



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΤΜΗΜΑ:

‘ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ’

Μεταπτυχιακή εργασία

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟΥ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΒΟΛΟΥ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.

υπό

Δημήτριο Βελιάδη

Διπλωματούχου Μηχανικού Τεχνολογίας Υλικών Π.Ι. 2011

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

2013

© Δημήτριος Βελιάδης

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

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Ανδρίτσος Νικόλαος, Αναπληρωτής Καθηγητής.
(Επιβλέπων)

Δεύτερος Εξεταστής Σταμάτης Αναστάσιος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Τρίτος Εξεταστής Τσιακάρης Παναγιώτης, Καθηγητής.

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία δεν θα ήταν δυνατό να υλοποιηθεί χωρίς την πολύτιμη βοήθεια ορισμένων ανθρώπων τους οποίους και θα ήθελα να ευχαριστήσω δημοσίως.

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή της μεταπτυχιακής μου εργασίας κ. Ανδρίτσο Νικόλαο , για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την παρούσα εργασία καθώς και για την επιστημονική εποπτεία του.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης στα άτομα της διοίκησης του Εθνικού Αθλητικού Κέντρου Δήμου Βόλου για την ανιδιοτελή προσφορά των γνώσεών τους και τον πολύτιμο χρόνο που μου διέθεσαν ώστε να αποκτήσω τις κατάλληλες πληροφορίες απαραίτητες για τη διεκπεραίωση της παρούσας μελέτης .

Από τα βάθη της ψυχής μου, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που ήταν πάντα αρωγός και συμπαραστάτης των προσπαθειών μου και όλους τους φίλους μου για την ψυχολογική υποστήριξη και την υπομονή τους.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΑΙ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟΥ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΒΟΛΟΥ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΒΕΛΙΑΔΗΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2012

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Ανδρίτσος , Αναπληρωτής καθηγητής , Τμήματος
Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και την πρόταση εναλλακτικών επιλογών για την εξοικονόμηση στην κατανάλωση θέρμανσης των κολυμβητικών δεξαμενών του κολυμβητηρίου του Δήμου Βόλου και κατά συνέπεια την εξοικονόμηση χρημάτων. Ο στόχος της μελέτης είναι η κατά το δυνατόν συμβολή της στην προσπάθεια υποστήριξης της βιώσιμης λειτουργίας του κολυμβητηρίου.

Η μεταπτυχιακή εργασία χωρίζεται σε τρεις ενότητες που καταλαμβάνουν τα κεφάλαια 2 - 5, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στο κεφάλαιο 2 αρχικά γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή του Εθνικού Αθλητικού κέντρου του Δήμου Βόλου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εγκαταστάσεις του ανοικτού και κλειστού κολυμβητηρίου. Έπειτα υπολογίζεται η απαιτούμενη θερμική ισχύς για τη θέρμανση κάθε κολυμβητικής δεξαμενής τόσο για την εξωτερική όσο και για τις εσωτερικές. Αναλύεται το ισχύον συμβατικό σύστημα θέρμανσης και παρουσιάζεται το μηχανοστάσιο του κάθε κολυμβητηρίου ξεχωριστά.

Προτείνονται εναλλακτικοί τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας, όπως χρήση καλύμματος πισίνας, υπολογίζοντας τα θερμικά κέρδη.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η γεωθερμική ενέργεια και οι χρήσεις της αβαθούς και βαθειάς γεωθερμίας. Αναλύονται οι τύποι και η λειτουργία των γεωθερμικών εναλλακτών και των αντλιών θερμότητας.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια προσεγγιστική μελέτη της εφαρμογής ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στο κολυμβητήριο. Αποτυπώνεται μια πιθανή τοποθέτηση χωροταξικά και αναλύονται εκτενώς τα χαρακτηριστικά του γεωσυλλέκτη, οι προδιαγραφές των υλικών και οι απαραίτητες εργασίες. Επίσης προτείνεται μία αντλία θερμότητας ικανή να στηρίξει το σύστημα και παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της.

Στο κεφάλαιο 5 πραγματοποιείται οικονομική ανάλυση περιλαμβάνοντας τόσο τα λειτουργικά έξοδα όσο και τα έξοδα εγκατάστασης. Μέσα από σύγκριση με το υπάρχον συμβατικό σύστημα θέρμανσης προκύπτουν τα έτη απόσβεσης και χρήσιμα συμπεράσματα.

Τα τελικά συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας και κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 6.

Abstract

This thesis focuses on developing and proposing options for implementing energy consumption for heating swimming pools of the baths of Municipality of Volos and therefore save money. The goal of the study is the extent possible contribution to the effort to support the sustainable operation of the pools.

The thesis is divided into three sections which occupy chapters 2 to 5, respectively. Specifically:

In Chapter 2, initially take place a brief history of the National Sports Centre of Volos. Then present the facilities of open and closed swimming pools. Also calculate the required thermal power for heating swimming pools each for both external and internal. Analyzing the current conventional heating system and showing the engines room of the baths each separately. Suggest alternative ways of saving energy, such as using pool covers and calculate the heat gains.

In Chapter 3 is presented the geothermal energy and its uses, shallow and deep geothermal energy. Analyzing the types and operations of geothermal heat exchangers and heat pumps.

In chapter 4 is a rough study of implementing a geothermal heat pump system in the swimming pool. Reflected a possible placement and analyzed extensively the geo-exchangers characteristics, specifications of materials and the necessary work. Also proposed a heat pump capable of supporting the system and presents the technical characteristics.

In chapter 5 carried out an economic analysis including both operating expenses and installation costs. In comparison with the existing conventional heating system resulting years depreciation and useful conclusions.

The final conclusions of the thesis and directions for further research are presented in Chapter 6.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή..... | 9 |
| 1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο..... | 9 |
| Κεφάλαιο 2 Ενεργειακή Κατάσταση του Κολυμβητηρίου του Εθνικού Αθλητικού Κέντρου Βόλου..... | 11 |
| 2.1 Εθνικό Αθλητικό Κέντρο Δήμου Βόλου..... | 11 |
| 2.2 Παρουσίαση των εγκαταστάσεων του Κολυμβητηρίου. | 13 |
| 2.2.1 Ανοικτό κολυμβητήριο 13 | |
| 2.2.2 Κλειστό κολυμβητήριο..... 14 | |
| 2.3 Απώλειες θερμότητας και απαιτούμενη θερμική ισχύς. 18 | |
| 2.3.1 Υπολογισμός θερμικής ισχύος για την θέρμανση των πισινών του κολυμβητηρίου του Βόλου. 19 | |
| 2.4 Ισχύον συμβατικό σύστημα θέρμανσης..... 22 | |
| 2.4.1 Μηχανοστάσιο ανοικτού κολυμβητηρίου..... 22 | |
| 2.4.2 Μηχανοστάσιο κλειστού κολυμβητηρίου. 25 | |
| 2.5 Εναλλακτικοί τρόποι θέρμανσης και εξοικονόμησης ενέργειας..... 27 | |
| 2.5.1 Χρήση καλύμματος πισίνας. 27 | |
| 2.5.2 Αλλαγή συμβατικού συστήματος θέρμανσης πισινών με γεωθερμική αντλία θερμότητας. 36 | |
| Κεφάλαιο 3. Γεωθερμία και αντλίες θερμότητας 38 | |
| 3.1 Εισαγωγή..... 38 | |
| 3.2 Εφαρμογές Γεωθερμίας..... 43 | |
| 3.2.1 Άμεσες χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας. 44 | |
| 3.2.2 Γεωθερμικό δυναμικό στην Ελλάδα 44 | |
| 3.2.3 Γεωθερμικές εφαρμογές στην Ελλάδα..... 45 | |
| 3.2.4 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις 46 | |
| 3.2.5 Περιβαλλοντικά Οφέλη..... 49 | |
| 3.2.6 Οι στόχοι της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. για την Γεωθερμία. 51 | |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| 3.2.7 | Ισχύον νομοθετικό πλαίσιο | 52 |
| 3.3 | Αβαθής γεωθερμία. | 54 |
| 3.3.1 | Γεωθερμικοί εναλλάκτες..... | 55 |
| 3.3.2 | Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας..... | 62 |
| Κεφάλαιο 4. | Μελέτη εφαρμογής γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στο κολυμβητήριο. | 74 |
| 4.1 | Γεωθερμικό σύστημα στο κολυμβητήριο. | 74 |
| 4.2 | Επιλογή κλειστού γεωθερμικού συστήματος. | 76 |
| 4.3 | Διαμόρφωση γεωσυλλέκτη | 77 |
| 4.4 | Προδιαγραφές υλικών γεωσυλλέκτη | 79 |
| 4.5 | Το μέσο μεταφοράς της θερμότητας..... | 80 |
| 4.6 | Ανάλυση διάταξης των κατακόρυφων γεωεναλλακτών. | 84 |
| 4.7 | Σχεδιασμός κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων..... | 88 |
| 4.8 | Θερμική συμφόρηση σε κατακόρυφα συστήματα | 89 |
| 4.9 | Χωματοургικές εργασίες..... | 91 |
| 4.9.1 | Γεωτρύπανα..... | 93 |
| 4.9.2 | Τσιμέντωση και πλήρωση κατακόρυφων οπών..... | 96 |
| 4.10 | Εις βάθος μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους..... | 99 |
| 4.11 | Επιλογή γεωθερμικής αντλίας θερμότητας..... | 102 |
| 4.11.1 | Πρόταση τύπου αντλίας θερμότητας..... | 104 |
| 4.11.2 | Πρόταση ανάκτησης θερμότητας στο κλειστό κολυμβητήριο. | 109 |
| Κεφάλαιο 5. | Οικονομική ανάλυση | 110 |
| Κεφάλαιο 6. | Συμπεράσματα. | 116 |
| Βιβλιογραφία..... | | 118 |

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα που δείχνουν το κίνητρο και το υπόβαθρο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, παρατίθεται μια ανασκόπηση της σχετικής με την εργασία βιβλιογραφίας και περιγράφονται συνοπτικά οι βασικές ενότητες της μεταπτυχιακής εργασίας.

1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και η σταδιακή απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα αποτελεί επιτακτική ανάγκη στην εποχή μας. Δεν το επιβάλλουν μόνο η δραματική μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων με την παράλληλη αύξηση των τιμών τους – και η ρύπανση του περιβάλλοντος, αλλά και η ανάγκη για την ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας της χώρας μας (ενεργειακή ασφάλεια). Ειδικά σε μία χώρα με πλούσιο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό ΑΠΕ όπως η Ελλάδα.

Στην παρούσα διπλωματική μελετάται η αναβάθμιση της υπάρχουσας ενεργειακής κατάστασης του Κολυμβητηρίου του Εθνικού Αθλητικού Κέντρου Βόλου "Ισών Ζηργανός". Υπολογίζονται οι ενεργειακές του ανάγκες, αναλύεται το παρόν συμβατικό σύστημα θέρμανσης και υποδεικνύονται δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων.

Η εργασία περιλαμβάνει τη μελέτη νέας εγκατάστασης συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του. Αναλύονται τα χαρακτηριστικά του συστήματος αυτού, η λειτουργία του αλλά και η οικονομική απόδοση της πρότασης.

Οι αντλίες θερμότητας απορροφούν τη θερμική ενέργεια που υπάρχει στην ατμόσφαιρα (αεροθερμία) , στην γη (γεωθερμία) ή σε επιφανειακά νερά υδροθερμία και παράγουν κρύο , ζεστό νερό ή αέρα για την ψύξη ή θέρμανση κτιρίων και ζεστό νερό χρήσης. Μπορούν να καλύψουν όλες τις σχετικές απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας σε κτίρια κάθε χρήσης (κατοικίες, ξενοδοχεία, κάμπινγκ, Νοσοκομεία, Δημόσια κτίρια, κτίρια γραφείων αλλά και βιομηχανίες, πισίνες ή μεγάλα κολυμβητήρια), με τον πλέον σύγχρονο, αποτελεσματικό, και οικονομικό τρόπο, καταργώντας ή συμπληρώνοντας όλα τα παραδοσιακά συστήματα.

Οι αντλίες θερμότητας νερού/νερού, ή αλλιώς γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) , εκμεταλλεύονται το γεωθερμικό δυναμικό του υπεδάφους, δηλαδή τη θερμότητα που είναι αποθηκευμένη στο έδαφος, και τη μεταφέρουν στο νερό της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, στα fan coils ή στα ζεστά νερά χρήσης. Μπορούν να συνδυαστούν με όλες τις μορφές γεωεναλλακτών (οριζόντια, κατακόρυφα ή ανοιχτού τύπου) παράγοντας ζεστό ή κρύο νερό για θέρμανση ή δροσισμό, αντίστοιχα. Ο υψηλός βαθμός απόδοσης των γεωθερμικών αντλιών τις καθιστά εξαιρετικά οικονομικές ως προς τη χρήση τους και εγγυάται τη συνεχή λειτουργία τους όλο το χρόνο.

Η συνεισφορά αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας είναι να αποδείξει στις δύσκολες οικονομικές συνθήκες που περνάει η χώρα μας και κατ' επέκταση οι Δήμοι το όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την κάλυψη αναγκών Δημόσιων κτιρίων. Το Κολυμβητήριο Βόλου μπορεί έτσι να δώσει το παράδειγμα-μήνυμα της 'στροφής' στις εναλλακτικές μορφές ενέργειας μειώνοντας τόσο την εκπομπή ρύπων στο ελάχιστο όσο και την οικονομική σπατάλη προς όφελος όλων μας.

Κεφάλαιο 2 Ενεργειακή Κατάσταση του Κολυμβητηρίου του Εθνικού Αθλητικού Κέντρου Βόλου.

Στο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι εγκαταστάσεις του κολυμβητηρίου και αναλύεται η παρούσα ενεργειακή κατάστασή του. Συγκεκριμένα υπολογίζονται οι απώλειες θερμότητας της εξωτερικής ανοικτής πισίνας και της εσωτερικής , παρουσιάζεται το συμβατικό σύστημα θέρμανσης του νερού και γίνεται μια προσπάθεια υπόδειξης συμβουλευτικών μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας όπου και όσο αυτό είναι εφικτό.

2.1 Εθνικό Αθλητικό Κέντρο Δήμου Βόλου.

Το Εθνικό Αθλητικό Κέντρο Βόλου ιδρύθηκε ως αυτοτελές ΝΠΔΔ το 1983 με Προεδρικό Διάταγμα, ύστερα από την συνένωση των νομικών προσώπων "Εθνικό Στάδιο" και "Εθνικό Κολυμβητήριο" που έως τότε λειτουργούσαν ανεξάρτητα και με διαφορετικές Διοικήσεις.

Η λειτουργία του Σταδίου ξεκίνησε το 1961 και του κλειστού Κολυμβητηρίου το 1969, αποκτώντας και τα δύο νομική υπόσταση με Βασιλικό Διάταγμα του 1970. Το 1976 κατασκευάστηκε το ανοικτό Κολυμβητήριο και το κλειστό Γυμναστήριο παραδόθηκε το 1981.

Το 2001 με το πρόγραμμα "ΠΟΛΙΤΕΙΑ" το ΕΑΚ πέρασε στην αρμοδιότητα του Δήμου Βόλου και έκτοτε λειτουργεί ως Δημοτικό ΝΠΔΔ.

Σκοπός του ΕΑΚ είναι η παροχή εγκαταστάσεων, μέσων και υπηρεσιών στην αθλητική κοινωνία κυρίως της πόλης μας και η δημιουργία αθλητικών - πολιτιστικών προγραμμάτων και εκδηλώσεων.

Η καλλιέργεια και ανάπτυξη του αθλητικού πνεύματος, η ομαδικότητα και η ευγενής άμιλλα αλλά κυρίως η συμμετοχή των δημοτών στην αθλητική δράση συνιστούν από τις βασικές επιδιώξεις του Αθλητικού Κέντρου.

Οργανικά αποτελεί Διεύθυνση με τρία Τμήματα και 63 προβλεπόμενες θέσεις προσωπικού διαφόρων ειδικοτήτων, για να καλυφθούν οι ανάγκες διοίκησης, διαχείρισης και συντήρησης.

Στις εγκαταστάσεις του ΕΑΚ συμπεριλαμβάνονται: το Στάδιο με χλοοτάπητα και ελαστικό τάπητα στίβου 6 διαδρομών, το συγκρότημα **του Κολυμβητηρίου** με την Ολυμπιακών προδιαγραφών ανοικτή δεξαμενή, μια κλειστή 25 m με 8 διαδρομές και μια δεξαμενή αρχαρίων, το συγκρότημα του Σκοπευτηρίου με πεδίο πυροβόλων 50 m, πεδίο πιστολιών 25 m, κλειστό αεροβόλων 10 m και κτίριο διοικήσεως, το κλειστό Γυμναστήριο με το προθερμαντήριο, τα γήπεδα Αντισφαίρισης με το κτίριο διοικήσεως, το Κωπηλατήριο με τα λεμβαρχεία και αίθουσες υποστήριξης, το Βοηθητικό γήπεδο, το κλειστό προπονητήριο στίβου 100 μέτρων και πολλές αίθουσες γυμναστικής, άρσης βαρών και άλλων χρήσεων.

Οι εγκαταστάσεις του ΕΑΚ καλύπτουν συνολικά έκταση 61.763,86 m² από τα οποία περίπου 7.000 m² στεγασμένα. Συγκαταλέγεται στα πέντε μεγαλύτερα στην Ελλάδα Αθλητικά Κέντρα και πριν την ένταξή του στον Δήμο Βόλου είχε χαρακτηριστεί ως Εθνικού ενδιαφέροντος και είχε ενταχθεί στα Α΄ κατηγορίας. [1]



Εικόνα 2.1 Πανοραμική απεικόνιση των εγκαταστάσεων του Ε.Α.Κ του Δήμου Βόλου. (Χρήση προγράμματος Googleearth).

2.2 Παρουσίαση των εγκαταστάσεων του Κολυμβητηρίου.

Το συγκρότημα του κολυμβητηρίου απαρτίζεται από τις ανοικτές εγκαταστάσεις που καλύπτουν περίπου 3000 m² και το κλειστό κολυμβητήριο που είναι περίπου 1000 m².

2.2.1 Ανοικτό κολυμβητήριο

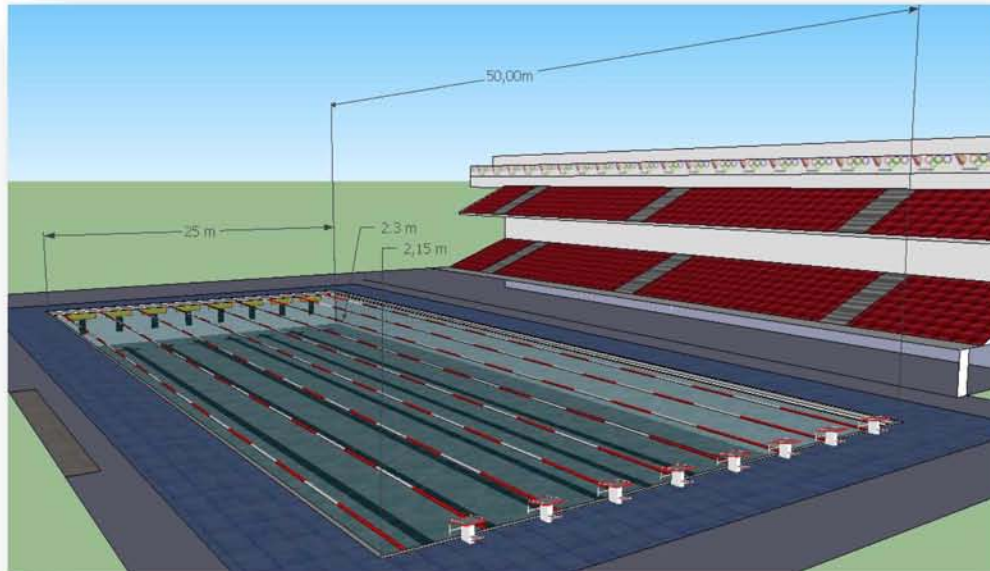
Το ανοικτό κολυμβητήριο αποτελείται από:

1. Μια κολυμβητική δεξαμενή ολυμπιακών διαστάσεων 8 διαδρομών,
2. Κερκίδες χωρητικότητας περίπου 2000 ατόμων.
3. Το μηχανοστάσιο στο επίπεδο κάτω από τις κερκίδες που αναλύεται στο Κεφ. 2.4.
4. Μια δεξαμενή που συλλέγει τα ύδατα υπερχείλισης της πισίνας στη Νότια πλευρά της.
5. Μια επιφάνεια με γκαζόν περίπου 500 m² στη Βόρεια πλευρά της πισίνας.



Εικόνα 2.2 Πανοραμική άποψη ανοικτού κολυμβητηρίου. (Χρήση προγράμματος Googlearth).

Η ανοικτή κολυμβητική δεξαμενή 8 διαδρομών έχει μήκος 50 m και πλάτος 25 m. Το βάθος της ξεκινάει από τη νότια πλευρά στα 2.15 m και με κεκλιμένο επίπεδο του πυθμένα της καταλήγει στη βόρεια άκρη σε 2.30 m. Ο συνολικός όγκος νερού που απαιτείται για να πληρωθεί είναι 2775 κυβικά μέτρα νερού (εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 Γραφική απεικόνιση εξωτερικής πισίνας με διαστάσεις. (Χρήση του προγράμματος GoogleSketchup).

2.2.2 Κλειστό κολυμβητήριο

Το κλειστό κολυμβητήριο εγκαινιάστηκε στις 29-11-1969. Ανακατασκευάστηκε με ευθύνη του Δήμου Βόλου πριν τους Ολυμπιακούς Αγώνες.



Εικόνα 2.4 Εξωτερική άποψη Κλειστού κολυμβητηρίου.

Το κλειστό κολυμβητήριο χρησιμοποιείται από το κοινό αλλά και από αθλητικούς συλλόγους για προπόνηση και για την πραγματοποίηση αγώνων και αποτελείται από:

1. Μια κολυμβητική δεξαμενή 8 διαδρομών μήκους 25 m και πλάτους 20 m. Το βάθος της είναι 2,30 m από την μια πλευρά και καταλήγει 4,50 m στην άλλη πλευρά εξυπηρετώντας έτσι τις ανάγκες των καταδύσεων από τους βαθιές.



Εικόνα 2.5 Εσωτερική πισίνα 8 διαδρομών.

2. Κερκίδες που μπορούν να φιλοξενήσουν περίπου 500 θεατές.
3. Μια πισίνα εκμάθησης μήκους 12 m, πλάτους 8 m και βάθους από 0,45m έως 1,20 m.
4. Αποδυτήρια και ντουζιέρες ανδρών και γυναικών που εξυπηρετούν περίπου 800 άτομα ημερησίως.



Εικόνα 2.6 Εσωτερική πισίνα εκμάθησης.

Ο πυθμένας στις πισίνες είναι κατασκευασμένος με αντιμυκητιακό πλακάκι. Έξω από τον χώρο του κολυμβητηρίου υπάρχει μια δεξαμενή ανακύκλωσης και φιλτραρίσματος του νερού, *χωρητικότητας* περίπου 600 lit. Το συστατικό που χρησιμοποιείται για την *απολύμανση* του νερού είναι το χλώριο με περιεκτικότητα 0,7 mg/lit. Το pH του νερού είναι ουδέτερο δηλαδή κοντά στο 7. Ο *ρυθμός εναλλαγής* για την μεγάλη πισίνα είναι περίπου 6 ώρες ενώ για την μικρή 2-3 ώρες.

Η *θερμοκρασία* που επικρατεί στον περιβάλλοντα χώρο κατά την διάρκεια λειτουργίας είναι γύρω στους 20 °C, ενώ η θερμοκρασία του νερού είναι 26°C της μεγάλης πισίνας και περίπου 28-29 °C της μικρής. Οι ώρες που λειτουργεί ο χώρος της πισίνας είναι περίπου 12,5 ώρες / ημέρα συνήθως από τις 10:00 μ.μ. έως τις 22:30 μ.μ. Ο χώρος θερμαίνεται 24 ώρες το 24ωρο και 7 μέρες / εβδομάδα.

Το κέλυφος του χώρου της πισίνας, ελλείψει στοιχείων, προσδιορίστηκε κατά προσέγγιση. Θεωρήθηκε λοιπόν μετά από μέγιστη δυνατή συλλογή πληροφοριών, πως αποτελείται από μεταλλική κατασκευή με βιομηχανικό πάνελ. Τα πάνελ αποτελούνται από δυο γαλβανισμένα & έγχρωμα (βαμμένα με πολυεστερική βαφή) χαλυβδοελάσματα που περικλείουν οικολογικό αφρό πολυουρεθάνης. Για να φωτίζεται ο χώρος μεταξύ του μεταλλικού σκελετού έχουν τοποθετηθεί πολυκαρβονικά φύλλα (Eurocarb).

2.3 Απώλειες θερμότητας και απαιτούμενη θερμική ισχύς.

Η επιθυμητή θερμοκρασία για πισίνες είναι 27 ° C, όμως, αυτό θα ποικίλει από περιοχή σε περιοχή κατά τουλάχιστον 5 ° C. Σε πολλές περιπτώσεις, το νερό της πισίνας πρέπει να αντιμετωπίζεται με χλώριο. Το σύστημα θέρμανσης του νερού σε αυτή την περίπτωση, είναι εγκατεστημένο στη γραμμή επιστροφής της πισίνας. Ο ρυθμός ανακυκλοφορίας κυμαίνεται από έξι έως οκτώ ώρες για μια πλήρη αλλαγή του νερού. Οι εναλλάκτες θερμότητας πρέπει να είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να αντέχουν στις διαβρωτικές επιδράσεις του χλωρίου του νερού πισίνας. Αυτό συχνά απαιτεί εναλλάκτες θερμότητας πλάκας, χρησιμοποιώντας πλάκες τιτανίου.

Η διαστασιολόγηση του συστήματος για τη θερμοκρασία και το ρυθμό ροής εξαρτάται από τέσσερις εκτιμήσεις. Αυτές είναι:

1. Αγωγή μέσα από τα τείχη πισίνα,
2. Συναγωγή από την επιφάνεια της πισίνας,
3. Ακτινοβολία από την επιφάνεια της πισίνας, και
4. Εξάτμιση από την επιφάνεια της πισίνας.

Από αυτές, η αγωγιμότητα είναι γενικά η λιγότερη σημαντική, εκτός εάν η πισίνα είναι πάνω από το έδαφος ή σε επαφή με το κρύα υπόγεια ύδατα. Οι απώλειες συναγωγής εξαρτώνται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του νερού πισίνας και τον περιβάλλοντα αέρα, και από την ταχύτητα του ανέμου. Αυτές είναι σημαντικά μειωμένες για εσωτερικές πισίνες και για πισίνες με ανεμοθραύστες. Οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερες τη νύχτα, και πάλι κυρίως για εξωτερικές πισίνες, ωστόσο, κατά τη διάρκεια της ημέρας θα υπάρξουν ηλιακά κέρδη με τα οποία μπορεί να αλληλοεξουδετερώνονται. Ένα πλωτό κάλυμμα πισίνας μπορεί να μειώσει τόσο τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας όσο και από εξάτμιση. Οι απώλειες εξάτμισης αποτελούν τη μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας από πισίνες, 50 έως 60% στις περισσότερες περιπτώσεις. Ο ρυθμός με τον οποίο η εξάτμιση λαμβάνει χώρα είναι μία συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου και της διαφοράς πίεσης μεταξύ του νερού της πισίνας και του υδρατμού στον αέρα (διαφορά πίεσης ατμών). Καθώς η θερμοκρασία του νερού της πισίνας αυξάνεται ή η σχετική υγρασία του αέρα μειώνεται, αυξάνεται ο ρυθμός εξάτμισης. Το περιβάλλον μπορεί να μειώσει

σημαντικά την απώλεια αυτή, και ένα πλωτό κάλυμμα πισίνας μπορεί να εξαλείψει ουσιαστικά την απώλεια. Τέλος το κολύμπι και άλλες χρήσεις της πισίνας προκαλούν κύματα και πιτσίλισμα και θα αυξάνουν την περιοχή επιφάνειας και έτσι το ρυθμό εξάτμισης. [2]

2.3.1 Υπολογισμός θερμικής ισχύος για την θέρμανση της πισίνας του κολυμβητηρίου του Βόλου.

Η σχέση 1 δίνει την απαιτούμενη θερμική ισχύ της εγκατάστασης για τη θέρμανση του νερού της πισίνας (Περδιδός, 2007, σελ 172) [7] :

$$Q = 0,6 * F * Q_A + \frac{1000 * V * (t_2 - t_1)}{T} \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

Όπου:

F [m²] Επιφάνεια της πισίνας

Q_A [kW /m²] Θερμικές απώλειες νερού

V [m³] Όγκος νερού

t₁ [°C] Αρχική θερμοκρασία νερού

t₂ [°C] Τελική θερμοκρασία νερού

T [h] Χρόνος θέρμανσης. Συνήθως λαμβάνεται 10 - 20 h

A. Σε κλειστά κολυμβητήρια ισχύει $Q_A = 0.103 \text{ kW /m}^2$ για θερμοκρασία νερού ανώτερη των 23 °C, θερμοκρασία αέρα 26 °C, θερμοκρασία νερού συμπλήρωσης 13 °C, σχετική υγρασία 60% και ταχύτητα ανέμου 1 m/s.

B. Σε ανοικτά κολυμβητήρια για θερμοκρασία νερού ανώτερη των 23 °C, θερμοκρασία αέρα 13 °C, θερμοκρασία νερού συμπλήρωσης 13 °C σχετική υγρασία 60% οι θερμικές απώλειες είναι:

$Q_A = 0.288 \text{ kW /m}^2$ για ταχύτητα ανέμου 1 m/s

$$= 0.430 \text{ kW /m}^2 \text{ για ταχύτητα ανέμου } 2 \text{ m/s}$$

$$= 0.705 \text{ kW /m}^2 \text{ για ταχύτητα ανέμου } 4 \text{ m/s} \quad [7]$$

Συγκεκριμένα για την πισίνα του κλειστού κολυμβητηρίου του Βόλου επιλέγεται η πρώτη περίπτωση που αφορά τις πισίνες σε κλειστό χώρο.

Οπότε έχουμε:

$$\text{Επιφάνεια πισίνας που θερμαίνεται: } (20 \cdot 25 \text{ μεγάλη}) + (12 \cdot 8 \text{ μικρή}) =$$

$$= 596 \text{ m}^2$$

$$\text{Όγκος νερού που θερμαίνεται: } (20 \cdot 25 \cdot 3,4 \text{ μεγάλη}) + (12 \cdot 8 \cdot 0,82 \text{ μικρή}) =$$

$$= 1367,87 \text{ m}^3$$

$$\text{Qολ.εσωτ.} = 0,6 \cdot 596 \cdot 0,103 + [1.000 \cdot 1367,87 \cdot (26 - 10)] / 48^{\text{ii}} = 42.912 + 455.957$$
$$= 580 \text{ kW ή } 2.088.000 \text{ kJ ή } 2.088 \text{ MJ}$$

Η επιφάνεια της πισίνας, όπως και ο όγκος του νερού δείχνει την συνολική επιφάνεια και όγκο της μικρής αλλά και της μεγάλης πισίνας. Οι μετατροπές γίνονται σύμφωνα με τα ισοδύναμα : 1 kW είναι 3600 kJ και 860 kcal/h.

Για να υπολογίσουμε τώρα τις ανάγκες της ανοικτής πισίνας του κολυμβητηρίου του Βόλου παίρνουμε τη δεύτερη περίπτωση και έχουμε:

$$\text{Επιφάνεια πισίνας που θερμαίνεται: } (50 \cdot 25) = 1250 \text{ m}^2$$

$$\text{Όγκος νερού που θερμαίνεται: } (50 \cdot 25 \cdot 2,22) = 2781,25 \text{ m}^3$$

Επίσης σύμφωνα με επίσημα στοιχεία του *Weatherbase, Canty and Associates LLC* (<http://www.weatherbase.com>) ο μέσος όρος ταχύτητας ανέμου για την πόλη του Βόλου προκύπτει από τον πίνακα 2.1:

Πίνακας 2.1 Μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου στην Πόλη του Βόλου. (πηγή: *Weatherbase, Canty and Associates LLC*) [5]

| | km/h | m/s |
|-------------------------------|------|------------|
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 12,3 | 3,4 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 12,1 | 3,4 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 12,7 | 3,5 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 9,6 | 2,7 |
| ΜΑΙΟΣ | 8,1 | 2,2 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 5,8 | 1,6 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 3,5 | 1,0 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 3,9 | 1,1 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 5,7 | 1,6 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 9,6 | 2,7 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 11,9 | 3,3 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 12,8 | 3,6 |
| ΕΤΗΣΙΟΣ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ | | 2,5 |

Λαμβάνουμε λοιπόν $Q_A=0.430 \text{ kW /m}^2$ στην ανοικτή κολυμβητική δεξαμενή για ταχύτητα ανέμου 2 m/s που είναι πιο κοντά στην τιμή μας.

$$Q_{ολ-εξ-ωτ.} = 0,6 * 1250 * 0,430 + [1.000 * 2781,25 * (26 - 10)] / i_{48} = 375.000 + 927.083 = 1514 \text{ kW} \text{ ή } 5.450.400 \text{ kJ} \text{ ή } 5.450,4 \text{ MJ}$$

i Υπολογίσαμε την αναγκαία θερμική ισχύ για θέρμανση των πισινών σε θερμοκρασία άνω των 23 °C μέσα σε 48 ώρες δηλαδή δύο ημέρες που είναι και το σύνθηες .

2.4 Ισχύον συμβατικό σύστημα θέρμανσης

2.4.1 Μηχανοστάσιο ανοικτού κολυμβητηρίου

Σύμφωνα με τα στοιχεία που συλλέχτηκαν ο τρόπος που θερμαίνεται η εξωτερική πισίνα είναι με την βοήθεια δύο λέβητων που λειτουργούν με φυσικό αέριο.

Ο ένας λέβητας είναι Ελληνικής κατασκευής και επωνυμίας ‘THERMOSTAHL’. Η ονομαστική θερμική ισχύς του είναι 1.600.000 (kcal/h) ή 1.860 (kW), έχει βαθμό απόδοσης 92%, λειτουργεί σε 3 bar πίεση και πιάνει μέγιστη θερμοκρασία τους 95°C. Λειτουργεί με ρυθμό κατανάλωσης αερίου 15,8-16,7 kg/h (Εικ.2.7-2.8).



Εικόνα 2.7 1^{ος} Λέβητας αερίου εξωτερικής πισίνας ισχύος 1860 kW.



Εικόνα 2.8 Αναγραφόμενα χαρακτηριστικά λέβητα από τον κατασκευαστή.

Ο δεύτερος λέβητας είναι Γερμανικής κατασκευής και επωνυμίας 'PIEREN'. Η ονομαστική θερμική ισχύς του είναι 1.800.000 (kcal/h) ή 2.930 (kW), έχει βαθμό απόδοσης 92%, λειτουργεί σε 5 bar πίεση και πιάνει μέγιστη θερμοκρασία τους 95°C. (Εικ.2.9).



Εικόνα 2.9 2^{ος} λέβητας εξωτερικής πισίνας ισχύος 2.930 kW.

Η συνολική λοιπόν ωφέλιμη θερμική ισχύς και από τους δύο λέβητες είναι:

$$Q_{\lambda\beta 1-2} = \text{Ονομαστική Ισχύς λέβητα} * \text{Βαθμός απόδοσης λέβητα} \Rightarrow$$

$$Q_{\lambda\beta 1-2} = 1.600.000 \text{ Kcal/h} * 92 \% + 1.800.000 \text{ kcal/h} * 92 \% = \mathbf{3.128.000 \text{ kcal/h}}$$

ή **3637 kW**

Στο κεφ. 2.3.1 υπολογίστηκε η αναγκαία θερμική ισχύς για τη θέρμανση της εξωτερικής πισίνας σε 48 ώρες ίση με $Q_{\text{ολ.εξ.οτ.}} = 1.302.083 \text{ Kcal}$ ή **1515 kW** και χρησιμοποιώντας τον τύπο (1) για 24 ώρες προκύπτει $Q_{\text{ολ.εξ.οτ.}} = 2.229.166 \text{ Kcal}$ ή **2592.5 kW**

Οπότε συμπεραίνουμε ότι η συνολική ισχύς των λεβήτων είναι σε θέση να θερμάνει την εξωτερική πισίνα μέσα σε ένα 24ώρο εφόσον $Q_{\lambda\beta 1-2} > Q_{\text{ολ.εξ.οτ.}}$.

Το μηχανοστάσιο του ανοικτού κολυμβητηρίου επίσης περιλαμβάνει τέσσερα μπόιλερ , τρεις αντλίες, δύο εναλλάκτες, το σύστημα ρύθμισης χλωρίωσης και μία δεξαμενή χλωρίου.



Εικόνα 2.10 Αντλίες και μπόιλερ μηχανοστασίου ανοικτού κολυμβητηρίου.



Εικόνα 2.11 Εναλλάκτες θερμότητας και σύστημα χλωρίωσης πισίνας.

2.4.2 Μηχανοστάσιο κλειστού κολυμβητηρίου.

Το μηχανοστάσιο του κλειστού κολυμβητηρίου βρίσκεται ένα επίπεδο κάτω από το κτήριο του κολυμβητηρίου στην ανατολική πλευρά. Η εσωτερική πισίνα του κολυμβητηρίου μαζί με την πισίνα εκμάθησης θερμαίνονται με ένα καυστήρα φυσικού αερίου. Είναι Ιταλικής κατασκευής με επωνυμία 'BALTUR' και η ονομαστική του ισχύς είναι 849.527 (kcal/h) ή 988 (kW), έχει βαθμό απόδοσης 94%, και πιάνει μέγιστη θερμοκρασία τους 95°C. (Εικ.2.12)



Εικόνα 2.12 Λέβητας κλειστού κολυμβητηρίου ισχύος 988 Kw.

Η ωφέλιμη θερμική ισχύς και από το λέβητα είναι:

$$Q_{\lambda\beta 3} = 849.527 \text{ kcal /h} * 94\% = 798.555 \text{ kcal /h} \text{ ή } 928,71 \text{ kW}$$

Στο κεφ. 2.3.1 υπολογίστηκε η αναγκαία θερμική ισχύς για τη θέρμανση των εσωτερικών πισινών σε 48 ώρες ίση με $Q_{\text{ολ-εσωτ.48}} = 498.868 \text{ Kcal}$ ή $580,18 \text{ kW}$ και χρησιμοποιώντας τον τύπο (1) για 24 ώρες προκύπτει $Q_{\text{ολ-εσωτ.24}} = 1110.46 \text{ kcal}$.

Οπότε συμπεραίνουμε ότι η συνολική ισχύς του λέβητα είναι δεν είναι σε θέση να θερμάνει τις εσωτερικές πισίνες μέσα σε ένα 24ώρο εφόσον $Q_{\lambda\beta.3} < Q_{\text{ολ-εξωτ.}}$. Χρησιμοποιώντας τον τύπο (1) προκύπτει ότι είναι απαραίτητες 29 ώρες λειτουργίας.

Το μηχανοστάσιο του κλειστού κολυμβητηρίου επίσης περιλαμβάνει δύο μπόιλερ 750λιτ. για νερό χρήσης στις ντουζιέρες , δύο αντλίες, το σύστημα ρύθμισης χλωρίωσης , το σύστημα εξαερισμού και δύο λέβητες πετρελαίου που λειτουργούσαν πριν από την εγκατάσταση του λέβητα φυσικού αερίου.



Εικόνα 2.13 Μπόιλερ 750l για νερό χρήσης στις ντουζιέρες.



Εικόνα 2.14 Σύστημα εξαερισμού κλειστού κολυμβητηρίου.



Εικόνα 2.15 Δύο λέβητες πετρελαίου εκτός λειτουργίας.

2.5 Εναλλακτικοί τρόποι θέρμανσης και εξοικονόμησης ενέργειας

Διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας θέρμανσης για το νερό της πισίνας και συνεπαγωγικά του περιβάλλοντα χώρου είναι οι παρακάτω:

2.5.1 Χρήση καλύμματος πισίνας.

Η εξάτμιση είναι ο κύριος λόγος απώλεια θερμότητας μιας κολυμβητικής πισίνας, που αντιπροσωπεύει περίπου το 70% της θερμότητας που χάνεται από εσωτερικές και εξωτερικές πισίνες (Σχήμα 2.1). Το υπόλοιπο είναι από την ακτινοβολούμενη θερμότητα για εξωτερικές πισίνες και εξαερισμού για εσωτερικές πισίνες.



Σχήμα 2.1 Αιτίες απωλειών θερμότητας σε πισίνες. [πηγή: U.S. Department of Energy]

πισίνας.

Ο καλύτερος τρόπος για να μειωθούν οι απώλειες εξάτμισης είναι να καλύπτεται η πισίνα όταν δεν είναι σε χρήση. Το κάλυμμα πισίνας εμποδίζει την εξάτμιση καθώς και τις απώλειες ακτινοβολίας, και παρέχει κάποια μόνωση από απώλειες συναγωγής. Η πιθανή εξοικονόμηση από καλύμματα πισίνας εξαρτάται από το διάστημα για το οποίο η πισίνα καλύπτεται και από τις τοπικές συνθήκες που επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο η εξάτμιση λαμβάνει χώρα, αναφορές υπολόγισαν 50% εξοικονόμηση ή περισσότερο σε σύγκριση με την ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση ακάλυπτων πισινών. Πρόσθετη εξοικονόμηση προκύπτει εφόσον λιγότερη επεξεργασία του ύδατος απαιτείται, οδηγώντας σε μείωση των χημικών ουσιών που απαιτούνται για να διατηρηθεί η σύσταση του νερού της

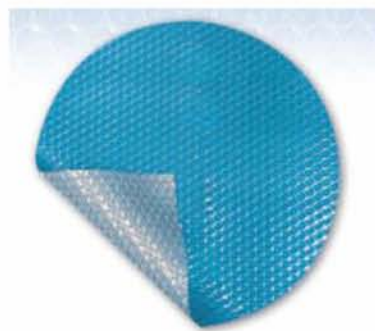
Για τις εξωτερικές πισίνες, οι απώλειες εξάτμισης προκύπτουν από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την υγρασία και τη μέση ταχύτητα ανέμου. Ο άνεμος και το ξηρό περιβάλλον προκαλεί ταχύτερη εξάτμιση και μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας.

Η επιλογή του κατάλληλου καλύμματος πισίνας εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα της πισίνας, τις συνθήκες υπό τις οποίες το κάλυμμα χρησιμοποιείται και το διαθέσιμο χώρο αποθήκευσης. Τα πιο ακριβά καλύμματα σχεδιάζονται για μια συγκεκριμένη πισίνα και περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένη ανάκληση και σύστημα αποθήκευσης. Λιγότερο ακριβά-καλύμματα αφαιρούνται με το χέρι και στοιβάζονται ή τυλίγονται σε ένα μεγάλο τρόλεϊ. Σε μία απλή εφαρμογή (εικόνα 2.16), ένα διαφανές μονωτικό ηλιακό κάλυμμα επιπλέει στην επιφάνεια της πισίνας, εμποδίζοντας την εξάτμιση αλλά επιτρέποντας την ηλιακή ακτινοβολία να περάσει και να θερμάνει το νερό. Τα ηλιακά καλύμματα μοιάζουν με ένα σάντουιτς με φούσκες μεταξύ στρωμάτων πλαστικής επικάλυψης με αναστολείς υπεριώδους ακτινοβολίας παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής της υλικού.[6]

Μερικοί τύποι καλυμμάτων που μπορεί να εντοπίσει κανείς στο εμπόριο είναι:

1. Καλοκαιρινό κάλυμμα.

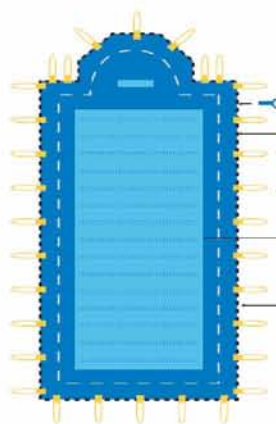
Αναπτύσσεται πάνω από την πισίνα, λειτουργεί ως ηλιακός συλλέκτης (ημιδιαφανές μπλε μοντέλο), κατά τη διάρκεια της ημέρας αυξάνει την θερμοκρασία της πισίνας μερικώς πολύτιμους βαθμούς, τη νύχτα προστατεύει το νερό της πισίνας από την απώλεια των θερμίδων θερμότητας στον αέρα. Επιπλέον, επειδή τα φύλλα και τα σκουπιδάκια παγιδεύονται στο δίχτυ, η ανάγκη φιλτραρίσματος της πισίνας μειώνεται και απαιτούνται λιγότερα χημικά για το νερό της πισίνας. Είναι κατασκευασμένα από anti-UV πολυαιθυλένιο πάχους 300 ή 400 χιλιοστά. Βγαίνει σε δύο εκδοχές: 1) Ημιδιαφανές μπλε που επιτρέπει τις ακτίνες του ήλιου να το διαπεράσουν και 2) Ασημένιο για μια πιο έντονη ισοθερμική επίδραση (αυτός ο τύπος καλύμματος αναστέλλει τη φωτοσύνθεση και έτσι τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών).



Εικόνα 2.16 Κάλυμμα πισίνας καλοκαιρινό ημιδιαφανές. [21]

2. Χειμερινό κάλυμμα.

Το χειμερινό κάλυμμα συνδυάζει αντοχή και μικρό βάρος που πληροί τις αυστηρές απαιτήσεις που προβλέπονται στο Γαλλικό πρότυπο NF P 90-308 (ανάλογα με το επιλεγμένο σύστημα στερέωσης). Έχει σχεδιαστεί για εύκολη εγκατάσταση, αφαίρεση και καθαρισμό. Είναι ένα αδιαφανές κάλυμμα κατασκευασμένο από προεκτεταμένο ύφασμα με PVC επικάλυψη και ενισχυμένο πολυεστέρα (εικόνα 2.17). Περιμετρικά είναι πλαισιωμένο από μια ευρεία ταινία για να το προστατεύει από την τριβή που προκαλείται από την επαφή με τα τοιχεία. Το ύφασμα είναι επεξεργασμένο με μικροδιατρήσεις κατανεμημένες σε όλη την επιφάνεια του, έτσι ώστε να επιτρέπει το νερό της βροχής να φιλτράρεται μέσα, αλλά να είναι αδιαπέραστο στο φως. Ο σχεδιασμός του καλύμματος εξασφαλίζει την πολύ καλή εφαρμογή στην πισίνα, ακόμα και σε αυτές που έχουν κάποια σκαλοπάτια ή κάποια άλλη δυσμορφία. Η επένδυση με PVC αυξάνει την αντοχή στις επιδράσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας και της διάβρωσης από χλωριωμένα προϊόντα.



Εικόνα 2.17 Κάλυμμα πισίνας Χειμερινό με επικάλυψη PVC. [21]

3. Ημιαυτόματο σύστημα σε κάλυμμα παντός καιρού.

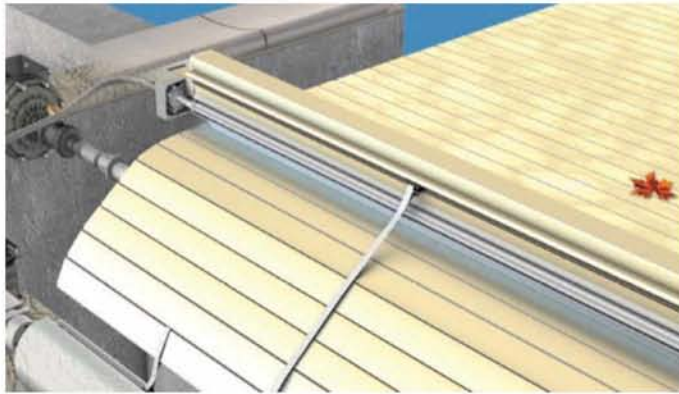
Είναι ένα λουστραρισμένο κάλυμμα ενισχυμένο με ράβδους αλουμινίου. Ξετυλίγεται εύκολα επάνω στην πισίνα και μαζεύεται με τη βοήθεια μιας μηχανοκίνητης μανιβέλας (εικ. 2.18) η οποία τυλίγει 10 μέτρων σε 45 δευτερόλεπτα. Περιλαμβάνει UV προστασία, είναι ισχυρό (610g/m²) και σκληρό και έχει μεμβράνη πολυεστέρα. Το ύφασμα του καλύμματος συνεχίζεται και κάτω από τις μπάρες για την ενίσχυση της μηχανικής αντοχής (εικόνα 2.18). Αυτή η ισχυρή μεμβράνη εκτείνεται και στις δύο επιφάνειες για να αντέχει στη φθορά από φυσικό / χημικές διαβρώσεις και τον καιρό. Η προσθήκη ράβδων αλουμινίου ενισχύονται σκληραίνουν το κάλυμμα, έτσι ώστε να μην χαλάσει από ένα παιδί που πέφτει σε αυτό.



Εικόνα 2.18 Κάλυμμα με σύστημα ημιαυτόματου μαζέματος. [21]

4. Κάλυμμα υψηλής αντοχής με αυτόματο μηχανισμό.

Είναι κατασκευασμένα από πλάκες PVC ή ξύλου και είναι απολύτως στεγανή η επιφάνεια. Ο αέρας που παγιδεύεται μέσα είναι έτσι στατικός και ξηρός, εξασφαλίζοντας βέλτιστη θερμική μόνωση. Επίσης επειδή οι πλάκες μεταξύ τους συνδέονται έχει μια εξαιρετική ικανότητα να φέρει φορτίο και μπορεί εύκολα να υποστηρίξει το βάρος ενός ανθρώπου. Μαζεύει και απλώνεται με αυτόματο μηχανισμό και υπάρχει η δυνατότητα λειτουργίας του με ηλιακή φόρτιση από φωτοβολταϊκό στοιχείο (εικόνα 2.19). Τέλος μπορεί να προστεθεί αυτόματος καθαρισμός κατά το άνοιγμα. [21]



Εικόνα 2.19 Κάλυμμα υψηλής αντοχής με αυτόματο καθαρισμό και με σύστημα ηλιακής φόρτισης.
[21]

Ανεξάρτητα με το ποιο κάλυμμα θα επιλεγεί να εγκατασταθεί, είναι ο πιο αποδοτικός τρόπος για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες από το νερό της πισίνας τις ώρες κατά τις οποίες αυτή δεν χρησιμοποιείται. Θεωρείται ως αναγκαία πρώτη επένδυση για οποιοδήποτε πρόγραμμα ενεργειακής απόδοσης σε κολυμβητήριο. Η χρήση ενός καλύμματος μπορεί να επιτρέψει εξοικονόμηση ενέργειας έως και **50%** της συνολικής χρήσης της ενέργειας και να μειώσει το κόστος της κατά 25%.

2.5.1.1 Υπολογισμός μηνιαίου και ετήσιου θερμικού φορτίου της εξωτερικής κολυμβητικής δεξαμενής.

Δεδομένου ότι η εξωτερική πισίνα είναι εκτεθειμένη τόσο στον ήλιο όσο και στον άνεμο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους θα επικεντρωθούμε σε αυτή και θα υπολογίσουμε τις απώλειες θερμότητας από την επιφάνειά της με τη χρήση καλύμματος και χωρίς αυτό.

Το μηνιαίο θερμικό φορτίο της κολυμβητικής δεξαμενής για σταθερή θερμοκρασία νερού $t = 26 \text{ }^\circ\text{C}$ υπολογίζεται από τη Σχέση (2) (Περδιός 2009, σελ 117) [9] :

$$Q_{\text{ΚΔ}} = F \cdot [N \cdot (Q_C + Q_R + Q_E) - 0,8 H] \text{ (kJ/μήνα)} \quad (2)$$

Όπου:

$F \text{ [m}^2\text{]}$: Επιφάνεια δεξαμενής (στην περίπτωση του ανοικτού κολυμβητηρίου 1250m^2)

$N \text{ [-]}$: Αριθμός ημερών μήνα (31 μέρες)

$Q_C \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{ημέρα]}$: Θερμικές απώλειες λόγω μετάβασης

$Q_R \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{ημέρα]}$: Θερμικές απώλειες λόγω ακτινοβολίας

$Q_E \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{ημέρα]}$: Θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης

$H \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{μήνα]}$: Μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο.

Τώρα υπολογίζονται οι θερμικές απώλειες σύμφωνα με τους τύπους (3-5) κατά σειρά:

$$Q_C = (490+66v) \cdot (t - t_a) \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{ ημέρα]} \quad (3)$$

$$Q_R = 5450 + [350 + 2,4 \cdot (t + t_a)] \cdot (t - t_a) \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{ ημέρα]} \quad (4)$$

$$Q_E = f_T \cdot (790 + 530v) \cdot (p_s - p_u) \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{ ημέρα]} \quad (5)$$

[9]

Όπου :

t [°C]: θερμοκρασία νερού δεξαμενής (συνήθως 24 - 26°C)

t_a [°C]: μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα.

v [m/sec]: ταχύτητα ανέμου στην επιφάνεια της δεξαμενής.

f_T [-]: ποσοστό χρόνου κάλυψης - $f_T = 1$ χωρίς κάλυμμα, $f_T = 0,5$ νυχτερινή κάλυψη

p_s [mbar]: πίεση υδρατμών κορεσμένου αέρα

p_u [mbar]: μέση μηνιαία πίεση υδρατμών αέρα

Για την περίπτωση που μελετάται δηλαδή για το ανοικτό κολυμβητήριο στην πόλη του Βόλου οι παραπάνω παράμετροι έχουν τις εξής τιμές:

t [°C]: 26°C

t_a [°C]: Όλες οι τιμές για όλους τους μήνες από στατιστική μετεωρολογική υπηρεσία.[8]

v [m/sec]: μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου για την πόλη του Βόλου από στατιστική μετεωρολογική υπηρεσία.[8]

f_T [-]: Εξετάζεται χωρίς κάλυμμα 1 και έπειτα με νυχτερινή κάλυψη 0,5.

p_s [mbar]: 34,27 mbar για την πόλη του Βόλου.

p_u [mbar]: Όλες οι τιμές για όλους τους μήνες σύμφωνα στατιστική μετεωρολογική υπηρεσία. [8]

Το υπολογιστικό μέρος των ανωτέρω σχέσεων (3) – (5) πχ. για τον δυσμενέστερο μήνα Δεκέμβριο είναι:

$$Q_C = (490+66v) \cdot (t - t_a) = (490+66 \cdot 2) \cdot (26 - 12) = \mathbf{8.708 \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{μέρα]}} \text{ ή } \mathbf{2,41 \text{ [kW/ m}^2 \cdot \text{Μέρα]}}$$

$$Q_R = 5.450 + [350 + 2,4 \cdot (t + t_a)] \cdot (t - t_a) = 5.450 + [350 + 2,4 \cdot (26 + 12)] \cdot (26 - 12) = \mathbf{11.626 \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{μέρα]}} \text{ ή } \mathbf{3,23 \text{ [kW/ m}^2 \cdot \text{Μέρα]}}$$

$$Q_E = f_T \cdot (790 + 530v) \cdot (p_s - p_u) =$$

➤ *Χωρίς Νυχτερινή κάλυψη* με $f_T = 1$ είναι:

$$Q_{E,\chi} = 1 \cdot (790 + 530 \cdot 0) \cdot (34,27 - 8,7) = \mathbf{60.857 \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{μέρα]}} \text{ ή } \mathbf{16,90 \text{ [kW/ m}^2 \cdot \text{Μέρα]}}$$

➤ *Με Νυχτερινή κάλυψη* με $f_T = 0,5$ είναι:

$$Q_{E,\mu\epsilon} = 0,5 \cdot (790 + 530 \cdot 0) \cdot (34,27 - 8,7) = \mathbf{30.428 \text{ [kJ/ m}^2 \cdot \text{μέρα]}} \text{ ή } \mathbf{8,45 \text{ [kW/ m}^2 \cdot \text{Μέρα]}}$$

Βλέπουμε ότι οι απώλειες εξάτμισης της πισίνας είναι ακριβώς οι διπλάσιες στην περίπτωση χωρίς κάλυψη από αυτή της νυχτερινής κάλυψης.

Η ανωτέρω διαδικασία ακολουθείται ομοίως για κάθε μήνα στην πόλη του Βόλου όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.2

Πίνακας 2.2 Μηνιαίες θερμικές απώλειες πισίνας για το κολυμβητήριο του Βόλου σε [kJ/ m². Μέρα]

| | Q_C | Q_R | Q_E χωρ.καλ. | Q_E με.καλ. |
|--------------|-------|-------|----------------|---------------|
| ΙΑΝ | 11008 | 12432 | 63237 | 31618 |
| ΦΕΒ | 11008 | 12432 | 63713 | 31856 |
| ΜΑΡ | 8944 | 11217 | 62761 | 31380 |
| ΑΠΡ | 6192 | 9529 | 60381 | 30190 |
| Μαϊ | 2752 | 7311 | 54669 | 27334 |
| ΙΟΥΝ | -688 | 4973 | 50623 | 25311 |
| ΙΟΥΛ | -3016 | 3512 | 58113 | 29056 |
| ΑΥΓ | -2262 | 4004 | 56367 | 28183 |
| ΣΕΠ | 1508 | 6390 | 58404 | 29202 |
| ΟΚΤ | 5504 | 9095 | 51575 | 25787 |
| ΝΟΕΜ | 6220 | 9958 | 43790 | 21895 |
| ΔΕΚΕΜ | 9632 | 11627 | 60857 | 30428 |

Οπότε το **μηνιαίο θερμικό φορτίο** της κολυμβητικής δεξαμενής (για τον μήνα Δεκέμβριο) για σταθερή θερμοκρασία νερού $t = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ υπολογίζεται ως εξής:

A. Χωρίς Νυχτερινή κάλυψη με $Q_{E,\chi} = 60.857\text{ [kJ/ m}^2\text{. μέρα]}$ και αντικαθιστώντας στον τύπο (2) είναι:

$$Q_{\text{ΚΛ},\chi} = F \cdot [N \cdot (Q_C + Q_R + Q_E) - 0,8 H] = 1250 \cdot [31 \cdot (9632 + 11627 + 60857) - 0,8 \cdot 185.400] = \mathbf{2.996.571.750\text{ (kJ/μήνα) ή } 2.996.572\text{ (MJ/μήνα) ή } \underline{\underline{832.381\text{ (kW/ μήνα)}}}$$

B. Με Νυχτερινή κάλυψη με $Q_{E,\mu\epsilon} = 30.428\text{ [kJ/ m}^2\text{. μέρα]}$ και αντικαθιστώντας στον τύπο (2) είναι:

$$Q_{\text{ΚΛ},\mu\epsilon} = F \cdot [N \cdot (Q_C + Q_R + Q_E) - 0,8 H] = 1250 \cdot [31 \cdot (9632 + 11627 + 30.428) - 0,8 \cdot 185.400] = \mathbf{1.817.475.125\text{ (kJ/μήνα) ή } 1.817.475\text{ (MJ/μήνα) ή } \underline{\underline{504.854\text{ (kW/ μήνα)}}}$$

Η ανωτέρω διαδικασία ακολουθείται ομοίως για κάθε μήνα στην πόλη του Βόλου όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.3.

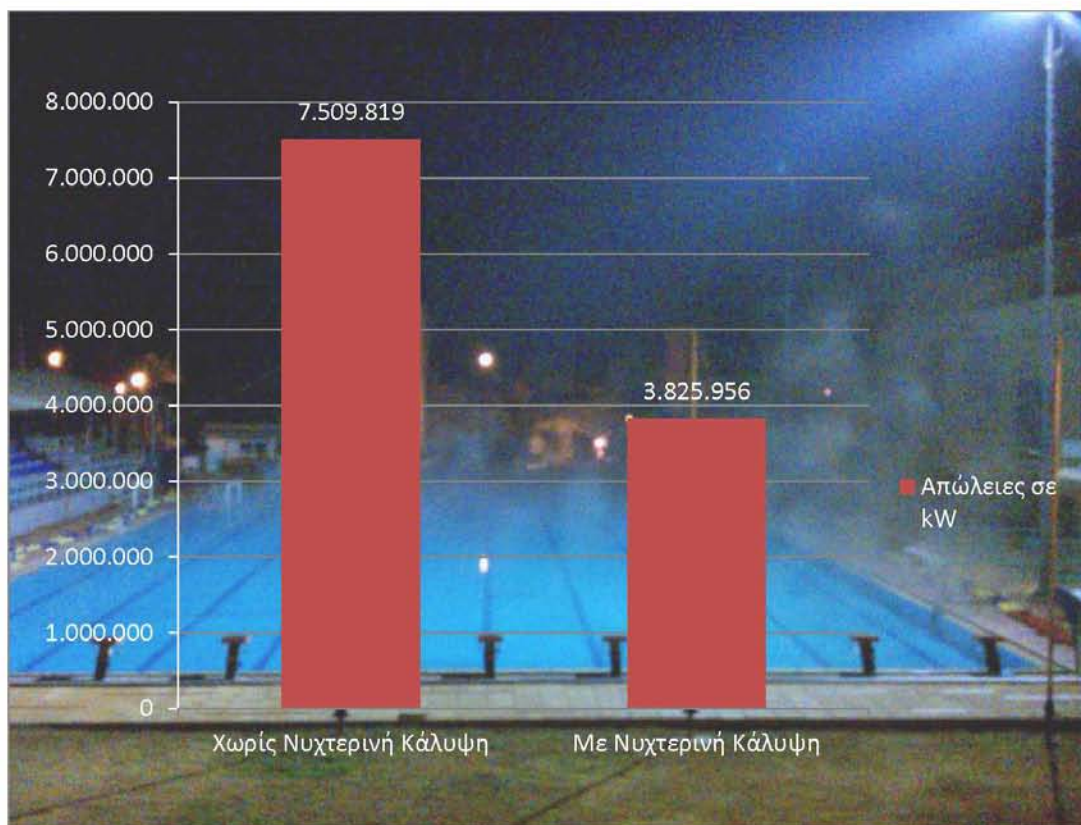
Πίνακας 2.3 Μηνιαίες θερμικές απώλειες της πισίνας του ανοικτού κολυμβητηρίου του Βόλου σε kW.

| | $Q_{\text{ΚΔ}\chi}$ | $Q_{\text{ΚΔ}\mu\epsilon}$ |
|-------|---------------------|----------------------------|
| ΙΑΝ | 871682 | 531346 |
| ΦΕΒ | 863805 | 520908 |
| ΜΑΡ | 780057 | 442283 |
| ΑΠΡ | 669947 | 344982 |
| Μαϊ | 507062 | 212838 |
| ΙΟΥΝ | 378317 | 105869 |
| ΙΟΥΛ | 413462 | 100703 |
| ΑΥΓ | 430376 | 127013 |
| ΣΕΠ | 566864 | 252539 |
| ΟΚΤ | 613483 | 335911 |
| ΝΟΕΜ | 582384 | 346711 |
| ΔΕΚΕΜ | 832381 | 504854 |

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι το σύνολο των απωλειών για την πισίνα χωρίς κάλυμμα για όλο το χρόνο είναι **7.509.819 kW** ενώ με νυχτερινή κάλυψη είναι **3.825.956 kW**.

Οπότε συμπεραίνουμε ότι το ποσοστό κέρδους απωλειών σκεπάζοντας την πισίνα κατά τις νυχτερινές ώρες είναι:

$$3.825.956 / 7.509.819 = 0,509 \text{ ή } \underline{50,9\%}$$



Σχήμα 2.2 Συγκριτικό διάγραμμα απωλειών με και χωρίς νυχτερινή κάλυψη του ανοικτού κολυμβητηρίου.

2.5.2 Αλλαγή συμβατικού συστήματος θέρμανσης πισινών με γεωθερμική αντλία θερμότητας.

Τα τελευταία χρόνια, οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (Γ.Α.Θ.) έχουν τύχει ευρύτατης αναγνώρισης καθώς αποτελούν αποδοτικά ανανεώσιμα ενεργειακά συστήματα τόσο για τη θέρμανση όσο και για την ψύξη κτηρίων. Ένα σύστημα Γ.Α.Θ. αποτελείται από μια συμβατική αντλία θερμότητας που συνδέεται με έναν γεωθερμικό εναλλάκτη. Το κύριο πλεονέκτημα χρησιμοποιώντας το έδαφος ως πηγή ή καταβόθρα θερμικής ενέργειας είναι ότι στον εδαφικό χώρο επικρατεί μια σχετικά

σταθερή μέση θερμοκρασία σε σύγκριση με τον αέρα του περιβάλλοντος. Αυτό οδηγεί σε μια συνολική βελτίωση της θερμικής απόδοσης του συστήματος και επομένως μειώνει τις λειτουργικές δαπάνες. Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται εκτενής ανάλυση των συστημάτων αυτών και του πιθανού τρόπου εγκατάστασής του στο κολυμβητήριο.

Κεφάλαιο 3. Γεωθερμία και αντλίες θερμότητας

3.1 Εισαγωγή

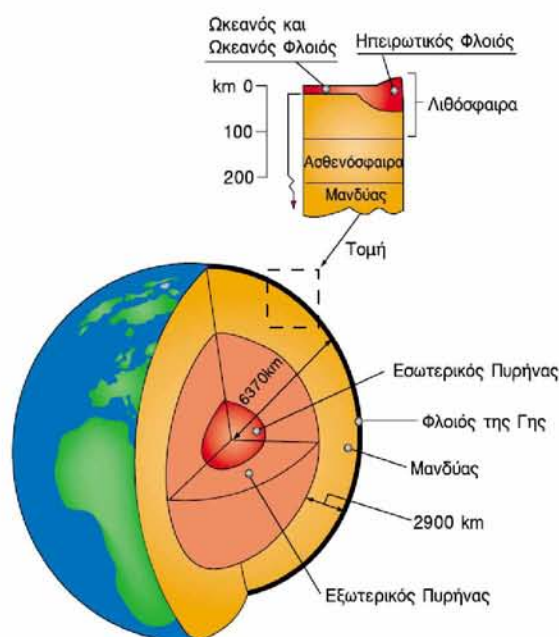
Ο όρος *Γεωθερμία* αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία στον εφαρμοσμένο επιστημονικό κλάδο που περιλαμβάνει όλο το φάσμα της έρευνας, από τη μελέτη της γήινης ροής θερμότητας, τις συνθήκες κατανομής των θερμοκρασιών στο υπέδαφος, το μηχανισμό της κυκλοφορίας των υπόγειων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες, καθώς και τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά τους, μέχρι τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με κατάλληλες παραγωγικές γεωτρήσεις.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική, ήπια και σε σημαντικό βαθμό ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, με ή χωρίς αέρια σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω, καθώς και σε θερμά-ξηρά πετρώματα. Η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής είναι εφικτή μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι γεωλογικές συνθήκες, σε συνδυασμό με το θερμικό φορτίο, εξασφαλίζουν ένα συγκριτικό οικονομικό αποτέλεσμα. Γεωθερμική ενέργεια περιέχεται και σε ξηρά-θερμά πετρώματα σε μεγάλα βάθη, σε γεωπεπυσμένους σχηματισμούς και σε λιωμένα πετρώματα (μάγματα), αλλά είναι δύσκολη η αξιοποίηση αυτής της ενέργειας με τα σημερινά τεχνικά και οικονομικά δεδομένα. Αντίθετα, αναπτύσσεται συνεχώς η αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμίας, από ρηχά ρευστά ή πετρώματα, έστω και αν έχουν μικρή θερμοκρασία.

Κυριότερος στόχος της Γεωθερμίας είναι ο εντοπισμός και η μελέτη των γεωθερμικών περιοχών, δηλαδή των περιοχών εκείνων που παρουσιάζουν θετικές θερμικές ανωμαλίες και ευνοϊκές γενικά συνθήκες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας. [10]

Ορισμός γεωθερμίας

Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης με μορφή νερών, ατμών, αερίων ή μειγμάτων αυτών ή ακόμη και ως ενέργεια από τα πετρώματα και αποτελεί μία σημαντική Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας (Α.Π.Ε.) Είναι η φυσική ενέργεια της γης που διαρρέει το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια.



Εικόνα 3.1 : Ο φλοιός, ο μανδύας και ο πυρήνας της γης [10]

Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό $0,04 - 0,06 \text{ W/m}^2$
- Με ρεύματα μεταφοράς που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα σύνορα των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Οι πρώτες μετρήσεις με θερμομέτρο έγιναν κατά πάσα πιθανότητα το 1740 σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας (Bullard, 1965). Ήδη από το 1870, για τη μελέτη της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης χρησιμοποιούνταν κάποιες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι, ενώ η θερμική κατάσταση που διέπει τη γη, η θερμική ισορροπία και εξέλιξή της κατανοήθηκαν καλύτερα τον 20^ο αιώνα, με την ανακάλυψη του ρόλου της ραδιενεργής θερμότητα.

Η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης αποτελεί την γεωθερμική ενέργεια και είναι τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας για τα ανθρώπινα μέτρα. Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε ρηχή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες.

Αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη σε μορφή θερμότητας ενέργεια του φλοιού της γης, σε βάθη έως 150 m. και με θερμοκρασίες υπεδάφους έως 18 °C. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (σχεδόν το 50% από τη συνολική ποσότητα που φθάνει στη Γη) από τη γήινη επιφάνεια και που στα γεωγραφικά πλάτη της εύκρατης ζώνης κάτω από κάποιο βάθος παραμένει περίπου σταθερή (10-18 °C) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η σταθερή και μόνιμη αυτή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί, το χειμώνα για θέρμανση νερού κεντρικής θέρμανσης έως 50 °C, το καλοκαίρι για ψύξη νερού κλιματισμού έως 10 °C, όπως επίσης και για ζεστό νερό χρήσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η άντληση της ενέργειας από τα βαθύτερα στρώματα της Γης, η λεγόμενη βαθιά γεωθερμική ενέργεια, απαιτεί τη διάνοιξη πηγαδιών σε μεγάλο βάθος. Τα πιθανά θερμά υπόγεια ύδατα μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.

Συχνά γίνεται διάκριση ανάμεσα στα γεωθερμικά συστήματα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι το νερό στην υγρή φάση και σε εκείνα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός. Στα συστήματα όπου επικρατεί το νερό, η υγρή φάση είναι αυτή που ελέγχει συνεχώς την πίεση. Μέσα στη φάση αυτή μπορεί να περιέχονται και κάποια αέρια με τη μορφή μικρών φυσαλίδων. Αυτά τα γεωθερμικά συστήματα, των οποίων οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 125 οC μέχρι 225 οC, είναι τα πλέον συνηθισμένα παγκοσμίως. Ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, μπορούν να παράγουν θερμό νερό, μίγμα νερού και ατμού, υγρό ατμό, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις ξηρό ατμό. Στα συστήματα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός, το υγρό νερό και ο ατμός συνήθως συνυπάρχουν στον ταμιευτήρα, με τον ατμό να ελέγχει συνεχώς την πίεση.

Ένας άλλος διαχωρισμός των γεωθερμικών συστημάτων είναι αυτός που βασίζεται στην κατάσταση ισορροπίας στον ταμιευτήρα σύμφωνα με τον οποίο λαμβάνονται

υπόψη η κυκλοφορία των ρευστών του ταμιευτήρα και ο μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας. Στα δυναμικά συστήματα ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με νερό, το οποίο θερμαίνεται. Στη συνέχεια, ο ταμιευτήρας αποφορτίζεται, είτε γιατί το θερμό ρευστό ανέβηκε μέχρι την επιφάνεια είτε γιατί άρχισε να γεμίζει τους υδατοπερατούς υπόγειους σχηματισμούς. Η θερμότητα μεταφέρεται στο σύστημα μέσω του μηχανισμού της συναγωγής και της κυκλοφορίας του ρευστού. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει συστήματα τόσο υψηλής (>150 οC) όσο και χαμηλής (<100 οC) θερμοκρασίας. Στα στατικά συστήματα, γνωστά και ως στάσιμα ή συστήματα αποθήκευσης, παρατηρείται ελάχιστη ή καμία τροφοδοσία του ταμιευτήρα και η μεταφορά θερμότητας γίνεται μόνο με τη βοήθεια του μηχανισμού αγωγής.

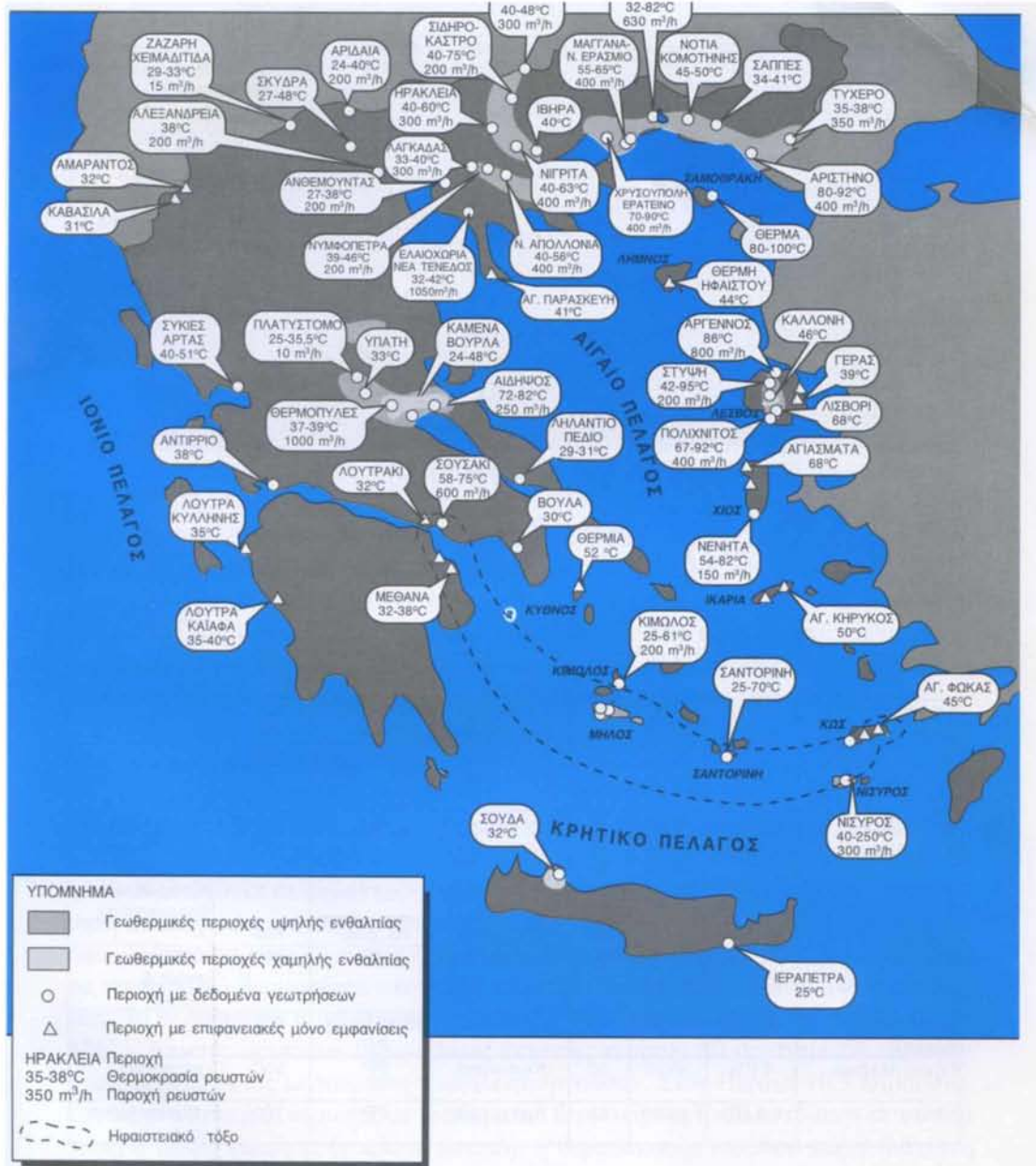
Οι περιοχές της γης όπου υπάρχουν γεωθερμικά ρευστά (δηλαδή νερό, αέρια ή μίγμα νερού και αερίων) σε ικανοποιητική ποσότητα, θερμοκρασία και βάθος ονομάζονται γεωθερμικά πεδία. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό επίπεδο τ ο υ ς διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- i. **Υψηλής Ενθαλπίας** (>150 °C) που χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρισμού.
- ii. **Μέσης Ενθαλπίας** (80 έως 150 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ζήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).
- iii. **Χαμηλής Ενθαλπίας** (25 έως 90°C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

Η ενθαλπία, η οποία σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι είναι ανάλογη τ η ς θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για να εκφράσει την περιεχόμενη θερμική ενέργεια των ρευστών και δίνει μια γενική εικόνα της ενεργειακής αξία τους.

Η Ελλάδα, είναι πολύ ευνοημένη γεωθερμικά. Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας έχουν εντοπισθεί στη Μήλο και Νίσυρο, με ρευστά θερμοκρασίας μέχρι 325 και 350οC αντίστοιχα, ενώ περιοχές ευνοϊκές για τον εντοπισμό γεωθερμικών ρευστών μέσης ή και υψηλής ενθαλπίας είναι η Κίμωλος, η Σαντορίνη, το Σουσακι,

τα Μέθαινα, η Κως, η Λέσβος, η Χίος, η Σαμοθράκη, το Δέλτα του Νέστου, το Δέλτα του Έβρου κ.ά.



Εικόνα 3.2: Χάρτης γεωθερμικών περιοχών της Ελλάδας. [10]

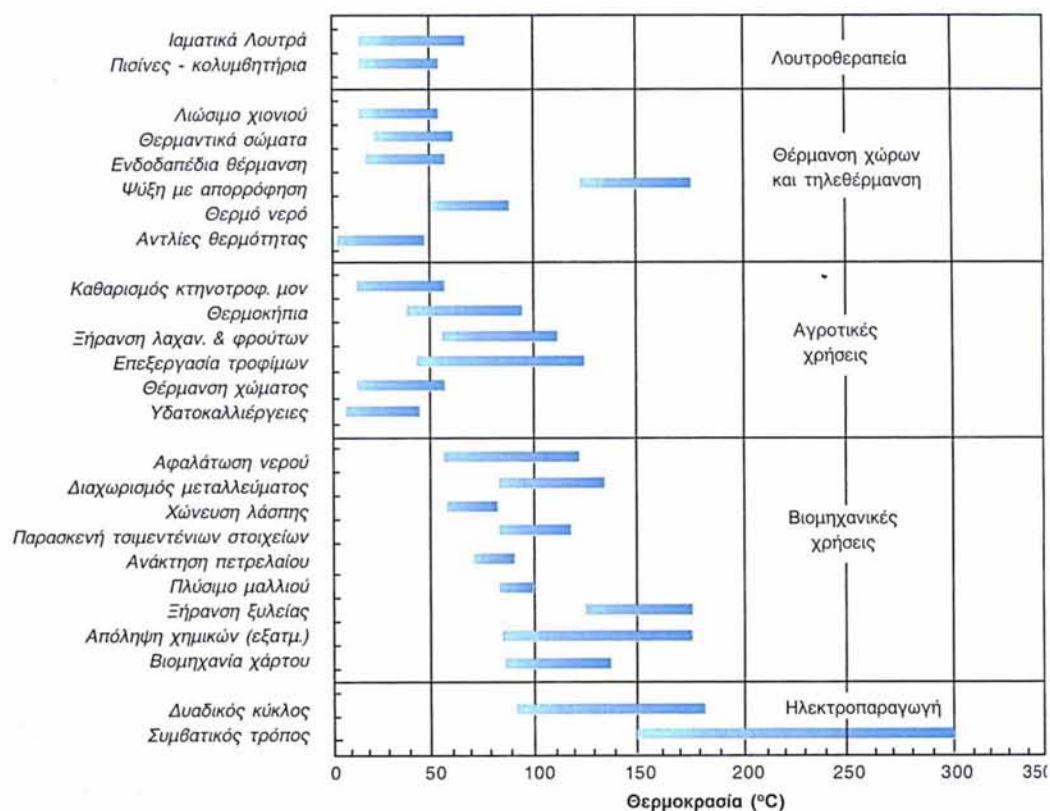
3.2 Εφαρμογές Γεωθερμίας

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

Χρήσεις της Γεωθερμικής Ενέργειας

Γενικά

Οι χρήσεις της γεωθερμίας χωρίζονται συνήθως σε **ηλεκτρικές** και σε **άμεσες χρήσεις** (*electrical and direct uses*), δηλαδή χρήσεις στις οποίες γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυριότερες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας παρουσιάζονται επιγραμματικά στο σχήμα 3,3 στο λεγόμενο *διάγραμμα Lindal* (1973). Στο διάγραμμα αυτό καταγράφονται παραδείγματα χρήσεων, δοκιμασμένων και πιθανών, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας των ρευστών. Οι περισσότερο καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Στο επάνω μέρος του διαγράμματος Lindal ο κορεσμένος ατμός χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι διάγραμμα Lindal δεν περιορίζει το είδος των δυνατών χρήσεων, ούτε πρέπει να ληφθούν αυστηρά υπόψη τα όρια των θερμοκρασιών που θέτει.



Εικόνα 3.3 : Το διάγραμμα Lindal.[10]

3.2.1 Άμεσες χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας.

Οι άμεσες χρήσεις της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση είναι οι παλαιότερες, οι πιο πολύπλευρες και οι πλέον συνηθισμένες μορφές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Η λουτροθεραπεία, η θέρμανση χώρων και η τηλεθέρμανση, οι αγροτικές εφαρμογές, οι υδατοκαλλιέργειες και κάποιες βιομηχανικές χρήσεις είναι οι πιο γνωστές μορφές χρήσεις, όμως οι αντλίες θερμότητας αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή αξιοποίησης (12,5 % της συνολικής χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας κατά το έτος 2000). Υπάρχουν φυσικά και κάποιοι άλλοι μικρότερης κλίμακας τρόποι εκμετάλλευσης της γεωθερμίας, οι οποίοι όμως δεν είναι τόσο συνηθισμένοι.

3.2.2 Γεωθερμικό δυναμικό στην Ελλάδα

Η Ελλάδα έχει ένα μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό. Η συνολική αποδεδειγμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία στο νησί της Μήλου και της Νισύρου είναι 25 MW_e, με το πιθανό δυναμικό υπερβαίνει τα 250 MW_e. Υποψήφιες περιοχές

με μέσης θερμοκρασίας γεωθερμικών ρευστών μέχρι 120 °C, κατάλληλα για παραγωγή ηλεκτρισμού χρησιμοποιώντας ένα δυαδικό κύκλο, έχουν εντοπιστεί στα νησιά της Λέσβου, Χίου και Σαμοθράκης και στα γεωθερμικά πεδία του Αρίστηνου (Θράκης), Ερατεινού και Ακροποτάμου (Ανατολικής Μακεδονίας). Σε αυτές τις περιοχές, η θερμοκρασία του νερού είναι 90 – 100 °C, έχουν μετρηθεί σε γεωτρήσεις σε βάθη μικρότερα από 1000 m. Στην περιοχή Ερατεινού θερμοκρασία νερού 125 °C μετρήθηκε σε βάθος 1350 m.

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας τετραετίας το ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) συνέχισε να πραγματοποιεί διερευνητικές εργασίες για υφιστάμενες και ελπιδοφόρες γεωθερμικές περιοχές. Δύο ακόμη πηγές έχουν ολοκληρωθεί στον Ακροπόταμο, οι οποίες μπορούν να αποφέρουν πάνω από 60 kg / s σε θερμοκρασίες 83 °C και 91 °C. Το θερμικό δυναμικό αυτού του πεδίου υπερβαίνει 30 MW_t. Άλλες περιοχές που ερευνήθηκαν πρόσφατα στην Κεντρική Μακεδονία περιλαμβάνουν την Αριδαία (Θερμοκρασία νερού 42 °C, πιθανό θερμικό δυναμικό 2 MW_t), Νέα Απολλωνία-Λίμνη Βόλβη (45 °C, 3 MW_t) και Αλεξάνδρεια (38 °C, 2 MW_t).

3.2.3 Γεωθερμικές εφαρμογές στην Ελλάδα

Άμεσες εφαρμογές θέρμανσης σε λειτουργία κατά τη διάρκεια του χειμώνα 2009-2010 συνοψίζονται στον Πίνακα 3.1. Η εκτιμώμενη εγκατεστημένη ισχύς των άμεσων χρήσεων στο τέλος του 2009 υπερέβη 155 MW_t, παρουσιάζει μια αύξηση 100% σε σύγκριση με την ικανότητα που καταγράφηκε για το τέλος του 2004. Η αύξηση αυτή αποδίδεται μάλλον αποκλειστικά στη ταχεία επέκταση των εγκαταστάσεων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Όλες οι άλλες εφαρμογές δεν δείχνουν καμία σαφή αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τα τελευταία λίγα χρόνια, εκτός από μια μικρή αύξηση στη θέρμανση εδάφους. Επιπλέον, ορισμένα γεωθερμικά θερμοκήπια και το εργοστάσιο αφαλάτωσης χτισμένο στην Κίμωλο είναι εκτός λειτουργίας για λόγους που δεν σχετίζονται με τις γεωθερμικές τεχνολογίες. Το νέο εργοστάσιο αφαλάτωσης στην Κίμωλο δεν παράγει πολύτιμο γλυκό νερό για τους κατοίκους της στο νησί, επειδή η μονάδα δεν έχει συνδεθεί μέσω ενός αγωγού με την κύρια δεξαμενή νερού του νησιού. Τέλος, η ολοκλήρωση του έργου 2-MW για την θέρμανση και ψύξη πολλών δημόσιων κτηρίων στην πόλη του Λαγκαδά

(Θεσσαλονίκη), με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας με τη χρήση πηγαδιών σε εύρος 20-40 °C ανεστάλη λόγω τεχνικών, γραφειοκρατικών και διοικητικών προβλημάτων. Η μοίρα του μυθικού έργου αφαλάτωσης στη Μήλο είναι ακόμα ασαφής, παρά την ολοκλήρωση των οκτώ πηγαδιών παραγωγής και επανεισαγωγής. [4]

Πίνακας 3.1: Σύνοψη των γεωθερμικών χρήσεων στην Ελλάδα στα τέλη 2009. [4]

| Χρήση | Εγκατεστημένη Ισχύς (MWt) | Ετήσια χρήση ενέργειας (TJ/yr=10 ¹² J/έτος) |
|--|---------------------------|--|
| Θέμανση χώρων | 1.5 | 16 |
| Θέρμανση θερμοκηπίων | 34.8 | 370 |
| Ξήρανση αγροτικών προϊόντων | 0.3 | 2 |
| Ιχθυοκαλλιέργεια και καλλιέργεια σπιρουλίνας | 9.0 | 75 |
| Κολυμβητικές μονάδες | 39 | 238 |
| Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας | 70 | 400 |
| ΣΥΝΟΛΟ | 155.6 | 1100 |

3.2.4 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται καθαρή μορφή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν συγκρίνεται με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, χωρίς βέβαια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της να είναι πάντα εντελώς αμελητέες. Σε γενικές γραμμές, η υψηλότερη περιεκτικότητα των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας σε διαλυμένα άλατα και αέρια σε σχέση με τα ρευστά χαμηλής ενθαλπίας, επιβάλλουν το διαχωρισμό των επιπτώσεων από την αξιοποίηση της γεωθερμίας. Τα προβλήματα από τη διάθεση των θερμών νερών που χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις είναι κατά κανόνα ηπιότερα από ότι των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι, στην περίπτωση που εφαρμόζεται η άμεση επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα, όπως στην περίπτωση των μονάδων δυαδικού κύκλου, οι επιπτώσεις είναι σχεδόν μηδενικές όσον αφορά

στις εκπομπές αερίων και τη διάθεση των γεωθερμικών νερών. Η μόνη πιθανή επιβάρυνση μπορεί να προέλθει από διαρροές του δευτερεύοντος οργανικού ρευστού, αν και τα τελευταία χρόνια η χρήση των χλωροφθορανθράκων (ουσιών επιβλαβών στη στιβάδα του όζοντος) έχει υποκατασταθεί από υδροφθοράνθρακες, ουσίες με πολύ μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Βεβαίως, κατά τη φάση της έρευνας, της ανόρυξης των γεωτρήσεων, των δοκιμών και κατασκευής των μονάδων μπορεί να υπάρξουν διαρροές και προσωρινή διάθεση γεωθερμικών νερών σε υδάτινους αποδέκτες, καθώς και αυξημένος θόρυβος.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και από εφαρμογή σε εφαρμογή, μπορούν όμως να καταταχτούν σχηματικά ως εξής:

A. Χρήση Γης.

Το κύριο χαρακτηριστικό της γεωθερμικής ενέργειας είναι ότι απαντά σε ορισμένες μόνο περιοχές και η αξιοποίηση της αναγκαστικά γίνεται επιτόπου. Η γη που απαιτείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας δεν είναι μεγαλύτερη από την έκταση της γης που απαιτούν άλλες μορφές ενέργειας (ατμοηλεκτρικοί σταθμοί άνθρακα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί). Η χρήση γης για την ανάπτυξη της γεωθερμίας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί περιορίζοντας τη περιοχή των γεωτρήσεων και αυξάνοντας την δυναμικότητα των μονάδων.

B. Εκπομπές αερίων και αντιμετώπιση.

Η αέρια ρύπανση παρουσιάζει ίσως το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προέρχονται από την εκμετάλλευση της γεωθερμίας, κυρίως κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας. Τα κυριότερα αέρια που εκπέμπονται είναι το ραδόνιο, το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο, ενώ δεν εκπέμπονται καθόλου οξείδια του θείου και του αζώτου. Το ραδόνιο δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα, μια που από φυσικές πηγές εκπέμπονται καθημερινά πολύ μεγαλύτερες ποσότητες. Το CO₂ που εκπέμπεται από γεωθερμικές μονάδες είναι κατά πολύ μικρότερο από ότι εκπέμπουν ατμοηλεκτρικές μονάδες (Πίνακας 3.2). Οι νέες γενιάς γεωθερμικές μονάδες εκπέμπουν περίπου 0,5 kg CO₂ ανά MWh, συγκρινόμενες με τα 1500 kg CO₂ ανά MWh που εκπέμπονται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα. Το υδρόθειο, λόγω της έντονης οσμής του και της σχετικής τοξικότητάς του είναι υπεύθυνο πολλές φορές για

την προκατάληψη που εκδηλώνεται κατά της γεωθερμίας. Οι εκπομπές του μπορούν να ελεγχθούν εύκολα με μια πληθώρα μεθόδων, όπως η διεργασία Stredford, η οξειδωτική μέθοδος Dow, η καταλυτική μέθοδος με σίδηρο κτλ.

Πίνακας 3.2 Εκπομπές επιβλαβών αερίων από διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σε kg/MWh παραγόμενης ενέργειας). [10]

| Μορφή ενέργειας | CO ₂ | NO _x | SO _x |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Άνθρακας | 1042 | 4,4 | 11,8 |
| Πετρέλαιο | 839 | 12,4 | 1,6 |
| Φυσικό αέριο | 453 | 1,4 | 0,0 |
| Γεωθερμική ενέργεια* | 95 | 0,3 | 0,1 |
| Φωτοβολταϊκά** | 135 | 0,3 | 0,4 |
| Βιομάζα | 20 | 1,8 | 0,5 |

* μέση τιμή – οι μονάδες δυαδικού κύκλου έχουν μηδενικές εκπομπές

** περιλαμβάνει τις εκπομπές από τον κύκλο ζωής της τεχνολογίας.

Γ. Υδάτινη και Θερμική Ρύπανση.

Η απόρριψη ενός γεωθερμικού νερού που περιέχει διαλυμένα άλατα από το οποίο έχει εξαχθεί η θερμότητα δημιουργεί συνήθως περιβαλλοντικό πρόβλημα, τόσο από την περιεκτικότητά του σε διάφορα χημικά συστατικά (αρσενικό, βόριο, φθόριο κλπ.), όσο και από την αρκετά πιο υψηλή θερμοκρασία του σε σχέση με τη θερμοκρασία των αποδεκτών. Έτσι συνήθως απαιτείται επεξεργασία και ψύξη των νερών προτού απορριφθούν, ενώ ως η περιβαλλοντικά περισσότερο αποδεκτή μέθοδος προβάλλει η επανεισαγωγή των νερών στον ταμιευτήρα.

Δ. Δημιουργία Μικροσεισμικότητας και Καθιζήσεις.

Με την επανεισαγωγή του υγρού στον ταμιευτήρα, αυτό δρα ως λιπαντικό για τα πετρώματα με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικροσεισμών στην περιοχή. Από την άλλη μεριά, η αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων νερού από ένα γεωθερμικό πεδίο μπορεί να προκαλέσει ορισμένες φορές καθίζηση του εδάφους από λίγα εκατοστά μέχρι μερικά

μέτρα. Οι καθιζήσεις μπορούν να αποφευχθούν με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών νερών στον ταμειυτήρα.

Ε. Θόρυβος.

Ο θόρυβος σε γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μεγαλύτερος από το θόρυβο που προκαλείται σε συμβατικές μονάδες, ενώ σε εγκαταστάσεις χαμηλής ενθαλπίας ο θόρυβος είναι μηδαμινός. Κατά τη φάση της ανόρυξης των γεωτρήσεων και της κατασκευής της μονάδας μπορεί να παρουσιαστούν ορισμένα προβλήματα από αυξημένα επίπεδα θορύβου και για το λόγο αυτό συνιστάται οπωσδήποτε η χρήση ωτασπίδων από το προσωπικό του εργοταξίου. Ενδεικτικά επίπεδα θορύβου στη φάση αυτή είναι:

- Ανόρυξη γεωτρήσεων με αέρα (air drilling): 120 dBa (γίνεται πολύ σπάνια)
- Ανόρυξη γεωτρήσεων με κυκλοφορία πολφού (mud drilling): 80 dBa
- Άντληση τσιμέντου : 80 dBa
- Δοκιμή γεωτρήσεων: 70-120 dBa (ελεύθερη εκροή από γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας: μέγιστο 120 dBa, το οποίο μειώνεται στα 85 dBa με χρήση σιγαστήρα).
- Μηχανές ντίζελ (π.χ. συμπιεστές): 45-60 dBa
- Εκσκαφείς, φορτηγά, τρακτέρ κτλ.: 55-75 dBa

3.2.5 Περιβαλλοντικά Οφέλη

Η γεωθερμική ενέργεια, σε οποιαδήποτε μορφή, παρουσιάζει σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Συγκρινόμενη ακόμη και με τις άλλες ΑΠΕ, η γεωθερμία δεν υστερεί σε περιβαλλοντικά οφέλη. Αυτό βέβαια έρχεται σε προφανή αντίθεση με την εντύπωση που κυριαρχεί ότι ορισμένες ΑΠΕ (π.χ. φωτοβολταϊκά, αιολική ενέργεια) δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον. Η εντύπωση αυτή μεταβάλλεται όταν κανείς συνυπολογίσει τις επιπτώσεις οποιοσδήποτε μορφής ενέργειας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής της τεχνολογίας, αλλά και την επιβάρυνση στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία των μονάδων. Για παράδειγμα, στα φωτοβολταϊκά συστήματα θα πρέπει να υπολογιστεί η επιβάρυνση τόσο από την κατασκευή των στοιχείων, όσο και από

την απόσυρσή και την ασφαλή διάθεσή τους, όταν θα κλείσει ο κύκλος λειτουργίας τους.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμίας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

A. Συνεχής παροχή ενέργειας. Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο, σε αντίθεση με άλλες ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, κύματα ,παλίρροιας), οι οποίες δεν μπορούν να παρέχουν συνεχώς ενέργεια και η χρήση τους προϋποθέτει αξιόπιστες τεχνολογίες αποθήκευσης της ενέργειας. Έτσι, δεν είναι τυχαίο ότι οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος έχουν συντελεστή αξιοποίησης (load factor) που μπορεί να φτάσει και το 90%. Για σύγκριση, ο συντελεστής αξιοποίησης μιας υδροηλεκτρικής μονάδας ανέρχεται μέχρι 70%, ενώ για ηλιακές και αιολικές μονάδες κυμαίνεται μεταξύ 20% και 35%. Ακόμη, η γεωθερμία διακρίνεται από υψηλό δείκτη διαθεσιμότητας (availability factor), της τάξης του 90%. Ο δείκτης αυτός δηλώνει το ποσοστό του χρόνου στον οποίο η μονάδα λειτουργεί στην ονομαστική της ισχύ. Για τις άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας, ο δείκτης λειτουργίας είναι αρκετά μικρότερος και, προφανώς, αντιστοιχεί με τη ζήτηση της γεωθερμικής ενέργειας. Τέλος, η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας στο θέμα της αβαθούς γεωθερμίας, καθιστά δυνατή τη χρήση της πρακτικά οπουδήποτε και όλες τις εποχές του έτους (σε συνδυασμό με την ψύξη).

B. Μικρό λειτουργικό κόστος. Αν και το κόστος παγίων είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, το λειτουργικό κόστος των γεωθερμικών μονάδων είναι σχεδόν μηδαμινό, ή αρκετά μικρότερο από τις άλλες μορφές ενέργειας, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας.

Γ. Εκπομπές στο περιβάλλον. Οι εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα είναι σημαντικά μικρότερες από τις εκπομπές που προκύπτουν από την καύση των συμβατικών καυσίμων, ενώ τονίζεται ιδιαίτερα ότι δεν εκπέμπονται καθόλου σωματίδια.

Δ. Απαιτήσεις γης. Οι γεωθερμικές μονάδες καταλαμβάνουν σχετικά μικρή έκταση γης. Κύριος λόγος γι' αυτό είναι ότι δεν απαιτούν αποθηκευτικούς χώρους, όπως συμβαίνει με ορισμένες ΑΠΕ (βιομάζα, υδροηλεκτρικά) και με τα συμβατικά καύσιμα.

Ε. Μικρές ανάγκες για μεταφορά υλικών. Από τη στιγμή της αποπεράτωσης της κατασκευής της μονάδας δεν απαιτείται μεταφορά υλικών ή καυσίμων, σε αντίθεση με τις μονάδες με συμβατικά καύσιμα, στις οποίες υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος ατυχημάτων (ανάφλεξη καυσίμων, διαρροές, πετρελαιοκηλίδες κτλ.) και επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από την κίνηση των μεταφορικών μέσων.

ΣΤ. Αξιόπιστη και ασφαλής ενεργειακή πηγή. Η γεωθερμική ενέργεια παράγεται 24 ώρες την ημέρα, με γνωστή και καθιερωμένη τεχνολογία.

Ζ. Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. και του Πρωτοκόλλου του Κιότο, με τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων.

Η. Τοπική μορφή ενέργειας. Η ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας σε μία περιοχή οδηγεί και στην οικονομική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής, αφού παρέχει φθηνή ενέργεια και δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.

Θ. Συμβολή στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων.

3.2.6 Οι στόχοι της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. για την Γεωθερμία.

Η προώθηση των ΑΠΕ έχει αποτελέσει βασικό στόχο της ενεργειακής πολιτικής της Ε.Ε. Στη Λευκή Βίβλο του 1997, για την κοινοτική στρατηγική και το σχέδιο δράσης «*Ενέργεια για το μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*», η Ε.Ε. έθεσε έναν ποσοτικά προσδιορισμένο στόχο μέχρι το 2010, για συμμετοχή των ΑΠΕ κατά 12% στην ενεργειακή κατανάλωση της Ευρωπαϊκής Ένωσης (από το 6% της συμμετοχής των ΑΠΕ το 1996). Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ο στόχος ανέρχεται στο 22%. Ειδικά για την Ελλάδα, ο ενδεικτικός αυτός στόχος είναι, η συμμετοχή των ΑΠΕ να έχει φτάσει στο 8,2-8,5% της εγχώριας ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2010 (από το 5,4% το 1996) και στο 20% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Σημειώνεται ότι ο στόχος αυτός προβλεπόταν να επιτευχθεί κυρίως με τη βιομάζα και την αιολική ενέργεια.

Στη Λευκή Βίβλο έχουν τεθεί και στόχοι για κάθε μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Για τη γεωθερμία, οι στόχοι για το 2010 ήταν η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων ηλεκτρικής ενέργειας να έχει φτάσει στα 1000 MWe, και των μονάδων θερμικής ενέργειας τα 5000 M Wt. [10]

3.2.7 Ισχύον νομοθετικό πλαίσιο

Με το νέο ΦΕΚ Τεύχος Β 1249/24-06-2009 καθορίζονται οι όροι, οι προϋποθέσεις, τα απαιτούμενα δικαιολογητικά και η διαδικασία έκδοσης άδειας για τα γεωθερμικά συστήματα κλιματισμού (ανοικτά και κλειστά). Η εκμετάλλευση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα για θέρμανση-ψύξη αποτελεί μία νέα κατηγορία υδρογεωτρήσεων και η χορήγηση άδειας εγκατάστασης του υδροφόρου ορίζοντα δεν υπόκειται στην υφιστάμενη νομοθεσία περί υδρευτικών ή αρδευτικών γεωτρήσεων. Με άλλα λόγια, επιτρέπει την ανόρυξη των απαραίτητων υδρογεωτρήσεων για την αξιοποίηση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με την προϋπόθεση ότι το σύστημα επανεισάγει ολόκληρη την ποσότητα του νερού που αντλήθηκε από τον υδροφόρο ορίζοντα χωρίς να μεταβάλει τη φυσικοχημική σύσταση του. Το δικαίωμα αναζήτησης, έρευνας και διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού (σύνολο θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25°C) και των γεωθερμικών πεδίων (ενιαίος μεταλλευτικός χώρος εντός του οποίου εντοπίζεται αυτοτελές δυναμικό) ανήκει μόνο στο Δημόσιο (άρθρο 3 τεύχος πρώτο). Στην περίπτωση Μη ερευνημένων χώρων ή Πιθανών γεωθερμικών πεδίων, το δημόσιο διατηρεί το δικαίωμα εκμίσθωσης της έρευνας και διαχείρισης γεωθερμικού δυναμικού. Η εκμίσθωση πραγματοποιείται κατόπιν πλειοδοτικού διαγωνισμού με γραπτές σφραγισμένες προσφορές, για πέντε (5) χρόνια με δικαίωμα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή μέχρι συμπλήρωσης τριακονταετίας. (άρθρο 4 τεύχος πρώτο). Στην περίπτωση Βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων, το δημόσιο αυτή τη φορά εκμισθώνει το δικαίωμα διαχείρισης. Μερικά από τα κριτήρια που συνυπολογίζονται πριν παραχωρηθεί το δικαίωμα διαχείρισης στον διαγωνιζόμενο είναι μεταξύ άλλων το ύψος του προϋπολογισμού, η βιωσιμότητα της προτεινόμενης επένδυσης και ο βαθμός ορθολογικής διαχείρισης του γεωθερμικού πεδίου. Όποιος ερευνά ή διαχειρίζεται ή εκμεταλλεύεται γεωθερμικά πεδία χωρίς να έχει αποκτήσει σχετικό δικαίωμα, τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών (3) μηνών και με πρόστιμο από χίλια (1.000) ΕΥΡΩ έως εκατό χιλιάδες (100.000) ΕΥΡΩ. (άρθρο 9)

Για την εγκατάσταση για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό, απαιτείται άδεια που χορηγείται στον κύριο του ακινήτου από την αρμόδια

Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση (άρθρο 11). Προκειμένου να εκδοθεί η σχετική άδεια σε περίπτωση ανόρυξης γεωτρήσεων θα πρέπει αυτές να βρίσκονται εντός των ορίων της ιδιοκτησίας (οικοπέδου ή αγροτεμαχίου ή γηπέδου) επί της οποίας βρίσκονται οι προς κλιματισμό χώροι. Ειδικότερα οι γεωτρήσεις οφείλουν να απέχουν τουλάχιστον:

- α) Δύο (2) μέτρα από τα όρια της ιδιοκτησίας.
- β) Πέντε (5) μέτρα από υφιστάμενο γειτονικό κτίσμα διαφορετικής ιδιοκτησίας.
- γ) Πέντε (5) μέτρα από το όριο της απαλλοτριωμένης ζώνης σιδηροδρομικής γραμμής.
- δ) Δέκα (10) μέτρα από κεντρικό αγωγό μεταφοράς φυσικού αερίου. Ως κεντρικός εννοείται ο αγωγός ο οποίος χρησιμεύει στην τροφοδοσία/επικοινωνία κεντρικών μονάδων του δικτύου και δεν αφορά στη σύνδεση του τελικού χρήστη με το δίκτυο.
- ε) Πέντε (5) μέτρα από κεντρικούς υπόγειους αγωγούς (ύδρευσης, άρδευσης, αποχέτευσης κλπ.). Ως κεντρικοί αγωγοί νοούνται οι αγωγοί μεγάλης διαμέτρου οι οποίοι χρησιμεύουν στην τροφοδοσία/επικοινωνία κεντρικών μονάδων του δικτύου και δεν αφορούν στη σύνδεση του τελικού χρήστη με το δίκτυο.

Σε κάθε γεώτρηση να γίνεται τσιμέντωση τουλάχιστο για τα 5 ανώτερα μέτρα και τοποθέτηση στο ίδιο μήκος περιφραγματικής χαλύβδινης σωλήνωσης. Σε περίπτωση όπου στην περιοχή του ακινήτου απαγορεύεται η διάνοιξη υδρογεωτρήσεων, επιτρέπεται η εγκατάσταση και λειτουργία εναλλακτών κλειστού κυκλώματος. Σε περίπτωση εκμετάλλευσης θερμότητας με τη χρήση επιφανειακών ή υπόγειων νερών, ο χρήστης υποχρεούται στην επαναφορά του συνόλου των χρησιμοποιηθέντων νερών και στην ίδια ποιότητα, στον αρχικό αποδέκτη. Σε αντίθετη περίπτωση όπου υπάρχει ανάλωση ποσότητας νερού ή αλλοίωσης της ποιότητας του, η έκδοση της σχετικής άδειας υπόκειται και στις διατάξεις του ν.3199/2003 (ΦΕΚ 280 Α΄). (άρθρο 4 τεύχος δεύτερο). [12]

3.3 Αβαθής γεωθερμία.

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

Οι θερμοκρασίες των πετρωμάτων και υπόγειων νερών, που αναπτύσσει η ομαλή γεωθερμική ενέργεια σε βάθη 0-200m, είναι κατά το πλείστον κατώτερες από 25°C. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για αβαθή υπεδαφική θερμότητα, η οποία είναι μία περιβαλλοντική ενέργεια, όταν μάλιστα μέρος αυτής, κυρίως στα βάθη των 0-30m περίπου, είναι ηλιακής προέλευσης. Στα βάθη 0-15m το ποσοστό της θερμότητας ηλιακής προέλευσης γίνεται εμφανές, αυξανόμενο καθώς μικραίνει η απόσταση από την εδαφική επιφάνεια και καθώς μεγαλώνει το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Η περιβαλλοντική θερμική ενέργεια αξιοποιείται με τις αντλίες θερμότητας, οι οποίες αποτελούν σήμερα σημαντικό μέσο εξοικονόμησης ενέργειας και περιορισμού των ρυπογόνων καυσίμων.

Εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας

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

Τα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας για θέρμανση και ψύξη κτιρίων αποτελούνται από τρεις ενότητες:

α) Τον Γεωθερμικό Εναλλάκτη που είναι το σύστημα το οποίο απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα στο έδαφος.

β) Την Αντλία Θερμότητας που λειτουργεί αντίστοιχα με τις αντλίες νερού μόνο που ανυψώνει, αντί για νερό, θερμική ενέργεια. Δηλαδή αντλεί ενέργεια από ένα χώρο (π.χ. θερμοκρασίας 5°C) και την μεταφέρει σε ένα άλλο χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας (π.χ. θερμοκρασίας 25°C). Η πιο γνωστή Αντλία Θερμότητας είναι το ψυγείο, το οποίο αντλεί θερμική ενέργεια από τον εσωτερικό του χώρο και την απορρίπτει στο δωμάτιο που είναι εγκατεστημένο, διατηρώντας έτσι την θερμοκρασία του εσωτερικού του σε χαμηλά επίπεδα. Η ηλεκτρική ενέργεια που ξοδεύουμε για την λειτουργία της αντλίας είναι πολύ λιγότερη από αυτή που μεταφέρουμε.

γ) Το σύστημα που προσδίδει ή απορροφά θερμότητα από το σπίτι. Οι Αντλίες Θερμότητας δεν είναι πολύ αποτελεσματικές με τα κοινά σώματα των καλοριφέρ, καθώς αυτά απαιτούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες νερού, αλλά με Fan Coils (Σώματα Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας αέρα) ή με Ενδοδαπέδιο / Επιτοίχια Θέρμανση. Η Ενδοδαπέδια Θέρμανση είναι και η πιο ενδεδειγμένη καθώς εξασφαλίζει τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης και επιτρέπει και την εκμετάλλευση άλλων ήπιων συστημάτων όπως οι ηλιακοί συλλέκτες. Επιπλέον είναι ιδανική για χώρους με μεγάλο ύψος καθώς αποτρέπει την θερμική διαστρωμάτωση του αέρα.

3.3.1 Γεωθερμικοί εναλλάκτες

Οι Γεωθερμικοί Εναλλάκτες είναι τα συστήματα που αποβάλλουν ή απορροφούν θερμότητα από μια πηγή θερμότητας όπως το έδαφος ή η λίμνη ή η θάλασσα ή το πηγάδι. Η αποβολή ή απορρόφηση πραγματοποιείται με την κυκλοφορία νερού ή κάποιου άλλου υγρού, δια μέσου σωληνώσεων που ξεκινούν από την πηγή θερμότητας ή ψυχρότητας και καταλήγουν στο χώρο που θέλουμε να θερμάνουμε ή να ψύξουμε αντίστοιχα. Υπάρχουν δύο ειδών Γεωθερμικοί Εναλλάκτες:

- Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Κλειστού κυκλώματος
- Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Ανοιχτού κυκλώματος

Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Κλειστού κυκλώματος

Αποτελούνται από ένα υπόγειο ή υποθαλάσσιο δίκτυο από υψηλής αντοχής πλαστικούς σωλήνες, που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας. Για να συλλέξουμε θερμότητα από τη γη τροφοδοτούμε το δίκτυο με νερό το οποίο αποκτά τη θερμοκρασία της γης. Όπου εφαρμόζονται Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Κλειστού

Κυκλώματος χρησιμοποιείται και ένας κυκλοφορητής για την ομαλή τροφοδοσία της Αντλίας Θερμότητας

Υπάρχουν τρεις τύποι Κλειστού Κυκλώματος Γεωθερμικών Εναλλακτών ανάλογα με την διάταξη του δικτύου σωληνώσεων στο έδαφος [14]:

1.Οριζόντιος Γεωεναλλάκτης

Σε περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλος διαθέσιμος περιβάλλοντας χώρος, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διάταξη του οριζόντιου γεωεναλλάκτη. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές τοποθέτησης του οριζόντιου γεωεναλλάκτη στο υπέδαφος.

- Σωλήνες σε παράλληλη διάταξη: Σε βάθος περίπου 1,5 μέτρο από την επιφάνεια τοποθετούνται παράλληλα μήκη σωλήνας η μία δίπλα στην άλλη. Η απόσταση μεταξύ των σωλήνων πρέπει να είναι τουλάχιστον 60 εκατοστά. Η μέθοδος αυτή αποδίδει 30-40 W/m² εδάφους.
- Σωλήνες η μία πάνω από την άλλη: Η πρώτη σωλήνα τοποθετείται περίπου στα δύο μέτρα ενώ η δεύτερη τοποθετείται 40-50 εκατοστά πάνω από την πρώτη. Η μέθοδος αυτή αποδίδει περίπου 50-60 W/m² εδάφους.
- Σωλήνες απλωμένες σε σπείρες: Σε βάθος περίπου 1,5 μέτρο από την επιφάνεια απλώνεται κουλούρα πολυαιθυλενίου με τέτοια διάταξη ώστε να σχηματιστούν σπείρες η οποίες να εφάπτονται μεταξύ τους. Η μέθοδος αυτή αποδίδει 30-40 W/m² εδάφους.
- Πλέγμα: Σε βάθη περίπου δυο μέτρα από την επιφάνεια τοποθετούνται προκατασκευασμένα πλέγματα που αποτελούνται από λεπτές σωλήνες Φ8 ή Φ10. Η μέθοδος αυτή αποδίδει περίπου 80W/m² εδάφους.

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται συνήθως (εκτός από το πλέγμα) είναι από πολυαιθυλένιο τρίτης γενιάς HDPE Φ32 ή Φ40. Για να απλωθούν οι σωλήνες συνήθως κατασκευάζεται μια τάφρος και αφού τοποθετηθούν, σύμφωνα με τα παραπάνω, η τάφρος καλύπτεται ξανά με χώμα. Η επιφάνεια πάνω από τον γεωεναλλάκτη μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς.

Γενικά, η διάταξη του οριζόντιου γεωεναλλάκτη είναι σαφώς οικονομικότερη από αυτή του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη αλλά απαιτεί μεγάλη διαθέσιμη έκταση για την εφαρμογή της.



Εικόνα 3.4 Οριζόντια εγκατάσταση των βρόγχων του εναλλάκτη θερμότητας.[13]

2. Κατακόρυφος Γεωεναλλάκτης

Συνήθως χρησιμοποιείται σε μεγάλες εφαρμογές όπου η απαιτούμενη ανάγκη δεν μπορεί να καλυφθεί από ένα οριζόντιο κύκλωμα και σε περιπτώσεις που υπάρχει έλλειψη διαθέσιμου περιβάλλοντα χώρου (κυρίως σε αστικά κέντρα). Τοποθετείται κυρίως όταν υπάρχει περιορισμένη έκταση γης σε φρεάτια που ανοίγονται σε βάθος από 50 έως 130 μέτρα βάθος μέσα στα οποία τοποθετούνται οι σωλήνες.

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



Εικόνα 3.5. Κάθετη εγκατάσταση του εναλλάκτη θερμότητας κλειστού κυκλώματος. [13]

3. Σπειροειδής Γεωεναλλάκτης

Αποτελείται από σωλήνες που τυλίγονται σε σπείρες (σπιράλ) και τοποθετούνται σε χαντάκια μέσα στο έδαφος.

Το τυπικό σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 0,254 μέτρα το οποίο ισοδυναμεί με 12 μέτρα σωλήνωσης ανά μέτρο χαντακιού. Το εκτεταμένο σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 1,42 μέτρα που ισοδυναμεί με 4 μέτρα σωλήνας ανά μέτρο χαντακιού.

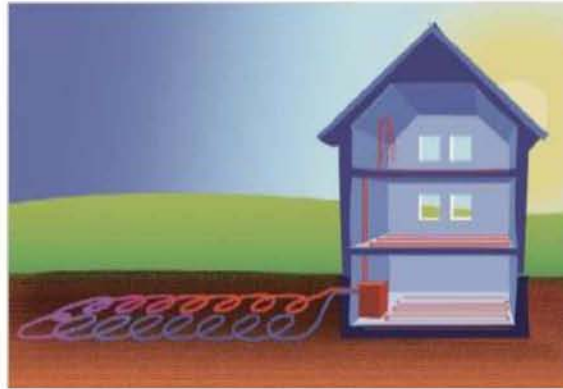
Πλεονεκτήματα:

- απαιτείται μικρότερη έκταση γης
- απαιτείται λιγότερο σκάψιμο για την δημιουργία χαντακιών

Μειονεκτήματα:

- απαιτείται μεγαλύτερο μήκος σωλήνα

Το σπειροειδές σύστημα μπορεί να έχει οριζόντια ή κάθετη διάταξη με μόνη διαφορά ότι στην οριζόντια διάταξη είναι ευκολότερη η επανατοποθέτηση των χωμάτων [14]



Εικόνα 3.6 Σπειροειδης εγκατάσταση του εναλλάκτη θερμότητας κλειστού κυκλώματος. [14]

4. Κωνικός γεωεναλλάκτης

Τα κλειστά κωνικά γεωθερμικά συστήματα αξιοποιούν τη θερμοκρασία των γεωλογικών σχηματισμών (εδάφους) μέσω υδάτινου διαλύματος που ανακυκλοφορεί εντός του γεωσυλλέκτη σε μορφή κώνου. Για την ταφή του γεωσυλλέκτη πραγματοποιούνται τοπικές εκσκαφές. Το κωνικό σχήμα υπερτερεί του κυλινδρικού γιατί αποτρέπει τη θερμική συμφόρηση του εδάφους κατά τον κάθετο άξονα και βοηθά στην απαγωγή και απορρόφηση του ενεργειακού φορτίου. Το πλήθος των κώνων εξαρτάται από τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που απαιτούνται στο χώρο και το ελάχιστο βάθος τοποθέτησης κάθε κώνου ανέρχεται στα 3.5 m από την επιφάνεια. Θεωρείται η βέλτιστη κατασκευαστική λύση στις περιπτώσεις όπου δε μπορεί να εφαρμοστεί οριζόντιο σύστημα επειδή δεν υπάρχει διαθεσιμότητα χώρου, και το κάθετο σύστημα αποτελεί ακριβή κατασκευαστική λύση.

Οι κωνικοί γεωσυλλέκτες έχουν 2,5 m ύψος, διάμετρο βάσης 1-1,5 m και διάμετρο κορυφής 2-2,5m.



Εικόνα 3.7 Κωνικός γεωεναλλάκτης θερμότητας κλειστού κυκλώματος [15]

Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Ανοικτού Κυκλώματος

Οι Γεωθερμικοί Εναλλάκτες Ανοικτού Κυκλώματος χρησιμοποιούν επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα ως πηγή θερμότητας - ψύξης και χώρους απόθεσης του νερού που επιστρέφει υποβαθμισμένο. Τέτοιες πηγές είναι η λίμνη, το πηγάδι, το ποτάμι, η γεώτρηση ή και η ίδια η θάλασσα. Ενδεικτικά ένα σπίτι 280 τετραγωνικών μέτρων απαιτεί περίπου 30 με 57 λίτρα ανά λεπτό παροχής νερού.

Γεωτρήσεις:

Σε αυτό το σύστημα το νερό αντλείται από το πηγάδι-γεώτρηση, προσδίδει θερμότητα στο σύστημα και μετά αποβάλλεται. Το απορριπτόμενο νερό εναποτίθεται σε ένα άλλο πηγάδι-γεώτρηση ή λίμνη ή γενικότερα σε έναν χώρο εναπόθεσης αφαιρώντας έτσι συνεχώς νερό από τον υδροφόρο ορίζοντα. Το πηγάδι - γεώτρηση που υπάρχει ήδη ή θα ανοιχθεί πρέπει να έχει αρκετό νερό ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις παροχής. Η χρήση νερού από πηγάδι - γεώτρηση απαιτεί ένα σύστημα απόθεσης του νερού που επιστρέφει στον υδροφόρο ορίζοντα.

- Το οικονομικότερο σύστημα, όπου το επιτρέπουν οι συνθήκες, είναι η έκχυση του νερού σε κάποιο τοπικό ποτάμι ή λίμνη.
- Εάν το έδαφος στην περιοχή έχει υψηλή απορροφητικότητα, όπως σε περιοχές με καταβόθρες, τότε μπορεί να γίνεται εναπόθεση του νερού στην περιοχή αυτή με πολύ χαμηλό κόστος.
- Αν οι εναλλακτικές λύσεις δεν είναι εφικτές τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί πηγάδι-γεώτρηση επιστροφής νερού. Το πηγάδι αυτό πρέπει να είναι αρκετά βαθύ ώστε να μπορεί να δεχθεί ποσότητες νερού ίσες με αυτές της άντλησης
- Στην περίπτωση που το πηγάδι έχει υψηλή στάθμη νερού (πάνω από 8 μέτρα) σταθερή κατά την διάρκεια του χρόνου και μεγάλη διάμετρο (πάνω από 1,5 μέτρα), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα και σαν πηγάδι επιστροφής, αρκεί να μην απαιτείται συνεχής λειτουργία και η άντληση με την εναπόθεση να γίνονται σε σημεία που απέχουν πολύ μεταξύ τους



Εικόνα 3.8 Γεωθερμικός εναλλάκτης ανοιχτού κυκλώματος.[13]

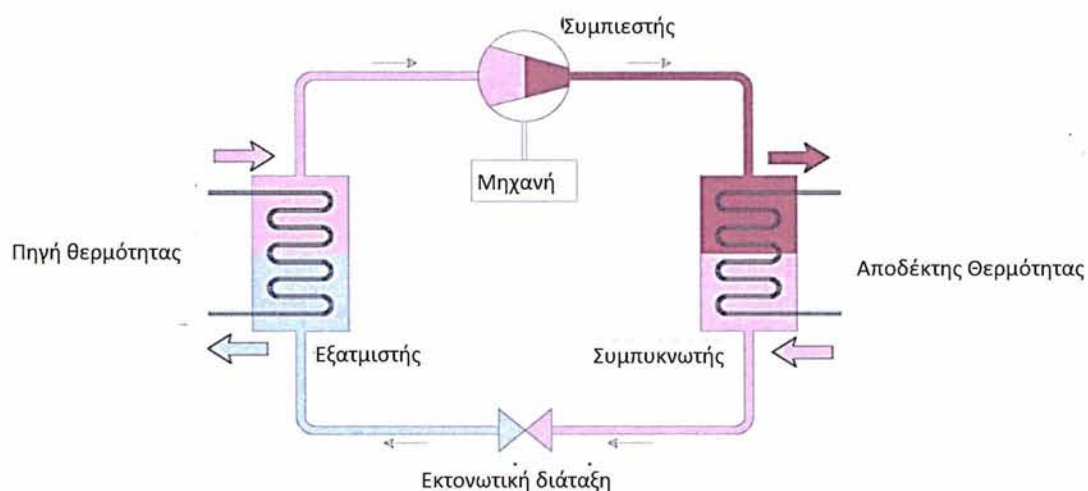
3.3.2 Αντλίες Θερμότητας

Ορισμός Αντλίας Θερμότητας

Μια αντλία θερμότητας είναι μια συσκευή η οποία επιτρέπει τη μεταφορά της θερμότητας από ένα χαμηλότερο επίπεδο θερμοκρασίας σε ένα υψηλότερο, με τη χρήση εξωτερικής ενέργειας (π.χ. ενός συμπιεστή). Ο πιο κοινός τύπος αντλίας θερμότητας είναι το αντλία θερμότητας συμπίεσης, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.9.

Η θερμοδυναμική αρχή πίσω από μια αντλία θερμότητας συμπίεσης είναι το γεγονός ότι ένα αέριο γίνεται θερμότερο όταν συμπιέζεται σε μικρότερο όγκο. Αυτό το αποτέλεσμα είναι κοινή εμπειρία π.χ για τους ποδηλάτες κατά την προσαρμογή της πίεσης των ελαστικών: Η αντλία αέρα ζεσταίνεται κατά το φούσκωμα.

Σε μια αντλία θερμότητας, ένα μέσο με χαμηλό σημείο βρασμού ("ψυκτικό υγρό") εξατμίζεται στη θερμότητα του εδάφους, ο ατμός που προκύπτει (αέριο) συμπιέζεται (με τη χρήση εξωτερικής ενέργειας, συνήθως ηλεκτρικής ισχύος) και έτσι θερμαίνεται, και στη συνέχεια το θερμό αέριο μπορεί να παρέχει τη θερμότητα του στο σύστημα θέρμανσης. Εξακολουθώντας να είναι σε υψηλή πίεση, ο ατμός συμπυκνώνεται τώρα και πάλι σε υγρό αφού αποδώσει τη χρήσιμη θερμότητα του. Τέλος, το ρευστό επανέρχεται σε χαμηλή πίεση μέσω μιας βαλβίδας εκτόνωσης, κρυώνει και μπορεί να εξατμιστεί και πάλι για να συνεχιστεί ο κύκλος, όπως φαίνεται στο εικόνα 3.9.



Εικόνα 3.9 Κίνηση ενέργειας κατά τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας. [11]

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

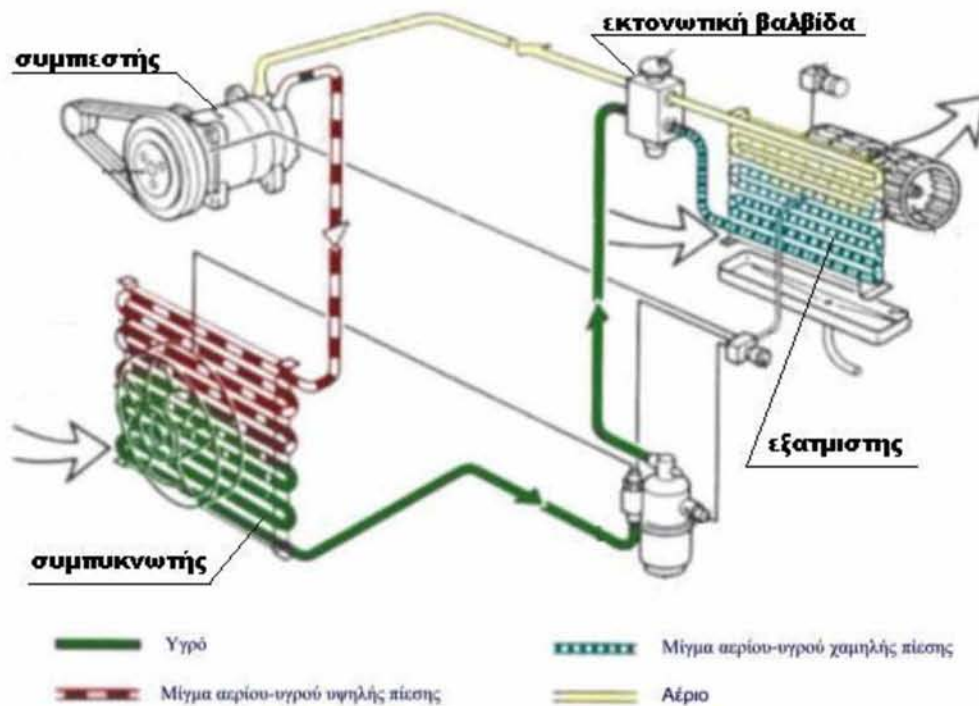
Αρχή λειτουργίας

Η αρχή λειτουργίας των αντλιών θερμότητας είναι ίδια με αυτή που εφαρμόζεται στα κοινά ψυγεία, όπου η θερμότητα μεταφέρεται από τον χώρο του ψυγείου (~ 5oC) στον χώρο του περιβάλλοντος (~ 20oC). Οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για θέρμανση μεταφέρουν θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον σε έναν θερμαινόμενο χώρο, ενώ οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για ψύξη μεταφέρουν θερμότητα από ένα χώρο που ψύχεται προς το εξωτερικό περιβάλλον. Συνήθως οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται τόσο για τη θέρμανση όσο και για την ψύξη ενός χώρου, χωρίς αυτό να αποτελεί τον κανόνα, διότι σε πολλές περιπτώσεις μία αντλία θερμότητας εγκαθίσταται αποκλειστικά για θέρμανση.

Η λειτουργία των αντλιών θερμότητας βασίζεται σε διάφορους ψυκτικούς κύκλους με επικρατέστερο αυτόν της συμπίεσης ατμών ενός ψυκτικού ρευστού. Για την λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας σύμφωνα με τον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμών είναι απαραίτητες οι παρακάτω συσκευές:

- α) ο συμπιεστής
- β) ο συμπυκνωτής
- γ) ο εξατμιστής
- δ) η εκτονωτική διάταξη
- ε) η τετράοδη βαλβίδα.

Οι συσκευές αυτές είναι κοινές για όλους τους τύπους των αντλιών θερμότητας που θα αναφερθούν στην συνέχεια.



Εικόνα 3.10 Λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας σύμφωνα με τον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμών [16]

α) Συμπιεστής.

Ο συμπιεστής είναι το πιο σημαντικό μηχανικό μέρος των συστημάτων που εργάζονται με βάση τον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμών. Ο συμπιεστής είναι μια αντλία ατμού. Αναρροφά τους ατμούς του ψυκτικού ρευστού από τον εξατμιστή, τους συμπιέζει από τη χαμηλή πίεση στην υψηλή και καλύπτει τις απώλειες πίεσης στις σωληνώσεις και τα εξαρτήματα του ψυκτικού κύκλου. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι συμπιεστών είναι οι φυγοκεντρικοί, οι κοχλιωτοί, οι παλινδρομικοί (εμβολοφόροι), οι σπειροειδείς συμπιεστές καθώς και οι συμπιεστές τύπου τυμπάνου.

β) Συμπυκνωτής.

Ο συμπυκνωτής είναι το τμήμα της αντλίας θερμότητας από το οποίο αποβάλλεται η θερμότητα. Ουσιαστικά ο συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού ρευστού και της πηγής/αποδέκτη θερμότητας. Κατά την θερμαντική λειτουργία, ο συμπυκνωτής αποδίδει θερμότητα στο μέσον ή το χώρο που πρέπει να θερμανθεί. Αντίστροφα κατά την ψυκτική λειτουργία ο συμπυκνωτής απορρίπτει θερμότητα στο εξωτερικό περιβάλλον. Στην πράξη αυτό γίνεται με την αντιστροφή

του ψυκτικού κύκλου και την εναλλαγή της λειτουργίας του συμπυκνωτή και του εξατμιστή. Οι συμπυκνωτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τους αερόψυκτους και τους υδρόψυκτους.

Οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές κατασκευάζονται από χαλκοσωλήνες με εξωτερικά πτερύγια (από χαλκό ή αλουμίνιο), μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ψυκτικό ρευστό. Τα πτερύγια αυξάνουν την επιφάνεια εναλλαγής έτσι ώστε να γίνεται ευκολότερα η αποβολή της θερμότητας. Ο αέρας κυκλοφορεί με την βοήθεια ανεμιστήρα (εξαναγκασμένη κυκλοφορία) κάτι που καθιστά τον συμπυκνωτή ιδιαίτερα θορυβώδη και απόλυτα εξαρτημένο από την απαίτηση για συχνή συντήρηση (καθαρισμό, έλεγχο του ανεμιστήρα).

Οι υδρόψυκτοι συμπυκνωτές ψύχονται με την βοήθεια του νερού. Χρησιμοποιούνται στις αντλίες θερμότητας με πηγή/αποδέκτη θερμότητας το νερό (ανοιχτό κύκλωμα) ή το έδαφος (κλειστό κύκλωμα). Κατασκευάζονται και αυτοί από χαλκοσωλήνες όπως και οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές.

γ) Εξατμιστής.

Ο εξατμιστής είναι το τμήμα της αντλίας θερμότητας που απορροφά θερμότητα από έναν χώρο ή ένα μέσον. Όπως ο συμπυκνωτής, έτσι και ο εξατμιστής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ ψυκτικού ρευστού και πηγής/αποδέκτη θερμότητας. Η απορρόφηση θερμότητας γίνεται με εξάτμιση του ψυκτικού μέσου υπό σταθερή πίεση. Οι εξατμιστές κατασκευάζονται από χαλκοσωλήνες, σε αντίστοιχους τύπους με τους συμπυκνωτές (υδρόψυκτοι- αερόψυκτοι).

Οι υδρόψυκτοι εξατμιστές συνδυάζονται με αντλίες θερμότητας που έχουν ως πηγή/αποδέκτη θερμότητας το νερό (αντλίες θερμότητας νερού/νερού και εδάφους/νερού). Αντίστοιχα οι αερόψυκτοι εξατμιστές τοποθετούνται στις αντλίες θερμότητας με πηγή/αποδέκτη θερμότητας τον αέρα (αντλίες θερμότητας αέρα – αέρα και αέρα- νερού).

Το μειονέκτημα των εξατμιστών είναι ότι λόγω της λειτουργίας τους, συχνά ρίχνουν την θερμοκρασία της πηγής θερμότητας σε πολύ χαμηλά επίπεδα, με κίνδυνο να σχηματιστεί πάγος στην επιφάνεια των σωλήνων. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μηχανικές βλάβες στους σωλήνες, ενώ εμποδίζει και τη μετάδοση θερμότητας. Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αυτός, στους υδρόψυκτους εξατμιστές κλειστού κυκλώματος

χρησιμοποιείται διάλυμα αντιπηκτικού αντί για νερό. Αντίστοιχα, στους αερόψυκτους εξατμιστές ανοικτού κυκλώματος, όταν η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας πέσει χαμηλά, ενεργοποιείται η διαδικασία της αποπάγωσης.

δ) Εκτονωτική Διάταξη.

Η εκτονωτική διάταξη ρυθμίζει την ποσότητα του υγρού ψυκτικού ρευστού από τον συμπυκνωτή προς τον εξατμιστή και αλλάζει τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του ψυκτικού ρευστού έτσι ώστε από υγρό υψηλής πίεσης στην έξοδό του, να μετατρέπεται σε μίγμα υγρού-ατμού σταθερής χαμηλής πίεσης. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι εκτονωτικών διατάξεων που χρησιμοποιούνται στις αντλίες θερμότητας είναι η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα και ο τριχοειδής σωλήνας.

ε) Τετράοδη Βαλβίδα.

Η τετράοδη βαλβίδα ανάμιξης είναι η συσκευή μέσω της οποίας γίνεται η αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου από ψύξη σε θέρμανση. Η ενεργοποίησή της γίνεται από την διάταξη ελέγχου που έχει κάθε αντλία θερμότητας.



Εικόνα 3.11 Τετράοδη βαλβίδα ανάμειξης για την αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου.[16]

Γενικά εκτός από τις πέντε παραπάνω βασικές συσκευές, οι αντλίες θερμότητας περιλαμβάνουν ανάλογα με την κατασκευή τους και διάφορα άλλα εξαρτήματα και μηχανισμούς, που έχουν ως αποστολή την καλύτερη ρύθμιση και την ασφαλή λειτουργία τους. Ενδεικτικότερα μπορούν να αναφερθούν:

- ο *διαχωριστής λαδιού*, που τοποθετείται στην έξοδο του συμπιεστή και έχει ως σκοπό να διαχωρίσει το λάδι λίπανσης από τους υπέρθερμους ατμούς του ψυκτικού ρευστού
- το *φίλτρο-ξηραντήρας*, που συγκρατεί τα στερεά σωματίδια και τα ίχνη υδρατμού ή νερού που περιέχονται στο ψυκτικό ρευστό
- οι *βαλβίδες αντεπιστροφής*, που επιτρέπουν τη ροή του ψυκτικού μόνο προς μία κατεύθυνση
- οι *ρυθμιστές υψηλής και χαμηλής πίεσης*
- οι *διατάξεις αποπάγωσης*
- οι *θερμοστάτες*
- οι ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου κ.ά.

Συντελεστής απόδοσης

Ως απόδοση μιας αντλίας θερμότητας ορίζεται ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας προς την ενέργεια που δαπανάται.

$$\text{Συντελεστής απόδοσης} = \frac{\text{Ενέργεια που λαμβάνεται}}{\text{Ενέργεια που δαπανάται}} \quad (3.1)$$

Για την περίπτωση της λειτουργίας σε θέρμανση είναι:

$$\begin{aligned} \text{Συντελεστής απόδοσης}_{\text{θέρμανσης}} &= \frac{\text{Ενέργεια που δίνεται στο θερμαινόμενο χώρο}}{\text{Ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση του συμπιεστή}} \\ &= \frac{Q_h}{W} \quad (3.2) \end{aligned}$$

Για την περίπτωση της λειτουργίας σε ψύξη είναι:

$$\begin{aligned} \text{Συντελεστής απόδοσης}_{\text{ψύξης}} &= \frac{\text{Ενέργεια που αφαιρείται από τον ψυχόμενο χώρο}}{\text{Ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση του συμπιεστή}} \\ &= \frac{Q_c}{W} \quad (3.3) \end{aligned}$$

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την απόδοση μιας αντλίας θερμότητας. Ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης COP (Coefficient of Performance) και ο εποχιακός συντελεστής επίδοσης HSPF (Heating Seasonal Performance Factor). Ο συντελεστής απόδοσης συναντάται και με τον όρο “συντελεστής συμπεριφοράς”, και είναι πάντοτε μεγαλύτερος από τη μονάδα.

Ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης COP είναι ο πιο συνηθισμένος δείκτης για την απόδοση μιας αντλίας θερμότητας. Είναι ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος σε (W) προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύ σε (W). Οι τιμές του συνήθως κυμαίνονται από **2 έως 4** για τις αντλίες θερμότητας με πηγή τον *αέρα*. Στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας με πηγή το *νερό ή το έδαφος*, η τιμή του COP κυμαίνεται συνήθως από **3 έως 5**.

Για την περίπτωση της χειμερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$\text{COP}_H = \text{Θερμική ισχύς συμπυκνωτή (w)} / \text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή (w)} = \frac{q_H}{W}$$

(3.4)

Για την περίπτωση της θερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$\text{COP}_C = \text{Ψυκτική ισχύς εξατμιστή (w)} / \text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή (w)} = \frac{q_C}{W}$$

(3.5)

Για την περίπτωση της θερινής λειτουργίας σε ψύξη, χρησιμοποιείται συχνά και ο λόγος ενεργειακής απόδοσης EER (Energy Efficiency Ratio). Ο λόγος αυτός ορίζεται ως:

$$\text{ERR} = \text{Ψυκτική ισχύς εξατμιστή (Btu/h)} / \text{Ηλεκτρική ισχύς συμπιεστή (w)} = \frac{q_C}{W}$$

(3.6)

Επειδή $3.412 \text{ Btu/h} = 1 \text{ W}$, η τιμή $\text{EER}=10$ είναι ισοδύναμη με $\text{COP}_C = 10/3.412 = 2.93$. Γενικά μία αντλία θερμότητας θεωρείται ότι έχει ικανοποιητική επίδοση, εάν $\text{EER}>10$.

Οι δείκτες COP και EER βασίζονται σε εργαστηριακές μετρήσεις και δεν μπορούν να αποδώσουν τη συμπεριφορά μιας αντλίας θερμότητας σε μακρόχρονη λειτουργία. Αντίθετα ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης HSPF αποδίδει πιο ρεαλιστικά την συμπεριφορά μιας αντλίας θερμότητας σε εποχιακή βάση (εβδομάδα, μήνας, περίοδος).

Ο εποχιακός βαθμός επίδοσης HSPF είναι ο λόγος της συνολικής ωφέλιμης ενέργειας σε (kWh) προς την συνολικά καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε (kWh), η οποία μπορεί να περιλαμβάνει και την κατανάλωση βοηθητικής ενέργειας (π.χ. από ηλεκτρική αντίσταση, ανεμιστήρες εξατμιστή και συμπυκνωτή).

Για την περίπτωση της χειμερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$\text{HSPF}_h = \text{Θερμική ενέργεια που αποδίδει ο συμπυκνωτής (kWh)} / \text{Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh)} = \frac{Q_h}{W} \quad (3.7)$$

Για την περίπτωση της θερινής λειτουργίας ορίζεται ως:

$$\text{HSPF}_c = \text{Θερμική ενέργεια που αφαιρεί ο εξατμιστής (kWh)} / \text{Καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh)} = \frac{Q_c}{W} \quad (3.8)$$

Επιπλέον χρησιμοποιείται και ο λόγος της εποχιακής ενεργειακής επίδοσης SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) ο οποίος ορίζεται ως:

$$\text{SEER} = \text{Ενέργεια που αφαιρεί ο εξατμιστής (Btu)} / \text{Καταναλισκόμενη ενέργεια (kWh)} = \frac{Q_c}{W} \quad (3.9)$$

Η εποχιακή επίδοση μιας αντλίας θερμότητας θεωρείται ικανοποιητική εάν $\text{HSPF} > 3$ ή αντίστοιχα $\text{SEER} > 10$.

Ένας πολύ σπουδαίος φυσικός νόμος που ισχύει για κάθε αντλία θερμότητας είναι: Όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του μέσου από το οποίο αντλείται η θερμότητα και της θερμοκρασίας του μέσου στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα, τόσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής απόδοσης.

Ψυκτικά ρευστά

Με τον όρο ψυκτικό ρευστό καλείται κάθε ουσία (σε υγρή ή αέρια μορφή) που χρησιμοποιείται στον κύκλο λειτουργίας των ψυκτικών μηχανών και των αντλιών θερμότητας, απορροφά θερμότητα από ένα μέσο ή ένα χώρο και την αποδίδει σε ένα άλλο μέσο ή χώρο. Η απορρόφηση της θερμότητας βασίζεται στην ατμοποίηση του ψυκτικού υγρού, η οποία γίνεται σε ένα στοιχείο ατμοποίησης (εξατμιστής). Η απόδοση της θερμότητας γίνεται με την συμπύκνωση των ατμών του ψυκτικού μέσου, η οποία γίνεται σε ένα στοιχείο συμπύκνωσης (συμπυκνωτής).

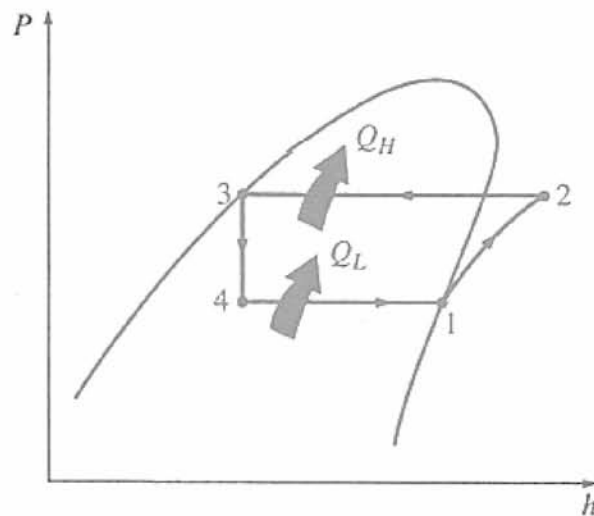
Η καταλληλότητα ενός ψυκτικού ρευστού για κάποια δεδομένη εφαρμογή, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σε αυτούς περιλαμβάνονται οι θερμοδυναμικές, φυσικές και χημικές ιδιότητές του καθώς και κάποιες απαιτήσεις ασφάλειας. Η σπουδαιότητα ή η φυσική σημασία κάθε χαρακτηριστικού μεταβάλλεται από εφαρμογή σε εφαρμογή και δεν υπάρχει το ιδανικό ψυκτικό ρευστό για όλες τις εφαρμογές.

Κάθε ψυκτικό ρευστό χαρακτηρίζεται με το σύμβολο R (Refrigerant), το οποίο ακολουθούν δύο ή τρεις αριθμοί. Στα συνηθισμένα ψυκτικά ρευστά οι αριθμοί αυτοί εκφράζουν τα άτομα φθορίου (F), υδρογόνου (H) και άνθρακα (C) στη χημική τους ένωση. Συνηθισμένα ψυκτικά μέσα είναι τα R12, R13, R22, R134a, R407C κ.λ.π.

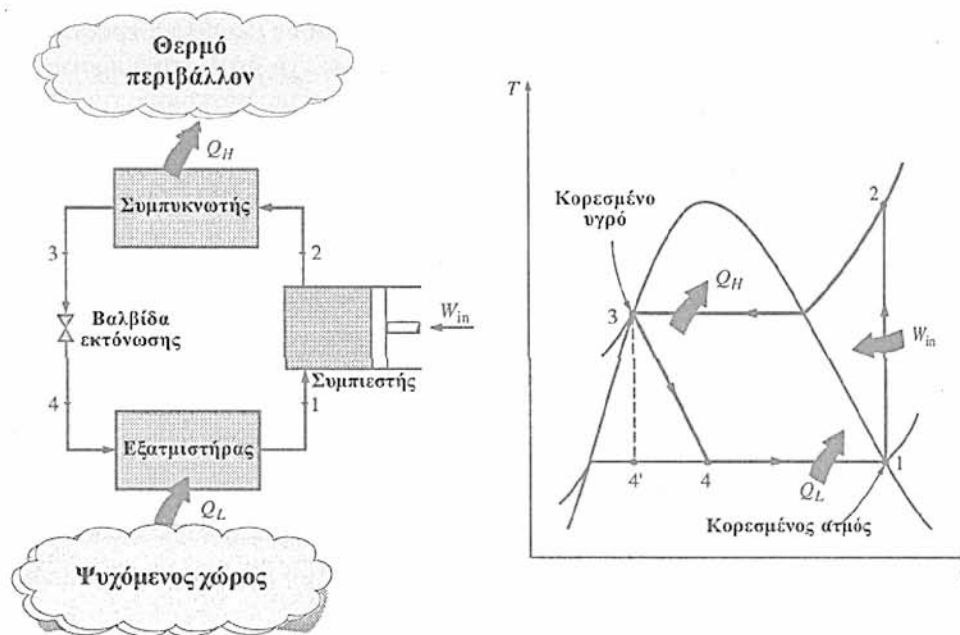
Για τη επιλογή του ψυκτικού μέσου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι θερμοκρασίες των δύο μέσων με τα οποία το ψυκτικό αλλάζει θερμοκρασία. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του ψυκτικού μέσου είναι: (1) να μην είναι τοξικό υγρό, (2) να μην είναι διαβρωτικό, (3) να μην είναι εύφλεκτο, (4) να είναι σταθερό στις θερμοκρασίες εφαρμογής και (5) να διατίθεται σε χαμηλό κόστος.

Ο ψυκτικός κύκλος συμπίεσης ατμών

Η μεταφορά της θερμότητας μεταξύ των δύο χώρων διαφορετικής θερμοκρασίας γίνεται με τη βοήθεια του ψυκτικού μέσου. Το ψυκτικό μέσο, ακολουθεί μία κυκλική διεργασία ή έναν θερμοδυναμικό κύκλο, απορροφά θερμότητα όταν εξατμίζεται και αποβάλλει θερμότητα όταν συμπυκνώνεται. Οι μεταβολές του ψυκτικού ρευστού μπορούν να παρασταθούν στα διαγράμματα πίεσης / ενθαλπίας (εικόνα 3.16) και θερμοκρασίας εντροπίας (εικόνα 3.17). Επίσης οι μεταβολές στον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμών δείχνονται στον πίνακα 3.4.



Εικόνα 3.12. Διάγραμμα Πίεσης –Ενθαλπίας ενός ιδανικού ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμού.[12]



Εικόνα 3.13 Σχηματική παράσταση και διάγραμμα Πίεσης –Ενθαλπίας του ιδανικού ψυκτικού κύκλου.[12]

Πίνακας 3.4: μεταβολές στον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμών .

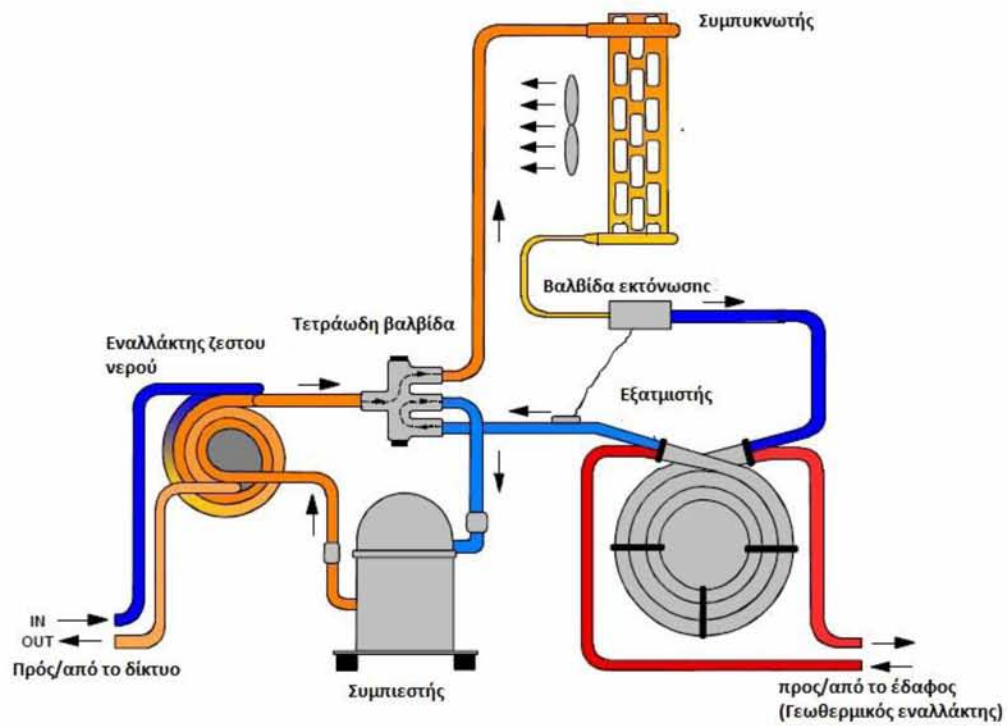
| Μεταβολή | Διεργασία | Ψυκτικό ρευστό | Μεταβολή ενέργειας |
|-----------------|------------------|---|---|
| 1.2 | Συμπίεση | Παίρνει ενέργεια | Κατανάλωση μηχανικού έργου |
| 2.3 | Συμπύκνωση | Αποβάλλει θερμότητα | Αποβολή θερμότητας στον αποδέκτη θερμότητας |
| 3.4 | Εκτόνωση | Από υγρό υψηλής πίεσης γίνεται υγρός ατμός χαμηλής πίεσης | Καμία ενεργειακή μεταβολή |
| 4.1 | Εξάτμιση | Αντλεί θερμότητα | Απορρόφηση θερμότητας από την πηγή θερμότητας |

Αντλίες θερμότητας εδάφους-νερού

Χρησιμοποιούν την αποθηκευμένη ενέργεια του εδάφους (θερμοχωρητικότητα εδάφους) για τον κλιματισμό δημόσιων και ιδιωτικών κτιρίων κάθε μεγέθους. Για να επιτευχθεί αυτό κατασκευάζεται στο έδαφος ένα κλειστό δίκτυο πλαστικών σωλήνων, που ονομάζεται γεωεναλλάκτης, μέσα στο οποίο κυκλοφορεί αποσκληρυμένο νερό ή διάλυμα νερού/αντιπηκτικού. Με την βοήθεια του γεωεναλλάκτη ο εξατμιστής/συμπυκνωτής του πρωτεύοντος κυκλώματος της αντλίας θερμότητας απορροφά ή απορρίπτει θερμότητα στο έδαφος. Ανάλογα με την κατασκευή του συνεργαζόμενου γεωεναλλάκτη τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε οριζόντια, κατακόρυφα ή σπειροειδή, τα οποία έχουν αναλυθεί στην παράγραφο 3.3.1.

Τα συστήματα αντλιών θερμότητας εδάφους/νερού παρουσιάζουν σήμερα υψηλά ποσοστά εγκατάστασης σε προηγμένες Ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γερμανία, η Ελβετία, η Σουηδία, αλλά χώρες της Αμερικανικής ηπείρου όπως οι Η.Π.Α και ο Καναδάς. Το γεγονός αυτό οφείλεται στους υψηλότερους βαθμούς απόδοσης που παρουσιάζουν σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους αντλιών θερμότητας, αλλά και στην φιλικότερη προς το περιβάλλον συμπεριφορά που εκφράζεται με την μειωμένη

κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας που έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 3.14 Αντλία θερμότητας εδάφους-νερού για δίκτυο θέρμανσης. [3]

Κεφάλαιο 4. Μελέτη εφαρμογής γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στο κολυμβητήριο.

4.1 Γεωθερμικό σύστημα στο κολυμβητήριο.

Η θέρμανση πισίνας είναι μια λειτουργία η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί επιτυχώς από τη γεωθερμία. Στην περίπτωση ενός κολυμβητηρίου η θέρμανση της πισίνας με τη γεωθερμία δύναται να συνδυαστεί με την ταυτόχρονη ψύξη του χώρου, γεγονός που οδηγεί σε μεγαλύτερη εξοικονόμηση. Εν γένει υπάρχουν δύο διαφορετικές φιλοσοφίες που αναπτύσσονται σχετικά με τη μέθοδο που θα θερμανθεί η πισίνα και θα κλιματιστεί ο χώρος των θεατών. Η πρώτη αναπτύσσεται με το κλασσικό σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας νερού - νερού οι οποίες θα παράγουν θερμό νερό για τη θέρμανση πισίνας σε ένα κλειστό κύκλωμα ανακυκλοφορίας λόγω της παρουσίας του χλωρίου της πισίνας, ενώ ταυτόχρονα θα μπορούσε να διοχετεύσει ψυχρό νερό για την κεντρική κλιματιστική μονάδα που θα κάνει την αφύγρανση και τον κλιματισμό στο χώρο.

Με αυτή τη μέθοδο, το ανοικτό ή κλειστό γεωθερμικό σύστημα δύναται να παράγει ένα μέτριας θερμοκρασίας ψυχρό νερό, ταυτόχρονα με τη θέρμανση της πισίνας, το οποίο, αν και εφόσον χρειαστεί, το προσφέρει στη κλιματιστική μονάδα. Με αυτό τον τρόπο μειώνονται οι απαιτήσεις του ψυχρού νερού της κλιματιστικής μονάδας. Αν όμως, η κεντρική κλιματιστική μονάδα απαιτεί θερμική ενέργεια τότε, αυτή θα είναι αθροιστική στη συνολική ισχύ που απαιτείται για τη θέρμανση της πισίνας. Σε αυτή τη μέθοδο πρωταρχικό ρόλο έχει η θέρμανση της πισίνας ενώ δευτερεύον είναι ο κλιματισμός των θεατών. Μία δεύτερη φιλοσοφία που αναπτύσσεται συνδυάζει τη θέρμανση της πισίνας με την ταυτόχρονη ρύθμιση του εσωτερικού κλιματισμού του χώρου χρησιμοποιώντας γεωθερμικές αντλίες θερμότητας νερού - αέρος. Στην ουσία, καταργείται η κεντρική κλιματιστική μονάδα και τοποθετείτε μία μονάδα νερού - αέρος. Αυτή η μονάδα, όταν απαιτεί ψύξη ο χώρος, θα παράγει ένα μερικό θερμικό φορτίο το οποίο είναι κατάλληλο για τη θέρμανση της πισίνας, στοχεύοντας στη μείωση των επενεργοποιήσεων των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας νερού - νερού και του υποβρύχιου εξοπλισμού. Όλα τα παραπάνω απαιτούν μελέτη και γνώση και θα πρέπει να εξεταστούν με προσοχή.

Συνηθέστερα, για τόσο υψηλές θερμικές και ψυκτικές απαιτήσεις προτιμάται το κλειστό γεωθερμικό σύστημα εκτός της περίπτωσης εύρεσης κοντινής πηγής γεωθερμικού ρευστού στην οποία θα χρησιμοποιηθεί ανοικτό γεωθερμικό σύστημα . Επιπλέον, δεν είναι λίγες οι φορές που εξετάζεται η περίπτωση κάλυψης των φορτίων βάσης από τη γεωθερμία ενώ η αρχική θέρμανση ή τυχόν φορτίων αιχμής να καλυφθούν από συνδυασμένο σύστημα γεωθερμίας και λέβητα πετρελαίου ή φυσικού αερίου.

Στη περίπτωση του κολυμβητηρίου που εξετάζουμε κρίνεται πιο σωστή η τοποθέτηση γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού τύπου κατακόρυφης διεύθυνσης λόγω της μη ύπαρξης γεωθερμικού ρευστού στο ευρύτερο πεδίο γύρω από το κολυμβητήριο και λόγω της πιο σωστής χωροθέτησης και ελεγχόμενης και σταθερής απόδοσης. Η πιο κατάλληλη περιοχή τοποθέτησής των γεωεναλλακτών είναι στο Βόριο μέρος του κολυμβητηρίου (εικόνα 4.1) ,σε μια περιοχή 500m² περίπου καλυπτόμενη από γκαζόν, ιδανική για χωματουργικές εργασίες, και σε κοντινή απόσταση και από τα δύο λεβητοστάσια.



Εικόνα 4.1. Απεικόνιση τοποθέτησης γεωεναλλακτών στην Βόρεια πλευρά του κολυμβητηρίου και διαδρομής ρευστού προς τα λεβητοστάσια. (Χρήση προγράμματος Googleearth).

4.2 Επιλογή κλειστού γεωθερμικού συστήματος.

Στα ανοικτά γεωθερμικά συστήματα αντλούμε νερό, του παίρνουμε ή που προσδίδουμε θερμότητα και το επιστρέφουμε πίσω στον υδροφόρο από όπου προήλθε μέσω της γεώτρησης εμπλουτισμού, στοχεύοντας στην εξισορρόπηση της θερμοκρασίας του και στην επανάντλησή του στην αρχική του θερμοκρασία μέσω της παραγωγικής υδρογεώτρησης. Στα κλειστά γεωθερμικά συστήματα, η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται συνεχώς μέσα σε ένα σύστημα σωληνώσεων, το οποίο είναι ενταφιασμένο στο έδαφος, αντικαθιστώντας την ύπαρξη των υδρογεωτρήσεων με αυτή του γεωσυλλέκτη. Η βασικότερη παράμετρος στα κλειστά γεωθερμικά συστήματα είναι η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας κατά την είσοδο και την έξοδο από το έδαφος. Αν για παράδειγμα διαπιστωθεί συνεχής πτώση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της θέρμανσης ενός κτιρίου, τότε θα πρέπει να εξεταστεί το μήκος του γεωσυλλέκτη.

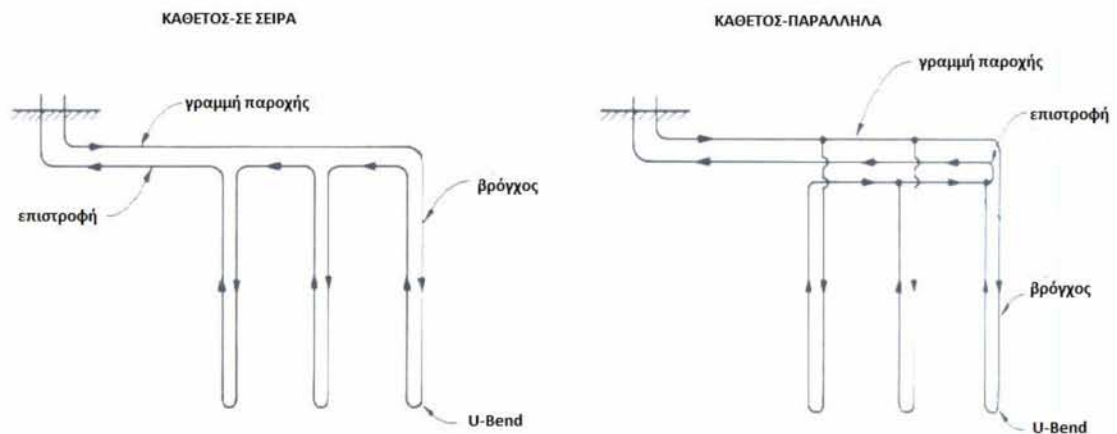
Τα κλειστά οριζόντια συστήματα διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τα συστήματα στα οποία εγκαθίσταται απλώς σωλήνας σε στενά χαντάκια, όπου απαιτεί τον περισσότερο περιβάλλοντα χώρο. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους πολλαπλούς σωλήνες οι οποίοι τοποθετούνται σε ένα χαντάκι με σκοπό τη μείωση του περιβάλλοντα χώρου. Οι τάφροι που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι είτε μεγάλου βάθους είτε μεγάλου πλάτους με τους σωλήνες διαχωρισμένους κατά 0,3-0,6 m. Παρότι το μήκος των τάφρων μπορεί να μειωθεί, το συνολικό μήκος του σωλήνα πρέπει να αυξηθεί, ώστε να υπερνικήσει τη θερμική αλληλεπίδραση των γειτονικών σωληνώσεων. Η τρίτη κατηγορία είναι τα οριζόντια συστήματα σε μορφή slinky coils. Η διαμόρφωση αυτή μπορεί να μειώσει ακόμα περισσότερο τον απαιτούμενο διαθέσιμο περιβάλλοντα χώρο. Οι σωληνώσεις αναδιπλώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν τόσο κατακόρυφα σε μία στενή τάφρο, όσο και οριζόντια στον πάτο ενός πλατύ χαντακιού. Τα απαιτούμενα μήκη των τάφρων είναι κατά 20-30% μικρότερα του μήκους των χαντακιών που κάνουν χρήση απλών σωληνών, αλλά τα μήκη των σωληνών ενδέχεται να αυξηθούν σημαντικά στην περίπτωση της ισοδύναμης θερμικής απόδοσης. Το πλεονέκτημα των οριζόντιων γεωθερμικών συστημάτων, όταν αναφερόμαστε σε κατοικίες, είναι το ότι αποτελούν φθηνότερη λύση λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητας του εξοπλισμού και της συχνότερης εφαρμογής τους. Δυστυχώς όμως δεν μπορεί να συμβαίνει το ίδιο και στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις.

Στα μειονεκτήματα των οριζόντιων *συστημάτων* περιλαμβάνεται η απαίτηση για αρκετό περιβάλλοντα χώρο, οι διακυμάνσεις στο συντελεστή απόδοσης που οφείλονται στις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις του περιβάλλοντος και στις διακυμάνσεις στη θερμική αγωγιμότητα λόγω του μικρού βάθους της εκσκαφής. Η επιλογή μεταξύ οριζόντιου ή κατακόρυφου συστήματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το κόστος των χωματουργικών εργασιών, το διαθέσιμο περιβάλλοντα χώρο και τη θερμική αγωγιμότητα που παρουσιάζει το εκάστοτε πέτρωμα. Σε περιπτώσεις που υπάρχει διαθεσιμότητα σε περιβάλλοντα χώρο και δεν είναι βραχώδες το πέτρωμα της ευρύτερης περιοχής, τα οριζόντια συστήματα αποτελούν την οικονομικότερη λύση. Τα κατακόρυφα συστήματα χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχει διαθεσιμότητα χώρου ή όταν η ευρύτερη περιοχή είναι βραχώδης. Η επιλογή μεταξύ οριζόντιου ή κατακόρυφου συστήματος διευκρινίζεται έπειτα από τεχνοοικονομική ανάλυση.

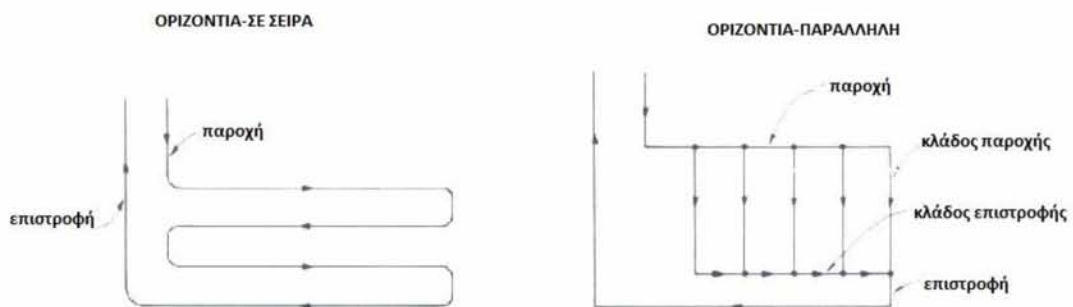
4.3 Διαμόρφωση γεωσυλλέκτη

Ο γεωσυλλέκτης μπορεί να τοποθετηθεί σε παράλληλη ή σε εν σειρά διάταξη (εικόνες 4.2 - 4.3). Στα συστήματα εν σειρά υπάρχει μία μόνο διαδρομή του υγρού ενώ στα παράλληλα αρκετές περισσότερες. Η επιλογή βασίζεται στο κόστος τοποθέτησης και εγκατάστασης. Τα εν σειρά συστήματα απαιτούν μεγαλύτερης διαμέτρου σωλήνες που οδηγούν σε υψηλότερο κόστος αγοράς. Για αντλίες θερμότητας με μικρές παροχές, ο σχεδιασμός του γεωσυλλέκτη θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να ευνοεί την καλή μεταφορά της θερμότητας. Τα προτερήματα των εν σειρά *συστημάτων* είναι ότι το υγρό ακολουθεί μονάχα μία διαδρομή και εμφανίζει ελάχιστα υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα. Το μεγαλύτερο όμως προτέρημα τους είναι ότι η απομάκρυνση του αέρα από το σύστημα γίνεται με σχετικά εύκολο τρόπο. Ωστόσο όμως η ανάγκη μεγάλης διαμέτρου σωλήνα, η περισσότερη ποσότητα αντιψυκτικού, το υψηλότερο κόστος κατασκευής και οι περιορισμοί στο συνολικό μήκος του γεωσυλλέκτη του συστήματος που χρειάζεται αποτελούν βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου. Τα παράλληλα συστήματα χρησιμοποιούν μικρότερης διαμέτρου σωλήνες, που απαιτούν μικρότερο κόστος κατασκευής, καθώς και μικρότερες ποσότητες αντιψυκτικού από οποιοδήποτε άλλο σύστημα. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η δυσκολία στην απομάκρυνση του αέρα από το σύστημα. Κάθε βρόχος

δεν μπορεί να είναι διαφορετικού μήκους, πράγμα που κάνει αρκετά δύσκολη την εγκατάσταση του γεωσυλλέκτη στο διαθέσιμο χώρο. Αυτό οφείλεται στην εξισορρόπηση της πτώσης πίεσης του συνολικού συστήματος.



Εικόνα 4.2 Σε σειρά και παράλληλος κάθετος γεωεναλλάκτης [3]



Εικόνα 4.3 Σε σειρά και παράλληλος οριζόντιος γεωεναλλάκτης [3]

4.4 Προδιαγραφές υλικών γεωσυλλέκτη

Ο γεωσυλλέκτης αποτελείται από πλαστικούς σωλήνες που παρουσιάζουν ευκαμψία με δυνατότητα εύκολης επεξεργασίας για να γίνουν ισχυρές ενώσεις και αρθρώσεις. Τα χρησιμοποιούμενα υλικά είναι πολυβουτυλένιο και πολυαιθυλένιο. Στην Αμερική και στον Καναδά, ακόμα και σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες όπου δεν υπάρχουν τα αντίστοιχα δικά τους πρότυπα κατασκευής ισχύουν οι παρακάτω προδιαγραφές.

Πρότυπα κατασκευής γεωσυλλέκτη [Καναδά και ΗΠΑ]:

- Πολυβουτυλένιο PB 21 10 με SDR 13,5
- Πολυβουτυλένιο PB 21 10 με SDR 17 &
- Πολυαιθυλένιο PE 3408 με SDR 1 1
- Πολυαιθυλένιο PE 3408 με SDR 40

Πρότυπα κατασκευής γεωσυλλέκτη [Ευρωπαϊκή Ένωση]:

- VDI 4040 πολυαιθυλένιο PE-MRS 8 κατά DIN 8074 και DIN 8075

Συνήθως, χρησιμοποιούνται οι σωλήνες με το υψηλότερο SDR, αλλά αυτό είναι συνάρτηση του κόστους και του μελετητή.

Το μέγεθος του σωλήνα πρέπει να είναι τόσο μεγάλο ώστε να μειώνεται το κόστος κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας που σπαταλάτε στην ανακυκλοφορία του διαλύματος μέσα στο γεωσυλλέκτη. Επιπλέον, το μέγεθος του σωλήνα πρέπει να είναι τόσο μικρό ώστε να δημιουργούνται στο εσωτερικό του σωλήνα φαινόμενα στροβιλισμού μεταξύ του κυκλοφορούντος υγρού και των τοιχωμάτων του σωλήνα, ούτως ώστε να έχουμε μέγιστη μεταφορά θερμότητας. Το τελευταίο όμως οδηγεί σε υψηλότερη πτώση πίεσης. Η βέλτιστη λύση λαμβάνεται μεταξύ του φαινομένου της θερμικής απόδοσης (που είναι το βασικό μέλημα σε μία μελέτη) και της πτώσης της πίεσης. Θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο γεγονός ότι οι σωληνώσεις μεγάλης διαμέτρου είναι ακριβότεροι, απαιτούν μεγαλύτερη ποσότητα αντιψυκτικού και είναι πιο δύσκολοι στο χειρισμό και την εγκατάστασή τους από αυτούς που έχουν μικρότερη διάμετρο. Η πλειοψηφία των γεωσυλλεκτών κατασκευάζονται από σωλήνα

3/4-, 1-, 1/4-, 1, 1/2 - και 2- ιντσών. Οι σωλήνες που τοποθετούνται σε παράλληλους βρόχους έχουν μικρότερη διάμετρο, ενώ οι διανομείς οι οποίοι μεταφέρουν το υγρό από και προς το κτίριο είναι κατασκευασμένοι από σωλήνες μεγαλύτερης διαμέτρου.

Οι σωλήνες και ο εξοπλισμός που είναι εκτεθειμένοι στην ηλιακή ακτινοβολία θα πρέπει να είναι ανθεκτικοί στις ακτίνες υν. Επίσης οι σωλήνες πρέπει να είναι κατάλληλοι για τις προγραμματισμένες θερμοκρασιακές μεταβολές.

4.5 Το μέσο μεταφοράς της θερμότητας

Η ανταλλαγή της θερμότητας μεταξύ του εδάφους και της εγκατάστασης γίνεται διαμέσου του γεωσυλλέκτη. Για την επιτυχία της μεταφοράς της ενέργειας, χρησιμοποιούνται διαλύματα νερού - αντιψυκτικού τα οποία επιταχύνουν τη μεταφορά της θερμότητας. Το υγρό που θα επιλεγεί είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως η ελάχιστη και η μέγιστη θερμοκρασία, το ιξώδες που παρατηρείται και άλλα. Πρωταρχικό ρόλο παίζει η διαμόρφωση του γεωσυλλέκτη, το υλικό κατασκευής του, το βάθος και η διάταξη του, καθώς επίσης και η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους. Η διάταξη του σωλήνα που θα χρησιμοποιηθεί [οριζόντια ή κατακόρυφη, εν σειρά ή παράλληλη] παίζει ουσιαστικό ρόλο στο ρυθμό ανακυκλοφορίας, στην πτώση πίεσης και στα συνολικά μέτρα θερμοαντικείμενης επιφάνειας που είναι αναγκαία. Παρόλο που η διάταξη και η διαμόρφωση του γεωσυλλέκτη είναι αλληλένδετη με τον τύπο των υγρών που θα χρησιμοποιηθούν, ο τελικός σχεδιασμός αποτελεί κρίση του μελετητή και της τοπολογίας της ευρύτερης περιοχής του έργου. Τα υγρά του γεωσυλλέκτη παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες που συνδέονται τόσο με το κόστος της αρχικής επένδυσης όσο και με τα λειτουργικά έξοδα όπως π.χ. την υψηλή κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν υγρά με υψηλό ιξώδες.

Τα συνηθέστερα υγρά που κυκλοφορούν σε ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας είναι υδάτινα διαλύματα με κύριο στοιχείο το νερό και χλωριώδες νάτριο ή ασβέστιο, προπυλενογλυκόλη, αιθυλενογλυκόλη, μεθυλική αλκοόλη, αιθυλική αλκοόλη και ποτάσα. Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η τοξικότητα, το υψηλό ιξώδες και το σημείο τήξης του καθαρού νερού ή του υδάτινου διαλύματος. Επιπλέον,

σημαντικό ρόλο παίζει και η θερμοχωρητικότητα που παρουσιάζουν τα υγρά, η διαφορά πίεσης και τριβής που δημιουργούν, τα διαβρωτικά χαρακτηριστικά, το κόστος αγοράς και συντήρησης και τέλος οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε περίπτωση διαρροής τους.

Το σημείο τήξης του υγρού, που ανακυκλοφορεί στο γεωσυλλέκτη καθορίζει τη συγκέντρωση του υγρού στο νερό που εμπεριέχεται στον γεωσυλλέκτη, και παίζει ουσιαστικό ρόλο στο πάγωμα του εναλλάκτη θερμότητας της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, που χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του πτητικού υγρού που εμπεριέχεται στην αντλία θερμότητας. Η πιο χαμηλή αναμενόμενη θερμοκρασία εξόδου από τον εναλλάκτη θερμότητας προς τον γεωσυλλέκτη προσδιορίζει το σημείο τήξεως του αντιψυκτικού υγρού που πρέπει να χρησιμοποιηθεί όταν η γεωθερμική αντλία θερμότητας λειτουργεί ως θερμική μηχανή. Η περιεκτικότητα της διαλυμένης ουσίας στο μίγμα νερού - αντιψυκτικού εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση της εγκατάστασης και κατά συνέπεια τη θερμοκρασία του εδάφους. Η συνηθέστερη τιμή της διαλυμένης ουσίας είναι 20% κατά βάρος του μίγματος. Σε ιδιαίτερα ψυχρές περιοχές η τιμή αυτή μπορεί να φτάσει το 25%, ενώ σε θερμότερες περιοχές μπορεί να έχει την τιμή 18%. Τα συνηθέστερα υγρά που συναντάμε σε ένα κλειστό γεωθερμικό σύστημα είναι το νερό, οι αλκοόλες, οι γλυκόλες, τα άλατα και κάποιοι άλλοι συνδυασμοί.

- Νερό

Το νερό αποτελεί την φθηνότερη λύση για ένα γεωθερμικό σύστημα. Παρουσιάζει χαμηλή τιμή ιξώδους με αποτέλεσμα να δημιουργεί μικρές πτώσεις πίεσεως λόγω τριβών στα ευθύγραμμα και καμπυλωτά τμήματα των σωλήνων και των εξαρτημάτων. Παρουσιάζει υψηλή θερμική αγωγιμότητα και επομένως αποτελεί καλό μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Το καθαρό νερό δεν παρουσιάζει επικαθίσεις στον γεωσυλλέκτη και στο δίκτυο μεταφοράς που οδηγεί στη μικρή αλλά και χαμηλού κόστους συντήρηση του εξοπλισμού. Ωστόσο όμως το νερό παρουσιάζει σημείο τήξεως στους 0 και έχει την τάση να διογκώνεται όταν παγώνει. Το υψηλό σημείο τήξης περιορίζει τη χρήση του νερού στις περιοχές όπου υπάρχει έστω και η ελάχιστη πιθανότητα να παγώσει το δίκτυο του γεωσυλλέκτη. Σε αυτή την περίπτωση χρησι-

μποιούνται αλκοολούχα υγρά ή διαλύματα που παρουσιάζουν αντιψυκτικές ιδιότητες.

- Οι Αλκοόλες

[Μεθυλική ή Αιθυλική Αλκοόλη]

Η μεθυλική αλκοόλη ή μεθανόλη, χρησιμοποιείται ευρέως ως αντιψυκτικό υγρό. Το διάλυμα μεθανόλης - νερού παρέχει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά ως προς τη θερμική αγωγιμότητα που παρουσιάζει και την χαμηλή πτώση πίεσης λόγω τριβών. Αποτελεί ελκυστική λύση εφόσον παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε χαμηλή τιμή. Το διάλυμα αλκοολών - νερού παρουσιάζει αρκετά υψηλό συντελεστή μεταφοράς της θερμότητας. Ωστόσο όμως κατέχει υψηλή πτητικότητα [15°C], αναφλεξιμότητα και τοξικότητα.

Το μίγμα νερού και αιθυλικής αλκοόλης βρίσκει και αυτό εφαρμογή σαν αντιψυκτικό υγρό. Παρουσιάζει χαμηλή τοξικότητα και είναι λιγότερο εύφλεκτο από το μίγμα της μεθανόλης - νερού. Ωστόσο όμως δεν παύει να είναι και πάλι αρκετά εύφλεκτο με αποτέλεσμα να θέλει πολύ προσοχή τόσο στη χρήση όσο και στην αποθήκευσή του. Τα μίγματα της αιθυλικής αλκοόλης έχουν κολλώδη υφή με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μεγαλύτερες πτώσεις πίεσης από αυτά του νερού ή του διαλύματος νερού - μεθανόλης. Επιπλέον παρέχουν χαμηλότερη τιμή μεταφοράς της θερμότητας από τα προαναφερθέντα. Τέλος, η λιανική τιμή πώλησης είναι υψηλότερη από τα μίγματα της μεθανόλης αλλά είναι πιο οικονομικά από αυτά της αιθυλενογλυκόλης.

- Γλυκόλες

Οι γλυκόλες χρησιμοποιούνται περισσότερο από τα μίγματα που περιέχουν άλατα. Τα χαρακτηριστικά του μίγματος αιθυλενιο- γλυκόλης είναι ότι είναι άχρωμο, άοσμο, και αναμιγνύεται πολύ εύκολα με το νερό. Το διάλυμα του μίγματος με το νερό έχει πολύ χαμηλά διαβρωτικά στοιχεία με αποτέλεσμα να είναι αρκετά ελκυστικό. Όμως, είναι αρκετά τοξικό και η ελαστικότητα του [κολλώδες] φτάνει σε υψηλά επίπεδα και επομένως οδηγεί σε υψηλές πτώσεις πίεσης και καταναλώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα διαλύματα που περιέχουν γλυκόλες χρησιμοποιούνται για αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες [-30°C] άλλα παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση όταν ξεπερνούν τους -10 °C. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία των φυ-

σικοχημικών ιδιοτήτων του διαλύματος είναι η ποιότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί. Το διάλυμα θα πρέπει να είναι μαλακό και να έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε ιόντα χλωρίου και θειικού οξέος. Τα μίγματα της αιθυλενογλυκόλης έχουν PH από 8,8 έως 9,2, Εάν κατά τη διάρκεια συντήρησης του εξοπλισμού διαπιστωθεί διάλυμα με PH χαμηλότερο από 7,7 πρέπει να αντικατασταθεί. Τα διαλύματα που περιέχουν γλυκόλες δεν έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

- Διαλύματα νερού και προπυλενογλυκόλης

Τα μίγματα αυτά τα χρησιμοποιούμε σαν αντικαταστάτες των μιγμάτων της αιθυλενογλυκόλης μιας και ένα βασικό πλεονέκτημά τους είναι η χαμηλή τοξικότητα. Αυτά τα μίγματα έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά των μιγμάτων της αιθυλενογλυκόλης, όπως χαμηλή τιμή διαβρωτικότητας, πτητικότητας και ελάχιστη επικινδυνότητα όσον αφορά την ευφλεκτικότητα. Έχουν όμως μεγαλύτερη τιμή κόστους και τα διαλύματα που σχηματίζουν έχουν μεγάλο ιξώδες. Οι θερμοκρασίες στις οποίες χρησιμοποιούνται αυτά τα διαλύματα είναι περίπου οι -10°C . Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των -10°C υπάρχει κίνδυνος το μίγμα να παρουσιάσει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και υψηλές τιμές πτώσης πίεσης. Έχει παρατηρηθεί ότι σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, επειδή χρησιμοποιείται υψηλότερη συγκέντρωση προπυλενογλυκόλης στο διάλυμα είναι αντιοικονομική λύση. Για να έχουμε καλή θερμική αγωγιμότητα σε ένα θαμμένο σωλήνα στο έδαφος πρέπει να μην υπάρχει τυρβώδης ροή στο διάλυμα για τη χαμηλότερη θερμοκρασία εξόδου του υγρού από την αντλία θερμότητας.

- Άλατα

Τα άλατα που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε διαλύματα χλωριώδους νάτριου και διαλύματα νερού με χλωριώδες ασβέστιο. Τα διαλύματα χλωριώδους νάτριου έχουν χαμηλή τιμή ιξώδους και υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Παρουσιάζουν χαμηλή τοξικότητα και πτητικότητα και δεν είναι εύφλεκτα.

Επειδή είναι βασισμένα στο νάτριο είναι διαβρωτικά διαλύματα και απαιτούν αντιδιαβρωτική προστασία. Ωστόσο, ανά τακτικά χρονικά διαστήματα είναι απαραίτητη η μέτρηση του pH του διαλύματος με στόχο την αποφυγή του όξινου χαρακτήρα.

Πίνακας 4.1: Φυσικοχημικές ιδιότητες διαλυμάτων. [17]

| | Νερό | Αιθυλενογλυκόλη | Προπυλενογλυκόλη | Μιθονόλη |
|--------------------|-------|-----------------|------------------|----------|
| Μοριακό βάρος | 18,01 | 62,07 | 76,1 | 32,04 |
| Ειδικό βάρος 20/20 | 1 | 1,12 | 1,038 | 0,792 |
| Σημείο πήξης °C | 0 | -13 | - | -0,96 |
| Σημείο βροσμού °C | 100 | 197,72 | 187,77 | 64,4 |
| Ιξώδες, 0 °C, cP | 1,79 | 57,4 | 243 | - |
| Ιξώδες, 20 °C, cP | 1,01 | 20,9 | 60,5 | 0,6 |
| Ιξώδες, 40 °C, cP | 0,66 | 9,5 | 18 | - |

4.6 Ανάλυση διάταξης των κατακόρυφων γεωεναλλακτών.

Η διάταξη του γεωσυλλέκτη στα κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα είναι κατακόρυφη, με αποτέλεσμα να υπάρχει αρκετή εξοικονόμηση περιβάλλοντα χώρου. Τα κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα κατασκευάζονται με την τοποθέτηση δύο σωλήνων πολυαιθυλενίου μικρής διαμέτρου, σε μία κατακόρυφη οπή. Οι σωλήνες ενώνονται στον πάτο της οπής και έτσι σχηματίζουν μια διαμόρφωση "U-bend". Οι κατακόρυφοι σωλήνες έχουν ονομαστική διάμετρο που κυμαίνεται από 3/4 έως 1 1/2 ίντσες. Το βάθος των οπών ποικίλει ανάλογα με τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες και τον απαιτούμενο εξοπλισμό. Τα πλεονεκτήματα των κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων είναι ότι απαιτούν μικρό περιβάλλοντα χώρο, είναι σε επαφή με το έδαφος σε μεγάλο βάθος, το οποίο έχει σχετικά σταθερές θερμοκρασίες και θερμικές ιδιότητες, απαιτούν το μικρότερο μήκος σωληνώσεων και ενέργειας κυκλοφορίας του νερού, ενώ μπορούν να έχουν την καλύτερη απόδοση εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα γεωθερμικά συστήματα. Τα μειονεκτήματα είναι ότι έχουν υψηλό κόστος κατασκευής λόγω της ανόρυξης των κατακόρυφων οπών με γεωτρήπανο και του προσωπικού της εγκατάστασης.

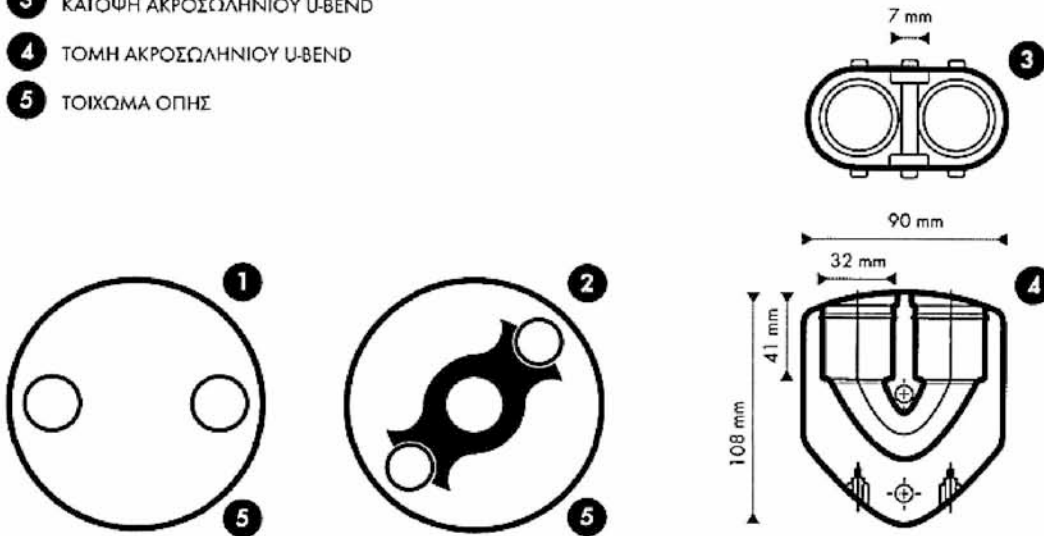
Κατακόρυφοι γεωσυλλέκτες μορφής "U"

Στο γεωσυλλέκτη με μορφή "U" η μεταφορά της θερμότητας πραγματοποιείται τόσο από το τμήμα καθόδου της ροής όσο και από το τμήμα όπου επιστρέφει το διάλυμα στην επιφάνεια. Για αυτό το λόγο, παρατηρείται και μερική διάχυση της θερμότητας στα υψηλότερα σημεία της οπής από το θερμότερο στο ψυχρότερο χωρίς αυτό να σημαίνει ότι το σύστημα υπόκειται σε θερμικό στρες.

1. Γεωσυλλέκτης μορφής "U"

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για την ανταλλαγή θερμότητας σε μία κατακόρυφη οπή είναι η εισαγωγή ενός ή περισσότερων σωλήνων πολυαιθυλενίου σχήματος "U". Οι διπλοί γεωσυλλέκτες εφαρμόζονται κυρίως στη Βόρεια Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική, ενώ οι τετραπλοί γεωσυλλέκτες εφαρμόζονται στην Κεντρική Ευρώπη. Στη Βόρεια Ευρώπη, οι οπές είναι συνήθως πληρωμένες με υπόγειο νερό μέχρι μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Στην Αμερική και την Κεντρική Ευρώπη συνήθως απαιτείται η πλήρωση της οπής με κάποιο υλικό τσιμέντωσης όπως είναι ο μπεντονίτης, το τσιμέντο ή η χαλαζιακή άμμος. Ειδικά μίγματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα θερμοαγώγιμα, επιτρέπουν την καλύτερη μεταφορά θερμότητας από τον απλό μπεντονίτη.

- 1 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΓΕΩΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ "U"
- 2 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΓΕΩΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ "U" ΜΕ ΑΠΟΣΤΑΤΕΣ
- 3 ΚΑΤΩΨΗ ΑΚΡΟΣΩΛΗΝΙΟΥ U-BEND
- 4 ΤΟΜΗ ΑΚΡΟΣΩΛΗΝΙΟΥ U-BEND
- 5 ΤΟΙΧΩΜΑ ΟΠΗΣ



Εικόνα 4.4 Κατακόρυφοι γεωσυλλέκτες μορφής "U" [17]

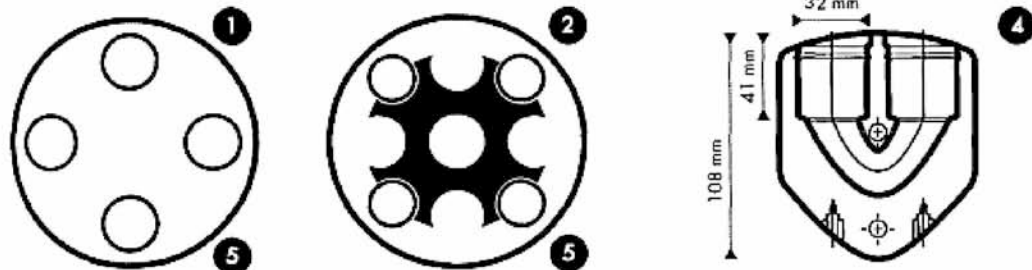
2. Γεωσυλλέκτης μορφής "2U"

Ο διπλός γεωσυλλέκτης χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για πάνω από 30 χρόνια. Τα βασικά του πλεονεκτήματα είναι η απλότητα του σχεδιασμού, η ευκολία μεταφοράς του και η εύκολη εγκατάστασή του, εν συγκρίσει με τις άλλες μεθόδους. Ο κατακόρυφος γεωσυλλέκτης που είναι αποτέλεσμα μίας σωστής εγκατάστασης έχει σχεδόν άπειρη διάρκεια ζωής. Τα προβλήματα που έχουν παρατηρηθεί οφείλονται στη λανθασμένη σύνδεση των σωλήνων και σε αδύναμα κομμάτια, τοποθετημένα στον πάτο της οπής. Το βασικό μειονέκτημα του διπλού γεωσυλλέκτη είναι η σχετικά μικρή θερμική αγωγιμότητα, ειδικά σε συνθήκες μη τυρβώδους ροής.

3. Γεωσυλλέκτες "U" & "2U" με αποστάτες

Η θερμική απόδοση του διπλού γεωσυλλέκτη, αυξάνεται αν οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι κοντά στα τοιχώματα της οπής. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση των λεγόμενων αποστατών.

- 1 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΓΕΩΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ "2U"
- 2 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΣ ΓΕΩΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ "2U" ΜΕ ΑΠΟΣΤΑΤΕΣ
- 3 ΚΑΤΩΨΗ ΑΚΡΟΣΩΛΗΝΙΟΥ 2U-BEND
- 4 ΤΟΜΗ ΑΚΡΟΣΩΛΗΝΙΟΥ 2U-BEND
- 5 ΤΟΙΧΩΜΑ ΟΠΗΣ



Εικόνα 4.5 Κατακόρυφοι γεωσυλλέκτες μορφής "2U" [17]

4. Γεωσυλλέκτης με πολλαπλούς σωλήνες "U"

Οι τετραπλοί και οι πολλαπλοί γεωσυλλέκτες είναι μία προέκταση του σεναρίου του διπλού γεωσυλλέκτη. Το βασικό πλεονέκτημα των πολλαπλών σωληνώσεων είναι ότι αυξάνεται η επιφάνεια που διατίθεται για τη μεταφορά θερμότητας και μειώνεται η σχετικά μεγάλη επιρροή της θερμικής αντίστασης των πλαστικών σωλήνων. Η επιρροή της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή μειώνεται γεγονός που σημαίνει ότι δεν παίζει ιδιαίτερο ρόλο αν η ροή είναι τυρβώδης ή γραμμική. Αυτό μπορεί να επιτρέψει ελαφρά χαμηλότερες πτώσεις πίεσης κατά μήκος της κατακόρυφης οπής με σκοπό την επίτευξη συγκεκριμένης ταχύτητας μεταφοράς θερμότητας.

5. Γεωσυλλέκτες με τρισωλήνιο δίκτυο ροής

Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελεί μία παραλλαγή του κλασσικού συστήματος του γεωσυλλέκτη σχήματος "U". Στη διαρρύθμιση αυτή δύο σωλήνες βρίσκονται στην ίδια κατεύθυνση και ένας σωλήνας βρίσκεται στην άλλη κατεύθυνση. Χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά τη δεκαετία του 1980 όταν οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας εφαρμόστηκαν στη Σουηδία, αλλά σύντομα περιορίστηκε η χρήση του λόγω της πολυπλοκότητας του σχεδιασμού.

4.7 Σχεδιασμός κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων

Ο σχεδιασμός των κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και εξαρτάται από τις ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών, οι οποίες επηρεάζουν τη θερμική συμπεριφορά του εδάφους. Ο κατάλληλος προσδιορισμός των υλικών, της υγρασίας και της παρουσίας του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα αποτελούν μελετητικά ερωτήματα που θα πρέπει να προσδιοριστούν. Κατά συνέπεια, η λεπτομερής παρουσίαση κάθε μιας περίπτωσης είναι συνήθως ανέφικτη και στη γενική περίπτωση εφαρμόζονται εμπειρικοί κανόνες. Ωστόσο όμως οι εμπειρικοί κανόνες θα μπορούσαν να προσδιορίσουν ορθά μία μικρή γεωθερμική εγκατάσταση. Αντίθετα, για τον προσδιορισμό μιας μεγάλης εγκατάστασης απαιτείται γνώση, πιθανά λογισμικά προγράμματα, αναλυτικοί μέθοδοι και εμπειρία.

Για τον υπολογισμό του μήκους του κατακόρυφου γεωσυλλέκτη λαμβάνονται υπόψη το μήκος του γεωσυλλέκτη, η θερμική αντίσταση του εδάφους, της οπής, του υλικού της τσιμέντωσης, καθώς και του υλικού του σωλήνα. Επίσης δεν αποκλείονται παράγοντες οι οποίοι αφορούν τις θερμοκρασίες του εδάφους, τη θερμοκρασιακή διαφορά του διαλύματος ανακυκλοφορίας κατά την είσοδο και έξοδό του από την αντλία θερμότητας, καθώς και το θερμικό και ψυκτικό φορτίο σχεδιασμού. Στο μοντέλο υπολογισμού λαμβάνονται υπόψη και συντελεστές διόρθωσης που αναφέρονται σε κάθε μία συγκεκριμένη περίπτωση. Για τον υπολογισμό του συνολικού μήκους της οπής, πρέπει να ληφθεί υπόψη η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους και το ποσοστό υγρασίας που το διέπει με στόχο την ορθή συμπεριφορά του συστήματος.

Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται για τον υπολογισμό της θερμικής αγωγιμότητας των υλικών τσιμέντωσης, όπως για παράδειγμα ο προσδιορισμός της θερμικής αγωγιμότητας ή της διαπερατότητας του νερού. Η επιλογή της θερμοκρασίας εισόδου του νερού στη γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι ιδιαίτερης σημασίας. Αν η θερμοκρασία ανακυκλοφορίας του νερού εντός του γεωσυλλέκτη είναι κοντά στη θερμοκρασία του εδάφους, το σύστημα θα οδηγηθεί σε καλύτερη απόδοση, αλλά το απαιτούμενο μήκος γεωσυλλέκτη θα είναι ιδιαίτερα μεγάλο με αποτέλεσμα την αύξηση του αρχικού κόστους. Επιλέγοντας μια τιμή μακριά από αυτή την θερμοκρασία το σύστημα θα οδηγηθεί σε μικρότερο μήκος γεωσυλλέκτη

και χαμηλότερο κόστος, αλλά οι αντλίες θερμότητας του συστήματος θα έχουν αρκετά μειωμένη ικανότητα τόσο στη θέρμανση όσο και στη ψύξη. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα διαθέσιμο εύρος λειτουργίας ενός γεωθερμικού συστήματος το οποίο οδηγεί σε διαφορετικούς βαθμούς απόδοσης του συνολικού συστήματος.

Στις περισσότερες περιοχές της ελληνικής επικράτειας οι απαιτήσεις μιας εγκατάστασης είναι μεγαλύτερες συνήθως για ψύξη από αυτές για θέρμανση. Τα οφέλη που θα προκύψουν από αυτή τη μικρή υπερδιαστασιολόγηση μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την περίοδο της θέρμανσης, διότι το σύστημα θα λειτουργεί με υψηλότερο συντελεστή απόδοσης. Όλα τα παραπάνω επιτυγχάνονται όταν διατηρείται μια επαρκής απόσταση διαχωρισμού των οπών για την αποφυγή του ενεργειακού κορεσμού ή του θερμικού βραχυκυκλώματος. Όσο πιο κοντά βρίσκονται οι οπές, τόσο μεγαλύτερο μήκος γεωσυλλέκτη απαιτείται, δηλαδή μεγαλύτερο απαιτούμενο βάθος οπών.

Όμως, το βάθος των οπών έχει περιορισμούς λόγω των πιέσεων που αναπτύσσονται και των διαθέσιμων υλικών. Επιπλέον, οι γειτονικές γεωτρήσεις είναι επικίνδυνες διότι μπορεί να συγκλίνουν κατά το βάθος της οπής, γιατί κατά τη διάρκεια ανόρυξης της μιας οπής μπορεί να δημιουργηθεί μία απόκλιση στη γωνία ανόρυξης η οποία προέρχεται από εμπόδια που συναντά μπροστά του το κοπίδι του γεωτρύπανου. Η υπερδιαστασιολόγηση των γεωθερμικών συστημάτων είναι μια κοινή πρακτική που χρησιμοποιείται από τους μελετητές μηχανικούς, θα πρέπει όμως η υπερδιαστασιολόγηση αυτή να γίνεται σε λογικά πλαίσια γιατί αυξάνει το κόστος κατασκευής, κυρίως λόγω αύξησης του κόστους των βρόχων.

4.8 Θερμική συμφόρηση σε κατακόρυφα συστήματα

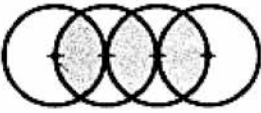
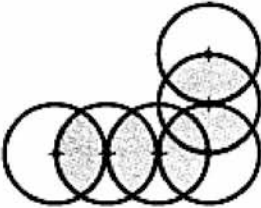
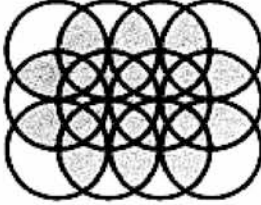
Κατά τη διαδικασία του καθορισμού των αποστάσεων των οπών σε κατακόρυφο γεωσυλλέκτη λαμβάνονται υπόψη οι βραχυπρόθεσμες και οι μακροπρόθεσμες συνέπειες. Οι βραχυπρόθεσμες συνέπειες ή τα ετήσια θερμικά και ψυκτικά αποτελέσματα διαρκούν μόνο τέσσερις με έξι μήνες. Σε αυτή την περίπτωση η σχεδιαστική μέθοδος περιλαμβάνει μόνο περιόδους δύο με τεσσάρων μηνών, εφόσον η θερμική αντίσταση του εδάφους θα διαρκέσει τόσο, από την αρχή μέχρι το τέλος

της εποχής. Αν το ποσό της ενέργειας που λαμβάνεται από το έδαφος, κατά την περίοδο της θέρμανσης, είναι ίσο με αυτό που προσδίδεται σε αυτό κατά τη περίοδο της ψύξης, τότε δεν υπάρχουν μακροπρόθεσμες συνέπειες. Αν δηλαδή, η διαφορά θερμικών και ψυκτικών φορτίων είναι μικρή δεν απαιτείται η εξέταση των μακροπρόθεσμων αποτελεσμάτων. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει να εξεταστούν τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα. Το μοντέλο υπολογισμού που χρησιμοποιείται στα κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα είναι παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται στα οριζόντια.

Η διαδικασία υπολογισμού της θερμικής αντίστασης του εδάφους είναι ίδια με τα οριζόντια συστήματα, θεωρώντας ότι η ακτινική απόσταση ισοδυναμεί με την απόσταση μεταξύ των οπών. Δημιουργείται μία εικονική οπή για την οποία υπολογίζεται η θερμική αντίστασή της και προστίθεται και αυτή στο συνολικό σύστημα. Ο μέσος όρος που προκύπτει αποτελεί την αντίσταση του εδάφους. Η μέση τιμή της αντίστασης του εδάφους χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς του συνολικού μήκους του γεωσυλλέκτη.

Η ίδια διαδικασία μπορεί να ακολουθηθεί για πολλαπλές οπές στην περιοχή του έργου. Παρά το γεγονός ότι η διαδικασία είναι προσεγγιστική, θεωρείται αξιόπιστη για περιόδους κατά τις οποίες το καθαρό θερμικό φορτίο από τον γεωσυλλέκτη είναι σε ένα σταθερό επίπεδο με την επιφάνεια του εδάφους. Αυτή η περίοδος μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά, λαμβάνοντας υπόψη το βάθος της οπής και τη θερμική διάχυση του εδάφους. Στα συστήματα με μεγάλη ετήσια απόρριψη ή πρόσδοση θερμότητας θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τεχνικές υπολογισμού των μακροπρόθεσμων συνεπειών. Γενικά, είναι αρκετά δύσκολο να δοθεί ένας εμπειρικός κανόνας για την απόσταση των οπών στα κατακόρυφα γεωθερμικά συστήματα, θεωρείται ότι δύο οπές κατακόρυφου γεωθερμικού συστήματος θα πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 5 m ώστε να αποφεύγεται η θερμική συμφόρηση του εδάφους, ωστόσο αυτός ο κανόνας προκύπτει από τις βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις. Οι μακροπρόθεσμες θερμικές συνέπειες στην τοποθέτηση πολλαπλών οπών, που δημιουργούν ένα πλέγμα μπορούν να αναλυθούν με χρήση των ανάλογων υπολογιστικών μεθόδων.

Πίνακας 4.2: Απεικόνιση θερμικής συμφοράρησης για τυπικές διατάξεις κατακόρυφου γεωσυλλέκτη. [17]

| Τυπικές διατάξεις κατακόρυφου γεωσυλλέκτη | Αποθήκευση θερμότητας | Διάχυση θερμότητας |
|---|-----------------------|--------------------|
|  | Κακή | Καλή |
|  | Μέτρια | Μέτρια |
|  | Καλή | Κακή |

4.9 Χωματοουργικές εργασίες

Ένα κλειστό γεωθερμικό σύστημα υπερέχει του ανοικτού γεωθερμικού συστήματος διότι δεν εξαρτάται από την παρουσία ή μη υπόγειας υδροφορίας. Οποιοδήποτε κλειστό γεωθερμικό σύστημα υπερέχει του ανοικτού σε περιπτώσεις που η μορφολογία του εδάφους επιτρέπει την εκμετάλλευση της υπόγειας υδροφορίας με υψηλό κόστος. Οποιαδήποτε εφαρμογή πρέπει να συνδυάζεται με μία προκαταρκτική ανάλυση κόστους για την απόσβεση της επένδυσης και την ουσιαστική αποταμίευση των χρημάτων.

Στην προκαταρκτική εκτίμηση σημαντικό ρόλο παίζει ο προσδιορισμός του γεωσυλλέκτη που χρειάζεται και η διαθεσιμότητα του περιβάλλοντα χώρου. Το

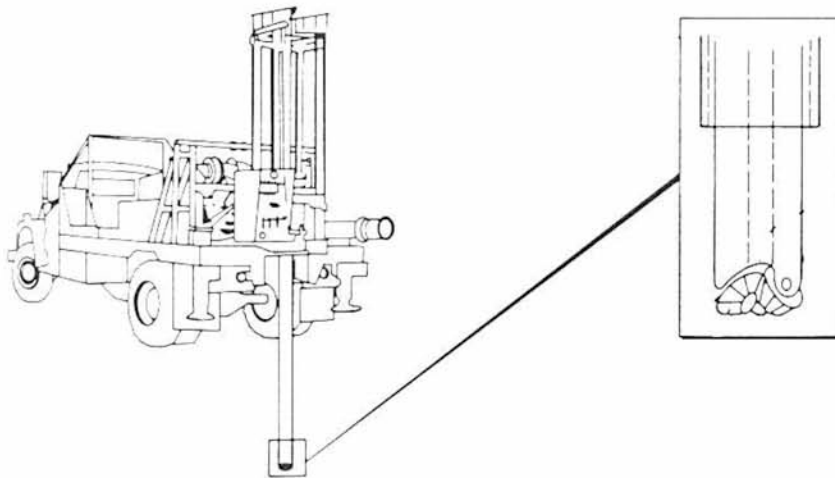
μεγαλύτερο λάθος κατά την εκπόνηση ενός κλειστού γεωθερμικού συστήματος γίνεται στην εκτίμηση διαθεσιμότητας του περιβάλλοντα χώρου, διότι δεν είναι πάντα διαθέσιμη ολόκληρη η επιφάνειά του λόγω επιμέρους εξοπλισμού [π.χ. δίκτυο αποχέτευσης, βόθροι κ.λπ.]. Στο στάδιο εκπόνησης της μελέτης εγκατάστασης ενός γεωθερμικού συστήματος πρέπει να είναι γνωστές οι τοποθεσίες που βρίσκονται θαμμένα καλώδια και άλλες υπηρεσίες [ΔΕΗ, ΟΤΕ, ΕΥ- ΔΑΠ, φυσικό αέριο κ.λπ.], το μέρος που θα τοποθετηθεί ο γεωσυλλέκτης, λαμβάνοντας υπόψη προαιρετικές μελλοντικές εκσκαφές. Επιμέρους αποφάσεις που πρέπει να ικανοποιηθούν πριν από οποιαδήποτε εφαρμογή είναι η αρχιτεκτονική του κήπου, το είδος των φυτών, ο τρόπος ποτίσματος των φυτών αυτών αλλά και η πρόσβαση για την εκπόνηση της εγκατάστασης του γεωθερμικού συστήματος [είσοδος - έξοδος], θα πρέπει να οριστούν οι αποδεκτές περιοχές στις οποίες μπορεί να εισέλθει βαρύς εξοπλισμός και μηχανήματα που μπορούν να κάνουν ελιγμούς όπως, λόγου χάρη, ο εξοπλισμός ενός γεωτρύπανου. Ένας παράγοντας που θα πρέπει να εξεταστεί είναι η ασφάλεια της εργασίας και της εκσκαφής. Το κόστος διασφάλισης της ποιότητας των εργασιών αυτών ελαχιστοποιείται με σωστό προκαταρκτικό σχεδιασμό.

Οι ενέργειες για την επίτευξη των ασφαλών διαδικασιών επιβραδύνουν τις διαδικασίες και οδηγούν σε αύξηση του κόστους. Η επιτυχής εγκατάσταση ενός γεωσυλλέκτη είναι αποτέλεσμα σωστού σχεδιασμού, χρήσης των κατάλληλων υλικών και εξοπλισμού, και ιδιαίτερης προσοχής κατά την αρχική μελέτη. Ο σωστός σχεδιασμός οδηγεί στην εγκυρότερη πληροφόρηση και άριστη διαστασιολόγηση του συνολικού συστήματος. Κατά τη διάρκεια της μελέτης ενός κλειστού γεωθερμικού συστήματος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το βάθος που χρειάζεται για το σκάψιμο του χαντακιού, το οποίο επηρεάζεται από το κλίμα, τον τύπο του εδάφους καθώς και το μέγεθος του μηχανήματος που είναι διαθέσιμο για την εκσκαφή. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη διαστασιολόγηση του γεωσυλλέκτη, ουσιαστικό ρόλο παίζει η θερμοχωρητικότητα του εδάφους, οι θερμοκρασίες του κλίματος της ευρύτερης περιοχής και τέλος, η ποσότητα των χωματουργικών μεταφορών που πρέπει να διεκπεραιωθούν. Το μέγεθος της εκσκαφής επηρεάζεται από την ευρύτερη περιοχή του έργου, το απαιτούμενο ψυκτικό και θερμικό φορτίο, τον αριθμό των σωληνώσεων που θα τοποθετηθούν μέσα στην εκσκαφή, τον τύπο και την περιεκτικότητα υγρασίας του εδάφους. Επομένως, οι παραπάνω παράγοντες σε συνδυασμό με τον διαθέσιμο περιβάλλοντα χώρο προσδιορίζουν τις διαστάσεις και το

βάθος της εκσκαφής που πρέπει να δημιουργηθεί. Τον κύριο λόγο για το απαραίτητο μήκος του γεωσυλλέκτη τον έχει το ύψος των θερμικών και ψυκτικών φορτίων που απαιτούνται για τον κλιματισμό της εγκατάστασης. Στην περίπτωση των κατακόρυφων κλειστών γεωθερμικών συστημάτων το βάθος και ο αριθμός των γεωτρήσεων που θα χρησιμοποιηθούν επηρεάζονται από τη θέση του έργου και την ευρύτερη μορφολογία της περιοχής καθώς επίσης από τη διάταξη του κατακόρυφου γεωσυλλέκτη. Στα κλειστά γεωθερμικά συστήματα οι τάφροι που έχουν δημιουργηθεί θα πρέπει να είναι ελεύθεροι από πέτρες ή από αιχμηρές γωνίες πετρωμάτων που εμποδίζουν στην τοποθέτηση των σωλήνων. Τα άκρα του σωλήνα πρέπει να είναι πάντα μακρύτερα από τα αναγκαία. Η επανατοποθέτηση του χώματος στο αυλάκι θα πρέπει να γίνεται σταδιακά χρησιμοποιώντας ένα κόσκινο, ώστε να μην εισέρχονται μεγάλες πέτρες στο επάνω μέρος των σωλήνων.

4.9.1 Γεωτρύπανα

Η εγκατάσταση ενός κατακόρυφου βρόχου, δηλαδή ανοικτού ή κλειστού κατακόρυφου γεωθερμικού συστήματος, απαιτεί την ανόρυξη γεωτρήσεων, η οποία πραγματοποιείται με περιστροφικό γεωτρύπανο και εισαγωγή αέρα ή λάσπης, ή με κανονικό περιστροφικό τρυπάνι. Η φιλοσοφία ανόρυξης υδρογεωτρήσεων από την ανόρυξη οπών, είναι διαφορετική. Στην πρώτη περίπτωση η ανόρυξη της γεώτρησης στοχεύει στην εύρεση του νερού, ενώ στη δεύτερη στοχεύει στην τοποθέτηση πλαστικών σωλήνων για την ανταλλαγή της θερμότητας με το έδαφος εντός μίας κατακόρυφης οπής. Η εγκατάσταση ενός κατακόρυφου γεωσυλλέκτη είναι πολύ πιο απλή διαδικασία από την πραγματοποίηση υδρογεώτρησης. Ο σκοπός είναι η εγκατάσταση ενός κατακόρυφου γεωσυλλέκτη συγκεκριμένου μήκους σε μία κατακόρυφη διάταξη. Η ανόρυξη δεν είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί σε συγκεκριμένο βάθος, διότι μπορούν να πραγματοποιηθούν περισσότερες οπές μικρότερου βάθους, με στόχο την ικανοποίηση των απαιτούμενων ενεργειακών φορτίων. Μια οπή 80 m για παράδειγμα, που απαιτείται για την ικανοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων μιας εγκατάστασης, μπορεί να αντικατασταθεί από 2 οπές βάθους 45 m η καθεμία, που ίσως αποδειχτούν οικονομικότερη κατασκευαστική λύση. Ωστόσο όμως το παραπάνω προϋποθέτει ομοιογένεια πετρωμάτων σε όλο το μήκος της οπής, ώστε να παράγεται το ίδιο ενεργειακό φορτίο ανά μέτρο οπής. Το κόστος μιας γεώτρησης εξαρτάται από τις συνθήκες του εδάφους και τα πετρώματα.

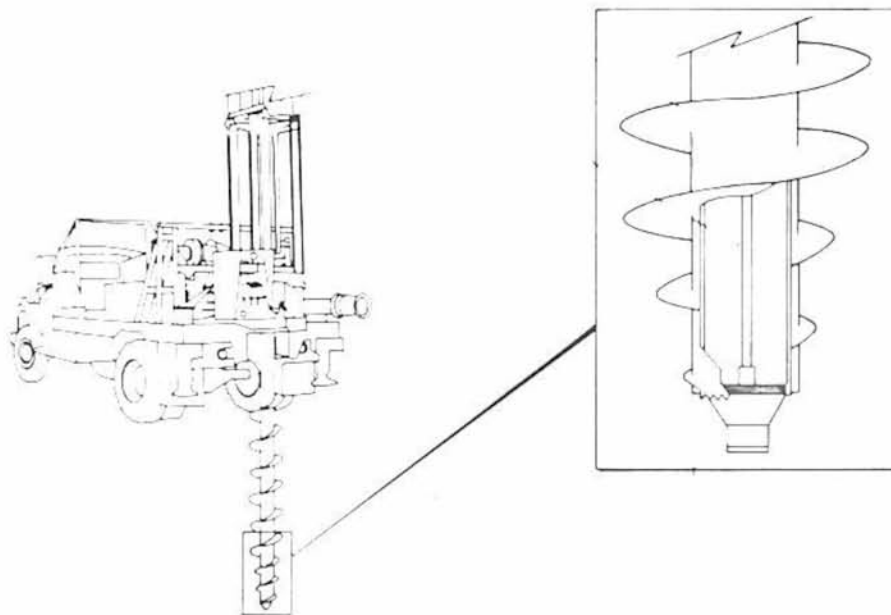


Εικόνα 4.6 Κλασικός τύπος μοντέρνου γεωτρύπανου - Κοπίδι.[3]

Οι βαθύτερες οπές θεωρούνται πιο ικανοποιητικές διότι παρουσιάζουν υψηλότερη και αμετάβλητη θερμοκρασία, η οποία αυξάνει, όπως και η υγρασία, ανάλογα με το βάθος της οπής. Όσο λιγότερες γεωτρήσεις δημιουργούνται τόσο λιγότερες συνδέσεις απαιτούνται στην επιφάνεια το οποίο σημαίνει ελαχιστοποίηση του χρόνου και της απαιτούμενης επιφάνειας. Στην περίπτωση ύπαρξης βραχωδών πετρωμάτων, οικονομικότερη λύση αποτελεί πιθανώς η μετακίνηση και η ανόρυξη νέας γεώτρησης παρά η συνέχιση της ίδιας. Ουσιαστική παράμετρος είναι το βάθος της οπής σε συνάρτηση με τις προδιαγραφές του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί, ώστε να αντέχει τις κατάλληλες πιέσεις που δημιουργούνται.

Κατά την ανόρυξη με περιστροφικό γεωτρύπανό (εικόνα 4.7) και εισαγωγή αέρα ή λάσπης, το γεωτρύπανο περιστρέφει τον σωλήνα γεώτρησης και με τη σειρά του στέλνει αέρα, νερό ή λάσπη υψηλής πίεσης στην εσωτερική πλευρά του σωλήνα με σκοπό να τον ψυχράνει, να τον λιπώνει και να ωθήσει στην επιφάνεια τα υπολείμματα κοπής. Κατά τη διάρκεια της ανόρυξης, το χώμα που αντλείται από το εσωτερικό της γης, συλλέγεται σε ένα μεγάλο δοχείο με σκοπό να επανεισαχθεί στην τρύπα αργότερα ή να απομακρυνθεί από την περιοχή. Μπεντονίτης ή προσθετικά υγρά προστίθενται στη λάσπη ανόρυξης με σκοπό τον καθορισμό του ιξώδους και την πρόληψη κάποιων προβλημάτων εκσκαφής. Σε περίπτωση που τα υπολείμματα της γεώτρησης έχουν υψηλή πυκνότητα, τότε το ιξώδες του υγρού άντλησης πρέπει να

αυξηθεί, ώστε να φέρει τα υπολείμματα στην επιφάνεια. Επιπλέον, η λάσπη πρέπει να έχει μεγάλη πυκνότητα με σκοπό να προσφέρει στην τρύπα της γεώτρησης ένα είδος υποστήριξης, εάν το έδαφος είναι ασταθές, ή να μπορέσει να αναμιχθεί, ώστε να παραχθεί ένα μίγμα που θα εφαρμοστεί στα τοιχώματα της τρύπας με σκοπό την προστασία από διαφυγή, στις περιπτώσεις που υπάρχει διαρροή λάσπης από αυτά. Στην περίπτωση των πολύ ασταθών πετρωμάτων, χρησιμοποιούνται σωλήνες εκσκαφής με μεγάλες εσωτερικές διαμέτρους, οι οποίοι επιτρέπουν την είσοδο βρόχων μορφής μέσα στη λωρίδα εκσκαφής πριν να αφαιρεθεί. Η διάμετρος των σωλήνων που τοποθετούνται για την προστασία της γεώτρησης πρέπει να έχουν τουλάχιστον τη διπλάσια διάμετρο από τους σωλήνες που θα τοποθετηθούν στο γεωσυλλέκτη.



Εικόνα 4.7 Περιστροφικό γεωτρήσιμο.[3]

Στην περίπτωση των γεωτρήσεων με τον κλασικό τύπο τρυπανιού, ο μηχανισμός της γεώτρησης περιστρέφει το τρυπάνι, το οποίο είναι κούφιο εσωτερικά. Η διαδικασία ανόρυξης της γεώτρησης είναι απολύτως στεγνή και κατά συνέπεια καθαρή στην επιφάνεια. Τα περισσότερα από τα υπολείμματα της γεώτρησης επαναφέρονται στην επιφάνεια, ενώ μερικά από αυτά συμπίεζονται μέσα στα τοιχώματα. Μετά την ολοκλήρωση ανόρυξης της οπής αφαιρείται το περιστροφικό τρυπάνι και τοποθετείται ο γεωσυλλέκτης εντός της οπής. Τα περισσότερα τρυπάνια

παρόμοιου είδους βρίσκουν εφαρμογές σε λίγες περιπτώσεις εδάφους και γενικά παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα σε κολλώδη ή πέτρινα πετρώματα. Στα περισσότερα εδάφη πιο αποδοτική είναι η μέθοδος της περιστρεφόμενης γεώτρησης αέρα - λάσπης, παρά η γεώτρηση με τον κλασσικό τύπο τρυπανιού. Στην περίπτωση του κατακόρυφου κλειστού συστήματος απαιτούνται επιπρόσθετες διαδικασίες. Οι συνθήκες του εδάφους θα καθορίσουν τη μέθοδο ανόρυξης και το είδος του τρυπανιού που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς και αν απαιτείται κάποιο προσθετικό στοιχείο στη λάσπη. Κάθε βρόχος θα πρέπει να συναρμολογηθεί και να ελεγχθεί για τυχόν διαρροές πριν την εισαγωγή του στη γεώτρηση και πριν την επανατοποθέτηση της λάσπης στην οπή.

Η ανόρυξη της κάθε γεώτρησης πρέπει να είναι βαθύτερη κατά 1,5-3 m σε σχέση με το μήκος του βρόχου, ώστε να είναι εφικτή, αν χρειαστεί, η προέκτασή του κατά τη διαστολή - συστολή του συστήματος. Στην περίπτωση που η γεώτρηση πρόκειται να τσιμεντωθεί σε κάποιο μέρος, τότε είναι απαραίτητο να γίνει υδραυλική δοκιμή με νερό, ώστε να συμπίεστεί σε τέτοιο επίπεδο όπου να μη δημιουργηθεί καμπυλότητα ή σπάσιμο στον γεωσυλλέκτη από την επανατοποθέτηση του τσιμέντου ή του χώματος. Είναι προτιμότερο να πραγματοποιείται υδραυλική δοκιμή και να αποφεύγεται η δοκιμή με αέρα, διότι λόγω της υψηλής πίεσης του αέρα ενδέχεται να καταστραφεί ο σωλήνας.

4.9.2 Τσιμεντώση και πλήρωση κατακόρυφων οπών

Τσιμεντώση είναι η διαδικασία τοποθέτησης υλικού μικρής διαπερατότητας και καλών ιδιοτήτων μεταφοράς θερμότητας εντός της δακτυλιοειδούς περιοχής η οποία βρίσκεται μεταξύ της οπής της γεώτρησης και του κατακόρυφου γεωσυλλέκτη. Ο πιο σημαντικός λόγος για την τσιμεντώση γύρω από τον κατακόρυφο γεωσυλλέκτη είναι ο αποκλεισμός του γεωθερμικού συστήματος από το γειτονικό έδαφος και η υδροφορία. Επειδή όμως η τσιμεντώση αυξάνει τη δυσκολία διάχυσης της θερμότητας, φροντίζεται η παροχή κατάλληλης μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του γεωσυλλέκτη και του εδάφους για την όσο το δυνατόν πιο αποδοτική λειτουργία του συνολικού γεωθερμικού συστήματος.

Αν η τσιμεντώση δεν τοποθετηθεί πλήρως κατά μήκος του κατακόρυφου γεωσυλλέκτη, τότε η μεταφορά θερμότητας θα περιοριστεί και δεν θα είναι δυνατή η

πλήρης απόδοση του συστήματος. Η τσιμέντωση μιας γεώτρησης είναι απαραίτητη διότι προστατεύονται οι σωληνώσεις από τα διάφορα ρευστά με διαβρωτικές ιδιότητες που υπάρχουν στα εδάφη, παρέχεται ασφάλεια στη γεώτρηση από τον έντονο αρτεσιανισμό, και απομονώνεται το σύστημα των κατακόρυφων οπών από την υπόγεια υδροφορία.

Η απουσία της τσιμέντωσης οδηγεί σε διαρροή ανάμεσα στα τοιχώματα και τη σωλήνωση της γεώτρησης εξαιτίας της έντονης πίεσης. Επιπλέον, με την τσιμέντωση εξασφαλίζεται η απομόνωση του γεωθερμικού ορίζοντα από τους κρύους υδροφόρους ορίζοντες. Η επαφή και η ενδεχόμενη ανάμειξή τους θα είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του υγρού που ανακυκλοφορεί αλλά και την επικείμενη μόλυνση των κρύων ρευστών τα οποία είναι χρήσιμα για την άρδευση και την ύδρευση. Πιο συγκεκριμένα οι περιβαλλοντικοί λόγοι που επιβάλλουν την τσιμέντωση μιας γεώτρησης είναι οι ακόλουθοι:

- Η τσιμέντωση παρέχει προστασία του νερού παροχής εφ' όσον αποτρέπει τις διαρροές κατά μήκος του γεωσυλλέκτη προς και από μολυσμένες πηγές.
- Μια σωστή τσιμέντωση προστατεύει τους φέροντες νερό σχηματισμούς με την αποφυγή της ανάμιξης του νερού στους υδροφόρους ορίζοντες.
- Απομονώνει τους σχηματισμούς οι οποίοι είναι μολυσμένοι.
- Διατηρεί τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των αρτεσιανών σχηματισμών και προλαμβάνει τις διαρροές προς τα πάνω κατά μήκος του γεωσυλλέκτη.

Τα χαρακτηριστικά της τσιμέντωσης εξετάζοντάς τα από την σκοπιά της μεταφοράς της θερμότητας θα πρέπει να είναι τα εξής:

- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα ώστε να επιτρέπει καλή θερμική αγωγιμότητα μεταξύ του γεωσυλλέκτη και των τοιχωμάτων της γεώτρησης.
- Λογικά χαμηλό ιξώδες κατά τη διάρκεια τοποθέτησης της τσιμέντωσης ώστε το υλικό τσιμέντωσης, να μπορεί να τοποθετηθεί εντός του δακτυλιοειδούς χώρου μεταξύ της γεώτρησης και του κατακόρυφου γεωσυλλέκτη χωρίς να αφήσει κενούς χώρους οι οποίοι θα μειώνουν τη μεταφορά θερμότητας.

- Ελάχιστη ή μηδαμινή συρρίκνωση του υλικού τσιμέντωσης κατά την εφαρμογή, έτσι ώστε να μη δημιουργηθούν κενά ή μικροδακτύλιοι σε αυτό το στάδιο, τα οποία επίσης θα μειώσουν τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του γεωσυλλέκτη και των τοιχωμάτων της οπής.

Τα χαρακτηριστικά της τσιμέντωσης, εξετάζοντας τα από περιβαλλοντική σκοπιά, θα πρέπει να είναι τα ακόλουθα:

- Χαμηλή διαπερατότητα, ώστε να αποφευχθεί η επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων ζωνών οι οποίες μπορεί να έχουν εισχωρήσει από τον κατακόρυφο γεωσυλλέκτη.

- Λογικά χαμηλό ιξώδες κατά τη διάρκεια τοποθέτησης της τσιμέντωσης, ώστε το υλικό τσιμέντωσης να μπορεί να τοποθετηθεί εντός του δακτυλιοειδούς χώρου μεταξύ της γεώτρησης και του κατακόρυφου γεωσυλλέκτη χωρίς να αφήσει κενούς χώρους που θα επιτρέψουν τη δημιουργία καναλιών επικοινωνίας μεταξύ διαφόρων ζωνών.

4.10 Εις βάθος μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους

Καθοριστική παράμετρος για την αξιοποίηση των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους είναι η θερμοκρασία του σε διάφορα βάθη. Στην ιδανική περίπτωση, αυτή η θερμοκρασία του εδάφους σε διάφορα βάθη πρέπει να μετράται. Στην πράξη όμως, πολύ λίγοι μετεωρολογικοί σταθμοί μετρούν την θερμοκρασία της επιφανείας του εδάφους, ενώ ακόμη λιγότεροι διενεργούν εις βάθος μετρήσεις. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την χρήση μαθηματικών σχέσεων, όπως αυτή του Labs (4.1).

$$T(z,t) = T_m - A_s \cdot e^{-z \left(\frac{\pi}{365 \cdot \alpha} \right)^{1/2}} \cdot \cos \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) \left(t - t_0 - \frac{z}{2} \left(\frac{365}{\pi \cdot \alpha} \right)^{1/2} \right) \right] \quad (4.1) [20]$$

Η παραπάνω εξίσωση ισχύει για ομογενές έδαφος με σταθερό συντελεστή θερμικής διάχυσης .

α. Υποτίθεται ότι στο έδαφος δεν υπάρχουν πηγές ή καταβόθρες θερμότητας. Οι διάφορες παράμετροι της εξισώσεως δίνονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Παράμετροι εξισώσεως. Πηγή: Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010 [20]

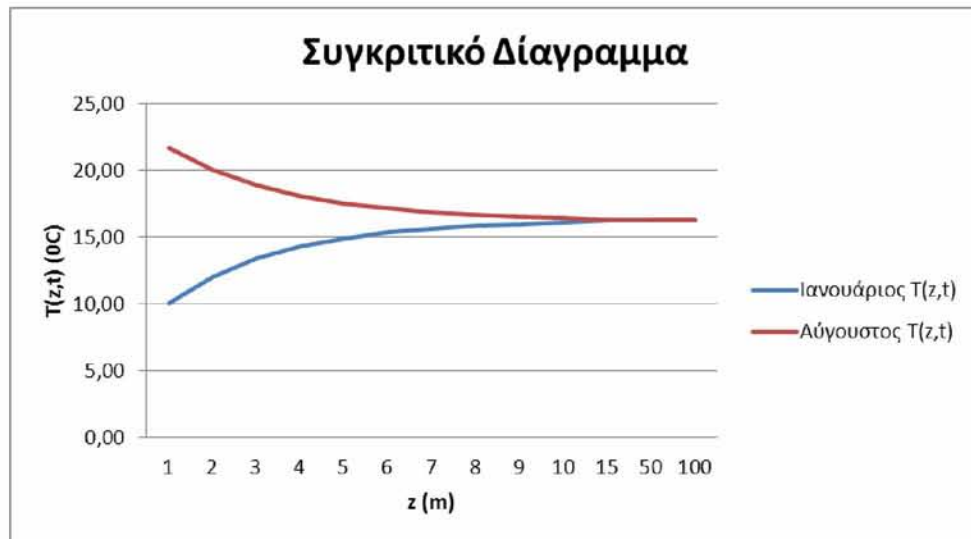
| Σύμβολο | Μονάδες | Ερμηνεία |
|----------------|-------------------------------------|--|
| T (z,t) | °C | Θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος z. |
| Z | m | Βάθος. |
| t | Ημέρα του έτους (1-365 ή 366) | Χρόνος στον οποίο υπολογίζεται η θερμοκρασία T (z,t). |
| T _m | °C | Μέση ετήσια θερμοκρασία επιφανείας εδάφους. |
| A _s | °C | Πλάτος της ετήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας της επιφανείας του εδάφους. |
| α | m ² ·ημέρα ⁻¹ | Συντελεστής θερμικής διάχυσης του εδάφους. |
| t ₀ | Ημέρα (1-365 ή 366) | Ημέρα του έτους κατά την οποία η θερμοκρασία επιφανείας του εδάφους λαμβάνει τη χαμηλότερη τιμή της. |

Οι υπολογισμοί έγιναν βάσει τιμών για τα **Tm, As, α** από τους πίνακες 3.1,3.3, και 5.2 της τεχνικής οδηγίας του τεχνικού επιμελητηρίου Ελλάδας *T.O.T.E.E. 20701-3/2010* για την πόλη του Βόλου . Υπολογίστηκε το **T (z,t)** για 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,15,50,100 μέτρα βάθος και για όλους τους μήνες του έτους.

Στα παραρτήματα έχουμε αναλυτικά τα αποτελέσματα όλων των μηνών για τα παραπάνω βάθη. Στον παρακάτω πίνακα 4.4 μπορούμε να παρατηρήσουμε ενδεικτικά τις διακυμάνσεις δύο μηνών Ιανουάριο και Αύγουστο όπου θεωρητικά έχουμε και τα πιο ακραία καιρικά φαινόμενα.

Πίνακας 4.4: Σύγκριση θερμοκρασιών εδάφους για τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο.

| z (m) | Ιανουάριος T(z,t) (°C) | Αύγουστος T(z,t) (°C) |
|--------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | 10,07 | 21,73 |
| 2 | 12,03 | 20,06 |
| 3 | 13,38 | 18,90 |
| 4 | 14,30 | 18,09 |
| 5 | 14,92 | 17,54 |
| 6 | 15,36 | 17,15 |
| 7 | 15,65 | 16,88 |
| 8 | 15,85 | 16,70 |
| 9 | 15,99 | 16,57 |
| 10 | 16,08 | 16,48 |
| 15 | 16,25 | 16,31 |
| 50 | 16,28 | 16,28 |
| 100 | 16,28 | 16,28 |



Σχήμα 4.1: Συγκριτικό διάγραμμα βάθους z, θερμοκρασίας T εδάφους για τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο.

Έτσι σύμφωνα με τους υπολογισμούς που προηγήθηκαν αλλά και από τα παραπάνω σχήματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι για τους μήνες Ιανουάριο και Αύγουστο ενώ ξεκινάμε επιφανειακά να έχουμε αντίθετες θερμοκρασίες εδάφους, χαμηλή και υψηλή αντίστοιχα, όσο προχωράμε σε μεγαλύτερα βάθη οι θερμοκρασίες συγκλίνουν έως ότου από τα 10 μέτρα και κάτω σταθεροποιηθούν σε μια μόνιμη θερμοκρασία περίπου $16,28^{\circ} C$.

4.11 Επιλογή γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Πρωταρχικό ρόλο στην επιλογή της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας έχει ο προσδιορισμός των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του κτιρίου. Στόχος του σωστού σχεδιασμού είναι το τελικό σύστημα να έχει απόδοση ίδια με την υπολογιζόμενη ή πλησίον της υπολογιζόμενης. Οι εκτιμήσεις των ψυκτικών και θερμικών φορτίων είναι το πιο σημαντικό βήμα επειδή επηρεάζουν την επιλογή της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας αλλά και όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του συνολικού συστήματος.

Οι βασικοί υπολογισμοί των φορτίων αναφέρονται ως θερμικές απώλειες ή ψυκτικές απαιτήσεις. Ο υπολογισμός του μήκους του γεωσυλλέκτη αναφέρεται ως φορτία εδάφους ενώ οι ενεργειακές απαιτήσεις ή ενεργειακά φορτία αναφέρονται σε διακυμάνσεις απαιτήσεων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι θερμικές απώλειες ή τα ψυκτικά φορτία χρησιμοποιούνται για τη διαστασιολόγηση και την επιλογή του εξοπλισμού για ένα σύστημα [όπως μια αντλία θερμότητας] και για το σχεδιάσμά του συστήματος διανομής αέρα ή νερού εντός της εγκατάστασης. Τα φορτία των απωλειών είναι βασισμένα σε καθορισμένες ή αποδεκτές συνθήκες για μια δεδομένη γεωγραφική θέση. Τα ενεργειακά φορτία χρησιμοποιούνται στην πρόβλεψη της ενέργειας που απαιτείται για να λειτουργήσει το σύστημα για κάποια προκαθορισμένη χρονική περίοδο, όπως ένας μήνας, ένας χρόνος, ή μια εποχή. Η μέθοδος υπολογισμού μπορεί να είναι η ίδια όπως και για τα φορτία σχεδιασμού, όμως χρησιμοποιούνται πραγματικά δεδομένα και καιρικές σταθερές αντί για συνθήκες σχεδιασμού. Τα φορτία εδάφους σχετίζονται με το τμήμα της εγκατάστασης που βρίσκεται στο υπέδαφος. Κατά κανόνα, αυτοί οι υπολογισμοί είναι παρόμοιοι με τα ενεργειακά φορτία, εκτός από το ότι το φορτίο εδάφους είναι το ποσό θερμότητας που απορροφάται ή προσδίδεται στο έδαφος. Επίσης, ξεχωριστή κατηγορία αποτελούν τα φορτία αιχμής, που δηλώνουν τις μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις μιας εγκατάστασης στις πιο δυσμενείς περιόδους [πολύ ψυχρός χειμώνας, πολύ θερμό καλοκαίρι]. Η σωστή διαστασιολόγηση του εξοπλισμού είναι ένα πολύ βασικό βήμα στη διαδικασία του σχεδιασμού. Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί το κομμάτι του υπολογισμού των θερμικών και ψυκτικών φορτίων, το μέγεθος του εξοπλισμού βασίζεται στα φορτία αυτά. Μετά την επιλογή της μονάδας, ένας αριθμός παραμέτρων δύναται να καθοριστεί διότι εξαρτάται από τη μονάδα και μόνο. Για πα-

ράδειγμα, μια μονάδα είναι σχεδιασμένη για μία ονομαστική τιμή παροχής νερού ή αέρα, και μόνο μικρές μετατροπές είναι επιτρεπτές. Κατά συνέπεια τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος, όπως οι κυκλοφορητές, τα κανάλια αέρα κ.λπ., θα πρέπει να ταιριάζουν με την ικανότητα της μονάδας.

Ο συνηθέστερος προβληματισμός για το μελετητή έγκειται στο αν θα πρέπει η αντλία θερμότητας και το σύστημα που την ακολουθεί να διαστασιολογηθεί βάσει των θερμικών ή ψυκτικών φορτίων της εγκατάστασης. Αυτό συμβαίνει διότι η μορφή του θερμοδυναμικού κύκλου μίας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας συνήθως δε μπορεί να προσαρμόσει και τα δύο φορτία. Είτε η επιλογή της μονάδας θα είναι αρκετά υπερδιαστασιολογημένη στα φορτία θέρμανσης, διότι η επιλογή της αντλίας θερμότητας έγινε βάσει των ψυκτικών φορτίων, είτε θα πρέπει να διαστασιολογηθεί βάσει των θερμικών φορτίων όπου σε αυτή την περίπτωση κινδυνεύουν να μην ικανοποιούνται τα ψυκτικά. Η πρωταρχική σκέψη είναι η άνεση κλιματισμού. Μια μονάδα που είναι υπο- ή υπερ- διαστασιολογημένη δε θα μπορέσει να παρέχει επαρκή άνεση. Όταν μια μονάδα έχει υποδιαστασιολογηθεί, τότε ο χώρος προς κλιματισμό δε θα κλιματίζεται σωστά και η ηλεκτρική κατανάλωση θα είναι αυξημένη. Η υπερδιαστασιολόγηση όμως της μονάδας αυξάνει το αρχικό κόστος επένδυσης. Το συμπέρασμα είναι ότι θα πρέπει να γίνει διαστασιολόγηση της μονάδας με σκοπό να καλύπτονται και τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία. Στα νότια κλίματα τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία είναι μεγαλύτερα με αποτέλεσμα η διαστασιολόγηση να πραγματοποιείται με βάση αυτά. Η περίσσεια θερμικής ενέργειας που προκύπτει από τη μικρή υπερδιαστασιολόγηση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Αυτό θα διαβεβαιώσει ότι το σύστημα θα παρέχει ένα άνετο περιβάλλον κατά τη διάρκεια του χρόνου, καθώς και κάποια επιπρόσθετη θερμότητα η οποία θα μπορεί να καλύψει οποιαδήποτε μεγάλη απαίτηση. Στις βόρειες περιοχές, όπου τα θερμικά φορτία είναι σχετικά υψηλά το καλοκαίρι, θα πρέπει να επιτευχθεί μια μέση υπερδιαστασιολόγηση. Παρόλα αυτά θα πρέπει μια αντλία θερμότητας να μην υπερδιαστασιολογείται πάνω από 25% του υπολογιζόμενου ψυκτικού φορτίου. Για τον καλύτερο συνδυασμό του μεγέθους της αντλίας θερμότητας με τις απαιτήσεις του κτιρίου μπορούν να τοποθετηθούν inverter αντλίες θερμότητας ή πολλαπλές μικρότερες μονάδες.

4.11.1 Πρόταση τύπου αντλίας θερμότητας.

Μια πιθανή πρόταση για την επιλογή αντλίας θερμότητας για το κολυμβητήριο είναι η αντλία θερμότητας εδάφους/νερού SI 130 TUR+ Dimplex για Θέρμανση και Ψύξη με ανάκτηση θερμότητας.



Εικόνα 4.8 Αντλία θερμότητας εδάφους/νερού SI 130 TUR+ Dimplex. [18]

Είναι μια αντλία θερμότητας για εσωτερική τοποθέτηση. Έχει ειδικό μονωμένο χώρο για τους συμπιεστές και εδράζεται πάνω σε βάση για τους κραδασμούς. Πληρεί τις αυξημένες απαιτήσεις για υψηλές αποδόσεις. Έχει στάθμη ηχητικής πίεσης στα 10m απόσταση από πλευρά εξαγωγής 60dB. Βελτιστοποιημένη λειτουργία για θέρμανση και ψύξη μέσω μιας εξωτερικής τετράοδης βαλβίδας. Περιέχει επιπρόσθετο εναλλάκτη για υψηλότερη θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης στην θέρμανση και ανάκτηση θερμότητας στη ψύξη. Παρέχει υψηλή ασφάλεια λειτουργίας με επιτήρηση του ψυκτικού κύκλου από αισθητήρια, υπάρχει επίσης ενσωματωμένος μετρητής θερμικής ενέργειας (με ένδειξη της κατανάλωσης θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης στο WPM). Η A/Θ ελέγχει και δεύτερη πηγή ενέργειας (π.χ. λέβητα αερίου ή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας -ήλιος) καθώς επίσης και δύο θερμοκρασίες προσαγωγής για ενδοδαπέδια και Fancoils. Υπάρχει εσώκλειστος αισθητήρας εξωτερικής θερμοκρασίας και αισθητήρας αντεπιστροφής. Είναι επίσης ενσωματωμένος ηλεκτρονικός ομαλός εκκινητής για ρεύμα εκκίνησης. Έχει τη δυνατότητα παροχής ζεστού νερού χρήσης .Συμπεριλαμβάνεται ο ηλεκτρονικός εγκέφαλος WPM για έλεγχο του συστήματος σε οθόνη LCD

(π.χ. εξωτερική θερμοκρασία-αντιστάθμιση, κυκλοφορητές, τρίοδες βάνες αναμεικτικές, θερμοκρασίες ζεστού νερού χρήσης -προσαγωγής -επιστροφής , σύνδεση με PC-Modem). [18]

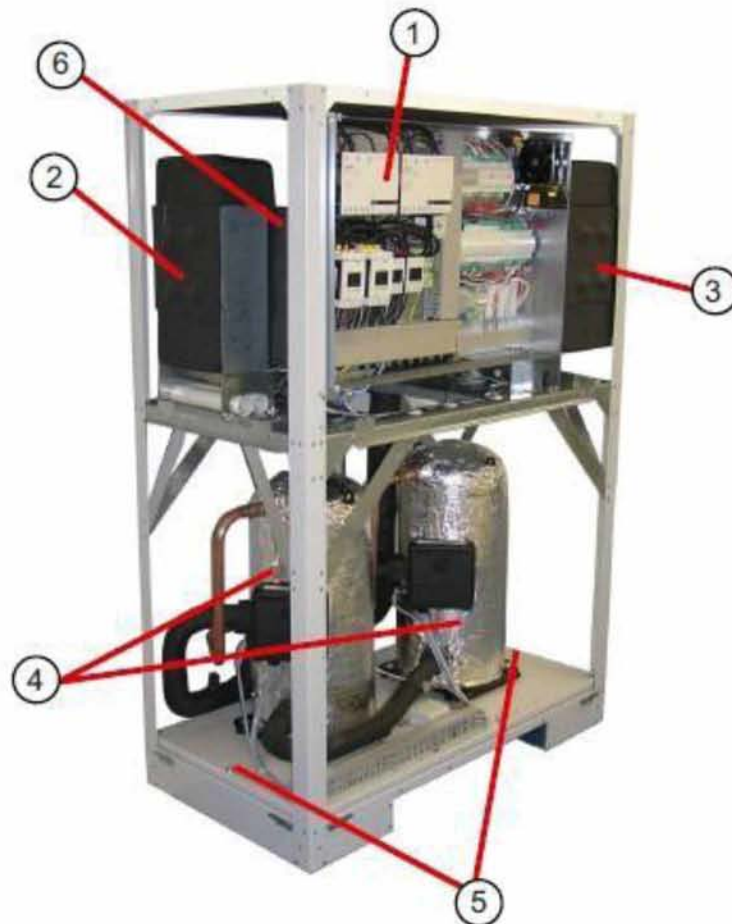
Πίνακας 4.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας θερμότητας SI 130 TUR+ Dimplex . [18]

| Dimplex -Αντλία θερμότητας εδάφους/νερού SI 130 TUR+ | |
|--|---------------------------------|
| Μοντέλο | SI 130TUR+ |
| Χρώμα πλαισίου | White (similar to RAL 9003) |
| Μακ. Θερμοκρασία προσαγωγής θέρμανσης | 58 °C |
| Θερμοκρασία ροής ψύξης max. | 20 °C |
| Κατώτερο όριο λειτουργίας πηγής θερμότητας (διεργασία θέρμανσης) / Ανώτερο όριο λειτουργίας πηγής θερμότητας (διεργασία θέρμανσης) | -5 to 25 °C |
| Κατώτερο όριο λειτουργίας πηγής θερμότητας (διεργασία ψύξης) / Ανώτερο όριο λειτουργίας πηγής θερμότητας (διεργασία ψύξης) | 10 to 30 °C |
| Βασική διαφορά θερμοκρασίας θέρμανσης EN 14511 | 5 K |
| Παραγωγή θερμότητας στον 1 συμπιεστή σε B5/W35 / COP σε B0/W35* | 57,6 kW / 4,4 |
| Παραγωγή θερμότητας στον 2 συμπιεστή σε B0/W35 / COP at B0/W35 | 108,5 kW / 4,2 |
| Παραγωγή θερμότητας στον 1 συμπιεστή / COP at B0/W55 | 51,8 kW / 2,8 |
| Παραγωγή θερμότητας στον 2 συμπιεστή σε / COP at B0/W55 | 103,1 kW / 2,8 |
| Βασική διαφορά θερμοκρασίας θέρμανσης EN 14511 | 5 K |
| Ψύξη στον 1 συμπιεστή / COP B20/W9 | 63,4 kW / 5,8 |
| Ψύξη στον 2 συμπιεστή / COP B20/W9 | 129,0 kW / 5,6 |
| Ψύξη στον 1 συμπιεστή / COP B20/W18 | 89,4 kW / 7,4 |
| Ψύξη στον 2 συμπιεστή / COP B20/W18 | 168,2 kW / 6,7 |
| Ονομαστική κατανάλωση ισχύος σύμφωνα με EN 14511 at B0/W35 | 25,8 kW |
| Ηχητικό επίπεδο ισχύος της συσκευής | 76 dB (A) |
| Ψυκτικό / Ποσό του ψυκτικού | R410A / 16,9 kg |
| Ροή ηγής θερμότητας | 24,5 m ³ /h |
| Μακ. Παροχή νερού θέρμανσης / Πτώση πίεσης | 19 m ³ /h / 13000 Pa |
| Διαστάσεις (W x H x D)** | 1350 x 1890 x 775 mm |
| Βάρος | 830 kg |
| Τάση σύνδεσης | 3/N/PE ~400 V, 50 Hz |
| Ρεύμα εκκίνησης | 108 A |
| Ασφάλεις προστασίας | C 80 A |

Βασικά στοιχεία αντλίας θερμότητας.

Η βασική συσκευή αποτελείται από μια έτοιμη προς χρήση αντλία θερμότητας για εσωτερική εγκατάσταση, πλήρης, με μεταλλικό περίβλημα, τον πίνακα ελέγχου και ενσωματωμένο ελεγκτή. Το ψυκτικό κύκλωμα είναι απόλυτα κλειστό. Περιέχει το ψυκτικό R410A εγκεκριμένο από το Πρωτόκολλο του Κιότο με τιμή GWP 1720. Είναι χωρίς CFC, δεν καταστρέφει το όζον και είναι μη-εύφλεκτο. Όλα τα εξαρτήματα που απαιτούνται για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας είναι

στο κουτί ελέγχου. Ένας εξωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας συμπεριλαμβάνεται στα εξαρτήματα στερέωσης, μια παγίδα ακαθαρσιών και ένας διακόπτης ροής, παρέχεται με την αντλία θερμότητας. [18]

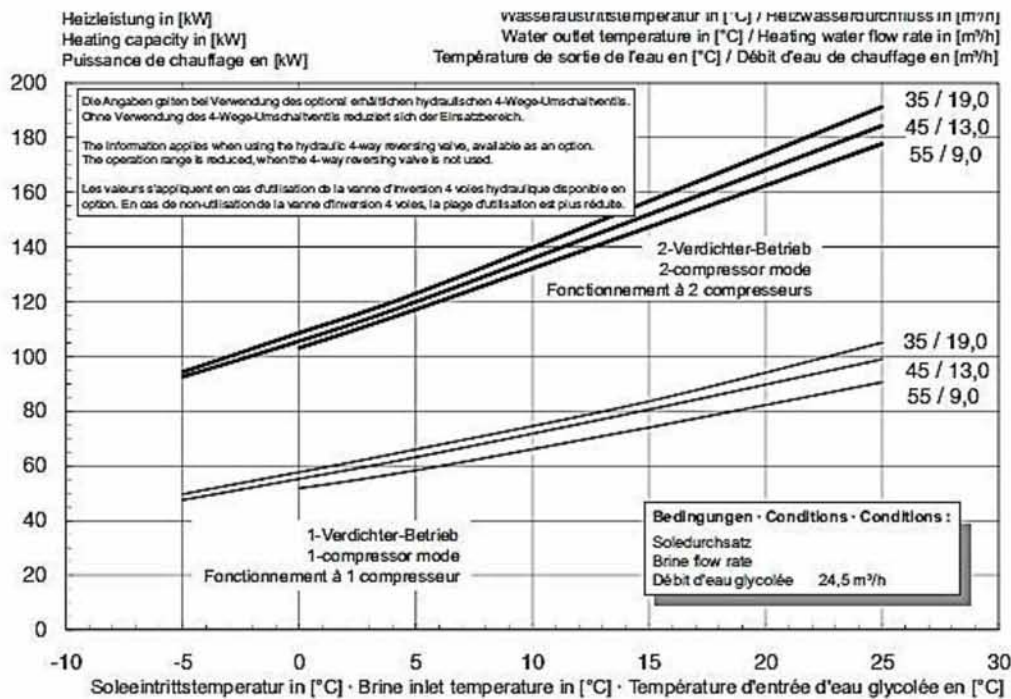


- 1) Πίνακας Ελέγχου
- 2) Εξατμιστής
- 3) Υγροποιητής
- 4) Συμπιεστής
- 5) Συσκευή μεταφοράς ασφαλείας
- 6) Υγροποιητής θερμού νερού

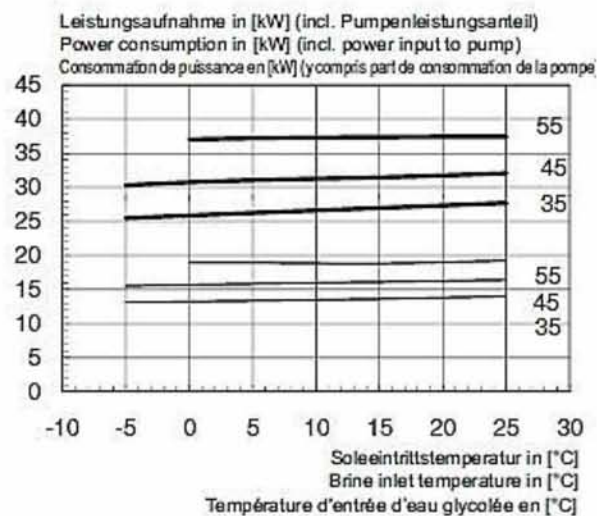
Εικόνα 4.9 Βασικά στοιχεία αντλίας θερμότητας. [18]

Χαρακτηριστικές καμπύλες αντλίας θερμότητας.

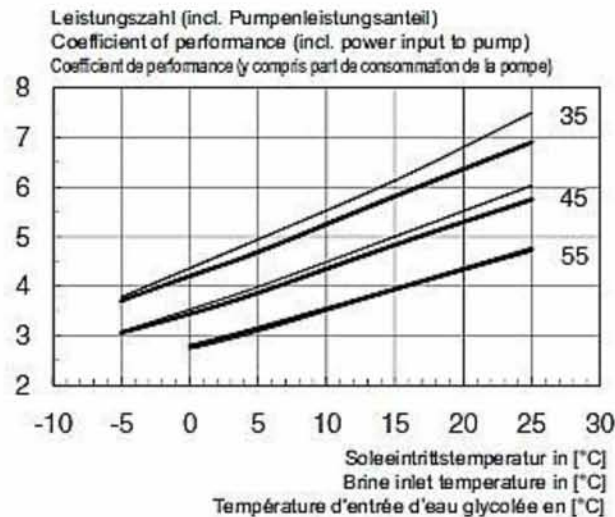
Στα παρακάτω σχήματα ο κατασκευαστής μας δίνει τις χαρακτηριστικές καμπύλες όσων αφορά την θερμική απόδοση της αντλίας με τη χρήση ενός και δύο συμπιεστών (σχήμα 4.4), την κατανάλωση ρεύματος κατά τη λειτουργία της για αυτές τις δύο περιπτώσεις σε συνδυασμό με την επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του ζεστού νερού (σχήμα 4.5), την αντιστοιχία του βαθμού απόδοσης COP (σχήμα 4.6). [18]



Σχήμα 4.2 Θερμική απόδοση της αντλίας με τη χρήση ενός και δύο συμπιεστών [18]



Σχήμα 4.3 Κατανάλωση ρεύματος κατά τη λειτουργία [18]



Σχήμα 4.4 Βαθμός απόδοσης COP [18]

Η παραπάνω αντλία θερμότητας εδάφους /νερού θα μπορούσε να τοποθετηθεί στο λεβητοστάσιο του ανοικτού κολυμβητηρίου και να καλύψει το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών θέρμανσης της εξωτερικής πισίνας. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω στοιχεία έχει τη δυνατότητα κάλυψης 108,5 Kw θέρμανσης σε λειτουργία και των δύο συμπιεστών της. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να καλύψει τις ημερήσιες απώλειες της ανοικτής πισίνας που όπως προέκυψε στο κεφάλαιο 2.5 για μία μέρα του Δεκεμβρίου οι συνολικές απώλειες ανέρχονται περίπου στα 30 kW και με τη χρήση νυχτερινού καλύμματος στα 14,5 kW. Η αντλία θα είναι συνδεδεμένη με τον γεωθερμικό εναλλάκτη, η κατεύθυνση του οποίου φαίνεται στην εικόνα 4.1, ώστε να κάνει ανάκτηση θερμότητας. Επίσης η αντλία θα λειτουργεί επικουρικά στην αρχική θέρμανση της πισίνας εφόσον το μεγαλύτερο ποσό σε αυτή την περίπτωση θα καλύπτεται από τους λέβητες αερίου λόγω μεγαλύτερης ισχύος και άμεσου αποτελέσματος, μειώνοντας ωστόσο σε μεγάλο ποσοστό την αρχική κατανάλωση αερίου.

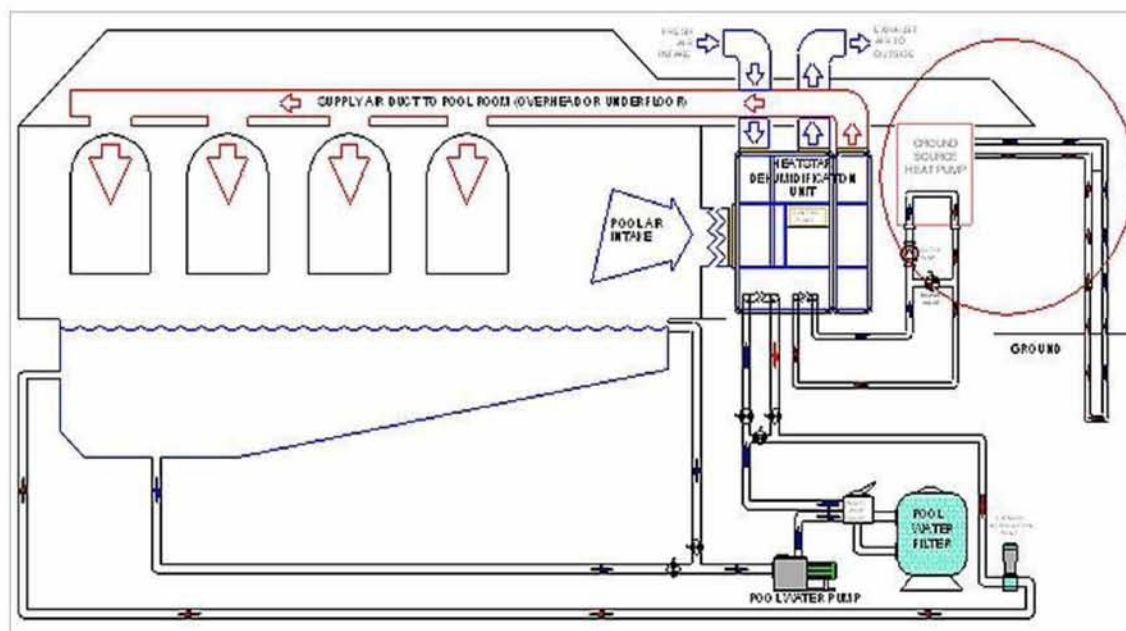
Αντίστοιχα η παραπάνω αντλία μπορεί να τοποθετηθεί και στο κλειστό κολυμβητήριο όπου θα μπορεί να καλύπτει φυσικά τα απαραίτητα ημερήσια φορτία των εσωτερικών πισινών εφόσον έχουμε πολύ λιγότερες απώλειες από την εξωτερική αλλά και θα μπορεί να καλύπτει τα ζεστά νερά χρήσης για τα λουτρά. Η αντλία θα λειτουργεί και εδώ επικουρικά στην αρχική θέρμανση των πισινών σε συνδυασμό πάλι με τον υπάρχοντα λέβητα αερίου. Εδώ βέβαια θα έχουμε μεγαλύτερη

εξοικονόμηση αερίου λόγω του ότι θα καλύπτει μεγαλύτερο ποσοστό ισχύος απ'ότι στην εξωτερική.

4.11.2 Πρόταση ανάκτησης θερμότητας στο κλειστό κολυμβητήριο.

Στις πισίνες η ανάκτηση θερμότητας στα συστήματα εξαερισμού μπορεί να μειώσει τις απαιτήσεις για ενέργεια κατά 30%. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει κάποιο είδος εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος εισάγει ένα εμπόδιο στη ροή του ρευστού αυξάνοντας έτσι την πτώση πίεσης και τις απαιτήσεις του ανεμιστήρα ή της αντλίας. Πρακτικά σε όλα τα συστήματα σημαντική ποσότητα θερμότητας χάνεται μαζί με τον αποβαλλόμενο αέρα. Η θερμότητα μπορεί να ανακτηθεί από τον εξερχόμενο αέρα ή το νερό στο αντίστοιχα εισερχόμενο ρευστό, μειώνοντας έτσι την απαιτούμενη ενεργεία για την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών

Μια πιθανή διάταξη σύνδεσης της αντλίας θερμότητας στο κλειστό κολυμβητήριο με τον γεωθερμικό εναλλάκτη και με ένα σύστημα κλιματισμού του χώρου, ανάκτησης θερμότητας και αφύγρανσής του, δείχνεται στην εικόνα 4.9.



Εικόνα 4.10 Τυπική σύνδεση αντλίας εδάφους/νερού με σύστημα ανάκτησης θερμότητας, κλιματισμού και αφύγρανσης. [19]

Κεφάλαιο 5. Οικονομική ανάλυση

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η οικονομική σύγκριση της εγκατάστασης του γεωθερμικού συστήματος που μελετήθηκε στο κολυμβητήριο με το υπάρχον συμβατικό (φυσικού αερίου), προκειμένου να υπολογιστούν οι ετήσιες δαπάνες σε θέρμανση και ο χρόνος απόσβεσης.

Για τη σύγκριση λαμβάνονται υπόψη η τρέχουσα τιμολόγηση του ηλεκτρικού ρεύματος + φπα που ισχύει για το κολυμβητήριο (0,6515 €/kWh) και φυσικού αερίου (0,067 €/kWh). Οι τιμές όλων των συσκευών που επιλέχθηκαν στη γεωθερμική εγκατάσταση είναι μέσες τιμές που επικρατούν στο εμπόριο για τη δεδομένη χρονική περίοδο που εκπονείται η παρούσα μελέτη.

Προκειμένου να έχουμε μια σαφή εικόνα των καταναλώσεων, εφόσον δεν έχουμε τη δυνατότητα να γνωρίζουμε τις ακριβείς ώρες λειτουργίας των καυστήρων ετήσια βασιστήκαμε σε δεδομένα προηγούμενου έτους. Ύστερα από στοιχεία που συλλέχτηκαν από τους υπευθύνους του κολυμβητηρίου Βόλου προέκυψαν τα εξής δεδομένα κατανάλωσης για το έτος 2011:

Πίνακας 5.1 Κυβικά κατανάλωσης φυσικού αερίου κολυμβητηρίου Βόλου για το έτος 2011.

| ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ | ΚΥΒΙΚΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ (m³) |
|-------------------------------|---|
| ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ | 79996 |
| ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ | 71427 |
| ΜΑΡΤΙΟΣ | 79326 |
| ΑΠΡΙΛΙΟΣ | 63124 |
| ΜΑΙΟΣ | 42712 |
| ΙΟΥΝΙΟΣ | 13490 |
| ΙΟΥΛΙΟΣ | 6199 |
| ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ | 1958 |
| ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ | 11823 |
| ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ | 46051 |
| ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ | 60424 |
| ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ | 68099 |
| ΣΥΝΟΛΟ (m³) | 544629 |
| ΣΥΝΟΛΟ (€) | 365.094 |

Στην περίπτωση του συστήματος που μελετάται υποθέτουμε ότι οι αντλίες θερμότητας θα λειτουργούν αδιάκοπα τόσο στο κλειστό όσο και στο ανοικτό κολυμβητήριο, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους εκτός του ενός μήνα κατά τον οποίο γίνεται συντήρηση.

Όπως προαναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας έχει διακυμάνσεις εξαρτώμενος αρκετά από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Στην περίπτωσή μας όμως, καθώς επιλέξαμε κλειστό κατακόρυφο γεωσυλλέκτη διατηρώντας έτσι σχετικά σταθερή την απόδοση, μπορούμε συμβουλευόμενοι το σχήμα 4.3 να θεωρήσουμε μια μέση τιμή COP= 3.5 . Από το σχήμα 4.4 επίσης για υποθετική χρήση και των δυο συμπιεστών της αντλίας και θερμοκρασία νερού άνω των 40 °C έχουμε μια μέση κατανάλωση ρεύματος της τάξης των 27 kW.

Σύμφωνα με τα παραπάνω λοιπόν θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε μια μέση ετήσια κατανάλωση ρεύματος από τις αντλίες θερμότητας:

Μέση ετήσια κατανάλωση ρεύματος αντλιών χωρίς χρήση καλύμματος εξ. πισίνας =
 $2 \text{ αντλίες} * 27 \text{ kW} * (365-31) \text{ ημέρες} * 24 \text{ ώρες} = \underline{432864 \text{ kWh}}$

Μέση ετήσια κατανάλωση ρεύματος αντλιών με χρήση καλύμματος εξ. πισίνας =
 $(27*(365-31)*24)+(27*(365-31)*24)*0,509 = \underline{326595 \text{ kWh}}$

Μέσο ετήσιο κόστος ρεύματος χ.κ = $432864 \text{ kWh} * 0,6515 \text{ €/ kWh} = \underline{282.011 \text{ €}}$

Μέσο ετήσιο κόστος ρεύματος μ.κ = $326595 \text{ kWh} * 0,6515 \text{ €/ kWh} = \underline{212.777 \text{ €}}$

Για την εγκατάσταση επίσης θεωρούνται απαραίτητα τα παρακάτω εξαρτήματα:

- Παροχές εισαγωγής-επιστροφής διαμέτρου Φ75.
- Σωληνώσεις με θερμοκολλητική σωλήνα πράσινη Γερμανίας WEFΑ.
- Κατασκευή κεντρικών στηλών ,
- Τοποθέτηση κεντρικών διακοπών απομόνωσης κάθε γραμμής και συλλεκτών υπογείου
- Τοποθέτηση νέων συλλεκτών με ενσωματωμένους διακόπτες διακοπής ροής,
- Κεντρική παροχή στο υπόγειο από το σημείο της ήδη υπάρχουσας εγκατάστασης με θερμοκόλληση.
- Υλικά λεβητοστασίου,

- Βάνες 2 ½ ιντσών TIEMME Ιταλίας,
- Ρακόρ συνδέσεων.

Από προσφορά που ζητήθηκε από εταιρία θερμο-υδραυλικών εγκαταστάσεων στο Βόλο το κόστος για τις παραπάνω εργασίες ανέρχεται στις 15.000 €

Μια σημαντική ακόμη δαπάνη είναι αυτή των εργασιών εγκατάστασης :

- Ανόρυξη τεσσάρων γεωτρήσεων για κάθε αντλία (σύνολο 8) των 100 μέτρων.
- Παράλληλη σύνδεση των σωληνώσεων με τεχνικές θερμικών κολλήσεων και δοκιμές πίεσεως σε καθορισμένη πίεση και διάρκεια.
- Πλήρωση και τσιμεντώση της εγκατάστασης.
- Μεταφορά, εκφόρτωση και τοποθέτηση των αντλιών θερμότητας.
- Σύνδεση και εγκατάσταση των αντλιών θερμότητας.
- Πλήρωση του κυκλώματος με την κατάλληλη ποσότητα αντιψυκτικού.
- Εκκίνηση του συστήματος και έλεγχος λειτουργίας για την διασφάλιση της λειτουργίας του συστήματος των αντλιών θερμότητας και της υπόλοιπης συνεργαζόμενης εγκατάστασης.

Το κόστος των παραπάνω εργασιών υπολογίζεται περίπου στις 64.000 €

Η όλη εγκατάσταση γεωθερμίας θα μελετηθεί και θα κατασκευασθεί σύμφωνα με το IGSHA (International Ground Source Heat Pump Association). [23][3]

Τέλος το κόστος της επιλογής χρήσης καλύμματος στην εξωτερική πισίνα προκύπτει αν ληφθεί υπόψη ότι το m² κοστίζει 20 € + φπα = 24,60 €. Το μέγιστο μήκος που μπορεί να έχει ένα κάλυμμα είναι 17 m περίπου οπότε για την εξωτερική πισίνα 50 m θα χρησιμοποιηθούν 3. Το πλάτος τους είναι όσο και της πισίνας 25 m. Οπότε έχουμε:

Κόστος καλύμματος = 3 * (17*25) *24,6 = 31.365 €

Επίσης συμβουλευόμενοι το κεφάλαιο 2.3.1 , όπου υπολογίσαμε θερμική ισχύ για τόσο για την εξωτερική όσο και για τις εσωτερικές πισίνες, μπορούμε να υπολογίσουμε το ετήσιο κόστος κατανάλωσης φυσικού αερίου σαν υποβοήθηση στην αρχική θέρμανση των κολυμβητικών δεξαμενών.

Κόστος φυσικού αερίου για υποβοήθηση στην περίπτωση μη χρήσης καλύμματος = $[(580-108)*48+(1514-108)*48]*0,067 = \underline{6040 \text{ €}}$

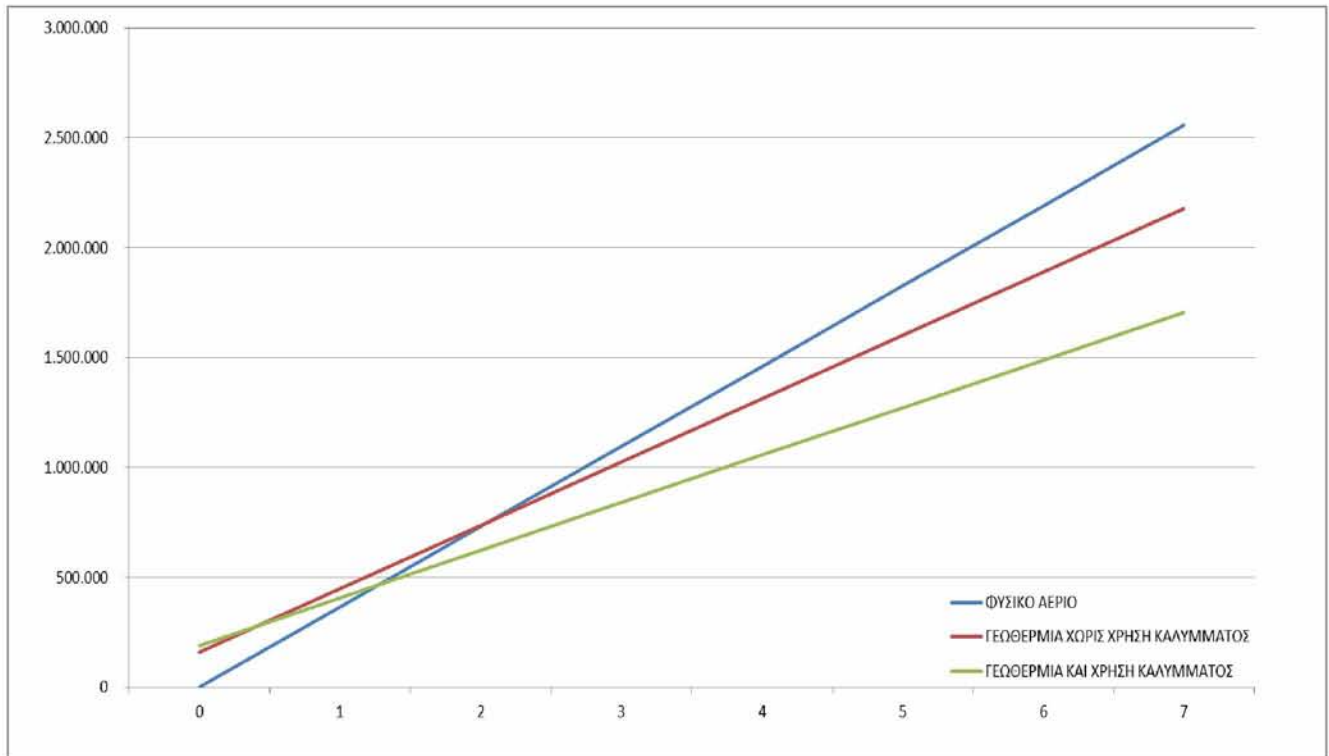
Κόστος φυσικού αερίου για υποβοήθηση στην περίπτωση χρήσης καλύμματος = $[(580-108)*48+ ((1514*0,509)-(108))*48]*0,067 = \underline{3605 \text{ €}}$

Από όλα τα παραπάνω μπορεί να προκύψει ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας δαπανών.

Πίνακας 5.2 Συγκεντρωτικός και συγκριτικός πίνακας δαπανών εγκατάστασης φυσικού αερίου και συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

| ΔΑΠΑΝΕΣ | ΛΕΒΗΤΕΣ ΑΕΡΙΟΥ | ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΧΩΡΙΣ ΧΡΗΣΗ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ ΠΙΣΙΝΑΣ | ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ ΠΙΣΙΝΑΣ |
|---|------------------|--|---|
| 2 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ SIELINE 130 TUR+ DIMPLEX | - | 80.000 € | 80.000 € |
| ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΛΟΙΠΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ | - | 64.000 € | 64.000 € |
| ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ & ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ | - | 15.000 € | 15.000 € |
| ΚΑΛΥΜΜΑ ΕΞ. ΠΙΣΙΝΑΣ | - | - | 31.365 € |
| ΣΥΝΟΛΟ ΔΑΠΑΝΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ | - | 159.000 € | 190.365 € |
| ΕΤΗΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ | - | 282.011 € | 212.777 € |
| ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ | 365.094 € | 6.040 € | 3.605 € |
| ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ | 365.094 € | 288.051 € | 216.382 € |
| ΕΤΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ | | 2,2 | 1,4 |

Για να έχουμε μια πιο σαφή εικόνα της σύγκρισης των ετήσιων δαπανών των τριών αυτών περιπτώσεων αλλά και των ετών απόσβεσης της νέας εγκατάστασης παρατίθεται το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 5.1):



Σχήμα 5.1 Συγκριτικό διάγραμμα ετήσιων δαπανών.

Πίνακας 5.3 Δαπάνη εγκατάστασης και λειτουργικών εξόδων προσθετικά στα επόμενα επτά έτη για τις τρεις περιπτώσεις συστημάτων.

| ΕΤΗ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ | 0 € | 365.094 € | 730.188 € | 1.095.282 € | 1.460.376 € | 1.825.470 € | 2.190.564 € | 2.555.658 € |
| ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΧΩΡΙΣ ΚΑΛΥΜΜΑ ΕΞ.ΠΙΣΙΝΑΣ | 159.000 € | 447.051 € | 735.101 € | 1.023.152 € | 1.311.202 € | 1.599.253 € | 1.887.303 € | 2.175.354 € |
| ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΜΕ ΚΑΛΥΜΜΑ ΕΞ.ΠΙΣΙΝΑΣ | 190.365 € | 406.747 € | 623.130 € | 839.512 € | 1.055.894 € | 1.272.277 € | 1.488.659 € | 1.705.041 € |

Από τον παραπάνω πίνακα (πίνακας 5.3) αλλά και από το συγκριτικό διάγραμμα (σχήμα 5.1) συμπεραίνουμε ότι το σύστημα γεωθερμική αντλία θερμότητας χωρίς τη χρήση καλύμματος καθώς έχει κατά 80.000 € λιγότερα ετήσια λειτουργικά έξοδα από τους λέβητες φυσικού αερίου αποσβένει το κόστος εγκατάστασης σε λιγότερο από 2,5 χρόνια. Το σύστημα τώρα που γίνεται χρήση του καλύμματος κατά τις νυχτερινές ώρες στην εξωτερική πισίνα ενώ έχει μεγαλύτερη αρχική δαπάνη, λόγω πολύ λιγότερων ετησίων εξόδων σε κατανάλωση ρεύματος (βλέπε παρ. 2.5.1.1), αποσβένει τα έξοδα εγκατάστασης σε λίγο περισσότερο από 1 έτος.

Τόσο οικονομικά λοιπόν όσον και ενεργειακά η περίπτωση εγκατάστασης γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και η χρήση καλύμματος στην εξωτερική κολυμβητική δεξαμενή κατά τις νυχτερινές ώρες που βρίσκεται εκτός λειτουργίας θεωρείται η πιο άρτια.

Τέλος από τον πίνακα 5.3 μπορούμε να δούμε μέσα σε 7 χρόνια στην περίπτωση χωρίς κάλυμμα ένα κέρδος της τάξης των 400.000 € ενώ στην περίπτωση με κάλυμμα να φτάνει ακόμα και τις 850.000 €.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία επικεντρώθηκε στη μελέτη του συστήματος θέρμανσης του κλειστού και ανοιχτού κολυμβητηρίου Βόλου με στόχο την ενίσχυση της βιωσιμότητας οικονομικά του κολυμβητηρίου για τα επόμενα χρόνια. Προτάθηκαν εναλλακτικές λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας με οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Έγινε περιγραφή των εγκαταστάσεων του ανοιχτού και κλειστού κολυμβητηρίου και των ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση των κολυμβητικών δεξαμενών. Επίσης, έλαβε χώρα ο αναλυτικός υπολογισμός των απωλειών και ο περιορισμός τους με κάλυμμα στην εξωτερική πισίνα της ώρες που δεν χρησιμοποιείται. Ακόμη αναλύθηκε εκτενώς η έννοια της γεωθερμική γεωθερμικής ενέργειας και η τεχνολογία των συστημάτων θέρμανσης με γεωεναλλάκτες και αντλίες θερμότητας. Τέλος έγινε περιγραφή και ανάλυση των οικονομικών δεδομένων μια εγκατάστασης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας στον κολυμβητήριο και προέκυψαν τα λειτουργικά έξοδα αυτής αλλά και τα έτη απόσβεσής της.

Ανακεφαλαιώνοντας προτάθηκε η χρήση καλύμματος στην εξωτερική πισίνα κατά τις ώρες μη λειτουργίας της. Αυτή η επένδυση ενώ θα κοστίσει περίπου 31.000 € θα αποσβησθεί πολύ σύντομα καθώς οι απώλειες όπως βρέθηκε θα μειωθούν κατά 50,9 %.

Επίσης προτάθηκε νέο σύστημα θέρμανση των κολυμβητικών δεξαμενών με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Θα αποτελείται από κάθετο κλειστό σύστημα γεωεναλλακτών σε παράλληλη σύνδεση μεταξύ τους για μέγιστη απορρόφηση ενέργειας από το έδαφος. Οι γεωεναλλάκτες θα συνδέονται με δύο αντλίες θερμότητας, μία σε κάθε λεβητοστάσιο, θερμικής ισχύος ικανής να διατηρεί το νερό των δεξαμενών στην επιθυμητή θερμοκρασία. Τέλος οι υπάρχοντες λέβητες αερίου θα χρησιμοποιούνται σαν υποβοήθηση στην περίπτωση αρχικής θέρμανσης των δεξαμενών.

Στην οικονομική ανάλυση και με βάση τα σχετικά διαγράμματα προκύπτει ότι η απόσβεση του συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας χωρίς τη χρήση καλύμματος γίνεται σε λίγο περισσότερο από 2 έτη ενώ με χρήση καλύμματος μόλις

σε λιγότερο από 1,5 έτος. Επίσης το οικονομικό κέρδος σε μια επταετία για την πρώτη περίπτωση ανέρχεται σε 400.000 € ενώ για τη δεύτερη σχεδόν 850.000 €.

Βιβλιογραφία

1. Ηλεκτρονική Πύλη Δήμου Βόλου (2012). *E.A.K. (Εθνικό Αθλητικό Κέντρο)*. (<http://www.volos-city.gr>).
2. John W.Lund, Paul J. Lienau, (2000). *A Quarterly Progress and Development Report on the Direct Utilization of Geothermal Resources* (σελ.6-8). Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology.
3. Oklahoma State University, (1988). Division of Engineering Technology. *Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems* (σελ.4-8,70,137). International Ground Source Heat Pump Association, Stillwater, Oklahoma.
4. Ν. Ανδρίτσος , Π. Δαλαβάκης, Γ. Καρυδάκης , Ν. Κολιός, Μ. Φυτίκας, (2011). *Renewable Energy: Characteristics of low-enthalpy geothermal applications in Greece* (σελ.1300-1). Elsevier.
5. Weatherbase. 2004, Cauty and Associates LLC. *Μέση ταχύτητα ανέμου στην πόλη του Βόλου*. (<http://www.weatherbase.com>)
6. MGE energy company, (2011). *Reducing swimming pool heat loss*.
7. Περδίδος Σταμάτης Δ , (2007) *Επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια – αθλητικά κέντρα – βιομηχανίες – μεταφορές* (σελ.172) .Τόμος Β, ΤεκΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα.
8. Ιστοσελίδα Windfinder.com, (2012). *Στατιστική ανέμου & καιρού Βόλος-Μαγνησία*. Στατιστικά βασισμένα σε παρατηρήσεις που έγιναν μεταξύ 1/2009 - 9/2012 καθημερινά από τις 7πμ ως τις 7μμ τοπική ώρα.
9. Περδίδος Σταμάτης Δ , (2009) *Ηλιοθερμικές Εγκαταστάσεις* (σελ.117). ΤεκΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα.
10. Ν. Ανδρίτσος, Μ. Φυτίκας (2004). *Γεωθερμία* (σελ.15-17,30,246-252,351). Εκδόσεις Τζιόλα.
- 11.Κ.Popovski, Ν.Andritsos, Μ.Fytikas, Β.Sanner, Ρ.Ungemach, Ρ.Valdimarsson. , (2010). *Geothermal Energy* (σελ.96-103). Skopje.

12. Yunus A. Cengel, Michael A.Boles, (2003). *Θερμοδυναμική για Μηχανικούς* (σελ.884-886,894). Τόμος Β, Εκδόσεις Τζιόλα.
13. Bosch group, (2010). *Commercial product guide :Reinventing energy efficiency.* (http://www.bosch.com/en/com/bosch_group/boschgroup.html)
14. Energy Homes, (2012) . Επίσημη ιστοσελίδα.
(<http://www.energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/tupoikleistou.html>)
15. Aidengineering,(2012) .Επίσημη ιστοσελίδα
(<http://www.aidengineering.gr/>) .
- 16.Μοναχός Ηλεκτρομηχανολογικά Α.Ε, (2012). Επίσημη ιστοσελίδα.
(http://monachos.gr/forum/topic.asp?TOPIC_ID=3196)
- 17.Νικόλαος Ψαράς, (2012). *Γεωθερμία και κλιματισμός, θεωρία και πρακτικοί κανόνες*, (σελ.85-90,94-106,121,185). Shape Τεχνικές Εκδόσεις ΕΠΕ.
- 18.Sieline-Dimplex (2012). Επίσημη ιστοσελίδα
(http://sieline.gr/pages/gr/products/heat_pumps/geothermy/heat_pump_groundwater.php)
- 19.Bookforge (2012). Επίσημη ιστοσελίδα
(<http://www.brookforge.co.uk/index.html>)
- 20.Τεχνική οδηγία του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (2010).
Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3/2010
21. Procori pool and spa equipment , (2012). *Εγχειρίδια της εταιρίας για προϊόντα κάλυψης πισίνας.*(<http://www.procoriuk.co.uk/>)
22. Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, αποφάσεις , (2009). *Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης – ψύξης χώρων μέσω εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό.* Τεύχος δεύτερο, Αρ. Φύλλου 1249, 24 Ιουνίου.
23. International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA), 1987 .
Επίσημη ιστοσελίδα. (<http://www.igshpa.okstate.edu>)