



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ

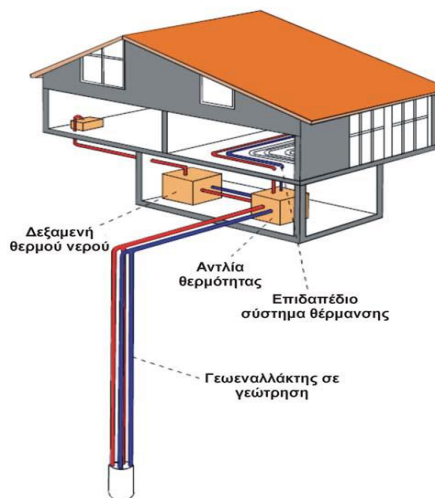
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**«Αξιολόγηση κύκλου ζωής περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων
γεωθερμικών συστημάτων χαμηλής ενθαλπίας»**

Διπλωματική Εργασία

Πατσάλης Χρήστος



ΑΘΗΝΑ, 2018



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Αμπελιώτης Κωνσταντίνος (Επιβλέπων)

Αναπλ. Καθηγητής, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας,

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Δέτσης Βασίλειος

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας,

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Λαζαρίδη Κάτια

Αναπλ. Καθηγήτρια, Τμήμα Οικιακής Οικονομίας & Οικολογίας,

Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ο Πατσάλης Χρήστος

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ.Αμπελιώτη Κωνσταντίνο για την υπομονή και την κατανόηση που έδειξε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, αλλά και για την καθοδήγηση του χωρίς την οποία δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αυτή η εργασία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ.κ. Φλεμοτόμο και Μαναγούδη, των οποίων η βοήθεια και η συμβολή υπήρξε καθοριστική για την υλοποίηση της συγκεκριμένης μελέτης.

Τέλος, όπως πάντα, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους γονείς μου Δημήτρη και Δέσποινα, καθώς και τη σύντροφο μου Νίκη, για την αμέριστη υποστήριξη και συμπαράσταση καθ' όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την πάροδο των χρόνων και την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας ολοένα και περισσότερο επέρχεται η επιβάρυνση του περιβάλλοντος η οποία προέρχεται από τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες του πληθυσμού καθώς και της βιομηχανίας για την κατανάλωση ενέργειας όσον αφορά στην κάλυψη των αναγκών σε ψύξη και θέρμανση.

Επομένως, καθίσταται επιτακτική ανάγκη η εξεύρεση περισσότερων εναλλακτικών μεθόδων κάλυψης των ενεργειακών αναγκών οι οποίες δεν θα επιβαρύνουν στα ίδια ποσοστά το περιβάλλον, με τις συμβατικές μεθόδους.

Στη παρούσα μελέτη θα επιχειρήσουμε να αναλύσουμε γεωθερμικά συστήματα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ψύξης θέρμανσης και στο τέλος θα πραγματοποιήσουμε μία αξιολόγηση κύκλου ζωής σε ένα γεωθερμικό σύστημα χαμηλής ενθαλπίας με σκοπό την αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που επιφέρει.

Λέξεις κλειδιά: AKZ, περιβαλλοντική αξιολόγηση, γεωθερμική αντλία θερμότητας, συστήματα γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας.

ABSTRACT

Over the years and the stunning development of technology, there has been an increasing burden on the environment, stemming from the ever-increasing demand of the population as well as the energy consumption industry for cooling and heating needs.

Therefore, it is imperative to find more alternative methods to overcome energy needs that will not burden the environment with conventional methods.

In the present study we will attempt to analyze geothermal systems compared to other heating cooling methods and in the end we will perform a life cycle assessment in a low enthalpy geothermal system to assess the environmental impacts it brings.

Keywords: LCA, environmental assessment, geothermal heat pump, low enthalpy geothermal system.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ	13
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	16
2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ	17
2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ	17
2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ	19
2.3 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ	22
3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ	26
3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	26
3.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	28
3.2.1 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	28
3.2.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	33
3.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Γεωθερμικών Συστημάτων	36
4.1 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ	37
4.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ	43
4.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ-ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	46
5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ	49
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	49
5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΚΖ	50
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	51
7. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	64
7.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	64
7.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	67
7.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΜΕ ΕΝΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	69
8. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	71
8.1 ΣΚΟΠΟΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	72
8.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ	73
8.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	73
8.5 ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	73
8.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	75
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	87

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Δομή εσωτερικού της Γης.....	14
Εικόνα 1.2: Υπόγεια κυκλοφορία ρευστών (Ιδεατό γεωθερμικό σύστημα).....	15
Εικόνα 1.3: Larderello: Πρώτη εφαρμογή εκμετάλλευσης γεωθερμίας.....	17
Εικόνα 2.1: Διάφορες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας.....	18
Εικόνα 2.2: Εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση σε ξενοδοχείο	19
Εικόνα 2.3: Εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας για χρήση θέρμανσης σε θερμοκήπιο στη Β.Ελλάδα	19
Εικόνα 2.4: Σεισμικές διασκοπίσεις για τον εντοπισμό πιθανών πεδίων	20
Εικόνες 2.5-2.6: Φωτογραφίες ερευνητικών γεωθερμικών γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου κατασκευής Ι.Γ.ΜΕ.Και οι δύο γεωτρήσεις παρουσιάζουν αρτεσιανισμό.....	21
Εικόνες 2.7-2.8: Φωτογραφίες από γεωθερμικές γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου κατασκευής Ι.Γ.Μ.Ε, στα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας της Χίου.....	21
Εικόνα 2.9: Γεωθερμικός χάρτης Ελλάδος.....	23
Εικόνα 2.10: Το Ελληνικό Ορογενετικό Τόξο όπως αυτό υφίσταται σήμερα.....	24
Εικόνα 3.1-3.2: Αριστ.Θερμές πηγές Πολυχνίτου, Δεξιά Καλλιέργεια σπιρουλίνας στη Β.Ελλάδα.....	27
Εικόνα 3.3: Σύστημα γεωθερμικής αντλίας (γεωεναλλάκτης-αντλία θερμότητας-εσωτερικό σύστημα διανομής).....	28
Εικόνα 3.4: Κύκλος Αντλίας θερμότητας για ψύξη.....	29
Εικόνα 3.5: Κύκλος Αντλίας θερμότητας για θέρμανση	29
Εικόνα 3.6: Κύκλος Αντλίας θερμότητας	30
Εικόνα 3.7: Τυπικές μεταβολές της εδαφικής θερμοκρασίας με το βάθος	33
Εικόνα 3.8: Άποψη μηχανοστασίου συστήματος ΓΑΘ σε οικία	35
Εικόνα 4.1: Οριζόντια διάταξη με ενδοδαπέδια διανομή θερμότητας.....	38
Εικόνα 4.2: Σύστημα κλειστού βρόχου σε σειρά (connection on series) και σε παράλληλη διάταξη (connection in parallel) αντίστοιχα	39
Εικόνα 4.3: Σημείο τοποθέτησης οριζόντια σπειροειδούς διάταξης	40
Εικόνα 4.4: Σύστημα κλειστού βρόχου ή οριζόντιας σπειροειδούς διάταξης	41
Εικόνα 4.5: Σπειροειδές σύστημα. Στο πάνω μέρος φαίνεται η συμπαγής μορφή και στο κάτω μέρος η εκτεταμένη μορφή.....	41
Εικόνα 4.6: Κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα	42

Εικόνα 4.7: Σύστημα αντλίας θερμότητας υπογείου νερού. Το νερό αντλείται και επιστρέφει στον υπόγειο υδροφόρο με τις γεωτρήσεις παραγωγής (production wells) και επανέγχυσης (injection wells) αντίστοιχα.....	44
Εικόνα 4.8: Υπόγεια διάθεση του υπό απομάκρυνση νερού	44
Εικόνα 4.9: Απεικόνιση συστήματος επιφανειακών υδάτων.....	45
Εικόνα 4.10: Υβριδικό σύστημα με ταυτόχρονη λειτουργία κλειστού και ανοιχτού γεωεναλλάκτη	46
Εικόνα 4.11: Αριστερά φαίνεται ο τρόπος διανομής της θερμότητας με συμβατικά σώματα, ενώ δεξιά ο τρόπος διάθεσης της θερμότητας με το ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης.	47
Εικόνα 4.12: Τοποθέτηση επιδαπέδιου συστήματος.....	48
Εικόνα 4.13: Fan coils ενσωματωμένα στη οροφή	48
Εικόνα 5.1: Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής	51
Εικόνα 6.1: Κατηγοριοποίηση των διαδικασιών για την παραγωγή θερμότητας στο υπό μελέτη σύστημα	52
Εικόνα 7.1: Θερμές πηγές Πολιχνίτου-Λέσβος	64
Εικόνα 7.2: Λουτράκι Αριδέα (T=37oC)-Εξωτερική πισίνα	64
Εικόνα 7.3: Τυπικό γεωθερμικό σύστημα για θέρμανση με πηγάδι άντλησης και πηγάδι επαναεισαγωγής.....	66
Εικόνα 7.4: Φωτογραφία της εγκατάστασης στη Χρυσούπολη	66
Εικόνα 7.5: Οι αντλίες θερμότητας στο μηχανοστάσιο του Δημαρχείου	67
Εικόνα 7.6: Οικία στη Βυτίνα	68
Εικόνα 7.7: Τρισδιάστατη απεικόνιση μηχανοστασίου.....	69
Εικόνα 8.1: Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας.....	72

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.11: Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα. Έρευνα Ι.Γ.Μ.Ε	24
Πίνακας 7.1: Κατανάλωση γεωθερμίας για θέρμανση.....	69
Πίνακας 7.2: Κόστος λειτουργίας ΓΑΘ για θέρμανση.....	70
Πίνακας 7.3: Κατανάλωση γεωθερμίας στην ψύξη.....	70
Πίνακας 7.4: Κόστος λειτουργίας ΓΑΘ για ψύξη..	70
Πίνακας 7.5: Κατανάλωση πετρελαίου και ρεύματος για θέρμανση	70
Πίνακας 7.6 Κατανάλωση split unit και ρεύματος για ψύξη και ZNX.	71
Πίνακας 8.1: Υλικά και ποσότητες αυτών, που απαρτίζουν την αντλία	74
Πίνακας 8.2: Αποτελέσματα όλων των κατηγοριών των επιπτώσεων του κύκλου ζωής του γεωθερμικού συστήματος.	77
Πίνακας 8.3: Αποτελέσματα όλων των κατηγοριών των επιπτώσεων του κύκλου ζωής του γεωθερμικού συστήματος..	77
Πίνακας 8.4: Υλικά όπως αυτά εισήχθησαν στο πρόγραμμα.....	80
Πίνακας 8.5 Αποτελέσματα όλων των κατηγοριών των επιπτώσεων των υλικών της ΓΑΘ.	81
Πίνακας 8.6: Αποτελέσματα όλων των κατηγοριών των επιπτώσεων των υλικών της ΓΑΘ σε ποσοστά %.....	82

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 6.1: Διάγραμμα ροών για την παραγωγή θερμότητας.....	53
Διάγραμμα 6.2: Διάγραμμα ροών για τον εναλλάκτη θερμότητας.....	53
Διάγραμμα 6.3: Διάγραμμα ροών για το σύστημα διανομής	54
Διάγραμμα 6.4: Κατηγορίες επιπτώσεων και ποσοστό συμμετοχής του κάθε υποσυστήματος	55
Διάγραμμα 6.5: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και των δύο συστημάτων	57
Διάγραμμα 6.6: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις για την κάθε δραστηριότητα ξεχωριστά.....	58
Διάγραμμα 6.7: Διαγράμματα ροών για το γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης	59
Διάγραμμα 6.8: Συμβολή του κάθε υποσυστήματος στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	60
Διάγραμμα 6.9: Συμβολή στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τη κάθε διαδικασία που συμμετέχει στη λειτουργία του γεωθερμικού συστήματος.....	61
Διάγραμμα 6.10: Όρια συστήματος και στάδια της ΑΚΖ ενός GSHP συστήματος.....	62
Διάγραμμα 6.11: Εκπομπές NO _x από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός GSHP συστήματος.....	63
Διάγραμμα 6.12: Εκπομπές SO ₂ σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός GSHP συστήματος.....	63
Διάγραμμα 8.1: Απεικόνιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής του συστήματος.....	76
Διάγραμμα 8.2: Απεικόνιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του γεωθερμικού συστήματος-κανονικοποίηση	79
Διάγραμμα 8.3: Απεικόνιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υλικών που συνθέτουν την ΓΑΘ.....	81
Διάγραμμα 8.4: Απεικόνιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ΓΑΘ-Κανονικοποίηση.....	83

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως ο πρώτος άνθρωπος ήταν δέσμιος της φωτιάς, ο σημερινός είναι δέσμιος της ενέργειας για να καταφέρει να συντηρήσει τον τεράστιο τεχνολογικό κόσμο που έχει δημιουργήσει. Για να ικανοποιήσει τις υπέρμετρες ενεργειακές του ανάγκες αντλεί από τα λεγόμενα «ενεργειακά ορυκτά» όπως είναι τα διάφορα είδη ανθράκων, οι υδρογονάνθρακες (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.α.) και τα ραδιενεργά μεταλλεύματα.

Με ταχύτατους ρυθμούς όμως έχει οδηγηθεί, λόγω των αυξημένων αναγκών του, στο να αγγίξει τα όρια των διαθεσίμων πόρων. Έχει υπολογιστεί ότι τα τελευταία 50 χρόνια ξοδεύτηκε στη Γη τόση ενέργεια όση είχε καταναλωθεί σε όλη τη μέχρι τότε ζωή της ανθρωπότητας. Η χρήση των συμβατικών μορφών ενέργειας έχει παίξει καθοριστικό ρόλο στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, από τους εκπεμπόμενους ρύπους που αποβάλλονται από την ατελή καύση των ενεργειακών ορυκτών με τραγικές συνέπειες ορατές πλέον στην καθημερινότητα μας.

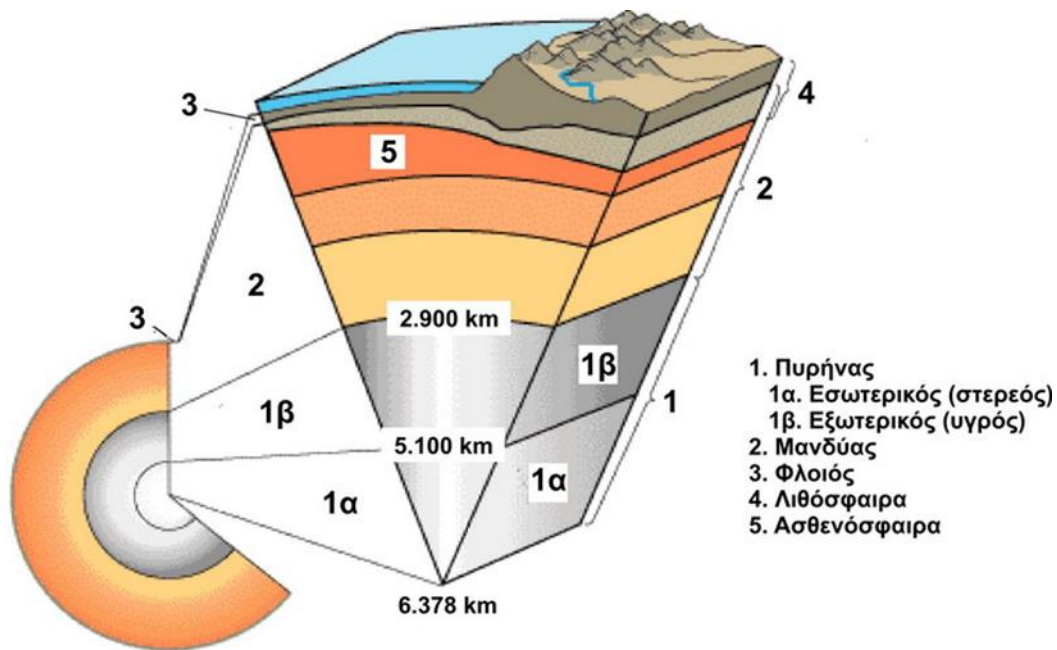
Όλα αυτά αναδύουν την τεράστια αναγκαιότητα της αξιοποίησης των εναλλακτικών μορφών ενέργειας που ονομάζονται ήπιες γιατί δε ρυπαίνουν το περιβάλλον ή ανανεώσιμες διότι είναι ανεξάντλητες. Είναι ξεκάθαρο πλέον ότι πρέπει να απαγκιστρωθούμε από το υπάρχον κυρίαρχο ενεργειακό μοντέλο και ειδικά σε μία χώρα όπως είναι η Ελλάδα όπου είναι ιδιαίτερα προικισμένη σε αυτό που ονομάζουμε ΑΠΕ.

Στην παρούσα εργασία θα εστιάσουμε στη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας ως ανανεώσιμη πηγή και πιο συγκεκριμένα στη αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής και πολύ χαμηλής ενθαλπίας.

1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

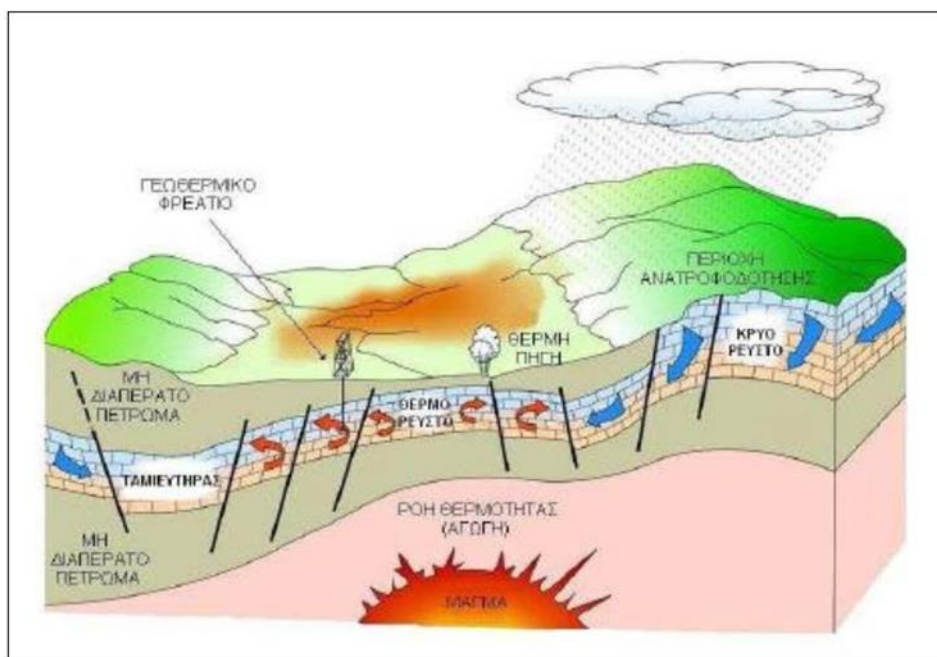
Η γεωθερμία είναι μια μορφή ενέργειας η οποία είναι εγκλεισμένη στα έγκατα της Γης και εκφράζεται σε μονάδες θερμότητας που αποδίδονται σε ωριαία ή ετήσια βάση, ή σε μονάδες ισοδύναμης ηλεκτρικής ισχύος.

Η θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος και ο ρυθμός αύξησης (γεωθερμική βαθμίδα) κυμαίνεται περίπου στους $2,5-3^{\circ}\text{C}/100\text{km}$. Για παράδειγμα αν η θερμοκρασία στα πρώτα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ανταποκρίνεται κατά μέσο όρο στη μέση ετήσια θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, δηλαδή στους 15°C τότε μπορούμε να υποθέσουμε ότι η θερμοκρασία στο βάθος των 2000μ θα είναι περίπου $65-75^{\circ}\text{C}$, στα 3000μ $90-105^{\circ}\text{C}$, και για μερικά ακόμα χιλιάδες μέτρα. Παρόλα αυτά υπάρχουν αρκετές περιοχές στις οποίες αυτό το μοντέλο της βαθμίδας αποκλίνει αρκετά από τη μέση τιμή. Εκεί όπου το γεωλογικό υπόβαθρο έχει υποστεί ταχύτατη βύθιση και λεκάνη έχει πληρωθεί με γεωλογικά «πολύ νέα» ιζήματα η γεωθερμική βαθμίδα μπορεί να είναι μικρότερη και από $1^{\circ}\text{C}/100\mu$. (Κανελοπούλου, 2008)



Εικόνα 1.1 Δομή εσωτερικού της γης.

Η εμφάνιση γεωθερμικών συστημάτων βρίσκεται σε περιοχές με νεοτεκτονισμό και ηφαιστειότητα, κυρίως στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών (κίνηση λιθοσφαιρικών πλακών-μαγματικές διεισδύσεις). Στο εσωτερικό των πλακών γεωθερμικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιοχές των ηπειρωτικών βυθισμάτων και διογκώσεων. Λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς ανάμεσα στα διάφορα στρώματα, προκαλείται ροή θερμότητας από τις βαθιές και θερμές ζώνες του υπεδάφους προς τις ρηχές και ψυχρότερες, τείνοντας έτσι στη δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών.



Εικόνα 1.2 Υπόγεια κυκλοφορία ρευστών-Ιδεατό γεωθερμικό σύστημα. (Φυτίκας, 2014)

Ένα γεωθερμικό σύστημα περιλαμβάνει μία πηγή θερμότητας που συνδέεται με ένα σύστημα λήψης της θερμότητας που επιτρέπει τη μεταφορά της προς εκμετάλλευση.

Η πηγή θερμότητας χαρακτηρίζεται αφενός από το επίπεδο της θερμοκρασίας της ($^{\circ}\text{C}$) και αφετέρου από το είδος και τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε μέσου. Η θερμοκρασία εξαρτάται από το βάθος και την τοπική γεωθερμική βαθμίδα. Όσον αφορά στο το μέσο του υπεδάφους από το οποίο λαμβάνεται η θερμότητα, αυτό μπορεί να αποτελείται από διαπερατά ή μη διαπερατά, συμπαγή, πορώδη ή ρωγμώδη πετρώματα.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που είναι επαρκώς πορώδεις και/ή ρωγμώδεις και πληρώνονται με νερό, χαρακτηρίζονται ως «υδροφόροι ορίζοντες».

Υδροφόροι σχηματισμοί συναντώνται σε πορώδη γεωλογικά στρώματα αποτελούμενα από άμμο, αμμοχάλικο ή αμμόλιθος ή σε ρηγματώδη γεωλογικά στρώματα ασβεστόλιθου, γρανίτη κλπ.

Το νερό που εξάγεται από αυτούς τους υδροφόρους ορίζοντες λειτουργεί ως υγρό μεταφοράς της θερμότητας στην επιφάνεια είτε φυσικά (αρτεσιανισμός) είτε με άντληση. Ανάλογα με την ποιότητα του νερού, χρησιμοποιείται ένας εναλλάκτης θερμότητας ως διεπαφή με το κύκλωμα θέρμανσης.

Στους μη υδροφόρους σχηματισμούς, η θερμότητα λαμβάνεται με ανταλλαγή θερμότητας μέσω ενός εξωγενούς υγρού μεταφοράς θερμότητας που μεταφέρει την ανταλλασσόμενη θερμότητα στο χρήστη. Αυτό συμβαίνει στην περίπτωση των αισθητήρων ή κατακόρυφων ανιχνευτών που ορισμένες φορές χαρακτηρίζονται ως «ξηρές» διατάξεις.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Είναι γνωστό ότι από τα αρχαία χρόνια ο άνθρωπος φρόντισε να εκμεταλλευτεί την θερμότητα του υπεδάφους όπως είναι οι θερμικές και θεραπευτικές ιδιότητες των ζεστών πηγών, ιδιαίτερα στους Ρωμαϊκούς χρόνους.

Οι πρώτες μαρτυρίες για χρήση θερμομέτρου τοποθετούνται πιθανότατα κατά το 1740 σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας. Ήδη από το 1870 για την μελέτη της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της Γης χρησιμοποιούνταν κάποιες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι ενώ η θερμική κατάσταση που διέπει τη Γη κατανοήθηκαν καλύτερα τον 20^ο αιώνα με την ανακάλυψη του ρόλου της “ραδιενεργής θερμότητας”.

Στην περιοχή Larderello (19αι.)στην Τοσκάνη της Ιταλίας, λειτουργούσε ένα εργοστάσιο παραγωγής βορικού οξέος (ασθενές οξύ του βορίου που χρησιμοποιείται ως αντισηπτικό, εντομοκτόνο, επιβραδυντικό φλόγας, ως απορροφητής νετρονίων, και ως πρόδρομος για άλλες χημικές ενώσεις) από τα θερμά ρευστά που είτε ανάβλυζαν είτε μέσω αβαθών γεωτρήσεων τελούσαν υπό εκμετάλλευση. Την ίδια περίπου χρονική περίοδο ξεκινά και η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του φυσικού ατμού. (Κανελοπούλου, 2008)

Τη δεκαετία του 30’ στην ίδια περιοχή αρχίζει να χρησιμοποιείται η γεωθερμική ενέργεια για την θέρμανση κατοικιών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων. Και άλλες χώρες υιοθετούν την εκμετάλλευση της γεωθερμίας όπως οι Η.Π.Α όπου το 1892 θέτουν σε λειτουργία το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλεθέρμανσης. Για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται στο Βερρυ της Ιαπωνίας οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις καθώς και στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. Ήδη από το 1904 η Ισλανδία η οποία θεωρείται ακόμα και σήμερα χώρα πρωτοπόρος στο συγκεκριμένο κομμάτι, ξεκινά την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών για την θέρμανση των κατοικιών. (Κανελοπούλου, 2008)



Εικόνα 1.3 Larderello: Πρώτη εφαρμογή εκμετάλλευσης γεωθερμίας. (www.geothermal.marin.org)

Με τη λήξη και του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου πολλές χώρες στρέφονται στην αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας αφού ήταν ιδιαίτερα ελκυστική διότι σε σύγκριση πάντα με τα ορυκτά καύσιμα δεν χρειαζόταν η εισαγωγή της από άλλες χώρες ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις αποτελούσε το μοναδικό ενεργειακό πόρο.

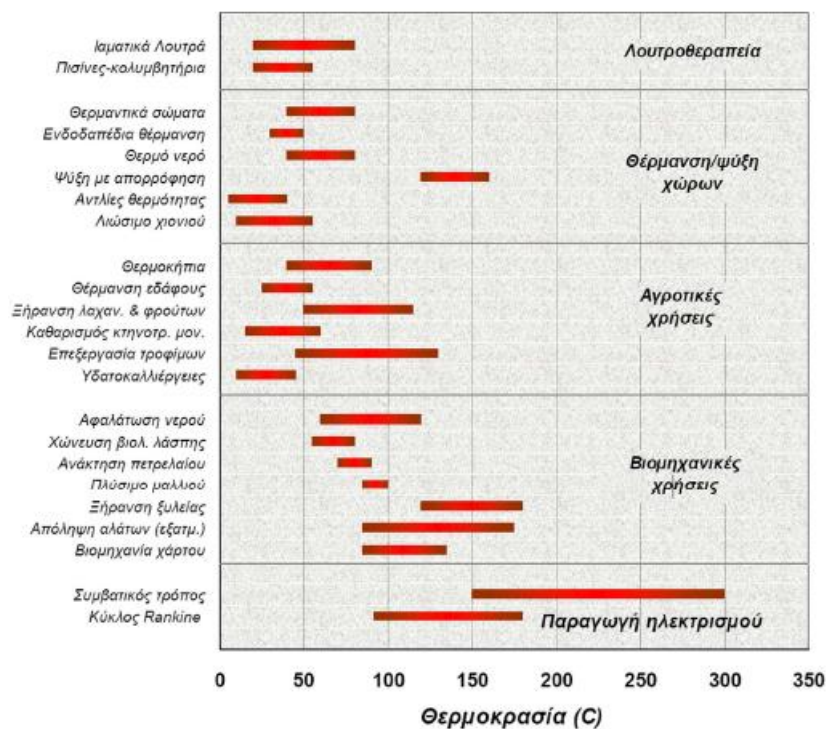
2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ

2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ

Τα τμήματα της Γης στα οποία βρίσκονται γεωθερμικά ρευστά σε ικανοποιητικό βαθμό δηλαδή δυνητικά εκμεταλλεύσιμα όσον αφορά στην ποσότητα τη θερμοκρασία και το βάθος τους, αποκαλούνται γεωθερμικά πεδία. Υπάρχουν οι εξής κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων οι οποίες ταξινομούνται αναλόγως το θερμοκρασιακό του εύρος:

1. Υψηλής Ενθαλπίας: Όπως είναι φυσικό συμπορεύεται σαν όρος με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επομένως μιλάμε για πεδία που τοποθετούνται περίπου στους 150°C και χρησιμοποιούνται κυρίως λόγω του υψηλού δυναμικού τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2. Μέσης Ενθαλπίας: Εδώ έχουμε περιορισμένες χρήσεις στην παραγωγή του ηλεκτρισμού και αυτό γιατί το εύρος της θερμοκρασίας κυμαίνεται από 80°C έως 150°C. Πιο πολύ γίνεται χρήση για θέρμανση, για την αφύγρυνση της ξυλείας, και την αποξήρανση αγροτικών προϊόντων.
3. Χαμηλής Ενθαλπίας: Κυρίως για θέρμανση χώρων μέσω διαφόρων μεθόδων, θερμοκηπίων και στις ιχθυοκαλλιέργειες.
4. Πολύ χαμηλής ενθαλπίας: Ονομάζεται και κανονική ή αβαθής με θερμοκρασίες αντίστοιχες των μέσων ετήσιων του αέρα περιβάλλοντος (μικρότερες των 25°C).



Εικόνα 2.1 Διάφορες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας. (Lindal)



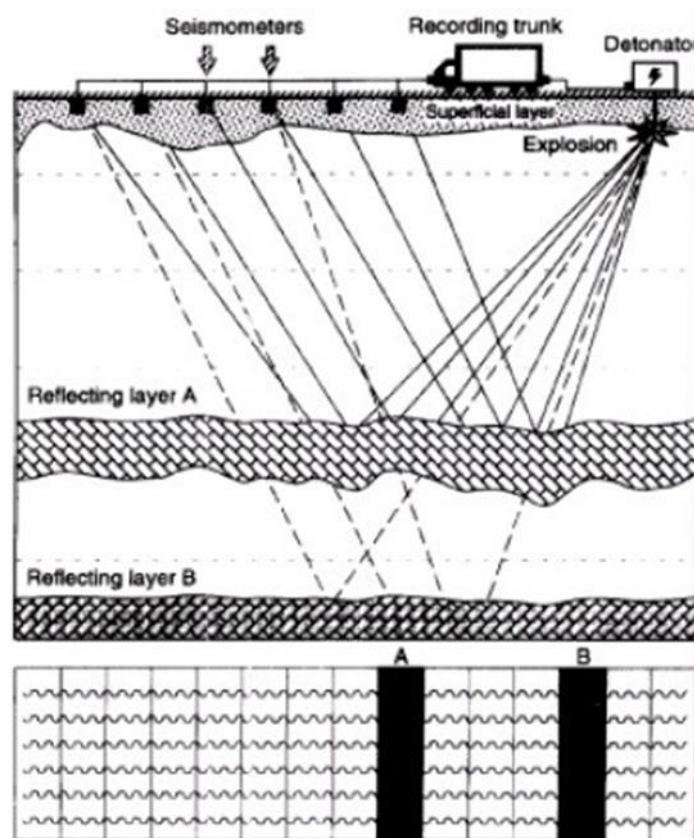
Εικόνα 2.2 Εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση σε ξενοδοχείο



Εικόνα 2.3 Εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας για χρήση θέρμανσης σε θερμοκήπιο στη Β.Ελλάδα

2.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και εν συνεχεία στην εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων είναι παρόμοια με εκείνη των πετρελαϊκών κοιτασμάτων. Αφού κριθεί κατάλληλη η θερμοκρασία αλλά και τα φυσικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων ικανοποιούν και επιβεβαιώνουν την καταλληλότητα του πεδίου τότε ξεκινάμε με δοκιμαστικές γεωτρήσεις και γεωφυσικές-σεισμικές έρευνες με τη χρήση γεωφώνων ώστε να προβούμε στον προσδιορισμό του μεγέθους του πεδίου και των ιδιοτήτων του. Με την βοήθεια της μοντελοποίησης βάσει μαθηματικών μοντέλων αναλύονται τα ρευστά και δίνεται μια δυνητική εξορυκτική πρόβλεψη. Η ολοκλήρωση έρχεται με τη κατασκευή γεωτρήσεων οι οποίες μπορεί να είναι σε διαφορετικές διατάξεις αναλόγως με τα έως τώρα συγκεντρωτικά στοιχεία. (Μαρούδης, 2014)



Εικόνα 2.4 Σεισμικές διασκοπίσεις για τον εντοπισμό πιθανών πεδίων. (Μαρούδης, 2014)

Οι γεωτρήσεις είναι αναπόσπαστο κομμάτι για την αποπεράτωση της έρευνας και της εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας διότι με τη χρήση αυτών καθορίζεται ο εντοπισμός και τα όρια του γεωθερμικού πεδίου αλλά και η αποτίμηση του δυναμικού του. Οι κατηγοριοποίηση αυτών σε στάδια που ακολουθούνται στην έρευνα γεωθερμικών πεδίων και ρευστών έχει ως παρακάτω:

1. Ερευνητικές γεωτρήσεις: Είναι δειγματοληπτικές και εκτελούνται στην αρχή της έρευνας
2. Πιεζομετρικές : Απώτερος σκοπός η χαρτογράφηση της μέτρησης της στάθμης-πίεσης του γεωθερμικού ταμιευτήρα
3. Γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου: Εργαλεία για την τελική αποτίμηση του γεωθερμικού πεδίου
4. Παραγωγικές
5. Γεωτρήσεις επαναεισαγωγής



Εικόνες 2.5 και 2.6: Φωτογραφίες ερευνητικών γεωθερμικών γεωτρήσεων μικρής διαμέτρου κατασκευής Ι.Γ.ΜΕ.Και οι δύο γεωτρήσεις παρουσιάζουν αρτεσιανισμό. (Βρέλλης κ.ά., 2009)



Εικόνα 2.7 και 2.8 Φωτογραφίες από γεωθερμικές γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου κατασκευής Ι.Γ.Μ.Ε, στα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας της Χίου. (Βρέλλης κ.ά., 2009)

2.3 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

Ξεκινώντας να αναλύουμε την γεωθερμία στον Ελλαδικό χώρο θα αναφερθούμε περιληπτικά στους νόμους που την διέπουν:

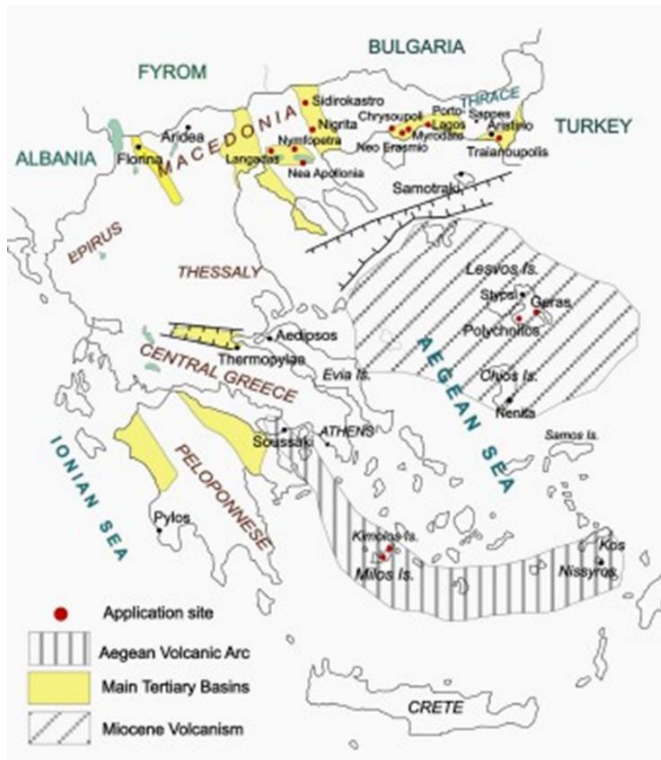
- ΦΕΚ 207/29-08-2003: Ν3175 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού»
- ΦΕΚ 1012/19-07-2005: «Χαρακτηρισμός και υπαγωγή των γεωθερμικών πεδίων της χώρας»
- ΦΕΚ 1228/11-08-2004: «Θεσμοθέτηση χρηματικού αντισταθμίματος για τις άδειες που προβλέπονται από την μεταλλευτική & λατομική νομοθεσία
- ΦΕΚ 1595/25-10-2004: «Άδειες εγκατάστασης για ίδια ενεργειακή χρήση θέρμανσης και ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης των γεωλογικών σχηματισμών ... Που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό»
- Δ9Β/Φ199/6374/ΓΔΦΠ1056: Διευκρινίσεις σχετικά με τα περιοριστικά μέτρα που ισχύουν από το ΦΕΚ 1595/2004
- ΦΕΚ1249/24-06-2009, Απόφαση: Δ9Β.Δ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488 «Άδειες εγκατάστασης γεωθερμικών συστημάτων».

Τα περιοριστικά μέτρα που ισχύουν για τις γεωθερμικές εφαρμογές είναι:

- 60 μέτρα από άξονα αυτοκινητοδρόμου
- 45 μέτρα από άξονα εθνικού δρόμου
- 20 μέτρα από άξονα επαρχιακού δρόμου και δρόμου εξυπηρέτησης των αυτοκινητόδρομων
- 6 μέτρα από όρια δημοτικού ή κοινοτικού ή αγροτικού δρόμου
- 15 μέτρα από το όριο απαλλοτριωμένης ζώνης σιδηροδρομικής γραμμής
- 20 μέτρα από κεντρικούς υπόγειους αγωγούς (φυσικού αερίου, ύδρευσης και άρδευσης)
- 5 μέτρα από γειτονικό κτίσμα διαφορετικής ιδιοκτησίας, και
- 20 μέτρα από γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέσης τάσεως

- 70 μέτρα από γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσεως.

Οι γεωλογικές συνθήκες στην χώρα μας έχουν συμβάλλει τα μέγιστα ώστε να έχουμε πλούσιο αποθεματικό σε γεωθερμική ενέργεια.

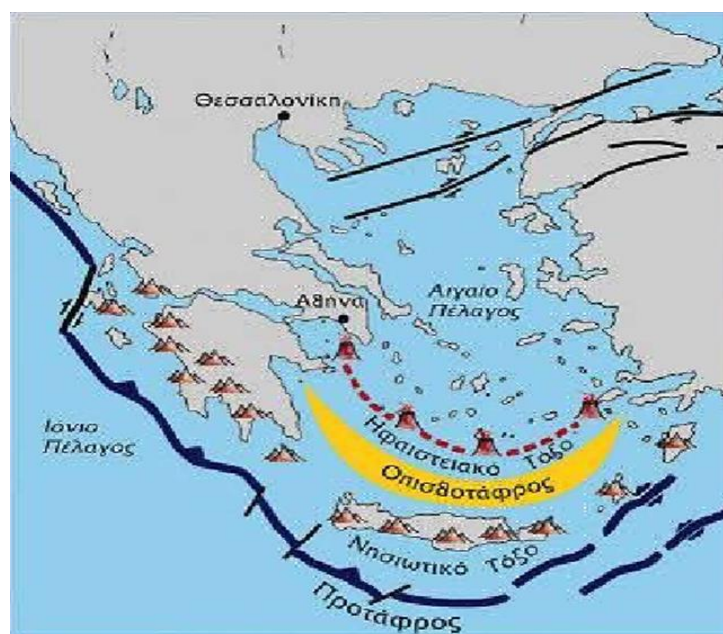


Γεωθερμικός χάρτης Ελλάδος

-  Υψηλή Ενθαλπία
-  Μέση – Υψηλή Ενθαλπία
-  Αβαθής Γεωθερμία
-  Σημεία απευθείας χρήσης

Εικόνα 2.9 Γεωθερμικός χάρτης Ελλάδος

Ο μοναδικός δημόσιος φορέας στην Ελλάδα που είναι έχει τη δυνατότητα μεταλλευτικών και γεωλογικών ερευνών, το Ι.Γ.Μ.Ε ήδη από το τη δεκαετία του 70' είχε ξεκινήσει την έρευνα πάνω στα γεωθερμικά πεδία κυρίως όμως αυτά της υψηλής ενθαλπίας. Εντοπίστηκε κοντά σε περιοχές που εντάσσονται στο λεγόμενο ηφαιστειακό τόξο (λόγω βύθισης της αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική) του Αιγαίου και ειδικότερα στις περιοχές της Μήλου, στο Σουσακι στη Νίσυρο και στη Σαντορίνη. Το γεωθερμικό δυναμικό της Μήλου με μια εκτίμηση ανέρχεται περίπου σε 120Mwe τουλάχιστον. Στο πεδίο της Νισύρου εντοπίστηκαν με γεωτρήσεις έρευνας 2 θέσεις πεδίων. Η πρώτη, παρόλο τις μεγάλες θερμοκρασίες που εντοπίστηκαν παράγει μικρές ποσότητες μίγματος αερίων και νερού ενώ η δεύτερη εγκαταλείφθηκε λόγω μεγάλων τεχνικών προβλημάτων. Το συνολικό δυναμικό της Νισύρου υπολογίζεται στα 40Mwe. Άλλα πεδία βρίσκονται στη Κίμωλο στη Κω και στη Λέσβο. (Καραευαγγέλου, 2009)



Εικόνα 2.10 Το Ελληνικό Ορογενετικό Τόξο όπως αυτό υφίσταται σήμερα

Το 1985 λειτούργησε στην Μήλο μια μονάδα υψηλής ενθαλπίας ισχύος 2Μwe μέχρι και το 1989 οπότε οι έρευνα στράφηκε περισσότερο στον εντοπισμό πεδίων χαμηλής ενθαλπίας. Τα πεδία αυτά των ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα σε όλη την επικράτεια και στον παρακάτω πίνακα αποτυπώνονται τα κυριότερα από αυτά και οι περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος αντίστοιχα.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ (°C)	ΒΕΒΑΙΩΜΕΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ (m ³ /h)	ΠΙΘΑΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ (m ³ /h)
Ν.Κεσσάνη Ξάνθης	15	45-80	250-350	1000
Ν.Εράσμειο Μάγνα Ξάνθης	15	56-65	400	1000
Χρυσούπολη /Ερατεινό Καβάλας	40	70-90	-	2000
Σιδηρόκαστρο Σερρών	10	35-67	-	1000
Ηράκλεια Σερρών	25	40-62	200	500
Νιγρίτα Σερρών	16	40-60	400	1000
Λαγκαδάς Θεσ/κης	6	33-40	300	1000
Νυμφόπετρα Θεσ/κης	2	39-45	200	500
Ν.Απόλλωνία Θεσ/κης	2	34-51	400	600
Ελαιοχώρια Χαλ/κης	30	33-42	1000	2000
Στύψη/Καλλονή Λέσβου	10	42-67	30	2000
Πολύγντος Λέσβου	10	67-92	400	1000
Αργεννος Λέσβου	-	86	800	1500
Σουσάκι Κορινθίας	8	50-80	450	1000
Μήλος	50	30-80	200	1000
Νίσυρος	-	25-95	100	500
Σαντορίνη	10	25-70	-	500

Πίνακας 2.11 Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα. Έρευνα Ι.Γ.Μ.Ε(Καραευαγγέλου, 2009)

Η αξιοποίηση των ρευστών χαμηλής ενθαλπίας θα μπορούσαμε να πούμε ότι στην Ελλάδα, παρόλο το αποθεματικό της βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα παρά την κινητικότητα των ερευνών τα τελευταία χρόνια. Στο Ερατεινό-Χρυσούπολη εγκαθίστανται 40 στρέμματα θερμοκηπίων ενώ στο Ν. Εράσμιο Ξάνθης εγκαταστάθηκε νέο υδροπονικό θερμοκήπιο έκτασης 4 εκταρίων. Αρκετά περιορισμένη θα λέγαμε ότι είναι οι εφαρμογές σε θέρμανση χώρων αν και υπάρχουν σημαντικά πεδία κοντά σε αστικό περιβάλλον όπως είναι η Χρυσούπολη, η Αλεξανδρούπολη το Σιδηρόκαστρο κ.α. Σήμερα εκμεταλλεύονται για θέρμανση ένα κτίριο στην Τραϊανούπολη, 2 ιαματικές εγκαταστάσεις, κτιριακές εγκαταστάσεις παραπλεύρως του θερμοκηπίου Ν.Ερασμίου, μερικές οικίες και 1 μικρό ξενοδοχείο στη Μήλο. Συμπερασματικά, επειδή ο Ελλαδικός χώρος απαρτίζεται από σημαντικά μεγάλο αριθμό γεωθερμικών πεδίων πρέπει να αναζητηθούν τα αίτια χαμηλής αξιοποίησης τους και να διορθωθούν ώστε να απολαμβάνουν οι κάτοικοι των περιοχών πλησίον των πεδίων καθαρή και φτηνή ενέργεια για την θέρμανση των χώρων τους.

Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας βρίσκει πολλές εφαρμογές με κυριότερη αυτήν της θέρμανσης χώρων όπως είναι για παράδειγμα μια κατοικία, μια επιχείρηση κ.α. όμως και η θέρμανση του νερού για οικιακή χρήση. Είναι ένας τομέας που πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή αφού αποτελεί και τους πιο ενεργοβόρους. Πέρα όμως από τη χρήση στο αστικό περιβάλλον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση κτηνοτροφικών μονάδων παραγωγής, στις ιχθυοκαλλιέργειες. Η αξιοποίηση των γεωθερμικών πηγών χαμηλής ενθαλπίας που όπως είδαμε είναι σχετικά άφθονες μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό παράγοντα στην εξάλειψη του ενεργειακού προβλήματος αλλά και να συντελέσει στην ανάπτυξη του πρωτογενούς, δευτερογενούς τομέα της οικονομίας αλλά και στην περίπτωση του τριτογενούς αφού η αξιοποίηση των θερμών ιαματικών πηγών μπορεί να αποφέρει περισσότερα έσοδα.

Πιθανές πηγές για την εκμετάλλευση της πολύ χαμηλής ενθαλπίας μπορούν να αποτελέσουν οι υδροφορείς σε σχετικά μικρό βάθος. Σε συνθήκες όπως είναι αυτές της Ελλάδας η θερμοκρασία σε βάθος 40-50μ κυμαίνεται από 15-18°C, συνεπώς με τη βοήθεια αντλιών θερμότητας το νερό που κυκλοφορεί στους υδροφορείς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση και μάλιστα αν συνδυαστεί και με άλλη μορφή ενέργειας (υβριδικό σύστημα) τότε η απόδοση του συστήματος αυξάνεται αρκετά και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Δύο είναι οι παράγοντες που εξετάζονται για το πόσο αποδοτικό είναι ένα πεδίο χαμηλής ενθαλπίας, ο

πρώτος είναι το ποσό των θερμίδων που παρέχει και ο δεύτερος η θερμοκρασία του αντλούμενου νερού. Μονάδα μέτρησης για την ενέργεια που παράγεται από τις πηγές αυτές είναι Toe (tonne of oil equivalent= ισοδύναμο πετρελαίου) αφού υποκαθιστούν την ποσότητα πετρελαίου θέρμανσης που χρειάζεται για να τις ανάγκες κάποιου χώρου. (Κατσιφαράκης, 2013)

Η ισχύς I_{th} μιας γεωθερμικής πηγής χαμηλής ενθαλπίας δίνεται από τη σχέση (Κατσιφαράκης, 2013):

$$I_{th} = \rho_w X c_w X Q X (T_1 - T_2)$$

Όπου:

ρ_w η πυκνότητα του γεωθερμικού νερού (kg/m³),

c_w η ειδική θερμοχωρητικότητα του γεωθερμικού νερού (J/kg-1K-1),

Q η παροχή της πηγής (m³/s) και

T_1, T_2 οι θερμοκρασίες άντλησης και απόρριψης του νερού αντιστοίχως

3.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Για την παραγωγή του γεωθερμικού νερού και την διάθεσή του μετά την χρήση εφαρμόζονται τα ακόλουθα συστήματα:

1) Σύστημα με ένα πηγάδι άντλησης. Το γεωθερμικό ρευστό μετά την χρησιμοποίησή του διοχετεύεται στο επιφανειακό δίκτυο απορροής. Η λύση αυτή έχει μικρότερο αρχικό κόστος, αλλά δημιουργεί κινδύνους: α) εξάντλησης του υδροφορέα, β) καθιζήσεων του εδάφους, εξαιτίας της πτώσης του υδραυλικού φορτίου και γ) αλλοίωσης της ποιότητας των επιφανειακών νερών από τα άλατα, το υδρόθειο ή άλλα συστατικά, που περιέχονται στο γεωθερμικό ρευστό. Επομένως η δυνατότητα εφαρμογής του συστήματος αυτού εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα του αντλούμενου νερού. (Κατσιφαράκης, 2013)

2) Σύστημα με πηγάδι άντλησης και πηγάδι επαναφόρτισης (δίπολο).

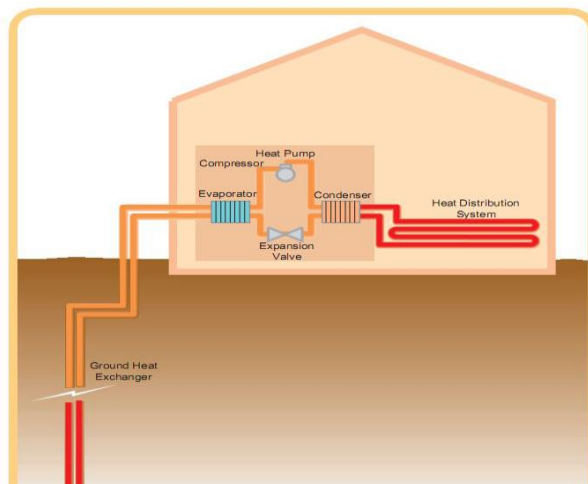
Το νερό μετά την χρησιμοποίησή του επαναφέρεται στον γεωθερμικό υδροφορέα με δεύτερο πηγάδι. Έτσι αποφεύγονται οι κίνδυνοι, που αναφέρθηκαν για το σύστημα με ένα πηγάδι άντλησης. Επίσης γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του θερμικού περιεχομένου του εδαφικού σκελετού. Το κύριο μειονέκτημα, εκτός από το μεγαλύτερο αρχικό κόστος, είναι ο σχηματισμός ενός ψυχρού μετώπου γύρω από το πηγάδι φόρτισης, το οποίο κινείται προς το πηγάδι άντλησης. Αν το μέτωπο αυτό διανύσει την απόσταση μεταξύ των πηγαδιών, η θερμική ισχύς της πηγής πέφτει, λόγω μείωσης της θερμοκρασίας του αντλούμενου νερού. Η δυσμενής αυτή επίδραση μπορεί να περιοριστεί με κατάλληλο σχεδιασμό. (Κατσιφαράκης, 2013)

Η πλέον ενδεδειγμένη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας εξαρτάται από την θερμοκρασία T_g του γεωθερμικού νερού. Αν η T_g ξεπερνά τους 70°C , τότε το γεωθερμικό νερό είναι κατάλληλο για θέρμανση κατοικιών με κλασικά θερμαντικά σώματα. Αν $50^{\circ}\text{C} < T_g < 70^{\circ}\text{C}$, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατοικίες με ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης. Αν η T_g είναι ακόμα μικρότερη, το γεωθερμικό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κολυμβητήρια, γυμναστήρια ή σε θερμοκήπια. Αν η T_g δεν είναι αρκούντως ψηλή για την επιθυμητή χρήση, τότε μπορεί να ενσωματωθεί στο σύστημα αντλία θερμότητας. Συνήθως συμφέρει οικονομικά η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση ολόκληρων οικισμών ή συνόλων κατοικιών, ώστε να μοιράζονται σε πολλούς χρήστες τα έξοδα κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας των γεωτρήσεων και άλλων απαραίτητων εγκαταστάσεων. (Κατσιφαράκης, 2013)



Εικόνες 3.1 και 3.2 Αριστ.Θερμές πηγές Πολυχνίτου, Δεξιά Καλλιέργεια σπιρουλίνας στη Β.Ελλάδα. (Arvanitis, 2017)

3.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ



Εικόνα 3.3 Σύστημα γεωθερμικής αντλίας/γεωεναλλάκτης-αντλία θερμότητας-εσωτερικό σύστημα διανομής. (Αποστολίδου, 2010)

3.2.1 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι αντλίες θερμότητας είναι συσκευές οι οποίες επιτυγχάνουν την παραγωγή θέρμανσης και ψύξης καταναλώνοντας ηλεκτρικής ενέργειας και λειτουργούν σύμφωνα με την αντιστροφή του θερμοδυναμικού κύκλου. Αναλόγως με τις κλιματιστικές ανάγκες ενός χώρου έχουν την δυνατότητα μέσω της αξιοποίησης του κύκλου ψύξης είτε να παράγουν ζεστό είτε κρύο αέρα ή νερό. Ως γνωστό η θερμότητα μεταφέρεται από υψηλότερες καταστάσεις θερμοκρασίας σε χαμηλότερες. Στη συγκεκριμένη φιλοσοφία λειτουργίας των μηχανών αυτών ισχύει το αντίθετο, δηλαδή δίνεται η δυνατότητα μεταφοράς της θερμότητας σε αντίθετη κατεύθυνση από τη φυσική της ροή, μεταφέροντας θερμότητα από χαμηλότερες στάθμης θερμοκρασίες σε υψηλότερες. (Βραχόπουλος κ.ά., 2015)

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο ότι η θερμότητα μεταφέρεται από έναν ψυχρότερο περιβάλλοντα χώρο σε ένα θερμότερο όπως συμβαίνει και στις κλιματιστικές συσκευές και το αντίθετο. Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται είναι τα ακόλουθα:

- Το τμήμα του συμπιεστή -συμπυκνωτή όπου λειτουργεί είτε απορροφώντας είτε απορρίπτοντας θερμότητα στο περιβάλλον.
- Τον μηχανισμό αντιστροφής αποτελούμενο από μία τετράοδη βαβλίδα, η οποία έχει τη δυνατότητα μετατροπής του ψυκτικού κύκλου σε θερμαντικό και αντίστροφα.
- Το τμήμα του ανεμιστήρα-ατμοποιητή ο οποίος ενισχύει την απορρόφηση ή την απόδοση της θερμότητας στον εσωτερικό χώρο.
- Το σύστημα του αυτοματισμού για τον έλεγχο της ομαλής λειτουργίας του συστήματος.

συμπιεστή και αποδίδει ποσό θερμότητας στο περιβάλλον ίση με Q_2 . Στην πρώτη περίπτωση ο χώρος είναι το θερμό κομμάτι, το περιβάλλον το ψυχρό και το ζητούμενο το Q_2 ενώ αντιθέτως τοποθετούνται οι έννοιες αυτές στη δεύτερη περίπτωση. (Βραχόπουλος κ.ά., 2015)

Απόδοση σε λειτουργία θέρμανσης

Κατά τη λειτουργία της θέρμανσης το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα είναι το ποσό θερμότητας Q_2 . Ο ενεργειακός ισολογισμός (1ο θερμοδυναμικό αξίωμα) για την αντλία θερμότητας δίνει :

$$Q_2 = Q_1 + W$$

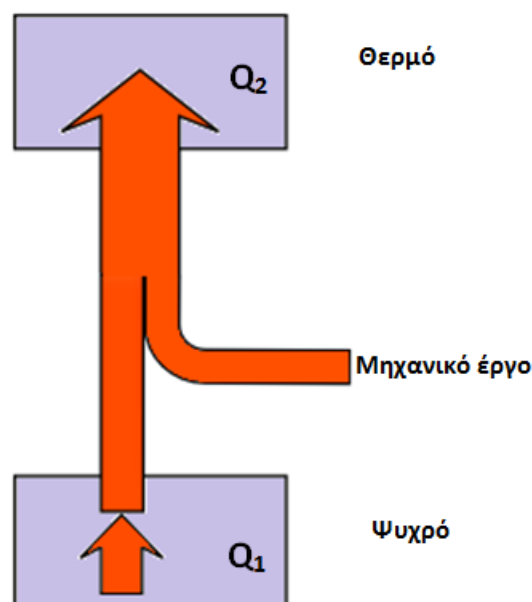
Η αποδοτικότητα της αντλίας θερμότητας χαρακτηρίζεται από το **συντελεστή λειτουργίας $\alpha_{A/\theta}$ ή COP (Coefficient of Performance)** :

$$\alpha_{A/\theta} = \text{COP} = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_2 - Q_1}$$

Στην ιδανική περίπτωση της αντλίας θερμότητας του Carnot, τα ποσά της θερμότητας δύναται να αντικατασταθούν από τις θερμοκρασίες:

$$\text{COP} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Από την εξίσωση προκύπτει ότι ο συντελεστής λειτουργίας εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες T_1 , T_2 των δύο δεξαμενών θερμικής ενέργειας και είναι πάντοτε μεγαλύτερος από τη μονάδα. (Βραχόπουλος κ.ά., 2015)



Εικόνα 3.6 Κύκλος Αντλίας θερμότητας. (Βραχόπουλος κ.ά., 2015)

Με ίδια διαφορά θερμοκρασίας $T_2 - T_1$ ο COP βελτιώνεται όσο με την αύξηση της T_2 . Επιπροσθέτως όσο μικρότερη είναι η διαφορά αυτή μεταξύ του κλιματιζόμενου περιβάλλοντος και του εξωτερικού χώρου τόσο μεγαλύτερος είναι ο COP. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τον Ελλαδικό χώρο όπου κυριαρχούν οι εξής συνθήκες:

- Ήπιος χειμώνας με εξαιρετικά θερμά καλοκαίρια
- Βοηθητική χρήση της ηλιακής ενέργειας στην λειτουργία της αντλίας θερμότητας κατά τους χειμώνες.

Αντλία θερμότητας με συντελεστή COP 4 μεταφέρει 4kw ενέργειας καταναλώνοντας 1 kw ηλεκτρισμού δηλαδή με απλά μαθηματικά η χρήση ενέργειας κοστίζει 25% με τη συγκεκριμένη αντλία. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από τις θερμοκρασίες του ψυχρού και του θερμού χώρου και δεν είναι πάντα σταθερός.

Απόδοση σε λειτουργία ψύξης

Στην περίπτωση λειτουργίας τα μηχανής ως ψυκτική το επιθυμητό αποτέλεσμα είναι Q_1 . Η αποδοτικότητα της σε λειτουργία ως ψυκτική μηχανή καθορίζεται από το συντελεστή λειτουργίας $B_{\alpha/\theta}$ ή EER (Energy Efficiency Ratio). (Βραχόπουλος κ.ά., 2015)

$$B_{\alpha/\theta} = \text{EER} = \frac{Q_1}{W} = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{1}{\frac{Q_2}{Q_1} - 1}$$

Στην ιδανική λειτουργία της μηχανής στο ψυκτικό κύκλο του Carnot, όπως έγινε και με τη θέρμανση, δύναται να αντικατασταθούν οι παραπάνω όροι από τις θερμοκρασίες:

$$B_{\alpha/\theta} = \text{EER} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

Ο συντελεστής EER μπορεί να προσδιοριστεί σε συγκεκριμένες συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος και θερμοκρασίας προσαγωγής του ψυκτικού μέσου. Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στους όρους του παρονομαστή, μεταξύ του κλιματιζόμενου και εξωτερικού περιβάλλοντος τόσο μεγαλύτερος είναι ο EER. (Βραχόπουλος κ.ά., 2015)

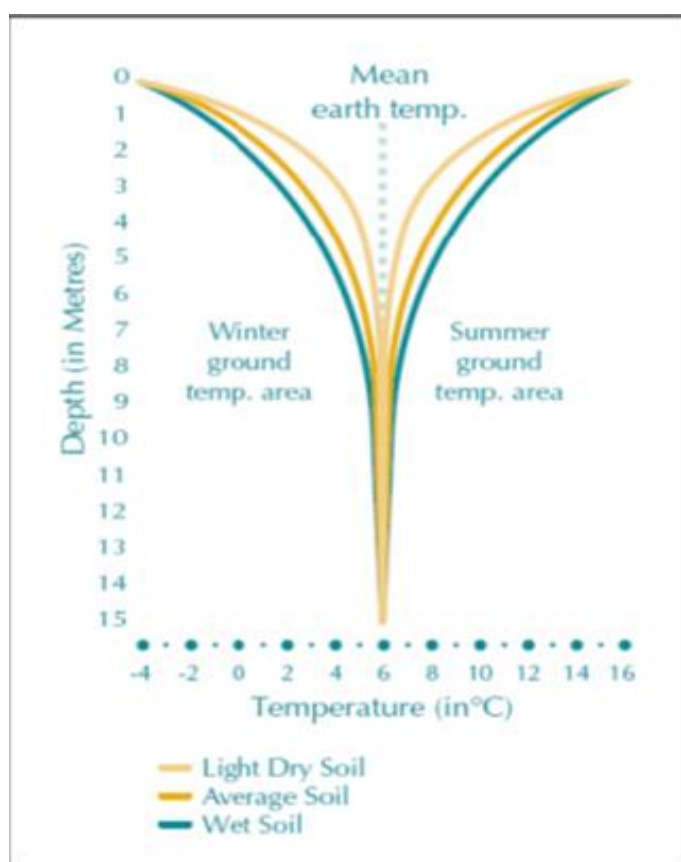
Οι αντλίες θερμότητας ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιούν για άντληση και το μέσο στο οποίο αποβάλλουν την θερμότητα κατηγοριοποιούνται ως παρακάτω:

- Αέρα-Αέρα
- Αέρα-Νερού
- Νερού-Νερού
- Νερού-Αέρα
- Εδάφους-Αέρα
- Εδάφους-Νερού

Στην πρώτη κατηγορία αντλούν θερμότητα από την ατμόσφαιρα και αποδίδουν θερμό αέρα ενώ στην δεύτερη κατηγορία εντάσσονται εκείνες όπου αντλούν θερμότητα από τον εξωτερικό χώρο και ζεσταίνουν το νερό. Οι πιο διαδεδομένες είναι οι δύο πρώτες, όπου κατασκευάζονται σχεδόν αποκλειστικά σε αναστρέψιμα μοντέλα ώστε να λειτουργούν και στους δύο κύκλους, θέρμανσης και ψύξης. Υπάρχουν και εκείνες που κατασκευάζονται για να λειτουργούν μόνο για ψύξη ή μόνο για θέρμανση ενώ υπάρχουν και εκείνες όπως οι νερού-νερού ή νερού αέρα οι οποίες αντλούν θερμότητα από το νερό και την αποδίδουν μέσω αγωγών και σωληνώσεων είτε μέσω νερού είτε μέσω αέρα. Το νερό ως πηγή μπορεί να είναι ποταμίσιο θαλάσσιο, από πηγάδι ή γεώτρησης. Σε αυτή τη περίπτωση τοποθετούνται και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Στην περίπτωση ανάπτυξης αντλιών με φορτίζον στοιχείο το έδαφος η άντληση της θερμότητας κατά το χειμώνα γίνεται άμεσα μέσω του εδάφους δηλαδή το ατμοποιητής (χειμώνα) ή ο συμπυκνωτής (καλοκαίρι) είναι τοποθετημένος στο έδαφος. (Βραχόπουλος κ.ά., 2015)

3.2.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που θέλουμε να εκμεταλλευτούμε την αβαθή γεωθερμική ενέργεια έχουν αυξημένη απόδοση παρόλη την πιθανή απουσία νερού. Σκοπός ενός συστήματος που αξιοποιεί την συγκεκριμένη ενέργεια είναι η εκμετάλλευση της σχετικά σταθερής θερμοκρασίας και θερμοχωρητικότητας των υπεδάφινων σωμάτων μέχρι και τα 200μ περίπου κάτω από την επιφάνεια της Γης. Οι σχηματισμοί από τους οποίους αντλείται ή απορρίπτεται θερμότητα από τα γεωθερμικά συστήματα μπορεί να είναι είτε σχηματισμοί πετρωμάτων, είτε υπόγειοι υδροφορείς, είτε επιφανειακά ύδατα χαμηλής και σχετικά σταθερής θερμοκρασίας όπως είναι λίμνες ή θάλασσες. Η θερμότητα επομένως μπορεί να αντλείται και από την ηλιακή ενέργεια που συγκεντρώνεται στο έδαφος και διατηρείται (λόγω διαφορετικής θερμοχωρητικότητας) αλλά και από υπόγεια νερά τα οποία απαντώνται σε σχετικά μικρά βάθη και με σχετικά διατηρήσιμη θερμοκρασία.



Εικόνα 3.7 Τυπικές μεταβολές της εδαφικής θερμοκρασίας με το βάθος. (Θωμόπουλος, 2014)

Στο παραπάνω διάγραμμα διαφαίνονται η διαφοροποίηση της θερμοκρασίας ανάλογα με τις εποχές και για τα πρώτα 15km. Για την Ελλάδα η θερμοκρασία αυτή είναι γύρω στους 17°C.

Ένα σύστημα ΓΑΘ για την θέρμανση/ψύξη ενός κτιρίου απαρτίζεται από:

- Το σύστημα των εναλλακτών θερμότητας στο έδαφος το οποίο μπορεί να είναι είτε γεωεναλλάκτης είτε υδρογεώτρηση
- Τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και
- Τα συστήματα κλιματισμού εντός του εσωτερικού περιβάλλοντος

Επειδή όπως προ είπαμε επειδή τα συστήματα αυτά αξιοποιούν την σχετικά σταθερή θερμοκρασία του εδάφους, επιτυγχάνεται μείωση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας συγκριτικά με τα συμβατικά συστήματα καθώς και μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Επομένως το κατά τις χειμερινές περιόδους το ρευστό κυκλοφορεί στον εναλλάκτη όπου απορροφά τη θερμότητα του εδάφους και μέσω της αντλίας τη διοχετεύει στον επιθυμητό κλιματιζόμενο χώρο. Κατά το θέρος η λειτουργία είναι αντίστροφη, δηλαδή αφαιρείται η θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο και διαμέσου του γεωθερμικού εναλλάκτη διοχετεύεται μέσα στο δροσερό έδαφος. Ο σχεδιασμός και υλοποίηση τέτοιων συστημάτων μπορεί να οδηγήσει μέχρι και σε 60% εξοικονόμηση χρημάτων αναλόγως αν πρόκειται για θέρμανση ή ψύξη.

Βασικό στοιχείο για την ορθή λειτουργία της αντλίας είναι το ψυκτικό μέσο το οποίο εξαρτάται από τη κλιματική ζώνη λειτουργίας του συστήματος. Είναι σημαντικό να μην προκαλεί διάβρωση, να είναι μη τοξικό και να διατηρεί σταθερές τις ιδιότητες του στις θερμοκρασίες που εφαρμόζονται. Μερικά από τα ρευστά με αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τα R134a, R407c, R410 και R410a. (Βραχόπουλος κ.ά., 2015)



Εικόνα 3.8 Άποψη μηχανοστασίου συστήματος ΓΑΘ σε οικία. (Βραχόπουλος κ.ά., 2015)

Οι συμπιεστές είναι συνήθως σπειροειδείς με on-off, ή μεταβαλλόμενης ισχύος και σαν καλύτερο ψυκτικό μέσο χρησιμοποιείται το R410a το οποίο παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά στην απόδοση και στις δύο λειτουργίες θέρμανσης και ψύξης. Η απόδοση των συστημάτων ΓΑΘ αυξάνεται όσο η θερμοκρασία του συστήματος θέρμανσης του κλιματιζόμενου χώρου είναι χαμηλότερη, ενώ υψηλότερες θερμοκρασίες των συστημάτων ψύξης αποδίδουν καλύτερα σε λειτουργία ψύξης. Τέτοια συστήματα είναι τα fan-coils, οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες και το ενδοδαπέδιο σύστημα. (Βραχόπουλος κ.ά., 2015)

Όπως προαναφέρθηκε ανάλογα με την κλιματική ζώνη επηρεάζεται και η απόδοση ενός συστήματος. Για τον καθορισμό των ψυχρότερων, των μέσων και των θερμότερων κλιματικών συνθηκών εφαρμόζεται η μέθοδος που προτείνεται στο σχέδιο του κατ' εξουσιοδότηση κανονισμού της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την ενεργειακή επισήμανση των λεβήτων, σύμφωνα με την οποία οι μέσες κλιματικές συνθήκες, οι ψυχρότερες κλιματικές συνθήκες και οι θερμότερες κλιματικές συνθήκες είναι οι συνθήκες θερμοκρασίας που είναι χαρακτηριστικές για τις πόλεις του Στρασβούργου, του Ελσίνκι και της Αθήνας αντίστοιχα. Στην Ελλάδα όπως είναι φυσιολογικό τις θερμές ζώνες η απόδοση των ΓΑΘ είναι μεγαλύτερη κατά τους θερινούς μήνες αλλά με μικρή χρονική διάρκεια, ενώ στις πιο ψυχρές ζώνες ο συντελεστής COP είναι μικρότερος και η περίοδος θέρμανσης διαρκεί περισσότερο. Ο συντελεστής COP των ΓΑΘ ορίζεται ως ο λόγος της αποδιδόμενης ενέργειας προς την ηλεκτρική κατανάλωση και ορίζεται για συγκεκριμένες συνθήκες. Υπάρχει και ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης SPF όπου είναι το ολοκλήρωμα του COP.

3.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Γεωθερμικών Συστημάτων

Τα βασικά οφέλη από τη χρήση των ΓΑΘ είναι πολύ περισσότερα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα για την κάλυψη των κλιματιστικών αναγκών. Πιο αναλυτικά:

- 1) Μειωμένο λειτουργικό κόστος και μεγαλύτερη αποδοτικότητα: Η EPA (Environmental Protection Agency) θεωρεί ότι τα γεωθερμικά συστήματα είναι κατά περίπου 40% πιο αποδοτικά από τα κλασσικά μηχανήματα, 48% αποδοτικότερα από του λέβητες φυσικού αερίου και 75% από τους καυστήρες πετρελαίου
- 2) Δεν απαιτείται συχνά βοηθητικός εξοπλισμός για την ψύξη-θέρμανση ενός κτιρίου: Είναι ικανά συνήθως να καλύψουν μόνα τους τις κλιματιστικές ανάγκες χωρίς τη χρήση άλλων συμβατικών συστημάτων.
- 3) Απεγκλωβισμός από τις διακυμάνσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων: Δεν χρειάζεται να καταναλώσουν συμβατικά καύσιμα, έτσι το κύριο κόστος λειτουργίας τους εξαρτάται κυρίως από την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.
- 4) Μείωση των εκπομπών: Σε ένα τέτοιο σύστημα δεν πραγματοποιείται καύση ούτε υπάρχουν εγκατεστημένοι καπνοδόχοι και κατ' επέκταση οσμές. Η εκμετάλλευση της ενέργειας του εδάφους είναι μια φιλική διεργασία, ανανεώσιμη και μη ρυπογόνος. Με τη χρήση των συστημάτων αυτών μπορούμε να μειώσουμε τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα έως και 40% σε σύγκριση με τους συμβατικούς λέβητες φυσικού αερίου.
- 5) Μειωμένο κόστος συντήρησης: Λόγω του ότι το σύνολο του εξοπλισμού βρίσκεται εγκατεστημένο είτε εντός του κτιρίου είτε εντός του εδάφους, οι βλάβες που παρουσιάζονται είναι περιορισμένες.
- 6) Μεγάλος χρόνος ζωής των συστημάτων: Η αντλία θερμότητας έχει μια σχετικά ίδια διάρκεια ζωής με άλλα συστήματα, η οποία είναι τα 20 χρόνια. Αντίθετα, το σύστημα του γεωεναλλάκτη μπορεί να κυμανθεί από 50-80 χρόνια.

Τα βασικά μειονεκτήματα που μπορεί να προκύψουν από μια τέτοια εγκατάσταση είναι τα ακόλουθα:

- 1) Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης: Υπολογίζεται ότι η περίοδος απόσβεσης του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης, ανάλογα πάντα με την ετήσια κατανάλωση ενέργειας μπορεί να κυμανθεί στα 2-10 χρόνια.
- 2) Δυσκολία στην επισκευή: Λόγω ότι οι αγωγοί είναι εγκατεστημένοι στο έδαφος και ανάλογα πάντα την περίπτωση, σε ενδεχόμενη διαρροή υπάρχει δυσκολία στην επισκευή και αποκατάσταση του συστήματος.

4.ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ

Αποτελούν ένα δίκτυο σωληνώσεων οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στο έδαφος του οποίου κυκλοφορεί ρευστό. Το ρευστό το χειμώνα απορροφά την θερμότητα από το υπέδαφος και μέσω της γεωθερμικής αντλίας τη μεταφέρει μέσα στο χώρο ή το κτίριο που επιθυμούμε να θερμάνουμε και το καλοκαίρι λειτουργεί αντίθετα, μεταφέρει δηλαδή ξανά μέσω της αντλίας την θερμότητα του κλιματιζόμενου χώρου, στη Γη. Το ρευστό μπορεί να είναι μείγμα αποτελούμενο από νερό ή νερό με βιοδιασπώμενο αντιψυκτικό υγρό. Ανάλογα με την πηγή που χρησιμοποιούν οι εναλλάκτες χωρίζονται σε 2 κύριες κατηγορίες:

- Εναλλάκτες κλειστού βρόγχου (closedloopsystems)
- Εναλλάκτες ανοιχτού βρόγχου (openloopsystems)

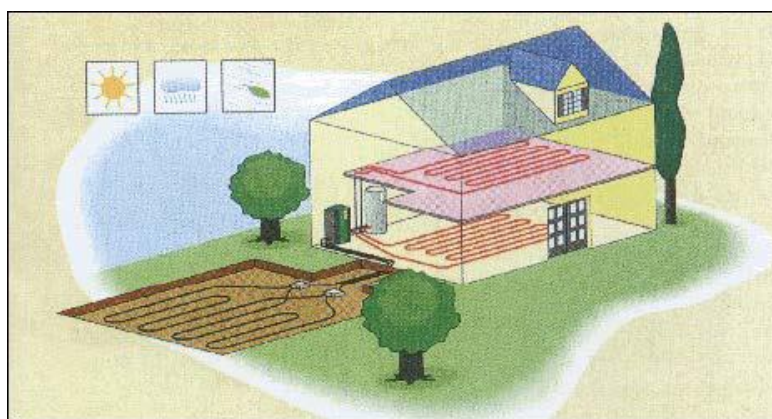
4.1 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ

Γεωθερμικοί εναλλάκτες κλειστού βρόγχου:

Παρέχουν αρκετή οικονομία, απόδοση και αξιοπιστία και στα οποία το ρευστό μέσο μεταφοράς της θερμότητας ανακυκλοφορεί στη ΓΑΘ διερχόμενο από ένα σύστημα σωληνώσεων που είναι θαμμένες στο έδαφος. Απαρτίζονται από μεγάλου μήκους και μικρής διατομής πλαστικούς αγωγούς πολυαιθυλενίου. Τα κλειστά αυτά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμοκρασία του εδάφους και μπορεί αν τοποθετηθούν σε κάθετη ή οριζόντια διάταξη. Η επιλογή του καθορισμού αυτής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι η μορφολογία του εν δυνάμει αξιοποιήσιμου χώρου.

Οριζόντιας διάταξης

Ο συλλέκτης που βρίσκεται σε οριζόντια διάταξη αποτελεί μια εύκολη και ευέλικτη στην εγκατάσταση επιλογή. Κύριες και επιμέρους σωληνώσεις εφοδιασμού και επιστροφής τοποθετούνται οριζόντια στο έδαφος μέσα σε αβαθής τάφρους.



Εικόνα 4.1 Οριζόντια διάταξη με ενδοδαπέδια διανομή θερμότητας. (Θωμόπουλος, 2014)

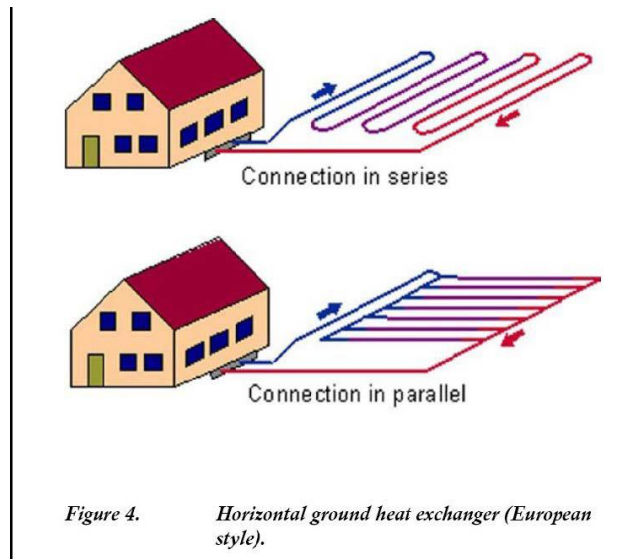
Το πλάτος αυτών είναι περίπου στο 1,5 με 2μ, το βάθος φτάνει μέχρι τα 3μ και το μήκος των αγωγών μπορεί να ξεπεράσει τα 130 μέτρα φυσικά όλα αυτά μόνο αν οι μορφολογικές συνθήκες του εδάφους αλλά και η έκταση χώρου το επιτρέπουν. Εξαρτώνται όμως και από το απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, και το κλίμα της περιοχής. Αυτό που ισχύει για το απαιτούμενο μήκος των σωληνώσεων είναι ότι για κάθε μονάδα δυναμικότητας απαιτούνται 150μ-200μ, δηλαδή αν έχουμε μια σχετικά καλή από άποψη μόνωσης μονοκατοικία με εμβαδό επιφανείας 220τμ τότε θα χρειαζόντουσαν 500-600μ αγωγών για την κάλυψη των εποχικών αναγκών της σε θέρμανση/ψύξη. Γενικά οι οριζόντιου τύπου βρόχοι θεωρούνται ιδανικοί προς εγκατάσταση σε μικρής κλίμακας κτίρια όπως είναι μονοκατοικίες και μικρές κατασκευές. (Θωμόπουλος, 2014)

Επειδή είναι σημαντικό για την απόδοση του συστήματος να ενισχύεται από την ηλιακή ακτινοβολία δεν πρέπει να υπάρχει οποιαδήποτε κάλυψη πάνω από την εγκατάσταση. Όταν υπάρχει αρκετά μεγάλη έκταση γύρω από το κτίριο που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε την εγκατάσταση τότε επιλέγουμε σχεδόν πάντα οριζόντιος βρόχους, ενώ αν το οικόπεδο έχει

περιορισμένη έκταση και τα εδάφη χαρακτηρίζονται από υψηλή σκληρότητα τότε είναι δύο παράγοντες που οδηγούν στην αποφυγή της εγκατάστασης. Οι οριζόντιοι βρόχοι κλειστού τύπου μπορούν να τοποθετηθούν με διαφορετικές διατάξεις οι οποίες είναι οι εξής:

Οριζόντια διάταξη σε σειρά:

Οι σωληνώσεις σε αυτή την περίπτωση έχουν μεγαλύτερη διάμετρο και υψηλότερη θερμική απόδοση ενώ μειονεκτήματα επιφέρουν ο αυξημένος όγκος νερού και αντιψυκτικού που απαιτείται καθώς και το αυξημένο κόστος για την αγορά των σωλήνων λόγω του υλικού κατασκευής.



Εικόνα 4.2 Σύστημα κλειστού βρόχου σε σειρά (connection on series) και σε παράλληλη διάταξη (connection in parallel) αντίστοιχα. (Θωμόπουλος, 2014)

Παράλληλη διάταξη:

Σε αυτή την περίπτωση καταφέρνουμε να μειώσουμε το κόστος των σωληνώσεων αλλά και την ποσότητα του αντιψυκτικού υγρού αφού οι αγωγοί σε σχέση με αυτούς της διάταξης σε σειρά έχουν μικρότερη διάμετρο. Βέβαια επειδή είναι τέτοια η ροή του ρευστού δεν θα πρέπει να έχει απόκλιση περισσότερη από $\pm 5\%$ σε κάθε παράλληλη κίνηση. Τις δύο αυτές διατάξεις τις συναντάμε περισσότερο στη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη. (Θωμόπουλος, 2014)

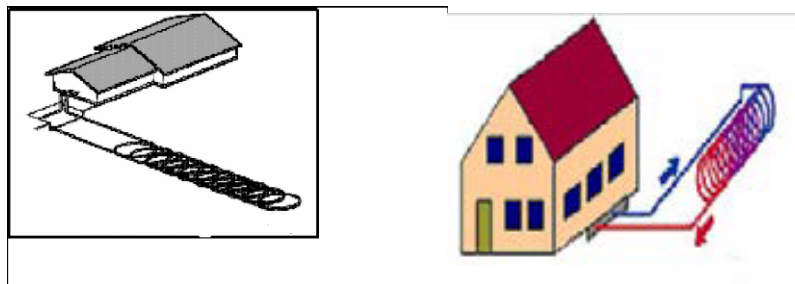
Οριζόντια σπειροειδής διάταξη:

Με την τοποθέτηση ενός συστήματος σε τέτοιου είδους διάταξη ερχόμαστε να λύσουμε το πρόβλημα του περιβάλλοντα χώρου και της έκτασης που πρέπει να έχει στις άλλες περιπτώσεις.



Εικόνα 4.3 Σημείο τοποθέτησης οριζόντια σπειροειδούς διάταξης

Έτσι οι αγωγοί έχουν την μορφή σπειρών οι οποίες τοποθετούνται οριζόντια ή κάθετα στα ορύγματα. Οριζόντια εγκαθίστανται σε τάφρο τουλάχιστον 1μ πλάτους ενώ στην κάθετη τοποθέτηση ενώ στη κάθετη τοποθέτηση θα πρέπει να είναι αυξημένο κατά 4-5μ από αυτό του σπειροειδούς συστήματος και πιο βαθύ ώστε τα υλικά να καλύπτονται 100%.



Εικόνα 4.4 Σύστημα κλειστού βρόχου ή οριζόντιας σπειροειδούς διάταξης. (Θωμόπουλος, 2014)

Επομένως με τα σπειροειδή συστήματα επειδή τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο και σε τέτοια μορφή ώστε να απαιτούν μικρότερο όγκο για τη μεταφορά της θερμότητας και συνεπώς μικρότερο κομμάτι γης. Έτσι μειώνεται και το κόστος της εγκατάστασης αλλά και μας περισσεύει χώρος στο υποτιθέμενο οικόπεδο για άλλες χρήσεις της γης. Το σπειροειδές σύστημα μπορεί να τοποθετηθεί είτε ως συμπαγές είτε ως εκτεταμένο όπου στη μεν πρώτη περίπτωση το μήκος του απαιτούμενο ορύγματος μειώνεται κατά $\frac{2}{3}$ ενώ στη δεύτερη περίπτωση κατά το $\frac{1}{3}$ επειδή διαφέρουν στο βήμα τοποθέτησης. (Θωμόπουλος, 2014)



Εικόνα 4.5 Σπειροειδές σύστημα. Στο πάνω μέρος φαίνεται η συμπαγής μορφή και στο κάτω μέρος η εκτεταμένη μορφή. (Θωμόπουλος, 2014)

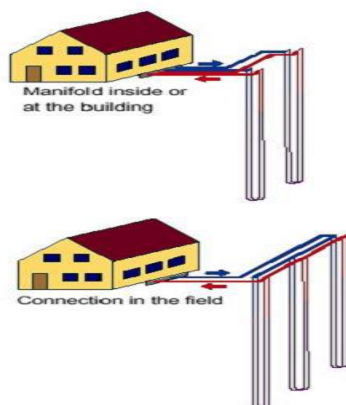
Το αρνητικό με αυτά τα συστήματα είναι ότι απαιτούν αγωγούς μεγάλου μήκους και συναντώνται πιο συχνά στις κατοικίες των Η.Π.Α όπου απαιτείται τάφρος μήκους σχεδόν 10μ ώστε να εξασφαλιστεί 1KW φορτίου θέρμανσης.

Κάθετη τοποθέτηση κλειστού βρόχου:

Όπως είναι φυσιολογικό για την τοποθέτηση ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει να προχωρήσουμε στην διάνοιξη φρεάτων μέσα στα οποία τοποθετούνται οι πλαστικοί αγωγοί. Επιλέγεται συνήθως όταν διαθέτουμε πολύ περιορισμένο διαθέσιμο χώρο εγκατάστασης καθώς και όταν επιδιώκουμε τη ελάχιστη διατάραξη του τοπίου. Για τη διάνοιξη φρεάτων μήκους 50 έως 200 μέτρα θα χρησιμοποιήσουμε γεωτρήπανα και στη συνέχεια θα τοποθετηθούν μονοί ή πολλαπλοί αγωγοί σε σχήμα U στο πυθμένα της γεώτρησης με τελικό στάδιο τον εγκιβωτισμό αυτών. Όλοι οι κάθετοι βρόχοι συνδέονται με την κεντρική σωλήνωση και αυτή με τη σειρά της συνδέεται με το κύριο σύστημα των αντλιών θερμότητας.

Για το σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος θα πρέπει και εδώ να ληφθούν υπόψη ο διαθέσιμος χώρος αφού έτσι θα καθοριστεί και το πλήθος των γεωτρήσεων που θα πραγματοποιηθούν με διάμετρο κοντά στα 30cm και πάλι ανάλογα με το τι πετρώματα και γεω-υλικό συναντάμε κατά την εκτέλεση της γεώτρησης. Τα φρέατα διατηρούν μια απόσταση μεταξύ τους γύρω στα 5 μέτρα ώστε να ελαχιστοποιήσουμε τις επιδράσεις των γειτονικών πετρωμάτων. (Θωμόπουλος, 2014)

Οι κατακόρυφοι κλειστοί βρόχοι αποτελούν υψηλότερη επένδυση από άποψη κόστους σε σχέση με τους οριζόντιους λόγω της χρήσης γεωτρήπανων που απαιτούνται για την διάνοιξη των φρεάτων αλλά απαιτούν μικρότερους σε μήκος αγωγούς επομένως το κόστος μετριάζεται από την ποσότητα των υλικών γεωανταλλαγής. Αυτά τα συστήματα εγκαθίστανται συνήθως σε μεγάλης κλίμακα έργα όπως είναι εμπορικά κέντρα σχολεία και βιομηχανικές εγκαταστάσεις.



Εικόνα 4.6 Κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα. (Θωμόπουλος, 2014)

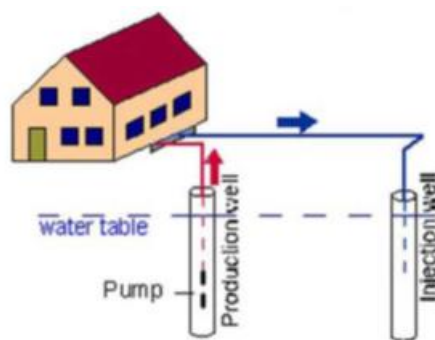
Στην περίπτωση που κοντά στο υπό μελέτη κτίριο υπάρχει κάποια πηγή ύδατος σχετικά μεγάλη όπως για παράδειγμα μια λίμνη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή άντλησης ή απόρριψης θερμότητας μέσω κλειστού συστήματος βρόχων τότε η τοποθέτηση γίνεται στον πυθμένα της. Οι σωληνώσεις τοποθετούνται υπόγεια ξεκινώντας από το κεντρικό σύστημα μέχρι τη λίμνη και μπορεί να είναι σε σπειροειδής δομή όπου πληρώνονται με υγρό του οποίου η κυκλοφορία είναι όμοια με αυτή των υπογείων βρόχων. Για να γίνει μια τέτοια τοποθέτηση θα πρέπει να ικανοποιούνται ορισμένα κριτήρια όπως: Η επιφάνεια της λίμνης θα πρέπει να καλύπτει το θερμικό φορτίο της κατασκευής και το βάθος της θα πρέπει να παραμένει σταθερό για όλη τη διάρκεια του έτους, περίπου 2 μέτρα. Το βάθος είναι σημαντικό ώστε να εξασφαλιστεί η τροφοδοσία της θερμότητας και η απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος σε περίπτωση που σχηματιστεί πάγος. Η τοποθέτηση τέτοιων συστημάτων σε λίμνες και η λειτουργία αυτών δεν επιφέρουν επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα του υδρόβιου συστήματος.

4.2 ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ

Γεωεναλλάκτες ανοιχτού βρόχου:

Τα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα εκμεταλλεύονται τον υπόγειο υδροφόρο ή τα επιφανειακά ύδατα με τη μέθοδο των υδρογεωτρήσεων. Από τη κατασκευαστική σκοπιά είναι ευκολότερα αλλά από άποψη κόστους πιο δαπανηρά από όλα τα συστήματα αφού χρειάζονται να καταναλώνουν μεγάλα ποσά ύδατος από την γεώτρηση άντλησης.

Στα ανοιχτού τύπου συστήματα το νερό αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα μετά μέσω της αντλίας θερμότητας απορροφάται η θερμότητα και ελαττώνεται η θερμοκρασία του νερού κατά 5-6°C και έπειτα απορρίπτεται ξανά στον υδροφόρο μέσω γεωτρήσεων απόρριψης.



Εικόνα 4.7 Σύστημα αντλίας θερμότητας υπογείου νερού. Το νερό αντλείται και επιστρέφει στον υπόγειο υδροφορέα με της γεωτρήσεις παραγωγής (production wells) και επανέγχυσης (injection wells) αντίστοιχα. (Αποστολίδου, 2010)

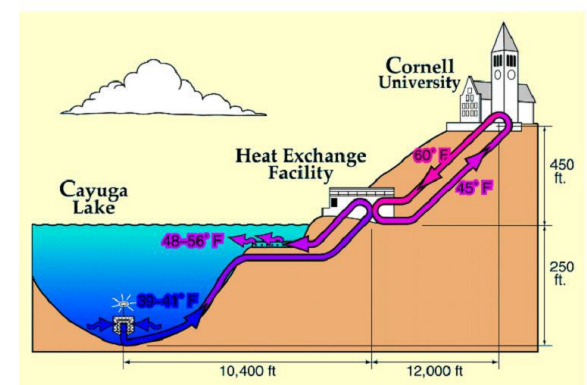
Όταν η πηγή άντλησης είναι ένα πηγάδι αυτό τότε πρέπει να διαθέτει αρκετή υδροχωρητικότητα ώστε να ικανοποιήσει τις ανάγκες της κατασκευής. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού για την ικανοποιητική εναλλαγή της θερμότητας θα πρέπει να είναι περίπου 8-10 lt/min. Ως παράδειγμα αναφέρουμε ότι μια κατοικία εμβαδού 280τμ χρειάζεται να έχει παροχή νερού 40-60 lt/min. Με την κατάλληλη μελέτη δύναται το χρησιμοποιημένο νερό να επανακυκλοφορήσει είτε σε κάποιο επιφανειακό αποδέκτη είτε σε υπόγειο και αυτό είναι ένα ιδιαίτερο οικονομικό μοντέλο. Το πηγάδι επανέγχυσης θα πρέπει να είναι αρκετά βαθύ ώστε να απορριφθούν σε αυτό μεγάλες ποσότητες νερού ίσες με αυτές της άντλησης και επιπροσθέτως να διατηρεί απόσταση από την αντλητική γεώτρηση περισσότερο από 30μ. (Θωμόπουλος, 2014)



Εικόνα 4.8 Υπόγεια διάθεση του υπό απομάκρυνση νερού. (Αποστολίδου, 2010)

Σε περίπτωση όπου υπάρχει λίμνη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο άντλησης νερού τότε αυτή γίνεται πάλι μέσω αγωγών οι οποίοι από τον πυθμένα της λίμνης αντλούν ο νερό και

ακολουθείται η διαδικασία όπως στην περίπτωση των κλειστών βρόχων, με τη μόνη διαφορά ότι εδώ το νερό που έχει χρησιμοποιηθεί επανεισάγεται στη λίμνη, κάπου απομακρυσμένα από το σημείο άντλησης. Υπολογίζεται ότι η επιφάνεια της λίμνης θα πρέπει να είναι περίπου 4000τμ και το βάθος σταθερό από τα 3μ έως τα 6μ. Επειδή το νερό προς διάθεση από τη λίμνη μπορεί να είναι υποβαθμισμένο ποιοτικά θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα διήθησης του.

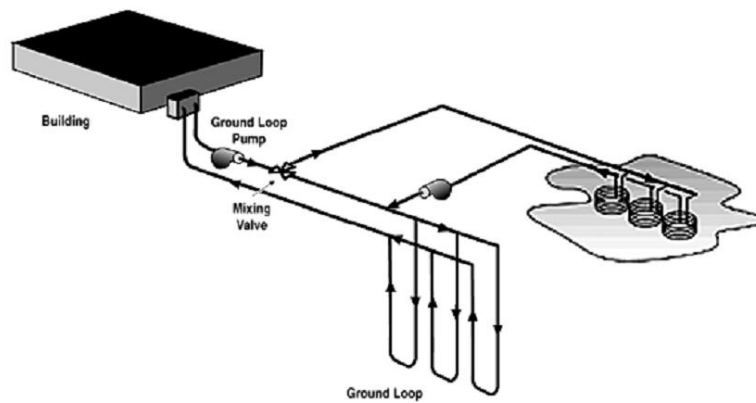


Εικόνα 4.9 Απεικόνιση συστήματος επιφανειακών υδάτων. (Αποστολίδου, 2010)

Υβριδικά γεωθερμικά συστήματα:

Υβριδικά συστήματα ονομάζουμε τα συστήματα αυτά τα οποία πέρα από τη χρήση των ΓΑΘ εκμεταλλεύονται και άλλες μορφές ενέργειας ή ένα γεωθερμικό σύστημα μπορεί να αποτελείται τόσο από κλειστού τύπου στοιχεία όσο και ανοιχτού για την θέρμανση και ψύξη των κτιριακών εγκαταστάσεων. Τέτοια υβριδικά συστήματα μπορούν να αποτελέσουν διατάξεις με ακόμα υψηλότερη απόδοση και σχεδόν μηδενική εξάρτηση από την κατανάλωση των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Ως παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε ένα σχολείο στη νότιο Αμερική στο οποίο παρατηρήθηκε ότι η απορριπτόμενη ποσότητα στο έδαφος μέσω του κλειστού κατακόρυφου συστήματος ήταν μεγαλύτερη από εκείνη που τελούσε υπό άντληση. Για την λύση αυτού του προβλήματος, της υπερθέρμανσης δηλαδή του εδάφους και την επακόλουθη υποβάθμισης του στην αποδοτικότητα της ψύξεως, δημιουργήθηκε μία τεχνητή λίμνη ως συμπληρωματικό χώρος απόρριψης της θερμότητας. (Αποστολίδου, 2010)



Εικόνα 4.10 Υβριδικό σύστημα με ταυτόχρονη λειτουργία κλειστού και ανοιχτού γεωεναλλάκτη. (Αποστολίδου, 2010)

Μια άλλη λύση υβριδικού κυκλώματος είναι αυτή του συνδυασμού της γεωθερμικής και της ηλιακής ενέργειας. Σε αυτή την περίπτωση η ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται μέσω των συλλεκτών σε ένα θερμοδοχείο το οποίο θερμαίνει το νερό της κεντρικής θέρμανσης και κατ' επέκταση το νερό χρήσης. Όταν δεν έχουμε επάρκεια της ηλιακής ενέργειας έρχεται η λειτουργία της αντλίας θερμότητας να συμπληρώσει αυτό το κενό. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνουμε υψηλή εξοικονόμηση των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων και αποτελεί μια άκρως φιλική προς το περιβάλλον λύση.

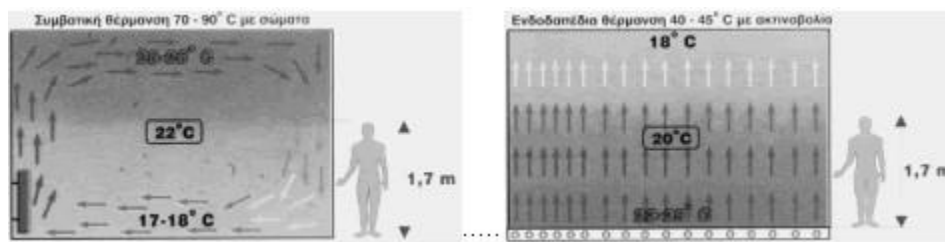
4.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ-ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Τα συστήματα διανομής του αέρα μέσα στην εγκατάσταση είναι και το τελευταίο στάδιο ενός συστήματος ΓΑΘ. Οι αντλίες δεν μπορούν να είναι συμβατές με τα κοινά σώματα θέρμανσης όπως είναι τα καλοριφέρ λόγω των υψηλών απαιτήσεων θερμοκρασίας νερού στη διανομή (70-90°C) ενώ οι προσφερόμενες θερμοκρασίες από της αντλίες είναι γύρω στους 50°C. Τα συστήματα διανομής ή απόρριψης της θερμότητας τα οποία είναι συμβατά με τις ΓΑΘ είναι τα εξής:

- Ενδοδαπέδιο
- Επιδαπέδιο
- Ενδότοιχο
- Σύστημα μέσω εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (fancoils) ή συστήματα αεραγωγών.

Ενδοδαπέδιο:

Κάτω από το μπετόν τοποθετούνται οι σωληνώσεις κατά τη διάρκεια κατασκευής ενός κτιρίου. Με αυτό το σύστημα επιτυγχάνονται άριστες συνθήκες θερμοκρασίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους αλλά και εξοικονόμηση ενέργειας αφού έχει την ικανότητα να συγκεντρώνει μεγάλη ενέργεια στο εσωτερικό ενός κτιρίου με αποτέλεσμα η αντλία να λειτουργεί μόνο κατά τη νυχτερινή χρέωση. (Αποστολίδου, 2010)



Εικόνα 4.11 Αριστερά φαίνεται ο τρόπος διανομής της θερμότητας με συμβατικά σώματα, ενώ δεξιά ο τρόπος διάθεσης της θερμότητας με το ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης. (Αποστολίδου, 2010)

Επίσης σε περίπτωση διακοπής της ηλεκτροδότησης το σύστημα μπορεί να διατηρήσει τη θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου για πολλές ώρες χωρίς να έχουμε μεγάλες θερμικές απώλειες. Αποτελεί ιδανική λύση για ψηλοτάβανους χώρους αφού αποτρέπει τη ανομοιόμορφη διαστρωμάτωση του αέρα όπως φαίνεται και την παραπάνω εικόνα.

Επιδαπέδιο:

Δύναται να χρησιμοποιηθεί σε ήδη κατασκευασμένα κτίρια αφού το δίκτυο των αγωγών εγκαθίστανται πάνω από το μπετό και κάτω από το δάπεδο. Κύριο μειονέκτημα του είναι ο χαμηλό χρόνος για άμεση θέρμανση. Και τα δύο αυτά συστήματα μπορούν να προσφέρουν θερμοκρασίες 30-45°C.



Εικόνα 4.12 Τοποθέτηση επιδαπέδιου συστήματος. (Αποστολίδου, 2010)

Σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας:

Αποτελούνται από αεραγωγούς όπου μεταφέρουν θερμό και ψυχρό αέρα και μπορούν να εγκατασταθούν παντού με μικρό κόστος και μεγάλη αποτελεσματικότητα και απόδοση. Τα συναντάμε συνήθως σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις και γενικά σε κτίρια τα οποία φιλοξενούν πολύ κόσμο και μπορούν να τοποθετηθούν είτε στην οροφή εντοιχισμένα είτε στο δάπεδο. Εξωτερικά μπορεί να θυμίζουν κοινά κλιματιστικά αλλά λειτουργούν με τη τροφοδοσία θερμού ή κρύου νερού και αντίθετα με αυτά δεν χρειάζονται πολλές μονάδες εγκατεστημένες αλλά μία κεντρική αντλία θερμότητας. (Αποστολίδου, 2010)



Εικόνα 4.13 Fan coils ενσωματωμένα στη οροφή. (Αποστολίδου, 2010)

5.ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή της μεθόδου ανάλυσης του κύκλου ζωής, τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από τη χρήση της, οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται και ο τρόπος λειτουργίας της.

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ενώ μέχρι πρότινος η αύξηση του κέρδους και η βελτίωση της ποιότητας ενός προϊόντος στην παραγωγική διαδικασία αποτελούσαν μοναδικό σκοπό πλέον οι παράγοντες όπως η εκπομπή ρύπων κατά τη διάρκεια αυτή και η διαχείριση των αποβλήτων έχουν αρχίσει να διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο. Για την ολιστική προσέγγιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο σχεδιασμό της παραγωγικής διαδικασίας ή κάποιας άλλης υπηρεσίας απαιτούνται εργαλεία με στόχο την αναγνώριση και τον προσδιορισμό των ρυπογόνων ροών.

Η μελέτη ΑΚΖ είναι ένα σύνολο διεργασιών με σκοπό τη συλλογή και αποτίμηση τόσο των στοιχείων εισόδου και εξόδου των ενεργειακών ισοζυγίων μάζας, όσο και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με αυτά καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.

Αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση και την εκτίμηση της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς ενός προϊόντος ή μιας διεργασίας από την αρχή της ύπαρξης μέχρι την τελική διάθεση τους είτε αυτή είναι η ανακύκλωση είτε η καύση ή αλλαγή χρήσης (from cradle-to-grave). Μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση της νομοθεσίας των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και να βοηθήσει τους κατασκευαστές να βελτιώσουν τα προϊόντα τους και τις παραγωγικές τους διαδικασίες.

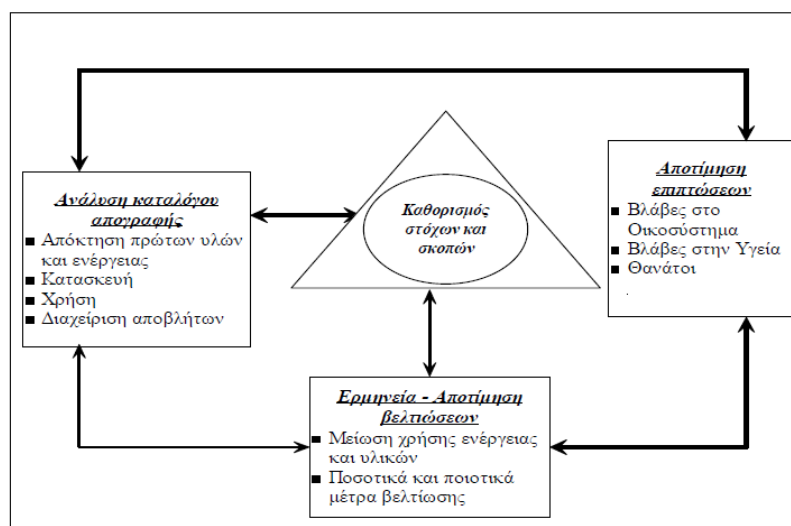
Η SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry, 1991) έχει ορίσει την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) σαν “μια τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που συνδέονται με κάποιο προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα προσδιορίζοντας και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, εκτιμώντας τις επιπτώσεις από την χρήση της

ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων και αναγνωρίζοντας και εκτιμώντας τις δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων”.(Μιχελής, 2015)

5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΚΖ

Το πλαίσιο μεθοδολογίας που προτείνει η SETACαποτελείται από τα εξής τέσσερα στάδια:

1. τον καθορισμό του στόχου και του αντικειμένου της μελέτης,
 2. την αναλυτική απογραφή των δεδομένων,
 3. την εκτίμηση επιπτώσεων και
 4. την ερμηνεία των αποτελεσμάτων
- Ο καθορισμός καθορίζεται από τον σκοπό, το αντικείμενο και τη μελλοντική εφαρμογή της μελέτης.
 - Στην αναλυτική απογραφή των δεδομένων συλλέγονται όλα τα δεδομένα στοιχείων εισόδου-εξόδου του υπό εξέταση συστήματος. Λόγω της μη ομοιόμορφης κατανομής των πηγών προέλευσης των δεδομένων πρέπει αν εξετάζεται προσεκτικά η ποιότητα αυτών.
 - Η εκτίμηση-αξιολόγηση των επιπτώσεων μπορεί να βοηθήσει ώστε να δοθεί μια προοπτική στα δεδομένα και στις πληροφορίες εισόδου-εξόδου.
 - Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μπορεί να εξασφαλίσει τις καλύτερες δυνατές προτάσεις την μείωση των απρόβλεπτων επιπτώσεων στον άνθρωπο και το περιβάλλον.



Εικόνα 5.1 Στάδια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. (Μιχελής, 2015)

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

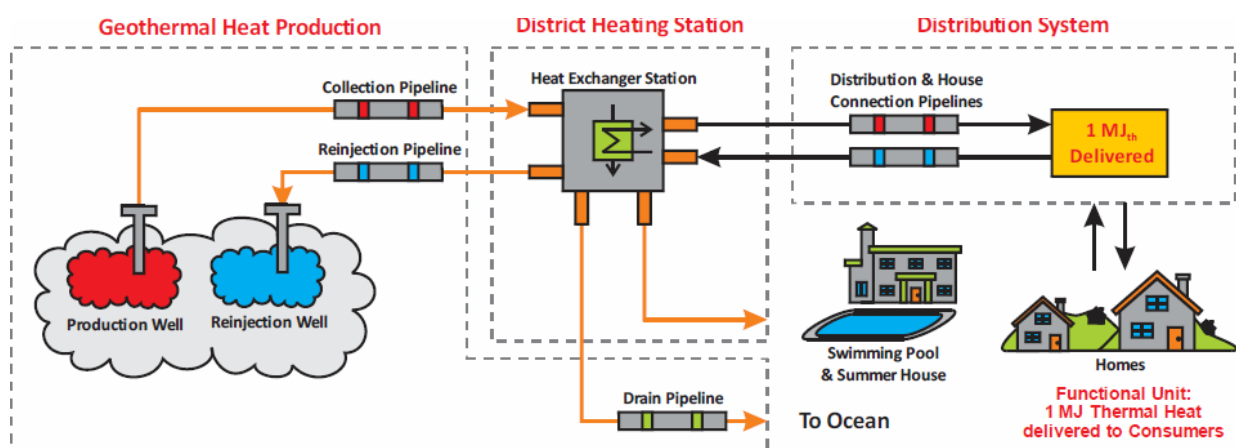
Στο άρθρο «Geothermal district heating system in Iceland :A life cycle perspective with focus on primary energy efficiency an CO2 emissions» γίνεται προσπάθεια μιας ανάλυσης κύκλου ζωής from cradle-to-gate του γεωθερμικού συστήματος στη πόλη Stykkishólmur της Ισλανδίας, που χρησιμοποιείται για άμεσες χρήσεις θέρμανσης βασιζόμενο σε μία μονάδα που παράγει 1MWh. Αυτή η μελέτη βασίζεται στη συλλογή πρωτογενών δεδομένων που αφορούν την κατασκευή και λειτουργία ενός συστήματος τα οποία είναι αντιπροσωπευτικά για τον σύγχρονο σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος. Η AKZ πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα SimaPro 7 και τα αποτελέσματα ελήφθησαν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο για τις επιπτώσεις CML και την αθροιστική ζήτηση ενέργειας δίνοντας έμφαση στην ζήτηση της πρωτογενούς ενέργειας καθώς και στο ανθρακικό αποτύπωμα της λειτουργικής μονάδας. (Pálsson et al., 2015)

Η Ισλανδία είναι μια πρωτοπόρος χώρα όσον αφορά στην χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση (DHS:DISTRICTHEATINGSYSTEM) και μια από της ταχύτατα αναπτυσσόμενες στο τομέας της παραγωγής ενέργειας από τη γεωθερμία. Τα γεωθερμικά αποθέματα στην Ισλανδία

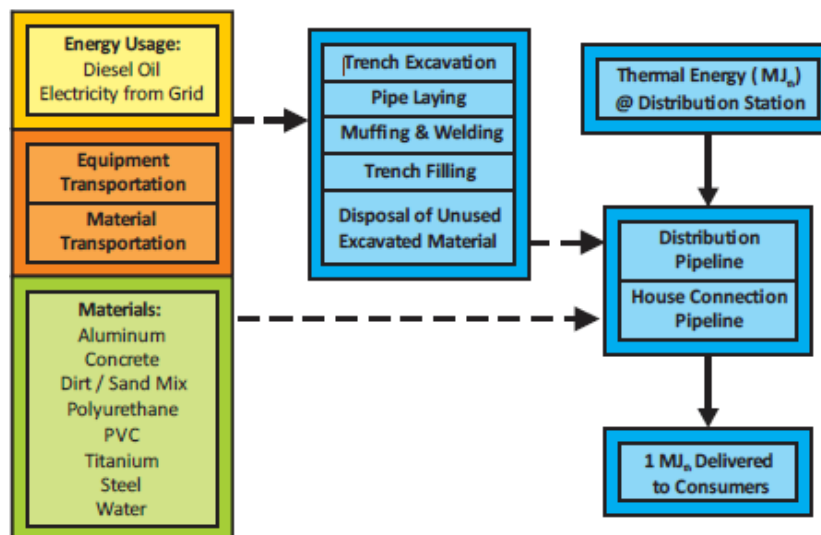
που έχουν να κάνουν με τη γεωθερμία χαμηλών θερμοκρασιών είναι πολυάριθμα και βρίσκονται διάσπαρτα σε όλη την επικράτεια της.

Μια συνήθης πρακτική για την Ισλανδία και την DHS είναι η τοποθέτηση συστήματος ανοιχτού βρόχου μονής σωλήνας όπου το ζεστό νερό απορρίπτεται μετά την χρήση και επαναχρησιμοποιείται. Αυτή η πρακτική μειώνει κατά πολύ τα έξοδα κατανάλωσης ενέργειας.

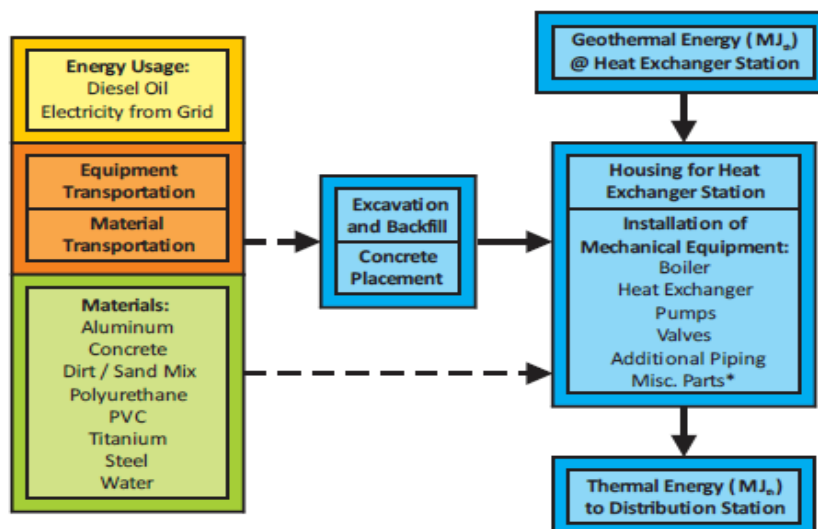
Για τους σκοπούς της εργασίας θεωρούμε ως χρόνο λειτουργίας του συστήματος τα 30 χρόνια και το χωρίζουμε σε τρία υποσυστήματα όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα και τα επιμέρους διαγράμματα ροών: 1) Εκείνο που αφορά την παραγωγή της θερμότητας, 2) Τον εναλλάκτη θερμότητας, 3) Το σύστημα διανομής.



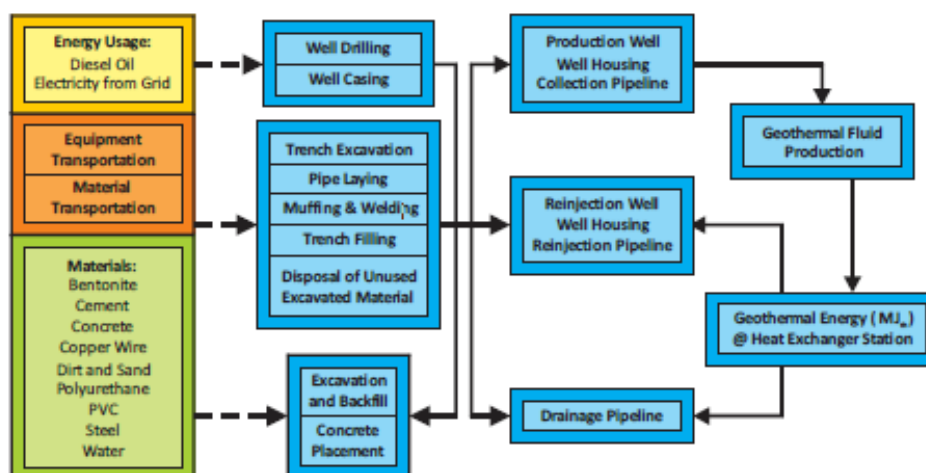
Εικόνα 6.1 Κατηγοριοποίηση των διαδικασιών για την παραγωγή θερμότητας στο υπό μελέτη σύστημα. (Pálsson et al., 2015)



Διάγραμμα 6.1 Διάγραμμα ροών για την παραγωγή θερμότητας. (Pálsson et al., 2015)



Διάγραμμα 6.2 Διάγραμμα ροών για τον εναλλάκτη θερμότητας. (Pálsson et al., 2015)

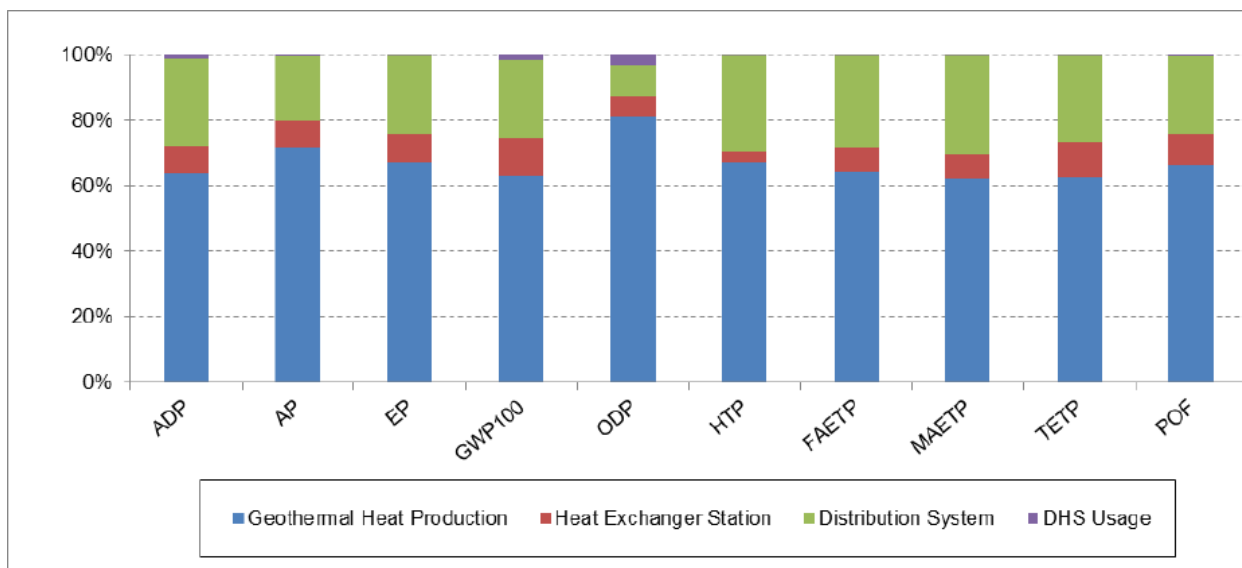


Διάγραμμα 6.3 Διάγραμμα ροών για το σύστημα διανομής. (Pálsson et al., 2015)

Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδεικνύουν ότι το σύστημα παραγωγής θερμότητας (περιλαμβάνει τα πηγάδια άντλησης και επανέγχυσης και τις μεγάλης διαμέτρου σωλήνες μεταφοράς του γεωθερμικού ρευστού) συμβάλλουν με 60% έως 80% σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων της μεθόδου CML 2. Η διαδικασία που είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο μέρος στις κατηγορίες των επιπτώσεων είναι η παραγωγή σε ατσάλι το οποίο είναι βασικό συστατικό στην κατασκευή των περισσότερων μερών του συστήματος ειδικά των σωληνώσεων. Επίσης η χρήση πετρελαίου ως καύσιμο για την διαδικασία της γεώτρησης των πηγαδιών συμβάλλει κατά πολύ στον δείκτη AP, δηλαδή στην όξυνση από τις εκπομπές διοξειδίου του θείου καθώς και στο φαινόμενο του ευτροφισμού και του θερμοκηπίου. Ο μπετονίτης που χρησιμοποιείται στη διαδικασία της γεώτρησης έχει μεγάλη συμμετοχή και αυτός στις εκπομπές του διοξειδίου του θείου και στη λέπτυνση της στοιβάδας του όζοντος. (Pálsson et al., 2015)

Το σύστημα διανομής συμβάλλει με ποσοστό 10-30% για όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων με σημαντικό παράγοντα την παραγωγή σε ατσάλι, υλικό που συμμετέχει στην κατασκευή των αγωγών. Οι καλωδιώσεις που χρησιμοποιούνται και είναι από χαλκό επιφέρουν ένταση στο φαινόμενο του ευτροφισμού και της τοξικότητας των υδάτων, ενώ τα υλικά από πλαστικό PVC στην αβιοτική εξάντληση και το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το diesel που χρησιμοποιείται για εκσκαφή και μεταφορά των υλικών στην τοποθεσία επηρεάζει την στοιβάδα του όζοντος, ενώ η χρήση της πολυουρεθάνης ως μονωτικό υλικό στις σωληνώσεις, στη φωτοχημική οξείδωση.

Το σύστημα του εναλλάκτη θερμότητας και η λειτουργική του διαδικασία θα μπορούσαμε να πούμε ότι συμμετέχει με το λιγότερο ποσοστό σε όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων. Επειδή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της συσκευής οι δύο βασικές εισροές του συστήματος είναι το γεωθερμικό ρευστό και η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές επομένως τα περιβαλλοντικά αποτυπώματα διατηρούνται σε χαμηλό επίπεδο. Παρ' όλα αυτά η χρήση ενός υγρού που υποστηρίζει το σύστημα εάν αυτό χρειαστεί έχει ένα μικρό αποτύπωμα σε κάποιες από τις κατηγορίες.



Διάγραμμα 6.4 Κατηγορίες επιπτώσεων και ποσοστό συμμετοχής του κάθε υποσυστήματος. (Palsson et al., 2015)

Στο άρθρο «Comparative life cycle assessment of renewable energy systems for heating and cooling» γίνεται μια σύγκριση ανάλυσης κύκλου ζωής με την ίδια λειτουργική μονάδα δύο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Τα συστήματα αυτά, τα οποία ειδικά τα τελευταία 10 χρόνια έχουν γνωρίσει μεγάλη αναγνωρισιμότητα είναι η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας.

Τα τελευταία χρόνια η παρουσία των ανανεώσιμων συστημάτων ενέργειας για θέρμανση και ψύξη (RES- HC) έχει ενισχυθεί ιδιαιτέρως σε όλους τους τομείς: οικιακούς, βιομηχανικούς και εμπορικούς. Αυτό προκύπτει από δύο κυρίως παράγοντες:

- Η ανάπτυξη των εφαρμογών για βιώσιμη ανάπτυξη στη χρήση νέων τεχνολογιών
- Η εκθετική αύξηση των ορυκτών καυσίμων και η ολοένα περισσότερη δυσκολία στην ανεύρεση και εξόρυξη τους.

Η λειτουργική μονάδα στην παρούσα εργασία είναι η παραγωγή ζεστού νερού 400 lt (ισοδύναμο με τις ανάγκες μιας εξαμελούς οικογένειας) και τα όρια των επιλεγμένων συστημάτων ξεκινούν από το στάδιο των πρώτων υλών, το στάδιο χρήσης και το στάδιο της αποσυναρμολόγησης αυτών σε ένα κύκλο ζωής 80 χρόνων. Ο σχεδιασμός των συστημάτων έχει ως εξής:

- Για τη γεωθερμία επιλέγεται ένα σύστημα κλειστού βρόχου με κατακόρυφο εναλλάκτη μέσα στον οποίο το ρευστό είναι μάγμα νερού και αιθυλενίου (22%)
- Για το ηλιακό σύστημα επιλέγεται ένα του οποίου το υγρό είναι μίξη νερού με προπυλένιο (50%)

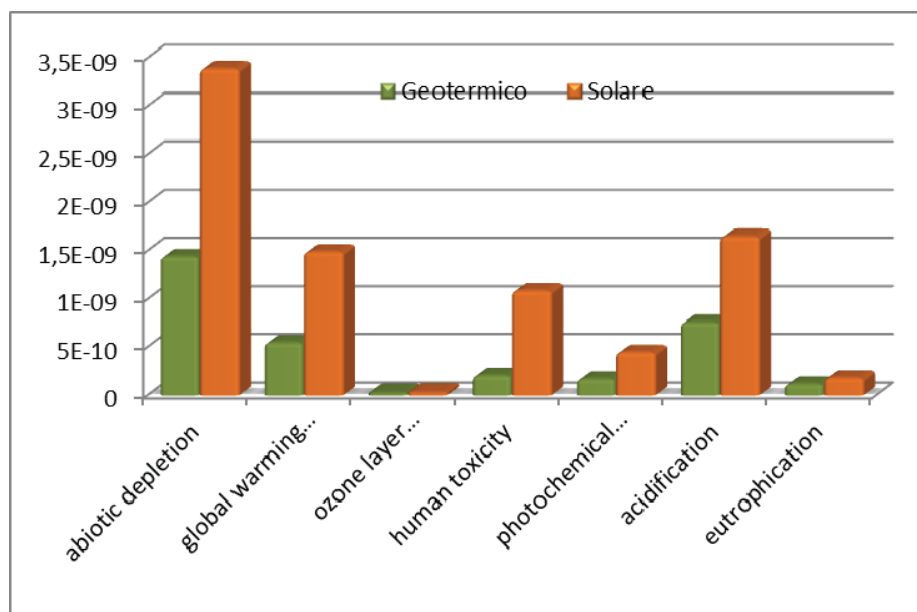
Η πόλη της Μπολόνια θεωρείται ο τόπος εγκατάστασης και το Μιλάνο ο τόπος παραγωγής των μερών και των δύο συστημάτων. Για τη σύγκριση των δύο συστημάτων έχουν αποκλειστεί από τη διαδικασία της ανάλυσης οι λειτουργίες δοκιμών και συντήρησης καθώς και το θερμοδοχείο μαζί με τους σωλήνες διανομής του ζεστού νερού προς τα τερματικά του κτιρίου. Μια γεωθερμική αντλία παράγει θερμότητα όχι μόνο για ζεστό νερό χρήσης αλλά και για τις ανάγκες θέρμανσης ενός κτιρίου. Για τη μελέτη περίπτωσης έχει θεωρείται ότι το ποσό ενέργειας που καταναλώνεται για την παραγωγή ζεστού νερού αντιστοιχεί στο 40% περίπου των συνολικών αναγκών ενός κτιρίου βάσει των παρακάτω ορίων λειτουργίας που έχουν θεσπιστεί:

- Ημέρες κατανάλωσης ζεστού νερού κατά τη διάρκεια ενός έτους: 365
- Ώρες θέρμανσης για το ίδιο διάστημα: 2400h
- Μέσος εποχικός συντελεστής απόδοσης για θέρμανση και ζεστό νερό: 3

Επιπλέον εκτιμάται ότι η διάρκεια το κύκλου ζωής ενός ηλιακού συστήματος είναι τα 20 χρόνια, ενώ η διάρκεια ζωής ενός γεωθερμικού συστήματος είναι τα 80 περίπου χρόνια (εκτός από την αντλία θερμότητας η οποία έχει ένα χρόνο ζωής όμοιο με αυτόν του ηλιακού συστήματος.) Για να είναι συγκρίσιμα τα ευρήματα από την έρευνα η AKZ του ηλιακού έχει αναπαραχθεί 4 φορές ενώ του γεωθερμικού 1 φορά με την προϋπόθεση να αντικαταστήσει την αντλία θερμότητας σας μία φορά κάθε 20 χρόνια. (Chiavetta et al., 2011)

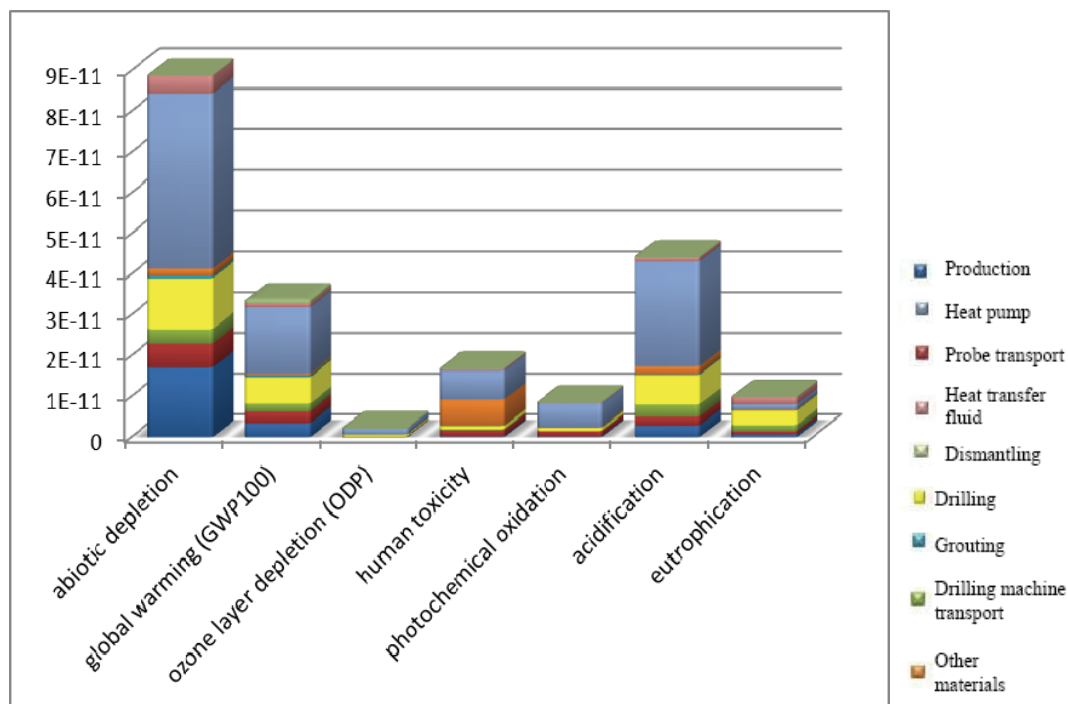
Σε όλες τις κατηγορίες επιπτώσεων το γεωθερμικό σύστημα παρουσιάζει καλύτερη περιβαλλοντική επίδοση από το ηλιακό σύστημα θερμότητας όπως φαίνεται και στο κανονικοποιημένο γράφημα. Το στοιχείο με το υψηλότερο αντίκτυπο στην AKZ είναι η αντλία θερμότητας και είναι λογικό αφού η διαδικασία της λειτουργίας της καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια του συστήματος καθώς και τα υλικά κατασκευής της. Σημαντικές αποτελούν και οι πληροφορίες σχετικά με τη συμβολή του σταδίου της γεώτρησης για την εγκατάσταση των κατακόρυφων σωλήνων, στις κατηγορίες των επιπτώσεων. Η κατανάλωση ενέργειας και η χρήση νερού που απαιτούνται για τη λειτουργία του γεωτρύπανου είναι αυτά

που ως επί το πλείστον το κάνουν να εμφανίζεται σε όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων. (Chiavetta et al., 2011)



Διάγραμμα 6.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και των δύο συστημάτων. (Chiavetta et al., 2011)

Εστιάζοντας στην κατηγορία GWP παρατηρούμε ότι πως η λειτουργία της αντλίας είναι υπεύθυνη για το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και πως συμβάλλει η διαδικασία της γεώτρησης σε ένα μεγάλο ποσοστό στα ισοδύναμα του διοξειδίου του άνθρακα. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ναι μεν το γεωθερμικό σύστημα έχει λιγότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο από το ηλιακό, αλλά βάσει της έρευνας θα μπορούσαμε να εστιάσουμε στη λειτουργία της αντλίας θερμότητας καθώς και στην διαδικασία εγκατάστασης του συστήματος και να βρούμε αποδοτικότερες και φιλικότερες προς το περιβάλλον εναλλακτικές λύσεις. (Chiavetta et al., 2011)



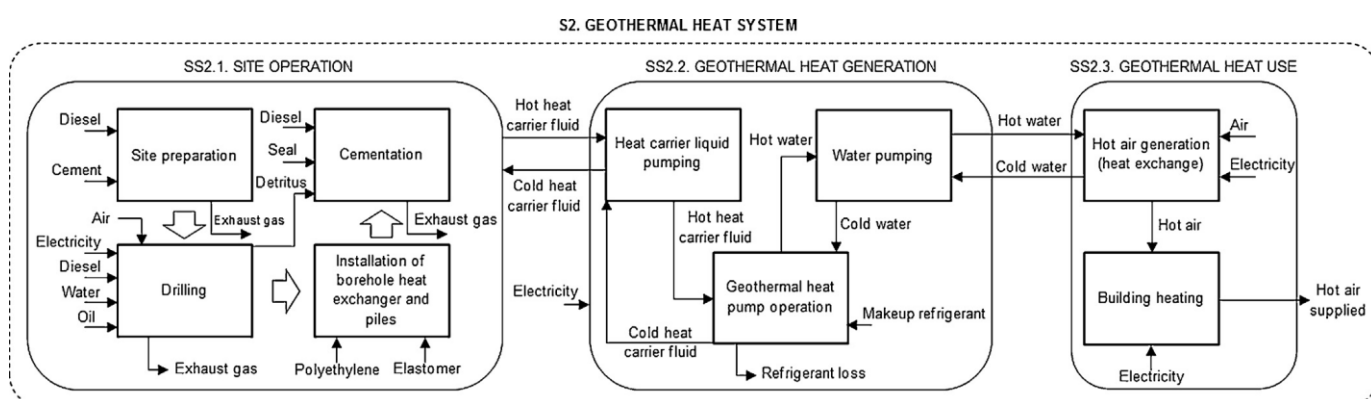
Διάγραμμα 6.6 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις για την κάθε δραστηριότητα ξεχωριστά. (Chiavetta et al., 2011)

Στο άρθρο «Is it only CO₂ matters? A life cycle perspective on shallow geothermal systems.» γίνεται προσπάθεια ανάλυσης κύκλου ζωής ενός γεωθερμικού κλειστού συστήματος χαμηλής ενθαλπίας με χρήση κάθετου συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας εδάφους. Η ανάλυση περιλαμβάνει το στάδιο της κατασκευής της αντλίας, την διαδικασία και τη διάνοιξη του φρεατίου, την μεταφορά των υλικών (περίπου 600km), την εγκατάσταση του εναλλάκτη και της αντλίας καθώς και το χρόνο λειτουργίας τους (20 χρόνια). Η εγκατάσταση λαμβάνει χώρα σε μια τυπική Ευρωπαϊκή κατοικία 200m και γίνεται σύγκριση με συμβατικούς τρόπους θέρμανσης και ψύξης. Τα συμπεράσματα δείχνουν ότι κάνοντας χρήση ενός τέτοιου συστήματος εξοικονομούμε 50% σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου όσον αφορά σε σχέση με συμβατικές μεθόδους θέρμανσης. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι ισχύει και για όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στην έρευνα που έκαναν καταλήξαν ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για τη λειτουργία της αντλίας αποτελούσε το πιο σημαντικό παράγοντα για ένα τέτοιο σύστημα. Αθροίζοντας όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τον κύκλο ζωής 20 χρόνων βρήκαν ότι η ηλεκτρική ενέργεια κυριαρχεί με ποσοστό 87.1%. Βέβαια το ποσοστό αυτό μπορεί να αλλάζει αναλόγως που

βρισκόμαστε στην Ευρωπαϊκή ήπειρο και αυτό γιατί αναλόγως τις κλιματικές ζώνες διαφοροποιούνται και οι ανάγκες θέρμανσης και ψύξης. (Saner et al., 2010)

Με την έρευνα τους οι συγγραφείς στο άρθρο « On the environmental suitability of high- and low- enthalpy geothermal systems» όσον αφορά στο κομμάτι της ανάλυσης κύκλου ζωής ενός γεωθερμικού συστήματος για την κάλυψη θερμαντικών αναγκών καταδεικνύουν ως μεγαλύτερο συμμετέχων παράγοντα στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια για την παραγωγή θερμότητας. Η επιδόσεις του συστήματος σε αυτό το κομμάτι δεν ήταν και οι καλύτερες και η καταλληλότητα του σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα όπως αυτών του πετρελαίου εξαρτάται κατά πολύ από την διάθεση περιβαλλοντικά φιλικών μεθόδων για τα ηλεκτρικά δίκτυα.

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις γίνονται με συστήματα κλειστού βρόχου και η χρήση τους ολοένα και αυξάνεται τα τελευταία χρόνια λόγω τις ανανεωσιμότητας τους και τις χαμηλές περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις αλλά και λόγω το ότι χρησιμοποιούν ρευστά χωρίς μεγάλη αλατότητα μειώνοντας έτσι τις πιθανότητες τις διάβρωσης. Η λειτουργική μονάδα που χρησιμοποιήθηκε καθορίστηκε ως 1MW που χρειάζεται για τη θέρμανση του ένα κτίριο στη Μαδρίτη που σχεδιάστηκε να φιλοξενεί 250 εργαζόμενους, έκτασης 10.000τμ. Η μελέτη περίπτωσης αρχίζει από την εγκατάσταση, στη γεωθερμική αντλία θερμότητας και στην τελική παραγωγή ζεστού αέρα 40°C. Το γεωθερμικό σύστημα χωρίστηκε σε τρία υποσυστήματα: Το στάδιο της προετοιμασίας, το στάδιο παραγωγής θερμότητας και το στάδιο της χρήσης του θερμού αέρα. (Camboa et al., 2015)



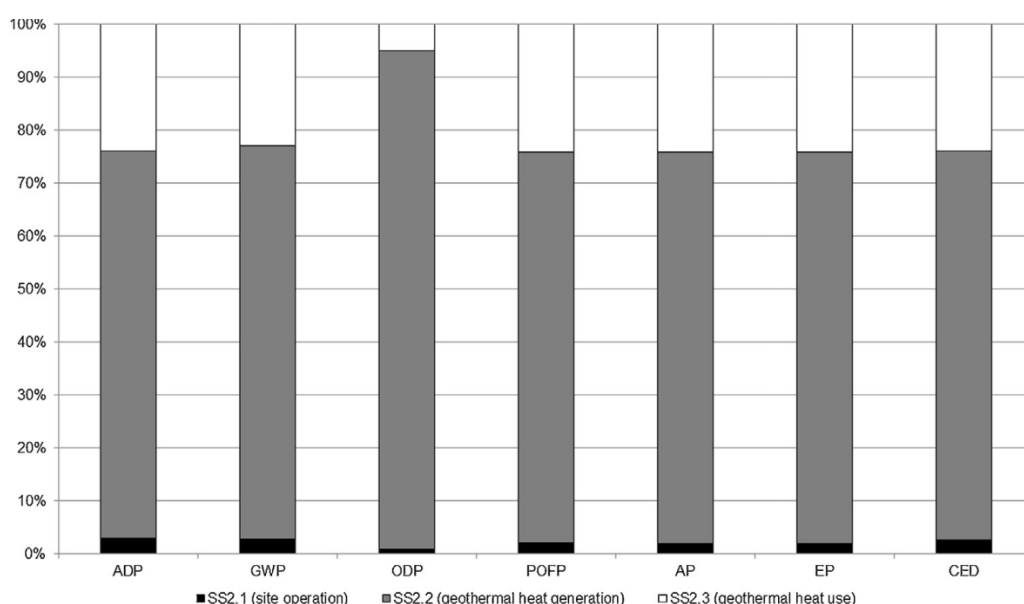
Διάγραμμα 6.7 Διαγράμματα ροών για το γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης. (Camboa et al., 2015)

Το στάδιο της προετοιμασίας περιλαμβάνει τον εναλλάκτη θερμότητας που χρειάζεται 24 γεωτρήσεις βάθους 125μ και θερμικά σώματα σε βάθος 25μ. Αφού έχει πραγματοποιηθεί η διάνοιξη των φρεάτων με τη χρήση τρυπάνων αέρα τα αδρανή υλικά που προκύπτουν χρησιμοποιούνται για την επικάλυψη και το σφράγισμα των φρεάτων. Η μόνωση των σωληνώσεων γίνεται με χρήση πολυαιθυλενίου και εν τέλει με τσιμεντενέσεις είναι το τελευταίο στάδιο αποτελούμενες από ένα μίγμα τσιμέντου και μπετονίτη.

Το στάδιο της παραγωγής θερμότητας περιλαμβάνει την αντλία θερμότητας με θερμοχωρητικότητα 106,6kw και με ένα κύκλο ζωής 20 χρόνια. Το ψυκτικό υγρό που χρησιμοποιείται είναι το HFC-134a

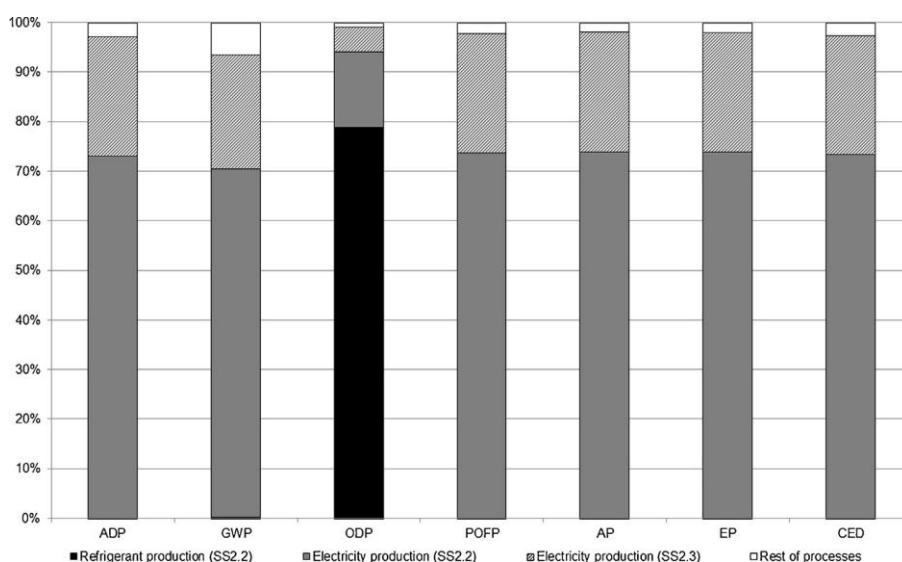
Στο τρίτο στάδιο η θερμότητα μεταφέρεται με το σύστημα διανομής στο σύστημα κλιματισμού (fancoils) το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να λειτουργήσει.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών για το γεωθερμικό σύστημα. Οι όποιες πιθανές επιπτώσεις αποδίδονται στο μοναδικό προϊόν του συστήματος: το θερμό αέρα. Η συμβολή του κάθε υποσυστήματος παρουσιάζονται και αυτές στο παρακάτω γράφημα από όπου συμπεραίνουμε ότι το στάδιο της παραγωγής της θερμότητας κυριαρχεί καθ' όλα με ποσοστά που κυμαίνονται από το 73% μέχρι το 94%. Το στάδιο της προετοιμασίας σε σχέση με τα άλλα δείχνει την καλύτερη επίδοση ενώ το τρίτο στάδιο της προώθησης του ζεστού αέρα υπάρχει σε όλες τις κατηγορίες.



Διάγραμμα 6.8 Συμβολή του κάθε υποσυστήματος στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. (Cambao et al., 2015)

Όπως και στα προηγούμενα άρθρα και εδώ αυτό που κυριαρχεί στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για να λειτουργήσει το στάδιο της παραγωγής θερμότητας αλλά και της τελικής χρήσης αυτής. Έτσι και εδώ ενώ οι περιβαλλοντικές επιδόσεις του συστήματος είναι πολύ καλές σε σχέση με χρήση του πετρελαίου, η διαθεσιμότητα περισσότερων μεθόδων φιλικών προς το περιβάλλον ώστε να καλυφθεί η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια αποτελούν επιτακτικό παράγοντα ώστε τα συστήματα αυτά να αποτελέσουν ακόμα πιο ελκυστικό μέσο για τον κλιματισμό των εγκαταστάσεων αλλά και να αυξήσουν ακόμη περισσότερο την περιβαλλοντική βιωσιμότητα τους. (Camboa et al., 2015)

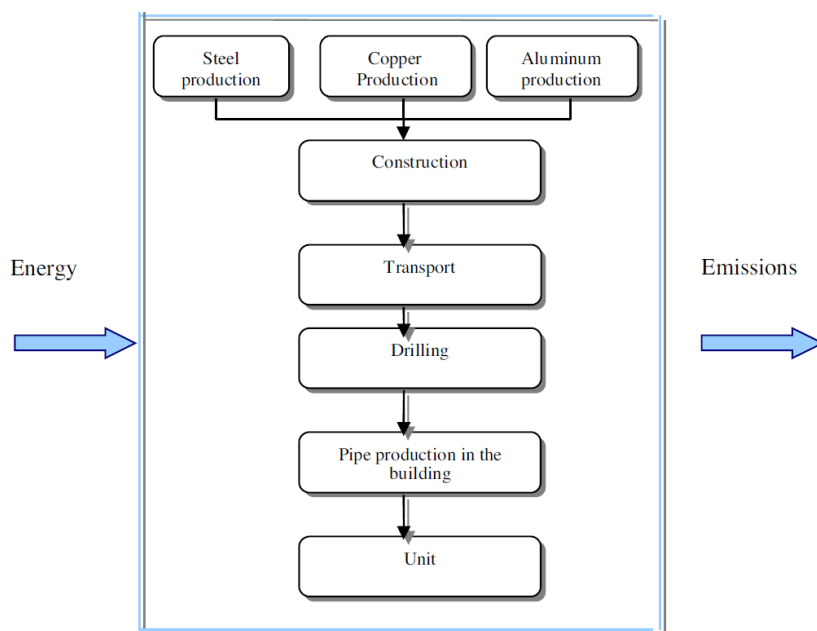


Διάγραμμα 6.9 Συμβολή στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τη κάθε διαδικασία που συμμετέχει στη λειτουργία του γεωθερμικού συστήματος. (Camboa et al., 2015)

Στο τελευταίο άρθρο με τίτλο: «Enviromental impact assessment of a ground source heat pump system in Greece» οι συγγραφείς και εδώ δηλώνουν ότι παρόλο που η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία αργά αλλά σταθερά αποκτά όλο και περισσότερη αναγνωρισιμότητα με σκοπό την αποδέσμευση των κτιρίων από τις συμβατικές μεθόδους ψύξης-θέρμανσης, εντούτοις οι περιβαλλοντικές τις επιδόσεις σε μια ανάλυση κύκλου ζωής φανερώνουν ότι επηρεάζουν ένα ευρύ φάσμα στις κατηγορίες των επιπτώσεων.

Η μελέτη περίπτωσης έχει να κάνει με την εγκατάσταση ενός GSHP συστήματος στην Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα με τις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με χρόνο ζωής ενός τέτοιου συστήματος από το στάδιο της παραγωγής του μέχρι και τη τελική

του χρήση. Το μοντέλο που πραγματοποιήθηκε βασίστηκε στη μέθοδο του λογισμικού SimaPro7 με τη βάση δεδομένων του Eco-Indicator 95 και σκοπός είναι η ανάλυση κύκλου ζωής ενός συστήματος γεωθερμικού συστήματος χαμηλής ενθαλπίας, κάθετου και αβαθούς. Η ανάλυση του κύκλου ζωής περιλαμβάνει τα εξής στάδια: 1) Το στάδιο παραγωγής πρώτων υλών, δηλαδή των υλικών που εξάγονται από το έδαφος καθώς και τη μεταφορά τους από το σημείο εξαγωγής μέχρι το τόπο επεξεργασίας τους, 2) Το στάδιο της κατασκευής το οποίο περιλαμβάνει την επεξεργασία των υλικών και την κατασκευή του προϊόντος, 3) Το στάδιο της μεταφοράς το οποίο εμπεριέχει όλες τις διεργασίες που λαμβάνουν μέρος στη μεταφορά και τη διανομή του προϊόντος καθώς και η ενέργεια και τα απόβλητα που δημιουργούνται από αυτό το στάδιο, 4) Εκείνο της δοκιμής και της διάνοιξης της γεώτρησης, 5) Και το στάδιο της εγκατάστασης του συστήματος διανομής μέσω των σωληνώσεων. Εδώ να σημειωθεί ότι στην ανάλυση δεν περιέλαβαν το στάδιο της αποσυναρμολόγησης ου συστήματος στο λήξη του κύκλου ζωής. Ο κύκλος ζωής της αντλίας θεωρείται τα 25 χρόνια και η λειτουργική μονάδα καθορίστηκε ως 1kw για το κτίριο που εδρεύει στην Ελλάδα και είναι το Δημαρχείο του Δήμου Πυλαίας (Αν. Θεσσαλονίκη). (Koroneos et al., 2017)

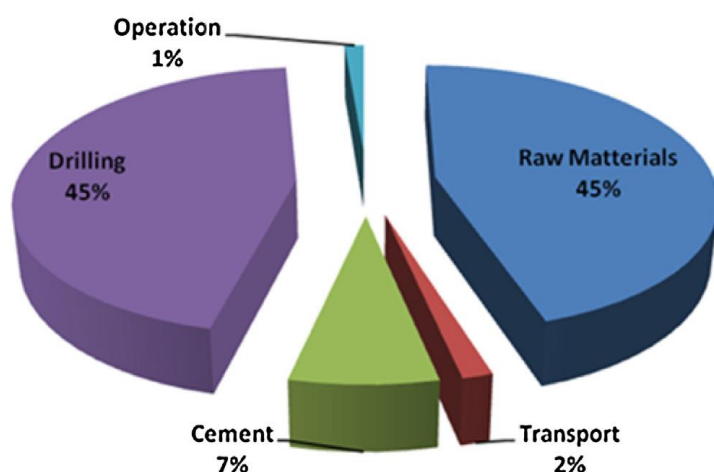


Διάγραμμα 6.10 Όρια συστήματος και στάδια της AKZ ενός GSHP συστήματος. (Koroneos et al., 2017)

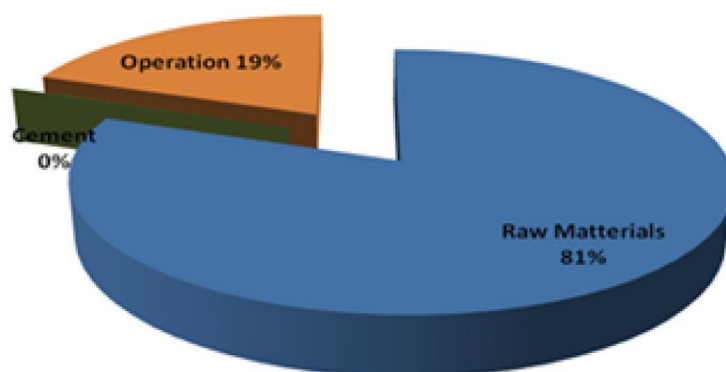
Τα αποτελέσματα που εξήγαγαν έδειξαν ότι η κατηγορία της οξίνισης επικρατεί με ποσοστό 73,49% εξαιτίας των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) και του αζώτου (NO_x). Οι εκπομπές αυτές αποδίδονται κυρίως στην παραγωγή των πρώτων υλών και τη γενικότερη

λειτουργία του συστήματος όπως είναι η διαδικασία για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της καύσης του λιγνίτη (κλασικό καύσιμο που επικρατεί στην Ελλάδα). Περίπου το 14% της χαμηλής περιβαλλοντικής επίδοσης είναι κυρίως λόγω των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου το οποίο οφείλεται στην παραγωγή πρώτων υλών και των τιμμεντενέσεων που χρησιμοποιήθηκαν στη γεώτρηση. (Koroneos et al., 2017)

Συμπερασματικά, οι συντάκτες της έρευνας καταλήγουν ότι μια εναλλακτική λύση για να ενισχυθούν οι περιβαλλοντικές επιδόσεις του συστήματος στα στάδια που συμμετέχουν στην περιβαλλοντική επιβάρυνση όπως είναι η παραγωγή των πρώτων υλών, θα μπορούσε να είναι ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου που θα μπορούσε σταδιακά να οδηγήσει στη μείωση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα 500MW σε 194 MW/ έτος.



Διάγραμμα 6.11 Εκπομπές NOx από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός GSHP συστήματος. (Koroneos et al., 2017)



Διάγραμμα 6.12 Εκπομπές SO2 σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής ενός GSHP συστήματος. (Koroneos et al., 2017)

7.ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

7.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Ιαματικά Λουτρά

Περισσότερες από 750 θερμές πηγές έχουν καταγραφεί στον Ελλαδικό χώρο με πιο θερμή από όλες να έχει εντοπιστεί στην περιοχή του Πολιχνίτου στη Λέσβο όπου το νερό φτάνει μέχρι και τους 92°C. Από όλες τις θερμές πηγές οι 348 αξιοποιούνται για ιαματισμό με πάνω από 60 κέντρα σπα και κέντρα ιαματικών λουτρών χρησιμοποιούν θερμά νερά ενώ τουλάχιστον 25 εξωτερικές πισίνες λειτουργούν με χρήση των γεωθερμικών ρευστών. Η συνολική θερμική ροή για την Ελλάδα έχει υπολογιστεί ότι είναι περίπου στα 1000kg/s και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στα 42MWt. Σε ορισμένες περιπτώσεις η εκμετάλλευση των ιαματικών πηγών έχει συνεισφέρει στην τοπική κοινωνία παρέχοντας θέσεις εργασίας είτε επειδή δημιουργούνται γύρω από αυτές κέντρα θεραπείας είτε με την αύξηση των επισκεπτών. (Arvanitis, 2017)



2017)

Εικόνα 7.1 Θερμές πηγές Πολιχνίτου-Λέσβος. (Arvanitis,

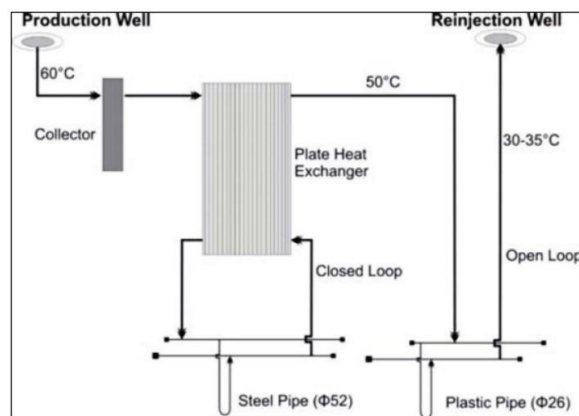
Εικόνα 7.2 Λουτράκι Αριδέα (T=37oC)-Εξωτερική πισίνα



Θέρμανση Θερμοκηπίων:

Η γεωθερμική ενέργεια για τη θέρμανση των θερμοκηπίων ήδη χρησιμοποιείται από το 1970. Μερικά από τα παλαιά θερμοκήπια που τη χρησιμοποιούσαν είτε έκλεισαν είτε στραφήκαν σε άλλες μεθόδους θέρμανσης για λόγους που δεν είχαν να κάνουν με τη γεωθερμία αλλά ήταν γραφειοκρατικοί/θέματα αδειών. Το Μάρτιο του 2016 19 μονάδες λειτουργούσαν στην Βόρεια Ελλάδα (Μακεδονία, Θράκη) και στα νησιά Μήλος και Λέσβος. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υπολογίζεται ότι ανέρχεται στα 33,38MWt και η ετήσια χρήση ενέργειας στα 571TJ. Οι μονάδες που λειτουργούν κατασκευάστηκαν από γυαλί και πλαστικό ενώ τα πλαίσια που χρησιμοποιούν είναι από ατσάλι, αλουμίνιο και ξύλο. Στη πλειοψηφία τους στα θερμοκήπια αυτά καλλιεργούνται λαχανικά και φυτά (κυρίως ντομάτες, πιπεριές και περιστασιακά πράσινα φασόλια και φράουλες. Τα γεωθερμικά ρευστά που τροφοδοτούν την θέρμανση των μονάδων φτάνουν τους 60°C. Εάν η ποιότητα των νερών είναι σχετικά καλή τότε μιλάμε για άμεσες χρήσεις, σε κάθε άλλη περίπτωση χρησιμοποιούνται θερμικοί εναλλάκτες. Ως επί των πλείστων η θέρμανση επιτυγχάνεται με εγκατεστημένους σωλήνες στο έδαφος μέσω των οποίων μεταφέρετε το ζεστό νερό ή και με συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας του αέρα ή και με τους δύο τρόπους. (Arvanitis, 2017)

Μια περίπτωση τέτοιας μονάδας είναι ένα θερμοκήπιο υδροπονίας το οποίο κατασκευάστηκε το 2014 στη Ν. Εράσμιο από την εταιρεία Πλαστικά Θράκης. Η εγκατάσταση σε πρώτη φάση επεκτείνεται σε έκταση περίπου 42 στρεμμάτων ενώ σήμερα η συνολική κάλυψη της μονάδας ανέρχεται στα 120 στρέμματα και αποτελεί την πιο σημαντική επένδυση από άποψη της χρήσης γεωθερμικής ενέργειας, στην Ελλάδα. Η παραγωγή θερμότητας επιτυγχάνεται με τη χρήση 110κμ/ηγεωθερμικών ρευστών που αντλούνται από δύο πηγάδια με μέση θερμοκρασία άντλησης τους 60°C. Η επαναισθαγωγή των ρευστών γίνεται με θερμοκρασία περίπου 30°C. (Arvanitis, 2017)



Εικόνα 7.3 Τυπικό γεωθερμικό σύστημα για θέρμανση με πηγάδι άντλησης και πηγάδι επαναισπαγωγής.



Εικόνα 7.4 Φωτογραφία της εγκατάστασης στη Χρυσούπολη. (Arvanitis, 2017)

Άλλη μια σημαντική επένδυση στο τομέα αυτόν αποτελεί το θερμοκήπιο στη Χρυσούπολη στην Καβάλα. Ένα μοντέρνο θερμοκήπιο το οποίο κατασκευάστηκε από με σιδερένιο πλαίσιο και με μια λωρίδα πλαστικού για επικάλυψη, με έκταση 3,5 εκτάρια. Η επένδυση αυτή έφτασε τα 7€ εκ. ενώ άλλα 3€ εκ. θα διατεθούν για την δεύτερη φάση της επένδυσης η οποία αφορά και σε επέκταση 2,5 εκταρίων ακόμη. Τα παραγόμενα προϊόντα κατά κύριο λόγο εξάγονται σε άλλες χώρες σε ποσοστό μάλιστα 95%-99%, όπως η Ιταλία και η Γερμανία. Σήμερα η μονάδα απασχολεί περισσότερους από 120 υπαλλήλους ενώ μόλις ολοκληρωθεί και η δεύτερη φάση της επένδυσης υπολογίζεται ότι στη μονάδα θα μπορούν να εργαστούν παραπάνω από 150 άτομα. (Arvanitis, 2017)

7.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Δημαρχείο Πυλαίας

Από το Σεπτέμβριο του 2002 τέθηκε σε λειτουργία ένα αβαθές γεωθερμικό σύστημα για την πλήρη κάλυψη των αναγκών σε ψύξη-θέρμανση στο Δημαρχείο Πυλαίας στη Θεσσαλονίκη. Το σύστημα απαρτίζουν ένας κατακόρυφος εναλλάκτης, έντεκα αντλίες θερμότητας νερού-νερού, τρεις κλιματιστικές μονάδες, fan-coils καθώς και τα δίκτυα για τη μεταφορά του αέρα και του νερού. Το Δημαρχείο καταλαμβάνει έκταση 2500τμ και θεωρείται πολύ καλά μονωμένο. Οι αντλίες θερμότητας είναι συνδεδεμένες μένα δίκτυο 21 γεωτρήσεων οι οποίες φτάνουν σε βάθος 80μ και το νερό για τον κλιματισμό κυκλοφορεί μέσα από ένα δίκτυο σωληνώσεων και τροφοδοτεί τις αντλίες θερμότητας με στόχο να επιτευχθεί μείωση της καναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 50% σε σύγκριση με εκείνη που απαιτείται αν δεν υπήρχε το δίκτυο αυτό. (Αποστολίδου, 2010)

Η εξοικονόμηση της ενέργειας που επιτυγχάνεται με τη χρήση του γεωεναλλάκτη οφείλεται πρώτον στο ότι η απαιτούμενη ενέργεια αντλείται απευθείας από το έδαφος και δεύτερον στο ότι η θερμοκρασία του εναλλάκτη, σε σύγκριση με τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος (πύργοι ψύξης) είναι πιο σταθερή. Για το λόγο αυτό ο συντελεστής απόδοσης είναι περίπου στο 4.0 αντί στο 2.0 των κλασικών εγκαταστάσεων. Επιπροσθέτως ο γεωεναλλάκτης μειώνει και την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται οι αντλίες θερμότητας κατά 30% με αποτέλεσμα της μείωση του διοξειδίου του άνθρακα. Η απόσβεση της επένδυσης έγινε σε διάστημα περίπου 5 ετών και ο κύκλος ζωής του συστήματος υπολογίζεται στα 25 χρόνια. (Αποστολίδου, 2010)



Εικόνα 7.5 Οι αντλίες θερμότητας στο μηχανοστάσιο του Δημαρχείου. (Αποστολίδου, 2010)

Εγκατάσταση σε οικία στη Βυτίνα Αρκαδίας

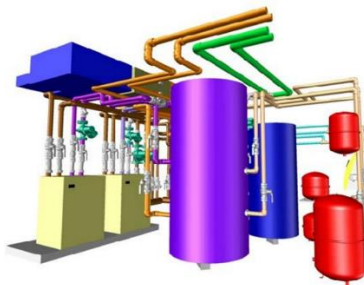
Πρόκειται για μία κατοικία 450m² που βρίσκεται στην περιοχή της ορεινής Αρκαδίας στη Βυτίνα, στην οποία πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος κλειστού κυκλώματος. Έχουν εφαρμοστεί συστήματα «πράσινων τεχνολογιών» με έμφαση τόσο στον τρόπο παραγωγής & μετάδοσης θερμικής ενέργειας όσο και στο κέλυφος. Στα ανοίγματα έχουν τοποθετηθεί κουφώματα θερμοδιακοπής με διπλούς ενεργειακούς υαλοπίνακες. Σαν μέσο μετάδοσης είχε σχεδιαστεί ένα μεικτό σύστημα θέρμανσης δαπέδου όπου έχει κατανεμηθεί το βασικό φορτίο του σπιτιού ενώ έχουν προστεθεί και σώματα χαμηλών θερμοκρασιών για τα μέγιστα της ζήτησης ή την γρήγορη απόκριση του συστήματος όταν ζητηθεί από τον χρήστη. Το σύστημα συμπληρώνει όπου είναι απαραίτητο η θέρμανση τοίχου. Επιπρόσθετα έχουν τοποθετηθεί ηλιακοί συλλέκτες τόσο για υποβοήθηση θέρμανσης όσο και για την παραγωγή ζεστών νερών χρήσης. (Μαρούδης, 2014)



Εικόνα 7.6 Οικία στη Βυτίνα. (Μαρούδης, 2014)

Για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης & ψύξης τοποθετήθηκαν -2- ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος 20kW θερμικής ισχύος η κάθε μία. Η μία μονάδα συνδέεται με την ενδοδαπέδια θέρμανση ενώ η άλλη με το σύστημα των καλοριφέρ. Το σύστημα του γεωεναλλάκτη αποτελείται από 5 κατακόρυφες γεωτρήσεις των 100 μέτρων με σωλήνα πολυαιθυλενίου διπλού -U- Φ35. Οι γεωθερμικές αντλίες ενώνονται στον κοινό συλλέκτη με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται όλες οι γεωτρήσεις για κάθε αντλία χωριστά αλλά και για ταυτόχρονη

χρήση. Το σύστημα ηλιακής υποβοήθησης θέρμανσης αποτελείται από -5- ηλιακούς συλλέκτες συνολικής επιλεκτικής επιφάνειας $12,6 \text{ m}^2$. Για την παραγωγή ζεστών νερών χρήσης & για την χρήση των σωμάτων χαμηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιήθηκε δοχείο συνδυαστικής αποθήκευσης 1.000 λίτρων. (Μαρούδης, 2014)



Εικόνα 7.7 Τρισδιάστατη απεικόνιση μηχανοστασίου. (Μαρούδης, 2014)

7.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΜΕ ΕΝΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Για το έργο θα κατασκευαστεί κλειστό κατακόρυφο σύστημα ΓΑΘ με 4 γεωεναλλάκτες μέσα στους οποίους θα περνάει καθαρό νερό. Το σύστημα θα τροφοδοτεί την οικία και μέσω ενδοδαπέδιου συστήματος θα καλύπτονται οι κλιματιστικές ανάγκες. Τα θερμικά φορτία που υποθέτουμε ότι θα χρειαστούν για την κάλυψη των αναγκών είναι: 18.5KW θερμικό και 15KW ψυκτικό και επιμερίζουμε το έτος σε δύο περιόδους: Την χειμερινή και την θερινή περίοδο αντίστοιχα. (Θωμόπουλος, 2014)

Χειμερινή Περίοδος με ΓΑΘ:

Ανάγκες για θέρμανση:KW	Ώρες λειτουργίας:h	Θερμικό Φορτίο/ημέρα:KWh	COP	Κατανάλωση/ημέρα: KWhel
18.5	8	148	5.3	27.9

Πίνακας 7.1 Κατανάλωση γεωθερμίας για θέρμανση

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ	Ημέρες	KWh/ημέρα	KWh/4μηνo	€/KWhel	Συνολικό κόστος
Κόστος για Θέρμανση-ΔΕΗ/4μηνo	120	27.9	3348	0.15	502.2€
Κόστος για					

ZNX- ΔΕΗ/4μηνο	120	4	480	0.15	72€
ΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ					574.2€

Πίνακας 7.2 Κόστος λειτουργίας ΓΑΘ για θέρμανση

Θερινή Περίοδος με ΓΑΘ:

Ανάγκες για ψύξη:KW	Ώρες λειτουργίας:h	Ψυκτικό Φορτίο/ημέρα:KWh	COP	Κατανάλωση/ημέρα: KWhel
15	8	120	3.9	30.7

Πίνακας 7.3 Κατανάλωση γεωθερμίας στην ψύξη

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ	Ημέρες	KWh/ημέρα	KWh/4μηνο	€/KWhel	Συνολικό κόστος
Κόστος για Ψύξη- ΔΕΗ/4μηνο	120	30.7	3684	0.15	552.6€
Κόστος για ZNX- ΔΕΗ/4μηνο	120	4	480	0.15	72€
ΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ					624.6€

Πίνακας 7.4 Κόστος λειτουργίας ΓΑΘ για ψύξη

Χειμερινή Περίοδος με λέβητα πετρελαίου:

	KW/ημέρα	KW/4μηνο	η λέβητα	KW/4μηνο πετρελαίου	Kg πετρελαίου	Lt πετρελαίου	KWh/€	Κόστος
Κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση	148	17760	0.9	19536	1776	1.2	-	2.877€
Κόστος για ZNX- ΔΕΗ/4μηνο	4	480					0.15	72€
ΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ								2.949€

Πίνακας 7.5 Κατανάλωση πετρελαίου και ρεύματος για θέρμανση

Θερινή Περίοδος με split unit:

	KWhel/ημέρα	KWhel/4μηνo	EER	KW/4μηνo split	KWh/€	Κόστος
Κατανάλωση split για ψύξη	120	14.400	2.7	5.333	-	799€
Κόστος για ZNΧ- ΔΕΗ/4μηνo	4	480			0.15	72€
ΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ						871€

Πίνακας 7.6 Κατανάλωση split unit και ρεύματος για ψύξη και ZNX

Από τους παραπάνω πίνακες συμπαίρνουμε ότι το η εξοικονόμηση ενέργεια με τη χρήση του εν λόγω γεωθερμικού συστήματος ανέρχεται στις 17841kWh/έτος ή αλλιώς σε αξία 2.676,15€

Το κόστος της εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος ήταν:

- 1) 4 κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες θερμότητας σε βάθος 100m με κόστος 15.500€/τμχ.
- 2) ΓΑΘ ιταλικού οίκου: 7.500€
- 3) Κυκλοφορητής και σωληνώσεις: 1.000€
- 4) Λοιπές οικοδομικές και άλλες δαπάνες: 1.000€
- 5) Μελέτη εγκατάστασης και εργασίες υδραυλικού: 3.000€

Συνολικό κόστος έργου: 28.000€, συνεπώς η απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης που κάναμε θα πραγματοποιηθεί σε περίπου 10 χρόνια. (Θωμόπουλος, 2014)

8. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Στην εργασία επιχειρείται η εφαρμογή της Περιβαλλοντικής Αξιολόγησής του Κύκλου Ζωής ενός συστήματος κανονικής ενθαλπίας το οποίο είναι εγκατεστημένο σε μία μονοκατοικία 200m² στην Αθήνα και φιλοξενεί 5 άτομα με χρήση του συστήματος Sima Pro 8.1. Η αντλία θερμότητας που χρησιμοποιείται είναι μια γεωθερμική αντλία θερμότητας 8KW, η οποία είναι κατασκευασμένη στη Σουηδία και πιο συγκεκριμένα στον Markaryd. Το συνολικό της βάρος είναι 165kg. Το γεωθερμικό σύστημα είναι κατακόρυφο κλειστού τύπου, δύο γεωτρήσεων με τέσσερα φρεάτια. Το σύστημα καλύπτει τις ανάγκες θέρμανσης κατά την περίοδο του χειμώνα αλλά και ψύξης κατά την θερινή περίοδο. Έχει επιλεγεί με κριτήριο την σημαντική εξοικονόμηση πόρων που συμβάλλουν στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά και στην εξοικονόμηση χρημάτων που δαπανά η οικογένεια για να καλύψει τις κλιματιστικές της ανάγκες.

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι μια κλασσική αντλία θερμότητας , η οποία αντί να χρησιμοποιεί τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος για να αποβάλλει ή να αντλήσει θερμότητα, χρησιμοποιεί τη θερμότητα των υπογείων λιμνών και της θάλασσας καθώς και την σχετικά σταθερή θερμοκρασία του εδάφους μέχρι κάποιο βάθος. Επειδή η λειτουργία της βασίζεται σε μια σταθερή θερμοκρασιακή πηγή έχει τον καλύτερο βαθμό απόδοσης όλο το χρόνο.



Εικόνα 8.1 Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας

8.1 ΣΚΟΠΟΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της μελέτης LCA στην παρούσα εργασία είναι να υπολογιστούν οι σχετικές συνεισφορές των διαδικασιών που συντελέστηκαν ώστε να γίνει η εγκατάσταση ενός συστήματος πολύ χαμηλής ενθαλπίας, στις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Πιο συγκεκριμένα αναλύθηκαν το στάδιο εκσκαφής και τοποθέτησης του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη καθώς και το στάδιο κατασκευής (μόνο τα υλικά που την απαρτίζουν) και μεταφοράς της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Πηγές των δεδομένων για τα υλικά που

απαρτίζεται η γεωθερμική αντλία προέρχονται από τον επίσημο εισαγωγέα στην Ελλάδα, ενώ για τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εγκατάσταση του γεωεναλλάκτη προέρχονται από την τεχνική εταιρεία που έχει την επίβλεψη του έργου.

Οι κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα εξεταστούν είναι οι κάτωθι:

8.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Για λειτουργική μονάδα καθορίζεται ένα κατακόρυφο σύστημα γεωεναλλάκτη κλειστού βρόχου με χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας 165kg.

8.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Τα όρια του συστήματος όσον αφορά στη γεωγραφία αποτελεί η ευρύτερη περιοχή των Αθηνών και τα όρια που αφορούν τη κατασκευή του συστήματος έως την αποσυναρμολόγηση και απόθεση αυτού ως εξής: Ως χρόνος ζωής του γεωεναλλάκτη τα 80 χρόνια και ως χρόνος ζωής της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας τα 4 X 20 χρόνια.

8.5 ΑΠΟΓΡΑΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για τον γεωεναλλάκτη:

Πραγματοποιούμε δύο γεωτρήσεις με τέσσερα φρέατια των 100m το καθένα. Συνεπώς, 2 γεωτρήσεις X 4 φρέατια X 100m=800m. Άρα συνολικά χρειαζόμαστε 800m σωλήνα PE 3408. Τα φρέατια έχουν διάμετρο 0,1524m, συνεπώς το εμβαδόν διατομής είναι: $3,14 \times 0,1524^2 / 4 = 0,0182\text{m}^2$. Ο συνολικός όγκος του κάθε φρεατίου, επομένως και ο όγκος του υλικού της εκσκαφής είναι $0,0182 \text{ m}^2 \times 100\text{m} = 1,82 \text{ m}^3$. Έχει επιλεγεί πλαστική σωλήνα PE με Φ32 με πάχος 0,0029m και πυκνότητα 950kg/m^3 με εμβαδό διατομής: $3,14 \times 0,032^2 / 4 = 0,0008\text{m}^2$. Ο όγκος που καλύπτουν οι σωληνώσεις: $0,0008 \times 100\text{m} = 0,08\text{m}^3$. Επομένως το συνολικό βάρος των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη είναι: $0,032\text{m} \times 0,0029\text{m} \times 950\text{kg/m}^3 \times 800\text{m} = 70,5\text{kg}$. Ο όγκος του μπετονίτη που χρησιμοποιήθηκε για να πληρώσει τα κενά των σωληνώσεων στα φρέατια είναι $1,82 - 0,08 = 1,74\text{m}^3$ και με πυκνότητα 1.050kg/m^3 . Επομένως, η συνολική μάζα

του μπετονίτη είναι $1,74 \times 1.050 = 1.827\text{kg}$. Το κύκλωμα της γεώτρησης περιλαμβάνει 30% γλυκόλη-70% νερό, ενώ το κύκλωμα του ψυκτικού κύκλου περιλαμβάνει 2,3kg ψυκτικό μέσο R407c.

Για την γεωθερμική αντλία (NIBE G1145-8KW):

Το συγκεκριμένο μηχάνημα αποτελείται από επιμέρους υλικά που το απαρτίζουν και αποτυπώνονται στον παρακάτω πίνακα. Το σύνολο των μηχανικών και κατασκευαστικών τμημάτων, παράγονται και συναρμολογούνται στο ίδιο το εργοστάσιο.

Ποσότητα	Υλικό	Τμήματα της αντλίας
70kg	Χαλυβδέασμα (steel)	Καλύμματα, Κέλυφος, Βάση συμπίεστή, Σκελετός
25kg	Χυτοσίδηρος (cast iron)	Συμπίεστής, Κυκλοφορητής
40kg	Ανοξείδωτο ατσάλι (st. steel)	Μέρη συμπίεστή, μέρη κυκλοφορητή, Εναλλάκτες σωλήνωσης
15kg	Χαλκός (Cu)	Τυλίγματα κινητήρων, Καλώδια, Σωληνώσεις
10kg	Συνθετικά υλικά (PVC)	Μονώσεις, Ηχομονωτικά υλικά, Πλαστικά καλύμματα
5kg	Λοιπά μέρη (pr. Board)	Ηλεκτρονικά μέρη, Ελαστομερή

Πίνακας 8.1 Υλικά και ποσότητες αυτών, που απαρτίζουν την αντλία.

Για την μεταφορά της γεωθερμικής αντλίας:

Το εργοστάσιο παραγωγής της αντλίας εδράζεται στο Markaryd της Σουηδίας. Η συνολική απόσταση από το εργοστάσιο παραγωγής μέχρι τον τόπο εγκατάστασης είναι: 2.944,10km.

Η μεταφορά του μηχανήματος ξεκινά οδικώς από το Mararyd με πρώτο προορισμό το λιμάνι του Gedser της Δανίας διανύοντας μια απόσταση της τάξεως των 321km. Στη συνέχεια, μεταφέρεται από το λιμάνι του Gedser στο λιμάνι του Rockstock της Γερμανίας, με bulk carrier διανύοντας απόσταση 52,1km. Από το Rockstock-port μεταφέρεται οδικώς στην Αθήνα διανύοντας ακόμη 2.571km.

Η γεωθερμική αντλία έχει συνολικό βάρος 165kg. Το συνολικό μεταφορικό έργο υπολογίζεται σε τονοχιλιόμετρα, δηλαδή το συνολικό βάρος επί της συνολικής απόστασης μεταφοράς. Στο συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε $0,165\text{tn} \times 2.892\text{Km} = 477,18\text{tkm}$ για την μεταφορά μέσω οδικής σύνδεσης και $0,165\text{tn} \times 52,1\text{km} = 8,60\text{tkm}$ για την μεταφορά με πλοίο.

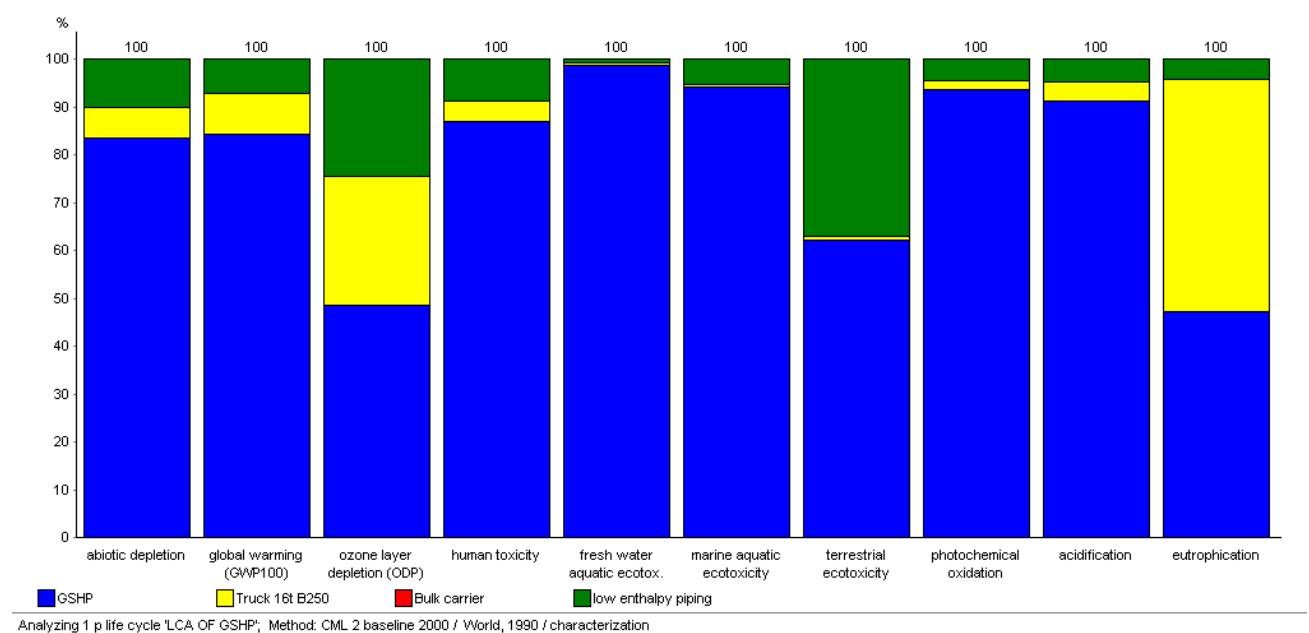
8.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων στη παρούσα εργασία είναι η CML2 Baseline2000. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των επιπτώσεων, ενώ για την κανονικοποίηση αποτελεσμάτων έγινε χρήση παγκόσμιων δεδομένων για το 1990 (World 1990). Η μέθοδος CML2 Baseline2000 αποτελεί αναβάθμιση της CML 1992 και αναπτύχθηκε στο Κέντρο Περιβαλλοντικής Επιστήμης του Παν/μίου του Leiden που έχει την έδρα του στην Ολλανδία. Η κατηγορίες των επιπτώσεων που εξετάζονται είναι οι εξής:

- Εξάντληση των αβιοτικών πόρων (abiotic depletion), δηλαδή στην εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, μετάλλων και ορυκτών.
- Παγκόσμια υπερθέρμανση (Global warming), όπου σχετίζονται οι επιπτώσεις που αφορούν στην κλιματική αλλαγή λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη
- Εξάντληση στοιβάδας του ατμοσφαιρικού όζοντος (Ozone layer depletion), αναφέρεται στις επιπτώσεις που επιφέρουν στην ανθρώπινη υγεία και την πανίδα οι αυξημένες ακτινοβολίες UV-B που καταφθάνουν στην επιφάνεια του εδάφους λόγω της λέπτυνσης του στρώματος του όζοντος.
- Τοξικολογικές επιπτώσεις στο υδάτινο οικοσύστημα (fresh water aquatic ecotoxicity)
- Οικοτοξικότητα στο θαλάσσιο περιβάλλον (Marine aquatic ecotoxicity)
- Τοξικολογικές επιπτώσεις στο χερσαίο οικοσύστημα (Terrestrial ecotoxicity)
- Φωτοχημική οξείδωση (Photochemical oxidation)
- Οξίνιση (Acidification), όπου σχετίζονται οι επιπτώσεις που επιφέρει η όξυνση των εδαφών.

- Ευτροφισμός (Eutrophication), όπου αναφέρεται στις επιπτώσεις που σχετίζονται με τις υψηλές ποσότητες φωσφόρου και αζώτου τόσο στο νερό όσο και στο έδαφος.
- Τοξικολογικές επιπτώσεις στον άνθρωπο (Human toxicity)

Χαρακτηρισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του εξεταζόμενου κύκλου ζωής



Διάγραμμα 8.1 Απεικόνιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής του συστήματος.

Κατηγορίες επιπτώσεων	Μονάδα Μέτρησης	Σύνολο	Γεωθερμική Αντλία	Μεταφορά Οδικώς	Μεταφορά με Πλοίο	Γεωεναλλάκτης
Abiotic depletion	kg Sb eq	42,7	35,6	2,8	0,00152	4,27
Global warming (GWP100)	kg CO2 eq	5350	4510	449	0,258	391
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,00141	0,000687	0,000379	x	0,000348
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1930	1680	86,4	0,000553	168

Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	1950	1920	6,71	x	17,8
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2670000	2510000	18900	x	139000
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	15,7	9,75	0,107	x	5,81
Photochemical oxidation	kg C2H2	5,13	4,8	0,102	0,000288	0,228
Acidification	kg SO2 eq	117	107	4,7	0,00692	5,5
Eutrophication	kg PO4--- eq	2,1	0,99	1,02	0,00000056	0,087

Πίνακας 8.2 Αποτελέσματα όλων των κατηγοριών των επιπτώσεων του κύκλου ζωής του γεωθερμικού συστήματος.

Κατηγορίες επιπτώσεων	Σύνολο %	Γεωθερμική Αντλία	Μεταφορά Οδικώς	Μεταφορά με Πλοίο	Γεωεναλλάκτης
abiotic depletion	100	83,4	6,56	0,00356	10
global warming (GWP100)	100	84,3	8,4	0,00482	7,3
ozone layer depletion (ODP)	100	48,5	26,8	x	24,6
human toxicity	100	86,9	4,47	0,0000286	8,68
fresh water aquatic ecotox.	100	98,7	0,345	x	0,916
marine aquatic ecotoxicity	100	94,1	0,71	x	5,21
terrestrial ecotoxicity	100	62,2	0,681	x	37,1
photochemical oxidation	100	93,5	2	0,00562	4,45
acidification	100	91,3	4,02	0,00592	4,71
eutrophication	100	47,2	48,7	0,0000267	4,14

Πίνακας 8.3 Αποτελέσματα όλων των κατηγοριών των επιπτώσεων του κύκλου ζωής του γεωθερμικού συστήματος.

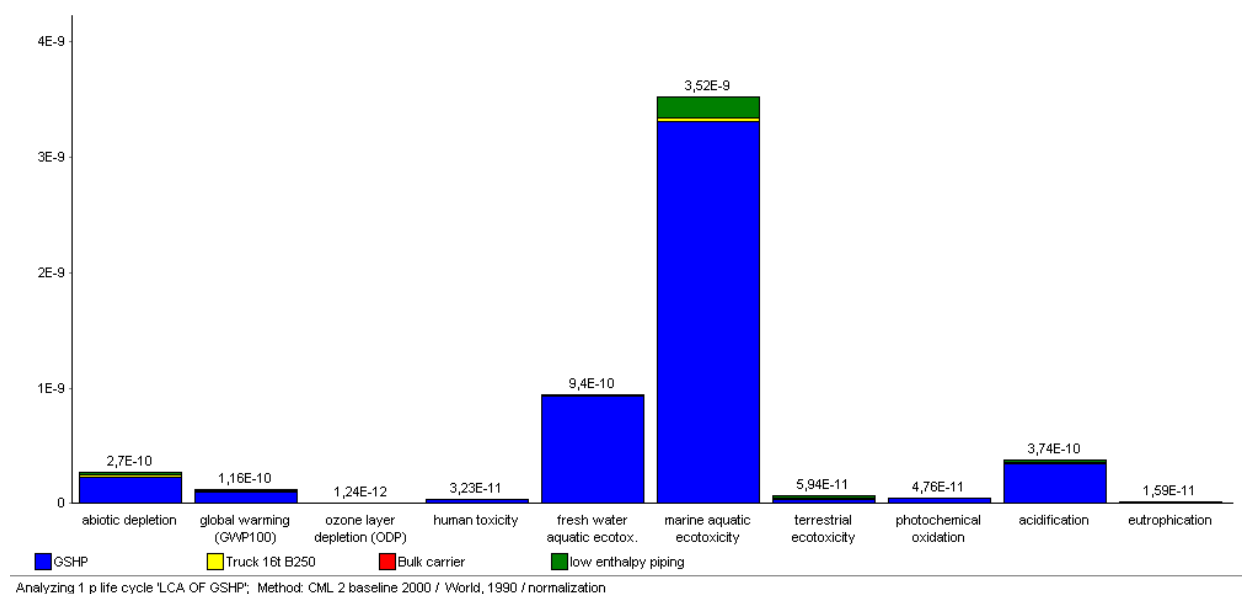
Βάσει του πίνακα 8.3 και του διαγράμματος 8.1 διαφαίνεται ξεκάθαρα ότι και στις 10 κατηγορίες επιπτώσεων η σχετική συνεισφορά του κύκλου ζωής της γεωθερμικής αντλίας κυριαρχεί ξεκάθαρα. Είναι προφανές ότι οι πρώτες ύλες, από τις οποίες αποτελείται είναι υπεύθυνες για την εμφάνιση των μεγαλύτερων ποσοστών σε όλες τις κατηγορίες συγκριτικά με τις διαδικασίες της μεταφοράς και του γεωεναλλάκτη. Συντρυπτική είναι η συμμετοχή της στη κατηγορία των τοξικολογικών επιπτώσεων στο υδάτινο οικοσύστημα αλλά και στην οικοτοξικότητα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η διαδικασία της μεταφοράς με πλοίο αντιθέτως βρίσκεται είναι σχεδόν ανύπαρκτη σε όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων.

Αναλυτικότερα, εξετάζοντας την κάθε κατηγορία ξεχωριστά διακρίνουμε τα παρακάτω:

- Για την κατηγορία της εξάντλησης των αβιοτικών πόρων, την μεγαλύτερη σχετική συνεισφορά παρουσιάζει η ΓΑΘ με ποσοστό 83,4% και την ακολουθούν ο γεωεναλλάκτης με 10% και η μεταφορά οδικώς με ποσοστό 6,56% .
- Την ίδια εικόνα βλέπουμε να επαναλαμβάνεται και στην κατηγορία της υπερθέρμανσης του πλανήτη όπου η ΓΑΘ κυριαρχεί με ποσοστό 84,3%, αμέσως μετά η μεταφορά οδικώς με ποσοστό 8,4% και τέλος ο γεωεναλλάκτης με μικρή διαφορά στο 7,3%
- Στην κατηγορία της εξασθένησης της στοιβάδας του όζοντος τα ποσοστά παρατηρούμε ότι διαφοροποιούνται αρκετά σε σχέση με τις παραπάνω κατηγορίες αφού η συμμετοχή των υλικών της ΓΑΘ πέφτουν στο 48,5%, με το υπόλοιπο περίπου ποσοστό να το μοιράζονται σχεδόν εξίσου ο γεωεναλλάκτης με 24,6% και η μεταφορά οδικώς με 26,8%.
- Για την τοξικότητα στον άνθρωπο η ΓΑΘ είναι υπεύθυνη με ποσοστό 86,9% ακολουθούμενη από το χαμηλό ποσοστό 8,68% του γεωεναλλάκτη και της μεταφοράς μέσω χέρσου με 4,47%.
- Στις επόμενες δύο κατηγορίες που αφορούν στις τοξικολογικές επιπτώσεις στο υδάτινο οικοσύστημα και στην οικοτοξικότητα στο θαλάσσιο περιβάλλον, η συνεισφορά των υλικών που απαρτίζουν την ΓΑΘ αγγίζουν τα 98,7% και 94,1% αντίστοιχα.
- Όπως ήταν αναμενόμενο στην εδαφική οικοτοξικότητα το ποσοστό της ΓΑΘ διαμορφώνεται στο 62,2% ενώ εκείνο του γεωεναλλάκτη αυξάνεται κατά πολύ και αγγίζει το 37,1%.
- Στις δύο μετέπειτα κατηγορίες ξανά η συνεισφορά της αντλίας ξεχωρίζει με ποσοστά άνω το 90% , με τους δύο άλλους βασικούς παράγοντες να κυμαίνονται χαμηλά στο 2% και στο 4%.
- Η τελευταία κατηγορία επίπτωσης που είναι ο ευτροφισμός, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφού ο παράγοντας ΓΑΘ και η χερσαία μεταφορά βρίσκονται πολύ κοντά σε ποσοστά, με 47,2% και 48,7% αντίστοιχα. Είναι και η μόνη κατηγορία στην οποία δεν κυριαρχεί η ΓΑΘ και κάποιος άλλος παράγοντας καταλαμβάνει την πρώτη θέση.

Κανονικοποίηση

Στο στάδιο της κανονικοποίησης γίνεται συσχέτισμός των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από τον χαρακτηρισμό με το συνολικό μέγεθος κάθε κατηγορίας επιπτώσεων.



Διάγραμμα 8.2 Απεικόνιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του γεωθερμικού συστήματος-κανονικοποίηση.

Βάσει του παραπάνω του διαγράμματος της κανονικοποίησης, συμπεραίνουμε ότι η κατηγορία επιπτώσεων με το υψηλότερο μέγεθος είναι η οικοτοξικότητα στο θαλάσσιο περιβάλλον για του οποίο υπεύθυνη κατά κύριο ρόλο είναι η ΓΑΘ με ποσοστό 94,1% και αμέσως μετά τοποθετείται το ποσοστό του γεωεναλλάκτη με 5,71%. Ακολουθώς εμφανίζονται οι επιπτώσεις στο υδάτινο οικοσύστημα όπου και εδώ η ΓΑΘ μονοπωλεί σχεδόν με ποσοστό 98,7%.

Με τα ίδια μεγέθη σχεδόν, ακολουθούν η οξίνιση και η εξάντληση των αβιοτικών πόρων όπου και εδώ τα υλικά που συνθέτουν την ΓΑΘ επιδρούν με μεγάλα ποσοστά 91,3% και 83,4% αντίστοιχα.

Οι υπόλοιπες κατηγορίες, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης , διαφαίνονται να κυμαίνονται σε εξαιρετικά χαμηλά μεγέθη, ακόμα και μηδενικά.

Συμπεράσματα μελέτης επιπτώσεων του υπό εξέταση γεωθερμικού συστήματος

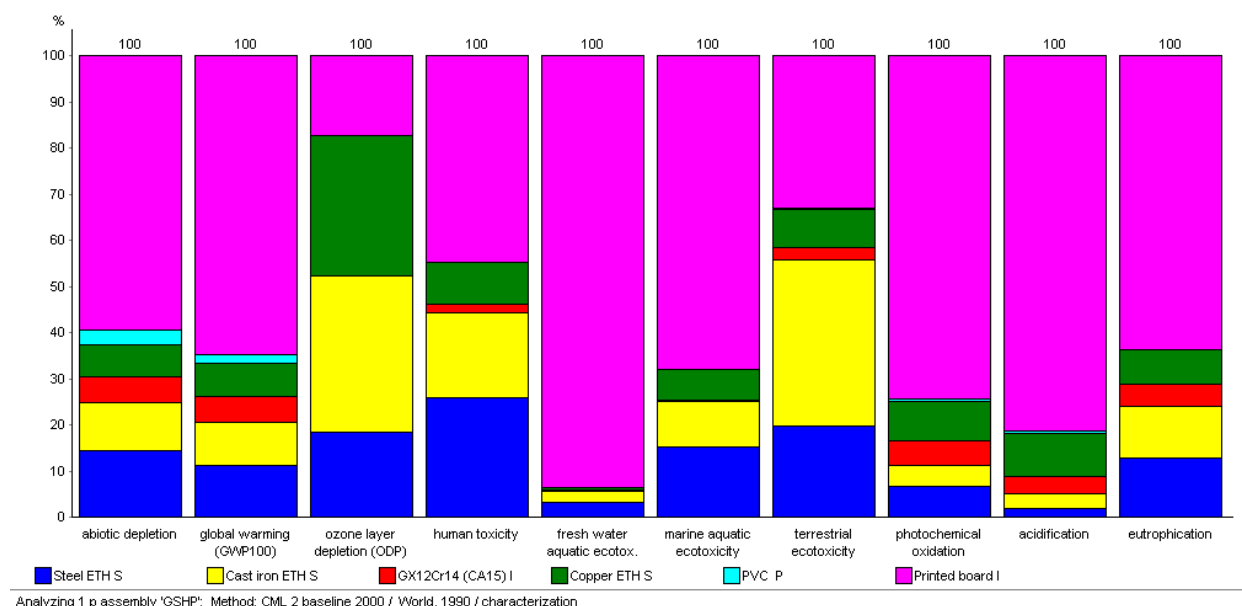
Με μία πρώτη ανάγνωση αντιλαμβάνεται ο καθένας ότι τα υλικά που συνθέτουν την γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι υπεύθυνα για την εμφάνιση των τόσο μεγάλων ποσοστών που εμφανίζονται σε όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων. Για αυτό το λόγο θα εξετάσουμε και τα επιμέρους τμήματα της γεωθερμικής αντλίας πάντα με την ίδια μέθοδο αξιολόγησης των επιπτώσεων (CML 2 BASELINE 2000), ώστε να καταλήξουμε ποιο από τα υλικά που συμμετέχουν έχουν και τη μεγαλύτερη σχετική συνεισφορά στη διαμόρφωση αυτών των ποσοστών στις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Τα μέρη που εξετάζονται έχουν προαναφερθεί και παρακάτω είναι ο πίνακας που απεικονίζει τα ακριβή στοιχεία που εισήχθησαν στο Sima Pro:

Υλικά	Ποσότητα	Μονάδα μέτρησης
Steel ETH S	70	kg
Cast iron ETH S	25	kg
GX12Cr14 (CA15) I	40	kg
Copper ETH S	15	kg
PVC P	10	kg
Printed board I	5	kg

Πίνακας 8.4 Υλικά όπως αυτά εισήχθησαν στο πρόγραμμα.

Χαρακτηρισμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της αντλίας



Διάγραμμα 8.3 Απεικόνιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υλικών που συνθέτουν την ΓΑΘ.

Κατηγορίες Επιπτώσεων	Μονάδες	Σύνολο	Steel ETH S	Cast iron ETH S	GX12Cr14 (CA15) I	Copper ETH S	PVC P	Printed board I
abiotic depletion	kg Sb eq	8,91	1,28	0,94	0,488	0,617	0,294	5,29
global warming	kg CO2 eq	1130	126	106	62,2	82,1	19,4	731
ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	0,000172	0,0000318	0,000058	0,000000157	0,0000521	x	0,0000296
human toxicity	kg 1,4-DB eq	419	109	76,8	8,38	38	0,0697	187
fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	480	15,9	11,5	0,166	2,95	0,00796	450
marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	627000	94500	62400	1750	42600	13,1	426000
terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2,44	0,482	0,876	0,0682	0,202	0,00147	0,809
photochemical oxidation	kg C2H2	1,2	0,0791	0,0539	0,0641	0,103	0,00697	0,893
acidification	kg SO2 eq	26,6	0,5	0,865	0,957	2,52	0,156	21,6
eutrophication	kg PO4---eq	0,248	0,0317	0,0274	0,0125	0,018	0,000242	0,158

Πίνακας 8.5 Αποτελέσματα όλων των κατηγοριών των επιπτώσεων των υλικών της ΓΑΘ.

Κατηγορίες Επιπτώσεων	Σύνολο %	Steel ETH S	Cast iron ETH S	GX12Cr14 (CA15) I	Copper ETH S	PVC P	Printed board I
abiotic depletion	100	14,3	10,6	5,48	6,93	3,3	59,4
global warming	100	11,2	9,43	5,52	7,28	1,72	64,9
ozone layer depletion	100	18,5	33,8	0,0915	30,4	x	17,2
human toxicity	100	25,9	18,3	2	9,07	0,0166	44,7
fresh water aquatic ecotox.	100	3,32	2,39	0,0346	0,615	0,00166	93,6
marine aquatic ecotoxicity	100	15,1	9,95	0,28	6,79	0,00208	67,9
terrestrial ecotoxicity	100	19,8	35,9	2,8	8,29	0,0602	33,2
photochemical oxidation	100	6,59	4,49	5,34	8,59	0,581	74,4
acidification	100	1,88	3,25	3,59	9,45	0,586	81,2
eutrophication	100	12,8	11,1	5,03	7,29	0,0978	63,7

Πίνακας 8.6 Αποτελέσματα όλων των κατηγοριών των επιπτώσεων των υλικών της ΓΑΘ σε ποσοστά %

Από το διάγραμμα 8.3 είναι εμφανές ότι τα ηλεκτρονικά μέρη της ΓΑΘ είναι εκείνα τα οποία συνεισφέρουν περισσότερο στη δημιουργία των επιπτώσεων από ότι τα υπόλοιπα τμήματα αυτής. Στις κατηγορίες των επιπτώσεων αμέσως μετά ακολουθούν: Το ατσάλι και ο χυτοσίδηρος όπου τα ποσοστά τους είναι αρκετά κοντά, ο χαλκός, το ανοξείδωτο ατσάλι και τέλος με σχεδόν μηδενικές συνεισφορές τα πλαστικά μέρη από PVC.

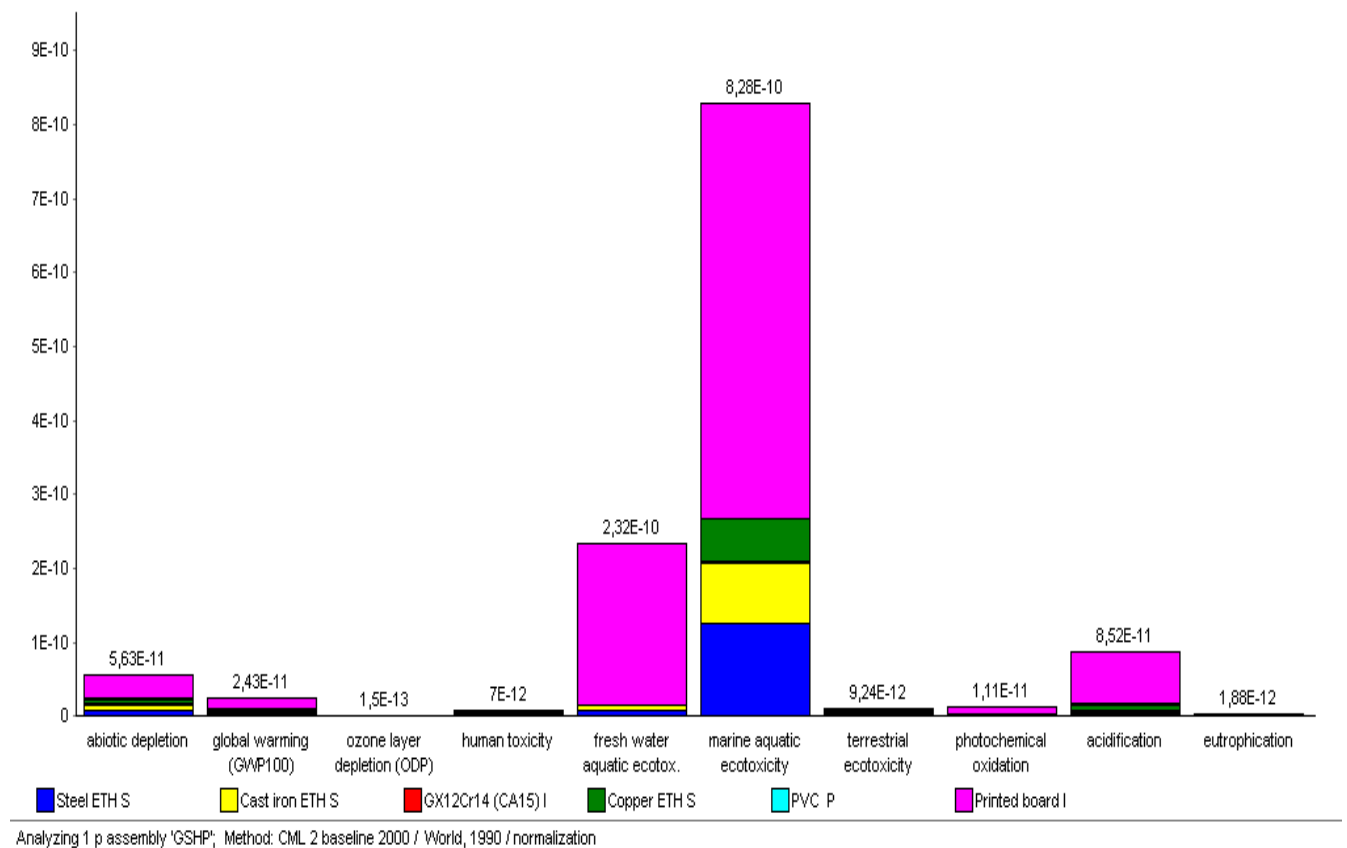
Αναλυτικότερα για όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων:

- Για την εξάντληση των αβιοτικών πόρων τα ηλεκτρονικά μέρη (πλακέτα κ.α.) συμμετέχουν με ποσοστό 59,4% ενώ ακολουθούν το ατσάλι με 14,3%, ο χυτοσίδηρος με 10,6%, το ανοξείδωτο ατ. 5,48%, ο χαλκός με 6,93% και τελευταίο το PVC με ποσοστό συνεισφοράς στο 3,3%
- Παρόμοιο μοτίβο όπου κυριαρχούν τα ηλεκτρονικά μέρη παρατηρούμε στις κατηγορίες της παγκόσμιας υπερθέρμανσης, των τοξικολογικών επιπτώσεων στο υδάτινο οικοσύστημα, στην οικοτοξικότητα στο θαλάσσιο περιβάλλον, στη φωτοχημική οξείδωση, στην οξίνιση και στον ευτροφισμό. Τα ποσοστά που εμφανίζονται είναι σε αντιστοιχία: 64,9%, 93,6%, 67,9%, 74,4%, 81,2%, 63,7%.
- Σε αντίθεση με τα ανωτέρω, έρχονται τα ποσοστά της κατηγορίας της εξασθένισης της στοιβάδας του όζοντος, όπου εδώ παρατηρούμε το cast iron και ο copper να βρίσκονται γύρω στο 30% καταλαμβάνοντας τις πρώτες θέσεις στη συνεισφορά στη

συγκεκριμένη κατηγορία και τα ηλεκτρονικά μέρη να ανέρχονται στο 17,2% πολύ κοντά με το ατσάλι που βρίσκεται στο 18,5%.

- Στην κατηγορία της τοξικότητας στον άνθρωπο και πάλι τα ηλεκτρονικά μέρη συνεισφέρουν σε μεγαλύτερο ποσοστό (44,7%), αλλά και το ατσάλι ακολουθεί με ένα ποσοστό της τάξεως του 25,9%.
- Τέλος, στην οικοτοξικότητα του εδάφους παρατηρούμε και εδώ ο cast iron να συμμετέχει με το μεγαλύτερο ποσοστό, 35,9% και να ακολουθούν τα ηλεκτρονικά μέρη με ένα ποσοστό στο 33,2%, με μικρή διαφορά δηλαδή.

Κανονικοποίηση των επιπτώσεων της γεωθερμικής αντλίας



Διάγραμμα 8.4 Απεικόνιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ΓΑΘ-Κανονικοποίηση.

Στο παραπάνω διάγραμμα, παρατηρούμε ότι η κατηγορία που εμφανίζει τις μεγαλύτερες επιπτώσεις είναι η οικοτοξικότητα στο θαλάσσιο περιβάλλον. Κατηγορία στην οποία συνεισφέρουν κατά 67,9% τα ηλεκτρονικά μέρη, 15,1% το ατσάλι, 9,95% ο cast iron και ο χαλκός με 6,79%.

Η αμέσως επόμενη κατηγορία σε μέγεθος είναι οι επιπτώσεις στο υδάτινο οικοσύστημα όπου εδώ κυριαρχεί η συνεισφορά των ηλεκτρονικών μερών με 93,6%. Πιθανότατα τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή και κατασκευή της πλακέτας να ανήκουν στην κατηγορία των σπάνιων γαιών και έτσι αυξάνονται κατά πολύ τα ποσοστά καθώς και ότι λόγω της προηγμένης τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη αντλία τα ηλεκτρονικά μέρη σε σύγκριση με άλλες παλαιότερης τεχνολογίας είναι πολύ περισσότερα.

Ομοίως στο ίδιο μοτίβο και με μόνη αλλαγή στα μεγέθη τους (πολύ μικρότερα σε σχέση με τα προηγούμενα) είναι η εξάντληση των αβιοτικών πόρων και η οξίνιση. Όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες δε κρίνονται σκόπιμο να αναφερθούν λόγω του ότι τα μεγέθη τους είναι πολύ χαμηλά.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα μελέτη είχε σκοπό τη διερεύνηση των γεωθερμικών συστημάτων χαμηλής και πολύ χαμηλής ενθαλπίας με απώτερο σκοπό τη μελέτη τους από τη σκοπιά της Αξιολόγησης του Κύκλου Ζωής.

Όπως προέκυψε και από τη βιβλιογραφική έρευνα αλλά και από τη μελέτη περίπτωσης όπου μελετήσαμε ένα γεωθερμικό σύστημα πολύ χαμηλής ενθαλπίας με γεωεναλλάκτη κατακόρυφο και κλειστού τύπου μπορούμε να καταλήξουμε στα ακόλουθα:

Στην περίπτωση της βιβλιογραφικής έρευνας και ειδικότερα στις περιπτώσεις ενός συστήματος γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας χωρίς τη χρήση αντλίας θερμότητας και μόνο για θέρμανσή, παρατηρήσαμε ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά σε όλες τις κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τις είχαν οι γεωτρήσεις και εκσκαφές που γινόντουσαν για να εντοπιστεί το κοίτασμα και να γίνουν οι απαραίτητες εγκαταστάσεις των σωληνώσεων. Σίγουρα, αυτό που ονομάζουμε drilling στην διεθνή βιβλιογραφία απαιτεί πολύ ενέργεια και μεγάλη εισροή νερού για να μπορέσουμε να φτάσουμε σε αρκετά μεγάλα βάθη και να εκμεταλλευτούμε για direct heating την θερμότητα που μας χαρίζει η φύση στα έγκατα της.

Στην περίπτωση της μελέτης όπου μιλάμε για ένα σύστημα πολύ χαμηλής ενθαλπίας όπου γίνεται χρήση μιας γεωθερμική αντλίας θερμότητας για να καλυφθούν οι κλιματιστικές ανάγκες μιας οικογένειας παρατηρήσαμε ότι στην AKZ όλου του συστήματος η ΓΑΘ μονοπωλούσε σχεδόν με τη συνεισφορά της σε όλες τις κατηγορίες των επιπτώσεων και μάλιστα με ποσοστά άνω του 80%. Έτσι προχωρήσαμε και στην ανάλυση των επιμέρους υλικών της αντλίας και διαπιστώσαμε ότι σε όλες σχεδόν τις κατηγορίες τα ηλεκτρονικά μέρη συμμετέχουν με ένα αρκετά σημαντικό ποσοστό και τα υπόλοιπα υλικά ακολουθούν με σαφώς μικρότερα ποσοστά, εκτός από τις κατηγορίες εκείνες της εξασθένισης της στοιβάδας του όζοντος και της οικοτοξικότητας του εδάφους όπου εδώ την πρώτη θέση καταλαμβάνει ο χυτοσίδηρος (cast iron).

Βάσει των ανωτέρω αποτελεσμάτων, θα πρέπει για το μεν σύστημα χαμηλής ενθαλπίας να βρεθεί μια φιλικότερη λύση για το περιβάλλον με χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας όσον αφορά στην χρήση των γεωτρήσεων και για το δε σύστημα που μελετήσαμε με τη χρήση της ΓΑΘ είτε να μειωθούν οι ποσότητες των ηλεκτρονικών μερών απλοποιώντας τις διαδικασίες

είτε να βρεθούν άλλα υλικά τα οποία θα μπορέσουν να αντικαταστήσουν τα ήδη υπάρχοντα ώστε να μειωθεί το βάρος τους. Και προφανώς, δεν επιλέγουμε γεωθερμική αντλίας θερμότητας που κατασκευάζεται στη Σουηδία, για να την εγκαταστήσουμε στην Ελλάδα, διότι έτσι συμβάλλουμε στην κατηγορία του ευτροφισμού, βάσει της μελέτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βραχόπουλος Μ., Κούκου Κ. Μ., Καρύτσας Κ., 'Κανονική Γεωθερμία: Αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές'.

Καραευαγγέλου Ε., «Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας, η περίπτωση της αβαθούς γεωθερμίας», Διπλωματική εργασία, Καβάλα 2009.

Μαρούδης Β., «Πρακτικές εφαρμογές σε κτηριακές εγκαταστάσεις την Ελλάδα», Διπλωματική εργασία, Χανιά, Οκτώβριος 2014.

Αποστολίδου Γ., «Συστήματα αξιοποίησης του εδάφους για θέρμανση-ψύξη κτιρίων», Διπλωματική εργασία, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2010.

Μιχελής Ι., «Τεχνο-οικονομική μελέτη και ανάλυση κύκλου ζωής διασυνδεδεμένου οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος», Διπλωματική εργασία, Πειραιάς 2015.

Κανελοπούλου Ε., «Ηπιες μορφές ενέργειας», Αθήνα 2008.

Arvanitis A., «Exploitation of low enthalpy geothermal resources in Greece», CRES Geothermal Workshop, Mati, Attica, 2017.

Κατσιφάρακης Κ., Σημειώσεις για «Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας», Θεσσαλονίκη 2013.

Βρέλλης Γ., Αρβανίτης Α., Μπίκου-Μπακούλα Α., «Γεωθερμικές γεωτρήσεις: Σχεδιασμός, εκτέλεση και αντιμετώπιση προβλημάτων», Διεθνές Forum "Η γεωθερμική ενέργεια στο Προσκήνιο", Θεσσαλονίκη 2009.

Φυτίκας Μ., «Γεωθερμία στην Ελλάδα: Δυναμικό, Εφαρμογές, Προοπτικές», Ελληνική Εταιρεία Περιβάλλοντος και Πολιτισμού, Αθήνα 2014.

Αρβανίτης Α. & Τσεκούρα Αικ. , «Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας για οικιακές εγκαταστάσεις», Περιοδικό «ENERGY point», Τεύχος 5 , Αθήνα Οκτώβριος 2007.

Καρύτσας Κ., Μενδρινός Δ. «Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση», 10ο Εθνικό Συνέδριο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας. Θεσσαλονίκη, 15-17 Απριλίου 2004

Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν. «Γεωθερμία». Εκδόσεις Τζιόλα. Θεσσαλονίκη 2004.

Θωμόπουλος Χ., «Ψύξη -Θέρμανση κατοικίας με χρήση γεωθερμίας», Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2014.

Andritsos N., Dalabakis P., Karydakos G., Kolios N. & Fytikas M. , «Update and Characteristics of Low-Enthalpy Geothermal Applications in Greece», Proceedings of the European Geothermal Congress 2007, Unterhaching Germany (30 May - 1 June 2007), I.G.A.-European Branch Forum, GtV-BV, SVG/SSG

Arvanitis A., Sotiroidis T., Nerantzis E., Fournadzhieva S. & Koultsiakos E., «Mass culture of the microalga Spirulina using geothermal fluids in Greece – Antioxidant activities of Spirulina powder extracts», Proceedings of the International Conference on Geothermal Energy Applications in Agriculture, May 2004, Athens, Greece.

Lund J., Sanner B., Rybach L., Curtis R. & Hellström et al. , «Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps - A world overview», Geo-Heat Center Quarterly Bulletin.

Palsson O., Feracor J., Karlsdottir M., Palsson H., «Geothermal district heating system in Iceland: A life cycle perspective with focus on primary energy efficiency and CO₂ emissions», The 14th Symposium on District Heating and Cooling, September 2014.

Chiavetta C., Tinti F., Bonoli A., «Comperative life cycle assessment of renewable energy systems for heating and cooling», International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities 2011.

Saner D., Juraske R., Kubert M., Blum P., Hellweg S., Bayer P., «Is it only CO₂ that matters? A life cycle perspective on shallow geothermal systems.», Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010): 1798-1813.

Koroneos, Christopher J., Evanthia A. Nanaki., «Environmental impact assessment of a ground source heat pump system in Greece», Geothermics 65 (2017): 1-9.

Camboa-Martin M., Iribarren D., Dufour J., «On the enviromental suitability of high-and low-enthalpy geothermal systems.», Geothermics 53 (2015): 27-39

Hahnlein S., Bayer P., Ferguson G., Blum P., «Sustainability and policy for the thermal use of shallow geothermal energy.», Energy Policy 59 (2013): 914-925