ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ

ΓΟΥΛΕΑΚΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ **ΑΜ:2005030017**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΚΑΛΑΪΤΖΑΚΗΣ Κ. (**Επιβλέπων**)
ΣΤΑΥΡΑΚΑΚΗΣ Γ.
ΤΣΟΥΤΣΟΣ Θ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ 2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 5
1.1.Ήπιες μορφές ενέργειας 6
1.2 Ηλιακή ενέργεια 7
1.3 Αιολική ενέργεια 8
1.4 Γεωθερμική ενέργεια 9
1.5 Βιομάζα 9
1.6 Υδατοπτώσεις 10
1.7 Ενέργεια θαλασσινού νερού 11
1.8 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Α.Π.Ε. 12
2.ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ 14
2.1 Ιστορική αναδρομή γεωθερμικής ενέργειας 15
2.2 Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων 17
2.3 Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων 18
2.4 Τύποι γεωθερμίας 18
2.5 Σύγχρονες γεωθερμικές εφαρμογές 19
2.6 Παραδείγματα εφαρμογών γεωθερμίας 20
2.7 Στάδια γεωθερμικής μελέτης 23
2.8 Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος 23
1. Γεωθερμικό σύστημα κλειστού βρόχου: 24
2.8.1 Εναλλάκτες θερμότητας 26
2.8.2 Γεωθερμική Αντλία θερμότητας 28
2.8.3 Εσωτερικό σύστημα 30
2.9 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα γεωθερμικού συστήματος 32
2.10 Η γεωθερμία ως ανανεώσιμη και αειφόρα πηγή ενέργειας 33
3.ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ 35
3.1 Κόστος κύριας επένδυσης 35
3.2 Εξερεύνηση 35
3.3 Επιβεβαίωση 36
3.4 Έργα ανάπτυξης 37
3.4.1 Κόστος Γεώτρησης 37
3.4.2 Κόστος εκσκαφής 38
3.4.3 Κόστος του γεωεναλλάκτη 38
3.4.4 Κόστος αντλίας θερμότητας 39
3.4.5 Κόστος εσωτερικού συστήματος 39
3.4.6 Λοιπές δαπάνες 39
3.5 Κόστος συντήρησης και λειτουργίας 39
3.7 Μέθοδοι οικονομικής ανάλυσης 40
3.7.1 Ορισμοί οικονομικών παραμέτρων 40
Χρονικός ορίζοντας επένδυσης 40

Παράμετροι εγχώριας οικονομίας 40
Φορολογία της επένδυσης 41
Επιδότηση εγκατάστασης 42
Μέθοδος προσδιορισμού χρόνου απόσβεσης 42
4. ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ 44
4.1 Ιστορική αναδρομή 44
4.2 Ο βασικός γενετικός αλγόριθμος 45
4.3 Αντικειμενική συνάρτηση και συνάρτηση προσαρμογής 46
4.4 Μηχανισμοί επιλογής 47
4.5 Πιθανότητες διασταύρωσης και μετάλλαξης 47
4.6 Χειρισμός περιορισμών 48
5. ΤΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 49
5.1 Περιγραφή αλγορίθμου βέλτιστης διαστασιολόγησης γεωθερμικού συστήματος 50
Συνάρτηση γεώτρησης (COST_GEWTRHSHS) 50
Συνάρτηση γενετικού αλγορίθμου (GA_COST) 54
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ 55
6.1 Case study 1 55
6.2 Case study 2 56
6.3 Case study 3 58
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 60
8. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ 62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ..... **Error! Bookmark not defined.**
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 66

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όσους με βοήθησαν να φέρω εις πέρας την διπλωματική μου εργασία. Πρώτα από όλους τον καθηγητή μου κύριο Καλαϊτζάκη όχι μόνο γιατί υπήρξε πολύτιμος συνεργάτης και καθοδηγητής αλλά και γιατί μου έδειξε εμπιστοσύνη και μου παρείχε ψυχολογική ενίσχυση σε κάθε βήμα της προσπάθειας μου. Τον πολιτικό μηχανικό Ανδρέα Χατζηγιαννακού και την εταιρία Α. Ε Geodrillers LTD της Κύπρου που μου εξασφάλισαν απαραίτητες πληροφορίες και υλικό για την πραγματοποίηση της εργασίας μου. Τέλος την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση στην προσπάθεια για την επίτευξη των στόχων μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η ενασχόληση μου με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες αποτελούν φλέγον ζήτημα της σύγχρονης εποχής. Στην εργασία αυτή γίνεται μια γενική περιγραφή των ΑΠΕ με περισσότερη έμφαση στην γεωθερμία, αναλύονται τα βασικά μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος και πώς αυτό λειτουργεί. Στη συνέχεια γίνεται η οικονομική ανάλυση του γεωθερμικού συστήματος και μέσω της εφαρμογής γενετικών αλγορίθμων στον κώδικα προγραμματισμού επιτυγχάνεται η βέλτιστη διαστασιολόγηση του συστήματος.

Οι ΑΠΕ αποτελούν το μέλλον του ενεργειακού τομέα, καθώς τα αποθέματα των συμβατικών πηγών ενέργειας εξαντλούνται και η τιμή τους διαρκώς αυξάνεται. Ένας ακόμη βασικός λόγος της στροφής στις ΑΠΕ είναι η προστασία του πλανήτη και η βιώσιμη ανάπτυξη.

Η σημασία της ενέργειας στην παγκόσμια οικονομία συνειδητοποιήθηκε μετά την πρώτη ενεργειακή κρίση το 1973. Από τότε η τιμή των συμβατικών καυσίμων συνεχώς αυξάνεται, ενώ παράλληλα συνειδητοποιούνται και οι βλαβερές επιπτώσεις της χρήσης τους στο περιβάλλον. Από τη μία οδεύουμε προς την εξάντληση φυσικών πόρων,που μέχρι τώρα χρησιμοποιούσαμε ως πηγή ενέργειας, και από την άλλη έχουμε να αντιμετωπίσουμε πολύ σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση τους. Πλέον είναι εμφανή τα αποτελέσματα από την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου.

Η λύση του προβλήματος είναι οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Οι επιστήμονες στράφηκαν προς αυτές για να καλύψουν τις όλο και αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες αλλά και να περιορίσουν τις βλαβερές επιπτώσεις που έχουν προκληθεί μέχρι σήμερα. Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή, η βιομάζα και η γεωθερμία αξιοποιούνταν από την αρχαιότητα. Η αιολική ενέργεια μετατρεπόταν σε κινητική για την κίνηση των πλοίων, ενώ η ηλιακή και η βιομάζα (ξύλο) για θέρμανση.

Σήμερα προσπαθούν να δώσουν μια άλλη διάσταση στη χρήση αυτών των μορφών ενέργειας. Σκοπός είναι η μετατροπή τους σε ηλεκτρική ενέργεια. Μέχρι τώρα η χρήση τους ήταν περιορισμένη εξαιτίας της χαμηλής απόδοσής τους και του υψηλού τους κόστους. Η τεχνολογία έχει προοδεύσει και τα συστήματα αυτά λειτουργούν ικανοποιητικά, ενώ η τιμή τους είναι συχνά ανταγωνιστική σε σχέση με τις κλασικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά αν συνυπολογίσουμε τα περιβαλλοντικά οφέλη που έχει ο πλανήτης μας.

Σήμερα, από όλες τις ΑΠΕ η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να συμβάλει περισσότερο και με τον πιο επιτυχή τρόπο στην κατανάλωση και παράλληλα εξοικονόμηση ενέργειας, επειδή παρουσιάζει την υψηλότερη εγκατεστημένη ισχύ καθώς και το σημαντικό πλεονέκτημα ότι είναι διαθέσιμη όλο το 24ωρο (ημέρα και νύχτα), σε όλη τη διάρκεια του χρόνου και επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες, όπως η ηλιακή και η αιολική.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία σύγχρονων αγροτικών εκμεταλλεύσεων αλλά και στην αγροτοβιομηχανία (ξήρανση - αφυδάτωση προϊόντων), στις ιχθυοκαλλιέργειες (αντιπαγετική προστασία), στον αγροτουρισμό, στον ιαματικό τουρισμό, στη θέρμανση χώρων (π.χ. οικιακών χώρων κ.α.), σε βιομηχανικές χρήσεις κ.α.

Πιο συγκεκριμένα, όπως προκύπτει από τα ηφαίστεια, τις θερμές πηγές και από μετρήσεις σε γεωτρήσεις, το εσωτερικό της γης βρίσκεται σε υψηλή θερμοκρασία, η οποία υπερβαίνει τους 5.000 °C στον πυρήνα. Η θερμότητα αυτή που εγκλείεται στο εσωτερικό της γης αποτελεί την γεωθερμική ενέργεια (= εκείνο το τμήμα της γήινης θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο) και είναι τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας για τα ανθρώπινα μέτρα.

1.1.Ήπιες μορφές ενέργειας

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση χώρων (κατοικιών και γραφείων), τα μέσα μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων. Με την πρόοδο της οικονομίας και την άνοδο του βιοτικού επιπέδου, η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται ολοένα. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και ο άνθρακας. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αργά η γρήγορα θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές δημιουργούν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους το γνωστό σε όλους μας φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η γεωθερμική, η ηλιακή, η αιολική ενέργεια, η ενέργεια από την κίνηση του θαλασσινού νερού, οι μικρές υδατοπτώσεις και τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης είναι πηγές ενέργειας που ανήκουν σε μία ομάδα με κοινά χαρακτηριστικά. Αυτή η ομάδα έχει διάφορες ονομασίες, όπως εναλλακτικές (alternative), χαμηλής στάθμης (low) και ήπιες. Αλλά ο καταλληλότερος χαρακτηρισμός είναι ανανεώσιμες (renewable),γιατί στην πραγματικότητα αυτές οι πηγές είναι μηχανισμοί παροχής ενέργειας. Η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ, ενώ υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας(ΑΠΕ) δεν ανακαλύφθηκαν στην εποχή μας. Αντίθετα ήταν οι πρώτες ενεργειακές πηγές που εκμεταλλεύτηκε ο άνθρωπος. Για παράδειγμα η αιολική ενέργεια χρησίμευε για την κίνηση πλοίων και ανεμόμυλων, το νερό για την κίνηση νερόμυλων, ενώ οι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν τη γεωθερμία στα θερμά λουτρά. Στη εποχή μας οι ΑΠΕ χρησιμοποιούνται με νέο, πιο πολύπλοκο και πιο αποδοτικό τρόπο.

Η χρήση τους είναι πάντα ανάλογη με τις ανάγκες και την τεχνολογία της κάθε εποχής. Μετά το 1973 και την πρώτη πετρελαϊκή κρίση το ενδιαφέρον για την εξεύρεση και την εκμετάλλευση των ΑΠΕ αυξήθηκε, ενώ την τελευταία εικοσαετία έχουν παγιωθεί εξαιτίας της συνειδητοποίησης των περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργεί η χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας (πετρέλαιο, λιγνίτης, φυσικό αέριο). Έχει πλέον διαπιστωθεί

ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός παράγοντας για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών.

1.2 Ηλιακή ενέργεια

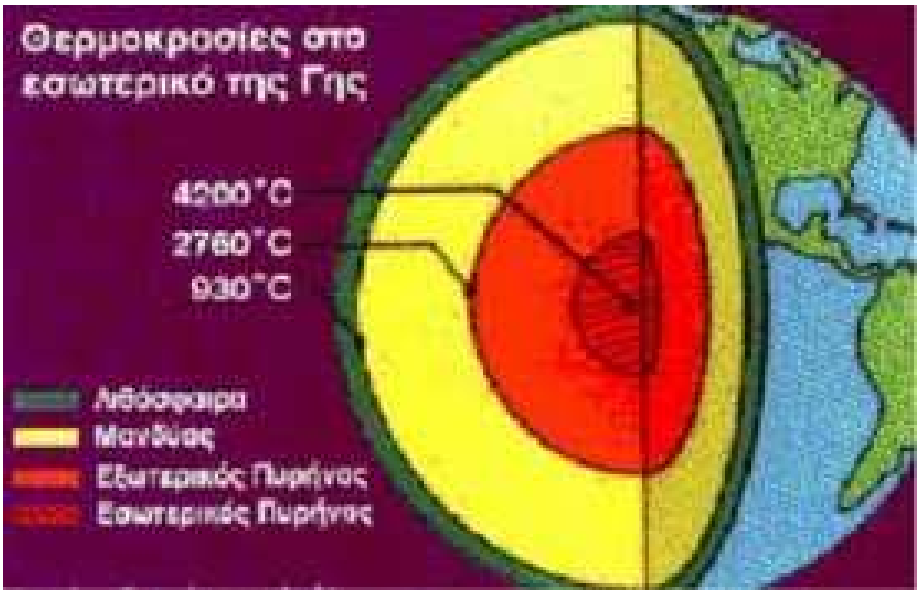
Ο Ήλιος αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για την ύπαρξη κάθε είδους ζωής στον πλανήτη. Σχεδόν κάθε φυσική λειτουργία πάνω στη Γη εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξή του. Η παραγωγή ηλιακής ενέργειας σήμερα είναι 90% φθηνότερη από ό,τι στη δεκαετία του 1970. Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Παρέχει ανεξαρτησία και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Εφαρμογές της ενέργειας αυτής συναντάμε και στα βιοκλιματικά κτήρια.

1.3 Αιολική ενέργεια

Σε αυτή την περίπτωση εκμεταλλευόμαστε την κινητική ενέργεια του ανέμου. Με τη χρήση τουρμπίνων ή ανεμογεννητριών μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Αξίζει να αναφερθεί ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και άμεσα για την κίνηση αντλιών νερού και την πειραματική επαναφορά της ανεμοκίνησης σε πλοία. Η αιολική ενέργεια εξαρτάται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη.

1.4 Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη ενέργεια, υπό μορφή θερμότητας, κάτω από την επιφάνεια της γης. Η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στον πυρήνα (όπου η θερμοκρασία ξεπερνά τους 3000°C) και την επιφάνεια της γης έχει ως αποτέλεσμα την συνεχή ροή θερμότητας. Η μέση τιμή της θερμικής ροής σε όλο τον πλανήτη είναι 60 mW/m^2, δηλαδή η θερμοκρασία αυξάνεται 3°C κάθε 100 m. Σε ορισμένες όμως περιοχές η θερμική ροή είναι πολύ μεγαλύτερη. Δυστυχώς ένα μικρό μέρος μόνο είναι εκμεταλλεύσιμο, γιατί από την φύση της είναι διασκορπισμένη στην επιφάνεια της γης. Φυσικά ευνοημένες είναι οι περιοχές με αυξημένη γεωθερμική ροή και μικρή θερμική αγωγιμότητα, στις οποίες η θερμοκρασία αυξάνεται γρηγορότερα με το βάθος. Οι συνθήκες είναι ακόμα ευκολότερες όταν υπάρχουν υδροθερμικά συστήματα, δηλαδή φυσικά αποθέματα ρευστών, των οποίων η άντληση είναι σχετικά εύκολη. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτής της πηγής ενέργειας είναι το γεγονός ότι είναι ανεξάρτητη από τις καιρικές συνθήκες.



1.5 Βιομάζα

Η βιομάζα περιλαμβάνει τη μάζα φυτικής ή ζωικής προέλευσης και αποδίδει θερμότητα είτε με απευθείας καύση, είτε αφού υποστεί πρώτα χημική ή βιολογική επεξεργασία. Η ξυλεία, η υπολειμματική φυτομάζα όπως άχυρα και ελαιοπυρήνες, αστικά απορρίμματα και ενεργειακά φυτά είναι μόνο μερικά παραδείγματα βιομάζας. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ενεργειακά φυτά δεν είναι τόσο αθώα ως προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Πρέπει να αναλογιστούμε τις επιπτώσεις από τη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

1.6 Υδατοπτώσεις

Το νερό χρησιμοποιείται ως κινητήρια δύναμη εδώ και πολλούς αιώνες. Σήμερα μας ενδιαφέρει κυρίως η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική. Συνήθως αυτό απαιτεί σημαντικές παροχές και διαφορές στάθμης. Η κατασκευή τέτοιων υδροηλεκτρικών σταθμών κρύβει πολλούς κινδύνους για την ισορροπία του φυσικού οικοσυστήματος. Υπάρχει όμως η δυνατότητα εκμετάλλευσης μικρών διαφορών στάθμης, της τάξης των 2- 10 m, καθώς και μικρών παροχών για την παραγωγή μικρών ποσοτήτων ενέργειας, κυρίως για επιτόπια κατανάλωση. Τα έργα αυτά έχουν ασήμαντες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

1.7 Ενέργεια θαλασσινού νερού

Η θάλασσα μπορεί να μας προσφέρει τεράστια ποσά ενέργειας. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για να εκμεταλλευτούμε την ενέργεια της θάλασσας:

α) Ενέργεια από τα κύματα.

Εκμεταλλευόμαστε την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας, ώστε να περιστρέψουμε μια γεννήτρια και να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια Μέχρι σήμερα δεν έχουμε κάποιο αποτελεσματικό μοντέλο αξιοποίησης αυτής της μορφής ενέργειας, γιατί η ενέργεια αυτή είναι διασκορπισμένη, ασυνεχής και μεταβλητή. Επίσης οι μηχανισμοί είναι εκτεθειμένοι στον κίνδυνο καταστροφής από τις θύελλες και αχρήστευσης από την διάβρωση που προκαλεί το θαλασσινό νερό.

β) Παλιρροιακή ενέργεια.

Η παλιρροιακή ενέργεια ονομάζεται και σεληνιακή, γιατί η παλίρροια οφείλεται κυρίως στην έλξη της σελήνης. Εκμετάλλευσή της μπορεί να γίνει σε ακτές όπου τα παλιρροιακά φαινόμενα είναι έντονα. Περιλαμβάνει την κατασκευή φράγματος, με ανοίγματα σε συγκεκριμένες θέσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι ηλεκτρογεννήτριες. Ενέργεια μπορεί να παραχθεί είτε στη φάση ανόδου, είτε στη φάση καθόδου, είτε και στις δύο. Ξεκίνησε από τη Γαλλία και σήμερα χρησιμοποιείται στη Ρωσία, στην Κίνα, στον Καναδά και αλλού.

γ) Ενέργεια ρευμάτων.

Στρόβιλοι προσαρμόζονται σε πλωτά στοιχεία ή στηρίζονται με κατάλληλες κατασκευές στον πυθμένα της θάλασσας. Η εκμετάλλευσή της προϋποθέτει την επίλυση αρκετών τεχνικό-οικονομικών προβλημάτων και τον περιορισμό της κίνησης σκαφών στην περιοχή. Από περιβαλλοντική άποψη πάντως δεν έχει σοβαρές επιπτώσεις.

δ) Ενέργεια από την θερμότητα της θάλασσας.

Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού που βρίσκεται σε μεγάλο βάθος. Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ενέργειας των ωκεανών, εκτός από το ότι είναι "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά ευεργετήματα, είναι το σχετικά μικρό κόστος κατασκευής των απαιτούμενων εγκαταστάσεων και η μεγάλη απόδοση (40-70 kW ανά μέτρο μετώπων κύματος). Το μειονέκτημα όμως είναι το μεγάλο κόστος μεταφοράς της ενέργειας στην ξηρά.

ε) Ενέργεια όσμωσης.

Το πρώτο εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας με τη μέθοδο της όσμωσης έχει κατασκευαστεί στη Νορβηγία, αξιοποιώντας τις διαφορές οσμωτικής πίεσης που εμφανίζονται μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού στο δέλτα ενός ποταμού. Η «οσμωτική» μονάδα λειτουργεί με δύο μάζες νερού, μια αλμυρού και μια γλυκού, οι οποίες διαχωρίζονται μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης. Λόγω της διαφοράς στη συγκέντρωση αλάτων, το νερό κινείται προς την δεξαμενή γλυκού νερού προκαλώντας αύξηση της

πίεσης, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια μέσω μιας ηλεκτρογεννήτριας. Η μοναδική επίπτωση στο περιβάλλον προέρχεται από τις μεμβράνες και την διάθεσή τους ύστερα από την αντικατάστασή τους. [1]

1.8 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Α.Π.Ε.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των ήπιων μορφών ενέργειας σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας όπως το πετρέλαιο, τον άνθρακα και την πυρηνική ενέργεια είναι τα εξής:

❖ Δεν υπάρχει πρόβλημα εξάντλησής τους, εφόσον βέβαια η εκμετάλλευσή τους γίνει με σωστό τρόπο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συνολική ετήσια παροχή τους είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας.

❖ Η χρήση τους έχει μικρές και ελέγξιμες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

❖ Προσφέρονται για την κατασκευή μικρών σταθμών κοντά στον τόπο κατανάλωσης, πράγμα που περιορίζει τις απώλειες μεταφοράς και διασφαλίζει την τροφοδοσία σε τοπικό επίπεδο. Αυτό αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό πλεονέκτημα για χώρες με μεγάλη γεωγραφική κατάτμηση.

❖ Η παροχή τους είναι δεδομένη και δεν μπορεί να ελεγχθεί από πολιτικά και οικονομικά συμφέροντα

❖ Σε πολλές περιπτώσεις δεν απαιτείται ιδιαίτερα υψηλή τεχνολογία για την εκμετάλλευσή τους.

❖ Είναι κατανεμημένες πολύ πιο ομοιόμορφα στο σύνολο του πλανήτη.

❖ Συντελούν στην αποκέντρωση (επομένως και στη σταθερότητα) του συστήματος παροχής ενέργειας και ευνοούν την περιφερειακή ανάπτυξη.

Τα μειονεκτήματα τους, που δυσχεραίνουν από τεχνική άποψη ή επιβαρύνουν οικονομικά την εκμετάλλευσή τους είναι τα παρακάτω:

❖ Η παροχή τους είναι ασυνεχής και μεταβαλλόμενη. Πολλές φορές το μέγιστο της προσφοράς συμπίπτει με το ελάχιστο της ζήτησης. Η αποθήκευσή τους σε πρωτογενή μορφή είναι αδύνατη. Είναι λοιπόν απαραίτητη η χρήση συσσωρευτών για την αποθήκευσή τους

❖ Βρίσκονται πολύ διασκορπισμένες, γι' αυτό ένα μικρό μόνο μέρος τους είναι εκμεταλλεύσιμο.

❖ Σε πολλές περιπτώσεις παρέχουν ενέργεια χαμηλής στάθμης (π.χ. κατάλληλη μόνο για θέρμανση χώρων). [1]

2.ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η γεωθερμία είναι μια μορφή ήπιας ανανεώσιμης πηγής ενέργειας, η οποία με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες μπορεί να καλύψει ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης, ζεστών νερών χρήσης και ψύξης κτηρίων με την χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (ΓΑΘ).

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη ενέργεια, υπό μορφή θερμότητας, κάτω από τη σταθερή επιφάνεια της γης. Όπως καταδεικνύει και η ετυμολογία της λέξης "γεω-θερμία" πρόκειται για θερμότητα από την γη. Η θερμοκρασία του υπεδάφους σε βάθη από 2 έως 100 m είναι περίπου σταθερή όλο τον χρόνο και κυμαίνεται περίπου από 14 έως 18 βαθμούς Κελσίου για την χώρα μας. Η εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ υπεδάφους και επιφάνειας (δηλ. του ενεργειακού δυναμικού που ονομάζεται αβαθής γεωθερμική ενέργεια) μπορεί να γίνει με την χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ) και δικτύου σωληνώσεων εντός του υπεδάφους, έτσι ώστε να θερμάνουμε χώρους τον χειμώνα και να τους ψύξουμε το καλοκαίρι. Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη όλον τον χρόνο και δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες της ατμόσφαιρας.

Τα γεωθερμικά συστήματα που εκμεταλλεύονται την αβαθή γεωθερμική ενέργεια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) στα Γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος και β) στα Γεωθερμικά συστήματα ανοικτού κυκλώματος.

Τα γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος βασίζονται στην κατασκευή ενός εναλλάκτη στο υπέδαφος που ονομάζεται γεωεναλλάκτης. Ο γεωεναλλάκτης κατασκευάζεται από έναν αριθμό σωληνώσεων μέσα στις οποίες κυκλοφορεί νερό. Το χειμώνα τροφοδοτούμε την ΓΑΘ με νερό θερμοκρασίας περίπου 16 βαθμών Κελσίου από τον γεωεναλλάκτη, η οποία απορροφά περίπου 4 με 5 βαθμούς Κελσίου, πριν το επιστρέψει στην γη, και με μικρή κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος παράγει έτσι ζεστό νερό χρήσης από 35 έως 45°C κατάλληλο για θέρμανση χώρων με ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης ή με fan coils. Για την παραπάνω λειτουργία της ΓΑΘ καταναλώνουμε μόνο ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο χρησιμοποιείται από τον συμπιεστή της και την αντλία νερού, και είναι της τάξης του 20 με 25% της αποδιδόμενης θερμικής ενέργειας της. Δηλαδή χονδρικά για κάθε 100 μονάδες θερμικής ενέργειας που αποδίδει η ΓΑΘ στο κτήριο μας για τη θέρμανση του, πληρώνουμε μόνο το κόστος των 25 μονάδων ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει για την λειτουργία της και οι υπόλοιπες 75 μονάδες θερμικές ενέργειας αντλούνται δωρεάν από την φύση. Το καλοκαίρι αντιστρέφεται η λειτουργία της ΓΑΘ, έτσι ώστε να απορρίπτει θερμότητα από τους κλιματιζόμενους χώρους στο υπέδαφος με την χρήση του γεωεναλλάκτη.

2.1 Ιστορική *αναδρομή γεωθερμικής ενέργειας*

Λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1.500 μ). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας άρχισε ουσιαστικά το 1971 με βασικό φορέα το ΙΓΜΕ και μέχρι το 1979 (πριν από τη δεύτερη ενεργειακή κρίση) αφορούσε μόνο τις περιοχές υψηλής ενθαλπίας. Κατά την εξέλιξη των εργασιών η ΔΕΗ, ως άμεσα ενδιαφερόμενη για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των πεδίων, χρηματοδοτώντας επιπλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές. Συντάχθηκε ο προκαταρκτικός χάρτης γεωθερμικής ροής του ελληνικού χώρου, όπου φάνηκε ότι η γεωθερμική ροή στην Ελλάδα είναι σε πολλές περιοχές εντονότερη από τη μέση γήινη. Από το 1971 ερευνήθηκαν οι περιοχές: Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθανα, Σουσάκι Κορινθίας, Καμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη, Αιδηψός, Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως, Νότια Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή Στρυμόνα, περιοχή Ξάνθης, Σαμοθράκη και άλλες.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας που πολλές φορές ξεπερνούν του 100° C/km. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες, η ενέργεια αυτή θερμαίνει «ρηχούς» υπόγειους ταμιευτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι 100°C. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθόσον αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό στο περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Στην Μήλο και Νίσυρο έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής (5 και 2 αντίστοιχα). Στην Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325°C σε βάθος 1000 m. και στην Νίσυρο 350° C σε βάθος 1500 m. Οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίξουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 20 και 5 MW, ενώ το πιθανό συνολικό δυναμικό υπολογίζεται να είναι την τάξης των 200 και 50 MW αντίστοιχα.

Στην Βόρεια Ελλάδα η γεωθερμία προσφέρεται για θέρμανση, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες κ.λπ. Στην λεκάνη του Στρυμόνα έχουν εντοπισθεί τα πολύ σημαντικά πεδία Θερμών-Νιγρίτας, Λιθότροπου-Ηράκλειας, Θερμοπηγής-Σιδηρόκαστρου και Αγγίστρου. Πολλές γεωτρήσεις παράγουν νερά μέχρι 75°C, συνήθως αρτεσιανά και πολύ καλής ποιότητας και παροχής. Μεγάλα και μικρότερα γεωθερμικά θερμοκήπια λειτουργούν στην Νιγρίτα και το Σιδηρόκαστρο.

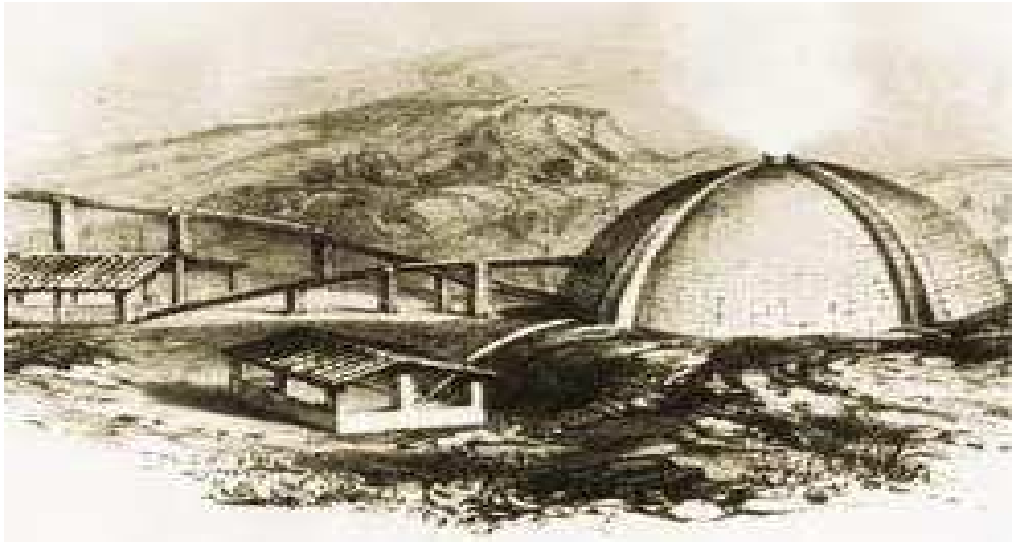
Στην πεδινή περιοχή του Δέλτα Νέστου έχουν εντοπισθεί δύο πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία, στο Ερατεινό Χρυσούπολης και στο Ν. Εράσμιο Μαγγάνων Ξάνθης. Νερά άριστης ποιότητας μέχρι 70°C και σε πολύ οικονομικά βάθη παράγονται από γεωτρήσεις στις εύφορες αυτές πεδινές περιοχές. Στην Ν. Κεσσάνη και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης, σε μεγάλης έκτασης γεωθερμικά πεδία, παράγονται νερά θερμοκρασίας μέχρι 82°C.

Στην λεκάνη των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά έχουν εντοπισθεί τρία πολύ ρηχά πεδία με θερμοκρασίες μέχρι 56°C. Στην Σαμοθράκη υπάρχουν ενθαρρυντικά στοιχεία καθώς γεωτρήσεις βάθους μέχρι 100m συνάντησαν νερά της τάξης των 100° C.

Η πρώτη βιομηχανική εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε στο Λαρνταρέλλο (Lardarello) της Ιταλίας, όπου από τα μέσα του περασμένου αιώνα χρησιμοποιήθηκε ο φυσικός ατμός για να εξατμίσει τα νερά που περιείχαν βορικό οξύ αλλά και να θερμάνει διάφορα κτήρια. Το 1904 έγινε στο ίδιο μέρος η πρώτη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τη γεωθερμία (σήμερα παράγονται εκεί 2,5 δισ. kWh/έτος). Σπουδαία είναι η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας από την Ισλανδία, όπου καλύπτεται πολύ μεγάλο μέρος των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια και θέρμανση.

Κατά το 2005, 72 χώρες έχουν αναπτύξει γεωθερμικές εφαρμογές χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας, κάτι που δηλώνει σημαντική πρόοδο σε σχέση με το 1995, όταν είχαν αναφερθεί εφαρμογές μόνο σε 28 χώρες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας ανήλθε το 2007 στα 28268 MWt, παρουσιάζοντας αύξηση 75% σε σχέση με το 2000, με μέση ετήσια αύξηση 12%. Αντίστοιχα, η χρήση ενέργειας αυξήθηκε κατά 43% σε σχέση με το 2000 και ανήλθε στα 273.372 TJ (75.940 GWh/έτος).

Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με γεωθερμική ενέργεια το 2008 γινόταν σε 24 χώρες. Το 2007 η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής ενέργειας στον κόσμο ανήλθε στα 9735 MWe, σημειώνοντας αύξηση μεγαλύτερη από 800 MWe σε σχέση με το 2005. [2]



2.2 Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων

Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με βάση διάφορα κριτήρια όπως:

α) το είδος των γεωθερμικών πόρων
β) τον τύπο και τη θερμοκρασία των ρευστών
γ) τον τύπο του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά
δ) το είδος της εστίας θερμότητας
ε) αν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στο γεωθερμικό ταμιευτήρα

Σύμφωνα με το είδος των γεωθερμικών πόρων τα γεωθερμικά συστήματα διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες:

- Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι
  Είναι τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά που βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες τα οποία θερμαίνονται από μία εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Τα συστήματα αυτά ταυτίζονται με το σύνολο σχεδόν των γεωθερμικών πεδίων και είναι τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται σήμερα.

- Αβαθής γεωθερμία
  Με την αβαθή γεωθερμία λαμβάνονται ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100m από την επιφάνεια της γης ή με την κυκλοφορία υπόγειων νερών ή νερών από λίμνες, ποτάμια και τη θάλασσα. Είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας.

- Τα προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα

Αναφέρονται στα θερμά πετρώματα σε βάθος από 2 έως 10km από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια με τη χρήση νερού που διοχετεύεται από την επιφάνεια μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων και ανακτάται αρκετά θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων.

- Τα γεωπιεσμένα συστήματα

Αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος, βρίσκονται περιορισμένα από μη διαπερατά πετρώματα και η πίεση τους υπερβαίνει την υδροστατική.

- Τα μαγματικά συστήματα

Αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε σχετικά μικρό βάθος.

2.3 Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων

Με κριτήριο τη θερμοκρασία του υπεδάφους ή του ρευστού τα γεωθερμικά πεδία είναι τα εξής:
α) **υψηλής ενθαλπίας,** όταν η θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών ξεπερνά τους 150 °C. Χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
β) **μέσης ενθαλπίας** (90 έως 150 °C), η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων και μερικές φορές για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως) και
γ) **χαμηλής ενθαλπίας** (25 έως 90 °C), η οποία χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες και για παραγωγή γλυκού νερού.

2.4 Τύποι γεωθερμίας

Ανάλογα με τη θερμοκρασία του υπεδάφους ή του ρευστού έχουμε τους εξής τύπους γεωθερμίας:

- Πολύ χαμηλής Ενθαλπίας (Κανονική, Ομαλή ή Αβαθής) με θερμοκρασίες αντίστοιχες των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών του αέρα περιβάλλοντος (<25°C).
- Πάρα πολύ χαμηλής Ενθαλπίας με θερμοκρασίες μικρότερες των 0°C. [3]

2.5 Σύγχρονες γεωθερμικές εφαρμογές

Στην εποχή μας και ιδιαίτερα τα τελευταία 20 χρόνια η μη-ηλεκτρική, ή αλλιώς άμεση, χρήση της γεωθερμικής ενέργειας έχει σημειώσει μεγάλη ανάπτυξη. Κατά τη διάρκεια του 1985, άμεσες εφαρμογές της γεωθερμίας καταγράφηκαν σε 24 χώρες, το 1995 σε 29 και το 2000 σε 58 χώρες. Η πιο συνηθισμένη άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα είναι οι αντλίες θερμότητας με ποσοστό 32%, ακολουθούν η λουτροθεραπεία και η θέρμανση πισινών με 30%, η θέρμανση χώρων με 20% (εκ των οποίων 83% είναι τηλεθέρμανση), οι αγροτικές χρήσεις με 8%, οι υδατοκαλλιέργειες με 6% και τέλος οι βιομηχανικές χρήσεις με 4%. Μετά το 2ο παγκόσμιο πόλεμο η αξιοποίηση της γεωθερμίας για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έγινε ελκυστική για πολλές χώρες, καθώς ήταν ανταγωνιστική ως προς άλλες μορφές ενέργειας και παρουσίαζε σημαντικά πλεονεκτήματα Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας για ηλεκτροπαραγωγή στις αναπτυσσόμενες χώρες παρουσιάζει ενδιαφέρουσες τάσεις με το χρόνο. Μεταξύ των ετών 1975 και 1979 η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς σε αυτές τις χώρες αυξήθηκε από 75 σε 462 MW. Στο τέλος της επόμενης πενταετίας (1984) έφτασε στα 1.495 MW παρουσιάζοντας ένα ρυθμό αύξησης κατά τη διάρκεια των δύο αυτών περιόδων 610% και 323% αντίστοιχα. Στα επόμενα 16 χρόνια, από το 1984 μέχρι το 2000, σημειώθηκε μια περαιτέρω αύξηση της τάξης του 150% Αξίζει να σημειώσουμε ότι η γεωθερμική ενέργεια συμμετέχει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο αρκετών περιοχών. Για παράδειγμα, το 2001 η ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε από γεωθερμικούς πόρους αντιπροσώπευε το 27% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στις Φιλιππίνες, το 12,4 % στην Κένυα, το 11,4% στην Κόστα Ρίκα και το 4,3% στο Ελ Σαλβαδόρ.

2.6 Παραδείγματα εφαρμογών γεωθερμίας

1) Long Valley Caldera, Sierra Nevada Καλιφόρνια, Η.Π.Α.
4 μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συνολική εγκατεστημένη ισχύς 37MW

2) Wairakei, Νέα Ζηλανδία μονάδα παραγωγής συνδυασμένου κύκλου (ηλεκτροπαραγωγή και ιχθυοκαλλιέργεια)

3) Valle Secolo, Ιταλία
Εγκατεστημένη ισχύς 2×60MW

4) Ribeira Grande, Αζόρες, Πορτογαλία
μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, διάταξη ξεχωριστών εργαζόμενων μέσων, εγκατεστημένη ισχύς 14MW.

5) Nesjavellir, Ισλανδία
παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμού νερού, συνολική εγκατεστημένη ισχύς 120MW, 24 φρεάτια παραγωγής, διάταξη στιγμιαίας ατμοποίησης.

6) Castelnuovo Val di Cecina, Ιταλία
οικισμός που χρησιμοποιεί για τη θέρμανση των σπιτιών τη γεωθερμική ενέργεια.

2.7 Στάδια γεωθερμικής μελέτης

Η αναζήτηση των γεωθερμικών περιοχών με ρευστά που να σχηματίζουν ένα εκμεταλλεύσιμο κοίτασμα, γίνεται με την κατάλληλη γεωθερμική έρευνα, η οποία πραγματοποιείται κυρίως στην επιφάνεια με τις μικρότερες κατά το δυνατόν δαπάνες. Αν η επιφανειακή έρευνα δείξει θετικά αποτελέσματα γίνεται στη συνέχεια εξόρυξη ερευνητικών και κατόπιν παραγωγικών γεωτρήσεων οι οποίες συνήθως είναι ιδιαιτέρως δαπανηρές. Η γεωθερμική έρευνα αποτελείται από τέσσερα κύρια στάδια:

α) Γενική επισκόπηση μεγάλης κλίμακας στην οποία γίνεται χρήση γεωλογικών και τεκτονικών χαρτών, αεροφωτογραφιών, βιβλιογραφικής ανασκόπησης,γίνονται αναγνωριστικές επισκέψεις, θερμομετρήσεις, δειγματοληψίες και αναλύσεις νερών κτλ με σκοπό την επιλογή και υπόδειξη των περιοχών με τις ευνοϊκότερες συνθήκες.

β) Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών κατά την οποία ερευνώνται με λεπτομέρεια οι παράγοντες όπως οι γεωλογικοί, τεκτονικοί, ηφαιστειολογικοί, στρωματογραφικοί, θερμοδυναμικοί κτλ) που μπορούν να χαρακτηρίσουν μια γεωθερμική περιοχή. Το στάδιο αυτό έχει σαν στόχο τον προσδιορισμό του γεωθερμικού μοντέλου κάθε γεωθερμικού κοιτάσματος και τη γνώση της θέσης και κατάστασης στην οποία βρίσκονται τα γεωθερμικά ρευστά ή θερμά πετρώματα. Επίσης προτείνεται και η σειρά, το βάθος και τα χαρακτηριστικά των ερευνητικών-παραγωγικών γεωτρήσεων.

γ) Εντοπισμός-περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων και μελέτη των χαρακτηριστικών. Το στάδιο έχει σαν αποτέλεσμα τον προσδιορισμό των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών και των θέσεων στις οποίες προτείνεται η εκτέλεση των πρώτων βαθιών γεωτρήσεων έρευνας και παραγωγής. Στη συνέχεια καταρτίζεται το λεπτομερές πρόγραμμα γεωτρήσεων. Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις διακρίνονται, σύμφωνα με το σκοπό της ανόρυξης τους, σε ερευνητικές, παραγωγικές ή επανεισαγωγής, και σε σχέση με την ενθαλπια των ρευστών, σε χαμηλής, μέσης ή υψηλής ενθαλπίας.

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

2.8 Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος

Η βασική φιλοσοφία ενός συστήματος γεωθερμίας βασίζεται στην εκμετάλλευση της σταθερής θερμοκρασίας στο έδαφος και στον επιφανειακό ή υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είτε αντλούν το νερό από το υπέδαφος (σύστημα με γεώτρηση) είτε ανακυκλοφορούν το νερό μέσα από σωλήνες (γεωσυλλέκτες) οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι -θαμμένοι- μέσα στο έδαφος. Το σύστημα είναι

απελευθερωμένο από το πετρέλαιο θέρμανσης και τον κλασικό τρόπο θέρμανσης και ταυτόχρονα, δίνει τη δυνατότητα θέρμανσης και ψύξης του χώρου.
Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τα εξής τρία κύρια μέρη:

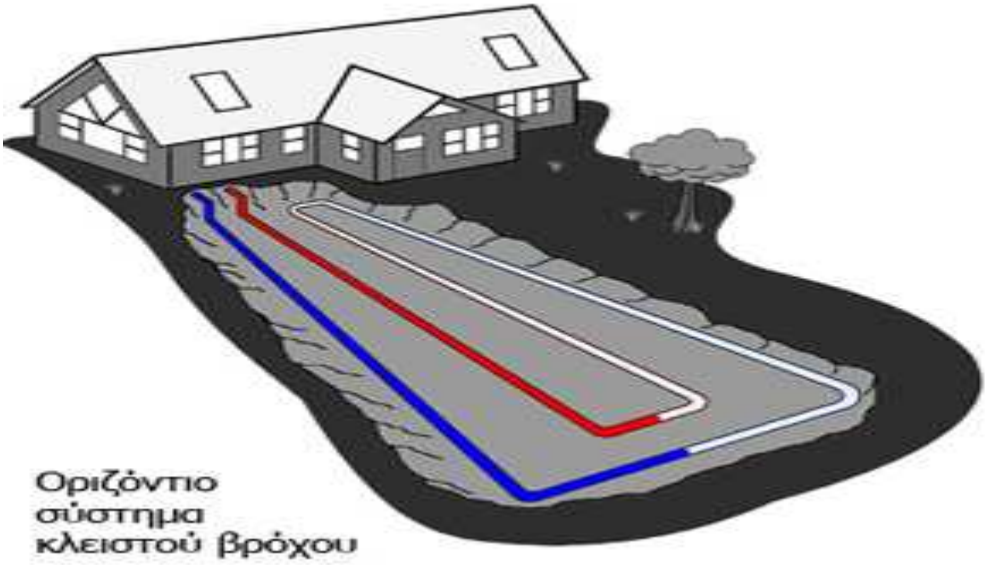
- Γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας νερού
- Γεωθερμική αντλία θερμότητας
- Εσωτερικό σύστημα διανομής στο κτήριο.

Τέλος και για να θεωρηθεί πλήρης η εγκατάσταση σημαντικό ρόλο παίζει και ο αυτοματισμός του συστήματος.

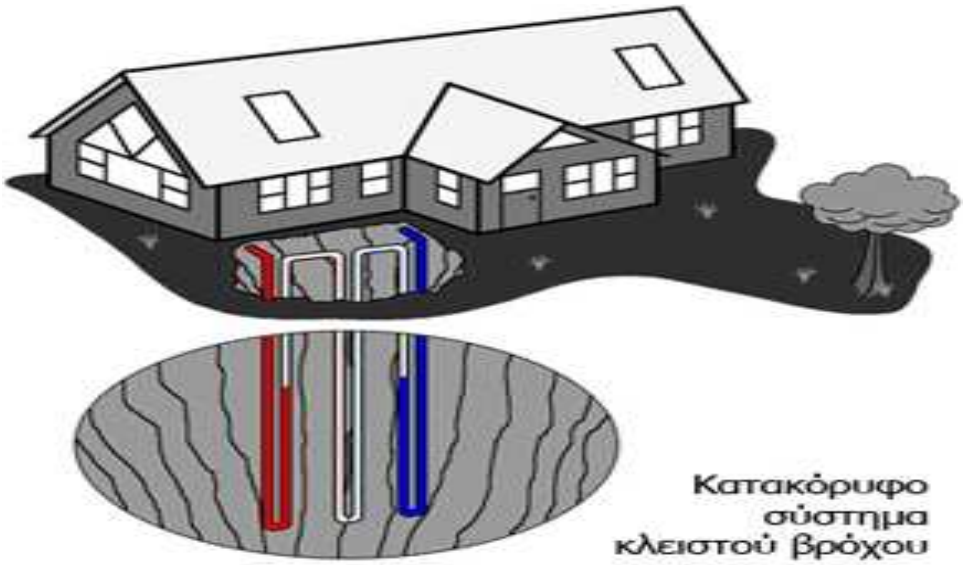
Υπάρχουν οι εξής βασικές μέθοδοι εγκατάστασης του γεωθερμικού εναλλάκτη:

1. Γεωθερμικό σύστημα κλειστού βρόχου:

Α) Με οριζόντιο γεωθερμικό εναλλάκτη
Ο γεωθερμικός εναλλάκτης τοποθετείται σε μικρό βάθος περίπου 2 m σε μια ή περισσότερες στρώσεις σωληνώσεων, αφού έχει πραγματοποιηθεί ολοκληρωτική εκσκαφή του χώρου ή έχουν ανοιχτεί χαντάκια.

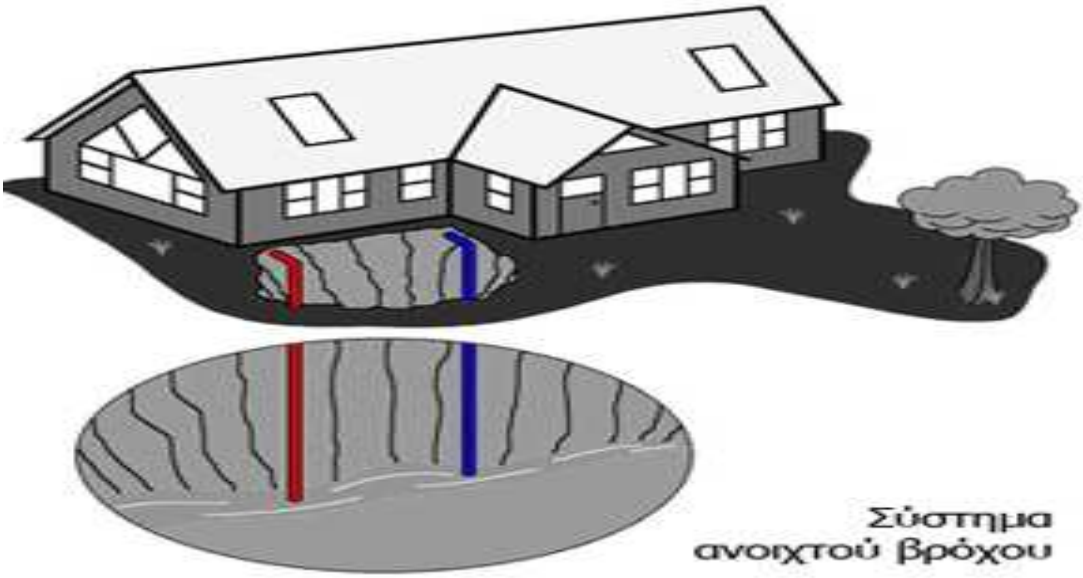


Β) Με κατακόρυφο γεωθερμικό εναλλάκτη
Πραγματοποιείται γεώτρηση σε μικρά σχετικά βάθη μέχρι τα 150 m και γίνεται εισαγωγή σωλήνων, που λειτουργούν ως γεωθερμικός εναλλάκτης.



2. Γεωθερμικό σύστημα ανοιχτού βρόχου:

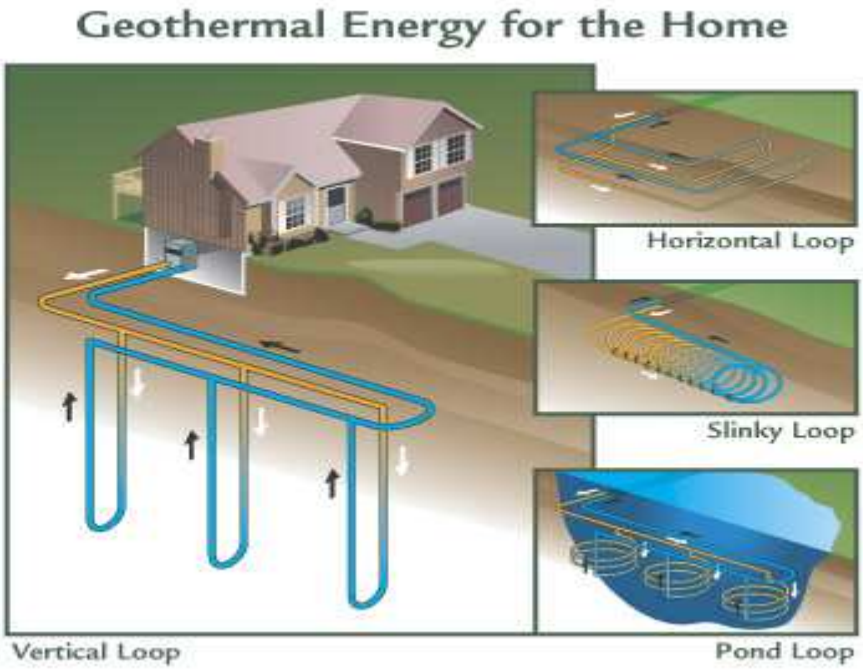
Χρησιμοποιείται νερό από το υπέδαφος, το οποίο διέρχεται από την αντλία θερμότητας όπου απορροφά ή αποδίδει θερμότητα και κατόπιν επανεισάγεται στη γη. Ενδείκνυται σε περιοχές με ρηχό βάθος υδροφόρου ορίζοντα, καλής ποιότητας νερού και αρκετής διαθέσιμης ποσότητας.



Το βασικότερο στοιχείο ενός γεωθερμικού συστήματος αποτελεί η γεωθερμική αντλία θερμότητας, που εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που περικλείεται στα υπόγεια νερά, τα νερά των λιμνών και της θάλασσας, ή ακόμα και στο χώμα.
Η λειτουργία της στηρίζεται στη μεταφορά θερμότητας από ένα ψυχρό σε ένα θερμό χώρο. Έτσι το χειμώνα με θερμό χώρο το εσωτερικό του κτηρίου και με ψυχρό το εξωτερικό, η θερμότητα εισάγεται στο κτήριο. Αντίθετα το καλοκαίρι, με αναστροφή της παραπάνω λειτουργίας και με τη βοήθεια του συστήματος για το δροσισμό του κτηρίου, η θερμότητα αποβάλλεται στο εξωτερικό του.
Το εσωτερικό σύστημα διανομής ή αλλιώς σύστημα θέρμανσης-ψύξης είναι είτε με τη μορφή αεραγωγών είτε με τη μορφή αερόθερμων είτε είναι ενδοδαπέδια. Τέλος για την παροχή ζεστού νερού υπάρχει το boiler.

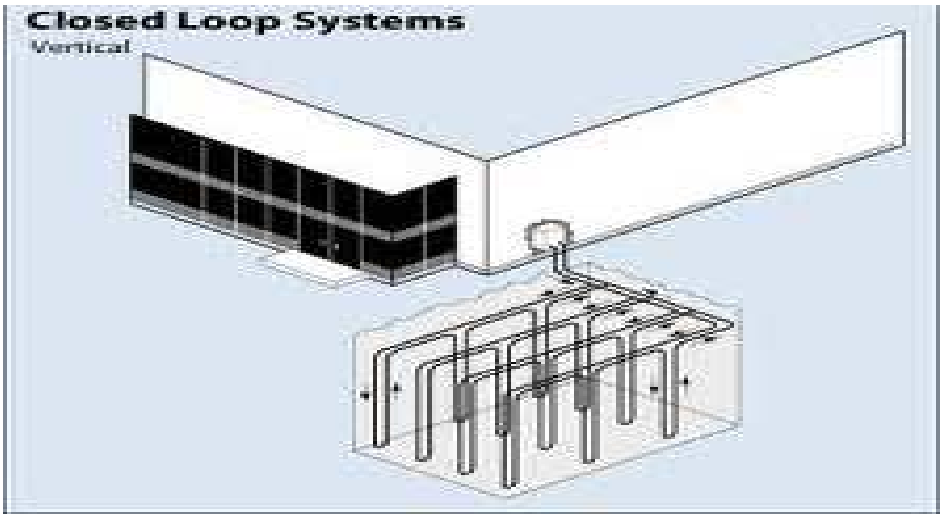
2.8.1 Εναλλάκτες θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές με τις οποίες επιτυγχάνεται η μεταφορά θερμότητας από ένα ρευστό υψηλής θερμοκρασίας σε ένα άλλο ρευστό χαμηλότερης θερμοκρασίας. Αποτελούνται συνήθως από σωλήνες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας οι οποίοι τοποθετούνται εντός των γεωτρήσεων, μέσα στη γη δηλαδή και για αυτό τους ονομάζουμε γεω-εναλλάκτες. Οι σωλήνες αυτοί αντέχουν πολλές δεκαετίες, παραμένουν άθικτοι από τα συστατικά του εδάφους και έχουν πολύ καλές ιδιότητες θερμικής αγωγιμότητας. Οι γεωεναλλάκτες μπορούν να τοποθετηθούν κάθετα ή οριζόντια μέσα στις γεωτρήσεις.



Οι οριζόντιοι εναλλάκτες χρησιμοποιούνται όταν οι γεωτρήσεις (εκσκαφές) είναι μικρού βάθους 2-3m αλλά καλύπτουν πολύ μεγάλη επιφάνεια. Πιο συγκεκριμένα οι εναλλάκτες αυτοί τοποθετούνται σε όλη την επιφάνεια του σκάμματος και στη συνέχεια καλύπτονται με χώμα εκσκαφής.[5]

Οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες, αντίθετα με τους οριζόντιους
απαιτούν λιγότερη επιφάνεια αλλά μεγαλύτερο βάθος. Μπορεί να υπάρχουν και πολλοί εναλλάκτες που ενώνονται μεταξύ τους δημιουργώντας σειρές.[6]



2.8.2 Γεωθερμική Αντλία θερμότητας

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης ή και ψύξης το οποίο αντλεί θερμότητα από ή προς το έδαφος. Η γη λειτουργεί ως πηγή θερμότητας το χειμώνα και ως δεξαμενή θερμότητας το καλοκαίρι. Ουσιαστικά, η αντλία θερμότητας είναι μια μηχανή που μεταφέρει θερμότητα από το ψυχρό χώρο στο θερμό αντίθετα με τη φυσική ροή της θερμότητας (από τα θερμά στα ψυχρά) ή ενισχύει τη φυσική ροή θερμότητας από μια θερμή περιοχή σε κάποια περισσότερο ψυχρή. Σκοπός της σχεδίασης μιας τέτοιας αντλίας είναι να εκμεταλλεύεται τις μέτριες θερμοκρασίες του εδάφους για να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και να μειώσει το λειτουργικό κόστος των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης. Μια γεωθερμική αντλία θερμότητας καταναλώνει συνήθως γύρω στο 25-30% της ενέργειας που αποδίδει. Έτσι οι χρήστες γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να **λαμβάνουν έως 75% της απαιτούμενης θερμότητας δωρεάν από το έδαφος**. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας βαθμονομούνται σύμφωνα με τον συντελεστή απόδοσης (COP). Είναι ο επιστημονικός τρόπος προσδιορισμού της ενέργειας που το σύστημα παράγει σε σχέση με αυτήν που χρησιμοποιεί. Τα περισσότερα συστήματα γεωθερμικών αντλιών έχουν COPs 3~5. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε μια μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται για να τροφοδοτηθεί το σύστημα, 3~5 μονάδες παρέχονται ως θερμότητα. Δηλαδή ένας καυστήρας ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός ενώ μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 300-500%.[7]

Ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, η θερμοκρασία κάτω από την επιφάνεια της γης διατηρείται σχεδόν σταθερή μεταξύ 10°C και 16 ^{o}C. Η θερμοκρασία αυτή είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα κατά την διάρκεια του χειμώνα και μικρότερη από τη θερμοκρασία του αέρα κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Το βασικότερο τμήμα της αντλίας θερμότητας είναι η συνεχής ανακύκλωση μιας ψυκτικής ουσίας η οποία αντλείται μέσω ενός συνεχούς κύκλου ατμών της ουσίας αυτής. Έτσι γίνεται η μεταφορά θερμότητας. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει στην αντλία θερμότητας να φέρνει θερμότητα μέσα σε ένα δεδομένο κλειστό χώρο αλλά και να την εξάγει από αυτόν. Κατά την λειτουργία ψύξης η αντλία λειτουργεί όπως ένα συνηθισμένο air-condition. Χρησιμοποιεί ένα ενδιάμεσο υγρό refrigerant (η΄ ψυκτική ουσία) το οποίο απορροφά θερμότητα, όταν εξατμίζεται, ενώ αντίθετα απελευθερώνει θερμότητα, όταν συμπυκνώνεται. Μετά χρησιμοποιεί έναν εξατμιστήρα για να απορροφήσει τη θερμότητα μέσα από έναν κατειλημμένο χώρο (δωμάτιο) και αποβάλλει τη θερμότητα προς τα έξω μέσω ενός συμπυκνωτή. Το ενδιάμεσο υγρό ρέει έξω από το χώρο που ρυθμίζεται θερμοκρασιακά, όπου υπάρχουν ένας συμπυκνωτής (ψυκτήρας) και ένας συμπιεστής, ενώ ο εξατμιστήρας βρίσκεται μέσα στο χώρο αυτό.

Το στοιχείο όμως που κάνει την αντλία να διαφέρει από ένα air-condition είναι η βαλβίδα αντιστροφής η οποία επιτρέπει την αλλαγή κατεύθυνσης της ροής του υγρού, με αποτέλεσμα η θερμότητα να αντληθεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.Οπότε η αντλία λειτουργεί είτε για θέρμανση είτε για κλιματισμό χώρων.[8]

Ο τρόπος λειτουργίας της αντλίας θερμότητας κατά την διαδικασία θέρμανσης και ψύξης είναι ο εξής:

α) Κατά την λειτουργία θέρμανσης η εξωτερική έλικα της αντλίας λειτουργεί ως εξατμιστήρας, ενώ η εσωτερική λειτουργεί ως συμπυκνωτής ο οποίος απορροφά τη θερμότητα από το ανακυκλούμενο υγρό (ψυκτικό υγρό) και τη διαχέει στον αέρα που βρίσκεται μέσα του. Με το υγρό να ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση ο εξατμιστήρας απορροφά τη θερμότητα από τον αέρα και τη μεταφέρει στο εσωτερικό της αντλίας. Μόλις απορροφήσει τη θερμότητα, ο αέρας συμπιέζεται και στέλνεται στον συμπυκνωτή ο οποίος διοχετεύει τη θερμότητα στο ειδικό σύστημα διανομής το οποίο μεταφέρει το θερμαινόμενο αέρα σε ολόκληρο το σπίτι.
β) Κατά τη λειτουργία ψύξης ο εξατμιστήρας απορροφά τη θερμότητα από το εσωτερικό του σπιτιού, τη μεταφέρει στον συμπυκνωτή από όπου αποβάλλεται στον εξωτερικό αέρα.

Όσον αφορά το ψυκτικό υγρό, είναι διάλυμα νερού που περιέχει ψυκτική ουσία η οποία βρίσκεται αρχικά σε υγρή μορφή και χρησιμοποιείται σε έναν κύκλο μεταφοράς (ανακύκλωση) θερμότητας, ο οποίος περιλαμβάνει και μια αναστρέψιμη φάση μετατροπής από αέριο σε υγρό. Συνηθέστερες ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι η αμμωνία, το διοξείδιο του θείου και το μεθάνιο. Το ιδανικό ψυκτικό υγρό έχει καλές θερμοδυναμικές ιδιότητες δηλαδή υψηλό βαθμό εξαέρωσης, λογική τιμή πυκνότητας σε υγρή μορφή αλλά σχετικά μεγάλη στην αέρια μορφή και «καλό» σημεία βρασμού, δε μπορεί να δημιουργηθεί με χημικό τρόπο και είναι ασφαλές. [9]

2.8.3 Εσωτερικό σύστημα

Το σύστημα αυτό είναι υπεύθυνο για τη διανομή της θερμότητας ή της ψύξης που έχουμε πάρει μέσω της αντλίας θερμότητας σε όλους τους χώρους του κτηρίου που θέλουμε να θερμάνουμε ή να ψύξουμε. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τα δίκτυα, τα εξαρτήματα και τους αυτοματισμούς που είναι υπεύθυνα για τη διανομή της παραγόμενης θέρμανσης ή ψύξης στο εσωτερικό των κτηρίων. Οι γεωθερμικές αντλίες μπορούν να αποδίδουν τη θερμότητα ή την ψύξη απευθείας σε συστήματα αέρα ή νερού. Για την διαμόρφωση των εσωτερικών δικτύων απαιτείται αρχιτεκτονική και μηχανολογική μελέτη. Οι δυο βασικοί τρόποι διανομής της θερμότητας είναι η ενδοδαπέδια και οι αεραγωγοί (fan-coils).

Ένα γεωθερμικό σύστημα που κάνει χρήση ενδοδαπέδιας θέρμανσης παρουσιάζει υψηλό συντελεστή απόδοσης και χαμηλό λειτουργικό κόστος, γεγονός που οφείλεται στις χαμηλές θερμοκρασίες ανακυκλοφορίας του νερού στην ενδοδαπέδια σωλήνωση. Η ενδοδαπέδια σωλήνωση πραγματοποιεί θέρμανση του χώρου με θέρμανση των δομικών στοιχείων του. Το μειονέκτημα της διαδικασίας αυτής είναι ότι παρουσιάζεται αδράνεια σε γρήγορες κλιματικές αλλαγές και κατά συνέπεια προτιμάται σε ορεινά κλίματα ή σε περιπτώσεις όπου η θέρμανση απαιτείται συνεχώς. Ψύξη του χώρου δε δύναται να πραγματοποιηθεί με την ενδοδαπέδια σωλήνωση, παρά μόνο μερικός δροσισμός με την επιφύλαξη υγροποίησης του δαπέδου.

Στην ενδοδαπέδια θέρμανση τοποθετείται κάτω από την επένδυση του πατώματος ένας ελαστικός σωλήνας με νερό χαμηλής θερμοκρασίας. Συγκριτικά με τα παραδοσιακά σώματα καλοριφέρ, το νερό 30°C-40 ^{o}C που κυκλοφορεί στους σωλήνες της ενδοδαπέδιας έχει το ίδιο αποτέλεσμα με νερό 70 ^{o}C-80 ^{o}C. Αυτό σημαίνει ότι για το ίδιο επίπεδο θέρμανσης απαιτείται λιγότερη ενέργεια και μικρότερος λέβητας. Επιπροσθέτως δεν απαιτείται συντήρηση του συστήματος και συνοδεύεται από εγγύηση σωστής λειτουργίας 20 με 40 χρόνων.

Οι μονάδες εξαναγκασμένης ανακυκλοφορίας αέρα (Fan Coil Units), αποτελούν τον πληρέστερο τρόπο κλιματισμού εφόσον μπορούν να προσφέρουν θέρμανση και ψύξη σε ένα χώρο. Διατίθενται σε διάφορους τύπους: δαπέδου, οροφής, κρυφού ή εμφανούς τύπου.

Σε ένα κεντρικό σύστημα με FCU παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου της θερμοκρασίας, της ταχύτητας προσαγωγής του αέρα και της ρύθμισης On/Off λειτουργίας ανά χώρο. Η λειτουργία τους είναι απλή και με σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος γίνεται τελείως αθόρυβη. Η στάθμη θορύβου εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής, καθώς και την ταχύτητα διαστασιολόγησης. Οι μονάδες κρυφού τύπου εκμηδενίζουν τη στάθμη θορύβου και τοποθετούνται με στόμια ή κανάλια αέρα. Παρέχεται η δυνατότητα για καθαρισμό των φίλτρων τους μια φορά ετησίως. Η ηλεκτρική κατανάλωση των FCU δεν ξεπερνάει την κατανάλωση μιας λάμπας 40 Watt.

Οι αεραγωγοί χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό σε μονοκατοικίες στην Μεγάλη Βρετανία και στις ΗΠΑ κυρίως. Κατά την μεταφορά θερμότητας ο θερμός αέρας κινείται με φυσικό ελκυσμό μέσα από τους αεραγωγούς προς τους χώρους κάτω από την επίδραση της φυσικής στρωμάτωσης. Η θέρμανση του αέρα γίνεται σε κλίβανο που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας άμεσης δράσης. Η μονάδα θέρμανσης τοποθετείται συνήθως σε κεντρική θέση του κτηρίου ώστε να περιορίζεται όσο το δυνατόν το μήκος των αεραγωγών. Όταν δεν απαιτείται πλέον θέρμανση ο ανεμιστήρας κυκλοφορίας του αέρα διατηρεί τον αερισμό για να παρέχεται φρέσκος αέρας. [10]

ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

FAN COIL ΔΑΠΕΔΟΥ

FAN COIL ΟΡΟΦΗΣ

2.9 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα γεωθερμικού συστήματος

Α) Πλεονεκτήματα:

- Εξοικονόμηση: Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να μειώσουν το κόστος θέρμανσης ως και 70% και το κόστος ψύξης έως και 50% και να παρέχουν ζεστό νερό χρήσης για της ανάγκες της κατοικίας.

- Περιβάλλον: Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να εκμεταλλευτούν στο έπακρο και να πολλαπλασιάσουν την αποτελεσματικότητα άλλων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αλλά και από μόνα τους είναι φιλικότερα προς το περιβάλλον από τα συμβατικά συστήματα, καθώς μειώνουν τις εκπομπές αέριων ρύπων και τα συνεπακόλουθα προβλήματά τους (όξινη βροχή, φαινόμενο του θερμοκηπίου, τρύπα του όζοντος κλπ). Π.χ. αν θεωρηθεί ότι μία ηλεκτρική KWh έχει παραχθεί από την καύση 3 KWh ορυκτού καυσίμου (ο βαθμός απόδοσης των λιγνιτικών εργοστασίων της ΔΕΗ είναι 33%). Για την παραγωγή 10 KWh θέρμανσης μέσω Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας απελευθερώνονται 1,9 Kgr CO2, ενώ για να την ίδια ενέργεια με πετρέλαιο απελευθερώνονται 2,9 Kgr CO2.

- Αξιοπιστία: τα γεωθερμικά συστήματα διαρκούν περισσότερο από τα συμβατικά, καθώς αποτελούν «κλειστά» συστήματα, όπως το ηλεκτρικό ψυγείο, που εγκαθίστανται μέσα στα κτήρια ή στο υπόγειο χώρο τους.

- Συντήρηση: Τα γεωθερμικά συστήματα δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα. Έχοντας ένα παρόμοιο τρόπο κατασκευής με αυτό των ηλεκτρικών ψυγείων, οι Γ.Α.Θ. έχουν πολύ λίγα κινούμενα εξαρτήματα που θα μπορούσαν να χαλάσουν. Ο Γεωθερμικοί Εναλλάκτες είναι κατασκευασμένοι από πιστοποιημένους πλαστικούς σωλήνες και μπορούν να λειτουργούν αποδοτικά πενήντα χρόνια μετά την εγκατάσταση τους.

- Θόρυβος: Εκτός από μια απαλή δροσιά το καλοκαίρι και μια γλυκιά ζέστη το χειμώνα τα γεωθερμικά συστήματα δεν αφήνουν κανένα άλλο ίχνος της παρουσίας τους. Οι Γ.Α.Θ. δεν χρειάζονται εκτεθειμένα θορυβώδη μηχανήματα να ενοχλούν τους ένοικους ή τους γείτονες.

- Σε μεγάλες εγκαταστάσεις: μπορούν να εξοικονομηθούν χρήματα, καθώς είναι εφικτή η μεταφορά θερμότητας από ζώνες του κτηρίου που είναι πιο ζεστές προς άλλες ψυχρότερες για τις ανάγκες θέρμανσης το χειμώνα και το αντίστροφο το καλοκαίρι για τις ανάγκες ψύξης.

Β) Μειονεκτήματα

- το αρχικό κόστος κατασκευής είναι υψηλότερο από του συμβατικού
- υπάρχει δυσκολία στην επιδιόρθωση μιας διαρροής στα κλειστά κυκλώματα
- για τα ανοικτού κυκλώματος συστήματα απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού [11]

2.10 Η γεωθερμία ως ανανεώσιμη και αειφόρα πηγή ενέργειας

Επειδή η γεωθερμική ενέργεια περιγράφεται ως ανανεώσιμη και αειφόρα, είναι σημαντικό να διαχωρίσουμε τις δύο αυτές έννοιες. Ο όρος ανανεώσιμη περιγράφει μια ιδιότητα του ενεργειακού πόρου, ενώ η αειφορία τον τρόπο με τον οποίο αυτός αξιοποιείται. Το πιο σημαντικό κριτήριο για την κατάταξη της γεωθερμικής ενέργειας στις ανανεώσιμες πηγές είναι ο ρυθμός επαναφόρτισης του ενεργειακού συστήματος. Κατά την εκμετάλλευση λοιπόν ενός γεωθερμικού πόρου, η επαναφόρτισή του επιτυγχάνεται με την αναπλήρωση του γεωθερμικού μέσου στον ταμιευτήρα στο ίδιο χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η παραγωγή των θερμών ρευστών από τα αντίστοιχα φρεάτια παραγωγής. Αυτή ακριβώς η διαδικασία δικαιολογεί την ταξινόμηση της γεωθερμίας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στην περίπτωση των θερμών ξηρών πετρωμάτων, η ενεργειακή φόρτιση ελέγχεται αποκλειστικά από την αγωγή θερμότητας, η οποία είναι μια ιδιαιτέρως αργή διαδικασία. Για το λόγο αυτό, ίσως θα έπρεπε τα συστήματα αυτά να κατατάσσονται στις πεπερασμένες πηγές ενέργειας Η αειφορία που αφορά την κατανάλωση ενός ενεργειακού πόρου εξαρτάται από το αρχικό του μέγεθος, το ρυθμό εκμετάλλευσης (παραγωγής ρευστών) και το ρυθμό κατανάλωσης. Η κατανάλωση μπορεί προφανώς να διατηρηθεί σταθερή για τη χρονική περίοδο κατά την οποία η επαναφόρτιση της πηγής είναι ταχύτερη ή ίση με την αποφόρτιση. Ο όρος ΄΄αειφόρος ανάπτυξη΄΄ χρησιμοποιείται από την Παγκόσμια Επιτροπή Περιβάλλοντος και Ανάπτυξης για να περιγράψει την ανάπτυξη η οποία ανταποκρίνεται στις ανάγκες της σημερινής γενιάς, χωρίς όμως να θέτει σε κίνδυνο την κάλυψη των αναγκών των μελλοντικών γενεών. Σε αυτό το πλαίσιο η αειφόρος ανάπτυξη δεν υποδηλώνει ότι κάθε δεδομένη πηγή ενέργειας πρέπει να αξιοποιείται με έναν εξολοκλήρου αειφόρο τρόπο, αλλά ότι θα πρέπει να βρεθεί ένα σχέδιο αντικατάστασης του πόρου που υφίσταται εκμετάλλευση, έτσι ώστε οι επόμενες γενιές να μπορούν να εξασφαλίσουν κατάλληλους ενεργειακούς πόρους, ανεξάρτητα από το αν ο συγκεκριμένος θα έχει εξαντληθεί. Με την έννοια αυτή, οι μελέτες που αφορούν την αειφόρα ανάπτυξη ενός συγκεκριμένου γεωθερμικού πεδίου θα πρέπει να προσανατολίζονται στην εξεύρεση τρόπων διατήρησης ενός σταθερού επιπέδου παραγωγής γεωθερμικής ισχύος σε εθνικό ή περιφερειακό πλαίσιο. Αυτό βέβαια ισχύει τόσο για τις ηλεκτρικές (έμμεσες) όσο και για τις άμεσες χρήσεις και αφορά κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, για παράδειγμα μια περίοδο 300 ετών, όπου οι γεωθερμικοί πόροι που εξαντλούνται θα αντικαθίστανται από νέους.[12]

3.ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Τα στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάθε φορά που γίνεται εκτίμηση του κόστους ανάπτυξης και παραγωγής της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολύ περισσότερα και πιο σύνθετα σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας. Συνεπώς, θα πρέπει όλα αυτά τα στοιχεία να συλλέγονται και να αξιολογούνται πολύ προσεκτικά πριν την κατασκευή μιας γεωθερμικής μονάδας. Το κόστος ανάπτυξης και παραγωγής της γεωθερμικής ενέργειας, για την καλύτερη κατανόηση της δομής του, χωρίζεται σε δυο τομείς. Ο πρώτος ονομάζεται κόστος κύριας επένδυσης και ο δεύτερος, δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης. Οι δύο αυτοί τομείς επηρεάζονται από μια σειρά παραμέτρων και έτσι λοιπόν, το συνολικό κόστος της γεωθερμικής ενέργειας εμφανίζει μεγάλη ποικιλομορφία. Η οικονομική-τεχνική μελέτη πραγματοποιείται από τον μηχανολόγο μηχανικό.

3.1 Κόστος κύριας επένδυσης

Το κόστος της αρχικής και κύριας επένδυσης περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες σχετικά με την ανάπτυξη του έργου, μέχρις ότου τεθεί σε λειτουργία το σύστημα. Η ανάπτυξη αυτή αποτελείται από τρείς διαδοχικές φάσεις οι οποίες περιλαμβάνουν τον εντοπισμό του γεωθερμικού πεδίου (εξερεύνηση), την επιβεβαίωση της παραγωγικής του ικανότητας (επιβεβαίωση) και την κατασκευή των εγκαταστάσεων (εργασίες ανάπτυξης). Παρακάτω εξετάζουμε διαδοχικά κάθε φάση ανάπτυξης του έργου, προσδιορίζοντας τα βασικά σκέλη του κόστους και αναλύοντας τους παράγοντες που τα επηρεάζουν.

3.2 Εξερεύνηση

Η εξερεύνηση είναι η αρχική φάση ανάπτυξης και επιδιώκει να εντοπίσει ένα γεωθερμικό πεδίο που να παρέχει την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος. Η φάση αυτή ξεκινά με διάφορα είδη γεωλογικών και γεωχημικών ερευνών και αναλύσεων σε περιοχές όπου υπάρχει υποψία γεωθερμικής δραστηριότητας και ολοκληρώνεται με την γεώτρηση του πρώτου φρεατίου παραγωγής. Η φάση εξερεύνησης περιλαμβάνει την αναγνώριση και την εξερεύνηση της περιοχής, στάδια τα οποία αναλύονται πιο κάτω. Το συνολικό κόστος της εξερεύνησης μπορεί να κυμανθεί από 105 ως 225€
ανά εγκατεστημένο kW και αποτελεί περίπου το 5% του συνολικού κόστους της κύριας επένδυσης. Στη φάση εξερεύνησης οι γεωτρήσεις αποτελούν το σημαντικότερο τμήμα των δαπανών, οπότε οι παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος διάτρησης ουσιαστικά καθορίζουν και το κόστος της φάσης εξερεύνησης. Άλλες παράμετροι που έχουν επιπτώσεις στο κόστος εξερεύνησης είναι το ποσό των αρχικών διαθέσιμων πληροφοριών, η ακολουθία των μεθόδων και τεχνολογιών που περιλαμβάνονται σε κάθε στάδιο της εξερεύνησης, οι δαπάνες μισθώσεων, η τοπογραφία καθώς επίσης και η γεωλογική εφαρμοσμένη μηχανική σχετική με ζητήματα στατικής σταθερότητας.

α) Αναγνώριση της περιοχής

Κατά το στάδιο αυτό ερευνάται μία περιοχή προκειμένου να περιοριστεί το πεδίο εστίασης και να προσδιοριστούν οι τομείς πιθανού ενδιαφέροντος. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης πραγματοποιούνται γεωλογικές μελέτες, ανάλυση των διαθέσιμων γεωφυσικών στοιχείων, καθώς και γεωχημικές έρευνες. Οι δαπάνες αναγνώρισης της περιοχής, οι οποίες ανέρχονται περίπου σε 75€ ανά εγκατεστημένο kW [13], επηρεάζονται καθοριστικά τόσο από το ποσό των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με το γεωθερμικό πεδίο, όσο και από τη δυνατότητα πρόσβασης στα διάφορα σημεία ενδιαφέροντος της περιοχής.

β) Εξερεύνηση της περιοχής

Το στάδιο αυτό εφαρμόζεται σε πιο συγκεκριμένες και μικρότερης έκτασης περιοχές, σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν προκύψει από το προηγούμενο στάδιο. Στόχος λοιπόν στο σημείο αυτό είναι η διάνοιξη μίας αρχικής γεώτρησης μικρής διαμέτρου ή ενός φρεατίου παραγωγής. Τα αποτελέσματα των γεωφυσικών ερευνών και οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της γεώτρησης είναι τα σημαντικότερα στοιχεία αυτής της φάσης. Ενθαρρυντικά αποτελέσματα από τα προγενέστερα βήματα εξερεύνησης μπορεί να οδηγήσουν στο πρώτο βαθύ φρεάτιο εξερεύνησης. Η πραγματοποίηση γεώτρησης είναι το ακριβότερο κομμάτι της φάσης εξερεύνησης της περιοχής, αλλά και ο μόνος διαθέσιμος τρόπος μέχρι σήμερα για να επιβεβαιωθεί η θερμοκρασία και η παραγωγική δυνατότητα του γεωθερμικού πεδίου. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειώσουμε ότι άλλοτε γίνεται γεώτρηση ενός παραγωγικού φρεατίου και άλλοτε πραγματοποιείται μια λεπτή γεώτρηση. Η λεπτή γεώτρηση παρέχει πολλές πληροφορίες σχετικά με τη στεγανότητα, τα μεταλλεύματα και άλλα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού συστήματος. Το βασικό της μειονέκτημα όμως, εκτός του ότι σπάνια χρησιμεύει ως φρεάτιο παραγωγής ή επανεισαγωγής, είναι ότι η γεώτρηση αυτή είναι σχετικά ρηχή και δεν φθάνει πάντα μέχρι το βάθος του ταμιευτήρα, πράγμα το οποίο καθιστά αδύνατες τις λεπτομερείς δοκιμές ροής. Έτσι συχνά επιλέγεται να μην χρησιμοποιηθεί και να πραγματοποιηθεί στη θέση της πλήρης γεώτρηση ενός φρεατίου παραγωγής. Αν και το κόστος σε αυτή τη περίπτωση είναι διπλάσιο σε σχέση με τη διάνοιξη λεπτής γεώτρησης, το φρεάτιο παραγωγής θα χρησιμοποιηθεί για ακριβείς δοκιμές ροής και θα είναι διαθέσιμο για μελλοντική ενεργειακή παραγωγή. Οι δαπάνες του συγκεκριμένου σταδίου ανέρχονται σε περίπου 80€ ανά εγκατεστημένο kW. Το κόστος της γεώτρησης, το οποίο αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος αυτού του σταδίου, επηρεάζεται καθοριστικά από τη γεωλογική κατάσταση της περιοχής καθώς και από το βάθος των πηγών.

3.3 Επιβεβαίωση

Στη φάση αυτή θα πρέπει να επιβεβαιωθεί ότι το δυναμικό του γεωθερμικού πεδίου είναι σε θέση να καλύψει το 25% των απαιτήσεων του συστήματος που μελετάται για εγκατάσταση. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιούνται γεωτρήσεις και ελέγχεται η παροχή τους μέχρι να ικανοποιηθεί η παραπάνω συνθήκη. Υπάρχει πάντα η πιθανότητα, η

συνθήκη αυτή να ικανοποιείται από τη γεώτρηση της φάσης εξερεύνησης. Η φάση επιβεβαίωσης περιλαμβάνει επίσης το σχεδιασμό του δικτύου μεταφοράς των ρευστών, καθώς και τη διάνοιξη μερικών γεωτρήσεων, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα επανεισαγωγής τους στον ταμιευτήρα μετά την πραγματοποίηση των απαραίτητων δοκιμών.

Εκτός από την επιβεβαίωση του ενεργειακού δυναμικού ενός γεωθερμικού πόρου, μία πολύ σημαντική παράμετρος σε αυτή τη φάση έχει να κάνει με την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Για να υπάρχει δυνατότητα δανειοδότησης του έργου, θα πρέπει να είναι ήδη επιβεβαιωμένο το 25% της συνολικής ισχύος του συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι, όπως και στη φάση εξερεύνησης, όλες οι δαπάνες κατά τη διάρκεια της φάσης επιβεβαίωσης πρέπει να χρηματοδοτηθούν με ιδία κεφάλαια.

Οι δαπάνες γεώτρησης αποτελούν συνήθως το 80% των συνολικών δαπανών στη φάση επιβεβαίωσης. Το υπόλοιπο 20% επιμερίζεται κυρίως στον έλεγχο των φρεατίων, στην υποβολή αναφορών και εκθέσεων και στην διαδικασία αδειοδότησης. Οι προκύπτουσες δαπάνες επιβεβαίωσης μπορούν εντούτοις να παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των πηγών και το ποσοστό επιτυχίας των γεωτρήσεων. Άλλοι παράμετροι που επηρεάζουν το κόστος είναι η δυνατότητα πρόσβασης των διατρητικών μηχανημάτων στην περιοχή και οι πιθανές καθυστερήσεις λόγω ρυθμιστικών ή αδειοδοτικών ζητημάτων. Οποιαδήποτε καθυστέρηση κατά τη διάρκεια ή και μετά από αυτήν τη φάση αντιστοιχεί σε αύξηση των πραγματικών δαπανών.

Η διάκριση μεταξύ της εξερεύνησης και της επιβεβαίωσης είναι μερικές φορές δύσκολο να γίνει. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα μικρά έργα που δεν απαιτούν πολλά φρεάτια παραγωγής. Εάν εξετάζονταν από κοινού η εξερεύνηση και η επιβεβαίωση, το συνδυασμένο κόστος τους υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε 270€ ανά εγκατεστημένο kW. [13]

3.4 Έργα ανάπτυξης

Η φάση των έργων ανάπτυξης καλύπτει τα κόστη όλων των υπόλοιπων εργασιών και εξοπλισμού που απαιτούνται μέχρι να τεθεί το σύστημα σε λειτουργία και να συνδεθεί με το δίκτυο. Περιλαμβάνει λοιπόν, το κόστος των γεωτρήσεων ή της εκσκαφής, του γεωθερμικού εναλλάκτη, της αντλίας θερμότητας, του εσωτερικού συστήματος για θέρμανση και ψύξη και των σωληνώσεων. Πιο συγκεκριμένα, η φάση αυτή χωρίζεται σε πέντε τομείς, οι οποίοι αναλύονται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

3.4.1 Κόστος Γεώτρησης

Το κόστος γεώτρησης διαμορφώνεται από δύο κύριους παράγοντες: (α) το κόστος γεώτρησης ενός μεμονωμένου φρεατίου και, (β) τον αριθμό των φρεατίων που θα διανοιχθούν. Το κόστος ενός μεμονωμένου φρεατίου σχετίζεται κυρίως με το βάθος και τη διάμετρο των γεωτρήσεων, με τις ιδιότητες των πετρωμάτων που βρίσκονται πάνω από τον

ταμιευτήρα, καθώς επίσης και με τη χημική σύσταση των γεωθερμικών ρευστών. Η σημαντικότερη βέβαια παράμετρος που επιδρά στο κόστος μιας γεώτρησης είναι το βάθος στο οποίο θα πρέπει να φτάνει το φρεάτιο παραγωγής. Η παραγωγική ικανότητα των φρεατίων εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία και τη πίεση της πηγής, καθώς επίσης και από τη διαπερατότητα του πετρώματος.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η πρώτη γεώτρηση, στη φάση της εξερεύνησης, έχει 25% πιθανότητες να χρησιμοποιηθεί ως φρεάτιο παραγωγής. Οι πιθανότητες αυτές όμως βελτιώνονται σε 60% στη φάση της επιβεβαίωσης και σε 70 με 80% στη φάση των έργων ανάπτυξης. Ο λόγος στον οποίο οφείλεται αυτή η βελτίωση των πιθανοτήτων είναι ότι κάθε φάση τροφοδοτεί την επόμενη με πολύ χρήσιμα στοιχεία και πληροφορίες σχετικά με το γεωθερμικό πεδίο και τη συμπεριφορά του.

Εκτός από τους γεωλογικούς και γεωθερμικούς παράγοντες, το κόστος των γεωτρήσεων επηρεάζεται και από παραμέτρους της αγοράς. Δεδομένου ότι τόσο η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου όσο και η γεωθερμική βιομηχανία χρησιμοποιούν την ίδια τεχνολογία και εξειδικευμένο εξοπλισμό γεωτρήσεων, μπορεί αυτός ο εξοπλισμός και τα μηχανήματα να μην είναι εύκολα διαθέσιμα μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Όταν οι συνθήκες στην αγορά και οι τιμές ενέργειας προκαλούν απαιτήσεις για περαιτέρω εξερεύνηση και ανάπτυξη και των δύο βιομηχανιών, ο περιορισμένος αριθμός εξοπλισμού γεωτρήσεων θα πρέπει να μοιραστεί μεταξύ τους, ενώ τα συνεργεία γεώτρησης θα προτιμήσουν τις καλύτερες προσφορές. Έτσι λοιπόν, σε περιόδους όπου υπάρχει αστάθεια στην αγορά λόγω μεταβολής της ισορροπίας μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης είναι πιθανόν το κόστος των υπηρεσιών γεώτρησης να εκτοξευθεί σημειώνοντας αύξηση της τάξης του 20% ή και περισσότερο. Η ίδια λογική ισχύει και στους άλλους παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος γεώτρησης. Στην παρούσα εργασία το κόστος της γεώτρησης ανά μέτρο έχει επιλεγεί να είναι 14 ευρώ. [Παράρτημα]

3.4.2 Κόστος εκσκαφής

Γενικά η πραγματοποίηση εκσκαφής,όταν ο διαθέσιμος χώρος για την γεωθερμία είναι αρκετός, θεωρείται πιο οικονομική από τις γεωτρήσεις γιατί το βάθος της εκσκαφή είναι 2-3 μέτρα. Το κόστος της εκσκαφής εξαρτάται από τα κυβικά μέτρα της εκσκαφής. Για την παρούσα εργασία το κόστος εκσκαφής έχει επιλεγεί να είναι 4.10 ευρώ ανά κυβικό μέτρο.

3.4.3 Κόστος του γεωεναλλάκτη

Το κόστος του οριζόντιου γεωεναλλάκτη που τοποθετείται στην εκσκαφή υπολογίζεται σε 3.2 ευρώ ανά μέτρο του γεωεναλλάκτη. Οπότε εφόσον γνωρίζουμε τα μέτρα του γεωεναλλάκτη μπορούμε να υπολογίσουμε το κόστος του. Το κόστος του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη,ο οποίος τοποθετείται στις γεωτρήσεις, υπολογίζεται σε 370 ευρώ. [Παράρτημα]

3.4.4 Κόστος αντλίας θερμότητας

Στην αγορά είναι διαθέσιμες αντλίες θερμότητας με διάφορες τιμές. Για την παρούσα εργασία έχουν επιλεγεί τρεις αντλίες θερμότητας που κυκλοφορούν στην αγορά. Η πρώτη αντλία έχει ισχύ 15 kW και κόστος 3552 ευρώ, η δεύτερη αντλία έχει ισχύ 32 kW και κόστος 6935 ευρώ και τέλος αντλία με ισχύ 69 kW και κόστος 12.265 ευρώ. Ανάλογα με τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου επιλέγεται και η κατάλληλη αντλία θερμότητας.

3.4.5 Κόστος εσωτερικού συστήματος

Το εσωτερικό σύστημα για θέρμανση και ψύξη μπορεί να αποτελείται είτε από ενδοδαπέδια θέρμανση είτε από fan coils.Για την εργασία έχουν επιλεγεί τρία είδη fan coil. Το fan coil δαπέδου με κόστος 326 ευρώ, με ισχύ θέρμανσης 12.02 kW και ισχύ ψύξης 5.09 kW, το fan coil οροφής κρυφό με κόστος 254 ευρώ, με ισχύ θέρμανσης 10.54 kW και ισχύ ψύξης 4.35 kW και τέλος το fan coil κασέτα οροφής με κόστος 541 ευρώ,ισχύ θέρμανσης 10.56 και ισχύ ψύξης 4.35 kW. Επίσης για την ενδοδαπέδια θέρμανση το κόστος ανά τετραγωνικό είναι 65 ευρώ. [14]

3.4.6 Λοιπές δαπάνες

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες σχετικές με νομικά και αδειοδοτικά θέματα. Στις δαπάνες αυτές, οι οποίες αντιπροσωπεύουν περίπου το 1% του συνολικού κόστους της κύριας επένδυσης, εντάσσεται και το κόστος των ανεπιτυχών επιχειρήσεων στη φάση της εξερεύνησης καθώς και παροχές για τυχόν απρογραμμάτιστα και απρόβλεπτα έξοδα.

3.5 Κόστος συντήρησης και λειτουργίας

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελείται από όλες τις δαπάνες που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της φάσης λειτουργίας του γεωθερμικού συστήματος. Οι δαπάνες αυτές εξαρτώνται από την ποιότητα και το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων παραγωγής, τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής πηγής και τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς Σημαντικές ακόμη παράμετροι που έχουν επιπτώσεις στο κόστος λειτουργίας και συντήρησης σχετίζονται με τις δαπάνες εργασίας, την ποσότητα των χημικών ουσιών και των υπόλοιπων αναλωσίμων υλικών που χρησιμοποιούνται κατά τη λειτουργία, το μέγεθος των γεωτρήσεων συντήρησης που απαιτούνται, και το κόστος του εξοπλισμού που πρέπει να αντικατασταθεί στη διάρκεια ζωής του έργου.

Επίσης, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ενός γεωθερμικού συστήματος δεν είναι σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών λειτουργίας, οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης αναμένονται να είναι σχετικά χαμηλές αλλά αυξάνονται σταδιακά, καθώς με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται η ηλικία του εξοπλισμού, πράγμα που οδηγεί στην αύξηση του κόστους συντήρησης, ενώ συχνά απαιτούνται και αντικαταστάσεις ορισμένων τμημάτων.

Το κόστος συντήρησης συγκεκριμένα περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες σχετικές με τη συντήρηση του εξοπλισμού για την ομαλή και αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

3.7 Μέθοδοι οικονομικής ανάλυσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε την οικονομική ανάλυση της βιωσιμότητας ενός γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης/ψύξης κτηρίων. Αρχικά θα οριστούν κάποιες οικονομικές παράμετροι της εγχώριας αγοράς καθώς και ο τρόπος που επηρεάζουν την ανάλυση της επένδυσης στο παρόν σύστημα.

3.7.1 Ορισμοί οικονομικών παραμέτρων

Για την οικονομική αξιολόγηση της υπό εξέταση επένδυσης απαιτείται ο ορισμός των παρακάτω παραμέτρων:

Χρονικός ορίζοντας επένδυσης

Ο χρονικός ορίζοντας της αξιολόγησης της επένδυσης δεν μπορεί να υπερβαίνει το όριο ζωής των συσκευών του συστήματος. Η παρούσα εργασία έχει μελετηθεί για περίοδο ανάλυσης βιωσιμότητας ίση με 25 έτη.

Παράμετροι εγχώριας οικονομίας

Μια παράμετρος που επηρεάζει σημαντικά την ανάλυση της παρούσας επένδυσης είναι ο πληθωρισμός g(%). Πληθωρισμός ορίζεται η αύξηση του κόστους των αγαθών και των υπηρεσιών ανά μονάδα χρόνου. Συνήθως αναφέρεται ανά έτος. Από τη διερεύνηση των διαθέσιμων επίσημων ιστορικών στοιχείων της εγχώριας οικονομίας δεικτών κατά τη διάρκεια της ανάλυσης ο μέσος ετήσιος πληθωρισμός επιλέγεται ίσος με 2.9%. Μια ακόμα αναγκαία παράμετρος για την οικονομική αξιολόγηση της μελέτης που μοντελοποιείται στο σύστημα είναι το κόστος ευκαιρίας, ο υπολογισμός του οποίου είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας. Η παράμετρος αυτή εμπλέκεται λόγω της ιδιότητας του χρήματος να μην διατηρεί σταθερή την αξία του. Αυτό συμβαίνει επειδή ένα δολάριο σήμερα έχει μεγαλύτερη αξία από αύριο, επειδή το δολάριο σήμερα μπορεί να επενδυθεί για να αρχίζει να κερδίζει τόκο αμέσως. Για αυτό η παρούσα αξία μιας καθυστερημένης απολαβής μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την απολαβή με

έναν προεξοφλητικό παράγοντα ο οποίος είναι μικρότερος του 1. Ενώ η παρούσα αξία μιας μελλοντικής απολαβής μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την απολαβή με τον ίδιο προεξοφλητικό παράγοντα προσθέτοντας επιπλέον την αξία της απολαβής. Το κόστος ευκαιρίας του κεφαλαίου υπολογίζεται ως ο αριθμητικός μέσος όρος των σταθερών επιτοκίων που μπορεί να δώσει το σύνολο των τραπεζών.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται το σύνολο των σταθερών επιτοκίων των Ελληνικών τραπεζών για επιχειρηματικό δάνειο με εξόφληση από 20 έως 25 χρόνια.

ΤΡΑΠΕΖΕΣ	**ΕΠΙΤΟΚΙΑ**
Εθνική τράπεζα	**8.60%**
Probank	**10.75%**
Marfin	**10.35%**
Alpha	**8.65%**
Πειραιώς	**9.25%**
Εμπορική	**9.00%**
ATE Bank	**8.50%**
Attica Bank	**8.65%**
Κύπρου	**9.45%**

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα το κόστος ευκαιρίας (ή επιτόκιο αναγωγής ή προεξοφλητικό επιτόκιο) i είναι ίσο με 9.24%. Τέλος ο ετήσιος συντελεστής συντήρησης των συσκευών του συστήματος λαμβάνεται ίσος με 2% επί της τιμής αγοράς.

Φορολογία της επένδυσης

Το γεωθερμικό σύστημα της παρούσας εργασίας αποτελεί εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.Επειδή όμως αποτελεί επένδυση η οποία δεν αποφέρει έσοδα, δεν φορολογείται.

Επιδότηση εγκατάστασης

Το γεωθερμικό σύστημα της παρούσας εργασίας αποτελεί σύστημα παραγωγής ενέργειας και θεωρείται εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτού του είδους οι εφαρμογές σύμφωνα με το ισχύον νομικό πλαίσιο λόγω της ωφελιμότητας τους ως προς το περιβάλλον τυγχάνουν επιδότησης.

Παρούσα αξία (P): Η μέθοδος της παρούσας αξίας μετατρέπει το σύνολο των χρηματορροών που αναμένεται να εμφανιστούν σε ένα χρονικό ορίζοντα σε μία μοναδική παρούσα αξία σε σταθερό χρόνο μηδέν. Αυτό το χρηματικό ποσό αναφέρεται ως παρούσα αξία. Εάν σήμερα επενδυθεί ποσό P, το άθροισμα κεφαλαίου και τόκων μετά από n έτη θα είναι:

$$F = P \cdot (1+i)^n$$

Αντίστροφα για να αποκτηθεί ποσό F μετά από N περιόδους, πρέπει σήμερα να επενδυθεί ποσό:

$$P = A \cdot PWF$$

όπου:

A είναι το ποσό της πρώτης πληρωμής

PWF είναι ο συντελεστής παρούσας αξίας που υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$PWF = \frac{1-\left(\frac{1+g}{1+i}\right)^n}{i-g}$$

Μέθοδος προσδιορισμού χρόνου απόσβεσης-αποπληρωμής

Ο χρόνος απόσβεσης είναι το χρονικό σημείο κατά το οποίο το άθροισμα του ποσού που μπορεί να διαθέσει ο ενδιαφερόμενος για την εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος στο κτήριο του με την παρούσα αξία (P),εξισώνεται με το ποσό που θα πλήρωνε ο ενδιαφερόμενος για την θέρμανση-ψύξη του κτηρίου χωρίς την εγκατάσταση γεωθερμικού συστήματος (δηλαδή με χρήση μόνο του ηλεκτρικού θερμαντή).

$$\Pi o\sigma\acute{o}_\delta\iota\alpha\theta\acute{\varepsilon}\sigma\iota\mu o_\alpha\pi\acute{o}\ \chi\rho\acute{\eta}\sigma\tau\eta + \mathrm{P} = \kappa\acute{o}\sigma\tau o\varsigma_\tau o\upsilon_\eta\lambda\varepsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa o\acute{\upsilon}_\rho\varepsilon\acute{\upsilon}\mu\alpha\tau o\varsigma_\chi\omega\rho\acute{\iota}\varsigma_\gamma\varepsilon\omega\theta\varepsilon\rho\mu\acute{\iota}\alpha$$

όπου:

$$\kappa\acute{o}\sigma\tau o\varsigma_\tau o\upsilon_\eta\lambda\varepsilon\kappa\tau\rho\iota\kappa o\acute{\upsilon}_\rho\varepsilon\acute{\upsilon}\mu\alpha\tau o\varsigma_\chi\omega\rho\acute{\iota}\varsigma_\gamma\varepsilon\omega\theta\varepsilon\rho\mu\acute{\iota}\alpha =$$
$$\alpha\pi\alpha\iota\tau o\acute{\upsilon}\mu\varepsilon\nu\alpha_\mathrm{kw}_\gamma\iota\alpha_\theta\acute{\varepsilon}\rho\mu\alpha\nu\sigma\eta_\kappa\tau\iota\rho\acute{\iota}o\upsilon * \ \omega\rho\varepsilon\varsigma_\lambda\varepsilon\iota\tau o\upsilon\rho\gamma\acute{\iota}\alpha\varsigma_\alpha\nu\alpha_\mu\varepsilon\rho\alpha * 365 * \acute{\varepsilon}\tau\eta_\alpha\pi\acute{o}\sigma\beta\varepsilon\sigma\eta\varsigma$$

Αν λύσουμε την εξίσωση ως προς τα έτη_απόσβεσης υπολογίζουμε τα χρόνια που απαιτούνται μέχρις ότου ο χρήστης να αρχίσει να «κερδίζει» από το γεωθερμικό σύστημα σε σχέση με το συμβατικό σύστημα πετρελαίου.[15]

4. ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

4.1 Ιστορική αναδρομή

Οι γενετικοί αλγόριθμοι επινοήθηκαν από τον John Holland τη δεκαετία του '60 και αναπτύχθηκαν από τον ίδιο και τους φοιτητές του τις δεκαετίες του '60 και του '70. Οι γενετικοί αλγόριθμοι του Holland είναι μία μέθοδος μετακίνησης από ένα πληθυσμό "χρωμοσωμάτων" (π.χ. ακολουθίες από bits 1 και 0) σε ένα νέο πληθυσμό με ένα είδος "φυσικής επιλογής" μαζί με εμπνευσμένους από τη γενετική τελεστές "μετάλλαξης" (mutation) και "αντιστροφής" (inversion).

Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από "γονίδια" (δηλαδή bits) και κάθε γονίδιο είναι ένα συγκεκριμένο "αλληλόμορφο" (π.χ. 0 ή 1). Ο τελεστής επιλογής διαλέγει τα χρωμοσώματα εκείνα του πληθυσμού στα οποία θα επιτραπεί να αναπαραχθούν και κατά μέσον όρο τα χρωμοσώματα που "προσαρμόζονται" παράγουν περισσότερους απογόνους από τα λιγότερο προσαρμόσιμα. Η "διασταύρωση" ανταλλάσσει επιμέρους τμήματα των δύο χρωμοσωμάτων, μιμούμενη χονδρικά το βιολογικό επανασυνδυασμό μεταξύ δύο οργανισμών ενός απλού χρωμοσώματος. Η "μετάλλαξη" αλλάζει τυχαία τις μεταβολές των τιμών των αλληλομόρφων ορισμένων θέσεων στα χρωμοσώματα και η "αντιστροφή" αναστρέφει τη διάταξη μίας μικρής περιοχής του χρωμοσώματος, αναδιατάσσοντας έτσι τη σειρά με την οποία τοποθετούνται τα γονίδια. Σημειώνεται ότι οι όροι "διασταύρωση" και "επανασυνδυασμός" έχουν την ίδια σημασία. Η εισαγωγή από τον Holland ενός αλγορίθμου βασισμένου στον πληθυσμό με διασταύρωση, αντιστροφή και μετάλλαξη ήταν μία μεγάλη καινοτομία. Οι στρατηγικές εξέλιξης του Rechenberg ξεκίνησαν με έναν "πληθυσμό" δύο ατόμων, ενός γονέα και ενός απογόνου, όπου ο απόγονος είναι μία μεταλλαγμένη παραλλαγή του γονέα. Πληθυσμοί πολλών ατόμων με διασταύρωση συμπεριλήφθηκαν αργότερα. Αντίστοιχα, ο εξελικτικός προγραμματισμός του Walsh χρησιμοποιούσε μόνο μετάλλαξη για να προκαλέσει ποικιλία. Ο Holland ήταν αυτός ο οποίος προσπάθησε πρώτος να θέσει την υπολογιστική εξέλιξη σε σταθερή θεωρητική βάση (Holland 1975). Μέχρι πρόσφατα, η θεωρητική αυτή θεμελίωση, βασιζόμενη στη θεωρία των "σχημάτων" (schemas), ήταν το θεμέλιο όλων των μεταγενέστερων θεωρητικών μελετών επάνω στους γενετικούς αλγορίθμους.

Μόλις κατά τα τελευταία χρόνια υπήρξε ευρεία αλληλεπίδραση μεταξύ των ερευνητών οι οποίοι μελετούν τις μεθόδους του εξελικτικού υπολογισμού και έτσι τα σύνορα ανάμεσα στους γενετικούς αλγορίθμους, τις στρατηγικές εξέλιξης,* του εξελικτικού προγραμματισμού και άλλες εξελικτικές μεθοδολογίες έχουν σπάσει μέχρι κάποιο βαθμό. Σήμερα ο όρος "γενετικός αλγόριθμος" χρησιμοποιείται για να περιγράψει κάτι πολύ διαφορετικό από την αρχική ιδέα του Holland.

4.2 Ο βασικός γενετικός αλγόριθμος

Η ιδιότητα στην οποία έγκειται η ιδιαιτερότητα των γενετικών αλγορίθμων είναι ότι επιλύουν ένα πρόβλημα με «βιολογικό» τρόπο και όχι με μαθηματικό, γεγονός που τους δίνει μεγάλη ευελιξία. Βρίσκουν την βέλτιστη λύση ανεξάρτητα αν οι προδιαγραφές του προβλήματος είναι γραμμικές ή όχι, διακριτού ή συνεχούς χρόνου, πολλών ή λίγων ακρότατων, NP ή non-NP complete. Το βασικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, λοιπόν, είναι η μεγιστοποίηση μίας συνάρτησης πολλών μεταβλητών. Η μεγιστοποίηση έγκειται στην εύρεση του σωστού συνδυασμού των μεταβλητών για τον οποίο η συνάρτηση παίρνει την μέγιστη τιμή της.

Στους γενετικούς αλγόριθμους μια υποψήφια λύση ονομάζεται χρωμόσωμα. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από ένα σύνολο γονιδίων. Κάθε γονίδιο αντιπροσωπεύει μια μεταβλητή της συνάρτησης και μπορεί να παρασταθεί από μια σειρά δυαδικών ψηφίων. Αν έχουμε την συνάρτηση f(x,y,z,w), τότε μια υποψήφια λύση είναι της μορφής [x y z w] ή αν παρασταθεί με δυαδικά ψηφία, τότε είναι της μορφής [0010 | 0101 | 1101 | 0001].

Ένα σύνολο χρωμοσωμάτων συγκεκριμένου πληθυσμού καλείται γενεά. Ο γενετικός αλγόριθμος παράγει καινούριες γενεές με ένα σύνολο από πράξεις, με την τάση αυτές να είναι «καλύτερες», δηλαδή να δίνουν μεγαλύτερη τιμή στην συνάρτηση. Σε αυτό το σημείο έγκειται η αντιστοιχία με την φυσική διαδικασία της «επιβίωσης του ισχυρότερου». Οι πράξεις αυτές που χρησιμοποιούνται στην παραπάνω διαδικασία είναι η επιλογή, η διασταύρωση και η μετάλλαξη.

Α) Ο μηχανισμός της επιλογής (selection) είναι η διαδικασία κατά την οποία επιλέγεται το κριτήριο με βάση το οποίο κάποια χρωμοσώματα επιλέγονται για τις επόμενες γενεές αφού θα συμμετέχουν στις πράξεις που έπονται της επιλογής.

Β) Η πράξη της διασταύρωσης (crossover) λαμβάνει χώρα ανάμεσα σε δύο χρωμοσώματα. Αφού επιλεχθεί ένα τυχαίο σημείο ανάμεσα στα γονίδια, οι υποακολουθίες γονιδίων ανταλλάσσονται για να δημιουργηθούν έτσι δύο νέοι απόγονοι.

Γ) Η πράξη της μετάλλαξης που εφαρμόζεται μετά την πράξη της διασταύρωσης αλλάζει τυχαία κάποια από τα ψηφία ενός χρωμοσώματος. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε την εξής ακολουθία ψηφίων (χρωμόσωμα) 0 0 1 1 1 0 0 1 0 και έστω ότι συμβαίνει μετάλλαξη στο τρίτο και το τελευταίο χρωμόσωμα. Το νέο χρωμόσωμα θα είναι το 0 0 0 1 1 0 0 1 1. Η μετάλλαξη μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο του χρωμοσώματος με μια μικρή πιθανότητα.

Ο εξελικτικός κύκλος συνεχίζεται μέχρι να ισχύσει κάποια επιθυμητή συνθήκη τερματισμού. Η συνθήκη αυτή μπορεί να είναι το πλήθος των συνολικών εκτελέσεων του αλγορίθμου (αριθμός γενεών) ή μία προκαθορισμένη τιμή της συνάρτησης του προβλήματος.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η όλη διαδικασία που ακολουθεί μια εκτέλεση του βασικού γενετικού αλγορίθμου. Από μια γενεά i επιλέγονται με κάποιο μηχανισμό κάποια

χρωμοσώματα. Από αυτά κάποια δε θα συμμετάσχουν σε καμιά πράξη, ενώ κάποια θα διασταυρωθούν και άλλα θα μεταλλαχθούν δημιουργώντας έτσι μία νέα γενεά.

4.3 Αντικειμενική συνάρτηση και συνάρτηση προσαρμογής

Αντικειμενική συνάρτηση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης ορίζεται η συνάρτηση που αντιπροσωπεύει ένα πρόβλημα και την οποία επιθυμούμε να βελτιστοποιήσουμε. Ανάλογα με το πρόβλημα η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να εκφράζει οικονομικό κόστος, χρονικό κόστος, ποσότητα κάποιου μεγέθους κτλ. Συνάρτηση προσαρμογής

ενός γενετικού αλγορίθμου είναι η συνάρτηση εκείνη που προέρχεται από την αντικειμενική συνάρτηση μέσω κάποιας αντιστοίχισης – μετατροπής και η οποία χρησιμοποιείται από τον γενετικό αλγόριθμο για την πράξη της επιλογής. Ενώ η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να παίρνει και αρνητικές και θετικές τιμές, η συνάρτηση προσαρμογής πρέπει ναι παίρνει μόνο μη-αρνητικές τιμές. Αυτό που πρέπει να διευκρινιστεί είναι με ποιο τρόπο γίνεται η αντιστοίχιση μεταξύ της αντικειμενικής συνάρτησης και της συνάρτησης προσαρμογής.

Αρχικά διακρίνουμε δυο περιπτώσεις προβλημάτων, τα προβλήματα μεγιστοποίησης και τα προβλήματα ελαχιστοποίησης με αντικειμενική συνάρτηση την g(x) όπου το x είναι το διάνυσμα των μεταβλητών. Για να επιλύσουμε το πρόβλημα με γενετικό αλγόριθμο δεν έχουμε παρά να θεωρήσουμε τη συνάρτηση f(x) =-g(x), οπότε το πρόβλημα ελαχιστοποίησης μεταβάλλεται σε πρόβλημα μεγιστοποίησης.

Έστω τώρα ότι έχουμε ένα πρόβλημα μεγιστοποίησης μίας συνάρτησης. Για να μετατραπεί η αντικειμενική συνάρτηση g(X) σε συνάρτηση προσαρμογής (για να λαμβάνει δηλαδή μόνο μη-αρνητικές τιμές) χρησιμοποιείται η εξής μετατροπή:

$$f(x)=\left\{\begin{matrix} g(x)+Cmin, & g(x)+Cmin>0 \\ 0, \alpha\lambda\lambda\iota\acute{\omega}\varsigma & \end{matrix}\right\}$$

Το Cmin είναι μια παράμετρος εισόδου ή η απόλυτη τιμή της ελάχιστης τιμής της g(x) για την τρέχουσα γενεά. Για πρόβλημα ελαχιστοποίησης η αντιστοίχιση μεταξύ αντικειμενικής και συνάρτησης προσαρμογής είναι η εξής:

$$f(x)=\left\{\begin{matrix} Cmax-g(x), & \alpha\nu\ Cmax-g(x)>0 \\ 0, \alpha\lambda\lambda\iota\acute{\omega}\varsigma & \end{matrix}\right\}$$

Το Cmax είναι παράμετρος εισόδου αλλά το πιο σωστό είναι να επιλέγεται ως η μέγιστη τιμή της g(x) για κάθε γενεά.

4.4 Μηχανισμοί επιλογής

Η επιλογή αποτελεί την κρισιμότερη πράξη των γενετικών αλγορίθμων, αφού από αυτή προκύπτει το σύνολο εκείνων των χρωμοσωμάτων από τα οποία κάποια θα διασταυρωθούν και θα μεταλλαχθούν δίνοντας απογόνους στην επόμενη γενεά. Έχουν αναπτυχθεί πολλοί μηχανισμοί επιλογής, κοινό χαρακτηριστικό των οποίων είναι ότι χρησιμοποιούν την συνάρτηση προσαρμογής για να επιλέξουν ποια χρωμοσώματα θα χρησιμοποιηθούν. Ένα χρωμόσωμα με μεγαλύτερη τιμή της συνάρτησης προσαρμογής έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεχθεί από ένα άλλο με μικρότερη τιμή. Ο πιο διαδεδομένος μηχανισμός επιλογής χρωμοσωμάτων είναι ο μηχανισμός του τροχού της ρουλέτας.

Μία παραλλαγή της μεθόδου της ρουλέτας αποτελεί το ελιτιστικό μοντέλο (elitist model) στο οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος της ρουλέτας με τη διαφορά ότι ταυτόχρονα διατηρείται το καλύτερο (fittest) χρωμόσωμα από την προηγούμενη γενεά.

Με βάση το μοντέλο της αναμενόμενης τιμής (expected value model) κάθε χρωμόσωμα αντιστοιχεί σε ένα αριθμό ο οποίος μειώνεται κάθε φορά που το χρωμόσωμα επιλέγεται από τη μέθοδο της ρουλέτας. Αν αυτός ο αριθμός πάρει αρνητική τιμή, τότε το συγκεκριμένο χρωμόσωμα δε μπορεί πλέον να συμμετάσχει στην διαδικασία της επιλογής. Το ελιτιστικό μοντέλο αναμενόμενης τιμής είναι ο συνδυασμός των δύο προηγούμενων μοντέλων. Όλα τα παραπάνω μοντέλα προτάθηκαν από τον De Jong το 1975. Το 1985 ο Baker πρότεινε μία μέθοδο επιλογής γνωστή ως sorted selection method. Σε αυτή τη μέθοδο γίνεται αρχικά μία ταξινόμηση των χρωμοσωμάτων σύμφωνα με την τιμή της συνάρτησης προσαρμογής. Κατόπιν αντιστοιχίζεται αυθαίρετα στο καλύτερο χρωμόσωμα ο αριθμός συμμετοχής του στην επόμενη γενεά. Για τα υπόλοιπα χρωμοσώματα ο αριθμός συμμετοχής τους στην επόμενη γενεά προκύπτει γραμμικά.

4.5 Πιθανότητες διασταύρωσης και μετάλλαξης

Οι πιθανότητες διασταύρωσης pc και μετάλλαξης pm σχετίζονται με το πλήθος των χρωμοσωμάτων μίας γενεάς που εμπλέκονται στις διαδικασίες της διασταύρωσης και της μετάλλαξης. Αν π.χ. έχουμε ένα πληθυσμό 30 χρωμοσωμάτων και η πιθανότητα διασταύρωσης είναι 50% τότε αναμένονται 15 χρωμοσώματα να συμμετάσχουν σε πράξεις διασταύρωσης για να δώσουν απογόνους. Η επιλογή των πιθανοτήτων διασταύρωσης και μετάλλαξης έχει να κάνει με το εκάστοτε πρόβλημα. Ενδεικτικές τιμές σύμφωνα με την βιβλιογραφία είναι οι παρακάτω:

Για μεγάλους πληθυσμούς (50 - 100): pc= 60% και pm=0.1%

Για μικρούς πληθυσμούς (10 - 50): pc= 90% και pm=1%

4.6 Χειρισμός περιορισμών

Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης πρέπει να λυθεί μέσα σε ένα σύνολο από περιορισμούς. Οι περιορισμοί αυτοί αφορούν τις μεταβλητές του προβλήματος. Στις περιπτώσεις όπου έχουμε προβλήματα με περιορισμούς είναι συχνό το φαινόμενο να γεννιούνται κάποιες λύσεις μέσα από τη διαδικασία του αλγορίθμου που παραβιάζουν έναν ή περισσότερους από τους περιορισμούς. Απαιτείται λοιπόν η ύπαρξη συγκεκριμένων μηχανισμών χειρισμού αυτών των μη εφικτών λύσεων. Πολλοί μηχανισμοί διαχείρισης περιορισμών χρησιμοποιούν την λεγόμενη ‘‘penalty function’’ η οποία λειτουργεί ως εξής: ο αλγόριθμος τρέχει κανονικά και λύνει το πρόβλημα χωρίς να λαμβάνει υπ’ όψιν τους περιορισμούς. Όταν κατά την διαδικασία προκύπτουν χρωμοσώματα που παραβιάζουν τους περιορισμούς, τότε η πιθανότητα των χρωμοσωμάτων αυτών να επιλεχθούν κατά την πράξη της επιλογής μειώνεται. Αυτό γίνεται αν προσθέσουμε στην συνάρτηση προσαρμογής μια συνάρτηση penalty που μειώνει την τιμή προσαρμογής των χρωμοσωμάτων αυτών. Υπάρχουν διάφορες συναρτήσεις penalty. Αν η συνάρτηση είναι μια σταθερά, το penalty είναι συγκεκριμένο για κάθε χρωμόσωμα που παραβιάζει τους περιορισμούς. Επίσης αν το εκάστοτε χρωμόσωμα παραβιάζει τους περιορισμούς, όσο περισσότερο τους παραβιάζει, τόσο μεγαλύτερο και το penalty.[16]

5. ΤΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης ενός κτηρίου με σκοπό την βέλτιστη διαστασιολόγηση του (με την βοήθεια γενετικού αλγόριθμου της Matlab), ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση του συστήματος, σύμφωνα με τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου με το ελάχιστο τελικό κόστος. Όπως προαναφέρθηκε το γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία τμήματα: τον οριζόντιο ή κατακόρυφο γεωεναλλάκτη (ανάλογα με το αν οι ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου καλύπτονται με εκσκαφή ή γεωτρήσεις), την αντλία θερμότητας και το εσωτερικό σύστημα. Επίσης γίνεται χρήση και ενός ηλεκτρικού θερμαντή ο οποίος λειτουργεί συμπληρωματικά στο γεωθερμικό σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, όταν οι απαιτήσεις του κτηρίου σε θέρμανση δεν ικανοποιούνται πλήρως από το γεωθερμικό σύστημα, γίνεται η χρήση του θερμαντή ο οποίος καταναλώνει ηλεκτρικό ρεύμα για την λειτουργία του. Οι περιπτώσεις στις οποίες θα λειτουργήσει ο θερμαντής θα αναφερθούν αναλυτικά παρακάτω.

Αρχικά, ζητείται από τον χρήστη να εισάγει σε μία φόρμα κάποια δεδομένα που αφορούν τις ανάγκες του κτηρίου στο οποίο ενδιαφέρεται να εγκαταστήσει το γεωθερμικό σύστημα και κάποια οικονομικά δεδομένα. Φυσικά τα δεδομένα αυτά πρέπει να έχουν μελετηθεί πρώτα από έναν μηχανολόγο μηχανικό. Τα δεδομένα και οι αντίστοιχες μεταβλητές στον κώδικα της Matlab είναι οι εξής:

α) Τα τετραγωνικά μέτρα του κλιματιζόμενου χώρου (καθαρά) =>`m2_klimatizomenou_xwrou`

β) Οι διαστάσεις του διαθέσιμου χώρου για την γεωθερμία (μήκος και πλάτος) => `mhkos_geo, platos_geo`

γ) Οι θερμικές ανάγκες (kW) του κλιματιζόμενου χώρου κατά την χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο (σε αυτές τις ανάγκες συμπεριλαμβάνεται και η θέρμανση του νερού) =>`Qout_th, Qout_c`

δ) Η σύσταση του εδάφους στον διαθέσιμο χώρο για την γεωθερμία=>`systash_edafous`

ε) Η αξία του οικοπέδου ανά τετραγωνικό μέτρο=>`aksia_oikopedou`

ζ) Κόστος μελέτης-επίβλεψης=>`cost_meleths_epivlepshs`

η) Κόστος συναρμολόγησης του συστήματος (υδραυλικά, ηλεκτρολογικά κτλ) =>`cost_egatastashs`

θ) Τυχόν απρόβλεπτα έξοδα=>`epiprostheta_costh`

Στη συνέχεια ο χρήστης εισάγει κάποια οικονομικά δεδομένα:

α) Το ποσό του δανείου που έχει πάρει ο χρήστης και το επιτόκιο αποπληρωμής του=>`poso_daneiou, epitokio_daneiou`

β) Το διάστημα εξόφλησης του δανείου σε έτη=>`diasthma_eksoflhshs_daneiou`

γ) Το ύψος της επιδότησης που δικαιούται=>`ypsos_epidothshs`

δ) Το ποσό που διαθέτει ο χρήστης=>`poso_diathesimo_apo_xrhsth`

Χρησιμοποιώντας λοιπόν όλα αυτά τα δεδομένα και με τη χρήση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης GA της Matlab υπολογίζονται οι τιμές των παραμέτρων του συστήματος που είναι τα τετραγωνικά μέτρα της γεωθερμίας και η ισχύς του θερμαντή, με τις οποίες επιτυγχάνεται το ελάχιστο τελικό κόστος του συστήματος. Επίσης γίνεται επιλογή του τύπου του εσωτερικού συστήματος δηλαδή ενδοδαπέδια θέρμανση ή fan coils διάφορων τύπων, οι ώρες λειτουργίας του συστήματος (5 ή 7 ώρες) ανά ημέρα.

5.1 Περιγραφή αλγορίθμου βέλτιστης διαστασιολόγησης γεωθερμικού συστήματος

Όπως προαναφέρθηκε ο αλγόριθμος ξεκινά με την εισαγωγή των παραπάνω δεδομένων του χρήστη στην κύρια συνάρτηση (GA_COST). Έχει ληφθεί σαν περιορισμός ότι οι ελάχιστες διαστάσεις του διαθέσιμου χώρου για την γεωθερμία θα είναι 25 m^2 αλλιώς δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί ούτε γεώτρηση ούτε εκσκαφή. Στη συνέχεια καλούνται οι δύο συναρτήσεις που περιέχουν τον αντίστοιχο κώδικα για την γεώτρηση και την εκσκαφή (COST_ GEWTRHSHS COST_EKSKAFHS)

<u>Συνάρτηση γεώτρησης (COST_GEWTRHSHS)</u>

Στην συνάρτηση αυτή αρχικά γίνεται η επιλογή της κατάλληλης αντλίας θερμότητας ανάλογα με τις ανάγκες του κτηρίου. Έχουν επιλεγεί τρεις τύποι αντλιών που κυκλοφορούν στο εμπόριο ανάλογα με τα kW που αποδίδουν. Για 5<Qout_th<32 το κόστος της αντίστοιχης αντλίας είναι 3552 ευρώ και αποδίδει 15kW, για 32<Qout_th<69 το κόστος της αντίστοιχης αντλίας είναι 6935 και αποδίδει 32kW για Qout_th>69 το κόστος της αντλίας είναι 12.265 και αποδίδει 69kW.Στη συνέχεια υπολογίζεται η μέγιστη απορροφόμενη ισχύς από την αντλία Win η οποία είναι ίση με το 25% των kW που αποδίδει η αντλία. Ο υπολογισμός του Win θα εξυπηρετήσει τον υπολογισμό του κόστους του ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνει η αντλία. Επίσης εξυπηρετεί και στον

υπολογισμό του συντελεστή απόδοσης της αντλίας (Coefficient of performance, COP) κατά την χειμερινή περίοδο COPth και κατά την θερινή περίοδο COPc.

Ακολουθεί ο έλεγχος για την σύσταση εδάφους του διαθέσιμου χώρου στον οποίο θα πραγματοποιηθούν οι γεωτρήσεις. Ανάλογα με τις ώρες λειτουργίας του συστήματος την ημέρα (5 ή 7) και ανάλογα με την σύσταση του εδάφους του διαθέσιμου χώρου για τη γεωθερμία επιλέγονται τα watt που θα αποδίδει ο γεωεναλλάκτης ανά τετραγωνικό μέτρο. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα μέτρα του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη και τα kW που αποδίδει. Αρχικά το βάθος κάθε γεώτρησης επιλέγεται να είναι 100 μέτρα. Οπότε με δεδομένα τα μέτρα του γεωεναλλάκτη και το βάθος κάθε γεώτρησης υπολογίζεται το πλήθος των γεωτρήσεων που απαιτούνται για να χωρέσει ο κατακόρυφος γεωεναλλάκτης. Άρα τα kW που αποδίδει ο εγκατεστημένος γεωεναλλάκτης αποτελούν τα kW που αποδίδει το γεωθερμικό σύστημα. Επίσης εφόσον γνωρίζουμε ότι τα τετραγωνικά μέτρα μιας γεώτρησης είναι 25 και έχουμε υπολογίσει το πλήθος των γεωτρήσεων μπορούμε να υπολογίσουμε τα συνολικά τετραγωνικά μέτρα που θα καλύπτουν όλες οι γεωτρήσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν.

Στη συνέχεια για να επιλεγεί το εσωτερικό σύστημα που θα εγκατασταθεί γίνονται οι παρακάτω έλεγχοι και υπολογισμοί:

1. Αρχικά γίνεται ο έλεγχος για το εάν χωράνε οι απαραίτητες γεωτρήσεις στον χώρο που διατίθεται για την πραγματοποίηση τους. Εάν ο διαθέσιμος χώρος είναι μικρότερος από τον χώρο που καλύπτουν οι γεωτρήσεις τότε πραγματοποιούνται όσες γεωτρήσεις μπορούν να χωρέσουν με βάθος όμως 200 μέτρων. Πρέπει να τονιστεί ότι μεταξύ των γεωτρήσεων είναι απαραίτητο να υπάρχει μια απόσταση 5 μέτρων. Εάν παρόλα αυτά δεν χωρέσει όλος ο γεωεναλλάκτης που απαιτείται για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του κτηρίου στις γεωτρήσεις που χωρούν στον διαθέσιμο χώρο, τότε μπαίνει σε λειτουργία ο ηλεκτρικός θερμαντής του οποίου η ισχύς είναι ίση με την διαφορά μεταξύ της ισχύος (kW) που απαιτείται για την θέρμανση του σπιτιού (Qout_th) και της ισχύος που αποδίδει ο κατακόρυφος γεωεναλλάκτης που τοποθετήθηκε στις γεωτρήσεις. Εάν όμως ο διαθέσιμος χώρος είναι αρκετός ώστε να πραγματοποιηθούν όλες οι απαραίτητες γεωτρήσεις, τότε δεν γίνεται χρήση του θερμαντή.
2. Στην συνέχεια επιλέγεται το εσωτερικό σύστημα που θα τοποθετηθεί στο κτήριο. Έχουν επιλεγεί τρία είδη fan coil που κυκλοφορούν στο εμπόριο:α) fan coil με τιμή 326 ευρώ, β) fan coil με τιμή 254 ευρώ, γ) fan coil με των 541 ευρώ, όπως επίσης και ενδοδαπέδια θέρμανση με κόστος 65 ευρώ το τετραγωνικό μέτρο. Όταν λειτουργεί ο θερμαντής οι τιμές των fan coil και της ενδοδαπέδιας αυξάνονται κατά 20% της αρχικής τιμής τους.
3. Τέλος αφού έχουν γίνει τα παραπάνω βήματα υπολογίζεται η αντικειμενική συνάρτηση κόστους για την διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος η οποία είναι της μορφής:

g(ισχύς_θερμαντή,m^2_γεωθερμίας,ώρες_λειτουργίας_ανά_ημέρα,εσωτερικό_σύστημα) =ICn+FCn

όπου:

$$\mathbf{ICn = ICo - \upsilon\psi o\varsigma_\varepsilon\pi\iota\delta\acute{o}\tau\eta\sigma\eta\varsigma - \pi o\sigma\acute{o}_\delta\iota\alpha\theta\acute{\varepsilon}\sigma\iota\mu o_\alpha\pi\acute{o}_\chi\rho\acute{\eta}\sigma\tau\eta}$$

$$\mathbf{FCn = \varepsilon\tau\acute{\eta}\sigma\iota o\varsigma_\sigma\upsilon\nu\tau\varepsilon\lambda\varepsilon\sigma\tau\acute{\eta}\varsigma_\sigma\upsilon\nu\tau\acute{\eta}\rho\eta\sigma\eta\varsigma * ICo * (1+g) * \frac{1-\left(\frac{1+g}{1+i}\right)^n}{i-g}}$$

g είναι ο ετήσιος πληθωρισμός
i είναι το ετήσιο κόστος ευκαιρίας
n είναι ο χρονικός ορίζοντας της μελέτης
ICn είναι το συνολικό κόστος εγκατάστασης του συστήματος ανοιγμένο στο n-οστό έτος
FCn είναι το κόστος συντήρησης του συστήματος το n-οστό έτος
ICo είναι το κόστος αγοράς των τμημάτων του συστήματος καθώς και το κόστος αγοράς της έκτασης για την εγκατάσταση του συστήματος

Πιο αναλυτικά το ICo υπολογίζεται ως εξής:

ICo=κόστος_μελέτης_επίβλεψης+κόστος_εγκατάστασης+κόστος_αντλίας+συνολικό_κόστος_γεωτρήσεων+κόστος_των_fan_coils+κόστος_ενδοδαπέδιας+κόστος_ρευματος_από_θερμαντή_και_αντλία+κόστος_οικοπεδου+κόστος_γεωεναλλάκτη+επιπρόσθετα_κόστη

Συνάρτηση εκσκαφής (COST_EKSKAFHS)

Στην συνάρτηση αυτή αρχικά γίνεται η επιλογή της κατάλληλης αντλίας θερμότητας ανάλογα με τις ανάγκες του κτηρίου και ο έλεγχος για την σύσταση εδάφους του διαθέσιμου χώρου στον οποίο θα πραγματοποιηθεί η εκσκαφή με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε στην συνάρτηση γεώτρησης. Στην συνέχεια υπολογίζονται τα μέτρα του οριζόντιου γεωεναλλάκτη που πρέπει να τοποθετηθούν στην εκσκαφή για να καλυφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου.

1. Λαμβάνεται η μικρότερη διάσταση (μήκος ή πλάτος) του διαθέσιμου χώρου για την γεωθερμία ως η μια διάσταση της εκσκαφής. Εφόσον γνωρίζω τα μέτρα του οριζόντιου γεωεναλλάκτη που πρέπει να τοποθετηθούν και γνωρίζω τη μια διάσταση της εκσκαφής (μήκος) μπορώ να υπολογίσω το πλάτος της εκσκαφής και κατ'επέκταση και το συνολικό εμβαδόν της εκσκαφής. Το βάθος της εκσκαφής έχει επιλεγεί να είναι 2.5 μέτρα, οπότε στη συνέχεια μπορώ να υπολογίσω τα κυβικά μέτρα της εκσκαφής (2.5*εμβαδόν εκσκαφής). Στην συνέχεια υπολογίζεται η ισχύς (kW) του οριζόντιου γεωεναλλάκτη η οποία αποτελεί την ισχύ του γεωθερμικού συστήματος. Στην περίπτωση όμως που το πλάτος της εκσκαφής είναι μεγαλύτερο από το πλάτος του διαθέσιμου χώρου τότε χρησιμοποιούνται όσα τετραγωνικά είναι διαθέσιμα για να πραγματοποιηθεί η εκσκαφή. Σε αυτή την περίπτωση λειτουργεί ο θερμαντής συμπληρωματική, γιατί το σύστημα δεν θα αποδίδει τέτοια ισχύ ώστε να καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου.
2. Στην συνέχεια επιλέγεται το εσωτερικό σύστημα με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που περιγράφηκε στην συνάρτηση της γεώτρησης.

3. Τέλος αφού έχουν γίνει τα παραπάνω βήματα υπολογίζεται η αντικειμενική συνάρτηση κόστους για την διαστασιολόγηση του γεωθερμικού συστήματος η οποία είναι της μορφής:

g(ισχύς_θερμαντή,m^2_γεωθερμίας,ώρες_λειτουργίας_ανά_ημέρα,εσωτερικό_σύστημα) =ICn+FCn

όπου:

ICn=ICo-υψος_επιδότησης-ποσό_διαθέσιμο_από_χρήστη

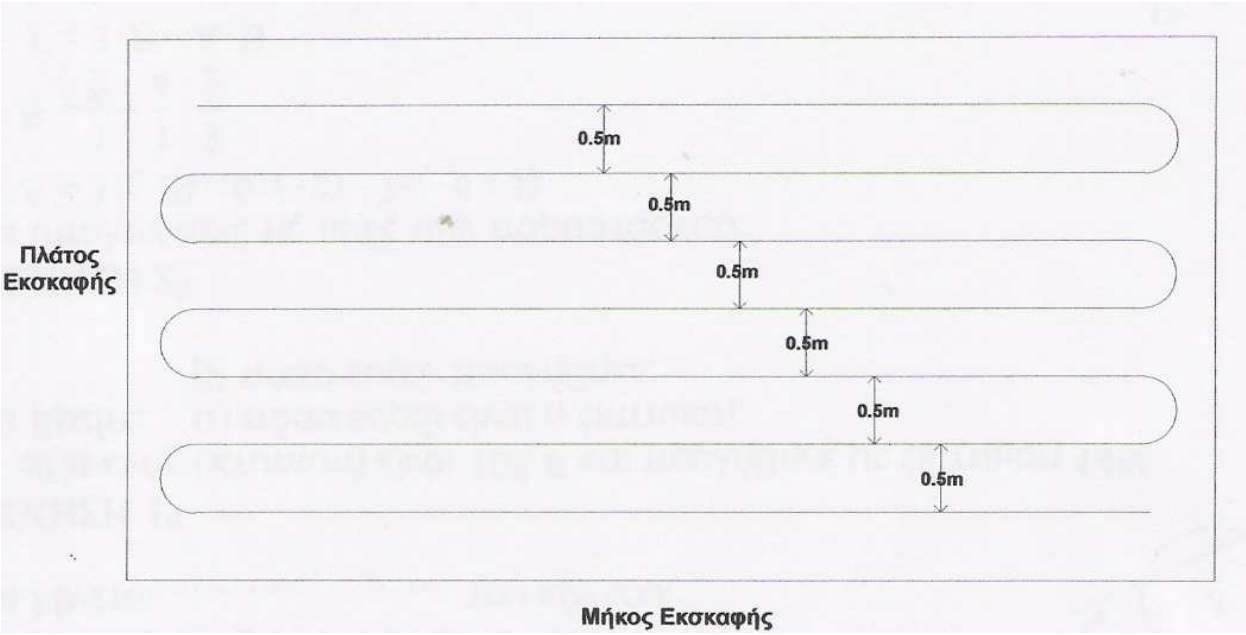
$$\mathbf{FCn} = \mathbf{\varepsilon\tau\acute{\eta}\sigma\iota o\varsigma_\sigma\upsilon\nu\tau\varepsilon\lambda\varepsilon\sigma\tau\acute{\eta}\varsigma_\sigma\upsilon\nu\tau\acute{\eta}\rho\eta\sigma\eta\varsigma} * \mathbf{ICo} * (\mathbf{1}+\mathbf{g}) * \frac{1-\left(\frac{1+g}{1+i}\right)^n}{i-g}$$

g είναι ο ετήσιος πληθωρισμός
i είναι το ετήσιο κόστος ευκαιρίας
n είναι ο χρονικός ορίζοντας της μελέτης
ICn είναι το συνολικό κόστος εγκατάστασης του συστήματος ανοιγμένο στο n-οστό έτος
FCn είναι το κόστος συντήρησης του συστήματος το n-οστό έτος
ICo είναι το κόστος αγοράς των τμημάτων του συστήματος καθώς και το κόστος αγοράς της έκτασης για την εγκατάσταση του συστήματος

Πιο αναλυτικά το ICo υπολογίζεται ως εξής:

ICo_ekskafhs= κόστος_μελέτης_επίβλεψης+κόστος_εγκατάστασης+κόστος_αντλίας +m^3_εκσκαφής*κόστος_εκσκαφής_ανα_m^3+κόστος_των_fan_coils+κόστος_ενδοδαπέδιας+κόστος_ρευματος_από_θερμαντή_και_αντλία+κόστος_οικοπεδου+κόστος_γεωεναλλάκτη+επιπρόσθετα_κόστη

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τον τρόπο με τον οποίο είναι τοποθετημένος ο οριζόντιος γεωεναλλάκτης στο εσωτερικό της εκσκαφής.



Συνάρτηση γενετικού αλγορίθμου (GA_COST)

Στην συνάρτηση αυτή όπως προαναφέρθηκε εισάγει ο χρήστης τα δεδομένα που του ζητούνται στην φόρμα και μετά καλούνται οι συναρτήσεις που περιγράφηκαν παραπάνω. Στην συνέχεια καλείται ο γενετικός αλγόριθμος (ga) της matlab με παραμέτρους την ισχύ του θερμαντή και τα τετραγωνικά μέτρα που καλύπτει η εκσκαφή ή οι γεωτρήσεις αντίστοιχα (τα τετραγωνικά μέτρα της γεωθερμίας δηλαδή). Οι περιορισμοί (constraints) στον γενετικό αλγόριθμο είναι οι εξής: όσον αφορά τα τετραγωνικά μέτρα της γεωθερμίας η ελάχιστη τιμή είναι $25m^2$ και η μέγιστη τα τετραγωνικά μέτρα του διαθέσιμου χώρου, ενώ για την ισχύ του θερμαντή η ελάχιστη τιμή είναι 0kW. Ο γενετικός αλγόριθμος με την βοήθεια ενός for-loop «δοκιμάζει» και στη συνέχεια επιλέγει το οικονομικότερο fan-coil ή την ενδοδαπέδια θέρμανση και τις ώρες λειτουργίας (5 ή 7) που θα δώσουν το ελάχιστο τελικό κόστος του γεωθερμικού συστήματος. Τέλος παρουσιάζεται στον χρήστη μία φόρμα με τον τελικό συνδυασμό των δεδομένων του χρήστη και των παραμέτρων που δίνουν το ελάχιστο κόστος του συστήματος. Έτσι επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση του εκάστοτε γεωθερμικού συστήματος για θέρμανση-ψύξη.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

6.1 Case study 1

Για κτήριο με τα παρακάτω δεδομένα:

Τετραγωνικά_μέτρα_κλιματιζόμενου_χώρου (m^2)	200
Μήκος_διαθέσιμο_για_γεωθερμία (m)	20
Πλάτος_ διαθέσιμο_για_γεωθερμία (m)	10
Ισχύς_θέρμανσης_κτηρίου (kW)	20
Ισχύς_ψύξης_κτηρίου (kW)	10
Σύσταση_εδάφους	7
Αξία_οικοπέδου	0
Κόστος_μελέτης_επίβλεψης	300
Κόστος_εγκατάστασης	200
Επιπρόσθετα_κόστη	0
Ποσό_δανείου	5000
Επιτόκιο_δανείου (%)	5
Διάστημα_εξόφλησης_δανείου	20
Ύψος_επιδότησης	0
Ποσό_διαθέσιμο_από_χρήστη	0

Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου με χρήση γεωθερμίας είναι τα εξής:

	tetragwnika_klimatizomenou_xwrou	mhkos_diathesimo_gia_gewthermia	platos_diathesimo_gia_gewthermia	wres_leitourgia_ana_mera	kw_apaitoumena_gia_thermansh_xwrou
Ekskafh	200	20	10	5	20

	kw_apaitoumena_gia_psyksh_xwrou	systash_edafous	aksia_oikopedou_ana_tetragwniko	kostos_meleths_epivlepshs	kostos_egatastashs	epiprostheta_kosth	eswteriko_systhma
Ekskafh	10	7	0	300	200	0	fan_coils 254 evrw

	ia	poso_daneiou	epitokio_daneiou	diasthma_eksoflhshs_daneiou	ypsos_epidothshs	poso_diathesimo_apo xrhsth	teliko_kostos_gewthermias	m2_gewthermias	isxys_thermanth	eth_aposveshs
Ekskafh	w	5000	5	20	0	0	15557	25	0	0

Τα δεδομένα στην πρώτη περίπτωση είναι τα εξής: κτήριο με κλιματιζόμενο χώρο 200 m^2, διαθέσιμο χώρο για να πραγματοποιηθεί η εκσκαφή 200 m^2, ανάγκες θέρμανσης 20 kW και δροσισμού 10 kW, έδαφος (στο οποίο θα τοποθετηθεί ο γεωεναλλάκτης) το οποίο αποτελείται από ψαμμίτες (είδος πετρώματος), κόστος μελέτης-επίβλεψης του γεωθερμικού συστήματος 300 ευρώ, κόστος εγκατάστασης του συστήματος 200 ευρώ, δάνειο ύψους 5000 ευρώ, επιτόκιο του δανείου 5% και διάστημα εξόφλησης 20 χρόνια. Με αυτά τα δεδομένα που εισήγαγε ο χρήστης ο γενετικός αλγόριθμος επέλεξε σαν βέλτιστη λύση την πραγματοποίηση εκσκαφής 25 m^2 και μηδενική ισχύ θερμαντή, την λειτουργία του συστήματος για 5 ώρες την ημέρα, το εσωτερικό σύστημα αποτελούμενο από fan coils με κόστος 254 ευρώ το καθένα. Το τελικό κόστος του γεωθερμικού συστήματος μετά από την βέλτιστη διαστασιολόγηση του από τον γενετικό αλγόριθμο είναι 15557 ευρώ με μηδενικά έτη απόσβεσης. Δηλαδή με την εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος ο χρήστης βγαίνει άμεσα «κερδισμένος». Επίσης υπολογίστηκε ότι χωρίς τη χρήση της γεωθερμίας αλλά μόνο με χρήση του ηλεκτρικού θερμαντή το κόστος θέρμανσης του κτηρίου θα ανέρχεται στα 3061 ευρώ το χρόνο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα ποσά μελέτης-επίβλεψης, εγκατάστασης, δανείου, επιδότησης, επιπρόσθετων εξόδων και το ποσό που διαθέτει ο χρήστης είναι ενδεικτικά. Κανονικά θα πρέπει να έχουν μελετηθούν από μηχανολόγο μηχανικό.

6.2 Case study 2

Για κτήριο με τα παρακάτω δεδομένα:

Τετραγωνικά_μέτρα_κλιματιζόμενου_χώρου (m^2)	120
Μήκος_διαθέσιμο_για_γεωθερμία (m)	10
Πλάτος_ διαθέσιμο_για_γεωθερμία (m)	5
Ισχύς_θέρμανσης_κτηρίου (kW)	8
Ισχύς_ψύξης_κτηρίου (kW)	6
Σύσταση_εδάφους	5
Αξία_οικοπέδου	0
Κόστος_μελέτης_επίβλεψης	300
Κόστος_εγκατάστασης	200
Επιπρόσθετα_κόστη	0
Ποσό_δανείου	3000
Επιτόκιο_δανείου (%)	5
Διάστημα_εξόφλησης_δανείου	20
Ύψος_επιδότησης	0
Ποσό_διαθέσιμο_από_χρήστη	0

Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου είναι τα εξής:

	tetragwnika_klimatizomenou_xwrou	mhkos_diathesimo_gia_gewthermia	platos_diathesimo_gia_gewthermia	wres_leitourgia_ana_mera	kw_apaitoumena_gia_thermansh_xwrou
Ekskafh	120	10	5	5	8

	kw_apaitoumena_gia_psyksh_xwrou	systash_edafous	aksia_oikopedou_ana_tetragwniko	kostos_meleths_epivlepshs	kostos_egatastashs	epiprostheta_kosth	eswteriko_systhma
Ekskafh	6	5	0	300	200	0	fan_coils 254 evrw

	ia	poso_daneiou	epitokio_daneiou	diasthma_eksoflhshs_daneiou	ypsos_epidothshs	poso_diathesimo_apo xrhsth	teliko_kostos_gewthermias	m2_gewthermias	isxys_thermanth	eth_aposveshs
Ekskafh	w	3000	5	20	0	0	10459	25	0	1

Τα δεδομένα στην δεύτερη περίπτωση είναι τα εξής: κτήριο με κλιματιζόμενο χώρο 120 m^2, διαθέσιμο χώρο για να πραγματοποιηθεί η εκσκαφή 50 $m^{2,}$ ανάγκες θέρμανσης 8 kWκαι δροσισμού 6 kW, έδαφος (στο οποίο θα τοποθετηθεί ο γεωεναλλάκτης) το οποίο αποτελείται από αργιλικό σχιστόλιθο (είδος πετρώματος), κόστος μελέτης-επίβλεψης του γεωθερμικού συστήματος 300 ευρώ, κόστος εγκατάστασης του συστήματος 200 ευρώ, δάνειο ύψους 3000 ευρώ, επιτόκιο του δανείου 5% και διάστημα εξόφλησης 20 χρόνια. Με αυτά τα δεδομένα που εισήγαγε ο χρήστης ο γενετικός αλγόριθμος επέλεξε σαν βέλτιστη λύση την πραγματοποίηση εκσκαφής 25 m^2 και μηδενική ισχύ θερμαντή, την λειτουργία του συστήματος για 5 ώρες την ημέρα, το εσωτερικό σύστημα αποτελούμενο από fan coils με κόστος 254 ευρώ το καθένα.

Το τελικό κόστος του γεωθερμικού συστήματος μετά από την βέλτιστη διαστασιολόγηση του από τον γενετικό αλγόριθμο είναι 10459 ευρώ με ένα έτος απόσβεσης. Δηλαδή με την εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος ο χρήστης θα αρχίσει να βγαίνει «κερδισμένος» μετά την πάροδο ενός χρόνου. Επίσης υπολογίστηκε ότι χωρίς χρήση της γεωθερμίας αλλά μόνο με χρήση ηλεκτρικού θερμαντή τότε το κόστος θέρμανσης του κτηρίου θα είναι 1225 ευρώ το χρόνο

6.3 Case study 3

Για κτήριο με τα παρακάτω δεδομένα:

Τετραγωνικά_μέτρα_κλιματιζόμενου_χώρου (m^2)	360
Μήκος_διαθέσιμο_για_γεωθερμία (m)	10
Πλάτος_ διαθέσιμο_για_γεωθερμία (m)	10
Ισχύς_θέρμανσης_κτηρίου (kW)	40
Ισχύς_ψύξης_κτηρίου (kW)	20
Σύσταση_εδάφους	6
Αξία_οικοπέδου	0
Κόστος_μελέτης_επίβλεψης	300
Κόστος_εγκατάστασης	200
Επιπρόσθετα_κόστη	100
Ποσό_δανείου	10000
Επιτόκιο_δανείου (%)	5
Διάστημα_εξόφλησης_δανείου	20
Ύψος_επιδότησης	0
Ποσό_διαθέσιμο_από_χρήστη	0

Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου είναι τα εξής:

	tetragwnika_klimatizomenou_xwrou	mhkos_diathesimo_gia_gewthermia	platos_diathesimo_gia_gewthermia	wres_leitourgia_ana_mera	kw_apaitoumena_gia_thermansh_xwrou
Ekskafh	360	10	10	5	40

	kw_apaitoumena_gia_psyksh_xwrou	systash_edafous	aksia_oikopedou_ana_tetragwniko	kostos_meleths_epivlepshs	kostos_egatastashs	epiprostheta_kosth	eswteriko_systhma
Ekskafh	20	6	0	300	200	100	fan_coils 326 evrw

	ia	poso_daneiou	epitokio_daneiou	diasthma_eksoflhshs_daneiou	ypsos_epidothshs	poso_diathesimo_apo xrhsth	teliko_kostos_gewthermias	m2_gewthermias	isxys_thermanth	eth_aposveshs
Ekskafh	w	10000	5	20	0	1000	25278	25	1	1

Τα δεδομένα στην τρίτη περίπτωση είναι τα εξής: κτήριο με κλιματιζόμενο χώρο 360 m^2, διαθέσιμο χώρο για να πραγματοποιηθεί η εκσκαφή 100 $m^{2,}$ ανάγκες θέρμανσης 40 kW και δροσισμού 20 kW, έδαφος (στο οποίο θα τοποθετηθεί ο γεωεναλλάκτης) το οποίο αποτελείται από συμπαγή ασβεστόλιθο (είδος πετρώματος), κόστος μελέτης-επίβλεψης του γεωθερμικού συστήματος 300 ευρώ, κόστος εγκατάστασης του συστήματος 200 ευρώ, επιπρόσθετα κόστη 100 ευρώ, δάνειο ύψους 10000 ευρώ, επιτόκιο του δανείου 5% και διάστημα εξόφλησης 20 χρόνια. Με αυτά τα δεδομένα που εισήγαγε ο χρήστης ο γενετικός αλγόριθμος επέλεξε σαν βέλτιστη λύση την πραγματοποίηση εκσκαφής 25 m^2 και ισχύ θερμαντή ίση με 1kW, την λειτουργία του συστήματος για 5 ώρες την ημέρα, το εσωτερικό σύστημα αποτελούμενο από fan coils με κόστος 326 ευρώ το καθένα.

Το τελικό κόστος του γεωθερμικού συστήματος μετά από την βέλτιστη διαστασιολόγηση του από τον γενετικό αλγόριθμο είναι 25278 ευρώ με ένα έτος απόσβεσης. Δηλαδή με την εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος ο χρήστης αρχίζει να βγαίνει «κερδισμένος» μετά την πάροδο ενός έτους. Επίσης υπολογίστηκε ότι χωρίς τη χρήση της γεωθερμίας αλλά μόνο με χρήση του ηλεκτρικού θερμαντή το κόστος θέρμανσης του κτηρίου θα ανέρχεται στα 6123 ευρώ το χρόνο.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αξίζει να γίνει μια σύγκριση ενός γεωθερμικού σύστηματος με ένα συμβατικό σύστημα κλιματισμού με αερόψυκτες εξωτερικές μονάδες, όπως π.χ. τα πολύ γνωστά σε όλους μας κλιματιστικά μηχανήματα διαιρούμενου τύπου, οι εξωτερικές μονάδες των οποίων είναι εμφανείς στα μπαλκόνια των διαμερισμάτων ή στα δώματα των κτηρίων. Όλοι όσοι έχουν χρησιμοποιήσει συμβατικό σύστημα το καλοκαίρι κατά τη διάρκεια μιας πολύ ζεστής μέρας (35 ή και 40°C), γνωρίζουν τη δραματική πτώση της απόδοσής τους και την αδυναμία τους να δροσίσουν ικανοποιητικά το χώρο. Αυτό συμβαίνει γιατί η συσκευή καλείται να αποβάλει θερμότητα σε ένα περιβάλλον ήδη κορεσμένο από θερμικό φορτίο και καταβάλλει μια μάταιη προσπάθεια καταναλώνοντας υπερβολικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας.

Αν όμως η κλιματιστική συσκευή αποβάλλει τη θερμότητα σε ένα ψυχρότερο περιβάλλον, όπως αυτό του εσωτερικού του εδάφους, όπου ακόμη και στις θερμότερες μέρες του καλοκαιριού η θερμοκρασία δεν ξεπερνάει περίπου τους 20°C, τότε η απόδοσή της είναι πολύ καλύτερη και η οικονομία σε ηλεκτρική ενέργεια σημαντική.

Σε αυτή την αρχή της θερμοδυναμικής βασίζεται η χρήση των γεωθερμικών εναλλακτών, που κατά μια έννοια «μεταφέρουν», με τη βοήθεια της αντλίας θερμότητας, τους 20°C του εδάφους μέσα στο κτήριο, καταναλώνοντας έτσι την ελάχιστη δυνατή ηλεκτρική ενέργεια. Κατ' ανάλογο τρόπο, το χειμώνα, το γεωθερμικό σύστημα καλείται να ανυψώσει τους 15-17°C του εδάφους μέχρι τους 20-22°C για να ζεστάνει το εσωτερικό του κτηρίου. Η οικονομία και εδώ είναι σημαντική σε σχέση με μία συμβατική αντλία θερμότητας αέρα. Σημειώνεται εδώ ότι τα συμβατικά κλιματιστικά μηχανήματα αδυνατούν σχεδόν να ζεστάνουν το χώρο σε θερμοκρασίες κάτω των 0°C.

Σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους θέρμανσης – ψύξης:

- Επιτυγχάνεται 50-70% μείωση του κόστους στη θέρμανση και 20-40% στην ψύξη, λόγω υψηλού συντελεστή απόδοσης.
- Δεν απαιτείται δεξαμενή καυσίμου και καπνοδόχος δεδομένου ότι η μοναδική ενέργεια που χρησιμοποιεί, εκτός της ανεξάντλητης ενέργειας από την γη, είναι η ηλεκτρική την οποία και αποδίδει περίπου 4 - 5 φορές αναβαθμισμένη ως θερμική.
- Χρησιμοποιεί μία μόνο μονάδα για θέρμανση – ψύξη και ζεστό νερό χρήσης με μικρότερο κόστος συντήρησης.
- Παρέχει μεγαλύτερη ευκολία / άνεση και απόλυτα ασφαλή λειτουργία του συστήματος.
- Εξασφαλίζει αθόρυβη λειτουργία.

- Διαθέτει αξιόπιστη λειτουργία σε ακραίες καιρικές συνθήκες (παγετός, καύσωνας) καθώς το σύστημα ανταλλάσσει θερμότητα με το υπέδαφος και όχι με το περιβάλλον.
- Είναι φιλική προς το περιβάλλον.
- Δεν απαιτείται συντήρηση στους γεωεναλλάκτες, ενώ η αντλία θερμότητας χρειάζεται μακρόχρονο περιοδικό έλεγχο.
- Θα πρέπει να σημειωθεί ότι και η αδειοδότηση για την εγκατάσταση και λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων έχει απλοποιηθεί σημαντικά. Η άδεια για την εκτέλεση, την εγκατάσταση και την λειτουργία έχει γίνει πλέον ενιαία και εκδίδεται από την Δ/νση Ανάπτυξης των Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων με την υποβολή αίτησης – μελέτης και μικρό αριθμό απαιτούμενων δικαιολογητικών. Έτσι, παραγκωνίζεται πλέον και το τελευταίο εμπόδιο για την αξιοποίηση της «αδικημένης» αυτής μορφής ΑΠΕ.
- Επιπρόσθετα, το πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ' οίκον» επιδοτεί παρεμβάσεις σε κατοικίες ώστε να συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων για εξοικονόμηση ενέργειας. Μεταξύ των επιδοτούμενων παρεμβάσεων είναι και η εγκατάσταση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας. [17]

8. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Η γεωθερμία είναι μια ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, που μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να καλύψει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Προσφέρει ενέργεια χαμηλού κόστους, ενώ δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με εκπομπές βλαβερών ρύπων. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ συνήθως κυμαίνεται από 25°C μέχρι 360°C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150°C), η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Σήμερα στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας γίνεται αποκλειστικά για χρήση της σε θερμικές εφαρμογές, οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα, λόγω του πλούσιου σε γεωθερμική ενέργεια υπεδάφους της χώρας μας, κυρίως κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη), μπορεί να έχει ευρεία εφαρμογή για τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με στόχο την απόληψη πόσιμου, κυρίως στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές. Μία τέτοια εφαρμογή έχει χαμηλότερο κόστος από εκείνο που απαιτείται για τον εφοδιασμό των περιοχών αυτών με πόσιμο νερό, μέσω υδροφόρων πλοίων.

Η αβαθής γεωθερμία είναι μια από τις πλέον καθαρές και ελάχιστα ρυπαντικές μορφές ενέργειας. Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να εκμεταλλευτούν στο έπακρο και να πολλαπλασιάσουν την αποτελεσματικότητα άλλων συστημάτων εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως τα θερμικά, ηλιακά και τα φωτοβολταϊκά.

Η μειωμένη κυβερνητική υποστήριξη και η αφθονία φθηνών συμβατικών καυσίμων (φυσικό αέριο, λιγνίτης, πετρέλαιο) εμπόδισαν την ανάπτυξη των γεωθερμικών μονάδων παραγωγής ενέργειας κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαπέντε ετών. Σήμερα όμως η καλπάζουσα τιμή του πετρελαίου και τα κυβερνητικά κίνητρα δημιουργούν ένα οικονομικά βιώσιμο πλαίσιο για τη γεωθερμική ανάπτυξη. Η περιβαλλοντική συνειδητοποίηση και οι κυβερνητικές πρωτοβουλίες υποστήριξης (πράσινα πιστοποιητικά, φορολογικές διευκολύνσεις κλπ) είναι βασικά στοιχεία που θα βοηθήσουν στην υπερπήδηση του εμποδίου του υψηλού κόστους της αρχικής και κύριας επένδυσης. Εντούτοις, οι αλλαγές στο νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την ανάπτυξη των γεωθερμικών έργων (π.χ πρόσβαση σε παροχές δανείων, αδειοδοτικές διαδικασίες, πρωτοβουλίες υποστήριξης της εξερεύνησης, εγγυήσεις για εύκολη πρόσβαση στο κεφάλαιο υψηλού επιχειρηματικού κινδύνου κλπ) θα ευνοούσαν την περαιτέρω ανάπτυξη της καθαρής αυτής ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

Όσον αφορά την παρούσα εργασία με τις κατάλληλες βελτιώσεις που επιδέχεται θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για εταιρίες ή ελεύθερους επαγγελματίες που ασχολούνται με την εγκατάσταση γεωθερμικών συστημάτων σε κτήρια. Μπορεί να επιτευχθεί η διαστασιολόγηση του συστήματος με στόχο την μέγιστη απόδοση του, καλύπτοντας τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου, και το ελάχιστο κόστος του.

Ως μελλοντική επέκταση της παρούσας εργασίας θα μπορούσε να θεωρηθεί η ανάπτυξη αλγορίθμου βέλτιστης διαστασιολόγησης για υβριδικό σύστημα το οποίο θα αποτελείται από γεωθερμία σε συνεργασία με άλλες μορφές ΑΠΕ όπως είναι τα φωτοβολταϊκά, η βιομάζα, οι ανεμογεννήτριες κτλ. Επίσης θα μπορούσε να εξελιχθεί σε μια Web εφαρμογή στην οποία ο χρήστης θα εισάγει σε μια φόρμα τα δεδομένα του κτηρίου στο οποίο θα γίνει η εγκατάσταση του συστήματος και η εφαρμογή θα πραγματοποιεί την βέλτιστη διαστασιολόγηση του. Με αυτόν τον τρόπο η εφαρμογή θα είναι διαθέσιμη σε όλους τους χρήστες του διαδικτύου.

ΠΗΓΕΣ

1.Αραπάκη Σωτηρία (2009): Βελτιστοποίηση για εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων σε απομονωμένο οικισμό με χρήση γενετικών αλγορίθμων

2. http://www.geothermal-energy.org: International Geothermal Association

3. http://www.tm.teicrete.gr: Γεωθερμία.pdf, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας, Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης.

4.Γκαρδιάκος Χρήστος (2010): Αξιοποίηση της γεωθερμίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

5.Ζούφιος Ιωάννης (2011): Μελέτη γεωθερμικού συστήματος, ανάλυση της μεθόδου TRT και εύρεση των δυο βασικών παραμέτρων σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων με χρήση κατάλληλου μοντέλου πάνω σε πραγματικά δεδομένα.

6.http://www.tmltd.gr/geotherm/geotherm.htm: Τεχνομηχανική Ε.Π.Ε

7. http://www.aeolosphotovoltaiki.gr/Geothermika.pdf

8. http://energyhomes.gr: Αντλίες θερμότητας

9.http://www.groundreach.eu: Ground-Source Heat Pump Project Analysis

10. http://www.sellandbuild.com

11. http://ecopress-project.blogspot.gr

12. http://www.geothermal-energy.org

13. Κατσοτούρχης Μιχαήλ, 2008. Ανάλυση κόστους γεωθερμικών εγκαταστάσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

14. http://alpha6.gr/wp/?cat=183

15. http://nefeli.lib.teicrete.gr:Αρβανιτίδης Μιχαήλ-Γαλέτσας Αντώνιος (2010), Οικονομοτεχνική Μελέτη Βιοκλιματικού Συγκροτήματος Κατοικιών με μερική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από Γεωθερμία και Α.Π.Ε.

16. Ζαμπέλης Σταύρος (2008): Σχεδιασμός και οικονομική αξιολόγηση υβριδικού συστήματος φωτοβολταϊκών στοιχείων και ανεμογεννητριών για την τροφοδοσία συστημάτων αφαλάτωσης.

17. http://www.lts-engineering.com/wp-content/uploads/2010/04/operating_costs_gr.pdf: Σύγκριση κόστους λειτουργίας δύο συστημάτων θέρμανσης: Γεωθερμική αντλία θερμότητας-Λέβητας πετρελαίου

18. http://www.boudouri.gr/: Energaia Boudouri

19. http://www.edpenergy.com E.D.P energy solutions

20. http://www.earthsciencegroup.gr/geothermiki-energeia.html: Earth Science Group

21. http://eco-logiki.eu/geothermy.html: Eco- Logiki

22. http://www.deltatechniki.gr/

23. http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_geothermal.htm: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας

24. http://www.agiosathanasios.org.cy

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Μου δόθηκε η ευκαιρία να επισκεφτώ ένα εργοτάξιο στην Κύπρο όπου χτίζονταν ένα συγκρότημα πολυκατοικιών στην πόλη της Λευκωσίας. Η εταιρία A.Z Geodrillers LTD είχε αναλάβει να πραγματοποιήσει 40 γεωτρήσεις για την τοποθέτηση κατακόρυφων γεωεναλλακτών περιμετρικά των δύο πολυκατοικιών με σκοπό την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης-ψύξης και ζεστού νερού. Ακολουθούν φωτογραφίες από τους γεωεναλλάκτες

Εικόνα.1: Το συγκρότημα πολυκατοικιών

Εικόνα.2:Κατακόρυφος γεωεναλλάκτης

Εικόνα.3:Κατακόρυφος γεωεναλλάκτης

Εικόνες 4: Κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες

Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι κάποια από τα οικονομικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στον κώδικα της Matlab εστάλησαν από την εταιρία A.Z GEODRILLERS LTD και παρατίθενται στο παρακάτω έγγραφο:

GDw-03/2010-X.X
21η Δεκεμβρίου, 2010

Κυρίους
Χ & Α Φιλίππου

Τη προσοχή κ. Αλέκκου Φιλίππου

Θέμα: Πολυκατοικίας ΤΕΑ Φιλίππου – Λευκωσία
ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

1. Κινητοποίηση / Μεταφορά στο εργοτάξιο – Λευκωσία €400,00

2. Κατασκευή τρυπών (Διατρήσεων) με την χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού Geothermal Drilling Rig με το πατενταρισμένο σύστημα Easy-Drill που επιτρέπει την τοποθέτηση του εναλλάκτη πριν τη απόσυρση των Θωράκων/στελεχών.
   40 Τρύπες x 100m @ 14.0/m €56.000,00

3. Προμήθεια και τοποθέτηση των γεωεναλλακτών από την Frank, Γερμανίας Single HDPE PE100 DN 32 RC SDR-11 χωρίς την χρήση εργοστασιακού βαρυδιού.
   40 γεωεναλλάκτες x 100m €320/each €12.800,00

4. Γέμισμα των γεωεναλλακτών με καθαρό νερό, εξαερισμός και υδραυλικός έλεγχος πριν την τοποθέτηση σε πίεση 3-atm.
   40 γεωεναλλάκτες @ 50€/έκαστος €2.000,00

5. GROUTING (NOT BACK FILLING) της τρύπας με την χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού για άντληση υπό πίεση από τα κάτω προς τα πάνω με θερμικά ενισχυμένο μείγμα Quartz (silica sand) και διογκούμενου μεντονίτη νατρίου υψηλής θερμικής Διαπερατότητας.
   115 Tons μείγματος @ 150€ €17.250,00

6. Εργοστασιακά υδατοστεγή φρεάτια από την FRANK Γερμανίας Τύπου 2 με εργοστασιακό κατανεμητή, με μετρητές/ρυθμιστές ροής, βαλβίδες απομόνωσης ανά κύκλωμα 5 εισόδων/εξόδων OD32x2,9SDR11 και 2 εισόδων/εξόδων OD40x2,9SDR για την αντλία θερμότητας
   8 Τεμάχια @ 1625€ €13.000,00

7. Οριζόντιες διασωληνώσεις HDPE D32x2,9SDR4 από γεωεναλλάκτες μέχρι τα φρεάτια συνδεδεμένες με εξαρτήματα Electrofusion
   1000m @ 2,15€/m €2.150,00

A.X GEODRILLERS LTD, Πλία Πενέζη 15,
Τ.Τ 2042 Στρόβολος, Λευκωσία
/ 99518124
Φαξ:22311709

8. Οριζόντιες κεντρικές μονοκόμματες χωρίς εξαρτήματα διασωληνώσεις HDPE OD40x2.9SDR4 από φρεάτια μέχρι την είσοδο του μηχανοστασίου συνδεδεμένες με Electrofusion
500m @ 3,50€/m €1.750,00
(Εναλλακτικά 500m PPR80 DN50 @ 15€/m = 7500€)

9. Τελικός Υδραυλικός έλεγχος και εξαερισμός του συστήματος γεωθερμίας
8No. @ 100€/σύστημα €800,00

10. Test γεωθερμικής Ανταπόκρισης (Εργοστασιακός Υπολογισμός της θερμικής διαπερατότητας του Γεωεναλλάκτη)
€5.000,00

ΟΛΙΚΟ €111.150,00
+ ΦΠΑ