



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

«Θέρμανση-ψύξη βιοκλιματικού οικισμού Σοφάδων "το πλίθινο χωριό" με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Τεχνικοοικονομική μελέτη και σύγκριση αποδοτικότητας σε σχέση με συμβατικά καύσιμα.»



Διπλωματική Εργασία
Χαραλαμπίδης Ιωάννης

Εξεταστική Επιτροπή
Θεόδωρος Μαρκόπουλος, Καθηγητής (επιβλέπων)
Εμμανουήλ Μανούτσογλου, Καθηγητής
Γεώργιος Αλεβίζος, Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά Ιούνιος , 2012

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική κοινότητα στρέφεται στην αναζήτηση τεχνικών αξιοποίησης ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, προκειμένου να μειωθεί η ολοένα και αυξανόμενη χρήση συμβατικών καυσίμων και να αντιμετωπιστεί η διαρκής άνοδος της τιμής τους και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθεται ο ορισμός της γεωθερμίας, τα γεωθερμικά συστήματα, τα στάδια της γεωθερμικής έρευνας καθώς και η υποδομή που χρειάζεται για τις γεωθερμικές εγκαταστάσεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση τόσο των πρώτων όσο και των σύγχρονων εφαρμογών της γεωθερμίας της γεωθερμίας, το γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας καθώς και η σύγκρισή της με την παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η αντλία θερμότητας, η οποία αποτελεί και τη βασική μονάδα του γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης. Αναλυτικότερα, παρατίθεται ο ορισμός της αντλίας θερμότητας και γίνεται αναφορά των ειδών των αντλιών θερμότητας. Επιπλέον αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση τους. Τέλος γίνεται αναφορά στο κόστος εγκατάστασης των αντλιών θερμότητας

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο για την γεωθερμία. Επίσης, γίνεται αναφορά των επιχορηγήσεων στον τομέα της γεωθερμίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται τα υδρογεωλογικά στοιχεία της κοινότητας των Σοφάδων, γίνεται μια παρουσίαση του πλίθινου χωριού και των τεχνικών χαρακτηριστικών του. Επίσης γίνεται ο σχεδιασμός του κατάλληλου γεωθερμικού συστήματος και υπολογίζεται το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του. Επιπλέον παρουσιάζεται το κόστος λειτουργίας του γεωθερμικού συστήματος το οποίο και συγκρίνεται με άλλα συμβατικά συστήματα (πετρελαίου, φυσικού αερίου). Τέλος υπολογίζεται ο χρόνος απόσβεσης της όλης εγκατάστασης αλλά και το συνολικό κέρδος ύστερα από 10 χρόνια λειτουργίας.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής επισημαίνονται τα οφέλη από τη χρήση της γεωθερμίας στην θέρμανση-ψύξη του πλίνθινου χωριού και συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά του προτεινόμενου συστήματος. Τέλος διατυπώνονται κάποια κίνητρα που μπορούν να επιτρέψουν τη διείσδυση της νέας αυτής τεχνογνωσίας στην Ελλάδα.

Summary

In recent years the scientific community focused on search techniques for using renewable energies to reduce the frequently increasing use of fossil fuels and address the steady rise in price, and environmental pollution.

In the first chapter sets out the definition of geothermal energy, geothermal systems, stages of geothermal research and the infrastructure needed for geothermal plants.

The second chapter presents the first applications and the development of geothermal energy throughout the years, the geothermal potential of Greece and its comparison with the global installed capacity.

The third chapter describes the heat pump, which constitutes the basic unit of the geothermal heating system. Specifically, given the definition of the heat pump and reference types of heat pumps. Moreover listed the advantages and disadvantages arising from their use. Finally referring to the cost of installation of heat pumps.

The fourth chapter deals with the current legislative framework for geothermal energy. Also, reference is made in the grants of geothermal energy.

The fifth chapter presents the hydrogeological aspects of the community Sofades. Is a presentation of the adobe village and its technical characteristics? Also, there is the planning of appropriate geothermal system and calculate the cost of installation and operation. Also is presented the operating costs of the geothermal system and is compared with other conventional systems (oil, natural gas). Finally, calculate the payback of the whole installation and the total profit after 10 years of operation.

The sixth and final chapter of this thesis points out the benefits of using geothermal energy for heating-cooling in the adobe village and summarizes the characteristics of the proposed system. Finally made some incentives that can allow the penetration of this new knowledge in Greece.

Πρόλογος

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

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν είναι πλέον απλά ένας εναλλακτικός τρόπος παραγωγής ενέργειας αλλά μια ανάγκη που υπαγορεύεται από τη διεθνή ενεργειακή κρίση με κύριο άξονα την άνοδο της τιμής του πετρελαίου αλλά και από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αλόγιστης χρήσης συμβατικών καυσίμων.

Μια μορφή Α.Π.Ε που αρχίζει να κερδίζει έδαφος στην Ελλάδα είναι η γεωθερμία, καθώς η χώρα μας είναι πολύ ευνοημένη γεωθερμικά. Στην Ελλάδα συναντώνται σημαντικές γεωθερμικές πηγές, παρόλα αυτά η αξιοποίησή τους βρίσκεται ακόμα σε χαμηλό ποσοστό.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εντάσσεται στον ευρύτερο κύκλο της επιστήμης της Γεωθερμίας και συγκεκριμένα στον κλάδο αυτής, που είναι η Αβαθής Γεωθερμία. Η Γεωθερμία αποτελείται σήμερα από ένα ευρύ πεδίο γνωστικών αντικειμένων τα οποία είναι κυρίως της Γεωλογίας, της Πετρολογίας, της Υδρογεωλογίας, της εφαρμοσμένης Ρευστομηχανικής και της Τεχνικής Γεωτρήσεων.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να προταθεί ένα σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας το οποίο θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση, ψύξη και ζεστού νερού χρήσης στο πλίθινο χωριό για όλη τη διάρκεια του έτους.

Γίνεται περιγραφή των συνηθέστερων γεωθερμικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης χώρων, καθώς και των διαφορετικών ειδών των γεωθερμικών αντλιών. Κατόπιν μελέτης των γεωλογικών και υδρογεωλογικών στοιχείων της περιοχής και υπολογισμού των ενεργειακών αναγκών του πλίνθινου χωριού προτείνεται και το κατάλληλο γεωθερμικό σύστημα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης κόστους προκύπτει ότι είναι οικονομικά συμφέρουσα τόσο η εγκατάσταση των γεωθερμικών συστημάτων, καθώς επιτυγχάνεται σύντομα η απόσβεση, όσο και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης το οποίο παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Επίσης παρατίθενται συγκριτικοί πίνακες τιμών για το προτεινόμενο σύστημα σε σχέση με άλλα συμβατικά συστήματα.

Το έναυσμα για την επιλογή της εν λόγω διπλωματικής εργασίας ήταν το μάθημα της Γεωθερμίας, που διδάσκεται στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων από τον Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Θεόδωρο Μαρκόπουλο.

Η ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας οφείλεται σε προσωπική πολύμηνη προσπάθεια, καθώς και σε σημαντική παροχή βοήθειας πολλών ανθρώπων. Θερμές ευχαριστίες οφείλονται στον κ. Θεόδωρο Μαρκόπουλο για την ανάθεση σε μένα ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος και για την ουσιαστική επίβλεψή του από την αρχή και μέχρι την τελευταία στιγμή, που αποπερατώθηκε η διπλωματική εργασία.

Επίσης πολλές ευχαριστίες απευθύνονται στον Δρ. κ. Κωνσταντίνο Καρύτσα προϊστάμενο του τμήματος Γεωθερμίας και Ηλιακών Συστημάτων στο ΚΑΠΕ Αττικής και τους καθηγητές Μανούτσογλου Εμμανουήλ και Αλεβίζο Γεώργιο για το χρόνο που μου αφιέρωσαν. Τέλος ιδιαίτερες ευχαριστίες δίδονται στα μέλη του ΚΑΠΕ Χαλδέζος Ιωάννης και Χωροπανίτης Ιωάννης που ήταν πάντα διαθέσιμοι και πρόθυμοι στην παροχή πληροφοριών και σωστών κατευθύνσεων σε κάθε πρόβλημα που παρουσιάστηκε, καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Εν κατακλείδι, μύχιες ευχαριστίες οφείλονται στους γονείς μου για την συμπαράσταση και εμπύχωση, που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Χανιά, Ιούνιος 2012

Χαραλαμπίδης Ιωάννης

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Summary	4
Πρόλογος	5
1. Εισαγωγή	9
1.1 Ορισμός της Γεωθερμίας	9
1.2 Γεωθερμικά συστήματα	14
1.3 Στάδια Γεωθερμικής Έρευνας	18
1.4 Υποδομή, εξοπλισμός γεωθερμικών εγκαταστάσεων	19
2 Εφαρμογές Γεωθερμίας	21
2.1 Ιστορική αναδρομή - Πρώτες εφαρμογές	21
2.2 Σύγχρονες εφαρμογές	22
2.3 Γεωθερμικά πεδία Ελλάδος	25
2.3.1 Εισαγωγή	25
2.3.2 Το γεωθερμικό Δυναμικό της Ελλάδας	26
2.4 Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας και η συγκριτική θέση της Ελλάδας	30
2.5 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας	32
2.6 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας	36
2.6.1 Άμεση θέρμανση χώρων	38
2.6.2. Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών	40
2.6.3 Υδατοκαλλιέργειες- Ιχθυοκαλλιέργειες	43
2.6.4 Βιομηχανικές εφαρμογές	45
2.6.5 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού	48
2.6.6 Θέρμανση πισινών και ιατρικές εφαρμογές	49
2.6.7 Εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας	51
3 Αντλίες Θερμότητας	54
3.1 Ορισμός Αντλίας Θερμότητας	54
3.2 Δυνατότητες των αντλιών θερμότητας στην Ελλάδα	57
3.3.1 Αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος (Ground-coupled heat pumps)	58
3.3.1.1 Κάθετος Γεωεναλλάκτης	60
3.3.1.3 Σπειροειδής Γεωεναλλάκτης	65
3.3.1.4 Ανοικτού Κυκλώματος	66
3.4 Τύποι Συστημάτων με Αντλίες Θερμότητας	68
3.4.1 Αντλίες θερμότητας αέρα-νερού	68
3.4.2 Αντλίες θερμότητας νερού-νερού	68
3.4.3 Αντλίες θερμότητας διαλύματος-νερού	69
3.4.4 Αντλίες θερμότητας υβριδικού συστήματος	69
3.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα χρήσης γεωθερμικών αντλιών	69
3.6 Κόστος εγκατάστασης αντλιών θερμότητας	71
4. Νομοθεσία	72
4.1 Ισχύον νομοθετικό πλαίσιο γεωθερμίας	72
4.2 Επιχορηγήσεις στον τομέα της γεωθερμίας	77
5. Προτεινόμενο γεωθερμικό σύστημα στο ξενοδοχειακό συγκρότημα «Το πλίνθο χωριό» - Γεωλογικά στοιχεία της κοινότητας Σοφάδων Καρδίτσας	78
5.1 Εισαγωγή	78
5.2 Συμπεράσματα μελέτης Βιωσιμότητας	81
5.3 Απαιτήσεις Δήμου Σοφάδων	82
5.4 Σημεία κλειδιά για την επιτυχή έκβαση της επένδυσης	83

5.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά	84
5.6 Γεωλογικά στοιχεία της περιοχής Σοφάδων Καρδίτσας	87
5.6.1 Θέση-Ιστορικό	87
5.6.2 Γεωτεχνική έρευνα	89
5.7 Ενεργειακές απαιτήσεις οικίας.....	91
5.8 Σχεδιασμός ανοικτού συστήματος ΓΑΘ	99
5.8.1 Εισαγωγή.....	99
5.8.2 Τεχνικά στοιχεία έργου και γεωθερμικού συστήματος	99
5.9 Ενεργειακό όφελος του συστήματος.....	104
5.10 Ετήσια Εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας και Χρημάτων	105
5.11 Προϋπολογισμός και απόσβεση γεωθερμικού συστήματος	108
6. Επίλογος	112
6.1 Σύνοψη	112
6.2 Καταγραφή συμπερασμάτων	112
6.3 Διατύπωση προτάσεων.....	114
Βιβλιογραφία	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

1. Εισαγωγή

1.1 Ορισμός της Γεωθερμίας

Με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, της βιομηχανίας και την άνοδο του βιοτικού επιπέδου υπάρχει μια ολοένα και αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας. Η επίσης διαρκώς αυξανόμενη χρήση των συμβατικών καυσίμων και η διαρκής άνοδος των τιμών τους έχει οδηγήσει την επιστημονική κοινότητα στην αναζήτηση νέων, όσο το δυνατόν ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως είναι η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική.

Η λέξη Γεωθερμία είναι σύνθετη και ετυμολογικά προέρχεται από το ουσιαστικό «Γη» και το ρήμα «θέρω» που σημαίνει θερμαίνω, κάνω κάτι θερμό. Ο όρος γεωθερμία αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία στον εφαρμοσμένο επιστημονικό κλάδο που περιλαμβάνει όλο το φάσμα της έρευνας, από τη μελέτη της γήινης ροής θερμότητας, τις συνθήκες κατανομής των θερμοκρασιών στο υπέδαφος, το μηχανισμό κυκλοφορίας των υπόγειων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες, καθώς και τα φυσικό-χημικά χαρακτηριστικά τους, μέχρι τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με κατάλληλες παραγωγικές γεωτρήσεις.

Η πλέον εντυπωσιακή απόδειξη της θερμότητας που υπάρχει στο εσωτερικό της γης αποτελεί η ηφαιστειακή δραστηριότητα. Άλλες γεωθερμικές ενδείξεις είναι οι ατμοί, τα θερμά νερά και τα αέρια που σχηματίζουν θερμοπίδακες (γκέιζερ), θερμές πηγές και ατμίδες. Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος από την επιφάνεια της γης είναι γνωστός με το όνομα γεωθερμική βαθμίδα. Η γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται από 5 μέχρι 70°C/km, με μέση τιμή τους 30°C/km. Περιοχές με θεωρητικά γεωθερμικό ενδιαφέρον είναι οι περιοχές που διαθέτουν γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από τη μέση τιμή. Τέτοιες περιοχές είναι πολλές στον πλανήτη μας, αλλά και στη χώρα μας, και οι περισσότερες βρίσκονται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών.

Η Γη διαθέτει υπέρογκα ποσά θερμικής ενέργειας, τόσα, που σε θεωρητικό μεν επίπεδο θα μπορούσαν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες όλων των κρατών, πρακτικά δε, να συμμετέχουν με ένα αξιόλογο ποσοστό στην ενεργειακή κάλυψη αυτών. Όμως για πολλά χρόνια έως και σήμερα στο διεθνή ενεργειακό σχεδιασμό, είχε επικρατήσει η χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, άνθρακας) για την ενεργειακή κάλυψη, με αποτέλεσμα η γεωθερμική ενέργεια να παραμένει ανεκμετάλλευτη.

Στο εσωτερικό της Γης επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, που στην επιφάνεια της Γης εκδηλώνονται με διάφορες μορφές, όπως υδροθερμικοί ή φρεατικοί κρατήρες, θερμές πηγές, θερμοπίδακες, ατμίδες, λεκάνες ιλύος, θερμά εδάφη. Η θερμότητα που ανέρχεται από το εσωτερικό της Γης προς το στερεό φλοιό και την επιφάνεια, είναι μετρήσιμη, αλλά δεν είναι όλη εκμεταλλεύσιμη. Αυτή βρίσκεται εγκλωβισμένη σε γεωλογικούς σχηματισμούς και σε ρευστά που κυκλοφορούν στο εσωτερικό της Γης, η δυνατότητα δε της εκμετάλλευσής της εξαρτάται από το βαθμό και της συνθήκες συγκέντρωσής της.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από τη θερμότητα του εσωτερικού της Γης και αυτή η θερμότητα είναι βασικά απεριόριστη. Σύμφωνα με τη σημερινή επιστημονική γνώση, το εσωτερικό της Γης είναι πάρα πολύ ζεστό ($1.000-3.000^{\circ}\text{C}$ στον μανδύα και $> 4.000^{\circ}\text{C}$ στον πυρήνα) και θα συνεχίσει να είναι και στο μέλλον. Ο ρυθμός και η δυνατότητα πλήρους ενεργειακής επαναφόρτισης ενός γεωθερμικού συστήματος αποτελεί το κρίσιμο κριτήριο στην ταξινόμηση ενός πόρου ως ανανεώσιμου ή όχι.

Τα γεωθερμικά πεδία τροφοδοτούνται βασικά με μετεωρικά νερά (βροχή, χιόνι) ή άλλα επιφανειακής προέλευσης νερά (θαλάσσια, λιμναία, ποτάμια), που κατεισδύουν στο εσωτερικό της Γης και κυκλοφορούν υπογείως, θερμαίνονται, εμπλουτίζονται σε άλατα και αέρια και μπαίνουν στο διαρκή κύκλο μεταφοράς θερμότητας. Μέσα στον ταμιευτήρα, όπου η κυκλοφορία είναι πιο γρήγορη και εύκολη, συγκεντρώνονται νερά κάτω από συνθήκες αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας, που θερμαίνονται με συναγωγή αλλά και αγωγή. Ο ταμιευτήρας προστατεύεται από στεγανό γεωλογικό

κάλυμμα, που εμποδίζει τη διάχυση της θερμικής ενέργειας στην επιφάνεια. Κάποιος βαθμός τοπικής εξάντλησης των πόρων στο συγκεκριμένο πεδίο/ταμιευτήρα μπορεί να συμβεί κατά την αξιοποίηση του πόρου, όταν ο ταμιευτήρας των γεωθερμικών ρευστών δεν «επικοινωνεί» με την επιφάνεια του εδάφους, παρά μόνο σε πολύ μακρινή απόσταση και ο ρυθμός επανατροφοδοσίας και θέρμανσης των ρευστών δεν είναι ίσος με το ρυθμό άντλησης αυτών. Σε μερικούς μόνο θερμούς και εγκλωβισμένους ταμιευτήρες μέσα σε βαθιές ιζηματογενείς λεκάνες η ενεργειακή επαναφόρτιση ελέγχεται από την αγωγή θερμότητας και είναι μια αργή διαδικασία. Υπάρχει βέβαια και η ακραία περίπτωση των εντελώς κλειστών ταμιευτήρων (κυρίως σε βαθιές ιζηματογενείς λεκάνες), οπότε η εκμετάλλευση με άντληση θα μπορούσε να οδηγήσει κάποια στιγμή στην πρακτική εκκένωση του ταμιευτήρα (όπως γίνεται με τους ταμιευτήρες των υδρογονανθράκων).

Τα πιο συνηθισμένα συστήματα είναι τα υδροθερμικά, όπου τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά, τα οποία συγκεντρώνονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μία εστία θερμότητας και με τη βοήθεια γεωτρήσεων έρχονται στην επιφάνεια και γίνονται αντικείμενο αξιοποίησης. Είναι τα κύρια συστήματα που αξιοποιούνται σήμερα. Κατά την εκμετάλλευση των υδροθερμικών συστημάτων, η επανατροφοδοσία της ενέργειας επιτυγχάνεται με τη φυσική αναπλήρωση του νερού στον ταμιευτήρα, στο ίδιο περίπου χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η παραγωγή των ρευστών. Αυτό σημαίνει ότι το υπόγειο νερό ή ο ατμός που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για την κάλυψη θερμικών αναγκών (άμεσες χρήσεις γεωθερμίας), με την κατάλληλη διαχείριση, δεν θα ελαττωθούν, επειδή η κατείσδυση θα συνεχίσει να ανατροφοδοτεί τους γεωθερμικούς ταμιευτήρες. Αρκεί να μη γίνεται υπεράντληση. Η επαναδιοχέτευση των ρευστών, μετά τη χρήση τους, με άλλες γεωτρήσεις και σε ικανοποιητικές αποστάσεις μπορεί να αντικαταστήσει πλήρως την ποσότητα και την πίεση των ρευστών του ταμιευτήρα. Συνεπώς, οι γεωθερμικοί πόροι μπορεί να θεωρηθούν ως ανανεώσιμοι στην κλίμακα χρόνου των τεχνολογικών και κοινωνικών συστημάτων και δε χρειάζονται μεγάλους γεωλογικούς χρόνους (περιόδους) για αναγέννηση, όπως γίνεται με τα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων.

Γενικοί γεωθερμικοί όροι

- Γεωθερμία: Είναι ο εφαρμοσμένος επιστημονικός κλάδος που μελετά τη φυσική θερμότητα της Γης.
- Γεωθερμική ενέργεια: εννοούμε το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή θερμού νερού, ατμού ή θερμών πετρωμάτων.
- Γεωθερμική χρήση: αναφέρεται η οικονομική εκμετάλλευση του ατμού ή των θερμών νερών, είτε αυτά ρέουν φυσικά, είτε βγαίνουν στην επιφάνεια μέσω γεώτρησης.
- Γεωθερμικό σύστημα : είναι το σύνολο του γεωλογικού χώρου και η γεωθερμική ενέργεια που εμπεριέχει αυτός.
- Γεωθερμικό πεδίο: Ορίζεται ως η γεωθερμική περιοχή της οποίας η ποσότητα, η θερμοκρασία και το βάθος των γεωθερμικών ρευστών επιτρέπουν να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη.
- Γεωθερμική βαθμίδα: Ορίζεται ως ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της Γης ανά μονάδα μήκους (βάθους). Για τα πρώτα 10 Km στο στερεό φλοιό η γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται από 0,50C°/100 m έως και 70C°/100 m, με μέση τιμή 30C°/100 m και χαρακτηρίζεται ως κανονική γεωθερμική βαθμίδα.
- Γεωθερμικά ρευστά: Είναι κατά κανόνα νερά μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης ή σπανιότερα μαγματικής προέλευσης σε υγρή ή αέρια φάση που συχνά εμπεριέχουν ποσότητες στερεών και αερίων (κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο κλπ.) εν διαλύσει.

- **Θετική γεωθερμική ανωμαλία:** Εμφανίζεται στις περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα αυτών έχει μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με την κανονική (μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα). Αυτή οφείλεται στην ύπαρξη μιας αυξημένης τοπικά θερμικής ροής σε σχέση με της μέση γήινης, που έχει υπολογιστεί περίπου ίση με $1,43 \text{ } \mu\text{cal}/\text{cm}^2 \text{ sec}$
- **Γεωθερμικές περιοχές:** Χαρακτηρίζονται εκείνες όπου εμφανίζονται θετικές γεωθερμικές ανωμαλίες, που προκαλούνται από αυξημένη θερμική ροή.
- **Γεωθερμικοί πόροι:** ορίζονται ως οι ποσότητες της θερμικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και σε κάποιο προσβάσιμο βάθος και μπορεί να ανακτηθεί με ανταγωνιστικό κόστος.
- **Βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο:** είναι το πεδίο του οποίου τα χαρακτηριστικά είναι πιστοποιημένα με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας με ερευνητικές εργασίες. Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης καθορίζονται τα χαρακτηριστικά και ο βαθμός αξιοπιστίας των εκτιμήσεων προκειμένου ένα γεωθερμικό πεδίο να χαρακτηριστεί βεβαιωμένο.
- **Πιθανό γεωθερμικό πεδίο:** είναι το πεδίο, του οποίου τα χαρακτηριστικά εκτιμώνται από προκαταρκτικά ερευνητικά έργα. Με την υπουργική απόφαση της προηγούμενης περιπτώσεως καθορίζονται τα χαρακτηριστικά και ο βαθμός αξιοπιστίας των εκτιμήσεων προκειμένου ένα γεωθερμικό πεδίο να χαρακτηριστεί πιθανό.
- **Διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου:** είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στην παραγωγική εξόρυξη του γεωθερμικού ρευστού, την ορθολογική αξιοποίηση προϊόντος και παραπροϊόντων, τη διανομή και ελεύθερη διάθεσή του σε τρίτους για κάθε είδους εφαρμογές και την περιβαλλοντικά συμβατή διάθεση των υποπροϊόντων.

1.2 Γεωθερμικά συστήματα

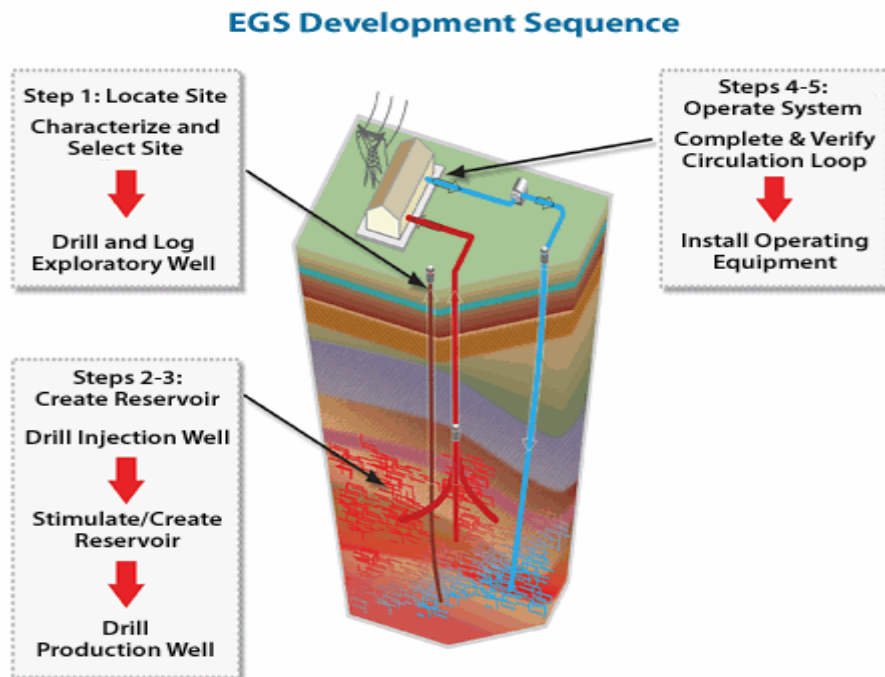
Ως γεωθερμικοί πόροι (geothermal resources) ορίζονται οι ποσότητες της θερμικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και σε κάποιο προσβάσιμο βάθος και μπορεί να ανακτηθεί με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας. Το γεωθερμικό δυναμικό αποτελείται από το σύνολο των φυσικών ατμών και θερμών νερών (επιφανειακών ή υπόγειων) και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, των οποίων η θερμοκρασία υπερβαίνει τη μέση ετήσια θερμοκρασία της κάθε περιοχής. (Μ.Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος)

Όταν μιλάμε για γεωθερμικούς πόρους, συνήθως αναφερόμαστε στους προσβάσιμους χώρους, δηλαδή σε εκείνους που μπορούν να ανακτηθούν σήμερα με οικονομικά ανταγωνιστικό τρόπο και στους πόρους που σήμερα δεν είναι οικονομικοί, αλλά θα μπορούσαν να γίνουν οικονομικοί κάποια στιγμή στο μέλλον. (Μ.Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος)

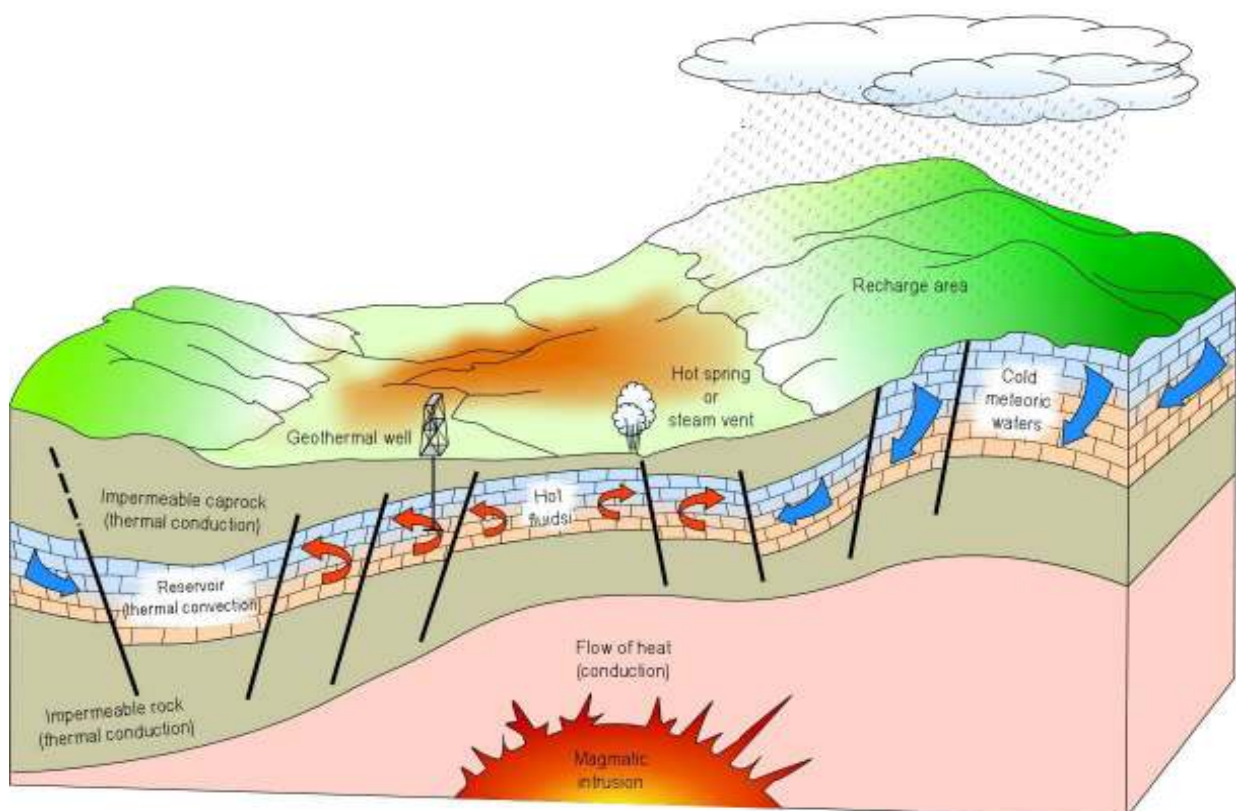
Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια, όπως είναι το είδος των γεωθερμικών πόρων , ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών, ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά , το είδος της εστίας θερμότητας, αν κυοφορούν ή όχι τα ρευστά στον ταμιευτήρα κ.α. Σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων διακρίνονται πέντε κατηγορίες συστημάτων. (Μ.Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος)

1. Υδροθερμικά συστήματα ή πόροι είναι τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά , τα οποία βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μια εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με την μορφή θερμών εκδηλώσεων. Τα συστήματα αυτά συχνά ταυτίζονται με το σύνολο σχεδόν των γεωθερμικών πεδίων, αφού σήμερα ουσιαστικά είναι τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται.

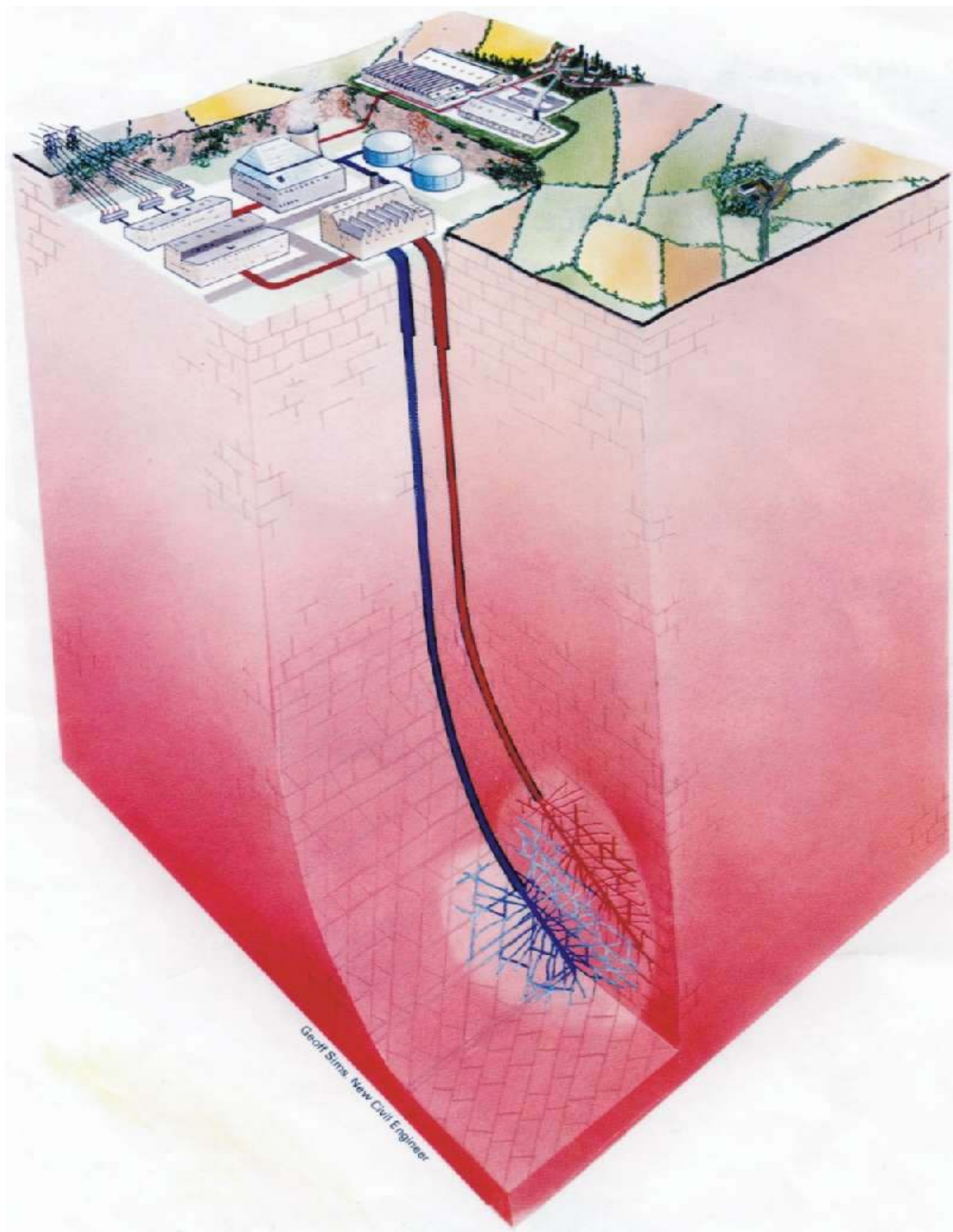
2. Μια πολλά υποσχόμενη κατηγορία γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί η αβαθής γεωθερμία, κατά την οποία λαμβάνονται ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού σε κλειστές υδροφόρες ή ξηρές γεωτρήσεις ή σε ρηχές επιφάνειες εδάφους/πετρωμάτων.
3. Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα τα οποία αποτελούνται από ρευστά εγκλείσματα σε μεγάλο βάθος, βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και η πίεση τους υπερβαίνει την υδροστατική. Συγκαταλέγονται στα στατικά συστήματα και συνυπάρχουν με υδρογονάνθρακες (κυρίως αερίου).
4. Τα συστήματα βαθιών θερμών – ξηρών πετρωμάτων (hot dry rock systems), δηλαδή τα θερμά πετρώματα σε βάθος από 3 μέχρι 10 km χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που διοχετεύεται από την επιφάνεια μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων, και ανακτάται θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων.
5. Τα μαγματικά συστήματα (magma systems) αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε σχετικά μικρό μαγματικό βάθος.



Εικόνα 1.1 Σύστημα βαθιών θερμών – ξηρών πετρωμάτων (hot dry rock systems),



Εικόνα 1.2: Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος
Μιχάλης Φυτίκας και Μαρία Παπαχρήστου «Τί είναι Γεωθερμική Ενέργεια;»
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης/Τμήμα Γεωλογίας



Εικόνα 1.3: Σχηματική αναπαράσταση ενός συστήματος Θερμών Ξηρών Πετρωμάτων σε οικονομική κλίμακα (από Richards et al., 1994)

1.3 Στάδια Γεωθερμικής Έρευνας

Η αναζήτηση των γεωθερμικών περιοχών με ρευστά που να σχηματίζουν ένα εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα, γίνεται με κατάλληλη γεωθερμική έρευνα. Οι οικονομικές συνθήκες για την εκμετάλλευση απαιτούν η γεωθερμική ενέργεια να είναι όσο γίνεται περισσότερο συγκεντρωμένη κοντά στην επιφάνεια, με τις μικρότερες δαπάνες και κατά το δυνατόν ανανεώσιμη.

Αν η επιφανειακή έρευνα δείξει θετικά αποτελέσματα ακολουθεί ανόρυξη ερευνητικών και κατόπιν παραγωγικών γεωτρήσεων, οι οποίες στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ιδιαίτερα δαπανηρές. Η γεωθερμική έρευνα διακρίνεται σε τέσσερα κύρια τυποποιημένα (ή τυπικά) στάδια :

1) Γενική επισκόπηση μεγάλης κλίμακας. Χρήση όσο το δυνατόν περισσότερων στοιχείων (γεωλογικοί και τεκτονικοί χάρτες, αεροφωτογραφίες, βιβλιογραφική ανασκόπηση, αναγνωριστικές επισκέψεις, θερμομετρήσεις, δειγματοληψίες αναλύσεις νερών κτλ.) για την επιλογή και υπόδειξη των περιοχών με τις ευνοϊκότερες συνθήκες.

2) Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών. Ερευνώνται με λεπτομέρεια εκείνοι οι παράγοντες (γεωλογικοί, τεκτονικοί, ηφαιστειολογικοί, στρωματογραφικοί, λιθολογικοί, υδρογεωλογικοί, γεωχημικοί, γεωφυσικοί, θερμοδυναμικοί κτλ.) που μπορούν να χαρακτηρίσουν μια γεωθερμική περιοχή. Τελικός στόχος του σταδίου αυτού είναι ο προσδιορισμός του γεωθερμικού μοντέλου κάθε γεωθερμικού κοιτάσματος και η γνώση της θέσης και κατάστασης στην οποία βρίσκονται τα γεωθερμικά ρευστά ή θερμά πετρώματα. Συγχρόνως προτείνεται η σειρά, το βάθος και τα χαρακτηριστικά των ερευνητικών-παραγωγικών γεωτρήσεων.

3) Εντοπισμός-περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων και μελέτη των χαρακτηριστικών: Το στάδιο αυτό καταλήγει στον προσδιορισμό των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών και των θέσεων στις οποίες προτείνεται η εκτέλεση των πρώτων βαθιών γεωτρήσεων έρευνας και παραγωγής. Στη συνέχεια καταρτίζεται το λεπτομερές πρόγραμμα γεωτρήσεων. Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις διακρίνονται, αναφορικά με το σκοπό της ανόρυξής τους, σε ερευνητικές, παραγωγικές ή επανεισαγωγής, και σε σχέση με την ενθαλπία των ρευστών, σε χαμηλής, μέσης ή υψηλής ενθαλπίας.

4) Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων. Αναφέρεται στα σπουδαιότερα προβλήματα διαχείρισης και λειτουργίας ενός γεωθερμικού πεδίου.

Τα παραπάνω τυποποιημένα (ή τυπικά) στάδια ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις της γεωθερμικής έρευνας, αν και οι επί μέρους γεωλογικές συνθήκες καθορίζουν την ξεχωριστή διάρθρωση και ανάπτυξη του κάθε σταδίου. Μπορεί να αλλάζει η λεπτομερής διάρθρωση και η ανάπτυξη των επιμέρους σταδίων, γενικά όμως οι εργασίες ακολουθούν την προαναφερθείσα τυπική σειρά. Σε κάθε φάση απαιτείται υποχρεωτικά η συνεργασία και ο συντονισμός των διαφόρων επιστημόνων και τεχνικών που εμπλέκονται στην όλη έρευνα.

1.4 Υποδομή, εξοπλισμός γεωθερμικών εγκαταστάσεων

Ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας, ανεξάρτητα από το είδος της εφαρμογής, αποτελείται συνήθως από τέσσερα τυπικά υποσυστήματα:

(1) Το σύστημα παραγωγής, που περιλαμβάνει τη παραγωγική γεώτρηση, την αντλία παραγωγής και τις συσκευές στην κεφαλή της γεώτρησης. Το πλέον συνηθισμένο σχήμα αξιοποίησης είναι το σύστημα των διπλών γεωτρήσεων («δίπολο»), στο οποίο το σύνολο του γεωθερμικού ρευστού επανεισάγεται στον ταμιευτήρα.

(2) Το σύστημα μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών από την κεφαλή της γεώτρησης μέχρι το σύστημα εφαρμογής, μαζί με το σύστημα διανομής της γεωθερμικής ενέργειας. Για εφαρμογές με θερμοκρασία νερού μικρότερη από 70°C κυριαρχούν οι πλαστικοί σωλήνες.

(3) Το σύστημα εφαρμογής (σύστημα εναλλαγής της θερμότητας). Οι εναλλάκτες πλακών είναι οι κατ' εξοχήν εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης όταν η χημεία των νερών δεν επιτρέπει την απ' ευθείας εφαρμογή. Η θέρμανση των χώρων στα κτίρια επιτελείται με τη διέλευση του θερμού νερού μέσω των μετατροπέων θερμότητας αέρα-υγρού (converters), κάτι που γίνεται και με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Τρεις τύποι τέτοιων μετατροπέων χρησιμοποιούνται κυρίως:

- (α) Αυτοί που λειτουργούν με εξαναγκασμένη ροή,
- (β) αυτοί που λειτουργούν με φυσική συναγωγή
- (γ) αυτοί που λειτουργούν με ακτινοβολία (σωλήνες τοποθετημένοι στο πάτωμα, σε τοίχους ή στην οροφή).

(4) Το σύστημα διάθεσης των ρευστών. Μερικές φορές προστίθεται ένα πέμπτο σύστημα, το σύστημα αντιμετώπισης των αυξημένων αναγκών κατά τις ώρες αιχμής. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος είναι προφανές ότι τα παραπάνω υποσυστήματα τροποποιούνται για να ανταπεξέλθουν στις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις των γεωθερμικών ρευστών. Ο τύπος (κύκλος) της μονάδας ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της γεωθερμικής ενεργείας σε ηλεκτρική καθορίζεται συνήθως από το είδος του πεδίου (ξηρός ατμός, διφασικό ρευστό), από τη θερμοκρασία και την πίεση των ρευστών (δηλαδή από την ενθαλπία τους), από τη σύσταση των γεωθερμικών ρευστών από τη δυναμικότητα της μονάδας και από την τάση των ρευστών για δημιουργία επικαθίσεων και διάβρωσης των μεταλλικών επιφανειών. Οι κυριότεροι τύποι μονάδων που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ο κύκλος ατμού, ο κύκλος εκτόνωσης διφασικού ρευστού και ο δυαδικός κύκλος .

2 Εφαρμογές Γεωθερμίας

Στο παρελθόν η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας περιοριζόνταν σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επέτρεπαν σε ένα μέσο (νερό σε υγρή ή αέρια φάση) να μεταφέρει τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτήν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν οι γεωθερμικοί πόροι. Με το πέρασμα των χρόνων και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται και για την εκμετάλλευση της θερμότητας του υπεδάφους (αβαθής γεωθερμία).

2.1 Ιστορική αναδρομή - Πρώτες εφαρμογές

Μία από τις αρχαιότερες πηγές πρωτογενούς ενέργειας που εκμεταλλεύθηκε ο άνθρωπος είναι η γεωθερμική ενέργεια. Σύμφωνα με την αρχαία ελληνική ιστορία αρκετοί ιεροί χώροι βρίσκονταν κοντά σε θερμές πηγές. Άλλοι αρχαίοι λαοί, όπως οι Ετρούσκοι και οι Ρωμαίοι, αξιοποιούσαν τις θερμικές και ιαματικές ιδιότητες των ζεστών πηγών.

Τα φυσικά λοιπόν θερμά ρευστά χρησιμοποιήθηκαν από πολύ παλιά, κυρίως για τις θεραπευτικές τους ιδιότητες, σπάνια για τις ενεργειακές του δυνατότητες. Οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεψαν, κατά τον προηγούμενο κυρίως αιώνα, την απόληψη της γεωθερμικής θερμότητας.

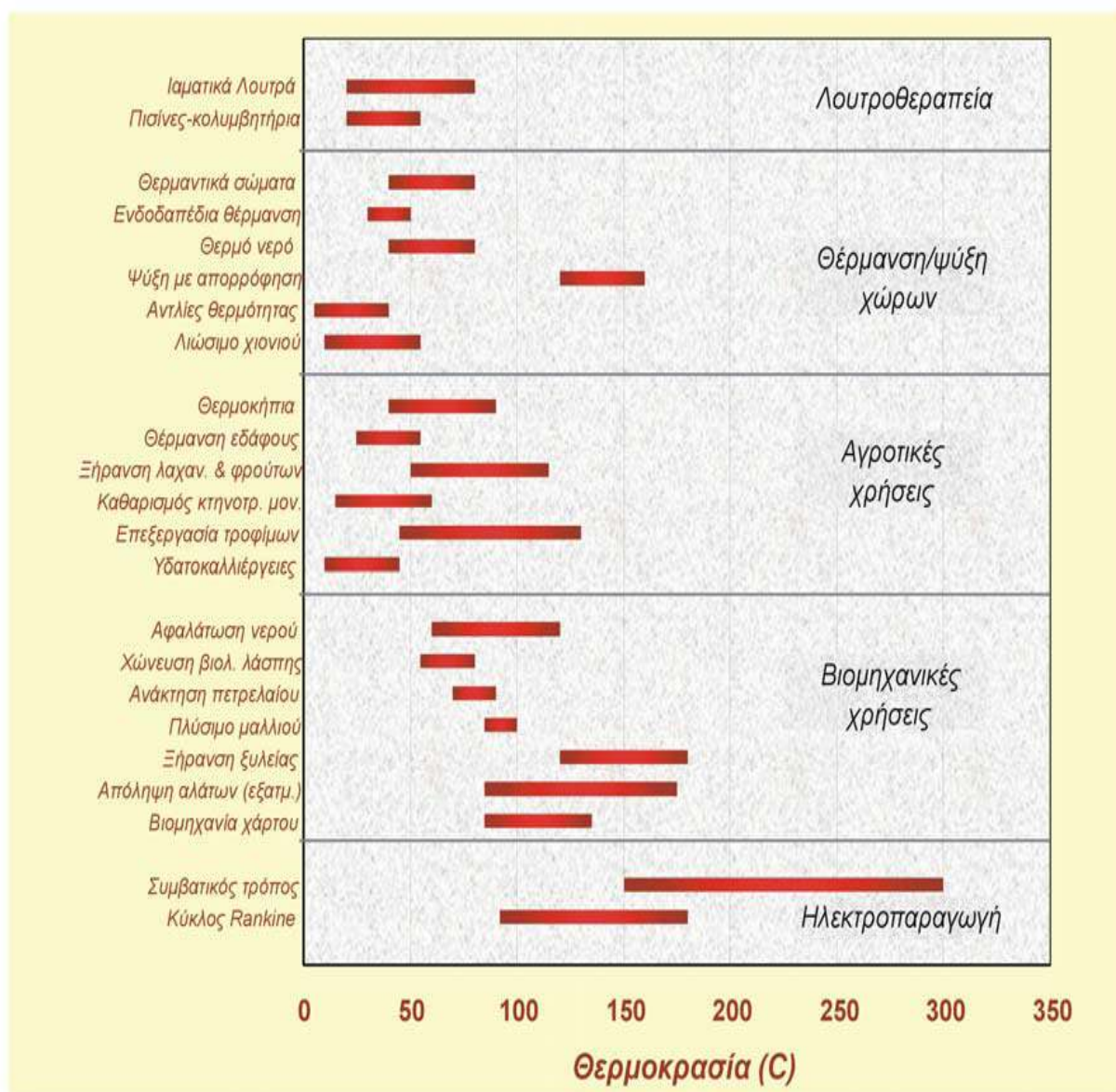
Στη σύγχρονη εποχή, η πρώτη βιομηχανική αξιοποίηση της γεωθερμίας πραγματοποιήθηκε στο Larderello της Ιταλίας στις αρχές του 1900, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη συστηματική αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων και κτηρίων ξεκίνησε στη δεκαετία του 1920 στην Ισλανδία. Ουσιαστικά όμως, το 1955 στη Ν. Ζηλανδία, άρχισε η εμπορική γεωθερμική ανάπτυξη. Στην Ελλάδα οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ξεκίνησαν να εμφανίζονται από το 1990 και μετέπειτα.

Σήμερα ο συνολικός αριθμός των χωρών σε παγκόσμιο επίπεδο, που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για θερμικούς σκοπούς, υπερβαίνει τις 60. Κατά το έτος δε 2000 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για άμεσες χρήσεις ήταν 15145 MWt, ενώ για παραγωγή ηλεκτρισμού 7975 MWt (Lund and Freeston, 2001, Huttner, 2001). Ιδιαίτερα πρέπει να σημειωθεί ότι σε ολόκληρη την πόλη Ρέικγεβικ (Reykjavik) της Ισλανδίας και στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας αυτής, η θέρμανση κτιρίων γίνεται με χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Τέλος σημειώνεται ότι στην Κίνα το μεγαλύτερο μέρος της γεωθερμικής ενέργειας που χρησιμοποιείται, παρέχεται για τη θέρμανση χώρων.

Όσον αφορά την Ευρώπη, υπάρχουν 28 <<γεωθερμικά>> ενεργές χώρες με εφαρμογές άμεσων χρήσεων και 5 χώρες με γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή (Ιταλία, Ισλανδία, Γαλλία, Αυστρία και Πορτογαλία), με εγκατεστημένη ισχύ 971 MWe και παραγωγή 5635 GWt το χρόνο ηλεκτρικής ενέργειας (Huttner, 2001).

2.2 Σύγχρονες εφαρμογές

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η πιο σημαντική μορφή αξιοποίησης των γεωθερμικών πόρων υψηλής θερμοκρασίας ($>150^{\circ}\text{C}$). Οι μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας πόροι ($<150^{\circ}\text{C}$) είναι κατάλληλοι για πολλούς και διαφορετικούς τύπους εφαρμογών. Το κλασσικό διάγραμμα του Lindal (Εικόνα 2.1), το οποίο δείχνει τις πιθανές χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους, ισχύει ακόμη μέχρι σήμερα. Οι περισσότερο καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Στο κάτω μέρος του διαγράμματος Lindal ο κορεσμένος ατμός χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι το διάγραμμα Lindal δεν περιορίζει το είδος των δυνατών χρήσεων, ούτε πρέπει να ληφθούν αυστηρά υπόψη τα όρια των θερμοκρασιών που θέτει.



Εικόνα: 2.1. Το τροποποιημένο διάγραμμα Lindal, Απ. Αρβανίτης (2008). «Μύθοι και πραγματικότητα για την Γεωθερμία» Υπουργείο Ανάπτυξης Γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών, 2008

Το διάγραμμα Lindal σε μια άλλη έκδοσή του (Πίνακα 2.1) δίνει μία πρώτη εικόνα του φάσματος των εφαρμογών στις οποίες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν άμεσα τα γεωθερμικά ρευστά, ανάλογα με τη θερμοκρασία τους.

Α Τ Μ Ο Σ	180 °C - Εξάτμιση συμπυκνωμένων διαλυμάτων, Ψύξη με απορρόφηση, Κατεργασία χαρτομάζας
	170 °C - Παραγωγή βαρέος ύδατος, Ξήρανση διατόμων
	160 °C - Ξήρανση ψαριών, Ξήρανση ξυλείας
	150 °C - Παραγωγή αλουμίνας με τη μέθοδο Bayer
	140 °C - Ξήρανση αγροτικών προϊόντων, Κονσερβοποίηση
	130 °C - Εξάτμιση στην παραγωγή ζάχαρης, Ανάκτηση αλάτων με εξάτμιση και κρυστάλλωση
	120 °C - Αφαλάτωση με απόσταξη
	110 °C - Ξήρανση τσιμεντόλιθων
	100 °C - Ξήρανση οργανικών ουσιών, φυκιών, οσπρίων κ.λ.π., Πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού
	90 °C - Ξήρανση ψαριών
Ζ Ε Σ Τ Ο	80 °C - Θέρμανση θερμοκηπίων, Θέρμανση οικισμών
	70 °C - Ψύξη (κατώτερο όριο)
	60 °C - Εκτροφή διάφορων ζώων
	50 °C - Καλλιέργεια μανιταριών, Ιαματικά λουτρά
	40 °C - Θέρμανση εδάφους, Θέρμανση οικισμών (κατώτερο όριο)
	30 °C - Πισίνες, Ζύμωση, Θέρμανση θερμοκηπίων με ακτινωτό δίκτυο αγωγών
Ν Ε Ρ Ο	20 °C - Ιχθυοκαλλιέργειες

Πίνακας 2.1: Δυνατές χρήσεις γεωθερμικών ρευστών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους (Lindal, B. Industrial and other applications of geothermal energy. In Geothermal Energy, UNESCO, Paris, 135-148 ,1973)

2.3 Γεωθερμικά πεδία Ελλάδος

2.3.1 Εισαγωγή

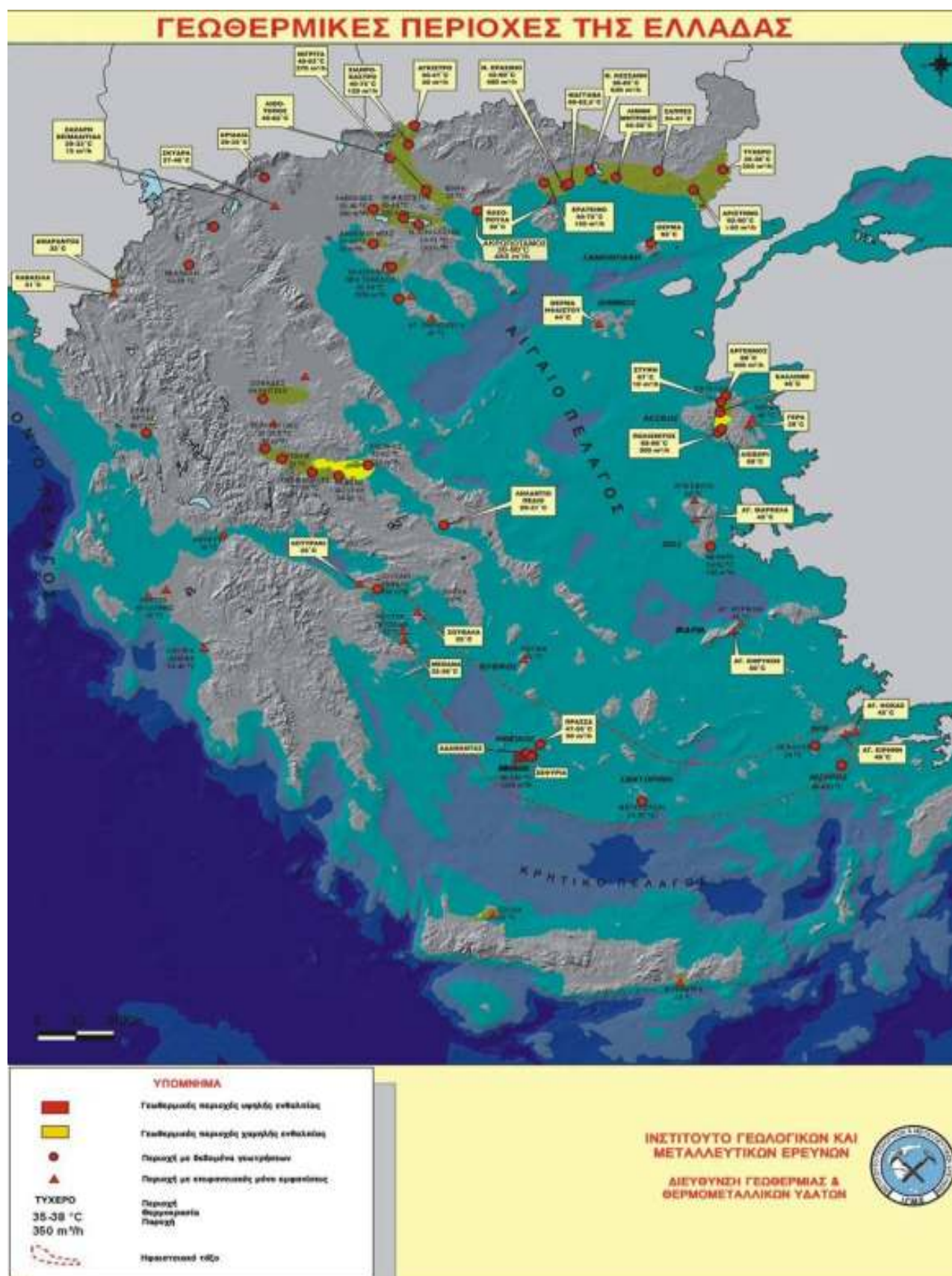
Η χώρα μας είναι ιδιαίτερα ευνοημένη, όσον αφορά στην ύπαρξη γεωθερμικής ενέργειας, και τα τελευταία 30 χρόνια έχει γίνει αξιόλογη βασική έρευνα για τον εντοπισμό και χαρακτηρισμό των γεωθερμικών πεδίων. Ο Ελλαδικός χώρος εξαιτίας κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500m). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι σχετικά πολύ μικρά κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

Η Ελλάδα, μαζί με την Ιταλία, την Πορτογαλία (Αζόρες Νήσοι) και τη Γαλλία (νήσος Γουαδελούπη στην Καραϊβική) είναι οι μόνες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στις οποίες υπάρχουν πεδία υψηλής ενθαλπίας (με θερμοκρασία ρευστών μεγαλύτερη των 150°C), και από τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν τα γεωθερμικά ρευστά για παράγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Επίσης η χώρα μας διαθέτει πληθώρα περιοχών, κυρίως στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα και στα νησιά του Αιγαίου, με θερμοκρασίες ταμιευτήρων που φτάνουν και μερικές φορές ξεπερνούν τους 100°C. Παρά τον αξιόλογο γεωθερμικό πλούτο, η ανάπτυξη της γεωθερμίας στην Ελλάδα δεν κρίνεται ικανοποιητική, συγκρινόμενη είτε με την ανάπτυξη άλλων εναλλακτικών μορφών ενέργειας, είτε με τις εξελίξεις σε άλλες χώρες, μεταξύ των οποίων και μερικές γειτονικές (π.χ. Τουρκία).

2.3.2 Το γεωθερμικό Δυναμικό της Ελλάδας

Οι γεωλογικές συνθήκες του Ελλαδικού χώρου συνέβαλαν γενικά στη δημιουργία ενός πολύ σημαντικού αριθμού γεωθερμικών πεδίων, χαρακτηρίζοντας τη χώρα μας σαν μία από τις πλέον ευνοημένες, από πλευράς γεωθερμικού δυναμικού περιοχή. Οι έρευνες για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα άρχισαν το 1970 και μέχρι το 1980 αφορούσαν μόνο στις περιοχές που είχαν καταρχήν ενδιαφέρον για υψηλή ενθαλπία. Εντοπίστηκαν δύο γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας (Μήλος, Νίσυρος) με πολύ καλά χαρακτηριστικά, αλλά η αξιοποίησή τους δεν προχώρησε. Επίσης εντοπίστηκαν και άλλα πιθανά πεδία υψηλής ενθαλπίας, για τα οποία, όμως, συστηματική έρευνα δεν έχει γίνει μέχρι σήμερα.

Στον ακόλουθο χάρτη απεικονίζονται οι γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας, καθώς και βασικά χαρακτηριστικά τους, όπως η θερμοκρασία και η παροχή των γεωθερμικών ρευστών. Όπως διαπιστώνεται από το χάρτη αυτό, τα γεωθερμικά πεδία στον Ελλαδικό χώρο είναι αρκετά διάσπαρτα και η πυκνότητα κατανομής τους διαφέρει ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή.



Χάρτης 2.1: Γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών ερευνών)

Τα σπουδαιότερα γεωθερμικά πεδία έχουν εντοπιστεί στη Μήλο και στη Νίσυρο, όπου από βαθιές γεωτρήσεις έρευνας και παραγωγής έχει διαπιστωθεί ότι το πιθανό δυναμικό υπολογίζεται να είναι της τάξης των 200 και 50 MWe αντίστοιχα. Στη Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325°C σε βάθος 1000m και στη Νίσυρο 350°C σε βάθος 1500m. Άλλες περιοχές που εμφανίζονται πεδία υψηλής ή μέσης ενθαλπίας είναι η Κίμωλος, η Σαντορίνη, η Κως, η Λέσβος, η Σαμοθράκη κ.α..

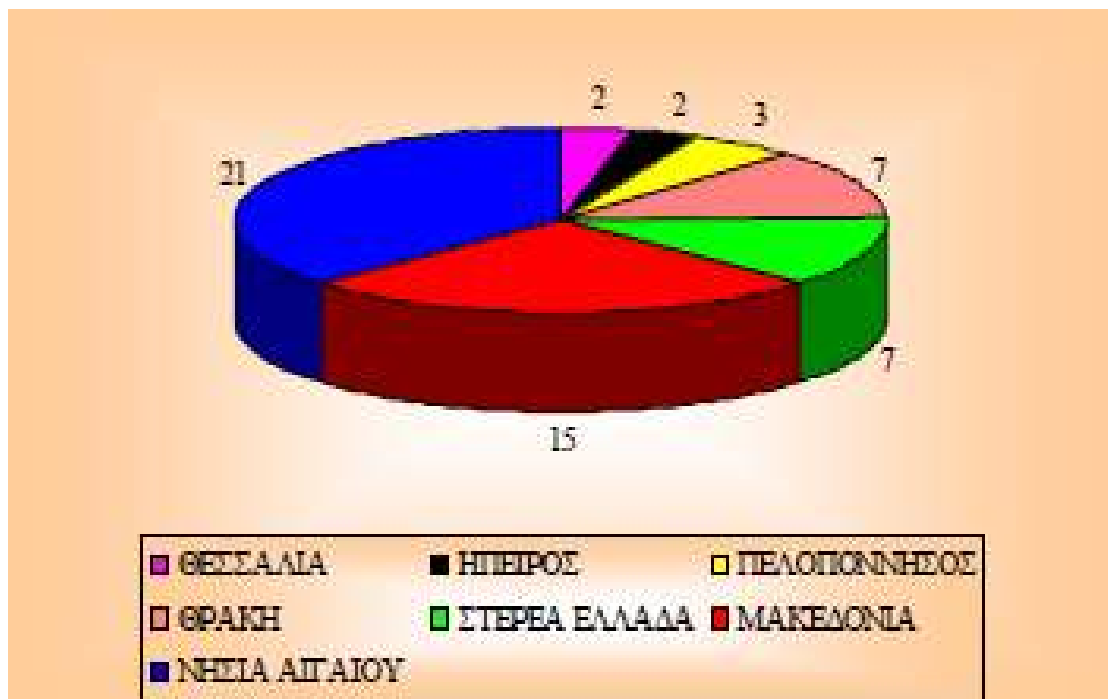
Στην Βόρεια Ελλάδα εντοπίστηκαν σημαντικά γεωθερμικά πεδία με $T < 95^{\circ}\text{C}$, στις περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας, της λεκάνης Θεσσαλονίκης, της Λεκάνης Κομοτηνής-Ξάνθης, της λεκάνης Αλεξανδρούπολης-Εβρου, του δέλτα του ποταμού Νέστου (γεωθερμικά πεδία Ερατεινού Χρυσούπολης), της Λεκάνης Στρυμόνα (γεωθερμικά πεδία Νιγρίτας, Σιδηροκάστρου, Ηράκλειας, Αγκίστρου και περιοχή Αχινού- Ιβήρων του Νομού Σερρών) κ.α.

Στην υπόλοιπη χώρα αξιόλογα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας και περιοχές σημαντικού γεωθερμικού ενδιαφέροντος έχουν εντοπιστεί στη Λέσβο, στη Χίο, στη Βόρεια Εύβοια (Αιδηψός, Γιάλτρα-Χερσόνησος Λιχάδων), στη Κύθνο, στο Πλατύστομο Φθιώτιδας, στη Σαντορίνη, στην Κόνιτσα, στο Αντίρριο, στην λεκάνη Σπερχειού κ.α. (Α. Αρβανίτης, Θ. Καβουρίδης και Γ. Χαντζηγιάννης)



Εικόνα 2.2: Φωτογραφία από το γεωθερμικό πεδίο στο Πλατύστομο Φθιώτιδας

Μόνο από υπάρχουσες γεωτρήσεις σε γεωθερμικά πεδία, πχ των πεδινών εκτάσεων της ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, είναι δυνατόν να αντληθούν 2500 m³/hr θερμών ρευστών, με θερμοκρασίες μέχρι 100°C. Το εκμεταλλεύσιμο θερμοκρασιακό εύρος είναι κατά μέσο όρο 40°C. Έτσι, τα ρευστά αυτά ισοδυναμούν με θερμική ισχύ 100 MWt, που σημαίνει εξοικονόμηση 90000 τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου (ΤΙΠ) το χρόνο. Η παραπάνω ενέργεια, μικρό μέρος μόνο της οποίας χρησιμοποιείται σήμερα, θα μπορούσε να συνδράμει στην ανάπτυξη του πρωτογενούς αγροτικού τομέα, κυρίως σε πρωτοπόρες και δυναμικές καλλιέργειες και διεργασίες. Τέτοιοι χώροι, όπως η Θράκη, η Σαμοθράκη αλλά και η Λήμνος, η Λέσβος, η Χίος έχουν αποδεδειγμένα μεγάλα γεωθερμικά πεδία χαμηλής και ίσως μέσης ενθαλπίας, που περιμένουν την αξιοποίησή τους.



Σχήμα 2.1: Γεωθερμικά Πεδία ανά ευρύτερη γεωγραφική περιοχή

2.4 Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας και η συγκριτική θέση της Ελλάδας

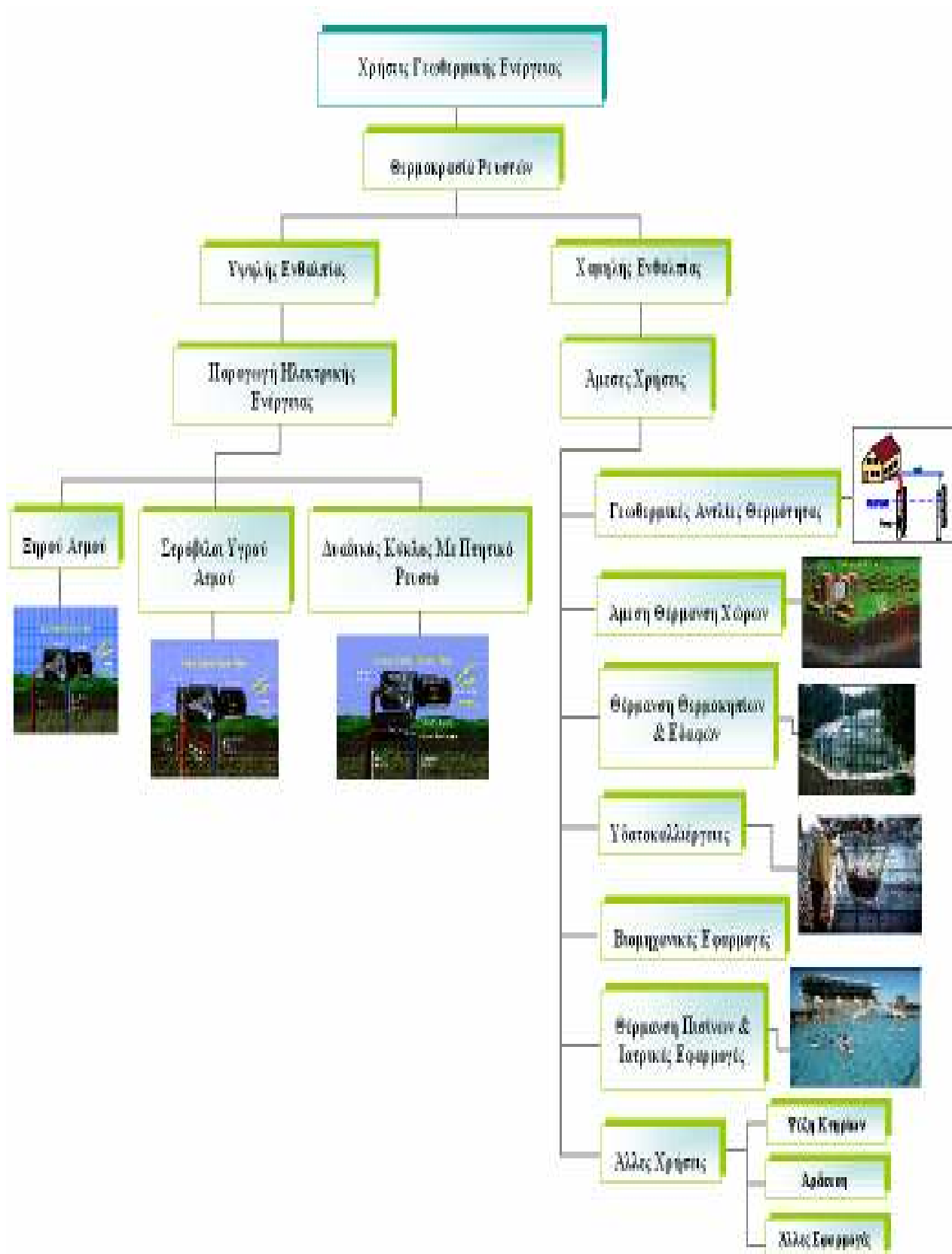
Η γεωθερμία είναι μία από τις εναλλακτικές και ήπιες μορφές ενέργειας (ηλιακή και αιολική ενέργεια, βιομάζα και βιοκαύσιμα, μικρά υδροηλεκτρικά), η οποία σύμφωνα με τα δεδομένα της σημερινής τεχνολογίας, μπορεί να αναπτυχθεί σοβαρά (εκατοντάδες μεγαβάτ για παραγωγή ηλεκτρισμού και χιλιάδες μεγαβάτ για απευθείας χρήση σε οικιακή θέρμανση, στον αγροτικό τομέα και στην βιομηχανία) και με ανταγωνιστικό κόστος. Μαζί με τις άλλες ΑΠΕ, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να προσφέρει σημαντική ανακούφιση στο ενεργειακό ισοζύγιο των κρατών.

Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου (για την αρχική έρευνα και την ανάπτυξη των πεδίων), ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο. Επίσης, ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι, τις περισσότερες φορές, δοκιμασμένος σε άλλες τεχνολογικές εφαρμογές.

Οι δυνατότητες αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας είναι σε άμεση συνάρτηση με το θερμικό περιεχόμενο (θερμοκρασία) των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

- Υψηλής Ενθαλπίας (θερμοκρασίες ρευστών $> 90^{\circ}\text{C}$)
- Χαμηλής Ενθαλπίας ($25^{\circ}\text{C} < \text{θερμοκρασίες ρευστών} < 90^{\circ}\text{C}$)

Οι δυνατές εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας είναι αυτές που φαίνονται στο Σχήμα 2.2



Σχήμα 2.2: Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών (Πολύζου Ο. « Γεωθερμία βιώσιμη ανάπτυξη και τοπικές κοινωνίες » Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2007)

2.5 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας

Ο πλέον συνήθης και τεχνικοοικονομικά συμφέρον τρόπος αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας είναι η χρήση τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (E. T. Eliasson 2001). Υπάρχουν τρεις τεχνολογίες εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής, που χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν τα υδροθερμικά ρευστά σε ηλεκτρική ενέργεια:

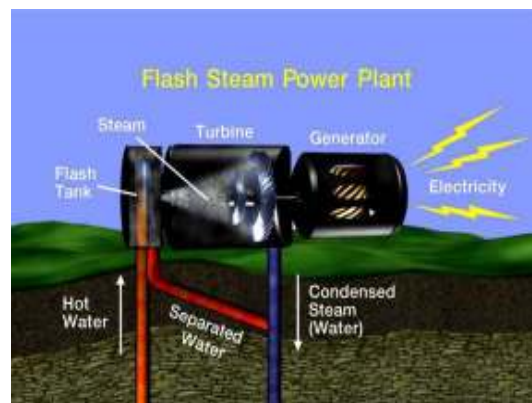
α) ξηρού ατμού (θερμοκρασία $>180^{\circ}\text{C}$)

β) στρόβιλοι υγρού ατμού (θερμοκρασία $>150^{\circ}\text{C}$)

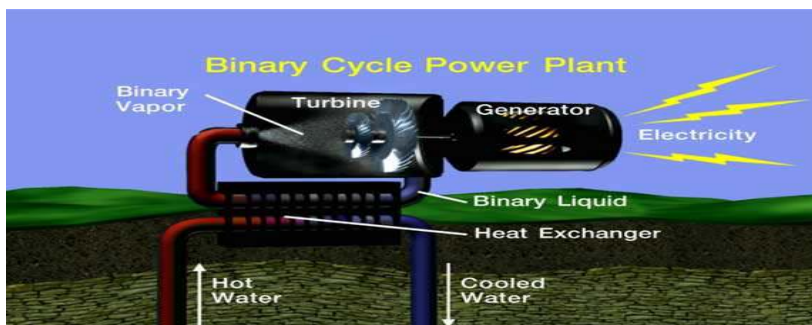
γ) δυαδικού κύκλου με πτητικό ρευστό ή κύκλου Rankine με οργανικό ρευστό (θερμοκρασία $>90^{\circ}\text{C}$).



Εικόνα 2.3: Εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ξηρό ατμό



Εικόνα 2.4: Εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με στρόβιλο υγρού ατμού



Εικόνα 2.5: Εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δυαδικού κύκλου με πτητικό ρευστό. (Πολύζου Ο. « Γεωθερμία βιώσιμη ανάπτυξη και τοπικές κοινωνίες » Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2007)

Οι τελικές δαπάνες επένδυσης για τις γεωθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλουν μεταξύ 900 και 1.500 € / εγκατεστημένη kWe, με ένα χαρακτηριστικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης 2-3%. Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ 0,04 και 0,07 € / kWh συμπεριλαμβανομένης της απόσβεσης. Στα 27 Κράτη Μέλη της ΕΕ η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής κατά το 2009, ανήλθε σε 900 MWe περίπου.

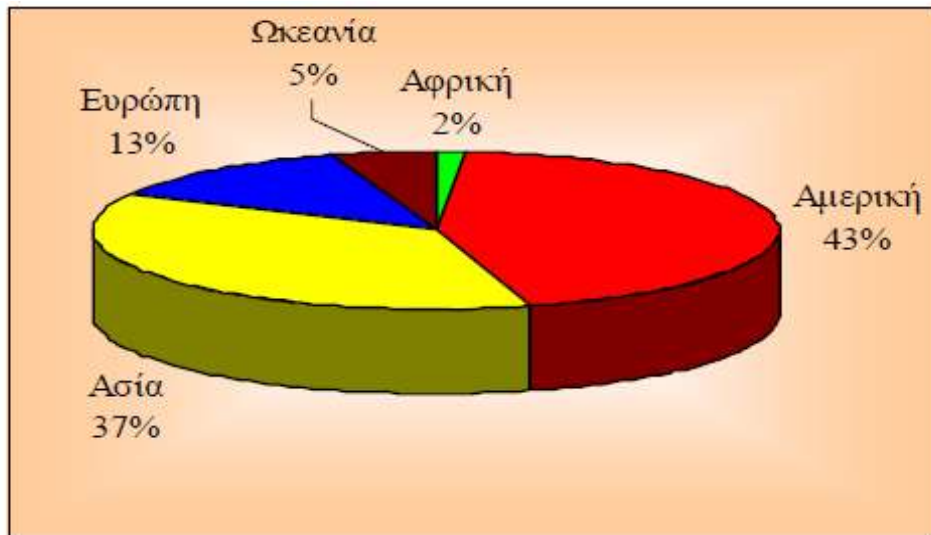
Παρά το μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Δεν υπάρχει καμιά εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής. Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής θερμοκρασίας (>130°C) εντοπίζονται στο ηφαιστειακό τόξο του Νότιου Αιγαίου που εκτείνεται από τη νήσο Νίσυρο μέχρι το Σουσάκι - Αγ. Θεοδώρους. Σημαντικότερα απ' αυτά είναι το πεδίο της νήσου Μήλου με απολήψιμο δυναμικό 200 MWe και της Νισύρου με 50 MWe. Έγινε μία πρώτη προσπάθεια με μια πρώτη πιλοτική μονάδα από τη ΔΕΗ στη Μήλο, η οποία προκάλεσε τις αντιδράσεις των κατοίκων της περιοχής αφού επειδή δεν ελήφθησαν τα κατάλληλα μέτρα σημειώθηκε έκλυση στην ατμόσφαιρα κάποιων αερίων, όπως το θείο, που μυρίζει πολύ άσχημα. Οι κάτοικοι έκλεισαν την πιλοτική μονάδα και επηρέασαν και αυτούς της Νισύρου οι οποίοι με τη σειρά τους δεν επέτρεψαν να γίνει εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής στο νησί. Σήμερα οι κάτοικοι δείχνουν να είναι πιο θετικοί στο ενδεχόμενο εγκατάστασης μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμία, εφόσον βέβαια υπάρξουν οι κατάλληλες εγγυήσεις σχετικά με την περιβαλλοντική προστασία.

Στον Πίνακα 2.2 αναφέρονται οι χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς και η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς και η αύξηση μεταξύ των ετών 1995-2000. Στον ίδιο πίνακα φαίνεται επίσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις αρχές του 2003 (8402,21 MWe). Η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς στις αναπτυσσόμενες χώρες το 1995 και το 2000 αντιπροσωπεύει αντίστοιχα το 38% και το 47% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως.

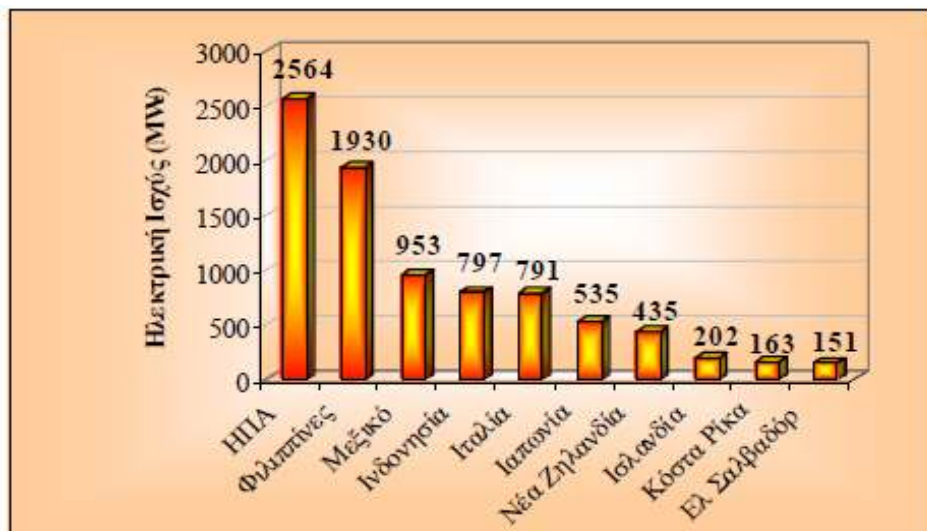
ΧΩΡΕΣ	1995(MWe)	2000(MWe)	1995-2000 (Αύξηση σε MWe)	% Αύξηση σε MWe	2003 MWe
ΑΙΘΙΟΠΙΑ	-	7	7	-	7
ΑΡΓΕΝΤΙΝΗ	0,67	-	-	-	-
ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ	0,15	0,15	-	-	0,15
ΑΥΣΤΡΙΑ	-	-	-	-	1,25
ΓΑΛΛΙΑ	4,2	4,2	-	-	15
ΓΕΡΜΑΝΙΑ	-	-	-	-	0,23
ΓΟΥΑΤΕΜΑΛΑ	-	33,4	33,4		29
ΕΛ ΣΑΛΒΑΔΟΡ	105	161	56	53,3	161
Η.Π.Α	2.816,7	2.228	-	-	2.020
ΙΑΠΩΝΙΑ	413,7	546,9	133,2	32,2	560,9
ΙΝΔΟΝΗΣΙΑ	309,75	589,5	279,75	90,3	807
ΙΣΛΑΝΔΙΑ	50	170	120	240	200
ΙΤΑΛΙΑ	631,7	785	153,3	24,3	790,5
ΚΕΝΙΑ	45	45	-	-	121
ΚΙΝΑ	28,78	29,17	0,39	1,35	28,18
ΚΟΣΤΑ ΡΙΚΑ	55	142,5	87,5	159	162,5
ΜΕΞΙΚΟ	753	755	2	0,3	953
Ν.ΖΗΛΑΝΔΙΑ	286	437	151	52,8	421,3
ΝΙΚΑΡΑΓΟΥΑ	70	70	-	-	77,5
ΠΑΠΟΥΑ - ΝΕΑ ΓΟΥΙΝΕΑ	-	-	-	-	6
ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	5	16	11	220	16
ΡΩΣΙΑ	11	23	12	109	73
ΤΑΙΛΑΝΔΗ	0,3	0,3	-	-	0,3
ΤΟΥΡΚΙΑ	20,4	20,4	-	-	20,4
ΦΙΛΙΠΠΙΝΕΣ	1.227	1.909	682	55,8	1.931
ΣΥΝΟΛΟ	6.833,35	7.972,5	1.728,54	16,7	8.402,21

Πίνακας 2.2: Χώρες που χρησιμοποιούν γεωθερμική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού. (Πολύζου Ο. « Γεωθερμία βιώσιμη ανάπτυξη και τοπικές κοινωνίες » Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2007)

Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής κατά το 2005, ανήλθε σε 8.927,63 MW_e. Στο Σχήμα 2.3 δίνεται η ποσοστιαία κατανομή της ηλεκτροπαραγωγής ανά τον κόσμο. Οι 5 πρώτες χώρες στον τομέα αυτό είναι οι ΗΠΑ (2.564 MW_e), οι Φιλιππίνες (1.930 MW_e), το Μεξικό (953 MW_e), η Ινδονησία (797 MW_e) και η Ιταλία (791 MW_e) (Σχήμα 2.3) (Bertani R. 2005).



Σχήμα 2.3: Ποσοστιαία κατανομή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά τον κόσμο.
(Bertani R. «World geothermal power generation in the period 2001–2005». Geothermics Vol. 34, Issue 6, p. 651-690 December 2005)



Σχήμα 2.4: Κατάταξη των ηγετικών ηλεκτροπαραγωγών χωρών από γεωθερμία
(Bertani R, Enel. «World Geothermal Generation in 2007». International Division – Renewable Energy Business Development)

Το 2007 η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με γεωθερμική ενέργεια εφαρμόζονταν σε 24 χώρες και η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής ενέργειας στον κόσμο ανέρχονταν στα 9.735 MWe, σημειώνοντας αύξηση περισσότερων από 800 MWe σε σχέση με το 2005 (Ruggero Bertani 2007).

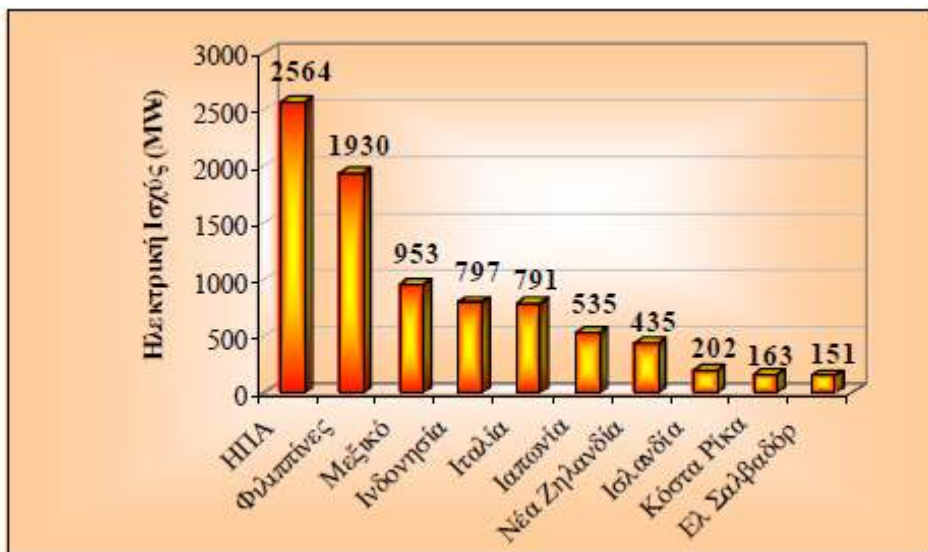
2.6 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας

Οι άμεσες χρήσεις της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση είναι οι παλαιότερες, οι πιο πολύπλευρες και οι πλέον συνηθισμένες μορφές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Η τεχνολογία που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών αυτής της κατηγορίας έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό και είναι ευρύτατα γνωστή. Συνιστάται κυρίως στη χρήση εναλλακτών θερμότητας ή σε μερικές περιπτώσεις, στην απευθείας χρήση των γεωθερμικών ρευστών.

Οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας είναι:

- ✚ Αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος
- ✚ Άμεση θέρμανση χώρων
- ✚ Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών
- ✚ Υδατοκαλλιέργειες
- ✚ Βιομηχανικές εφαρμογές
- ✚ Θέρμανση πισινών και ιατρικές εφαρμογές
- ✚ Άλλες χρήσεις

Παγκοσμίως, η συνολική εγκατεστημένη θερμική ισχύς το 2005 ανήλθε σε 28.273 MW_{th}, σημειώνοντας αύξηση κατά 85% σε σχέση με το 2000. Από την ισχύ αυτή τα 13.629 MW_{th} προέρχονται από την Ευρώπη (Lund J., Freeston D, Boyd T. 2005). Στο Σχήμα 2.5 δίνεται η εγκατεστημένη θερμική ισχύς ανά χρήση.



Σχήμα 2.5: Κατάταξη των ηγετικών ηλεκτροπαραγωγών χωρών από γεωθερμία
 «Γεωθερμία βιώσιμη ανάπτυξη και τοπικές κοινωνίες» (Πολύζου Ο. Αθήνα 2007)

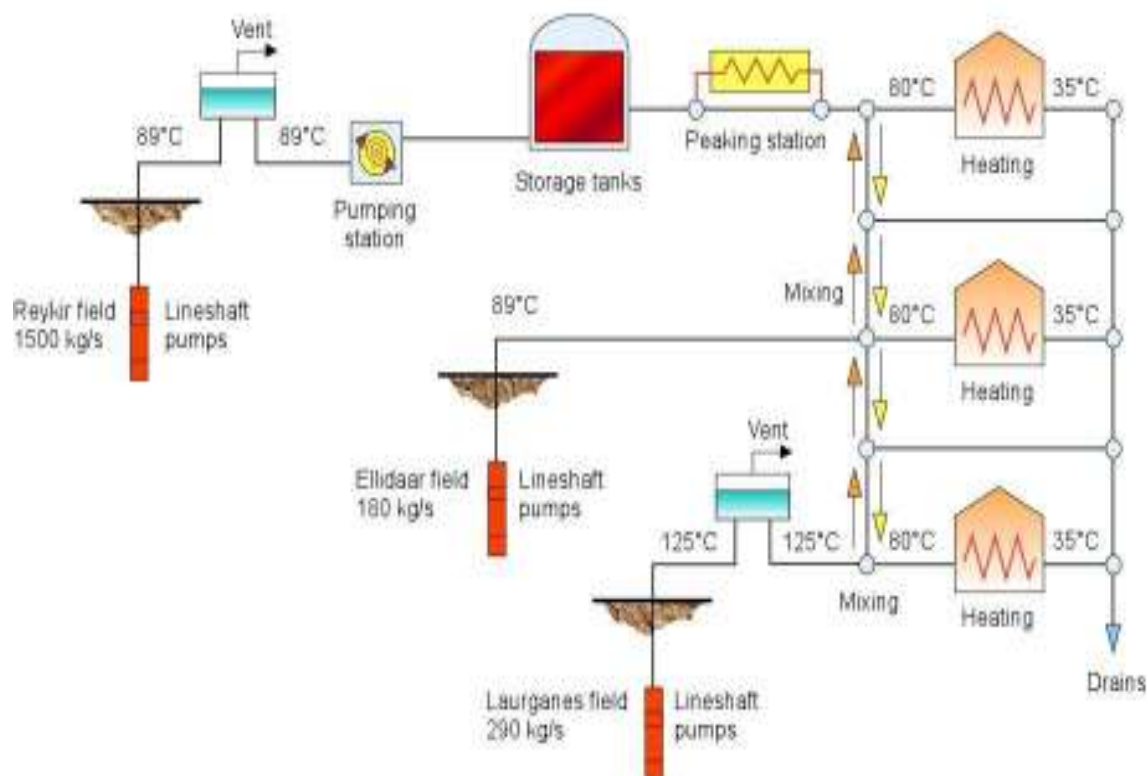
Οι 10 ηγετικές χώρες στον κόσμο σε σχέση με την εγκατεστημένη θερμική ισχύ είναι οι ΗΠΑ με ισχύ $7.818 \text{ MW}_{\text{th}}$, η Σουηδία με $3.840 \text{ MW}_{\text{th}}$ (προέρχεται αποκλειστικά από αντλίες θερμότητας), η Κίνα με $3.687 \text{ MW}_{\text{th}}$, η Ισλανδία με $1.844 \text{ MW}_{\text{th}}$, η Τουρκία με $1.496 \text{ MW}_{\text{th}}$, η Ιαπωνία με $822,42 \text{ MW}_{\text{th}}$, η Ουγγαρία με $694,2 \text{ MW}_{\text{th}}$, η Ιταλία με $606,6 \text{ MW}_{\text{th}}$, η Νορβηγία με $600 \text{ MW}_{\text{th}}$ και η Ελβετία με $581,6 \text{ MW}_{\text{th}}$ (με τα $532,4 \text{ MW}_{\text{th}}$ να προέρχονται από αντλίες θερμότητας). Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς στην Ελλάδα κατά το 2005 ανήλθε μόλις σε $74,8 \text{ MW}_{\text{th}}$.

2.6.1 Άμεση θέρμανση χώρων

Η άμεση θέρμανση χώρων είναι η παλαιότερη μορφή χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας και η πλέον διαδεδομένη στην Ευρώπη. Περιλαμβάνει επίσης την παραγωγή ζεστού νερού για οικιακές χρήσεις. Η τεχνολογία που υιοθετείται είναι απλή. Το γεωθερμικό ρευστό από μία ή δύο γεωτρήσεις αποδίδει θερμότητα στο σύστημα θέρμανσης του ενεργειακού χρήστη, είτε άμεσα, είτε μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Γι' αυτή την εφαρμογή απαιτούνται γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 45°C (Σχήμα 2.6) (John W. Lund 1996, R. G. Bloomquist 2003, Rafferty Kevin 2001).

Η θέρμανση χώρων από τη γεωθερμία είναι πολύ ανταγωνιστική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, με κόστος κεφαλαίου 200-1.400 € ανά εγκατεστημένο kW_{th}, ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας 2-3% του κόστους κεφαλαίου, και κόστος παραγόμενης ενέργειας 0,005-0,035 € / kWh_{th} συμπεριλαμβανομένων των αποσβέσεων των κεφαλαίων και του κόστους χρήματος.

Στην Ευρώπη, η άμεση θέρμανση χώρων από τη γεωθερμία αντιστοιχεί στο 75% του συνόλου παγκοσμίως, με εγκατεστημένη ισχύ που ανέρχεται σε 3.339,45 MW_{th} (στοιχεία του 2005). Πρώτη σε εγκατεστημένη ισχύ έρχεται η Ισλανδία με 1.375 MW_{th} (το 95% των κτιρίων της πόλης του Ρέικιαβικ θερμαίνονται με γεωθερμικό ρευστό) και δεύτερη η Τουρκία με 901 MW_{th}. Με μεγάλη διαφορά από τις δύο προηγούμενες ακολουθούν η Γαλλία με 243 MW_{th}, η Ιταλία με 131,8 MW_{th}, η Ρωσία με 110 MW_{th}, η Γερμανία με 92,6 MW_{th}, η Πολωνία με 59,2 MW_{th}, και η Ρουμανία με 57,2 MW_{th}. Ενώ υπάρχουν και άλλα κράτη, όπου η ισχύς για αυτή τη χρήση είναι πολύ μικρότερη. Στην Ελλάδα η εγκατεστημένη ισχύς για άμεση θέρμανση χώρων ανέρχεται μόλις σε 1,2 MW_{th}, με τη μεγαλύτερη εγκατάσταση να βρίσκεται στα Λουτρά Τραϊανούπολης (C. Karytsas, D. Mendrinou and J. Goldbrunner 2003) του νομού Έβρου. Η θέρμανση των χώρων επιτυγχάνεται με ενδοδαπέδιες σωληνώσεις και θερμαντικά σώματα, στα οποία κυκλοφορεί θερμό νερό που θερμαίνεται μέσω εναλλάκτη πλακών (από τιτάνιο) από γεωθερμικό νερό 52°C με παροχή 60 m³/h. Σε εξέλιξη επίσης βρίσκονται τεχνικοοικονομικές μελέτες για την θέρμανση λουτρό-θεραπευτικών μονάδων, ξενοδοχείων, σχολείων, κέντρων υγείας, κ.α. με γεωθερμικά νερά.



Σχήμα 2.6: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής του συστήματος τηλεθέρμανσης του Reykjavik (Από Gudmundsson, The elements of direct uses. Geothermics, 17,119-136, 1988)



.Εικόνες 2.6, 2.7: Φωτογραφίες από ενδοδαπέδια θέρμανση σε οικίες. (Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων πολιτών «Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας Εφαρμογές στον οικιακό τομέα.» Οκτώβριος 2010 www.cea.org.cy)

2.6.2. Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών

Οι αγροτικές εφαρμογές της γεωθερμίας συνίσταται κυρίως στις ανοιχτές καλλιέργειες και τη θέρμανση θερμοκηπίων. Το θερμό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις ανοιχτές καλλιέργειες για την άρδευση τους και την θέρμανση του εδάφους. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της άρδευσης με χλιαρό νερό εντοπίζεται στο γεγονός ότι, για να επιτευχθεί κάποια αξιόλογη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους θα πρέπει οι μεγάλες ποσότητες νερού να έχουν θερμοκρασία τόσο χαμηλή ώστε να μην προκαλούν ζημιές στις αρδευόμενες καλλιέργειες. Η βέλτιστη λύση φαίνεται ότι είναι ο συνδυασμός θέρμανσης εδάφους και άρδευσης. Η χημική σύσταση των γεωθερμικών νερών που χρησιμοποιούνται για άρδευση θα πρέπει να εξετάζεται και να παρακολουθείται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται τυχόν βλαβερές συνέπειες στα φυτά.

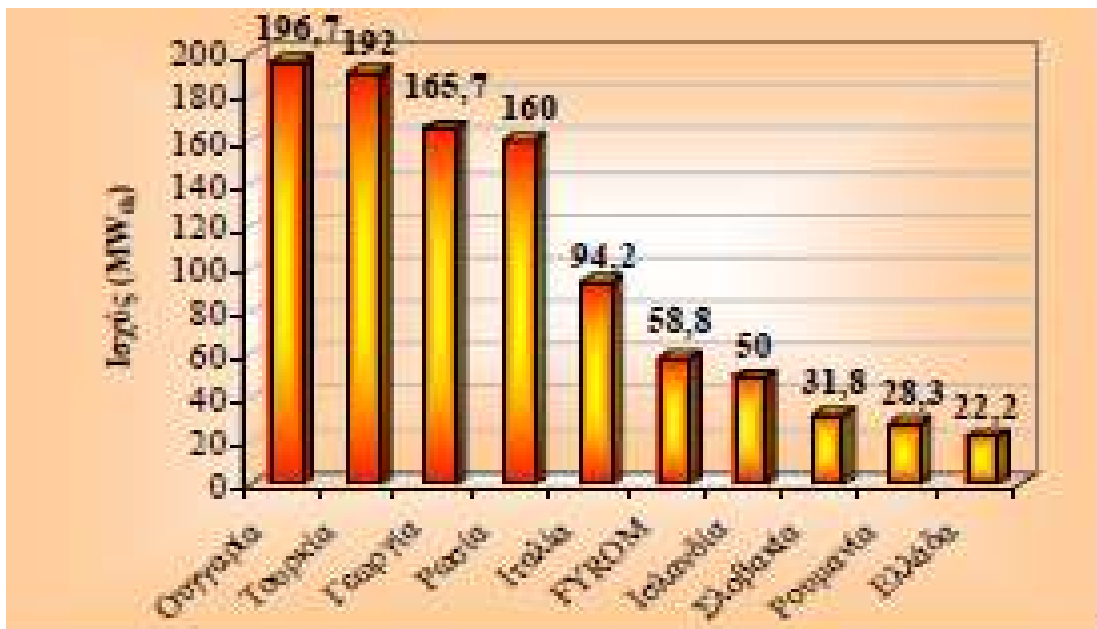
Η πιο συνηθισμένη γεωθερμική εφαρμογή στον αγροτικό τομέα είναι η θέρμανση θερμοκηπίων, η οποία αναπτύχθηκε ιδιαίτερα σε πολλές χώρες. Η εκτός εποχής καλλιέργεια κηπουρικών, οπωρικών και ανθοκομικών προϊόντων ή η ανάπτυξη τους σε περιοχές με μη ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες, μπορεί σήμερα να βασιστεί σε μια ευρέως εφαρμοσμένη τεχνολογία. Οι απαιτούμενες ποσότητες ενέργειας όμως, είναι μεγάλες, με αποτέλεσμα η γεωθερμία να αποτελεί την ιδανική μορφή ενέργειας για αγροτικές εφαρμογές, λόγω του μικρού κόστους της. Τα θερμοκήπια και η θέρμανση εδαφών απαιτούν την παρουσία γεωθερμικών ρευστών σε θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 30°C. Ο χώρος ενός θερμοκηπίου μπορεί να θερμανθεί με πέντε τρόπους:

- α) με εναέριους, επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες τοποθετημένους μέσα στο χώμα (σε βάθος 5-20 cm),
- β) με εναλλάκτη αέρα – γεωθερμικού νερού ή νερού λειτουργίας (αερόθερμο),
- γ) με τοποθέτηση θερμαντικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου,
- δ) με ψεκασμό της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής (κυρίως για αντιπαγετική προστασία)
- ε) με συνδυασμό των προηγούμενων τρόπων (Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν. 2005).

Τα πιο απλά θερμοκήπια κατασκευάζονται από μονά φύλλα πλαστικού, όμως τελευταίως χρησιμοποιούνται και διπλά στρώματα πλαστικών, μεταξύ των οποίων υπάρχει ένα κενό αέρος. Με το σύστημα αυτό μειώνονται οι θερμικές απώλειες από τα τοιχώματα σε ποσοστό μέχρι και 30-40%, οπότε αυξάνεται σημαντικά η απόδοση του

θερμοκηπίου. Η θέρμανση ενός θερμοκηπίου μπορεί επίσης να επιτευχθεί με εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα στους εναλλάκτες θερμότητας, στους σωλήνες ή τους αγωγούς θερμού νερού που βρίσκονται τοποθετημένοι μέσα ή πάνω στο έδαφος, στα θερμαντικά σώματα κατά μήκος των πλευρικών τοιχωμάτων και κάτω από τους πάγκους ή με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων. Η χρήση των γεωθερμικών ρευστών για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου μειώνει σημαντικά τα λειτουργικά του έξοδα, τα οποία σε κάποιες περιπτώσεις φτάνουν το 35% του κόστους παραγωγής (οπωρικά, άνθη, διακοσμητικά φυτά και δενδρύλλια).

Η θέρμανση θερμοκηπίων από τη γεωθερμία στην Ευρώπη αντιστοιχεί σε 1.072,9 MW_{th}, πάνω από το 75% του συνόλου παγκοσμίως. Η πλειοψηφία των εφαρμογών βρίσκεται στην Ουγγαρία (196,7 MW_{th}), την Τουρκία (192 MW_{th}), τη Γεωργία (165,7 MW_{th}) και τη Ρωσία (160 MW_{th}). Η Ελλάδα βρίσκεται στη 10^η θέση των κρατών της Ευρώπης (Σχήμα 2.7), με εγκατεστημένη ισχύ 22,2 MW_{th}. Συνολικά καλλιεργούνται περίπου 229,7 στρέμματα με κηπευτικά και ανθοκομικά προϊόντα μέσα σε θερμοκήπια, τα οποία είναι καλυμμένα είτε με πλαστικό, είτε με γυαλί (Bakos G., Fidanidis D., Tsagas N. 1999). Τα θερμοκήπια αυτά βρίσκονται κυρίως στη Βορειοανατολική Ελλάδα και τη Λέσβο.



Σχήμα 2.7: Κατάταξη των 10 ηγετικών κρατών της Ευρώπης με εγκατεστημένη ισχύ για θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών (2005)



Εικόνα 2.8: Θέρμανση Θερμοκηπίου με χρήση γεωθερμικής ενέργειας.



Εικόνα 2.9: Θέρμανση Εδαφών με χρήση γεωθερμικής ενέργειας

3.6.3 Υδατοκαλλιέργειες- Ιχθυοκαλλιέργειες

Οι υδατοκαλλιέργειες, οι οποίες στην ουσία αποτελούν την ελεγχόμενη ,εκτροφή υδρόβιων οργανισμών, αποκτούν σήμερα ολοένα και μεγαλύτερη σπουδαιότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω της αυξημένης ζήτησής τους στην αγορά. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας εκτροφής των ειδών αυτών είναι πολύ πιο σημαντικός σε σχέση με τα είδη που αναπτύσσονται στην ξηρά. Οι θερμοκρασίες που απαιτούνται για τα υδρόβια είδη κυμαίνονται κατά βάση μεταξύ 20°C και 30°C. Το μέγεθος των εγκαταστάσεων εξαρτάται από την αρχική θερμοκρασία που απαιτείται στις δεξαμενές εκτροφής και από τις θερμικές απώλειες των τελευταίων.

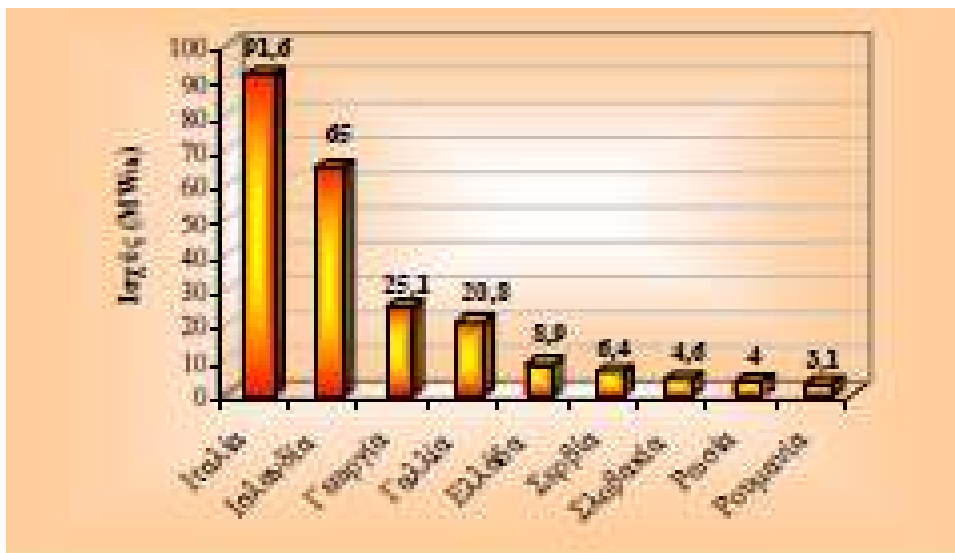
Η απαραίτητη θερμοκρασία στο νερό της δεξαμενής της ιχθυοκαλλιέργειας κυμαίνεται από 14°C έως 30°C ανάλογα με το είδος της. Η ιχθυοκαλλιέργεια μπορεί να γίνει είτε μεμονωμένα με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο, θερμοκρασίας 25°C έως 35°C , είτε από το απορριπτόμενο νερό από τη θέρμανση θερμοκηπίων.

Η γεωθερμία μπορεί να προσφέρει με οικονομικό τρόπο στη θέρμανση του νερού σε υδατοκαλλιέργειες ψαριών (χέλια, λαβράκια, τσιπούρες, πέστροφες, σολομούς, γατόψαρα κ.α.), θαλάσσιων μαλακόστρακων (π.χ. γαρίδας) και ερπετών με εμπορική αξία (π.χ. αλιγάτορες). Η θέρμανση πραγματοποιείται είτε άμεσα, με την απευθείας εισαγωγή του γεωθερμικού νερού στις δεξαμενές ή λιμνούλες ανάπτυξης, είτε έμμεσα, ύστερα από τη θέρμανση γλυκού ή θαλασσινού νερού. Για την άμεση χρήση του γεωθερμικού νερού απαιτείται να μην υπάρχουν τοξικά συστατικά στο νερό (π.χ. βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, αρσενικό κλπ.).



Εικόνα 2.10: Καλλιέργεια του μικροφύκου *Spirulina* με τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στη Νιγρίτα Σερρών (Απ. Αρβανίτης (2008). «Μύθοι και πραγματικότητα για την Γεωθερμία» Υπουργείο Ανάπτυξης Γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών, 2008)

Η εγκατεστημένη ισχύς για υδατοκαλλιέργειες στην Ευρώπη κατά το 2005 ανήλθε σε 230 MW_{th} (Σχήμα 2.8). Πρώτη σε εγκατεστημένη ισχύ έρχεται η Ιταλία με 91,6 MW_{th} και ακολουθεί η Ισλανδία με 65 MW_{th}. Με διαφορά από τις δύο προηγούμενες έπονται η Γεωργία με ισχύ 25,1 MW_{th}, η Γαλλία με 20,8 MW_{th}, η Ελλάδα με 8,9 MW_{th} (5^η στην κατάταξη), η Σερβία με 6,4 MW_{th}, η Σλοβακία με 4,6 MW_{th}, η Ρωσία με 4 MW_{th} και η Ρουμανία με εγκατεστημένη ισχύ 3,1 MW_{th}. Στην Ελλάδα μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας βρίσκονται στο Πόρτο Λάγος και στο Ν. Εράσμιο – Μάγγανα Ξάνθης.



Σχήμα 2.8: Κατάταξη των κρατών της Ευρώπης με εγκατεστημένη ισχύ για υδατοκαλλιέργειες (2005)

2.6.4 Βιομηχανικές εφαρμογές

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να είναι οικονομικώς αποδοτική και αξιόπιστη στις βιομηχανικές εφαρμογές. Ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σε διεργασίες όπως η προπαρασκευή κονσερβοποιημένων τροφών, η λεύκανση λαχανικών, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων, τροφίμων, δερμάτων και στην εξαγωγή CO₂. Επίσης συγκεκριμένα παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών είναι η εμφιάλωση νερού και ανθρακούχων ποτών, η παραγωγή χαρτιού, τμημάτων αυτοκινήτων, η ανάκτηση λαδιού, η παστερίωση γάλακτος, η χρήση στη βυρσοδεψία, η χημική ανάκτηση προϊόντων, η χρήση σε πλυντήρια, η ξήρανση γης διατόμων, η επεξεργασία πολτού και χαρτιού και η παραγωγή βορικών αλάτων και βορικού οξέος. Υπάρχουν επίσης εφαρμογές για χρήση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας για λιώσιμο πάγου και αντιπαγετική προστασία πεζοδρομίων, δρόμων και πλατειών, ως και σχέδια για τη διάλυση της ομίχλης σε κάποια αεροδρόμια. Στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ρευστών σε διαδικασίες προθέρμανσης ή η ανύψωση της θερμοκρασίας τους με τη χρήση αντλιών θερμότητας ή με συμπληρωματική θέρμανση (με συμβατικά καύσιμα). Απαραίτητη προϋπόθεση για τη

χρησιμοποίηση των γεωθερμικών ρευστών από υφιστάμενη βιομηχανική μονάδα είναι η γειτνίαση της τελευταίας με το γεωθερμικό πεδίο (B. Líndal 1992).

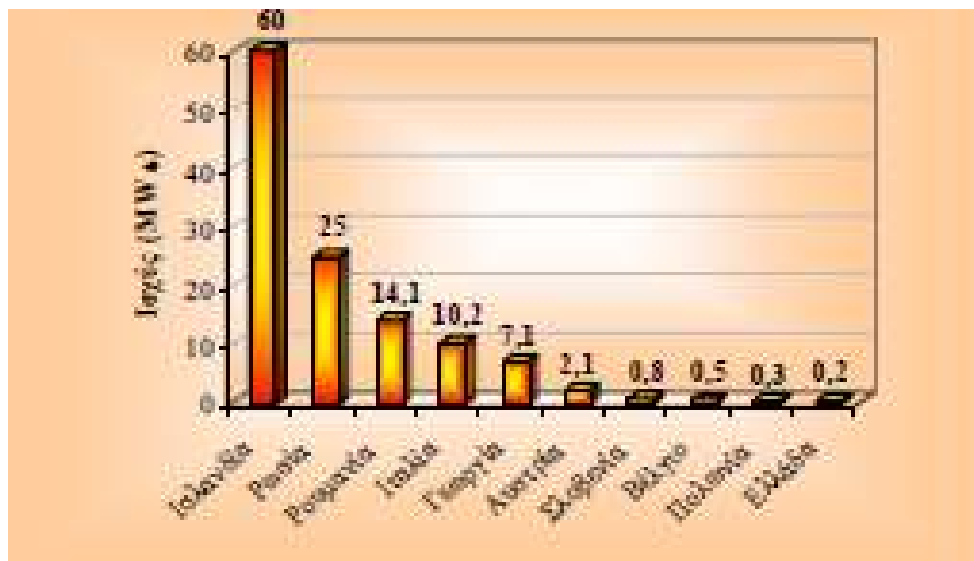


Εικόνα 2.11: Ξήρανση διατομιτών στην Ισλανδία.



Εικόνα 2.12: Μονάδα για αντιπαγετική προστασία και θέρμανση τεχνητών λιμνών στο Πόρτο Λάγος του Ν. Ξάνθης Απ. Αρβανίτης (2008). «Μύθοι και πραγματικότητα για την Γεωθερμία» Υπουργείο Ανάπτυξης Γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών, 2008

Οι βιομηχανικές εφαρμογές από τη γεωθερμία στην Ευρώπη αντιστοιχούν σε 120,3 MW_{th}, περίπου το 25% του συνόλου παγκοσμίως. Η πλειοψηφία των εφαρμογών βρίσκεται στην Ισλανδία (60 MW_{th}), τη Ρωσία (25 MW_{th}), τη Ρουμανία (14,1 MW_{th}), την Ιταλία (10,2 MW_{th}) και τη Γεωργία (7,1 MW_{th}). Η Ελλάδα βρίσκεται στη 10^η θέση των κρατών της Ευρώπης (Σχήμα 2.9), με εγκατεστημένη ισχύ μόλις 0,2 MW_{th}. Πρόκειται για μία μονάδα αφυδάτωσης ντομάτας στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης, η οποία μάλιστα ήταν η πρώτη τέτοια μονάδα στον κόσμο.



Σχήμα 2.9: Κατάταξη των κρατών της Ευρώπης με εγκατεστημένη ισχύ για βιομηχανικές εφαρμογές (2005).

2.6.5 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο δύνανται να επιτευχθεί με τη μέθοδο της πολυσταδιακής εξάτμισης εν κενό. Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον 60°C. Η θερμοκρασία απόρριψης σχεδιάζεται να είναι 40-50°C.

Μια μικρή ομάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (η πρώτη παρόμοια μονάδα στον κόσμο) αποπερατώθηκε πρόσφατα στην Κίμωλο, ενώ αντίστοιχο πρόγραμμα βρίσκεται σε στάδιο υλοποίησης στην Μήλο. Στην Κίμωλο χρησιμοποιείται η μέθοδος της εξάτμισης πολλαπλού φαινομένου υπό συνθήκες μερικού κενού σε κατακόρυφους αγωγούς (Karytsas et al, 2002b). Η μονάδα που κατασκευάστηκε κατά την περίοδο 1998-99, χρησιμοποιεί γεωθερμικό νερό χαμηλής ενθαλπίας (61°C) για την θέρμανση του νερού τροφοδοσίας. Κατά την δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας της μονάδας παράγονταν 3,2 m³/h αφαλατωμένου νερού αρίστης ποιότητας, με την χρήση 50 m³/h γεωθερμικού νερού.



Εικόνα 2.13: Μικρή μονάδα αφαλάτωσης στην Κίμωλο.

2.6.6 Θέρμανση πισινών και ιατρικές εφαρμογές

Μία από τις πλέον δημοφιλείς χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο είναι η θέρμανση πισινών και οι ιατρικές εφαρμογές. Σήμερα, υπάρχει μία πληθώρα από λουτροπόλεις που χρησιμοποιούν το γεωθερμικό νερό είτε για θεραπεία είτε για αναζωογόνηση. Σε ότι αφορά τις θεραπευτικές εφαρμογές, οι δράσεις των γεωθερμικών νερών στον ανθρώπινο οργανισμό διαφέρουν ανάλογα με τη σύσταση τους (θερμοκρασία, μεταλλικά στοιχεία) αλλά και με τον τρόπο χρήσης τους. Οι κυριότερες εφαρμογές είναι: λουτροθεραπεία, ποσιθεραπεία, εισπνοθεραπεία και λασποθεραπεία. Σε ότι αφορά τις εφαρμογές αναζωογόνησης, πρόκειται για λουτροπόλεις με κέντρα υγείας και ομορφιάς, κύριος στόχος των οποίων είναι η ξεκούραση και η ανανέωση του ανθρώπινου οργανισμού (Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν. 2005).

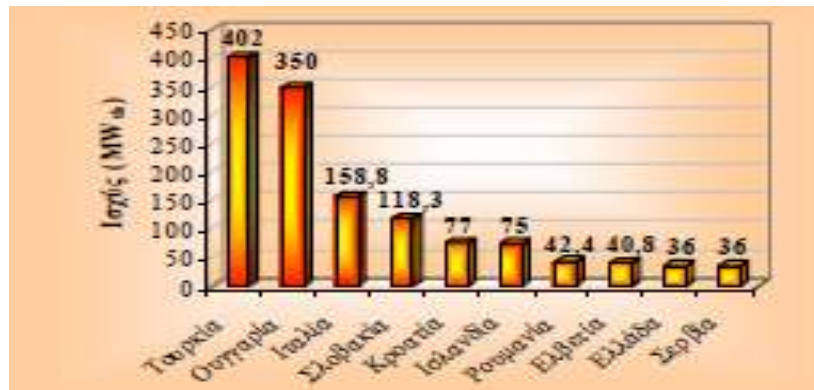


Εικόνα 2.14: Ιαματικά λουτρά Αιδηψού στην Εύβοια.



Εικόνα 2.15: Ιαματικά λουτρά σε φυσικούς καταρράκτες στις Θερμοπύλες...

Η εγκατεστημένη ισχύς για θέρμανση πισινών και ιατρικές εφαρμογές στην Ευρώπη το 2005 ανήλθε σε $1.476,43 \text{ MW}_{\text{th}}$. Πρώτη έρχεται η Τουρκία με $402 \text{ MW}_{\text{th}}$ και ακολουθεί η Ουγγαρία με $350 \text{ MW}_{\text{th}}$. Με διαφορά ακολουθούν η Ιταλία ($158,8 \text{ MW}_{\text{th}}$), η Σλοβακία ($118,3 \text{ MW}_{\text{th}}$), η Κροατία ($77 \text{ MW}_{\text{th}}$), η Ισλανδία ($75 \text{ MW}_{\text{th}}$), η Ρουμανία ($42,4 \text{ MW}_{\text{th}}$), η Ελβετία ($40,8 \text{ MW}_{\text{th}}$), ενώ 9^η στην κατάταξη έρχονται η Ελλάδα και η Σερβία (Σχήμα 2.10) με εγκατεστημένη ισχύ $36 \text{ MW}_{\text{th}}$. Στην Ελλάδα η εφαρμογή αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη, με λουτροθεραπευτικά κέντρα να υπάρχουν σχεδόν σε όλη τη χώρα, με πιο γνωστά αυτά των Θερμοπυλών και της Αιδηψού.

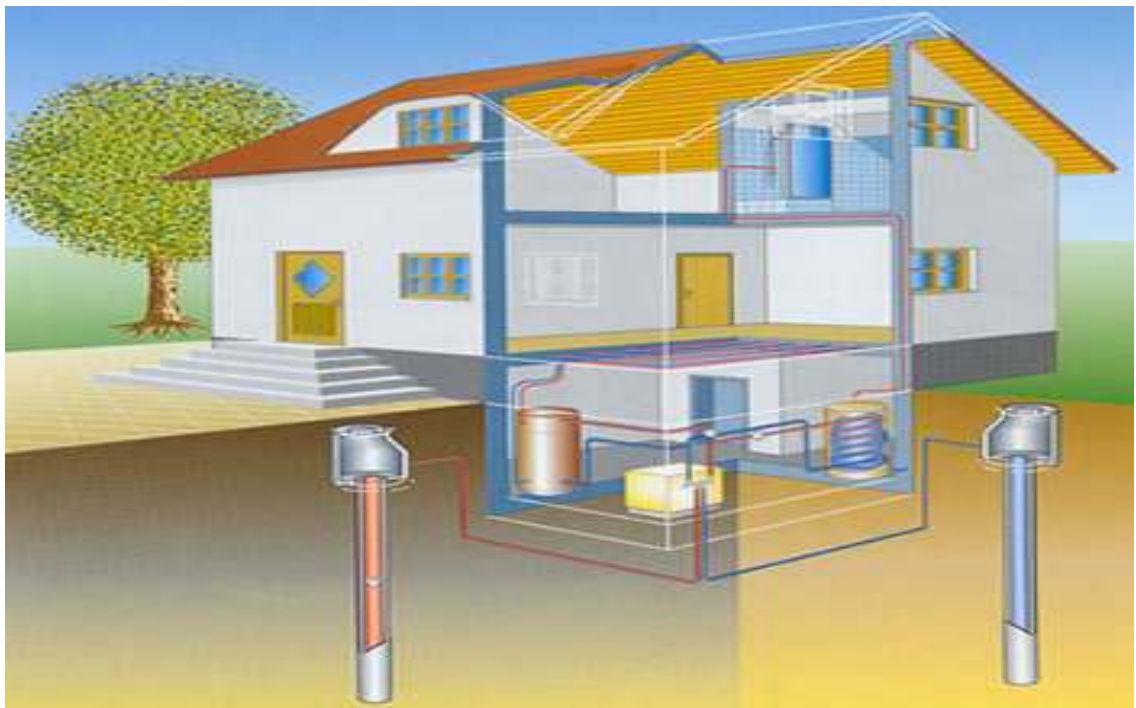
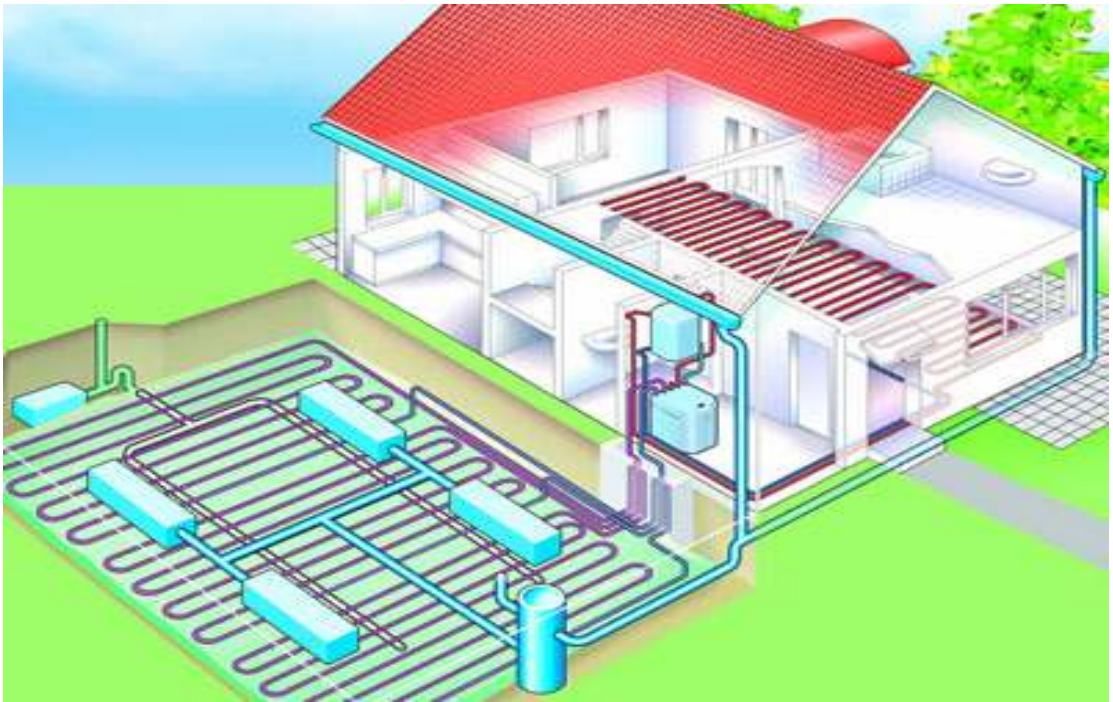


Σχήμα 2.10: Κατάταξη των 10 ηγετικών κρατών της Ευρώπης με εγκατεστημένη ισχύ για θέρμανση πισινών και ιατρικές εφαρμογές (Πολύζου Ο. « Γεωθερμία βιώσιμη ανάπτυξη και τοπικές κοινωνίες » Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2007)

2.6.7 Εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας

Αβαθής γεωθερμική ενέργεια καλείται η ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό και βρίσκονται σε μικρό βάθος.

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σήμερα εμπορικά με αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού. Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας γίνεται με δύο τρόπους. Χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας είτε τα αβαθή υπόγεια νερά, είτε τη θερμοκρασία των πετρωμάτων μικρού βάθους. Πλεονέκτημα των αβαθών γεωθερμικών πηγών είναι οι σταθερές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αφού δεν επηρεάζονται από τις θερμοκρασιακές και μετεωρολογικές, εποχιακές και ημερήσιες μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνεια της Γης (Παπαγεωργάκης Ι. 1992).



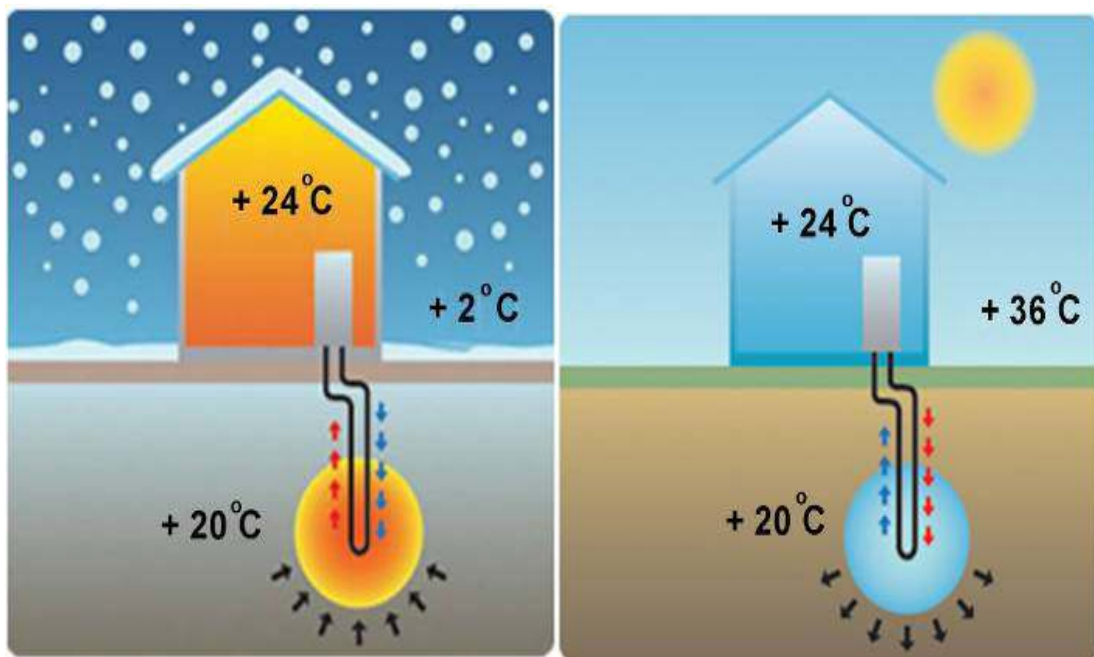


Εικόνα 2.16, 2.17, 2.18: Παραδείγματα εφαρμογής αβαθούς γεωθερμίας σε οικίες

3 Αντλίες Θερμότητας

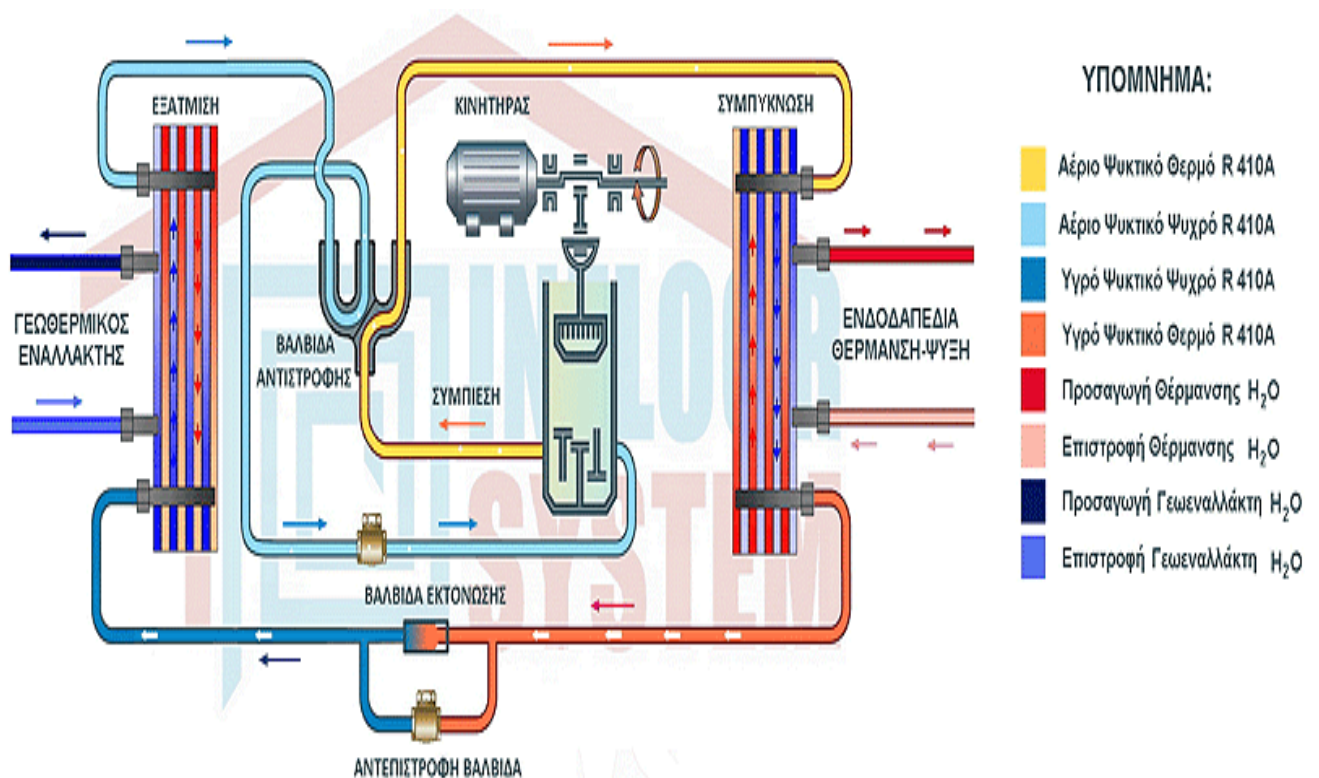
3.1 Ορισμός Αντλίας Θερμότητας

Το θεωρητικό υπόβαθρο της Αβαθούς Γεωθερμίας βασίζεται στο γεγονός, ότι η θερμοκρασία των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης παραμένει σχεδόν σταθερή σ' όλη την περίοδο του έτους, ανεξάρτητα από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια της Γης. Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι μία ανεξάντλητη και καθαρή πηγή ενέργειας και είναι διαθέσιμη όλο το χρόνο. Η αξιοποίηση της ενέργειας αυτής επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός συνδυασμού αντλίας θερμότητας συζευγμένη με γεώτρηση. Το σημαντικότερο γεγονός είναι ότι η προσφερόμενη ενέργεια είναι περιβαλλοντικά καθαρή, ανανεώσιμη και εξοικονομεί το 50-70% της ενέργειας που θα κατανάλωνε ένα υποστατικό που χρησιμοποιεί μόνο συμβατικά μέσα θέρμανσης (πετρέλαιο, υγραέριο, ηλεκτρισμός κ.λ.π.).



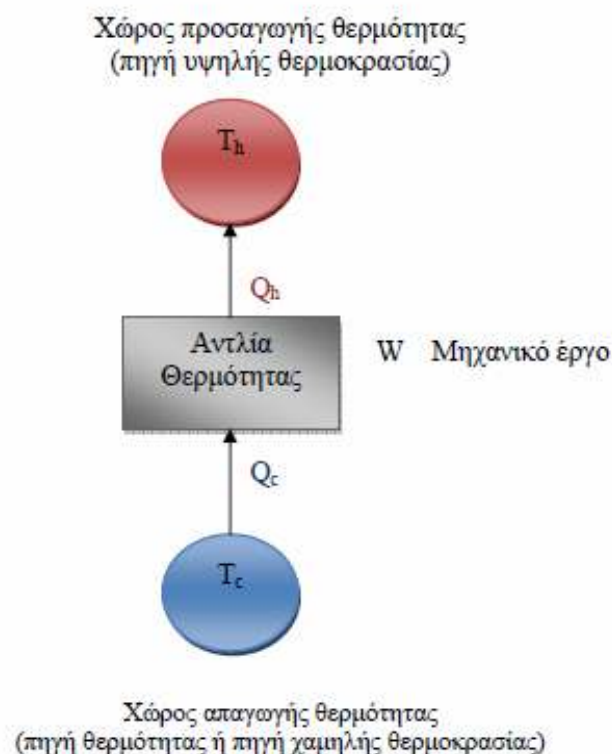
Εικόνα 3.1: Αξιοποίηση γεωθερμικής ενέργειας χειμώνα - καλοκαίρι (Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων πολιτών «Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας Εφαρμογές στον οικιακό τομέα.» Οκτώβριος 2010 www.cea.org.cy)

Η αντλία θερμότητας είναι μία συσκευή η οποία έχει την ικανότητα να αντλεί θερμότητα από μία πηγή χαμηλής θερμοκρασίας και να τη μεταφέρει σε έναν αποδέκτη υψηλότερης θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, κατά τη χειμερινή περίοδο μία αντλία θερμότητας έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα από τον ψυχρό εξωτερικό αέρα σε ένα χώρο, με σκοπό τη θέρμανση του χώρου. Επίσης κατά τη θερινή περίοδο μία αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά θερμότητας από ένα χώρο προς τον θερμότερο εξωτερικό αέρα, με σκοπό την ψύξη του χώρου. Συνήθως οι αντλίες θερμότητας είναι σχεδιασμένες κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να αντιστρέφουν την ψυκτική και τη θερμαντική τους λειτουργία. Αυτό επιτρέπει τη χρήση της ίδιας συσκευής για ψύξη και θέρμανση.



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση του κύκλου λειτουργίας της γεωθερμικής αντλίας

Η αντλία θερμότητας αποτελείται από τέσσερα κατασκευαστικά μέρη, τον συμπιεστή, τον συμπυκνωτή, τον εξατμιστή και την εκτονωτική βαλβίδα. Η μεταφορά της θερμότητας από την χαμηλή στην υψηλή θερμοκρασία γίνεται με κατανάλωση μηχανικής ενέργειας για την λειτουργία του συμπιεστή της συσκευής. Η ενέργεια αυτή προέρχεται είτε από ηλεκτρικό κινητήρα είτε από μία μηχανή εσωτερικής καύσης (πετρελαίου ή φυσικού αερίου). Το μηχανικό έργο που δαπανάται για την λειτουργία της αντλίας θερμότητας χρησιμεύει για την μεταφορά μιας ποσότητας θερμότητας, που ήδη υπάρχει σε μία πηγή ενέργειας (αέρας, νερό, έδαφος), σε υψηλότερη θερμοκρασία και όχι για την παραγωγή θερμότητας. Συνήθως η διεργασία αυτή της μεταφοράς θερμότητας έχει ένα βαθμό επίδοσης από 2 έως 4, δηλαδή η αντλία θερμότητας παρέχει από 2 έως 4 φορές περισσότερη θερμότητα (kWth) από την ηλεκτρική ενέργεια (kWe) που καταναλώνει. Αυτό συμβαίνει γιατί η θερμότητα που μεταφέρεται στην υψηλή θερμοκρασία περιέχει τόσο το μηχανικό έργο όσο και τη θερμική ενέργεια που απορροφάται στη χαμηλή θερμοκρασία, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2: Κίνηση ενέργειας κατά τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας.

Η μεταφορά της θερμότητας μεταξύ των δύο χώρων διαφορετικής θερμοκρασίας γίνεται με τη βοήθεια των ψυκτικών ρευστών. Τα ψυκτικά ρευστά, ακολουθώντας μία κυκλική λειτουργία σε ένα θερμοδυναμικό κύκλο, απορροφούν θερμότητα όταν εξατμίζονται και αποβάλλουν θερμότητα όταν συμπυκνώνονται. Η χρήση των ψυκτικών ρευστών είναι πολύ διαδεδομένη γιατί τα περισσότερα έχουν την ιδιότητα να εξατμίζονται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι μπορούν να απορροφήσουν θερμότητα ακόμη και όταν η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας (π.χ. αέρας) είναι μικρότερη από τους 0°C. Βέβαια όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας.

Γενικά, μικρές τοπικές αντλίες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση και ψύξη μικρών χώρων (κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων κ.λ.π.). Για τη θέρμανση και ψύξη μεγαλύτερων χώρων (νοσοκομείων, πολυκαταστημάτων, γραφείων, θερμοκηπίων), για τη θέρμανση νερού σε κολυμβητήρια και για την κεντρική παραγωγή θερμού νερού χρήσης χρησιμοποιούνται μεγάλα κεντρικά συστήματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αντί να χρησιμοποιηθεί μία μόνο αντλία θερμότητας, η συνολική ισχύς μοιράζεται σε πολλές μικρότερης ισχύος συσκευές, για να εξυπηρετηθεί ένα κτίριο κατά ζώνες. Επίσης συχνά εγκαθίστανται συστήματα με αντλίες θερμότητας, τα οποία παρέχουν συγχρόνως θέρμανση και ψύξη σε ένα κτίριο.

3.2 Δυνατότητες των αντλιών θερμότητας στην Ελλάδα

Η τεχνολογία χρήσης αντλιών θερμότητας με «γήινους εναλλάκτες» (geo-exchangers) και με αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών (νερό) χαμηλών θερμοκρασιών (8-20°C) είναι πολύ διαδεδομένη στις Η.Π.Α. και την Ευρώπη ενώ στη χώρα μας, όπου επικρατούν οι καταλληλότερες θερμοκρασίες (15-20°C), ελάχιστα αξιοποιείται στον κλιματισμό (θέρμανση – ψύξη). Επιπλέον, θα μπορούσε να αξιοποιηθεί στον κλιματισμό μικρών θερμοκηπίων και ιδιαίτερα ορνιθοτροφείων αλλά και χοιροστασίων, όπου ο κλιματισμός του χώρου εκτροφής είναι μία συνεχής διαδικασία.

Μέχρι σήμερα, στην Ελλάδα έχουν γίνει λίγες προσπάθειες μελέτης και εφαρμογής της εκμετάλλευσης της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας, κυρίως σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας, κάτι που επιβεβαιώνεται από το ύψος της εγκατεστημένης ισχύος (4 MW_{th}). Λόγω του κλίματος και της γεωγραφικής θέσης της χώρας μας, η ποσότητα ηλιακής ενέργειας που αποθηκεύεται στο υπέδαφός της, είναι αρκετά μεγαλύτερη, απ' ό,τι στις χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης. Επίσης, η έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα, που συνεχίζεται στον Ελληνικό χώρο μέχρι σήμερα, έχει ως συνέπεια να παρουσιάζεται σε πολλές περιοχές ελαφρά έως αρκετά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα. Έτσι, θερμοκρασίες 15°C - 20°C του υπεδάφους σε βάθη μέχρι 150m αποτελούν τον κανόνα, ενώ συχνά παρατηρούνται και θερμοκρασίες μέχρι 25°C . Οι τιμές αυτές είναι πολύ πιο ευνοϊκές για την απόδοση των γεωθερμικών μονάδων και συνεπώς δίνουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης μεγαλύτερων ποσοτήτων θερμικής ενέργειας από το υπέδαφος των κτιρίων μας, χωρίς τον κίνδυνο ψύξης του εδάφους από τη λειτουργία των μονάδων αυτών, ο οποίος υπάρχει στις βορειότερες χώρες.

Αντί αυτού, σήμερα στην Ελλάδα προωθείται η χρήση του φυσικού αερίου για τον κλιματισμό κτιρίων, σα να πρόκειται για εγχώρια πηγή ενέργειας παραβλέποντας τις παραμέτρους της οικονομικής και εθνικής εξάρτησης, αλλά και των προβλημάτων του «φαινομένου του θερμοκηπίου».

3.3.1 Αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος (Ground-coupled heat pumps)

Για την εκμετάλλευση της ενέργειας των πετρωμάτων του υπεδάφους χρησιμοποιείται η τεχνική του θαψίματος δικτύου σωληνώσεων (γεωσυλλέκτης- γεωεναλλάκτης) σε μικρό σχετικά βάθος.

Η σύνθεση του χώματος, η οποία ποικίλλει (υγρός άργιλος, άμμος, βραχώδες έδαφος κ.τ.λ.), έχει μια καθοριστική επίδραση στις θερμικές του ιδιότητες και επομένως και στο βαθμό απόδοσης των Αντλιών Θερμότητας. Η λογική της χρήσης σωληνώσεων ενταφιασμένων στο έδαφος στηρίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία της γης σε βάθος δύο έως τριών μέτρων διατηρείται σχεδόν σταθερή (μεταξύ 10°C και 18°C) καθ'

όλη τη διάρκεια του χρόνου κάτι που δεν συμβαίνει με την θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα.

Στα συστήματα κλειστών βρόγχων, νερό ή μίγμα νερού με αντιψυκτικό περιβαλλοντικά ασφαλές, κυκλοφορούν μέσω ενός σωλήνα, απάγουν θερμότητα ή απορρίπτουν θερμότητα στο έδαφος. Δεν υπάρχει έτσι καμία επαφή μεταξύ του σωλήνα κλειστών βρόγχων και του υπόγειου νερού ή του εδάφους. Τα κλειστά συστήματα διακρίνονται σε **οριζόντια**, **κατακόρυφα** και **σπειροειδή** (Sanner B. 2001, J. Lund, B. Sanner, L. Rybach, R. Curtis, G. Hellström 2004, Sanner B., Kohlsch O., Rafferty Kevin 2000).

Περιλαμβάνουν μηχανικές αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν το νερό το οποίο προέρχεται από υπόγειες πηγές (κρύες, χλιαρές ή θερμές γεωτρήσεις, εγκαταλειμμένα ορυχεία, κλπ) με θερμοκρασία 10-30°C, επιφανειακές πηγές (λίμνες, ποταμοί, θάλασσα) θερμοκρασίας 5-25°C, γεωτρήσεις με εναλλάκτες θερμότητας, που παράγουν νερό θερμοκρασίας 0-15°C.

Ο συντελεστής ενεργειακής απόδοσης (**COP**) των ΓΑΘ ορίζεται ο λόγος της αποδιδόμενης ενέργειας προς την ηλεκτρική κατανάλωση, και αφορά μια συγκεκριμένη στιγμή, ή συνθήκες. Ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης (**SPF**) είναι το ολοκλήρωμα του COP κατά την περίοδο θέρμανσης/ψύξης. Τυπικές τιμές των COP και SPF για συνδυασμό της αντλίας θερμότητας με ΓΑΘ και ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης είναι μεταξύ 3,5 και 5,0. Στην περίπτωση που η αντλία θερμότητας συνδέεται με ανοικτό σύστημα δηλαδή με υδρογεώτρηση, οι τυπικές τιμές των COP και SPF είναι μεταξύ 4,0 και 6,5.

Ένα σύστημα αποτελείται από τη μηχανική μονάδα της αντλίας θερμότητας, τον εναλλάκτη θερμότητας κλειστού ή ανοικτού συστήματος, και το σύστημα κυκλοφορίας νερού στο κτίριο. Συνήθως οι σωληνώσεις στο έδαφος είναι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας.

Οι αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος μπορούν να παράγουν νερό θερμοκρασίας 40-60°C και κατά συνέπεια, συνδυάζονται με συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας όπως τις τοπικές μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (fan coils), τη θέρμανση δαπέδων και τις μονάδες τροφοδοσίας αέρα (air handling). Μπορούν επίσης να παρέχουν ψύξη κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου για τα θερμότερα κλίματα.

Το βασικό πλεονέκτημα του κλειστού κυκλώματος είναι ότι το κύκλωμα της γης και του σπιτιού, είναι κλειστά και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζονται επικαθίσεις αλάτων σε αυτά, με αποτέλεσμα η συντήρηση του συστήματος να είναι μηδαμινή.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν ένα εγκατεστημένο σύστημα κλειστού κυκλώματος στην καλή απόδοση του είναι (Ανδρίτσος, Φυτίκας κ.α., 2006):

- το κλίμα της περιοχής και η θερμοκρασία του εδάφους,
- οι θερμικές ιδιότητες του υπεδάφους,
- το κόστος ανόρυξής της γεώτρησης ή της εκσκαφής των ορυγμάτων,
- το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας,

3.3.1.1 Κάθετος Γεωεναλλάκτης

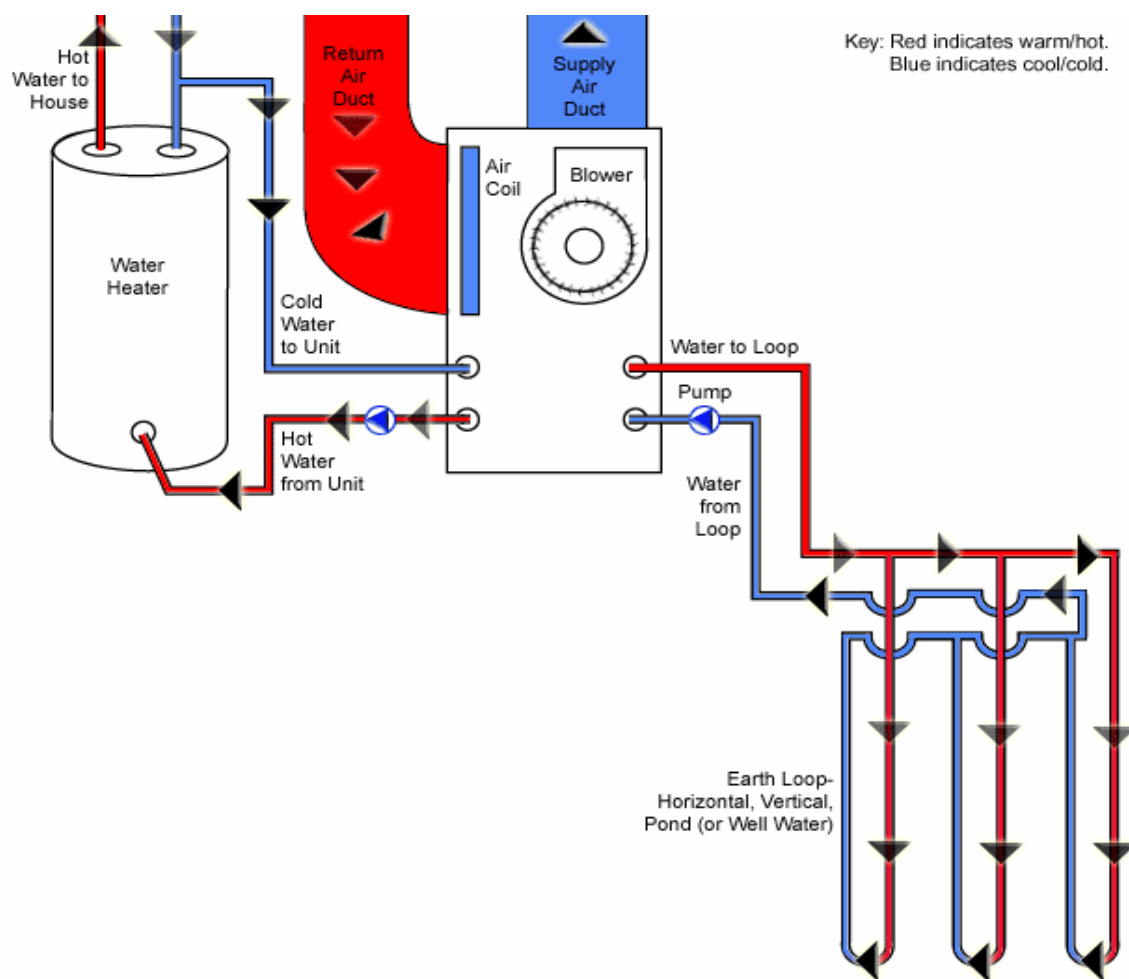
Συνήθως χρησιμοποιείται σε μεγάλες εφαρμογές όπου η απαιτούμενη ανάγκη δεν μπορεί να καλυφθεί από ένα οριζόντιο κύκλωμα, σε περιοχές με αδυναμία πρόσληψης νερού από τον υδροφόρο ορίζοντα και σε περιπτώσεις που υπάρχει έλλειψη διαθέσιμου περιβάλλοντα χώρου.

Τα συστήματα κάθετου γεωεναλλάκτη αποτελούνται συνήθως από ένα ζεύγος σωληνώσεων μικρής διαμέτρου (20-40 mm) από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), που τοποθετείται συνήθως σε μια ή περισσότερες κατακόρυφες γεωτρήσεις, το εσωτερικό των οποίων γεμίζεται εν συνεχεία από στερεό υλικό. Το βάθος των γεωτρήσεων ποικίλλει από 15 μέχρι και 200m, ανάλογα με τις συνθήκες, το κόστος διάτρησης και τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου.(Φυτίκας Ανδρίτσος 2004).

Τα συστήματα των κάθετων γεωεναλλακτών αποδίδουν περίπου $7,5 \text{ kW}/100\text{m}$ γεωεναλλάκτη. Τα βασικά πλεονεκτήματα της διάταξης αυτής είναι το μικρό συνολικό μήκος σωλήνωσης, η απαίτηση για μικρή έκταση γης και τέλος το γεγονός ότι η αξιοποιήσιμη θερμότητα του εδάφους επηρεάζεται λιγότερο από την εξωτερική θερμοκρασία (μεγάλο βάθος). Σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι απαιτείται εξοπλισμός ανάλογος με αυτόν που χρησιμοποιείται για την διάνοιξη γεωτρήσεων με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους κατασκευής, ιδιαίτερα όταν το έδαφος είναι πετρώδες.



Εικόνα 3.3: Κατακόρυφη εγκατάσταση των βρόγχων του εναλλάκτη θερμότητας



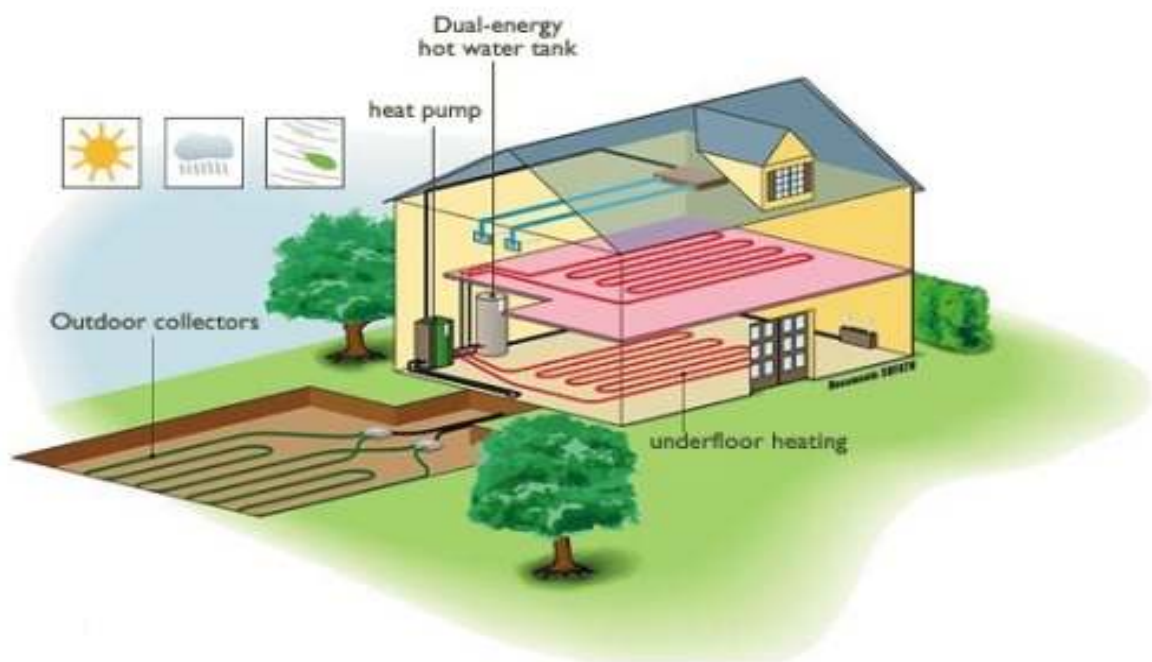
Εικόνα 3.4: Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες

3.3.1.2 Οριζόντιος Γεωεναλλάκτης

Σε περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλος διαθέσιμος περιβάλλοντας χώρος, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διάταξη του οριζόντιου γεωεναλλάκτη. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές τοποθέτησης του οριζόντιου γεωεναλλάκτη στο υπέδαφος. Σε μία οριζόντια εγκατάσταση, οι βρόγχοι του εναλλάκτη θερμότητας μπορεί να είναι συνδεδεμένοι είτε εν σειρά είτε εν παραλλήλω. Αυτοί οι τύποι χρησιμοποιούνται περισσότερο στη Δυτική και στην Κεντρική Ευρώπη



Εικόνα 3.5: Οριζόντια εγκατάσταση των βρόγχων του εναλλάκτη θερμότητας



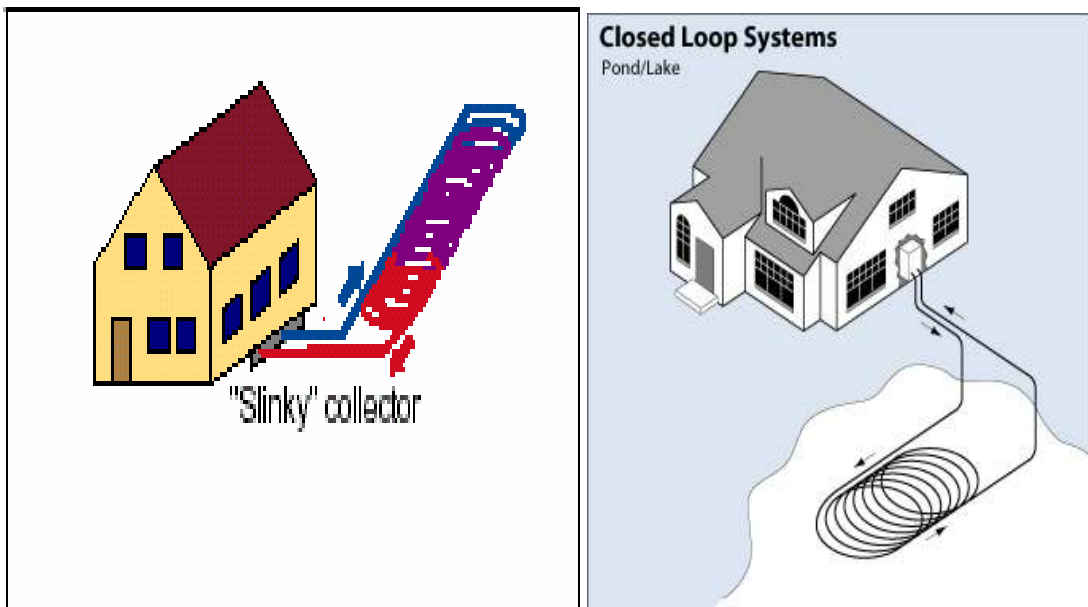
Εικόνα 3.6: Οριζόντια εγκατάσταση των βρόγχων του εναλλάκτη θερμότητας



Εικόνα 3.7: Σύστημα απευθείας εκτόνωσης

3.3.1.3 Σπειροειδής Γεωεναλλάκτης

Αποτελείται από σωλήνες που τυλίγονται σε σπείρες (σπιράλ) και τοποθετούνται σε χαντάκια μέσα στο έδαφος. Το τυπικό σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 0,254 μέτρα το οποίο ισοδυναμεί με 12 μέτρα σωλήνωσης ανά μέτρο χαντακιού. Το εκτεταμένο σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 1,4 μέτρα που ισοδυναμεί με 4 μέτρα σωλήνας ανά μέτρο χαντακιού. Στα πλεονεκτήματα της διάταξης συνυπολογίζεται η απαίτηση για μικρή έκταση γης και ανάγκη για λιγότερο σκάψιμο για την δημιουργία χαντακιών, ενώ στα μειονεκτήματα η απαίτηση για μεγαλύτερο μήκος σωλήνα. Το σπειροειδές σύστημα μπορεί να έχει οριζόντια ή κάθετη διάταξη με μόνη διαφορά ότι στην οριζόντια διάταξη είναι ευκολότερη η επανατοποθέτηση των χωμάτων. Σε μία σπειροειδή εγκατάσταση, ο εύκαμπος σωλήνας σπειροειδούς σχήματος (συχνά αποκαλείται «Slinky») τοποθετείται μέσα σε όρυγμα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την απόδοση του επιφανειακού εναλλάκτη θερμότητας κατά 40%



Εικόνες 3.8, 3.9: Εγκατάσταση με σωλήνα σπειροειδούς σχήματος

3.3.1.4 Ανοικτού Κυκλώματος

Τα γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος αντλούν νερό από υπόγειο ταμιευτήρα με χρήση γεώτρησης. Κατασκευάζονται 2 γεωτρήσεις, η μια είναι γεώτρηση παραγωγής (production well) και η άλλη επανεισαγωγής (injection well). Συγκεκριμένα, από την πρώτη αντλείται το γεωθερμικό ρευστό, κυκλοφορεί εντός του κτηρίου μέσω σωληνώσεων και επανεισάγεται μέσω της δεύτερης γεώτρησης. Αυτό το σύστημα είναι πρακτικό στην περίπτωση που υπάρχει μια πηγή άφθονου γεωθερμικού ρευστού, δεδομένου ότι όλοι οι τοπικοί κανονισμοί και οι κώδικες σχετικά με την απαλλαγή υπόγειων νερών το επιτρέπουν. Το σύστημα αυτό ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα. Και εδώ βασιζόμαστε στην ιδιότητα της σταθερής θερμοκρασίας που έχουν τα νερά του υπόγειου ταμιευτήρα καθ' όλο τον χρόνο ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν.

Τα ανοιχτά φρέατα απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι μπορεί να μειωθεί η παραγωγή αν προκληθούν επικαθίσεις στους σωλήνες ή αν αλλάξει η στάθμη του νερού από ανθρώπινη χρήση ή φυσικά αίτια. Η ποσότητα του νερού εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας και τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Στο ανοιχτό σύστημα θα πρέπει να ελεγχθεί η ποιότητα του νερού για την σκληρότητα του την οξύτητα και την περιεκτικότητα σε σίδηρο, προτού να εγκατασταθεί η αντλία θερμότητας, οι προμηθευτές των αντλιών γνωρίζουν ποια είναι τα αποδεκτά επίπεδα. Πρέπει να αποφεύγεται η χρήση τους σε γεωθερμικές πηγές πλούσιες σε υδρόθειο, καθώς είναι έντονη η διάβρωση των σωληνώσεων. Επίσης υπάρχει μέριμνα για την αποφυγή κατασκευαστικών λαθών της γεώτρησης, καθώς και καταστροφή της αντλίας.

Ενδεικτικά ένα σπίτι 280 m² απαιτεί περίπου 30- 50 λίτρα ανά λεπτό παροχής νερού. Οι σωλήνες του εναλλάκτη τοποθετούνται είτε οριζόντια στο έδαφος σε μικρό βάθος (περίπου 2 m), όταν υπάρχει μεγάλη διαθέσιμη επιφάνεια οικοπέδου είτε κατακόρυφα σε μεγάλο βάθος (περίπου 80 με 100m) όπου δεν απαιτείται μεγάλη διαθέσιμη επιφάνεια οικοπέδου.



Εικόνες 3.10, 3.11: Εγκατάσταση εναλλάκτη Ανοικτού Κυκλώματος

3.4 Τύποι Συστημάτων με Αντλίες Θερμότητας

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αντλιών θερμότητας που κατηγοριοποιούνται βάσει της πηγής :

- Αντλίες θερμότητας αέρος – νερού
- Αντλίες θερμότητας νερού – νερού
- Αντλίες θερμότητας Διαλύματος – νερού
- Αντλίες θερμότητας Υβριδικού τύπου

3.4.1 Αντλίες θερμότητας αέρα-νερού

Στην κατηγορία αυτή ως πηγή χρησιμοποιείται ο αέρας. Το πλεονέκτημα είναι ότι ο αέρας είναι πάντα διαθέσιμος. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κοντά ή χαμηλότερη από 0°C είναι απαραίτητο να λειτουργεί και ένα σύστημα απόψυξης (defrost system) στον εναλλάκτη θερμότητας της πηγής. Πράγματι η αποφυγή πάγου στην πλευρά της πηγής είναι ένα βασικό πρόβλημα στις αντλίες αυτές.

Ο κύκλος απόψυξης απορροφά ένα μέρος της ενέργειας από την αντλία, ενέργεια η οποία χάνεται, και που δεν παρέχεται στο κύκλωμα παράγωγης ζεστού νερού μειώνοντας προσωρινά την ισχύ εξόδου. Στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να γίνει η εκτίμηση ότι στις μεγαλύτερες Ευρωπαϊκές χώρες η ενεργεία που χάνεται κατά την διάρκεια του κύκλου απόψυξης κυμαίνεται από 5% έως 13%.

3.4.2 Αντλίες θερμότητας νερού-νερού

Εδώ χρησιμοποιείται ως πηγή το νερό. Η λύση αυτή έχει τις καλύτερες επιδόσεις δίχως να εξαρτάται από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες (όπως στις αντλίες θερμότητας αέρος-νερού). Παρόλα αυτά επιβαρύνεται με ένα επιπρόσθετο κόστος λόγω του συστήματος άντλησης και επανεισαγωγής του νερού στη γη καθώς και την διαχρονικά αμφίβολη ύπαρξη νερού.

3.4.3 Αντλίες θερμότητας διαλύματος-νερού

Σε αυτή την περίπτωση ως πηγή χρησιμοποιείται η αποθηκευμένη ενέργεια του εδάφους. Η θερμική ενέργεια «απορροφάται» από το έδαφος μέσω σωληνώσεων (γεωεναλλάκτη) όπου κυκλοφορεί ένα διάλυμα νερού με αντιψυκτικό. Ο γεωεναλλάκτης μπορεί να τοποθετηθεί είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα μέσω γεωτρήσεων και είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να απορροφά την μέγιστη δυνατή ενέργεια.

Στο σύστημα οριζοντίου γεωεναλλάκτη σωληνώσεις θάβονται σε βάθος 1 με 1,5 μέτρο έτσι ώστε από τη μια να μην επηρεαζόμαστε από τις εξωτερικές θερμοκρασίες ενώ από την άλλη να απολαμβάνουμε τα οφέλη της ηλιακής ακτινοβολίας που αποθηκεύεται στο έδαφος. Είναι απαραίτητο σε τέτοιες εφαρμογές να έχουμε επιφάνεια 2 έως 3 φορές μεγαλύτερη από την επιφάνεια που θέλουμε να θερμάνουμε.

Στην περίπτωση του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη οι σωληνώσεις εγκαθίστανται κατακόρυφα σε βάθος μέχρι 100m με σκοπό να αποσπάσουμε, κατά μέσο όρο, 4-6 kW από την κάθε γεώτρηση. Οι αντλίες αυτές έχουν το πλεονέκτημα σταθερού βαθμού απόδοσης (C.O.P) όλο το χρόνο.

3.4.4 Αντλίες θερμότητας υβριδικού συστήματος

Οι αντλίες αυτές συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα του αέρος-νερού (κόστος εγκατάστασης) και τις υψηλές αποδόσεις των νερού-νερού.

3.5 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα χρήσης γεωθερμικών αντλιών

Η αντλία θερμότητας λόγω των τεχνικών χαρακτηριστικών της και του κύκλου λειτουργίας της, που αναλύθηκαν παραπάνω, παρουσιάζει μια σειρά πλεονεκτημάτων σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης-κλιματισμού για αυτό άλλωστε η χρήση τους έχει επεκταθεί τα τελευταία χρόνια.

- Αξιόπιστη τεχνολογία φιλική προς το περιβάλλον χωρίς εκπομπές αέριων ρύπων
- Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες τη μέρα, 365 μέρες το χρόνο.
- Αντληση δωρεάν ενέργειας από το υπέδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.
- Εξοικονόμηση 75% της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση και 40% για δροσισμό-ψύξη ενός κτιρίου.
- Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες έχουν πολύ μεγάλο χρόνο ζωής
- Χαμηλό κόστος συντήρησης εγκατάστασης και εξοπλισμού. Τα ΓΑΘ δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα.
- Μείωση των δαπανών της κατοικίας για θέρμανση και κλιματισμό από 25-75%
- Παρέχουν υψηλής ποιότητας άνεση στους εσωτερικούς χώρους
- Απουσία θορύβου κατά την λειτουργία της εγκατάστασης
- Απαιτείται μικρότερος χώρος για την εγκατάσταση του εξοπλισμού σε σχέση με το συμβατικό λεβητοστάσιο. Δεν απαιτείται λέβητας, δεξαμενή πετρελαίου, ή καπνοδόχος, ενώ δεν απαιτείται αερόψυκτος ψύκτης για τον κλιματισμό του κτιρίου
- Βελτιώνουν τον έλεγχο υγρασίας με τη διατήρηση της σχετικής υγρασίας περίπου στο 50%, γεγονός που τις καθιστά πολύ αποτελεσματικές στις υγρές περιοχές
- Αυτονομία. Το Γεωθερμικό σύστημα αντικαθιστά πλήρως τη χρήση πετρελαίου ή άλλου καυσίμου. Συνεπώς ενδείκνυται και για απομακρυσμένες περιοχές με δυσκολία ανεφοδιασμού.
- Μεγαλύτερη ασφάλεια σε σχέση με μία εγκατάσταση πετρελαίου ή φυσικού αερίου
- Δεν δημιουργείται αισθητική παρέμβαση στις όψεις του κτιρίου με εξωτερικά μηχανήματα.
- Τέλος, προσδίδει υπεραξία στο ακίνητό μας εξαιτίας της ιδιόκτητης πηγής ενέργειας.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της αντλία θερμότητας είναι:

- Το αρχικό κόστος ενός γεωθερμικού συστήματος είναι υψηλότερο από αυτό των συμβατικών συστημάτων. Ανάλογα με τη χρήση, η απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου γίνεται σε 5-7 χρόνια. Σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες δίνονται κίνητρα για την απόκτησή τους όπως φοροαπαλλαγές ή κρατική χορηγία.
- Για τα ανοικτού κυκλώματος συστήματα απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού
- Σε κλειστά κυκλώματα υπάρχει δυσκολία επισκευής μιας διαρροής.
- Κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων δημιουργείται λάσπη, η οποία θα πρέπει να ξηρανθεί και να απομακρυνθεί από το χώρο ανέγερσης της κατοικίας
- Υψηλότερη στάθμη θορύβου στο εσωτερικό του θερμαινόμενου χώρου.

3.6 Κόστος εγκατάστασης αντλιών θερμότητας

Το αντίστοιχο κόστος εγκατάστασης των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ανέρχεται σε 500-1000 € ανά $\text{kW}_{(\text{th})}$ για μονάδες τροφοδοτούμενες από υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα, και σε 1000-1500 € ανά $\text{kW}_{(\text{th})}$ για μονάδες συνδυαζόμενες με εναλλάκτες θερμότητας εδάφους. Το κόστος ανά μονάδα παρεχόμενης ενέργειας (θερμότητα και ψύξη) ποικίλει από 0,015 €/kWh για συστήματα συνδυαζόμενα με υδρογεώτρηση που παρέχει νερό σταθερής θερμοκρασίας 17°C καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και τιμολόγηση του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση το εμπορικό τιμολόγιο της ΔΕΗ, μέχρι 0,028 €/kWh για συστήματα συνδυαζόμενα με εναλλάκτες θερμότητας εδάφους και χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ. Εάν ληφθούν υπόψη οι αποσβέσεις των κεφαλαίων και το κόστος χρήματος (τοκοχρεολύσιο 5% για 20 έτη), τότε το κόστος ανά μονάδα παρεχόμενης ενέργειας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ποικίλει από 0,038 €/kWh για συστήματα συνδυαζόμενα με υδρογεώτρηση, μέχρι 0,048 €/kWh για συστήματα συνδυαζόμενα με εναλλάκτες θερμότητας εδάφους (Mendrinou D. and Karytsas C. 2003).

4. Νομοθεσία

4.1 Ισχύον νομοθετικό πλαίσιο γεωθερμίας

Με το Φ.Ε.Κ 1249/24-06-2009 καθορίζονται οι όροι, οι προϋποθέσεις, τα απαιτούμενα δικαιολογητικά και η διαδικασία έκδοσης άδειας για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης-ψύξης χώρων μέσω εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπογείων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό. Η εν λόγω έκδοση άδειας επιτρέπει την ανόρυξη των απαραίτητων υδρογεωτρήσεων για την αξιοποίηση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με την προϋπόθεση ότι το σύστημα επανεισάγει ολόκληρη την ποσότητα του νερού που αντλήθηκε από τον υδροφόρο ορίζοντα χωρίς να μεταβάλει τη φυσικοχημική σύστασή του.

Το δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού και των γεωθερμικών πεδίων ανήκει μόνο στο Δημόσιο (άρθρο 3, τεύχος πρώτο). Το δικαίωμα του Δημοσίου για έρευνα και διαχείριση γεωθερμικού δυναμικού εκμισθώνεται ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό με γραπτές σφραγισμένες προσφορές. Η διάρκεια της μίσθωσης του δικαιώματος έρευνας ορίζεται μέχρι πέντε έτη, με δικαίωμα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή για δύο επιπλέον έτη. Για χώρους που δεν έχουν ερευνηθεί ή για πιθανά γεωθερμικά πεδία εκμισθώνεται το δικαίωμα έρευνας. Εφόσον μετά τη λήξη της ερευνητικής περιόδου πιστοποιηθεί βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο και υποβληθεί από το μισθωτή ακριβής, επαρκής και συμφέρουσα κατά την κρίση του εκμισθωτή οικονομοτεχνική μελέτη διαχείρισης του πεδίου, παρέχεται στο μισθωτή και το δικαίωμα διαχείρισης. (άρθρο 4, τεύχος πρώτο) Στην περίπτωση βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων εκμισθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης. Το ύψος του προϋπολογισμού, η βιωσιμότητα της προτεινόμενης επένδυσης και ο βαθμός ορθολογικής χρήσης του γεωθερμικού πεδίου, είναι μερικά από τα κριτήρια που συνυπολογίζονται πριν παραχωρηθεί το δικαίωμα διαχείρισης στον διαγωνιζόμενο. Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης ρυθμίζονται οι ειδικότεροι όροι και η διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος έρευνας και της εν γένει διαχείρισης των γεωθερμικών πεδίων της χώρας. Η εκμίσθωση και διαχείριση των πιθανών και βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων χαμηλής θερμοκρασίας διενεργείται από το Γενικό Γραμματέα

Περιφέρειας ενώ η εκμίσθωση και διαχείριση μη ερευνημένων χώρων και των γεωθερμικών πεδίων υψηλής θερμοκρασίας διενεργείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης. (άρθρο 5, τεύχος πρώτο) Όποιος ερευνά ή διαχειρίζεται ή εκμεταλλεύεται γεωθερμικά πεδία χωρίς να έχει αποκτήσει σχετικό δικαίωμα, τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών (3) μηνών και με πρόστιμο από χίλια (1.000) ΕΥΡΩ έως εκατό χιλιάδες (100.000) ΕΥΡΩ. (άρθρο 9, τεύχος πρώτο)

Η άδεια που απαιτείται για την εγκατάσταση των γεωθερμικών συστημάτων κλιματισμού εκδίδεται από τη Διεύθυνση Ανάπτυξης της Νομαρχιακής αυτοδιοίκησης υπέρ του κυρίου του ακινήτου (άρθρο 11). Για να εκδοθεί η σχετική άδεια σε περίπτωση ανόρυξης γεώτρησης ή κατασκευής ορύγματος, αυτά πρέπει να βρίσκονται εντός των ορίων της ιδιοκτησίας (οικοπέδου ή αγροτεμαχίου ή γηπέδου) επί της οποίας βρίσκονται οι προς κλιματισμό χώροι. Πιο συγκεκριμένα οι γεωτρήσεις οφείλουν να απέχουν τουλάχιστον:

- 1) Δύο μέτρα από τα όρια της ιδιοκτησίας.
- 2) Πέντε μέτρα από υφιστάμενο γειτονικό κτίσμα διαφορετικής ιδιοκτησίας.
- 3) Πέντε μέτρα από το όριο της απαλλοτριωμένης ζώνης σιδηροδρομικής γραμμής.
- 4) Δέκα μέτρα από κεντρικό αγωγό μεταφοράς φυσικού αερίου. Ως κεντρικός νοείται ο αγωγός ο οποίος χρησιμεύει στην τροφοδοσία/επικοινωνία κεντρικών μονάδων του δικτύου και δεν αφορά στη σύνδεση του τελικού χρήστη με το δίκτυο.
- 5) Πέντε μέτρα από κεντρικούς υπόγειους αγωγούς (ύδρευσης, άρδευσης, αποχέτευσης κ.τ.λ). ως κεντρικοί νοούνται οι αγωγοί μεγάλης διαμέτρου οι οποίοι χρησιμεύουν στην τροφοδοσία επικοινωνία κεντρικών μονάδων του δικτύου και δεν αφορά στη σύνδεση του τελικού χρήστη με το δίκτυο.
- 6) Δέκα μέτρα από γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσεως, εκτός ανάμεσα αν στη γραμμή και τη γεώτρηση μεσολαβεί κτίσμα.
- 7) Πέντε μέτρα από γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέτριας τάσης, εκτός αν ανάμεσα στη γραμμή και τη γεώτρηση μεσολαβεί κτίσμα.

Σε κάθε γεώτρηση να γίνεται τσιμέντωση τουλάχιστο για τα πέντε ανώτερα μέτρα και τοποθέτηση στο ίδιο μήκος περιφραγματικής χαλύβδινης σωλήνωσης.

Σε περίπτωση που στην περιοχή του ακινήτου απαγορεύεται η διάνοιξη υδρογεωτρήσεων, επιτρέπεται η εγκατάσταση και λειτουργία εναλλακτών κλειστού κυκλώματος.

Σε περίπτωση εκμετάλλευσης θερμότητας με τη χρήση επιφανειακών ή υπόγειων νερών, ο χρήστης υποχρεούται στην επαναφορά του συνόλου των χρησιμοποιηθέντων νερών και στην ίδια ποιότητα στον αρχικό αποδέκτη. Σε αντίθετη περίπτωση όπου υπάρχει ανάλωση ποσότητας νερού ή αλλοίωσης της ποιότητας του, η έκδοση της σχετικής άδειας υπόκειται και στις διατάξεις του ν.3199/2003 (ΦΕΚ 280 Α), άρθρο 11 σε συνδυασμό με το άρθρο 16 αυτού.

Οι αντλίες και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι πιστοποιημένα από αναγνωρισμένο φορέα. (άρθρο 4, τεύχος δεύτερο).

Η διαδικασία χορήγησης της εν λόγω άδειας περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

ΣΤΑΔΙΟ 1. Η Διεύθυνση Ανάπτυξης της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης, μετά τον έλεγχο της πληρότητας των δικαιολογητικών και αφού διαπιστώσει ότι η περιοχή του ακινήτου βρίσκεται εντός χαρακτηρισμένου γεωθερμικού πεδίου, απευθύνεται στον Υπουργό Ανάπτυξης ή στο Γενικό Γραμματέα Περιφέρειας. Έπειτα, μετά από γνωμοδότηση του Ι.Γ.Μ.Ε θα καθοριστεί το μέγιστο βάθος μέχρι το οποίο είναι επιτρεπτή η άντληση ρευστών ή γενικότερα η εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό. Επιπλέον θα προσδιοριστούν οι όροι της εγκατάστασης για την προστασία του γεωθερμικού δυναμικού και του περιβάλλοντος.

ΣΤΑΔΙΟ 2. Αν διαπιστωθεί ότι δεν συντρέχουν οι προϋποθέσεις για την έκδοση της αιτούμενης αδείας, εκδίδεται αιτιολογημένη απορριπτική απόφαση του νομάρχη.

ΣΤΑΔΙΟ 3. Αν διαπιστωθεί ότι συντρέχουν οι προϋποθέσεις εκδίδεται η αιτούμενη άδεια. (άρθρο 6 τεύχος δεύτερο).

Η απόφαση χορήγησης της αδείας περιλαμβάνει απαραίτητως:

- α) Τα στοιχεία του ιδιοκτήτη ή επικαρπωτή και τη θέση του ακινήτου.
- β) Την ισχύ του συστήματος, το μέγιστο βάθος διατρήσεων και τις θέσεις των γεωτρήσεων.
- γ) Το χρόνο αποπεράτωσης των εργασιών εγκατάστασης του συστήματος.
- δ) Όρο ότι μετά την αποπεράτωση του συστήματος θα υποβληθεί γεωλογική τομή κλίμακας μέχρι 1:500 ή μεγαλύτερης, των γεωτρήσεων που ανορύχθηκαν καθώς και πλήρη στοιχεία σχετικά με τα χαρακτηριστικά τους (βάθη, ποσότητα αντλούμενου – επανεισαγόμενου νερού/ρευστού κάθε γεώτρηση, θερμοκρασία άντλησης– επανεισαγωγής, μετρήσεις θερμοκρασίας κατά την ανόρυξη σε ενδεικτικά μέτρα ανόρυξης, μήκη φιλτροσωλήνων και τυφλών σωλήνων κτλ). Τα στοιχεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκπόνηση σχετικών γεωλογικών μελετών.
- ε) Όρο ότι θα τοποθετηθούν υδρομετρητές και καταγραφικά θερμόμετρα στα στόμια των γεωτρήσεων(παραγωγικής ή και επανεισαγωγής).
- στ) Όρο ότι θα χρησιμοποιείται το προβλεπόμενο από την κείμενη νομοθεσία εργατοτεχνικό προσωπικό και το προσωπικό επίβλεψης και θα λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα για τον περιορισμό των παρενοχλήσεων των περιοίκων καθώς και για την προστασία της υγείας και ασφάλειας των εργαζόμενων και του περιβάλλοντος.
- ζ) Όρο ότι θα εφαρμοσθεί η εγκεκριμένη μελέτη και οι όροι της αδείας και της παρούσης αποφάσεως.
- η) Όρο ότι η αρμόδια υπηρεσία της νομαρχίας έχει το δικαίωμα να ελέγχει σε τακτά χρονικά διαστήματα την όλη εγκατάσταση. (άρθρο 6 τεύχος δεύτερο).

Για την εγκατάσταση, διαχείριση και εκμετάλλευση δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους απαιτείται Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας, η οποία χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης μετά από γνώμη της Ρ.Α.Ε.. Η Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας χορηγείται μόνο σε νομικά πρόσωπα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής και για συγκεκριμένες θερμικές χρήσεις της θερμικής ενέργειας από τους καταναλωτές. Η Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας χορηγείται μόνο σε νομικά πρόσωπα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, για την εξυπηρέτηση συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής και για συγκεκριμένες θερμικές χρήσεις της θερμικής ενέργειας από τους καταναλωτές. Με την άδεια καθορίζονται ιδίως ο χρόνος ισχύος της, η περιοχή κατασκευής των εγκαταστάσεων, η τεχνολογία και το πρόγραμμα κατασκευών και

προσδιορίζονται ειδικότερα οι όροι και οι προϋποθέσεις της διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους καταναλωτές. (άρθρο 14, τεύχος πρώτο) Τα πρόσωπα στα οποία χορηγείται Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας υποχρεούνται να σχεδιάζουν, να διασφαλίζουν τη χρηματοδότηση, να κατασκευάζουν, να λειτουργούν, να διαχειρίζονται και να συντηρούν το δίκτυο διανομής θερμικής ενέργειας και όλες τις σχετικές εγκαταστάσεις και να παρέχουν τις σχετικές υπηρεσίες.

Τέλος, οι ειδικότεροι όροι της Άδειας Διανομής Θερμικής Ενέργειας πρέπει να διασφαλίζουν ιδίως:

- α) Την εξυπηρέτηση του δημόσιου συμφέροντος και την παροχή υπηρεσιών υψηλών προδιαγραφών στους καταναλωτές.
- β) Την υποχρέωση τήρησης τυποποιημένων και διαφανών όρων συναλλαγής με τους καταναλωτές, έτσι ώστε να μη γίνονται διακρίσεις μεταξύ καταναλωτών ή κατηγοριών καταναλωτών.
- γ) Τον καθορισμό τιμολογίων και τελών σύνδεσης ή μεθοδολογίας για τον υπολογισμό των τιμολογίων και των τελών σύνδεσης, ώστε να επιτυγχάνονται ανταγωνιστικές τιμές για τους καταναλωτές, συγκριτικά με άλλους τρόπους παραγωγής θερμικής ενέργειας. Προς τούτο λαμβάνονται υπόψη οι δαπάνες για την παραγωγή, αγορά και διανομή της ενέργειας, τα λοιπά σταθερά και λειτουργικά έξοδα και φόροι, η απόσβεση των επενδύσεων, η απόδοση του επενδυμένου κεφαλαίου πλέον εύλογου κέρδους και δαπάνες για την τήρηση υποχρεώσεων δημόσιου συμφέροντος, που μπορεί να επιβάλλονται με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης που δημοσιεύεται στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.
- δ) Την έγκαιρη ανάπτυξη δικτύων διανομής, λοιπών εγκαταστάσεων και σύνδεσης των καταναλωτών, καθώς και τη συντήρηση και αξιόπιστη λειτουργία τους, σύμφωνα με προδιαγραφές και κανονισμούς που ισχύουν στην Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση για αντίστοιχα έργα.
- ε) Την τήρηση όρων ασφαλείας.
- στ) Την οικονομική βιωσιμότητα του έργου διανομής θερμικής ενέργειας, ιδίως μέσω της σύνδεσης επαρκούς αριθμού καταναλωτών.
- ζ) Την παροχή, έναντι ευλόγου τιμήματος, πρόσβασης σε τμήμα του δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας σε άλλον κάτοχο Άδειας Διανομής Θερμικής Ενέργειας, η οποία χορηγείται για γειτονική περιοχή, αν η πρόσβαση αυτή απαιτείται για λειτουργικούς ή

τεχνικούς λόγους ή αν αυτή εξυπηρετεί την επίτευξη οικονομιών κλίμακας προς όφελος των καταναλωτών.

η) Την προστασία του περιβάλλοντος. (άρθρο 14, τεύχος πρώτο)

4.2 Επιχορηγήσεις στον τομέα της γεωθερμίας

Τα γεωθερμικά συστήματα κλιματισμού επιχορηγούνται από το 4ο κοινοτικό πλαίσιο στήριξης. Στις συνολικές δαπάνες συμπεριλαμβάνονται η ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων, ο ηλεκτρολογικός πίνακας, ο γεωεναλλάκτης, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, τα δίκτυα διανομής του νερού, οι μελέτες και η επίβλεψη του έργου καθώς επίσης και οι μονάδες εξαναγκασμένης επανακυκλοφορίας αέρα ή ενδοδαπέδια θέρμανση. Την επιχορήγηση έχουν το δικαίωμα να την λάβουν νομικά πρόσωπα και μόνο, κι εφόσον πληρούν τις προϋποθέσεις της επιχορήγησης. Το ποσοστό επιχορήγησης είναι συνάρτηση του κεντρικού άξονα στον οποίο υπάγεται η επιχορήγηση. Στον τομέα του εκσυγχρονισμού το ποσοστό επιχορήγησης κυμαίνεται βάσει της γεωγραφικής τοποθεσίας που υπάγεται τι έργο, ενώ στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι σταθερή σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια.

5. Προτεινόμενο γεωθερμικό σύστημα στο ξενοδοχειακό συγκρότημα «Το πλίθινο χωριό» - Γεωλογικά στοιχεία της κοινότητας Σοφάδων Καρδίτσας

5.1 Εισαγωγή

Η ιδέα της πλίθινης αγοράς προέκυψε ως αποτέλεσμα της αναζήτησης και διερεύνησης διεξόδου από την δύσκολη οικονομική κατάσταση στην οποία έχουν περιέλθει πολλά αγροτικά νοικοκυριά, ιδιαίτερα στην πεδινή ζώνη.

Η σχεδιαζόμενη ξενοδοχειακή μονάδα «το πλίθινο χωριό» θα έχει την μορφή ενός μικρού караγκούνικου χωριού με κυρίαρχα φυσικά δομικά υλικά «τα πλιθιά», την πετρά το ξύλο και το κεραμίδι προσαρμοσμένο πλήρως στις απαιτήσεις του σύγχρονου τρόπου ζωής αλλά σε ανθρώπινα «μέτρα». Ωστόσο, το «πλίθινο χωριό» θα είναι προσαρμοσμένο πλήρως στις απαιτήσεις του σύγχρονου τρόπου ζωής τηρώντας τα ανθρώπινα «μέτρα» και εξασφαλίζοντας την πλέον φιλική σχέση με το περιβάλλον. Τα κτίρια, κατά την παραδοσιακή караγκούνικη αρχιτεκτονική, θα είναι κυρίως ισόγεια και κάποια διώροφα, ενώ συνολικά η διαμόρφωση της μονάδας θα θυμίζει ένα μικρό παραδοσιακό караγκούνικο χωριό με τους πλίθινους αυλόγυρους, την πλατεία στο κέντρο με την εκκλησιά το καφενείο, τον φούρνο, τους παραδοσιακούς τεχνίτες αλλά και το ουζερί, το εστιατόριο, το ζαχαροπλαστείο, το μπαρ, τα λουτρά (spa), το βιβλιοπωλείο, τον συνεδριακό χώρο όλα αυτά δεμένα μεταξύ τους αρμονικά δίχως υπερβολές.

Το συγκεκριμένο ξενοδοχειακό συγκρότημα θα είναι σαν ένα ζωντανό μουσείο όπου ο επισκέπτης θα αισθάνεται εντελώς άνετα σε πλήρη αρμονία με τη γη και τη φύση και θα είναι το ίδιο ένας πόλος έλξης όλων των επισκεπτών της Δυτικής Θεσσαλίας. Θα είναι ένα συγκρότημα κτιρίων που θα δένει τον επισκέπτη με το αρχιτεκτονικό παρελθόν και θα του δίνει τη δυνατότητα να ξαναανακαλύψει την αξία της πλίθινης δόμησης. Θα προσελκύει ανθρώπους που αγαπούν τη φύση, οικογένειες που θα θέλουν να δείξουν της αξία της παράδοσης στα παιδιά τους, ανθρώπους με περιβαλλοντικές ευαισθησίες αλλά και ανθρώπους που θέλουν ποιοτικές υπηρεσίες. Σίγουρα δεν θα απευθύνεται στον μαζικό τουρισμό που γεμίζει τις παραλίες των πολυσύχναστων νησιών μας και που θέλει πλαστικό γρήγορο και φθινό φαγητό. Το «πλίθινο χωριό» θα

προσφέρει ποιοτικές υπηρεσίες διαμονής - όχι απαραίτητα ακριβές - όπου ο επισκέπτης θα μπορεί να γευτεί ντόπιες παραδοσιακές γεύσεις και να απολαύσει προϊόντα ποιοτικά, Προερχόμενα κυρίως από την Θεσσαλική γη.

Στο πλαίσιο μιας ευρύτερης κοινωνικής κινητοποίησης για περιβαλλοντικά ζητήματα, η αρχιτεκτονική μπορεί να παραμείνει ή να γίνει ένα εργαλείο φιλικής δράσης για την προστασία του περιβάλλοντος τόσο του φυσικού όσο και του ανθρωπογενούς. Το «πλίθινο χωριό» σχεδιάστηκε με στόχο την αποφυγή του εύκολου και συνήθως αδιέξοδου αφορισμού «ό,τι κτίζεται είναι περιβαλλοντικά επιβλαβές». Η δόμηση είναι αναπόφευκτη, μπορεί όμως να γίνει με τέτοιο τρόπο που να πείθει, ότι η αισθητική και το περιβάλλον είναι έννοιες συγκοινωνούσες ακόμη και στις τολμηρές εκφάνσεις της περιπετειώδους σχέσης τους. Οι εμπνευστές του «πλίθινου χωριού», επιχείρησαν τον σχεδιασμό του παραδοσιακού τουριστικού οικισμού στο Δήμο Σοφάδων, για να αναδείξουν την ιδέα, ότι ακόμη και ένα μεγάλο έργο, με ιδιαιτερότητες τόσο λειτουργικές, όσο και αισθητικές, μπορεί να κατασκευαστεί με ταπεινά υλικά, φιλικά στο περιβάλλον και το κυριότερο στο μέτρο του ανθρώπου.

Αποδεικνύεται στην πράξη ότι τα αγροτικά νοικοκυριά που καταφέρνουν να προωθήσουν τα προϊόντα τους μέχρι τον τελικό καταναλωτή, απολαμβάνουν καλύτερα εισοδήματα. Ωστόσο, αντιμετωπίζουν εμπόδια λόγω της ανεξέλεγκτης δράσης των μεσαζόντων και της ανυπαρξίας θεσμών και υποδομών που θα μπορούσαν να διευκολύνουν την εμπορία των προϊόντων τους, έξω από τον παλαιωμένο πλέον θεσμό της λαϊκής αγοράς.





Εικόνες : 5.1, 5.2, 5.3: Το πλίνθινο χωριό όπως θα είναι ολοκληρωμένο (Μιχαλάκης Κ. Παραδοσιακός τουριστικός οικισμός Σοφάδων «Σοφάδων» Ξενοδοχειακό συγκρότημα (αναπτυξιακή Ανώνυμη Εταιρεία ΟΤΑ «ΑΝΚΑ » Α.Ε)

5.2 Συμπεράσματα μελέτης Βιωσιμότητας

- Ο ΕΒΑ του υπενδεδυμένου κεφαλαίου μας (1.250.000 €) για το μετριοπαθές σενάριο σε διάρκεια 7ετίας είναι 43% ενώ σε διάρκεια 15ετίας ανέρχεται στο 51%. Επίσης παρατηρούμε ότι ανάγοντας τα κέρδη σε ΚΠΑ με επιτόκιο προεξόφλησης 8% για το μετριοπαθές σενάριο απαιτούνται μόλις 3 έτη για την απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης ενώ η ΚΠΑ των κερδών σε βάθος χρόνου 10ετίας είναι 6.544.354€ και στην 15ετή είναι 12.246.464€.
- Ο ΕΒΑ του επενδυμένου κεφαλαίου μας (1.250.000€) για το αισιόδοξο σενάριο σε διάρκεια 7ετίας είναι 74% ενώ σε διάρκεια 15ετίας ανέρχεται στο 78%. Επίσης παρατηρούμε ότι ανάγοντας τα κέρδη σε ΚΠΑ με επιτόκιο προεξόφλησης 8% για το αισιόδοξο σενάριο απαιτούνται λιγότερο από 2 έτη για την απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης ενώ η ΚΠΑ των κερδών σε βάθος χρόνου 10ετίας είναι 10.714.215€ και στην 15ετή είναι 19.101.571€.

- Ο ΕΒΑ του υπενδεδυμένου κεφαλαίου μας (1.250.000€) για το απαισιόδοξο σενάριο σε διάρκεια 7ετίας είναι 11% ενώ σε διάρκεια 15ετίας κλιμακώνεται στο 28%. Επίσης παρατηρούμε ότι ανάγοντας τα κέρδη σε ΚΠΑ με επιτόκιο προεξόφλησης 8% για το απαισιόδοξο σενάριο απαιτούνται περίπου 7,5 έτη για την απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης ενώ η ΚΠΑ των κερδών σε βάθος χρόνου 10ετίας είναι 2.506.740€ και στην 15ετή είναι 5.267.383€.
- Σαν γενικό συμπέρασμα από τη μελέτη βιωσιμότητας της σχεδιαζόμενης επένδυσης είναι ότι ανεξαρτήτως σεναρίου η επένδυση είναι τελικά βιώσιμη με ΕΒΑ επενδυμένου κεφαλαίου, για 15ετή χρονικό ορίζοντα, που είναι τουλάχιστον 28% και μπορεί να ανέλθει έως 78% ανάλογα με το πλήθος των επισκεπτών που θα προσελκύσει.

5.3 Απαιτήσεις Δήμου Σοφάδων

Οι απαιτήσεις του Δήμου Σοφάδων για την ολοκλήρωση του έργου είναι οι εξής:

- Προσήλωση και σεβασμός στον αρχικό σχεδιασμό που αφορά τα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά και τις επερχόμενες υπηρεσίες της μονάδας.
- Το προσωπικό στη μονάδα πρέπει να είναι κάτοικοι και δημότες Σοφάδων σε ποσοστό τουλάχιστον 50%.
- Η ποιότητα και ασφάλεια των εγκαταστάσεων καθώς και η ποιότητα των παραχωμένων υπηρεσιών είναι αδιαπραγμάτευτες και θα πρέπει να υποδεικνύεται από την πιστοποίηση τους (σύμφωνα με τα πρότυπα HACCP, ISO 9000, ISO14000, ISO 22000 κοκ)
- Οι αναγκαίες πρώτες ύλες τόσο για την κατασκευή όσο και για την λειτουργία της μονάδας θα προέρχονται από επιχειρήσεις του Δήμου Σοφάδων όταν αυτό είναι εφικτό. Ιδιαίτερα για τις πρώτες ύλες που είναι απαραίτητες σε καθημερινή βάση για την λειτουργία της μονάδας θα γίνουν μακροχρόνιες συμβάσεις (κατόπιν διαγωνισμού) με τοπικές επιχειρήσεις (πχ προμηθευτές υλικών καθαρισμού).
- Αντίτιμο παραχώρησης της έκτασης δεν απαιτείται, αλλά απαιτείται η είσπραξη του Δημοτικού τέλους Παρεπιδημούντων 2%.

- Η παραχώρηση του ακινήτου στον φορέα επένδυσης θα έχει ισχύ μόνο με την προϋπόθεση ότι εντός πενταετίας από την υπογραφή της σύμβασης θα έχει ολοκληρωθεί η επένδυση και θα ξεκινήσει η λειτουργία της μονάδας.
- Χρόνος παραχώρησης: Πρόκειται για σημαντικό σημείο στις διαπραγματεύσεις και η χρονική διάρκεια της σύμβασης παραχώρησης θα εξαρτηθεί από το τελικό ύψος της επένδυσης (σε τι βαθμό θα υλοποιηθεί το σχεδιαζόμενο έργο). Μετά την λήξη της σύμβασης παραχώρησης θα προβλέπονται δυο περιπτώσεις:
 1. προκαθορισμός όρων παράτασης για την μεταβατική και κατά κανόνα μικρή περίοδο,
 2. αποχώρηση του επενδυτή και μεταβίβαση ολόκληρης της επένδυσης στον Δήμο Σοφάδων.
- Προβλέπονται ειδικές τιμές για τις εκδηλώσεις που θα διοργανώνει ο Δήμος Σοφάδων στις υποδομές της μονάδας.
- Σημαντικό σημείο προς διαπραγμάτευση με τον ιδιώτη επενδυτή είναι αν θα έχει μερίδιο από τα κέρδη ο Δήμος Σοφάδων

5.4 Σημεία κλειδιά για την επιτυχή έκβαση της επένδυσης

- Συνολικός σχεδιασμός της μονάδας με τον ιδιαίτερο πρωτότυπο και οικολογικό τρόπο δόμησης των κτιρίων από ωμούς πλίνθους, πέτρα, ξύλο και λάσπη για σοβά προκειμένου να αναβιώσει η παραδοσιακή παραγωγική αρχιτεκτονική του θεσσαλικού κάμπου.
- Η συνολική μορφή της μονάδας που αναπαριστά την δομή ενός παραδοσιακού χωριού με την πλατεία ως επίκεντρο.
- Οι υπηρεσίες που θα παρέχονται θα είναι ποιοτικές με ανταγωνιστικές τιμές στηριζόμενες στην ευρεία χρήση τοπικά παραγομένων προϊόντων ως πρώτων και βοηθητικών υλών προκειμένου να τονίσουν την τοπική ταυτότητα της μονάδας.
- Οι γεύσεις που θα κυριαρχούν θα είναι παραδοσιακές γεύσεις της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Σοφάδων προκειμένου να σφραγίσουν τον Παραδοσιακό χαρακτήρα της μονάδας.

5.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Το διαθέσιμο οικόπεδο, εμβαδού 53.000 m², βρίσκεται επί της Ε.Ο. Καρδίτσας - Αθηνών, μεταξύ της πόλης των Σοφάδων και του Τοπικού Διαμερίσματος Μασχολουρίου, είναι επίπεδο και έχει πρόσβαση από επαρχιακό δρόμο. Η προτεινόμενη τουριστική μονάδα καταλαμβάνει μια οικοδομήσιμη επιφάνεια 4.290 τ.μ. και έχει δυναμικότητα 42 δωματίων με 84 κλίνες. Το συνολικό ποσό της προτεινόμενης επένδυσης εκτιμάται στα 5.000.000€ . Η μονάδα θα κατασκευαστεί με τη μέθοδο της Σύμπραξης Δημόσιου - Ιδιωτικού Τομέα

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)	ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΑ	1450	42 δωμάτια (δίκλινα) 84 κλίνες	
RECEPTION	110		
ΑΙΘΟΥΣΑ ΕΚΔΗΛΩΣΕΩΝ	450	220 άτομα	
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ- ΑΝΑΓΝΩΣΤΗΡΙΟ- ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ	75	60 άτομα	
BAR	97,5	60 άτομα εσωτ. 50 άτομα εξωτ	
ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟ	125	100 άτομα εσωτ. 250 άτομα εξωτ	
ΚΟΥΖΙΝΑ	111,2		Κοινή χρήση από εστιατόρια και ουζερί
ΟΥΖΕΡΙ	125	100 άτομα εσωτ. 250 άτομα εξωτ	Κοινή εξωτερικοί χώροι με εστιατόριο
ΖΑΧΑΡΟΠΛΑΣΤΕΙΟ	60	30 άτομα	
ΦΟΥΡΝΟΣ	60,5		
ΚΑΦΕΝΕΙΟ	97,8	70 άτομα εσωτ. 70 άτομα εξωτ	
ΤΟΠΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ	60		
ΚΑΒΑ	49		
ΑΙΘΟΥΣΑ ΠΑΙΧΝΙΔΙΩΝ	60	30 άτομα	
GALLERY	149,6		
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ	257,9		
ΧΕΙΡΟΤΕΧΝΗΜΑΤΑ	95		
ΜΟΥΣΕΙΟ	160,5	100 άτομα	
ΕΚΚΛΗΣΙΑ	78,75	50 άτομα	
SPA	226	~60 άτομα	
PARKING	4195	150 θέσεις	

Προϋπολογισμός

A/A	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΜΒΑΔΟΝ (m ²)	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ €	ΣΥΝΟΛΟ
	A. ΧΩΡΟΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ			
1	RECEPTION	110	750	82.500
2	ΑΙΘΟΥΣΑ ΕΚΔΗΛΩΣΕΩΝ (220 ατόμων)	450	900	405.000
3	ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ-ΑΝΑΓΝΩΣΤΗΡΙΟ-ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ	75	750	56.250
4	BAR	97,5	800	78.000
5	ΕΣΤΙΑΤΟΡΙΟ	125	750	93.750
6	ΚΟΥΖΙΝΑ	111,2	800	8.960
7	ΟΥΖΕΡΙ	125	750	93.750
8	ΖΑΧΑΡΟΠΛΑΣΤΕΙΟ	60	750	45.000
9	ΦΟΥΡΝΟΣ	60,5	900	54.450
10	ΚΑΦΕΝΕΙΟ	97,8	00	7.240
11	ΤΟΠΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ	60	750	45.000
12	ΚΑΒΑ	49	750	36.750
13	ΑΙΘΟΥΣΑ ΠΑΙΧΝΙΔΙΩΝ	60	750	45.000
14	GALLERY	149,6	750	112.200
15	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ	257,9	750	193.425
16	ΧΕΙΡΟΤΕΧΝΗΜΑΤΑ	95	750	71.250
17	ΜΟΥΣΕΙΟ	160,5	750	120.375
18	ΕΚΚΛΗΣΙΑ	78,75	1200	94.500
19	SPA	226	1000	226.000
		ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ Α		2.020.400
	B. ΚΑΤΑΛΥΜΑΤΑ			
20	2 (ΟΜΟΙΑ ΚΤΙΡΙΑ)X256.95m ²	513,9	900	462.510
21	2 (ΟΜΟΙΑ ΚΤΙΡΙΑ)X97.50m ²	195	900	175.00
22	1 (ΔΙΧΩΡΟ ΚΤΙΡΙΟ)	90	900	1.000
23	6 (ΟΜΟΙΑ ΚΤΙΡΙΑ)X65.00m ²	390	900	351.000
24	2 (ΟΜΟΙΑ ΚΤΙΡΙΑ)X130.00m ²	260	900	234.000
		ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ Β		1.304.014
	Γ. ΛΟΙΠΟΙ ΧΩΡΟΙ			
	ΗΜΙΥΠΑΙΘΡΙΟΙ ΧΩΡΟΙ	390	400	156.000
	ΦΥΤΕΥΣΗ	8962	6	53.772
	ΥΓΡΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ	1438	80	115.040
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΠΙΣΤΡΩΜΕΝΟΙ	6535	50	326.750
		ΜΕΡΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ Γ		3.975.972
	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ			1.000.000
		ΠΡΟΣ ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΗΣΗ		24.028
		ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ		5.000.000



Εικόνες 5.4, 5.5 : Πρόσοψη, πλάγια, όψη και κάτοψη Καταλύματος



Εικόνα 5.6 : Όπως θα είναι το κτίριο με τα καταλύματα μόλις τελειώσει το έργο (Μιχαλάκης Κ. Παραδοσιακός τουριστικός οικισμός Σοφάδων «Σοφάδων» Ξενοδοχειακό συγκρότημα (αναπτυξιακή Ανώνυμη Εταιρεία ΟΤΑ «ΑΝΚΑ » Α.Ε)

5.6 Γεωλογικά στοιχεία της περιοχής Σοφάδων Καρδίτσας

5.6.1 Θέση-Ιστορικό

Μελετήθηκε και αναλύθηκε το γεωλογικό και νεοτεκτονικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής. Ακολουθώς αναφέρονται συνοπτικά τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν

- Η λεκάνη της Δυτικής Θεσσαλίας είναι μια επίπεδη περιοχή που οριοθετείται μορφολογικά από ορεινούς όγκους με μεγάλα υψόμετρα και απότομο ανάγλυφο, κυρίως στα δυτικά και νότια. Η πεδιάδα καλύπτεται από μεταλπικούς σχηματισμούς με μεγάλα πάχη και στο μεγαλύτερο ποσοστό της επιφάνειάς της εμφανίζονται μόνο οι πρόσφατες αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Οι γύρω ορεινοί όγκοι δομούνται από Αλπικούς σχηματισμούς της ενότητας Πίνδου, Δυτικής Θεσσαλίας και Ανατολικής Ελλάδας, καθώς επίσης και μολασσοί σχηματισμοί.
- Στην περιοχή αναπτύσσονται σημαντικές υδροφορίες. Χαρακτηριστική είναι η ανάπτυξη καρστικών υδροφορέων σε μάρμαρα και ασβεστόλιθους κάτω από τις μεταλπικές αποθέσεις. Επίσης σημαντική είναι η ανάπτυξη υδροφόρου ορίζοντα, του οποίου η στάθμη κατά την υγρά περίοδο ταυτίζεται πολλές φορές με την επιφάνεια του εδάφους και βρίσκεται σε υδραυλική επικοινωνία με τους κύριους άξονες απορροής στην πεδιάδα. Η παρουσία του υδροφόρου ορίζοντα σε πολύ μικρό βάθος δημιουργεί έναν κατ' εξοχήν αρνητικό παράγοντα διαμόρφωσης των εδαφοδυναμικών συνθηκών και κατ' επέκταση των εκδηλούμενων καταστροφών.
- Τα γεωφυσικά δεδομένα υποδεικνύουν την ύπαρξη σημαντικών νεοτεκτονικών ρηξιγενών ζωνών κάτω από τις πρόσφατες αποθέσεις. Τα άλματα των ρηγμάτων είναι σε αρκετές περιπτώσεις της τάξης αρκετών εκατοντάδων μέτρων, γεγονός που πιστοποιείται και από τα γεωτρητικά δεδομένα λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές και τα πάχη των μεταλπικών σχηματισμών.
- Οι κύριες διευθύνσεις των ρηξιγενών ζωνών που έχουν εντοπισθεί με διάφορες μεθοδολογίες είναι ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ, ενώ στα ανατολικά επικρατούν οι διευθύνσεις Α-Δ.

- Η ρηξιγενής ζώνη της Εκκάρας και η ρηξιγενής ζώνη Αλμυρού - Φαρσάλων έχουν ενεργοποιηθεί σεισμικά κατά τους πρόσφατους ιστορικούς χρόνους και αποτελούν πιθανότατα τις σημαντικότερες ενεργές δομές που απαντώνται στην περιοχή έρευνας.
- Στην ευρύτερη περιοχή της Καρδίτσας δομείται γεωλογικά κυρίως από τους Τεταρτογενείς σχηματισμούς της Θεσσαλικής πεδιάδας καθώς και από τους Μολασσικούς σχηματισμούς της Μεσοελληνικής αύλακας. Το δυτικό περιθώριο των Μολασσικών σχηματισμών αποτελούν πετρώματα του Αλπικού κύκλου της ενότητας της Δυτικής Θεσσαλίας (Παπανικολάου και Σίδερης, 1979, Λεκκας, 1989)
- Στην περιοχή της Καρδίτσας αναπτύσσονται κάτω από τους μεταλπηκούς σχηματισμούς ρήγματα με διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ. Ταυτόχρονα η πόλη βρίσκεται στην προς τα δυτικά προέκταση της ενεργούς-σεισμικής ρηξιγενούς ζώνης Αλμυρού - Φαρσάλων.
- Η περιοχή των Σοφάδων βρίσκεται στη διασταύρωση των προεκτάσεων των δύο σημαντικών ενεργών - σεισμικών ρηξιγενών ζωνών που αναφέρθηκαν και ειδικότερα της ρηξιγενούς ζώνης της Εκκάρας και τη ρηξιγενούς ζώνης Αλμυρού - Φαρσάλων.
- Η ευρύτερη περιοχή αποτελεί ένα σύνθετο ενεργό νεοτεκτονικό βύθισμα γεγονός που επιβεβαιώνεται από την σημαντική σεισμική δραστηριότητα (ζημιές, θύματα) κατά τους ιστορικούς χρόνους.



Εικόνα 5.1: Χάρτης της περιοχής Σοφάδων

5.6.2 Γεωτεχνική έρευνα

Με βάση τα στοιχεία της λεπτομερούς γεωτεχνικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή ενδιαφέροντος από το Τμήμα Γεωτεχνικής Μηχανικής του ΚΕΔΕ, προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι εδαφικοί σχηματισμοί που ερευνήθηκαν, μέχρι του βάθους των 70 m περίπου στην Καρδίτσα και των 40 m στους Σοφάδες, ανήκουν στις αλλουβιακές αποθέσεις, που συνίστανται κυρίως από ισχνές ή παχιές αργίλους με άμμο.
- Κατά την περίοδο εκτέλεσης των ερευνών (Νοέμβριος 1997 – Ιανουάριος 1998) η στάθμη του υπογείου νερού κυμαινόταν στην Καρδίτσα από 0.70 – 7.00 m και στους Σοφάδες από 3.10 – 4.50 m βάθος.
- Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επιτόπου ερευνών, των εργαστηριακών δοκιμών, καθώς και τη συναξιολόγηση προηγούμενων γεωτεχνικών ερευνών, κατέστη δυνατή η διάκριση επτά (7) επιμέρους εδαφικών στρώσεων στην Καρδίτσα (I-VII), που παρουσιάζουν μεταξύ τους διαφορές στα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά και στην αναμενόμενη μηχανική συμπεριφορά τους, χωρίς αυτές οι διαφοροποιήσεις να είναι έντονες, αφού όλες οι στρώσεις ανήκουν στις αλλουβιακές αποθέσεις και μάλιστα χωρίς σημαντικές διαφορές στη σύστασή τους (άργιλοι ή άργιλοι με άμμο). Στους Σοφάδες έγινε αντίστοιχος διαχωρισμός των αλλουβιακών αποθέσεων, όπου διακρίθηκαν τέσσερις (4) εδαφικές στρώσεις (αργίλων, αργιλοϊλύων και άμμων).
- Οι ταχύτητες Vs των διατμητικών σεισμικών κυμάτων, όπως προέκυψαν από τις δοκιμές Cross-Hole και σεισμοκώνου, κυμαίνονται γενικά για όλες τις εδαφικές στρώσεις από 180-370 m/sec, με μια αύξηση με το βάθος, από τη στρώση I έως τη στρώση VII. Η διακύμανση των Vs, από θέση σε θέση στην πόλη της Καρδίτσας, είναι γενικά μικρή, γεγονός που επιβεβαιώνει την ομοιομορφία των εδαφικών στρώσεων κατά την οριζόντια έννοια.

- Τα αποτελέσματα των επιτόπου αυτών δοκιμών επιβεβαίωσαν επίσης τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων, ότι δηλαδή μέχρι του βάθους των 70 m στην πόλη της Καρδίτσας συναντώνται αλλουβιακές αποθέσεις, οι οποίες δεν είναι δυνατό να θεωρηθούν ως "σεισμικό υπόβαθρο", αφού οι ταχύτητες Vs ήταν πολύ μικρότερες των 700 m/sec (τιμή που χαρακτηρίζει το "σεισμικό υπόβαθρο").
- Από την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας και των καθιζήσεων στην πόλη της Καρδίτσας προκύπτει ότι στην περίπτωση επιφανειακής θεμελίωσης (μεμονωμένα πέδιλα – πεδιλοδοκοί σε βάθος -2m κάτω από την επιφανειακή στρώση Ι) η μέση επιτρεπόμενη τάση εκτιμάται σε 140 kPa (1.40 kg/cm^2), ενώ εκτιμώνται μέσες καθιζήσεις 2 cm για τετράγωνο πέδιλο και 4.3 cm για πεδιλοδοκό.
- Στην περίπτωση βαθιάς θεμελίωσης (με πασσάλους) δίνονται διαγράμματα για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας τους, σύμφωνα με τις προδιαγραφές DIN 4014 (1990).
- Επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας μπορούν οπωσδήποτε να αποτελέσουν έναν οδηγό για τον αντισεισμικό σχεδιασμό της Καρδίτσας και των Σοφάδων, καθώς και για την εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας και των καθιζήσεων του εδάφους θεμελίωσης.

5.7 Ενεργειακές απαιτήσεις οικίας

Ο υπολογισμός των ενεργειακών απαιτήσεων της οικίας γίνεται με χρήση της μεθόδου των βαθμοημέρων. Η μέθοδος αυτή είναι, ίσως, η πιο διαδεδομένη και απλή για την εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης τόσο για θέρμανση όσο και για δροσισμό των κτιρίων. Η βαθμοημέρα είναι το μέτρο της ποσότητας και του χρόνου που απαιτείται, όταν η εξωτερική θερμοκρασία (περιβάλλοντος) γίνεται μικρότερη ή μεγαλύτερη από ένα καθορισμένο όριο θερμοκρασίας, που αυτό είναι η βασική θερμοκρασία. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν και άλλες μέθοδοι για τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου, όμως οι περισσότερες από αυτές απαιτούν τη γνώση αναλυτικών θερμοκρασιακών δεδομένων. Όμως η πρόσβαση σε αναλυτικά θερμοκρασιακά δεδομένα δεν είναι εφικτή κατά κανόνα, με αποτέλεσμα η χρήση των αναλυτικών μεθόδων να αποτελεί μια αρκετά επίπονη ή και πολλές φορές αδύνατη διαδικασία.

Για το συγκεκριμένο ξενοδοχειακό συγκρότημα ο υπολογισμός των βαθμοημέρων θέρμανσης και ψύξης γίνεται με εσωτερικές θερμοκρασίες σχεδιασμού 22°C. Τα θερμοκρασιακά δεδομένα για την περιοχή της Καρδίτσας δίδονται από τον πλησιέστερο σταθμό σ' αυτήν. Τα υφιστάμενα θερμοκρασιακά δεδομένα για τη περιοχή της Καρδίτσας κατά το διάστημα των ετών 2010 – 2012 παρατίθενται στον πίνακα 5.1 και πηγή τους αποτελεί ο Μετεωρολογικός Σταθμός στην Καρδίτσα (karditsa wheather station).

Ο υπολογισμός των βαθμοημέρων θέρμανσης και ψύξης βάσει των τιμών της μέσης ελάχιστης μηνιαίας θερμοκρασίας $T_{m,min}$, της μέσης μέγιστης μηνιαίας θερμοκρασίας $T_{m,max}$, της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας $T_{m,month}$ και της θερμοκρασίας βάσης T_b γίνεται με τη χρήση διάφορων σχέσεων και χρησιμοποιείται μια τροποποιημένη τεχνική προσέγγισης (Ματζαράκης και Μπαλαφούτης, 2002).

Βάσει των παραπάνω και με απαραίτητη προϋπόθεση ότι, $T_b > T_{m,max}$ για τις βαθμοημέρες θέρμανσης (HDD), και $T_b < T_{m,min}$ για τις βαθμοημέρες ψύξης (CDD), ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις αντίστοιχα:

$$HDD = N (T_b - T_{m, month}) + \quad (5.1)$$

$$CDD = N (T_{m, month} - T_b) + \quad (5.2)$$

όπου

N = ο αριθμός ημερών του μήνα,

$T_{m, month}$ = η μέση μηνιαία θερμοκρασία,

T_b = η θερμοκρασία βάσης (ισορροπίας).

Το θετικό πρόσημο στις σχέσεις (5.1) και (5.2) υποδεικνύει ότι μόνο τα θετικά αποτελέσματα έχουν υπόσταση. Για τις σχέσεις (5.1) και (5.2) όταν δεν πληρούνται οι απαραίτητες προϋποθέσεις για να ισχύουν αυτές, δηλαδή αν $T_b < T_{m, max}$ και $T_b > T_{m, min}$, διακρίνονται οι ακόλουθες περιπτώσεις για τον υπολογισμό των βαθμοημέρων θέρμανσης και ψύξης. Για τις βαθμοημέρες θέρμανσης αν ισχύει ότι $T_b < T_{m, max}$, τότε διακρίνονται οι τρεις ακόλουθες περιπτώσεις υπολογισμού:

Αν $T_m < T_b$ τότε ισχύει:

$$HDD = N \{ (T_b - T_{m, min})/2 - (T_{m, max} - T_b)/4 \} + \quad (5.3)$$

Αν $T_m > T_b$ τότε ισχύει:

$$HDD = N \{ (T_b - T_{m, min})/2 \} + \quad (5.4)$$

Αν $T_m = T_b$ τότε ισχύει:

$$HDD = 0$$

Για τις βαθμοημέρες ψύξης αν ισχύει ότι $T_b > T_{m, \min}$ τότε διακρίνονται οι τρεις ακόλουθες περιπτώσεις υπολογισμού:

Αν $T_m > T_b$ τότε ισχύει:

$$CDD = N \{ (T_{m, \max} - T_b)/2 - (T_b - T_{m, \min})/4 \} + \quad (5.5)$$

Αν $T_m < T_b$ τότε ισχύει:

$$CDD = N \{ (T_{m, \max} - T_b)/2 \} + \quad (5.6)$$

Αν $T_m = T_b$ τότε ισχύει:

$$CDD = 0$$

Όπως προαναφέρθηκε για το εν λόγω ξενοδοχειακό συγκρότημα οι εσωτερικές θερμοκρασίες σχεδιασμού, κατά τη λειτουργία της θέρμανσης και της ψύξης είναι 22°C. Για τον υπολογισμό των βαθμοημέρων θέρμανσης και ψύξης, πρέπει να ορισθούν δύο θερμοκρασίες βάσης T_{b1} και T_{b2} αντίστοιχα.

Κατά κανόνα η θερμοκρασία βάσης T_b λαμβάνεται από 1 έως 3 °C μικρότερη από την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία του χώρου. Αυτό γίνεται επειδή στην πραγματικότητα προσδίδεται στο χώρο πρόσθετη ενέργεια από εσωτερικά θερμικά κέρδη (ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμός, κάτοικοι κλπ.) αλλά και από την απορρόφηση ενός τμήματος της ηλιακής ενέργειας από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Συνεπώς, ως θερμοκρασίες βάσης T_{b1} και T_{b2} για τις βαθμοημέρες θέρμανσης και ψύξης, ορίζονται σε 20 °C

Στην περίπτωση που $T_{b1} - T_m > 0$ τότε στο κτίριο απαιτείται θέρμανση. Στην περίπτωση που $T_m - T_{b2} > 0$ τότε στο κτίριο απαιτείται ψύξη.

Πίνακας 5.1: Θερμοκρασιακά δεδομένα κατά την περίοδο των ετών 2009-2011

Μέσες Τιμές σε °C	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
T _{m, min}	3,4	4,3	6,1	10	14,4	19,1	21,7	21,4	18,2	11,2	7,4	4,1
T _m	6,8	8,3	11,1	15,2	20,3	25,1	28,2	28,5	23,8	15	11,4	7,9
T _{m, max}	10,2	12,5	15,1	20,4	26,1	31,5	34,6	35,3	30,1	19,4	16,3	12,5

Βάσει των παραπάνω, τις σχέσεις (5.1), (5.3), (5.4) και τον Πίνακα 5.1, μετά από αλγεβρικούς υπολογισμούς προκύπτουν οι βαθμομέρες θέρμανσης για την συγκεκριμένη οικία όπως παρατίθενται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2: Βαθμομέρες θέρμανσης (°C d)

T _{b1} (°C)	Μηνιαίες τιμές							Ετήσια
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Τιμή
20	409,2	327,6	275,9	144	155	258	375,1	1944,8

Επίσης από τις σχέσεις (5.2), (5.5), (5.6) και από τον Πίνακα 5.1, μετά από αλγεβρικούς υπολογισμούς προκύπτουν οι βαθμομέρες ψύξης και αυτές παρατίθενται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Βαθμομέρες ψύξης (°C h)

T _{b2} (°C)	Μηνιαίες τιμές					Ετήσια
	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	Τιμή
18	71,3	213	316,2	325,5	174	1100

Βάσει των Πινάκων 5.2 και 5.3 μετατρέπονται οι βαθμομέρες θέρμανσης και ψύξης σε βαθμοώρες αντιστοίχως. Αυτές παρατίθενται στους ακόλουθους Πίνακες 5.4 και 5.5.

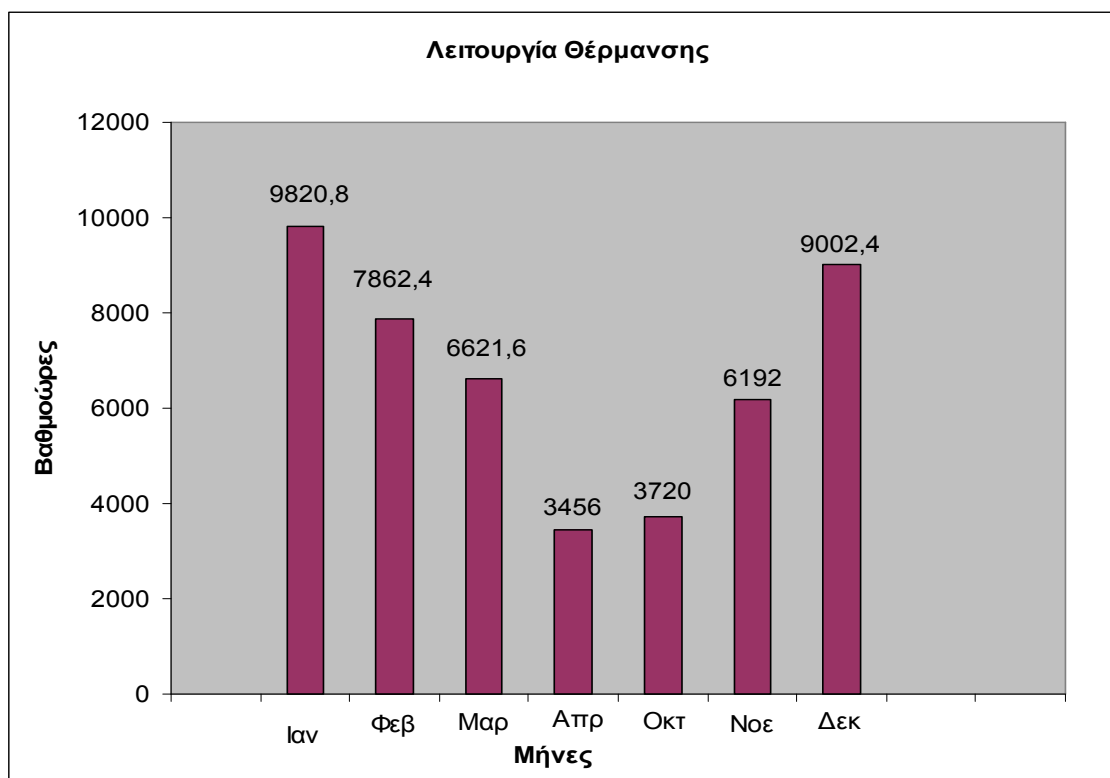
Πίνακας 5.4: Βαθμοώρες θέρμανσης ($^{\circ}\text{C d}$)

T_{b1} ($^{\circ}\text{C}$)	Μηνιαίες τιμές							Ετήσια
	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Τιμή
20	9820,8	7862,4	6621,6	3456	3720	6192	9002,4	46675,2

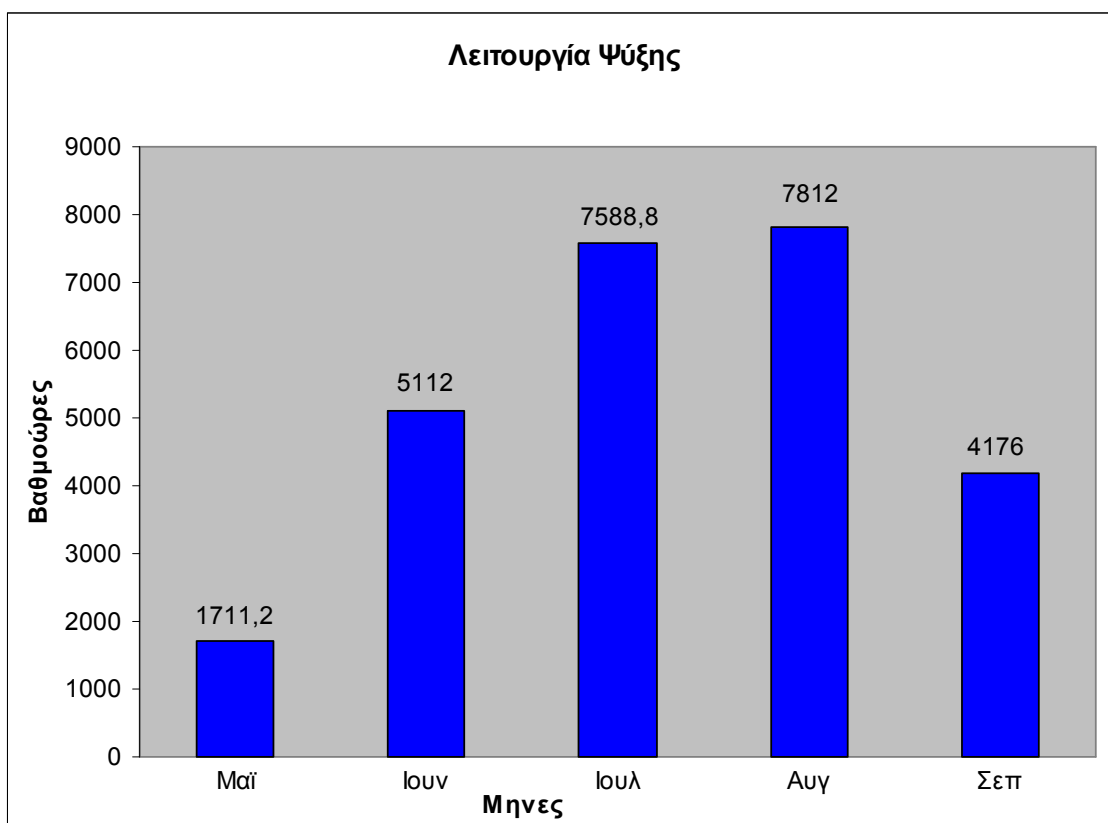
Πίνακας 5.5: Βαθμοώρες ψύξης ($^{\circ}\text{C h}$)

T_{b2} ($^{\circ}\text{C}$)	Μηνιαίες τιμές					Ετήσια
	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	Τιμή
18	1711,2	5112	7588,8	7812	4176	26400

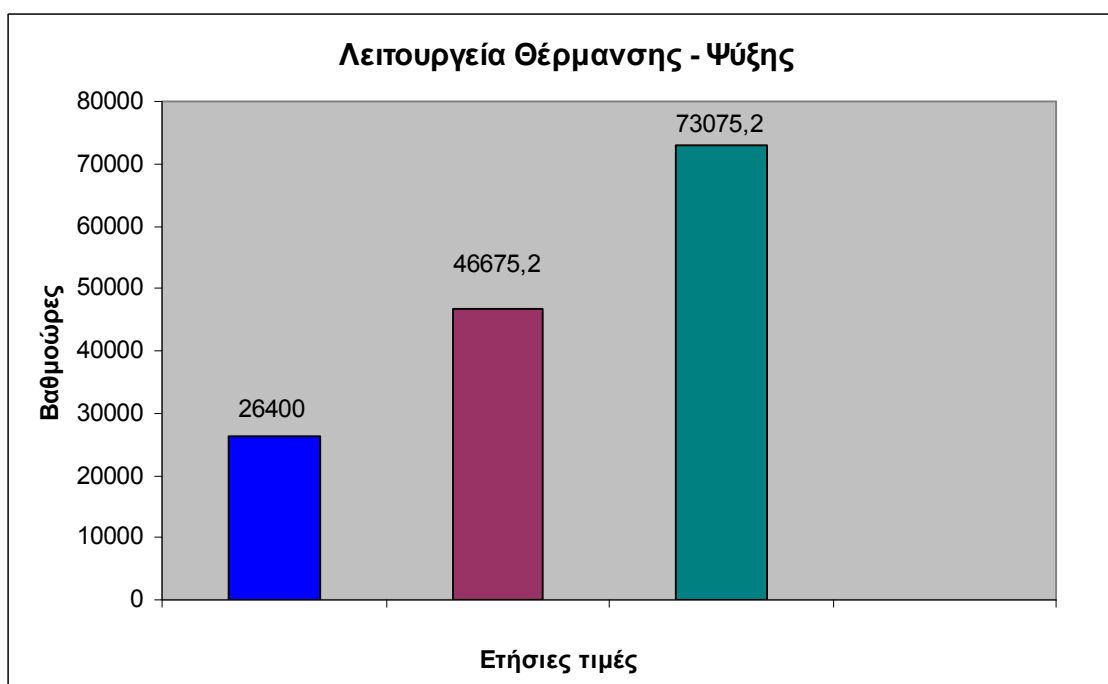
Σημειώνεται ότι για το προτεινόμενο σύστημα εφαρμογής, οι βαθμοώρες λειτουργίας για τη θέρμανση ανέρχονται σε 46675,2 $^{\circ}\text{C h}$, ενώ οι βαθμοώρες για τη λειτουργία της ψύξης ανέρχονται σε 26400 $^{\circ}\text{C h}$. Συνεπώς οι συνολικές βαθμοώρες, δηλαδή για τις λειτουργίες θέρμανσης και ψύξης, ανέρχονται σε 730751,2 $^{\circ}\text{C h}$. Αμέσως παρακάτω ακολουθούν διαγράμματα, που απεικονίζουν παραστατικότερα τις βαθμοώρες θέρμανσης και δροσισμού σε σχέση με τις μηνιαίες τιμές τους, καθώς και με τις ετήσιες τιμές αυτών.



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα μηνιαίων τιμών βαθμοωρών ($^{\circ}\text{C h}$) για κάθε μήνα που απαιτείται η λειτουργία της θέρμανσης



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα μηνιαίων τιμών βαθμοωρών ($^{\circ}\text{C h}$) για κάθε μήνα που απαιτείται η λειτουργία της ψύξης



Σχήμα 5.5: Διάγραμμα ετήσιων τιμών βαθμοωρών ($^{\circ}\text{C h}$) για τις λειτουργίες θέρμανσης και ψύξης, καθώς και τις συνολικές βαθμοώρες (θέρμανση και ψύξη)

Σημειώνεται Για τη λειτουργία της θέρμανσης οι μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις παρατηρούνται τον Ιανουάριο, ενώ οι ελάχιστες παρατηρούνται τον Απρίλιο (Σχήμα 5.3). Για τη λειτουργία της ψύξης οι μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις παρατηρούνται τον Αύγουστο , ενώ οι ελάχιστες τον Μάιο (Σχήμα 5.4).

Όπως προαναφέρθηκε, η μέγιστη ισχύς για τη θέρμανση είναι 100 kW και αυτή του δροσισμού είναι 65 kW για το συγκεκριμένο σύστημα.

Στην περίοδο της θέρμανσης της οικίας η εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού είναι 22 °C, η απόλυτη ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία 1,4 °C και οι βαθμοώρες θέρμανσης $\Theta = 46675,2$ °C h. Συνεπώς η ενεργειακή απαίτηση (Q) υπολογίζεται ως:

$$Q(kWh) = \frac{P}{T_d - T_o} \times \Theta \quad (5.7)$$

όπου

P = απαιτούμενη ισχύς θέρμανσης (kW),

Θ = βαθμοώρες θέρμανσης (°C h),

T_d = θερμοκρασία σχεδιασμού (°C),

T_o = απόλυτη ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία (°C).

Βάσει της σχέσης (5.7) και με αντικατάσταση σε αυτή προκύπτει, ότι η ενεργειακή απαίτηση για την περίοδο θέρμανσης είναι 679735kWh.

Στην περίοδο ψύξης της οικίας η εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού είναι 18°C, η απόλυτη μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία T_m = 40,1°C και οι βαθμοώρες ψύξης είναι 26400 °C h. Συνεπώς η ενεργειακή απαίτηση (Q) υπολογίζεται ως:

$$Q(kWh) = \frac{P}{T_m - T_d} \times \Theta \quad (5.8)$$

όπου

P = απαιτούμενη ισχύς δροσισμού (kW),

Θ = βαθμοώρες δροσισμού ($^{\circ}\text{Ch}$),

T_d = θερμοκρασία σχεδιασμού ($^{\circ}\text{C}$),

T_m = απόλυτη μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$).

Βάσει της σχέσης (5.8) και με αντικατάσταση σε αυτή προκύπτει ότι, η ενεργειακή απαίτηση για την περίοδο ψύξης είναι 238914 kWh. Συνεπώς η συνολική ετήσια ενεργειακή απαίτηση ανέρχεται σε 918649 kWh, εκ των οποίων οι 679735 kWh είναι για τη λειτουργία θέρμανσης και οι 238914 kWh για τη λειτουργία της ψύξης.

Η κάθε αντλία θερμότητας όπως προαναφέρθηκε έχει απορροφόμενη ηλεκτρική ισχύ η οποία υπολογίζεται με βάση την απόδοση της. Οι αντλίες που θα χρησιμοποιηθούν έχουν μέσο ετήσιο βαθμό αποδοτικότητας $\text{SPF}_{\text{th}}=4,5$ για την θέρμανση και $\text{SPF}_{\text{c}}=4$ για την ψύξη. Η κάθε αντλία θερμότητας όπως προαναφέρθηκε έχει απορροφόμενη ηλεκτρική ισχύ 22,22 kWe κατά τη λειτουργία της θέρμανσης και 16,25 kWe κατά τη λειτουργία του δροσισμού.

Συνεπώς η ηλεκτρική ενέργεια (kWh) που απαιτείται, για τη λειτουργία του εν λόγω συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας υπολογίζεται ότι ανέρχεται ετησίως:

- κατά τη λειτουργία θέρμανσης σε 151052 kWh,
- κατά τη λειτουργία της ψύξης σε 59728,5 kWh.

Πρέπει να τονισθεί ότι, στη λειτουργία θέρμανσης υπολογίζεται να γίνεται ετήσια λήψη από το μεν υπέδαφος 528683 kWh και από δε τον ηλεκτρισμό 151052 kWh, με αποτέλεσμα να αποδίδονται στην οικία 679735 kWh. Επίσης στη λειτουργία της ψύξης υπολογίζεται να γίνεται ετήσια εισαγωγή (διοχέτευση) στο υπέδαφος 238914 kWh, εκ των οποίων από την μεν οικία λαμβάνονται 179185,5 kWh από τον δε ηλεκτρισμό 59728,5 kWh.

5.8 Σχεδιασμός ανοικτού συστήματος ΓΑΘ

5.8.1 Εισαγωγή

Το παρόν Κεφάλαιο πραγματεύεται την εφαρμογή συστήματος κλιματισμού (θέρμανση και ψύξη) και ζεστού νερού χρήσης για το πλίνθινο χωριό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί από την εκμετάλλευση του γεωθερμικού συστήματος της Αβαθούς Γεωθερμίας της περιοχής, όπου θα κατασκευαστεί το χωριό. Αντικείμενο της εφαρμογής αυτής είναι ο σχεδιασμός ενός συστήματος, που αποτελείται από γεωθερμική αντλία θερμότητας σε ανοικτό κύκλωμα. Το σύστημα εναλλαγής θερμότητας θα αποτελείται από 3 πηγάδια βάθους περίπου 7 m από όπου θα αντλείται το νερό και μετά την χρήση του με φυσική ροή θα αποτίθεται σε γειτονικό ρέμα.

Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα ΓΑΘ θα αποτελείται από τα επιμέρους παρακάτω συστήματα

1. Πρωτεύον/ανοικτό σύστημα: το ρευστό από το πηγάδι θα εισέρχεται στον πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας τιτανίου και στη συνέχεια θα αποτίθεται σε γειτονικό ρέμα.
2. Δευτερεύον/κλειστό σύστημα: το ρευστό θα λαμβάνει θερμότητα από το ρευστό του πηγαιδιού μέσω του πλακοειδούς εναλλάκτη θερμότητας τιτανίου, στη συνέχεια θα εισέρχεται στην ΓΑΘ και θα επανέρχεται πάλι στον εναλλάκτη θερμότητας.

5.8.2 Τεχνικά στοιχεία έργου και γεωθερμικού συστήματος

Οι κλιματιζόμενοι χώροι της οικίας που προτείνεται η εφαρμογή, καταλαμβάνουν συνολική επιφανειακή κάλυψη 3897 m². Οι θερμικές ανάγκες της, είναι για την περίοδο του χειμώνα 300 kW (θερμικό φορτίο), ενώ για την περίοδο του θέρους 195 kW (ψυκτικό φορτίο).

Στη συνέχεια αναλύεται ο εξοπλισμός που προβλέπεται να εγκατασταθεί έως και την αντλία θερμότητας εντός του μηχανοστασίου.

- Σωληνώσεις του πρωτεύοντος/ανοικτού συστήματος
- Σωληνώσεις του δευτερεύοντος/κλειστού συστήματος
- Υποβρύχια αντλία εντός του πηγαδιού
- Πλακοειδείς Εναλλάκτης Θερμότητας Τιτανίου
- Αντλίες κυκλοφορίας στο δευτερεύον/κλειστό κύκλωμα
- Δοχεία Διαστολής στο δευτερεύον/κλειστό κύκλωμα
- Φίλτρο στην είσοδο του Πλακοειδή Εναλλάκτη Θερμότητας
- Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

Οι διάμετροι των σωληνώσεων (σωλήνες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας) για καθένα για τα ανοικτά κυκλώματα επιλέχθηκαν με βάση την ισχύ των ΓΑΘ, τις κατάλληλες συνθήκες ροής και την παροχή από το πηγάδι.

Υποβρύχια αντλία

Η υποβρύχια αντλία εντός του πηγαδιού επιλέγεται με βάση την παροχή, τις απώλειες του ανοικτού/πρωτεύοντος συστήματος λαμβάνοντας υπόψη και την απαιτούμενη παροχή για τη λειτουργία του δευτερεύοντος/κλειστού συστήματος. Σύμφωνα με τα παραπάνω επιλέγεται υποβρύχια αντλία η οποία πρέπει να έχει ελάχιστη παροχή 17,5 m³/h έτσι ώστε να καλύπτει τις συνολικές απώλειες πίεσης. Επίσης προτείνεται η χρήση μανδύα ψύξης του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας και επιλογή κατάλληλων εξαρτημάτων της ώστε να είναι ανθεκτικά σε αλμυρό ή υφάλμυρο νερό καθώς και σε υψηλή περιεκτικότητα σε άμμο για να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος.

Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας 100 kW (ΓΑΘ)

Σύμφωνα με απαιτούμενες ανάγκες των κτιρίων σε θέρμανση ψύξη και Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) προτείνονται 3 ΓΑΘ με ισχύ σε θέρμανση $100 \text{ kW}_{\text{th}}$ και σε ψύξη 65 kW_e η κάθε μια. Το σύστημα θέρμανσης-ψύξης εντός των κτιρίων προτείνεται να είναι Ενδοδαπέδιο σύστημα, ενδοτοιχίο σύστημα και Fan-Coils τα οποία θα λειτουργούν για την θέρμανση σε θερμοκρασίες προσαγωγής 45°C και επιστροφής 40°C και σε ψύξη προσαγωγή 7°C και επιστροφή 12°C . Οι αντλίες που θα χρησιμοποιηθούν έχουν μέσο ετήσιο βαθμό αποδοτικότητας $\text{SPF}_{\text{th}}=4,5$ για την θέρμανση και $\text{SPF}_e=4$ για την ψύξη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά επιλέγονται 3 υποβρύχιες αντλίες η οποίες πρέπει να έχουν ελάχιστη παροχή $17,5 \text{ m}^3/\text{h}$ η καθεμία. Επίσης προτείνεται η χρήση μανδύα ψύξης του ηλεκτροκινητήρα της αντλίας και επιλογή κατάλληλων εξαρτημάτων της ώστε να είναι ανθεκτικά σε αλμυρό ή υφάλμυρο νερό καθώς και σε υψηλή περιεκτικότητα σε άμμο για να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος.

Αντλία κυκλοφορίας

Αντλία κυκλοφορίας θα πρέπει να τοποθετηθεί στο δίκτυο σωληνώσεων του δευτερεύοντος κλειστού κυκλώματος. Προτείνεται αντλία κυκλοφορίας ονομαστικής παροχής $17,5 \text{ m}^3/\text{h}$

Φίλτρο

Για την αποφυγή εισαγωγής ανεπιθύμητων σωματιδίων στον ανοικτό σύστημα στην είσοδο του πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας προβλέπεται η τοποθέτηση φίλτρου.

Πλακοειδής Εναλλάκτης Θερμότητας

Οι πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας χρησιμοποιούνται για την εναλλαγή θερμότητας μεταξύ του ρευστού του πρωτεύοντος/ανοικτού κυκλώματος που προέρχεται από το πηγάδι και του ρευστού εντός του δευτερεύοντος/κλειστού κυκλώματος που μεταδίδει τη θερμότητα στην ΓΑΘ.

Επιλέγεται πλακοειδής εναλλάκτης αντιρροής, ο οποίος μπορεί να αποσυναρμολογηθεί (μη συγκολλητός) για την εύκολη απομάκρυνση των επικαθίσεων στις επιφάνειες του.

Η επιλογή εναλλάκτη προκύπτει με βάση τις παροχές του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κυκλώματος όπως επίσης και τις θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου σε αυτόν.

Προτείνεται πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας τιτανίου λόγω ύπαρξης αλμυρού ή υφάλμυρου νερού.

Δοχείο διαστολής

Το υποσύστημα της αντλίας θερμότητας χρησιμοποιεί ως ασφαλιστικό σύστημα το δοχείο διαστολής. Αυτό είναι ένα κλειστό δοχείο χαλύβδινου κελύφους και περιέχει μια ελαστική μεμβράνη διαχωρισμού του νερού και του υπό πίεση αερίου (άζωτο). Το δοχείο αυτό ενδείκνυται για κλειστές εγκαταστάσεις θέρμανσης και ψύξης χώρων.

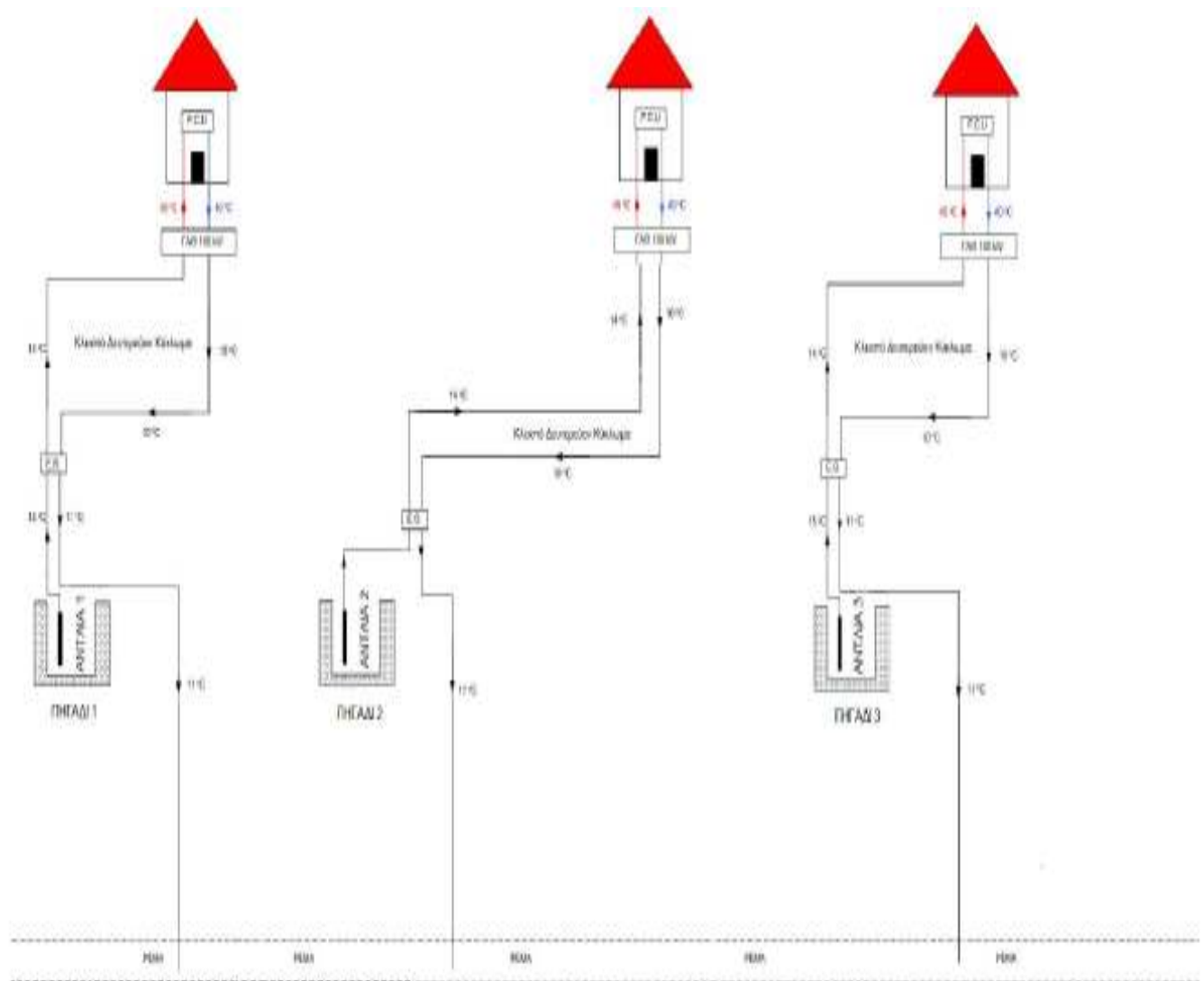
Θερμαντήρας

Η συσκευή αυτή είναι απαραίτητη για την παροχή ζεστού νερού χρήσης σε θερμοκρασία περίπου 45 °C.

Συσκευή απαέρωσης και διαχωρισμού στερεών

Ο σκοπός της συσκευής αυτής είναι η διατήρηση των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη καθαρών, από πιθανά στερεά σωματίδια που υπάρχουν στο νερό. Ειδικά για το ειδικό τμήμα U που βρίσκεται στο μέγιστο βάθος, η χρήση της συσκευής αυτής κρίνεται απαραίτητη. Επίσης η συσκευή αυτή απαλλάσσει το υποσύστημα της αντλίας θερμότητας, από τα αέρια που κυκλοφορούν διαλυμένα στο νερό του κυκλώματος (βλέπε Παράρτημα Β.4). Η συσκευή αυτή είναι κατασκευασμένη από χάλυβα.

Σχήμα 5.6: Διάγραμμα ροής στο προτεινόμενο σύστημα ΓΑΘ για την λειτουργία της Θέρμανσης και της ψύξης του Πλίνθινου χωριού



5.9 Ενεργειακό όφελος του συστήματος

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συγκεκριμένου γεωθερμικού συστήματος η μόνη μορφή ενέργειας που καταναλώνεται, είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Αυτή αντικαθιστά κάθε άλλη μορφή συμβατικού καυσίμου (πετρέλαιο θέρμανσης, φυσικό αέριο κλπ.). Για τον υπολογισμό του ενεργειακού οφέλους για το συγκεκριμένο σύστημα, πραγματοποιείται ανάλυση κόστους λειτουργίας και συντήρησης μεταξύ της συγκεκριμένου γεωθερμικού συστήματος και αντίστοιχου συμβατικού. Η σύγκριση αυτή αναφέρεται σε συμβατικό σύστημα, που δύναται να έχει ίδιο μέγεθος ενεργειακών απαιτήσεων, με αυτό του συγκεκριμένου γεωθερμικού συστήματος.

Σ' αυτό το σημείο σημειώνεται ότι τα συμβατικά συστήματα που επιλέγονται, για τη σύγκριση με το γεωθερμικό σύστημα όσον αφορά τη θέρμανση, είναι:

- με τη χρήση πετρελαίου,
- με τη χρήση φυσικού αερίου.

Επίσης τα συμβατικά συστήματα που επιλέγονται για τη σύγκριση με το γεωθερμικό σύστημα όσον αφορά την ψύξη, είναι:

- τα κλιματιστικά (air condition) που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια.

Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 5.7, οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις για το συγκεκριμένο γεωθερμικό σύστημα είναι για την περίοδο της θέρμανσης 679735 kWh και για την περίοδο της ψύξης 238914 kWh.

Το μέσο κόστος του πετρελαίου θέρμανσης ανέρχεται σε 1,0 €/lt (μέση τιμή πώλησης, 2011), όμως η μέση θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου θέρμανσης είναι 10 kWh /lt, συνεπώς το μέσο κόστος πετρελαίου υπολογίζεται σε 0,1 €/kWh.

Το φυσικό αέριο για θέρμανση έχει μέση τιμή περίπου στα 0,75 €/ m³ .Ο συντελεστής μετατροπής μετατρέπει τα κυβικά μέτρα (m³) φυσικού αερίου σε kWh και εκφράζει το ενεργειακό περιεχόμενο τους. Ο συντελεστής μετατροπής μεταβάλλεται κάθε μήνα σύμφωνα με μετρήσεις που γίνονται στους σταθμούς παραλαβής του φυσικού αερίου. Επομένως αν είναι στο 11,5 κατά μέσο όρο υπολογίζεται σε 0,065 €/ kWh.

Το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος για οικιακή χρήση σύμφωνα με την τιμολόγηση της ΔΕΗ (Ιούλιος, 2011) ανέρχεται σε 0,1250 €/kWh (βλέπε Πινάκα 5.6).

Πίνακας 5.6: Υπολογισμός κόστους ηλεκτρικού ρεύματος και τιμολογήσεις ΔΕΗ

Τιμολογήσεις ΔΕΗ	Χρεώσεις (€/kWh)	Ποσοστά βάσει 24ώρου	Χρεώσεις επί ποσοστών (€/kWh)	Κόστος ηλεκ. ρεύματος (€/kWh)
Γ21	0,16	0,67	0,1072	0,1250
Γ1N	0,054	0,33	0,01782	

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ενός συμβατικού συστήματος, για την παροχή θέρμανσης με χρήση φυσικού αερίου ή πετρελαίου, ψύξης με χρήση κλιματιστικών (air condition) και ζεστού νερού οικιακής χρήσης με χρήση θερμοσίφωνου, υπολογίζεται στον πίνακα 5.7 που ακολουθεί.

5.10 Ετήσια Εξοικονόμηση Πρωτογενούς Ενέργειας και Χρημάτων

Το παραπάνω ανοικτό σύστημα ΓΑΘ των 300 kW συγκρίθηκε με συμβατικό σύστημα θέρμανσης με χρήση πετρελαίου και με συμβατική αντλία θερμότητας αέρα νερού για τις ανάγκες της ψύξης. Ο υπολογισμός της εξοικονόμησης έγινε με τιμή πετρελαίου 1,00 € ανά λίτρο και τιμή ηλεκτρικής kWh 0,12 €. Έτσι από τους υπολογισμούς εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας και χρημάτων προκύπτει ο Πίνακας 5.7

Πίνακας 5.7: Κόστος λειτουργίας και συντήρησης συμβατικών συστημάτων για ετήσιες ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης 679735 (kWh), ψύξης 238914 (kWh) και παροχής ζεστού νερού χρήσης 40000 (kWh)

Λειτουργίες	Συμβατικά μέσα	Ετήσιες Ενεργειακές ανάγκες (kWh)	Κόστος λειτουργίας (€)	Κόστος συντήρησης (€)	Κόστος συνολικό (€)
Θέρμανση	με πετρέλαιο (λέβητας 91% απόδοση)	679735	74654	500	75154
	Με φυσ. αέριο (λέβητας 94% απόδοση)	679735	47002	450	47452
Ψύξη	Με κλιματ. (air condition) συντελεστή απόδοσης 2,1	238914	14221	300	14521
Ζεστό νερό χρήσης	Με θερμοσίφ. Συνολ. ηλεκτρ. ισχύος 100 kW	40000	5000	-	5000

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 5.7, το συνολικό ετήσιο κόστος για το συμβατικό σύστημα που παρέχει θέρμανση με χρήση φυσικού αερίου, ψύξη με κλιματιστικά και ζεστό νερό χρήσης με θερμοσίφωνα ανέρχεται σε 66973 € (συμβατικό σύστημα Ι). Επίσης το συνολικό ετήσιο κόστος (Πίνακα 5.6), για το συμβατικό σύστημα που παρέχει θέρμανση με χρήση πετρελαίου θέρμανσης, ψύξη με κλιματιστικά (air condition) και ζεστό νερό χρήσης με θερμοσίφωνα ανέρχεται σε 94675 € (συμβατικό σύστημα ΙΙ).

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, για το γεωθερμικό σύστημα με χρήση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και κατακόρυφο γεωεναλλάκτη θερμότητας, που παρέχει θέρμανση ψύξη και ζεστό νερό οικιακής χρήσης, υπολογίζεται σε 28159 € (Πίνακας 5.8)

Πίνακας 5.8: Κόστος λειτουργίας και συντήρησης γεωθερμικού συστήματος, για ετήσιες ανάγκες θέρμανσης 46675,2 (kWh), ψύξης 26400 (kWh) και παροχής ζεστού νερού χρήσης 30000 (kWh)

Λειτουργίες	Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες(kWh)	Συντ. SPF	Ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις (kWh _e)	Κόστος Λειτουργ. (€)	Κόστος συντ. (€)	Κόστος συνολικό (€)
Θέρμανση	679735	4,5	151052	18882	700	28159
Ψύξη	238914	4,0	59728,5	7466		
Ζεστό νερό χρήσης, όλο το έτος	40000	4,5	8888	1111		

Πίνακας 5.9: Σύγκριση συνολικού ετήσιου κόστους για κάθε συμβατικό σύστημα, σε σχέση με αυτό του γεωθερμικού συστήματος

Διαφορά συνολ. ετήσιου κόστους (€)	Συνολικό ετήσιο κόστος (€)		
	Συμβατικό σύστημα I	Γεωθερμικό σύστημα	Συμβατικό σύστημα II
	66973	28159	94675
38814	√ (*)	√	-
66516	-	√	√

* το σύμβολο (√) υποδηλώνει ποια συστήματα παίρνουν μέρος στη σύγκριση

Βάσει όσων προαναφέρθηκαν στην παρούσα ενότητα και του Πίνακα 5.8, το συνολικό ετήσιο κόστος για κάθε ένα από τα προς σύγκριση συστήματα, καθώς και η διαφορά αυτού αντιστοίχως, επισυνάπτεται στον Πίνακα 5.9.

Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 5.9, από τη σύγκριση του συμβατικού συστήματος Ι με το γεωθερμικό σύστημα σε ισομεγέθεις συνθήκες σύγκρισης, το συνολικό ετήσιο όφελος για το γεωθερμικό σύστημα ανέρχεται σε 38814 €, δηλαδή ετήσια εξοικονόμηση της τάξεως 57,96%. Αντιστοίχως, η σύγκριση με το συμβατικό σύστημα ΙΙ επιφέρει για το γεωθερμικό σύστημα, ετήσιο όφελος 66516 €, δηλαδή ετήσια εξοικονόμηση της τάξεως 70,26 %.

5.11 Προϋπολογισμός και απόσβεση γεωθερμικού συστήματος

Η οικονομική ανάλυση του γεωθερμικού συστήματος, για την συγκεκριμένη εφαρμογή, ακολουθεί τα εξής στάδια:

- την καταγραφή των απαιτούμενων συσκευών, υλικών και εργασιών,
- την εκτίμηση του κόστους αγοράς των υλικών, συσκευών και του κόστους εργασίας,
- την εξαγωγή του συνολικού κόστους εγκατάστασης.

Πίνακας 5.10: Το συνολικό κόστος εγκατάστασης βάσει στοιχείων του Κ.Α.Π.Ε.

Συσκευές, υλικά και εργασίες	Κόστος εργασιών (€)	Κόστος υλικών, συσκευών (€)
Μελέτη-επίβλεψη (μηχανικού κ γεωλόγου)	10000	-
Εγκατάσταση (εργασίες ηλεκτρολόγου και υδραυλικού κ.λπ.)	10000	-
3 Πλακοειδής εναλλάκτες πλήρως εξοπλ.	-	25000
3 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας 100 kWth	-	60000
Ενδοδαπέδιο σύστημα, ενδοτοιχιο σύστημα	-	25000
Σωληνώσεις και αερόθερμα (fan coils)	-	50000
Συσκευές (δοχείο διαστολής, θερμοαντήρας, κυκλοφορητής κ.λπ.)		40000
Συνολικό κόστος εγκατάστασης (€)	220000	

Βάσει των ανωτέρω και όπως παρατηρείται στον Πίνακα 5.10, το συνολικό κόστος της εγκατάστασης για το πλίνθινο χωριό εκτιμάται ότι είναι 220000 €. Το συνολικό κόστος εγκατάστασης για το συμβατικό σύστημα I υπολογίζεται σε 140000 €, ενώ για το συμβατικό σύστημα II ανέρχεται σε 150.000,0 €. Το συνολικό ετήσιο όφελος, για τη λειτουργία και τη συντήρηση του γεωθερμικού συστήματος, υπολογίζεται κατά 38814 € φθηνότερο από του συμβατικού συστήματος I και κατά 66516 € από το συμβατικό σύστημα II (Πίνακας 5.9).

Η απόσβεση του γεωθερμικού συστήματος σε σχέση με το συμβατικά συστήματα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\text{Απόσβεση (σε έτη)} = \frac{K_{\gamma} - K_{\sigma}}{\frac{\gamma}{\sigma} \Phi} \quad (4.9)$$

όπου

K_{γ} = Συνολικό κόστος εγκατάστασης γεωθερμικού συστήματος (€),

K_{σ} = Συνολικό κόστος εγκατάστασης συμβατικού συστήματος (€),

$\frac{\gamma}{\sigma} \Phi$ = Συνολικό ετήσιο όφελος γεωθερμικού συστήματος, σε σχέση με το συμβατικό σύστημα (€/έτος), $K_{\gamma} \geq K_{\sigma}$ και $\frac{\gamma}{\sigma} \Phi > 0$

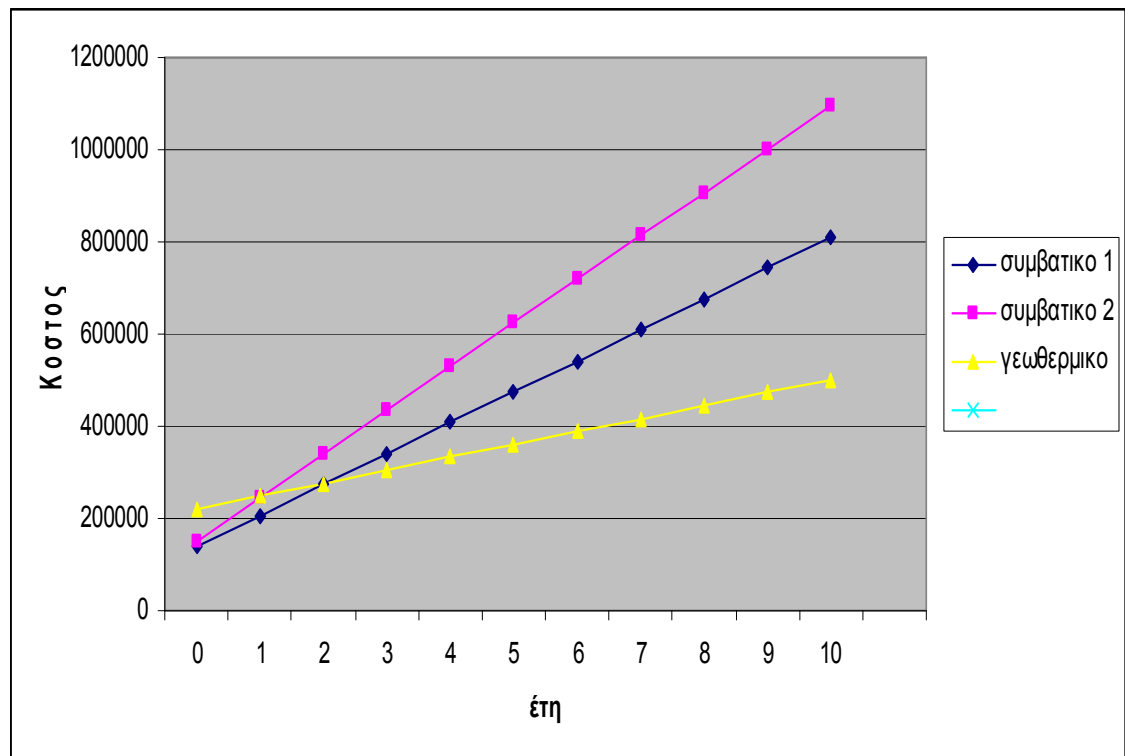
Βάσει της σχέσεως (4.9) και με αντικατάσταση των ανωτέρω δεδομένων προκύπτει ότι, η απόσβεση του γεωθερμικού συστήματος επέρχεται:

- σε 2 έτη σε σχέση με το συμβατικό σύστημα I,
- σε 1 έτος σε σχέση με το συμβατικό σύστημα II.

Σημειώνεται ότι μετά από τα έτη που επέρχεται η απόσβεση, το γεωθερμικό σύστημα αποφέρει καθαρό κέρδος 38814 € ανά έτος σε σχέση με το συμβατικό σύστημα I και 66516 € ανά έτος σε σχέση με το σύστημα II.

Συγκρίνοντας την περίπτωση εφαρμογής γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε νέα εγκατάσταση με αυτή ενός συμβατικού συστήματος που κάνει χρήση πετρελαίου και συμβατικού συστήματος με φυσικό αέριο προκύπτει το διάγραμμα του σχήματος 5.6

Σχήμα 5.6: Διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ γεωθερμικού, συμβατικού I και συμβατικού II συστήματος



Οι τιμές βάσει των οποίων δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα προέκυψαν από τη μελέτη στο συγκεκριμένο ξενοδοχειακό συγκρότημα και την ανάλυση κόστους που παρουσιάζεται στον πίνακα 5.11

Πινάκας 5.11: Ανάλυση κόστους για τα επόμενα 10 χρόνια για το κάθε σύστημα ξεχωριστά.

Χρόνος (έτη)	Κόστος συμβατικού I (€)	Κόστος συμβατικού II (€)	Κόστος Γεωθερμικού (€)
0	140000	150000	220000
1	206973	244675	248159
2	273946	339350	276318
3	340914	434025	304477
4	407892	528700	332636
5	474865	623375	360795
6	541838	718050	388954
7	608811	812725	417113
8	675894	907400	445272
9	742757	1002075	473431
10	809730	1096750	501590

6. Επίλογος

6.1 Σύνοψη

Μέσω της ενεργειακής μελέτης και οικονομικής σύγκρισης που παρατίθεται στο Κεφάλαιο 5 η πιο οικονομικά συμφέρουσα λύση για την θέρμανση και ψύξη του πλίθινου χωριού είναι με το σύστημα των γεωθερμικών αντλιών.

Το ολικό κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα 220000 €, ενώ το ετήσιο κόστος λειτουργίας στις 28159 €, εξοικονομώντας 38814 € σε σχέση με το συμβατικό I και 66793 € σε σχέση με το συμβατικό II. Αναμένεται να επιτευχθεί απόσβεση εντός 2 ετών σε σύγκριση με το συμβατικό σύστημα I και 1 έτους σε σχέση με το συμβατικό σύστημα II. Με το περάς αυτών των ετών το κόστος λειτουργίας και των δυο συμβατικών συστημάτων είναι ασύμφορο συγκριτικά με τη λειτουργία των ΓΑΘ. Στην περίπτωση που το έργο επιδοτηθεί τότε ο χρόνος απόσβεσης θα είναι ακόμα μικρότερος.

6.2 Καταγραφή συμπερασμάτων

Η ανάλυση του προτεινόμενου γεωθερμικού συστήματος στο πλίθινο χωριό 3897 m² στην κοινότητα Σοφάδων Καρδίτσας για την παροχή θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης καταλήγει σε ορισμένα κύρια συμπεράσματα, που ταξινομούνται ως ακολούθως:

- Το συνολικό ετήσιο όφελος είναι 38814 € σε σύγκριση με το συμβατικό σύστημα I, δηλαδή εξοικονόμηση της τάξεως του 57,96 %.
- Το συνολικό ετήσιο όφελος είναι 66516 € σε σύγκριση με το συμβατικό σύστημα II, δηλαδή εξοικονόμηση της τάξεως του 70,56 %.

- Η απόσβεση του συστήματος επέρχεται σε 2 έτη από την εγκατάστασή του σε σχέση με το συμβατικό σύστημα Ι.
- Η απόσβεση του συστήματος επέρχεται σε 1 έτος από την εγκατάστασή του σε σχέση με το συμβατικό σύστημα ΙΙ.
- Η προτεινόμενη εφαρμογή δεν χρειάζεται την εγκατάσταση λέβητα, δεξαμενής αποθήκευσης καυσίμου, γιατί δεν χρησιμοποιεί κανένα είδος καύσιμης ύλης (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.λπ.).
- Δεν παράγονται ρύποι (CO κ.λπ.).
- Δεν χρειάζεται κατασκευή καπνοδόχου, γιατί δεν γίνεται πουθενά καύση.
- Δεν δημιουργούνται σπινθήρες σε κάποιο τμήμα της προτεινόμενης εφαρμογής και ούτε θερμές επιφάνειες.
- Δεν γίνεται εγκατάσταση στην οικία εξωτερικών μονάδων, όπως στα συμβατικά συστήματα ψύξης.
- Δεν υπάρχουν διαρροές και δυσοσμίες από καύσιμα.
- Δεν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης.
- Δεν υπάρχει επιτακτική ανάγκη για εγκατάσταση πυροπροστασίας.
- Δεν παράγεται θόρυβος ενοχλητικός για τους κατοίκους της οικίας.
- Δεν αλλοιώνεται η εικόνα της αισθητικής εντός και εκτός της οικίας.
- Δεν χρειάζεται πύργος ψύξης ή ψυγείο.
- Το νερό κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα.
- Το ψυκτικό ρευστό που χρησιμοποιεί η γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι οικολογικό μέσο.

6.3 Διατύπωση προτάσεων

Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα στοιχεία τιμολόγησης της ΔΕΗ το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος ανέρχεται σε 0,1250 €/kWh . Σημειώνεται ότι υπάρχει δυνατότητα πιο χαμηλής χρέωσης (€/kWh) σύμφωνα με την τιμολόγηση της ΔΕΗ για τη χρήση του τιμολογίου Γ1, όμως η χρέωση είναι κλιμακούμενη ανάλογα με την κατανάλωση και αυτό καθιστά δύσκολη την οικονομική ανάλυση, μιας και απαιτούνται αρκετές παραδοχές για την εξαγωγή των οικονομικών αποτελεσμάτων.

Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση της Αβαθούς Γεωθερμίας στην Ελλάδα έχει μεγάλες προοπτικές ανάπτυξης, όμως υπάρχει έλλειψη κινήτρων. Επιγραμματικά αναφέρονται κάποια κίνητρα που μπορούν να επιτρέψουν τη διείσδυση της νέας αυτής τεχνολογίας στην Ελλάδα και αυτά είναι:

- η κρατική δανειοδότηση για την εγκατάσταση του συστήματος με ευνοϊκούς όρους
- η επιδότηση για την εγκατάσταση κάθε γεωθερμικού οικιακού συστήματος σε νεόδμητο κτίριο
- η πληροφόρηση των ανθρώπων για την ύπαρξη αυτής της νέας τεχνολογίας
- η παροχή ευνοϊκής τιμολόγησης από τη ΔΕΗ, η οποία έχει ποικίλους και ουσιαστικούς λόγους να το πράξει,
- η δημιουργία και λειτουργία επιδεικτικών εγκαταστάσεων.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. **Αγιουτάντης, Ζ. Γ. και Σ. Π.** Μερτίκας (2003). Ένας πρακτικός οδηγός για τη συγγραφή τεχνικών κειμένων, Εκδοτικός Όμιλος Ίων, Αθήνα.
2. **Αρβανίτης Α., Καβουρίδης Θ. και Χαντζηγιάννης Γ.** «Νέες προοπτικές για την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα» 13ο συνέδριο ενέργειας «ενέργεια και ανάπτυξη 2008»
3. **Απ. Αρβανίτης** (2008). «Μύθοι και πραγματικότητα για την Γεωθερμία» Υπουργείο Ανάπτυξης Γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών, 2008
4. **Ανδρίτσος Ν., Αρβανίτης Α., Κολιός Ν. και Κουτσινός Σ.** «Εφαρμογή γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σύστημα μιας γεώτρησης και η συμβολή τους στην εξοικονόμηση ενέργειας» 8ο εθνικό συνέδριο για της ήπιες μορφές ενέργειας Θεσσαλονίκη 2006 Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, σελ. 525-530
5. **Ανδριώτης Νικόλαος. Π (1992)** «ετυμολογικό λεξικό της Κοινής Νεοελληνικής»
6. **Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων πολιτών** «Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας Εφαρμογές στον οικιακό τομέα.» Οκτώβριος 2010 www.cea.org.cy
7. Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Αρ Φύλλου 207 της 29 Αυγούστου του 2003
8. **Θανοπούλου. Ξ. Παναγιώτα** «Θέρμανση – Ψύξη ξενοδοχειακού συγκροτήματος με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Τεχνικό – οικονομική μελέτη και σύγκριση αποδοτικότητας σε σχέση με συμβατικά καύσιμα » Διπλωματική εργασία Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2008

9. **Λέκκας Ε., Παπανικολάου Δ., και Λόζιος Στ.** «Αντισεισμικός Σχεδιασμός και Οργάνωση Καρδίτσας - Σοφάδων» Εθνικό και καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Αθήνα
10. **Μιχαλάκης Κ.** Παραδοσιακός τουριστικός οικισμός Σοφάδων «Σοφάδων» Ξενοδοχειακό συγκρότημα (αναπτυξιακή Ανώνυμη Εταιρεία ΟΤΑ «ΑΝΚΑ » Α.Ε
11. **Παπαγεωργάκης Ι.** «Θέρμανση-Ψύξη κτιρίων με αβαθή γεωθερμική ενέργεια στην Ελλάδα» (4^ο Εθνικό Συνέδριο για τις «Ήπιες μορφές ενέργειας» (Πρακτικά Τόμος Β΄) σελ. 250-263). Ξάνθη 1992
12. **Πολύζου Ο.** « Γεωθερμία βιώσιμη ανάπτυξη και τοπικές κοινωνίες » Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2007
13. **Σουλτάνα Μ., Ασπασία Σ.** «Θέρμανση Θερμοσκοπίου με χρήση γεωθερμίας » Διπλωματική εργασία Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Νοέμβριος 2009
14. **Τριάντου Λαμπρινή** «ίδρυση–κατασκευή Πλίνθινης Αγοράς ως Πύλη Επιχειρηματικότητας στο τ.δ. Προδρόμου, Δ. Κάμπου» ΑΝ.ΚΑ. Α.Ε. Τμήμα Επιχειρηματικότητας & Καινοτομίας & Νέων Τεχνολογιών
15. **Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν., Δρακούλης Ρ.,** « Γεωθερμία και Τυποποίηση » Αθήνα, 27-28/11/2008, Διήμερο Συμπόσιο για την Τυποποίηση, ΤΕΕ.
16. **Μιχάλης Φυτίκας και Μαρία Παπαχρήστου** «Τί είναι Γεωθερμική Ενέργεια;» Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης/Τμήμα Γεωλογίας
17. **Χαλδέζος Ι.** «Σχεδιασμός γεωθερμικής εφαρμογής οικιακού συστήματος θέρμανσης - ψύξης και παροχής ζεστού νερού με γήινους εναλλάκτες θερμότητας σε οικία 200 τ.μ. στην Κηφισιά Αττικής» διπλωματική εργασία, Χανιά Νοέμβριος, 2009

Διεθνής Βιβλιογραφία

18. **Bakos G., Fidanidis D., Tsagas N.** «Greenhouse heating using geothermal energy». *Geothermics* Vol. 28, Issue 6, p. 759-765 (December 1999)
19. **Bertani R.** «World geothermal power generation in the period 2001–2005». *Geothermics* Vol. 34, Issue 6, p. 651-690 (December 2005)
20. **Bertani R, Enel.** «World Geothermal Generation in 2007». International Division – Renewable Energy Business Development
21. **Eliasson E. T.** «Power Generation from High-Enthalpy Geothermal Resources». *Geo-Heat Center Bulletin* Vol. 22, No. 2, p. 26-34 (June 2001)
22. **Karytsas C., Mendrinou D. and Goldbrunner J.** «Low enthalpy geothermal energy utilization schemes for greenhouse and district heating at Traianoupolis Evros, Greece». *Geothermics* Vol. 32, Issue 1, p. 69-78 (February 2003)
23. **Lindal, B.** Industrial and other applications of geothermal energy. In *Geothermal Energy*, UNESCO, Paris, 135-148 (1973).
24. **Lund John W.** «Direct Heat Utilization of Geothermal Resources». *Geo-Heat Center Bulletin* Vol. 17, No. 3. (August 1996)
25. **Lund J., Sanner B., Rybach L., Curtis R., Hellström G.** «Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps - A World Overview». *Geo-Heat Center Bulletin* Vol. 25, No. 3, p. 1-10 (September 2004)
26. **Lund J., Sanner B., Rybach L., Curtis R., Hellström G.** «Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps - A World Overview». *Geo-Heat Center Bulletin* Vol. 25, No. 3, p. 1-10 (September 2004)

27. **Rafferty Kevin** «Design Issues in the Commercial Application of GSHP Systems in the U.S.» Geo-Heat Center Bulletin Vol. 21, No. 1, p. 6-10 (March 2000)

28. **Sanner B.** «Shallow geothermal energy». Geo-Heat Center Bulletin Vol. 22, No. 2, p. 19-25 (June 2001)

29. **Sanner B., Kohlsch O.** «Examples of Ground Source Heat Pumps (GSHP) from Germany» *Proc. IGD 2001 Bad Urach* Supplement, ISS Skopje / GtV Geeste, available at <http://www.uni-giessen.de/~gg1068/html/literature.html>

Ηλεκτρονικές Σελίδες

30. <http://www.aerioattikis.gr>

31. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, www.cres.gr

32. <http://www.eere.energy.gov/>

33. Ergo, www.ergon.com.gr/

34. <http://www.esegepe.gr>

35. <http://www.geothermal-energy.org/>

36. (www.geothermie.de/egec_geothernet/menu/frameset.htm)

37. (<http://www.meteokar.gr/>)

