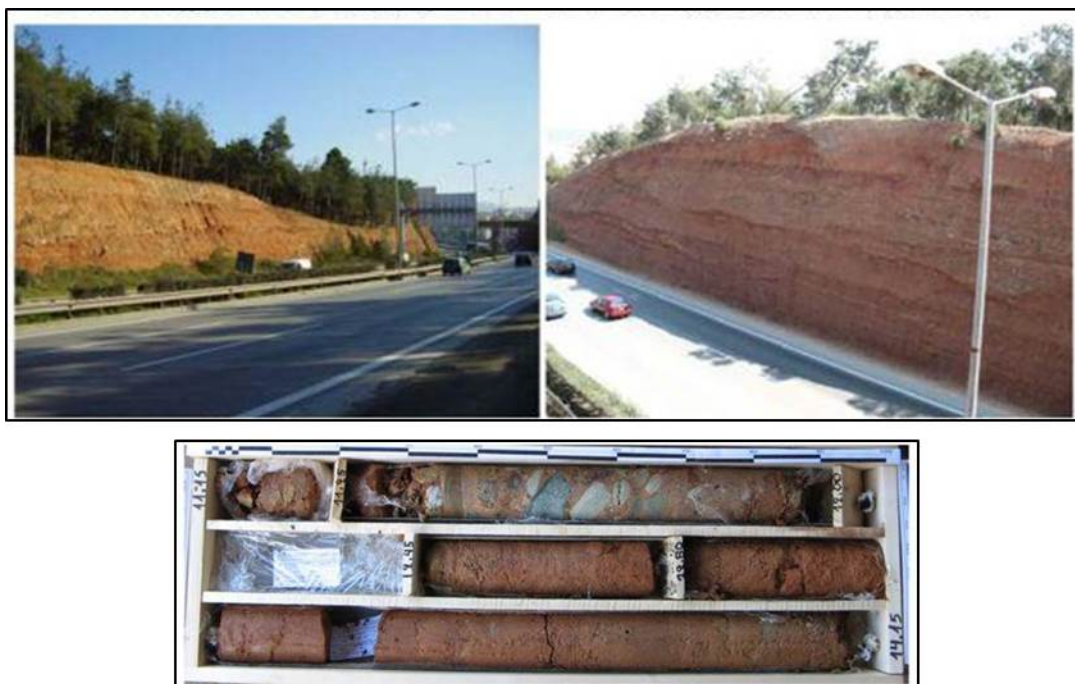


Σχήμα 3.3 10° Υδατικό Διαμέρισμα (Κεντρικής Μακεδονίας) (www.floods.yrpeka.gr).

Στη θέση της εν λόγω κατοικίας εμφανίζεται η σειρά ερυθρών αργίλων ηλικίας Κατώτερου Πλειστοκαίνου-Ανώτερου Μειοκαίνου (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978 - Σχήμα 3.4). Πρόκειται για ερυθρές έως κεραμόχρωμες αργίλους με μαρμαρυγία, ασβεστιτικά συγκρίματα και οξειδώσεις μαγγανίου (Ι.Γ.Μ.Ε., 1978). Η σειρά αυτή συναντάται βόρεια, εντός και ανατολικά (μέχρι Πανόραμα και Θέρμη) του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης. Οι ερυθρές άργιλοι έχουν μαζώδη δομή, μέσα στην οποία παρεμβάλλονται φακοί κροκαλών, άμμου και κροκαλοπαγών-λατυποπαγών (Εικόνα 3.1). Πρόκειται για ένα πρακτικά αδιαπέρατο και στεγανό σχηματισμό, με την υδροφορία να αναπτύσσεται μόνο εντός των φακών και των ενστρώσεων αδρομερών υλικών (Ζερβοπούλου, 2010).



Σχήμα 3.4 Απόσπασμα Γεωλογικού Χάρτη Φύλλου Θεσσαλονίκης και αντίστοιχο Υπόμνημα γεωλογικών σχηματισμών Ανώτερου Μειόκαινου – Πλειστόκαινου (Ι.Γ.Μ.Ε. 1978).



Εικόνα 3.1 Πρανή και καρότο γεώτρησης ερυθρούς αργίλου της περιοχής κατασκευής του έργου (Ζερβοπούλου, 2010)

3.1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Για την υλοποίηση του έργου αβαθούς γεωθερμίας κατασκευάστηκαν δύο γεωτρήσεις σε βάθος περίπου 150m. Η μία γεώτρηση λειτουργεί για την άντληση των υδάτων και η άλλη για την επανεισαγωγή τους στον υδροφόρο ορίζοντα. Η μεταξύ τους απόσταση είναι 20m.

Οι γεωτρήσεις κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τα παρακάτω όρια αποστάσεων, τα οποία ορίζονται στη σχετική νομοθεσία (Φ.Ε.Κ.1784/20.12.2005/τ. Β'), η οποία προβλέπει:

- Α) 45m από τον άξονα εθνικού δρόμου.
- Β) 6m από τα όρια του αγροτικού δρόμου.
- Γ) 5m από τα όρια του οικοπέδου για πιθανό κτίσμα διαφορετικής ιδιοκτησίας στα διπλανά οικόπεδα.

Οι γεωτρήσεις είχαν διάμετρο διάτρησης 12 ½'' και τελική διάμετρο σωλήνωσης 5''. Οι σχηματισμοί που διατρήθηκαν ήταν χάλικες, μάργα και άργιλοι, σε εναλλαγές μεταξύ τους. Η στάθμη άντλησης βρέθηκε στα 41,80m και τα φίλτρα τοποθετήθηκαν στους σχηματισμούς των χαλικιών καθώς αποτελούν υδροπερατά στρώματα.

Οι απαιτούμενες ποσότητες των αντλούμενων ρευστών για την λειτουργία του συστήματος είναι 5,0 m³/h για τον κύκλο ψύξης και 3,6 m³/h για τη θέρμανση.

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας που τοποθετήθηκε είναι τύπου TERRA SW 20 HGL-P, η οποία αποδίδει ηλεκτρική ισχύ 4,17 kW στον κύκλο ψύξης και 23,37 kW στον κύκλο θέρμανσης (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2 Γεωθερμική αντλία θερμότητας

Ο βαθμός απόδοσης (Coefficient of Performance-COP) της αντλίας θεωρείται πολύ καλός και είναι 5,61. Σημειώνεται ότι σε μια συνηθισμένη εγκατάσταση θέρμανσης-δροσισμού, όπως για παράδειγμα είναι το κοινό κλιματιστικό, ο βαθμός απόδοσης είναι αισθητά χαμηλότερος.

3.1.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος αξιοποίησης αβαθούς γεωθερμίας στο συγκεκριμένο έργο ανήλθε σε 33.500€.

Όσον αφορά στο κόστος λειτουργίας, στους παρακάτω πίνακες 3.1-3.2 δίνονται τα συγκριτικά στοιχεία μεταξύ ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και δροσισμού με κοινό κλιματιστικό.

Πίνακας 1.1 Σύγκριση ετήσιου κόστους θέρμανσης μεταξύ καυστήρα πετρελαίου και γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Καυστήρας Πετρελαίου		Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας	
Απόδοση Καυστήρα	70 %	Συντελεστής Απόδοσης	5,61
Απόδοση Ισχύος Πετρελαίου	10 kWh/lt		
Κατανάλωση Πετρελαίου	3.204 lt	Κατανάλωση Ρεύματος	3.997 kWh
Κατανάλωση Ρεύματος Καυστήρα	650 kWh		
Τιμή Πετρελαίου	1,05 EUR		
Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR	Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR
Κόστος Πετρελαίου	3.363,70 EUR		
Κόστος Ρεύματος	65,00 EUR	Κόστος Ρεύματος	399,73 EUR
Κόστος Σέρβις	50,00 EUR	Κόστος Σέρβις	50,00 EUR
Συνολικό Κόστος ανά Έτος	3.478,70 EUR		449,73 EUR
Οικονομία Θέρμανσης ανά Έτος με Αντλία Θερμότητας			3.028,97 EUR
			87,07 %

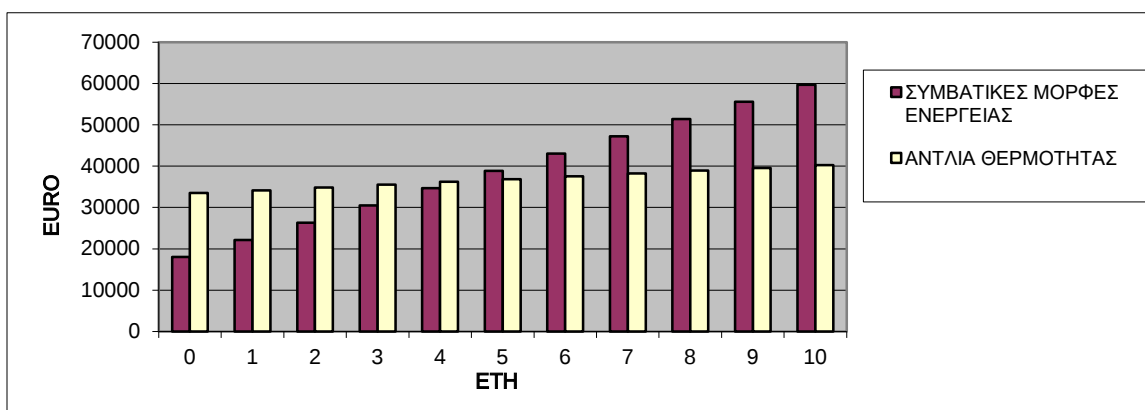
Πίνακας 3.2: Σύγκριση ετήσιου κόστους δροσισμού μεταξύ κλιματιστικού και γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

Κλιματιστικό		Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας	
Συντελεστής Απόδοσης	2	Συντελεστής Απόδοσης	5,61
Κατανάλωση Ρεύματος	10.175 kWh	Κατανάλωση Ρεύματος	2.418 kWh
Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR	Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR
Κόστος Ρεύματος	1.017,50 EUR	Κόστος Ρεύματος	241,83 EUR
Κόστος Σέρβις	100,00 EUR	Κόστος Σέρβις	50,00 EUR
Συνολικό Κόστος ανά Έτος	1.117,50 EUR		291,83 EUR
Οικονομία Ψύξης ανά Έτος με Αντλία Θερμότητας			825,67 EUR
			73,89 %

Σύμφωνα με τα παραπάνω, υπολογίζεται ότι η συνολική ετήσια εξοικονόμηση για θέρμανση και δροσισμό με γεωθερμία στη συγκεκριμένη κατοικία, ξεπερνά το **83%**, αντιστοιχώντας σε 3.854,64 ευρώ.

3.1.4 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

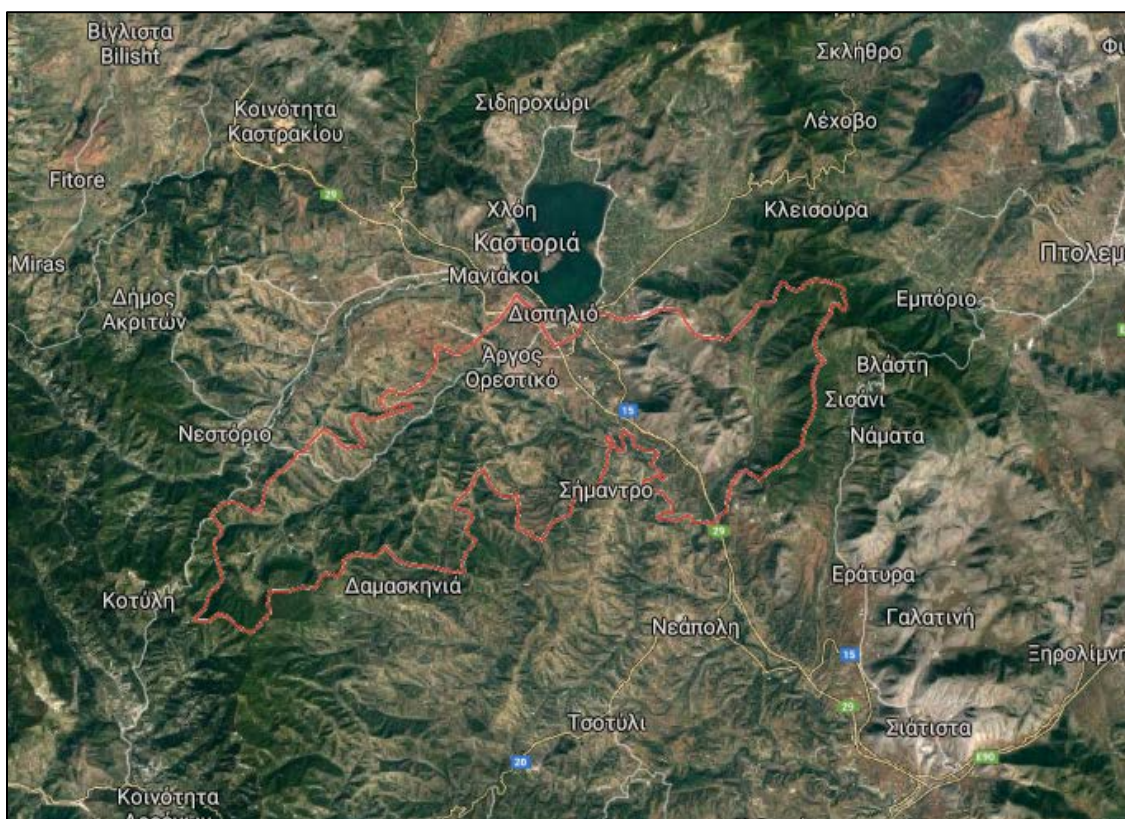
Με βάση τους υπολογισμούς των πινάκων 3.1 και 3.2, και λαμβάνοντας υπόψη ότι το κόστος της αρχικής εγκατάστασης ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης/ψύξης ανέρχεται σε 18.000€, ο χρόνος απόσβεσης για το σύστημα ΓΑΘ υπολογίστηκε περίπου στα τέσσερα χρόνια. (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5 Σύγκριση κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας ανά έτος μεταξύ συμβατικού συστήματος και ΓΑΘ.

3.2 ΠΑΛΑΙΟ ΛΥΚΕΙΟ ΤΟΥ ΑΡΓΟΥΣ ΟΡΕΣΤΙΚΟΥ (ΝΟΜΟΥ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ)

Το κτίριο στο οποίο εγκαταστάθηκε το έτος 2014 γεωθερμικό σύστημα ψύξης-θέρμανσης, είναι διώροφο και καταλαμβάνει έκταση 650 m². Το οικόπεδο της σχολικής μονάδας είναι 2,78 στρέμματα, βρίσκεται εντός της κομόπολης του Άργους Ορεστικού, η οποία ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Καστοριάς και εντάσσεται διοικητικά στην Περιφέρεια της Δυτικής Μακεδονίας (Σχήμα 3.6).

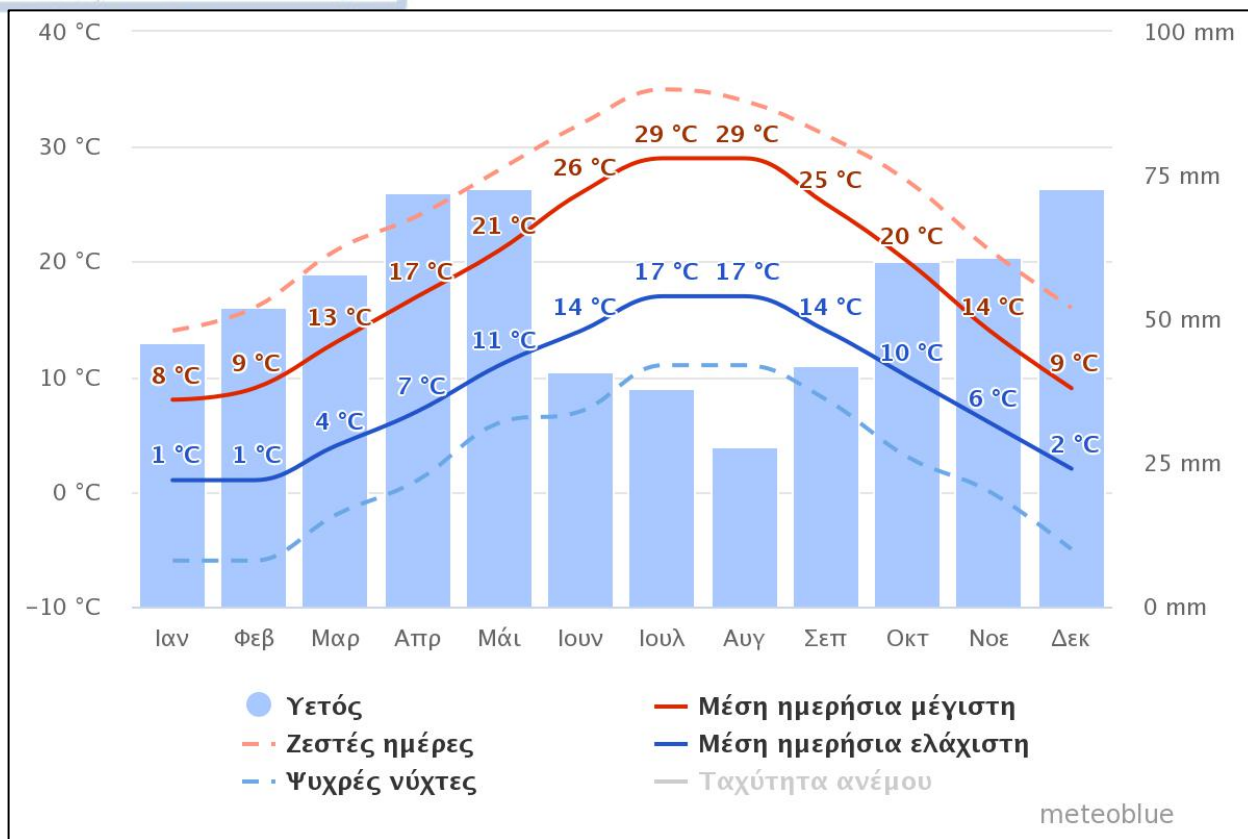


Σχήμα 3.6: Δήμος Άργους Ορεστικού (Google Earth).

Για την εξυπηρέτηση του παλαιού Λυκείου έγινε η εγκατάσταση γεωθερμικού συστήματος κλειστού τύπου για πλήρη κλιματισμό (χειμερινού και θερινού) και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα κλιματικά δεδομένα και όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7, για την ευρύτερη περιοχή του Άργους Ορεστικού, η ελάχιστη θερμοκρασία τους χειμερινούς μήνες

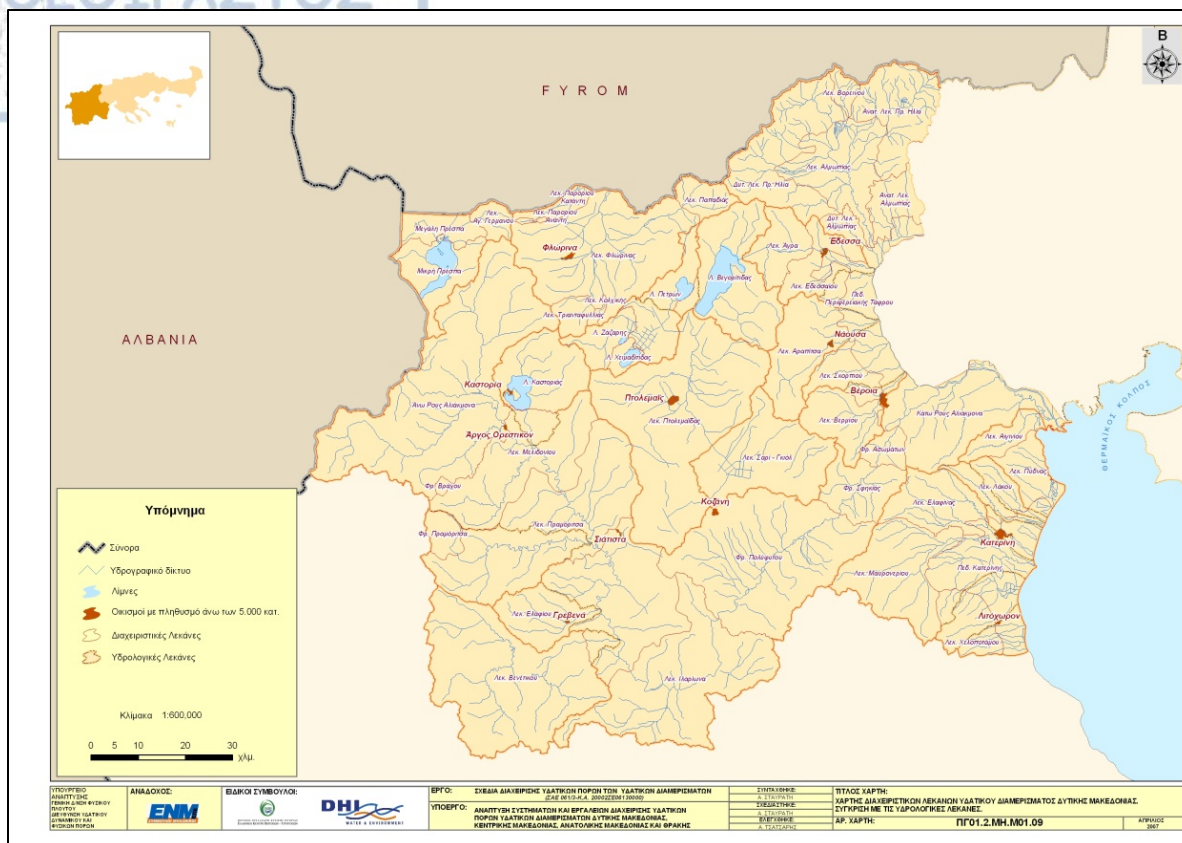
κυμαίνεται στον 1-2 °C και η μέγιστη του θερινούς μήνες στους 29 °C , ενώ η επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου του σχολείου 24 °C.



Σχήμα 3.7: Κλιματικά δεδομένα περιοχής Αργους Ορεστικού (www.meteoblue.com)

3.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

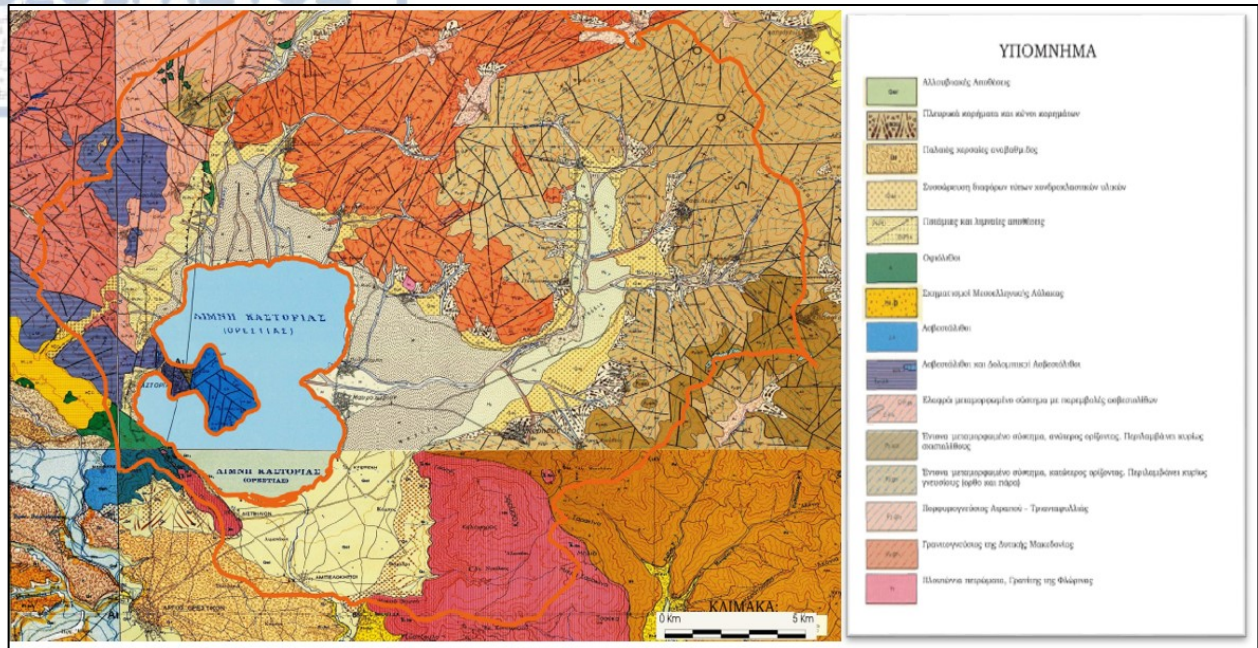
Η περιοχή κατασκευής του έργου ανήκει στο 9^ο Υδατικό Διαμέρισμα, δηλαδή αυτό της Δυτικής Μακεδονίας (Σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8: 9ο Υδατικό Διαμέρισμα (Δυτικής Μακεδονίας) (www.floods.ypeka.gr).

Στην ευρύτερη περιοχή επικρατούν τα μολассικά ιζήματα της Μεσοελληνικής Αύλακας, και ειδικότερα οι ψαμμίτες με κροκάλες μειοκαινικής ηλικίας που ανήκουν στη Σειρά Τσοτυλίου. Τα νεότερα πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα της περιοχής συνίστανται σε ποταμο-λιμναίες αποθέσεις αργίλων, ψαμμιτών και χαλαρών κροκαλοπαγών (Σχήμα 3.9). Οι ασβεστόλιθοι που βρίσκονται στην περιοχή έχουν μεγάλο πάχος, είναι σε σημαντικό βαθμό καρστικοποιημένοι και περιέχουν αργλικές ενστρώσεις (ΙΓΜΕ: Φύλλα: Καστοριά, Άργος Ορεστικό, Κορυτσά-Μεσοποταμία, Νεστόριο).

Επιπλέον, στα επιφανειακά στρώματα συναντώνται αλλουβιακές αποθέσεις, ποταμοχειμάρρια ιζήματα κατά μήκος των κοιτών των ρεμάτων που καταλήγουν στη λίμνη της Καστοριάς, καθώς επίσης και ποτάμιες αναβαθμίδες.



Σχήμα 3.9 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής ενδιαφέροντος (Ι.Γ.Μ.Ε. 1971, 1990).

3.2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της σχολικής μονάδας, τοποθετήθηκε σύστημα αβαθούς γεωθερμίας **κλειστού τύπου**. Κατασκευάστηκαν έντεκα (11) γεωτρήσεις στον προαύλιο χώρο του σχολείου, διαμέτρου 150 mm και βάθους 150 m η κάθε μία, με απόσταση 5m μεταξύ τους, μέσα στις οποίες τοποθετήθηκαν κατακόρυφοι εναλλάκτες. Για το εσωτερικό σύστημα θέρμανσης/δροσισμού χρησιμοποιήθηκαν κλιματιστικές μονάδες fan coils.

Το σύστημα αβαθούς γεωθερμίας λειτουργεί τόσο για τον κλιματισμό του σχολικού συγκροτήματος, όσο και για την παροχή ζεστού νερού.

Αποτελείται από (Εικόνα 3.3):

- **Την αντλία θερμότητας**

Για την παραγωγή ψυχρού/ζεστού νερού εγκαταστάθηκε υδρόψυκτη αντλία θερμότητας νερού, με ψυκτικό υγρό R410A, κατάλληλη για εγκατάσταση κλιματισμού, ψυκτικής ισχύος 105,7 kW και θερμικής 114,0 kW.

Η θερμοκρασία εξόδου του νερού ψύξης είναι 7 °C και της θέρμανσης 50°C.

- **Το σύστημα γεωεναλλάκτη**

Η σύνδεση των κατακόρυφων γεωεναλλακτών με την αντλία θερμότητας γίνεται με δισωλήνιο σύστημα, μέσα στο οποίο κυκλοφορεί αντιψυκτικό διάλυμα που αποτελείται από 30% αιθανοδιόλη και 70% νερό. Οι σωλήνες του γεωεναλλάκτη αποτελούνται από πολυαιθυλένιο (HDPE MRS 10.0), με την εμπορική ονομασία Geo-Flex και έχουν διαστάσεις $\Phi 32 \times 3,0 \text{ mm}$



Εικόνα 3.3 Αντλία θερμότητας και σύστημα γεωεναλλάκτη

Η διάνοιξη των γεωτρήσεων έγινε με κοπτικό διαμέτρου 7'' και χρήση αέρα και σαπουνιού για τη λίπανση-ψύξη του κοπτικού και την απομάκρυνση των προϊόντων της διάτρησης. Μετά την τελική κατασκευή των γεωτρήσεων, έγινε βύθιση του διπλού σωλήνα $\Phi 32$ με τη βοήθεια ειδικής ανέμης. Ο διπλός αυτός σωλήνας είναι γεμάτος με νερό και πριν την τοποθέτησή του, δοκιμάστηκε για τον έλεγχο απωλειών. Μαζί με το σωλήνα $\Phi 32$, βυθίστηκε και ο σωλήνας ενεμάτωσης, διαμέτρου $\Phi 25$ (Εικόνα 3.4). Μέσω του σωλήνα αυτού έγινε η πλήρωση των γεωτρήσεων με το μίγμα κονιάματος (ένεμα) το οποίο έχει σύσταση:

- Τσιμέντο: 10%
- Χαλαζιακή άμμος: 30%
- Μπετονίτης: 10%
- Νερό: 50%

Η πλήρωση με το ένεμα έγινε με αντλία υπό πίεση από τον πυθμένα προς την επιφάνεια της γεώτρησης. Το μίγμα είναι θερμοπερατό και έχει θερμική αγωγιμότητα 2,3 W/mK.

Η συγκεκριμένη εγκατάσταση θέρμανσης παρουσιάζει πολύ καλό βαθμό απόδοσης COP = 5,8, διότι ο γεωεναλλάκτης δίνει τη δυνατότητα παροχής θερμοκρασιών πολύ κοντά στις επιθυμητές θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων.



Εικόνα 3.4 Βύθιση σωληνώσεων διαμέτρων Φ32 και Φ25

3.2.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ & ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το κόστος εγκατάστασης του συγκεκριμένου γεωθερμικού συστήματος κλειστού ανήλθε σε 250.000 ευρώ.

Στους παρακάτω πίνακες (3.3-3.4) δίνονται στοιχεία σύγκρισης του κόστους λειτουργίας του συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας που τοποθετήθηκε στο κτίριο του παλαιού λυκείου, με σύστημα θέρμανσης πετρελαίου και ψύξης με κοινό κλιματιστικό.

Πίνακας 3.3. Σύγκριση ετήσιου κόστους θέρμανσης μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

Καυστήρας Πετρελαίου		Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας	
Απόδοση Καυστήρα	70 %	Συντελεστής Απόδοσης	5,8
Απόδοση Ισχύος Πετρελαίου	10 kWh/lt		
Κατανάλωση Πετρελαίου	47.262 lt	Κατανάλωση Ρεύματος	57.040 kWh
Κατανάλωση Ρεύματος Καυστήρα	650 kWh		
Τιμή Πετρελαίου	1,05 EUR		
Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR	Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR
Κόστος Πετρελαίου	49.624,88 EUR		
Κόστος Ρεύματος	65,00 EUR	Κόστος Ρεύματος	5.704,01 EUR
Κόστος Σέρβις	50,00 EUR	Κόστος Σέρβις	50,00 EUR
Συνολικό Κόστος ανά Έτος	49.739,88 EUR		5.754,01 EUR
Οικονομία Θέρμανσης ανά Έτος με Αντλία Θερμότητας			43.985,87 EUR
			88,43 %

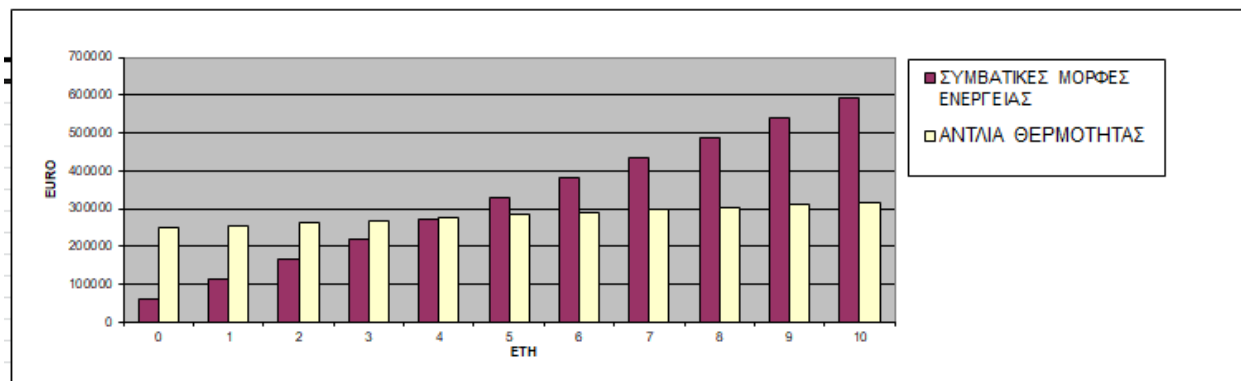
Πίνακας 3.4 Σύγκριση ετήσιου κόστους ψύξης μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

Κλιματιστικό		Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας	
Συντελεστής Απόδοσης	2	Συντελεστής Απόδοσης	5,8
Κατανάλωση Ρεύματος	35.750 kWh	Κατανάλωση Ρεύματος	8.218 kWh
Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR	Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR
Κόστος Ρεύματος	3.575,00 EUR	Κόστος Ρεύματος	821,84 EUR
Κόστος Σέρβις	100,00 EUR	Κόστος Σέρβις	50,00 EUR
Συνολικό Κόστος ανά Έτος	3.675,00 EUR		871,84 EUR
Οικονομία Ψύξης ανά Έτος με Αντλία Θερμότητας			2.803,16 EUR
			76,28 %

Σύμφωνα με τα παραπάνω, υπολογίζεται ότι η συνολική ετήσια εξοικονόμηση για θέρμανση και δροσισμό με γεωθερμία στο εν λόγω κτίριο ξεπερνά το **87%**, αντιστοιχώντας σε ποσό περίπου 46.790 ευρώ.

3.2.4 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Η εγκατάσταση ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης/δροσισμού στο συγκεκριμένο κτίριο εκτιμάται ότι θα κόστιζε περίπου 60.000€. Λαμβάνοντας υπόψη το ποσό αυτό, καθώς και τους παραπάνω υπολογισμούς, ο χρόνος απόσβεσης υπολογίστηκε περίπου στα τέσσερα χρόνια. (Σχήμα 3.10).



Σχήμα 3.10 Σύγκριση κόστους λειτουργίας και εγκατάστασης ανά έτος μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

3.3 ΚΤΙΡΙΟ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕΡΡΩΝ

Το έτος 2016 έγινε εγκατάσταση γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης/δροσισμού ανοικτού τύπου στο κτίριο των διοικητικών υπηρεσιών της Περιφερειακής Ενότητας Σερρών, συνολικής έκτασης 700m². Το κτίριο βρίσκεται νοτιοδυτικά της πόλης των Σερρών (Σχήμα 3.11).

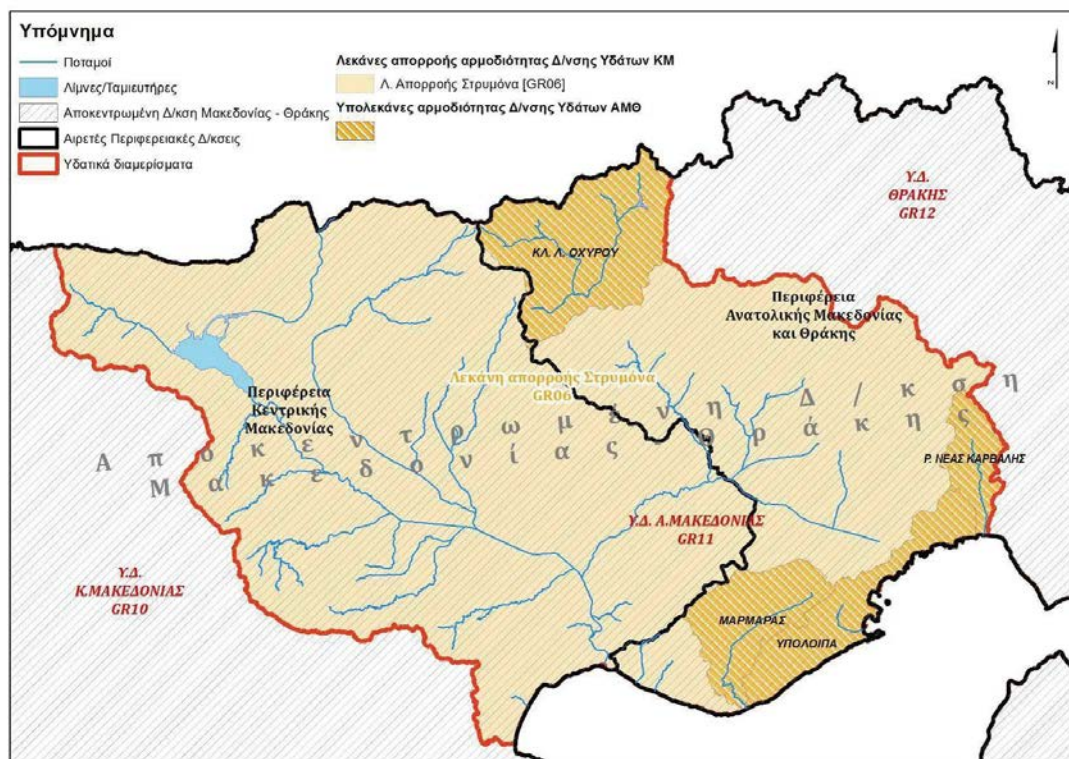


Σχήμα 3.11 Αεροφωτογραφία του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο βρίσκεται το κτίριο που τοποθετήθηκε σύστημα αβαθούς γεωθερμίας (Google Earth).

Η μέγιστη και η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία στην περιοχή ανέρχεται στους 35°C και 3°C, αντίστοιχα, ενώ η επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία για όλη τη διάρκεια του έτους ήταν 22°C.

3.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η περιοχή μελέτης ανήκει στο 11^ο Υδατικό Διαμέρισμα της Ελλάδος (Ανατολικής Μακεδονίας) (Σχήμα 3.12).



Σχήμα 3.12 Χάρτης Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Μακεδονίας (www.floods.ypeka.gr).

Το γεωλογικό υπόβαθρο της ταφρολεκάνης των Σερρών αποτελείται από παλαιοζωικά μεταμορφωμένα πετρώματα μέσα στα οποία έχουν διεισδύσει πλουτωνίτες. Ο ποταμός Στρυμόνας θα μπορούσε να θεωρηθεί το διαχωριστικό όριο μεταξύ των μαζών της Ροδόπης στα ανατολικά και της Σερβομακεδονικής στα δυτικά, και χωρίζει τη λεκάνη των Σερρών σε δύο τμήματα. Στο ανατολικό τμήμα με τους ορεινούς σχηματισμούς της Βροντούς και του Ορβήλου, κυριαρχούν τα μάρμαρα με εναλλαγές ή παρεμβολές σχιστολίθων, γνεύσιων και αμφιβολιτών. Στο δυτικό τμήμα με τους ορεινούς σχηματισμούς του Μαυροβουνίου - Δύσωρου και Κερκίνης κυριαρχούν γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, μιγματίτες, οφιόλιθοι και αμφιβολίτες (Σχήμα 3.13).

Η πεδινή περιοχή αποτελείται από ιζηματογενή πετρώματα τα οποία προέρχονται, είτε από αποθέσεις του ποταμού και των χειμάρρων της περιοχής, είτε από θαλάσσια ιζήματα που σχηματίστηκαν κατά το Μειόκαινο - Πλειόκαινο - Τεταρτογενές. Στην περιοχή της λίμνης

[illegible]

3.3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

- Δύο γεωτρήσεις
- Τοποθέτηση αντλίας θερμότητας
- Πλακοειδής εναλλάκτης
- Γεωεναλλάκτης
- Δίκτυο διανομής θέρμανσης-ψύξης

Κατασκευάστηκαν δύο γεωτρήσεις, μια παραγωγική και μια επανεισαγωγής σε βάθη 45m και 60m αντίστοιχα. Οι γεωτρήσεις διέτρησαν χαλαρούς γεωλογικούς σχηματισμούς και πραγματοποιήθηκαν με περιστροφικό γεωτρύπανο θετικής κυκλοφορίας. Το κοπτικό που χρησιμοποιήθηκε και στις δύο γεωτρήσεις είχε διάμετρο 12'' ίντσες και οι σωλήνες ήταν 6'' ίντσες. Το ενδιάμεσο κενό πληρώθηκε με χαλικόφιλτρο διαμέτρου 5- 7 χιλιοστών. Στη συνέχεια έγινε ανάπτυξη και δοκιμαστική άντληση των γεωτρήσεων και τοποθετήθηκε υποβρύχιο αντλητικό συγκρότημα στη γεώτρηση άντλησης νερού (Εικόνα 3.14).



Εικόνα 3.14 Κατασκευή γεωτρήσεων στο κτίριο των διοικητικών υπηρεσιών της Περιφερειακής Ενότητας Σερρών

Η αντλία θερμότητας που χρησιμοποιήθηκε έχει τα παρακάτω τεχνικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 3.5, Εικόνα 3.15):

Πίνακας 3.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας

Τύπος	Carrer MODEL 30RW120
Απόδοση ψύξης	123 KW
Απόδοση θέρμανσης	123 KW
Αριθ. συμπιεστών	2
Αριθ. ψυκτικών κυκλωμάτων	2
Ψυκτικό μέσο	R-407C



Εικόνα 3.15 Αντλία θερμότητας

3.3.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το κόστος εγκατάστασης του γεωθερμικού συστήματος κλειστού τύπου ανέρχεται σε 60.000 ευρώ και λειτουργεί χωρίς κανένα πρόβλημα από το 2016.

3.3.4 ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η συγκεκριμένη εγκατάσταση θέρμανσης με αντλία θερμότητας και τη βοήθεια ενός γεωεναλλάκτη παρουσιάζει πολύ καλό βαθμό απόδοσης $COP = 5,7$ διότι ο γεωεναλλάκτης δίνει τη δυνατότητα παροχής θερμοκρασιών πολύ κοντά στις επιθυμητές θερμοκρασίες των εσωτερικών χώρων.

Αντίθετα, μια κοινή εγκατάσταση θέρμανσης-ψύξης, όπως για παράδειγμα ένα κλιματιστικό, θα παρουσίαζε έναν αισθητά χαμηλότερο βαθμό απόδοσης COP . Στους παρακάτω πίνακες (3.6-3.7-3.8) δίνονται στοιχεία σύγκρισης του κόστους λειτουργίας ενός συστήματος γεωθερμικής

αντλίας θερμότητας με σύστημα θέρμανσης με λέβητα πετρελαίου και ψύξης με κοινό κλιματιστικό.

Πίνακας 3.6. Σύγκριση ετήσιου κόστους θέρμανσης μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

Καυστήρας Πετρελαίου		Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας	
Απόδοση Καυστήρα	70 %	Συντελεστής Απόδοσης	5,7
Απόδοση Ισχύος Πετρελαίου	10 kWh/lt		
Κατανάλωση Πετρελαίου	22.114 lt	Κατανάλωση Ρεύματος	27.158 kWh
Κατανάλωση Ρεύματος Καυστήρα	650 kWh		
Τιμή Πετρελαίου	1,05 EUR		
Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR	Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR
Κόστος Πετρελαίου	23.219,96 EUR		
Κόστος Ρεύματος	65,00 EUR	Κόστος Ρεύματος	2.715,79 EUR
Κόστος Σέρβις	50,00 EUR	Κόστος Σέρβις	50,00 EUR
Συνολικό Κόστος ανά Έτος	23.334,96 EUR		2.765,79 EUR
Οικονομία Θέρμανσης ανά Έτος με Αντλία Θερμότητας			20.569,18 EUR
			88,15 %

Πίνακας 3.7. Σύγκριση ετήσιου κόστους ψύξης μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας.

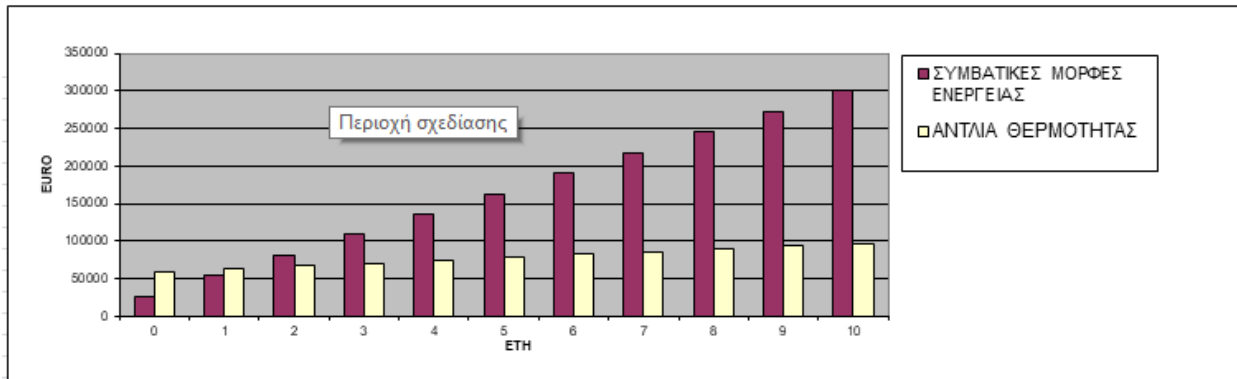
Κλιματιστικό		Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας	
Συντελεστής Απόδοσης	2	Συντελεστής Απόδοσης	5,7
Κατανάλωση Ρεύματος	38.500 kWh	Κατανάλωση Ρεύματος	9.006 kWh
Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR	Τιμή Ρεύματος	0,10 EUR
Κόστος Ρεύματος	3.850,00 EUR	Κόστος Ρεύματος	900,58 EUR
Κόστος Σέρβις	100,00 EUR	Κόστος Σέρβις	50,00 EUR
Συνολικό Κόστος ανά Έτος	3.950,00 EUR		950,58 EUR
Οικονομία Ψύξης ανά Έτος με Αντλία Θερμότητας			2.999,42 EUR
			75,93 %

Πίνακας 3.8. Ετήσια συνολική εξοικονόμηση ενέργειας από τη χρήση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Συνολική Οικονομία ανά Έτος με Αντλία Θερμότητας	23.568,59 EUR
	86,38 %

3.3.5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς και λαμβάνοντας υπόψη ότι η εγκατάσταση ενός συμβατικού συστήματος ανέρχεται σε 27.000€, ο χρόνος απόσβεσης υπολογίστηκε περίπου στα τρία χρόνια (Σχήμα 3.17).



Σχήμα 3.17 Σύγκριση κόστους λειτουργίας και ανά έτος μεταξύ συμβατικού συστήματος και αντλίας θερμότητας

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία περιγράφηκε ο τρόπος αξιοποίησης της αβαθούς γεωθερμίας με τη χρήση κατάλληλων συστημάτων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις κτιρίων στη Βόρεια Ελλάδα: μία μονοκατοικία, μία σχολική μονάδα και ένα κτίριο διοικητικών υπηρεσιών. Για κάθε μία από αυτές υπολογίστηκαν τα ενεργειακά οφέλη και η εξοικονόμηση που προέκυψε από τη χρήση της γεωθερμίας έναντι συμβατικών τρόπων θέρμανσης και δροσισμού (πετρέλαιο και κοινό κλιματιστικό)

Το κόστος εγκατάστασης των συγκεκριμένων γεωθερμικών συστημάτων κυμάνθηκε από €33.500 (μονοκατοικία) έως € 250.000 (σχολικά κτίρια), ενώ και στις τρεις περιπτώσεις η περίοδος απόσβεσης δεν υπερέβη τα 4 έτη.

Με βάση τα στοιχεία που προέκυψαν από τη χρήση των συστημάτων αυτών, υπολογίστηκε ότι η συνολική εξοικονόμηση σε σχέση με τη χρήση συμβατικών μεθόδων θέρμανσης (πετρέλαιο) και δροσισμού (κοινό κλιματιστικό), κυμάνθηκε από 83 έως 87%, ήταν δηλαδή εξαιρετικά ικανοποιητική.

Όπως και σε άλλες περιπτώσεις εγκατάστασης συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας στη Βόρεια Ελλάδα, π.χ. αυτές που περιγράφονται από τον Θ. Σαββίδη (2018), αλλά και πολλά άλλα παραδείγματα που υπάρχουν στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία, έτσι και για τις συγκεκριμένες εφαρμογές η εξέταση των διαθέσιμων στοιχείων έδειξε σημαντικά ενεργειακά-οικονομικά οφέλη, στα οποία θα πρέπει να προστεθεί και το σχεδόν μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα τέτοιων εγκαταστάσεων.

Δηλαδή, ενώ οι αρχικές δαπάνες για την εγκατάσταση ενός συστήματος αβαθούς γεωθερμίας είναι αρκετά υψηλές (λόγω του κόστους αγοράς της αντλίας θερμότητας αλλά και της κατασκευής των γεωτρήσεων) αυτό αντισταθμίζεται από το πολύ χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και το σχεδόν μηδενικό κόστος συντήρησης, γεγονός που οδηγεί σε απόσβεση μέσα σε σχετικά πολύ μικρό αριθμό ετών.

Συνεπώς, ανεξάρτητα από το είδος και τις ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων που εγκαταστάθηκαν οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, η χρήση τους αποδείχθηκε σημαντικά επωφελής και ταυτόχρονα φιλική προς το περιβάλλον, κάτι που είναι το ζητούμενο ιδιαίτερα στη σημερινή εποχή.

Βραχόπουλος, Μ., Κούκου, Μ. & Καρύτσας, Κ. (2015). *Κανονική Γεωθερμία – Αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές*. Έκδοση Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Creative Commons BY-NC-ND.

Ζερβοπούλου Α. (2010). Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Α.Π.Θ.

Ι.Γ.Ε.Υ. (1971). Γεωλογικός Χάρτης 1:50.000 ΦΥΛΛΟ «Άργος Ορεστικό».

Ι.Γ.Ε.Υ. (1971). Γεωλογικός Χάρτης 1:50.000 ΦΥΛΛΟ «Νεστόριον».

Ι.Γ.Μ.Ε. (1978). Απόσπασμα Γεωλογικού Χάρτη Φύλλου Θεσσαλονίκης.

Ι.Γ.Μ.Ε. (1990). Γεωλογικός Χάρτης 1:50.000 ΦΥΛΛΟ «Καστοριάς».

Ι.Γ.Μ.Ε. (1990). Γεωλογικός Χάρτης 1:50.000 ΦΥΛΛΟ «Κορυτσά-Μεσοποταμία».

Κατσιμίχας Σ. (2010). Συστήματα Γεωθερμίας – Γεωθερμία. Ηλεκτρονική Παρουσίαση. ΕΝ.Ε.ΠΙ.Θ.Ε., Αθήνα.

Παπαφιλίππου-Πένου Ε. (1994). Δυναμική εξέλιξη και σύγχρονες εξωγενείς διεργασίες του υδρογραφικού συστήματος της ταφρολεκάνης Σερρών. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Α.Π.Θ.

Σαββίδης Θ. (2018). Αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας με τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας – Παραδείγματα από τη βόρεια και δυτική Ελλάδα. Πτυχιακή Εργασία. Τομέας Γεωλογίας – Εργαστήριο Υδρογεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Α.Π.Θ.

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

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Florence, J. (2013). Γενική Έκθεση της παρούσας κατάστασης του ρυθμιστικού πλαισίου για την αβαθή γεωθερμία. Επισκόπηση της νομοθεσίας της αβαθούς γεωθερμίας στην Ευρώπη.

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



- http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_geothermal.htm
- <http://www.poseidonenergy.gr/products.htm>
- <http://energoplansa.com/geothermia/>
- www.pilea-hortiatis.gr
- www.floods.ypeka.gr
- www.meteoblue.com