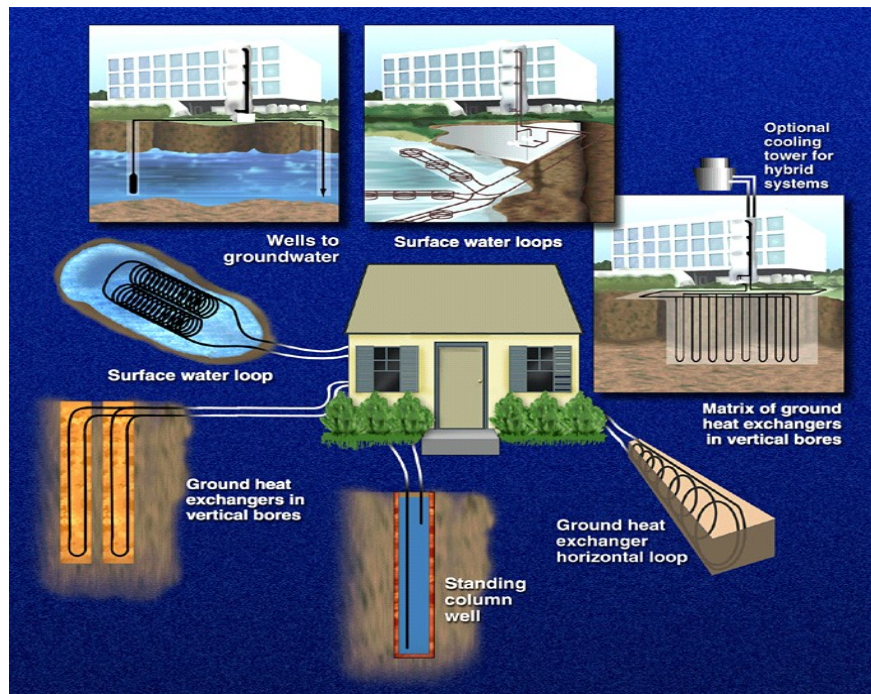


**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:**  
**“ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ”**



**ΤΙΤΛΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**

**“ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ  
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΟ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ”**

**ΜΠΡΑΟΥΔΑΚΗ Γ. ΚΑΛΛΙΟΠΗ**  
**ΧΑΝΙΑ, ΟΚΤΩΒΡΗΣ 2007**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την πολύτιμη βοήθεια κάποιων ανθρώπων οι οποίοι είχαν τη διάθεση και παρείχαν τις γνώσεις τους όταν τους ζητήθηκε.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Τσούτσο Θ., που μου ανέθεσε τη συγκεκριμένη δουλειά και με καθοδήγησε σε όλη τη διάρκεια της προσπάθειας μου με τις γνώσεις του και την υπομονή του. Επίσης τον κ. Καρύτσας Κ., Γεωλόγο-Γεωθερμικό Υπεύθυνο Τμημάτων Γεωθερμίας και Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων στο ΚΑΠΕ, που με βοήθησε σημαντικά τόσο κατά την κοστολόγηση της επένδυσης όσο και στο υλικό που μου πρόσφερε. Ακόμα τον κ. Μανάκα Γ. Μηχανολόγο Μηχανικό από την τεχνική εταιρεία εγκατάστασης συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και κλιματισμού “Δέλτα Τεχνική Α.Ε.”, που μου παρείχε υλικό σε ηλεκτρονική μορφή για την κατανόηση του τρόπου εγκατάστασης των συστημάτων αυτών στην Ελλάδα βασιζόμενος και στην εμπειρία του. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης και συγκεκριμένα τον κ. Τζούγκαρη Γ. Μηχανολόγο Μηχανικό, για όλες τις πληροφορίες που μου παρείχε σχετικά με το συμβατικό σύστημα θέρμανσης του κτιρίου της καινούριας βιβλιοθήκης αλλά και την άψογη συνεργασία που είχαμε, αλλά και τον κ. Μπανδέλη Γ. Μηχανολόγο Μηχανικό για τις πολύτιμες συμβουλές του σχετικά με την εξήγηση διεργασιών που συμβαίνουν στα συστήματα των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας.

Τέλος, πάνω από όλα ευχαριστώ την οικογένεια μου για την ηθική και οικονομική υποστήριξη που μου παρέχει όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την μελέτη αξιοποίησης ενός συστήματος γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στο κτίριο της καινούριας βιβλιοθήκης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Για τη μελέτη της παραπάνω επένδυσης έγινε χρήση του λογισμικού προγράμματος Retscreen το οποίο βρίσκεται στο διαδίκτυο στη σελίδα [www.retscreen.com](http://www.retscreen.com). Το πρόγραμμα αυτό κάνει μία πρώτη εκτίμηση του αρχικού κόστους της επένδυσης και βοηθά στην αρχική λήψη αποφάσεων σχετικά με την υλοποίηση αυτής.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια γενική αναφορά στην αναγκαιότητα χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σήμερα και στο κομμάτι αυτών που κατέχει η γεωθερμία. Ακολουθεί μία λεπτομερής αναφορά για τη σημερινή χρήση των συστημάτων των Γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στον κόσμο, την Ευρώπη και την Ελλάδα. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα είδη των ΓΑΘ, τη λειτουργία τους κατά την ψύξη και τη θέρμανση ενός χώρου, αλλά και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών. Στο τρίτο κεφάλαιο ακολουθούν τρία παραδείγματα από συγκεκριμένες εφαρμογές των συστημάτων ΓΑΘ στις ΗΠΑ, των Καναδά και την Ελλάδα, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία περιγραφή του προγράμματος Retscreen και των δυνατοτήτων του. Στο πέμπτο κεφάλαιο δίνονται κάποια στοιχεία για το κτίριο της καινούριας βιβλιοθήκης και το συμβατικό σύστημα κλιματισμού που χρησιμοποιείται εκεί. Στο έκτο κεφάλαιο που ακολουθεί γίνεται μία αναλυτική περιγραφή των φύλλων του χρησιμοποιούμενου προγράμματος και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή. Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα από την όλη εργασία και γίνονται κάποιες προτάσεις για μελλοντικές ενέργειες.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελίδα
Ευχαριστίες .....	i
Περίληψη .....	ii
Περιεχόμενα.....	iii
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> .....	1
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	
1.1. Εισαγωγή .....	1
1.2. Παγκόσμια αναγκαιότητα για χρήση καινούριων μη-συμβατικών τεχνολογιών ενέργειας.....	1
1.3. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	3
1.4. Γεωθερμική ενέργεια.....	4
1.4.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία.....	5
1.4.2. Παραγωγή θερμότητας από γεωθερμία και αξιοποίηση των ΓΑΘ.....	6
1.5. Η χρήση των Γεωθερμικών αντλιών θερμότητας παγκοσμίως.....	8
1.6. Χρήση των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας στην Ευρώπη.....	11
1.7. Κατάσταση στην Ελλάδα, προοπτικές και κόστος επενδύσεων.....	14
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> .....	17
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (GEOTHERMAL HEAT PUMPS).....	
2.1. Εισαγωγή.....	17
2.2. Γενικά για τις Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.....	17
2.3. Ιστορικά στοιχεία για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.....	19
2.4. Κατηγορίες συστημάτων θέρμανσης / ψύξης για κτιριακές εφαρμογές....	21
2.4.1. Αντλίες θερμότητας (Heat Pumps).....	22
2.4.1.1. Γεωεναλλάκτες (Geoexchange Systems) ή γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Geothermal Heat Pumps).....	23
2.5. Συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.....	24
2.5.1. Σύστημα υπόγειων βρόχων.....	25
2.5.1.α. Γεωθερμικοί εναλλάκτες κλειστού βρόχου.....	25
2.5.1.β. Γεωθερμικοί εναλλάκτες ανοιχτού βρόχου (Groundwater heat pumps).....	34
2.5.2. Σύστημα αντλιών θερμότητας.....	38
2.5.3. Σύστημα διανομής ή απομάκρυνσης θερμότητας.....	40
2.6. Λειτουργία κύκλου θέρμανσης και ψύξης.....	43
2.6.1. Λειτουργία κύκλου θέρμανσης.....	43
2.6.2. Λειτουργία κύκλου ψύξης.....	45



2.7. Παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται κατά την επιλογή ενός συστήματος ΓΑΘ.....	47
2.8. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων γεωθερμικού κλιματισμού... ..	48
2.8.1. Πλεονεκτήματα των συστημάτων Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας..	49
2.8.2. Μειονεκτήματα των συστημάτων Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας	56
2.8.2.α. Μειονεκτήματα των συστημάτων ΓΑΘ κλειστού βρόχου.....	56
2.8.2.β. Μειονεκτήματα των συστημάτων ΓΑΘ ανοιχτού βρόχου.....	59
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> .....	61
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ.....	
3.1. Εισαγωγή.....	61
3.2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ – CASE STUDIES.....	61
Παράδειγμα 1 <sup>ο</sup> .....	62
3.2.1. Εφαρμογή στο Γυμνάσιο “Fond du Lac” στο Wisconsin των ΗΠΑ.....	62
3.2.1.1. Εισαγωγή.....	62
3.2.1.2. Περιγραφή του συστήματος.....	63
3.2.1.3. Οφέλη από την εγκατάσταση του συστήματος.....	68
Παράδειγμα 2 <sup>ο</sup> .....	71
3.2.2. Εφαρμογή σε κέντρο αναψυχής στο νότιο Caribou της British Columbia του Καναδά.....	71
3.2.2.1. Εισαγωγή.....	71
3.2.2.2. Περιγραφή του συστήματος.....	72
3.2.2.3. Οφέλη από την εγκατάσταση του συστήματος.....	80
Παράδειγμα 3 <sup>ο</sup> .....	83
3.2.3. Μελέτη εγκατάστασης γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης – ψύξης σε ιδιόκτητη κατοικία στην κοινότητα Θρακομακεδόνων του Δήμου Αχαρνών του Νομού Αττικής.....	83
3.2.3.1. Εισαγωγή.....	83
3.2.3.2. Περιγραφή του έργου.....	83
3.2.3.3. Ενεργειακές απαιτήσεις για τη λειτουργία του συστήματος.....	87
3.2.3.4. Θερμοκρασιακές απαιτήσεις για τη λειτουργία του συστήματος.....	88
3.2.3.5. Κόστος εγκατάστασης του έργου.....	90
3.2.3.6. Οφέλη από την κατασκευή του έργου.....	91
3.2.3.7. Σύγκριση του χρησιμοποιούμενου συστήματος με αντίστοιχο συμβατικό σύστημα.....	92
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> .....	97
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	
4.1. Εισαγωγή.....	97

4.2. Λίγα λόγια για το μοντέλο προγραμματισμού RETScreen®.....	97
4.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του χρησιμοποιούμενου μοντέλου....	98
4.4. Χρήση του μοντέλου RETScreen® για το σύστημα των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ).....	100
4.4.1. Τρόπος λειτουργίας του Retscreen® για εφαρμογή σε συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας.....	101
4.4.2. Χρησιμοποιούμενα φύλλα του Retscreen® για τις ΓΑΘ.....	102
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> .....	103
Η ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ.....	
5.1. Εισαγωγή.....	103
5.2. Λίγα λόγια για το πολυτεχνείο Κρήτης.....	103
5.3. Η βιβλιοθήκη του Πολυτεχνείου Κρήτης.....	104
5.3.1. Το κτίριο της καινούριας βιβλιοθήκης.....	106
5.3.2. Το συμβατικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης της καινούριας βιβλιοθήκης.....	108
Κεφάλαιο 6 <sup>ο</sup> .....	111
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΙΝΟΥΡΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	
6.1. Εισαγωγή.....	111
6.2. Αναλυτική περιγραφή των φύλλων του χρησιμοποιούμενου προγράμματος.....	111
6.3. Αποτελέσματα.....	126
6.4. Σύγκριση κόστους συμβατικού και γεωθερμικού συστήματος.....	134
Κεφάλαιο 7 <sup>ο</sup> .....	137
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	
7.1. Συμπεράσματα.....	137
7.2. Προτάσεις.....	139

## **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>**

### **ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

#### **1.1. Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά γίνεται λόγος για την αναγκαιότητα ανάπτυξης και χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στη σημερινή παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση και ακολουθεί μία αναφορά στη γεωθερμική ενέργεια και στις χρήσεις αυτής. Στη συνέχεια γίνεται ιδιαίτερος λόγος για τη χρήση των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ) ως τεχνολογία εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά και η κατάσταση και οι προοπτικές στον Ελληνικό χώρο.

#### **1.2. Παγκόσμια αναγκαιότητα για χρήση καινούριων μη-συμβατικών τεχνολογιών ενέργειας**

Οι κλιματικές αλλαγές στον πλανήτη είναι ένα γεγονός και δυστυχώς γίνονται εμφανείς, με διάφορα καταστροφικά φαινόμενα, σε όλο τον κόσμο. Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα, μιας από τις βασικές αιτίες της κλιματικής αλλαγής στην ατμόσφαιρα, έχουν αυξηθεί περισσότερο από 30% από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης. Υπολογίζεται ότι η αύξηση αυτή έχει ανεβάσει τη μέση θερμοκρασία της γης κατά 0,6 °C στη διάρκεια του 20<sup>ο</sup> αιώνα.

Η άνοδος της θερμοκρασίας έχει ως άμεσο επακόλουθο την τήξη των πάγων και την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας σχεδόν 2 mm κάθε χρόνο την τελευταία εκατονταετία. Η κάλυψη του πλανήτη με χιόνι έχει μειωθεί παγκοσμίως σε ποσοστό 10% από το 1960 και οι οικονομικές καταστροφές, λόγω των άστατων καιρικών φαινομένων, σε νοικοκυριά και

επιχειρήσεις υπολογίζεται ότι δεκαπλασιάστηκαν τα τελευταία 40 χρόνια (πηγή: [www.agoraideon.gr](http://www.agoraideon.gr), 2007).

Κύρια αιτία των κλιματικών αλλαγών και της περιβαλλοντικής καταστροφής του πλανήτη αποτελεί η αλόγιστη και συνεχώς αυξανόμενη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Η συντριπτική πλειοψηφία των ενεργειακών εφαρμογών ανά τον κόσμο βασίζονται στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Από την άλλη πλευρά, τα αποθέματα του πετρελαίου και των υπόλοιπων συμβατικών ενεργειακών πηγών μειώνονται καθημερινά.

Παρατηρώντας τα παραπάνω φαινόμενα η διεθνής επιστημονική κοινότητα έχει εκφράσει εδώ και χρόνια τον έντονο προβληματισμό της για τη διάσωση του πλανήτη και το ενεργειακό μέλλον αυτού. Η ανησυχία που προκαλεί το ενδεχόμενο μιας ολοκληρωτικής καταστροφής της ζωής από τη γη αλλά και μια μελλοντική ενεργειακή κρίση, δημιουργούν την ανάγκη για εύρεση νέων πηγών ενέργειας και την εντατικοποίηση των επιστημονικών ερευνών προς την κατεύθυνση αυτή.

Πολλές βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες όπως οι ΗΠΑ, ο Καναδάς, η Σουηδία, η Γερμανία, η Ιαπωνία κ.α., εδώ και χρόνια εξελίσσουν και εφαρμόζουν συστήματα αξιοποίησης των ΑΠΕ με στόχο τον περιορισμό της εξάρτησής τους από τα ορυκτά αποθέματα αλλά και την προστασία του πλανήτη.

Στην Ελλάδα τώρα ξεκινούν κάποιες σοβαρές προσπάθειες προώθησης άλλων πηγών ενέργειας πέραν των συμβατικών ορυκτών καυσίμων. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και των μικρών υδροηλεκτρικών έργων υπερέχει, ενώ ακολουθεί η ηλιακή ενέργεια (φωτοβολταϊκά συστήματα) που τώρα κάνει τα πρώτα βήματά της. Άλλες μορφές ΑΠΕ όπως η γεωθερμία βρίσκεται ακόμη σε εμβρυακό στάδιο με τα περισσότερα γεωθερμικά πεδία να παραμένουν ανεκμετάλλευτα. Αυτά συμβαίνουν τη στιγμή που η χώρα μας στις περισσότερες διεθνείς μελέτες ανάπτυξης των ΑΠΕ, αποτελεί σημείο αναφοράς λόγω των εξαιρετικά ευνοϊκών καιρικών και εδαφογεωλογικών συνθηκών που διαθέτει. Το ποσοστό του Ελληνικού ενεργειακού ισοζυγίου που καλύπτεται από εγχώριες ενεργειακές πηγές είναι της τάξης του 43,3% και σε συντριπτικό ποσοστό οφείλεται στην εκμετάλλευση του λιγνίτη (πηγή: Στουρνάς και άλλοι, 2000).

Ειδικά λοιπόν σήμερα, με τις πολύ υψηλές τιμές των συμβατικών καυσίμων και τα πολύ σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν από τις τεράστιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η ανάγκη για την προώθηση και χρήση των ΑΠΕ και στη χώρα μας είναι επιτακτική.

### **1.3. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

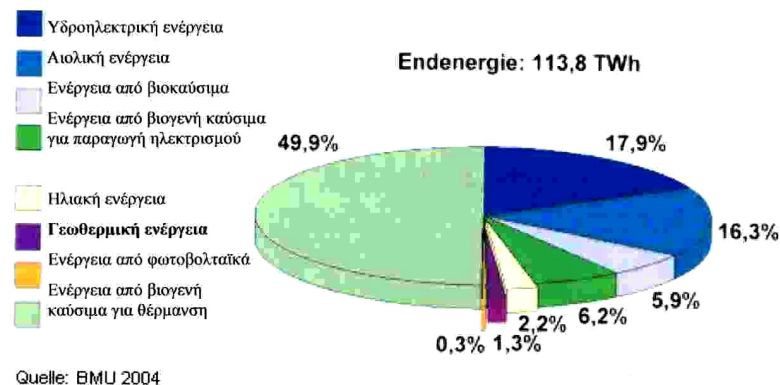
Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία (Νόμος 3468/2006), ως ΑΠΕ θεωρούνται οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (αιολική και ηλιακή ενέργεια, ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια, βιομάζα, ενέργεια από αέρια που εκλύονται από χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια), η γεωθερμική ενέργεια και η υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς ισχύος μέχρι 10 MWe (πηγή: [www.agoraideon.gr](http://www.agoraideon.gr), 2007).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει εδώ και καιρό προωθήσει πολιτικά τη χρήση των ΑΠΕ και τη διάδοσή τους τόσο σε κεντρικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο κρατών-μελών. Έτσι, το 2004 σύμφωνα με επίσημα στοιχεία της Eurostat το ποσοστό κάλυψης της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην Ελλάδα έφτανε το 9,5%, στην Ε.Ε. των “15” έφτανε το 14,7% και στην Ε.Ε. των “25” το 13,7%. Επόμενος στόχος σύμφωνα με την οδηγία 2001/77/EC, που σκοπό έχει την παραπέρα προώθηση της χρήσης των ΑΠΕ, είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αυτές το 2010 να φτάσει το ποσοστό του 18% με 19% (πηγή: [www.agoraideon.gr](http://www.agoraideon.gr), 2007).

Στην Ελλάδα, η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς από ΑΠΕ υπολογίζεται σε 630 MW, εκ των οποίων τα 180 MW (ποσοστό 30%) εγκαταστάθηκαν τα τελευταία δύο χρόνια. Ο νέος νόμος για τις ΑΠΕ (3468/2006) εναρμονίζει πλήρως την εθνική νομοθεσία με το κοινοτικό δίκαιο και αναμένεται να δώσει ώθηση στην επέκτασή τους μέσω του νέου συστήματος αδειοδότησης και των αυξημένων οικονομικών κινήτρων που προβλέπονται σε αυτόν. Υπολογίζεται ότι η συνολική ισχύς από τα συστήματα ΑΠΕ που αναμένεται να εγκατασταθεί στην Ελλάδα με ευρωπαϊκή χρηματοδότηση ανέρχεται σε 543,85 MW (τα 512 MW για ηλεκτροδότηση). Από αυτά τα 452,10 MW θα αφορούν έργα

αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, τα 79,60 MW μικρά υδροηλεκτρικά έργα και τα 2,47 MW φωτοβολταϊκά συστήματα. (πηγή: [www.agoraideon.gr](http://www.agoraideon.gr), 2007).

Στο διάγραμμα 1.1, φαίνεται η κατανομή των Α.Π.Ε. για την παραγωγή ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα (2003). Το 50% της παραγόμενης ενέργειας προέρχεται από βιογενή καύσιμα<sup>(1)</sup> που προορίζονται για θέρμανση, ενώ ακολουθεί η υδροηλεκτρική ενέργεια και η αιολική ενέργεια.



Διάγραμμα 1.1: Κατανομή της χρήσης των διαφόρων ειδών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Συνολική ενέργεια: 113,8 TWh (2003) (πηγή: [www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)).

#### 1.4. Γεωθερμική ενέργεια

Η γενική έννοια του όρου “γεωθερμία ή γεωθερμική ενέργεια” χρησιμοποιείται για να γίνει αναφορά στη θερμότητα ή τη θερμική ενέργεια που βρίσκεται στο εσωτερικό της γης. Ο ίδιος όρος σήμερα χρησιμοποιείται και πιο συγκεκριμένα για να δηλώσει εκείνο το τμήμα της γήινης θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο.

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με τη θερμοκρασία της πηγής. Ο πρώτος αναφέρεται στην παραγωγή ηλεκτρισμού ( $150^{\circ}\text{C}$  -  $350^{\circ}\text{C}$ ) και ο δεύτερος στην παραγωγή θερμότητας ( $150^{\circ}\text{C}$  -  $5^{\circ}\text{C}$ ). Κάθε ένας από τους δύο αυτούς τρόπους διαφοροποιείται από ξεχωριστές τεχνολογίες και εφαρμογές.

(1): **βιογενές καύσιμο** ονομάζεται ένα αέριο, υγρό ή στερεό καύσιμο του οποίου το ενεργειακό περιεχόμενο έχει προέλθει από μια βιολογική πηγή. Παράδειγμα βιογενούς καυσίμου αποτελούν οι σπόροι ελαιοκράμβης (*rapeseed oil*), οι οποίοι σαν καύσιμο μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη θέση του *diesel* σε τροποποιημένους κινητήρες. Ο μεθυλικός εστέρας (*methyl ester*) της ελαιοκράμβης (*rapeseed methyl ester (RME)*), μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μη-τροποποιημένους κινητήρες *diesel* και είναι γνωστός και ως βιοντίζελ (*biodiesel*).

**Βιοκαύσιμα** ονομάζονται τα στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα που προέρχονται από τη βιομάζα, το βιοδιασπώμενο δηλαδή κλάσμα προϊόντων ή αποβλήτων διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Η παραγωγή θερμότητας με χρήση γεωθερμικής ενέργειας μπορεί επίσης να επιτευχθεί με δύο τρόπους ανάλογα και πάλι με τη θερμοκρασία της πηγής. Ο πρώτος αναφέρεται στην άμεση εκμετάλλευση υπόγειων υδροφορέων των οποίων οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 30 °C και 150 °C (εφαρμογές μέσων και χαμηλών θερμοκρασιών). Ο δεύτερος τρόπος χρησιμοποιεί εφαρμογές πολύ χαμηλής ενθαλπίας (αβαθής γεωθερμία), με αξιοποίηση των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (Geothermal Heat Pumps). Για τη λειτουργία των τελευταίων συστημάτων χρησιμοποιούνται ρηχοί υδροφορείς ή εδάφη και υπόγεια πετρώματα με θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 5°C και 30°C. Αυτό σημαίνει ότι για τη λειτουργία των ΓΑΘ δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου στην περιοχή αλλά αρκεί μόνο η εδαφική θερμοκρασία.

Στην Ευρώπη η αβαθής γεωθερμία υποστηρίζει και την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας με έμμεσο σκοπό τη θέρμανση. Με τον τρόπο αυτό το καλοκαίρι η ηλιακή ακτινοβολία αποθηκεύεται λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης και το χειμώνα αποδίδεται στα συστήματα αξιοποίησης της εδαφικής θερμότητας. Οι εφαρμογές πολύ χαμηλής ενθαλπίας, χρησιμοποιώντας και διάφορες άλλες τεχνικές, προσφέρουν πολλές ακόμα ευκαιρίες για θερμική αποθήκευση ενέργειας μακράς διάρκειας. (πηγή: [www.geoexchange.org/](http://www.geoexchange.org/), 2007)

#### **1.4.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία**

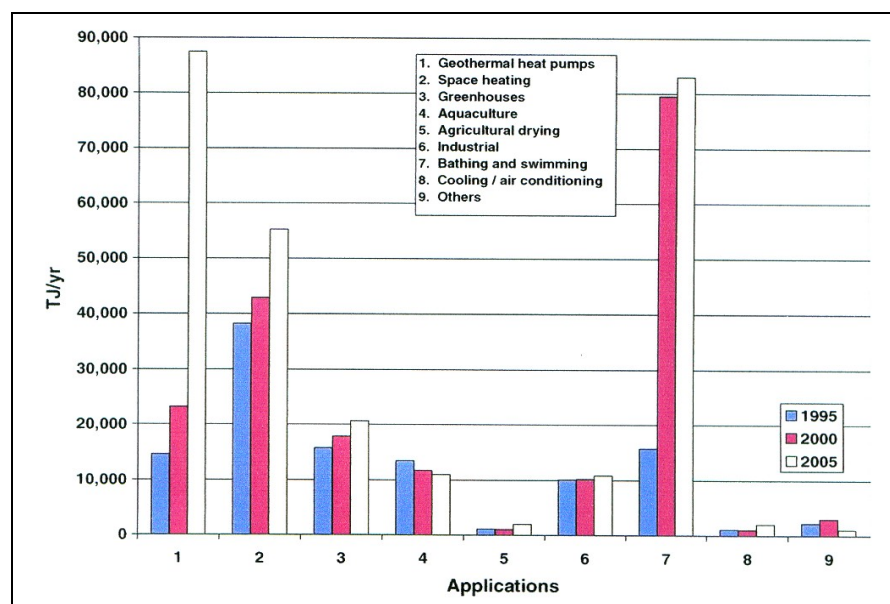
Η κύρια εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας υψηλής ενθαλπίας, είναι η παραγωγή ηλεκτρισμού. Σήμερα η γεωθερμική ενέργεια ικανοποιεί το σύνολο των αναγκών σε ηλεκτρισμό περίπου 60 εκατομμυρίων ανθρώπων σε τουλάχιστον 72 χώρες του κόσμου και σε όλες τις ηπείρους.

Σύμφωνα με Ευρωπαϊκά δεδομένα, η εγκαταστημένη παγκόσμια ισχύς για τα γεωθερμικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρισμού έφθανε τα 8.910,6 MW<sub>(e)</sub> το 2004, εκ των οποίων η συνολική παραγωγή κινητήριας δύναμης ήταν 8.011,6 MW<sub>(e)</sub>. Η αντίστοιχη τιμή της εγκαταστημένης παγκόσμιας ισχύς το 2000 ήταν 7.972,7 MW<sub>(e)</sub>.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση την ίδια εποχή (2004) η γεωθερμική εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς ανερχόταν σε περίπου 822,1 MW<sub>(e)</sub> (9% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος). Οι συσσωρευμένες και κοινοποιημένες προσπάθειες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον τομέα αυτό, σκοπό έχουν η παραγωγή ηλεκτρισμού με χρήση γεωθερμικής ενέργειας να φθάσει τα 988 MWt περίπου μέχρι το 2010. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

#### 1.4.2. Παραγωγή θερμότητας από γεωθερμία και αξιοποίηση των ΓΑΘ

Η παγκόσμια συνολικά εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς για απευθείας χρήση της γεωθερμικής ενέργειας το Μάιο του 2005 ήταν 28.268 MWt. Η ισχύς αυτή έχει σχεδόν διπλασιαστεί από την τιμή της εγκατεστημένης ισχύος το 2000 και ο ετήσιος ρυθμός αύξησής αυτής είναι 13,3% στην παραπάνω πενταετία. Η συνολική ετήσια απευθείας ενεργειακή χρήση της γεωθερμικής ενέργειας ήταν 273.372 TJ το 2005 σημειώνοντας αύξηση κατά 43% από τις αντίστοιχες τιμές του 2000 και έχοντας ετήσιος ρυθμό ανάπτυξης 7,5% περίπου. Συγκρινόμενη με το 1995, η εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς του 2005, έχει αυξηθεί κατά 12,6 % ετησίως και η γεωθερμική χρήση κατά 9,3% ετησίως. (πηγή: Direct application of geothermal energy, Worldwide review, 2005 )



Διάγραμμα 1.2: Σύγκριση της γεωθερμικής παγκόσμιας χρήσης για άμεσες εφαρμογές σε TJ/year για το 1995, το 2000 και το 2005. (J.W. Lund et al./ Geothermics 34 (2005))

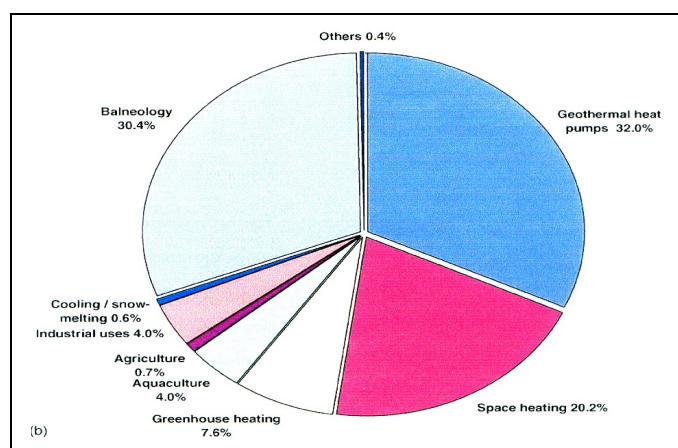


Στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 25 μελών στο τέλος του 2004 η γεωθερμική ισχύς για παραγωγή θερμότητας αντιστοιχούσε σε 6.589,8 MW<sub>(th)</sub>. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Στο διάγραμμα 1.2 φαίνεται η κατανομή των διάφορων χρήσεων των άμεσων γεωθερμικών εφαρμογών τη δεκαετία 1995 - 2005. Είναι φανερό η τεράστια αύξηση στη χρήση των συστημάτων ΓΑΘ, οι ποίες κατείχαν την πρώτη θέση μεταξύ των εφαρμογών το 2005 και ο ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης αυτών για το ίδιο έτος ήταν 30,3% συγκρινόμενος με το 2000 και 19,6% συγκρινόμενος με το 1995. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Στο διάγραμμα 1.3 φαίνεται για το 2005 η παγκόσμια κατανομή της γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή θερμότητας:

- Το 32% χρησιμοποιείται για εφαρμογές ΓΑΘ
- Το 30,4% αξιοποιείται από λουτρά και εγκαταστάσεις κολύμβησης
- Το 20,2% αξιοποιείται για θέρμανση χώρων
- Το 7,6% αξιοποιείται από θερμοκήπια και υπαίθριες καλλιέργειες
- Το 4% αξιοποιείται από υδατοκαλλιέργειες σε λίμνες (aquaculture pond) και θέρμανση σε κανάλια νερού (raceway heating)



Διάγραμμα 1.3: Άμεσες εφαρμογές της γεωθερμίας σε παγκόσμια κλίμακα το 2005, κατανομημένες ως ποσοστό % της συνολικά χρησιμοποιούμενης ενέργειας. (J.W. Lund et al./ *Geothermics* 34 (2005))

- Το 4% αξιοποιείται από βιομηχανίες για διαδικασίες παραγωγής που απαιτούν θέρμανση

- Ποσοστά μικρότερα από 1% αξιοποιούνται για ξήρανση γεωργικών προϊόντων (agriculture drying), λιώσιμο πάγου και ψύξη (cooling)
- Τέλος ποσοστό μικρότερο του 0,5% αξιοποιείται για διάφορες άλλες χρήσεις (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Ένας έλεγχος των δεδομένων σχετικά με την έκταση ή τον πληθυσμό της χώρας που χρησιμοποιεί τη γεωθερμία, δείχνει ότι κυριαρχούν οι μικρότερες χώρες. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη στη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας την τελευταία επταετία αφορά στη Νορβηγία, τη Δανία, τη Χιλή, την Ολλανδία και την Πορτογαλία, κυρίως λόγω της αύξησης στη χρήση των ΓΑΘ.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, η ισχύς των γεωθερμικών εφαρμογών για χρήσεις χαμηλής και μέσης ενθαλπίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση αναμένεται να παρουσιάσει αύξηση 50 MW<sub>(th)</sub> για κάθε χρόνο μέχρι το 2010. Το γεγονός αυτό αναμένεται να ανεβάσει την εγκατεστημένη ισχύ μέσης και χαμηλής ενθαλπίας μέχρι και 2.360 MW<sub>(th)</sub>. (πηγή: EurObserv'ER 2005)

Οι προσδοκίες για τη γεωθερμική ενέργεια πολύ χαμηλής ενθαλπίας (αγορά ΓΑΘ) είναι ακόμα πιο ευνοϊκές. Με την προϋπόθεση ότι οι ρυθμοί ανάπτυξης της τεχνολογίας θα παραμείνουν ως έχουν, η εγκατεστημένη ισχύς αναμένεται να φτάσει τα 8.000 MW<sub>(th)</sub> το 2010. Στόχος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μεταξύ άλλων, είναι η λειτουργία 250.000 επιπλέον αντλιών θερμότητας μέχρι το τέλος του 2008. (πηγή: EurObserv'ER 2005)

Λόγο της σπουδαιότητας και της ανάπτυξης που παρουσιάζουν τα συστήματα των ΓΑΘ μεταξύ των θερμικών εφαρμογών της γεωθερμικής ενέργειας, ακολουθεί μία ιδιαίτερη αναφορά στην κατάσταση που ισχύει σήμερα γι' αυτές στην Ευρώπη και στον κόσμο.

### **1.5. Η χρήση των Γεωθερμικών αντλιών θερμότητας παγκοσμίως**

Οι ΓΑΘ όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελούν την πιο διαδεδομένη τεχνολογία μη-ηλεκτρικής χρήσης της γεωθερμίας που αντιστοιχεί στο 54,4% (15.384 MW<sub>(th)</sub>) της παγκόσμιας εγκατεστημένης γεωθερμικής ισχύος το 2005. Η ετήσια ενεργειακή χρήση των ΓΑΘ αντιστοιχεί σε 87.503 TJ. Η ίδια τεχνολογία το 2000 αποτελούσε και πάλι την πιο διαδεδομένη μορφή

αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας με ποσοστό που έφθανε το 12% και συνολικά εγκατεστημένη θερμική ικανότητα 6.875 MW<sub>(th)</sub> (πίνακας 1.1). Την ίδια χρονιά, η παγκόσμια ετήσια ενεργειακή χρήση ήταν περίπου 23.287 TJ/έτος (22.088 δισεκατομμύρια btu/έτος) (πίνακας 1.3). (πηγή: World Energy Council, 2007 και World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 2005).

Πίνακας 1.1: Δυναμικότητα και χρήση των ΓΑΘ κατά τη δεκαετία 1995-2005.  
(J.W. Lund et al. / Geothermics 34 (2005))

Σύνοψη δεδομένων για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας την περίοδο 1995-2005		
Έτος	Δυναμικότητα (capacity) (MW <sub>(th)</sub> )	Αξιοποίηση (utilization) (TJ)
1995	1.854	14.617
2000	6.875	23.275
2004	15.380	67.497
2005	15.384	87.503

Από τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται ότι η εγκατάσταση και χρήση των ΓΑΘ παρουσίασε μεγάλη ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία με σχεδόν 10% αύξηση κάθε χρόνο. Οι εγκαταστάσεις στη συντριπτική τους πλειοψηφία συναντώνται στην Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη. Ο αριθμός των χωρών που χρησιμοποιούν τα συστήματα ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος αλλά και τις αντλίες επιφανειακού ή υπόγειου νερού (ground-water), έχουν αυξηθεί από 27 το 2000 (πίνακας 1.2) σε 33 το 2005.

Οι ανεξάρτητες μονάδες των ΓΑΘ κυμαίνονται από μικρές εφαρμογές των 5,5 kW<sub>(th)</sub> για οικιακή χρήση, μέχρι και μεγαλύτερες μονάδες πάνω από 150 kW<sub>(th)</sub> (Γερμανία και Ηνωμένες Πολιτείες), για εμπορικές εγκαταστάσεις, διοικητικά κτίρια και ινστιτούτα. Ο αριθμός των εγκατεστημένων μονάδων με ισχύ 12 kW (συνηθισμένα σπίτια σε ΗΠΑ και δυτική Ευρώπη) ήταν περίπου 1,3 εκατ. το 2005 και βρίσκεται πάνω από το διπλάσιο των αντίστοιχων μονάδων που αναφέρθηκαν το 2000.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες οι περισσότερες μονάδες (εκτός από τις βορειότερες πολιτείες) είναι σχεδιασμένες για μέγιστο φορτίο ψύξης (peak cooling load) και υπερ-διαστασιολογούνται ως προς το φορτίο θέρμανσης. Στην Ευρώπη η πλειοψηφία των μονάδων σχεδιάζονται με βάση το φορτίο θέρμανσης (heating load).

Η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων το 2000 βρίσκονταν στις ΗΠΑ (4.800

MW<sub>(th)</sub>), την Ελβετία (500 MW<sub>(th)</sub>), τη Σουηδία (377 MW<sub>(th)</sub>), τον Καναδά (360 MW<sub>(th)</sub>), τη Γερμανία (344 MW<sub>(th)</sub>) και την Αυστρία (228 MW<sub>(th)</sub>) Πίνακας 1.2. (πηγή: Lund, 2001).

Πίνακας 1.2: Εγκαταστάσεις Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας, ανά τον κόσμο (2000).  
(Πηγή: EurObserv'ER world geothermal congress 2005)

Χώρα	MWth	TJ/έτος	GW <sub>(th)</sub> /έτος	Οικιακές Μονάδες (12kW)
Αυστραλία	24	57,6	16,0	2.000
Αυστρία	228	1.094	303,9	19.000
Βουλγαρία	13,3	162	45,0	1.108
Γαλλία	48	255	70,8	4.000
Γερμανία	344	1.149	319,2	28.667
Δανία	3	20,8	5,8	250
Ελβετία	500	1.980	550,0	41.667
Ελλάδα	0,4	3,1	0,9	33
ΗΠΑ	4.800	12.000	3.333,6	400.000
Ην. Βασίλειο	0,6	2,7	0,8	53
Ιαπωνία	3,9	64	17,8	323
Ισλανδία	4	20	5,6	333
Ιταλία	1,2	6,4	1,8	100
Καναδάς	360	891	247,5	30.000
Λιθουανία	21	598,8	166,3	1.750
Νορβηγία	6	31,9	8,9	500
Ολλανδία	10,8	57,4	15,9	900
Ουγγαρία	3,8	20,2	5,6	317
Πολωνία	26,2	108,3	30,1	2.183
Ρωσία	1,2	11,5	3,2	100
Σερβία	6	40	11,1	500
Σλοβακία	1,4	12,1	3,4	117
Σλοβενία	2,6	46,8	13,0	217
Σουηδία	377	4.128	1.146,8	31.417
Τουρκία	0,5	4,0	1,1	43
Τσεχία	8,0	38,2	10,6	663
Φιλανδία	80,5	48,4	134,5	6.708
<b>Σύνολο</b>	<b>6.875,4</b>	<b>23.286,9</b>	<b>6.453,1</b>	<b>572.949</b>

Οι χώρες με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ και ετήσια ενεργειακή χρήση το 2005, ήταν οι ΗΠΑ, η Σουηδία, η Κίνα, η Ισλανδία και η Τουρκία. Οι χώρες αυτές λογοδοτούν για το 66% περίπου της συνολικά εγκατεστημένης ισχύος και το 59% της ετήσιας ενεργειακής χρήσης.

Η Κίνα είναι η πιο σημαντική πρόσφατα εισαχθείσα χώρα στην εφαρμογή συστημάτων ΓΑΘ με σκοπό τη θέρμανση χώρων. Σύμφωνα με δεδομένα από την Κινεζική ένωση γεωθερμικής ενέργειας (Geothermal China Energy Society) το Φεβρουάριο του 2007, η θέρμανση χώρων με ΓΑΘ

επεκτάθηκε από 8 εκατ. m<sup>2</sup> το 2004 σε 20 εκατ. m<sup>2</sup> το 2006. Το γεγονός αυτό απεικονίζει την Κινεζική πολιτική που σκοπό έχει την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, όπου αυτό είναι εφικτό, με καθαρή ενέργεια. (πηγή: World Energy Council, 2007)

Η Σουηδία με την Ελβετία έχουν εγκαταστήσει πολλές χιλιάδες μονάδες για να εξασφαλίσουν τη θέρμανση κατοικιών το χειμώνα (ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης στην Ελβετία 10%), ενώ η δραστηριότητα στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά τα τελευταία 15 χρόνια, έχει ξεπεράσει το ρυθμό εγκατάστασης στην Ευρώπη. Οι εγκαταστάσεις στη Βόρεια Αμερική ξεπερνούν το μισό εκατομμύριο.

Στόχος του “Geothermal Heat Pump Consortium” στις ΗΠΑ για το 2005, ήταν η επιτυχής εγκατάσταση 400.000 μονάδων που θα εξοικονομούσαν πάνω από \$ 400.000.000 από λογαριασμούς ενέργειας το χρόνο, και θα μείωναν τις εκπομπές του άνθρακα τουλάχιστον 1.000.000 μετρικούς τόνους το χρόνο. (πηγή: [www.geoexchange.org/](http://www.geoexchange.org/), 2007)

Στα πλαίσια των παραπάνω προσπάθειών, διάφορες διατάξεις μεγάλης κλίμακας έχουν εγκατασταθεί στις Ηνωμένες Πολιτείες με σκοπό να τροφοδοτήσουν μεγαλύτερες και πιο σύνθετες κατασκευές για τις οποίες δεν είναι διαθέσιμα κατάλληλα γεωθερμικά πεδία. Οι μεγαλύτερες αξιοποιήσεις για θέρμανση και ψύξη μέχρι σήμερα, είναι οι 4.000 μονάδες που έχουν ιδρυθεί στη βάση του στρατό των Ηνωμένων Πολιτειών στη Λουϊζιάνα. Η μέγιστη ηλεκτρική απαίτηση με τον τρόπο αυτό έχει μειωθεί κατά 6.7 MW<sub>(th)</sub> συγκρινόμενη με την προηγούμενα χρησιμοποιούμενη εγκατάσταση, ενώ η εξοικονόμηση σε φυσικό αέριο ανέρχεται στα 2,6 TJa<sup>-1</sup>. (πηγή: [www.geoexchange.org/](http://www.geoexchange.org/), 2007)

## **1.6. Χρήση των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας στην Ευρώπη**

Σε αντίθεση με την παραγωγή ηλεκτρισμού και τις θερμικές εφαρμογές της γεωθερμίας οι οποίες παρουσιάζουν μικρή ανάπτυξη, η αγορά των ΓΑΘ έχει αναπτυχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια στις χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης την τριετία 1999-2002 σχεδόν τριπλασιάστηκε φθάνοντας από 1.159 MW<sub>(th)</sub> (1999) σε 3.344 MW<sub>(th)</sub> (2002). Το 2004 στην Ε.Ε. λειτουργούσαν περισσότερες από 379.000 μονάδες ΓΑΘ που ισοδυναμούσαν σε 4.531 MW<sub>(th)</sub>. Η χρησιμοποιούμενη γεωθερμική ενέργεια που αντιστοιχεί σε αυτή την εγκατεστημένη ισχύ είναι της τάξης των 0.58 Mtoe<sup>(2)</sup> (πίνακας 1.3).

(Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Πρωτοπόρος χώρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση μεταξύ αυτών που έχουν αναπτύξει την τεχνολογία των ΓΑΘ θεωρείται η Σουηδία, η οποία έχει το μεγαλύτερο αριθμό εγκατεστημένων μονάδων σε ολόκληρη την Ευρώπη και διαφέρει κατά πολύ από τις υπόλοιπες χώρες.

Η τεχνική των ΓΑΘ στη χώρα αυτή κέρδισε έδαφος από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 και το 1985 είχαν ήδη εγκατασταθεί 50.000 μονάδες. Το 2003 ο αριθμός των εγκατεστημένων μονάδων έφτανε τις 146.172, και το 2004 τις 185.531, με συνολικά εγκατεστημένη ισχύ 1.700 MW<sub>(th)</sub> (Πίνακας 1.3). Μόνο το 2004, 40.000 μονάδες ΓΑΘ εγκαταστάθηκαν στη Σουηδία ενώ το 2005 βρίσκονταν σε λειτουργία περίπου 250.000 οικιακές μονάδες.

Στη χώρα αυτή οι ΓΑΘ αποτελούν τον πιο δημοφιλή τρόπο θέρμανσης για μικρές κατοικίες με την ισχύ κάθε μονάδας να είναι κατά μέσο όρο 12 kW<sub>(th)</sub>. Υπάρχουν ακόμα πολυάριθμα περιφερειακά δίκτυα θέρμανσης που συνολικά εκτιμώνται στις 600 μονάδες περίπου. Υπολογίζεται ότι οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν ένα μέσο μέγεθος μονάδας 900 kW<sub>(th)</sub>. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Στη Γερμανία, ο αριθμός των εγκατεστημένων ΓΑΘ αυξήθηκε από 19.000 σε 48.662 κατά την εξαετία 1998-2004 με συνολικά εγκατεστημένη ισχύς 632,6 MW<sub>(th)</sub> το 2004 (Πίνακας 1.3). Το 2005 ο συνολικός αριθμός των αποκεντρωμένων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας μεσαίου και μικρού μεγέθους εκτιμήθηκαν περί τις 30.000 μονάδες με συνολική παραγωγή 400 MW<sub>(th)</sub>. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

(2): 1 toe = 1 ΤΙΠ (Τόνος Ισοδύναμου Πετρελαίου) = Η ενέργεια που αποδίδεται από την καύση 1000 Kg πετρελαίου καθαρής θερμογόνου δύναμης 10.000 kcal/kg

Η Αυστρία που το 1998 είχε εγκαταστήσει 18.000 μονάδες και το 2003 βρισκόταν στην πέμπτη θέση της Ευρωπαϊκής κατάταξης, έφτασε τις 30.577 εγκατεστημένες μονάδες το 2004 με συνολικά εκτιμώμενη ισχύς 611,5 MW<sub>(th)</sub> (πίνακας 1.3). (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Πίνακας 1.3: Αριθμός μονάδων και εγκατεστημένη δυναμικότητα για τις ΓΑΘ στην Ευρωπαϊκή Ένωση τα έτη 2003 και 2004. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

<b>Χώρα</b>	<b>2003</b>		<b>2004</b>	
	Αριθμός	Παραγωγική ικανότητα (MW <sub>th</sub> )	Αριθμός	Παραγωγική ικανότητα (MW <sub>th</sub> )
Σουηδία	146.172	1.334	185.531	1.700
Γερμανία	39.069	507,9	48.662	632,6
Αυστρία	26.373	527,5	30.577	611,5
Γαλλία	38.250	420,8	49.950	549,5
Φινλανδία	27.100	271	30.000	300
Ολλανδία	1.600	253,5	1.600	253,5
Ιταλία	6.000	120	6.000	120
Πολωνία	8.000	103,6	8.000	103,6
Δανία	6.700	80,4	6.700	80,4
Βέλγιο	5.000	60	5.000	60
Τσεχία	2.100	36	2.700	47
Ιρλανδία	1.500	19,6	1.500	19,6
Εσθονία	1.035	10,7	1.475	15,6
Λιθουανία	4	13,6	4	13,6
Ην. Βασίλεια	550	10,2	550	10,2
<u>Ελλάδα</u>	<u>319</u>	<u>4</u>	<u>319</u>	<u>4</u>
Ουγγαρία	400	4	400	4
Σλοβενία	172	3,8	204	3,9
Σλοβακία	8	1,4	10	1,6
Πορτογαλία	1	0,2	1	0,2
<b>Σύνολο</b>	<b>310.353</b>	<b>3.782</b>	<b>379.183</b>	<b>4.531</b>
Ελβετία	28.620	572,4	33.000	660

Ακολουθεί η Γαλλία η οποία την τριετία 1999-2002, εγκατέστησε 36.500 μονάδες και έχει ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης για τις ΓΑΘ περίπου 30%. Το 2004, η χώρα αυτή είχε 49.950 εγκατεστημένες μονάδες και ισχύ που έφθανε τα 549,5 MW<sub>(th)</sub> (πίνακας 1.3).

Η ραγδαία αύξηση των εφαρμογών ΓΑΘ τα τελευταία χρόνια στη Γαλλία, οφείλεται στην προώθηση αυτών τόσο από το δημόσιο όσο και από τον ιδιωτικό τομέα. Στόχος για το 2010 είναι να λειτουργούν με ΓΑΘ το 20% των νέων μονοκατοικιών ή περίπου 40.000 καινούριες μονάδες κάθε χρόνο. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Στη Φινλανδία μέχρι το 2000 υπήρχαν 10.000 μονάδες γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και το 70% αυτών βρισκόταν σε οριζόντια διάταξη. Η

παραγωγή έφτανε τα 484 TJ/έτος με εγκατεστημένη ισχύ 80,5 MW<sub>(th)</sub>. Τα τελευταία 5 χρόνια οι πωλήσεις των αντλιών θερμότητας έχουν αυξηθεί ετησίως από 50 - 100% και το 2004 η εκτίμηση για τον αριθμό των εγκατεστημένων γεωθερμικών μονάδων ήταν 30.000 με συνολική ισχύ 300 MW<sub>(th)</sub> (πίνακας 1.3). Υπολογίζεται ότι για το 2005 λειτούργησαν περίπου 40.000 μονάδες. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Στην Ολλανδία το 2003 υπήρχαν περίπου 1.600 μονάδες συστημάτων ΓΑΘ σε λειτουργία, με εγκατεστημένη ισχύ 253,5 MWt δίνοντας 685 TJ/year (πίνακας 1.3). Οι γεωθερμικές εγκαταστάσεις της κλίμακας των 3,5 MW<sub>(th)</sub> και 12 MW<sub>(th)</sub> λειτουργούσαν για να ικανοποιήσουν τις κύριες απαιτήσεις των ισοδύναμων 500 - 2.000 κατοικιών. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Στην Τσεχία έχουν εγκατασταθεί περισσότερες από 2.700 ΓΑΘ και η ισχύς κάθε μονάδας είναι περίπου 20 kW<sub>(th)</sub>. Η συνολική ισχύς από τις αντλίες θερμότητας το 2004 ήταν 47 MW<sub>(th)</sub> (πίνακας 1.3). (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Στην Αγγλία τέλος, αν και δεν υπάρχουν γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας, το ενδιαφέρον για τη χρήση των ΓΑΘ σε ανοικτά και κλειστά κυκλώματα είναι συνεχώς αυξανόμενο με σκοπό την παροχή θέρμανσης ψύξης και ζεστού νερού χρήσης σε κατοικίες και υπηρεσίες. Το 2004 υπήρχαν περίπου 550 εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ισχύ 10,2 MW<sub>(th)</sub> και ετήσια ενεργειακή χρήση 45,6 TJ/έτος.

### **1.7. Κατάσταση στην Ελλάδα, προοπτικές και κόστος επενδύσεων**

Στην Ελλάδα η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας αντιστοιχεί σε ποσοστό λιγότερο από το 1% του συνολικού γεωθερμικού δυναμικού που έχει ανιχνευτεί στη χώρα. Για παραγωγή ηλεκτρισμού η εκμετάλλευση είναι μηδενική (0%) ενώ η χρήση για θερμικές εφαρμογές φθάνει τα 70 MW<sub>(th)</sub>. Οι εφαρμογές αυτές στην πλειοψηφία τους αναφέρονται σε θερμά και ιαματικά λουτρά (~50%) και σε θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών (~50%). (πηγή: www.agoraideon.gr, 2007).



Η χρήση των ΓΑΘ άρχισε να αναπτύσσεται πρόσφατα στην Ελλάδα και το 2002 περιελάμβανε λίγες πιλοτικές εφαρμογές (100-600 kW<sub>th</sub> έκαστη) συνολικής ισχύος 1,35 MW<sub>th</sub>, καθώς και 100 περίπου μικρές μονάδες (10-20 kW<sub>th</sub> έκαστη) για θέρμανση-ψύξη κατοικιών. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Το 2003 ο αριθμός των εγκατεστημένων μονάδων ΓΑΘ αυξήθηκε σε 319 με συνολική ισχύς 4 MW<sub>th</sub>, ενώ το 2004 δεν καταγράφηκε καμία επιπλέον δραστηριότητα που να διαφοροποιεί τις προηγούμενες τιμές (πίνακας 1.1).

Η αγορά των ΓΑΘ από το 2004 και μετά παρουσιάζει ιδιαίτερη άνθηση με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης μεγαλύτερο από 60%. Σήμερα εκτιμάται ότι η τεχνολογία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί σε εκατοντάδες κτίρια (κατοικίες, γραφεία, ξενοδοχεία, κ.λπ.) τα οποία την χρησιμοποιούν για θέρμανση και ψύξη χώρων αλλά και για παροχή ζεστού νερού χρήσης. Τα επόμενα χρόνια αναμένεται παραπέρα ανάπτυξη της τεχνολογίας με ακόμα μεγαλύτερους ρυθμούς λόγω και των υψηλών τιμών στο πετρέλαιο θέρμανσης. (Πηγή: EurObserv'ER, 2005)

Κάποιες ενδεικτικές εφαρμογές των συστημάτων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στην Ελλάδα, αποτελούν το κτίριο Μηχανικών Μεταλλείων στο ΕΜΠ στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, το Δημαρχείο Πυλαίας στη Θεσσαλονίκη, το Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου στα Λεγραινά Αττικής, τα Νέα Γραφεία του ΚΑΠΕ στο Πικέρμι Αττικής, καθώς και πολλές ιδιωτικές μονοκατοικίες που θερμαίνονται και ψύχονται με τον οικονομικά συμφέρον αυτό τρόπο.

Το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος ΓΑΘ στην Ελλάδα το 2005, ανερχόταν σε 500 - 1.000 €/kW<sub>(th)</sub> για μονάδες τροφοδοτούμενες από υπόγεια ή επιφανειακά νερά και σε 1.000-1.500 €/kW<sub>(th)</sub> για μονάδες συνδυαζόμενες με κλειστούς εναλλάκτες θερμότητας εδάφους. Το κόστος ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας (θερμότητα και ψύξη) την ίδια χρονιά κυμαινόταν από 0,015 €/kW<sub>(th)</sub> για συστήματα που συνδυάζονται με υδρογεώτρηση και τιμολόγηση του ηλεκτρικού ρεύματος σύμφωνα με το εμπορικό τιμολόγιο της ΔΕΗ, μέχρι και 0,028 €/kW<sub>(th)</sub> για συστήματα συνδυαζόμενα με εναλλάκτες θερμότητας εδάφους και χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ. Λαμβάνοντας υπόψη τις αποσβέσεις των κεφαλαίων και

το κόστος χρήματος (τοκοχρεολύσιο 5% για 20έτη), η δαπάνη ανά μονάδα παρεχόμενης ενέργειας των ΓΑΘ ποικίλει από 0,038 €/kW<sub>(th)</sub> για συστήματα συνδυαζόμενα με υδρογεώτρηση, μέχρι 0,048 €/kW<sub>(th)</sub> για συστήματα συνδυαζόμενα με εναλλάκτες θερμότητας εδάφους. (πηγή: [www.agoraideon.gr](http://www.agoraideon.gr), 2007).

Στη Ελλάδα τέλος, οι προοπτικές για την περαιτέρω ανάπτυξης των εφαρμογών γεωθερμικής ενέργειας είναι μεγάλες, ειδικά για τα συστήματα θέρμανσης-ψύξης κτιρίων με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Έτσι, με τη βοήθεια άμεσων επενδύσεων το αξιοποιημένο γεωθερμικό δυναμικό μπορεί να αυξηθεί σημαντικά και η μηδενική μέχρι σήμερα παραγωγή ηλεκτρισμού να φθάσει τα εγκατεστημένα 10 MW<sub>(e)</sub> τουλάχιστον, ενώ το σύνολο των θερμικών εφαρμογών τα 100 MW<sub>(th)</sub> από 70 MW<sub>(th)</sub> που είναι σήμερα. Οι εφαρμογές των αντλιών θερμότητας έχουν μία πολύ καλή πορεία και είναι σε θέση να τετραπλασιάσουν τη σημερινή τιμή τους (5 MW<sub>(th)</sub>) φθάνοντας τα 20 MW<sub>(th)</sub>.

Αν οι παραπάνω επενδύσεις πραγματοποιηθούν, από τη λειτουργία των γεωθερμικών αυτών εφαρμογών θα επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας που θα αντιστοιχεί σε 100.000 Τόνους Ισοδυνάμου Πετρελαίου (Τ.Ι.Π.) ετησίως, με παράλληλη μείωση των ποσοτήτων του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κατά 320.000 τόνων ετησίως. (πηγή: [www.agoraideon.gr](http://www.agoraideon.gr), 2007).

## **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>**

### **ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (GEOTHERMAL HEAT PUMPS)**

#### **2.1. Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά γίνεται μία λεπτομερής αναφορά στην τεχνολογία των ΓΑΘ ως τεχνική εκμετάλλευσης της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας για κτιριακή θέρμανση, ψύξη και παροχή ζεστού νερού χρήσης. Ακολουθεί μία αναφορά στον τρόπο λειτουργία των ΓΑΘ, τα είδη των συστημάτων τους και τον τρόπο που αυτά μπορούν να διαταχθούν. Γίνεται επίσης λόγος για τα τμήματα που χωρίζεται ένα τέτοιο σύστημα αλλά και πως αυτό λειτουργεί στην περίπτωση της θέρμανσης και πως της ψύξης του κτιρίου. Τέλος αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου αλλά και τα κριτήρια επιλογής του καταλληλότερου συστήματος ΓΑΘ.

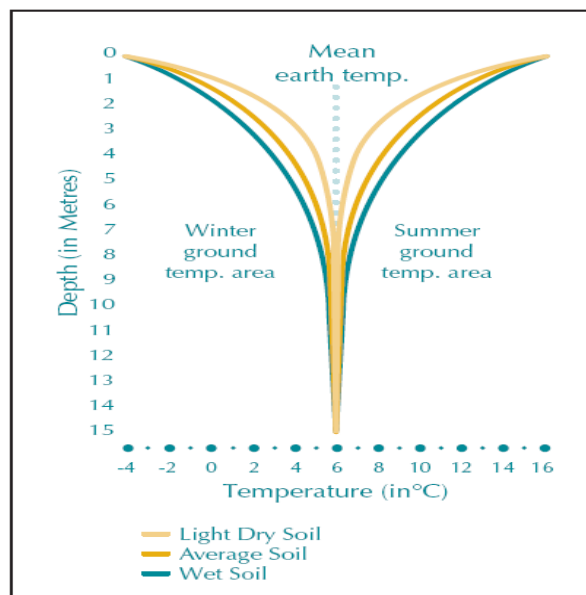
#### **2.2. Γενικά για τις Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας**

Μια από τις πλέον ενδιαφέρουσες και οικονομικά αποδοτικές εφαρμογές για την αξιοποίηση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας είναι ο “γεωθερμικός κλιματισμός” γνωστός και ως “γεωεναλλάκτες”. Οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (ΓΑΘ) που χρησιμοποιούνται στην περίπτωση αυτή είναι διατάξεις που δεν έχουν μόνο αυξημένη απόδοση, αλλά μπορούν να λειτουργήσουν και χωρίς την παρουσία νερού. Έτσι, σε αντίθεση με τα συστήματα εκμετάλλευσης της ενέργειας από συνηθισμένα γεωθερμικά πεδία, τα συστήματα των ΓΑΘ μπορούν να εφαρμοστούν σχεδόν οπουδήποτε ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή όχι γεωθερμικής ανωμαλίας στην περιοχή. (πηγή: [www.geoexchange.org/](http://www.geoexchange.org/), 2007)

Η αρχή λειτουργίας των γεωεναλλακτών είναι γνωστή εδώ και χρόνια. Ο τρόπος όμως που αυτοί λειτουργούν σήμερα είναι αποτέλεσμα πολυετών ερευνών. Στόχος τους είναι η αξιοποίηση της σχετικά σταθερής θερμοκρασίας και της θερμοχωρητικότητας σωμάτων χαμηλής θερμοκρασίας που βρίσκονται σε βάθη μέχρι και 200 m από την επιφάνεια της γης. Σκοπός τους είναι η θέρμανση, η ψύξη αλλά και η παροχή ζεστού νερού χρήσης σε κατοικίες, σχολεία, επιχειρήσεις, δημόσια και εμπορικά κτίρια, ινστιτούτα κτλ. (πηγή: [www.geoexchange.org/](http://www.geoexchange.org/), 2007)

Τα σώματα στα οποία απορρίπτουν ή από τα οποία αντλούν θερμότητα τα συστήματα γεωθερμικού κλιματισμού μπορεί να είναι ρηχοί εδαφικοί σχηματισμοί (πετρώματα), υπόγεια (ρηχοί υδροφορείς) ή επιφανειακά νερά χαμηλής θερμοκρασίας, αλλά και τεχνητές ή φυσικές λίμνες, η θάλασσα κτλ.

Η αξιοποιήσιμη ενέργεια περιλαμβάνει ποσοστό θερμότητας ηλιακής προέλευσης, θερμότητα από γειτονικές εδαφικές μάζες, καθώς και ενέργεια από το θερμικό φορτίο που μπορεί να αποβάλλεται από ένα κτίριο κατά τη θερινή περίοδο. Γενικά, το έδαφος γύρω και κάτω από ένα κτίριο, συγκεντρώνει ένα μεγάλο απόθεμα θερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας. (πηγή: [www.geoexchange.org/](http://www.geoexchange.org/), 2007)



Διάγραμμα 2.1: Τυπικές μεταβολές της εδαφικής θερμοκρασίας με το βάθος (πηγή: [www.igshpa.edu](http://www.igshpa.edu), 2007)

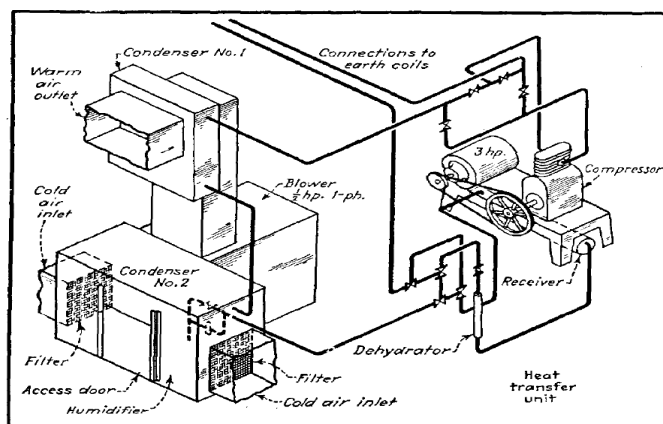
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2.1, οι θερμοκρασίες για τα πρώτα 15 m περίπου κάτω από την επιφάνεια της γης, διαφοροποιούνται με την εναλλαγή των εποχών (- 5 °C έως 20 °C). Στην Ελλάδα η θερμοκρασία αυτή κυμαίνεται στους 17 °C περίπου. Σε βάθος μεγαλύτερο των 15 m η θερμοκρασία παραμένει σταθερή, ενώ για ακόμα μεγαλύτερα βάθη οι θερμοκρασίες αυξάνονται σύμφωνα με τη γεωθερμική βαθμίδα (περίπου 30 °C ανά 100 m βάθος). (πηγή: [www.igshpa.edu](http://www.igshpa.edu), 2007)

### **2.3. Ιστορικά στοιχεία για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας**

Η ιδέα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ξεκίνησε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής τη δεκαετία του 1940 και γρήγορα διαδόθηκε και στην Ευρώπη. Ο μεγαλύτερος ρυθμός εμπορικής και επιστημονικής ανάπτυξης αυτών ωστόσο σημειώθηκε τη δεκαετία του 1980.

Η πρώτη εγκατάσταση γεωθερμικής αντλίας θερμότητας λειτούργησε στην οικία του εφευρέτη Robert C. Webber, στην Ινδιανάπολη των ΗΠΑ το 1945. Ο Webber τοποθέτησε σωλήνες χαλκού, μέσα στις οποίες έρεε αέριο φρέον, σε εδαφικές τάφρους. Το φρέον απορροφούσε την εδαφική θερμότητα και μετά από συμπύκνωση την αποδέσμευε στο κελάρι του σπιτιού. Το υπό διαστολή αέριο επέστρεφε πίσω μέσω της εδαφικής σπείρας για τη συλλογή νέου φορτίου. Στη συνέχεια η θερμότητα με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα διοχετευόταν προς το εσωτερικό του σπιτιού (σχήμα 2.1). Η εγκατάσταση αυτή τέθηκε υπό παρακολούθηση την 1<sup>η</sup> Οκτωβρίου του 1945 και η ημερομηνία αυτή καταγράφηκε στην παγκόσμια βιβλιογραφία ως ημέρα λειτουργίας του πρώτου "γεωεναλλάκτη (ground loop)".

Λίγα χρόνια αργότερα (1948-50) στη Φιλαδέλφεια των ΗΠΑ δύο εγκαταστάσεις με οριζόντιες σωληνώσεις και κύκλωμα θαλασσινού νερού μπήκαν σε πρόγραμμα παρακολούθησης και ελέγχου (Harlow & Klapper, 1952). Το 1953 μία μελέτη κατέγραψε περισσότερες από 28 πειραματικές εγκαταστάσεις γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στις ΗΠΑ.



Σχήμα 2.1: Σχηματικό διάγραμμα της αντλίας θερμότητας του Webber το 1945 (Crandall, 1946)

Το 1947 ο Kemler καταγράφοντας τους δημοφιλέστερους τρόπους αξιοποίησης της εδαφικής θερμότητας με χρήση γεωεναλλακτών, παρουσίασε όλες σχεδόν τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα στη συγκεκριμένη τεχνολογία.

Η πρώτη γεωθερμική αντλία θερμότητας σε Καναδέζικο έδαφος αναφέρεται από τον Hooper σε βιβλιογραφία το 1952. Η αντλία είχε εγκατασταθεί σε ένα πειραματικό σπίτι του πανεπιστημίου του Τορόντο και βρισκόταν υπό παρακολούθηση μέχρι τον Οκτώβριο του 1949.

Το θεωρητικό υπόβαθρο για την αξιοποίηση της γήινης θερμότητας έχει συνδεθεί με το όνομα του L.R. Ingersoll από το πανεπιστήμιο του Wisconsin στο Madison. Ο Ingersoll και οι συνεργάτες του εφάρμοσαν μαθηματικές μεθόδους για να περιγράψουν τη μεταφορά θερμότητας στο έδαφος για τη νέα τεχνολογία των ΓΑΘ και εισήγαγαν μεθόδους για τον λεπτομερή σχεδιασμό των εγκαταστάσεων σύμφωνα με τους νόμους της φυσικής (e.g Ingersoll & Plass, 1948).

Η πρώτη μαζική παραγωγή γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σημειώθηκε στο τέλος της δεκαετίας του '50, όταν ο καθηγητής Carl Nielsen του πανεπιστημίου του Ohio (ΗΠΑ), παρουσίασε στο κοινό την πρώτη γεωθερμική αντλία θερμότητας για εφαρμογή σε κατοικίες και ο J.D. Krocke, ένας μηχανικός από το Oregon, τοποθέτησε την πρώτη γεωθερμική αντλία θερμότητας σε εμπορικό κτίριο.

Στη δεκαετία του '70, οι αντλίες θερμότητας βρέθηκαν στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος κυρίως εξαιτίας του εμπάργκο στο Αραβικό πετρέλαιο. Την ίδια δεκαετία, ο Dr. James Bose καθηγητής στο κρατικό πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα εφάρμοσε την τεχνολογία των ΓΑΘ για τη θέρμανση πισίνας σε κατοικία.

Το 1994 στις ΗΠΑ δημιουργήθηκε η κοινοπραξία “Geothermal Heat Pump Consortium” (GHPC) με σκοπό την περαιτέρω αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας και την ανάπτυξη μιας γρήγορα εξελισσόμενης βιομηχανικής υποδομής για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Κύριος στόχος του GHPC, ήταν η μείωση του κόστους των γεωθερμικών εναλλακτών (ground heat exchangers) και η ανάπτυξη εξελιγμένων λογισμικών σχεδιασμού.

Σήμερα 60 χρόνια μετά την πρώτη θέρμανση κατοικίας με ΓΑΘ, έχουν κατασκευαστεί νέα μοντέλα αντλιών θερμότητας και ανθεκτικότερα υλικά σωληνώσεων καθιερώνοντας έτσι τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ως μία ακόμα μεγαλύτερη σε αξιοπιστία τεχνολογία που προσφέρει αποδοτικότητα με μικρό κόστος και είναι φιλική προς το περιβάλλον. (πηγή: <http://www.ari.org/>, 2007)

#### **2.4. Κατηγορίες συστημάτων θέρμανσης / ψύξης για κτιριακές εφαρμογές**

Τα συστήματα θέρμανσης ή ψύξης κτιρίων, με βάση τον τρόπο λειτουργίας τους, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Συστήματα ανάφλεξης (combustion-based systems) και
- Συστήματα χωρίς ανάφλεξη (non-combustion systems).

Τα περισσότερα κεντρικά συστήματα παράγουν θερμότητα καίγοντας κάποιο ορυκτό ή βιολογικό καύσιμο μέσα σε λέβητες. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα λειτουργούν χωρίς ανάφλεξη και αντί να παράγουν θερμότητα μεταφέρουν την ήδη υπάρχουσα θερμότητα από μία θέση σε μία άλλη.

Στην Ελλάδα, τα περισσότερα κτίρια εξακολουθούν να καλύπτουν τις ανάγκες τους με τα συστήματα ανάφλεξης. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην εύκολη εγκατάσταση αυτών, στη μεγάλη διαθεσιμότητάς τους στην αγορά, αλλά και στην ελλιπή ενημέρωση του κοινού σχετικά με τα εναλλακτικά συστήματα κλιματισμού.

Τα συμβατικά συστήματα καύσης (συστήματα ανάφλεξης) παρουσιάζουν κάποια βασικά μειονεκτήματα τα οποία έχουν να κάνουν με το ενδεχόμενο πρόκλησης πυρκαγιάς ή έκρηξης κατά τον ανεφοδιασμό με καύσιμα, με την άνοδο των τιμών των χρησιμοποιούμενων καυσίμων, αλλά και με την εκπομπή επιβλαβών αερίων για το περιβάλλον. Επίσης, η εσφαλμένη εγκατάσταση ενός συστήματος καύσης που τοποθετείται σε ένα καλά μονωμένο κτίριο, μπορεί να επιτρέψει την σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα σε επίπεδα επικίνδυνα για την υγεία.

Τα συστήματα χωρίς ανάφλεξη περιλαμβάνουν τις αντλίες θερμότητας και τους γεωεναλλάκτες (γεωθερμικές αντλίες θερμότητας). Σχεδόν όλα τα συστήματα που μεταφέρουν θερμότητα μπορούν να αντιστραφούν παρέχοντας κεντρική ψύξη παράλληλα με τη θέρμανση, ενώ κάποιες αντλίες θερμότητας και τα περισσότερα συστήματα γεωανταλλαγής παρέχουν και ζεστό νερό χρήσης. (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

#### **2.4.1. Αντλίες θερμότητας (Heat Pumps)**

Οι αντλίες θερμότητας έχουν τη δυνατότητα να αποσπούν θερμότητα από τον αέρα, το νερό ή το έδαφος και να την αξιοποιούν ενεργειακά. Μία αντλία θερμότητας λειτουργεί σπρώχνοντας τη θερμότητα προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή που θα ακολουθούσε με φυσικό τρόπο. Έτσι, η θερμότητα μεταφέρεται από ένα χώρο χαμηλότερης θερμοκρασίας σε έναν άλλον υψηλότερης θερμοκρασίας. Η πιο γνωστή αντλία θερμότητας είναι το γνωστό σε όλους ψυγείο.

Οι αντλίες θερμότητας με βάση την πηγή που χρησιμοποιούν διακρίνονται σε:



- αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα (Air-source Heat Pumps),
- αντλίες θερμότητας με πηγή το νερό (Water-source Heat Pumps)
- αντλίες θερμότητας με πηγή το έδαφος (Ground-source Heat Pumps) ή γεωεναλλάκτες. (πηγή: [www.geoheat.oit.edu](http://www.geoheat.oit.edu), 2007)

#### **2.4.1.1. Γεωεναλλάκτες (Geoexchange Systems) ή γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Geothermal Heat Pumps)**

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αναπτύχθηκαν για την επίλυση των προβλημάτων που απαντώνται κατά τη λειτουργία των κοινών κλιματιστικών μηχανημάτων. Τα συμβατικά κλιματιστικά μηχανήματα εναλλάσσουν θερμότητα με το περιβάλλον το οποίο δεν έχει σταθερή θερμοκρασία. Έτσι σε ακραίες καιρικές συνθήκες (παγετός ή καύσωνας), τα κλιματιστικά μηχανήματα αδυνατούν να λειτουργήσουν σωστά και παρουσιάζουν μειωμένη απόδοση.

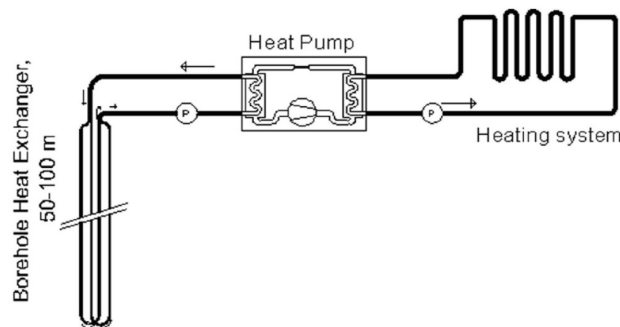
Η εναλλαγή θερμότητας με το έδαφος όμως, πάνω στην οποία βασίζεται η λειτουργία των ΓΑΘ, είναι μία αποδοτικότερη διαδικασία αφού η θερμοκρασία σε βάθη κοντά στην επιφάνεια της γης παραμένει σχεδόν σταθερή. Επιπλέον η εδαφική θερμοκρασία το χειμώνα είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, ενώ το καλοκαίρι η θερμοκρασία του εδάφους είναι χαμηλότερη από αυτή του εξωτερικού περιβάλλοντος. (πηγή: Θερμουδραυλικός (Τεχνικό περιοδικό), άρθρο των Τσιούντα & Μπαϊρακλή, 2007)

Η εξαγόμενη από το έδαφος θερμότητα αξιοποιείται αφού πρώτα αναβαθμιστεί στην επιθυμητή θερμοκρασία. Όταν το σύστημα λειτουργεί για θέρμανση κτιρίου, οι γεωεναλλάκτες παρέχουν θερμοκρασία που κυμαίνεται από 0-15 °C, ενώ όταν το σύστημα λειτουργεί για ψύξη η θερμοκρασία βρίσκεται μεταξύ 20 και 35 °C.

Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες θεωρούνται από τα πιο ασφαλή και καθαρά συστήματα που διατίθενται σήμερα στην κατηγορία τους, ενώ η ενέργεια που καταναλώνουν είναι 30 - 50% μικρότερη από την αντίστοιχη ενέργεια που καταναλώνουν οι αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα. Η αποδοτικότητα

στην λειτουργία των συστημάτων αυτών ενισχύεται και από την επιπλέον ικανότητά τους να παρέχουν και ζεστό νερό χρήσης με χαμηλό κόστος.

Το κόστος λειτουργίας των συστημάτων ΓΑΘ σε σχέση με τα συστήματα ανάφλεξης (λέβητας καύσης) για κεντρικό κλιματισμό είναι επίσης μικρότερο. Αυτό συμβαίνει επειδή η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη μεταφορά της θερμότητας (ΓΑΘ) είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με την ενέργεια που απαιτείται για τη δημιουργία αυτής (λέβητας καύσης). Έτσι οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν οικονομικότερα από τη θέρμανση με αντιστάσεις και ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες μπορούν να είναι περίπου 1,5 - 3 φορές αποδοτικότερες από αυτές. (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)



Σχήμα 2.2: Σχέδιο ενός κάθετου συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας  
(πηγή: <http://geoheat.oit.edu>, 2007)

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για θέρμανση χώρων, για ταυτόχρονη θέρμανση και ψύξη χώρων, ή μόνο για θέρμανση νερού. Δυνατός είναι και ο συνδυασμός των τριών παραπάνω, δηλαδή η θέρμανση και ψύξη ενός χώρου με παράλληλη θέρμανση του νερού χρήσης.

(πηγή: [www.geoexchange.org](http://www.geoexchange.org), 2007)

## 2.5. Συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

Ένα σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας αποτελείται από τρία μέρη, κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει ένα κύκλωμα ρευστού για τη λειτουργία του. Έτσι περιλαμβάνει:

1. Το σύστημα των υπόγειων βρόχων (ή γεωθερμικός εναλλάκτης) που τοποθετείται μέσα στη γη και εναλλάσσει τη θερμότητα με το έδαφος. Το χρησιμοποιούμενο υγρό για την εναλλαγή θερμότητας είναι το νερό.
2. Το σύστημα της αντλίας θερμότητας που τοποθετείται στο μηχανοστάσιο του κτιρίου. Πρόκειται για τους κύριους αγωγούς του συστήματος, το σύστημα άντλησης του ρευστού, αλλά και την αντλία θερμότητας για τη γεωανταλλαγή. Το χρησιμοποιούμενο υγρό εδώ είναι το φρέον.
3. Το σύστημα διανομής της θερμότητας το οποίο διοχετεύει τη θερμότητα στο κτίριο και τοποθετείται στο εσωτερικό του κτιρίου. Το χρησιμοποιούμενο υγρό και στην περίπτωση αυτή είναι το νερό.  
(πηγή: [www.geoheat.oit.edu](http://www.geoheat.oit.edu), 2007)

### **2.5.1. Σύστημα υπόγειων βρόχων**

Πρόκειται για εκείνο το τμήμα του συστήματος που αποτελείται από τους υπόγειους βρόχους (loops). Αυτοί τοποθετούνται μέσα στην πηγή (έδαφος, υδροφορέας, κλπ) από την οποία αντλούν ή στην οποία αποβάλουν θερμότητα. Η εναλλαγή της θερμότητας πραγματοποιείται με τη ροή ενός ρευστού μέσα στους βρόχους. Το ρευστό αυτό είναι συνήθως ένα μείγμα αποτελούμενο από νερό ή από νερό και κάποιο βιοδιασπώμενο αντιψυκτικό υγρό.

Οι αγωγοί κυκλοφορίας ξεκινούν από την πηγή θερμότητας ή ψυχρότητας και καταλήγουν στο υπόγειο του χώρου για τον οποίο προορίζεται η θέρμανση ή η ψύξη αντίστοιχα για να συνδεθούν με το σύστημα της αντλίας θερμότητας. Ανάλογα με την πηγή που χρησιμοποιούν οι γεωεναλλάκτες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

α) Γεωθερμικοί εναλλάκτες κλειστού βρόχου (Closed-loop systems)

β) Γεωθερμικοί εναλλάκτες ανοικτού βρόχου (Open-loop systems)

(πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

### 2.5.1.α. Γεωθερμικοί εναλλάκτες κλειστού βρόχου

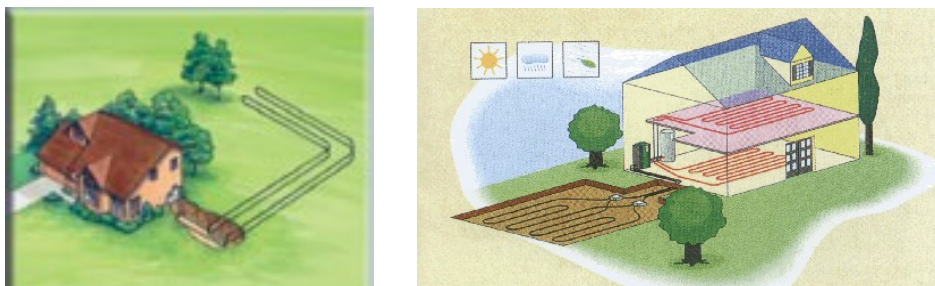
Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη κατηγορία γεωθερμικών εναλλακτών. Τα συστήματα κλειστού βρόχου παρέχουν οικονομία, αποδοτικότητα και αξιοπιστία. Αποτελούνται από υψηλής πυκνότητας, μεγάλου μήκους και μικρής διαμέτρου πλαστικούς αγωγούς πολυαιθυλενίου.

Τα συστήματα γεωθερμικών εναλλακτών κλειστού βρόχου ανάλογα με τον τρόπο διάταξης των αγωγών μέσα στην πηγή, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Το οριζόντιο σύστημα κλειστού βρόχου (horizontal closed loop system)
- Το κάθετο σύστημα κλειστού βρόχου (vertical closed loop system) και
- Το κλειστό σύστημα που τοποθετείται μέσα σε λίμνη (pond/lake closed loop system) (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

#### ➤ Το οριζόντιο σύστημα κλειστού βρόχου (horizontal closed loop system)

Ο οριζόντιος εδαφικός συλλέκτης θερμότητας (horizontal ground heat exchanger) είναι μία σχετικά οικονομική και εύκολη στην εγκατάσταση επιλογή. Αποτελείται από συνδυασμό κύριων αγωγών και επιμέρους μικρότερων σωληνώσεων εφοδιασμού και επιστροφής, σε οριζόντια τοποθέτηση μέσα σε τάφρους μικρού βάθους (σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Σχηματική παράσταση κλειστού οριζόντιου συστήματος για μικρές κατοικίες (πηγή :<http://www.geoexchange.org/>, 2007)

Το εύρος των τάφρων είναι περίπου 1 m, το βάθος τους κυμαίνεται από 1-3 m ανάλογα με το σχεδιασμό του κτιρίου και τα χαρακτηριστικά του εδάφους, ενώ το μήκος τους μπορεί να φθάσει και τα 135 m ανάλογα με τον μήκος των αγωγών που τοποθετούνται μέσα σε αυτές. Γενικά οι διαστάσεις των τάφρων επιλέγονται έτσι ώστε το κόστος της εκσκαφής να παραμένει χαμηλό, αλλά παράλληλα να εξασφαλίζεται κι ένα ασφαλές βάθος για τις εργασίες.

Το μήκος των σωληνώσεων ποικίλει και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι το απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου, οι εδαφικές συνθήκες και το κλίμα στην περιοχή, ο συνολικός σχεδιασμός του συστήματος κ.α. Όσο μεγαλύτερο είναι ένα κτίριο και όσο πιο ακραίο το κλίμα στο οποίο βρίσκεται, τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το μήκος των απαιτούμενων βρόχων. Γενικά ισχύει ότι για κάθε μονάδα δυναμικότητας του συστήματος αντιστοιχούν 150-200 m σωληνώσεων. Για παράδειγμα μία καλά μονωμένη κατοικία με εμβαδόν επιφανείας 220 m<sup>2</sup> θα χρειαζόταν περίπου 500–600 m σωληνώσεων για την κάλυψη των κλιματιστικών της απαιτήσεων. (πηγή :<http://www.geoexchange.org/>, 2007)

Γενικά οι οριζόντιοι βρόχοι θεωρούνται ιδανικοί για μικρά κτίρια και κατοικίες ειδικά σε νέες κατασκευές (σχήμα 2.3). Νεότεροι εξοπλισμοί εκσκαφής, επιτρέπουν την οριζόντια διάτρηση και καθιστούν δυνατή τη μετατροπή εγκαταστάσεων υπάρχοντων συμβατικών συστημάτων σε εγκαταστάσεις συστημάτων γεωανταλλαγής σε υπάρχουσες κατασκευές διατηρώντας ελάχιστα την επιφάνεια του εδάφους.

Το κόστος για τα συστήματα οριζόντιων βρόχων κυμαίνεται συνήθως μεταξύ του κόστους των συστημάτων κάθετων βρόχων και των συστημάτων βρόχων σε λίμνη. Επειδή η κύρια θερμική επαναφόρτιση όλων των οριζόντιων συστημάτων ενισχύεται από την ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης, είναι σημαντικό η επιφάνεια πάνω από τους εδαφικούς συλλέκτες θερμότητας να παραμένει ακάλυπτη.

Οι οριζόντιοι βρόχοι επιλέγονται σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα όταν γύρω από το κτίριο και μέσα στο οικόπεδο αυτού, υπάρχει αρκετή έκταση γης (σχεδόν διπλάσια της συνολικής έκτασης του κτιρίου ή ανάλογη του μεγέθους

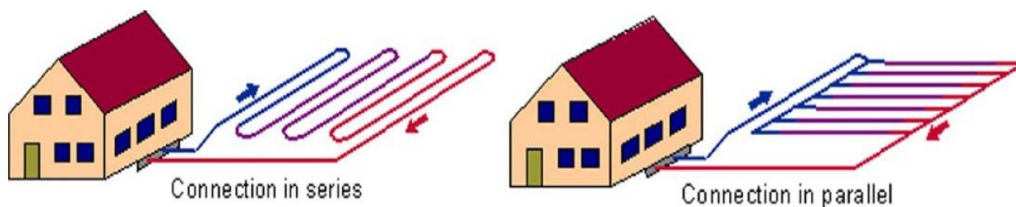
του χρησιμοποιούμενου εναλλάκτη) για την τοποθέτηση τους. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, στις οποίες ο χώρος γύρω από το κτίριο είναι περιορισμένος και το έδαφος στην περιοχή είναι σκληρό, τα συστήματα των οριζόντιων βρόχων τοποθετούνται πολύ σπάνια. (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

Η τοποθέτηση των σωληνώσεων μέσα στις τάφρους στην οριζόντια διάταξη κλειστού βρόχου, μπορεί να γίνει με διάφορες διατάξεις. Σκοπός όλων είναι η καλύτερη και οικονομικότερη λειτουργία του συστήματος με όσο το δυνατόν μικρότερο μήκος τάφρου και μείωση της απαιτούμενης επιφάνειας εγκατάστασης.

Οι διατάξεις αυτές είναι:

#### Οριζόντια διάταξη σε σειρές (connection in series)

Κύρια χαρακτηριστικά της οριζόντιας διάταξης σε σειρές είναι η χρήση σωληνώσεων μιας διαμέτρου, της οποίας το μέγεθος είναι μεγαλύτερο από το συνηθισμένο και η υψηλότερη θερμική απόδοση ανά μέτρο αγωγού. Μειονεκτήματα της διάταξης θεωρούνται ο μεγαλύτερος όγκος νερού και αντιψυκτικού που απαιτείται, αλλά και το μεγαλύτερο κόστος ανά μέτρο σωλήνωσης εξαιτίας του υλικού κατασκευής (σχήμα 2.4). (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)



Σχήμα 2.4: Σύστημα κλειστού βρόχου οριζόντιας διάταξης σε σειρά (connection in series) και σε παράλληλη διάταξη (connection in parallel) αντίστοιχα (πηγή: <http://geoheat.oit.edu>, 2007)

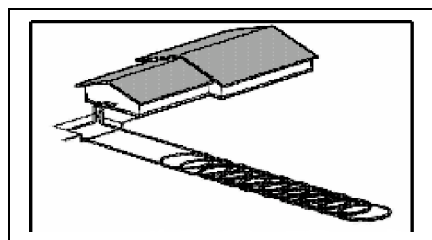
#### Οριζόντια παράλληλη διάταξη (connection in parallel)

Η οριζόντια παράλληλη διάταξη των βρόχων χαρακτηρίζεται από χαμηλότερο κόστος σωληνώσεων και μικρότερη ποσότητα αντιψυκτικού υγρού επειδή οι τοποθετούμενοι αγωγοί είναι μικρότερης διαμέτρου. Ένα μειονεκτήματα της παράλληλης διάταξης είναι ότι η ροή του ρευστού πρέπει να ισορροπεί με απόκλιση  $\pm 5\%$  σε κάθε παράλληλη πορεία (σχήμα 2.4).

Οι δύο παραπάνω διατάξεις συστημάτων κλειστών οριζόντιων βρόχων, χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία των εγκαταστάσεων στη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη. (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

### Οριζόντια σπειροειδής διάταξη

Για να ελαχιστοποιηθεί ακόμα περισσότερο το πρόβλημα των μεγάλων εκτάσεων που απαιτούνται στη οριζόντια διάταξη κλειστού βρόχου, χρησιμοποιείται η οριζόντια σπειροειδής διάταξη. Σε αυτή την περίπτωση, οι αγωγοί τυλίγονται σε σπείρες και στη συνέχεια τοποθετούνται κάθετα ή οριζόντια μέσα στις τάφρους. Κατά την οριζόντια τοποθέτηση, οι σπείρες τοποθετούνται οριζόντια στο κάτω μέρος της τάφρου (εύρους τουλάχιστον 1m), ενώ στην περίπτωση της κάθετης τοποθέτησης, το πλάτος της τάφρου θα πρέπει να είναι κατά 3–4 m μεγαλύτερο από το πλάτος του σπειροειδούς συστήματος και αρκετά βαθύ ώστε οι σπείρες να καλύπτονται πλήρως (σχήμα 2.5). (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

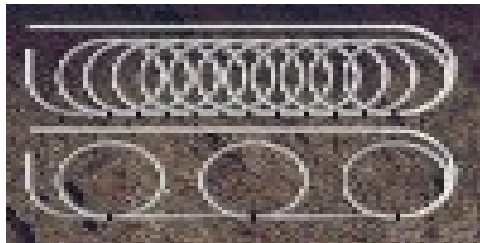


Σχήμα 2.5: Σύστημα κλειστού βρόχου κάθετης ή οριζόντιας σπειροειδούς διάταξης  
(πηγή: <http://geoheat.oit.edu>, 2007)

Το κύριο πλεονέκτημα των σπειροειδών συστημάτων είναι ότι συγκεντρώνουν την επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας σε μικρό όγκο, απαιτώντας μικρότερη έκταση γης και μικρότερες σε μήκος τάφρους. Με τον τρόπο αυτό ελαττώνεται τόσο το κόστος όσο και ο απαιτούμενος χώρος της εγκατάστασης. Έτσι η οριζόντια διάταξη γίνεται δυνατή σε περιοχές στις οποίες δεν μπορεί να εφαρμοστεί μία απλή οριζόντια διάταξη σε σειρά, ή μία παράλληλη οριζόντια διάταξη.

Τα σπειροειδή συστήματα μπορούν επίσης να τοποθετηθούν σε συμπαγή ή εκτεταμένη μορφή μέσα στις τάφρους. Ένα συμπαγές σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 0,254 m, το οποίο ισοδυναμεί με 12 m αγωγού

ανά μέτρο τάφρου. Έτσι, το απαιτούμενο μήκος της τάφρου μειώνεται κατά 2/3 περίπου. Το εκτεταμένο σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 1,42 m, που ισοδυναμεί με 4 m αγωγού ανά μέτρο τάφρου. Με αυτό τον τρόπο το απαιτούμενο μήκος της τάφρου μειώνεται κατά το 1/3 περίπου (σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Σπειροειδές σύστημα. Στο πάνω μέρος του σχήματος φαίνεται το συμπαγές σπειροειδές σύστημα και στο κάτω το εκτεταμένο σπειροειδές σύστημα (πηγή: [http:// www.alliantenergygeothermal.com/](http://www.alliantenergygeothermal.com/), 2007)

Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών τάφρων είναι 5 m περίπου για μια συμπαγή σπείρα και 3,5 m για μια εκτεταμένη. Το διάστημα αυτό μπορεί να ποικίλει και πάλι ανάλογα με τον εδαφολογικό τύπο, την περιεκτικότητα σε υγρασία, το χρόνο συνεχούς λειτουργίας της αντλίας θερμότητας και το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή. Το μειονέκτημα των σπειροειδών συστημάτων είναι ότι απαιτούν αγωγούς πολύ μεγάλου μήκους.

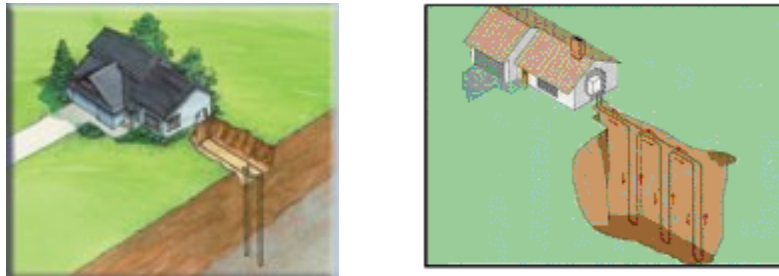
Οι σπειροειδείς μορφές είναι πιο δημοφιλείς στις ΗΠΑ και ειδικά σε κατοικίες. Συνήθως απαιτείται τάφρος μήκους σχεδόν 10 m για να εξασφαλιστεί περίπου 1kW φορτίου θέρμανσης. (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

#### ➤ **Το κάθετο σύστημα κλειστού βρόχου (Vertical closed loop system)**

Τα συστήματα κλειστού γεωεναλλάκτη μπορούν να τοποθετηθούν και κατακόρυφα μέσα στη γη. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η διάνοιξη φρεάτων μέσα στα οποία τοποθετούνται οι διατάξεις των πλαστικών αγωγών (πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο). Στη συνέχεια τα φρέατα πληρώνονται με κατάλληλο υλικό και όλοι οι κάθετοι βρόχοι συνδέονται με την οριζόντια κεντρική σωλήνωση και καταλήγουν στο κύριο σύστημα αντλιών θερμότητας που βρίσκεται στο υπόγειο του κτιρίου.



Τα κάθετα συστήματα μπορούν επίσης να τοποθετηθούν σε διάταξη σειράς ή παράλληλα, με τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όπως και στην περίπτωση του συστήματος κλειστού οριζόντιου βρόχου (σχήμα 2.7). (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)



Σχήμα 2.7: Σχηματική παράσταση κλειστού κάθετου συστήματος σε σειρά και σε παράλληλη διάταξη (πηγή: <http://www.geoexchange.org/>, 2007)

Γενικά, κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος κάθετων βρόχων λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες, όπως η διαθέσιμη έκταση για την κατασκευή του έργου, οι συνολικές απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης, οι θερμικές απώλειες του κτιρίου, οι συνθήκες διάτρησης κ.α.

Το βάθος των φρεάτων συνήθως κυμαίνεται από 25-130 m και εξαρτάται από τον τύπο του γεωλογικού σχηματισμού στον οποίο πραγματοποιείται η διάτρηση. Το πλήθος των γεωτρήσεων εξαρτάται μεταξύ άλλων και από το βάθος αυτών. Και τα δύο παραπάνω μεγέθη καθορίζονται κατά περίπτωση, ανάλογα με το εκτιμώμενο κόστος των συνολικών εργασιών στην περιοχή.

Η διάμετρος των γεωτρήσεων είναι περίπου 30 cm αλλά μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με το υλικό που συναντάται κατά τη διάνοιξη τους. Τα φρέατα τοποθετούνται σε απόσταση περίπου 5 m μεταξύ τους, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση των γειτονικών πετρωμάτων. (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

Οι κατακόρυφοι κλειστοί βρόχοι είναι ευρέως διαδεδομένοι και αποτελούν ιδανική επιλογή όταν ο διαθέσιμος χώρος για την εγκατάσταση του γεωθερμικού εναλλάκτη είναι περιορισμένος και δεν υπάρχει υπόγειος υδροφόρος στην περιοχή. Μία άλλη περίπτωση στην οποία οι κατακόρυφοι κλειστοί βρόχοι αποτελούν την καλύτερη επιλογή, είναι όταν το ανάγλυφο του εδάφους δεν επιτρέπεται να διαταραχθεί ή όταν το έδαφος είναι πολύ

βραχώδες κοντά στην επιφάνεια του εδάφους οπότε η τοποθέτηση ενός οριζόντιου συστήματος είναι πολύ ακριβή.

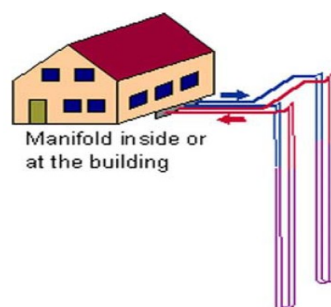
Γενικά, οι κατακόρυφες διατάξεις είναι ακριβότερες από τις οριζόντιες, λόγω του γεωτρητικού εξοπλισμού που απαιτείται για την όρυξη των φρεάτων, αλλά απαιτούν μικρότερο μήκος σωληνώσεων και έτσι έχουν μικρότερο κόστος σε ότι αφορά την ποσότητα του υλικού γεωανταλλαγής.

Συνήθως τα συστήματα κάθετων βρόχων τοποθετούνται σε έργα μεγάλων διαστάσεων, όπως για παράδειγμα σε μεγάλα εμπορικά κέντρα, σε πανεπιστήμια, σχολεία, γραφεία, κλπ. (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

Στα συστήματα κλειστών κάθετων βρόχων απαντώνται κυρίως δύο τύποι εναλλακτών θερμότητας (σχήμα 2.9):

#### Οι αγωγοί σχήματος-U (U-pipes):

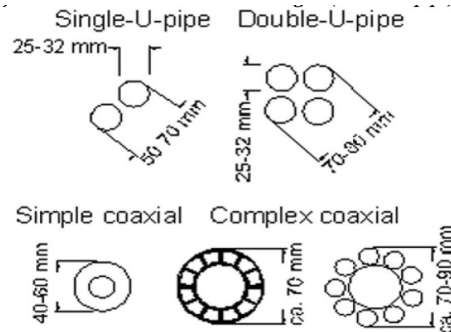
Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ένα ζεύγος ευθύγραμμων αγωγών, οι οποίοι συνδέονται στο κάτω μέρος τους με μια καμπή 180° φτιαγμένη από το ίδιο υλικό (σχήμα 2.8). Μέσα σε κάθε φρέαρ τοποθετούνται συνήθως μία, αλλά κάποιες φορές και περισσότεροι αγωγοί σχήματος-U (σχήμα 2.9). Η διάμετρος της κάθε σωλήνωσης κυμαίνεται από 25-32 mm, ενώ το πλεονέκτημα αυτών των διατάξεων είναι το χαμηλό κόστος του υλικού κατασκευής των αγωγών. Τέτοιες διατάξεις χρησιμοποιούνται κυρίως στην Ευρώπη. (πηγή: <http://geoheat.oit.edu>, 2007)



Σχήμα 2.8: Κάθετος εναλλάκτης θερμότητας με διπλή σωλήνωση σχήματος-U (double-U pipe) (πηγή: <http://geoheat.oit.edu>, 2007)

#### Οι ομοαξονικοί αγωγοί (concentric/coaxial pipes):

Οι ομοαξονικοί αγωγοί απαντώνται είτε ως μία πολύ απλή εγκατάσταση δύο ευθύγραμμων αγωγών διαφορετικής διαμέτρου, είτε σε πιο πολύπλοκους σχηματισμούς (σχήμα 2.9).



Σχήμα 2.9: Διάφοροι τύποι διατάξεων γεωθερμικών εναλλακτών σε φρέατα (πηγή: <http://geoheat.oit.edu>, 2007)

### ➤ Το κλειστό σύστημα βρόχου μέσα σε λίμνη (Pond/Lake closed loop system)

Εάν κοντά στο κτίριο που μελετάται υπάρχει μία λίμνη, αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή ανάκτησης ή απόθεσης θερμότητας, μέσω του κλειστού κυκλώματος βρόχων που μπορεί να τοποθετηθεί στον πυθμένα της.

Οι βρόχοι, που και σ' αυτή την περίπτωση συνδέονται με το κεντρικό σύστημα του κτιρίου, απλώνονται υπόγεια και φθάνουν μέχρι τη λίμνη. Οι αγωγοί τοποθετούνται σε σπειροειδή σχηματισμό στον πυθμένα της λίμνης και πληρώνονται με ρευστό (σχήμα 2.10). Το ρευστό κυκλοφορεί μέσω των σωληνώσεων στο κλειστό σύστημα όπως και στους υπόγειους βρόχους.



Σχήμα 2.10: Κλειστό σύστημα βρόχου μέσα σε λίμνη (πηγή: [www.mcquay.com](http://www.mcquay.com), 2007)

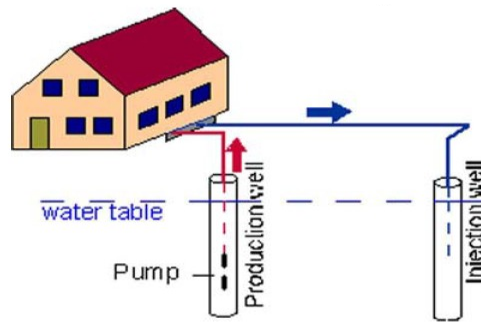
Για να μπορέσει μία λίμνη να χρησιμοποιηθεί ως πηγή θερμότητας, θα πρέπει να ικανοποιεί ορισμένα κριτήρια σε ότι αφορά στο μέγεθος και στο βάθος της. Η επιφάνεια που θα πρέπει να καλύπτει η λίμνη εξαρτάται από το θερμικό φορτίο της κατασκευής, ενώ το ελάχιστο βάθος αυτής θα πρέπει να φθάνει τα 2 m καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Το βάθος αυτό είναι απαραίτητο για να εξασφαλίζεται η επαρκής δυναμικότητα σε θερμότητα αλλά και η αποφυγή προβλημάτων στην περίπτωση που στην επιφάνεια της λίμνης σχηματιστεί πάγος.

Γενικά οι κλειστοί βρόχοι σε λίμνες είναι πιο οικονομικοί από τους οριζόντιους ή τους κάθετους βρόχους, αφού οι απαιτήσεις για εκσκαφές είναι ελάχιστες. Τέλος, η τοποθέτηση συστημάτων κλειστών βρόχων μέσα σε λίμνες και η λειτουργία αυτών χειμώνα καλοκαίρι δεν επηρεάζει αρνητικά το υδρόβιο σύστημα. (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

#### **2.5.1.β. Γεωθερμικοί εναλλάκτες ανοιχτού βρόχου (Groundwater heat pumps)**

Η πλειοψηφία των γεωθερμικών εγκαταστάσεων αφορά στα συστήματα κλειστού βρόχου αλλά όταν οι υδρογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή το επιτρέπουν, μπορούν να εγκατασταθούν και τα συστήματα ανοιχτού βρόχου. Πρόκειται για απλά συστήματα που χρησιμοποιούνται εδώ και δεκαετίες με επιτυχία, είναι πιο οικονομικά και η λειτουργία τους βασίζεται στην ίδια αρχή με τα συστήματα κλειστού βρόχου.

Στα συστήματα ανοιχτού βρόχου, το νερό που φέρει τη θερμότητα αντλείται από τον υδροφορέα, διέρχεται από την αντλία θερμότητας, η οποία απορροφά θερμότητα (η θερμοκρασία του νερού ελαττώνεται κατά 5-6 °C) και κατόπιν απορρίπτεται ξανά στον υδροφορέα με γεωτρήσεις απόρριψης (σχήμα 2.11).



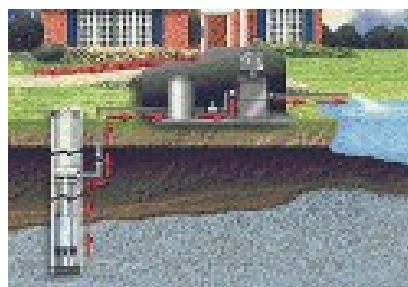
Σχήμα 2.11: Σύστημα αντλίας θερμότητας υπόγειου νερού (Groundwater heat pump). Το νερό αντλείται και επιστρέφει στον υπόγειο υδροφόρα με τις γεωτρήσεις παραγωγής (production wells) και επανέγχυσης (injection wells) αντίστοιχα (πηγή: <http://geoheat.oit.edu>, 2007)

Τα συστήματα ανοικτού βρόχου ανάλογα με την πηγή που χρησιμοποιούν μπορούν να διακριθούν σε συστήματα ανοικτού βρόχου με χρήση επιφανειακού νερού και σε συστήματα ανοικτού βρόχου με χρήση υπόγειου νερού. Έτσι, η πηγή τροφοδοσίας μπορεί να είναι:

- Κάποιος υπόγειος υδροφόρας θερμοκρασίας 10-30°C
- Επιφανειακά ύδατα (θάλασσα, λίμνες, ποτάμια, κανάλια) θερμοκρασίας 5-25°C

Όταν χρησιμοποιείται ως πηγή κάποιος υπόγειος υδροφόρας, όπως π.χ. ένα πηγάδι, αυτό πρέπει να έχει αρκετό νερό έτσι ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις παροχής. Εκτιμάται ότι η απαιτούμενη ποσότητα νερού από ένα πηγάδι για την αποτελεσματική εναλλαγή θερμότητας είναι περίπου 11 lt/min. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένα καλά μονωμένο σπίτι 280 m<sup>2</sup> απαιτεί παροχή νερού περίπου 30-57 lt/min.

Εάν οι συνθήκες το επιτρέπουν, το υπόγειο νερό μετά τη χρήση μπορεί να εναποτεθεί σε κάποιον επιφανειακό αποδέκτη και το σύστημα στην περίπτωση αυτή θεωρείται αρκετά οικονομικό (σχήμα 2.12). Σε περίπτωση χρήσης πηγαδιού επανέγχυσης (injection well), αυτό πρέπει να είναι αρκετά βαθύ, ώστε να μπορεί να δεχθεί ποσότητες νερού ίσες με αυτές της άντλησης και επιπλέον πρέπει να απέχει τουλάχιστον 30 m από το πηγάδι άντλησης (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)



Σχήμα 2.12: Χρήση και έκχυση του χρησιμοποιούμενου νερού σε τοπικό ποτάμι ή λίμνη  
(πηγή: [www.alliantenergygeothermal.com/](http://www.alliantenergygeothermal.com/), 2007)

Όταν στην περιοχή υπάρχει κάποια επιφανειακή λίμνη, αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή άντλησης νερού όπως και στην περίπτωση των κλειστών βρόχων. Η άντληση γίνεται και πάλι με σωληνώσεις που τοποθετούνται στον πυθμένα της λίμνης. Μετά τη χρήση του το νερό, επιστρέφει στη λίμνη και σε σημείο μακριά από το σημείο άντλησης. Βασική προϋπόθεση για να χρησιμοποιηθεί μία λίμνη σαν πηγή, είναι να έχει και στην περίπτωση αυτή την κατάλληλη επιφάνεια και το κατάλληλο βάθος. Χρειάζονται περίπου 4.000 m<sup>2</sup> επιφάνειας ανά 14,5 KWh θερμικής ισχύος και καταλληλότερα θεωρούνται τα βάθη μεταξύ 3 και 3,6 m.

Το ανοικτό σύστημα λίμνης είναι ένα ιδιαίτερα οικονομικό σύστημα, τόσο σε ότι αφορά στην εγκατάσταση αφού δεν απαιτούνται ιδιαίτερες εργασίες, όσο και σε ότι αφορά στη λειτουργία αφού υπάρχει η δυνατότητα για ταυτόχρονη χρήση της λίμνης και ως πηγή άντλησης αλλά και ως χώρο επανέγχυσης. Ορισμένες φορές, η πηγή μπορεί να διαθέτει νερό κακής ποιότητας οπότε πάντα απαιτείται διήθηση του χρησιμοποιούμενου νερού.  
(πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

➤ Στροβιλώδη φρέατα ανοιχτού βρόχου (Open loops Standing Column Wells ή turbulent wells ή Energy Wells TM)

Μία παραλλαγή του συστήματος ανοικτού βρόχου είναι και τα στροβιλώδη φρέατα ανοιχτού βρόχου. Πρόκειται για μία τεχνολογία που έχει καθιερωθεί σε διάφορες περιοχές, κυρίως στις βορειοανατολικές ΗΠΑ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παροχή πόσιμου νερού. Τα φρέατα στην περίπτωση αυτή έχουν διάμετρο συνήθως 15,24 cm και βάθος που φθάνει τα 457 m. Όταν χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα φρέατα τότε η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι τουλάχιστον 15-23 m.

Σκοπός των συστημάτων αυτών, είναι η άντληση νερού από τον πυθμένα του φρέατος και η κυκλοφορία αυτού μέσω του εναλλάκτη θερμότητας της αντλίας. Το νερό μετά τη χρήση του επανεγχύεται στην κορυφή του ίδιου φρέατος από το οποίο αντλήθηκε. Ωστόσο, για την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος, το υπόγειο νερό πρέπει να βρίσκεται σε αφθονία. Ένα πηγάδι 457 m, μπορεί συχνά να εξυπηρετεί πάνω από 40 τόνους φορτίου ψύξης και θέρμανσης.

Η εφαρμογή των συστημάτων αυτών γίνεται συνήθως σε περιπτώσεις όπου η διαθέσιμη έκταση γης είναι μικρή ή τα πετρώματα κοντά στην επιφάνεια της γης είναι βραχώδη. Το κόστος τους σε σχέση με άλλα αντίστοιχα συστήματα είναι μικρότερο, λόγω της δυνατότητας που παρέχεται από το συγκεκριμένο σύστημα για υπολογισμό της απόδοσής του με μεγάλη ακρίβεια. Αυτό γίνεται με τη διεξαγωγή εκτεταμένης υδρογεωλογικής μελέτης ή με τη διάνοιξη κάποιας δοκιμαστικής γεώτρησης. (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

#### ➤ Υβριδικά συστήματα (Hybrid systems)

Τα συστήματα στα οποία το φορτίο του γεωθερμικού εναλλάκτη χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο τόσο κατά τη διαδικασία της ψύξης, όσο και κατά τη διαδικασία της θέρμανσης, αποτελούν την πιο οικονομική επιλογή (η απόρριψη θερμότητας το καλοκαίρι ισοδυναμεί με την εξαγωγή θερμότητας το χειμώνα).

Σε ένα υβριδικό σύστημα (hybrid system), ο γεωθερμικός εναλλάκτης ικανοποιεί ένα μόνο τμήμα του απαιτούμενου φορτίου. Συνήθως προσαρμόζεται στις απαιτήσεις σε θέρμανση και μερικές ή όλες από τις επιπλέον λειτουργίες που απαιτούνται για την ψύξη το καλοκαίρι, προέρχονται από μία πρόσθετη συμβατική στήλη ψύξης (συνήθως πύργο ψύξης). Έτσι όταν κριθεί σκόπιμο το καλοκαίρι, ο υπόγειος βρόχος και η στήλη ψύξης λειτουργούν για να απορρίψουν την περίσσεια θερμότητα στο έδαφος.

Όταν ο υπόγειος βρόχος προσαρμόζεται στις απαιτήσεις θέρμανσης, το μέγεθος του είναι χαρακτηριστικά μικρότερο από την περίπτωση που

προσαρμόζεται στις απαιτήσεις ψύξης. Έτσι, η συμβατική στήλη ψύξης μειώνει το μέγεθος του υπόγειου εναλλάκτη με ταυτόχρονη μείωση και του αρχικού κόστους της εγκατάστασης. Αυτό οφείλεται στο χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης της στήλης ψύξης από ότι το κόστος εγκατάστασης του υπόγειου βρόχου για την απόρριψη θερμότητας ίδιου μεγέθους. Από την άλλη πλευρά, η χρήση ενός θαλάμου για την ψύξη του ρευστού προσθέτει επιπλέον εξαρτήματα στο σύστημα και αυξάνει τόσο την πολυπλοκότητα όσο και τη συντήρηση του. Ωστόσο το ενδεχόμενο μείωσης του κόστους του γεωθερμικού εναλλάκτη μπορεί να δικαιολογήσει αυτή την επιλογή στα έργα που κυριαρχούν τα φορτία ψύξης.

Τα υβριδικά συστήματα μπορούν να τοποθετηθούν σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει η απαιτούμενη έκταση γης για την εγκατάσταση ενός γεωθερμικού εναλλάκτη ικανού να καλύψει όλες τις ανάγκες του κτιρίου, αλλά και σε μεγάλα εμπορικά κτίρια όπου η ψύξη έχει μεγαλύτερη σημασία από τη θέρμανση. Σε πολλά τέτοια κτίρια το φορτίο ψύξης υπερβαίνει το φορτίο θέρμανσης ακόμη και σε βόρεια κλίματα. (πηγή: [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

Συμπερασματικά λοιπόν, κάποιος μπορεί να πει ότι η επιλογή του κατάλληλου συστήματος γεωεναλλάκτη είναι το αποτέλεσμα συμψηφισμού πολλών παραμέτρων. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται το κλίμα, οι εδαφικές συνθήκες της περιοχής (τύπος εδάφους και πετρωμάτων), οι ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου, η διαθέσιμη επιφάνεια γης, τα χαρακτηριστικά του μοντέλου της αντλίας θερμότητας, το κόστος εγκατάστασης για την συγκεκριμένη περιοχή, κλπ. Όταν οι παράμετροι αυτοί εκτιμηθούν σωστά μπορεί να προκύψει η οικονομικότερη, αποδοτικότερη και λειτουργικότερη λύση για κάθε εφαρμογή.

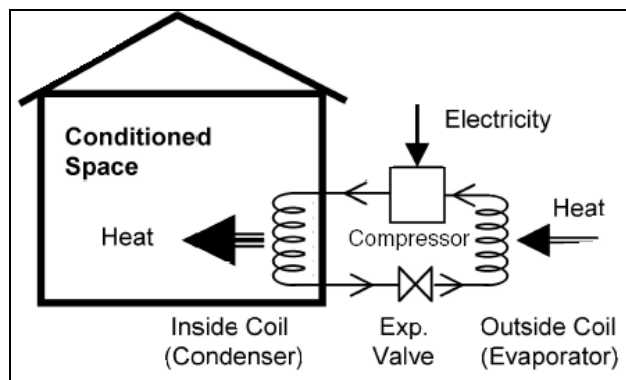
### **2.5.2. Σύστημα αντλίων θερμότητας**

Μια τυπική αντλία θερμότητας σε ένα γεωθερμικό σύστημα, αποτελείται από 4 επι μέρους στοιχεία: τον εξατμιστή (evaporator), το συμπιεστή (compressor), το συμπυκνωτή (condenser) και τη βαλβίδα εκτόνωσης



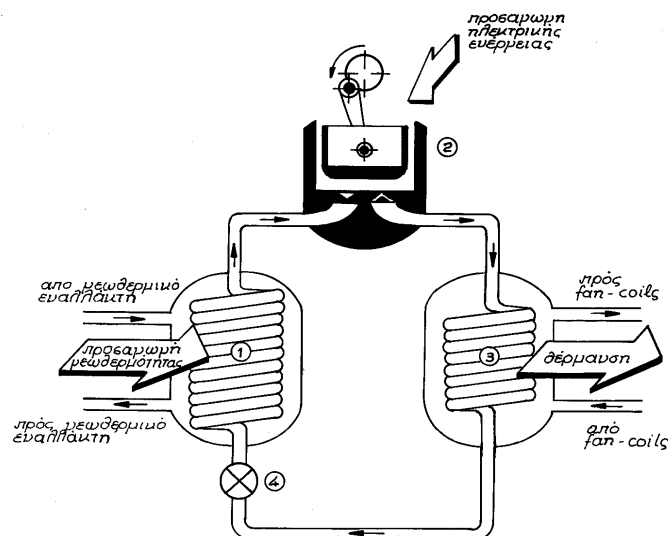
(expansion valve). Πιο αναλυτικά στην αντλία θερμότητας διακρίνονται (σχήμα 2.13, 2.14):

- η εξωτερική μονάδα, που περιέχει τον εξατμιστή (εξωτερική σπείρα), το συμπιεστή και τη βαλβίδα εκτόνωσης και
- η εσωτερική μονάδα που περιέχει τον συμπυκνωτή (εσωτερική σπείρα) και έναν ανεμιστήρα.



Σχήμα 2.13: Σχεδιάγραμμα αντλίας θερμότητας για τη λειτουργία της θέρμανσης (Heating Mode) (πηγή: “Μελέτη θέρμανσης-ψύξης κτιριακών εγκαταστάσεων Πολυτεχνείου Κρήτης με χρήση ΓΑΘ”, Μπανδέλης, Μιχαλάκης, Ιούνιος 2003)

Ο εξατμιστής απορροφά τη θερμότητα από το ρευστό που κυκλοφορεί στο υπόγειο κύκλωμα και φτάνει σε αυτόν μέσω των αγωγών. Ο συμπιεστής αποτελεί το κεντρικό τμήμα της αντλίας και στόχο έχει την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας της ψυκτικής ουσίας ενώ ταυτόχρονα μειώνει τον όγκο της.



Σχήμα 2.14: Σχεδιάγραμμα μιας αντλίας θερμότητας. 1: Εξατμιστής 2: Συμπιεστής. 3: Συμπυκνωτής. 4: Στοιχείο ή βαλβίδα εκτόνωσης (πηγή: “Μελέτη θέρμανσης-ψύξης κτιριακών εγκαταστάσεων Πολυτεχνείου Κρήτης με χρήση ΓΑΘ”, Μπανδέλης, Μιχαλάκης, Ιούνιος 2003)

Όταν η αέρια ψυκτική ουσία (refrigerant) αποκτήσει την επιθυμητή θερμοκρασία κινείται μέσα στο σύστημα και φθάνει στον συμπυκνωτή. Ο συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας στον οποίο η θερμή αέρια ψυκτική ουσία που βρίσκεται υπό πίεση, συμπυκνώνεται και μετατρέπεται πάλι σε υγρό αποδίδοντας θερμότητα στον περιβάλλοντα αέρα, ο οποίος στη συνέχεια τροφοδοτεί το σύστημα διανομής. Μετά την έξοδό από το συμπυκνωτή, το ρευστό είναι ψυχρότερο και εξακολουθεί να βρίσκεται υπό πίεση. Η βαλβίδα εκτόνωσης που συναντάει στην πορεία του, το μετατρέπει σε υγρό χαμηλότερης πίεσης και θερμοκρασίας.

Με γεωθερμικό ρευστό θερμοκρασίας 16-35 °C μπορούμε να επιτύχουμε λειτουργία ψύξης-θέρμανσης, ενώ για θερμοκρασίες 35-50 °C μόνο θέρμανση. (πηγή: <http://waterfurnace.com>, 2007)

### **2.5.3. Σύστημα διανομής ή απομάκρυνσης θερμότητας**

Το σύστημα διανομής του αέρα μέσα στο κτίριο, αποτελεί το τρίτο και τελευταίο τμήμα ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Πρόκειται ουσιαστικά για το τμήμα το οποίο θερμαίνει ή ψύχει τους προεπιλεγμένους χώρους του κτιρίου. Οι αγωγοί τροφοδοσίας μετακινούν τον αέρα από το κεντρικό σύστημα στα δωμάτια, ενώ οι αγωγοί επιστροφής

μεταφέρουν τον αέρα από τα δωμάτια πίσω στο κεντρικό σύστημα. Η διανομή του αέρα γίνεται με τη βοήθεια ανεμιστήρα, ο οποίος τον διοχετεύει μέσω των αγωγών.

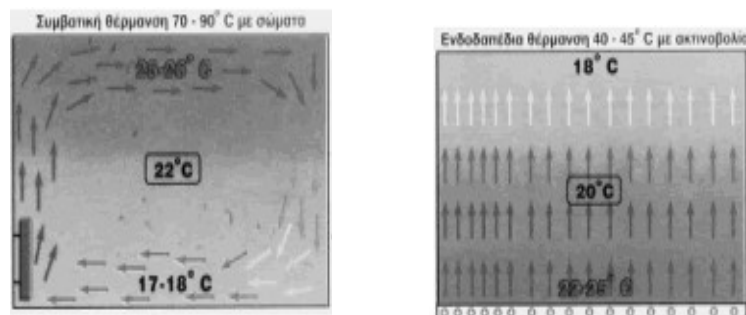
Οι αντλίες θερμότητας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα συστήματα των συμβατικών σωμάτων θέρμανσης (καλοριφέρ) καθώς αυτά απαιτούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες νερού στη διανομή (συνήθως 70-90 °C), ενώ οι θερμοκρασίες νερού που προσφέρουν οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας όταν λειτουργούν για θέρμανση κυμαίνονται από 30-60°C. (πηγή: <http://www.axarnai.com/>, 2007)

Τα συστήματα διανομής της θερμότητας που είναι συμβατά με τα συστήματα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και χρησιμοποιούνται συνήθως για τον κλιματισμό κτιρίων είναι:

- α) Το ενδοδαπέδιο σύστημα
- β) Το επιδαπέδιο σύστημα
- γ) Το ενδοτοιχίο σύστημα
- δ) Το σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (*fan coils*) ή οι κεντρικές μονάδες παροχής αέρα μέσω αεραγωγών

#### α. Ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης

Οι σωληνώσεις του συστήματος αυτού τοποθετούνται μέσα στο μπετόν κάθε πλάκας κατά την κατασκευή του κτιρίου. Με τη διάταξη αυτή επιτυγχάνονται βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίες που ικανοποιούν τις ανάγκες του χρήστη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 2.15: Αριστερά φαίνεται ο τρόπος διανομής της θερμότητας με συμβατικά σώματα θέρμανσης (καλοριφέρ), ενώ δεξιά ο τρόπος διάθεσης της θερμότητας με το ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης. (πηγή:<http://www.axarnai.com>, 2007/)

Το σύστημα αυτό δύναται να συσσωρεύσει μεγάλη ενέργεια στο εσωτερικό του κτιρίου επιτρέποντας τη λειτουργία της αντλίας σε ωράριο που ισχύει το μειωμένο τιμολόγιο χρέωσης ηλεκτρισμού. Επίσης, η κατασκευή αποκτά μεγάλη θερμική αδράνεια με αποτέλεσμα ακόμη και σε περίπτωση πολύωρης διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος να μην παγώνει το κτίριο. Στην περίπτωση που συμβεί διακοπή στον ηλεκτρισμό για 30 περίπου συνεχόμενες ώρες, η θερμοκρασία του κτιρίου δε θα μειωθεί περισσότερο από δύο βαθμούς.

Η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι ιδανική για χώρους με υψηλή οροφή καθώς αποτρέπει τη θερμική διαστρωμάτωση του αέρα (σχήμα 2.15) και την παράλληλη εκμετάλλευση κι άλλων ήπιων συστημάτων όπως είναι οι ηλιακοί συλλέκτες. (πηγή:<http://www.axarnai.com/>, 2007)

#### β. Επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης

Το επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης μπορεί να εγκατασταθεί και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια χωρίς κανένα πρόβλημα. Το δίκτυο των σωληνώσεων στην περίπτωση αυτή τοποθετείται κάτω από το δάπεδο αλλά πάνω από το μπετόν της πλάκας. Βασικό μειονέκτημα του συστήματος αυτού, είναι η περιορισμένη συγκριτικά ικανότητά του για άμεση θέρμανση του χώρου.

Τα συστήματα ενδοδαπέδιας και επιδαπέδιας θέρμανσης έχουν πάνω από είκοσι χρόνια πρακτικών εφαρμογών και οι τυπικές θερμοκρασίες λειτουργίας τους κυμαίνονται από 30-45°C. Οι σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται είναι κατασκευασμένες ειδικά για το σκοπό που εξυπηρετούν και παρέχονται με εγγύηση 30 χρόνων. (πηγή: <http://www.axarnai.com/>, 2007)

#### γ. Ενδοτοιχίο σύστημα θέρμανσης

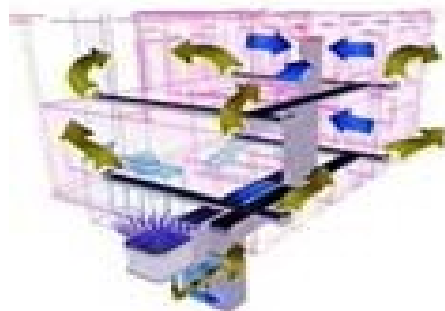
Το σύστημα ενδοτοιχίας θέρμανσης εγκαθίσταται κατά την κατασκευή ενός κτιρίου και οι σωληνώσεις ενσωματώνονται μέσα στους τοίχους του. Το ενδοτοιχίο σύστημα θέρμανσης όπως και το ενδοδαπέδιο, δεν ενδείκνυται για εξοχικές κατοικίες. Βασικό πλεονέκτημα του συστήματος είναι η ικανότητά του να ικανοποιεί σε ποσοστό 100% τις ανάγκες του χώρου και κατά την ψύξη. (πηγή: <http://www.axarnai.com/>, 2007)

#### δ. Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα

Το σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας μπορεί να εγκατασταθεί παντού. Αποτελείται από αεραγωγούς που μεταφέρουν το θερμό ή ψυχρό αέρα στους επιθυμητούς χώρους (σχήμα 2.16). Έχει μικρό κόστος, προσφέρει άνεση, είναι απόλυτα υγιεινό και έχει μεγάλη αποτελεσματικότητα.

Τα σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αποτελούν μια καλή και αξιόπιστη επιλογή για κτίρια προσωρινής διαμονής, αλλά και για χώρους συνάθροισης κοινού. Αποτελούν επίσης τη μοναδική λύση για κτίρια στα οποία προβλέπεται μία μελλοντική αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος ψύξης χωρίς να απαιτείται εκτεταμένη ανακατασκευή του κτιρίου. Η λειτουργία τους γίνεται με νερό θερμοκρασίας 35 °C περίπου.

Η ποιότητα της θέρμανσης από τα παραπάνω συστήματα είναι ασύγκριτα ανώτερη σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού, καθώς η ροή του αέρα στις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν είναι ομαλή και ομοιόμορφη χωρίς την ύπαρξη ψυχρών ή θερμών σημείων στο χώρο. (πηγή: <http://www.axarnai.com/>, 2007)



Σχήμα 2.16: Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (*fan coils*)  
(πηγή: <http://www.axarnai.com/>, 2007)

## **2.6. Λειτουργία κύκλου θέρμανσης και ψύξης**

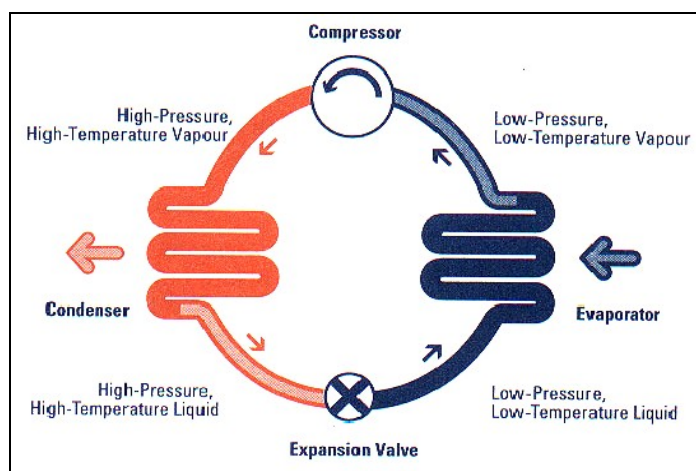
### **2.6.1. Λειτουργία κύκλου θέρμανσης**

Κατά τη θέρμανση ενός κτιρίου, το γεωθερμικό ρευστό απορροφά από το έδαφος θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας ( $0-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) και τη μεταφέρει στην αντλία θερμότητας στο υπόγειο του κτιρίου. Το σύστημα που βρίσκεται εδώ με τη βοήθεια του συμπιεστή πολλαπλασιάζει τη θερμότητα προσδίδοντας στο ρευστό (φρέον) υψηλότερη θερμοκρασία. Για να συμβεί αυτό πρέπει να δοθεί εξωτερική ηλεκτρική ενέργεια ( $W_{\eta\lambda}$ ). Η θερμότητα υψηλότερης θερμοκρασίας στη συνέχεια θερμαίνει τον αέρα στο κτίριο.

Η διαδικασία μεταφοράς θερμότητας από ένα μέρος σε ένα άλλο, αλλά και η διαδικασία ανύψωσης αυτής από μία χαμηλή σε μία υψηλότερη θερμοκρασία (άνω των  $30^{\circ}\text{C}$ ), όπως συμβαίνει στην περίπτωση θέρμανσης ενός κτιρίου, χρησιμοποιεί τον κύκλο συμπίεσης του ατμού. Με βάση τον κύκλο αυτό λειτουργούν όλες οι αντλίες θερμότητας. Το φρέον που κυκλοφορεί μέσα σε αυτές έχει την ιδιότητα να βράζει σε θερμοκρασία πολύ χαμηλότερη από αυτή του νερού (περίπου  $5-10^{\circ}\text{C}$ ), ενώ ο τρόπος λειτουργίας του είναι ο ίδιος είτε πρόκειται για ψύξη, είτε για θέρμανση.

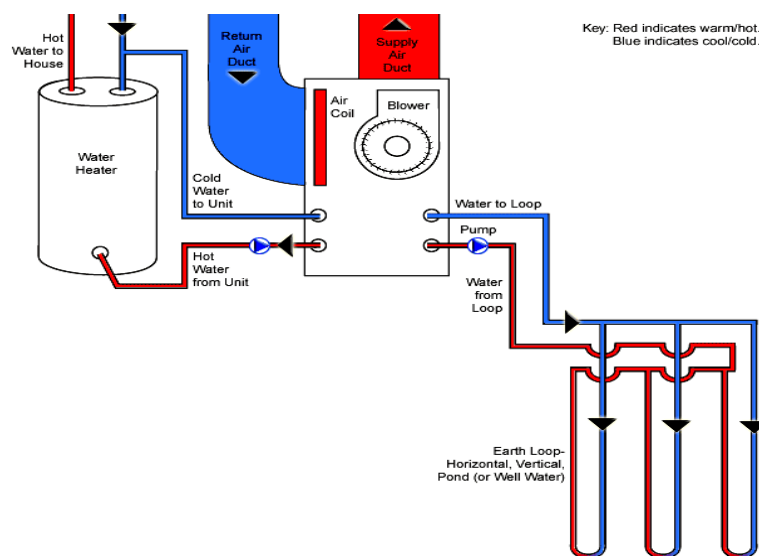
Ο κύκλος ξεκινάει καθώς το ψυχρό και υγρό ψυκτικό μέσο που κυκλοφορεί στην αντλία θερμότητας, διέρχεται από τον εξατμιστή (εναλλάκτης θερμότητας υπόγειου νερού-ψυκτικής ουσίας) συμπιέζεται και απορροφά θερμότητα από την πηγή υψηλότερης θερμοκρασίας (νερό υπόγειου βρόχου) με αποτέλεσμα να εξατμιστεί.

Το ψυκτικό μέσο μετά την εξάτμιση, σε αέρια μορφή, περνάει από το συμπιεστή στον οποίο συμπιέζεται ακόμα περισσότερο αυξάνοντας τη θερμοκρασία του πάνω από τους  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Το θερμό αέριο συνεχίζει τον κύκλο του και φθάνει στο συμπυκνωτή (εναλλάκτη θερμότητας ψυκτικού ρευστού-αέρα), στον οποίο αποδίδει θερμότητα. Η θερμότητα που αποδίδεται στο κύκλωμα θέρμανσης, με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα και του συστήματος σωληνώσεων διανομής του αέρα, διαχέεται στο θερμαινόμενο χώρο.



**Σχήμα 2.17:** Σχεδιάγραμμα συστήματος αντλίας θερμότητας. Εξατμιστής (evaporator), συμπιεστής (compressor), συμπυκνωτής (condenser) και το στοιχείο εκτόνωσης (expansion valve). (πηγή: [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net), 2007)

Μετά την αποδέσμευση της θερμικής ενέργειας στον αέρα, το ψυκτικό μέσο χάνει τη θερμότητα που κατείχε και μετατρέπεται πάλι σε υγρό. Περνά από τη βαλβίδα διαστολής (στοιχείο εκτόνωσης) όπου ψύχεται (αποσυμπιέζεται) και αποκτάει πάλι την ικανότητα να εξατμιστεί μόλις φθάσει στον εξατμιστή και ο κύκλος ξεκινήσει από την αρχή (σχήμα 2.17).



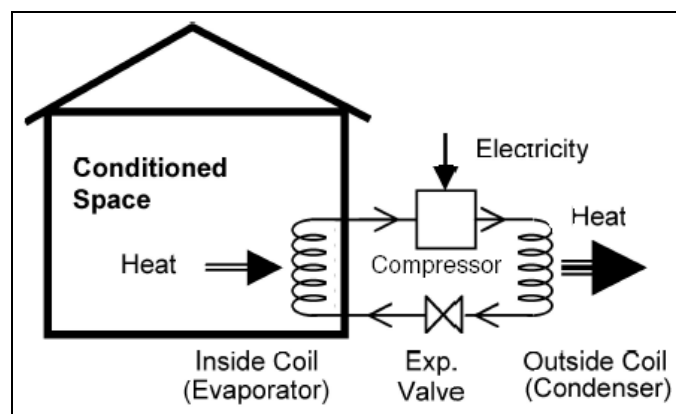
**Σχήμα 2.18:** Σχεδιάγραμμα λειτουργίας θέρμανσης για παροχή ζεστού αέρα και ζεστού νερού χρήσης (Heating Mode). (πηγή: <http://waterfurnace.com>, 2007)

Μία επιπλέον λειτουργία που μπορεί να προκύψει από τον κύκλο θέρμανσης είναι η παραγωγή ζεστού νερού. Στην περίπτωση αυτή στην έξοδο του συμπιεστή προστίθεται ένα μικρός βοηθητικός εναλλάκτης θερμότητας ψυκτικής ουσίας-νερού (refrigerant-to-water), που ονομάζεται “desuperheater” και έτσι μεταφέρεται η περίσσεια θερμότητας από το συμπιεσμένο αέριο σε μια γραμμή θέρμανσης νερού του κτιρίου. Με τον

τρόπο αυτό το νερό προθερμαίνεται πριν μπει στην δεξαμενή ζεστού νερού (σχήμα 2.18). (πηγή: <http://waterfurnace.com>, 2007)

### **2.6.2. Λειτουργία κύκλου ψύξης**

Το καλοκαίρι ο κύκλος αντιστρέφεται και η αντλία θερμότητας λειτουργεί για να αφαιρεί θερμότητα από το κτίριο και να την αποθηκεύει στο έδαφος. Η αντιστροφή στη λειτουργία του συστήματος πραγματοποιείται με τη βαλβίδα αντιστροφής (reversing valve). Σκοπός της βαλβίδας αυτής είναι η μεταστροφή της εσωτερικής σπείρας (inside coil) για να λειτουργεί σαν εξατμιστής και των υπόγειων σωληνώσεων για να λειτουργούν σαν συμπυκνωτής (σχήμα 2.19).



Σχήμα 2.19: Σχηματική διάταξη του κύκλου ψύξης (πηγή: “Μελέτη θέρμανσης-ψύξης κτιριακών εγκαταστάσεων Πολυτεχνείου Κρήτης με χρήση ΓΑΘ”, Μπανδέλης, Μιχαλάκης, Ιούνιος 2003)

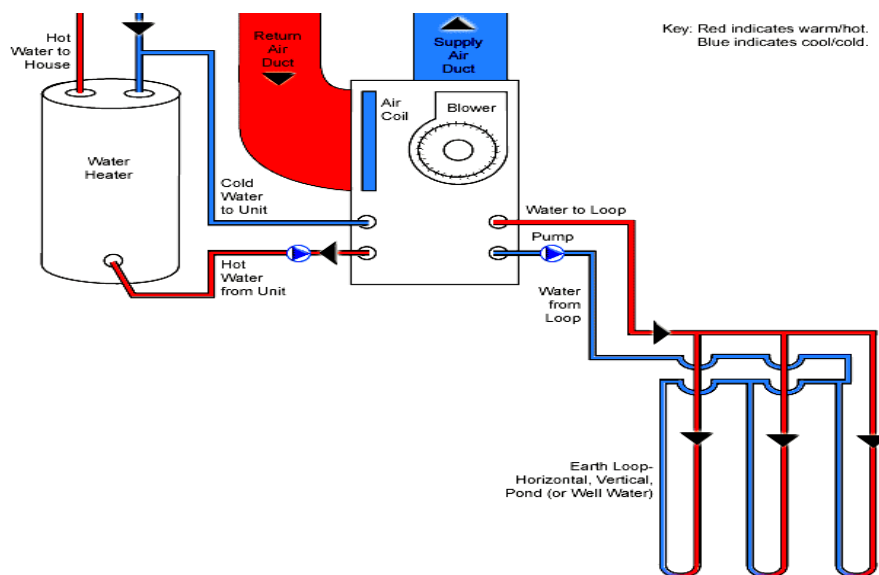
Η διαδικασία ξεκινά καθώς το αέριο φρέον, από τον εξατμιστή, εισέρχεται στο συμπιεστή (compressor) στον οποίο ανυψώνεται η πίεση και η θερμοκρασία του. Η ουσία με τη μορφή υπέρθερμου ατμού στη συνέχεια (50-60°C), οδηγείται στο συμπυκνωτή (σημείο συνάντησης με υπόγειους βρόχους) όπου απορρίπτει τη θερμότητά της στην πηγή χαμηλότερης θερμοκρασίας (νερό υπόγειου κυκλώματος). Η ουσία μετά το συμπυκνωτή ψύχεται και συμπυκνώνεται πίσω στην υγρή κατάσταση. Το νερό του



γεωθερμικού εναλλάκτη μετά την απορρόφηση της θερμότητας στον συμπυκνωτή, διοχετεύεται μέσα στο έδαφος για να κρυώσει με την επίδραση της χαμηλότερης θερμοκρασίας αυτού.

Μετά την έξοδο από το συμπυκνωτή, το ψυκτικό μέσο είναι υγρό και εξακολουθεί να βρίσκεται υπό πίεση. Η βαλβίδα εκτόνωσης που συναντάει στην πορεία, το μετατρέπει σε υγρό χαμηλότερης πίεσης και θερμοκρασίας.

Ο κύκλος ολοκληρώνετε καθώς η ψυχρή πια ψυκτική ουσία εισέρχεται στον εξατμιστή, (εναλλάκτης θερμότητας ψυκτικής ουσίας-αέρα) έχοντας θερμοκρασία 4–10 °C περίπου, και σκοπό τη μείωση της θερμότητας του κτιρίου. Χωρίς να αλλάξει τη θερμοκρασία του, το φρέον απορροφά θερμότητα και μετατρέπεται σε αέριο. Ο καινούριος ψυχρότερος και ξηρότερος πλέον αέρας, αφού αφήσει τη θερμότητα του στο φρέον, απομακρύνεται από τον εξατμιστή και διοχετεύεται στο κύκλωμα θέρμανσης-ψύξης της κατοικίας με τη βοήθεια ανεμιστήρα για να τροφοδοτήσει τα κλιματιστικά σώματα με κρύο νερό. Αυτό περνώντας από τα δωμάτια, χάνει την ψύξη του (θερμαίνεται) και επανέρχεται στον εξατμιστή για να ξαναψυχθεί και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.



Σχήμα 2.20: Σχεδιάγραμμα λειτουργίας ψύξης για παροχή δροσερού αέρα και ζεστού νερού (Cooling Mode) (πηγή: <http://waterfurnace.com>, 2007)

Ένα τμήμα της θερμότητας που επιστρέφει στον συμπιεστή, μπορεί και πάλι να διατεθεί για θέρμανση ζεστού νερού εφόσον αυτό εκτραπεί σε άλλο κύκλωμα ψυκτικής ουσίας, όπως και στην περίπτωση του κύκλου θέρμανσης (πηγή: <http://waterfurnace.com>, 2007)

## **2.7. Παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται κατά την επιλογή ενός συστήματος ΓΑΘ**

Για την επιλογή του καταλληλότερου συστήματος αντλίας θερμότητας σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως:

- Το ενεργειακό φορτίο που απαιτείται για τη θέρμανση και ψύξη του κτιρίου
- Ο τύπος του συστήματος που θα διανέμει τη θερμότητα στο εσωτερικό του κτιρίου
- Το είδος του εδάφους, η γεωλογία και η υδρογεωλογία αυτού ώστε να καθοριστεί η επιλογή ανάμεσα σε κλειστό και ανοικτό σύστημα αλλά και η εκσκαφή ορυγμάτων ή η διάνοιξη φρεάτων (οριζόντιο ή κάθετο σύστημα)
- Στην περίπτωση μετασκευής, το είδος του καυσίμου που αντικαθίσταται από τη ΓΑΘ. Όταν είναι γνωστό το καύσιμο, μπορεί να υπολογιστεί και ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης.
- Εάν υπάρχει δυνατότητα η λειτουργία της ΓΑΘ να προέρχεται από 100% ανανεώσιμη ενέργεια
- Εάν χρειάζεται κάποιο συμπληρωματικό σύστημα θέρμανσης για την άριστη ψύξη και θέρμανση του κτιρίου σε όλες τις καιρικές συνθήκες
- Εάν το σύστημα προορίζεται για την τοποθέτηση σε καινούριο κτίριο. Στην περίπτωση αυτή ο συνδυασμός των εργασιών εγκατάστασης με άλλες εργασίες κατά την κατασκευή του κτιρίου μπορεί να μειώσει το συνολικό αρχικό κόστος.

- Εάν μπορούν να ενσωματωθούν στις εργασίες μέτρα για την επιπλέον μόνωση του κτιρίου.
- Η διαθέσιμη έκταση γης για κλειστό κύκλωμα, ή η ύπαρξη λίμνης ή πηγαδιού στην περιοχή.

Μετά την αρχική απόφαση για τη υλοποίηση κάποιου έργου, ακολουθεί η φάση σχεδιασμού του συστήματος. Στη φάση αυτή πιο ακριβή δεδομένα για τις παραμέτρους κλειδιά και για την επιλεγμένη τεχνολογία είναι απαραίτητα. Στόχος είναι πάντα η επίτευξη των βέλτιστων αποδόσεων με το ελάχιστο κόστος.

(πηγή: <http://waterfurnace.com>, 2007)

2.8. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των συστημάτων γεωθερμικού κλιματισμού

### **2.8.1. Πλεονεκτήματα των συστημάτων Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας**

Σύμφωνα με την U.S. Environmental Protection Agency (EPA), ο γεωθερμικός κλιματισμός είναι το πιο αποδοτικό ενεργειακά, το πιο καθαρό περιβαλλοντικά και το πιο οικονομικό σύστημα κλιματισμού κτιρίων που είναι διαθέσιμο σήμερα. Αποτελεί μία αξιόπιστη τεχνολογία με σημαντική προσφορά στην υγεία και άνεση του χρήστη, αλλά και τεράστια συμβολή στην ενεργειακή αειφορία. (πηγή: [www.epa.gov](http://www.epa.gov), 2007)

Τα οφέλη από τη χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (ΓΑΘ) είναι πολύ περισσότερα σε σχέση με τα οφέλη από τα παραδοσιακά συστήματα ψύξης και θέρμανσης και το 90 % των ιδιοκτητών τους είναι ιδιαίτερα ικανοποιημένοι με την επιλογή τους. Τα πιο σημαντικά από τα πλεονεκτήματα των ΓΑΘ είναι:

#### 1) Μικρότερα λειτουργικά έξοδα και μεγαλύτερη αποδοτικότητα

Τα σημαντικότερα γνωρίσματα των ΓΑΘ είναι η υψηλή ενεργειακή απόδοση και η χαμηλή ηλεκτρική κατανάλωση. Η EPA θεωρεί τα γεωθερμικά

συστήματα περίπου 40% πιο αποδοτικά από τα κλιματιστικά μηχανήματα, 48% αποδοτικότερα από τους λέβητες φυσικού αερίου και 75% αποδοτικότερα από τους λέβητες πετρελαίου.

Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να αποδώσουν, κατά μέσο όρο, τέσσερις φορές περισσότερη ενέργεια από αυτήν που καταναλώνουν. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούν, παρέχουν 3-5 μονάδες θερμότητας και 4-6 μονάδες ψύξης, ανάλογα με τις παραμέτρους λειτουργίας του συστήματος.

Οι ΓΑΘ λαμβάνουν την εδαφική θερμότητα δωρεάν και η μόνη ενέργεια που απαιτείται, είναι οι πραγματικά μικρές ποσότητες ηλεκτρισμού που χρησιμοποιούνται ώστε να δοθεί η κινητήρια δύναμη για τη μετακίνηση της θερμότητας από το έδαφος μέχρι το κτίριο. Για κάθε kWh εξαγόμενης θερμότητας, το σύστημα απαιτεί για τη λειτουργία του μόνο 0,22-0,30 kWh ηλεκτρικής ενέργειας.

Σύμφωνα με την EPA, τα συστήματα των γεωεναλλακτών εξοικονομούν από τους χρήστες τους 30-70 % του κόστους θέρμανσης, και 20-50 % του κόστους ψύξης, εν συγκρίσει με τα συμβατικά συστήματα. Σε συνδυασμό και με άλλα μέτρα ενεργειακής απόδοσης, όπως είναι τα καλά μονωμένα παράθυρα ή και κτίρια στο σύνολό τους, είναι δυνατή η επιπλέον εξοικονόμηση ενέργειας. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

## 2) Συνήθως δεν απαιτείται βοηθητικός εξοπλισμός για τη θέρμανση/ψύξη ενός κτιρίου

Μετά την έναρξη της λειτουργίας τους, τα συστήματα των ΓΑΘ είναι συνήθως ικανά να καλύψουν από μόνα τους όλες τις ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, χωρίς τη χρήση κάποιου άλλου βοηθητικού συμβατικού συστήματος. Αυτό συμβαίνει γιατί τα γεωθερμικά συστήματα είναι ειδικά σχεδιασμένα για τις ανάγκες κάθε κτιρίου, έχοντας λάβει υπόψη και τις εξωτερικές συνθήκες και το φορτίο θέρμανσης της κατασκευής. Επίσης, είναι φτιαγμένα για να λειτουργούν πολύ καλά σε θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν, ενώ η απόδοσή τους είναι η ίδια τόσο σε βόρεια όσο και σε νότια κλίματα. Στις λίγες

περιπτώσεις που επιβάλλεται η χρήση βοηθητικού συστήματος θέρμανσης, η ηλεκτρική ενέργεια που δαπανάται είναι πολύ μικρή. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

### 3) Αξιόπιστη παροχή θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης από μία μόνο συσκευή

Μια ΓΑΘ μπορεί να προσφέρει κεντρική θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης με μία μόνο συσκευή ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων. Για την περίπτωση της ψύξης και θέρμανσης, ένα απλό γύρισμα του διακόπτη στον εσωτερικό θερμοστάτη είναι αρκετό για να θέσει το σύστημα από τη μία λειτουργία στην άλλη.

Η πλειοψηφία των ΓΑΘ μπορούν να εξασφαλίσουν δωρεάν ζεστό νερό το καλοκαίρι, και να μειώσουν στο μισό περίπου το κόστος για τη θέρμανση του νερού το χειμώνα, χωρίς την μείωση της αποδοτικότητας του συστήματος από την ταυτόχρονη παραγωγή ζεστού νερού. Στην περίπτωση πάντως που τα συστήματα γεωανταλλαγής χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για τη θέρμανση νερού, είναι 2,5 με 4 φορές πιο αποδοτικά από τα αντίστοιχα συμβατικά συστήματα. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

### 4) Ανεξαρτησία από τις διακυμάνσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας δεν καταναλώνουν συμβατικά καύσιμα. Έτσι το κύριο κόστος λειτουργίας τους δεν επηρεάζεται από τις αυξομειώσεις των τιμών των ορυκτών καυσίμων στην ενεργειακή αγορά.

### 5) Ασφαλής και καθαρή λειτουργία

Σε ένα σύστημα ΓΑΘ δεν υπάρχει καύση, καπνοί, καπναγωγοί και οσμές. Ο κίνδυνος πυρκαγιάς από εύφλεκτα καύσιμα, ή πιθανά ατυχήματα σε βυτία αποθήκευσης καυσίμων δεν υφίσταται. Επιπλέον δεν σημειώνονται δηλητηριάσεις από μονοξείδιο του άνθρακα ή διαρροές αερίων καυσίμων. Έτσι, οι ΓΑΘ μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές ακατάλληλες για εγκατάσταση λέβητα συμβατικών καυσίμων λόγω της εκπομπής αερίων.

#### 6) Μείωση των αέριων εκπομπών –φιλική λειτουργία προς το περιβάλλον

Η εδαφική ενέργεια που εκμεταλλεύεται μια ΓΑΘ είναι με φυσικό τρόπο ανανεώσιμη και δεν είναι ρυπογόνος. Έτσι τα συστήματα αυτά, είναι τα πιο φιλικά στην κατηγορία τους ως προς το περιβάλλον καθώς όχι μόνο δεν μολύνουν με αέριους ρύπους, αλλά μειώνουν και τα ήδη υπάρχοντα βλαβερά αέρια. Αυτό εξασφαλίζεται με τη συντήρηση των φυσικών πόρων και τη σταθεροποίηση του παγκόσμιου κλίματος λόγω ελάττωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον ελαχιστοποιείται η καταστροφή στο στρώμα του όζοντος, καθώς γίνεται χρήση σφραγισμένων από το εργοστάσιο συστημάτων ψύξης, τα οποία σπάνια ή ποτέ δεν θα χρειαστούν αντικατάσταση.

Συγκρινόμενη με τους πιο αποδοτικούς λέβητες αέριου ή πετρελαίου, μία αντλία θερμότητας μπορεί να μειώσει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα έως και 40% και να ελαττώσει τις εκπομπές του αέριου άνθρακα κατά περίπου 1,5 εκατ. μετρικούς τόνους το χρόνο. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

#### 7) Συνδυασμός και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Η εγκατάσταση ενός γεωθερμικού συστήματος δίνει τη δυνατότητα για ταυτόχρονη αξιοποίηση και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η υδροηλεκτρική, η ηλιακή και η αιολική, με επιπλέον μείωση του κόστους λειτουργίας και μηδενισμό των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Η διαστασιολόγηση ενός γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού κυκλώματος γίνεται βάσει των ετήσιων ενεργειακών αναγκών της κάθε εφαρμογής. Αν εγκατασταθούν και ηλιακοί συλλέκτες, για παράδειγμα, το μέγεθος του εναλλάκτη μπορεί να ελαττωθεί ή η ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την κινητήρια δύναμη στην αντλία μπορεί να προέλθει αποκλειστικά από τον ήλιο (συστήματα ηλιοβοηθούμενης ΓΑΘ).

#### 8) Μειωμένο κόστος συντήρησης

Οι συνολικές δαπάνες συντήρησης για τα συστήματα αυτά, είναι χαμηλές λόγω του ότι ο εξοπλισμός, στο σύνολό του, προστατεύεται είτε στο εσωτερικό του κτιρίου, είτε μέσα στο έδαφος. Έτσι, σε αντίθεση με τα περισσότερα συμβατικά συστήματα, οι βλάβες είναι περιορισμένες. Όλη η εργασία που απαιτείται για τη σωστή λειτουργία του συστήματος, είναι οι περιοδικοί έλεγχοι αυτού, το περιστασιακό καθάρισμα των σπειρών εναλλαγής θερμότητας και η τακτική αλλαγή των φίλτρων αέρα.

Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε για το “Geothermal Heat Pump Consortium”, τα κτίρια με συστήματα ΓΑΘ έχουν, κατά μέσο όρο, συνολικό κόστος συντήρησης που κυμαίνεται στο 1/3 του αντίστοιχου κόστους των συμβατικών συστημάτων. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

#### 9) Μεγάλη διάρκεια ζωής των εξαρτημάτων για τα συστήματα ΓΑΘ

Η διάρκεια ζωής ενός γεωθερμικού συστήματος στο σύνολό του, υπολογίζεται στα 30 περίπου χρόνια. Τα τμήματα που τοποθετούνται μέσα στο κτίριο, έχουν διάρκεια ζωής 20 έτη ή περισσότερο, ενώ τα τμήματα που τοποθετούνται μέσα στο έδαφος (κύκλωμα κλειστών βρόχων), είναι κατασκευασμένα από πιστοποιημένους πλαστικούς αγωγούς πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE). Θεωρώντας δεδομένη τη σωστή εγκατάσταση αυτών, οι σωληνώσεις παραμένουν άθικτες από τις εδαφικές επιδράσεις και φέρουν εγγύηση καλής λειτουργίας για 20 έως 50 χρόνια. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

#### 10) Βελτιωμένη αισθητική και αθόρυβη λειτουργία

Οι διατάξεις αυτές δεν περιέχουν ακαλαίσθητες και θορυβώδεις εξωτερικές μονάδες και δεν εμποδίζουν τις δραστηριότητες εκτός της κατασκευής. Όλα τα τμήματα του συστήματος βρίσκονται προστατευμένα είτε μέσα στο έδαφος, είτε μέσα στο κτίριο. Με τον τρόπο αυτό φυλάσσονται τόσο από τις καιρικές συνθήκες όσο και από πιθανούς βανδαλισμούς, αλλά και από τα παιδιά και τα κατοικίδια τα οποία θα μπορούσαν να βλάψουν όχι μόνο τις συσκευές αλλά και τους ίδιους τους εαυτούς τους.

Επιπλέον, τα γεωθερμικά συστήματα σχεδιάζονται και κατασκευάζονται για να είναι σχεδόν αθόρυβα παρέχοντας ένα ευχάριστο περιβάλλον εντός και εκτός του κτιρίου.

#### 11) Άνεση χώρων και ιδιαιτερότητα σχεδιασμού

Τα συστήματα των ΓΑΘ έχουν το μέγεθος ενός κοινού ψυγείου και απαιτούν μικρούς χώρους εγκατάστασης για τον εντός κτιρίου εξοπλισμό τους. Υπολογίζεται ότι ο χώρος που καταλαμβάνουν οι μηχανισμοί αυτοί, είναι 50-80 % μικρότεροι από τους χώρους που κατέχουν τα συμβατικά συστήματα. Έτσι παρέχεται μεγαλύτερη ελευθερία δράσης στον εσωτερικό σχεδιασμό του κτιρίου και μεγαλύτερη άνεση (ελεύθεροι χώροι) σε αυτό.

Ακόμα τα συστήματα των ΓΑΘ λόγω έλλειψης του συμβατικού εξωτερικού εξοπλισμού, επιτρέπουν περισσότερα καλαίσθητα και ευχάριστα αρχιτεκτονικά σχέδια στο εξωτερικό του οικοδομήματος. Έτσι, αρχιτέκτονες και ιδιοκτήτες ακινήτων προτιμούν τις ΓΑΘ και την ευελιξία που προσφέρουν στο σχεδιασμό τους. Ιστορικά κτίρια όπως το “Oklahoma State Capital” στις Η.Π.Α., προτίμησαν την παραπάνω τεχνολογία επειδή είναι εύκολο να ενσωματωθεί σε μετασκευαστικές εργασίες και δεν χαλούν την ιδιαίτερη αισθητική του κτιρίου. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

#### 12) Εγκατάσταση σε όλους τους χώρους και σε όλα τα μεγέθη κατοικιών

Ένα σύστημα ΓΑΘ λόγω του ευέλικτου σχεδιασμού του, μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα κτίριο οποιουδήποτε μεγέθους, είτε πρόκειται για μονοκατοικία είτε για πολυκατοικία και σε οποιοδήποτε μέρος. Αποτελούν διατάξεις που δεν επηρεάζονται από το ανάγλυφο της επιφάνειας κάτω από το οποίο τοποθετούνται, με αποτέλεσμα να μπορούν να εγκατασταθούν κάτω από γκαζόν, κήπους, πάγο, κάτω από αυτοκινητόδρομους ή το ίδιο το κτίριο. Στην πράξη τα κτίρια που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αυτή κυμαίνονται από μικρές κοινωφελείς εγκαταστάσεις, ξενοδοχεία, σχολεία, εστιατόρια μέχρι και πολυώροφα κυβερνητικά ή εμπορικά κτίρια.



### 13) Εγκατάσταση τόσο σε καινούρια όσο και σε παλαιότερα κτίρια

Η εγκατάσταση των ΓΑΘ είναι δυνατή τόσο σε καινούρια κτίρια, όσο και σε κτίρια που ανακαινίζονται. Στη δεύτερη περίπτωση, που θεωρείται και δυσκολότερη, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι ήδη υπάρχουσες σωληνώσεις (ductwork) στο εσωτερικό του κτιρίου. Οι απαιτούμενες τροποποιήσεις προσαρμόζονται στο υφιστάμενο σύστημα.

Στην περίπτωση αντικατάστασης ενός λέβητα συμβατικού καυσίμου από μία ΓΑΘ, η αποδοτικότητα φθάνει το 60% περίπου. Έτσι, εύκολα και οικονομικά οι ΓΑΘ συρρικνώνονται ή επεκτείνονται για να προσαρμοστούν στην ανακατασκευή ή τις προσθήκες μιας οικοδομής. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

### 14) Δημιουργία ζωνών θέρμανσης και ψύξης

Σε μεγάλες εγκαταστάσεις κυρίως, μπορούν να εξοικονομηθούν επιπλέον χρήματα και ενέργεια καθώς είναι εφικτή η μεταφορά θερμότητας από τις πιο θερμές ζώνες του κτιρίου προς άλλες ψυχρότερες για τις ανάγκες θέρμανσης το χειμώνα και ψύξης το καλοκαίρι. Ακόμη υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας πολλαπλών ζωνών σε ένα κτίριο, με κάθε ζώνη να διαθέτει ξεχωριστό σημείο ελέγχου.

Παραδείγματα αποτελούν τα συστήματα των ΓΑΘ που χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση θερμότητας από δωμάτια εγκατάστασης κεντρικών μονάδων υπολογιστών (επιθυμητή η σταθερή χαμηλή θερμοκρασία), αλλά και τα σχολεία στα οποία προτιμάται η ευελιξία στη θέρμανση ή ψύξη που μπορεί να προσφέρεται μόνο για συγκεκριμένες αίθουσες όπως είναι οι αίθουσες συνελεύσεων (auditoriums) ή τα κλειστά γυμναστήρια (gymnasiums) όταν οι περιστάσεις το απαιτούν. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

### 15) Ελαχιστοποίηση των θερμών και ψυχρών σημείων ενός χώρου και καλύτερη ρύθμιση της υγρασίας

Το χειμώνα τα συστήματα των ΓΑΘ διατηρούν τον αέρα στο εσωτερικό ενός κτιρίου σε μια σταθερή θερμοκρασία για κάθε σημείο αυτού. Με τον

τρόπο αυτό ελαχιστοποιούνται τα θερμά και ψυχρά σημεία που είναι συνηθισμένα με τα συμβατικά συστήματα, και δεν παρατηρούνται αυξομειώσεις στη θερμοκρασία για διαφορετικά σημεία του ίδιου χώρου.

Επιπλέον, με το γεωθερμικό κλιματισμό δεν υπάρχουν απότομες εκτονώσεις ζεστού ή κρύου αέρα. Τα συστήματα που βασίζονται στην ανάφλεξη και τα οποία λαμβάνουν θερμότητα μέσω σωληνώσεων, παρουσιάζουν περιστασιακά "απότομες εκτονώσεις" ζεστού αέρα, φαινόμενο που αυτόματα τείνει να ξηραίνει την ατμόσφαιρα.

#### 16) Επιδότηση των εγκαταστάσεων – βραχυχρόνια απόσβεση

Αρκετές χώρες επιδοτούν την εγκατάσταση των ΓΑΘ επειδή πρόκειται για μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον. Εταιρίες κοινής ωφέλειας αλλά και ινστιτούτα δανειοδότησης, προσφέρουν ειδικά προγράμματα χρηματοδότησης, ή μείωσης και επιστροφής χρημάτων για τους ιδιοκτήτες ΓΑΘ.

Για τον ακριβή υπολογισμό του χρόνου απόσβεσης μιας τέτοιας επένδυσης, πρέπει να είναι γνωστό το χρηματικό ποσό που εξοικονομείται σε ετήσια βάση από τους λογαριασμούς ενέργειας με τη χρήση του γεωθερμικού συστήματος και η διαφορά στο αρχικό κόστος μεταξύ αυτού και του εναλλακτικού συστήματος κλιματισμού. Έτσι οι ετήσιες δαπάνες απόσβεσης για μία γεωθερμική εγκατάσταση είναι σχετικά υψηλές ενώ τα έξοδα λειτουργίας περιορισμένα.

#### 17) Μεγάλη ποικιλία γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στην αγορά.

Σήμερα, η αγορά διαθέτει μεγάλη ποικιλία αντλιών θερμότητας κατάλληλων για κάθε εφαρμογή. Η διαφοροποίηση τους καθορίζεται από τη λειτουργία τους και από τη θερμοκρασία του νερού στην είσοδο αυτών. Οι περισσότερες ΓΑΘ παρέχουν και ψύξη το καλοκαίρι, αλλά ορισμένα μοντέλα είναι σχεδιασμένα μόνο για θέρμανση το χειμώνα.

Η λειτουργία όλων βασίζεται στις ίδιες θερμοδυναμικές αρχές. Οι κύριες παραλλαγές ωστόσο εντοπίζονται στην αποδοτικότητα και την ισχύ αυτών

που αποτελούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους. Γενικά όσο αυξάνεται η αποδοτικότητα μιας αντλίας θερμότητας, τόσο μειώνεται η απαιτούμενη ενέργεια για την έναρξη της λειτουργίας της. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

## **2.8.2. Μειονεκτήματα των συστημάτων Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας**

### 2.8.2.α. Μειονεκτήματα των συστημάτων ΓΑΘ κλειστού βρόχου

#### 1) Υψηλό αρχικό κόστος

Το αρχικό κόστος των συστημάτων γεωθερμικού κλιματισμού είναι γενικά υψηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος των συμβατικών συστημάτων ψύξης και θέρμανσης. Εκτιμώντας την ετήσια κατανάλωση ενέργειας και την εξοικονόμηση από το μειωμένο κόστος συντήρησης, υπολογίζεται ότι η περίοδος απόσβεσης του αρχικού κεφαλαίου για τις ΓΑΘ μπορεί να ποικίλει από 2 μέχρι 10 χρόνια.

#### 2) Δυσχέρεια στην επιδιόρθωση διαρροών

Στην περίπτωση διαρροής σε κλειστό σύστημα ΓΑΘ, ο ελαττωματικός αγωγός μπορεί να εντοπιστεί και να απομονωθεί χωρίς να επηρεαστεί η λειτουργία του υπόλοιπου συστήματος. Μελέτες ωστόσο έχουν δείξει, ότι τέτοιες διαρροές μπορούν να ελαττώσουν την απόδοση του συστήματος από 20 - 40 %.

#### 3) Παρουσία επικίνδυνων, κάποιες φορές, ψυκτικών υγρών στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη

Στο παρελθόν οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) χρησιμοποιούνταν και στις αντλίες θερμότητας και στα κλιματιστικά μηχανήματα. Τα τελευταία χρόνια όμως, η χρήση τους περιορίστηκε λόγω της σοβαρής επίδρασής τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πρόκειται για τοξικές και εύφλεκτες ουσίες, η

εκτεταμένη διαρροή των οποίων οδηγεί σταδιακά στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Με προσεκτική όμως χρήση, σωστή εγκατάσταση και συντήρηση, τα συστήματα αυτά δεν εμπεριέχουν κανένα κίνδυνο για την υγεία ή την ασφάλεια.

Στις ΓΑΘ σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως η προπυλενική γλυκόλη και η μεθανόλη, ουσίες που δεν είναι τοξικές και δεν προκαλούν κίνδυνο για το περιβάλλον τον άνθρωπο και τα ζώα, σε αυτές τις ποσότητες.

#### 4) Αδυναμία συνδυασμού των ΓΑΘ με συμβατικά σώματα θέρμανσης υψηλών θερμοκρασιών

Τα χαρακτηριστικά των ΓΑΘ δεν τους επιτρέπουν να λειτουργούν σε συνδυασμό με συμβατικά σώματα θέρμανσης υψηλών θερμοκρασιών. Έτσι η λειτουργία τους συνδυάζεται μόνο με συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας όπως είναι τα fan-coils, η θέρμανση δαπέδου κ.τ.λ. Το γεγονός αυτό περιορίζει τη χρήση των ΓΑΘ κυρίως σε νεόκτιστα κτίρια και δυσκολεύει την εγκατάσταση αυτών σε παλαιότερα οικήματα στα οποία το υπάρχον σύστημα απαιτεί εφοδιασμό με υψηλότερες θερμοκρασίες. Η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων στην Ευρώπη είναι παλαιού τύπου.

Η εγκατάσταση λοιπόν των ΓΑΘ σε υπάρχοντα κτίρια, συνεπάγεται στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, πλήρη αντικατάσταση τόσο του συστήματος εφοδιασμού όσο και των σωληνώσεων των κτιρίων που πρέπει να έχουν μεγαλύτερη διάμετρο. Πρόσφατα, στην Ελβετία ανακοινώθηκε η ανάπτυξη μιας αντλίας θερμότητας ικανής να ελευθερώνει νερό θερμοκρασίας 65 °C. Αυτό μπορεί να είναι η αρχή για τη διείσδυση των ΓΑΘ στην απλούστερη μετασκευή παλαιότερων κτιρίων.

#### 5) Μικρός αριθμός πιστοποιημένων σχεδιαστών και εργολάβων τοποθέτησης

Η σωστή διαστασιολόγηση ενός υπόγειου βρόχου στα κλειστά κυκλώματα, αποτελεί το πιο σημαντικό βήμα κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος ΓΑΘ, αλλά και το σημείο που πραγματοποιούνται τα περισσότερα σφάλματα. Λάθη όπως αυτό, αλλά και άλλα κατά την τοποθέτηση του συστήματος, βασίζονται στο σύνολό τους στην έλλειψη

εμπειριών. Αυτό συμβαίνει γιατί η βιομηχανία των ΓΑΘ δεν έχει ακόμα ωριμάσει σε βαθμό τέτοιο, ώστε όλες οι ομάδες μηχανικών σχεδιασμού να έχουν εξοικειωθεί με όλες τις διαθέσιμες εναλλακτικές τεχνικές.

Έτσι τόσο ο σχεδιασμός όσο και η εγκατάσταση, είναι συχνά θέμα εμπειριών καθώς πρόκειται για μια επιλογή που αφορά την πιο κατάλληλη εφαρμογή για κάθε περίπτωση. Υπάρχουν σχετικά λίγες εξειδικευμένες εταιρίες με έμπειρο προσωπικό (μηχανικούς και εργολάβους) για τη διάνοιξη γεωτρήσεων και την κατασκευή κυρίως κατακόρυφων εναλλακτών εδάφους.

#### 6) Μικρή διείσδυση των ΓΑΘ στην αγορά

Η μικρή διείσδυση στην αγορά (σε χώρες όπως η Ελλάδα) μίας τόσο εξαιρετικής τεχνολογίας, οφείλεται αρχικά στην ελλιπή πληροφόρηση των καταναλωτών. Επειδή οι ΓΑΘ σε πολλές χώρες δεν έχουν καθιερωθεί ακόμα, πολλοί εν δυνάμει χρήστες διστάζουν να τις επιλέξουν θεωρώντας ότι αποτελούν πειραματική τεχνολογία. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και η δυσκολία ως προς την υιοθέτηση καινούριων προτύπων στα κτίρια, αλλά και η απροθυμία του κοινού να χρησιμοποιήσει καινούριες τεχνολογίες και με μεγάλο αρχικό κόστος.

Επιπλέον οι προμηθευτές συμβατικών συστημάτων κλιματισμού δεν ενδιαφέρονται να διαθέσουν στην αγορά συστήματα που δεν γνωρίζουν καλά και υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα ως προς το κέρδος που θα τους αποφέρουν. Τέλος ένας σημαντικός παράγοντας είναι και η προαναφερθείσα έλλειψη ειδικού και έμπειρου προσωπικού για την εγκατάσταση των συστημάτων αυτών.

Μέτρα όπως οι τεχνικές οδηγίες, η πιστοποίηση των εργολάβων, τα βραβεία ποιότητας κ.τ.λ. που έχουν ξεκινήσει από τις πιο προηγμένες χώρες στην τεχνολογία αυτή, τείνουν να βελτιώσουν την κατάσταση.

(πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

#### 2.8.2.β. Μειονεκτήματα των συστημάτων ΓΑΘ ανοιχτού βρόχου

##### 1) Απαιτείται η παροχή νερού μεγάλης ποσότητας και καλής ποιότητας

Η κακή ποιότητα νερού μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στα συστήματα ανοιχτού βρόχου. Έτσι, πριν την εγκατάσταση αλλά και κατά τη διάρκεια λειτουργίας ενός συστήματος ΓΑΘ, θα πρέπει να ελέγχονται διάφορες παράμετροι που αφορούν στην ποιότητα του νερού. Συνήθως ελέγχεται η οξύτητα του, η περιεκτικότητα σε μεταλλικά στοιχεία και διαλυμένα στερεά αλλά και η διαβρωτικότητα του νερού. Εάν κάποια από τις παραπάνω παραμέτρους μεταβληθεί με το χρόνο δημιουργούνται προβλήματα στην εφαρμογή.

## 2) Προβλήματα μεταβολών στη σύσταση και την ποσότητα του νερού

Όταν ικανοποιούνται οι προδιαγραφές για το περιβάλλον και το νερό απορρίπτεται σε επιφανειακούς αποδέκτες, είναι δυνατή η εξάντληση του υδροφορέα ή η ακανόνιστη μεταβολή της ποσότητας του νερού ειδικά κατά τις περιόδους ξηρασίας. Ακόμα η ποιότητα του νερού μπορεί να αλλάξει με το χρόνο λόγω των μεταβολών στη χημεία του.

## 3) Νομικοί - περιβαλλοντικοί κανονισμοί

Δεν είναι λίγες οι περιοχές όπου για περιβαλλοντικούς και άλλους λόγους, αποφεύγεται ή απαγορεύεται το άνοιγμα πηγαδιών ή γεωτρήσεων από κανονισμούς ή την ισχύουσα νομοθεσία. Αυτό έχει να κάνει συνήθως με προβλήματα που προκύπτουν από τη διάθεση του νερού, έγγραφες άδειες για τα δικαιώματα του νερού κ.τ.λ.. (πηγή: <http://geoheat.oit.edu>, 2007)

## 4) Συχνή συντήρηση

Τα συστήματα ανοιχτών βρόχων χρειάζονται μεγαλύτερη συντήρηση από τα συστήματα κλειστών βρόχων αφού συχνά οι σωληνώσεις παρουσιάζουν φαινόμενα αποφλοιώσης ή διάβρωσης. Η διάβρωση στις ενδιάμεσες αντλίες θερμότητας επιβάλλει την αντικατάστασή τους κάθε 6-7 χρόνια χρήσης. Ακόμα, σταδιακά μπορούν να αναπτυχθούν μέσα σε ένα εναλλάκτη θερμότητας και μεταλλικά ιζήματα (κυρίως πυρίτιο και ανθρακικά άλατα του ασβεστίου), ενώ διάφορες άλλες ακαθαρσίες μπορούν να φράξουν το φρέαρ επανέγχυσης. Τέλος οι διάφορες οργανικές ουσίες στις λίμνες μπορούν να καταστρέψουν ένα γεωθερμικό σύστημα με γοργούς ρυθμούς. (πηγή: <http://waterfurnace.com> και [www.egec.org](http://www.egec.org), 2007)

5) Οι υποβρύχιες αντλίες απαιτούν μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑ**

#### **3.1. Εισαγωγή**

Το ενδιαφέρον των καταναλωτών για νέες ενεργειακές τεχνολογίες που υπόσχονται εξοικονόμηση ενέργειας με ταυτόχρονη μείωση του κόστους και προστασία του περιβάλλοντος, αυξάνεται καθημερινά.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ένα σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχει τη δυνατότητα να εκμεταλλεύεται τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους και σε συνδυασμό με την ηλεκτρική ενέργεια, να προσφέρει σε ένα κτίριο, με τη μέγιστη απόδοση, τόσο θέρμανση όσο και ψύξη. Για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί το σύστημα αποδίδει περίπου τέσσερις μονάδες θερμικής ενέργειας, με αποτέλεσμα η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος να φτάνει το 400%.

Σήμερα, ένας μεγάλος αριθμός κατασκευαστών γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και εταιρειών εγκατάστασης αυτών, εργάζεται εντατικά πάνω στην ανάπτυξη της τεχνολογίας τους και στη βελτίωση των εφαρμογών τους. Έτσι οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας απαντώνται σήμερα σε μεγάλο βαθμό, όχι μόνο σε σπίτια και γραφεία αλλά και σε εργοστάσια, εκπαιδευτικά ιδρύματα, εκκλησίες, εμπορικά κέντρα κ.α.

#### **3.2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ – CASE STUDIES**

Αναζητώντας κανείς εφαρμογές μεγάλης κλίμακας και όχι μόνο, ανά τον κόσμο, συναντά αξιοσημείωτα παραδείγματα βέλτιστης χρήσης των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Στη συνέχεια παρατίθενται τρία παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών, το πρώτο στο Γυμνάσιο “Fond du Lac”



στο Wisconsin των Ηνωμένων Πολιτειών, το δεύτερο σε κέντρο αναψυχής στο νότιο Caribou της British Columbia του Καναδά και το τρίτο σε ιδιόκτητη οικία της Κοινότητας Θρακομακεδόνων του Δήμου Αχαρνών του Νομού Αττικής.

### Παράδειγμα 1°

#### **3.2.1. Εφαρμογή στο Γυμνάσιο “Fond du Lac” στο Wisconsin των ΗΠΑ**

##### **3.2.1.1. Εισαγωγή**

Το δημόσιο εκπαιδευτικό ίδρυμα “Fond du Lac High School” βρίσκεται στο Wisconsin των Ηνωμένων Πολιτειών και ιδρύθηκε το 2001 αντικαθιστώντας το προϋπάρχον γυμνάσιο “Goodrich High School”. Η κατασκευή του κράτησε 16 μήνες περίπου και το κόστος του ανήλθε στα \$ 40,1 εκατομμύρια.



Σχήμα 3.1: Πανοραμική άποψη του “Fond du Lac High School” (Πηγή: [www.alliantenergygeothermal.com](http://www.alliantenergygeothermal.com))

Φιλοξενεί περισσότερους από 2.500 μαθητές ενώ από πλευράς διαστάσεων είναι το μεγαλύτερο γυμνάσιο της Πολιτείας του Wisconsin με έκταση 37.639 m<sup>2</sup> (σχήμα 3.1). Το σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας με τοποθέτηση μέσα σε λίμνες που διαθέτει, είναι μοναδικό στις ΗΠΑ για το μέγεθος του σχολείου.

Ενώ κάποια από τα αρχικά κόστη εγκατάστασης του έργου ήταν υψηλότερα σε σχέση με λιγότερο αποδοτικές επιλογές συστημάτων, η διοίκηση του σχολείου τάχθηκε υπέρ της οικονομίας στον κύκλο ζωής του έργου. Η χρηματοδότηση του συστήματος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έγινε μέσω των “Wisconsin Focus on Energy” και του “Alliant Energy’s Shared Savings program”. Το κτίριο περιλαμβάνει και άλλες μορφές αποδοτικών ενεργειακά τεχνολογιών όπως π.χ. παράθυρα χαμηλής απώλειας και φωτισμό υψηλής απόδοσης. Έτσι στο κτίριο γίνεται μέγιστη χρήση του φυσικού φωτισμού πράγμα που μειώνει την ανάγκη για χρήση ηλεκτρικών λαμπτήρων και ψύξη των χώρων.

### **3.2.1.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

#### **α. Λίμνες**

Για τη θέρμανση και την ψύξη του σχολικού κτιρίου, την κύρια ενεργειακή πηγή αποτελούν δύο λίμνες κατασκευάστηκαν ειδικά για το σκοπό αυτό (σχήμα 3.2 σημεία 1 & 2). Η έκταση που καλύπτει κάθε λίμνη είναι 24,2 στρέμματα και το βάθος αυτών είναι περίπου 6 m. Ο βυθός των λιμνών καλύπτεται από σύστημα βρόχων συνολικού μήκους 66 Km, αποτελούμενων από 720 σπειρώματα.

Το χειμώνα, οι βρόχοι μεταφέρουν θερμότητα από τις λίμνες στο εσωτερικό του κτιρίου, ενώ το καλοκαίρι η μεταφορά θερμότητας γίνεται από το εσωτερικό του κτιρίου προς τις λίμνες. Κατά την κανονική λειτουργία του συστήματος, οι λίμνες αποδίδουν νερό θερμοκρασίας 3,9 °C το χειμώνα και 18,3 °C το καλοκαίρι.

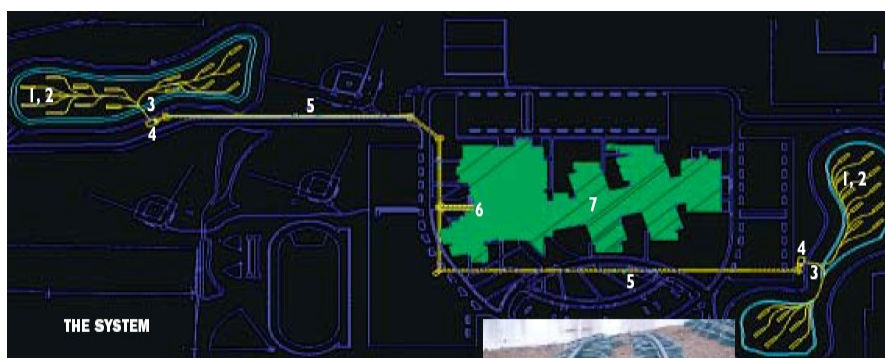
Η συνολική κατανάλωση ενέργειας σχετίζεται με το μέσο όρο της εξωτερικής θερμοκρασίας. Το κτίριο καταναλώνει την ελάχιστη δυνατή ηλεκτρική ενέργεια όταν η εξωτερική θερμοκρασία βρίσκεται περίπου στους 10 °C. Στη θερμοκρασία αυτή το κτίριο ισορροπεί θερμικά. Όταν η εξωτερική θερμοκρασία αποκλίνει από τους 10 °C, για να διατηρηθεί η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου, τίθενται σε λειτουργία οι αντλίες θερμότητας οπότε απαιτείται περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια.

Η θερμική ενέργεια στις λίμνες ανανεώνεται με τρεις τρόπους. Αρχικά το χειμώνα ένα παχύ στρώμα πάγου καλύπτει τις λίμνες απομονώνοντάς τις από τις χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, στη συνέχεια το καλοκαίρι η εξάτμιση απομακρύνει την υπερβολική θερμότητα από αυτές και τέλος το έδαφος διατηρείται στη σχεδόν σταθερή θερμοκρασία των 10 °C όλο το χρόνο κρατώντας τη θερμοκρασία της λίμνης σταθερή.

## β. Γεωθερμικοί Βρόχοι

- Το σύστημα των γεωθερμικών βρόχων αποδίδει 2.462 kW (700 t) για ψύξη και θέρμανση αποτελούμενο από:
- 66 Km σωλήνων καλά μονωμένων και πληρωμένων με αντιψυκτικό ρευστό
- 720 σπειρώματα μήκους 91,4 m σε ανεξάρτητες κυκλικές διαδρομές που συνδέονται στον υδραυλικό αγωγό
- Δύο αντλίες συνολικής ισχύος 150 ίππων με κίνηση μεταβλητής ταχύτητας

Στο σχήμα 3.2 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο οι σπείρες έχουν τοποθετηθεί μέσα στις δύο λίμνες (σημεία 1 & 2). Η μεταφορά της θερμότητας, όπως φαίνεται στην ίδια εικόνα, γίνεται με το σύστημα των βρόχων στο κτίριο (σημεία 3, 4, 5).



Σχήμα 3.2. Σχηματική αναπαράσταση του συστήματος γεωθερμικών αντλιών θερμότητας στο Γυμνάσιο "Fond du Lac" (Πηγή: [www.alliantenergygeothermal.com](http://www.alliantenergygeothermal.com))

Το ρευστό οδηγείται μέσω των βρόχων με μια αντλία μεταβαλλόμενης ταχύτητας άντλησης. Η ταχύτητα άντλησης μεταβάλλεται καθώς οι αντλίες

θερμότητας ξεκινούν ή σταματούν τη λειτουργία τους με σκοπό τη διατήρηση μιας ευχάριστης θερμοκρασίας μέσα στις αίθουσες.

Κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους λειτουργίας του συστήματος, η άντληση στους βρόχους δεν υπερέβη ποτέ το 60% της μέγιστης ταχύτητας. Αυτό σημαίνει ότι οι αντλίες δεν τέθηκαν ποτέ σε λειτουργία όλες μαζί, και οι απαιτήσεις του συστήματος δεν έφθασαν τη μέγιστη ικανότητα της μονάδας.

Οι βρόχοι είναι πολύ καλά μονωμένοι στους αρμούς έτσι ώστε να αποφευχθεί πιθανή διαρροή, ενώ το αντιψυκτικό ρευστό μέσα σ' αυτούς αποτελείται από μη τοξική, γλυκόλη προπυλενίου.

#### **γ. Αντλίες θερμότητας**

Το σύστημα των αντλιών θερμότητας αποτελείται από:

- 179 αντλίες θερμότητας νερού-αέρα (water-to-air) που βρίσκονται μέσα στις αίθουσες διδασκαλίας για να θερμαίνουν και να ψύχουν το κτιριακό συγκρότημα. Κάθε αίθουσα διαθέτει τη δική της αντλία θερμότητας, εγκατεστημένη μέσα σε ντουλάπα για εύκολη συντήρηση και επισκευή (σχήμα 3.3).

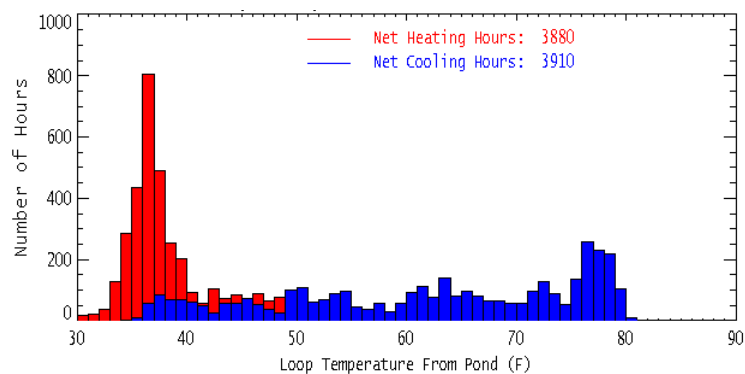


*Σχήμα 3.3: Σύστημα ελέγχου του συστήματος μέσα σε ντουλάπα για κάθε διδακτική αίθουσα (πηγή: [www.alliantenergygeothermal.com](http://www.alliantenergygeothermal.com))*

Οι αντλίες λειτουργούν μόνο όταν αυτό είναι απαραίτητο. Κάθε μία έχει το δικό της θερμοστάτη επιτρέποντας στους χρήστες να ρυθμίζουν τη θερμοκρασία στο επιθυμητό επίπεδο. Τα μεγέθη των αντλιών θερμότητας ποικίλουν από (2,81 - 52,758) kWh (ή 0,8 - 15 τόνους). Μια χαρακτηριστική αίθουσα διδασκαλίας 84 m<sup>2</sup> χρειάζεται μια μονάδα μεγέθους 7,03 kWh (2

τόνων). Η μόνη απαραίτητη συντήρηση για τις αντλίες είναι η αλλαγή 4 φίλτρων το χρόνο.

Η θερμοκρασία των βρόχων μέσα στις λίμνες καθορίζει την αποδοτικότητα των αντλιών θερμότητας. Οι κόκκινες μπάρες του διαγράμματος 3.1, δείχνουν τις συνολικές ώρες κατά τις οποίες η λίμνη έδωσε θερμότητα στο κτίριο με μία συγκεκριμένη θερμοκρασία. Τις περισσότερες φορές η θερμοκρασία στην οποία βρισκόταν το ρευστό των αντλιών θερμότητας μέσα στις λίμνες ήταν 2,2 °C. Οι μπλε μπάρες του διαγράμματος δείχνουν τον αριθμό των ωρών κατά τις οποίες η λίμνη δεχόταν θερμότητα συγκεκριμένης θερμοκρασίας από το κτίριο.



Διάγραμμα 3.1: Στο διάγραμμα φαίνεται η κατανομή της θερμοκρασίας στους βρόχους μέσα στις λίμνες (Πηγή: [www.alliantenergygeothermal.com](http://www.alliantenergygeothermal.com))

#### δ. Εξαερισμός

Στις αίθουσες διδασκαλίας διοχετεύεται συνεχώς φρέσκος αέρας μέσω ενός ανεξάρτητου συστήματος με ανάκτηση θερμότητας. Επειδή παρέχεται φρέσκος αέρας, οι απαιτούμενες σωληνώσεις είναι λιγότερες από ότι σε ένα συμβατικό σύστημα που θα παρείχε ρυθμισμένη ροή αέρα σε κάθε αίθουσα. Ο ρυθμός εξαερισμού αντιστοιχεί σε 25,5 m<sup>3</sup>/h (15 cfm) ανά άτομο στις αίθουσες διδασκαλίας, (δύο φορές πάνω από τα προβλεπόμενα επίπεδα) και 12,7 m<sup>3</sup>/h (7,5 cfm) ανά άτομο στους κοινόχρηστους χώρους.

Η θερμότητα ανακτάται από τον εξατμιζόμενο αέρα μέσω ενός συστήματος που περιέχει 26 τροχούς ανάκτησης θερμότητας συνδεδεμένους με τις 14 αντλίες θερμότητας νερού – νερού (water-to-water). Το σύστημα εξαερισμού προθερμαίνει ή προψύχει τον εξωτερικό αέρα ώστε να τον

προσαρμόσει στη θερμοκρασία της αίθουσας. Το ποσοστό της θερμότητας που ανακτάται φτάνει το 65-75% εξοικονομώντας χρήματα για τη θέρμανση ή την ψύξη.



Σχήμα 3.4: Σπειροειδείς διατάξεις εναλλακτών θερμότητας στην όχθη της λίμνης.



Σχήμα 3.5: Εναλλάκτες θερμότητας στην επιφάνεια της λίμνης, λίγο πριν βυθιστούν.



Σχήμα 3.6: Οι κύριοι αγωγοί τροφοδοσίας από και προς το σχολικό κτίριο.



Σχήμα 3.7: Το σύστημα των 14 αντλιών θερμότητας για τους κοινόχρηστους χώρους



Σχήμα 3.8: Οι βοηθητικοί λέβητες για την συμπληρωματική τροφοδοσία

#### ε. Κοινόχρηστοι χώροι και βοηθητική θέρμανση

Η θέρμανση και η ψύξη των κοινόχρηστων χώρων, του αμφιθέατρου και του γηπέδου γίνεται με 14 αντλίες θερμότητας νερού-νερού, που τοποθετούνται σε κεντρική θέση και προκαθορίζουν τη θερμοκρασία του αέρα στον εξαερισμό. Τέσσερις βοηθητικοί λέβητες, υψηλής απόδοσης, με δυναμικότητα 1,6 εκατομμύρια BTU/h έκαστος, βρίσκονται στους προθάλαμους και διατίθενται για τη συμπληρωματική τροφοδοσία των

κοινόχρηστων χώρων, των θαλάμων και των βρόχων όταν επικρατούν ακραία καιρικά φαινόμενα.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι κατά τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του συστήματος, οι εφεδρικοί λέβητες δεν χρησιμοποιήθηκαν ποτέ για τη θέρμανση των βρόχων.

#### **στ. Κόστος του συστήματος**

- εξοπλισμός HVAC εσωτερικών χώρων: \$ 5,2 εκατομμύρια
- βρόχοι λιμνών: \$ 465.000
- Συνολικό κόστος: \$ 12/ft<sup>2</sup>

#### **3.2.1.3. ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Το γυμνάσιο “Fond du Lac” απολαμβάνει ένα μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων χάρη στην εγκατάσταση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας για τη θέρμανση και την ψύξη του κτιρίου.

##### α. Ενεργειακά οφέλη:

- Εξοικονόμηση ενέργειας κατά 20%, σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα
- Το κόστος στη ζήτηση αιχμής είναι μειωμένο λόγω της ποιο ομοιόμορφης κατανάλωσης ενέργειας κατά τη διάρκεια του έτους
- Το σύστημα ανακτά έως και το 80% της θερμότητας που έχει χρησιμοποιηθεί όταν φρέσκος αέρας εισέρχεται στο σχολείο.

##### β. Περιβαλλοντικά οφέλη:

- Μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 13%
- Οι λίμνες δεν επηρεάζονται από τους βρόχους που τοποθετούνται στον βυθό τους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκπαιδευτικούς ψυχαγωγικούς ή άλλους σκοπούς.

##### γ. Πρακτικά οφέλη:



- Ιδιαίτερα πρακτική για τους χρήστες είναι η δυνατότητα που παρέχει το σύστημα για ρύθμιση της θερμοκρασίας σε κάθε αίθουσα χωριστά ( $\pm 2^{\circ}\text{F}$ )
- Το ανεξάρτητο σύστημα εξαερισμού παρέχει επαρκή φρέσκο αέρα
- Οι αντλίες είναι ανεξάρτητες, έτσι οι θερμοκρασιακές ρυθμίσεις σε ένα χώρο δεν επηρεάζουν τους υπόλοιπους

#### δ. Κατασκευαστικά οφέλη:

- Ο χώρος για το μηχανολογικό εξοπλισμό μειώθηκε κατά 50% σε σχέση με άλλα συμβατικά συστήματα. Στο χώρο που εξοικονομήθηκε κατασκευάστηκαν 9 επιπλέον αίθουσες διδασκαλίας.
- Απαιτήθηκαν λιγότερες εργασίες εγκατάστασης σωληνώσεων

#### ε. Οικονομικά οφέλη:

- Κάθε χρόνο εξοικονομούνται περίπου 290.000 \$ από τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος ψύξης και θέρμανσης του κτιρίου.
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του κτιρίου αναμένεται να είναι 40% χαμηλότερο από εκείνο των συμβατικών συστημάτων HVAC.

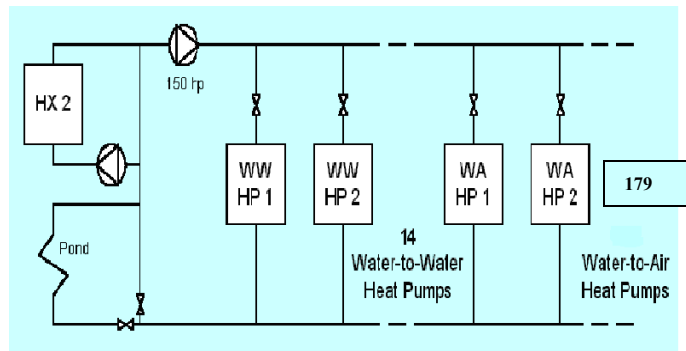
#### στ. Αξιοπιστία:

- Η απαραίτητη ετήσια συντήρηση για τις αντλίες θερμότητας περιορίζεται στην αντικατάσταση 4 φίλτρων
- Οι αντλίες θερμότητας είναι τόσο αξιόπιστες όσο ένα ψυγείο και έχουν διάρκεια ζωής 20 με 25 χρόνια. Η αντικατάστασή τους μπορεί να γίνει σταδιακά επηρεάζοντας μόνο μία αίθουσα κάθε φορά
- Οι βρόχοι είναι σφραγισμένοι κι έχουν εγγύηση 50 χρόνων

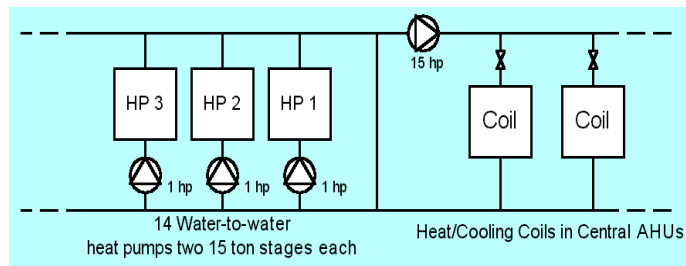
(Πηγή: [www.alliantenergygeothermal.com](http://www.alliantenergygeothermal.com))



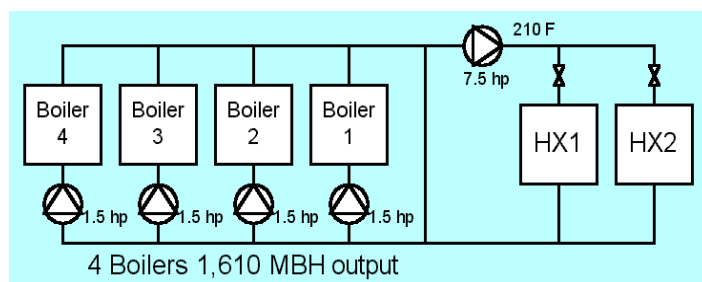
## Παράρτημα 1<sup>ο</sup> παραδείγματος



Σχήμα 3.9 : Βρόχοι λιμνών ([www.cdhenenergy.com](http://www.cdhenenergy.com))



Σχήμα 3.10 : Αντλίες θέρμανσης νερού ([www.cdhenenergy.com](http://www.cdhenenergy.com))



Σχήμα 3.11 : Οι τέσσερις λέβητες για τη θέρμανση των βοηθητικών βρόχων

(πηγή: [www.cdhenenergy.com](http://www.cdhenenergy.com))

## Παράδειγμα 2<sup>ο</sup>

### 3.2.2. Εφαρμογή σε κέντρο αναψυχής στο νότιο Caribou της British Columbia του Καναδά

#### 3.2.2.1. Εισαγωγή

Το συγκεκριμένο κέντρο αναψυχής βρίσκεται στην κοινότητα 100 Mile House στο νότιο Caribou της British Columbia του Καναδά. Το γήπεδο του χόκεϊ που διαθέτει, αποτελεί τη βασική δραστηριότητα των κατοίκων της κοινότητας.

Μετά από 50 χρόνια λειτουργίας του γηπέδου, οι Αρχές της κοινότητας αποφάσισαν να αντικαταστήσουν το γερασμένο γήπεδο του χόκεϊ με ένα καινούριο και καλά μονωμένο. Αναζητώντας ένα σύστημα θέρμανσης και κλιματισμού που να ελαχιστοποιεί τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και να μειώνει το ενεργειακό και λειτουργικό κόστος του κτιρίου, επισκέφτηκαν ορισμένες αντίστοιχες νεόδμητες εγκαταστάσεις. Οι κατασκευές στο Chase και στο Kamloops της British Columbia είχαν χρησιμοποιήσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα γεωθερμικής ψύξης, θέρμανσης (R/HVAC) και εξαερισμού. Η απλότητα στη λειτουργία των συστημάτων αυτών καθώς και το χαμηλό κόστος σε ενέργεια, σε συντήρηση και σε χρήση, τράβηξε την προσοχή τους.



Σχήμα 3.12: Το κέντρο αναψυχής στο νότιο Caribou, 100 Mile House, British Columbia (Πηγή: <http://geoheat.oit.edu>)

Το μεγαλύτερο μέρος του κτιρίου είναι ξύλινο και καλά μονωμένο. Η συνολική έκταση αυτού είναι 5.241 m<sup>2</sup>, και στο εσωτερικό του βρίσκονται το γήπεδο χόκεϊ (2.498 m<sup>2</sup>), το γήπεδο curling (836 m<sup>2</sup>), τα γραφεία των εγκαταστάσεων (195 m<sup>2</sup>), τα αποδυτήρια (760 m<sup>2</sup>), ο χώρος υποδοχής (lobby) για το γήπεδο χόκεϊ (550 m<sup>2</sup>), καθώς και ο χώρος υποδοχής και αναμονής για το γήπεδο του curling (335 m<sup>2</sup>). Οι θέσεις για τους θεατές είναι περίπου 700. Το γήπεδο του χόκεϊ είναι καινούρια κατασκευή ενώ το γήπεδο του curling μετασκευή.

Κατά μήκος του γηπέδου και κάτω από τις κερκίδες, υπάρχουν 6 χώροι αποδυτηρίων. Τα αποδυτήρια μαζί με τα δωμάτια μηχανολογικού εξοπλισμού καλύπτουν μία επιφάνεια 760 m<sup>2</sup> περίπου.

Το κτίριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν η εγκατάσταση χρησιμοποιείται και για άλλες δραστηριότητες όπως είναι το inline χόκεϊ ή το παιχνίδι lacrosse.

### **3.2.2.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Το κτίριο στην κοινότητα 100 Mile House κατασκευάστηκε σε μία μεγάλη έκταση και ολοκληρώθηκε το 2002. Για τη θέρμανση και ψύξη του χώρου εγκαταστάθηκε ένας οριζόντιος υπόγειος βρόχος στο πίσω μέρος του κτιρίου. Το σύστημα των σωληνώσεων τοποθετήθηκε οριζόντια μέσα σε τάφρους βάθους 2,4 m και αποτελείτο από 50 κυκλώματα των 25 mm και από σωλήνα HDPE SDR11 συνολικού μήκους 300 m (σχήμα 3.18).

Ειδικά χαρακτηριστικά του συστήματος θεωρούνται:

- Το δάπεδο προσωρινής αποθήκευσης θερμότητας (thermal storage buffer floor) (πατέντα), σχεδιασμένο για να ελαχιστοποιεί τη μέγιστη απαίτηση σε ψύξη και να διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία του πάγου.
- Η βελτιωμένη διάταξη των σωληνώσεων στο παγοδρόμιο για να ελαχιστοποιούνται οι απαιτήσεις σε κινητήρια δύναμη άντλησης.
- Ο υπόγειος βρόχος για να αποθηκεύεται η περίσσεια θερμότητας και να παρέχεται επιπλέον θερμότητα όταν αυτό είναι απαραίτητο.

### **α. Τρόπος λειτουργίας του συστήματος**

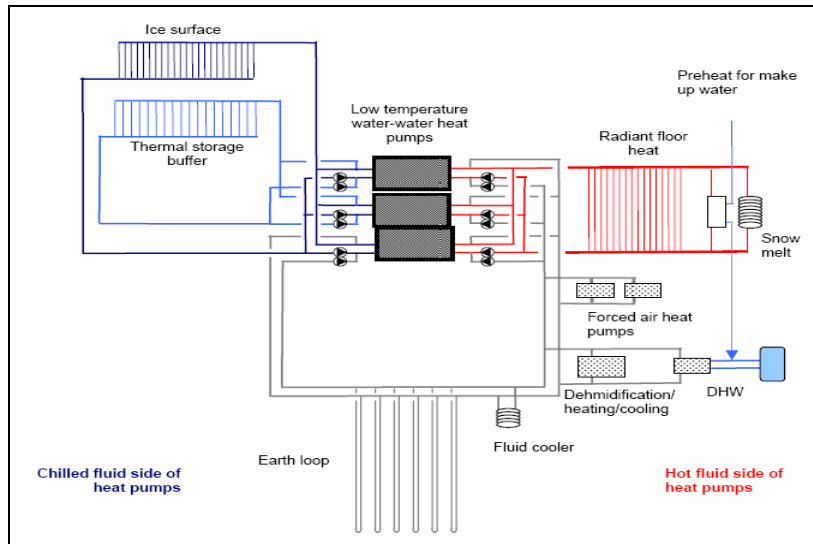
Η γεωθερμική διάταξη που αντικαθιστά το συμβατικό σύστημα για τη θέρμανση και ψύξη του κτιρίου αλλά και την ψύξη του πάγου στα γήπεδα, χρησιμοποιεί 8 μεγάλες αυτόνομες αντλίες θερμότητας νερού-νερού με συνολική δυναμικότητα σε ψύξη (γήπεδα χόκεϊ & curling) 310 kW (88 tons) (σχήμα 1). Οι αντλίες αυτές παράγουν και συντηρούν τον πάγο και είναι σχεδιασμένες για να λειτουργούν σε θερμοκρασίες πηγής από -18 °C και να παράγουν νερό σε θερμοκρασίες έως και 51 °C (σχήμα 3.17). Η θερμοκρασία στην περιοχή του πάγου διατηρείται σταθερή στους 10 °C περίπου.

Η πρωτότυπη διάταξη που έχει τοποθετηθεί ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του πάγου, επιτρέπει την προσωρινή θερμική αποθήκευση ψύξης (thermal cold storage). Έτσι η επιφάνεια του πάγου και η “διάταξη προσωρινής θερμικής αποθήκευσης” είναι η βασική πηγή θερμότητας για τις αντλίες νερού-νερού χαμηλής θερμοκρασίας. Οι αντλίες αυτές απορροφούν τη θερμότητα που αφαιρείται από τον πάγο και τη διοχετεύουν απευθείας για τη θέρμανση του κτιρίου (σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης) και τη δημιουργία ζεστού νερού χρήσης. Το νερό χρήσης προθερμαίνεται στους 25-30 °C χρησιμοποιώντας έναν εναλλάκτη θερμότητας διπλού τοίχου.

Όταν η θερμοκρασία στο χώρο του πάγου και κάτω από αυτόν είναι ικανοποιητική αλλά το κτίριο χρειάζεται επιπλέον θερμότητα, οι παραπάνω αντλίες εξάγουν θερμότητα από τον υπόγειο βρόχο. Στην περίπτωση αυτή παρέχονται στο κτίριο 59–73 kW περίπου, ανάλογα με τη θερμοκρασία του υπόγειου βρόχου. Όταν η θερμοκρασία είναι ικανοποιητική πάνω από την επιφάνεια του πάγου, οι αντλίες θερμότητας αναλαμβάνουν την απόρριψη θερμότητας στον υπόγειο βρόχο. Στην περίπτωση αυτή η μονάδα χρησιμοποιείται για παροχή κλιματισμού (air conditioning) (ψύξη-θέρμανση) 56 kW (16 τόνους) περίπου.

Με τον τρόπο αυτό, ο υπόγειος βρόχος αποτελεί μία δευτερεύουσα πηγή άντλησης και απόρριψης θερμότητας για το παραπάνω κύριο σύστημα αντλιών. Αποτελεί όμως κύρια πηγή άντλησης και απόρριψης θερμότητας για τις ξεχωριστές συμβατικές γεωθερμικές αντλίες θερμότητας του συστήματος Έτσι, οι αντλίες που χρησιμοποιούνται για τη διανομή του αέρα στα γραφεία (forced air heat pumps), για την παραγωγή ζεστού νερού στα ντους (preheat

for make up water), αλλά και τη μονάδα ξήρανσης (dehumidification / heating / cooling) συνδέονται όλες κατευθείαν στον υπόγειο βρόχο, από τον οποίο είτε εξάγουν είτε εισάγουν θερμότητα σύμφωνα με τις ανάγκες του κύριου συστήματος. Στο σχήμα 3.13 φαίνεται η λειτουργία του όλου συστήματος.



Σχήμα 3.13: Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης ψύξης του κέντρου αναψυχής στο 100 Mile House της British Columbia του Καναδά. (Πηγή: <http://geoheat.oit.edu>)

Οι 8 μεγάλες αντλίες θερμότητας νερού-νερού του κύριου συστήματος, διοχετεύονται μέσω σωληνώσεων σε 4 ζευγάρια. Κάθε ένα απ' αυτά τα ζευγάρια, σωληνώνεται με δύο αντλίες κυκλοφορίας που συνδέονται στη μεριά του ψυχρού ρευστού και δύο αντλίες κυκλοφορίας που συνδέονται στην πλευρά του θερμού ρευστού. Το ψυχρό ρευστό μπορεί να κυκλοφορεί ή στις σωληνώσεις για την επιφάνεια του πάγου, στη διάταξη προσωρινής αποθήκευσης θερμότητας, ή στο γεωεναλλάκτη για να συλλέξει θερμότητα. Το θερμό ρευστό, ανάλογα με τις θερμοκρασίες του κτιρίου, μπορεί να κυκλοφορεί είτε στο σύστημα θέρμανσης του κτιρίου είτε στον εδαφικό βρόχο (σχήμα 3.13).

Το σύστημα απαιτεί 4 αντλίες κυκλοφορίας 3-hr για την κυκλοφορία του ρευστού. Εάν κάποια από τις αντλίες θερμότητας ή κυκλοφορίας χαλάσει, οι υπόλοιπες συνεχίζουν να συντηρούν τον πάγο. Το γεωθερμικό αυτό σύστημα στο σύνολό του είναι σχεδιασμένο για να εξασφαλίζει επάρκεια σε μεγάλο βαθμό.

### **β. Συσκευή ψύξης του ρευστού (evaporative fluid cooler):**

Σε χώρους όπου στεγάζονται παγοδρόμια, επικρατεί το ψυκτικό φορτίο. Έτσι, την άνοιξη και το φθινόπωρο όταν το κτίριο χρειάζεται λιγότερη θερμότητα από το χειμώνα, ο υπόγειος βρόχος γίνεται κορεσμένος σε θερμότητα και η θερμοκρασία του ανεβαίνει στους 27-32 °C περίπου. Για να διασφαλιστεί ότι η θερμοκρασία στο βρόχο δεν θα ανέβει ακόμα ψηλότερα, και για να προστατευθεί αυτός από την υπερθέρμανση, μία συσκευή ψύξης του ρευστού (evaporative fluid cooler) έχει εγκατασταθεί στο σύστημα (σχήμα 3.13).

Κατά τη διάρκεια της μέγιστης χρήσης του πάγου η συσκευή ψύξης του ρευστού (χρησιμοποιούμενο ρευστό, νερό και μεθανόλη 30%) εργάζεται παράλληλα με τον υπόγειο βρόχο για τη μείωση του θερμικού φορτίου σ' αυτόν. Κατά τη διάρκεια της νύχτας όπου το κτίριο δεν χρησιμοποιείται, το ρευστό στον υπόγειο βρόχο συνεχίζει την κυκλοφορία του μέσω της συσκευής ψύξης αυτού (fluid cooler) για να μειώσει ακόμα περισσότερο τη θερμοκρασία του. Αυτό επιτρέπει την πιο άμεση απορρόφηση θερμότητας από το υπόγειο σύστημα κατά τη διάρκεια της ζήτησης μέγιστου φορτίου την επόμενη μέρα.

### **γ. Ψύξη και θέρμανση των χώρων του κτιρίου**

Για τον κλιματισμό του κτιρίου στο σύνολό του (γραφεία, αποδυτήρια, χώροι αναμονής κ.τ.λ.), απαιτούνται 84 kW (24 tons) περίπου.

Ο χώρος των κερκίδων θερμαίνεται με ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης. Οι σωληνώσεις του συστήματος είναι ενσωματωμένες μέσα στο μπετόν των προκατασκευασμένων τσιμεντένιων κερκίδων (σχήμα 3.16). Τα θερμαινόμενα καθίσματα, εκτός από την άνεση των επισκεπτών, σκοπό έχουν και την επίλυση προβλημάτων όπως είναι αυτό με τις μικρές ποσότητες χιονιού που μεταφέρονται (π.χ. με παπούτσια) ανάμεσα στις θέσεις, ή κάποιο ποτό που έχει χυθεί στα καθίσματα. Με την υπάρχουσα θέρμανση όλα τα παραπάνω ξηραίνονται και εξατμίζονται γρήγορα, μειώνοντας το χρόνο καθαρισμού και την πιθανότητα κάποιος να γλιστρήσει στο βρεγμένο πάτωμα.

Κατά μήκος του γηπέδου, κάτω από τις κερκίδες υπάρχουν 6 χώροι αποδυτηρίων οι οποίοι θερμαίνονται επίσης με ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης και η θερμοκρασία τους διατηρείται σταθερή (21 °C περίπου). Η επιδαπέδια θέρμανση στην περίπτωση αυτή ελαττώνει και την πιθανότητα ανάπτυξης μούχλας στα αποδυτήρια. Κάτω από το δάπεδο των χώρων αυτών έχει τοποθετηθεί μονωτικός αφρός υψηλής πυκνότητας για να μην χάνεται θερμότητα προς το έδαφος.

Ο εξαερισμός των αποδυτηρίων πραγματοποιείται μέσω συστήματος που προσφέρει ανάκτηση θερμότητας (heat recovery ventilation system) (HRV). Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας οδηγεί τον αέρα μέσω αγωγών από τα αποδυτήρια στο χώρο του παγοδρομίου και στη συνέχεια μέσω εσχάρας μεταφοράς (transfer grills) τον επιστρέφει στα αποδυτήρια.

Το νέο μετασκευασμένο γήπεδο του curling ψύχεται χρησιμοποιώντας το γεωθερμικό σύστημα με το οποίο έχει πρόσφατα συνδεθεί. Το σύστημα θέρμανσης στην αίθουσα αναμονής και στην καφετέρια του γηπέδου αυτού δεν έχει ακόμα συνδεθεί εξαιτίας του κόστους. Υπάρχουν όμως σχέδια για τη τροποποίηση αυτού του συστήματος στο κοντινό μέλλον.

#### **δ. Υγρασία και έλεγχος της θερμοκρασίας στο παγοδρόμιο του χόκεϊ:**

Ο έλεγχος της υγρασίας σε ένα παγοδρόμιο είναι σημαντικός ειδικά όταν αυτό χρησιμοποιείται κατά την περίοδο του καλοκαιριού.

Εάν η υγρασία στο χώρο του πάγου είναι έντονη, αυτή θα συμπυκνωθεί και θα σχηματιστεί υγρό στην επιφάνεια του πάγου δημιουργώντας ένα σημαντικό φορτίο στο σύστημα ψύξης. Το ίδιο μπορεί να συμβεί όταν ο θερμός αέρας που έχει συσσωρευτεί στην ασφάλινη οροφή του κτιρίου υγροποιηθεί. Η υγροποίηση μπορεί να προκαλέσει σταδιακή οξείδωση ή πρόκληση φθορών στο μεταλλικό τμήμα της οροφής, αλλά μπορεί και να στάξει νερό πάνω στον πάγο δημιουργώντας εξογκώματα σ' αυτόν. Κάθε λίβρα (453 gr) νερού που υγροποιείται στην επιφάνεια του πάγου, απορροφά ενέργεια μεγαλύτερη των 1.100 Btu (0.33 kW).

Για την αποφυγή προβλημάτων όπως αυτά που μόλις αναφέρθηκαν, μια 20-tons αντλία θερμότητας εγκαταστάθηκε στην επιφάνεια του πάγου στο

γήπεδο του χόκεϊ. Σκοπός της αντλίας είναι να ψύχει τον αέρα και να συμπυκνώνει την υγρασία του (σχήμα 3.15). Η αντλία αυτή συνδέεται και με τον υπόγειο βρόχο για την ψύξη του εναλλάκτη θερμότητας.

Η ισχύς της αντλίας για τον έλεγχο της υγρασίας και την ψύξη στο χώρο του γηπέδου του χόκεϊ είναι 52,8 kW (15 tons). Έτσι, η θερμότητα που προκύπτει από τη διαδικασία της ψύξης και το συμπιεστή, επαναθερμαίνει τον αέρα καθιστώντάς τον ζεστότερο και ξηρότερο. Η δυναμικότητα του συστήματος για τη θέρμανση χρησιμοποιούνται 68,6 kW από την αντλία θερμότητας.

#### **ε. Σύγκριση της γεωθερμικής με τη συμβατική διάταξη**

Η διάταξη πρόχειρης θερμικής αποθήκευσης ακριβώς κάτω από τη επιφάνεια του πάγου, εξασφαλίζει διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με μία αντίστοιχη συμβατική διάταξη για παγοδρόμιο. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι:

- Η μεγάλη μάζα της διάταξης πρόχειρης θερμικής αποθήκευσης, πετυχαίνει μία πιο σταθερή θερμοκρασία για τον πάγο σε σχέση με ένα δάπεδο συμβατικής διάταξης μικρής αποθήκευσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν ο πάγος χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό.
- Με τη διάταξη πρόχειρης θερμικής αποθήκευσης οι επιφανειακές σωληνώσεις στο κτίριο φθάνουν το 57-70 % των σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται σ' ένα αντίστοιχο κτίριο που λειτουργεί με ένα συμβατικό σύστημα ψύξης και θέρμανσης.
- Με τη διάταξη πρόχειρης θερμικής αποθήκευσης μπορούν να μειωθούν τόσο η απαιτούμενη ικανότητα ψύξης όσο και το μέγεθος των αντλιών κυκλοφορίας του ρευστού που χρειάζονται για τη διατήρηση της επιφάνειας του πάγου κατά τη διάρκεια της μέγιστης χρήσης του χώρου. Ένα συμβατικό σύστημα θα απαιτούσε μία αντλία κυκλοφορίας μεγέθους 20 έως 30-hp για τη διατήρηση της επιφάνειας του πάγου στο γήπεδο του χόκεϊ και μία αντίστοιχη αντλία μεγέθους 7,5 έως 10-hp για τη διατήρηση του πάγου στο γήπεδο του curling. Στη χρησιμοποιούμενη γεωθερμική διάταξη τέσσερις αντλίες



κυκλοφορίας 3-hr εξασφαλίζουν την απαιτούμενη παροχή και για τα δύο γήπεδα.

- Σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος, το δάπεδο του παγοδρομίου διατηρείται μέχρι και 3 μέρες με τη γεωθερμική διάταξη.
- Τα περισσότερα συμβατικά συστήματα σε γήπεδα χόκεϊ επί πάγου χρησιμοποιούν αμμωνία ως την κύρια ψυκτική ουσία. Η αμμωνία είναι πολύ αποτελεσματική για το σκοπό αυτό, αλλά η μεγάλη ποσότητα αυτής (450-500 Kg), απαιτεί συνεχή έλεγχο και οικονομικά ασφαλείς διαδικασίες. Επιβάλλεται ακόμα η χρήση ενδιάμεσων αεροστεγών εισόδων (airlock entries) στο δωμάτιο ψύξης, συστημάτων εξαερισμού υψηλής ικανότητας, σταθμών πλύσης για τα μάτια και μάσκες οξυγόνου. Λόγω του πιθανού κινδύνου, οι περισσότερες εγκαταστάσεις απαιτούν υψηλής εκπαίδευσης χειριστές και συχνούς ελέγχους στις πιέσεις και στις ροές λειτουργίας του συστήματος (4-6 φορές τη μέρα). Η αμμωνία που συλλέγεται στον εξατμιστή πρέπει να τυγχάνει επεξεργασίας όπως σε ένα επικίνδυνο απόβλητο. Το σύστημα των αντλιών θερμότητας που εξετάζετε εδώ, περιέχει το 10% περίπου της ψυκτικής ουσίας ενός παραδοσιακού συστήματος ψύξης. Κάθε μία από τις 8 αντλίες θερμότητας νερού-νερού περιέχει περίπου 5,5 kg ψυκτικού HFC R404A που είναι μία μη τοξική ψυκτική ουσία που δεν απαιτεί την ίδια ασφάλεια.
- Το μέγεθος των συμπιεστών στις αντλίες θερμότητας νερού-νερού και ο τρόπος κατασκευής του ολοκληρωμένου συστήματος εξαλείφουν κατά πολύ το ημερήσιο κόστος λειτουργίας και μειώνουν το κόστος συντήρησης. Αυτό μεταξύ άλλων οφείλεται στο γεγονός ότι οι αντλίες θερμότητας νερού-νερού δεν απαιτούν ανακατασκευή του παλινδρομικού συμπιεστή μετά από κάποιες ώρες λειτουργίας και το λάδι του συστήματος δε χρειάζεται συχνή στράγγιση σε αντίθεση με τα αντίστοιχα συμβατικά συστήματα.

#### **στ. Κόστος του συστήματος**

Όπως και σε κάθε άλλη περίπτωση, έτσι και στην περίπτωση εφαρμογής ενός ολοκληρωμένου γεωθερμικού συστήματος σε παγοδρόμιο, το κόστος εγκατάστασης είναι τυπικά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κόστος ενός συμβατικού συστήματος.

Η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος για τη λειτουργία των συμπιεστών και των αντλιών του συστήματος ψύξης, αλλά και η συντήρηση αυτών έχει αυξημένο κόστος για τις περισσότερες μικρές κοινότητες που κατέχουν τέτοιες εγκαταστάσεις. Τα κόστη συντήρησης σε ένα παγοδρόμιο εκτιμούνται συνήθως από \$ 14.000 μέχρι \$ 17.000 κάθε χρόνο..

Πίνακας 3.1: Σύγκριση κόστους γεωθερμικού και συμβατικού συστήματος

Χαρακτηριστικά	Γεωθερμικό σύστημα	Συμβατικό σύστημα *
Ψυκτικές αντλίες θερμότητας και αντλίες κυκλοφορίας αίθουσας παγοδρομίου (rink floor)	& 575.000	& 525.000
Οριζόντιος υπόγειος βρόχος	& 105.000	-----
Ψύξη, θέρμανση & εξαερισμός του κτιρίου	& 112.000	& 96.000
Επιδότηση συστήματος	& 60.000	-----
Ψυκτική σύνδεση του συστήματος με το γήπεδο του curling	& 30.000	-----
Αφύγρανση (dehumidification)	& 72.000	& 110.000
Ζεστό νερό χρήσης	& 34.000	& 18.000
<b>Συνολικό αρχικό κόστος</b>	<b>&amp; 868.000</b>	<b>&amp; 749.000</b>

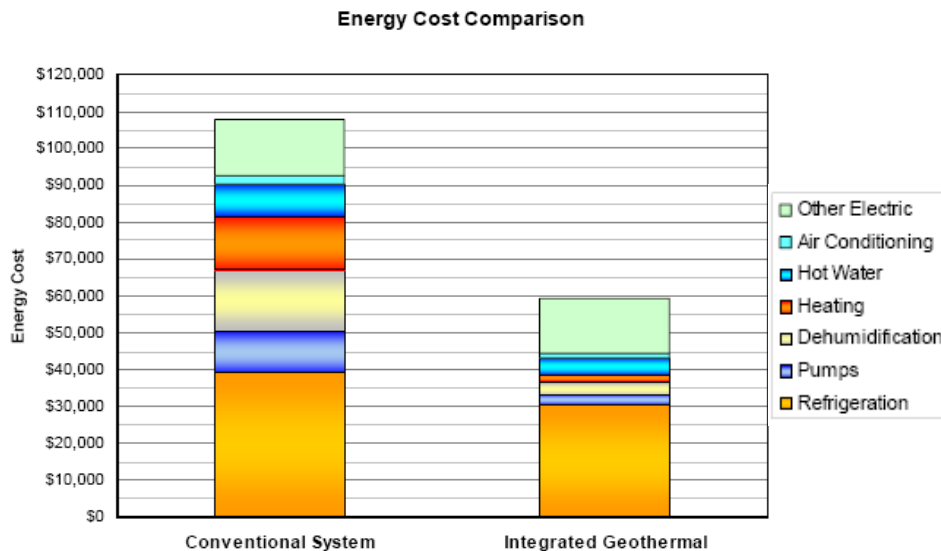
\*εκτιμώμενο κόστος συμβατικού συστήματος

Στον πίνακα 3.1 συγκρίνεται το συνολικό αρχικό κόστος για ένα ολοκληρωμένο γεωθερμικό σύστημα όπως αυτό που εφαρμόζεται εδώ, με το κόστος που εκτιμάται για την εγκατάσταση ενός αντίστοιχου συμβατικού συστήματος ψύξης και θέρμανσης στο ίδιο κτίριο. Η διαφορά στο κόστος για τα δύο συστήματα, αντιστοιχεί συνήθως στο επιπλέον ποσό που απαιτείται για την εγκατάσταση του υπόγειου βρόχου. Το ποσό αυτό όμως, αντισταθμίζεται από τα χαμηλότερα κόστη λειτουργίας και συντήρησης του μη-συμβατικού συστήματος.

Τα ενεργειακά κόστη για το κτίριο στην κοινότητα 100 Mile House φαίνονται στο διάγραμμα 3.2 και συγκρίνονται με τα ενεργειακά κόστη ενός τυπικού συμβατικού συστήματος. Η ετήσια εξοικονόμηση σε ενέργεια με τη χρήση του ολοκληρωμένου μη-συμβατικού συστήματος, εκτιμάται σε \$ 48.000 περίπου. Ένα μέρος της χρηματοδότησης του συστήματος των γεωθερμικών

αντλιών θερμότητας για το κτίριο που περιγράφεται εδώ, καλύφθηκε από το πρόγραμμα “Commercial Building Incentive Program (CBIP)” του φορέα “Natural Resources Canada (NRCan)” με \$ 60.000.

Ο χρόνος απόσβεσης (simple payback) του συστήματος εκτιμάται σε περίπου δύο χρόνια, ενώ αυξάνεται κατά ένα χρόνο εάν δεν χρησιμοποιηθεί το ποσό επιδότησης από τα παραπάνω προγράμματα.



Διάγραμμα 3.2: Το ενεργειακό κόστος για την ολοκληρωμένη γεωθερμική εγκατάσταση (integrated geothermal system) το 2004 ήταν περίπου \$60.000. Η κατανάλωση ενέργειας ήταν 1.195.000 kWh με μέγιστη ηλεκτρική ζήτηση 257 kW. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας ενός συγκρίσιμου παγοδρομίου με συμβατική εγκατάσταση ψύξης και σύστημα θέρμανσης με καύση αερίου εκτιμάται στα \$107.000 περίπου το χρόνο. Η θέρμανση, η παροχή ζεστού νερού και η αφύγρανση κανονικά θα παρέχονταν με λέβητα καύσης αερίου. Το κόστος του αερίου στην περίπτωση αυτή εκτιμάται στα \$40.000 ετησίως (πηγή: <http://geoheat.oit.edu>)

### 3.2.2.3. ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

#### α. Ενεργειακά οφέλη:

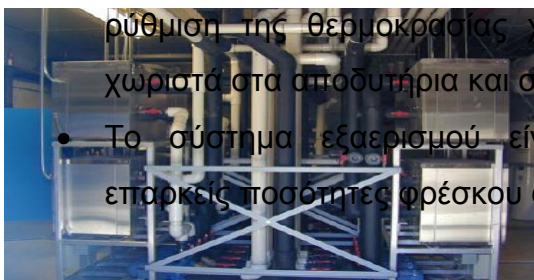
- Εξοικονόμηση ενέργειας κατά 20 %, σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα

#### β. Περιβαλλοντικά οφέλη:

- Μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

#### γ. Πρακτικά οφέλη:

- Ιδιαίτερα πρακτική είναι η δυνατότητα που παρέχει το σύστημα για ρύθμιση της θερμοκρασίας χωριστά στο χώρο του γηπέδου και χωριστά στα αποδυτήρια και στους χώρους των γραφείων.



Σχήμα 3.14: Οι αντλίες θερμότητας νερού-νερού χαμηλής θερμοκρασίας απορρίπτουν θερμότητα είτε απευθείας στο σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης είτε στον υπόγειο βρόχο.



Σχήμα 3.15: Η αφύγρανση, ο κλιματισμός και η θέρμανση στο παγοδρόμιο παρέχονται μέσω μιας αντλίας θερμότητας 20-tons. Ο χώρος του γηπέδου μπορεί να ψύχεται ή να θερμαίνεται απορρίπτοντας ή αντλώντας αντίστοιχα θερμότητα από τον υπόγειο βρόχο.



Σχήμα 3.16: Ένα μεγάλο μέρος του κτίριου, συμπεριλαμβανομένων και των κερκίδων, θερμαίνεται μέσω ενός συστήματος επιδαπέδιας θέρμανσης.

Σχήμα 3.17: Μια αντλία θερμότητας νερού-νερού 10-tons, αντλεί θερμότητα από τον υπόγειο βρόχο και παρέχει ζεστό νερό (50 °C) στα ντους και όπου αλλού χρειαστεί.

Σχήμα 3.18: Εγκατάσταση των οριζόντιων βρόχων στο 100 Mile House της British Columbia.

#### δ. Κατασκευαστικά οφέλη:

- Η εγκατάσταση του συστήματος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας εκμεταλλεύτηκε τη μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια πίσω από το κτίριο και χρησιμοποίησε οριζόντιο σύστημα βρόχων που είναι και το πλέον οικονομικό.

#### ε. Οικονομικά οφέλη:

- Υπολογίζεται ότι εξοικονομούνται περίπου \$50.000 ετησίως από τα λειτουργικά έξοδα.

(Πηγή: <http://geoheat.oit.edu>)

### **Παράδειγμα 3<sup>ο</sup>**

**3.2.3 Μελέτη εγκατάστασης γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης – ψύξης σε ιδιόκτητη κατοικία στην κοινότητα Θρακομακεδόνων του Δήμου Αχαρνών του Νομού Αττικής**

#### **3.2.3.1. Εισαγωγή**

Στο παράδειγμα που ακολουθεί φαίνεται ο σχεδιασμός για την εγκατάσταση γεωθερμικού συστήματος που θα παρέχει θέρμανση, ψύξη αλλά και ζεστό νερό χρήσης σε ιδιόκτητη οικία έκτασης 320 m<sup>2</sup> στην Κοινότητα Θρακομακεδόνων του Δήμου Αχαρνών του Νομού Αττικής. Η συνολική έκταση του ιδιόκτητου αγροτεμαχίου είναι 2.000 m<sup>2</sup> περίπου.

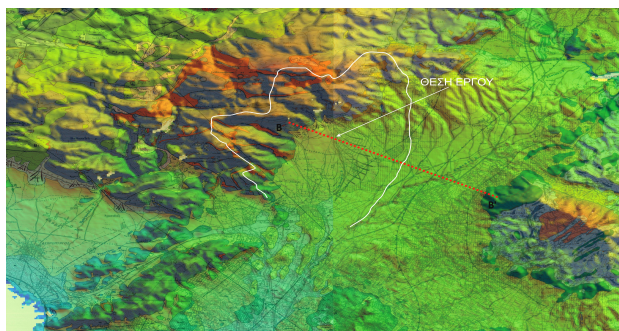
### **3.2.3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ\_**

Για την υλοποίηση του έργου, θα χρησιμοποιηθεί κλειστό κύκλωμα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας που θα αποτελείται από 4 κατακόρυφους γήινους εναλλάκτες μέσα στους οποίους θα κυκλοφορεί καθαρό νερό. Το υπόγειο κλειστό κύκλωμα θα τροφοδοτεί το πρωτεύον κύκλωμα της οικίας που με τη σειρά του θα κλιματίζει το σπίτι με τη βοήθεια ενδοδαπέδιου συστήματος θέρμανσης.

Έτσι, το χειμώνα οι αντλίες θερμότητας θα αντλούν την αναγκαία θερμότητα από το έδαφος για να θερμάνουν την οικία, ενώ το καλοκαίρι, οι ίδιες αντλίες θα απορροφούν θερμότητα από το κύκλωμα τροφοδοσίας του κτιρίου και θα την αποδίδουν στο έδαφος. Η υδραυλική συνδεσμολογία έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τυποποιημένες αντλίες θερμότητας διαθέσιμες στο εμπόριο, με βαθμό απόδοσης (COP) μεγαλύτερο του 4 για τις δεδομένες συνθήκες λειτουργίας.

#### **α. Γεωλογικά – Υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης**

Γεωτεκτονικά η περιοχή στην οποία πραγματοποιείται το έργο είναι σύνθετη και ανήκει στην Πελαγονική Ζώνη. Η ίδια περιοχή βρίσκεται σε λεκάνη απορροής που καθορίζεται από τον υδροκρίτη όπως φαίνεται στο σχήμα 3.19.



Σχήμα 3.19: Η υδρολογική λεκάνη στην οποία ανήκει η περιοχή μελέτης καθώς και το σημείο που τοποθετείται το έργο. (πηγή: Καρύτσας, ΚΑΠΕ, 2007)

Οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στην περιοχή του έργου από τους νεώτερους προς τους παλαιότερους θα είναι:

1. Πολύ παλαιά και συνεκτικά πλευρικά κορήματα του Ολοκαίνου
2. Αδρομερείς ποταμολιμναίοι σχηματισμοί Πάρνηθας και Πεντελικού
3. Σειρά εναλλασσόμενων αργιλλοψαμμιτικών πετρωμάτων με ενστρώσεις ασβεστολίθων
4. Ασβεστόλιθοι μεσο- έως παχυστρωματώδεις, έντονα καρστικοί με πολλές παρεμβολές δολομιτών

Η υδρολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών εξαρτάται από την λιθολογική τους σύσταση και την κοκκομετρία τους εφόσον πρόκειται για εδάφη, και από τον βαθμό διαγένεσης και τον τεκτονισμό τους εφόσον πρόκειται για πετρώματα. Η εκτίμηση της συμπεριφοράς αυτής γίνεται με βάση το πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες και την υδροπερατότητα του κάθε σχηματισμού.

Αν θέλαμε να χαρακτηρίσουμε υδρολογικά τη συμπεριφορά των σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης, θα λέγαμε ότι οι σχηματισμοί 1 και 2 παρουσιάζουν ικανή υδατοπερατότητα ( $k$ ), η οποία αναμένεται να είναι μεγαλύτερη από  $10^{-5}$  αφού αυτά αποτελούνται κατά κύριο λόγο από άμμο και χάλικες.

Ο σχηματισμός 3 παρουσιάζει μικρότερη υδροπερατότητα λόγω της έντονης παρουσίας αργίλου, αργιλοπηλινικών και σχιστολιθικών σχηματισμών στη δομή του. Οι ασβεστόλιθοι που υπάρχουν μέσα στον σχηματισμό αυτό

εμφανίζονται ως φακοί και έτσι δεν μπορούν να δώσουν ικανές και σταθερές παροχές. Έτσι ο σχηματισμός αυτός χαρακτηρίζεται πρακτικά αδιαπέρατος.

Ο σχηματισμός 4 λόγω της έντονης καρστικοποίησης που παρουσιάζει και του μεγάλου πάχους του καθιστά έναν ικανό υδροφόρο.

Για την υλοποίηση του έργου, οι 4 γεωτρήσεις των 100 m βάθους, θα τμήσουν το σχηματισμό 1 ο οποίος αναμένεται να έχει πάχος μικρότερο των 20 m στο εν λόγω σημείο, και θα καταλήξουν στο σχηματισμό 2. Αν και όπως αναφέρθηκε, αναμένεται να συναντηθεί ικανή υδροφορία, προτάθηκε η κατασκευή ενός κλειστού συστήματος γεωθερμικών αντλιών θερμότητας με κατακόρυφους γήινους εναλλάκτες. Η πρόταση αυτή αν και αυξάνει μερικώς το κόστος, διασφαλίζει τη λειτουργία του συστήματος σε περιόδους ανομβρίας κατά τις οποίες παρατηρείται πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.

## **β. Γεωτρήσεις**

Οι 4 τυφλές γεωτρήσεις θα κατασκευαστούν στο βόρειο-δυτικό μέρος του οικοδομήματος και η μεταξύ τους απόσταση θα είναι 5 m. Το βάθος των γεωτρήσεων από το υπόγειο της οικίας, ορίστηκε στα 100 m με δεδομένη την απαιτούμενη ελάχιστη στατική πίεση 7 mWs στο υψηλότερο σημείο του δικτύου του πρωτεύοντος κυκλώματος εντός του κτιρίου, αλλά και την απαίτηση για ονομαστική πίεση λειτουργίας των σωληνώσεων στις γεωτρήσεις χαμηλότερη των 16 bar. Η διάμετρος των γεωτρήσεων ορίστηκε στα 19,36 cm ( $7\frac{5}{8}$ ") με σκοπό η ταχύτητα του νερού να βρίσκεται μεταξύ 0,5 – 1,5 m/s.

Μετά το άνοιγμα των γεωτρήσεων τοποθετήθηκαν οι πλαστικές σωληνώσεων πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας. Οι σωληνώσεις παραλήφθηκαν σε ρολά των 100 m και συνδέθηκαν ενώνοντας τα άκρα δύο ρολών με το ειδικό τεμάχιο τύπου "U". Η πλήρωση κάθε γεώτρησης έγινε με μείγμα 85% τσιμέντου - 15% μπετονίτη - άμμου.

Οι σωληνώσεις από κάθε γεώτρηση συνδέθηκαν μέσω οριζόντιων υπόγειων σωληνώσεων πολυαιθυλενίου εξωτερικής διάμετρου 32 mm, με το πρωτεύον κύκλωμα των αντλιών θερμότητας στο Μηχανοστάσιο του Υπογείου.

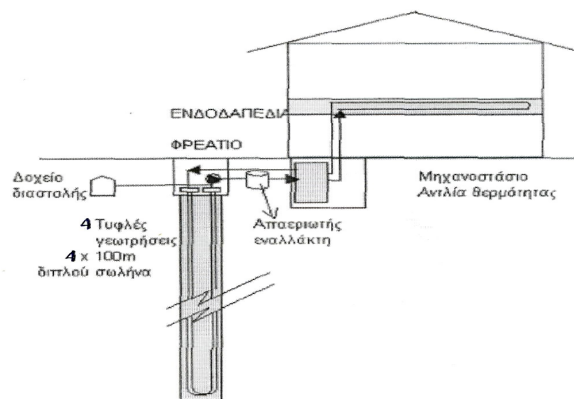


Από τη συγκεκριμένη διάταξη δεν προκαλείται καμία αρνητική επίπτωση στο περιβάλλον και δεν επηρεάζεται ο υδροφόρος ορίζοντας της περιοχής.

#### γ. Πρωτεύον κύκλωμα οικίας

Σύμφωνα με τη μελέτη, το πρωτεύον κύκλωμα των αντλιών θερμότητας του κτιρίου, εκτονώνεται θερμικά στο υπέδαφος μέσω ενός κλειστού εναλλάκτη θερμότητας. Η σύνδεση του πρωτεύοντος κυκλώματος με το δίκτυο των γεωτρήσεων γίνεται στο μηχανοστάσιο του υπογείου της κατοικίας. Τα κύρια τμήματα του πρωτεύοντος κυκλώματος που πρόκειται να εγκατασταθεί φαίνονται στο σχήμα 3.20 και είναι τα παρακάτω:

- Μία αντλία θερμότητας. Επιλέχθηκε η αντλία θερμότητας CIAT τύπου AUREA 2 65HT, που λειτουργεί με φιλικό προς το περιβάλλον ρευστό (R410A) και τοποθετήθηκε στο υπόγειο της οικοδομής.
- Το αντλητικό συγκρότημα για την κυκλοφορία του νερού στο πρωτεύον κύκλωμα. Το συγκρότημα αυτό επιλέχθηκε με βάση την ονομαστική παροχή του πρωτεύοντος κυκλώματος ( $4,5\text{m}^3/\text{h}$ ) και τοποθετήθηκε η αντλία inline WILO IPL32/100-0,55/2.



Σχήμα 3.20: Η προτεινόμενη υδραυλική συνδεσμολογία ΓΑΘ με σύστημα κατακόρυφων γήινων εναλλακτών θερμότητας (ΓΕΘ) (πηγή: Καρύτσας, ΚΑΓΕ, 2007)

- Η διάταξη απαέρωσης του δικτύου συνδυασμένη με κεντρικό διαχωριστή στερεών (φίλτρο). Η συσκευή απαέρωσης και διαχωρισμού στερεών που επιλέχθηκε είναι η Spirovent Air&Dirt της εταιρίας WILO. Σκοπός της συσκευής αυτής είναι η διατήρηση καθαρών των σωληνώσεων του γεωεναλλάκτη και κυρίως τα κάτω

άκρά του σε βάθος 100 m, αλλά και η απαλλαγή του νερού στο πρωτεύον κύκλωμα, από τα διαλυμένα σ' αυτό αέρια.

- Το δοχείο διαστολής. Το πρωτεύον κύκλωμα ασφαλίζεται με δοχείο διαστολής. Το δοχείο αυτό είναι κλειστό και περιέχει μια ελαστική μεμβράνη διαχωρισμού του νερού από το αέριο. Πληρώνεται με άζωτο. Ο όγκος του δοχείου μετά από κατάλληλους υπολογισμούς λήφθηκε ίσος με 10,2 L.
- Το απαραίτητο δίκτυο σωληνώσεων

### 3.2.3.3. Ενεργειακές απαιτήσεις για τη λειτουργία του συστήματος

Η διαστασιολόγηση του υπόγειου βρόχου έγινε με βάση τις ανάγκες σε θέρμανση του κτιρίου. Με τον τρόπο αυτό καλύπτονται πλήρως και οι απαιτήσεις σε ψύξη κατά τη θερινή λειτουργία του συστήματος. Έτσι, από τον αρχικό σχεδιασμό που πραγματοποιήθηκε προέκυψε ότι:

- Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που θα απορροφάει η αντλία θερμότητας για τη λειτουργία του συστήματος θα φθάνει τα 3,8 kW
- Η μέση θερμική ισχύς που θα απορροφάει η αντλία θερμότητας για τη λειτουργία του συστήματος θα ισούται με 23 kW
- Η ισχύς αιχμής της αντλίας θερμότητας θα ισούται με 23,3 kW

Η αντλία θερμότητας που τελικά επιλέχθηκε, έχει μέγιστη ισχύ σε θέρμανση **23 kW<sub>th</sub>** και σε ψύξη **16 kW<sub>c</sub>**. Οι ενεργειακές απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη για το προτεινόμενο σύστημα αναφέρονται παρακάτω:

- Η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνεται στο συμπιεστή τόσο κατά τη λειτουργία της θέρμανσης όσο και κατά τη λειτουργία της ψύξης είναι **3,7 kW**
- Η θερμική ισχύς που μεταφέρεται στο δευτερεύον κύκλωμα κατά τη θέρμανση είναι 23 kW

- Η θερμική ισχύς που εξάγεται από τον γεωεναλλάκτη κατά τη λειτουργία της θέρμανσης είναι 19,3 kW ή 48,3 W θερμότητας ανά m ΓΕΘ.
- Η θερμική ισχύς που απορροφάται από το δευτερεύον κύκλωμα κατά τη λειτουργία της ψύξης είναι 16 kW
- Η θερμική ισχύς που εισάγεται στον γεωεναλλάκτη κατά τη λειτουργία της ψύξης είναι 19,7 kW ή 49,3 W θερμότητας ανά m ΓΕΘ.
- Η αντλία του πρωτεύοντος κυκλώματος (κυκλοφορητής) απαιτεί **0,4 kW** ηλεκτρικής ισχύς τόσο για τη λειτουργία της θέρμανσης όσο και για την ψύξη.
- Για τη λειτουργία θέρμανσης του παραπάνω γεωθερμικού συστήματος με  $COP_{th}=5,6$  περίπου (ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τον συμπιεστή και τον κυκλοφορητή), υπολογίζεται ότι απαιτούνται 7.906 kWh ηλεκτρικού ρεύματος ετησίως και προσλαμβάνονται από το υπέδαφος 35.983 kWh ετησίως.
- Για τη λειτουργία ψύξης του παραπάνω γεωθερμικού συστήματος, με  $COP_c=3,9$  περίπου (ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για το συμπιεστή και τον κυκλοφορητή) υπολογίζεται ότι απαιτούνται 2.462 kWh ηλεκτρικού ρεύματος ετησίως, ενώ από το εσωτερικό του κτιρίου αφαιρούνται 9.600 kWh θέρμανσης που εισάγονται στο υπέδαφος.

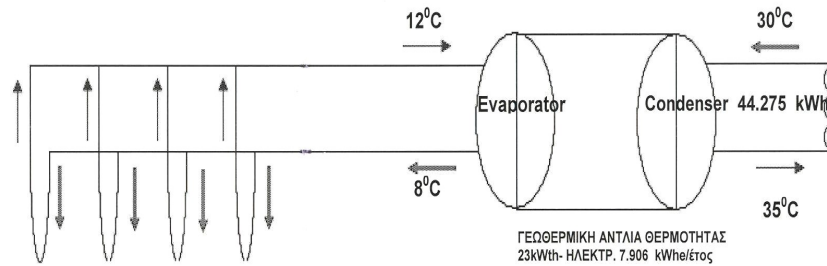
### 3.2.3.4. Θερμοκρασιακές απαιτήσεις για τη λειτουργία του συστήματος

#### α. Θερμοκρασίες λειτουργίας κατά τη θέρμανση τη οικίας

Η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους Γεωθερμικούς Εναλλάκτες Θερμότητας (ΓΕΘ) και εισόδου στον εξατμιστή (evaporator) είναι 12 °C. Η θερμοκρασία με την οποία εξέρχεται το νερό από τον εξατμιστή (evaporator) και εισέρχεται πάλι στους ΓΕΘ είναι 8 °C.

Στο σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης της οικίας, η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο συμπυκνωτή (condenser) είναι 30 °C, ενώ η

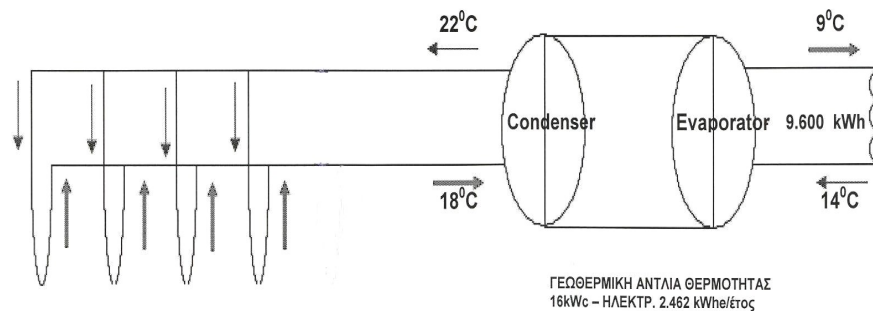
θερμοκρασία εξόδου αυτού από το συμπυκνωτή (condenser) στη συνέχεια είναι 35 °C (σχήμα 3.21).



Σχήμα 3.21: Διάγραμμα ροής κατά τη λειτουργία θέρμανσης. Συνολικά αποδίδονται στο κτίριο 44.275 kWh θέρμανσης κάθε χρόνο. (πηγή: Καρύτσας, ΚΑΠΕ, 2007)

### β. Θερμοκρασίες λειτουργίας κατά την ψύξη της οικίας

Η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τους ΓΕΘ και εισόδου στο συμπυκνωτή (condenser) είναι 18 °C, ενώ η θερμοκρασία εξόδου του νερού από τον συμπυκνωτή (condenser) και εισόδου στους ΓΕΘ είναι 22 °C.



Σχήμα 3.22: Διάγραμμα ροής κατά τη λειτουργία ψύξης. Συνολικά εισάγονται στο υπέδαφος 12.182 kWh θέρμανσης κάθε χρόνο (πηγή: Καρύτσας, ΚΑΠΕ, 2007)

Για το σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης της οικίας, η θερμοκρασία εισόδου του νερού στον εξατμιστή (evaporator) είναι 14 °C, ενώ η θερμοκρασία εξόδου αυτού από τον εξατμιστή (evaporator) είναι 9 °C (σχήμα 3.22).

### γ. Βαθμώρες λειτουργίας - Συνολική ετήσια ενεργειακή απαίτηση

Από τα υφιστάμενα μετεωρολογικά δεδομένα, υπολογίζεται ότι οι βαθμώρες λειτουργίας της συγκεκριμένης μονάδας για τη θέρμανση του κτιρίου (εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού 20 °C) ανέρχονται σε **38.500**

**h°C** και για την ψύξη αυτού (εσωτερική θερμοκρασία σχεδιασμού 27 °C), σε **9.000 h°C**. Συνεπώς, η συνολική ετήσια ενεργειακή απαίτηση ανέρχεται σε **44.275 kWh θέρμανσης** και **9.600 kWh ψύξης**.

Οι μέγιστες και ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις σε θέρμανση και ψύξη για το προτεινόμενο σύστημα αναφέρονται παρακάτω:

- Οι μέγιστες ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος για θέρμανση σημειώνονται τον Ιανουάριο με 7.297,4 h°C θέρμανσης που αντιστοιχεί στο 18,95% των ετησίων ενεργειακών απαιτήσεων
- Οι ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις του συστήματος για θέρμανση αναφέρονται το Μάιο με 967,0 h°C θέρμανσης που αντιστοιχεί στο 2,5% των ετησίων ενεργειακών απαιτήσεων
- Το μέγιστο των ετησίων απαιτήσεων ψύξης παρατηρούνται τον Ιούλιο με 3.700 h°C ψύξης που αντιστοιχεί στο 41,1% των ετησίων ενεργειακών απαιτήσεων ψύξης
- Το ελάχιστο των ετησίων απαιτήσεων ψύξης παρατηρούνται τον Ιούνιο με 350 h°C ψύξης που αντιστοιχεί στο 3,9% των ετησίων ενεργειακών απαιτήσεων ψύξης

### **3.2.3.5. Κόστος εγκατάστασης του έργου**

Το κόστος εγκατάστασης του συστήματος φαίνεται αναλυτικά παρακάτω:

- 4 κατακόρυφοι γήινοι εναλλάκτες θερμότητας, πλήρως εξοπλισμένοι, σε βάθος 100 m έκαστος: 15.500 €
- Γεωθερμική αντλία θερμότητας CIAT τύπου AUREA 2 65HT: 7.500 €
- Κυκλοφορητής – σωληνώσεις: 1.000 €
- Στοιχεία διαστολής, δοχεία αδρανείας, λοιπές δαπάνες: 1.000 €
- Μελέτη-εγκατάσταση και εργασίες ηλεκτρολόγου-υδραυλικού: 3.000 €

Συνολικό κόστος εγκατάστασης του συστήματος: **28.000 €**

### **3.2.3.6. ΟΦΕΛΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ**

Με το έργο αυτό θα καλυφθούν οι ανάγκες της οικίας για ψύξη, θέρμανση και ζεστό νερό, ενώ τα πλεονεκτήματα που θα προκύψουν συνοψίζονται στα εξής:

Οικολογικά και αισθητικά πλεονεκτήματα:

- Η εγκατάσταση δεν χρειάζεται λέβητα, ούτε δεξαμενή πετρελαίου, διότι δεν χρησιμοποιείται καθόλου καύσιμο. Η μόνη μορφή ενέργειας που καταναλώνεται στη μονάδα είναι η ηλεκτρική που αντικαθιστά κάθε άλλη μορφή συμβατικού καυσίμου
- Δεν απαιτείται πύργος ψύξης ή ψυγείο, τα οποία παράγουν θόρυβο και είναι ιδιαίτερα ενοχλητικά στην λειτουργία τους. Ο μόνος θόρυβος που παράγεται κατά τη λειτουργία του όλου συστήματος είναι αυτός της αντλίας θερμότητας που είναι της τάξης των 50 dB. Τα όρια του θορύβου αυτού είναι αποδεκτά λαμβανομένου βέβαια υπόψη ότι η αντλία θερμότητας είναι τοποθετημένη στο υπόγειο του σπιτιού
- Δεν υπάρχει πουθενά καύση ή καπνοδόχος και δεν παράγονται ρύποι
- Δεν υπάρχουν θερμές επιφάνειες και δεν υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας σπινθήρων σε κανένα τμήμα της διαδικασίας ή των εγκαταστάσεων
- Σε συνέπεια των τριών τελευταίων αναφορών δεν προκύπτουν αυξημένες ανάγκες για εξοπλισμό πυροπροστασίας
- Δεν θα υπάρχουν στο κτίριο εξωτερικές εγκαταστάσεις και μονάδες που είναι αντιαισθητικά για την εικόνα του κτιρίου
- Οι εγκαταστάσεις καθώς και τα υγρά και αέρια που χρησιμοποιούνται στο κλειστό κύκλωμα είναι 100% οικολογικά
- Δεν λαμβάνεται σε καμία περίπτωση νερό από τον υδροφόρο ορίζοντα

Οικονομικά αποτελέσματα:

- Το ετήσιο κόστος ψύξης και θέρμανσης μειώνεται κατά 40 % - 50% περίπου
- Η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται κατά 30% περίπου

### **3.2.3.7. Σύγκριση του χρησιμοποιούμενου συστήματος με αντίστοιχο συμβατικό σύστημα**

Στη συνέχεια ακολουθεί σύγκριση του αναλυτικού κόστους λειτουργίας και συντήρησης για το συγκεκριμένο γεωθερμικό σύστημα και ενός αντίστοιχου ισομεγέθους συμβατικού.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του προτεινόμενου συστήματος ανέρχονται σε **44.275 kWh θέρμανσης** και **9.600 kWh ψύξης**.

#### **α. Συμβατικό σύστημα**

α) Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πετρέλαιο για τη θέρμανση του κτιρίου, το ετήσιο κόστος λειτουργίας θα είναι 3.125 €. (Η απόδοση του χρησιμοποιούμενου λέβητα εκτιμάται στο 85% και το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης σε 0,6€/lt ή 0,06€/kWh).

β) Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ένα συμβατικό μέσο για την ψύξη του κτιρίου (π.χ. air condition (SPF=2,5)) το ετήσιο κόστος λειτουργίας θα ήταν 384 €. Το μέσο κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος στην περίπτωση αυτή εκτιμάται στα 0,1€/kWh.

#### **β. Γεωθερμικό σύστημα (ΓΑΘ)**

α) Στην περίπτωση χρήσης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για τη θέρμανση του κτιρίου, το ετήσιο κόστος λειτουργίας είναι 791 €. Εκτιμάται ότι ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας θα είναι  $COP_{th} = 5,6$  περίπου, και το μέσο κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος 0,1 €/kWh.

β) Στην περίπτωση χρήσης γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για την ψύξη του κτιρίου, το ετήσιο κόστος λειτουργίας είναι 246 €. Εκτιμάται ότι ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας θα είναι  $COP=3,9$  περίπου, και το μέσο κόστος ηλεκτρικού ρεύματος 0,1 €/kWh).

Στα δεδομένα αυτά προστίθεται και η διαφορά για το κόστος ετήσιας συντήρησης που για το σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ανέρχεται

σε περίπου 150 € το έτος, έναντι περίπου 400 € των αντίστοιχων συμβατικών συστημάτων.

Τελικά το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 1.187 € έναντι 3.909 € του αντίστοιχου συμβατικού συστήματος. Η ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων φαίνεται να φθάνει το 70%.

Παρακάτω (πίνακας 3.2) παρατίθεται διάγραμμα ροής στο οποίο απεικονίζονται τα δεδομένα που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους για τη λειτουργία της προτεινόμενης μονάδας.

*Πίνακας 3.2: Τεχνικο-οικονομική μελέτη του προτεινόμενου συστήματος Γεωθερμικών Αντλιών θερμότητας\_*



Εργασίες	κόστος (€)	
4 κατακόρυφοι γήινοι εναλλάκτες θερμότητας, 100 m ο κάθε ένας, πλήρως εξοπλισμένοι	15.500	
Γεωθερμική αντλία θερμότητας CIAT τύπου AUREA 2 65HT	7.500	
Κυκλοφορητής – σωληνώσεις	1.000	4 x 100m double-U
Στοιχεία διαστολής, δοχεία αδρανείας, λοιπές δαπάνες	1.000	23 kW <sub>(th)</sub> , 16 kW <sub>(c)</sub>
Μελέτη - εγκατάσταση και εργασίες ηλεκτρολόγου-υδραυλικού	3.000	
<b>Σύστημα Γ.Α.Θ. - Σύνολο:</b>	<b>28.000</b>	

			Γεωθερμική Αντλ. Θερμότητας			Συμβατικό σύστημα	
	Βαθμοώρες	kWh	COP	kWhe	Κόστος (€)		Κόστος (€)
<b>Θέρμανση</b>	38.500	44.275	<b>5,6</b>	7.906	791	<b>diesel</b>	3.125
<b>Ψύξη</b>	9.000	9.600	<b>3,9</b>	2.462	246	<b>κλιματιστικά</b>	384
<b>Επισκευές, Συντήρηση</b>				0	150		400
<b>Σύνολο</b>				10.368	1.187		3.909
<b>energy costs</b>		€ / kg	Kcal / kg	kJ/kg	kWh/kg		
<b>diesel, € / kWh<sub>(th)</sub></b>	<b>0,0600</b>	0,672	8.500	35530	9,87		
<b>electricity, € / kWh<sub>(e)</sub></b>	<b>0,1</b>	85%	Απόδοση λέβητα				



## Παράρτημα

### ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

#### *Ισχύς μηχανολογικού εξοπλισμού*

##### α) Κινητήρια

- Συμπιεστής: 3,8 kW
- Κυκλοφορητής (πρωτεύοντος κυκλώματος): 0,4 kW

##### β) Θερμική (kW)

- -

#### Για τις σωληνώσεις μέσα στις γεωτρήσεις ισχύει:

Παροχή για κάθε γεώτρηση 0.32 L/s

Σωλήνωση PE100/16 bar/Φ32

Ταχύτητα 0,6 m/s

Γραμμικές Απώλειες Πίεσης 0,27 bar/100m

#### Για το πρωτεύον κύκλωμα ισχύουν τα εξής:

1. Η ονομαστική παροχή του πρωτεύοντος κυκλώματος είναι 1,25 L/s.
2. χαμηλότερη θερμοκρασία 0 °C
3. υψηλότερη θερμοκρασία 50 °C.
4. χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο: 90 kPa (9 mWS)
5. υψηλότερη πίεση στο δίκτυο: 200 kPa (20 mWS).
6. Η ονομαστική πίεση στο κατώτερο σημείο των γεωτρήσεων (100 m) δεν πρέπει να υπερβεί τις 16 atm.
7. ο όγκος νερού (V) της εγκατάστασης είναι: **500 L**

Σύμφωνα με το ΦΕΚ 1595/25-10-04 άρθρο 4 παρ. 6, από την ισχύουσα νομοθεσία, για την εγκατάσταση του συγκεκριμένου γεωθερμικού συστήματος στην υπό συζήτηση οικοδομή, δεν απαιτείται μελέτη ενεργητικής πυροπροστασίας εγκεκριμένη από την αρμόδια Πυροσβεστική Υπηρεσία. Η μελέτη αυτή είναι απαραίτητη σε άλλες περιπτώσεις για την έκδοση οικοδομικής αδείας, ενώ πρέπει να επισυνάπτεται και η μελέτη παθητικής πυροπροστασίας, η οποία εγκρίνεται από την αρμόδια Πολεοδομία κατά την έκδοση της οικοδομικής αδείας.

(Πηγή: ΚΑΠΕ, 2007)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

#### 4.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία σύντομη αναφορά στο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων στη συγκεκριμένη διατριβή και ακολουθεί μία γενική περιγραφή του τρόπου που λειτουργεί το RETScreen® για την εφαρμογή σε συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας.

#### 4.2. Λίγα λόγια για το μοντέλο προγραμματισμού RETScreen®

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων, στην παρούσα διατριβή, είναι το “RETScreen® Version 3.0”.

Το μοντέλο προγραμματισμού “Retscreen®” δημιουργήθηκε στον Καναδά από το “κέντρο υποστήριξης αποφάσεων καθαρής ενέργειας” (*Clean Energy Decision Support Center*). Πρόκειται για ένα τυποποιημένο και ολοκληρωμένο υπολογιστικό μοντέλο το οποίο μπορεί κάποιος να κατεβάσει ελεύθερα από το διαδίκτυο ([www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)) και να εγκαταστήσει στον υπολογιστή του. Η γλώσσα που χρησιμοποιεί είναι η “Visual Basic” με τη μορφή μακροεντολών οι οποίες ενεργοποιούνται σε περιβάλλον “Excel” της “Microsoft”.

Το λογισμικό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη ανά τον κόσμο. Προσφέρεται για μία εύκολη, πρώτη εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας, της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου αλλά και για την εκτίμηση κόστους του κύκλου ζωής, για διάφορους τύπους τεχνολογιών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που συγκρίνονται με αντίστοιχα συμβατικά συστήματα παραγωγής ενέργειας.

Πέρα από το κυρίως λογισμικό πρόγραμμα, το πακέτο του RETScreen® στο διαδίκτυο περιλαμβάνει προϊόντα και χαρακτηριστικά αυτών, διεθνείς βάσεις καιρικών δεδομένων, ένα online εγχειρίδιο, παραδείγματα εφαρμογών (case studies) και μία αγορά που βασίζεται στο internet. Μπορεί να υπολογίσει την ενεργειακή απόδοση, τα κόστη αλλά και τα οφέλη για 9 διαφορετικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που φαίνονται παρακάτω:

- Άνεμος
- Μικρά υδροηλεκτρικά έργα
- Φωτοβολταϊκά συστήματα
- Συστήματα συνδυασμένης θέρμανσης και ισχύς (Combined Heat & Power)
- Θέρμανση από Βιομάζα
- Θέρμανση χώρων από τον ήλιο (Solar Air heating)
- Θέρμανση νερού από τον ήλιο (Solar Water heating)
- Παθητική ηλιακή θέρμανση (Passive Solar heating)
- Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

#### **4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του χρησιμοποιούμενου μοντέλου**

Παρακάτω γίνεται μία αναφορά στα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του προγράμματος Retscreen® από τη γενική του χρήση για όλες τις περιπτώσεις των ΑΠΕ.

##### **Πλεονεκτήματα:**

- Αποτελεί ένα σχετικά εύχρηστο εργαλείο
- Είναι διαθέσιμο στο ευρύ κοινό αφού διατίθεται δωρεάν στο διαδίκτυο
- Συγκρίνει τα συστήματα των ΑΠΕ με αντίστοιχα συμβατικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Παράγει πλήθος εξαγόμενων αποτελεσμάτων όπως η περιβαλλοντική και οικονομική μελέτη, η ανάλυση ευαισθησίας κλπ.
- Προσφέρει σημαντική οικονομία στο κόστος προμελέτης

- Εκτελεί μία ανάλυση σε ετήσια βάση και μπορεί να πετύχει ακρίβεια συγκρίσιμη με ωριαία μοντέλα προσομοίωσης
- Παρέχει μια γρήγορη εκτίμηση για άμεση λήψη αποφάσεων

#### Μειονεκτήματα:

- Αποτελεί ένα “μαύρο κουτί” για το χρήστη καθώς απουσιάζουν οι επεξηγήσεις του μαθηματικού και φυσικού υποβάθρου του μοντέλου
- Η κατηγοριοποίηση των εισαγόμενων δεδομένων εντός μεγάλου εύρους τιμών, καθιστά την εκτίμηση των αποτελεσμάτων αρκετά προσεγγιστική. Πιο συγκεκριμένα σε κάποια κελιά δεν υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής μίας ακριβούς τιμής και έτσι μειώνεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Ένα παράδειγμα αποτελεί “ο λόγος επιφάνειας των παραθύρων προς την επιφάνεια δαπέδου”. Αυτός θεωρείται “κανονικός” όταν παίρνει την τιμή 0,15, “άνω του μέσου” με την τιμή 0,25 και “υψηλός” για την τιμή 0,35. Πρόβλημα στην ακρίβεια προκύπτει όταν σε κάποια εφαρμογή επιθυμητή τιμή για το παραπάνω κελί είναι το 0,2).
- Σε κάποιες περιπτώσεις το μοντέλο αδυνατεί να κατανοήσει φαινόμενα όπως είναι οι ταυτόχρονες απαιτήσεις για ψύξη και θέρμανση (οι οποίες μπορούν να συμβούν σε εμπορικά κτίρια), αλλά και τις κατανομές του τρόπου χρήσης των φορτίων σε σύνθετα κτίρια (complex building usage profiles).
- Η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου για ψύξη και θέρμανση και τα μέγιστα φορτία εκτιμούνται χρησιμοποιώντας μία απλοποιημένη ερμηνεία της ASHRAE<sup>(1)</sup> τροποποιώντας την ισχύουσα μέθοδο (ASHRAE, 1985). Η εσωτερική προκαθορισμένη ομάδα θερμοκρασιών θεωρείται σταθερή στους 23°C και παραμένει η ίδια τόσο για τη θέρμανση όσο και για την ψύξη.

(1): Η **ASHRAE** (**A**merican **S**ociety of **H**eating **R**efrigerating and **A**ir-conditioning **E**ngineers) δημιουργήθηκε το 1894 ως ένας διεθνής οργανισμός 50.000 ατόμων. Αποστολή της είναι η προώθηση της προηγμένης θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού (ventilation) σε όλο τον κόσμο για την εξυπηρέτηση του κοινού και την αειφόρο ανάπτυξη.

- Οι οικιακές εφαρμογές προσαρμόζονται εύκολα σε μία απλοποιημένη προσέγγιση δίνοντας την πιο ομοιογενή φύση των κτιρίων και την όσο πιο περιορισμένη χρήση σχεδίων (patterns).

Παρά τα παραπάνω μειονεκτήματα το μοντέλο έργου του RETScreen® για τις ΓΑΘ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προκαταρκτική εκτίμηση των συστημάτων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και είναι αρκετά σωστό για τα στάδια προ-επιτευξιμότητας (pre-feasibility) και επιτευξιμότητας (feasibility) σε ένα μοντέλο. Με τη χρήση του μπορούν να αποφευχθούν πολλά έξοδα σχετικά με την πρώτη εκτίμηση της εφαρμογής ενός έργου.

#### **4.4 Χρήση του μοντέλου RETScreen® για το σύστημα των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ)**

Το μοντέλο που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα Retscreen για την αξιολόγηση των συστημάτων ΓΑΘ (*Retscreen Ground Source Heat Pump project model*), μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ερευνητικά έργα που αφορούν στις εγκαταστάσεις συστημάτων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, για τη θέρμανση και/ή την ψύξη κατοικιών, εμπορικών και βιομηχανικών κτιρίων, ινστιτούτων κ.α.. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση έργων τόσο σε μετασκευασμένα κτίρια όσο και σε καινούριες κατασκευές. Αυτό μπορεί να γίνει, όπως έχει ήδη αναφερθεί, χρησιμοποιώντας οριζόντιους ή κάθετους γεωθερμικούς εναλλάκτες κλειστού βρόγχου, αλλά και με αντλίες θερμότητας από υπόγεια ύδατα με ανοικτούς βρόχους ανάλογα με την περίπτωση.

Προς το παρόν το Retscreen® για τα συστήματα των ΓΑΘ δεν καλύπτει:

- Τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας για χρήση με επιφανειακά ύδατα
- Τη μακροπρόθεσμη διατάραξη της θερμικής ισορροπίας στο έδαφος
- Την ταυτόχρονη ψύξη και θέρμανση (μόνο ομάδες φορτίων)
- Τη θέρμανση νερού χρήσης

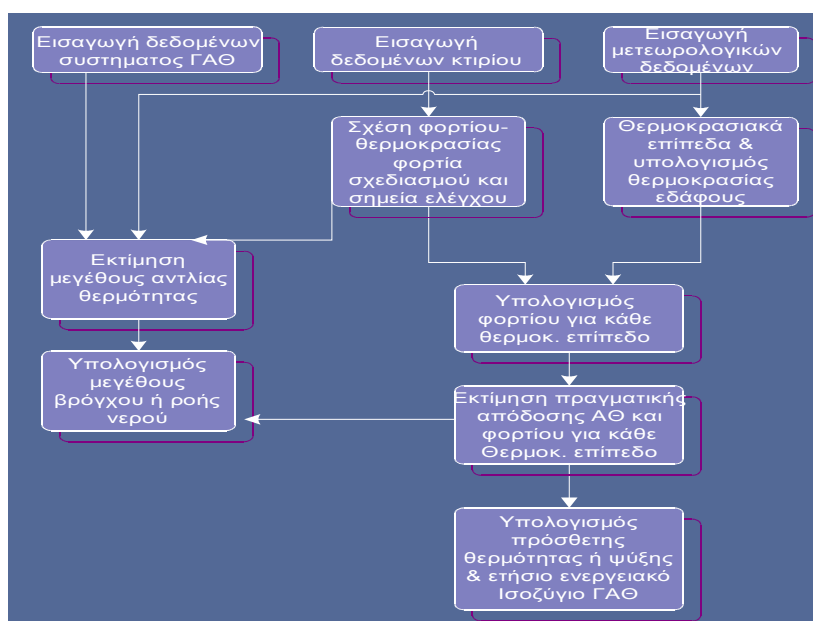


#### 4.4.1 Τρόπος λειτουργίας του Retscreen® για εφαρμογή σε συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας

Το διάγραμμα ροής που παρουσιάζει τον τρόπο λειτουργίας του Retscreen® για τον υπολογισμό της ενεργειακής εξοικονόμησης στα συστήματα των ΓΑΘ φαίνεται στο σχήμα 4.1.

Το μοντέλο αρχικά εγκαθιστά την εξίσωση φορτίου του κτιρίου η οποία περιγράφει πως τα φορτία του κτιρίου διαφοροποιούνται συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας. Στη συνέχεια υπολογίζει το φορτίο για κάθε θερμοκρασιακό επίπεδο. Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση, υπολογίζονται τα σημεία ελέγχου της θερμοκρασίας για να καθοριστεί εάν η θέρμανση ή η ψύξη απαιτούνται για κάθε θερμοκρασιακό επίπεδο.

Από τα μετεωρολογικά δεδομένα και το φορτίο του κτιρίου εκτιμάται η απαιτούμενη ισχύς για την αντλία θερμότητας. Αυτό επιτρέπει τη διαστασιολόγηση του υπόγειου βρόγχου ή την παροχή του υπόγειου νερού. Όταν αυτό γίνει γνωστό, η ακριβής απόδοση και ισχύς της αντλίας θερμότητας μπορούν να υπολογιστούν για κάθε θερμοκρασιακό επίπεδο.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ροής για το ενεργειακό μοντέλο των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας από το πρόγραμμα Retscreen® (πηγή: [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net))

Στα τελικά αποτελέσματα του μοντέλου αναφέρονται η ετήσια χρήση ηλεκτρισμού του συστήματος, η ενέργεια θέρμανσης και ψύξης που

απελευθερώνεται, οι αποδοτικότητες του συστήματος και όποιες βοηθητικές συμβατικές απαιτήσεις σε θερμότητα.

#### **4.4.2. Χρησιμοποιούμενα φύλλα του Retscreen® για τις ΓΑΘ**

Στο αρχείο καταγραφής των εργασιών του μοντέλου για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, περιλαμβάνονται έξι φύλλα για την εισαγωγή και την επεξεργασία των δεδομένων. Πρόκειται για τα φύλλα, *ενεργειακό μοντέλο (Energy Model)*, *φορτία ψύξης και θέρμανσης (Heating and Cooling Load)*, *ανάλυση κόστους (Cost Analysis)*, *ανάλυση για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Emission Reduction Analysis ή GHG Analysis)*, *χρηματοοικονομική περίληψη (Financial Summary)*, και *ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity and Risk Analysis ή Sensitivity)*.

Το φύλλο εργασίας “*Heating and Cooling load*” χρησιμοποιείται μαζί με το φύλλο εργασίας “*Energy Model*” για τον υπολογισμό των φορτίων θέρμανσης και ψύξης του συστήματος των ΓΑΘ που εξετάζεται σε κάθε σενάριο. Έτσι, τα δύο παραπάνω φύλλα συμπληρώνονται πρώτα.

Στη συνέχεια συμπληρώνεται το φύλλο εργασίας “*Cost Analysis*” και ακολουθεί το “*Financial Summary*”. Τα φύλλα “*GHG Analysis*” και “*Sensitivity*” χρησιμοποιούνται προαιρετικά. Το “*GHG Analysis*” παρέχεται για την εκτίμηση της μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) για το προτεινόμενο έργο. Το φύλλο εργασίας “*Sensitivity*”, βοηθάει στην εκτίμηση της ευαισθησίας σημαντικών οικονομικών δεικτών σε σχέση με βασικές τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους.

Τα παραπάνω φύλλα συμπληρώνονται και η διαδικασία, μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές με σκοπό τη βελτίωση του σχεδιασμού του έργου της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας όσον αφορά τη χρήση της ενέργειας και το κόστος.

πηγή: [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### Η ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ

#### 5.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά γίνεται μία αναφορά στο Πολυτεχνείο Κρήτης και τη βιβλιοθήκη αυτού. Στη συνέχεια παραθέτονται στοιχεία που αφορούν το κτίριο της καινούριας βιβλιοθήκης και γίνεται περιγραφή του συμβατικού συστήματος ψύξης-θέρμανσης που ήδη λειτουργεί.

#### 5.2. Λίγα λόγια για το πολυτεχνείο Κρήτης

Το Πολυτεχνείο Κρήτης ιδρύθηκε το 1977 στα Χανιά και δέχτηκε τους πρώτους φοιτητές το 1984. Σκοπός της ίδρυσής του ήταν η δημιουργία σύγχρονων ειδικοτήτων μηχανικών, πρωτοποριακών για την Ελλάδα, αλλά και η ανάπτυξη της έρευνας σε προηγμένες τεχνολογίες και η σύνδεσή της με τις βιομηχανικές και παραγωγικές μονάδες της χώρας.



Εικόνα 5.1: Τοπογραφικός χάρτης περιοχής Ακρωτηρίου. Ο χώρος της Πολυτεχνειούπολης βρίσκεται στην περιοχή των Κουνουπιδιανών και έχει τοποθετηθεί σε μπλε πλαίσιο (κλίμακα 1:50.00). (πηγή: ΙΓΜΕ, 1972)

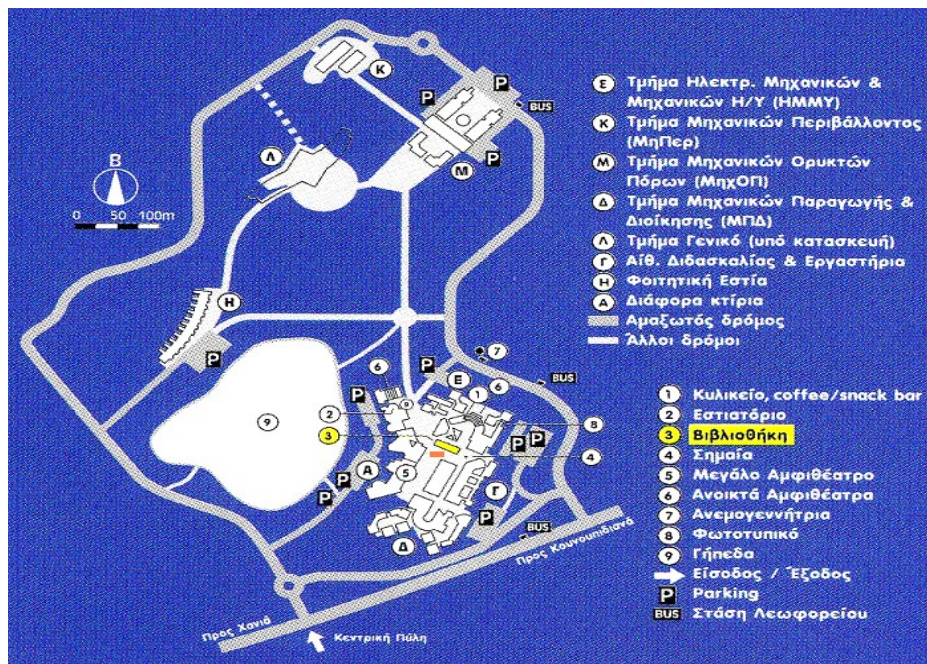
Η Πολυτεχνειούπολη είναι κτισμένη σε μια πανοραμική τοποθεσία στα Κουνουπιδιανά Ακρωτηρίου, σε απόσταση 7 χλμ. ΒΑ της πόλης των Χανίων και καταλαμβάνει έκταση 3.000 στρεμμάτων περίπου (εικόνα 5.1).  
(πηγή: [www.tuc.gr](http://www.tuc.gr))

### **5.3. Η βιβλιοθήκη του Πολυτεχνείου Κρήτης**

Η βιβλιοθήκη του πολυτεχνείου Κρήτης ιδρύθηκε το 1977 αλλά ξεκίνησε τη λειτουργία της το 1985 ταυτόχρονα με την υποδοχή των πρώτων φοιτητών στο Ίδρυμα. Αρχικά στεγαζόταν μέσα στην πόλη των Χανίων, αλλά το 1993 μεταφέρθηκε στην Πολυτεχνειούπολη σε ένα σύγχρονο κτίριο ειδικά σχεδιασμένο για τις ανάγκες της (εικόνα 5.2). Από το Σεπτέμβριο του 2005 λειτουργεί παράρτημα της Κεντρικής Βιβλιοθήκης στο κτίριο της Πρώην Γαλλικής Σχολής για την καλύτερη εξυπηρέτηση του Τμήματος Αρχιτεκτονικής το οποίο στεγάζεται εκεί.

Σκοπός της βιβλιοθήκης είναι η υποστήριξη και η ενίσχυση των εκπαιδευτικών και ερευνητικών δραστηριοτήτων του Ιδρύματος, του διδακτικού έργου και των ερευνητικών αναγκών των μελών της Πολυτεχνειακής κοινότητας. Ο ρόλος της μεταξύ άλλων, είναι η διάθεση εξειδικευμένων πληροφοριών στην ευρύτερη εθνική αλλά και διεθνή κοινότητα.

Η συλλογή της βιβλιοθήκης αποτελείται από τρεις βασικές κατηγορίες υλικού οι οποίες με την σειρά τους περιλαμβάνουν μικρότερες συλλογές. Έτσι περιέχει έντυπο, μη έντυπο και ηλεκτρονικό υλικό, καλύπτοντας τα γνωστικά πεδία που διδάσκονται στο Πολυτεχνείο Κρήτης και όχι μόνο. Το έντυπο υλικό περιλαμβάνει περιοδικά (ελληνικά και ξενόγλωσσα), βιβλία (εξαμήνου κ.α.), διπλωματικές εργασίες, μεταπτυχιακές και διδακτορικές διατριβές κ.α.. Το μη έντυπο υλικό, αποτελείται από βιντεοκασέτες, κασέτες ήχου, δισκέτες με πληροφοριακό υλικό και προγράμματα, DVDs, CD-ROMs και Microfiche/films. Το ηλεκτρονικό υλικό αφορά στην ηλεκτρονική πρόσβαση σε πλήρη κείμενα πολλών περιοδικών ξένων εκδοτικών οίκων, αλλά και στην ηλεκτρονική πρόσβαση σε διάφορες βάσεις δεδομένων.



Εικόνα 5.2: Σχηματική αναπαράσταση των κτιρίων στην πολυτεχνειούπολη. Με κίτρινο χρώμα φαίνεται το κτίριο της παλιάς βιβλιοθήκης και με πορτοκαλί το κτίριο της καινούριας βιβλιοθήκης δίπλα σ' αυτήν. (πηγή: [www.library.tuc.gr](http://www.library.tuc.gr))

Η βιβλιοθήκη περιέχει ακόμα μονάδες αναπαραγωγής και επεξεργασίας ήχου και εικόνας, μονάδες παρουσίασης για επαγγελματικού επιπέδου παρουσιάσεις και ψυχαγωγικές μονάδες. Διαθέτει επίσης ένα πλήρες δορυφορικό σύστημα λήψης που επιτρέπει την παρακολούθηση διεθνών εκπαιδευτικών προγραμμάτων.

Για τη διαχείριση και την πρόσβαση στο υλικό της βιβλιοθήκης χρησιμοποιείται το αυτοματοποιημένο σύστημα GEAC-ADVANCE. Ο ηλεκτρονικός κατάλογος αυτής για την αναζήτηση υλικού είναι προσβάσιμος και μέσω διαδικτύου. Έτσι εκτός από το χώρο της βιβλιοθήκης όπου υπάρχει η δυνατότητα για ασύρματη πρόσβαση στο Internet, οποιοσδήποτε χρήστης από όπου κι αν βρίσκεται μπορεί να έχει τις υπηρεσίες που παρέχονται από τη βιβλιοθήκη του Πολυτεχνείου μπαίνοντας στη διεύθυνση <http://www.library.tuc.gr>. Στο χώρο της βιβλιοθήκης τέλος, υπάρχει η δυνατότητα για παραγωγή φωτοτυπιών μη δανειζόμενου υλικού (π.χ. άρθρα περιοδικών), ή εξωτερικού υλικού σε ιδιαίτερα χαμηλές τιμές.

Η βιβλιοθήκη του Πολυτεχνείου Κρήτης εξελίσσει συνεχώς τις ήδη υπάρχουσες υπηρεσίες της, ενώ παράλληλα αναπτύσσει νέες, πάντα με στόχο την έγκυρη και έγκαιρη πληροφόρηση του χρήστη. Έτσι συμμετέχει ενεργά σε εθνικές και διεθνείς δράσεις ακαδημαϊκών βιβλιοθηκών, φροντίζει



για την συνεχή επιμόρφωση του προσωπικού της και προωθεί την εισαγωγή νέων τεχνολογιών στον τομέα της διαχείρισης της πληροφορίας. (πηγή: [www.library.tuc.gr](http://www.library.tuc.gr) )

### 5.3.1. Το κτίριο της καινούριας βιβλιοθήκης

Το κτίριο της καινούριας βιβλιοθήκης ολοκληρώθηκε και ξεκίνησε τη λειτουργία του το Σεπτέμβριο του 2007. Πρόκειται για ένα τετραώροφο κτίριο (υπόγειο, ισόγειο και δυο ακόμα όροφοι), συνολικής έκτασης 1030 m<sup>2</sup>. Ο χώρος αυτός διαφοροποιείται από το ήδη υπάρχον κτίριο της βιβλιοθήκης, τόσο ως προς τις εγκαταστάσεις όσο και ως προς το υλικό που φιλοξενεί. Έτσι στο κτίριο αυτό θα στεγάζονται μόνο τα περιοδικά και το οπτικοακουστικό υλικό που έχει στην κατοχή του το Πολυτεχνείο Κρήτης, ενώ στο κτίριο της παλιάς βιβλιοθήκης θα παραμείνει ο κύριος όγκος των βιβλίων του Ιδρύματος.

Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή για το περιεχόμενο κάθε ορόφου της καινούριας βιβλιοθήκης με παράλληλη επίδειξη φωτογραφικού υλικού. Στον πίνακα 5.1 φαίνεται η εξωτερική άποψη του τετραώροφου κτιρίου.

Πίνακας 5.1 α & β: Εξωτερική άποψη της καινούριας βιβλιοθήκης



Στον πίνακα 5.2 φαίνονται χώροι από το υπόγειο του κτιρίου. Σ' αυτό βρίσκονται ο χώρος του μηχανολογικού εξοπλισμού και το μηχανοστάσιο, ο χώρος για το συνεργείο καθαρισμού, οι χώροι W.C. και νιπτήρων, το

φωτογραφικό εργαστήριο, αλλά κι ο χώρος παραλαβής, συντήρησης και φύλαξης βιβλίων.

Πίνακας 5.2 α & β: Μερικοί από τους χώρους του υπογείου του κτιρίου



Στο ισόγειο βρίσκονται τα γραφεία των βιβλιοθηκάριων, του προϊσταμένου και της γραμματέως, μία ακόμα τουαλέτα και ο χώρος παραλαβής και δανεισμού έντυπου υλικού. Στην ίδια περιοχή έχουν τοποθετηθεί τα φωτοαντιγραφικά μηχανήματα, κάποια βιβλιοστάσια και κάποιοι από τους χώρους ανάγνωσης και χρήσης Η/Υ για τους φοιτητές (φωτογραφία 5.3).

Πίνακας 5.3 α & β: Μερικοί από τους χώρους του ισογείου του κτιρίου



Στον πρώτο όροφο βρίσκονται οι χώροι των περιοδικών και μερικά ακόμα βιβλιοστάσια αλλά και ομαδικά αναγνωστήρια (πίνακας 5.4.α). Στο δεύτερο όροφο συναντώνται δύο ακόμα χώροι βιβλιοστάσιων και αναγνωστήριων αλλά και χώρος για προβολές και παρουσιάσεις σε κοινό (φωτογραφία 5.4 β & γ).

Πίνακας 5.4 α, β & γ: Γενική άποψη των χώρων του πρώτου και δευτέρου ορόφου της καινούριας βιβλιοθήκης



### 5.3.2. Το συμβατικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης της καινούριας βιβλιοθήκης

Το συμβατικό σύστημα κλιματισμού που χρησιμοποιείται στο καινούριο κτίριο της βιβλιοθήκης, καταναλώνει ηλεκτρικό ρεύμα από το δίκτυο της ΔΕΗ και χρησιμοποιεί τρεις κλιματιστικές μονάδες. Αυτές τοποθετούνται στην



οροφή του κτιρίου (πίνακας 5.5,α), ενώ μία τέταρτη μονάδα για την ανακυκλοφορία του αέρα στο σύστημα, τοποθετείται στο υπόγειο (πίνακας 5.5, β). Η συνολική απόδοση των κλιματιστικών μηχανημάτων του πρωτεύοντος κυκλώματος, ανέρχεται σε 390.000 Btu/h για τη θέρμανση και σε 404.258 Btu/h για την ψύξη. Όπως φαίνεται και από τις τιμές της απαιτούμενης απόδοσης, η θέρμανση του κτιρίου είναι οικονομικότερη από την ψύξη.

Η τροφοδοσία με φρέσκο αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου γίνεται από σωληνώσεις μεγάλης διατομής ( $d = 300 \text{ mm}$ ) που κρέμονται από την οροφή στο εσωτερικό του κτιρίου (πίνακας 5.5,δ). Οι αεραγωγοί που βρίσκονται σε διάφορα μέρη χαμηλότερα μέσα στο κτίριο (π.χ. πίνακας 5.5,γ), απορροφούν τον αέρα από το χώρο για την επαναθέρμανση ή την επαναψύξη αυτού.

*Πίνακας 5.5 α, β, γ & δ: Οι τρεις εξωτερικές κλιματιστικές μονάδες βρίσκονται στην οροφή του κτιρίου και η μονάδα ανακυκλοφορίας στο υπόγειο της καινούριας βιβλιοθήκης*



α: Στην οροφή του κτιρίου βρίσκονται οι τρεις εξωτερικές συμβατικές μονάδες κλιματισμού για τη θέρμανση/ψύξη του αέρα στο κτίριο



β: Στο υπόγειο βρίσκεται μια εσωτερική μονάδα για την ανακυκλοφορία του αέρα στο κτίριο



γ: Σύστημα απορρόφησης αέρα από το αναγνωστήριο



δ: Τμήμα της εσωτερικής οροφής του κτιρίου στο οποίο φαίνεται το σύστημα διανομής του φρέσκου αέρα από τις άσπρες σωληνώσεις

Η θέρμανση του κτιρίου διαρκεί 5 μήνες το χρόνο, ενώ η ψύξη αυτού διαρκεί 9 μήνες. Κάθε μία από τις τρεις εξωτερικές μονάδες αποδίδει 130.000 Btu/h κατά τη λειτουργία της θέρμανσης.

Το ωράριο λειτουργίας της βιβλιοθήκης και κατά συνέπεια του κλιματισμού, είναι κατά τη διάρκεια των ακαδημαϊκών εξαμήνων καθημερινά 10 συνεχόμενες ώρες (9.00 π.μ. - 19.45 μ.μ.) εξαιρουμένων των Σαββατοκύριακων και των επίσημων αργιών. Στις θερινές διακοπές, τα Χριστούγεννα και το Πάσχα λειτουργεί 6 συνεχόμενες ώρες (9.00 π.μ. - 14.30 μ.μ.) πάλι εξαιρουμένων των Σαββατοκύριακων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

### **ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΙΝΟΥΡΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

#### **6.1. Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια λεπτομερής περιγραφή των φύλλων και των αντίστοιχων τιμών του προγράμματος (Retscreen) που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη εγκατάστασης συστήματος ΓΑΘ στο κτίριο της καινούριας βιβλιοθήκης. Στη συνέχεια ακολουθεί μία αναλυτική περιγραφή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα σενάρια που εφαρμόστηκαν.

#### **6.2. Αναλυτική περιγραφή των φύλλων του χρησιμοποιούμενου προγράμματος**

Παρακάτω γίνεται μία πιο λεπτομερής αναφορά σε κάθε φύλλο που χρησιμοποιεί το Retscreen για τη λειτουργία του μοντέλου των ΓΑΘ. Τα κίτρινα, γκρι και γαλάζια κελιά στους πίνακες που φαίνονται παρακάτω συμπληρώνονται από το χρήστη, ενώ όλες οι υπόλοιπες τιμές εμφανίζονται μετά από επεξεργασία των δεδομένων στο σύστημα. Στα κίτρινα κελιά καταχωρούνται δεδομένα που απαιτούνται για τη ροή του μοντέλου. Τα μπλε κελιά απαιτούνται επίσης για τη ροή του μοντέλου και γι' αυτά παρέχονται και βάσεις δεδομένων από το διαδίκτυο ή από το ίδιο το μοντέλο. Τα δεδομένα για τα γκρι κελιά δεν είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του μοντέλου και τοποθετούνται μόνο για καλύτερη κατανόηση του χρήστη. Στα άσπρα κελιά φαίνονται τα αποτελέσματα που δίνει το πρόγραμμα μετά από επεξεργασία των δεδομένων που πήρε.

### Πρώτο φύλλο

Στο πρώτο φύλλο που αφορά την ενότητα του **Ενεργειακού Μοντέλου (Energy Model)**, εισάγονται αρχικά οι συνθήκες της περιοχής που θα τοποθετηθεί το σύστημα. Δηλαδή η ονομασία που θα δοθεί στο έργο, η περιοχή που βρίσκεται αυτό, η ιδιόκτητη έκταση γης για την κατασκευή του έργου και ο τύπος του εδάφους.

Στη συνέχεια ζητούνται κάποια ενεργειακά χαρακτηριστικά του συστήματος όπως η ύπαρξη ή όχι συμβατικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης (air-conditioning) στο κτίριο, το είδος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου σ' αυτό και η εποχιακή του απόδοση. Στο συγκεκριμένο έργο το καύσιμο που χρησιμοποιείται για το συμβατικό σύστημα είναι το ηλεκτρικό ρεύμα.

Ακολουθεί η εισαγωγή των δεδομένων που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του συστήματος του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας (GSHP) που θα χρησιμοποιηθεί. Αναφέρετε δηλαδή η επιλογή του συστήματος ανάμεσα στο κατακόρυφο σύστημα, το οριζόντιο σύστημα και το σύστημα ανοικτού βρόχου, το κριτήριο σχεδιασμού του συστήματος (ψύξη ή θέρμανση), και ο τρόπος διάταξης του γεωθερμικού εναλλάκτη.

Η επιλογή του κατακόρυφου συστήματος έγινε με βάση το υπέδαφος της περιοχής μελέτης που είναι ασβεστολιθικό. Η σκληρότητα του υλικού αυτού καθιστά οικονομικά ασύμφορη την επιλογή του οριζόντιου συστήματος. Επίσης στην περιοχή δεν υπάρχουν υπόγεια νερά ικανά να στηρίξουν μία εφαρμογή ανοικτού βρόχου.

Με βάση το κριτήριο σχεδιασμού, που ουσιαστικά αναφέρετε στο ποια κατηγορία φορτίων (ψύξης ή θέρμανσης) θα ικανοποιούνται πλήρως από το σύστημα κάθε φορά, το μοντέλο θα τρέξει για δύο σενάρια. Στο πρώτο θα θεωρήσουμε σαν κριτήριο σχεδιασμού τη θέρμανση και στο δεύτερο την ψύξη. Στον πίνακα 6.1 φαίνεται η περίπτωση με κριτήριο σχεδιασμού τη θέρμανση (heating).

*Πίνακας 6.1: Εδώ φαίνεται το πρώτο φύλλο από το πρόγραμμα Retscreen που χρησιμοποιήθηκε και οι τιμές που τοποθετήθηκαν για τη συγκεκριμένη εφαρμογή*

RETScreen® Energy Model – Ground-Source Heat Pump Project			
Site Conditions			Estimate
Project name			<b>Library TUC</b>
Project location	Greece		<b>Chania</b>
Available land area	m <sup>2</sup>		274,863
Soil type	-		Light rock
Design heating load	kW		12,0
Design cooling load	kW		50,8
System Characteristics			Estimate
<b>Base Case HVAC System</b>			
Building has air-conditioning?	yes/no		Yes
Heating fuel type	-		<b>Electricity</b>
Heating system seasonal efficiency	%		110%
Air-conditioner seasonal COP	-		3,1
<b>Ground Heat Exchanger System</b>			
System type	-		Vertical closed-loop
Design criteria	-		Heating
Typical land area required	m <sup>2</sup>		29
Ground heat exchanger layout	-		Standard
Total borehole length	m		186
<b>Heat Pump System</b>			
Average heat pump efficiency	-		User-defined
Standard cooling COP	-		6,10
Standard heating COP	-		4,10
Total standard heating capacity	kW		35,2
	million Btu/h		0,120
Total standard cooling capacity	kW		52,1
	ton (cooling)		14,8
<b>Supplemental Heating and Heat Rejection system</b>			
Suggested supplemental heating capacity	kW		0,0
	million Btu/h		0,000
Suggested supplemental heat rejection	kW		40,2
	million Btu/h		0,137
Annual Energy Production			Estimate
<b>Heating</b>			
Electricity used	MWh		8,3
Supplemental energy delivered	MWh		0,0
GSHP heating energy delivered	MWh		<b>25,5</b>
	million Btu		87,0
Seasonal heating COP	-		3,1
<b>Cooling</b>			
Electricity used	MWh		18,7
GSHP cooling energy delivered	MWh		<b>102,5</b>
	million Btu		349,7
Seasonal cooling COP	-		5,5
Seasonal cooling EER	(Btu/h)/W		18,7

Τέλος, εισάγονται δεδομένα που σχετίζονται με την επιλογή της αντλίας θερμότητας. Η αντλία που θα χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι το μοντέλο GS030-1CF/HZ/VT και ανήκει στην εταιρεία FHP. Η συγκεκριμένη αντλία θερμότητας έχει απόδοση σε ψύξη (Coefficient of Performance) *cooling COP* = 6,10 και απόδοση σε θέρμανση *heating COP* = 4,10. Το μοντέλο στη συνέχεια υπολογίζει την *ετήσια παραγωγή θερμικών και ψυκτικών φορτίων* από το σύστημα του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας (GSHP) και την αντλία που επιλέχθηκε.

Στο σημείο αυτό πρέπει να γίνει αναφορά στην ικανότητα του προγράμματος να διαθέτει μια βάση δεδομένων με εταιρίες που κατασκευάζουν αντλίες θερμότητας και τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών. Ο χρήστης είναι σε θέση να επιλέξει την καταλληλότερη αντλία για κάθε περίπτωση και τα δεδομένα μεταφέρονται απευθείας στα κελιά εισαγωγής. Σε περίπτωση που οι ανάγκες του χρήστη δεν καλύπτονται από τη βάση δεδομένων του προγράμματος, υπάρχει η δυνατότητα να προστεθεί και να επιλεγεί ένας διαφορετικός τύπος αντλίας θερμότητας με απευθείας πληκτρολόγηση αφού περαστούν όμως και οι αντίστοιχες αποδόσεις του.

### Δεύτερο φύλλο

Το φύλλο ***υπολογισμού των φορτίων ψύξης και θέρμανσης (Heating and Cooling Load Calculation)***, περιέχει *κλιματολογικά δεδομένα* για την περιοχή μελέτης και δεδομένα που αφορούν *τα χαρακτηριστικά του κτιρίου*.

Αρχικά μας ζητείται η *θερμοκρασία σχεδιασμού θέρμανσης (heating design temperature)* και ακολουθεί η *θερμοκρασία σχεδιασμού ψύξης (cooling design temperature)*. Με τις τιμές αυτές το πρόγραμμα υπολογίζει το απαιτούμενο ενεργειακό φορτίο του κτιρίου για ψύξη και θέρμανση. Ακολουθεί το επιθυμητό επίπεδο υγρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου (*cooling humidity level*), το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (*latitude of project location*) και η ετήσια μέση θερμοκρασία του εδάφους στην περιοχή (*mean earth temperature*).

Στο σημείο αυτό αναφέρεται ότι το Retscreen παρέχει βάση μετεωρολογικών δεδομένων για αρκετές περιοχές του πλανήτη συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας (Αθήνα και Τρίκαλα). Για την περιοχή των Χανίων, τα δεδομένα πάρθηκαν από την ιστοσελίδα του ΚΑΠΕ ([www.cres.gr](http://www.cres.gr), 2006).

Πίνακας 6.2: Εδώ φαίνεται το δεύτερο φύλλο του προγράμματος Retscreen

<b>RETScreen® Heating and Cooling Load Calculation–Ground-Source Heat Pump Project</b>			
<b>Site Conditions</b>			<b>Estimate</b>
Nearest location for weather data			ΚΑΠΕ, Athens
Heating design temperature	°C		0,0
Cooling design temperature	°C		28,0
Average summer daily temperature range	°C		13,00
Cooling humidity level	-		Low
Latitude of project location	°N		35,3
Mean earth temperature	°C		17,0
Annual earth temperature amplitude	°C		7,0
Depth of measurement of earth temperature	m		2,0
<b>Building Heating and Cooling Load</b>			<b>Estimate</b>
Type of building	-		Commercial
Available information	-		Descriptive data
Building floor area	m <sup>2</sup>		810
Number of floors	floor		4
Window area	-		Standard
Insulation level	-		High
Occupancy type	-		Daytime
Equipment and lighting usage	-		Moderate
Building design heating load	kW		12,0
	million Btu/h		0,041
Building heating energy demand	MWh		25,5
	million Btu		87,0
Building design cooling load	kW		50,8
	ton (cooling)		14,5
Building cooling energy demand	MWh		102,5
	million Btu		349,7

Στη συνέχεια δίνονται στοιχεία που αφορούν τα χαρακτηριστικά του κτιρίου. Έτσι αναφέρονται ο τύπος του κτιρίου (*type of building*) (οικία, εμπορικό ή βιομηχανικό κτίριο), η συνολική επιφάνεια αυτού που θα κλιματίζεται (*building floor area*), ο αριθμός των ορόφων αυτού (*number of floors*), το ποσοστό της επιφάνειας του κτιρίου που καλύπτεται από

παράθυρα (*window area*), το επίπεδο μόνωσης του κτιρίου (*insulation level*), οι ώρες χρήσης αυτού (ημερήσια, νυχτερινή ή 24<sup>η</sup>) (*occupancy type*) και ο βαθμός χρήσης των υπάρχοντων ηλεκτρικών συσκευών (*equipment and lighting usage*).

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το κτίριο θεωρήθηκε εμπορικό με συνολική επιφάνεια κλιματισμού 810 m<sup>2</sup> περίπου. Το κτίριο αποτελείται από συνηθισμένο αριθμό παραθύρων και έχει υψηλό επίπεδο μόνωσης. Χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της μέρας μόνο και έχει μέτρια χρήση μηχανημάτων που καταναλώνουν ενέργεια (υπολογιστές, φωτοτυπικά μηχανήματα, τηλεοράσεις και στερεοφωνικά).

### Τρίτο φύλλο

Στο τρίτο φύλλο, στα πλαίσια της μελέτης προ-επιτευξιμότητας (*pre-feasibility*) ή επιτευξιμότητας (*feasibility*), **αναλύονται τα κόστη (cost analysis) του σχεδιασμού και της εγκατάστασης του συστήματος των ΓΑΘ** με μικρότερη (προ-επιτευξιμότητα) ή μεγαλύτερη (επιτευξιμότητα) ακρίβεια αντίστοιχα.

Στο φύλλο αυτό επιχειρείται μία όσο το δυνατόν καλύτερη εκτίμηση για τα *αρχικά, τα ετήσια και τα περιοδικά κόστη* που αφορούν το μοντέλο, αφού πρώτα οριστεί η νομισματική μονάδα που θα χρησιμοποιηθεί.

Έτσι αρχικά προσδιορίζεται από ειδικούς η καταλληλότητα του εδάφους να δεχτεί ένα σύστημα ΓΑΘ με επί τόπου επισκέψεις και πραγματοποίηση εδαφολογικών και υδρολογικών μετρήσεων. Ακολουθεί ένας πρώτος σχεδιασμός, μία λεπτομερή εκτίμηση του κόστους και κάποιες αναφορές προς τους ενδιαφερόμενους. Στη συνέχεια γίνεται λόγος για τη διεκπεραίωση θεμάτων που σχετίζονται με έγγραφες άδειες και εγκρίσεις από σχετικούς φορείς, αλλά και θέματα που αφορούν την ανάθεση έργου και την επίβλεψη της κατασκευής.

Στο συγκεκριμένο έργο όπως φαίνεται και από το σενάριο στον πίνακα 6.3, πραγματοποιήθηκε μελέτη επιτευξιμότητας και σαν νομισματική μονάδα ορίστηκε το ευρώ (€). Όλες οι τιμές στον πίνακα αυτό αφορούν τα κόστη σε



εργασία μηχανικών και τεχνικών και καταχωρήθηκαν εκτιμώμενες στο περίπου με 55 €/ώρα.

Ακολουθούν τα κόστη για την αγορά των αντλιών του συστήματος, του κυκλοφορούντος ρευστού, τη διάνοιξη των γεωτρήσεων ή των χαντακιών, τις σωληνώσεις του γεωεναλλάκτη και του κτιρίου, τις βαλβίδες και τα εξαρτήματα του συστήματος στο σύνολό του. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο κόστος από την παρουσία συμβατικών συστημάτων συμπληρωματικής θέρμανσης ή απόρριψης θερμότητας (balance of system) στο κτίριο αλλά και την δοκιμαστική λειτουργία παρουσία του επιβλέποντα της κατασκευής και του ιδιοκτήτη. Για όλες τις παραπάνω τιμές από τις οποίες προκύπτει το συνολικό αρχικό κόστος πρέπει να εκτιμάται και ένα ποσό (%) για απρόοπτα έξοδα κατά τη διάρκεια των εργασιών.

Πίνακας 6.3: Γενική μορφή του τρίτου φύλλου από το πρόγραμμα Retscreen

RETScreen® Cost Analysis – Ground Source Heat Pump Project					
	Type of analysis:	Feasibility		Currency:	Euro symbol
Initial Costs (Credits)		Unit	Quantity	Unit Cost	Amount
<b>Feasibility Study</b>					
	Site investigation	p-h	10	€ 55	€ 550
	Soil/hydrology assessment	p-h	38	€ 55	€ 2.090
	Preliminary design	p-h	9	€ 55	€ 495
	Detailed cost estimate	p-h	9	€ 55	€ 495
	Report preparation	p-h	19	€ 55	€ 1.045
	Travel and accommodation	p-trip			€ -
	Other - Feasibility study	Cost		€ -	€ -
	Credit – Feasibility study	Credit			€ -
	Sub-total :				€ 4.675
<b>Development</b>					
	Permits and approvals	p-h	7	€ 55	€ 385
	Land survey	p-h	0		€ -
	Project financing	p-h	11	€ 55	€ 605
	Project management	p-h	22	€ 55	€ 1.210
	Travel and accommodation	p-trip			
	Other - Development	Cost		€ -	€ -
	Credit - Development	Credit			€ -
	Sub-total :				€ 2.200
<b>Engineering</b>					
	GSHP system design	p-h	8	€ 55	€ 440
	Tenders and contracting	p-h	24	€ 55	€ 1.320
	Construction supervision	p-h	23	€ 55	€ 1.265
	Other - Engineering	Cost		€ -	€ -
	Credit - Engineering	Credit			€ -
	Sub-total :				€ 3.025
<b>Energy Equipment</b>					

	Heat pumps	kW cooling	52,1	€ 550	€ 28.650
	Well pumps	kW	0,0	€ -	€ -
	Circulating pumps	kW	0,9	€ 1.005	€ 890
	Circulating fluid	m <sup>3</sup>	0,03	€ -	€ -
	Plate heat exchangers	kW	0,0	€ -	€ -
	Trenching and backfilling	m	0	€ -	€ -
	Drilling and grouting	m	186	€ 173,00	€ 32.116
	Ground HX loop pipes	m	371	€ 4,00	€ 1.485
	Fittings and valves	kW cooling	52,1	€ 20,00	€ 1.042
	Other - Energy equipment	Cost		€ -	€ -
	Electric central heating system	Credit			€ -
	Sub-total :				€ 64.183
	<b>Balance of System</b>				
	Supplemental heating system	kW	0,00	€ -	€ -
	Supplemental heat rejection	kW	40,2	€ 1-	€ 35
	Internal piping and insulation	kW cooling	52,10	€ 25	€ 1.302
	Other - Balance of System	Cost		€ -	€ -
	Credit - Balance of System	Credit			€ -
	Sub-total :				€ 1.337
	<b>Miscellaneous</b>				
	Training	p-h	14	€ 55	€ 770
	Contingencies	%	5%	€ 76.190	€ 3.810
	Sub-total :				€ 4.580
	<b>Initial Costs - Total</b>				€ 80.000
	<b>Annual Costs (Credits)</b>	<b>Unit</b>	<b>Quantity</b>	<b>Unit Cost</b>	<b>Amount</b>
	<b>O&amp;M</b>				
	Property taxes/Insurance	project	0	€ -	€ -
	O&M labour	m <sup>2</sup>	810	€ 1,00	€ 810
	Travel and accommodation	p-trip			€ -
	Other – O & M	Cost	0	€ -	€ -
	Credit – O & M	Credit			€ -
	Contingencies	%	2%	€ 75.420	€ 1.508
	Sub-total :				€ 2.318
	<b>Fuel/Electricity</b>				
	Electricity	kWh	27.011	€ 0,121	€ 3.268
	Incremental electricity load	kW	-3,9		€ -
	Sub-total				€ 3.268
	<b>Annual Costs - Total</b>				€ 5.587
	<b>Periodic Costs (Credits)</b>		<b>Period</b>	<b>Unit Cost</b>	<b>Amount</b>
		Cost			€ -
		Credit			€ -
					€ -
	End of project life	Credit	-		€ -

Στα ετήσια κόστη (*annual costs*) αναφέρονται τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος GSHP αλλά και το ετήσιο κόστος από την

κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Στα *περιοδικά κόστη (periodic costs)* που ακολουθούν, αναφέρονται τα έξοδα για την αντικατάσταση κάποιου συγκεκριμένου μέρους του συστήματος μετά το πέρας του χρόνου ζωής του ή σε περίπτωση βλάβης.

#### Τέταρτο φύλλο

Στο φύλλο αυτό που όπως ήδη αναφέρθηκε είναι προαιρετικό, **εκτιμάται η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (GHG analysis)** από τη χρήση των ΓΑΘ σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα. Έτσι εισάγεται το καύσιμο που χρησιμοποιείται από το συμβατικό σύστημα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (στην περίπτωση που μελετάται εδώ το κεντρικό δίκτυο της ΔΕΗ) και γίνεται σύγκριση των ποσοτήτων του CO<sub>2</sub> που παράγονται απ' αυτό με τις εκπομπές που προέρχονται από το σύστημα των ΓΑΘ.

Πίνακας 6.4: Γενική μορφή του τέταρτου φύλλου από το από το πρόγραμμα Retscreen

RETScreen® Greenhouse Gas (GHG) Emission Reduction Analysis– Ground-Source Heat Pump Project							
Use GHG analysis sheet?:	Yes	Type of analysis:	Standard				
Background Information							
Project Information		Global Warming Potential of GHG					
Project name	Library TUC	1 tonne CH <sub>4</sub> = 21 tonnes CO <sub>2</sub>	(IPCC 1996)				
Project location	Chania	1 tonne N <sub>2</sub> O = 310 tonnes CO <sub>2</sub>	(IPCC 1996)				
Base Case Electricity System (Baseline)							
Fuel type	Fuel mix (%)	CO <sub>2</sub> emission factor (Kg/GJ)	CH <sub>4</sub> emission factor (Kg/GJ)	N <sub>2</sub> O emission factor (Kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)	T & D losses (%)	GHG emission factor (t <sub>co2</sub> /MWh)
Diesel (#2 oil)	88,0 %	74,1	0,0020	0,0020	30,00%	8,0%	0,975
Wind	12,0%	0,0	0,0000	0,0000	100,0%	8,0%	0,0000
Electricity mix	100%	236,3	0,0064	0,0064		8,0%	0,858
Base Case Heating and Cooling System (Baseline)							
Fuel type	Fuel mix (%)	CO <sub>2</sub> emission factor (Kg/GJ)	CH <sub>4</sub> emission factor (Kg/GJ)	N <sub>2</sub> O emission factor (Kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)		GHG emission factor (t <sub>co2</sub> /MWh)

<b>Heating system</b>							
Electricity	100%	236,3	0,0064	0,0064	110,0%		0,780
<b>Cooling system</b>							
Electricity	100%	236,3	0,0064	0,0064	310,0%		0,277

#### Proposed Case Heating and Cooling System (Ground-Source Heat Pump Project)

Fuel type	Fuel mix (%)	CO <sub>2</sub> emission factor (Kg/GJ)	CH <sub>4</sub> emission factor (Kg/GJ)	N <sub>2</sub> O emission factor (Kg/GJ)	Fuel conversion efficiency (%)	GHG emission factor (t <sub>CO2</sub> /MWh)
<b>Heating system</b>						
Electricity	100%	236,3	0,0064	0,0064	306,9%	0,280
<b>Cooling system</b>						
Electricity	100%	236,3	0,0064	0,0064	548,1%	0,157

#### GHG Emission Reduction Summary

	Base case GHG emission factor (t <sub>CO2</sub> /MWh)	Proposed case GHG emission factor (t <sub>CO2</sub> /MWh)	End-use annual energy delivered (MWh)	Annual GHG emission reduction (t <sub>CO2</sub> )
<b>Heating system</b>	0,780	0,280	25,5	12,77
<b>Cooling system</b>	0,277	0,157	102,5	12,33
<b>Net GHG emission reduction</b>			<b>( t<sub>CO2</sub>/yr)</b>	<b>25,09</b>

Στην περίπτωση των Χανίων, η ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου της ΔΕΗ προέρχεται σε ποσοστό 88% από την καύση πετρελαίου (Diesel #2) και σε ποσοστό 12% από ανεμογεννήτριες (πίνακας 6.4).

Στο τέλος του φύλλου, και αφού γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί, το πρόγραμμα εμφανίζει την ετήσια μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> (t<sub>CO2</sub> /y) με τη χρήση των συστημάτων ΓΑΘ. Στην περίπτωση της βιβλιοθήκης που εξετάζεται εδώ η μείωση θα είναι 25,09 t<sub>CO2</sub> /y.

#### Πέμπτο φύλλο

Η επόμενη ενότητα αφορά τη **χρηματο-οικονομική περίληψη** (financial summary). Στις ζητούμενες **οικονομικές παραμέτρους** (financial parameters) του φύλλου αυτού, εισάγεται η τιμή του ηλεκτρισμού (€/KWh) στην περιοχή ενδιαφέροντος, ο δείκτης χρέους (*debt ratio*) για την περίπτωση που θα

χρησιμοποιηθεί δάνειο, το επιτόκιο του δανείου (*debt interest rate*) και ο χρόνος αποπληρωμής αυτού (*debt term*), ο πληθωρισμός (*inflation*), η διάρκεια ζωής του έργου (*project life*) και το ποσοστό επιδότησης επί του αρχικού κεφαλαίου (*Incentives/Grants*) στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί επιδότηση.

Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα καταχώρησης της πίστωσης (σε €/t<sub>CO2</sub>) λόγω μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> (*GHG emission reduction credit*) από το σύστημα των ΓΑΘ, αλλά και η διάρκεια σε χρόνια (yr) κατά την οποία θα έχουμε όφελος λόγω μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> (*GHG reduction credit duration*). Στο φύλλο αυτό καταχωρούνται επίσης και δεδομένα που αφορούν στα ποσοστά συμμετοχής και στο επιτόκιο των τραπεζών που πιθανόν να χρηματοδοτήσουν την εφαρμογή.

Στα σενάρια που μελετήθηκαν, το οικονομικό όφελος από τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> θεωρήθηκε 0,5 €/t<sub>CO2</sub> που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα. Ο πληθωρισμός ορίστηκε στο 2,7% και η διάρκεια ζωής του έργου σε 25 χρόνια.

Στο ίδιο φύλλο παρουσιάζονται η καθαρή παρούσα αξία του έργου (*net present value, NPV*), ο χρόνος για τη θετική χρηματοοικονομική εισροή (*year-to-positive cash flow*) και το διάγραμμα των αθροιστικών ταμειακών ροών (*cumulative cash flow*) για όλα τα χρόνια που θα διαρκέσει το έργο. Παρατίθενται ακόμα διάφοροι οικονομικοί συντελεστές για την καλύτερη κατανόηση της βιωσιμότητας της εφαρμογής.

Στο συγκεκριμένο φύλλο που φαίνεται στον πίνακα 6.5, εξετάζεται το σενάριο κατά το οποίο υπάρχει 40% (32.000 €) επιδότηση και 30% (24.000 €) δάνειο για την επένδυση. Έχει θεωρηθεί επίσης σαν φορτίο σχεδιασμού του κτιρίου η θέρμανση (heating).

Το συνολικό κόστος της επένδυσης εκτιμήθηκε στα 80.000 € για το συγκεκριμένο σενάριο, οι συνολικές ετήσιες εξοικονομήσεις (*Annual savings*) σε 6.819 € και τα συνολικά ετήσια κόστη και χρέη (*Annual Costs and Debt*) σε 7.554 €.

Η καθαρή παρούσα αξία του έργου εκτιμάται στα 13.050 € και ο χρόνος για τη θετική χρηματοοικονομική εισροή σε 20,6 χρόνια. Στο διάγραμμα 6.1 που εμφανίζεται στο φύλλο αυτό φαίνονται οι αθροιστικές ταμειακές ροές του

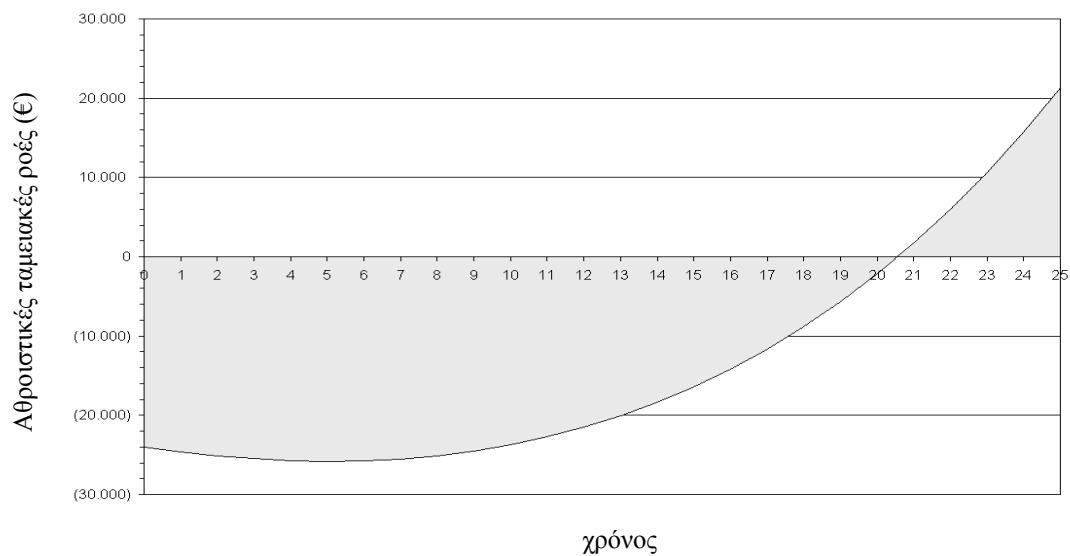
σεναρίου (*cumulative cash flows*) (διάγραμμα) για όλα τα χρόνια που θα λειτουργήσει το έργο.

*Πίνακας 6.5: Εδώ φαίνεται το πέμπτο φύλλο από το πρόγραμμα Retscreen.*

RETScreen® Financial Summary – Ground Source Heat Pump Project						
<b>Annual Energy Balance</b>						
Project name		Library TUC		Electricity required	MWh	27,0
Project location		Chania		Incremental electricity load	kW	(3,9)
				Net GHG reduction	t <sub>CO2</sub> /yr	25,09
Heating energy delivered	MWh	25,5				
Cooling energy delivered	MWh	102,5				
Heating fuel displaced		Electricity		Net GHG emission reduction - 25	t <sub>CO2</sub>	627,31
<b>Financial Parameters</b>						
Avoided cost of heating energy	€/kWh	0,121		Debt ratio	%	30,0%
				Debt interest rate		6,5%
				Debt term	yr	25
GHG emission reduction credit	€/ t <sub>CO2</sub>	0,5		Income tax analysis?	Yes/no	No
GHG reduction credit duration	yr	25				
GHG credit escalation rate	%	5,0%				
Retail price of electricity	€/kWh	0,121				
Demand charge	€/kW	-				
Energy cost escalation rate	%	5,0%				
Inflation	%	2,7 %				
Discount rate	%	1,0%				
Project life	yr	25				
<b>Project Costs and Savings</b>						
	<b>Initial Costs</b>				<b>Annual Costs and Debt</b>	
	Feasibility study	5,8%	€	4.675	O&M	€ 2.318
	Development	2,8%	€	2.200	Fuel/Electricity	€ 3.268
	Engineering	3,8%	€	3.025	Debt payment – 25 years	€ 1.968
	Energy equipment	80,2%	€	64.183	<b>Annual Costs and Debt - Total</b>	<b>€ 7.554</b>
	Balance of system	1,7%	€	1.337		
	Miscellaneous	5,7%	€	4.580	<b>Annual Savings or Income</b>	

	<b>Initial Costs - Total</b>	100,0%	€	<b>80.000</b>		Heating energy savings/income	€	2.806
						Cooling energy savings/income	€	4.001
	<b>Incentives/Grants</b>		€	<b>= 30% *Initial Costs</b>				
				<b>= 32.000</b>				
						GHG reduction income - 25 yrs	€	13
						<b>Annual Savings - Total</b>	<b>€</b>	<b>6.819</b>
	<b>Periodic Costs (Credits)</b>							
			€	-				
	End of project life -Credit		€	-				
<b>Financial Feasibility</b>								
	Pre-tax IRR and ROI	%		3,2%		Calculate GHG reduction cost?	yes/no	No
	After-tax IRR and ROI	%		3,2%				
	Simple Payback	yr		39,0		Project equity	€	56.000
	Year-to-positive cash flow	yr		20,6		Project debt	€	24.000
	Net Present Value - NPV	€		13.050		Debt payments	€/yr	1.968
	Annual Life Cycle Savings	€		593		Debt service coverage		0,68
	Benefit-Cost (B-C) ratio	-		1,23				





Year-to-positive cash flow: 20,6 yr

Net Present Value: 13.050 €

Διάγραμμα 6.1: Εδώ φαίνονται οι αθροιστικές ταμειακές ροές του σεναρίου συναρτήσεως του χρόνου ζωής και λειτουργίας του συστήματος ΓΑΘ

#### (Έκτο φύλλο)

Το τελευταίο φύλλο είναι προαιρετικό και αποτελείται από δύο ξεχωριστά πεδία. Το ένα είναι η ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity Analysis) και το άλλο η ανάλυση επικινδυνότητας (Risk Analysis). Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση επικινδυνότητας απαιτούνται γνώσεις στατιστικής και έτσι στα πλαίσια μόνο της ανάλυσης ευαισθησίας, γίνεται εκτίμηση της ευαισθησίας κάποιων σημαντικών οικονομικών δεικτών σε σχέση με τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους κλειδιά.

Έτσι για κάθε σενάριο που έχει ήδη μελετηθεί, επιλέγεται η επιθυμητή πιθανότητα σφάλματος (σε ποσοστό %) για τον υπολογισμό του αρχικού και του ετήσιου κόστους, του επιτοκίου του δανείου αλλά και για τη μείωση των εκπομπών των αέριων ρύπων στα 25 χρόνια. Το αρχικό και ετήσιο κόστος υπολογίζονται συναρτήσεως της ενέργειας που εξοικονομείται σε κάθε περίπτωση.

Οι πορτοκαλί περιοχές που εμφανίζονται στο φύλλο μετά τους υπολογισμούς, αφορούν τις επικίνδυνες περιοχές στις οποίες το έργο

εμφανίζεται να μην είναι βιώσιμο σε σχέση με την επιλεγόμενη μέγιστη χρονική διάρκεια θετικής χρηματοοικονομικής εισροής.

### 6.3. Αποτελέσματα

Κύρια παράμετρος στα σενάρια που θα χρησιμοποιηθούν αποτελεί το φορτίο σχεδιασμού του κτιρίου. Σκοπός της εφαρμογής είναι να χρησιμοποιηθούν τα ίδια σενάρια, αρχικά με φορτίο σχεδιασμού τη θέρμανση (heating) και στη συνέχεια με φορτίο σχεδιασμού την ψύξη (cooling). Αυτό σημαίνει ότι στην πρώτη περίπτωση (φορτίο σχεδιασμού θέρμανση) επιθυμητό είναι το γεωθερμικό σύστημα να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του κτιρίου για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης. Εάν για κάποιο λόγο με τον τρόπο αυτό δεν καλύπτεται και η ψύξη, θα χρησιμοποιηθεί κάποιο συμπληρωματικό συμβατικό σύστημα για την ικανοποίηση και του ψυκτικού φορτίου το καλοκαίρι. Στη δεύτερη περίπτωση (φορτίο σχεδιασμού ψύξης), το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην πλήρη κάλυψη του μέγιστου ψυκτικού φορτίου του κτιρίου και μπορεί πάλι να χρησιμοποιηθεί κάποιο συμβατικό σύστημα για τη συμπλήρωση ενέργειας ώστε να καλυφθεί και η θέρμανση αυτού το χειμώνα.

Έτσι με τη βοήθεια του Retscreen προέκυψαν 8 σενάρια για την περίπτωση της θέρμανσης. Σ' αυτά χρησιμοποιείται είτε μονάχα επιδότηση σε διάφορα ποσοστά (30%, 50% και 70%), είτε μόνο δάνειο σε ποσοστά 50% και 70%, είτε τίποτα από τα δύο. Έχουν μελετηθεί και κάποια σενάρια στα οποία συνδυάζονται τα ποσοστά επιδότησης και δανείου που είναι και η πιο συνηθισμένη περίπτωση. Έτσι εξετάστηκαν οι περιπτώσεις για τις οποίες έχουμε 30% δάνειο και 40% επιδότηση αλλά και το αντίστροφο (30% επιδότηση και 40% δάνειο). Το μέγιστο των επιδοτήσεων και δανείων έφθασε το 70% αφού από την Ελληνική νομοθεσία το 30% των ποσών που διατίθενται σε επενδύσεις πρέπει να προέρχονται από ιδία κεφάλαια.

Σε όλα τα σενάρια θεωρήθηκε ότι η μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα λόγω της χρήσης των ΓΑΘ, επιφέρει στο σύστημα κέρδη που ισούται με 0,5 €/t<sub>CO2</sub> που δεν εκλύεται στην ατμόσφαιρα

(πηγή:www.desmie.gr). Το ποσό αυτό αφαιρείται από το συνολικό κόστος του έργου.

Θεωρήθηκε ακόμα ότι και στις δύο περιπτώσεις (heating και cooling) δεν υπάρχει καμία πίστωση για τα ποσά των μελετών και εργασιών εγκατάστασης του συστήματος.

#### α. ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Όταν ολόκληρος ο σχεδιασμός του συστήματος γίνεται δίνοντας βαρύτητα στη θέρμανση της βιβλιοθήκης (*design criteria: heating*), το συνολικό απαιτούμενο φορτίο εκτιμάται στα 390.000 Btu/h (114,309 kWh) και το αρχικό κόστος της επένδυσης φθάνει στην καλύτερη περίπτωση τα 80.000 € περίπου. Τα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται παρακάτω μαζί με τα αποτελέσματα που έδωσαν:

Πίνακας 6.6: Αποτελέσματα που προέκυψαν από τα διάφορα σενάρια για την περίπτωση που ο σχεδιασμός του κτιρίου βασίζεται στη θέρμανση (*design criteria: heating*)

Σενάριο	Επιδότηση (%)	Δάνειο (%)	Συνολικά Ετήσια Κόστη & χρέη (€)	Συνολικές Ετήσιες εισροές (έσοδα-έξοδα) (€)	Χρόνια για θετική ροή χρημάτων (yr)	Simple Payback (yr)	Καθαρή παρούσα αξία (€)
1°	70	0	5.587	1.232	11,3	19,5	56.382
2°	50	0	5.587	1.232	15,7	32,5	40.382
3°	30	0	5.587	1.232	19,0	45,4	24.382
4°	0	0	5.587	1.232	23,0	64,9	382
5°	40	30	7.554	-735	20,6	39,0	13.050
6°	30	40	8.210	-1.391	24,0	45,4	-1.394
7°	0	50	8.866	-2.047	> 25	64,9	-31.838
8°	0	70	10.178	-3.359	> 25	64,9	-44.725

Η μείωση των ποσοτήτων των αερίων του θερμοκηπίου (*Net average GHG reduction*) λόγω της χρήσης του συστήματος ΓΑΘ, εκτιμάται από το

Retscreen σε 25.09 t<sub>CO2</sub>/yr για όλες τις περιπτώσεις που κριτήριο σχεδιασμού θεωρείται η θέρμανση.

Οι συνολικές ετήσιες εξοικονομήσεις (*Total Annual Savings*) εκτιμήθηκαν από το πρόγραμμα σε 6.819 € και παρέμειναν σταθερές σε όλα τα σενάρια. Αυτές αφορούν την ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της χρήσης των ΓΑΘ. Έτσι, για κάθε συνδυασμό επιδότησης και δανείου μεταβάλλονται, μεταξύ άλλων, τα συνολικά ετήσια έξοδα για τη λειτουργία του συστήματος (*Total Annual Costs & Debt*), τα έτη που παρατηρείται θετική ροή χρημάτων στο έργο (*year to positive cash flow*), η καθαρή παρούσα αξία αυτού (*net present value*) αλλά και ο χρόνος εξόφλησης του αρχικού κόστους της επένδυσης (*simple payback*) (πίνακας 6.6).

Το πρώτο σενάριο (πίνακας 6.6) φαίνεται να είναι το ιδανικότερο όλων. Σύμφωνα με αυτό η επένδυση επιδοτείται κατά 70% και δεν υπάρχει δάνειο (0%). Τα χρήματα που τοποθετούνται αρχικά από τον ενδιαφερόμενο, αποδίδονται στα πρώτα 19,5 έτη της λειτουργίας του συστήματος και στη συνέχεια μέχρι και το τέλος της ζωής του (25 χρόνια) το έργο αποδίδει θετικά. Οι ετήσιες εισροές είναι θετικές και ίσες με 1.232 €. Η πιθανότητα βέβαια μίας τέτοιας επιδότησης (70%) για τα ελληνικά δεδομένα δεν υφίσταται.

Το τρίτο σενάριο επιδοτείται κατά 30% και δεν δανειοδοτείται. Οι συνολικές ετήσιες εισροές εδώ ανέρχονται και πάλι στα 1.232 € ενώ αυξάνεται κατά λίγο ο χρόνος για τη θετική ροή των χρημάτων (19 έτη). Ο χρόνος απόσβεσης του αρχικού κόστους της επένδυσης ανεβαίνει ακόμα περισσότερο και φθάνει τα 45,4 χρόνια. Η επιδότηση που αντιστοιχεί στο σενάριο αυτό δεν έχει και πάλι πρακτική εφαρμογή, προς το παρόν τουλάχιστον, αλλά και ο χρόνος απόσβεσης του αρχικού κόστους ξεπερνάει κατά πολύ τη διάρκεια ζωής του έργου.

Το τέταρτο σενάριο που δεν χρησιμοποιεί ούτε επιδότηση ούτε δάνειο, αλλά και το πέμπτο και το έκτο σενάριο, στα οποία τα ποσοστά επιδότησης και δανείου είναι ίδια και εναλλάσσονται, φαίνονται να είναι επίσης απαγορευτικά και μη βιώσιμα με την υπάρχουσα κατάσταση. Στα δύο

τελευταία μάλιστα τα ετήσια κόστη είναι μεγαλύτερα από τις ετήσιες εξοικονομήσεις και οι συνολικές ετήσιες εισροές αρνητικές (πίνακας 6.6).

Το έβδομο και όγδοο σενάριο στα οποία η επιδότηση είναι μηδενική και το ποσοστό του δανείου αρκετά υψηλό (50% και 70% αντίστοιχα), η επένδυση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αφού χρειάζονται περισσότερα από 25 χρόνια για να υπάρξει θετική ροή χρημάτων και οι ετήσιες εισροές είναι αρνητικές. Τα σενάρια αυτά μαζί με το τέταρτο σενάριο του πίνακα 6.6, είναι τα μόνα που θα μπορούσε κάποιος να εξετάσει για μία σημερινή επένδυση (δεν υπάρχει επιδότηση από την πολιτεία) και αποτελούν μία εντελώς επιζήμια επιλογή.

Στα πλαίσια όμως της αργής αλλά σταθερής ενθάρρυνσης των εφαρμογών των ΑΠΕ από την Ελληνική νομοθεσία, υπάρχει έντονη φημολογία ότι από τις αρχές του 2008 θα μπορούσαν να επιδοτηθούν εκτός από τα αιολικά και φωτοβολταϊκά πάρκα (που χρηματοδοτούνται ήδη) και άλλες μορφές ΑΠΕ μεταξύ αυτών και οι γεωθερμικές εφαρμογές. Το ποσοστό της επιδότησης αυτής μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 40 - 55%. (πηγή: Δέλτα Τεχνική, 2007)

Με βάση τον παραπάνω ισχυρισμό, θα εξεταστεί το δεύτερο σενάριο πιο αναλυτικά αφού φαίνεται να είναι και το πιο ρεαλιστικό στην περίπτωση που ο νέος αναπτυξιακός νόμος επιδοτήσει τις παραπάνω εφαρμογές. Το σενάριο αυτό δεν δανειοδοτείται αλλά επιδοτείται κατά 50%. Από τον πίνακα 6.6 φαίνεται ότι τα ετήσια έσοδα υπερέρχουν των ετήσιων εξόδων και υπάρχουν θετικές ετήσιες εισροές που ανέρχονται στα 1.232 €. Ο χρόνος που ξεκινά η θετική ροή χρημάτων είναι τα 15,7 έτη, ενώ ο χρόνος για την επιστροφή του αρχικού κόστους της επένδυσης φθάνει τα 32,5 χρόνια και ξεπερνάει κατά πολύ τη διάρκεια ζωής του έργου.

Στο σενάριο αυτό τα τέσσερα πρώτα φύλλα του μοντέλου επεξεργασίας των δεδομένων παραμένουν ως είχαν και στο προηγούμενο σενάριο (πίνακες 6.1-6.4) και αλλάζει μόνο το πέμπτο φύλλο με τον τρόπο που φαίνεται παρακάτω (πίνακας 6.7).

*Πίνακας 6.7: Εδώ φαίνεται το (πέμπτο) φύλλο της χρηματο-οικονομικής περίληψης για το δεύτερο σενάριο του πίνακα 6.6.*



**RETScreen® Financial Summary – Ground Source Heat Pump Project**
**Annual Energy Balance**

Project name		Library TUC		Electricity required	MWh	27,0
Project location		Chania		Incremental electricity load	kW	(3,9)
				Net GHG reduction	t <sub>CO2</sub> /yr	25,09
Heating energy delivered	MWh	25,5				
Cooling energy delivered	MWh	102,5				
Heating fuel displaced	-	Electricity		Net GHG emission reduction - 25	t <sub>CO2</sub>	627,31

**Financial Parameters**

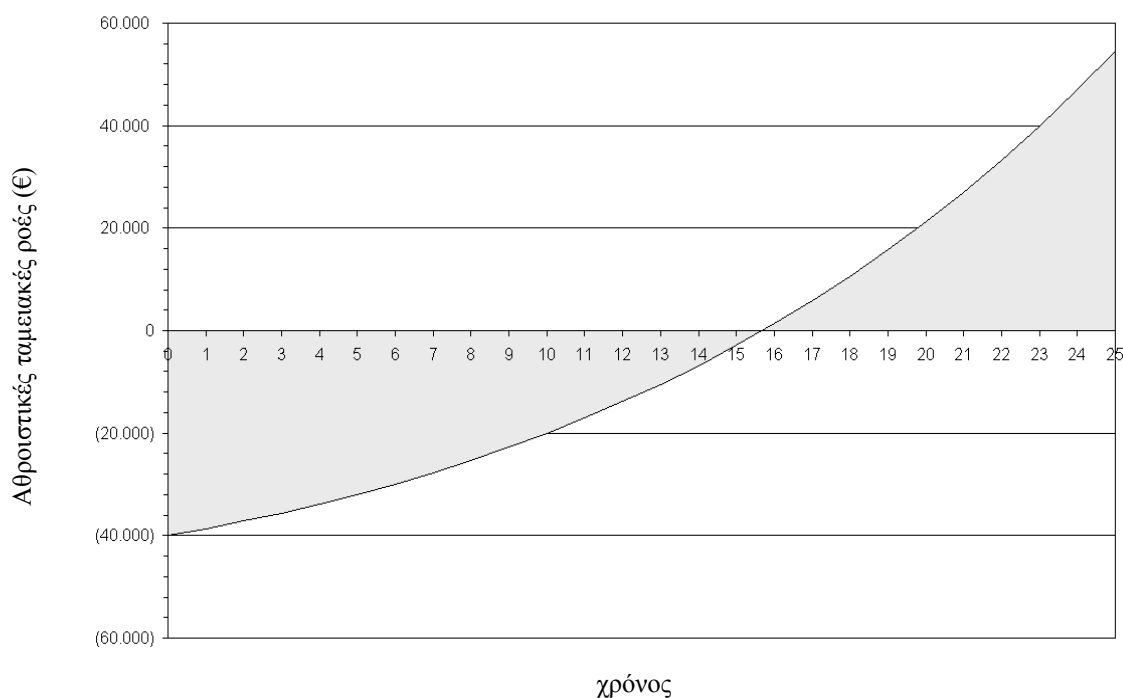
	Avoided cost of heating energy	€/kWh	0,121	Debt ratio	%	0,0%
	GHG emission reduction credit	€/ t <sub>CO2</sub>	0,5	Income tax analysis?	Yes/no	No
	GHG reduction credit duration	yr	25			
	GHG credit escalation rate	%	5,0%			
	Retail price of electricity	€/kWh	0,121			
	Demand charge	€/kW	-			
	Energy cost escalation rate	%	5,0%			
	Inflation	%	2,7			
	Discount rate	%	1,0%			
	Project life	yr	25			

**Project Costs and Savings**

Initial Costs				Annual Costs and Debt		
	Feasibility study	5,8%	€	4.675	O&M	€ 2.318
	Development	2,8%	€	2.200	Fuel/Electricity	€ 3.268
	Engineering	3,8%	€	3.025		
	Energy equipment	80,2%	€	64.183	<b>Annual Costs and Debt - Total</b>	<b>€ 5.587</b>
	Balance of system	1,7%	€	1.337		
	Miscellaneous	5,7%	€	4.580	<b>Annual Savings or Income</b>	
	<b>Initial Costs - Total</b>	100,0%	€	<b>80.000</b>	Heating energy savings/income	€ 2.806
					Cooling energy savings/income	€ 4.001
	<b>Incentives/Grants</b>		€	<b>= 50% *Initial Costs</b>		
				<b>= 40.000</b>		
					GHG reduction income - 25 yrs	€ 13
					<b>Annual Savings - Total</b>	<b>€ 6.819</b>
	<b>Periodic Costs (Credits)</b>					
			€	-		







Year-to-positive cash flow: 15,7 yr

Net Present Value: 40.382 €

*Διάγραμμα 6.2: Εδώ φαίνονται οι αθροιστικές ταμειακές ροές του δεύτερου σεναρίου συναρτήσει του χρόνου ζωής και λειτουργίας του συστήματος ΓΑΘ*

Το διάγραμμα 6.2 που φαίνεται εδώ, αναπαριστά τις αθροιστικές ταμειακές ροές με το χρόνο για το δεύτερο σενάριο του πίνακα 6.6. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα η επένδυση αρχίζει να αποδίδει θετικά στα 15,7 χρόνια από τη λειτουργία του έργου. Παρόλο που αρκετοί από τους δείκτες χαρακτηρίζουν την επένδυση βιώσιμη, ο χρόνος για την επιστροφή του αρχικού κόστους της επένδυσης (32,5 χρόνια) καθιστά και την περίπτωση αυτή οικονομικά μη εφικτή.

Όλα τα παραπάνω σενάρια θα μπορούσαν να επανεξεταστούν σε μία πιθανή αύξηση του τιμολογίου της ΔΕΗ (γεγονός που συζητείται έντονα), ή σε περίπτωση που ανέβαιναν αρκετά οι διεθνείς χρεώσεις για κάθε τόνο διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα. Και τα δύο αυτά ενδεχόμενα είναι πολύ πιθανά. Το πρώτο εξετάζεται ήδη λόγω πιέσεων από τη ΔΕΗ, ενώ το δεύτερο επιβάλλεται από τις παγκόσμιες τάσεις για την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση των εκπεμπόμενων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

## **β. ΨΥΞΗ**

Όταν ολόκληρος ο σχεδιασμός του συστήματος γίνεται δίνοντας βαρύτητα στην ψύξη του κτιρίου (design criteria: cooling), το συνολικά απαιτούμενο φορτίο φθάνει τα 404.258 Btu/h (118,48 kWh) και το αρχικό κόστος της επένδυσης αυξάνεται πάρα πολύ. Το Retscreen που χρησιμοποιήθηκε εδώ εκτιμάει το αρχικό κόστος στην περίπτωση αυτή στα **212.807 €** και το εγχείρημα απαγορευτικό.

Η τεράστια διαφορά στο αρχικό κόστος για τα δύο φορτία σχεδιασμού έχει να κάνει με τα κλιματολογικά δεδομένα της υπό μελέτη περιοχής. Έτσι περιοχές με μέτριο έως ζεστό κλίμα (Ελλάδα), πρέπει να διαστασιολογούν τις εφαρμογές τους ως προς το φορτίο θέρμανσης. Αν αυτό δε γίνει και προτιμηθεί η ψύξη για τη διαστασιολόγηση του γεωθερμικού εναλλάκτη, αυτός θα είναι κατά πολύ μεγαλύτερος, ενώ πιθανότατα θα απαιτείται και κάποια συμπληρωματική θέρμανση (συνήθως λέβητες συμβατικού καυσίμου) για την κάλυψη του μέγιστου φορτίου θέρμανσης τις μέρες του βαρύ χειμώνα.

Στην περίπτωση αυτή λοιπόν, ενώ υπάρχει ένας μεγάλος γεωθερμικός εναλλάκτης είναι απαραίτητη και η επιπλέον παροχή ενέργειας για την σωστή λειτουργία του συστήματος. Έτσι όμως αυξάνονται οι ανάγκες σε συμβατική ενέργεια και το έργο θεωρείται οικονομικά ασύμφορο (μη βιώσιμο).

Επομένως σε περιοχές όπου τα κλιματολογικά δεδομένα αναφέρονται σε θερμοκρασίες κοντά στις Ελληνικές, η διαστασιολόγηση της επένδυσης πρέπει να γίνεται με βάση τα φορτία θέρμανσης και ο γεωθερμικός εναλλάκτης να συνδυάζεται με κάποιο πύργο ψύξης. Ο τελευταίος χρησιμοποιείται στην περίπτωση που απαιτείται απόρριψη θερμότητας και συμψηφισμός της υπερβολικής απαίτησης για ψύξη το καλοκαίρι. Η επιλογή αυτή προτείνεται επειδή το κόστος του πύργου ψύξης είναι σαφώς μικρότερο από την αύξηση του μεγέθους του γεωθερμικού εναλλάκτη.

Για το κτίριο της καινούριας βιβλιοθήκης του Πολυτεχνείου, ο σχεδιασμός του συστήματος με βάση το φορτίο ψύξης πενταπλασιάζει

σχεδόν το μήκος των γεωτρήσεων και το μέγεθος του γεωεναλλάκτη, ενώ τριπλασιάζει το κόστος της επένδυσης. Πιο συγκεκριμένα αυξάνεται η απαιτούμενη επιφάνεια για την υλοποίηση του έργου από 29 m<sup>2</sup> (σχεδιασμός για θέρμανση) σε 233 m<sup>2</sup> (σχεδιασμός για ψύξη), το συνολικό μήκος των γεωτρήσεων από 186 m αυξάνεται στα 885 m και το μήκος των σωληνώσεων από 371 m σε 1.769 m.

Με γνώμονα λοιπόν όλα τα παραπάνω, η περίπτωση σχεδιασμού του κτιρίου δίνοντας προτεραιότητα στη ψύξη απορρίπτεται και δεν υπάρχει λόγος να εξεταστούν οι πιθανές επιδοτήσεις και τα δάνεια.

#### 6.4. Σύγκριση κόστους συμβατικού και γεωθερμικού συστήματος

Στοιχεία που πάρθηκαν από την τεχνική υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης σχετικά με το κόστος της προμήθειας του συμβατικού συστήματος για το κτίριο της βιβλιοθήκης, φαίνονται στον πίνακα 6.7. Το κόστος της επένδυσης εκτιμάται στα **108.000 €**.

Πίνακας 6.7: Κόστος συμβατικού συστήματος (πηγή: τεχνική υπηρεσία)

ΕΞΑΡΤΗΜΑ	ΚΟΣΤΟΣ (€)
Αεραγωγοί	30.000
Αντλία θερμότητας 1.100.000 Btu (3)	30.000
Αντλία θερμότητας 60.000 Btu (1)	9.000
Θερμική μόνωση αεραγωγών	15.000
Αντιδιαβρωτική προστασία	14.000
Στόμια	4.000
Βαφή μόνωσης αεραγωγών	3.500
Ανεμιστήρες	2.500
Θερμοστάτες αεραγωγού	300
Θερμοστάτες χώρου	200
<b>Συνολικό κόστος</b>	<b>108.000</b>

Η κοστολόγηση του συστήματος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας από την άλλη πλευρά, φαίνεται στους πίνακες 6.8 και 6.9. Στον πίνακα 6.8

δίνεται αναλυτικά το απαιτούμενο κόστος για το γεωθερμικό εναλλάκτη και την αντλία θερμότητας του συστήματος. Το ποσό αυτό όπως ήδη αναφέρθηκε φθάνει τα 80.000 €. Ο πίνακας 6.9 που ακολουθεί, απεικονίζει το κόστος των απαιτούμενων εξαρτημάτων του γεωθερμικού συστήματος για τη διανομή του αέρα με fan coils στο εσωτερικό του κτιρίου. Το κόστος στην περίπτωση αυτή είναι 39.500 € περίπου και μαζί με το κόστος του υπολοίπου συστήματος φθάνει τα **119.500 €**

Πίνακας 6.8: Κόστος γεωθερμικού εναλλάκτη και αντλίας θερμότητας

ΕΞΑΡΤΗΜΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΚΟΣΤΟΣ (€)
Αριθμός κατακόρυφων γεωτρήσεων	9	
Βάθος κατακόρυφων γεωτρήσεων	90 m	
Κόστος διάτρησης γεωτρήσεων	40 €/ m	
Συνολικό κόστος γεωτρήσεων		~ 32.400 €
Είδος αντλίας θερμότητας	GS030-1CF/HZ/VT FHP	
Συνολικό κόστος αντλίας θερμότητας		~ 30.000 €
Κόστος εργατικών		~ 4.000 €
Κόστος μελέτης		~ 3.600 €
Κόστος παρελκόμενων (αξεσουάρ)		~ 6.000 €
Κόστος απρόβλεπτων (5% του συνολικού κόστους)		~ 4.000 €
<b>Συνολικό κόστος</b>		<b>~80.000 €</b>

Πίνακας 6.9: Κόστος συστήματος διανομής ψύξης-θέρμανσης στο εσωτερικό του κτιρίου για το σύστημα των ΓΑΘ

ΕΞΑΡΤΗΜΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΚΟΣΤΟΣ (€)
Fan coil οροφής καναλάτο νερού 100.000 Btu/h	4 * 2.500	10.000
Αεραγωγός	4 * 3.000	12.000
Μονώσεις αεραγωγών	4 * 1.500	6.000
Στόμια	1 * 5.000	5.000
Σωληνώσεις** - δίκτυα νερού	1 * 2.500	2.500
Εργασίες εγκατάστασης όλων των παραπάνω	1 * 4.000	4.000

Κόστος συστήματος διανομής ψύξης-θέρμανσης		<b>39.500</b>
Κόστος εγκατάστασης γεωεναλλάκτη & αντλίας θερμότητας (πίνακας 6.9)		<b>80.000</b>
<b>Συνολικό κόστος για σύστημα ΓΑΘ</b>		<b>119.500</b>

**\*\*:** Οι σωληνώσεις στην περίπτωση αυτή αντιστοιχούν στο κομμάτι των σωληνώσεων που ξεκινάνε από την αντλία θερμότητας και φτάνουν μέχρι τα Fan coils

Όπως φαίνεται από την κοστολόγηση των δύο συστημάτων το ποσό για το γεωθερμικό σύστημα (119.500 €) είναι μεγαλύτερο από το ποσό του συμβατικού συστήματος (108.000 €). Αυτό είναι αναμενόμενο και δικαιολογείται από το επιπλέον κόστος για τη διάνοξη των γεωτρήσεων στην περίπτωση του συστήματος του γεωθερμικού εναλλάκτη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

#### 7.1. Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό αρχικά γίνεται αναφορά στα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη γενική μελέτη των συστημάτων ΓΑΘ αλλά και τη συγκεκριμένη εφαρμογή αυτών στο κτίριο της βιβλιοθήκης. Ακολουθούν κάποιες προτάσεις για μελλοντικές δράσεις πάνω στον τομέα των ΓΑΘ γενικά και στη συγκεκριμένη εφαρμογή στο Πολυτεχνείο Κρήτης ειδικά.

##### A. Συμπεράσματα που σχετίζονται με τη χρήση των ΓΑΘ

1. Οι ΓΑΘ λειτουργούν καλύτερα σε γεωγραφικές περιοχές όπου απαιτείται τόσο ψύξη όσο και θέρμανση των κτιρίων στα οποία εφαρμόζονται. Αυτό συμβαίνει γιατί το έδαφος στην περιοχή με τη διαδικασία αυτή δεν χάνει τη θερμική ισορροπία που κατέχει
2. Ο σχεδιασμός και η τοποθέτηση των συστημάτων ΓΑΘ είναι εύκολα κατανοητή και γίνεται με διαδικασίες ρουτίνας. Απαραίτητη θεωρείται όμως η εμπειρία και οι γνώσεις για τη σωστή διαστασιολόγηση και εγκατάσταση του συστήματος
3. Με την υπάρχουσα σημερινή κατάσταση και τη συνεχή άνοδο των τιμών του πετρελαίου, η επένδυση στα συστήματα αυτά, εκτός από επιτακτική, θα γίνεται ολοένα και πιο συμφέρουσα.

##### B. Συμπεράσματα από την παρούσα εργασία

1. Μία μικρή ιδιαιτερότητα που εντοπίστηκε κατά τη χρήση του προγράμματος Retscreen στην παρούσα εργασία, έχει να κάνει με τη διαφοροποίηση πολλών χρησιμοποιούμενων παραμέτρων, μεταξύ Καναδά και Ελλάδας, λόγω διαφορετικών εδαφολογικών, κλιματολογικών και κατασκευαστικών συνθηκών. Οι τιμές

διαφοροποιούνται αρκετά τόσο στα μετεωρολογικά δεδομένα, όσο και στα κόστη ανά τιμή μονάδας που προτείνει το πρόγραμμα για τα διάφορα κελιά. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να δημιουργήσει κάποια μικρά σφάλματα στα αποτελέσματα που δίνει το πρόγραμμα για τα Ελληνικά δεδομένα.

2. Τα μοντέλα αντλιών θερμότητας που προσφέρει το πρόγραμμα στη βάση δεδομένων του είναι περιορισμένα τόσο σε ποικιλία όσο και σε απόδοση. Οι αντλίες θερμότητας που κυκλοφορούν τα τελευταία χρόνια τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα, έχουν βελτιωθεί κατά πολύ ως προς τις αποδόσεις τους, ενώ σύντομα αναμένονται να κυκλοφορήσουν και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας με συντελεστή απόδοσης (COP) 7 περίπου.
3. Από τη σύγκριση των δύο συστημάτων (συμβατικό και γεωθερμικό) για την πραγματοποίηση της επένδυσης φαίνεται ότι το αρχικό κόστος για το σύστημα των ΓΑΘ είναι λίγο μεγαλύτερο (119.500 €) από το συμβατικό σύστημα χρήσης ηλεκτρικού ρεύματος (108.000 €). Η διαφορά αυτή μεταξύ των δύο συστημάτων είναι αναμενόμενη καθώς η διάνοιξη γεωτρήσεων στην περίπτωση της “πράσινης” επένδυσης, ανεβάζει το αρχικό κόστος αυτής. Η χρήση συμβατικής επιλογής έχει χαμηλότερο αρχικό κόστος αλλά αυξημένα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης.
4. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που προς το παρόν δεν εξετάζεται από το χρησιμοποιούμενο λογισμικό πρόγραμμα, είναι η δυνατότητα που έχει το σύστημα των ΓΑΘ να παρέχει και ζεστό νερό χρήσης στις εφαρμογές του. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι αφού η χρήση του παραγόμενου ζεστού νερού θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε κάποια άλλη εφαρμογή που απαιτεί ζεστό νερό χρήσης σε κτίριο του πολυτεχνείου. Με τον τρόπο αυτό γίνεται αποδοτικότερη η λειτουργία των ΓΑΘ και μειώνονται τα ετήσια έξοδα για αγορά ενέργειας στο Πολυτεχνείο.
5. Μια ακόμα περίπτωση που δεν εξετάστηκε εδώ και πάλι λόγω αδυναμίας του Retscreen να καλύψει τη δυνατότητα αυτή, είναι η

χρήση επιφανειακών υδάτων. Στην παρούσα εφαρμογή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί θαλασσινό νερό για τον κλιματισμό του υπό εξέταση κτιρίου. Η σκέψη αυτή γίνεται λόγω της κοντινής σχετικά απόστασης της Πολυτεχνειούπολης από τη θάλασσα (περίπου 1000 m) και τη δυνατότητα πρόσβασης σ' αυτήν μέσω ιδιοκτητιών εκτάσεων. Το βραχώδες ανάγλυφο της ακτογραμμής, στην εκεί περιοχή, δεν προσφέρεται για κολύμπι ή άλλες καλοκαιρινές δραστηριότητες και έτσι δεν θα δημιουργούσε πιθανές αντιδράσεις. Στην επιλογή αυτή δεν υφίσταται το αυξημένο κόστος από την κατασκευή των εννέα γεωτρήσεων σε βάθος 90 m η κάθε μία, αλλά εισέρχεται το πρόβλημα του ασβεστολιθικού εδάφους (δύσκολη διάνοιξη χαντακιών) που πρέπει να εκσκαφεί σε μικρό βάθος μέχρι την κοντινότερη διέξοδο στη θάλασσα. Η πηγή αυτή μπορεί να δέχεται και να δίνει όσες ποσότητες ενέργειας απαιτούνται χωρίς κανένα πρόβλημα.

6. Η χρήση ηλεκτρικού ρεύματος έναντι πετρελαίου για τη λειτουργία του συμβατικού συστήματος στο κτίριο της καινούριας βιβλιοθήκης είναι μία σχετικά οικονομική συμβατική επιλογή. Αυτό γιατί η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος δεν διαφοροποιείται ούτε με τη συχνότητα που διαφοροποιείται η τιμή του πετρελαίου αλλά ούτε και φθάνει τις τιμές που παρατηρούνται στις αγορές αυτού.
7. Τελικό συμπέρασμα από τη συγκεκριμένη μελέτη με βάση τις δυνατότητες του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε, είναι ότι η επένδυση είναι οικονομικά ασύμφορη σήμερα ακόμα και αν επιδοτηθεί.

## **7.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

### *A. Προτάσεις που σχετίζονται με τη χρήση των ΓΑΘ*

1. Προτείνεται η ανάπτυξη πρωτοβουλιών και η διασπορά πληροφοριών σε πολιτικό αλλά και σε επιχειρηματικό επίπεδο για τη διάδοση της συγκεκριμένης γεωθερμικής τεχνολογίας και σε άλλα



μέρη του κόσμου με την προβολή του τρόπου λειτουργίας και των πλεονεκτημάτων αυτής. Με τον τρόπο αυτό θα αντιμετωπιστούν προβλήματα που έχουν να κάνουν με την ελλιπή πληροφόρηση των καταναλωτών και τις δυσκολίες υιοθέτησης από αυτούς καινούριων προτύπων στα κτίρια. Επίσης οι προμηθευτές συμβατικών συστημάτων κλιματισμού θα ενδιαφερθούν να διαθέσουν στην αγορά συστήματα τα οποία ως τώρα δεν γνώριζαν καλά και υπήρχε αβεβαιότητα για το κέρδος που θα τους απέδιδαν.

2. Να δημιουργηθούν ευνοϊκότερες συνθήκες αγοράς για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Αυτό μπορεί να γίνει με την επιδότησή τους ως τεχνολογία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τόσο για οικιακές όσο και για επαγγελματικές εφαρμογές.
3. Ενίσχυση της έρευνας και της ανάπτυξης της τεχνολογίας των ΓΑΘ. Μεταξύ αυτών των κινήσεων θα μπορούσαν να είναι η δημιουργία περισσότερων φορέων που σκοπό θα έχουν τη συνεχή τελειοποίηση των συστημάτων αυτών, αλλά και η λήψη μέτρων όπως είναι οι τεχνικές οδηγίες, οι πιστοποιήσεις εργολάβων, τα βραβεία ποιότητας κ.τ.λ. που σκοπό θα έχουν τη βελτίωση της κατάστασης στον κατασκευαστικό κλάδο. Είναι γνωστό και μεγάλο το πρόβλημα έλλειψης ειδικού και έμπειρου προσωπικού για την εγκατάσταση των συστημάτων αυτών.

#### *B. Προτάσεις που πηγάζουν από την παρούσα εργασία*

1. Για το λογισμικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εφαρμογή, προτείνεται η άμεση βελτιστοποίησή του έτσι ώστε να προσαρμόζεται καλύτερα σε κλιματολογικές συνθήκες που διαφέρουν κατά πολύ από αυτές τις χώρες προέλευσής του, αλλά και η ύπαρξη μεγαλύτερης ακρίβειας στις τιμές εισόδου που ορίζονται από το χρήστη. Προτείνεται επίσης και η συνεχής αναβάθμιση και εξέλιξη του πακέτου αυτού, έτσι ώστε να βρίσκεται πάντα μπροστά στις τεχνολογικές εξελίξεις των συστημάτων που χρησιμοποιεί και να μην θεωρείται κατά καιρούς από κάποιους ετεροχρονισμένο.

2. Να γίνει μελέτη της παραπάνω επένδυσης και με κάποιο άλλο σύστημα κοστολόγησης των εφαρμογών ΓΑΘ που έχει φτιαχτεί για Ελληνικά δεδομένα και στη συνέχεια να παραλληλιστούν τα αποτελέσματα αυτού με τα αποτελέσματα του Retscreen. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαμε να έχουμε μία πλήρη εικόνα της ακρίβειας με την οποία υπολογίζεται το κόστος από το Retscreen και η ακρίβεια στις εκτιμήσεις του για χώρες που διαφέρουν πολύ από τη χώρα κατασκευής του..
3. Μία εφαρμογή που θα μπορούσε να προκύψει από τη δυνατότητα του συστήματος των ΓΑΘ για ταυτόχρονη παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, είναι η παροχή ζεστού νερού χρήσης στα μαγειρεία του Πολυτεχνείου ή το κυλικείο στα κτίρια των Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης. Στα κτίρια αυτά οι ανάγκες για ζεστό νερό είναι αυξημένες και καθημερινές. Αυτές οι δύο προτάσεις είναι ιδανικές λόγω της πολύ μικρής απόστασης των κτιρίων αυτών από την καινούρια βιβλιοθήκη και το σύστημα των ΓΑΘ. Μία ακόμα πιθανή χρήση του ζεστού νερού χρήσης θα μπορούσε να είναι και η φοιτητική εστία. Οι λύσεις αυτές θα δημιουργούσαν μία πολύ μικρή επιβάρυνση στο αρχικό κόστος της επένδυσης και θα μείωναν κατά πολύ τις ενεργειακές απαιτήσεις των παραπάνω κτιρίων. Προτείνεται λοιπόν να εξεταστούν σαν μία επιπλέον δυνατή επένδυση με τη χρήση κάποιου άλλου υπολογιστικού προγράμματος.
4. Προτείνεται επίσης η μελέτη του συστήματος των ΓΑΘ που θα χρησιμοποιεί τη θάλασσα σαν πηγή άντλησης και απόρριψης θερμότητας και η σύγκριση της επένδυσης αυτής με την επένδυση του κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη που μελετήθηκε εδώ.
5. Προτείνεται η μελέτη και η εγκατάσταση ενός συστήματος ΓΑΘ σε ένα από τα επόμενα κτίρια που κατασκευάζονται στο πολυτεχνείο Κρήτης και στα οποία δεν έχει γίνει ακόμα μελέτη ψύξης και θέρμανσης. Η υλοποίηση ενός τέτοιου έργου θα κατέτασσε το Ίδρυμα πρωτοπόρο στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και προώθησης λιγότερο γνωστών μορφών ΑΠΕ, τοποθετώντας παράλληλα το Πολυτεχνείο πρώτο στη

λίστα των ανωτάτων Ιδρυμάτων πανελληνίως που χρησιμοποιεί σύστημα κλειστού γεωεναλλάκτη θερμότητας.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### Διαδίκτυο

- . [www.agoraideon.gr](http://www.agoraideon.gr)
- [www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)
- [www.geoexchange.org/](http://www.geoexchange.org/)
- [www.igshpa.edu](http://www.igshpa.edu))
- <http://www.ari.org/>
- [www.egec.org](http://www.egec.org)
- [www.geoheat.oit.edu](http://www.geoheat.oit.edu)
- [http:// www. alliantenergygeothermal.com/](http://www.alliantenergygeothermal.com/)
- [www.mcquay.com](http://www.mcquay.com)
- <http://waterfurnace.com>
- <http://www.axarnai.com/>
- [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- [www.alliantenergygeothermal.com](http://www.alliantenergygeothermal.com)
- [www.cdheenergy.com](http://www.cdheenergy.com)
- [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)

- [www.tuc.gr](http://www.tuc.gr)
- [www.deltatechniki.gr](http://www.deltatechniki.gr)
- [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
- “Μελέτη θέρμανσης-ψύξης κτιριακών εγκαταστάσεων Πολυτεχνείου Κρήτης με χρήση ΓΑΘ”, Μπανδέλης Γ., Μιχαλάκης Θ., Ιούνιος 2003)

#### Τεχνικά περιοδικά

- Θερμουδραυλικός
- *Geothermics 34 (2005)* Direct application of geothermal energy, Worldwide review, 2005