

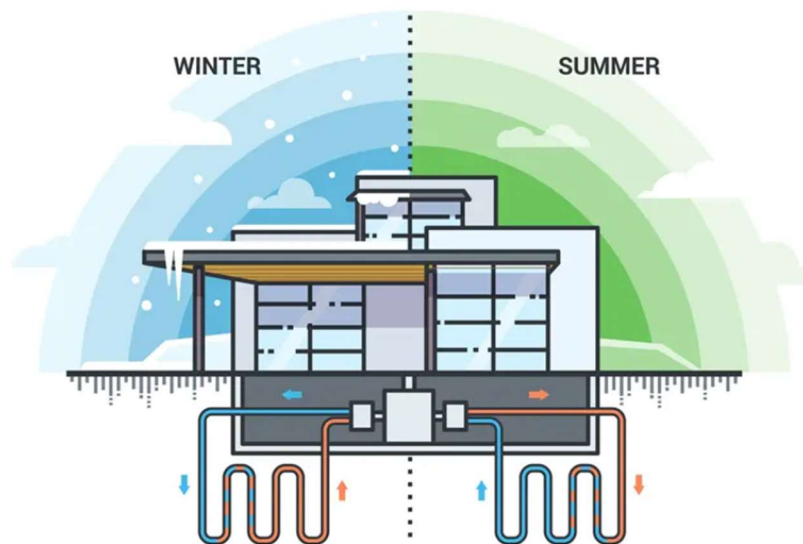


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΠΜΣ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

**ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΠΟΨΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΘΡΑΚΗ**

ΣΑΜΠΡΗ ΧΟΥΣΕΪΝ ΟΥΜΟΥΤ & ΠΑΠΑΡΙΖΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ



ΒΟΛΟΣ 2022

© 2022 ΣΑΜΠΡΗ ΧΟΥΣΕΪΝ ΟΥΜΟΥΤ & ΠΑΠΑΡΙΖΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων των συγγραφέων (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Γεώργιος Εφραϊμίδης, Επίκουρος Καθηγητής
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Αμύλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Παναγιώτης Ντακούλας, Καθηγητής
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, στο τμήμα Πολιτικών Μηχανικών κατά το έτος 2022. Η ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη των καθηγητών μου, κ. Γιώργου Εφραιμίδη, Επ. Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, τον κ. Αιμίλιο Κωμοδρόμο, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και τον κ. Παναγιώτη Ντακούλα, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, καθώς τους εκφράζω ένα βαθύ ευχαριστώ για όλη τη βοήθεια που μας προσέφεραν. Χρωστάω, επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Ιωάννη Παπαρίζο για την άριστη συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια εκπόνησης αυτής της εργασίας. Ευχαριστώ πολύ, τον διευθυντή της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (Ε.Α.Γ.Μ.Ε. πρώην Ι.Γ.Μ.Ε.) Ξάνθης κ. Δημήτρη Εξίογλου για τις πληροφορίες που μας παραχώρησε. Ευχαριστώ πολύ τον Δήμαρχο Μαρώνειας – Σαπών τον κ. Ντίνο Χαριτόπουλο, τον αρχιτέκτονα του Δήμου Τοπείρου τον κ. Ηλία Ι. Παπασταυρινίδη για την άμεση στήριξη και καθοδήγησή τους. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω βαθιά τη σύζυγό μου Μερβέ Οσμάν και τους γονείς μου οι οποίοι υπήρξαν πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για εμένα και τους οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου μέχρι σήμερα.

Σαμπρή Χουσεΐν Ουμούτ

Θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μας, Επ. Καθηγητή κ. Γιώργο Εφραιμίδη, για την καθοδήγηση και την άμεση και ουσιαστική βοήθεια που μας παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς επίσης και τους Καθηγητές κ. Αιμίλιο Κωμοδρόμο και κ. Παναγιώτη Ντακούλα. Επιπλέον, τον συνάδελφο και φίλο Σαμπρή Χουσεΐν Ουμούτ για τη συνεργασία και την πολύτιμη συμβολή του στην κοινή προσπάθεια μας. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την διαρκή υποστήριξη της για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτού του κύκλου σπουδών μου.

Παπαρίζος Ιωάννης

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΠΟΨΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΘΡΑΚΗ

Σαμπρή Χουσεΐν Ουμούτ & Παπαρίζος Ιωάννης
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Εφραιμίδης, Επίκουρος Καθηγητής

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται η προσπάθεια παρουσίασης εναλλακτικών μεθόδων αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες της περιοχής και τη διαθεσιμότητα του γεωλογικού πλούτου με σκοπό την ενθάρρυνση και την επιστημονική υποστήριξη της χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας όπου διατίθεται δωρεάν σε όλους μας. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η έννοια της γεωθερμίας, ο ρόλος της γεωθερμίας στην Ελλάδα και στις άλλες χώρες, στη συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας σε διάφορους τομείς όπως η θέρμανση- ψύξη κτηρίων, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η θεραπευτική χρήση, η χρήση της στον αγροτικό και στον κτηνοτροφικό τομέα. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύονται τα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης – ψύξης χώρων, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το γεωδυναμικό προφίλ της περιοχής Θράκης, στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται μία μελέτη εφαρμογής σε δημόσιο κτίριο του Νέου Ερασμίου και τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα.

Λέξεις Κλειδιά: *Γεωθερμία, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γεωθερμική αντλία θερμότητας, γεωθερμία στη Θράκη, χρήση γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση – ψύξη*

MODERN ASPECTS ON THE USE OF GEOTHERMAL ENERGY IN THRACE

Sampri Chousein Oumout & Paparizos Ioannis

University of Thessaly, Department of Civil Engineering

Supervisor: Georgios Efremidis, Assistant Professor

Abstract

In the present master thesis an attempt is made to present alternative methods of utilization of geothermal energy depending on the needs of the region and the availability of geological wealth in order to encourage and scientifically support the use of geothermal energy where it is available free of charge to all of us. The first chapter presents the concept of geothermal energy, the role of geothermal energy in Greece and other countries, then the second chapter presents the methods of utilization of geothermal energy in various sectors such as heating-cooling of buildings, electricity production, its therapeutic use, its use in the agricultural and livestock sector. The third chapter analyzes the method of space heating - cooling system, the fourth chapter analyzes the geodynamic profile of Thrace area, the fifth chapter analyzes the application study in a public building of Neo Erasmio village and finally the thesis ends with the conclusions.

Keywords: *Geothermal, renewable energy sources, geothermal heat pump, geothermal energy in Thrace, use of geothermal energy for heating - cooling*

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Κεφάλαιο 1 : Η Γεωθερμία ως Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας (ΑΠΕ) | 11 |
| 1.1 Εισαγωγή | 11 |
| 1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) | 12 |
| 1.3 Γεωθερμία και γεωθερμικά πεδία | 12 |
| 1.4 Η γεωθερμία στον κόσμο και στην Ευρώπη | 16 |
| 1.5 Η γεωθερμία στην Ελλάδα | 18 |
| 1.6 Γεωθερμικοί πόροι στον Ελληνικό χώρο | 21 |
| Κεφάλαιο 2 : Αξιοποίηση της γεωθερμίας | 26 |
| 2.1 Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας - εφαρμογές | 26 |
| 2.2 Θέρμανση και ψύξη κτηρίων | 32 |
| 2.3 Χρήση της γεωθερμίας για θεραπευτικούς σκοπούς | 34 |
| 2.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας | 35 |
| 2.5 Χρήση της γεωθερμίας στον αγροτικό και κτηνοτροφικό τομέα | 40 |
| Κεφάλαιο 3 : Ανάλυση γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης | 46 |
| 3.1 Κατηγορίες γεωθερμικών συστημάτων | 46 |
| 3.1.1 Υδροθερμικά συστήματα | 47 |
| 3.1.2 Αβαθής γεωθερμία | 48 |
| 3.1.3 Προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα | 48 |
| 3.1.4 Γεωπεπιεσμένα συστήματα | 48 |
| 3.1.5 Μαγματικά συστήματα | 49 |
| 3.2 Πλεονεκτήματα συστημάτων γεωθερμικής ενέργειας | 49 |
| 3.3 Γεωθερμική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας | 50 |
| 3.4 Αντλίες γεωθερμικής θερμότητας | 53 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.1 Γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος | 56 |
| 3.4.2 Κατακόρυφη διάταξη κλειστού κυκλώματος | 57 |
| 3.4.3 Οριζόντια διάταξη κλειστού κυκλώματος | 58 |
| 3.4.4 Γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού κυκλώματος | 60 |
| Κεφάλαιο 4 : Η Γεωθερμία στην Θράκη | 62 |
| 4.1 Γεωθερμικά πεδία στη Θράκη | 62 |
| 4.1.1 Γεωθερμικό πεδίο περιοχής Σαπών..... | 62 |
| 4.1.2 Γεωθερμικό πεδίο λίμνης Μητρικού | 63 |
| 4.1.3 Γεωθερμικό πεδίο Νέας Κεσσάνης..... | 64 |
| 4.1.4 Γεωθερμικό πεδίο Νέου Ερασμίου - Μαγγάνων..... | 65 |
| 4.1.5 Γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου (Αλεξανδρούπολης)..... | 67 |
| 4.2 Γεωθερμικές εφαρμογές στη Θράκη..... | 68 |
| 4.2.1 Γεωθερμία και αγροτική παραγωγή της Θράκης | 70 |
| Κεφάλαιο 5 Εφαρμογή γεωθερμικού συστήματος σε δημόσιο κτήριο του Νέου Ερασμίου | 74 |
| 5.1 Μεθοδολογία εφαρμογής | 74 |
| 5.2 Περιγραφή κτηρίου | 74 |
| 5.3 Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά κελύφους..... | 78 |
| 5.4 Σύστημα θέρμανσης – γεωθερμική αντλία θερμότητας | 82 |
| 5.5 Ενεργειακή κατάταξη και σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας | 84 |
| Κεφάλαιο 6 : Συμπεράσματα | 87 |
| Βιβλιογραφία | 89 |
| Ιστογραφία | 92 |
| Παράρτημα Α | 93 |

Λίστα Σχημάτων

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1.1 Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασιακής ανωμαλίας του πλανήτη ανά δεκαετία [i] | 11 |
| Σχήμα 1.2 Η εσωτερική δομή της Γης [32] | 13 |
| Σχήμα 1.3 Η ζώνη που χαρακτηρίζεται ως «δαχτυλίδι της φωτιάς» [xii] | 16 |
| Σχήμα 1.4 Ρυθμοί αύξησης χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ευρώπη [ii] | 17 |
| Σχήμα 1.5 Πρώτες 10 χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμία [iii] | 18 |
| Σχήμα 1.6 Εξέλιξη της καθαρής παραγωγής και των εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2030 [44] | 19 |
| Σχήμα 1.7 Χάρτης που περιέχει τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις τοποθεσίες που εντοπίστηκαν οι κύριες γεωθερμικές περιοχές στην Ελλάδα [25] | 21 |
| Σχήμα 2.1 Γεωθερμική ενέργεια [iv] | 28 |
| Σχήμα 2.2 Γεωθερμική αντλία θερμότητας για θέρμανση – ψύξη χώρων [xx] | 29 |
| Σχήμα 2.3 Εξόρυξη γεωθερμικής ενέργειας [v] | 38 |
| Σχήμα 2.4 Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα και του εδάφους σε εύκρατες ζώνες [35] | 45 |
| Σχήμα 3.1 Συστήματα γεωθερμικής ενέργειας [vi] | 47 |
| Σχήμα 3.2 Σύστημα θέρμανσης – ψύξης [vii] | 54 |
| Σχήμα 3.3 Παράδειγμα γεωθερμικού συστήματος βάσει εποχής του έτους [ix] | 55 |
| Σχήμα 3.4 Συστήματα κλειστού κυκλώματος [xv] | 57 |
| Σχήμα 3.5 Κατακόρυφη διάταξη κυκλώματος [xvii] | 58 |
| Σχήμα 3.6 Οριζόντια διάταξη κυκλώματος [xviii] | 59 |
| Σχήμα 3.7 Συστήματα ανοιχτού κυκλώματος [xv] | 60 |
| Σχήμα 5.1 Κάτοψη ισογείου | 75 |
| Σχήμα 5.2 Κάτοψη στέγης | 76 |
| Σχήμα 5.3 Απλοποιημένο διάγραμμα λειτουργίας αντλίας θερμότητας [v] | 83 |
| Σχήμα 5.4 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση | 85 |
| Σχήμα 5.5 Σύγκριση συστημάτων θέρμανσης | 86 |

Λίστα Εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1.1 Θερμοκήπιο στη Θράκη όπου χρησιμοποιούν τη γεωθερμία για την παραγωγή λαχανικών [xvi] | 25 |
| Εικόνα 4.1 Γεωτρήσεις για την άντληση γεωθερμικού ρευστού [xviii] | 68 |
| Εικόνα 4.2 Περιοχή έρευνας γεωθερμικών πεδίων στο Νέο Εράσμιο [xix] | 70 |
| Εικόνα 5.1 Πανοραμική εικόνα της περιοχής του υπό μελέτη δημόσιου κτηρίου στο Ν. Εράσμιο | 75 |
| Εικόνα 5.2 Πρόσοψη κτιρίου | 77 |
| Εικόνα 5.3 Πλάγια όψη | 77 |
| Εικόνα 5.4 Πλάγια όψη | 78 |
| Εικόνα 5.5 Πίσω όψη | 78 |
| Εικόνα Π.1 Χαρακτηρισμένα Πεδία Ανατολική-Μακεδονίας Θράκης [xxi] | 96 |
| Εικόνα Π.2 Γεωθερμικά Πεδία Αν. Μακεδονίας – Θράκης [xxii] | 96 |
| Εικόνα Π.3 Κατανομή γεωθερμικών πεδίων σε Περιφέρειες [xxiii] | 97 |
| Εικόνα Π.4 Γεωθερμία στην κτηνοτροφία [xxiiii] | 97 |

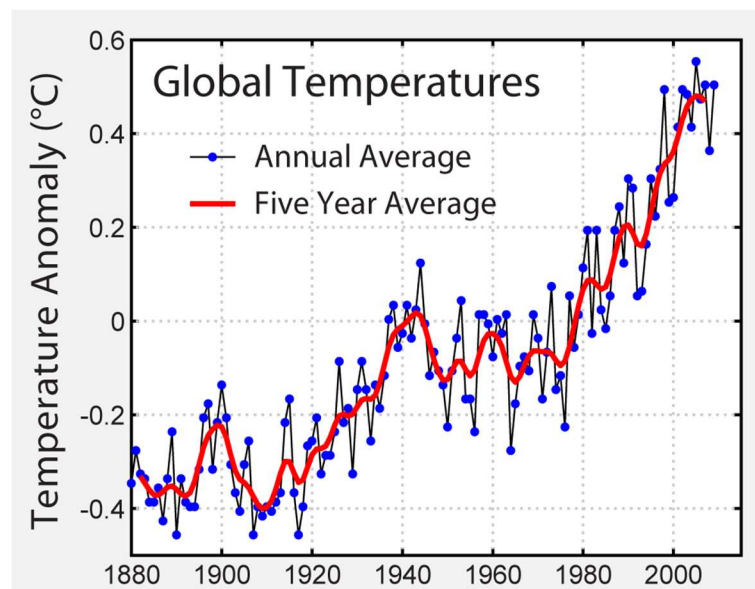
Λίστα Πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 5.1 Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά αδιαφανών επιφανειών..... | 79 |
| Πίνακας 5.2 Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά διαφανών επιφανειών..... | 81 |
| Πίνακας 5.3 Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά δαπέδου | 81 |

Κεφάλαιο 1 : Η Γεωθερμία ως Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας (ΑΠΕ)

1.1 Εισαγωγή

Η έναρξη της μόλυνσης της ατμόσφαιρας από μη φυσικούς παράγοντες θεωρείται πως άρχισε από την εφεύρεση της φωτιάς. Επιπλέον, οι συνεχώς αναπτυσσόμενες οικονομίες αυξάνουν την παραγωγή τους προκειμένου να γίνουν πιο ανταγωνιστικές, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση εκπομπών των αέριων ρύπων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όπως παρατηρείται στο σχήμα 1.1 από το έτος 1980 και μετά άρχισε να αυξάνεται αισθητά η μέση θερμοκρασία του πλανήτη μας.



Σχήμα 1.1 Διάγραμμα μεταβολής θερμοκρασιακής ανωμαλίας του πλανήτη ανά δεκαετία [i]

Το 2015 στο πλαίσιο της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) που ασχολείται με τη μείωση των εκπομπών αερίων, 196 κράτη υπέγραψαν την Συμφωνία του Παρισιού με στόχο να περιορίσουν την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1,5 έως 2 βαθμούς Κελσίου, διότι εάν καταφέρουν να την κρατήσουν στους 1,5°C πιστεύουν πως αυτός ο περιορισμός θα κρατήσει σταθερούς και τους κινδύνους που φέρνει η κλιματική αλλαγή, όπως φυσικές καταστροφές και ακραία καιρικά φαινόμενα. Αυτό κατά συνέπεια παροτρύνει τις χώρες αυτές να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα για τη μείωση των αέριων εκπομπών που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου

προσπαθώντας να παράγουν ολοένα και περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, να επιβάλλουν στα οχήματα να αφήνουν όσο το δυνατόν μικρότερο αποτύπωμα στο περιβάλλον, να ενθαρρύνουν τα νοικοκυριά να καλύπτουν τις ενεργειακές τους απαιτήσεις με οικολογικούς τρόπους και να κατευθύνουν τη βιομηχανία να αντλήσει την ενέργεια που χρειάζεται από αυτές τις ανανεώσιμες πηγές.

Στα πλαίσια αυτής της κινητοποίησης εξετάζεται το πώς η γεωθερμία μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μέσω της προσπάθειας εκμετάλλευσης του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας. Είναι γνωστό ότι η γεωθερμία αποτελεί μια μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, η οποία εάν δεν μεταβληθούν τα γεωτεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής (π.χ. από σεισμούς και ρήγματα) μπορεί να καλύπτει σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο τις ενεργειακές ανάγκες σχεδόν σε όλους τους τομείς και να συμβάλλει στη διαχείριση τις ενεργειακής κρίσης.

1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Ο όρος ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) περιγράφει μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορους φυσικούς πόρους όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η ηλιακή ενέργεια, η κυκλοφορία του νερού που ανανεώνονται από τη λειτουργία της φύσης.

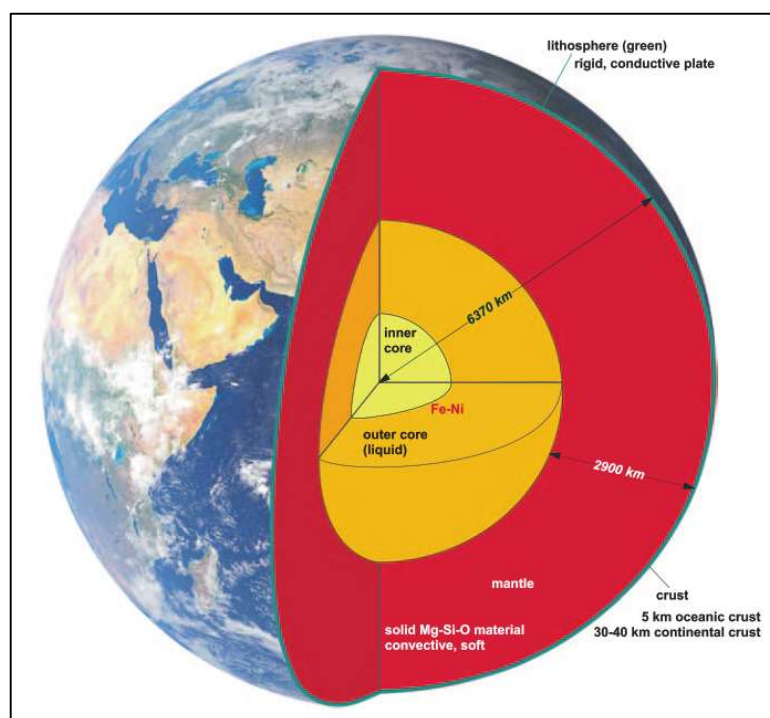
Η γεωθερμική ενέργεια, μερικές μορφές ηλιακής ενέργειας, τα βιοκαύσιμα, η αιολική ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η φωτοβολταϊκή ενέργεια και η ενέργεια των ωκεανών ανήκουν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Όλες αυτές οι μορφές ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τον άνθρωπο για την ενεργειακή αναβάθμιση των σύγχρονων κοινωνιών, και παράλληλα οι τεχνολογίες εκμετάλλευσής τους αναπτύσσονται ολοένα και πιο γρήγορα, με την πάροδο του χρόνου, βελτιώνοντας θεαματικά την απόδοση των αντίστοιχων ενεργειακών συστημάτων.

1.3 Γεωθερμία και γεωθερμικά πεδία

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και απεριόριστη πηγή θερμότητας. Με το απόλυτο όφελος στο περιβάλλον και ανεξάρτητα με τις καιρικές συνθήκες, η ενέργεια της γεωθερμίας μπορεί να παρέχεται όλες τις ώρες της ημέρας και της εβδομάδας σε αντίθεση με άλλες περιπτώσεις όπως οι ανεμογεννήτριες που χρειάζονται

άνεμο και τα φράγματα που για να λειτουργήσουν χρειάζονται νερό που προέρχεται κυρίως από βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις.

Σε ανθρώπινη χρονική κλίμακα, δηλαδή παίρνοντας βάση τη μέση χρονική περίοδο ζωής ενός ανθρώπου, η γεωθερμική ενέργεια λαμβάνεται και ως απεριόριστη ή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας (Stober & Bucher, 2016). Πηγή της γεωθερμικής ενέργειας είναι η εξαγόμενη θερμότητα. Αυτή η θερμότητα εκπέμπει ενέργεια από το κέντρο της γης εδώ και 4,5 δισεκατομμύρια χρόνια, σε βάθος άνω των 6370 χιλιομέτρων (βλ. Σχήμα 1.2). Οι επιστήμονες πρόβλεψαν ότι υπάρχει ροή ενέργειας περίπου 42 εκατομμύρια μεγαβάτ (MW) από το κέντρο προς επιφάνεια της γης κυρίως με αγωγιμότητα.



Σχήμα 1.2 Η εσωτερική δομή της Γης [32]

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με το είδος των αναγκών του ανθρώπου και των δυνατοτήτων της δεξαμενής θερμότητας, όπου δεξαμενή θεωρείται η περιοχή που συγκεντρώνονται τα υπόγεια ύδατα.

Το γεωθερμικό σύστημα μπορεί να εξηγηθεί συστηματικά: το νερό που θερμαίνεται από θερμά γεωτεκτονικά πετρώματα στον άνω φλοιό της γης σε περιορισμένο χώρο και έπειτα αυτή η ενέργεια μεταφέρεται από τη θερμική πηγή στην ελεύθερη επιφάνεια της γης.

Ένα σύστημα της γεωθερμίας αποτελείται κυρίως από τρία κύρια στοιχεία: την πηγή θερμότητας, τη δεξαμενή και το ίδιο το ρευστό που μεταφέρει τη θερμότητα.

Το μάγμα κάτω από τον φλοιό της γης είναι η πηγή θερμότητας του συστήματος γεωθερμικής ενέργειας. Η θερμότητα από το μάγμα οδηγείται στο χαμηλότερο (ή βαθύτερο) αδιαπέρατο βράχο και στη συνέχεια θερμαίνει το νερό που είναι παγιδευμένο.

Αυτή η γεωθερμική δεξαμενή αποτελείται από πυριγενή πετρώματα που περιέχουν ρευστό κάτω από την επιφάνεια, τα οποία μπορεί να είναι οικονομικά κερδοφόρα όταν αυτή η θερμότητα εξάγεται και αξιοποιείται για την παραγωγή ενέργειας ή και θέρμανση χώρων.

Η ενθαλπία είναι θερμοδυναμικό μέγεθος που αντιπροσωπεύει το ολικό ποσό θερμικής ενέργειας που περιέχει ένα θερμοδυναμικό σύστημα. Ειδικότερα είναι το άθροισμα της εσωτερικής ενέργειας ενός σώματος και του γινομένου της εσωτερικής πίεσης επί του όγκου που καταλαμβάνει μια ουσία. Οι γεωθερμικές δεξαμενές ανάλογα με την θερμοκρασία τους μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις τύπους ενθαλπίας:

1. Δεξαμενή υψηλής ενθαλπίας: Η δεξαμενή υψηλής ενθαλπίας έχει συνήθως επαρκή θερμική ικανότητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ατμό. Αυτός ο τύπος δεξαμενής συνήθως έχει θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 150°C και συνήθως τον συναντάμε σε ενεργές ηφαιστειακές περιοχές.

2. Δεξαμενή μεσαίας ενθαλπίας: Αυτού του είδους οι δεξαμενές έχουν μικρότερη θερμοκρασία σε σύγκριση σε σχέση με το πρώτο είδος, που κυμαίνεται από 100°C έως 150°C. Παρόλο που η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη, ο ταμιευτήρας (η δεξαμενή) της μέσης ενθαλπίας επιτρέπει επαρκή εξαγωγή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας την πτητικότητα των ρευστών (αν και η χωρητικότητα είναι πολύ χαμηλότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη των δεξαμενών υψηλής ενθαλπίας). Συνήθως η δεξαμενή βρίσκεται σε θέση όπου το γεωλογικό περιβάλλον παρέχει γεωθερμικές κλίσεις υψηλότερες από τον μέσο όρο. Η χρήση της θερμότητας από δεξαμενές μεσαίας ενθαλπίας μπορεί να βελτιστοποιηθεί για τη χρήση της θέρμανσης αστικών περιοχών αλλά και της βιομηχανίας.

3. Δεξαμενή χαμηλής ενθαλπίας: Στη δεξαμενή χαμηλής ενθαλπίας οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 30°C και 100°C. Αυτού του τύπου οι δεξαμενές συνήθως βρίσκονται συνήθως σε ευνοϊκό γεωλογικό πλαίσιο όπου εντοπίζονται υδροφορείς σε μεγάλο βάθος.

Αυτοί οι τύποι θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άμεση τηλεθέρμανση αλλά και σε βιομηχανικές διαδικασίες.

4. Δεξαμενή πολύ χαμηλής ενθαλπίας: Η θερμοκρασία σε αυτήν είναι μικρότερη από 30°C και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατοικίες και κλιματισμό γεωργικών εγκαταστάσεων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα γεωθερμικά ρευστά από τα οποία παράγεται η γεωθερμική ενέργεια μπορούν να βρεθούν σε τρεις διαφορετικές φάσεις. Αυτές είναι α) η υγρή φάση, β) η αέρια φάση και γ) μείγμα των δύο αυτών φάσεων. Ενώ ο τύπος του συστήματος ατμού μπορεί να επηρεάσει τη γεωθερμική τεχνολογία παραγωγής. (Nenny, Saptadji, 2001).

Η χαμηλή ενθαλπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τηλεθέρμανση ενώ η υψηλή ενθαλπία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αγροτικές ανάγκες επίσης και από ατμοηλεκτρικό σταθμό για παραγωγή ενέργειας όπου μπορεί να καλύψει τις ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας μιας περιοχής ή ακόμα και πόλης.

Πρέπει να τονιστεί πως στη σημερινή εποχή το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού παγκόσμιου πρωτογενούς ενεργειακού εφοδιασμού εξακολουθεί να βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα. Το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο και ο άνθρακας εξακολουθούν να είναι η κύρια πηγή ενεργειακού εφοδιασμού και παραγωγής, ενώ από την άλλη πλευρά, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξακολουθούν να αποτελούν τη δεύτερη θέση της κατάταξης της πηγής ενέργειας όπου σημαντική θέση καταλαμβάνουν τα βιοκαύσιμα και τα υδροηλεκτρικά φράγματα. Η γεωθερμική ενέργεια κατατάσσεται στις «άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» και υπολογίζεται ότι αποτελεί μόνο το 1,3% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Συνήθως μια περιοχή που έχει πολλά υποσχόμενη και μεγάλη γεωθερμική ισχύ συχνά βρίσκεται σε περιοχή με υψηλή ηφαιστειακή δραστηριότητα όπου λαμβάνουν χώρα πολλές επιφανειακές γεωθερμικές δραστηριότητες. Αυτό το είδος του ενεργού ηφαιστειακού χώρου συνήθως διατηρεί ένα μεγάλο θερμικό δυναμικό το οποίο αφενός μεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για τη θέρμανση χώρων (κατοικιών, δημόσιων κτιρίων κλπ.), και αφετέρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γεωθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

1.4 Η γεωθερμία στον κόσμο και στην Ευρώπη

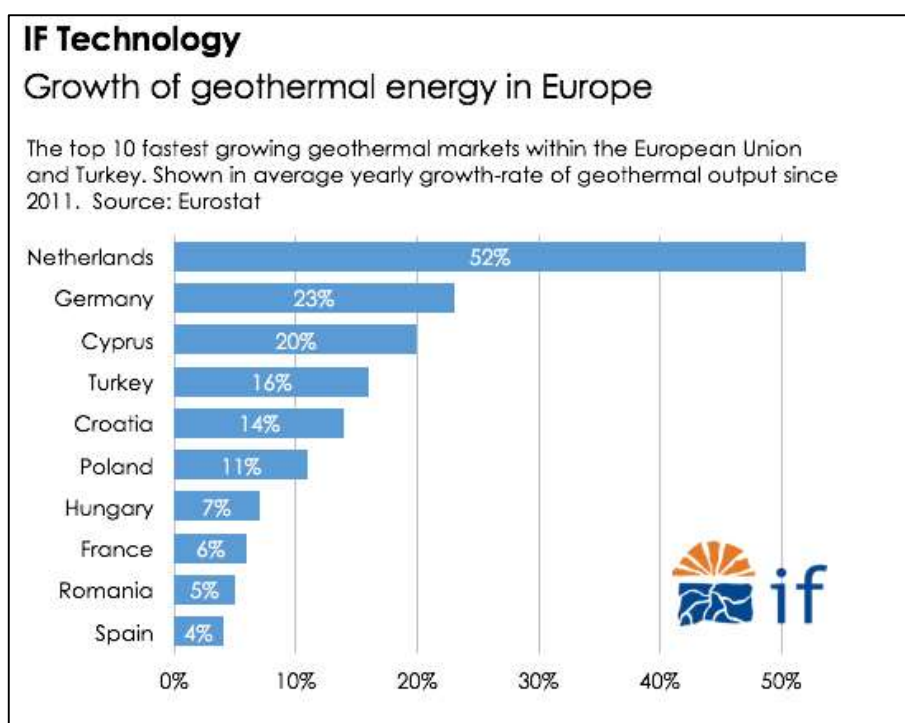
Παγκοσμίως μόνο τέσσερις χώρες Η.Π.Α., Ινδονησία, Φιλιππίνες και Τουρκία έχουν φτάσει το 1 GigaWatt (GW) στην εγκατεστημένη χωρητικότητα γεωθερμικής ενέργειας. Στο Σχήμα 1.5 απεικονίζονται οι δέκα πρώτες χώρες στον κόσμο που χρησιμοποιούν κυρίως τη γεωθερμική ενέργεια τόσο με άμεση εφαρμογή όσο και με σκοπό την παραγωγή ενέργειας (εκτός από την Ινδονησία και τις Φιλιππίνες που χρησιμοποιούν σχεδόν αποκλειστικά τη γεωθερμική τους ικανότητα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Επιπλέον, οι περισσότερες από τις 10 πρώτες χώρες που παράγουν γεωθερμική ενέργεια βρίσκονται σε περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπως η Ισλανδία, η Νέα Ζηλανδία, η Ινδονησία και οι Φιλιππίνες, οι οποίες βρίσκονται κατά μήκος της ζώνης του δαχτυλιδιού της φωτιάς (βλ. Σχήμα 1.3). Το Δαχτυλίδι της Φωτιάς (ring of fire) είναι μια περιοχή γύρω από τη λιθοσφαιρική πλάκα του Ειρηνικού Ωκεανού όπου συμβαίνουν πολλές ηφαιστειακές εκρήξεις και σεισμοί.



Σχήμα 1.3 Η ζώνη που χαρακτηρίζεται ως «δαχτυλίδι της φωτιάς [xii]

Οι μεγάλες προσδοκίες για τη γεωθερμική ενέργεια επηρέασαν επίσης τις «επίπεδες» χώρες, δηλ. τις χώρες χωρίς υψηλή ηφαιστειακή δραστηριότητα, να αναπτύξουν και να διερευνήσουν το δυναμικό τους για γεωθερμική ενέργεια, όπως για παράδειγμα η Ολλανδία. Η γεωθερμική ικανότητα της Ολλανδίας αυξήθηκε πολύ γρήγορα από 20 MWth (Megawatt thermal) το 2009, σε περισσότερα από 120 MWth 6 χρόνια μετά.

Όπως αναφέρεται σε μια άλλη πηγή (Think Geoenergy, 2016) ο ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ολλανδία ανήλθε στο 52% από το 2011 έως σήμερα (βλ. Σχήμα 1.4) ο οποίος ήταν πολύ μεγαλύτερος από τις άλλες χώρες της Ε.Ε. και την Τουρκία. Επίσης, οι κάτω χώρες έθεσαν υψηλό στόχο ετήσιου ρυθμού ανάπτυξης της γεωθερμικής ενέργειας στο μέλλον, καθώς το 2050 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να προέρχεται σε αρκετά μεγάλο ποσοστό από τη γεωθερμική ενέργεια (Wees, 2013).



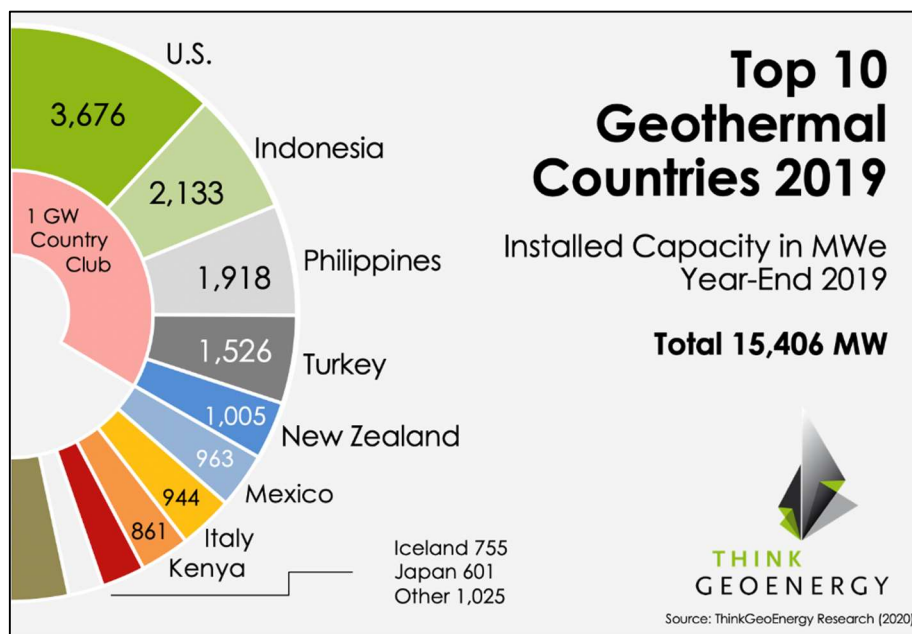
Σχήμα 1.4 Ρυθμοί αύξησης χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ευρώπη [ii]

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας εξαρτάται κυρίως από την ενθαλπία ή το επίπεδο θερμοκρασίας που έχει η πηγή θερμότητας. Ενώ η υψηλή θερμοκρασία (> 220°C) χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η χαμηλή έως μέση θερμοκρασία (30°C έως 150°C) χρησιμοποιείται συνήθως για ποικιλία περιπτώσεων άμεσης χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας (Mburu, 2013).

Η υδροθερμία είναι η χρήση του νερού που προέρχεται από τη γεωθερμική πηγή, δηλαδή έχει ζεσταθεί με γεωθερμία. Μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο τεχνολογικές χρήσεις: α) χρήση με αντλία θερμότητας και β) χρήση χωρίς σύστημα αντλίας θερμότητας. Αυτές οι δύο εφαρμογές εξαρτώνται από της γεωθερμικές ικανότητες της υπόγειας δεξαμενής.

Η άμεση χρήση χωρίς αντλίες θερμότητας χρησιμοποιείται κυρίως για εμπορικούς σκοπούς όπως η θέρμανση ενός θερμοκηπίου και για βιομηχανικούς σκοπούς τοποθετώντας έναν κυκλοφορητή για τη μεταφορά του ζεστού νερού εκεί που χρειάζεται. Από την άλλη οι αντλίες θερμότητας εφαρμόζονται κυρίως για σκοπούς θέρμανση σε κατοικίες (από 5,5 kW έως 16 kW) εμπορικά και δημόσια κτήρια (έως 250 kW). Αυτό σημαίνει ότι η γεωθερμική ενέργεια παίζει καθοριστικό ρόλο στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου ιδιαίτερα για χώρες που εκμεταλλεύονται τον γεωθερμικό τους πλούτο, που τους διατίθεται δωρεάν από τη φύση.

Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι η πιο ανεπτυγμένη ανανεώσιμη ενέργεια, καθώς το μερίδιο της γεωθερμικής ενέργειας εξακολουθεί να είναι πολύ χαμηλό, κάτω από 1,3%, σε σύγκριση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σημειώνεται ότι οι ΗΠΑ είναι η πιο ανεπτυγμένη γεωθερμικά χώρα στον κόσμο με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 3,5 GW (βλ. Σχήμα 1.5) .

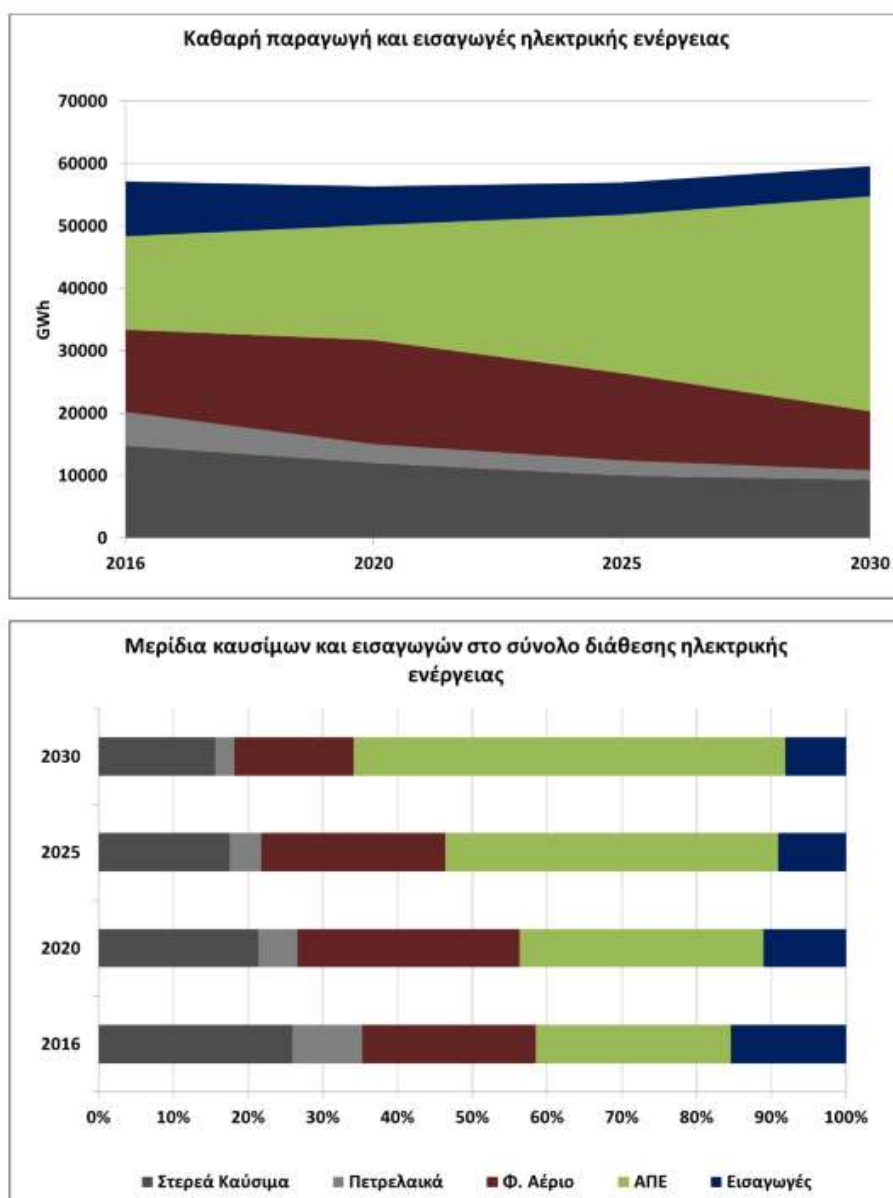


Σχήμα 1.5 Πρώτες 10 χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμία [iii]

1.5 Η γεωθερμία στην Ελλάδα

Η γεωθερμική ενέργεια στην Ελλάδα δεν χρησιμοποιείται και δεν αναπτύσσεται πολύ αποτελεσματικά τόσο για άμεση χρήση όσο και για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι γνωστό ότι οι περισσότερες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιεί η χώρα μας σήμερα

βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα όπως το φυσικό αέριο και ο λιγνίτης. Σταδιακά όμως η Ελλάδα έχει αρχίσει να αυξάνει το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από περίπου 5% σε 14% το 2020 κάτω από το μέσο στόχο της ΕΕ που είναι μεγαλύτερο του 20% (βλ. Σχήμα 1.6) και με αισιόδοξο στόχο σε 20% το 2030 (Εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός, 2018).



Σχήμα 1.6 Εξέλιξη της καθαρής παραγωγής και των εισαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας έως το 2030 [44]

Επιπλέον, με βάση τις τέσσερις εποχές του χρόνου, η χώρα χρειάζεται διαφορετική ποσότητα ενέργειας ανάλογα της εποχής, ενώ η ζήτηση κορυφώνεται κυρίως από τα τέλη του φθινοπώρου (Νοέμβριος) έως το τέλος του χειμώνα (Μάρτιος). Επομένως αποτελεί

επιτακτική ανάγκη μια σταθερή πηγή ενέργειας, όπως η γεωθερμία, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της κοινωνίας.

Στην Ελλάδα με τόσο ενεργό γεωτεκτονικό υπόβαθρο (σεισμούς, ενεργά ρήγματα, ηφαίστεια) είναι απίθανο να μη βρεθεί υπόγεια μαγματική δραστηριότητα, αυτή η πιθανότητα υπαρκτής ωθεί τους επιστήμονες να αναζητούν πιθανά αποθέματα της γεωθερμικής ενέργειας σε όλη την επικράτεια.

Οι άμεσες χρήσεις γεωθερμίας, όπως η θέρμανση κατοικιών και επαγγελματικών χώρων, οι εργοστασιακές εγκαταστάσεις γεωθερμίας, οι εφαρμογές στη γεωργία και την υδατοκαλλιέργεια είναι πιο κατάλληλες και εφικτές με τη δυνατότητα ύπαρξης δεξαμενής πολύ χαμηλής έως χαμηλής ενθαλπίας. Τέτοιες δεξαμενές εντοπίζονται αρκετά συχνά στην Ελλάδα και αποτελούν οικονομικά συμφέρουσες λύσεις καθώς επίσης και τεχνολογικά μικρές σχετικά απαιτήσεις για την εκμετάλλευση του γεωθερμικού τους δυναμικού.

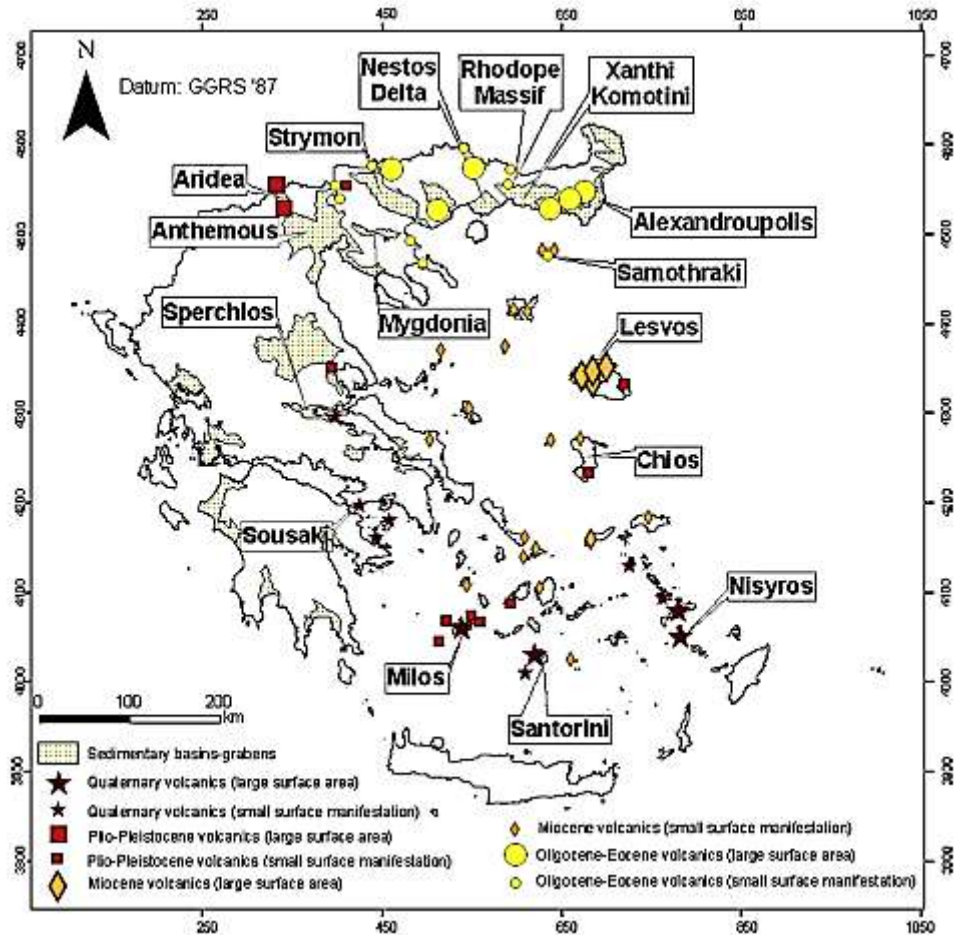
Η Ελλάδα διαθέτει μερικές καλές και πιθανές δυνατότητες υδροθερμικού υδροφόρου ορίζοντα που θα μπορούσαν ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν για την άμεση θέρμανση χώρων.

Πρώτον, διαπιστώθηκε ότι το σύνολο της αρχικής θερμότητας του ρευστού της δεξαμενής περίπου όσο 820.000 PJ (PetaJoule = 1×10^{15} Joule). Η εκτίμηση αυτής της αρχικής θερμότητας της υδροθερμικής δεξαμενής αυξήθηκε σημαντικά από την πρώιμη μελέτη που ανέφερε ότι το HIP (Heat In Place) κατέχει 90.000 PJ θερμότητας. Όπου το Heat in Place είναι η θερμότητα που μπορεί να αξιοποιηθεί για να ζεστάνει χώρους.

Οι καλές και πιθανές υδροθερμικές πηγές της Βόρειας Ελλάδας που αναφέρονται στην ενότητα 1.6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια ποικιλία χρήσεων γεωθερμικής ενέργειας όπως θέρμανση χώρων, ξήρανση αγροτικών προϊόντων, απόψυξη ψαριών αλλά και δυνατότητα ξήρανσης τσιμεντόλιθων.

Παρόλα αυτά οι γεωλογικές έρευνες, οι γεωχημικές αναλύσεις σε διάφορες περιοχές ιαματικών λουτρών καθώς και οι γεωτρήσεις μικρού βάθους έδειξαν πως υπάρχουν αρκετές δεξαμενές χαμηλής ενθαλπίας ($<100^{\circ}\text{C}$) που χρησιμοποιούνται για σπα και για θέρμανση εδάφους/θερμοκηπίων (D. Mendrinou et al, 2010) επίσης και κάποιες που είναι μεσαίας ενθαλπίας ($100^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$) που βρίσκονται στο Σουσάκι, σε νησιά όπως η Σαμοθράκη, η Χίος, και η Λέσβος επίσης κοντά σε δέλτα ποταμών (π.χ. του ποταμού Νέστου), στην

Αλεξανδρούπολη και στο βύθισμα (graben) του Σπερχειού ποταμού (βλ. Σχήμα 1.7). Υψηλές θερμοκρασίες εντοπίστηκαν επίσης στη Μήλο, στη Σαντορίνη και στη Νίσυρο.



Σχήμα 1.7 Χάρτης που περιέχει τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις τοποθεσίες που εντοπίστηκαν οι κύριες γεωθερμικές περιοχές στην Ελλάδα [25]

1.6 Γεωθερμικοί πόροι στον Ελληνικό χώρο

Η Ελλάδα μπορεί να θεωρηθεί πλούσια σε γεωθερμικούς πόρους, αφού το μεγαλύτερο μέρος της χώρας βρίσκεται σε μια ευρύτερη περιοχή με ενεργή τεκτονική. Οι περιοχές που η γεωθερμία τους χαρακτηρίζεται ως υψηλή ενθαλμία φαίνεται να περιορίζονται στο ενεργό ηφαιστειακό τόξο του Νοτίου Αιγαίου, με αποδεδειγμένο δυναμικό που υπερβαίνει τα 250 MW στα νησιά Μήλος και Νίσυρος. Ωστόσο η αρνητική στάση των κατοίκων των δύο νησιών και ιδιαίτερα της Μήλου εξαιτίας της διακοπής λειτουργίας του

σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που υπήρχε στο νησί μέχρι το 1989 έχει θέσει εμπόδια στην παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα.

Ανάλογες μελέτες αυτή τη φορά σε περιοχές με γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας πραγματοποιήθηκαν τόσο στα νησιά του Αιγαίου όσο και σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας την ίδια δεκαετία. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αυτής προορίζεται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα άλλες περιοχές της Ελλάδας στις οποίες έχουν ανακαλυφθεί γεωθερμικές πηγές εντοπίζονται στον Ακροπόταμο Καβάλας, στον Αρίστινο Αλεξανδρούπολης και στα νησιά Σαμοθράκη, Χίο και Λέσβο. Στις περιοχές αυτές υπάρχουν στο υπέδαφος ρευστά με θερμοκρασίες έως 120°C που προορίζονται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δυαδικού κύκλου.

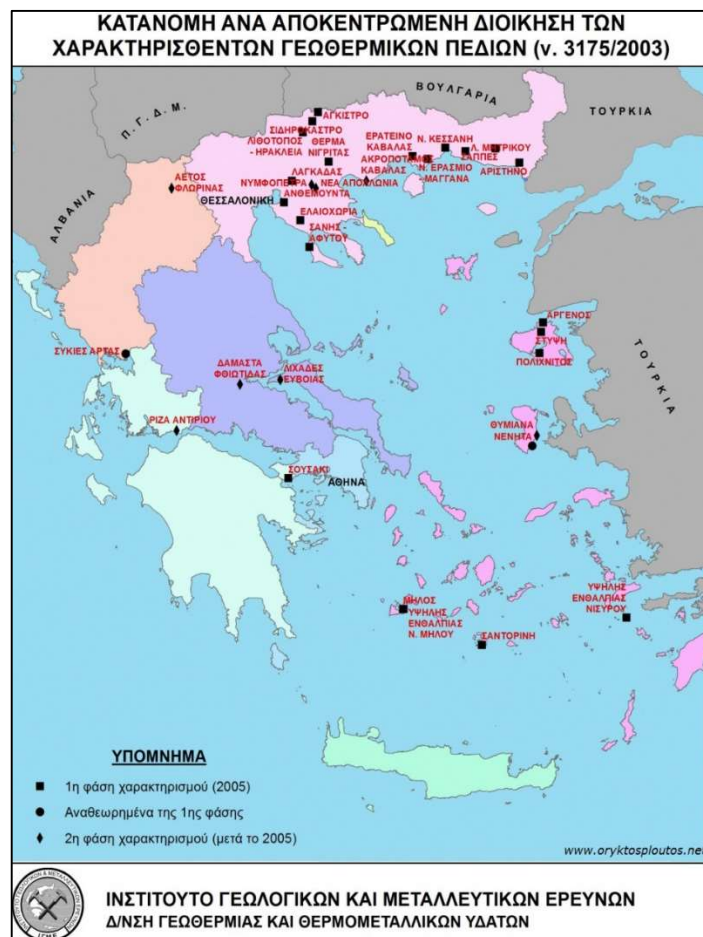
Μέχρι το 2008 οι έρευνες σχετικά με τα αποθέματα γεωθερμικής ενέργειας της χώρας μας ήταν ιδιαίτερα περιορισμένες. Η κατάσταση άλλαξε το 2014 όταν πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Γεωλογίας και Μεταλλευτικών Ερευνών εκτεταμένη μελέτη για την εξεύρεση γεωθερμικών πόρων σε πολλές περιοχές της χώρας. Η προσπάθεια αυτή χρηματοδοτήθηκε από το Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς δια μέσω ΕΣΠΑ. Μερικές από τις περιοχές στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι έρευνες ήταν τα νησιά της Λήμνου και της Λέσβου, η Στερεά Ελλάδα, η Ανατολική Θεσσαλία και τέλος στο βόρειο τμήμα του Σιδηροκάστρου στη Μακεδονία.

Παρόλα αυτά είναι εδώ και αρκετές δεκαετίες είναι γνωστό πως η χώρα μας είναι πλούσια σε γεωθερμικά πεδία και ιδιαίτερα σε γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας δηλαδή σε αυτά όπου η θερμοκρασία του νερού δεν υπερβαίνει τους 100 °C. Μάλιστα τα περισσότερα αυτά απαντώνται τόσο στα νησιά του Αιγαίου όσο και στη Βόρεια Ελλάδα. Στο πλαίσιο αυτό το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής δημιούργησε ερευνητικό τμήμα με σκοπό την επιστημονική διερεύνηση των γεωθερμικών πόρων σε πολλές περιοχές της Ελλάδας ενώ παράλληλα ανακοίνωσε και την υλοποίηση τεσσάρων γεωθερμικών έργων μέσα από την κοινοπραξία δύο τεχνικών εταιρειών.

Σύγχρονα επιστημονικά στοιχεία έχουν καταδείξει ότι το γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας της Ελλάδας ξεπερνάει τα 1000 MWth (1 MWth = 1 θερμικό μεγαβάτ). Ένα ποσοστό της ενέργειας αυτής χρησιμοποιείται για παροχή θερμότητας στα θερμοκήπια ή για χρήσεις που σχετίζονται με τα λουτρά.

Επιστημονικές μετρήσεις υπολόγιζαν ότι η συνολική γεωθερμική ισχύς που προορίζεται για άμεση χρήση στη χώρα μας, θα υπερβεί τα 220 MWth μέχρι το τέλος του 2013. Πρόκειται για μία αύξηση της τάξεως του 60% σε σχέση με μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν το 2010.

Παράλληλα οι κρατικές προσπάθειες για ανακάλυψη νέων περιοχών πλούσιων σε γεωθερμικούς πόρους συνεχίστηκαν και το 2011. Το έτος εκείνο ανακοινώθηκε η μίσθωση για διεθνείς οργανισμούς με σκοπό την εξερεύνηση και ανακάλυψη γεωθερμικών πόρων σε τρεις περιοχές στο νομό Αλεξανδρούπολης (Δέλτα ποταμού Έβρου, Δέλτα ποταμού Νέστου και Σαμοθράκη) καθώς και στη Χίο. Ερευνητικά δεδομένα έχουν καταδείξει πως οι περιοχές αυτές είναι πιθανό να είναι πλούσιες σε γεωθερμικούς πόρους μέσης ενθαλπίας.



Σχήμα 1.8 Κατανομή των χαρακτηρισθέντων γεωθερμικών πεδίων [45]

Το αποτέλεσμα του διαγωνισμού αυτού είχε σαν αποτέλεσμα τα δικαιώματα των έργων να κατοχυρωθούν σε δύο ελληνικές εταιρείες υπό καθεστώς κοινοπραξίας. Οι εργασίες παρόλα αυτά δεν έχουν ξεκινήσει ακόμα. Τέλος, τέσσερις περιοχές πλούσιες σε πόρους γεωθερμικής ενέργειας, το Σουσάκι Ικαρίας, η λεκάνη του αρχηγού και ο Ακροπόταμος Καβάλας έχουν περάσει στη δικαιοδοσία της ΔΕΗ προκειμένου να ξεκινήσουν έρευνες για την ανακάλυψη και την εξαγωγή των πόρων αυτών.

Άξιο αναφοράς είναι επίσης πως την περίοδο 2008-2014 η ΔΕΗ χρηματοδότησε μία σειρά από ερευνητικές δραστηριότητες σχετικές με την γεωθερμική ενέργεια της χώρας μας. Μερικά παραδείγματα τέτοια δραστηριοτήτων είναι η αξιολόγηση γεωθερμικών δεδομένων προηγούμενων ερευνών, ερευνητικές εργασίες στην Κίμωλο και στη Μήλο, καθώς και πρόσθετες μετρήσεις στο νησί της Νισύρου ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκαν και διάφορες περιβαλλοντικές εργασίες.

Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο μερίδιο της ήδη υπάρχουσας ισχύος κατανέμεται στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας με ποσοστό που ξεπερνάει το 65%. Τα επόμενα μεγαλύτερα ποσοστά κατανομής της ήδη υπάρχουσας γεωθερμικής ισχύος της χώρας μας κατανέμονται στην θέρμανση αθλητικών εγκαταστάσεων (π.χ. πισίνες) και στις εγκαταστάσεις θερμοκηπίων. Οι άμεσες εφαρμογές (χωρίς GSHP) παρουσίασαν μια στασιμότητα εξέλιξης τα τελευταία χρόνια, με μικρές αλλαγές. Κάποιες από τις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις έκλεισαν για λόγους βέβαια που δεν σχετίζονται με τη γεωθερμία. Παρόλα αυτά ακόμα κατασκευάζονται κάποιες καινούργιες εγκαταστάσεις (Al Dakheel, et. al., 2018).

Αντίθετα παρά την πτωτική τάση των τελευταίων ετών, τα τελευταία πέντε χρόνια συγκεκριμένα παρατηρείται μία αύξηση της τάξεως του 25% όσον αφορά την εγκατάσταση αντλιών θερμότητας εδάφους. Η ευρύτερη χρήση των αντλιών θερμότητας στη χώρα ξεκίνησε στα μέσα της περασμένης δεκαετίας, κορυφώθηκε πριν από περίπου 3 χρόνια και πλέον πλήττεται από την οικονομική ύφεση (Pratiwi & Trutnevyte, 2021).

Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον έχει επικεντρωθεί σε εγκαταστάσεις τύπου GSHP που βρίσκονται ακόμη στο σχέδιο του σχεδιασμού. Επίσης τα τελευταία χρόνια σε κάποια σημεία της Βόρειας Ελλάδας έχει εφαρμοστεί η τεχνική γεωθερμικών συστημάτων ανοιχτού κυκλώματος. Πρόκειται για μία μορφή γεωθερμικών αντλιών θερμότητας που έχει

διάφορες εφαρμογές, όπως η καλλιέργεια γεωργικών προϊόντων σε εποχές που δεν ευδοκούν και η θέρμανση του εδάφους.



Εικόνα 1.1 Θερμοκήπιο στη Θράκη όπου χρησιμοποιούν τη γεωθερμία για την παραγωγή λαχανικών [xvi]

Κεφάλαιο 2 : Αξιοποίηση της γεωθερμίας

2.1 Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας - εφαρμογές

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μια μορφή ενέργειας κατά την οποία η θερμική ενέργεια από τη Γη «συλλαμβάνεται» και αξιοποιείται για διάφορες χρήσεις όπως μαγείρεμα, μπάνιο, θέρμανση χώρου, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και άλλες χρήσεις (Lund & Boyd, 2016).

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για άμεση θέρμανση είναι από τις πιο απλές εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας. Ο σκοπός της άμεσης θέρμανσης μπορεί να εκπληρωθεί σε ευρεία κλίμακα, δηλαδή από τα νοικοκυριά έως τις πολλαπλές χρήσεις των εμπορικών βιομηχανιών θέρμανσης και ξήρανσης. Η έρευνα του Rybach το 2010 καταδεικνύει τρεις διαφορετικές κλίμακες αναφορικά με τις απαιτήσεις της γεωθερμικής θερμοκρασίας για την άμεση θέρμανση που κυμαίνονται από τους 15°C έως και τους 200°C.

Έτσι σύμφωνα με το διαχωρισμό αυτόν οι τρεις διαφορετικές κλίμακες, αναφορικά με τους βαθμούς Κελσίου, προορίζονται και διαφορετικές χρήσεις. Ως εκ τούτου όσον αφορά τη θέρμανση χώρων με την χρήση αντλιών, όπως για παράδειγμα μικρές βιομηχανίες ή ιχθυοκαλλιέργειες ή ακόμα και για περιορισμένη χρήση στο πλαίσιο μιας κοινότητας ή ενός δήμου, θεωρείται η καταλληλότερη η χαμηλότερη κλίμακα που κυμαίνεται από τους 15°C μέχρι το 60°C.

Ο Rybach στην έρευνα του καταδεικνύει επίσης πως αυτή η χαμηλότερης θερμοκρασίας γεωθερμική κλίμακα αξιοποιεί έναν σχετικά απλό εξοπλισμό και τεχνολογία. Επιπρόσθετα υποστηρίζει πως αυτός ο τύπος γεωθερμικής ενέργειας ενδείκνυται για αξιοποίηση σε περιοχές της γης με ψυχρό η και υποτροπικό κλίμα. Επιπλέον, στην κλίμακα μέσης θερμοκρασίας από 80°C έως 150°C, η τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόζεται για θέρμανση κτιρίων και θερμοκηπίων σε μεσαίας κλίμακας βιομηχανικές εγκαταστάσεις, όπως η ξήρανση γεωργικών προϊόντων, τα ιχθυοτροφεία.

Στην κατάταξη των χωρών παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας, οι ΗΠΑ είναι η χώρα που χρησιμοποιεί περισσότερο γεωθερμική πηγή ενέργειας για την άμεση θέρμανση και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα οι Ηνωμένες πολιτείες όσον αφορά την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά και τη

θέρμανση φτάνει ένα ποσό της τάξης των 3,5 GW αλλά και μεγαλύτερο από αυτό (Moya, Aldás & Kararaju, 2018).

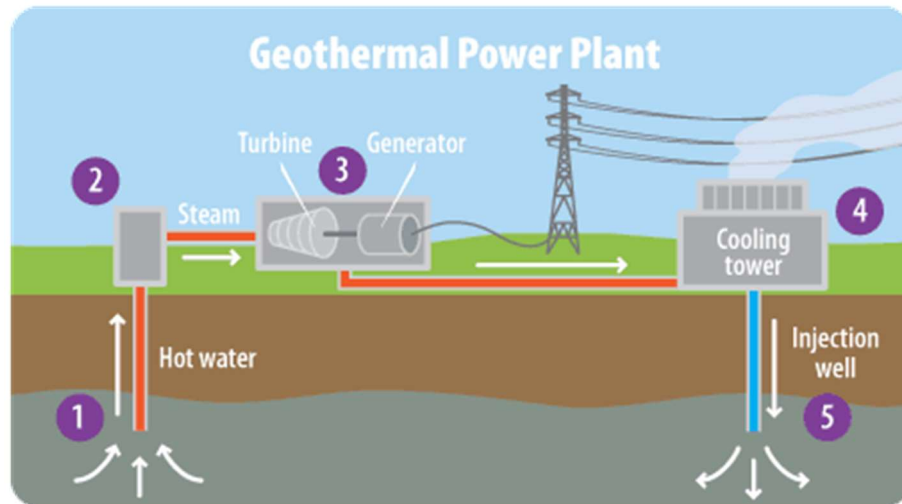
Η θερμότητα από το εσωτερικό της Γης προκαλεί φαινόμενα στην επιφάνειά της, όπως ροές λάβας, θερμοπίδακες και θερμές πηγές. Στο εσωτερικό της Γης και κυρίως στον μανδύα και στον φλοιό υπάρχει πληθώρα χημικών στοιχείων όπως το κάλιο, το ουράνιο και το θόριο των οποίων η διάσπαση είναι γνωστό πως παράγει σημαντικά ποσά θερμότητας. Επιπλέον τα επιφανειακά αυτά φαινόμενα προκαλούνται από την τριβή ανάμεσα στα περιθώρια των τεκτονικών πλακών των ηπείρων της Γης (Johnston, Narsilio & Colls, 2011). Η επακόλουθη ετήσια, χαμηλής ποιότητας, ροή θερμότητας στην επιφάνεια της Γης κυμαίνεται παγκοσμίως κατά μέσο όρο μεταξύ 50 και 70 milliwatt (mW) ανά τετραγωνικό μέτρο.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στα ποσά γεωθερμικής ενέργειας που μπορούν να αξιοποιηθούν και της ηλιακής ακτινοβολίας που έρχεται από το διάστημα. Η γεωθερμική ενέργεια η οποία είναι διαθέσιμη οποιαδήποτε στιγμή, σε οποιοδήποτε μέρος της γης, ανέρχεται στα $148,4 \times 10^{12}$ Watt ανά έτος. Το ποσό αυτό της ενέργειας είναι τόσο μεγάλο που αντιστοιχεί στο τριπλάσιο της ετήσιας ποσότητας ενέργειας όλων των ειδών που καταναλώνεται στον κόσμο ανά έτος. Σε αντίθεση προς τα ποσά αυτά η ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία ισοδυναμεί με 342 Watt/m^2 ανά έτος ποσό αρκετά μικρότερο (Lund & Toth, 2020).

Η χρήση γεωθερμικής ενέργειας γενικά μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες (Lund & Boyd, 2016):

- εφαρμογές άμεσης χρήσης,
- γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (GHP), και
- παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Παραδείγματα αξιοποίησης και εφαρμογής τέτοιων μορφών ενέργειας όπως το νερό και ο ατμός είναι κτίρια όπως σπίτια αλλά και σε πολλές περιπτώσεις ομάδες κτιρίων που αξιοποιούν αυτή τη μορφή ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή συνήθως γίνεται χρήση μιας μορφής κεντρικής πηγής τροφοδοσίας.



Σχήμα 2.1 Γεωθερμική ενέργεια [iv]

Η αξιοποίηση της θερμότητας της γεωθερμικής ενέργειας όπως έχει ειπωθεί και στα πρώτα κεφάλαια της παρούσας εργασίας είναι ευρεία και περιλαμβάνει μία μεγάλη ποικιλία διαφορετικών δραστηριοτήτων τόσο οικιακών όσο και βιομηχανικών. Στις περιπτώσεις αυτές γίνεται αξιοποίηση ζεστού νερού με δύο τρόπους.

Το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας στο σύστημα θέρμανσης ή διαφορετικά με έναν εναλλάκτη θερμότητας. Παραδείγματα δραστηριοτήτων όπου χρησιμοποιείται αυτό το ζεστό νερό αυτό είναι το μαγείρεμα ενώ σε βιομηχανικό επίπεδο, η τήξη του χιονιού, η ξήρανση λαχανικών και η παστερίωση του γάλακτος. Για την αξιοποίηση και την άντληση της γεωθερμικής ενέργειας από το υπέδαφος γίνεται χρήση των γεωθερμικών αντλιών. Η θερμοκρασία στα σχετικά μικρά βάθη από την επιφάνεια της Γης ποικίλλει. Σε βάθη για παράδειγμα μέχρι έξι μέτρα οι θερμοκρασίες του εδάφους κυμαίνονται από 10°C έως 16°C. Στα βάθη αυτά περίπου παρατηρείται και μεγαλύτερη συγκέντρωση των γεωθερμικών αντλιών. Σε μεγαλύτερα βάθη, όπως των 300 μέτρων, οι θερμοκρασίες παρουσιάζουν επίσης σχετικά σταθερές διακυμάνσεις που ξεκινούν από τους 5°C και φτάνουν έως 30°C. Οι συνθήκες αυτές είναι κατάλληλες προκειμένου οι αντλίες να εισάγουν και να χρησιμοποιήσουν το γεωθερμικό νερό τόσο για θέρμανση το χειμώνα όσο και για ψύξη τους θερμούς μήνες.

Κατά συνέπεια, αυτή η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση των κτιρίων κατά τους ψυχρότερους μήνες του έτους, όταν η θερμοκρασία του αέρα πέφτει κάτω από αυτή του εδάφους (Lund & Boyd, 2016). Κατά τον τρόπο αυτό και κατά τους

καλοκαιρινούς μήνες όπου η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από αυτή του εδάφους κυκλοφορεί δροσερός αέρας μέσα στο κτήριο μέσω της αντλίας και έτσι επιτυγχάνετε η ψύξη. Στη συνέχεια επιστρέφει αφού πρώτα ένα μεγάλο μέρος της θερμότητας του έχει χαθεί.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (GHP) αποτελούνται από δύο βασικά μέρη όπως παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.2. Το πρώτο μέρος ονομάζεται εναλλάκτης θερμότητας. Μέσα στους σωλήνες της αντλίας βρίσκεται ένα υγρό που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι νερό ή νερό με κάποιο αντιψυκτικό. Το ρευστό αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου ο εναλλάκτης να μεταφέρει την θερμική ενέργεια στην επιφάνεια.



Σχήμα 2.2 Γεωθερμική αντλία θερμότητας για θέρμανση – ψύξη χώρων [xx]

Το δεύτερο βασικό κομμάτι που αποτελεί το σύστημα GHP είναι η αντλία. Καθώς το υγρό κινείται μέσα από τους σωλήνες, η θερμότητα διαχέεται στα βράχια, το έδαφος και τα υπόγεια ύδατα (Lund, 2010). Κατά τους χειμερινούς μήνες όπου η θερμοκρασία πέφτει ο ρόλος της αντλίας αντιστρέφεται. Το υγρό που βρίσκεται μέσα στις σωληνώσεις αποκτά μεγαλύτερη θερμοκρασία εξαιτίας της ενέργειας που αποθηκεύεται από το έδαφος. Η θερμική αυτή ενέργεια από το ρευστό αξιοποιείται για την θέρμανση των κτιριακών εγκαταστάσεων καθώς αυτή μεταφέρεται στην αντλία θερμότητας του συστήματος.

Πληθώρα επιστημονικών ερευνών και μελετών έχουν καταδείξει τους λόγους για τους οποίους οι αντλίες γεωθερμικής θερμότητας είναι προτιμότερες από τα συμβατικά μέσα ψύξης / θέρμανσης. Πέρα από το γεγονός ότι είναι περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον, έχουν πολύ καλύτερη απόδοση ενώ είναι και πιο οικονομικά καθώς τα ποσοστά ηλεκτρικής ενέργειας που είναι απαραίτητα για να λειτουργήσουν είναι μέχρι και 50% μικρότερα από ότι στα τα συμβατικά μέσα (Glassley, 2014).

Η μείωση της χρήσης ενέργειας που σχετίζεται με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αντιστοιχεί σε μείωση έως και 44% στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τις αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα (που μεταφέρουν θερμότητα μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα). Πέρα από τα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα τους σχετικά με τις συμβατικές μεθόδους θέρμανσης οι αντλίες θερμότητας φαίνεται να είναι περισσότερο φιλικές προς το περιβάλλον σε σύγκριση και με συστήματα που χρησιμοποιούν ηλεκτρική αντίσταση καθώς οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι συγκριτικά χαμηλότερες σε ποσοστά που φτάνουν έως και το 72% (Stober & Bucher, 2013).

Ανάλογα με το βάθος της γεώτρησης, γίνεται διάκριση μεταξύ δύο τύπων γεωθερμικής ενέργειας (Lund & Boyd, 2016):

- Γεωθερμική ενέργεια κοντά στην επιφάνεια (βάθος έως 400 μέτρα): Χρήση για θέρμανση και ψύξη.
- Γεωθερμική ενέργεια σε μεγάλο βάθος (βάθος μεγαλύτερο από 400 μέτρα): Χρήση για θέρμανση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η γεωθερμική ενέργεια της πρώτης κατηγορίας δηλαδή αυτή που αντλείται σε βάθη έως 400 μέτρων αξιοποιείται κυρίως για τη θέρμανση κτιρίων και φυτών. Αυτό συμβαίνει λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας της (25°C). Παρόλα αυτά για τη σωστή αξιοποίησή της γίνεται χρήση αντλιών θερμότητας που αυξάνουν τη θερμοκρασία της γεωθερμικής ενέργειας και την φέρνουν στο κατάλληλο επίπεδο (Dickson & Fanelli, 2013).

Πέρα όμως από τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για σκοπούς θέρμανσης ιδιαίτερα διαδεδομένη είναι και η χρήση της με σκοπό την ψύξη τους θερινούς μήνες (Glassley, 2014).

Ένα άλλο πλεονέκτημα της γεωθερμικής ενέργειας που αντλείται από το υπέδαφος είναι πως έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα φιλική προς το περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει

παγκοσμίως μια τάση για σταδιακά αυξανόμενη εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας κυρίως για οικιακή χρήση, η οποία υποκαθιστά το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Τυπικά συστήματα γεωθερμικής ενέργειας κοντά στην επιφάνεια είναι οι συλλέκτες γης, οι γεωθερμικοί εναλλάκτες θερμότητας, οι βρύσες υπόγειων υδάτων και οι γεωθερμικοί ανιχνευτές θερμότητας (Lund & Boyd, 2016).

Σχετικά με τον δεύτερο τύπο γεωθερμικής ενέργειας, δηλαδή αυτόν της βαθιάς γεωθερμικής ενέργειας (σε βάθη μεγαλύτερα των 400m) σημειώνεται ότι ανασκάπτονται θερμότερες πηγές σε μεγαλύτερα βάθη, αλλά και βαθιές γεωτρήσεις έως και 7 km βάθος (Kristmannsdóttir & Ármannsson, 2003). Επίσης τα γεωθερμικά συστήματα αυτού του τύπου είναι επίσης σημαντικά μεγαλύτερα και ισχυρότερα από τα αντίστοιχα της αβαθούς γεωθερμίας.

Η βαθιά γεωθερμία, σε αντίθεση με την αβαθή γεωθερμία που χρησιμοποιείται κυρίως για οικιακή χρήση, αξιοποιείται σε σκοπούς μεγαλύτερης εμβέλειας όπως η τροφοδοσία με θερμότητα ολόκληρων συνοικιών μιας πόλης. Παράλληλα με την παραγωγή θερμότητας εφόσον τα επίπεδα θερμοκρασίας είναι αρκετά υψηλά είναι δυνατή και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μία άλλη χρήση της βαθιάς γεωθερμικής ενέργειας είναι η τροφοδοσία λουτρών με ιαματικό νερό υψηλής θερμοκρασίας. Επιπλέον ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι πως οι καιρικές συνθήκες δεν επηρεάζουν την χρήση τέτοιας μορφής ενέργειας και επομένως η παροχή θερμότητας και ηλεκτρισμού πραγματοποιείται απρόσκοπτα όλους τους μήνες του έτους. (Lund & Toth, 2020).

Συνοψίζοντας, η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται για την θέρμανση και ψύξη πολύ μεγάλων κτιρίων βιομηχανικών μονάδων μέχρι και ολόκληρων συνοικιών μιας πόλης. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται και στο χώρο της αγροτικής παραγωγής όπου πολλά θερμοκήπια θερμαίνονται και ηλεκτροδοτούνται με αυτό τον τρόπο.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από την βαθιά γεωθερμική ενέργεια είναι ιδιαίτερα σημαντική με βασικότερο πλεονέκτημα το γεγονός πως μιας τέτοιας μορφής ενέργεια είναι διαθέσιμη όλες τις ώρες της ημέρας, ενώ το κόστος της είναι σημαντικά χαμηλότερο. Για λόγους αποδοτικότητας, μέσω βαθιάς γεωθερμικής ενέργειας, η ηλεκτρική ενέργεια συμπαράγεται με την θερμότητα (Tester et.al., 2006).

2.2 Θέρμανση και ψύξη κτηρίων

Τα συστήματα τηλεθέρμανσης και ψύξης που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές μπορούν να αποτελέσουν βασικό συστατικό των έξυπνων ενεργειακών συστημάτων και ταυτόχρονα να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μείωση του αποτυπώματος του άνθρακα στον κτιριακό τομέα (Ragnarsson, 2003). Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μία σύγχρονη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας που τα τελευταία χρόνια τείνει να ενσωματωθεί στις κτηριακές εγκαταστάσεις και να αντικαταστήσει τις παραδοσιακές μεθόδους θέρμανσης και ψύξης.

Πέρα όμως από τα πολλά πλεονεκτήματα που παρέχει η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας ακόμα σε πολλές περιπτώσεις η αξιοποίησή της γίνεται με δισταγμό. Αυτό έχει να κάνει κυρίως με την έλλειψη ενημέρωσης του κοινού, την απουσία χρηματοδότησης και συναφών κυβερνητικών πολιτικών καθώς και νομικά πλαίσια τα οποία δυσχεραίνουν την μετάβαση από τις παραδοσιακές μεθόδους χρήσης συμβατικών μορφών ενέργειας στις νέες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (Brophy, 1997).

Όλες αυτές οι δυσκολίες καθιστούν αναγκαία και απαραίτητη την λήψη μέτρων και την δημιουργία πλαισίων που να εξυπηρετούν την ταχεία διάδοση και ανάπτυξη των συστημάτων γεωθερμικής ενέργειας τόσο για οικιακή όσο και για βιομηχανική χρήση. Στο πλαίσιο αυτό είναι απαραίτητη η συνδρομή και συνεργασία πολλών διαφορετικών φορέων μεταξύ τους, όπως η τοπική αυτοδιοίκηση, οι κυβερνήσεις, οι ευρωπαϊκοί και οι διεθνείς θεσμοί οι οποίοι θα πρέπει να προσπαθήσουν να ευαισθητοποιήσουν το κοινό και να προωθήσουν την αξιοποίηση των γεωθερμικών πόρων, όπως είναι τα δίκτυα τηλεθέρμανσης (Ragnarsson, 2003).

Στην κατεύθυνση αυτή η πρώτη πρωτοβουλία από διεθνείς και παγκόσμιους κυβερνητικούς οργανισμούς πραγματοποιήθηκε με σκοπό την προώθηση της αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα μέσα από την συνεργασία του Διεθνούς Οργανισμού Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Γεωθερμικής Ενέργειας και υπό την αιγίδα της Παγκόσμιας Γεωθερμικής Συμμαχίας διοργανώθηκε το διεθνές συνέδριο για τα Έξυπνα Ενεργειακά Συστήματα το 2013. Σκοπός αυτής της επιστημονικής εκδήλωσης ήταν η ευαισθητοποίηση του κοινού αναφορικά με τα πλεονεκτήματα της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και πολιτικές που θα

μπορούσαν στο μέλλον να αυξήσουν τα ποσοστά γεωθερμικής ενέργειας τα οποία αξιοποιούνται τόσο για οικιακή όσο και βιομηχανική χρήση. Η συζήτηση κρίθηκε ως πολύ εποικοδομητική καθώς πολλές προτάσεις και λύσεις τέθηκαν στο τραπέζι και για πιθανή μελλοντική εφαρμογή (Dickson & Fanelli, 2013).

Η πιο διαδεδομένη και δημοφιλής μορφή αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας είναι οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας οι οποίες αξιοποιούνται κατεξοχήν για την θέρμανση κτιρίων αλλά και μεγαλύτερων χώρων. Περίπου το 70,95% της χρήσης της γεωθερμικής ισχύος παγκοσμίως με αντλίες θερμότητας χρησιμοποιείται για γεωθερμικές αντλίες θερμότητας με πολλαπλή χρήση (κυρίως για κτήρια) και επίσης το 10,74% του συνολικού παγκόσμιου μεριδίου χρησιμοποιείται ειδικά για θέρμανση χώρων (Tester et.al., 2006).

Από την άλλη πλευρά, από άλλα στατιστικά στοιχεία της παγκόσμιας χρήσης γεωθερμικής χωρητικότητας χωρίς αντλίες θερμότητας διαπιστώθηκε ότι το 36,98% τοις εκατό της παγκόσμιας χρήσης χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων και στη 2η θέση το 44,74% του συνολικού μεριδίου καταλαμβάνει για θέρμανση πισινών κολύμβησης. Στις σύγχρονες κοινωνίες και με τις νέες μορφές ενεργειακών αναγκών που αναδύονται, η τηλεθέρμανση είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη και δύναται πλέον να παρέχει ενέργεια από 44.772 TJ κάθε χρόνο. (Lund & Toth, 2020).

Μία ιστορική αναδρομή βέβαια καταδεικνύει πως η τηλεθέρμανση δεν είναι μία καινούργια πρακτική αλλά αποτελεί ίσως την πιο παλιά μορφή αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Τα πρώτα ιστορικά στοιχεία καταδεικνύουν πως η τηλεθέρμανση αξιοποιήθηκε στη Γαλλία τον 14ο αιώνα και η δημοτικότητα της παραμένει αναλλοίωτη μέχρι και σήμερα. Οι σύγχρονες συνθήκες και ανάγκες θέρμανσης καθιστούν πλέον αναγκαία την διαχείριση της θερμοκρασίας με τέτοιο τρόπο ώστε να αυξάνεται σε συγκεκριμένα επίπεδα ανάλογα με τις ανάγκες. Έτσι ακόμα και σε περιπτώσεις στις οποίες οι ενεργειακές ανάγκες απαιτούν η θερμοκρασία να κυμαίνεται γύρω στους 50°C, ενώ οι πόροι οι οποίοι είναι διαθέσιμοι βρίσκονται σε αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες, με την αξιοποίηση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας η αύξηση αυτή καθίσταται πλέον δυνατή.

2.3 Χρήση της γεωθερμίας για θεραπευτικούς σκοπούς

Οι γεωθερμικοί πόροι αποτελούνται από θερμική ενέργεια από το εσωτερικό της γης που αποθηκεύεται τόσο σε βραχώδη υλικά όσο και σε παγιδευμένο ατμό ή σε υγρό νερό. Ο λόγος για τον οποίον η γεωθερμική ενέργεια ορίζεται και θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι διότι, ανεξάρτητα από τα ποσά άντλησης ενέργειας, η θερμότητα αποκαθίσταται διαρκώς μέσα από τις γύρω θερμότερες περιοχές. Παράλληλα τα εξαγόμενα γεωθερμικά ρευστά υγρά αναπληρώνονται και αντικαθίσταται και αυτά διαρκώς μέσα από την έκχυση αντίστοιχων ρευστών από τις γύρω θερμές περιοχές. (Raymond, et.al. 2015).

Ο σκοπός της άμεσης θέρμανσης της γεωθερμικής ενέργειας στις θεραπείες μπορεί να είναι πολύ δημοφιλής και όπως ήδη αναφέρθηκε αφορά κυρίως τις ιαματικές θεραπείες. Πρόκειται για μια εφαρμογή που χρονολογείται από τα αρχαία χρόνια. Σε μέρη όπου υπήρχαν πηγές οι άνθρωποι συνήθιζαν να πηγαίνουν με σκοπό να καταπολεμήσουν διάφορα προβλήματα υγείας (Dickson & Fanelli, 2013).

Οι θεραπείες που σχετίζονται με τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας δεν αφορούν μόνο μυο-σκελετικά προβλήματα, τα οποία αναμφίβολα είναι από τα πλέον δημοφιλή, αλλά και προβλήματα που σχετίζονται με αναπνευστικά ζητήματα, άσθμα, αλλεργίες, ρινίτιδες, ιγμορίτιδες κλπ., (Kristmannsdóttir & Ármannsson, 2003).

Επίσης, η χρήση γεωθερμίας στην θέρμανση πισίνων κολύμβησης, ως επί το πλείστον χωρίς τη χρήση αντλίας θερμότητας, είναι από τις πολύ δημοφιλείς εφαρμογές και κατέλαβε το 2015 την 1η θέση μεταξύ των άλλων γεωθερμικών εφαρμογών στην παγκόσμια κατάταξη της παγκόσμιας γεωθερμικής ικανότητας χωρίς αντλίες θερμότητας με 44,74% του συνολικού μεριδίου (Raymond, Malo, Tanguay, Grasby & Bakhteyar, 2015). Έτσι με τον τρόπο αυτόν η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αντληθεί όχι μόνο από το υπέδαφος αλλά και από την επιφάνεια της γης όπου υπάρχει γεωθερμική ενέργεια όπου αυτό καθίσταται δυνατόν. Σημειώνεται ότι οι περισσότερες από τις επιφανειακές γεωθερμικές εκδηλώσεις είναι σε ρευστές μορφές, όπως οι θερμοπίδακες και οι θερμές πισίνες, καθώς αυτή η επιφανειακή εκδήλωση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί απευθείας για λουτρά κατοικιών και για κολυμβητικές δραστηριότητες, όπως το φυσικό ζεστό νερό πηγής σε κάποια περιοχή (Lund & Toth, 2020). Το θερμό νερό το οποίο βρίσκεται υπόγεια μπορεί να αντληθεί και να εξαχθεί

σε πισίνες προκειμένου η θερμοκρασία να είναι ευχάριστη και φιλική προς τους εξυπηρετούμενους (Lund, 2010).

2.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας δεν αποτελεί μία σύγχρονη τεχνική αλλά αντίθετα τοποθετείται χρονολογικά αρκετές χιλιάδες χρόνια πίσω. Ιστορικά ευρήματα αναδεικνύουν πως πολλοί αρχαίοι πολιτισμοί, όπως οι Κινέζοι και οι Ρωμαίοι, χρησιμοποιούσαν θερμό νερό από το υπέδαφος για ποικίλες χρήσεις, όπως για μαγείρεμα, μπάνιο ακόμα και για ιατρικούς σκοπούς. Ειδικότερα σε περιοχές όπου το κλίμα είναι ψυχρό η χρήση του γεωθερμικού νερού ήταν από πάντα ιδιαίτερα δημοφιλής.

Στη σύγχρονη εποχή ανάλογα διαδεδομένη και δημοφιλής παραμένει η χρήση του γεωθερμικού νερού η οποία βρίσκει εφαρμογή σε πολλές και διαφορετικές δραστηριότητες. Μία από τις πιο συνηθισμένες δραστηριότητες είναι η χρήση γεωθερμικού νερού για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μάλιστα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί την πιο συνηθισμένη μορφή αξιοποίησης του γεωθερμικού νερού υψηλής θερμοκρασίας δηλαδή γεωθερμικών πόρων που η θερμοκρασία τους ξεπερνάει τους 120°C). Γνωστές χρήσεις της γεωθερμικής θερμότητας είναι στις ιχθυοκαλλιέργειες και στην θέρμανση εδάφους σε χαμηλές θερμοκρασίες, μέσω θέρμανσης και ξήρανσης χώρου σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες, έως τη βιομηχανική επεξεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα σε ψυχρές χώρες, καθώς και γεωργικών και βιομηχανικών διεργασιών (Kumar, Gupta & Rawat, 2020).

Η ευκολία στην χρήση των συστημάτων γεωθερμικής παραγωγής θερμότητας έγκειται στο γεγονός πως μπορούν συνεχώς να τροφοδοτούν τις εγκαταστάσεις με υγρά στην απαιτούμενη θερμοκρασία. Το νερό το οποίο κυκλοφορεί στους σωλήνες και στα πλαίσια των συστημάτων θέρμανσης ενός κτιρίου διατηρεί τη θερμοκρασία του σταθερή κατά τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς διαρκώς πραγματοποιείται ανταλλαγή θερμότητα με υπόγεια ύδατα σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται γύρω στους 18°C (Raymond, et.al. 2015). Εάν η θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων είναι 30°C, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παστερίωση του γάλακτος σε τυροκομείο. Αυτή η παθητική ή «δωρεάν» θέρμανση και ψύξη (H&C, Heating/Cooling) είναι μια από τις πιο φιλικές μορφές H&C που υπάρχουν και η βάση των περισσότερων τύπων της άμεσης χρήσης γεωθερμικής θερμότητας μέχρι πρόσφατα

(Lund & Toth, 2020). Παρόλα αυτά υπάρχει ένα αρνητικό στοιχείο. Η θερμοκρασία αυτής της παθητικής χρήσης πρέπει να είναι ανάλογη με τη θερμοκρασία των υδάτων κάτω από τη γη κάτι το οποίο δεν είναι πάντα εφικτό.

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι ποσότητες γεωθερμικής και υδροθερμικής ενέργειας που είναι απαραίτητες για την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας, όπως για παράδειγμα τις ανάγκες της ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρισμού, απαντώνται σε ορεινές περιοχές ή σε περιοχές με έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα. (Dickson & Fanelli, 2013).

Οι λόγοι για τους οποίους η γεωθερμική ενέργεια αντιμετωπίζεται ως ένας ανανεώσιμος πόρος έχει να κάνει με το εξής φαινόμενο. Αυτό που αξιοποιείται είναι αποκλειστικά η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το υπέδαφος. Στη συνέχεια η υπόγεια θερμική ενέργεια μεταφέρεται στην γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία, όπως για παράδειγμα διάφορες χημικές ουσίες και υγρά, επιστρέφουν ξανά στην πηγή από την οποία προήλθαν στο υπέδαφος.

Η σύγχρονη επιστήμη που ασχολείται με την γεωθερμική ενέργεια αξιοποιεί τρεις διαφορετικούς τύπους μονάδων παραγωγής αυτού του τύπου ενέργειας. Οι τρεις αυτοί τύποι είναι οι εξής: Πρώτον, οι μονάδες ξηρού ατμού, δεύτερον, οι μονάδες ατμού φλας και τρίτον, οι ιδιωτικές μονάδες ατμού. Από αυτούς τους τρεις τύπους γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, η μονάδα παραγωγής ενέργειας φλας ατμού είναι ο πιο κοινός τύπος που χρησιμοποιείται σήμερα, αν και η τεχνολογία του φλας ατμού είναι πιο περίπλοκη από τον ξηρό ατμό, αλλά το νερό που έχει απομείνει και ο τυχόν συμπυκνωμένος ατμός εγχέονται ξανά στο υπέδαφος, καθιστώντας έτσι την πίεση και τους πόρους πιο βιώσιμους για να διατηρηθούν (Raymond, et.al., 2015).

Μία πιο αποτελεσματική μορφή τεχνολογίας αναφορικά με την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας ονομάζεται μονάδα γεωθερμικού συνδυασμένου κύκλου (geothermal combined cycle unit). Η τεχνολογική αυτή μορφή αναπτύχθηκε στην Ινδονησία και ξεχωρίζει καθώς εξαγει τον θερμαινόμενο ατμό και τους υπόλοιπους πόρους από το υπέδαφος για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας με τρόπο βιώσιμο και λιγότερο παρεμβατικό (Lund & Toth, 2020). Ο σταθμός ηλεκτροπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου χρησιμοποιεί τόσο έναν αεροστρόβιλο όσο και έναν ατμοστρόβιλο ταυτόχρονα για

να παράγει έως και 50% περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από το ίδιο καύσιμο σε σχέση με μια παραδοσιακή μονάδα απλού κύκλου. Η απορριπτόμενη θερμότητα από τον αεροστρόβιλο διοχετεύεται στον κοντινό ατμοστρόβιλο, ο οποίος παράγει επιπλέον ισχύ.

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως στην παρούσα εργασία η γεωθερμική ενέργεια υπό συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή αυτή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να λάβει τρεις διαφορετικές μορφές και να πραγματοποιηθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους. (Huenges & Ledru, 2010).

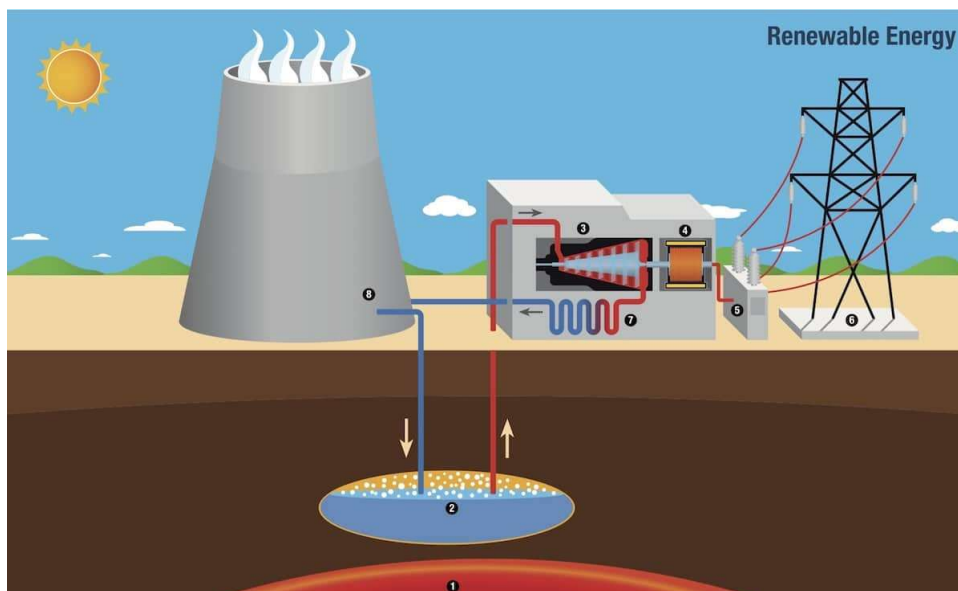
Οι τρεις αυτοί διαφορετικοί τρόποι παρόλο που παρουσιάζουν κάποια στιγμή όντως διαφορές εμφανίζουν ένα κοινό στοιχείο αναφορικά με τον τρόπο που χρησιμοποιούν τον ατμό και τη γεωθερμική ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρισμού και την τροφοδοσία των ηλεκτρικών γεννητριών. Επίσης και στις τρεις περιπτώσεις το περίσσειμα νερού και χημικών ουσιών επιστρέφει στο έδαφος όπου αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση. Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα αυτό καθιστά την γεωθερμική ενέργεια μία ανανεώσιμη μορφή ενέργειας (He, Han & Wen, 2018).

Οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία δηλαδή αυτή του ξηρού ατμού τείνουν απλά να συλλέγουν τον θερμαινόμενο ατμό από το υπέδαφος. Στην περίπτωση αυτή της πρώτης κατηγορίας των θερμικών σταθμών οι θερμαινόμενοι υδρατμοί εισέρχονται σε έναν στρόβιλο και στη συνέχεια σε μία ηλεκτρική γεννήτρια για την παραγωγή ενέργειας. Αντιθέτως οι σταθμοί παραγωγής που βασίζονται στους άλλους δύο τύπους δεν περιορίζονται μόνο στον ατμό αλλά χρησιμοποιούν μαζί και θερμαινόμενο νερό προκειμένου να ξεκινήσει η παραγωγή ενέργειας.

Στους σταθμούς τύπου φλας η διαδικασία που ακολουθείται είναι διαφορετική. Δεν αντλείται ατμός αλλά και νερό, από το υπέδαφος και υπό πίεση. Στη συνέχεια το υψηλά θερμαινόμενο αυτό νερό διοχετεύεται σε κάποιες ειδικές δεξαμενές που ονομάζονται δεξαμενές λάμπης. Η απότομη πτώση του επιπέδου της πίεσης έχει ως αποτέλεσμα το νερό να μετατρέπεται σε ατμό μέσω της εξάτμισης. Ο ατμός αυτός που παράγεται χρησιμοποιείται στη συνέχεια για να τροφοδοτήσει με ενέργεια τις ηλεκτρικές γεννήτριες όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3 (Lund & Toth, 2020).

Τέλος αναφέρονται οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δυαδικού τύπου. Η ιδιαιτερότητα που υπάρχει στον τύπο αυτόν είναι πως ο ατμός που χρησιμοποιείται

προέρχεται από ένα δευτερεύον ρευστό. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το ρευστό αυτό είναι υγροί υδρογονάνθρακες ή αμμωνία. Τα υγρά αυτά κυκλοφορούν σε ένα σύστημα σωλήνων και στη συνέχεια ο ατμός που παράγεται τροφοδοτεί τις γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.3 Εξόρυξη γεωθερμικής ενέργειας [v]

Πιο συγκεκριμένα στους σταθμούς παραγωγής δυαδικού τύπου κατά το πρώτο στάδιο αντλείται θερμαινόμενο νερό από το υπέδαφος. Ένα μεγάλο μέρος της θερμικής ενέργειας που προέρχεται από το νερό μεταφέρεται στο ρευστό το οποίο χρησιμοποιείται, όπως είναι η αμμωνία, μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το λειτουργικό αυτό υγρό να εξατμίζεται και ο ατμός που παράγεται στη συνέχεια μεταφέρεται στον στρόβιλο. Μετά από αυτό ο ατμός συμπυκνώνεται πάλι γίνεται νερό εισέρχεται πάλι στον εναλλάκτη για μελλοντική χρήση. (Raymond, et.al., 2015).

Στις περισσότερες περιπτώσεις για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται νερό αρκετά υψηλής θερμοκρασίας, συνήθως πάνω από τους 175°C, ώστε όλη διαδικασία να έχει χαμηλότερο οικονομικό κόστος. Παρόλα αυτά σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του δυαδικού τύπου η διαδικασία που χρησιμοποιείται είναι λίγο διαφορετική. Εκεί χρησιμοποιείται ένας εναλλακτικός τύπος τεχνολογίας που ονομάζεται οργανικός κύκλος Rankine (organic Rankine cycle). Η προηγμένη αυτή τεχνολογία χρησιμοποιεί άλλες μορφές παραγωγής ενέργειας, όπως βιομηχανικά απόβλητα ή βιομάζα, τα οποία καίγονται

σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Έτσι και το νερό που χρησιμοποιείται είναι και αυτό χαμηλότερης θερμοκρασίας που μπορεί να φτάσει έως και τους 85°C. Με αυτό τον τρόπο γίνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων στην όλη διαδικασία παραγωγής. (He, Han & Wen, 2018), (Kumar, Gupta & Rawat, 2020).

Από την άλλη πλευρά η γεωθερμική ενέργεια όταν χρησιμοποιείται με άμεσο τρόπο αξιοποιείται απλά ως θερμότητα χωρίς να μετατρέπεται σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, όπως είναι η ηλεκτρική. Μάλιστα το 2015 στο Παγκόσμιο Συνέδριο Γεωθερμίας έγινε αναφορά πώς 83 κράτη σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν με άμεσο τρόπο την γεωθερμική θερμότητα. Η συνολική ισχύς των 70,3 GW εγκαταστάθηκε το 2015 και παράγαγε συνολικά 58,7 EJ θερμικής ενέργειας (Raymond, et.al., 2015).

Είναι επίσης άξιο αναφοράς πώς από το ποσοστό άμεσης χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας αυτό το οποίο προορίζεται για βιομηχανικούς σκοπούς κατέχει μόλις το 3% του συνολικού ποσοστού σε παγκόσμιο επίπεδο. Η βιομηχανική χρήση της γεωθερμικής θερμότητας κατέχει μάλιστα την τελευταία θέση τόσο στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται αντλίες θερμότητας όσο και όταν αυτές δεν αξιοποιούνται (Lund & Toth, 2020).

Οι χρήσεις αυτής της εφαρμογής μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες όπως: θέρμανση διεργασιών, κλιματισμός βιομηχανικών χώρων, ξήρανση τροφίμων και ψαριών, επεξεργασία χαρτοπολτού και χαρτιού, πλύσιμο υφασμάτων, ακόμη και παραγωγή καυσίμου και ενίσχυση λαδιού (Huenges & Ledru, 2010).

Οι βιομηχανικές χρήσεις χρειάζονται μόνο μια πηγή θερμότητας που να μπορούν να προμηθεύονται από γεωθερμικά πεδία χαμηλών έως μεσαίων θερμοκρασιών. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως είναι η γεωθερμία, θα μπορούσαν στο μέλλον να αποτελέσουν μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας που χρησιμοποιείται στις βιομηχανίες. Μάλιστα σήμερα το 54% της ενέργειας που καταναλώνεται στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως είναι ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. (Huenges & Ledru, 2010).

2.5 Χρήση της γεωθερμίας στον αγροτικό και κτηνοτροφικό τομέα

Οι εφαρμογές των γεωθερμικών ρευστών σε γεωργικές δραστηριότητες συνίστανται στον έλεγχο της θερμοκρασίας της καλλιέργειας των φυτών σε ανοιχτές καλλιεργήσιμες εκτάσεις και θερμοκήπια. Είναι πολλές οι περιπτώσεις που το προερχόμενο από το έδαφος νερό χρησιμοποιείται για γεωργικούς σκοπούς. Για παράδειγμα για την θέρμανση του εδάφους πολύ συχνά χρησιμοποιείται το νερό από ιαματικές πηγές, ενώ σε μέρη όπου απουσιάζουν οι φυσικές δεξαμενές νερού όπως τα ποτάμια και οι λίμνες, το νερό από το υπέδαφος χρησιμοποιείται για άρδευση. Η θέρμανση του εδάφους παρέχεται με την ταφή λεπτών σωληνώσεων όπου κυκλοφορούν θερμά υγρά (Lund & Toth, 2020).

Παρόλα αυτά η χρησιμοποίηση του ιαματικού νερού για γεωργικούς σκοπούς έχει ένα σημαντικό μειονέκτημα καθώς είναι πολύ κοστοβόρα. Στις περιπτώσεις που απουσιάζει το σύστημα άρδευσης και γίνεται χρήση αγωγών έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η θερμομόνωση του εδάφους καθώς λόγω πτώσης της υγρασίας μειώνονται τα επίπεδα αγωγιμότητας του (He, Han & Wen, 2018).

Έτσι οι περισσότεροι ερευνητές προτείνουν πως η πιο αποτελεσματική λύση είναι ο συνδυασμός άρδευσης και θέρμανσης του εδάφους. Παρόλα αυτά η χρήση γεωθερμικού νερού ενέχει και πολλούς κινδύνους. Ο πιο σημαντικός είναι πως το νερό μπορεί να περιέχει ουσίες που είναι επικίνδυνες και τοξικές και τις καλλιέργειες. Για αυτό το λόγο προτείνεται διαρκής έλεγχος της ποιότητας του νερού. (Zhu, et.al., 2015).

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας του νερού στις γεωργικές διαδικασίες είναι πάρα πολύ σημαντικός με πολλαπλά οφέλη. Παρόλα αυτά η πιο ευρέως διαδεδομένη εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας στον τομέα της γεωργίας είναι αδιαμφισβήτητα αυτή του θερμοκηπίου. Η χρήση των θερμοκηπίων είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται τα τελευταία αρκετά χρόνια στις περισσότερες χώρες του κόσμου. Με τον τρόπο αυτόν καθίσταται δυνατή η παραγωγή φυτών και λαχανικών σε περιόδους που φυσικώς δεν αναπτύσσονται ή σε κλίματα στα οποία δεν ευδοκιμούν καλύπτοντας έτσι τις διατροφικές ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού με τρόπο που παλαιότερα φανταζόταν απλά ουτοπικός (He, Han & Wen, 2018).

Υπάρχουν διάφορες λύσεις για την επίτευξη βέλτιστων συνθηκών ανάπτυξης, με βάση τη βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης κάθε φυτού και την ποσότητα φωτός, τη συγκέντρωση

διοξειδίου του άνθρακα CO₂ στο περιβάλλον του θερμοκηπίου, την υγρασία του εδάφους και του αέρα και την κίνηση του αέρα. Η θέρμανση στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Ένας τρόπος είναι η κυκλοφορία της θερμότητας εναλλακτών θερμότητας, δηλαδή μέσα σε σωλήνες ή αγωγούς ζεστού νερού, οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται είτε στο πάτωμα είτε μέσα στο ίδιο του το θερμοκήπιο. Ένας άλλος τρόπος είναι με μονάδες πτερυγίων που βρίσκονται στους τοίχους της κατασκευής του θερμοκηπίου ή κάτω από πάγκους. Επίσης σε όλες τις περιπτώσεις μπορεί να πραγματοποιηθεί συνδυασμός των αναφερόμενων συστημάτων (Zhu, et.al., 2015).

Όπως και στην περίπτωση της βιομηχανικής παραγωγής έτσι και στην περίπτωση των θερμοκηπίων το κόστος λειτουργίας και παραγωγής μπορεί να μειωθεί πάρα πολύ σημαντικά εφόσον γίνει εφαρμογή της γεωθερμικής θερμότητας. Το κόστος μειώνεται ακόμα περισσότερο όταν δεν γίνεται χρήση αντλιών αλλά τα γεωθερμικά υγρά ρέουν εντός της επιφάνειας του θερμοκηπίου. Μάλιστα το λειτουργικό κόστος του θερμοκηπίου σε πολλές περιπτώσεις αντιπροσωπεύουν το 35% του συνολικού κόστους παραγωγής προϊόντων. Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η εφαρμογή της θερμότητας μπορεί να αποβεί μία πολύ επικερδής κίνηση στο χώρο της γεωργικής παραγωγής. Η γεωθερμική άλμη απαιτεί επεξεργασία, καθώς η χημική τους σύνθεση μπορεί να δημιουργήσει εναποθέσεις στους σωλήνες, τις αντλίες και τις πλάκες εναλλάκτη θερμότητας που συνεπάγεται σημαντική επιβάρυνσή τους (He, Han & Wen, 2018).

Όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογία της αξιοποίησης της γεωθερμικής τεχνολογίας αποκτά όλο και μεγαλύτερη δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Ολλανδία, μία χώρα του δυτικού κόσμου όπου παρατηρήθηκε σημαντική ενίσχυση της τοπικής οικονομίας. Η ανανεώσιμη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας την κάνει ιδιαίτερα δελεαστική και δημοφιλής καθώς αξιοποιεί στο έπακρο τα υπόγεια θερμικά ύδατα και την τεχνολογία των αντλιών. (Zhu, et.al., 2015).

Ο έλεγχος και η ικανότητα τροποποίησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη τόσο για την κτηνοτροφία όσο και για την γεωργική παραγωγή. Έτσι, οι ευεργετικές ιδιότητες της αξιοποίησης της γεωθερμίας στην κτηνοτροφική παραγωγή έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια σε αυξημένη εφαρμογή της. Όπως και στην περίπτωση της γεωργίας μία τέτοια εφαρμογή είναι ιδιαίτερα επικερδής. Μάλιστα σε κάποιες περιπτώσεις

θεωρείται ακόμα πιο επικερδής, καθώς η εγκατάσταση θέρμανσης σε ένα θερμοκήπιο είναι δύο φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για την εγκατάσταση θέρμανσης σε μία κτηνοτροφική παραγωγή (Lund & Toth, 2020).

Η αναπαραγωγή σε περιβάλλον ελεγχόμενης θερμοκρασίας βελτιώνει την υγεία των ζώων εκτροφής και τα ζεστά υγρά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό, την απολύμανση και την ξήρανση των καταφυγίων ζώων και των απορριμμάτων (Kumar, Gupta & Rawat, 2020).

Ακόμα πιο διαδεδομένη είναι η εφαρμογή της γεωθερμίας στην εκτροφή ψαριών. Η μεγάλη σημασία που διαδραματίζει ο έλεγχος και η διατήρηση της θερμοκρασίας σε κατάλληλα επίπεδα για την ανάπτυξη των διαφόρων ειδών ιχθυοκαλλιέργειας καθώς και τα αυξημένα επίπεδα ζήτησης καθιστούν ιδιαίτερα διαδεδομένη την χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στον κλάδο αυτόν της κτηνοτροφίας. Η σωστή διατήρηση της θερμοκρασίας μπορεί να έχει πολλά θετικά αποτελέσματα όπως την αύξηση της παραγωγής, την εκτροφή ειδών σε κλίματα και χώρες που φυσιολογικά δεν ευδοκιμούν, καθώς και τον διπλασιασμό του αναπαραγωγικού κύκλου. Μερικά από τα είδη που εκτρέφονται με εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας είναι το λαβράκι ο κέφαλος ο σολομός τα χέλια καθώς και οστρακοειδή όπως τα μύδια τα στρείδια αλλά και καρκινοειδή όπως τα καβούρια ο αστακός και οι γαρίδες.

Η υδατοκαλλιέργεια περιλαμβάνει ακόμα και την εκτροφή εξωτικών ειδών όπως για παράδειγμα αλιγατόρων και κροκοδείλων, ως τουριστικά αξιοθέατα, η οποία θα μπορούσε να αποδειχθεί επικερδής δραστηριότητα. Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας που απαιτούνται για την εκτροφή τέτοιων ειδών κυμαίνονται μεταξύ 20°C και 30°C. Παράλληλα η θερμοκρασία της πηγής επηρεάζει και το μέγεθος της εγκατάστασης της ιχθυοκαλλιέργειας. (Lund & Toth, 2020).

Η γεωθερμική ενέργεια έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την παροχή της θερμότητας που απαιτείται για την καλλιέργεια της σπιρουλίνα (*Spirulina*) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σε εύκρατες χώρες. Πρόκειται για ένα μονοκύτταρο, σπειροειδές, γαλαζοπράσινο μικροφύκος, που στο παρελθόν αποκαλούνταν «σούπερ-τροφή» λόγω της θρεπτικής του αξίας, αν και αυτή τη στιγμή διατίθεται στο εμπόριο ως συμπλήρωμα διατροφής (Kumar, Gupta & Rawat, 2020). Η σπιρουλίνα καλλιεργείται σε μια σειρά από

τροπικές και υποτροπικές χώρες, σε λίμνες ή τεχνητές λεκάνες, όπου οι συνθήκες είναι ιδανικές για τη γρήγορη και εκτεταμένη ανάπτυξη της (ένα ζεστό, αλκαλικό περιβάλλον πλούσιο σε CO₂).

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής θερμότητας στη βιομηχανική παραγωγή είναι πολλές και ποικίλες. Η λίστα είναι πάρα πολύ μεγάλη και περιλαμβάνει βιομηχανικές δραστηριότητες όπως η παστερίωση του γάλατος η εμφιάλωση νερού αλλά και ανθρακούχων ποτών η επεξεργασία τροφίμων και η παραγωγή λαδιού η εκχύλιση διοξειδίου του άνθρακα η βιομηχανία του δέρματος. Άλλες εφαρμογές αποτελούν η βιομηχανία του χαρτιού η επεξεργασία του βορικού οξέος ενώ ιδιαίτερα διαδεδομένη είναι η αξιοποίηση της στην παραγωγή και εξαγωγή του αλατιού. Ιδιαίτερα στην περίπτωση αυτή οι εγκαταστάσεις εξαγωγής της θερμικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα μεγάλες ενώ η κατανάλωση κυμαίνεται επίσης σε υψηλά επίπεδα (Kumar, Gurta & Rawat, 2020).

Ιδιαίτερα η διαδικασία εξαγωγής και παραγωγής αλατιού είναι ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής της γεωθερμικής θερμότητας στον τομέα της βιομηχανίας. Παράλληλα σε πολλές περιοχές ηφαιστειακής προέλευσης έχει προταθεί η χρήση γεωθερμικής ενέργειας με σκοπό την αφαλάτωση ώστε να αυξηθεί η διαθέσιμη ποσότητα πόσιμου νερού. Αν και μέχρι τώρα λόγω υψηλού οικονομικού κόστους δεν έχει γνωρίσει μεγάλη απήχηση μία τέτοια λύση θα ήταν πιο πιθανή στο μέλλον με τη χρήση αντλιών θερμότητας. Άλλα χαρακτηριστικά παραδείγματα αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στον τομέα της βιομηχανίας αποτελούν η βιομηχανία γαλακτοκομικών προϊόντων στο Όρεγκον των ΗΠΑ.

Η επιστήμη και η βιομηχανία της οινοποιίας είναι ένας άλλος κλάδος παραγωγής στον οποίον τα τελευταία χρόνια εφαρμόζεται όλο και περισσότερο η γεωθερμική ενέργεια. Τα γεωθερμικά συστήματα αξιοποιούνται τόσο με σκοπό τον έλεγχο της θερμοκρασίας όσο και αυτών της υγρασίας (Lund & Toth, 2020).

Η κατασκευή μιας γεωθερμικής εγκατάστασης ποικίλει αναφορικά με το κόστος. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν από την κατασκευή ενός τέτοιου έργου όπως είναι οι διαθέσιμοι πόροι, οι οικονομικές συνθήκες, τα κίνητρα, η τιμή των υπόλοιπων διαθέσιμων πηγών ενέργειας, ο χρόνος φόρτωσης κλπ..

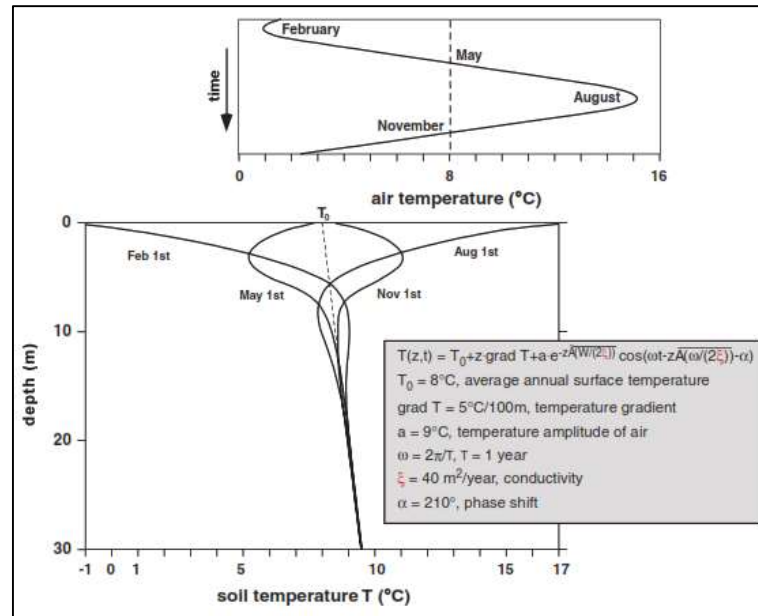
Η θέρμανση θερμοκηπίου είναι μια από τις πιο εφαρμόσιμες χρήσεις άμεσης θέρμανσης της γεωθερμικής ενέργειας που υποστηρίζει τις γεωργικές βιομηχανίες στη μαζική χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για εμπορικούς σκοπούς. Η αξιοποίηση της θέρμανσης θερμοκηπίου με γεωθερμική ενέργεια κατέλαβε την 3η και 4η θέση παγκοσμίως στην παγκόσμια κατάταξη γεωθερμικής ισχύος χωρίς και με εφαρμογή αντλιών θερμότητας (Lund & Toth, 2020).

Πιο συγκεκριμένα τα οικονομικά στοιχεία καταδεικνύουν πως χωρίς την αξιοποίηση αντλιών η θέρμανση του θερμοκηπίου κατατάσσεται στην τρίτη θέση με ένα ποσοστό της τάξεως του 8,96% σε παγκόσμιο επίπεδο. Με την χρήση όμως αντλιών θερμότητας το ποσοστό της θέρμανσης του θερμοκηπίου πέφτει στο 2,6% καταλαμβάνοντας την τέταρτη θέση στην παγκόσμια κατάταξη σχετικά με τη θερμότητα. (Kumar, Gupta & Rawat, 2020).

Στην περίπτωση αυτή του θερμοκηπίου οι απαιτήσεις της χρήσης γεωθερμικής ενέργειας αναφορικά με την θερμοκρασία είναι χαμηλές, δηλ. αξιοποιείται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές και τα φυτά είναι αδυνατούν να αναπτυχθούν. Παράλληλα η χρήση γεωθερμικής ενέργειας για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου απαιτεί πολλές φορές εναλλακτικές μορφές θερμότητας (Lund & Toth, 2020).

Η τεχνική χρήσης του ενός μόνο γεωθερμικού φρεατίου εφαρμόζεται όχι μόνο στην περίπτωση που έχουμε ένα θερμοκήπιο αλλά και όταν υπάρχουν δύο τρία ή και περισσότερα. Στον ελληνικό χώρο για παράδειγμα η γεωθερμική ενέργεια με χαμηλή ενθαλπία εφαρμόζεται στην βιομηχανία του θερμοκηπίου εδώ και πολλά χρόνια. Οι Έλληνες γεωργοί χρησιμοποιούν την θερμότητα αυτή με τη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας. Τα εργαλεία μπορούν να βοηθήσουν τον αγρότη να παράγει περίπου 95°C ζεστού νερού (Kumar, Gupta & Rawat, 2020).

Η χρήση του εναλλάκτη είναι ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση αυτή καθώς στα φυτά εντός του θερμοκηπίου διοχετεύεται θερμότητα της οποίας η θερμοκρασία μειώνεται από τους 95°C στους 50°C προκειμένου να προστατευτούν. Συνολικά, το σύστημα θέρμανσης μπορεί να διατηρήσει την εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου στους 20°C όταν η εξωτερική θερμοκρασία 7°C, ακόμα και όταν η εξωτερική θερμοκρασία πέσει στους 2°C το σύστημα μπορεί να κρατήσει το θερμικό σταθερό στους 15°C (He, Han & Wen, 2018).



Σχήμα 2.4 Ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα και του εδάφους σε εύκρατες ζώνες [35]

Στο Σχήμα 2.4 απεικονίζεται η διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα και του εδάφους σε εύκρατες ζώνες. Όπου:

- $T(z,t)$: θερμοκρασία σε συνάρτηση του βάθους και χρόνου
- T_0 : μέση ετήσια θερμοκρασία του εδάφους στην επιφάνεια
- $\text{grad } T = 5^\circ \text{C}/100\text{m}$ βαθμίδα θερμότητας
- $a = 9^\circ \text{C}$, εύρος διακύμανσης θερμοκρασίας αέρα
- $\omega = 2\pi/T$, όπου $T = 1$ χρόνος
- $\xi = 40$ τετραγωνικά μέτρα ανά έτος, αγωγιμότητα
- $\alpha = 210^\circ$, αλλαγή φάσης

Τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες κυρίως δηλαδή από τον Οκτώβριο μέχρι και τις αρχές Απριλίου, όταν η θερμοκρασία είναι ιδιαίτερα χαμηλή, γίνεται κυρίως αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας που χαρακτηρίζεται από χαμηλή ενθαλπία. Επιπλέον, επί του παρόντος δεν είναι η μόνη γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του θερμοκηπίου (Kumar, Gurta & Rawat, 2020). Καθώς η ζέστη είναι πολλά υποσχόμενη για τον αγρότη. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4 η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται τους θερινούς μήνες όμως όσο βαθύτερα πάμε στο υπέδαφος μετά από 8 μέτρα η θερμοκρασία σταθεροποιείται κοντά στους $9 \text{ με } 9.5^\circ \text{C}$.

Κεφάλαιο 3 : Ανάλυση γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης

3.1 Κατηγορίες γεωθερμικών συστημάτων

Το μέγιστο βάθος από το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί εξαγωγή γεωθερμικής ενέργειας είναι περίπου τα 10 χιλιόμετρα. (Naicker & Rees, 2018). Σε αυτό το λεπτό τμήμα της Γης η θερμότητα είναι ανεξάντλητη, αφού κινείται από το εσωτερικό της Γης προς την επιφάνεια, όπου και διαχέεται.

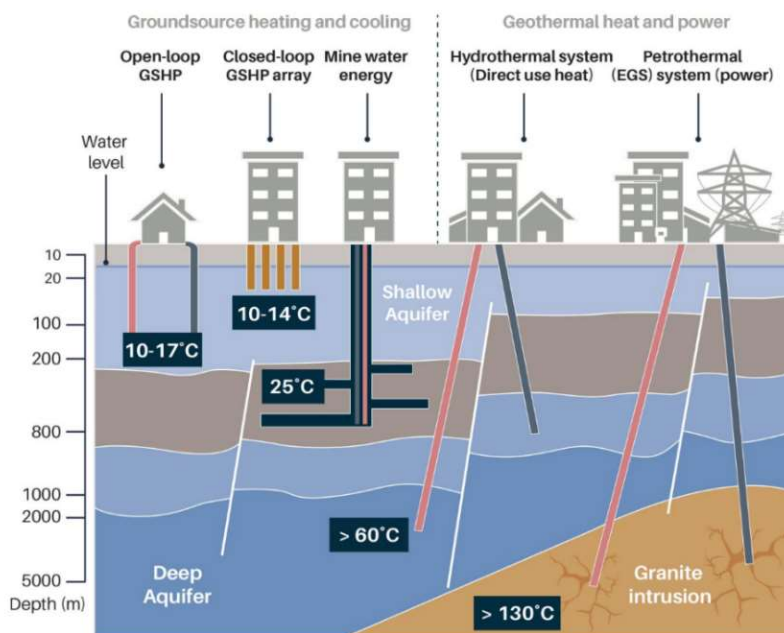
Οι δυναμικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του πλανήτη μας είναι μακρόχρονες και αργές. Παρόλα αυτά όσο πλησιάζουμε προς την επιφάνεια οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα εκεί πραγματοποιούνται με πιο γρήγορο τρόπο. Δεν πρόκειται μόνο για ηφαιστειακές εκρήξεις και σεισμούς αλλά και για την ροή της θερμότητας του υπεδάφους. Η ροή της θερμότητας αυτής υπολογίζεται να είναι 57 mW/m^2 (milliWatt ανά m^2) στον ηπειρωτικό φλοιό ενώ στον ωκεάνιο 99 mW/m^2 (Kaur, Krol & Brar, 2021).

Με τον τρόπο αυτόν τα γεωθερμικά συστήματα προκύπτουν λόγω της αλληλεπίδρασης των γεωλογικών διεργασιών στο εσωτερικό της Γης με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο φυσικό περιβάλλον που αναπτύσσεται κυρίως στην επιφάνεια της. Οι θερμότερες περιοχές της επιφάνειας της Γης είναι κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών οι οποίες συχνά συνδέονται με ηφαιστεια και σεισμική δραστηριότητα, όπου υπάρχουν θερμά μαγματικά σώματα εντός ή κοντά στο βάθος αναφοράς των 10 km (Elminshawy, et.al., 2019).

Τρία είναι τα γεωλογικά φαινόμενα που προκαλούν τη ροή της θερμότητας που διαχέεται στην επιφάνεια της γης. Το ένα είναι η θερμότητα που προέρχεται από το ανώτερο μαγματικό πεδίο, το δεύτερο η θερμότητα που προέρχεται από τις εσωτερικές δομές ενώ η τρίτη πηγή είναι οι ραδιενεργές διασπάσεις που λαμβάνουν χώρα εντός του ανωτέρω φλοιού. Στον ηπειρωτικό φλοιό, όπου υπάρχουν πολλά γρανιτικά πετρώματα πλούσια σε ραδιενεργά ισότοπα μεγάλης διάρκειας ζωής, η ροή θερμότητας είναι υψηλότερη σε περιοχές που έχουν βιώσει «πρόσφατη» (λιγότερο από 65 εκατομμύρια χρόνια) μαγματική δραστηριότητα, ενώ μειώνεται στα 46 mW/m^2 σε φλοιό παλαιότερο, ηλικίας μεγαλύτερης από 800 εκατομμύρια χρόνια (Naicker & Rees, 2018).

Ιδιαίτερα υψηλές τιμές ροής θερμότητας σημειώνονται στον ωκεάνιο φλοιό. Αυτό συμβαίνει διότι οι περισσότερες λιθοσφαιρικές πλάκες βρίσκονται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Καθώς το πάχος του ωκεάνιου φλοιού είναι κατά βάση λεπτότερο από ότι στον ηπειρωτικό φλοιό και η θερμότητα που ρέει προέρχεται ως επί το πλείστον από τη θερμότητα του μανδύα, η ροή της θερμότητας έχει αυξημένες τιμές. Η γεωθερμική εκμετάλλευση επικεντρώνεται μέχρι στιγμής σε ηπειρωτικές περιοχές, όπου υπάρχει μεγάλη ζήτηση σε ενέργεια (Soltani, et.al., 2019).

Στο Σχήμα 3.1 απεικονίζονται διαφορετικά συστήματα γεωθερμικής ενέργειας σε σχέση με το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα από όπου μεταφέρουν τη γεωθερμική ενέργεια.



Σχήμα 3.1 Συστήματα γεωθερμικής ενέργειας [vi]

3.1.1 Υδροθερμικά συστήματα

Για την εξαγωγή ενέργειας χρησιμοποιείται κυρίως το νερό ως φορέας θερμότητας. Δημιουργούνται υδροθερμικά συστήματα-πόροι. Καθώς ο φλοιός της Γης είναι αρκετά διερρηγμένος και επομένως διαπερατός από υγρά, τα επιφανειακά ύδατα, και ουσιαστικά το νερό της βροχής, διεισδύουν σε βάθος και ανταλλάσσουν θερμότητα με τους βράχους (πετρώματα). Θερμαίνονται και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων.

Εντός του φλοιού της Γης, η αγωγή (conduction) και η συναγωγή (convection) αποτελούν τις δύο μορφές με τις οποίες μεταφέρεται η θερμότητα. Σε σημεία στα οποία τα πετρώματα είναι διερρηγμένα και υπάρχει μεγάλη ποσότητα ρευστών, η μορφή μεταφοράς θερμότητας που προκύπτει είναι αυτή της συναγωγής. Στην περίπτωση αυτή, η συναγωγή μπορεί να αξιοποιηθεί και να αντληθεί η θερμότητα μέσα από φρεάτια (γεωτρήσεις) και την διοχέτευση του άφθονου ζεστού υγρού από το βάθος προς την επιφάνεια της Γης (Kaur, Krol & Brar, 2021).

3.1.2 Αβαθής γεωθερμία

Αβαθής γεωθερμία (earth energy), κατά την οποία λαμβάνονται ποσότητες ενέργειας από μικρό σχετικά βάθος με την ανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100 m από την επιφάνεια της γης ή με την κυκλοφορία υπόγειων νερών ή νερών από λίμνες, ποτάμια και τη θάλασσα. Αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας.

Εκτός από τα γεωθερμικά πεδία, με τη σημερινή τεχνολογία, η θερμότητα από βράχους σε μικρό βάθος, καθώς και τα υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα χαμηλής θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση και κλιματισμό. Αυτή η τεχνολογία περιλαμβάνει τη χρήση ενός πολύ μακρού σωλήνα με μικρή διάμετρο θαμμένο στο έδαφος ή σε φρεάτια, όπου λειτουργεί ως υπόγειος εναλλάκτης θερμότητας, σε συνδυασμό με μια υδρόψυκτη αντλία θερμότητας που παρέχει θέρμανση ή ψύξη σε ένα κτήριο (Beauchamps, et.al., 2021).

3.1.3 Προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα

Τα προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα (enhanced geothermal systems) αξιοποιούν πετρώματα σε βάθος από 2 έως 10 km, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια μέσω του νερού που διοχετεύεται από την επιφάνεια. Πραγματοποιούνται κατάλληλες γεωτρήσεις και ανακτάται αρκετά θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού.

3.1.4 Γεωπεπιεσμένα συστήματα

Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα (geopressed systems) αξιοποιούν την ενέργεια από το νερό υψηλής αλατότητας που βρίσκεται σε σχετικά μεγάλα βάθη σε υψηλή πίεση και

θερμοκρασία, περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και περιέχει σημαντικές ποσότητες διαλυμένου μεθανίου.

3.1.5 Μαγματικά συστήματα

Τα μαγματικά συστήματα (magma systems) στοχεύουν στην μεταφορά θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος.

3.2 Πλεονεκτήματα συστημάτων γεωθερμικής ενέργειας

Ένα βασικό πλεονέκτημα των τεχνολογιών που αξιοποιούν την γεωθερμική ενέργεια είναι ότι είναι ιδιαίτερα φιλικές προς το περιβάλλον. Αυτό συμβαίνει διότι εκπέμπουν ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά των αερίων του θερμοκηπίου. Με αυτό τον τρόπο συμβάλλουν ιδιαίτερα στην αντιμετώπιση και τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής ενώ παράλληλα είναι περισσότερο οικονομικά βιώσιμες και συνεισφέρουν στην διασφάλιση της ενεργειακής βιωσιμότητας του πλανήτη μας. Σε αντίθεση με τους υδρογονάνθρακες που είναι ιδιαίτερα επιβλαβείς για το περιβάλλον η γεωθερμική ενέργεια είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς η θερμότητα ρέει διαρκώς και ακατάπαυτα από το υπέδαφος της Γης προς την επιφάνεια και στη συνέχεια προς την ατμόσφαιρα. Τα ποσά της γεωθερμικής θερμότητας στο εσωτερικό της Γης είναι τεράστια, δηλαδή οι ποσότητες της θερμότητας που εξέρχονται από αυτήν επιστρέφουν και ανανεώνονται διαρκώς πίσω στο υπέδαφος, μέσω των φρεατίων έγχυσης που υπάρχουν στις διάφορες γεωθερμικές εγκαταστάσεις.

Φυσικά τα επίπεδα γεωθερμικής ενέργειας δεν είναι πάντα διαθέσιμα σε επαρκή βαθμό και για αυτό προκειμένου να διασφαλιστεί η βιώσιμη χρήση της θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε ο ρυθμός κατανάλωσης να μην ξεπερνά αυτόν του ρυθμού παραγωγής. Με τον τρόπο αυτό η γεωθερμική ενέργεια στα έγκατα της Γης θα μπορεί να αντικαθίσταται και να αναπληρώνεται με επαρκή τρόπο. Ένα βασικό πλεονέκτημα των γεωθερμικών πόρων είναι ότι παρέχουν ενέργεια απρόσκοπτα καθώς δεν επηρεάζονται από τις κλιματικές και καιρικές αλλαγές. Αυτό είναι και το βασικό της πλεονέκτημα σε σχέση με άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που επηρεάζονται από τέτοιου είδους φυσικά φαινόμενα (Kaur, Krol & Brar, 2021).

Παρόλα αυτά με την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας στον τομέα αυτόν η οποία παρέχει διαρκώς νέο και αποτελεσματικό εξοπλισμό όπως οι αντλίες θερμότητας και οι μηχανές απορρόφησης οι γεωθερμικές τεχνολογίες γίνονται διαρκώς πιο προσβάσιμες και εύκολα εφαρμόσιμες και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ευελιξία (Elminshawy, et. al., 2019).

3.3 Γεωθερμική μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Είναι γνωστό ότι το βασικό στοιχείο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε όλες τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής είναι ο ατμός. Αρχικά ο ατμός διοχετεύεται σε έναν για στρόβιλο ο οποίος στη συνέχεια δίνει κίνηση στις γεννήτριες με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι παραδοσιακές μονάδες παραγωγής ηλεκτρισμού χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα όπως για παράδειγμα λιγνίτη για την παραγωγή ατμού, ο οποίος θα κινητοποιήσει τις γεννήτριες. Αντίθετα, οι γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι περισσότερο φιλικό προς το περιβάλλον, καθώς ο ατμός που χρησιμοποιείται προέρχεται από το υπέδαφος. Στους σταθμούς αυτούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ο γεωθερμικός ατμός εξάγεται από τα έγκατα της γης, όπου θερμαίνεται από ύδατα υψηλής θερμοκρασίας που ρέουν εκεί. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί τρεις διαφορετικές τύποι τεχνολογίας που χρησιμοποιούν τον ατμό για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη γεωθερμία: α) ο τύπος τεχνολογίας ξηρού ατμού, β) ο τύπος ατμού flash και γ) ο δυαδικός τύπος.

Η οργάνωση της κατασκευής ενός εργοστασίου γεωθερμικής ενέργειας αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία με ποικίλες και παράλληλες διεργασίες. Υπάρχουν κάποια βασικά στάδια και κανόνες που ακολουθούνται προκειμένου η κατασκευή του να είναι επιτυχής και αποτελεσματική. Ένα βασικό στοιχείο είναι η σωστή μελέτη και αξιολόγηση των γεωθερμικών πόρων που θα αξιοποιηθούν. Είναι καίριας σημασίας η ενδελεχής μελέτη του υπεδάφους και της ποιότητας των γεωθερμικών πόρων που βρίσκονται σε αυτό. Είναι πολύ σημαντικό οι πόροι που θα χρησιμοποιηθούν να είναι υψηλής γεωθερμικής αξίας, ώστε τα ποσά ενέργειας που θα παραχθούν να είναι επαρκή (Naicker & Rees, 2018).

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τις μονάδες παραγωγής θερμότητας ένα βασικό προαπαιτούμενο είναι να έχει καθοριστεί η ποσότητα καθώς και ο ρυθμός παραγωγής της θερμικής ενέργειας που είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική λειτουργία του έργου. Στις

γεωθερμικές μονάδες που εισέρχονται σε μικρά βάθη μετά το στάδιο της αξιολόγησης ακολουθεί το στάδιο της επαλήθευσης της ενεργειακής αξίας των πόρων. Μέσα από τις γεωτρήσεις και την διάνοιξη πηγαδιών οι μηχανικοί στο εργοστάσιο μπορούν να εξακριβώσουν την πραγματική αξία των γεωθερμικών πόρων.

Η μορφή της τεχνολογίας που θα εφαρμοστεί στο εκάστοτε γεωθερμικό εργοστάσιο καθορίζεται με βάση τις πληροφορίες που αποκτώνται τόσο στο στάδιο της αξιολόγησης όσο και αργότερα κατά την εξακρίβωση της ποιότητας της γεωθερμικής ενέργειας. Παράλληλα ένα πολύ σημαντικό κομμάτι είναι η ανάλυση και η πρόβλεψη της επιβάρυνσης που θα δεχτεί το περιβάλλον όπως βέβαια προβλέπεται και επιβάλλεται από την ισχύουσα νομοθεσία. Στο τελικό στάδιο, κατασκευάζονται οι εγκαταστάσεις και η μονάδα λειτουργίας και διαχείρισης. Τρία είναι τα βήματα τα οποία ακολουθούνται με σκοπό την υλοποίηση του προγράμματος αξιολόγησης. Το πρώτο βήμα είναι αυτό της αναγνώρισης, το δεύτερο βήμα είναι της προσκοπιμότητας και το τρίτο βήμα είναι της σκοπιμότητας (Elminshawy, et.al., 2019).

Στις περιπτώσεις που σκοπός είναι η κατασκευή μιας μονάδας παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας στην οποία η εξόρυξη πραγματοποιείται από μεγάλα βάθη, η διαδικασία αξιολόγησης είναι πιο σύνθετη. Αρχικά αξιολογείται μία αρκετά μεγάλη και ευρεία περιοχή και καθώς προχωράει η αξιολόγηση αποκλείονται εκείνα τα κομμάτια της περιοχής που παρουσιάζουν μικρότερη γεωθερμική αξία και επιλέγονται εκείνα που είναι πιο πλούσια σε γεωθερμικούς πόρους. Συνήθως οι επιλεγμένες περιοχές καλύπτουν έκταση λίγων τετραγωνικών χιλιομέτρων. Για να είναι λειτουργική και αποτελεσματική η κατασκευή ενός γεωθερμικού σταθμού είναι επιτακτικό να λαμβάνονται από πριν πληροφορίες αναφορικά με όλα τα γεωλογικά, γεωφυσικά, χημικά, και υδρογεωλικά χαρακτηριστικά της περιοχής στην οποία προορίζεται να πραγματοποιηθούν οι έρευνες και οι εξορύξεις.

Ο ρόλος των πληροφοριών και των δεδομένων αυτών είναι καίριος για την οργάνωση της γεωθερμικής μονάδας. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα όλων αυτών των πληροφοριών είναι η σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής. Στη συνέχεια μετά την ολοκλήρωση της συλλογής των πληροφοριών μέσω της διαδικασίας της αξιολόγησης πραγματοποιείται νέα συλλογή δεδομένων προκειμένου να καθοριστούν τα σημεία στα οποία θα πραγματοποιηθούν οι γεωτρήσεις και η κατασκευή των πηγαδιών (Angrisani, et.al., 2016).

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας της εξερεύνησης και της συλλογής πληροφοριών ολοκληρώνεται με την κατασκευή του πρώτου πηγαδιού καθώς και τη χαρτογράφηση των διαθέσιμων γεωθερμικών πόρων που βρίσκονται στο υπέδαφος. Είναι πολύ σημαντικό η όλη διαδικασία της συλλογής πληροφοριών να βρίσκεται σε κοινή κατεύθυνση τόσο με τους ερευνητικούς και παραγωγικούς στόχους όσο και με τον οικονομικό προϋπολογισμό καθώς και την ποιότητα και τη σημασία των γεωθερμικών πόρων που προβλέπεται ότι θα ανακαλυφθούν. Παράλληλα ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι αυτό της ευελιξίας του προγράμματος αξιολόγησης και εξερεύνησης. Πολλές φορές τα νέα δεδομένα που προκύπτουν υποχρεώνουν το σχέδιο μελέτης/εξερεύνησης να μεταβληθεί ανάλογα με τις νέες ανάγκες και τα νέα δεδομένα (Soltani, et.al., 2019).

Ανάλογη ευελιξία θα πρέπει να ακολουθείται και στο επιστημονικό μοντέλο γεωθερμικής τεχνολογίας και γεωλογικής καταλληλότητας, το οποίο ακολουθείται. Ο επιστημονικός σχεδιασμός θα πρέπει να ενημερώνεται και να προσαρμόζεται διαρκώς με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν από τη διαδικασία της αξιολόγησης. Αυτές οι διαδικασίες επαναξιολόγησης του σχεδιασμού μειώνουν τόσο την πιθανότητα σφάλματος όσο και το συνολικό κόστος του έργου. Παράλληλα εξαλείφονται πιθανές δραστηριότητες και διαδικασίες που μπορεί να είναι περιττές, ενώ ενσωματώνονται νέες, πιο λειτουργικές και αποτελεσματικές. Σε αντίθετες περιπτώσεις που δεν πραγματοποιείται αυτή η διαδικασία το κόστος παραγωγής και κατασκευής αυξάνεται σημαντικά.

Το βασικότερο ίσως κόστος μίας γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ενέργειας είναι αυτό των γεωτρήσεων. Στην περίπτωση αυτή προκειμένου να μειωθεί το κόστος κατασκευής είναι σημαντικό ο αριθμός των υπό κατασκευή φρεατίων αλλά και των γεωτρήσεων να διατηρηθεί στο μικρότερο δυνατό. Παράλληλα ο αριθμός αυτός θα πρέπει να είναι αναγκαίος προκειμένου ο γεωθερμικός σταθμός να μπορεί να παράγει τα απαιτούμενα ποσά ενέργειας.

Η γεώτρηση και η ολοκλήρωση των φρεατίων είναι πολύ κρίσιμες εργασίες, που πρέπει να διεξάγονται με γνώμονα την ασφάλεια του φρέατος και του περιβάλλοντος και την ταχύτητα, προκειμένου να μειωθεί τόσο το λειτουργικό κόστος όσο και η όχληση στους κατοίκους της περιοχής (Yilmaz, 2017). Στις γεωθερμικές εγκαταστάσεις που κατασκευάζουν πηγάδια μεγάλου εστιακού βάθους οι τεχνικές που αξιοποιούνται, ταιριάζουν με αυτές που

εφαρμόζονται για την άντληση πετρελαίου και φυσικού αερίου. Μία τέτοια τεχνική είναι αυτή της περιστροφικής γεώτρησης. Τυχόν διαφορές που μπορεί να παρατηρούνται οφείλονται στα επιμέρους ιδιαίτερα γεωλογικά, γεωφυσικά και χημικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής (Pal, 2013).

3.4 Αντλίες γεωθερμικής θερμότητας

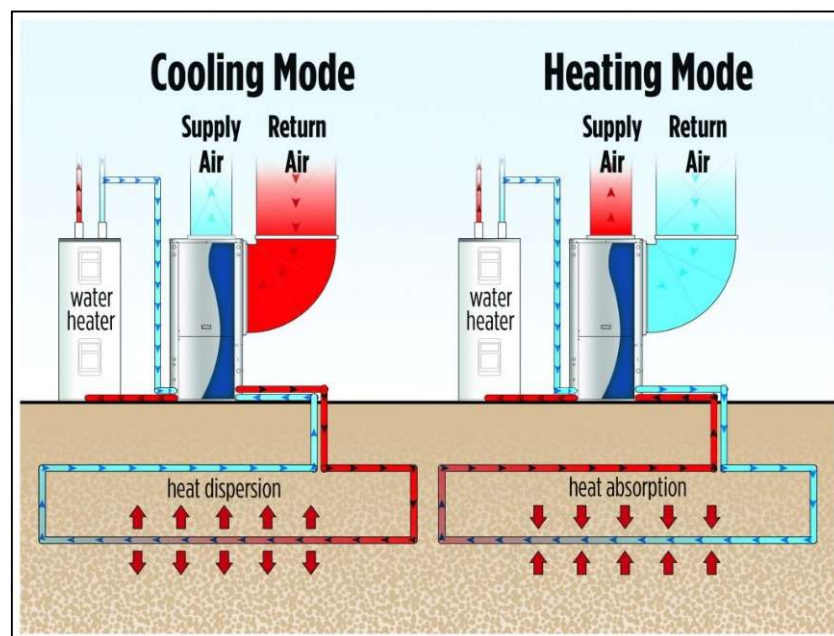
Όπως έχει αναφερθεί, το τεχνολογικό εκείνο επίτευγμα που έφερε την επανάσταση στην αξιοποίηση και εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας είναι οι αντλίες γεωθερμικής θερμότητας. Ο λόγος που είναι τόσο διαδεδομένες αλλά και τόσο χρήσιμες είναι πως είναι κατάλληλες για σχεδόν όλες τις περιοχές ακόμα και εκείνες με ιδιαίτερες γεωλογικές και γεωθερμικές συνθήκες. Η χρήση των αντλιών γεωθερμικής θερμότητας είναι τόσο σημαντική καθώς παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής θερμικής ενέργειας ακόμα και σε χώρες με περιορισμένους πόρους ή σε χώρες που δεν διαθέτουν τα κατάλληλα οικονομικά εφόδια για διαδικασίες όπως η άντληση θερμότητας από ένα γεωθερμικό πεδίο. Οι αντλίες θερμότητας ουσιαστικά παρέχουν τη δυνατότητα εξόρυξης της γεωθερμικής ενέργειας σε οποιαδήποτε περιοχή του κόσμου (Pal, 2013).

Τόσο το σύστημα γεωθερμικής θέρμανσης και ψύξης καθώς και τα συστήματα άντλησης επίγειας θερμότητας (GSHP - ground source heat pump) χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα φιλικά προς το περιβάλλον λόγω των χαμηλών εκπομπών άνθρακα. Η χρησιμοποίηση συστημάτων αυτού του τύπου μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην μείωση των περιβαλλοντικών ρύπων και των απαιτήσεων κατανάλωσης ενέργειας τόσο για κτίρια οικιακής αλλά και μη οικιακής χρήσης. Για παράδειγμα, στο Ηνωμένο Βασίλειο, έχουν προταθεί για το μέλλον οικιακές αντλίες θερμότητας και αντλίες θερμότητας εδάφους μεγάλης κλίμακας σε δίκτυα θερμότητας εντός ενός στρατηγικού πλαισίου θέρμανσης (Angrisani, et.al., 2016).

Τα τελευταία επιστημονικά δεδομένα καταδεικνύουν πως σε παγκόσμιο επίπεδο η τεχνολογία του συστήματος γεωθερμικής θέρμανσης και ψύξης αξιοποιείται σε περισσότερα από 4,5 εκατομμύρια συστήματα οικιακής όσο και μη οικιακής χρήσης. Στις περισσότερες χώρες του κόσμου ο τρόπος με τον οποίον μπορεί να επιτευχθεί η μείωση των εκπομπών άνθρακα εξαρτάται, τόσο από την απόδοση της τεχνολογίας αυτής, όσο και από τον

συντελεστή εκπομπής του άνθρακα κατά τη διάρκεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η εξασφάλιση της αποτελεσματικότητας αυτής ισχύει κυρίως για κράτη που βασίζονται κατά βάση σε ορυκτά καύσιμα για την κάλυψη των πρωτογενών ενεργειακών τους αναγκών (Yilmaz, 2017).

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας καταναλώνουν το ένα τέταρτο της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από μια ηλεκτρική αντίσταση και το 1/2 της ηλεκτρικής ενέργειας ενός κλιματιστικού. Εάν το κόστος της ενέργειας υπολογίζεται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του συστήματος, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας κοστίζουν λιγότερο από ένα σύστημα που καταναλώνει πετρέλαιο ή φυσικό αέριο (Beauchamps, et.al, 2021). Με τον τρόπο αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό πώς τα συστήματα γεωθερμικής θέρμανσης και ψύξης μπορούν να αποδειχθούν ιδιαίτερα ωφέλιμα τόσο σε πολιτικό όσο και σε βιομηχανικό επίπεδο με ορίζοντα την προστασία του περιβάλλοντος.

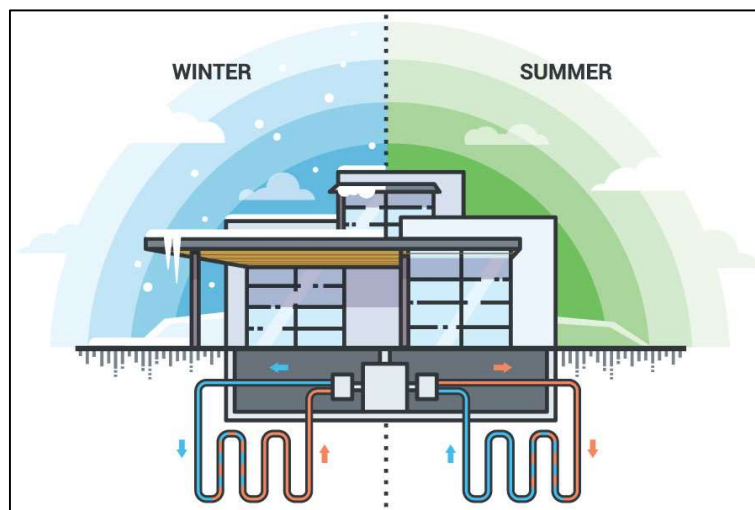


Σχήμα 3.2 Σύστημα θέρμανσης – ψύξης [vii]

Η αντλία θερμότητας αποτελεί ένα στοιχείο εξοπλισμού το οποίο περιλαμβάνεται σχεδόν σε όλους τους τύπους γεωθερμικών συστημάτων. Κατά βάση αποτελείται από έναν εναλλάκτη θερμότητας, έναν συμπιεστή και πολλές φορές από άλλα συστήματα ελέγχου. Συνήθως οι αντλίες θερμότητας τοποθετούνται σε σημεία που δεν είναι ορατά. (Aljubury & Ridha, 2017).

Ο τρόπος με τον οποίον λειτουργούν οι αντλίες θερμότητας (Σχήμα 3.2) βασίζεται στην ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο μέσο που βρίσκεται εντός του αγωγού και του ψυκτικού μέσου που συνήθως είναι νερό που βρίσκεται στους βρόχους γείωσης. Πιο συγκεκριμένα ο τρόπος λειτουργίας των αντλιών θερμότητας είναι οι εξής: Αρχικά το νερό το οποίο βρίσκεται μέσα στους βρόχους απορροφά κατά τους χειμερινούς μήνες τη θερμότητα που βρίσκεται στο υπέδαφος. Στη συνέχεια το νερό αυτό εξάγεται και ρέει μέσα στους εναλλάκτες θερμότητας της αντλίας. Στη συνέχεια λόγω αυξημένης πίεσης το ψυκτικό αυτό μέσο μετατρέπεται σε αέριο καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του. Η θερμότητα που παράγεται φτάνει στη συνέχεια σε όλο το σπίτι μέσα από αγωγούς και σωλήνες αφού πρώτα έχει εξαχθεί με τη χρήση των εναλλακτών θερμότητας. Εφόσον η διανομή της θερμότητας στους χώρους του σπιτιού πραγματοποιείται μέσω του αέρα τότε συνήθως χρησιμοποιείται και μία μονάδα διαχείρισης αέρα (Dhepe & Krishna, 2017).

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Σχήμα 3.4) η διαδικασία αυτή ακολουθεί αντίστροφη πορεία. Το ψυκτικό μέσο απορροφά τη θερμότητα από τους εσωτερικούς χώρους του σπιτιού μέσω της γεωθερμικής ψύξης και στη συνέχεια απορρίπτει την θερμότητα αυτή πίσω στο έδαφος. Η απόδοση αυτή της θερμότητας πραγματοποιείται μέσω των υπόγειων βροχών.



Σχήμα 3.3 Παράδειγμα γεωθερμικού συστήματος βάσει εποχής του έτους [ix]

Το κοινό χαρακτηριστικό που συνδέει όλα τα γεωθερμικά συστήματα παραγωγής ενέργειας είναι η χρήση εναλλακτών θερμότητας. Πιο συγκεκριμένα τα γεωθερμικά

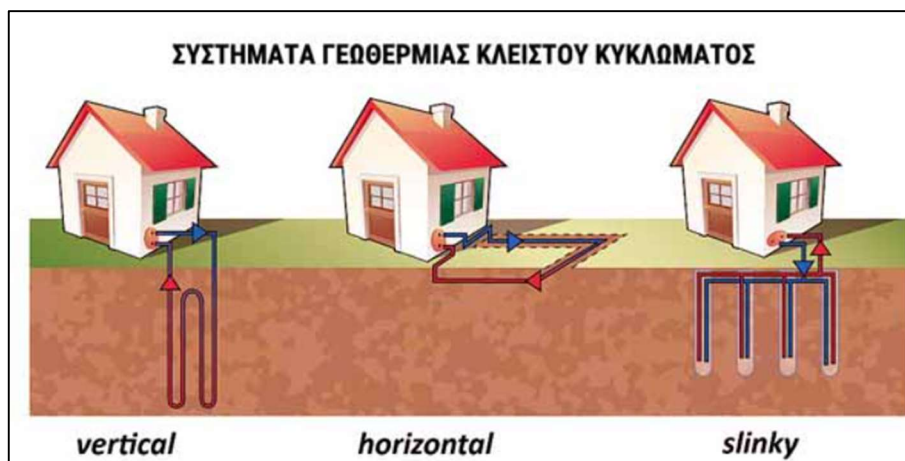
συστήματα χρησιμοποιούν ένα πλέγμα σωληνώσεων που βρίσκονται θαμμένα στο έδαφος. Ο ρόλος των σωληνώσεων αυτών είναι να μεταφέρουν θερμότητα το χειμώνα ή δροσιά το καλοκαίρι στους χώρους τους οποίους θερμαίνουν ή ψύχουν. Πιο συγκεκριμένα (Σχήμα 3.4) τους χειμερινούς μήνες όπου ο αέρας είναι κρύος αλλά το υπέδαφος ζεστό, το υγρό που ρέει εντός των σωληνώσεων απορροφά τη θερμότητα του υπεδάφους και τη μεταφέρει στο κτήριο. Το καλοκαίρι συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή ο αέρας είναι ζεστός και το έδαφος δροσερό σε σχέση με τον αέρα, το ψυκτικό υγρό μέσα στις σωληνώσεις απορροφά την δροσιά του υπεδάφους με σκοπό τη μείωση της θερμοκρασίας εντός του κτιρίου (Angrisani, et.al., 2016).

Το παραπάνω σύστημα ονομάζεται σύστημα γεωθερμικού βρόγχου. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει την γεωθερμική αντλία θερμότητας, τον συμπιεστή, ενώ προαιρετικά μπορεί να περιλαμβάνεται και μία μονάδα χειρισμού αέρα. Σκοπός είναι ο αέρας αυτός να διαχέεται σε όλο τον χώρο και να ανεβάζει ή να κατεβάζει τη θερμοκρασία ανάλογα με την εποχή, μέσα από ένα σύστημα αεραγωγών (Aljubury & Ridha, 2017).

Με βάση το είδος και τη μορφή του εναλλάκτη θερμότητας, οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας ταξινομούνται σε διαφορετικές κατηγορίες. Έτσι μπορεί να υπάρχουν γεωθερμικά συστήματα α) κλειστού κυκλώματος, β) ανοιχτού κυκλώματος, γ) κάθετων και οριζόντιων κυκλωμάτων.

3.4.1 Γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος

Τα γεωθερμικά συστήματα που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία δηλαδή τα συστήματα κλειστού κυκλώματος ανακυκλώνουν το ψυκτικό υγρό το οποίο υπάρχει μέσα στη μονάδα παραγωγής (Pal, 2013).

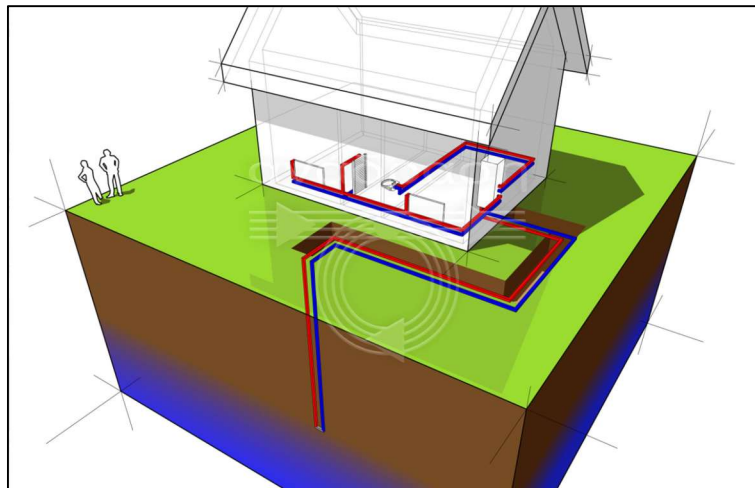


Σχήμα 3.4 Συστήματα κλειστού κυκλώματος [xv]

Το χαρακτηριστικό των γεωθερμικών αυτών συστημάτων είναι πως το νερό που βρίσκεται μέσα στις σωληνώσεις ανακυκλώνεται διαρκώς. Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του συστήματος και του χώρου πραγματοποιείται μέσα από το υγρό το οποίο είναι ένα μείγμα νερού και κάποιου αντιψυκτικού μέσου το οποίο ρέει εντός των σωληνώσεων του εναλλάκτη. Με βάση τον προσανατολισμό των σωληνώσεων και των βρόγχων του εναλλάκτη, σύστημα αυτό μπορεί να κατηγοριοποιηθεί αντίστοιχα. (Soltani, et.al., 2019).

3.4.2 Κατακόρυφη διάταξη κλειστού κυκλώματος

Όπως είναι προφανές, οι εναλλάκτες θερμότητας αυτού του τύπου είναι κατακόρυφα προσανατολισμένοι. Ανοίγονται οπές σε βάθος έως και 120 m και μέσα σε αυτές τοποθετούνται σωλήνες τύπου U. Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία ενός κλειστού δικτύου μέσα από τη σύνδεση σωλήνων τύπου U σε διαφορετικά σημεία του συστήματος. Το σύστημα αυτό στη συνέχεια συνδέεται με τον συμπιεστή και την αντλία θερμότητας.



Σχήμα 3.5 Κατακόρυφη διάταξη κυκλώματος [χνί]

Προκειμένου να ενισχυθούν τα επίπεδα της θερμικής αγωγιμότητας μεταξύ του εδάφους και των σωληνώσεων τύπου U τοποθετούνται ενέμματα εντός των γεωτρήσεων. Ο αριθμός των γεωτρήσεων, η απόσταση, το βάθος και ο όγκος του υγρού στους σωλήνες τύπου U εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης του σπιτιού και τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας (Yilmaz, 2017).

Αυτός ο τύπος γεωθερμικού συστήματος θεωρείται καταλληλότερος για μικρές κατοικίες και σχολεία. Αυτό συμβαίνει διότι αυτού του τύπου η διάταξη σε αντίθεση με το οριζόντιο σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί σε επιφάνεια μικρότερου εμβαδού. Πρέπει όμως να ληφθούν προληπτικά μέτρα ώστε οι γεωτρήσεις να είναι αρκετά ευσταθείς ώστε τα τοιχώματά τους να μην αστοχούν (καταρρέουν). Επιπλέον, το υπέδαφος θα πρέπει να μπορεί να συγκρατεί τα κτήρια που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.

3.4.3 Οριζόντια διάταξη κλειστού κυκλώματος

Ένα σύστημα οριζόντιας διάταξης κυκλώματος αποτελείται από σωλήνες που τοποθετούνται σε οριζόντιο προσανατολισμό κατά μήκος του εδάφους. Η διαδικασία κατασκευής είναι η εξής: σωληνώσεις τύπου U τοποθετούνται εντός ενός ρηχού και μεγάλου μήκους ορύγματος που διανοίγεται στο έδαφος. Το μήκος του ορύγματος αυτού, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες, μπορεί να φτάσει έως και 120 m, ενώ το βάθος κυμαίνεται από 1 m έως 3 m (Nian & Cheng, 2018).



Σχήμα 3.6 Οριζόντια διάταξη κυκλώματος [xvi]

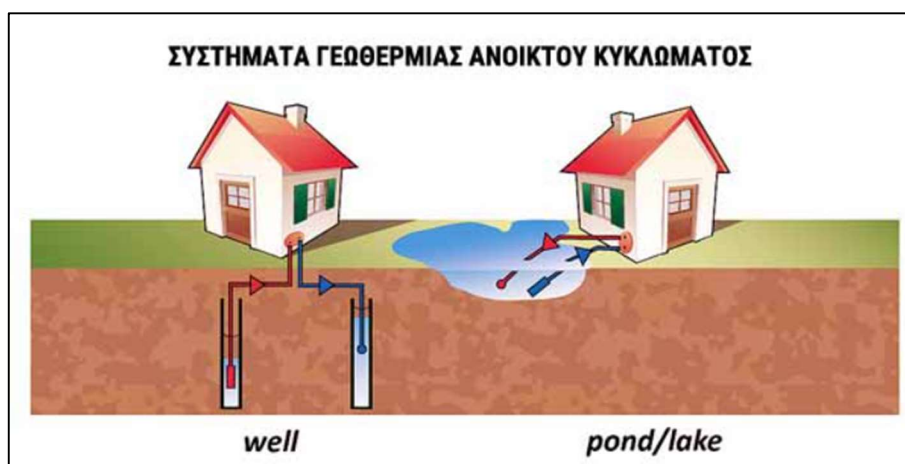
Ένας παράγοντας που επηρεάζει ιδιαίτερα την απόδοση ενός οριζόντιου γεωθερμικού συστήματος είναι το βάθος. Τους μεταβατικούς μήνες μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα όπου ακόμα το έδαφος είναι σχετικά κρύο, εφόσον το βάθος τοποθέτησης είναι σχετικά μικρό, το κύκλωμα μπορεί να απορροφήσει θερμότητα από τον ήλιο και να ενισχύσει έτσι την απόδοση του συστήματος. Αλλά μια αρνητική επίδραση είναι ότι κατά τους χειμερινούς μήνες, το κύκλωμα ψύχεται με μεγαλύτερο ρυθμό λόγω της εγγύτητάς τους στην επιφάνεια.

Παρόλα αυτά υπάρχουν διάφορες μέθοδοι προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα. Μία λύση είναι η τοποθέτηση ενός στρώματος από υλικό που είναι κακός αγωγός της θερμότητας επάνω στο κύκλωμα. Με τον τρόπο αυτό παραμένει ανεπηρέαστο από τις καιρικές συνθήκες και τις εναλλαγές της θερμοκρασίας. Μία άλλη λύση είναι η τοποθέτηση του κυκλώματος σε μεγαλύτερο βάθος εντός του εδάφους. Μία τέτοια κίνηση μπορεί να έχει μεγάλο κόστος, αντισταθμίζεται όμως από τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας (Yilmaz, 2017).

Τα οριζόντια γεωθερμικά συστήματα ταιριάζουν περισσότερο σε περιοχές με μεγάλη ποσότητα εδάφους διαθέσιμο προς εκσκαφή, όπως μεγάλες αγροικίες και αγροκτήματα μεγάλης έκτασης.

3.4.4 Γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού κυκλώματος

Τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού κυκλώματος αποτελούν την απλούστερη μορφή όλων των γεωθερμικών συστημάτων θέρμανσης. Η κατασκευή τους είναι σχετικά απλή. Το νερό αντλείται μέσα από έναν σωλήνα ανοιχτού άκρου από διάφορες πηγές όπως για παράδειγμα από μία θερμή πηγή ή από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Στη συνέχεια το νερό αυτό εισέρχεται εντός της αντλίας θερμότητας μέσω του εναλλάκτη. Τέλος το νερό αυτό αφού χρησιμοποιηθεί πάντα σε κατάλληλη απόσταση από το σημείο εισαγωγής απορρίπτεται πάλι στην ίδια πηγή. Παρόλα αυτά, τα απλά αυτά συστήματα ανοιχτού κυκλώματος έχουν και κάποια αρνητικά χαρακτηριστικά (Dhere & Krishna, 2017).



Σχήμα 3.7 Συστήματα ανοιχτού κυκλώματος [xv]

Μία σημαντική πρόκληση που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η ποιότητα του νερού που αντλείται. Εφόσον το νερό δεν είναι αρκετά καθαρό ή τα ορυκτά συστατικά που περιέχει δεν είναι κατάλληλα τότε μπορεί να προκληθεί ζημιά, είτε στην αντλία θερμότητας, είτε στον εναλλάκτη. Πιο συγκεκριμένα οι χημικές ουσίες ή διάφορα άλλα στερεά που μπορεί να εμπεριέχονται στο νερό μπορεί να αντιδράσουν με το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο εναλλάκτης θερμότητας και έτσι να τον διαβρώσουν. Στο εσωτερικό των σωλήνων μπορεί επίσης να σχηματιστούν άλατα, μειώνοντας έτσι τη ροή του νερού (Elminshawy, et. al., 2019).

Σε πολλές περιπτώσεις οι ισχύοντες περιβαλλοντικοί νόμοι θέτουν περιορισμούς αναφορικά με την κατασκευή και εγκατάσταση κυκλωμάτων ανοιχτού τύπου. Αυτό συμβαίνει καθώς συχνά απαιτείται το νερό που επιστρέφει στην πηγή να επεξεργάζεται και

να ελέγχεται ότι είναι καθαρό. Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις απαγορεύεται εντελώς η απόρριψη του νερού πίσω στην πηγή. Έτσι συστήματα κλειστού κυκλώματος αντικαθιστούν τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού τύπου.

Κεφάλαιο 4 : Η Γεωθερμία στην Θράκη

4.1 Γεωθερμικά πεδία στη Θράκη

Στη Θράκη εντοπίστηκαν γεωθερμικά πεδία σε 5 περιοχές, μία περιοχή στην Περιφερειακή Ενότητα (ΠΕ) Έβρου, δύο περιοχές στην ΠΕ Ροδόπης και δύο περιοχές στην ΠΕ Ξάνθης. Συγκεκριμένα, η περιοχή στην ΠΕ Έβρου είναι στον Αρίστηνο όπου συναντώνται και αρχαία λουτρά τα οποία πλέον είναι εκτός λειτουργίας, στην ΠΕ Ροδόπης τα γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται μεταξύ Σαπών – Μέστης και Κρωβύλης καθώς και στη λίμνη Μητρικού. Στην ΠΕ Ξάνθης εντοπίστηκε γεωθερμικό πεδίο στη Νέα Κεσσάνη όπου και εκεί υπάρχουν λουτρά, που είναι εκτός λειτουργίας. Επίσης εντοπίστηκε γεωθερμικό πεδίο στα χωριά της Ζηλωτής, του Παλαιού και του Νέου Ερασμίου. Όπως θα δειχτεί στα επόμενα κεφάλαια, τα γεωθερμικά πεδία της ΠΕ Ξάνθης έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, λόγω των ιδανικών θερμοκρασιών των υπόγειων δεξαμενών, για την υλοποίηση διάφορων συστημάτων εκμετάλλευσης της γεωθερμίας σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας.

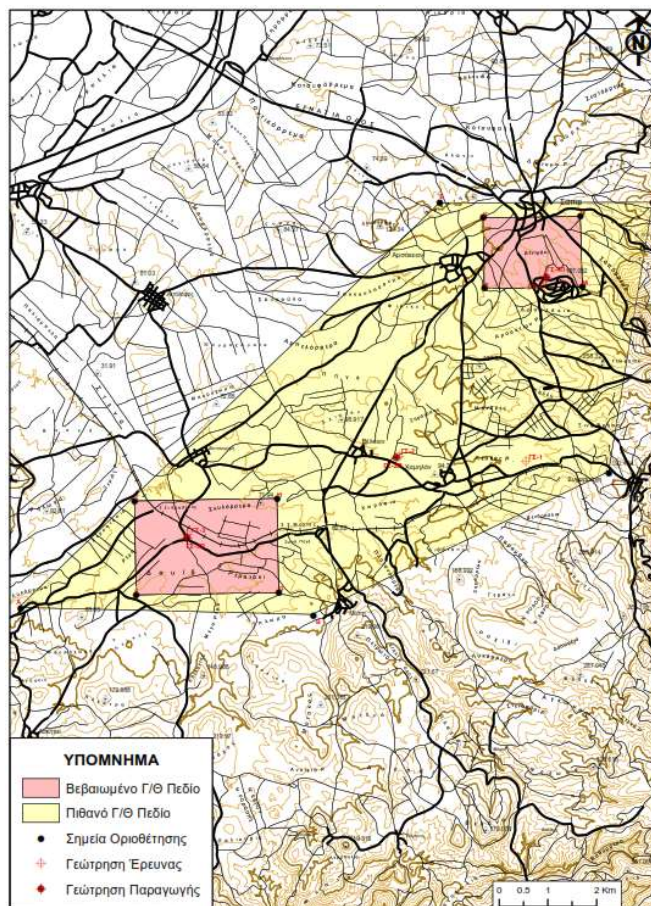
4.1.1 Γεωθερμικό πεδίο περιοχής Σαπών

Η περιοχή οριοθετήθηκε μεταξύ των οικισμών Σαπών, Συκορράχη, Μέστη και βόρεια Αρσακείου (Φράκτης) όπου οι βεβαιωμένες περιοχές γεωθερμικού πεδίου (βλ. Σχήμα 4.1) είναι στο Δεντράκι (Σαπών) και στο Σκυλόρεμα (Μέστης).

Από την ερευνητική δραστηριότητα διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα των γεωθερμικών ρευστών είναι ικανοποιητική δίχως να δημιουργεί προβλήματα διάβρωσης και καταλάτωσης ώστε να διευκολύνει πάρα πολύ την άμεση αξιοποίησή της στη θέρμανση και τον κλιματισμό χώρων. Το πιθανό γεωθερμικό πεδίο έχει έκταση περίπου 51 km² και οι δύο περιοχές βέβαιων πεδίων έχουν έκταση 3 km², ενώ της Κρωβύλης είναι 6 km². Τα στοιχεία του γεωθερμικού πεδίου είναι τα ακόλουθα:

- Το εύρος θερμοκρασιών της είναι 30°C – 40°C
- Το βάθος του ταμιευτήρα είναι 50m - 380 m
- Η παροχή στο βεβαιωμένο χώρο υπολογίζεται περί τα 100 m³/h

Στον Πίνακα 1 του Παραρτήματος Α παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού γεωτρήσεων από το ΙΓΜΕ στη περιοχή Σαπών.



Σχήμα 4.1 Χάρτης περιοχής Σαπών, Συκορράχης, Μέστης και Αρσακείου [45]

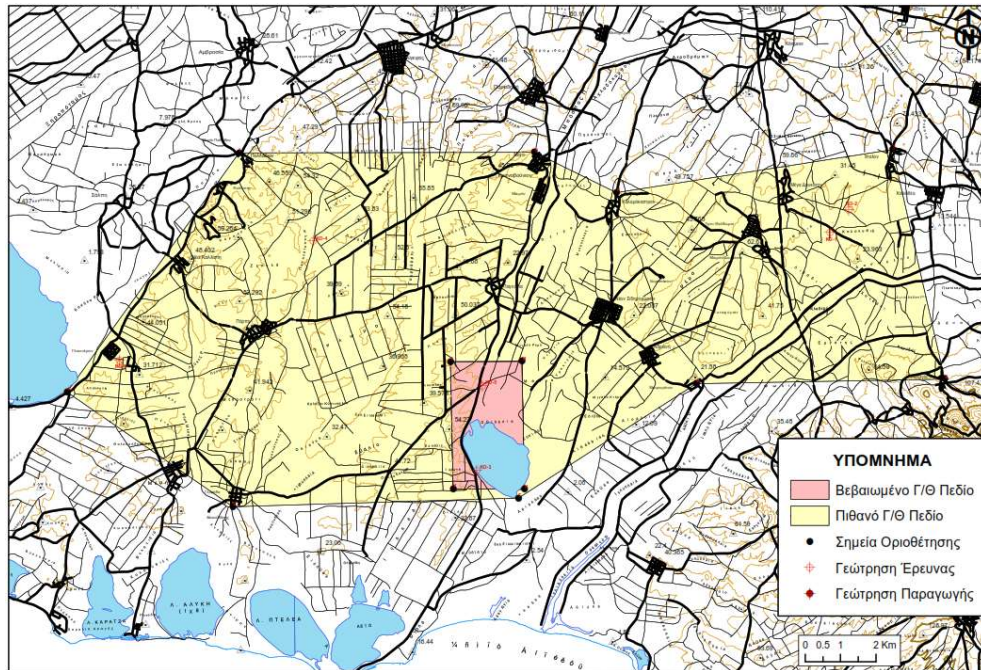
4.1.2 Γεωθερμικό πεδίο λίμνης Μητρικού

Η περιοχή οριοθετήθηκε μεταξύ των οικισμών Ισάλου, Πελαγίας, Μαυρομάτη, νότια λίμνης Μητρικού, Γλυφάδα, Γλυκονέρι, Παλλάδιο, Μέγα Κρανοβούνιο και βόρεια του οικισμού Καλαμοκάστρου όπου η βεβαιωμένη περιοχή γεωθερμικού πεδίου είναι βόρεια και βορειοδυτικά της λίμνης Μητρικού (βλ. Σχήμα 4.2). Από την ερευνητική δραστηριότητα διαπιστώθηκε ότι η ποιότητα των γεωθερμικών ρευστών είναι ικανοποιητική. Όλη η περιοχή, με βάση την τεκτονική και στρωματογραφική εξέλιξή της, χαρακτηρίζεται από υψηλή ροή θερμότητας. Από την έρευνα του ΙΓΜΕ αναλύθηκε αφ' ενός η στρωματογραφική ακολουθία και αφ' ετέρου επαληθεύτηκε το γεωθερμικό μοντέλο που συντάχτηκε σύμφωνα με τις προϋπάρχουσες εργασίες. Το πιθανό γεωθερμικό πεδίο έχει έκταση περίπου 170 km² και οι δύο περιοχές βέβαιων γεωθερμικών πεδίων έχουν έκταση 7 km².

- Το εύρος θερμοκρασιών της είναι 30°C – 40°C

- Το βάθος του ταμειυτήρα είναι 350m - 500m

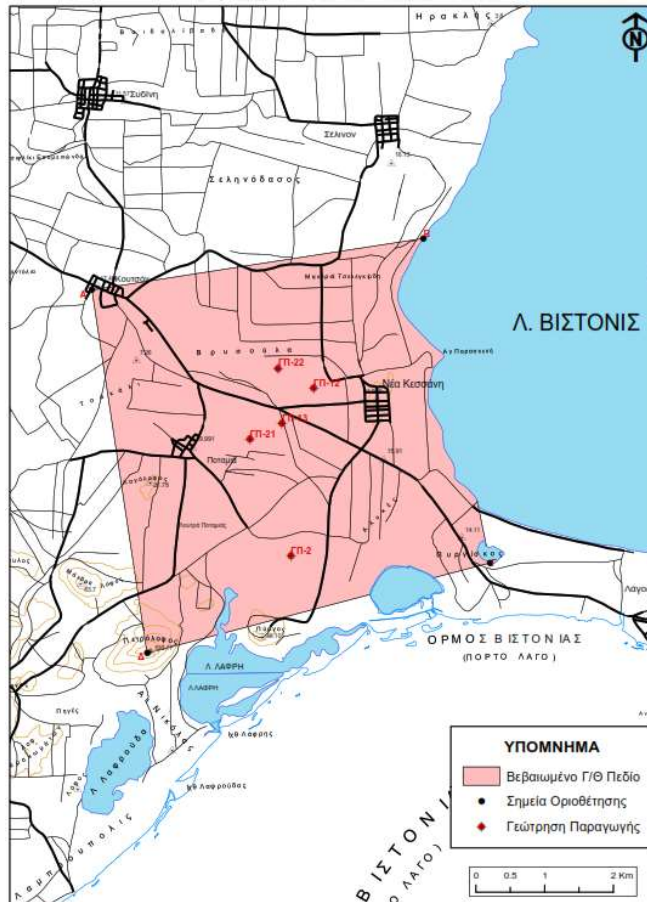
Στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος Α παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού γεωτρήσεων από το ΙΓΜΕ στη περιοχή της λίμνης Μητρικού.



Σχήμα 4.2 Χάρτης περιοχής Μητρικού [45]

4.1.3 Γεωθερμικό πεδίο Νέας Κεσσάνης

Η βεβαιωμένη περιοχή γεωθερμικού πεδίου οριοθετήθηκε μεταξύ του οικισμού Κουτσού, Πετρόλοφου (Νότια οικισμού Ποταμιάς), Πυργίσκου Νοτιοανατολικά του Οικισμού Νέας Κεσσάνης και Βόρεια του ίδιου οικισμού, είναι Βόρεια και Βορειοδυτικά της λίμνη Μητρικού (βλ. Σχήμα 4.3). Περιλαμβάνει τις αναβλύσεις των θερμών πηγών 'Λουτρών Γενισέας' και αποτελεί το πιο μελετημένο γεωθερμικό πεδίο της χώρας, για τον προσδιορισμό της περιοχής του βεβαιωμένου γεωθερμικού δυναμικού πήραν θέση 25 γεωτρήσεις έρευνας και 5 γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου.



Σχήμα 4.3 Χάρτης περιοχής Νέας Κεσσάνης [45]

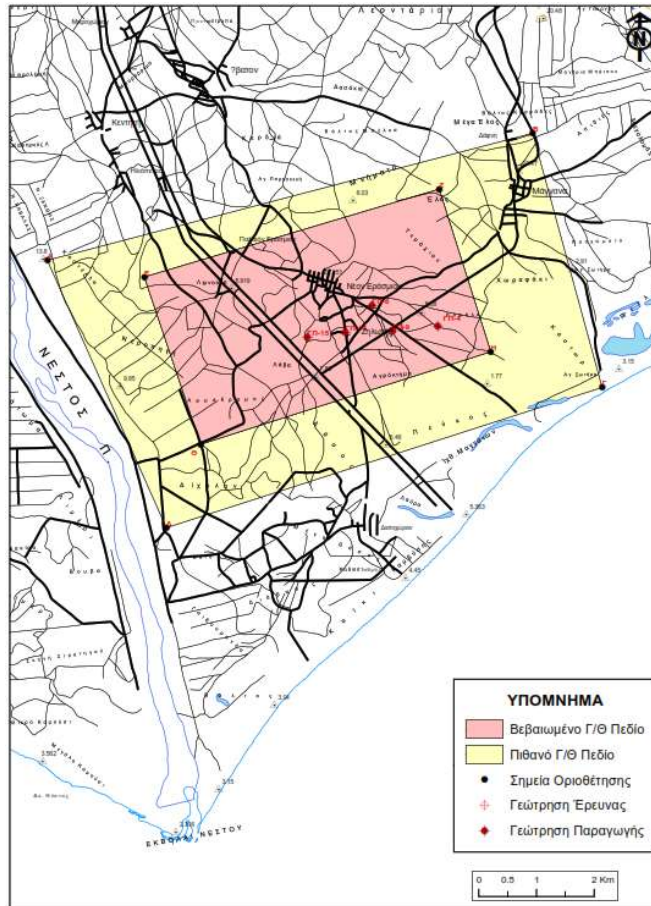
Εντοπίστηκαν τα χαρακτηριστικά:

- Θερμοκρασία γεωθερμικού ταμειυτήρα 40°C - 83 °C
- Βάθος ταμειυτήρα 160 m – 500 m.
- Παροχή: >300 m³/h

Στον Πίνακα 3 του Παραρτήματος Α παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού γεωτρήσεων από το ΙΓΜΕ στη περιοχή της Νέας Κεσσάνης.

4.1.4 Γεωθερμικό πεδίο Νέου Ερασμίου - Μαγγάνων

Η περιοχή οριοθετήθηκε μεταξύ του βόρειου τμήματος του οικισμού Μαγγάνων, της παραθαλάσσιας περιοχής του Αγίου Σωτήρα, του λόφου Δίχαλον και Καστέλλας όπου οι βεβαιωμένες περιοχές γεωθερμικού πεδίου περιλαμβάνουν τους οικισμούς Παλιού και Νέου Ερασμίου και τη Ζηλωτή (βλ. Σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4 Χάρτης περιοχής Νέου Ερασμίου – Μαγγάνων [45]

Η περιοχή εντοπίζεται εντός της Τριτογενούς ταφρογενούς λεκάνης Ξάνθης – Κομοτηνής. Εκτείνεται από τα ανατολικά του οικισμού Μαγγάνων έως την παλαιά κοίτη του ποταμού Νέστου, νότια ως την παραλιακή ζώνη και βόρεια ως το Εύλαλο.

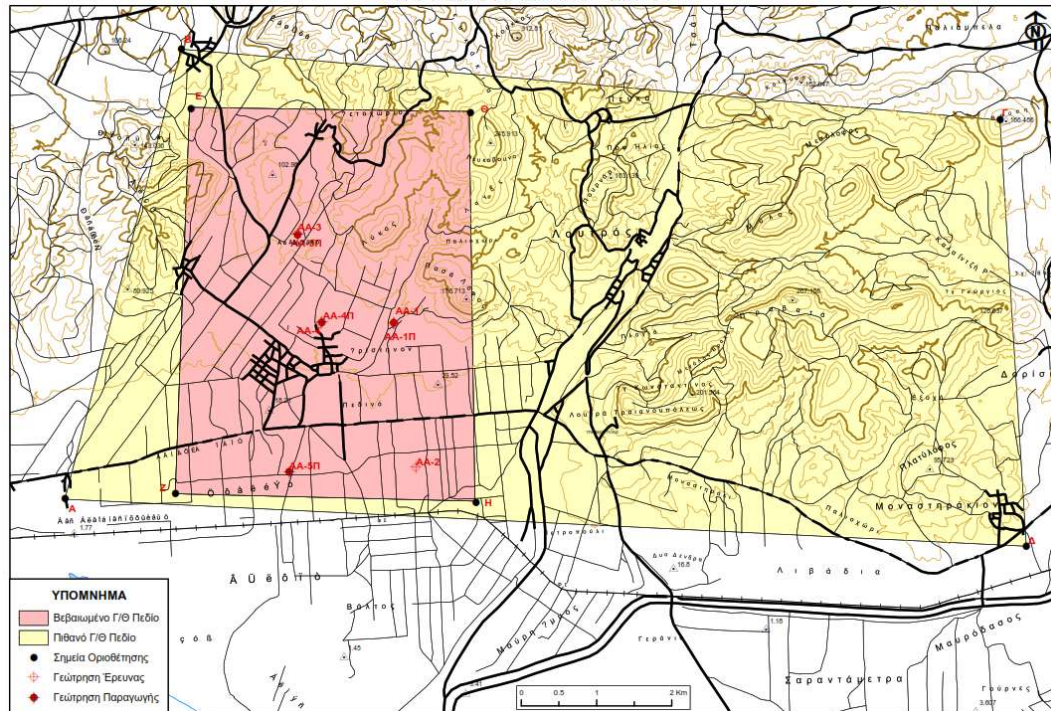
Το πιθανό γεωθερμικό πεδίο έχει έκταση περίπου 98 km² και η περιοχή βέβαιου πεδίου έχει έκταση 3 km².

- Το εύρος θερμοκρασιών της είναι 27 °C – 68°C
- Το βάθος του ταμιευτήρα είναι 350m - 500m
- Παροχή: 250 m³/h

Στον Πίνακα 4 του Παραρτήματος Α παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού γεωτρήσεων από το ΙΓΜΕ στη περιοχή της Νέου Ερασμίου.

4.1.5 Γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου (Αλεξανδρούπολης)

Η περιοχή οριοθετήθηκε ξεκινώντας από 14 km ανατολικά της Αλεξανδρούπολης και εκτείνεται έως 1 km. βορειοανατολικά του οικισμού Αρίστηνου (βλ. Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5 Χάρτης περιοχής Αρίστηνου [45]

Η περιοχή που βρίσκεται ανατολικά της Αλεξανδρούπολης και Δυτικά της Τριτογενούς λεκάνης του Έβρου παρουσιάζει έντονη τεκτονική μορφολογία με σημαντική ανάπτυξη Τριτογενούς ηφαιστειότητας. Το πιθανό γεωθερμικό πεδίο έχει έκταση περίπου 50 km² και η περιοχή βέβαιου πεδίου έχει έκταση 20 km².

- Το εύρος θερμοκρασιών της είναι 30 °C – 95°C
- Το βάθος του ταμιευτήρα είναι 150m - 450m
- Παροχή: 200 m³/h

Στον Πίνακα 5 του Παραρτήματος Α παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού γεωτρήσεων από το ΙΓΜΕ στη περιοχή Αρίστηνου.

4.2 Γεωθερμικές εφαρμογές στη Θράκη

Όπως παρατηρείται από το Σχ. 1.8 το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωθερμικών πεδίων στην Ελλάδα εντοπίζεται στη Βόρεια Ελλάδα και ιδιαίτερα στην Κεντρική και Ανατολική Μακεδονία και στη Θράκη. Λόγω των ακραίων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται σε αυτά τα γεωγραφικά διαμερίσματα κατά τους χειμερινούς αλλά και καλοκαιρινούς μήνες, η χρήση της γεωθερμίας για θέρμανση/ψύξη αποτελεί μία ενεργειακή λύση που διακρίνεται από το περιβαλλοντικό πρόσημο και την αειφορία. Στη Θράκη το 2013 πραγματοποιήθηκαν τρεις νέες γεωθερμικές γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου στο γεωθερμικό πεδίο του Νέου Ερασμίου. Δύο από αυτές με συνολικό βάθος 550 m χρησιμοποιούνται για την παραγωγή γεωθερμικού νερού θερμοκρασίας 60°C για τη θέρμανση ενός νέου συγκροτήματος γεωθερμικών θερμοκηπίων. Επιπλέον με σκοπό την διοχέτευση των γεωθερμικών υδάτων κατασκευάστηκε ένα πηγάδι με συνολικό βάθος 230 m όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1.

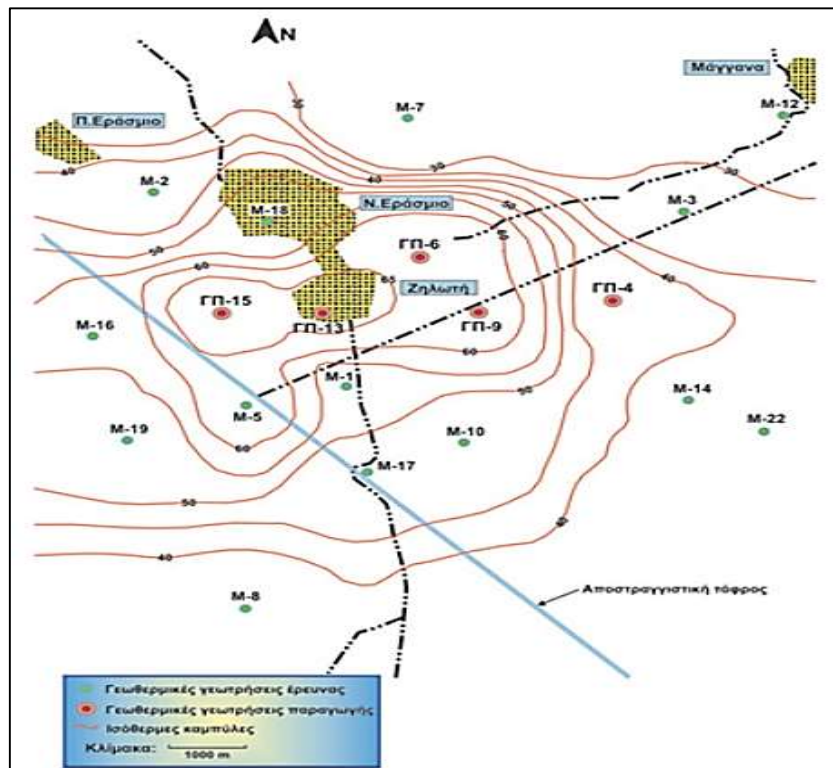
Η μέγιστη απόδοση παραγωγής στο γεωθερμικό πεδίο Νέο Εράσμιο είναι στην πραγματικότητα συνολικά πάνω από 500 m³/h. Η εγκατεστημένη ισχύς θέρμανσης και η ετήσια χρήση ενέργειας είναι 13,81 MWt (θερμικά μεγαβάτ) και 296,78 TJ, αντίστοιχα.



Εικόνα 4.1 Γεωτρήσεις για την άντληση γεωθερμικού ρευστού [xviii]

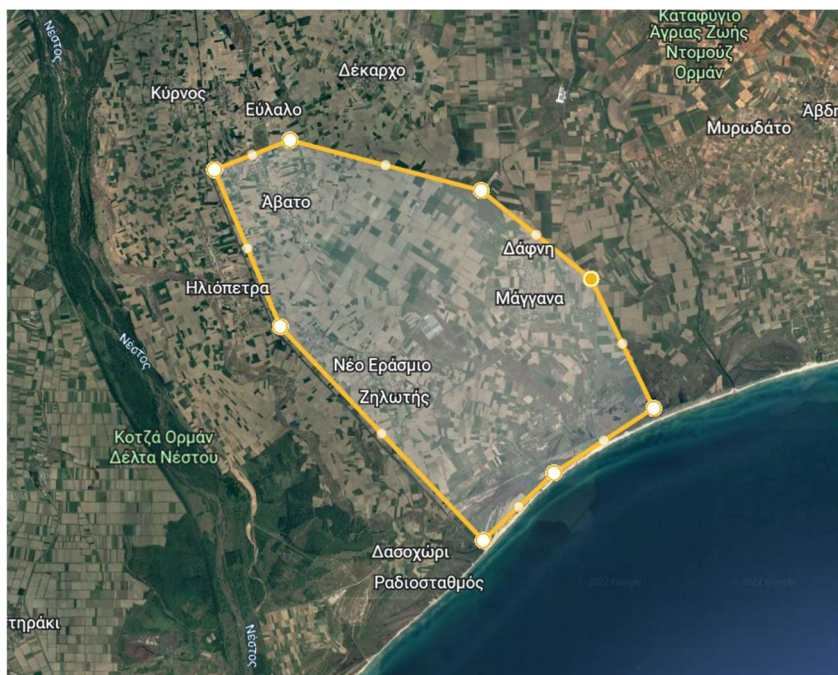
Το γεωθερμικό πεδίο επεκτείνεται γύρω από το χωριό Εράσμιο, φθάνοντας στο Άβατο στα βόρεια, στα Μάγγανα στα ανατολικά, στον ποταμό Νέστο στα δυτικά και στην παράκτια ζώνη στα νότια. Ολόκληρη η περιοχή, σε έκταση 3 km² (έκταση M-18 στο Σχήμα 4.6), έχει

αποτελέσει αντικείμενο γεωλογικών, στρωματογραφικών και τεκτονικών ερευνών, οι οποίες κάλυψαν και τα χαρακτηριστικά της περιοχής.



Σχήμα 4.6. Χάρτης ισοθερμικών γραμμών στην κορυφή της δεξαμενής στο γεωθερμικό πεδίο του Νέου Ερασμίου [xviii]

Το εντοπιζόμενο γεωθερμικό κοίτασμα που επεκτείνεται γύρω από το Νέο Εράσμιο και τη Ζηλωτή Ξάνθης (Σχήμα 4.6) αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας όπου οι στρωματοποιημένοι υδροφορείς τροφοδοτούνται από ένα σύστημα ενεργών ρηγμάτων στο βραχώδες υπόβαθρο της ζώνης της Ροδόπης (Karytsas, Polyzou & Karytsas, 2019). Με βάση εκτεταμένη γεωθερμική έρευνα, διαπιστώθηκε ότι η κύρια γεωθερμική ανωμαλία επεκτείνεται σε έκταση 15-20 km², με γεωθερμική κλίση που φτάνει τα 25°C/100 m και σχετική υψηλή θερμική ροή καθώς και ποιότητα και χημική σύνθεση των γεωθερμικών ρευστών, τέτοια που προσδίδουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και ιδιαίτερη τυπολογία στο συγκεκριμένο γεωθερμικό κοίτασμα.



Εικόνα 4.2 Περιοχή έρευνας γεωθερμικών πεδίων στο Νέο Εράσμιο[xix]

Τα γεωθερμικά ρευστά αντλούνται εκ νέου με μέση θερμοκρασία 30°C. Οι εγκαταστάσεις θερμοκηπίου επεκτάθηκαν το 2015 με μια άλλη παρόμοια μονάδα 4,0 εκταρίων και δύο νέες παραγωγικές γεωτρήσεις που ενσωματώθηκαν στη γεωθερμική διάταξη. Τα νέα πηγάδια αντλούν τον ίδιο γεωθερμικό υδροφόρο ορίζοντα σε βάθος 250 m, με θερμοκρασία νερού κοντά στους 60°C (Parachristou, et.al, 2019).

4.2.1 Γεωθερμία και αγροτική παραγωγή της Θράκης

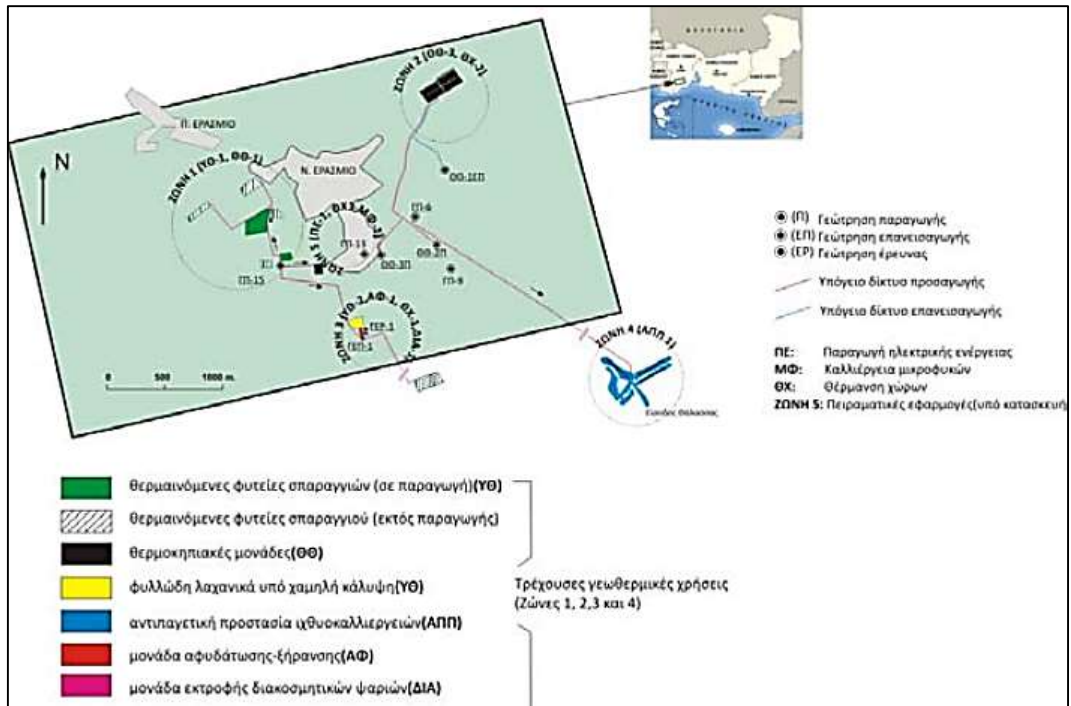
Το 2014 κατασκευάστηκε νέο υδροπονικό γεωθερμικό θερμοκήπιο στο Νέο Εράσμιο του νομού Ξάνθης. Αποτελείται από τέσσερα θερμοκήπια συνολικής έκτασης 4,0 εκταρίων, τα οποία παράγουν 800 τόνους ντομάτες και 900 τόνους αγγουριών, ετησίως. Η επένδυση έφτασε τα €5.000.000 περίπου και έχει δημιουργήσει περισσότερες από 60 θέσεις εργασίας, αποτελώντας τη σημαντικότερη επένδυση στην ελληνική αγορά γεωθερμικής ενέργειας που σχετίζεται με την αγροτική παραγωγή.

Η διαδικασία θέρμανσης επιτυγχάνεται με τη χρήση 250 m³/h γεωθερμικών ρευστών από δύο γεωθερμικές γεωτρήσεις, με μέση θερμοκρασία 60°C. Η κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών επιτυγχάνεται μέσω δύο ανεξάρτητων διατάξεων σωλήνων, είτε

σιδερένιες είτε πλαστικές, τοποθετημένες στο έδαφος στην περιφέρεια των σειρών φύτευσης (Botsaris, et.al., 2020).

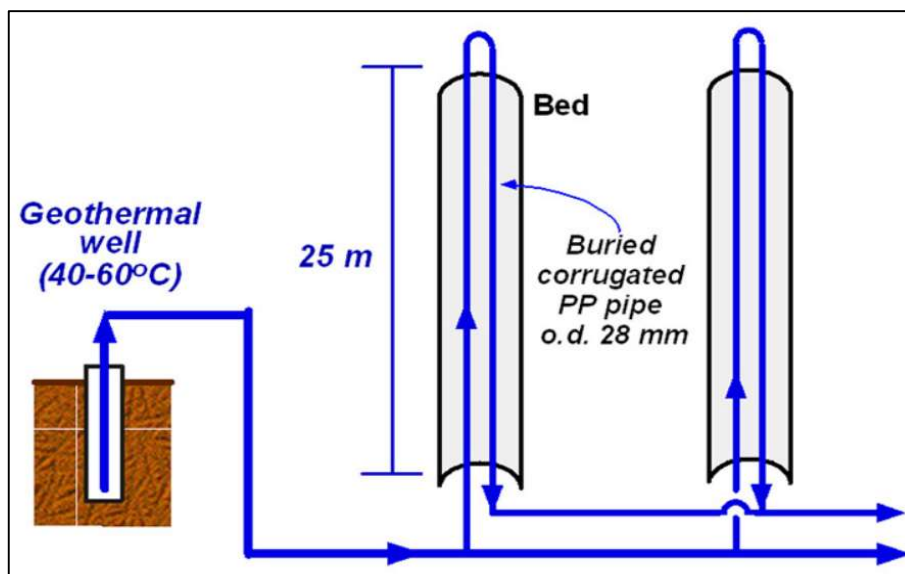
Η χρήση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας για θέρμανση εδάφους σε εντατικές ακάλυπτες καλλιέργειες εφαρμόστηκε για πρώτη φορά παγκοσμίως στο Νέο Εράσμιο (Ξάνθη) για την παραγωγή λευκών και πράσινων σπαραγγιών εκτός εποχής (Θύμιος & Κατινάς, 2014). Η ίδια μέθοδος θέρμανσης έχει εφαρμοστεί κατά καιρούς στην ίδια περιοχή για την πρώιμη καλλιέργεια μαρουλιού και άλλων λαχανικών όπως η φράουλα και το καρπούζι. Η έκταση καλλιέργειας σπαραγγιών στο Νέο Εράσμιο (Σχήμα 4.7) καλύπτει σήμερα 2,0 εκτάρια, παρουσιάζοντας σημαντική μείωση από την αρχή αυτού του έργου το 1998. Η μείωση αυτή δεν σχετίζεται σε καμία περίπτωση με τη διαθεσιμότητα γεωθερμικής ενέργειας, αλλά κυρίως με την υπέρβαση της παραγωγικής περιόδου της καλλιέργειας (>12-15 ετών).

Η βασική γραμμή θέρμανσης είναι απλή. Τα ριζώματα των σπαραγγιών φυτεύονται σε γραμμικές τάφρους εδάφους σε μέσο βάθος 25 cm. Τα γεωθερμικά ρευστά κυκλοφορούν μέσω πλαστικών σωλήνων πολυαιθυλενίου που τοποθετούνται είτε στο υπέδαφος κάτω από τις κορυφές των σπαραγγιών είτε στο έδαφος στη βάση των εδαφικών «ραβδώσεων», σε διάταξη U-bond (Σχήμα 4.8). Εισέρχονται στους σωλήνες με θερμοκρασία που μπορεί να κυμαίνεται από 30°C έως 60°C, ακολουθώντας τη διαθέσιμη αρχική θερμοκρασία των γεωθερμικών νερών (Πολυμένη, 2011). Η θερμοκρασία επανέγχυσης δεν υπερβαίνει τους 28°C - 30°C για να αποφευχθεί η δυσμενής υπερθέρμανση των καλλιεργειών. Τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης κυμαίνονται μεταξύ 100-150 KW/ha, ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία και την περίοδο έναρξης της διαδικασίας θέρμανσης. Η εγκατεστημένη ισχύς και η ετήσια χρήση ενέργειας είναι περίπου 3,37 MWt και 10,16 TJ, αντίστοιχα (Zimnukhova, Zubkova & Kamchatova, 2019).



Σχήμα 4.7 Χωροταξική κατανομή των γεωθερμικών εφαρμογών [xii]

Το 2005 μια παρόμοια θερμαινόμενη καλλιέργεια σπαραγγιού 3,0 εκταρίων εγκαταστάθηκε στο Μυρωδάτο (Ξάνθη), με χρήση γεωθερμικών ρευστών 50°C. Η εγκατεστημένη ισχύς είναι 1,05 MWt και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας 8,90 TJ. Με βάση τις συστηματικές μετρήσεις θερμοκρασίας και τις δοκιμές παραγωγής των ενεργών γεωτρήσεων, η επιβεβαιωμένη και άμεσα διαθέσιμη προς χρήση θερμική ισχύς υπερβαίνει τα 15 MWth. Τα γεωθερμικά ρευστά που έχουν θερμοκρασίες που φτάνουν τους 40°C - 65 °C εντοπίζονται σε εύκολα προσβάσιμα βάθη (200 m - 350 m). Η ποιότητά τους είναι εξαιρετική, γεγονός που καθιστά τη διαχείρισή τους εύκολη και φθηνή σε άντληση και μεταφορά. Διατίθενται κοινές εκτάσεις γης προς παραχώρηση στην περιοχή για εγκατάσταση μεταποιητικών μονάδων καθώς και θερμοκηπίων (Beauchamps, et.al., 2021).



Σχήμα 4.8 Διάγραμμα συστήματος υπόγειας θέρμανσης θερμοκηπίων [xvii]

Στην κτηνοτροφία μπορεί να συμβάλλει στη θέρμανση του πόσιμου νερού των αγελάδων όπου τους κρύους μήνες όταν τα ζώα πίνουν κρύο νερό (κάτω από μια τιμή θερμοκρασίας) η απόδοση παραγωγής γάλακτος μειώνεται (Κ. Alkoçak & Ο. Cetin 2016).

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα γίνει η ανάλυση και η εφαρμογή του γεωθερμικού συστήματος σε δημόσιο κτήριο του Νέου Ερασμίου στη Θράκη. Όπως ήδη αναφέρθηκε στο παρόν κεφάλαιο, η περιοχή αποτελεί ένα μέρος στο οποίο έγιναν τρεις νέες γεωθερμικές γεωτρήσεις και η περιοχή παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για εγκατάσταση γεωθερμικών συστημάτων.

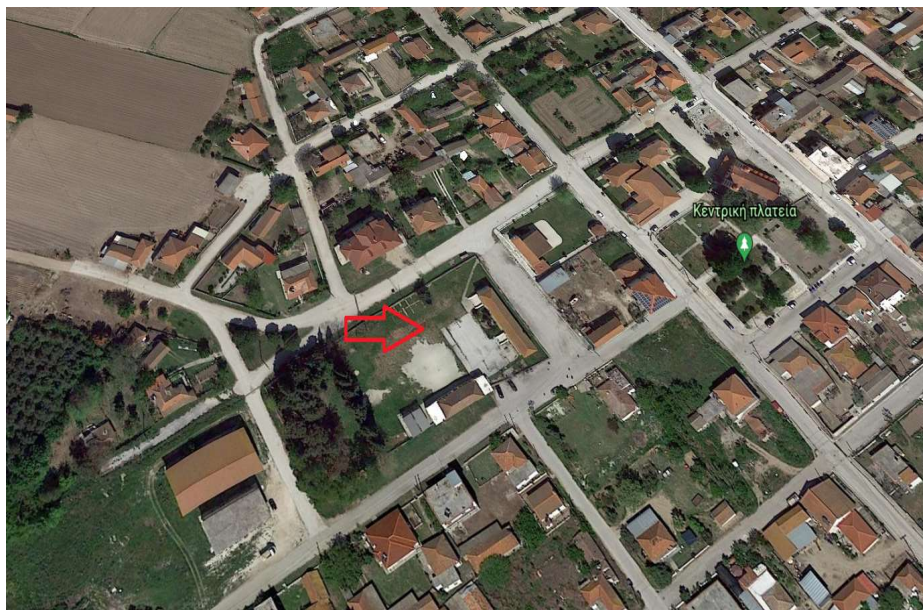
Κεφάλαιο 5 Εφαρμογή γεωθερμικού συστήματος σε δημόσιο κτήριο του Νέου Ερασμίου

5.1 Μεθοδολογία εφαρμογής

Για την μελέτη της εφαρμογής του γεωθερμικού συστήματος έγινε επιθεώρηση ενεργειακής απόδοσης ενός δημόσιου κτηρίου σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ 2017), ο οποίος περιλαμβάνει, πλέον των θερμομονωτικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων της εξωτερικής επιφάνειας του κτηρίου (κέλυφος) και άλλους παράγοντες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, όπως οι εγκαταστάσεις θέρμανσης/κλιματισμού και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τα στοιχεία παθητικής θέρμανσης και ψύξης, η σκίαση, η ποιότητα του αέρα εσωτερικών χώρων, ο επαρκής φυσικός φωτισμός και ο σχεδιασμός του κτηρίου. Σκοπός της μελέτης είναι να διερευνηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με την αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος θέρμανσης από γεωθερμικό σύστημα.

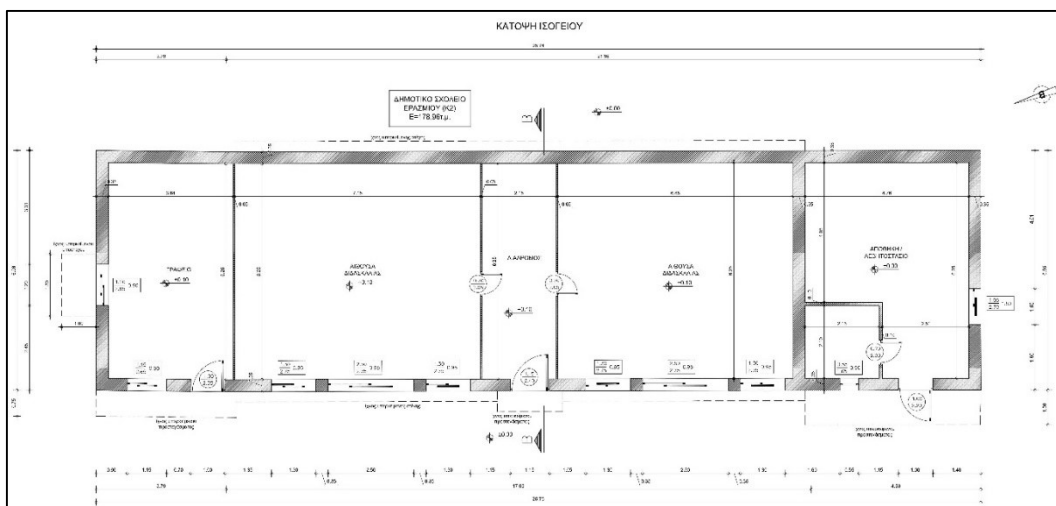
5.2 Περιγραφή κτηρίου

Για την εφαρμογή του γεωθερμικού συστήματος επιλέχτηκε ένα δημόσιο κτήριο στην περιοχή του Νέου Ερασμίου. Γεωγραφικά η περιοχή του Νέου Ερασμίου Ξάνθης βρίσκεται στις ανατολικές όχθες της εκβολής του ποταμού Νέστου και ανήκει στην ιζηματογενή περιοχή της λεκάνης Πρίνου – Δ. Νέστου, η οποία με τη σειρά της έχει αναπτυχθεί στη γεωτεκτονική ζώνη της μάζας της Ροδόπης. Στην εικόνα 5.1 απεικονίζεται η περιοχή και η θέση του δημόσιου κτηρίου όπως φαίνεται από φωτογραφία δορυφόρου.



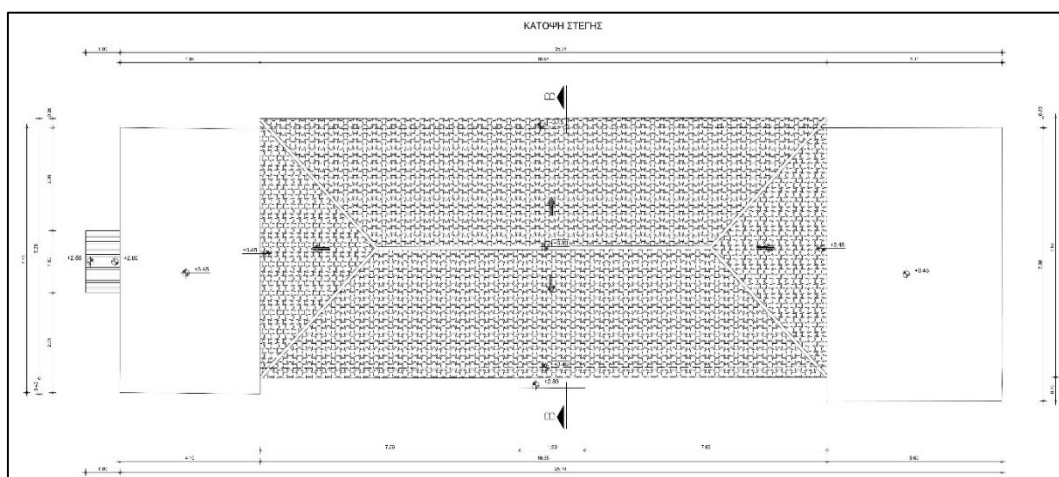
Εικόνα 5.1 Πανοραμική εικόνα της περιοχής του υπό μελέτη δημόσιου κτηρίου στο Ν. Εράσμιο

Το κτήριο ανήκει στην κλιματική ζώνη Γ με βάση τον διαχωρισμό της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες. Η γεωμετρία του κτηρίου απεικονίζεται στις κατόψεις που ακολουθούν. Στο Σχήμα 5.1 απεικονίζεται η κάτοψη του ισογείου και στο Σχήμα 2 η κάτοψη στέγης. Αποτελούν αποσπάσματα του σχεδίου ΑΡ2 αρχιτεκτονικής μελέτης αποτύπωσης υφιστάμενης κατασκευής του Ασημίδη Βασιλείου, Πολιτικού μηχανικού που θεωρήθηκαν από το Τμήμα Τεχνικών Υπηρεσιών του Δήμου Τοπεύρου.



Σχήμα 5.1 Κάτοψη ισογείου

Η συνολική επιφάνεια είναι 179 m² Οι διαστάσεις του είναι 25,75 m μήκος, 6,96 m πλάτος και 3,45 m ύψος έως την πλάκα οροφής. Ο φέρων οργανισμός είναι φέρουσα τοιχοποιία πάχους 35 cm χωρίς θερμομονωτική προστασία. Στο κεντρικό τμήμα υπάρχει κεραμοσκεπή επί ξύλινης στέγης έως τη στάθμη των 5,80 m Στα ακραία τμήματα η επικάλυψη είναι οριζόντια πλάκα σκυροδέματος.



Σχήμα 5.2 Κάτοψη στέγης

Τα κουφώματα είναι μεταλλικά, αλουμινίου με διπλούς υαλοπίνακες. Το υφιστάμενο σύστημα θέρμανσης θεωρήθηκε καυστήρας πετρελαίου με θερμική ισχύ 150 kW. Το κτήριο μελετήθηκε ως μία θερμική ζώνη με χρήση ως κτήριο εκπαίδευσης.

Μελετήθηκαν δύο σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας για να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων. Στο 1^ο σενάριο θεωρήθηκε ως σύστημα θέρμανσης μία γεωθερμική αντλία θερμότητας και στο 2^ο σενάριο λέβητας φυσικού αερίου. Και τα δύο συστήματα θέρμανσης θεωρήθηκε ότι έχουν θερμική ισχύς 32kW. Στη μελέτη των σεναρίων δεν μεταβλήθηκε καμία άλλη παράμετρος (κουφώματα, θερμομόνωση, σύστημα ψύξης) έτσι ώστε να αναδειχθεί η μεταβολή που επιφέρει κάθε σύστημα θέρμανσης στην κατανάλωση ενέργειας. Στις εικόνες που ακολουθούν Εικόνα 5.2 έως Εικόνα 5.5 απεικονίζονται οι όψεις του κτιρίου. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν για τις ανάγκες της παρούσας Διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 5.2 Πρόσοψη κτιρίου



Εικόνα 5.3 Πλάγια όψη



Εικόνα 5.4 Πλάγια όψη



Εικόνα 5.5 Πίσω όψη

5.3 Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά κελύφους

Στους Πίνακες που ακολουθούν απεικονίζονται τα θερμομονωτικά χαρακτηριστικά του κελύφους του κτιρίου. Συγκεκριμένα η ωφέλιμη επιφάνεια και ο ψυχόμενος όγκος της θερμικής ζώνης. Ο προσανατολισμός, η επιφάνεια, οι συντελεστές εκπομπής (ϵ) και απορροφητικότητας (α) καθώς και ο συντελεστής θερμοπερατότητας (U) κάθε διαφανούς και αδιαφανούς επιφάνειας του κτιρίου.

Ο συντελεστής εκπομπής περιγράφει την ικανότητα εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας που έχει απορροφήσει μία εξωτερική επιφάνεια από την ηλιακή ακτινοβολία και η τιμή του καθορίζεται από το υλικό και την διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας. Με βάση τον Πίνακα 3.16 της Τεχνικής Οδηγίας του ΤΕΕ 20701-1/2017 για σύνηθες δομικό υλικό επιλέχθηκε η τιμή 0.80.

Η ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία αδιαφανή επιφάνεια μπορεί να ανακλαστεί ή να απορροφηθεί από αυτή. Το άθροισμα του ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται και του ποσοστού που απορροφάται από μια επιφάνεια ισούται με τη μονάδα:

$$\rho + \alpha = 1$$

όπου,

ρ ο συντελεστής ανακλαστικότητας της επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία,

α ο συντελεστής απορροφητικότητας της επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία.

Τόσο η ανακλαστικότητα, όσο και η απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία ενός αδιαφανούς υλικού ή μιας επιφάνειας εξαρτώνται κυρίως από το χρώμα και την υφή της τελικής επιφάνειας. Ο Πίνακας 3.15 της Τεχνικής Οδηγίας του ΤΕΕ 20701-1/2017, δίνει τυπικές τιμές για κάθε είδος δομικού στοιχείου. Για κατακόρυφα δομικά στοιχεία με ανοιχτόχρωμο επίχρισμα επιλέχθηκε η τιμή 0,40.






Πίνακας 5.1 Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά αδιαφανών επιφανειών

Πίνακας Κελύφους

Επιφάνειες & Όγκοι Θερμικών Ζωνών

| | Σύνολο | Ωφέλιμος | Ψυχόμενος |
|--------------------------|--------|----------|-----------|
| Εμβαδό (m ²) | 179 | 179 | 179 |
| Όγκος (m ³) | 617.55 | 617.55 | 617.55 |

Αδιαφανείς Επιφάνειες

| # | ΘΖ | Περ. | Τύπος | Περιγραφή | Επαφή | Προσαν. γ | Κλίση β | α | ε | Ε συν | Υσταθ | |
|---|---|------|-------|-----------|-------------------------------|-----------|---------|-----|-----|-------|--------|------|
| 1 |  | ΘΖ 1 | 1 | Τοίχος | Χωρίς θερμομονωτική προστασία | Αέρας | 295° | 90° | 0.4 | 0.8 | 60.75 | 2.46 |
| 2 |  | ΘΖ 1 | 1 | Τοίχος | Χωρίς θερμομονωτική προστασία | Αέρας | 205° | 90° | 0.4 | 0.8 | 22.75 | 2.39 |
| 3 |  | ΘΖ 1 | 1 | Τοίχος | Χωρίς θερμομονωτική προστασία | Αέρας | 115° | 90° | 0.4 | 0.8 | 88.84 | 2.38 |
| 4 |  | ΘΖ 1 | 1 | Τοίχος | Χωρίς θερμομονωτική προστασία | Αέρας | 25° | 90° | 0.4 | 0.8 | 21.91 | 2.40 |
| 5 |  | ΘΖ 1 | 1 | Πόρτα | Αδιαφανής πόρτα | Αέρας | 295° | 90° | 0.8 | 0.2 | 2.20 | 6.00 |
| 6 | - | ΘΖ 1 | - | Οροφή | | Αέρας | 0° | 0° | 0.6 | 0.8 | 179.00 | 4.25 |

Ο βαθμός θερμομονωτικής προστασίας ενός αδιαφανούς δομικού στοιχείου προσδιορίζεται από το συντελεστή θερμοπερατότητας (U). Εξαρτάται αντιστρόφως ανάλογα

από τη θερμική αντίσταση που προβάλλουν οι διαδοχικές στρώσεις του δομικού στοιχείου στη ροή θερμότητας.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου n στρώσεων ορίζεται από τον τύπο:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} + R_s + R_a} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

όπου:

- U [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,
- n [-] το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,
- d [m] το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου,
- λ [$\text{W}/(\text{mK})$] ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης,
- R_s [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου
- R_i [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,
- R_a [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των κουφωμάτων (U_w) εξαρτάται από το υλικό του πλαισίου, το σύστημα υαλοπινάκων που φέρει, το ποσοστό επιφανείας πλαισίου και υαλοπινάκων επί του κουφώματος και το μήκος της θερμογέφυρας που σχηματίζεται στα σημεία ένωσης του υαλοπίνακα με το πλαίσιο.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας μονού κουφώματος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + I_g \cdot \Psi_g}{A_w}$$

όπου:

- U_w [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας όλου του κουφώματος,
- U_f [$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του πλαισίου του κουφώματος,

- U_g [W/(m²K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος,
- A_f [m²] η επιφάνεια του πλαισίου του κουφώματος,
- A_g [m²] η επιφάνεια του υαλοπίνακα του κουφώματος,
- l_g [m] το μήκος της θερμογέφυρας του υαλοπίνακα του κουφώματος (περίμετρος του υαλοπίνακα),
- Ψ_g [W/(mK)] ο συντελεστής γραμμικής θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα του κουφώματος,
- A_w [m²] το εμβαδό επιφανείας του κουφώματος ($A_w = A_f + A_g$).

Πίνακας 5.2 Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά διαφανών επιφανειών

| Διαφανείς Επιφάνειες | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|--------------------|-----------|-----------|---------|-----------|----------|--------------------------|-------|-------|-----------|
| # | ΘΖ | Περ. | Τύπος | Περιγραφή | Προσαν. γ | Κλίση β | Μήκος (m) | Ύψος (m) | Εμβαδό (m ²) | U_w | g_w | V_{inf} |
| 1 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 295° | 90° | 1.15 | 1.75 | 2.01 | 4.33 | 0.50 | 13.68 |
| 2 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 295° | 90° | 1 | 2.35 | 2.35 | 3.94 | 0.57 | 12.46 |
| 3 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 295° | 90° | 1.3 | 1.8 | 2.34 | 4.24 | 0.52 | 15.91 |
| 4 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 295° | 90° | 2.5 | 1.8 | 4.5 | 3.92 | 0.57 | 30.60 |
| 5 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 295° | 90° | 1.3 | 1.8 | 2.34 | 4.24 | 0.52 | 15.91 |
| 6 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 295° | 90° | 1.15 | 2.4 | 2.76 | 3.88 | 0.58 | 14.63 |
| 7 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 295° | 90° | 1.3 | 1.8 | 2.34 | 4.24 | 0.52 | 15.91 |
| 8 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 295° | 90° | 2.5 | 1.8 | 4.5 | 3.92 | 0.57 | 30.60 |
| 9 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 295° | 90° | 1.3 | 1.8 | 2.34 | 4.24 | 0.52 | 15.91 |
| 10 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 295° | 90° | 0.55 | 0.75 | 0.41 | 4.54 | 0.47 | 2.81 |
| 11 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 205° | 90° | 1.05 | 1.2 | 1.26 | 4.49 | 0.48 | 8.57 |
| 12 | ΘΖ 1 | 1 | Ανοιγόμενο κούφωμα | | 25° | 90° | 1.2 | 1.75 | 2.1 | 4.30 | 0.51 | 14.28 |

Πίνακας 5.3 Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά δαπέδου

| Σε επαφή με το Έδαφος | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|-----------|----------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|----------------|---------------|----------------|
| # | ΘΖ | Περιγραφή | Τύπος | Περιγραφή | Εμβαδό (m ²) | U (W/m ² *K) | Κάτω Βάθος (m) | Άνω Βάθος (m) | Περίμετρος (m) |
| 1 | ΘΖ 1 | - | Δάπεδο - Οροφή | Επαφή με Έδαφος | 179 | 3.10 | 0.00 | | 65.42 |

Επιπλέον στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή ηλιακού θερμικού κέρδους υαλοπινάκων και κουφωμάτων (g_w) και η διείσδυση αέρα από χαραμάδες V_{inf} (m³/h)

Ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους των διαφανών επιφανειών (g_w) εκφράζει τη μέση τιμή του λόγου της ηλιακής ακτινοβολίας που περνά από την επιφάνεια του κουφώματος προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό. Η τιμή του εξαρτάται από το είδος του υαλοπίνακα και το ποσοστό του πλαισίου επί του κουφώματος και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$g_w = g_{gl} \cdot (1 - F_f) = 0,9 \cdot g \cdot (1 - F_f)$$

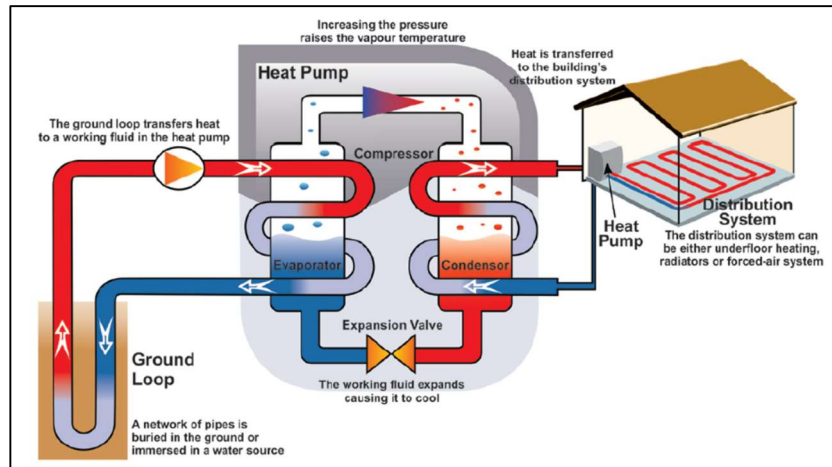
όπου:

- F_f το ποσοστό πλαισίου στο κούφωμα,
- g_{gl} ο συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους του υαλοπίνακα.
- g ο συντελεστής ηλιακού κέρδους σε κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας

Για να γίνει ο υπολογισμός της ενεργειακής του απόδοσης του κτιρίου καταγράφεται ο τύπος όλων των κουφωμάτων και η συνολική επιφάνεια για κάθε κούφωμα. Από τον πίνακα 3.24 της Τεχνική Οδηγίας του ΤΕΕ 20701-1/2017 επιλέγεται η κατάλληλη τιμή του συντελεστή διείσδυσης του αέρα για κάθε κούφωμα και πολλαπλασιάζεται με τη αντίστοιχη επιφάνειά του για να προκύψει η διείσδυση αέρα από κάθε κούφωμα V_{inf} (m^3/h).

5.4 Σύστημα θέρμανσης – γεωθερμική αντλία θερμότητας

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι ηλεκτροκίνητο σύστημα που εκμεταλλεύεται τη σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους, για να παρέχει θέρμανση, ψύξη και ζεστά νερά χρήσης. Η εγκατάστασή της γίνεται οριζόντια, όπου υπάρχει μεγάλη διαθέσιμη επιφάνεια, ή κάθετη, με γεώτρηση και κατακόρυφη τοποθέτηση των σωλήνων στο έδαφος. Στο Σχήμα 5.3 απεικονίζεται απλοποιημένα η λειτουργία μίας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.



Σχήμα 5.3 Απλοποιημένο διάγραμμα λειτουργίας αντλίας θερμότητας [v]

Οι εξωτερικές θερμοκρασίες του αέρα μεταβάλλονται με την αλλαγή των εποχών αλλά όχι και οι θερμοκρασίες του υπεδάφους. Σε βάθος δύο έως τριών μέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους οι θερμοκρασίες παραμένουν σχετικά σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Ένα γεωθερμικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από μια μονάδα εντός του κτιρίου και έναν θαμμένο γεωεναλλάκτη, αξιοποιεί αυτές τις σταθερές θερμοκρασίες για να δεσμεύσει την "ελεύθερη" ενέργεια. Το χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του εδάφους και την φέρνει στη μονάδα εσωτερικά του κτιρίου. Η μονάδα αντλεί τη θερμότητα και την διανέμει στο κτήριο με σκοπό την υψηλότερη θερμοκρασία των χώρων του κτηρίου. Το καλοκαίρι, το σύστημα αντιστρέφεται, απάγει τη θερμότητα από το κτήριο, τη μεταφέρει στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην πιο δροσερή γη.

Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα, τα συστήματα γεωεναλλακτών δεν καίνε ορυκτά καύσιμα για να παράγουν θερμότητα. Απλά μεταφέρουν τη θερμότητα από και προς τη γη για να παρέχουν την αποδοτική, προσιτή και φιλική προς το περιβάλλον θέρμανση και ψύξη. Ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την λειτουργία του συστήματος δηλαδή του συμπιεστή και των κυκλοφορητών.

Το σύστημα αποτελείται από τρία κύρια μέρη, τον εναλλάκτη θερμότητας νερού (γεωεναλλάκτης - κλειστό ή ανοιχτό κύκλωμα), την αντλία θερμότητας και το εσωτερικό σύστημα διανομής της θερμότητας στο κτήριο (αεραγωγοί ή ενδοδαπέδια ή fan coil).

Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης βαθμονομούνται για την απόδοσή τους σύμφωνα με τις διεθνείς και ευρωπαϊκές προδιαγραφές (ISO και EN). Οι καυστήρες ορυκτών

καυσίμων βαθμονομούνται με την επί τοις εκατό απόδοσή τους σε σχέση με την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου που καταναλώνουν. Οι καυστήρες φυσικού αερίου, προπανίου και πετρελαίου βαθμονομούνται για την απόδοσή τους σε ειδικά εργαστήρια.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, όπως όλοι οι άλλοι τύποι αντλιών θερμότητας, βαθμονομούνται σύμφωνα με τον συντελεστή απόδοσης (COP). Είναι ο επιστημονικός τρόπος προσδιορισμού της ενέργειας που το σύστημα παράγει σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιεί και ορίζεται ο λόγος της ωφέλιμης θερμικής ισχύος προς την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται. Τα περισσότερα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχουν COP = 3-5. Αυτό σημαίνει ότι μία γεωθερμική αντλία θερμότητας που έχει βαθμό απόδοσης COP=4,5 για κάθε kWh ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει, αποδίδει 4,5 kWh θερμικής ενέργειας.

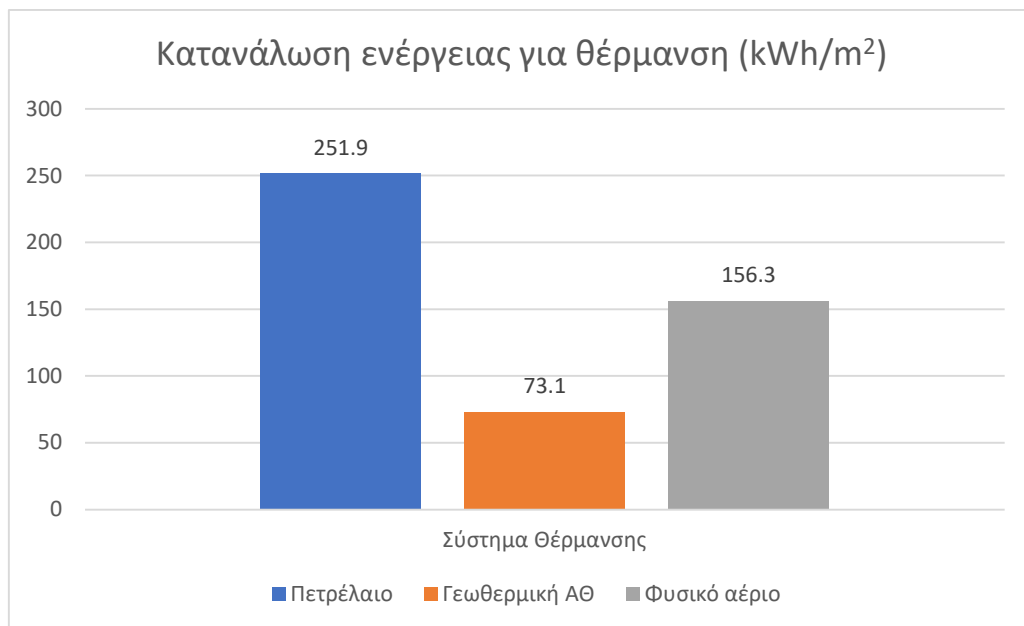
5.5 Ενεργειακή κατάταξη και σενάρια εξοικονόμησης ενέργειας

Στο Σχήμα 5.4 που ακολουθεί απεικονίζεται η ενεργειακή κατάταξη ανάλογα το σύστημα θέρμανσης και η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση. Το υφιστάμενο κτήριο κατατάσσεται την ενεργειακή κατηγορία H, με κριτήριο τον συντελεστή T που έχει τιμή 3,67 . Ο συντελεστής T είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτηρίου (E_p) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου αναφοράς (R_R).

Για τα σενάρια εξοικονόμησης υπολογίστηκαν $T=2,09$ (κατηγορία E) και $T=2,82$ (κατηγορία H) για σύστημα θέρμανσης με γεωθερμική αντλία θερμότητας και λέβητα φυσικού αερίου αντίστοιχα. Εάν ληφθεί υπόψη και η συνεισφορά της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στην ψύξη του κτιρίου τότε τα αποτελέσματα στη μείωση της απαιτούμενης κατανάλωσης ενέργειας είναι ακόμη πιο ευνοϊκά.



Σχήμα 5.4 Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά χρήση



Σχήμα 5.5 Σύγκριση συστημάτων θέρμανσης

Στο Σχήμα 5.5 παρουσιάζεται συγκριτικά για κάθε σύστημα θέρμανσης η κατανάλωση ενέργειας σε kWh/m². Στην περίπτωση του υπό μελέτη κτηρίου η αντικατάσταση του καυστήρα πετρελαίου με γεωθερμική αντλία θερμότητας επιφέρει μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση 71% ενώ ο λέβητας φυσικού αερίου επιφέρει μείωση 38%.

Κεφάλαιο 6 : Συμπεράσματα

Στη παρούσα διπλωματική εργασία έγινε συνοπτική παρουσίαση της Γεωθερμίας ως Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας (ΑΠΕ) και στη συνέχεια ακολούθησε ανασκόπηση σχετικά με την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως αλλά και ειδικότερα στην Ελλάδα. Στη συνέχεια παρουσιάστηκαν τα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης και ακολούθησε η περιγραφή πέντε γεωθερμικών πεδίων στην Θράκη και εκφράστηκαν οι σύγχρονες απόψεις σχετικά με τις χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θράκης. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας μελετήθηκε η εφαρμογή ενός γεωθερμικού συστήματος σε δημόσιο κτήριο του Νέου Ερασμίου και έγινε η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση με καυστήρα πετρελαίου και λέβητα φυσικού αερίου, αντίστοιχα.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος, αντικαθιστώντας την χρήση των υδρογονανθράκων (πετρέλαιο και φυσικό αέριο). Επίσης, συγκριτικά με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως η αιολική και η ηλιακή, η γεωθερμική ενέργεια παρουσιάζει συνεχή διαθεσιμότητα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η αύξηση της χρήσης, για ποικίλες ανάγκες, των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας που εκμεταλλεύονται τη σταθερή θερμοκρασία του εδάφους, συμβάλλει αποτελεσματικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη μείωση εκπομπών αερίων ρύπων. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας καταναλώνουν το ένα τέταρτο της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από μια ηλεκτρική αντίσταση και το μισό της ηλεκτρικής ενέργειας μιας κλιματιστικής εγκατάστασης. Με αυτό τον τρόπο συμβάλλουν ιδιαίτερα στην αντιμετώπιση και τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής ενώ παράλληλα είναι περισσότερο οικονομικά βιώσιμες και συνεισφέρουν στην διασφάλιση της ενεργειακής βιωσιμότητας.

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας είναι δυνατό να γίνει σε μεγάλη κλίμακα, και περιλαμβάνει εφαρμογές από την θέρμανση και ψύξη των κατοικιών μέχρι και βιομηχανικών, εμπορικών και άλλης χρήσης κτηρίων με αποτέλεσμα να βελτιωθεί το ενεργειακό ισοζύγιο πολλών χωρών και να αναβαθμιστεί το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων.

Η χώρα μας διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές παρόλο που οι περιπτώσεις εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας είναι λίγες και αφορούν μικρές κυρίως

εγκαταστάσεις, όπως θερμοκήπια. Το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωθερμικών πεδίων εντοπίζεται στη Βόρεια Ελλάδα και ιδιαίτερα στην Κεντρική και Ανατολική Μακεδονία καθώς και στη Θράκη. Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται πέντε γεωθερμικά πεδία στη Θράκη που εντοπίστηκαν στις ακόλουθες περιοχές: α) μία περιοχή στην ΠΕ Έβρου, β) δύο περιοχές στην ΠΕ Ροδόπης και γ) δύο περιοχές στην ΠΕ Ξάνθης. Σε αυτές τις περιοχές εντάσσεται και το Νέο Εράσμιο της Θράκης, η περιοχή που θεωρήθηκε στην παρούσα εργασία μέσα από την εφαρμογή γεωθερμικού συστήματος σε ισόγειο κτήριο του Νέου Ερασμίου.

Μετά την ανάλυση και την εφαρμογή του συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητάς σε δημόσιο κτήριο στο Νέο Εράσμιο της ΠΕ Ξάνθης υπολογίστηκε ότι η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με την αντικατάσταση του καυστήρα πετρελαίου, ως σύστημα θέρμανσης είναι εξαιρετικά σημαντική. Σύγκριση επίσης γίνεται και με λέβητα φυσικού αερίου με ανάλογα αποτελέσματα. Εάν ληφθεί υπόψη και η συνεισφορά της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στην ψύξη του κτιρίου τότε τα αποτελέσματα στη μείωση της απαιτούμενης κατανάλωσης ενέργειας είναι ακόμη πιο ευνοϊκά. Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι στην περιοχή της Θράκης είναι δυνατό να αξιοποιηθεί το γεωθερμικό της δυναμικό για την εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από την καύση αέριων και υγρών υδρογονανθράκων.

Βιβλιογραφία

1. Adele Manzella, Agnes Allansdottir, Anna Pellizzone, *Geothermal energy, and society*, 2019
2. Al Dakheel, J., Tabet Aoul, K., & Hassan, A. (2018). Enhancing green building rating of a school under the hot climate of UAE; renewable energy application and system integration. *Energies*, 11(9), 2465.
3. Alavy, M., Peiris, M., Wang, J., & Rosen, M. A. (2021). Assessment of a novel phase change material-based thermal caisson for geothermal heating and cooling. *Energy Conversion and Management*, 234, 113928.
4. Aljubury, I. M. A., & Ridha, H. D. A. (2017). Enhancement of evaporative cooling system in a greenhouse using geothermal energy. *Renewable Energy*, 111, 321-331.
5. Alkoyak A, Çetin O, 2016. Süt Sığırlarında Sıcaklık Stresi ve Korunma Yolları. *Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi*, 5 (1):40-55.
6. Angrisani, G., Diglio, G., Sasso, M., Calise, F., & d'Accadia, M. D. (2016). Design of a novel geothermal heating and cooling system: Energy and economic analysis. *Energy Conversion and Management*, 108, 144-159.
7. Beauchamps, G., Bourdelle, F., Dubois, M., Hebert, R. L., & Ledésert, B. A. (2021). First characterization of the cooling of the paleo-geothermal system of Terre-de-Haut (Les Saintes archipelago, Guadeloupe): Application of fluid inclusion and chlorite thermometry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 419, 107370.
8. Botsaris, P. N., Lymperopoulos, K., & Pechteliadis, A. (2020). Preliminary evaluation of operational results of RES systems integrated in students' residences in Xanthi, Greece. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 410, No. 1, p. 012048). IOP Publishing.
9. Brophy, P. (1997). Environmental advantages to the utilization of geothermal energy. *Renewable Energy*, 10(2-3), 367-377.
10. Dhepe, N., & Krishna, R. (2017). A review of the advancements in geothermal heating and cooling system. *Global Journal of Enterprise Information System*, 9(1), 105-108.
11. Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2013). *Geothermal energy: utilization and technology*. Routledge.
12. Elminshawy, N. A., Mohamed, A. M. I., Morad, K., Elhenawy, Y., & Alrobaian, A. A. (2019). Performance of PV panel coupled with geothermal air cooling system subjected to hot climatic. *Applied Thermal Engineering*, 148, 1-9.
13. Glassley, W. E. (2014). *Geothermal energy: renewable energy and the environment*. CRC press.
14. He, W. F., Han, D., & Wen, T. (2018). Energy, entropy and cost analysis of a combined power and water system with cascade utilization of geothermal energy. *Energy Conversion and Management*, 174, 719-729.

15. Hofmann, H., Zimmermann, G., Farkas, M., Huenges, E., Zang, A., Leonhardt, M., ... & Kim, K. Y. (2019). First field application of cyclic soft stimulation at the Pohang Enhanced Geothermal System site in Korea. *Geophysical Journal International*, 217(2), 926-949.
16. Huenges, E., & Ledru, P. (Eds.). (2010). *Geothermal energy systems: exploration, development, and utilization*. John Wiley & Sons.
17. Johnston, I. W., Narsilio, G. A., & Colls, S. (2011). Emerging geothermal energy technologies. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 15(4), 643-653.
18. Karytsas, S., Polyzou, O., & Karytsas, C. (2019). Social aspects of geothermal energy in Greece. In *Geothermal Energy and Society* (pp. 123-144). Springer, Cham.
19. Kaur, G., Krol, M., & Brar, S. K. (2021). Geothermal heating: Is it a boon or a bane for bioremediation?. *Environmental Pollution*, 117609.
20. Kristmannsdóttir, H., & Ármannsson, H. (2003). Environmental aspects of geothermal energy utilization. *Geothermics*, 32(4-6), 451-461.
21. Kumar, S., Gupta, S. K., & Rawat, M. (2020). Resources and utilization of geothermal energy in India: An eco-friendly approach towards sustainability. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1660-1665.
22. Lund, J. W. (2010). Direct utilization of geothermal energy. *Energies*, 3(8), 1443-1471.
23. Lund, J. W., & Boyd, T. L. (2016). Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics*, 60, 66-93.
24. Lund, J. W., & Toth, A. N. (2020). Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. *Geothermics*, 101915.
25. Mendrinou, D., Choropanitis, I., Polyzou, O., & Karytsas, C. (2010). Exploring for geothermal resources in Greece. *Geothermics*, 39(1), 124-137.
26. Moya, D., Aldás, C., & Kaparaju, P. (2018). Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 889-901.
27. Naicker, S. S., & Rees, S. J. (2018). Performance analysis of a large geothermal heating and cooling system. *Renewable Energy*, 122, 429-442.
28. Nian, Y. L., & Cheng, W. L. (2018). Evaluation of geothermal heating from abandoned oil wells. *Energy*, 142, 592-607.
29. Pal, R. K. (2013). Analysis of geothermal heating system for buildings. *International journal of engineering sciences and research technology*, 2(8), 261-264.
30. Papachristou, M., Arvanitis, A., Mendrinou, D., Dalabakis, P., Karytsas, C., & Andritsos, N. (2019). Geothermal Energy Use, Country Update for Greece (2016-2019). *Transport*, 1, 1-68.
31. Pratiwi, A. S., & Trutnevyte, E. (2021). Life cycle assessment of shallow to medium-depth geothermal heating and cooling networks in the State of Geneva. *Geothermics*, 90, 101988.
32. Ragnarsson, A. (2003, September). Utilization of geothermal energy in Iceland. In *Proceedings of the International Geothermal Conference IGC-2003* (Vol. 10, pp. 39-45).

33. Raymond, J., Malo, M., Tanguay, D., Grasby, S., & Bakhteyar, F. (2015, April). Direct utilization of geothermal energy from coast to coast: a review of current applications and research in Canada. In Proceedings, World Geothermal Congress.
34. Rybach, L. (2010, April). The future of geothermal energy and its challenges. In Proceedings world geothermal congress (Vol. 29).
35. Soltani, M., Kashkooli, F. M., Dehghani-Sanij, A. R., Kazemi, A. R., Bordbar, N., Farshchi, M. J., & Dusseault, M. B. (2019). A comprehensive study of geothermal heating and cooling systems. *Sustainable Cities and Society*, 44, 793-818.
36. Stober, I., & Bucher, K. (2013). *Geothermal energy*. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi, 10, 978-3.
37. Tester, J. W., Anderson, B. J., Batchelor, A. S., Blackwell, D. D., DiPippo, R., Drake, E. M., & Toksoz, M. N. (2006). The future of geothermal energy. *Massachusetts Institute of Technology*, 358.
38. Wu, Y., & Li, P. (2020). The potential of coupled carbon storage and geothermal extraction in a CO₂-enhanced geothermal system: a review. *Geothermal Energy*, 8(1), 1-28.
39. Yilmaz, C. (2017). Thermodynamic and economic investigation of geothermal powered absorption cooling system for buildings. *Geothermics*, 70, 239-248.
40. Zhu, J., Hu, K., Lu, X., Huang, X., Liu, K., & Wu, X. (2015). A review of geothermal energy resources, development, and applications in China: Current status and prospects. *Energy*, 93, 466-483.
41. Zimnukhova, D., Zubkova, G., & Kamchatova, E. (2019). Geothermal energy for heating. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 114, p. 05002). EDP Sciences.
42. Θύμιος, Δ. Ε., & Κατινάς, Ν. Β. (2014). Η γεωθερμία στην Ελλάδα.
43. Πολυμένη, Α. (2011). Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας Νέας Κεσσάνης και Νέου Εράσμιου-Μαγγάνων του νομού Ξάνθης (Doctoral dissertation).
44. Εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός, 2018, ΥΠΕΚΑ
45. Τα γεωθερμικά πεδία της χώρας, 2007, Διεύθυνση Γεωθερμίας και Θερμομεταλλικών Υδάτων, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)

Ιστογραφία

- i. https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_change
- ii. <https://www.thinkgeoenergy.com/the-rapid-development-of-geothermal-energy-in-the-netherlands/>
- iii. <https://www.thinkgeoenergy.com/the-top-10-geothermal-countries-2019-based-on-installed-generation-capacity-mwe/>
- iv. <https://archive.epa.gov/climatechange/kids/solutions/technologies/geothermal.html>
- v. <https://www.renovablesverdes.com/en/how-geothermal-energy-works/>
- vi. <https://www.bgehome.com/installations/heating-ac/geothermal/>
- vii. <https://www.bgs.ac.uk/geology-projects/geothermal-energy/>
- viii. <https://www.github.org/resources/showcase-projects/geothermal-energy-from-canal-and-minshafts/>
- ix. <https://earthrivergeothermal.com/geothermal-heating-systems/>
- x. https://www.oryktosploutos.net/2017/12/blog-post_11-8/
- xi. www.researchgate.net/publication/327883186_Axiopioiese_geothermikon_reuston_sto_Neo_Erasmio_Xanthes_Geothermal_exploitation_in_Neo_Erasmio_Xanthi
- xii. <https://kids.britannica.com/students/article/Ring-of-Fire/603130>
- xiii. <https://www.jeotermalhaberler.com/the-rapid-development-of-geothermal-energy-in-the-netherlands/>
- xiv. http://www.geoelec.eu/wp-content/uploads/2014/02/vanWees-Implications_NL-29-11-2013.pdf
- xv. <https://www.gaiadrill.gr/>
- xvi. <https://anadrasi.com/geothermia.php>
- xvii. <https://www.youtube.com/watch?v=5il3e60BYIU>
- xviii. <https://www.geothermikihellas.gr/Geothermia.html>
- xix. <https://earth.google.com/>
- xx. <https://docplayer.gr/7432085-Geothermikes-antlies-thermotitas-tehnologia-kai-paradeigmata-efarmogon.html>
- xxi. <https://www.oryktosploutos.net/>
- xxii. <https://docplayer.gr/47754038-To-geothermiko-dynamiko-tis-elladas.html>
- xxiii. <https://www.progressivedairy.com/topics/barns-equipment/3-ways-to-beat-the-summer-heat-stress-battle>

Παράρτημα Α

Πίνακας 1 – Χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού γεωτρήσεων περιοχής Σαπών – ΙΓΜΕ

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΑΠΩΝ(mg/l) " | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|------|--------|-------|------|-----|------|-----|-------|-------|-----|-------|------|-----|------|------|
| Δείγμα | Αγ/τητα σε μS/cm | pH | T.D.S | Ca | Mg | Na | K | CO3 | HCO3 | Cl | SO4 | SiO2 | Al | B | Fe | F |
| ΓΣ-2Π | 500 | 6,53 | 329,86 | 29,65 | 9,23 | 50 | 13,7 | | 43,92 | 28,36 | 155 | 51,15 | 0,05 | 0,2 | 0,67 | 1,23 |
| ΓΣ-3Π | 960 | 7,82 | 775,64 | 14,43 | 0,97 | 196 | 20,2 | | 384,3 | 95,74 | 64 | 63 | 0 | 0,6 | 0,22 | 0,4 |
| ΓΣ-4Π | 970 | 7,3 | 761,15 | 10,42 | 5,83 | 205 | 14 | | 224,5 | 106,4 | 195 | 14,77 | 0 | 1,1 | 0,26 | 1,79 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΕΡΙΑΣ ΦΑΣΗΣ " | | | | | | |
|------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|
| Δείγμα | (% κ.ο.) | | | | | |
| | H ₂ | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ S | N ₂ | NH ₃ |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| " ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ " | | | |
|--|----|---|-------------|
| Δείγμα | Ra | U | Rn(pCi/lit) |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Πίνακας 2 - Χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού γεωτρήσεων περιοχής λίμνης Μητρικού – ΙΓΜΕ

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ Λ.ΜΗΤΡΙΚΟΥ (mg/l) " | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|------|---------|------|-----|--------|------|-----|--------|-----|-------|------|----|-----|-----|---|
| Δείγμα | Αγ/τητα σε μS/cm | pH | T.D.S | Ca | Mg | Na | K | CO3 | HCO3 | Cl | SO4 | SiO2 | Al | B | Fe | F |
| ΚΟ-5 | 2216 | 9,27 | 1537,58 | 4,01 | 3,4 | 558,62 | 4,67 | 0 | 396,58 | 553 | 17,29 | 2,14 | | 2,2 | 0,6 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΕΡΙΑΣ ΦΑΣΗΣ " | | | | | | |
|------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|
| Δείγμα | (% κ.ο.) | | | | | |
| | H ₂ | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ S | N ₂ | NH ₃ |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| " ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ " | | | |
|--|----|---|-------------|
| Δείγμα | Ra | U | Rn(pCi/lit) |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Πίνακας 3 - Χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού γεωτρήσεων περιοχής Νέας Κεσσάνης – ΙΓΜΕ

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΕΣΣΑΝΗΣ (ppm) " | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|------|-------|-------|-------|------|-----|-----|------|------|-----|------|----|-----|-----|---|
| Δείγμα | Αγ/τητα σε μS/cm | pH | T.D.S | Ca | Mg | Na | K | CO3 | HCO3 | Cl | SO4 | SiO2 | Al | B | Fe | F |
| Γ2Π | 7.000 | 6,65 | 5519 | 127,5 | 29,18 | 1501 | 163 | | 1746 | 1684 | 239 | 28 | | 4,3 | 0,2 | |
| Γ12Π | 6200 | 7,2 | 4893 | 112 | 24 | 1396 | 129 | | 1456 | 1503 | 209 | 63 | | 4,4 | 0,8 | |
| Γ13Π | 7400 | 7,1 | 3733 | 114 | 30 | 62 | 146 | | 1507 | 1581 | 229 | 63 | | 4,7 | 0,2 | |
| Γ21Π | 7400 | 7,3 | 5192 | 133 | 21,4 | 1449 | 137 | | 1584 | 1610 | 207 | 51 | | 4,5 | 0,3 | |
| Γ22Π | 7300 | 6,8 | 4869 | 124 | 21,5 | 1352 | 117 | | 1490 | 1503 | 207 | 53 | | 4,7 | 0,1 | |
| ΚΕΣΣΑΝΗ1 | 7200 | 7,6 | 3855 | 125 | 34 | 1540 | 134 | | 1537 | 159 | 324 | | | | | |

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΕΡΙΑΣ ΦΑΣΗΣ " | | | | | | |
|------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|
| Δείγμα | (% κ.ο.) | | | | | |
| | H ₂ | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ S | N ₂ | NH ₃ |
| ΓΠ-16 | | 0,04 | 298-99 | 5ppmV | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| " ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ " | | | |
|---|----|---|--------------|
| Δείγμα | Ra | U | Rn (pCi/lit) |
| ΓΠ-16 | | | 70 |
| | | | |

Πίνακας 4 - Χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού γεωτρήσεων περιοχής Νέου Ερασμίου – ΙΓΜΕ

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΑΣΜΙΟΥ-ΜΑΓΓΑΝΩΝ (mg/l) " | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-------|------|------|----|---|----|---|
| Δείγμα | Αγ/τητα σε μS/cm | pH | T.D.S | Ca | Mg | Na | K | CO3 | HCO3 | Cl | SO4 | SiO2 | Al | B | Fe | F |
| ΓΠ-15 | 1080 | 8,5 | 665,3 | 3,6 | 2,4 | 211,5 | 3,9 | 7,2 | 225,8 | 177,3 | 33,6 | 33 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΕΡΙΑΣ ΦΑΣΗΣ " | | | | | | |
|------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|
| Δείγμα | (% κ.ο.) | | | | | |
| | H ₂ | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ S | N ₂ | NH ₃ |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| " ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ " | | | |
|---|----|---|-------------|
| Δείγμα | Ra | U | Rn(pCi/lit) |
| ΓΠ-15 | | | 234 |
| ΓΠ-9 | | | 617 |
| | | | |

Πίνακας 5 - Χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερού γεωτρήσεων περιοχής Αρίστηνου – ΙΓΜΕ

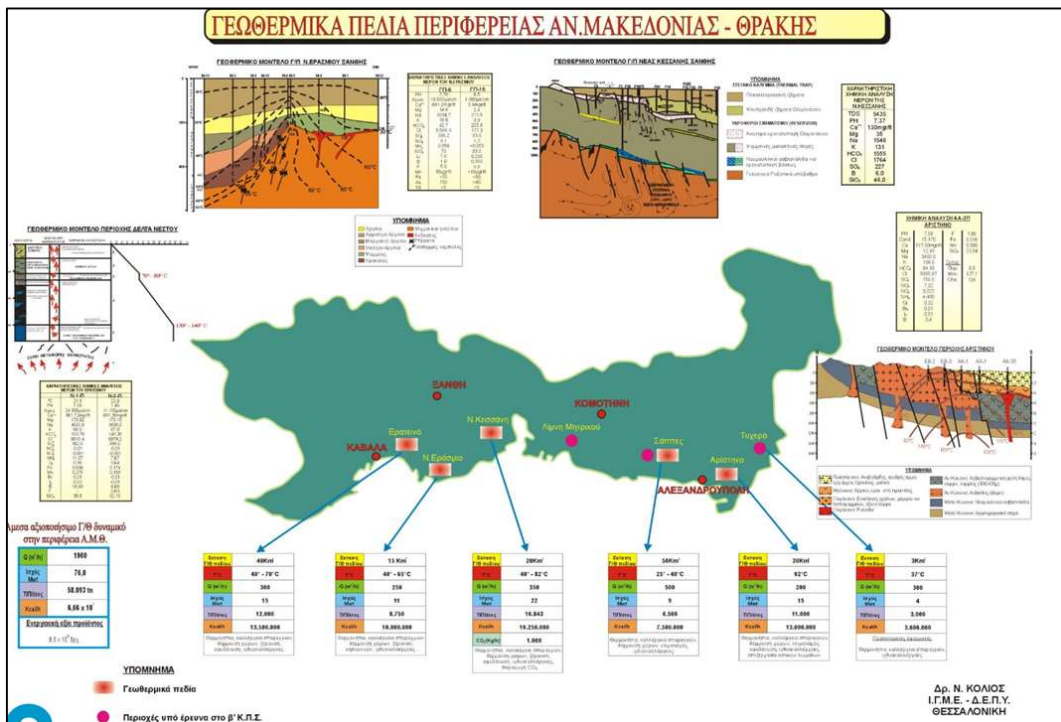
| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΡΙΣΤΗΝΟΥ (mg/l) " | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|------|----------|--------|-------|------|-----|-----------------|------------------|--------|-----------------|------------------|----|-----|----|------|
| Δείγμα | Αγ/τητα σε $\mu\text{S}/\text{cm}$ | pH | T.D.S | Ca | Mg | Na | K | CO ₃ | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | SiO ₂ | Al | B | Fe | F |
| Γεώτρηση ΑΑ 1Π | 12200 | 7,72 | 9582,06 | 340,7 | 24,3 | 2000 | 100 | | 124,4 | 4255,5 | 235,5 | 64,2 | | 7 | | 4,4 |
| Γεώτρηση ΑΑ 3Π | 15170 | 7,58 | 10530,57 | 517,03 | 12,15 | 3400 | 104 | | 84,18 | 5655,9 | 750 | 23,54 | | 0,4 | | 1,86 |
| Γεώτρηση ΑΑ 4Πεξ | 14440 | 7,91 | 9728,42 | 391,68 | 14,58 | 3300 | 30 | | 69,54 | 5212,6 | 710 | 28,3 | | 8,8 | | 1,99 |
| Γεώτρηση ΑΑ 4Πεξ | 13530 | 8,11 | 10235,34 | 529,06 | 24,3 | 3200 | 152 | | 219,6 | 5425,4 | 685 | 47,1 | | 8,5 | | 3 |
| Γεώτρηση ΑΑ 5Π | 11620 | 7,95 | 7618,21 | 334,27 | 10,21 | 2500 | 100 | | 211,06 | 3836,8 | 625 | 27,6 | | 9,4 | | |

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΕΡΙΑΣ ΦΑΣΗΣ " | | | | | | |
|------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|
| Δείγμα | (% κ.ο.) | | | | | |
| | H ₂ | CH ₄ | CO ₂ | H ₂ S | N ₂ | NH ₃ |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

| " ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ " | | | |
|--|----|---|-------------|
| Δείγμα | Ra | U | Rn(pCi/lit) |
| | | | |
| | | | |



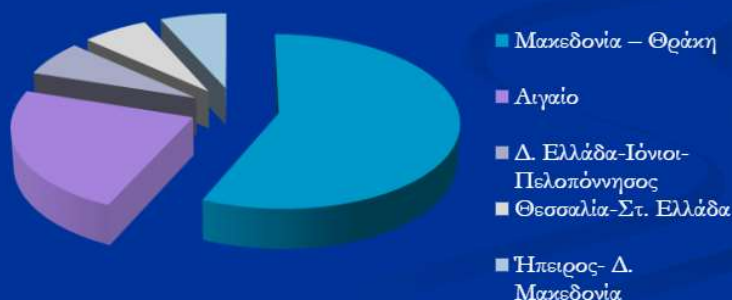
Εικόνα Π.1 Χαρακτηρισμένα Πεδία Ανατολική-Μακεδονίας Θράκης [xci]



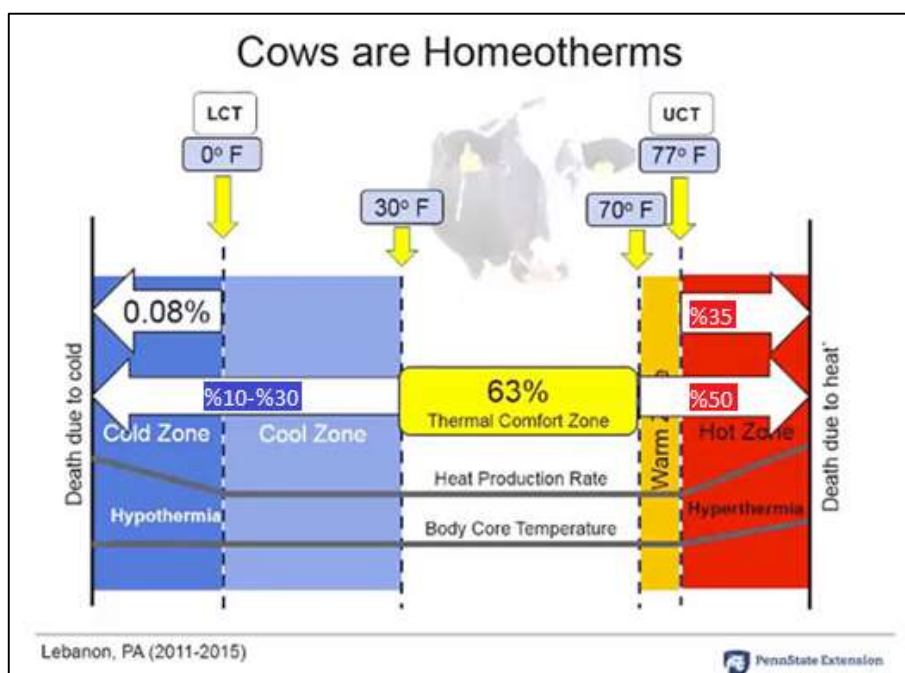
Εικόνα Π.2 Γεωθερμικά Πεδία Αν. Μακεδονίας – Θράκης [xcii]

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΕΔΙΩΝ ΣΕ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΕΣ

| | |
|-------------------------------|-----------|
| Μακεδονία – Θράκη | 17 |
| Αιγαίο | 7 |
| Δ. Ελλάδα-Ιόνιοι-Πελοπόννησος | 2 |
| Θεσσαλία-Στ. Ελλάδα | 2 |
| Ήπειρος- Δ. Μακεδονία | 2 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 30 |



Εικόνα Π.3 Κατανομή γεωθερμικών πεδίων σε Περιφέρειες [xhii]



Εικόνα Π.4 Γεωθερμία στην κτηνοτροφία [xhiii]