



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ  
“ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ”**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ-ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ  
ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΣΤΟ ΝΕΟ ΡΥΣΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.  
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ-ΨΥΞΗΣ ΧΩΡΩΝ ΜΕ ΑΝΤΛΙΕΣ  
ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.**

**ΤΣΕΚΟΥΡΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ**  
Πτυχ. Γεωλογίας

**Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2007**

*ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΤΕΝΕΙΑ ΜΟΥ*

*ΚΑΙ ΣΕ ΟΛΟΥΣ ΟΣΟΥΣ ΘΕΩΡΩ ΟΙΚΟΤΕΝΕΙΑ ΜΟΥ*



# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η συγκριτική αξιολόγηση συστημάτων θέρμανσης – ψύξης χώρων, με αντλίες θερμότητας, έναντι άλλων συμβατικών εγκαταστάσεων, που χρησιμοποιούν σαν βάση τους το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Η προσπάθεια της τεχνολογίας για την εκμετάλλευση ακόμα και των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών της γεωθερμίας, οδήγησε στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, οι οποίες παρά το γεγονός ότι αποτελούν σύνθετες μηχανικές κατασκευές λειτουργούν ικανοποιητικά και είναι πολύ αξιόπιστα μηχανήματα. Στην παρούσα εργασία παρατίθενται στοιχεία εκτιμήσεώς τους, τόσο σε θέματα απόδοσης όσο και σε οικονομικά δεδομένα, βασιζόμενα στο έργο που έχει ήδη περατωθεί στην περιοχή του Νέου Ρυσίου, εξετάζεται η βιωσιμότητά τους με τη χρήση των αντλιών θερμότητας, σε τεχνικοοικονομικές και άλλες μελέτες.

Η παρούσα εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, περιγράφονται βασικές έννοιες και αρχές της γεωθερμίας και οι εφαρμογές της σε παγκόσμιο και ελληνικό επίπεδο, σε συνδυασμό με την περιγραφή των συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση πεδίων χαμηλής ενθαλπίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μια παρουσίαση του ευρωπαϊκού προγράμματος GROUNDHIT και της ιδιαιτερότητάς του. Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων της λειτουργίας των εγκαταστάσεων καθώς επίσης παρατίθενται σειρά αποτελεσμάτων της πρώτης γεώτρησης και πρακτικές εφαρμογές των συστημάτων εγκατάστασης που προαναφέρθηκαν, βάση μετρητικών δεδομένων. Στο τέταρτο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας γίνεται εκτενής αναφορά στα μετρητικά δεδομένα της δεύτερης γεώτρησης καθώς επίσης και στις δραστηριότητες που επακολούθησαν προκειμένου να γνωστοποιηθούν τα αποτελέσματα του προγράμματος GROUNDHIT στο ευρύ κοινό. Στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζονται οικονομικά δεδομένα που προκύπτουν από τη σύγκριση των συστημάτων αντλιών θερμότητας με άλλα συμβατικά συστήματα εγκατάστασης θέρμανσης – ψύξης. Τέλος, στο παράρτημα παρατίθενται μια σειρά από χρήσιμες γενικές πληροφορίες για τη γεωθερμία και για τους προτιθέμενους μελλοντικούς χρήστες γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

# ABSTRACT

The aim of the present study is the comparative evaluation of heating and refrigeration with heat pumps against other conventional installations that use oil and gas. The technology effort for the exploitation even on low temperatures of geothermics, led to geothermal heat pumps, which despite the fact that they are complex mechanic devices they function satisfactorily and they are reliable instruments. In the present work their elements of estimate are mentioned, both on output issues and in economic data, based in buildings that are constructed and in buildings that are scheduled to be constructed, in which their viability is examined with the use of heat pumps in technical and economic projects.

The present work is constituted by five chapters. In the first chapter basic significances of geothermics are described and geothermics applications in both the world and Greek level, in combination with the description of systems that are used for the exploitation of low enthalpy fields. The second chapter has a description of GROUNDHIT program and its particularity. In the third chapter there is a presentation of the operation results of drilling installations that are based on data. In the fourth chapter data from the second drilling are presented. Also in this chapter the activities of Aristotelian university group are described. Those activities notified the results of GROUNDHIT program in public. In the fifth chapter of this diplomatic work, economic data that resulted from the comparison of heat pumps systems with other conventional systems of installation on heating – refrigeration are examined. Finally, in the annex a line from useful general information on the geothermics is mentioned, for the intending future users of geothermal heat pumps.

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το έναυσμα για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε το μάθημα της γεωθερμίας, που είναι αδιαμφισβήτητα ένα από τα σημαντικότερα του προγράμματος σπουδών του τμήματος της Γεωλογίας. Με την καθοδήγηση του κ. Φυτίκα ανακάλυψα το πεδίο της γεωθερμίας ειδικότερα, αλλά και της ενέργειας γενικότερα, θέτοντας μπροστά μου ένα σημαντικό στόχο. Να διευρύνω τους πνευματικούς μου ορίζοντες στο θέμα αυτό, σε μεταπτυχιακό επίπεδο σπουδών, μια που η προσωπική μου απορία ήταν το γεγονός του πως μια τόσο ευνοημένη γεωθερμικά χώρα σαν την Ελλάδα, δεν είχε την ανάλογη ανάπτυξη σε εγκαταστάσεις συστημάτων γεωθερμίας, όσο χώρες που με λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες χρησιμοποιούν κατά κόρον τα συστήματα αυτά. Έτσι λοιπόν η προσπάθεια των τελευταίων χρόνων για χρήση ολοένα και περισσότερο των συστημάτων αυτών, δείχνει να αποδίδει καρπούς. Η ανησυχία για την εξάντληση των αποθεμάτων των στερεών καυσίμων οδήγησε τις εταιρείες να προσπαθήσουν να αξιοποιήσουν ορθολογικά πλέον τα τεράστια αποθέματα θερμικής ενέργειας της γης. Η φυσική θερμότητα της γης είναι πολύ καθαρότερη από τις συμβατικές πηγές ενέργειας άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο, και ως εκ τούτου έχει πολύ μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Εκτός αυτού, πρόκειται για μια ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, η οποία με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα, μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες. Η προσπάθεια της τεχνολογίας για την εκμετάλλευση ακόμα και των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών της γεωθερμίας, οδήγησε στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, οι οποίες παρά το γεγονός ότι αποτελούν σύνθετες μηχανικές κατασκευές λειτουργούν ικανοποιητικά και είναι σίγουρα αξιόπιστα μηχανήματα. Σε αυτές τις μηχανές αναφέρεται το μεγαλύτερο μέρος αυτής της εργασίας, παρουσιάζοντας στοιχεία εκτιμήσεως τους τόσο σε θέματα απόδοσης όσο και σε οικονομικά δεδομένα. Στην προσπάθεια αυτή γίνεται μια γενικότερη αναφορά στα γεωθερμικά πεδία και στις ιδιότητες αυτών, αλλά και στις εφαρμογές τους για το κοινωνικό όφελος και το πολύ προσοδοφόρο χαμηλό κόστος ενέργειας που προσφέρουν στους χρήστες τους από την εκμετάλλευσή τους.

Προσωπικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Φυτίκα Μ., για την επίβλεψη της διπλωματικής, για τη διάθεση πολύτιμου χρόνου για τις απαραίτητες διορθώσεις και συμβουλές, προκειμένου να ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη διπλωματική με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Επίσης, για την επιστημονική καθοδήγησή του, την πολύτιμη βοήθειά του στη συλλογή πληροφοριών και τις χρήσιμες γνώσεις που αβίαστα τις παρέχει ανοίγοντας νέους ορίζοντες σε νέους επιστήμονες καθώς και τις χρήσιμες πληροφορίες σε θέματα οικονομικής περιβάλλοντος.

Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Παπαευαγγέλου Β. και την τεχνική εταιρεία «ΓΕΩΡΕΥΝΑ Ο.Ε.» για την παραχώρηση πολύτιμων στοιχείων, απαραίτητων, για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής και για την κατανόησή του στα

χρονικά περιθώρια που αυτά τα στοιχεία έπρεπε να παραχωρηθούν, για να βρεθούν εσπευσμένα σε στάδιο επεξεργασίας. Ακόμη, τον δρα κ. Καρύτσα Κ. από το Κ.Α.Π.Ε. για την παροχή πληροφοριών, σε σχέση με το συγκεκριμένο έργο. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή των Τ.Ε.Ι. Χαλκίδας κ. Βραχόπουλο Μ. για τις χρήσιμες πληροφορίες που μου παρείχε άμεσα και την κατανόησή του σχετικά με τα στενά χρονικά περιθώρια εκπόνησης της παρούσας εργασίας και τους κυρίους Γαλανάκη Δ. και Σταθόπουλο Ι. της εταιρείας «ΤΕΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ Α.Ε.» για τις πολύτιμες πληροφορίες, την άμεση ανταπόκριση και την αποστολή στοιχείων που αφορούν διάφορες παραμέτρους σε θέματα εγκατάστασης γεωθερμικών συστημάτων.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....                                          | 1  |
| 1.2 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.....                                          | 2  |
| 1.2.1 ΑΙΤΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ .....                         | 6  |
| 1.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....                          | 8  |
| 1.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....                                        | 10 |
| 1.3.1 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ.....                 | 11 |
| 1.3.2 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ .....                               | 12 |
| 1.4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ .....                             | 13 |
| 1.5 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ.....                 | 13 |
| 1.5.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ<br>ΤΟΥΣ .....   | 15 |
| 1.5.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....                | 18 |
| 1.6 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ .....                                               | 23 |
| 1.6.1 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΑΒΑΘΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ<br>ΕΛΛΑΔΑ ..... | 24 |
| 1.7 ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ.....                                            | 26 |
| 1.8 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (GHP).....                                        | 28 |
| 1.8.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....                                    | 29 |
| 1.8.2 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ .....                | 30 |
| 1.9 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ .....                       | 35 |
| 1.10 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ<br>ΕΦΑΡΜΟΓΗ .....    | 36 |
| 1.10.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ .....                                       | 36 |
| 1.10.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ .....                           | 37 |
| 1.10.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ .....              | 37 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ – ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ GROUNDHIT

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ GROUNDHIT .....                | 41 |
| 2.1.2 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ Γ/Θ ΠΕΔΙΟΥ Ν.ΡΥΣΙΟΥ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ ..... | 41 |
| 2.1.2 GHPTRANS PROJECT .....                               | 42 |
| 2.1.3 GROUNDHIT PROJECT.....                               | 44 |

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ**

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....                                              | 46 |
| 3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ .....                         | 47 |
| 3.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ - ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....                   | 48 |
| 3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....                                    | 49 |
| 3.5 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....                                    | 52 |
| 3.6 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....                                 | 54 |
| 3.7 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....                                      | 56 |
| 3.8 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Ν. ΡΥΣΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ..... | 58 |
| 3.9 ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ .....          | 62 |
| 3.10 ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ-LOGGINGS ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Ν. ΡΥΣΙΟΥ.....           | 66 |
| 3.11 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΟΡΕΙΑ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ .....         | 72 |
| 3.12 ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΜΕ ΠΟΜΟΝΑ.....                                   | 83 |
| 3.13 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ.....                                | 84 |

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ**

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 4.1 Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΤΟΥ Ν. ΡΥΣΙΟΥ NR-2 .....     | 98  |
| 4.1.2 ΑΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ .....                    | 102 |
| 4.2 ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ Ν. ΡΥΣΙΟΥ NR-2..... | 103 |
| 4.1.2 ΑΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ .....                    | 107 |

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

### **ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ**

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΓΑΘ) .....                                                     | 120 |
| 5.1. ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ .....                                     | 120 |
| 5.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΑΘ .....                                           | 120 |
| 5.3. ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ .....                                         | 121 |
| 5.4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΓΑΘ .....                                               | 121 |
| 5.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΓΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑ 130 ΤΜ.....                                    | 121 |
| 5.6 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ<br>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ..... | 123 |
| 5.7 ΣΤΟΧΕΥΣΗ ΣΕ ΕΡΓΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.....                                       | 127 |

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| 5.7.1. ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....                             | 127        |
| 5.7.2. ΨΥΞΗ - ΘΕΡΜΑΝΣΗ.....                                | 127        |
| 5.7.3. ΑΝΟΙΧΤΟ - ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ.....                      | 128        |
| 5.7.4 ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.....                               | 128        |
| 5.8 ΒΡΕΦΟΝΗΠΙΑΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ .....                 |            |
| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ            |            |
| ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ .....                                   | 138        |
| 5.8.1 ΓΕΝΙΚΑ.....                                          | 138        |
| 5.8.2 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ .....                          | 138        |
| 5.8.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....                                    | 139        |
| 5.8.4.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....                                     | 140        |
| 5.8.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....                                   | 141        |
| 5.8.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                                   | 141        |
| 5.9 ΕΜΠΟΡΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ         |            |
| ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ..... | 142        |
| 5.9.1 ΓΕΝΙΚΑ.....                                          | 142        |
| 5.9.2 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ .....                          | 142        |
| 5.9.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....                                    | 143        |
| 5.9.4 ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ.....                              | 143        |
| 5.9.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....                                    | 144        |
| 5.9.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                                   | 144        |
| 5.10 ΔΥΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ           |            |
| ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗ.....                                          | 145        |
| 5.10.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΟΥ ΓΑΘ.....                          | 145        |
| 5.10.2 ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ .....               | 146        |
| 5.11 ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ.....                  | 151        |
| 5.11.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΟΥ.....                              | 153        |
| 5.11.2 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ .....                             | 153        |
| 5.11.3 BOILER ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ 500 ΛΙΤΡΩΝ.....       | 154        |
| 5.11.4 ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ.....                                  | 154        |
| 5.11.5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....                                    | 154        |
| 5.12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                                    | 155        |
| 5.13 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....                                        | 156        |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>                                   | <b>158</b> |

|                                                                      |              |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</b> .....                                             | 164          |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</b> .....                                             | 165          |
| <i>Β1 ΟΔΗΓΟΣ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ</i>               |              |
| <i>ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ</i> .....                          | <i>ι</i>     |
| <i>Β2 ΟΡΟΛΟΓΙΑ - ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ</i> .....                              | <i>xv</i>    |
| <i>Β3 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ</i> ..... | <i>xvi</i>   |
| <i>Β4 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</i> .....            | <i>xxiii</i> |
| <i>Β5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ</i> .....       | <i>xxvi</i>  |



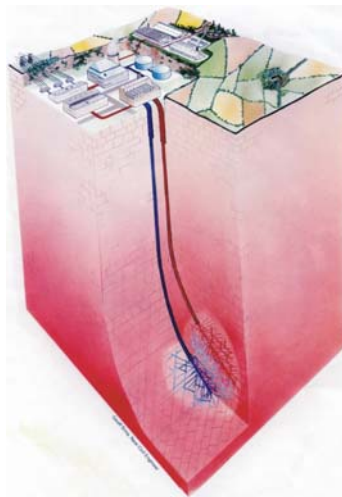
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

## ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

### 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Στα μέσα της δεκαετίας του '70 παρατηρήθηκε μια σημαντική αύξηση του κόστους ενέργειας των συμβατικών καυσίμων, γεγονός που συνετέλεσε στη συνειδητοποίηση του γεγονότος πως αυτά κάποτε με μαθηματική ακρίβεια πρόκειται να εξαντληθούν. Έτσι λοιπόν το βλέμμα του πλανήτη στράφηκε σε άλλες πηγές για την παραγωγή ενέργειας πέραν των συμβατικών και πυρηνικών καυσίμων, οι οποίες παρουσίαζαν και ένα επιπλέον σημαντικό χαρακτηριστικό: το ότι είναι ανανεώσιμες. Για το λόγο αυτό οι πηγές αυτές, ονομάστηκαν «ανανεώσιμες» και σε αυτές ένα μεγάλο μέρος κατέχει και η γεωθερμική ενέργεια.

Με τον όρο γεωθερμική ενέργεια καλούμε τη φυσική πηγή με γήινη προέλευση που με τη μορφή θερμών ρευστών (ατμού, νερού, αερίων) είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη. Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ήπια και πρακτικά ανανεώσιμη σε ανθρώπινη κλίμακα μορφή ενέργειας και με αυτή την έννοια ανανεώσιμη, γιατί τα ρευστά που εκμεταλλευόμαστε έχουν μετεωρική ή επιφανειακή προέλευση και ανανεώνονται. Γεωθερμική καλείται ακόμη και η ενέργεια των θερμών πετρωμάτων ή των λιωμένων μαγματικών υλικών.



Σχήμα 1.1

Σχηματική αναπαράσταση ενός συστήματος Θερμών Ξηρών Πετρωμάτων σε οικονομική κλίμακα (από Richards et al., 1994)  
(Πηγή: <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

Λαμβάνοντας την γεωθερμική ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας θα πρέπει να προσεχθούν δύο σημεία:

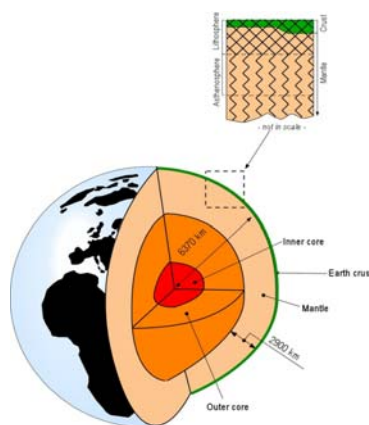
1. Κάθε γεωθερμικό πεδίο έχει ένα ορισμένο ενεργειακό δυναμικό, το οποίο με το χρόνο και ανάλογα με τη χρήση του θα πρέπει να προσεχθεί να μην εξαντληθεί.
2. Οι επιπτώσεις της γεωθερμικής ενέργειας στο περιβάλλον ορισμένες φορές δεν είναι εντελώς ήπιες. Έτσι ανάλογα με τη φύση του γεωθερμικού ρευστού και με τη διάρκεια χρήσης του, μπορεί να προκληθεί ρύπανση αν δε ληφθούν έγκαιρα τα κατάλληλα μέτρα.

Το γεωθερμικό ρευστό μπορεί να είναι είτε επιφανειακό, οπότε δεν χρειάζονται ή χρειάζονται απλές εγκαταστάσεις για τη λήψη του, είτε βρίσκεται σε κάποιο βάθος, οπότε χρειάζονται εκτεταμένες εργασίες για τη λήψη αυτού.

## 1.2 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Η θερμική ενέργεια προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Η κατανομή της, η ροή και οι μεταβολές της, είναι υπεύθυνες για τη γένεση και την εξέλιξη πολλών γεωλογικών φαινομένων σε πλανητική κλίμακα (κίνηση λιθοσφαιρικών πλακών, ηφαιστειακή δραστηριότητα, μαγματική δράση, μεταμόρφωση πετρωμάτων).

Πηγή της θερμικής αυτής ενέργειας είναι η θερμότητα του πυρήνα και του μανδύα της γης, καθώς και η διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων που βρίσκονται κατανεμημένα στον πυρήνα και τον μανδύα. Η γεωθερμική ενέργεια κάνει έντονα την εμφάνισή της σε σχετικά μεγάλα -κατά κανόνα- βάθη (η μέση γεωθερμική βαθμίδα αντιστοιχεί σε άνοδο θερμοκρασίας  $1^{\circ}\text{C}$  ανά 33 m), εκτός από περιπτώσεις όπου έχουμε είτε τοπική άνοδο μανδυακού υλικού (και μετάδοση της θερμότητας σε στρώματα του φλοιού) ή άνοδο –δια μέσου ρωγμών- θερμών ρευστών τα οποία μεταφέρουν την υπόγεια θερμότητα σε μικρότερα βάθη.



Σχήμα 1.2

Ο Φλοιός, ο Μανδύας και ο Πυρήνας της γης.  
Πάνω δεξιά: τομή του φλοιού και του ανώτερου μανδύα  
(Πηγή: <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

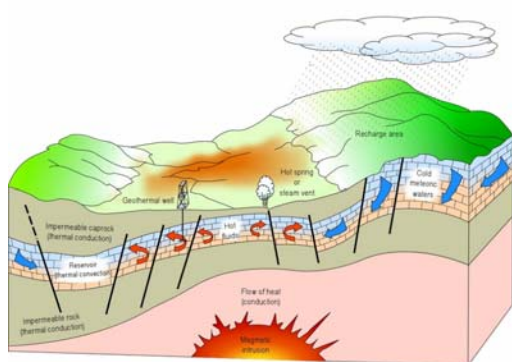
Αλλά ακόμη και σε σχετικά μικρά βάθη (πολλές φορές μικρότερα των 20 m), υπάρχει ένα αρκετά σημαντικό –για τα ανθρώπινα μέτρα- ενεργειακό φορτίο το οποίο βρίσκεται αποθηκευμένο στο έδαφος, και οφείλεται στη μεγάλη θερμοχωρητικότητα των πετρωμάτων και στην ικανότητά τους να αποθηκεύουν τα μεγάλα ποσά της θερμότητας που δέχονται συνεχώς από τα βαθύτερα στρώματα.

Τόσο η έννοια όσο και η χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έχουν θεσμοθετηθεί από το 1984. Σύμφωνα με το υπ. Ν 1475/84 άρθρο 1 παρ.1 (ΦΕΚ 131 τεύχος Α 1984 ):

1.Γεωθερμικό δυναμικό νοείται το σύνολο των γηγενών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπόγειων και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών.

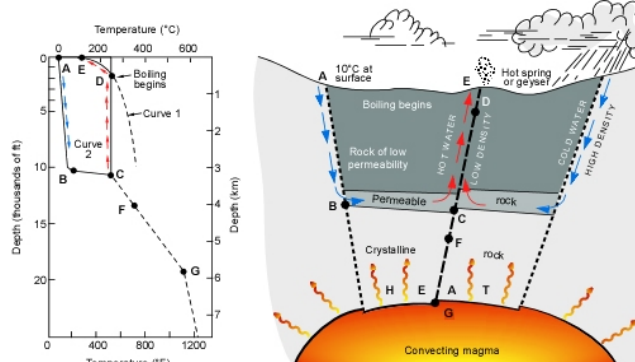
2.Γεωθερμική ενέργεια νοείται η ενέργεια που εμπεριέχεται στο γεωθερμικό δυναμικό και αντλείται από αυτό.

3.Θερμά νερά νοούνται τα νερά των οποίων η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 25 °C.



Σχήμα 1.3

Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος  
(Πηγή:<http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenenergy.php>)



Σχήμα 1.4

Πρότυπο μοντέλο ενός γεωθερμικού συστήματος.  
Η γραμμή (1) είναι η καμπύλη αναφοράς του σημείου ζέσεως του καθαρού νερού. Η καμπύλη (2) δείχνει τη θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος μια τυπικής  
(Πηγή:<http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenenergy.php>)

Για τη γεωθερμική ενέργεια και την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού στην Ελλάδα ψηφίστηκε πρόσφατα ο Νόμος 3175/2003 (Αρ. ΦΕΚ 207 Α' /29.8.2003), ο οποίος αντικατέστησε τον προηγούμενο νόμο 1475/84. Συνοπτικά ο νέος νόμος περιλαμβάνει τις εξής διατάξεις που αφορούν στη γεωθερμία:

1. Το γεωθερμικό δυναμικό χαρακτηρίζεται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία συμβάλλει στην αιεφόρο ανάπτυξη και το γενικό συμφέρον των πολιτών. Για την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού (Γ.Δ.) και για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιούνται οι διατάξεις του Μεταλλευτικού Κώδικα (Ν.Δ. 210/73).

2. Ως Γ.Δ. θεωρούνται οι γηγενείς φυσικοί ατμοί, τα θερμά νερά και η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25 °C.
3. Για τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας (25 - 90 °C) η αρμοδιότητα ανήκει στις Περιφέρειες που ανήκουν, ενώ για τα πεδία με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 90 °C αρμόδιο είναι το Υπουργείο Ανάπτυξης (Υ.Α.)
4. Εισάγεται ο όρος της διαχείρισης του γεωθερμικού πεδίου για την παραγωγική εξόρυξη των ρευστών, την ορθολογική αξιοποίηση των διαφόρων προϊόντων κ.λ.π., τη διανομή και ελεύθερη διάθεσή τους σε τρίτους και για κάθε είδους χρήσιμες εφαρμογές.
5. Το δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης του Γ.Δ. ανήκει στο Δημόσιο. Στα βεβαιωμένα πεδία εκμισθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης σε τρίτους ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό για 25 χρόνια και δυνατότητα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή για πέντε ακόμα χρόνια.
6. Για τους χώρους και πεδία που δεν έχουν ερευνηθεί εκμισθώνεται το δικαίωμα έρευνας, πάλι με διαγωνισμό, για πέντε χρόνια, με δικαίωμα παράτασης για άλλα δύο. Εφόσον η έρευνα καταλήξει θετικά, παρέχεται στο μισθωτή και το δικαίωμα διαχείρισης χωρίς νέο διαγωνισμό.
7. Οι ειδικότεροι όροι και οι διαδικασίες της εκμίσθωσης ρυθμίζονται με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης. Η εκμίσθωση και η διαχείριση των πεδίων χαμηλής θερμοκρασίας διενεργείται σύμφωνα με το μεταλλευτικό κώδικα.
8. Ο μισθωτής υποχρεώνεται σε κατάθεση εγγυητικών επιστολών εκπλήρωσης των όρων της σύμβασης και στην εκτέλεση των ερευνητικών προγραμμάτων και των οικονομοτεχνικών μελετών. Επίσης καταβάλλει στο Δημόσιο αναλογικό μίσθωμα βάσει του μεταλλευτικού κώδικα (1% έως 3% της καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας) και εφοδιάζεται με τις προβλεπόμενες διοικητικές άδειες και εγκρίσεις.
9. Το 30% του εισπραττόμενου μισθώματος προορίζεται για τους ΟΤΑ, στην περιοχή των οποίων βρίσκεται το πεδίο.
10. Ο μισθωτής δικαιούται να διαχειρίζεται το γεωθερμικό πεδίο στο πλαίσιο της μελέτης και να διαθέτει ελεύθερα τα προϊόντα, παραπροϊόντα και υποπροϊόντα του πεδίου. Ακόμη, μπορεί να καταλαμβάνει προσωρινώς εδάφη με τη διαδικασία του μεταλλευτικού κώδικα.
11. Τα δικαιώματα εκμίσθωσης μπορούν να εκχωρηθούν σε τρίτους μόνο ύστερα από εγκριση του Δημοσίου.
12. Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης θεσπίσθηκε Κανονισμός Γεωθερμικών Εργασιών.

13. Απαγορεύεται η έρευνα, διαχείριση, εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων χωρίς το σχετικό δικαίωμα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το Γ.Δ. επιτρέπεται μόνο ύστερα από διαγωνισμό και την έκδοση άδειας παραγωγής σύμφωνα με τις διατάξεις του ν. 2773/1999 (ΦΕΚ 286 Α', «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας – Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις»).
14. Αντιμετωπίζεται και η δυνατότητα θέρμανσης-ψύξης χώρων με εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών με θερμοκρασίες  $< 25^{\circ}\text{C}$  (αβαθής γεωθερμία), για την οποία αρμόδια είναι η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση.
15. Δικαιώματα έρευνας ή εκμετάλλευσης Γ.Δ., που έχουν παραχωρηθεί μέχρι την έκδοση του Νόμου αυτού, παραμένουν ισχυρά με τους ίδιους όρους. Επέκταση αυτών μπορεί να γίνει μόνο με τις διαδικασίες του νέου νόμου.
16. Επιτρέπεται η εγκατάσταση, διαχείριση και εκμετάλλευση δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους ύστερα από άδεια του Υ.Α. και γνωμάτευση της Ρ.Α.Ε. (Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας).

Οι κυριότεροι νεωτερισμοί και βελτιώσεις που εισάγονται με το νέο νόμο είναι:

1. Ίση αντιμετώπιση των υποψηφίων μισθωτών του Γ.Δ. ύστερα από διαγωνισμό, οι όροι του οποίου είναι διοικητικά ίδιοι και η πλειοδοσία προκύπτει από τα στοιχεία, τις μελέτες και τις ικανότητες των υποψηφίων.
2. Προκήρυξη διαγωνισμού με πρωτοβουλία της δημόσιας αρχής, που αφορούν σε ενιαία κατά το δυνατόν γεωθερμικά πεδία (και όχι κατατεμαχισμένα) και για κάθε πεδίο χωριστά. Οι ειδικοί όροι των διαγωνισμών και η διαδικασία εκμίσθωσης ρυθμίζονται από την απόφαση του Υ.Α. και είναι ενιαίοι.
3. Ο διαχειριστής πεδίου θα πρέπει να έχει τα τεχνικά προσόντα και να μπορεί να προβεί στις αναγκαίες επενδύσεις, ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη υποδομή για παραγωγή και διάθεση σε τρίτους έτοιμης ενέργειας (θερμικής ή ηλεκτρικής).

Αποφασιστικό ρόλο για την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας των εφαρμογών της γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα (όπου υπάρχει σημαντικό έλλειμμα) πιστεύεται ότι θα παίξουν οι κατάλληλοι διαχειριστές των βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων, τα οποία είναι αρκετά και το βεβαιωμένο δυναμικό τους ανέρχεται σε πολλές εκατοντάδες MW.

### **1.2.1 ΑΙΤΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ**

Η συγκεντρωμένη στο εσωτερικό της γης θερμότητα μεταφέρεται κοντά στην επιφάνεια της μέσω γεωλογικών φαινομένων, δημιουργώντας έτσι υπέρθερμες περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα πολύ μεγαλύτερη από την κανονική. Το σημαντικότερο από αυτά τα γεωλογικά φαινόμενα είναι αυτό των λιθοσφαιρικών πλακών: το εσωτερικό κέλυφος της Γης, η λιθόσφαιρα, δεν είναι ενιαία, αλλά αποτελείται από πολλά κομμάτια, τις λιθοσφαιρικές πλάκες. Οι πλάκες αυτές βρίσκονται σε διαρκή κίνηση που πραγματοποιείται με πολύ μικρή ταχύτητα, μόλις μερικά εκατοστά το χρόνο. Ανάλογα με τη σχετική κίνηση των πλακών, στα όριά τους, παρατηρούνται τρία διαφορετικά φαινόμενα:

1. Οι δύο πλάκες αποκλίνουν, δηλαδή κινούνται έτσι ώστε να απομακρύνονται η μία από την άλλη. Στο κενό που αφήνουν, αναβλύζει μάγμα που στερεοποιείται και δημιουργεί καινούργια λιθόσφαιρα. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται οι λεγόμενες ράχες.
2. Οι δύο πλάκες συγκλίνουν, έτσι που η μία να βυθίζεται κάτω από την άλλη και τελικά να απορροφάται από το μανδύα και να καταστρέφεται. Φαινόμενα τριβής στο όρια των πλακών έχουν σαν αποτέλεσμα, μέρος της μηχανικής ενέργειας να μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτή η θερμότητα εκτονώνεται με τη μορφή ηφαιστειακής δράσης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται τάφροι. Στις τάφρους, η λιθόσφαιρα καταστρέφεται με το ρυθμό που δημιουργείται στις ράχες.
3. Οι πλάκες κινούνται η μία παράλληλα στην άλλη, με τέτοιο τρόπο ώστε ούτε να δημιουργείται αλλά ούτε και να καταστρέφεται.

Τόσο οι τάφροι όσο και οι ράχες συνδέονται με ηφαιστειακή δράση και κατά συνέπεια με υπέρθερμες περιοχές. Γι' αυτό και τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται στις συγκεκριμένες περιοχές, δηλαδή στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, τις λεγόμενες «ζώνες σεισμικών εστιών».

Περιοχές με μικρότερο γεωθερμικό ενδιαφέρον, δηλαδή με γεωθερμική βαθμίδα λίγο υψηλότερη από τη μέση, μπορεί να βρεθούν και εκτός των εν λόγω ζωνών. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε κάποιον από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Τοπικά υψηλή θερμική ροή από το μανδύα και τη βάση του φλοιού προς την επιφάνεια σε μεγάλες περιοχές (ηφαιστειότητα θερμών κηλίδων)
2. Αυξημένες συγκεντρώσεις των ραδιενεργών στοιχείων ουρανίου, θορίου και καλίου.
3. Σε ορισμένες περιοχές στο φλοιό της γης, που συντελούν στην παραγωγή θερμότητας και κατά συνέπεια στην αύξηση της γεωθερμικής βαθμίδας.

Πετρώματα με αυξημένες αυτές τις συγκεντρώσεις είναι τα γρανιτικά με 5-10 ppm σε ουράνιο και 80 ppm σε θόριο.

4. Φαινόμενα συναγωγής που προκαλούνται από κυκλοφορία θερμού νερού διαμέσου πορωδών σχηματισμών ή μέσα από συστήματα ρηγμάτων. Με αυτό τον τρόπο μεταφέρεται η θερμότητα σε μικρότερα βάθη και αυξάνεται η γεωθερμική βαθμίδα.

Σε μια περιοχή με δεδομένη θερμική ροή στη βάση του φλοιού και απουσία άλλης θερμικής πηγής μέσα στο φλοιό, η γεωθερμική βαθμίδα ποικίλει ανάλογα με τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων που αποτελούν το φλοιό. Τα αργιλικά πετρώματα έχουν τη χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα, ενώ τα κρυσταλλικά χαρακτηρίζονται από υψηλή θερμική αγωγιμότητα (περίπου 6 φορές αυτή των αργίλων).

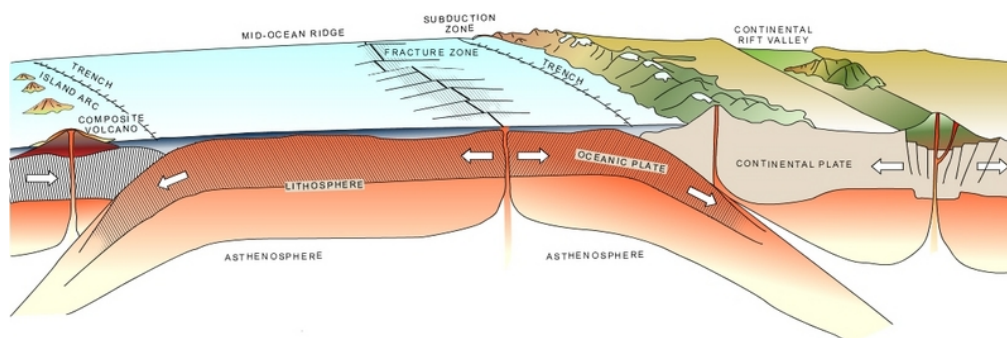
Οι παραπάνω μηχανισμοί μπορεί να δημιουργήσουν δευτερεύουσας σημασίας γεωθερμικές ανωμαλίες μακριά από τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Έτσι, ενώ σημαντικές θερμικές ανωμαλίες εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, περιοχές με ελαφρά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα απαντώνται σε όλη τη Γη.

Δεδομένου ότι η θερμότητα του πλανήτη μας βρίσκεται στο εσωτερικό του, πρέπει να γίνουν γεωτρήσεις προκειμένου να προσπελαστεί στις ζώνες σεισμικών εστιών. Θερμοκρασίες κατάλληλες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να βρεθούν σε βάθη 2-3 km, ενώ σε αυτά τα βάθη, σε περιοχές με μέση γεωθερμική βαθμίδα, οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλότερες, ικανές μόνο για κάλυψη θερμικών αναγκών.

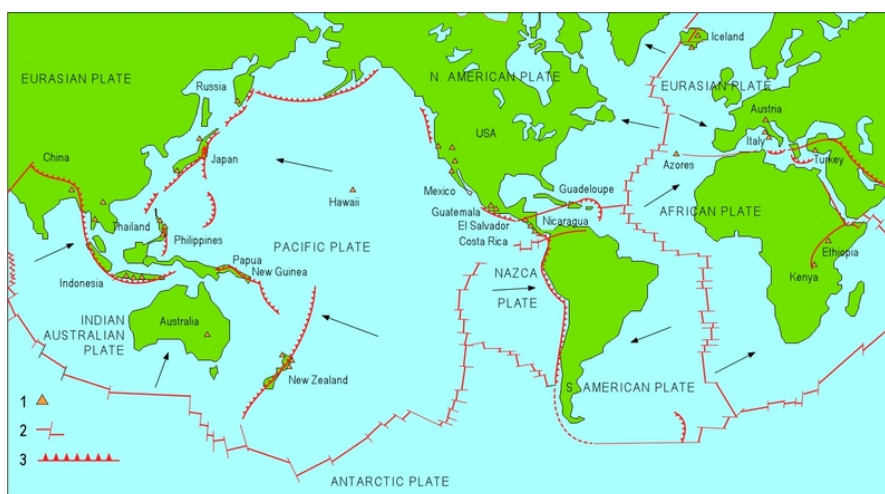
Σε αυτές τις περιοχές χρειάζονται γεωτρήσεις βάθους 6-7 km για να βρεθούν θερμοκρασίες κατάλληλες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά είναι και τα μέγιστα βάθη γεωτρήσεων που πραγματοποιούνται επειδή οι βαθιές γεωτρήσεις κοστίζουν πολύ, δεν είναι ιδιαίτερα ασφαλείς και επιπλέον σε αυτά τα βάθη μπορεί να μην υπάρχει καθόλου υδροφορία.

Η ύπαρξη υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας σε κάποια περιοχή δεν είναι η μοναδική συνθήκη- προϋπόθεση για την ύπαρξη εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Η γεωθερμική ενέργεια που είναι πρωτογενώς αποθηκευμένη μέσα στα πετρώματα, είναι διασκορπισμένη μέσα στη μάζα τους και πρέπει να συγκεντρωθεί και να μεταφερθεί στην επιφάνεια της Γης προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το μεταλλικό νερό (σε υγρή ή αέρια φάση) που περιέχεται μέσα σε πορώδη πετρώματα ή με συστήματα ρηγμάτων. Έτσι η παραγωγικότητα μιας θερμικής περιοχής προσδιορίζεται και συχνά καθορίζεται από την υδρολογία των γεωλογικών σχηματισμών. Δεν έχουν όμως όλες οι θερμικές περιοχές κατάλληλη υδρολογία των γεωλογικών σχηματισμών που αποτελεί τη δεύτερη συνθήκη για την ύπαρξη

εκμεταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Κατά συνέπεια, ένα φυσικό γεωθερμικό πεδίο είναι συνδυασμός θερμών πετρωμάτων και ύπαρξης νερού που κυκλοφορεί μέσα σε αυτά.



Σχήμα 1.5  
Σχηματική τομή που δείχνει τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις τεκτονικές πλάκες.  
(Πηγή: <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)



Σχήμα 1.6  
Τεκτονικές πλάκες, μεσωκεάνιες ράχες, ωκεάνιες τάφροι, ζώνες καταβύθισης και γεωθερμικά πεδία. Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών.

- (1) Γεωθερμικά πεδία όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια
- (2) Μεσωκεάνιες ράχες που τέμνονται από μεγάλα ρήγματα μετασχηματισμού
- (3) Ζώνες καταβύθισης, όπου η βυθιζόμενη πλάκα κάμπτεται προς τα κάτω και λιώνει μέσα στην ασθενόσφαιρα.

(Πηγή: <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

### 1.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις άμεσες χρήσεις. Το 1988, η εγκατεστημένη



ισχύς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν 5,15 GW<sub>e</sub>, ενώ η εγκατεστημένη θερμικής ισχύς ήταν 7 GW<sub>t</sub>.

Οι πιο σημαντικές άμεσες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας είναι η θέρμανση κλειστών και μεγάλων χώρων και εγκαταστάσεων, η αύξηση της αγροτικής παραγωγής (θέρμανση θερμοκηπίων), θέρμανση εδαφών για πρωίμηση καλλιεργειών, (όπως μανιτάρια και σπαράγγια), ξήρανση καρπών, πότισμα με γεωθερμικό νερό και οι υδατοκαλλιεργειές (χρήση ζεστού νερού για αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης υδρόβιων ειδών). Επίσης η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία για προθέρμανση χαρτοπολτού, παστερίωση γάλακτος, προθέρμανση προϊόντων, ξήρανση ξυλείας, κρεμμυδιών, σκόρδων, τροφίμων, φρούτων, παραγωγή τσιμεντόλιθων, κατεργασία ιχθύων, παραγωγή αλατιού, βαφεία, ζύμωση αστικών λυμάτων, πλυντήρια μαλλιού και μάλλινων υφασμάτων, παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, εμπλουτισμός μεταλλευμάτων χρυσού και αργύρου. Η παλιότερη όμως και πιο διαδεδομένη διεθνώς, μετά τα ιαματικά λουτρά, χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι η θέρμανση μεμονωμένων ή ομάδων κτιρίων ή ακόμη και η τηλεθέρμανση ολόκληρων οικισμών. Τα κτίρια αυτά μπορούν να είναι κατοικίες, ξενοδοχεία, γραφεία, καταστήματα, κτηνοτροφικές μονάδες. Συνήθως η θέρμανση των κτιρίων γίνεται παράλληλα και με παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με γεωθερμική ενέργεια. Το γεωθερμικό νερό ακόμη μπορεί να διοχετευτεί κάτω από το οδόστρωμα, σε δρόμους και διαδρόμους προσγείωσης – απογείωσης αεροδρομίων, προκειμένου να παρέχει αντιπαγετική προστασία. Άλλες εφαρμογές είναι η βιομηχανική ψύξη, η αφαλάτωση θαλασσινού νερού και η ηλεκτροπαραγωγή με κύκλο οργανικής ουσίας. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορούμε να έχουμε αν μεταδώσουμε ένα μέρος της θερμότητας των ρευστών, που έχουν μικρή σχετικά ενθαλπία, σε ειδικά υγρά με πολύ χαμηλό σημείο βρασμού όπως είναι και το φρέον, το ισοβουτάνιο, το προπάνιο και το χλωριούχο αιθύλιο. Στη Ρωσία λειτουργεί πειραματικός σταθμός 680 KW<sub>e</sub> και στις Η.Π.Α. σταθμός με ισοβουτάνιο, που θερμαίνεται με νερό θερμοκρασίας 81,5 °C.

Για να αντιληφθούμε το μέγεθος της καθαρής απολήψιμης ενέργειας θα πρέπει να σκεφτούμε ότι για να θερμάνουμε 100 m<sup>3</sup> νερού από τους 17 στους 70 °C, καταναλώνουμε 500 λίτρα πετρελαίου την ώρα, που μπορούμε να αποφύγουμε με την εκμετάλλευση μιας συνηθισμένης γεωθερμικής γεώτρησης, με ρευστά 75 °C στον ταμειυτήρα.

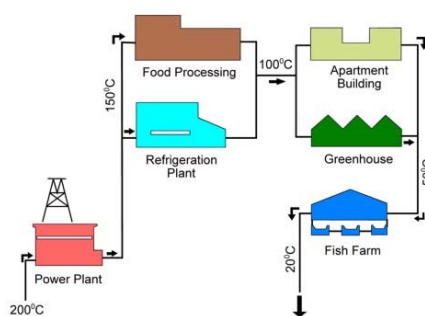
Η εκμεταλλευσιμότητα ενός γεωθερμικού πεδίου δεν εξαρτάται μόνο από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, αλλά και από την οικονομικότητα της επένδυσης που πρέπει να γίνει. Η οικονομικότητα αυτή σχετίζεται με το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η επένδυση. Για παράδειγμα, οι τιμές των ορυκτών καυσίμων

καθώς και οι δυσμενείς επιπτώσεις που έχουν αυτά τα καύσιμα στο περιβάλλον καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την οικονομικότητα μιας τέτοιας επένδυσης.

Τα γεωθερμικά πεδία περιέχουν πολλές φορές χρήσιμα άλατα ή αέρια. Μεταξύ των πρώτων σημειώνουμε την εξαγωγή αλάτων καλίου και μαγνησίου που παράγονται από γεωθερμικές πηγές. Παρόμοια ρευστά, πολύ πλούσια σε θειικό κάλιο, βρέθηκαν τελευταία στο καινούργιο γεωθερμικό πεδίο Cesano της Ιταλίας.

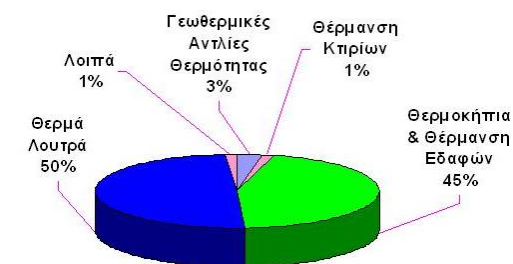
Ένα αέριο που έχει μεγάλη σημασία για τα θερμοκήπια είναι το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται συνήθως σε αφθονία στα γεωθερμικά πεδία. Η τεχνητή αύξηση της περιεκτικότητας σε CO<sub>2</sub> σε κλειστούς χώρους, όπως τα θερμοκήπια, αποτελεί το καλύτερο χημικό λίπασμα και μπορεί ακόμα να διπλασιάσει την παραγωγή.

Τέλος, σε μερικές περιπτώσεις, τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν σε ελάχιστες ποσότητες πολύτιμα ορυκτά, που μπορούν να αξιοποιηθούν σαν υποπροϊόντα της όλης εκμετάλλευσης.



Σχήμα 1.7  
Διαδοχική (κλιμακωτή) χρήση της  
γεωθερμικής ενέργειας  
(Πηγή: Geo-Heat Center, Klamath Falls, Όρεγκον,  
ΗΠΑ, <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

Εφαρμογές Γεωθερμίας στην Ελλάδα: 71 MW



Σχήμα 1.8  
Εφαρμογές γεωθερμίας στην Ελλάδα  
(Πηγή: ΚΑΠΕ)

### 1.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της γεωθερμίας είναι εκείνο της πολύ μικρής περιβαλλοντικής επίπτωσης από τη χρήση της. Τα γεωθερμικά ρευστά δεν προέρχονται από καύσεις και γι' αυτό δεν παράγουν αιωρούμενα σωματίδια, τέφρα ή καπνό.

Από περιβαλλοντικής απόψεως λοιπόν, με την παραγωγή ενέργειας γεωθερμικής προέλευσης, επιτυγχάνεται η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, το οποίο αν και δεν είναι βλαβερό για την υγεία του ανθρώπου, παρόλα αυτά, είναι το κύριο αίτιο του φαινομένου του θερμοκηπίου, που

απειλεί σοβαρά την οικολογική ισορροπία του πλανήτη με τις κλιματικές μεταβολές που προκαλεί.

Παράλληλα, επιτυγχάνεται η μείωση και των άλλων εκπεμπόμενων ρύπων, οι οποίοι έχουν μακροχρόνιες βλαβερές επιδράσεις. Σημαντικότερος από τους ρύπους αυτούς είναι το  $\text{H}_2\text{S}$ , που προκαλεί την όξινη βροχή, η οποία έχει καταστεί σημαντικό πρόβλημα για τις βιομηχανικά ανεπτυγμένες χώρες. Σημειώνεται ότι η εκπομπή ατμοσφαιρικών ρύπων από μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος που λειτουργεί με χρήση γεωθερμίας, είναι μικρότερη του ενός χιλιοστού μιας αντίστοιχης μονάδος που χρησιμοποιεί ως καύσιμο τον άνθρακα.



Σχήμα 1.9  
(Πηγή: <http://www.ghp.gr/egatast.htm>)

### **1.3.1 ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ**

Τα χημικά χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών αποτελούν κατά ένα τρόπο την ταυτότητα του πεδίου που εξετάζουμε ή εκμεταλλευόμαστε, γι' αυτό και η εργαστηριακή μελέτη τους είναι πάντοτε αναγκαία.

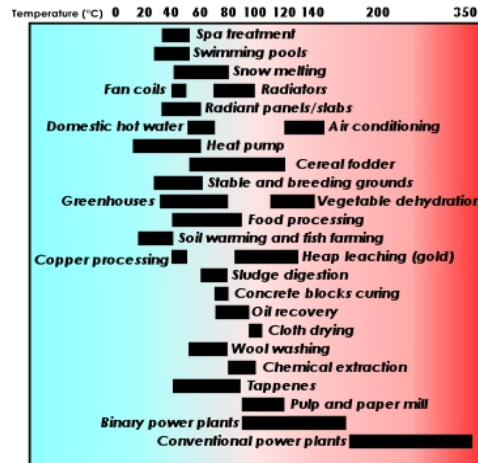
Τα αέρια τα οποία διαφεύγουν από τα διαλύματα του μάγματος περιέχουν  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$  και  $\text{CO}_2$ , καθώς το νερό της βροχής περιέχει διαλυμένο  $\text{CO}_2$  από την ατμόσφαιρα (κυρίως με τη μορφή  $\text{HCO}_3^-$ ). Το  $\text{HCl}$  του μάγματος αντιδρά με τα γύρω πετρώματα και σχηματίζει ουδέτερα χλωριδιούχα υπόγεια νερά, τα οποία περιέχουν κυρίως  $\text{NaCl}$  και  $\text{KCl}$ . Ποσότητες των νερών αυτών διαφεύγουν στην επιφάνεια ως χλωριούχες ζεστές πηγές. Το  $\text{SO}_2$  φτάνει στην επιφάνεια για να σχηματίσει τις όξινες θειϊκές ζεστές πηγές και τα όξινα ύδατα επικάθονται στα πετρώματα. Ο θερμός ατμός των γεωθερμικών ρευστών κοντά στην επιφάνεια είναι πλουσιότερος σε σουλφίδια από εκείνα σε μεγαλύτερο βάθος, τα οποία έχουν αναμειχθεί με τα βαθύτερα, πλούσια σε χλώριο, διαλύματα. Υπάρχει μια εξελισσόμενη αύξηση σε περιεχόμενο  $\text{HCO}_3^-$  με την απόσταση από το μαγματικό κέντρο, εξαιτίας της μίξης με τα  $\text{CO}_2$  των μετεωρικών υδάτων που κατεισδύουν. Έτσι, το νερό των γεωτρήσεων περιέχει πολλά διαλυμένα άλατα, διαφορετικά σε είδος και ποσότητα κατά περίπτωση

(μερικές φορές χρήσιμα) που φτάνουν ίσως σε μερικές περιπτώσεις, υπερδιπλάσιες ποσότητες από αυτό που έχει το νερό της θάλασσας.

Το γεωθερμικό νερό περιέχει καμία φορά και μη επιθυμητά στοιχεία, όπως B, As, Hg, Pb, αλλά σε αμελητέες περιεκτικότητες (μερικά μέρη ή κλάσματα ανά εκατομμύριο, ppm). Τα αέρια είναι λίγα (1-5% κατά βάρος), αποτελούνται από το μη τοξικό CO<sub>2</sub> αλλά και σε ελάχιστες έως μηδαμινές ποσότητες H<sub>2</sub> S, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, Ar, Ne. Από τη χημική σύνθεση των γεωθερμικών ρευστών και τα φυσικά χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται οι οικονομοτεχνικές συνθήκες, αλλά και ο καταλληλότερος τρόπος εκμετάλλευσης του κάθε πεδίου.

### **1.3.2 ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΡΕΥΣΤΟΥ**

Το γεωθερμικό ρευστό έχει μετεωρική προέλευση, δηλαδή προέρχεται από την κατάδυσή του. Το νερό από τις βροχές και τα χρόνια εισχωρεί στο έδαφος και προχωρεί στο εσωτερικό της Γης φτάνοντας σε βάθη μέχρι 5 Km. Στην πορεία του θερμαίνεται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας των σχηματισμών και στη συνέχεια βρίσκεται διόδους μέσα από ρήγματα και ρωγμές για να επιστρέψει στην επιφάνεια. Από αναλύσεις βασισμένες σε ραδιοϊσότοπα βρέθηκε ότι ο κύκλος του νερού σε ένα γεωθερμικό σύστημα είναι μέχρι και 500 χρόνια. Η περιοχή τροφοδοσίας του συστήματος μπορεί να βρίσκεται πολύ κοντά στο πεδίο ή σε μεγάλη απόσταση από αυτό, μέχρι και 200 km, οπότε και η διαδρομή του ρευστού ποικίλει, ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Το νερό, λόγω της μεγάλης του θερμοχωρητικότητας, λειτουργεί και σαν «συμπυκνωτής» θερμότητας. Η μέση θερμοχωρητικότητα των πετρωμάτων είναι 85 kJ/kg, ενώ του νερού στην ίδια μέση θερμοκρασία (130 °C) είναι 420 kJ/kg, δηλαδή πενταπλάσια. Η θερμοχωρητικότητα του κορεσμένου ατμού στους 236 °C είναι 2.790 kJ/kg, δηλαδή τριακονταπλάσια αυτής των πετρωμάτων. Για να απορροφήσει το νερό αυτή τη θερμότητα, είτε πρέπει να έρθει σε επαφή με πολύ μεγάλες μάζες πετρωμάτων που βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία, είτε να διανύσει πολύ μεγάλη διαδρομή μέχρι να φτάσει στις γεωτρήσεις. Και στις δύο περιπτώσεις, οι μάζες των πετρωμάτων που συμμετέχουν στο σύστημα πρέπει να είναι πολύ μεγάλες, της τάξης των εκατοντάδων κυβικών χιλιομέτρων.



Σχήμα 1.10  
Διαδοχική (κλιμακωτή) χρήση της γεωθερμικής ενέργειας  
(Πηγή: Geo-Heat Center, Klamath Falls, Όρεγκον, ΗΠΑ,  
<http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

## 1.4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Τα γεωθερμικά πεδία χωρίζονται σε τρεις ομάδες:

1. Στα πεδία υψηλής ενθαλπίας (ρευστό θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 150 °C)
2. Στα πεδία μέσης ενθαλπίας (ρευστό θερμοκρασίας 100-150 °C)
3. Στα πεδία χαμηλής ενθαλπίας (ρευστό θερμοκρασίας μικρότερης των 100 °C)

Στις ζώνες σεισμικών εστιών, υπάρχουν πεδία χαμηλής και υψηλής ενθαλπίας που σχετίζονται μεταξύ τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η Ισλανδία που βρίσκεται πάνω στη μεσοωκεάνια ράχη.

## 1.5 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Σε όλη την έκταση της γης συναντάμε περιοχές, στις οποίες οι θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών ποικίλουν. Ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών, λοιπόν, μπορούμε να διαχωρίσουμε περιοχές με γεωθερμικά πεδία υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας.

Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας (με θερμοκρασίες ρευστών 25-100 °C) ειδικότερα, τα συναντάμε σε λεκάνες πρόσφατης ηλικίας που έχουν δημιουργηθεί από τεκτονική εφελκυστικού τύπου. Παρατηρείται σε αυτά μικρή θερμική ανωμαλία εξαιτίας των «ανοικτών» ρηγμάτων που επιτρέπουν τη σύντομη άνοδο βαθύτερης προέλευσης θερμών ρευστών και τη μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Μπορούν επίσης να εντοπιστούν σε παλιότερες λεκάνες ή άλλες γεωλογικές περιοχές γεωτεκτονικά σταθερές, με γεωθερμική βαθμίδα κανονική

(με τον όρο γεωθερμική βαθμίδα εννοούμε τον ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος με μέση τιμή 30 °C/km).

Χαρακτηριστική είναι η εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας σε πολλές χώρες του εξωτερικού, όπως για παράδειγμα στην Ελβετία, στη Γαλλία και στις Η.Π.Α.. Βέβαια στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται πρόοδος όσον αφορά τη χρησιμοποίηση των γεωθερμικών πεδίων για οικιακές και αγροτικές εφαρμογές.

Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις άλλες ανανεώσιμες και περιβαλλοντικά καθαρές πηγές ενέργειας (ηλιακή, αιολική). Το μεγαλύτερο από αυτά είναι ότι, είναι διαθέσιμη με σταθερή παροχή σε όλη τη διάρκεια του χρόνου και υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες.

Επίσης οι απαιτήσεις σε χώρο μιας εγκατάστασης εκμετάλλευσης είναι ασήμαντες και δε δημιουργούν αρχιτεκτονικά και αισθητικά προβλήματα. Τέλος, οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω των 25 °C) σε συνδυασμό με αντλίες θερμότητας προσφέρονται σχεδόν παντού για την παραγωγή τόσο ζεστού νερού όσο και ψυχρού νερού, δηλαδή για θέρμανση και ψύξη χώρων.

Η κατασκευή συστημάτων εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας είναι εφικτή σήμερα, για διάφορους καταναλωτές σε κεντρικά ή παλαιά κτίρια, καθώς επίσης και σε βιοτεχνίες και εργοστάσια, που πέρα από τη θέρμανση και την ψύξη χρειάζονται και ζεστό νερό.

Οι κατηγορίες των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Βαθείς ερευνητικές-παραγωγικές γεωτρήσεις που φτάνουν σε βάθος 1000-3000 m και αναλογικά με τη γεωθερμική βαθμίδα μας δίνουν νερό με θερμοκρασίες 50-100 °C. Η επιτυχία των γεωτρήσεων αυτών εξαρτάται από την ποσότητα του ζεστού νερού και τη θερμοκρασία του. Συνεπώς η μεθοδολογία αυτή αφενός είναι δαπανηρή και αφετέρου έχει υψηλό ρίσκο αποτυχίας.
2. Γεωτρήσεις βάθους μέχρι 150 m, με τις οποίες εκμεταλλευόμαστε την αβαθή γεωθερμία με αντλίες θερμότητας. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται δύο μέθοδοι:
  - i. η μέθοδος που εκμεταλλεύεται τη θερμική ενέργεια αβαθών υπόγειων νερών και,
  - ii. η μέθοδος που εκμεταλλεύεται τη θερμική ενέργεια πετρωμάτων χωρίς την ανάγκη νερού.

Με τη δεύτερη μέθοδο, αξιοποιείται η γεωθερμική ενέργεια της γης σε οποιαδήποτε περιοχή, χωρίς να είναι απαραίτητη η θετική ανωμαλία της

γεωθερμικής βαθμίδας ή η ύπαρξη υδροφορίας. Έτσι, τα συστήματα αυτού του είδους μπορούν να εφαρμοστούν σε οποιαδήποτε τοποθεσία και για το λόγο αυτό, είναι πολύ διαδεδομένα διεθνώς.

### **1.5.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥΣ**

Μια γεωθερμική πηγή (πεδίο) χαρακτηρίζεται ως χαμηλής θερμοκρασίας ή ενθαλπίας, όταν παρουσιάζει θερμοκρασίες κάτω από 100 °C μέχρι και 25 °C (στη χώρα μας). Στα πεδία αυτά, που συναντώνται συχνότερα, απουσιάζει η μαγματική πηγή θερμότητας. Το υπόγειο νερό θερμαίνεται λόγω της φυσιολογικής αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος. Η θερμική ανωμαλία είναι μικρότερη ή ανύπαρκτη. Τα συγκεκριμένα πεδία παράγουν νερό και μη συμπυκνούμενα αέρια. Πολλές φορές υπάρχει η πιθανότητα τα νερά να μην έχουν καθόλου αέρια και άλατα.

Κυρίαρχο λόγο στη δημιουργία ενός γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας παίζει η τεκτονική, η φυσική θερμική ροή και η υπόγεια κυκλοφορία των ρευστών. Η ύπαρξη κατάλληλων γεωλογικών – τεκτονικών δομών καθορίζει την υπόγεια κυκλοφορία θερμών ρευστών και τη μεταφορά ενέργειας από μεγάλα βάθη, και την αποθήκευσή της σε «ρηχότερους» υδροπερατούς λιθολογικούς σχηματισμούς. Έτσι, σε περιοχές π.χ. με εφελκυστικού τύπου τεκτονική που δημιουργούν πρόσφατης ηλικίας (τριτογενείς και τεταρτογενείς) λεκάνες, έχουμε μικρή θερμική ανωμαλία.

Εξαιτίας των «ανοικτών» ρηγμάτων και της ύπαρξης καλών υδροφόρων οριζόντων, κυρίως στη βάση των νεότερων ιζημάτων, και του άνω τμήματος του μεταμορφωμένου ή μεσοζωικής ηλικίας υποβάθρου, καθώς επίσης και των καλών στεγανών σχηματισμών πάνω από αυτούς, επιτρέπεται η σύντομη άνοδος βαθύτερης προέλευσης θερμών ρευστών και η μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας. Σαν αποτέλεσμα των παραπάνω δημιουργούνται οι ευνοϊκές συνθήκες για τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής και πολλές φορές μέσης ενθαλπίας.

Επίσης, σε παλιότερες λεκάνες ή άλλες γεωλογικές περιοχές γεωτεκτονικά σταθερές, με γεωθερμική βαθμίδα κανονική και ανάλογες λοιπές συνθήκες, μπορεί να εντοπισθούν ταμειυτήρες χαμηλής ενθαλπίας (π.χ. 75 °C σε βάθος 1,5 – 2 km).

Σε περιοχές με μέση και χαμηλή ενθαλπία υπάρχουν δύο πιθανοί λόγοι για την παρουσία μικρών γεωθερμικών ανωμαλιών:

- i. είναι πιθανό να διαθέτουν καλύτερες μονωτικές ιδιότητες συγκριτικά με το μέσο όρο στα πρώτα χιλιόμετρα του φλοιού (οι ιζηματογενείς λεκάνες είναι ιδανική περίπτωση)

- ii. είναι πιθανό να περιέχουν σημαντικές συγκεντρώσεις ραδιενεργών ορυκτών αναφορικά με τη σύσταση των πετρωμάτων στον ανώτερο φλοιό.

Για τα συγκεκριμένα γεωθερμικά πεδία θα μπορούσαμε να πούμε πως η θερμότητα αποσπάται γρηγορότερα, από ότι αντικαθίσταται. Σε αυτή και μόνο την περίπτωση και με αυτό το σκεπτικό θα μπορούσαμε να αναφέρουμε, πως η γεωθερμική ενέργεια «εξορύσσεται».

Στα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας διακρίνουμε και τα πεδία πολύ χαμηλής ενθαλπίας. Σε αυτά οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από τους 60 °C έως και τους 20 °C. Τα γεωθερμικά αυτά ρευστά είναι συνήθως επιφανειακά με αποτέλεσμα να παράγονται με περιορισμένο βάθος και κόστος γεώτρησης. Επίσης έχουμε τα γεωθερμικά πεδία αβαθούς υπεδαφικής θερμότητας. Στην πραγματικότητα πρόκειται για εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμίας στο υπέδαφος, το πολύ στα 200 m κάτω από την επιφάνεια της Γης. Η θερμότητα αυτή είναι γνωστή ως αβαθής γεωθερμική ενέργεια και περιλαμβάνει ποσοστό ηλιακής προέλευσης.

Το πλεονέκτημα των αβαθών γεωθερμικών πηγών ενέργειας είναι ότι διατηρούν στη διάρκεια όλου του έτους σταθερή θερμοκρασία που κυμαίνεται από 15 °C έως 25 °C και ότι βρίσκεται σχεδόν πάντα κοντά στον καταναλωτή. Τα υπόγεια νερά που κυκλοφορούν σε βάθος 15 έως 100 m έχουν συνήθως θερμοκρασία ίση ή λίγο μεγαλύτερη από την ετήσια θερμοκρασία του αέρα του τόπου. Αυτά που κυκλοφορούν σε βάθη 0 έως 15 m έχουν θερμοκρασία που επηρεάζεται από τις εποχιακές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της εδαφικής επιφάνειας. Η εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού είναι μηδενική σε βάθος κάτω από 15 m και αυξάνει μειούμενου του βάθους, μέχρις ότου φθάσει βαθμιαία τη διακύμανση της εδαφικής επιφανείας, όταν το νερό αυτό βρίσκεται στο επιφανειακό εδαφικό στρώμα. Φυσικά η θερμοκρασία του και η διακύμανση επηρεάζονται σημαντικά από τις υπόγειες ροές.

Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας συναντώνται σε πολύ πιο εκτεταμένες περιοχές ανά τον κόσμο και ιδιαίτερα, όπως ήδη αναφέρθηκε, σε μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες και ζώνες ενεργού τεκτονικής. Υπάρχει εκτεταμένη χρήση αυτών, με αυξητικές τάσεις, που προσδιορίζονται κύρια από τα σημαντικά μικρότερα κόστη επένδυσης και χρήσης των συστημάτων λειτουργίας σε σχέση με τη μέση και υψηλή ενθαλπία, καθώς και την πιο εύκολη τεχνολογία που απαιτείται. Εγκατεστημένη ισχύς στον κόσμο το 1997 ήταν πάνω από 10.000 MWt. Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται για θέρμανση κατοικιών και σε αγροτικές ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Ο τύπος αυτός γεωθερμίας εμφανίζεται πολύ συχνά και οδηγεί αναμφίβολα σε ιδιαίτερα γενικευμένη χρήση μετά από επιτυχείς εγκαταστάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε πολλές χώρες, όπως



στην Ουγγαρία, την Ισλανδία, τη Ρωσία και σε άλλες. Το υψηλό κόστος που συνεπάγεται τη δημιουργία γεωτρήσεων σε μεγάλο βάθος επιβάλλει τη σχετική συγκέντρωση των χρήσεων και την κατανομή τους στο ίδιο περίπου χρονικό διάστημα.

Όσον αφορά τον τύπο της γεωθερμικής ενέργειας των πολύ χαμηλής ενθαλπίας πεδίων, μπορεί να προσαρμοστεί σε χρήσεις που είναι αποκεντρωμένες και ειδικά για τη θέρμανση ή την ψύξη κτιρίων. Η απόδοση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιείται σε μεγάλες θερμαντικές επιφάνειες, είτε για ενδοδαπέδια θέρμανση, είτε για λειτουργία ανεμιστήρων, πάντα με τη χρήση των αντλιών θερμότητας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η τελευταία περίπτωση προϋποθέτει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα παρέχει τη δυνατότητα ανάληψης θερμότητας από τους χώρους εξασφαλίζοντας και ψύξη, δηλαδή συνδυάζει το πλεονέκτημα λειτουργίας του συστήματος ως κλιματιστικής εγκατάστασης. Ο τύπος αυτός γεωθερμικού πεδίου προσαρμόζεται επίσης σε μια σειρά αγροτικών εφαρμογών όπως είναι η θέρμανση θερμοκηπίων, η θέρμανση του εδάφους, η ιχθυοκαλλιέργεια κ.λ.π.

Η θέρμανση χώρων και νερού χρήσης αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ποσοστό εφαρμογών των ρευστών χαμηλής ενθαλπίας, που μαζί με τις αντλίες θερμότητας, αντιπροσωπεύουν περίπου το 50 % των χρήσεων. Οι αγροτικές, αγροτοβιομηχανικές και υδατοκαλλιεργητικές εφαρμογές αντιπροσωπεύουν το 26%, ενώ ένα σημαντικό ποσοστό (15%) αντιπροσωπεύουν και οι ιαματικές και λουτρικές δραστηριότητες.

|         |     |          |      |             |      |               |             |
|---------|-----|----------|------|-------------|------|---------------|-------------|
| Αλγερία | 100 | Ελλάδα   | 23   | Κίνα        | 1915 | Σλοβακία      | 99          |
| Αυστρία | 19  | Η.Π.Α    | 1874 | Ν. Ζηλανδία | 246  | Σλοβενία      | 39          |
| Βέλγιο  | 4   | Ιαπωνία  | 318  | Πολωνία     | 63   | Σουηδία       | 47          |
| Γαλλία  | 337 | Ισλανδία | 1443 | Ρουμανία    | 130  | Π.Γ.Δ. Μακ.   | 69          |
| Γεωργία | 245 | Ιταλία   | 307  | Ρωσία       | 210  | Τουρκία       | 140         |
| Ελβετία | 110 | Ισραήλ   | 44   | Ν. Γιουγκ.  | 80   | <b>Σύνολο</b> | <b>7880</b> |

Πίνακας 1.1 Εγκατεστημένη θερμική ισχύς γεωθερμικών Εφαρμογών Χαμηλής Ενθαλπίας (σε MW, κατά D.H. Freeston, 1995)  
(Πηγή: Καγκέλη Ο., 1999)

### 1.5.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στον ελλαδικό χώρο υπάρχουν πολλές περιοχές με συμφέρουσες οικονομικά συνθήκες παραγωγής και εκμετάλλευσης ρευστών χαμηλής ενθαλπίας. Πολλές από αυτές συνδυάζονται με εύφορες πεδιάδες και μερικές άλλες είναι κοντά σε πόλεις, οικισμούς, βιομηχανικές περιοχές ή περιοχές με ιχθυοκαλλιεργητικές ή αγροτοβιομηχανικές εγκαταστάσεις. Οι μέχρι τώρα έρευνες του Ι.Γ.Μ.Ε. εντόπισαν αρκετά γεωθερμικά πεδία σε ενδιαφέρουσες περιοχές, που περιγράφονται με συντομία.



Σχήμα 1.11

Χάρτης γεωθερμικών πεδίων στην Ελλάδα

(Πηγή: <http://www.ape.chania.teicrete.gr/ape/geothermia/anaptixinf.htm>)

### ΛΕΚΑΝΗ ΣΤΡΥΜΟΝΑ

Στην περιοχή Θερμών Νιγρίτας έχει ήδη ανακαλυφθεί ένα αξιόλογο πεδίο χαμηλής ενθαλπίας. Μερικές γεωτρήσεις έρευνας δίνουν γεωθερμικά νερά αρτεσιανά, θερμοκρασίας 40 - 60 °C στην επιφάνεια, από γεωθερμικούς υδροφόρους ορίζοντες που βρίσκονται σε βάθος 120-450 m. Το δυναμικό του υδροφόρου είναι σημαντικό (καλή παροχή) και τα νερά έχουν αρκετά καλή χημική σύσταση (Σύνολο διαλυμ. Αλάτων ΣΔΑ = 4 g/l) και άφθονο CO<sub>2</sub> που μπορεί να παραχθεί σαν υποπροϊόν. Λειτουργούν ήδη άνω από 50 στρέμματα «γεωθερμικών» θερμοκηπίων (τα 40

γυάλινα, προηγμένης τεχνολογίας). Η εγκατεστημένη ισχύς το 1986 ήταν 6MWt περίπου και η εξοικονόμηση ενέργειας ίση με 1650 Τ.Ι.Π./ χρόνο.

Στην περιοχή Θερμοπηγής Σιδηροκάστρου εντοπίστηκαν ενδιαφέροντες γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες σε βάθη 30 - 400 m, που παράγουν νερά πολύ καλής ποιότητας ( $\Sigma\Delta A = 1-2 \text{ g/l}$ ) και θερμοκρασίες 40-75 °C. Ο Δήμος Σιδηροκάστρου, μαζί με συνεταιρισμούς, εγκατέστησε (και ετοιμάζει άλλα 6 στρέμματα) ένα θερμοκήπιο 4 στρεμμάτων, που χρησιμοποιεί νερά του γεωθερμικού πεδίου. Υπάρχει και ιδιωτικό θερμοκήπιο 8 στρεμμάτων.

Στην περιοχή Λιθότοπου - Ηράκλειας εντοπίστηκε ένα πολύ σημαντικό πεδίο έκτασης 25 km<sup>2</sup> και ρευστά θερμοκρασίας μέχρι 62 °C. Παρόμοιο είναι το πεδίο στον Αχινό-Ιβηρα-Τράγιο.

### **ΠΕΡΙΟΧΗ ΞΑΝΘΗΣ**

Στην περιοχή Ν. Κεσσάνης Ξάνθης έχει εντοπισθεί σημαντικό γεωθερμικό πεδίο έκτασης 15 km<sup>2</sup>. Οι γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες βρίσκονται σε βάθος 120-140 m (πιθανώς υπάρχουν και βαθύτερα, στα 600 m. περίπου) με θερμοκρασίες μέχρι 80 °C. Τα παραγόμενα νερά είναι καλής σχετικά ποιότητας ( $\Sigma\Delta A = 4-7 \text{ g/l}$ ). Έχουν γίνει 5 γεωτρήσεις παραγωγής στα 150-400 m με πολύ καλά αποτελέσματα.

Κατασκευάστηκαν θερμοκήπια 6 στρεμμάτων από την Ε.Τ.Β.Α. για την Κοινοτικόσυνεταιριστική Επιχείρηση, που χρησιμοποιεί μέρος από τα νερά μιας γεώτρησης, με θερμοκρασία 75 °C (ισχύς 2 MWt περίπου). Έγινε και πλήρης μελέτη αξιοποίησης του πεδίου.

Στην περιοχή Μαγγάνων Ξάνθης φαίνεται βασικά ότι υπάρχουν ευνοϊκές συνθήκες για ρευστά χαμηλής ενθαλπίας σε μικρά βάθη. Πράγματι, εντοπίστηκε σημαντική υδροφορία σε βάθος 300-400 m με θερμοκρασίες έως 62 °C και πολύ καλή ποιότητα ρευστών. Γίνεται πρωϊμηση σπαραγγιών, ξήρανση ντομάτας, ιχθυοκαλλιέργεια ψαριών καλής ποιότητας.

### **ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΒΑΛΑΣ**

Στην πεδινή περιοχή Δέλτα Νέστου (περιοχή Ερατεινού Χρυσούπολης) εντοπίστηκε ένα πολύ μεγάλο γεωθερμικό πεδίο έκτασης 40 km<sup>2</sup>. Ένας γεωθερμικός υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στα 550-650 m και οι θερμοκρασίες του 70-75 °C. Σαν προοπτικές τοποθετούνται οι δυνατότητες χρήσης σε κοντινή βιομηχανική περιοχή Καβάλας της ΕΤΒΑ, στη θέρμανση οικισμών (Χρυσούπολη), θερμοκήπια, ξήρανση καλαμποκιού, ιχθυοκαλλιέργειες, πρωϊμηση σπαραγγιών κλπ.

### **ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

Στη λεκάνη των λιμνών Λαγκαδά - Βόλβης έχουν εντοπιστεί ενδιαφέροντες «ρηχοί» γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες με νερά 35-50 °C που έχουν πολύ καλή χημική σύσταση. Στις περιοχές Λαγκαδά, Νυμφόπετρας και Ν. Απολλωνίας λειτουργούν ήδη 23 στρέμματα πλαστικών «γεωθερμικών» θερμοκηπίων, συνολικής ισχύος 4MWt περίπου. Στη λεκάνη νότια της Θεσσαλονίκης (περιοχή αεροδρομίου) φαίνεται ότι υπάρχουν ενδιαφέρουσες γεωθερμικές συνθήκες.

### **ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ**

Στα Ελαιοχώρια Χαλκιδικής μια γεώτρηση 62 m παράγει αρτεσιανό νερό μέχρι και 600 m<sup>3</sup>/h και σε θερμοκρασία 34 °C. Σε 1,5 συνολικά στρέμματα 6 μικρών πειραματικών θερμοκηπίων μελετήθηκε ο καλύτερος από τεχνική και οικονομική άποψη τρόπος θέρμανσης, χρησιμοποιώντας εγχώρια υλικά εναλλαγής της θερμότητας. Στην περιοχή έγιναν και άλλες ρηχές γεωτρήσεις που παράγουν μεγάλες ποσότητες νερών μέχρι 41,5 °C. Στην Αγία Παρασκευή Κασσάνδρας φαίνεται ότι υπάρχουν επίσης καλές συνθήκες για ανεύρεση ρευστών χαμηλής ενθαλπίας σε μικρά σχετικά βάθη.

### **ΑΛΛΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ**

Στις περιοχές Αλμωπίας και στα νοτιοδυτικά της Θεσσαλίας, οι έρευνες του Ι.Γ.Μ.Ε. εντόπισαν κατ' αρχήν ενδιαφέρουσες γεωθερμικές περιοχές. Στη Λεκάνη Σπερχειού η έρευνα βρίσκεται σε καλό στάδιο και οι γεωθερμικές συνθήκες είναι ενθαρρυντικές. Στην περιοχή Ληλαντίου Πεδίου Βασιλικών Ευβοίας και Ανδραβίδας Πελοποννήσου, οι προκαταρκτικές έρευνες του Ι.Γ.Μ.Ε. εντόπισαν σημαντικές υδροφορίες σε μικρά έως πολύ μικρά βάθη, που έχουν όμως χαμηλές θερμοκρασίες (της τάξης των 32 και 26 °C αντίστοιχα).

Τέλος, πολύ ενδιαφέροντα στοιχεία ή πληροφορίες υπάρχουν για τις περιοχές Αλεξανδρούπολης Έβρου, Σαμοθράκης, Σαππών Ροδόπης, Θερμών Ξάνθης, Αγγίστρου Σερρών, Λιμνοχωρίου Φλώρινας, Ξυνιάδας Φθιώτιδας, Καβάσιλων Ιωαννίνων, Σούδας Χανίων, Λήμνου, Χίου, Ικαρίας, Σάμου κ.λ.π. Στα βέβαια πεδία χαμηλής ενθαλπίας ανήκουν επίσης οι περιοχές της Λέσβου, Μήλου και της Νισύρου (που ανήκουν και στα υψηλής ενθαλπίας πεδία). Πράγματι, στην περιοχή Πολιχνίτου Λέσβου εντοπίστηκαν δύο γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες χαμηλής ενθαλπίας, ο θερμότερος των οποίων παράγει νερά μέχρι 95 °C σε βάθος μέχρι 150 m. Μία από τις γεωτρήσεις θερμαίνει θερμοκήπιο 25 συνολικά στρεμμάτων, που άνοιξαν τη γεωθερμική αξιοποίηση στο νησί της Λέσβου. Έγιναν

και 4 στρέμματα στο Λισβόρι. Στη Μήλο εντοπίστηκαν επίσης ζεστά νερά 40-90 °C σε βάθη 10-80 m. Λειτουργεί το πρώτο γεωθερμικό θερμοκήπιο 6 στρεμμάτων και εξελίσσεται πρόγραμμα της ΕΤΒΑ για μεγαλύτερες μονάδες θερμοκηπίων αλλά και αφαλάτωσης. Το Ι.Γ.Μ.Ε. ερευνήσε καταρχήν στο νησί το δυναμικό των «ρηχών» θερμών υδροφόρων και εκτιμήθηκε το μέγεθός τους. Επίσης εντοπίσθηκε και ένα άλλο δυναμικό που προέρχεται από τα πεδία «θερμών εδαφών και ατμίδων», τα οποία έχουν συνολική έκταση 70.000 m<sup>2</sup>. Έχει διαπιστωθεί, μετά από μετρήσεις, ότι από τα πεδία αυτά μπορούν να παραχθούν 500 kcal/h ανά m<sup>3</sup>/h. Η ενέργεια αυτή, που δεν είναι καθόλου αμελητέα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επωφελώς. Πεδία «θερμών εδαφών και ατμίδων» υπάρχουν και στη Νίσυρο, όπου λειτουργεί και θερμοκήπιο που θερμαίνεται γεωθερμικά. Στο Σουσάκι εντοπίστηκαν με γεωτρήσεις παραγωγής γεωθερμικοί υδροφόροι ορίζοντες θερμοκρασίας 60-75 °C στα 100 m. περίπου.

Ανάμεσα στα πεδία χαμηλής ενθαλπίας πρέπει να περιληφθεί και το δυναμικό των σημαντικότερων θερμών πηγών, ιαματικών και μη, που μπορούν να τύχουν ενεργειακής εκμετάλλευσης είτε σ' όλο το χρόνο είτε στην περίοδο μη χρησιμοποίησής τους, για ιαματικούς σκοπούς. Αναφέρουμε για παράδειγμα τα 400 m<sup>3</sup>/h της πηγής των Θερμοπυλών, με θερμοκρασία 42 °C και τα 250 m<sup>3</sup>/h της Αιδηψού με θερμοκρασία μέχρι 78 °C, που στο μεγαλύτερο διάστημα της χρονιάς και προπαντός το χειμώνα «ζεσταίνουν» χωρίς λόγο τη θάλασσα.

### **ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΕΥΡΕΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Ήδη αναφέρθηκαν τα κυριότερα γεωθερμικά πεδία που ανακαλύφθηκαν στον ελληνικό χώρο ή εκείνα που πιθανώς θα προκύψουν από την παραπέρα έρευνα. Η μέχρι τώρα εμπειρία, σε συνδυασμό με τα στοιχεία από την έρευνα υποδομής (χάρτες θερμικής ροής, θερμοκρασιών σε διάφορα βάθη, μελέτη νεώτερης ηφαιστειότητας, έρευνες νεοτεκτονικής, γεωφυσικά και γεωχημικά δεδομένα) μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε τις περιοχές της χώρας που προσφέρονται καταρχήν για τη γεωθερμική έρευνα, και κατά δεύτερον για την αναζήτηση και τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων. Κατά σειρά ενδιαφέροντος και κατηγορίας, αυτές οι περιοχές είναι οι εξής:

1. Περιοχές με μεγάλη γεωθερμική ανωμαλία εξαιτίας κάποιας ενεργού ή πρόσφατης ηφαιστειακής δραστηριότητας, όπως είναι αυτές του τόξου Νοτίου Αιγαίου. (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη κλπ.)
2. Περιοχές αυξημένης ροής είτε από διείδυση όξινων πλουτωνιτών κυρίως τριτογενούς ηλικίας, είτε από πρόσφατη – ενεργό τεκτονική εφελκυστικού τύπου που δημιουργήσε τριτογενείς – τεταρτογενείς λεκάνες, είτε από

καλυμμένες «υψηλές» δομές υδροπερατών ή κατακερματισμένων σχηματισμών του υποβάθρου.

3. Περιοχές με περιορισμένη σε έκταση θερμική ανωμαλία εξαιτίας μεγάλων κανονικών ή με οριζόντια μετατόπιση ρηγμάτων, που αφορούν κυρίως σχηματισμούς του υποβάθρου.
4. Περιοχές με κανονική γεωθερμική βαθμίδα, με γεωθερμικό ταμιευτήρα και αντίστοιχο στεγανό κάλυμμα σε περιοχές με ομαλές κατά το πλείστον πτυχές.
5. Ομοίως, περιοχές με νεότερα ιζήματα στο εσωτερικό τριτογενών λεκανών.
6. Περιοχές θερμών άνυδρων πετρωμάτων είτε από πλουτωνίτες είτε από κρυσταλλικά «συμπαγή και εύθραυστα» πετρώματα.

Πίνακας 1.1

Περιοχές αξιοποιήσιμων γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας  
(Πηγή: [http://www.ape.chania.teicrete.gr/apc/geothermia/main\\_grsituation.htm](http://www.ape.chania.teicrete.gr/apc/geothermia/main_grsituation.htm))

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

## **1.6 ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ**

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια προέρχεται κυρίως (80-90%) από την κανονική ροή της γήινης θερμότητας, η οποία προέρχεται από το θερμό εσωτερικό της γης προς τα επιφανειακά εδαφικά στρώματα. Σε μικρά, τελείως επιφανειακά, βάθη (<20 m) έχουμε και επιπρόσθετη ενέργεια από διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το έδαφος (κυρίως τις θερμές εποχές του έτους), η οποία αποθηκεύεται σε ποσοστό περίπου 47% του συνόλου της προσπίπτουσας στο έδαφος ενέργειας, και αποτελεί το επιπρόσθετο 10-20% του συνολικού ενεργειακού φορτίου του εδάφους.

Δύο παράγοντες συντελούν στην ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει την θερμότητα:

1. Η μεγάλη θερμοχωρητικότητα του εδάφους και γενικά των πετρωμάτων
2. Η απώλεια θερμότητας προς την ατμόσφαιρα (με ακτινοβολία), αν και αυτό γίνεται όμως με αργό ρυθμό.

Όλα αυτά αποτελούν και τον κύριο παράγοντα της διατήρησης μιας σταθερής μέσης θερμοκρασίας στο υπέδαφος μετά από ένα ορισμένο βάθος, το οποίο έχει βρεθεί ότι είναι από 20 m και κάτω. Η αβαθής γεωθερμία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της θερμικής κατάστασης που παρουσιάζεται στο μικρό αυτό βάθος, όπου έχουμε πρακτικά σταθερή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία της επιφάνειας. Στον ελλαδικό χώρο, στην περιοχή της Αττικής, έχει μετρηθεί ότι η θερμοκρασία αυτή είναι 18-20 °C. Στην κεντρική Ευρώπη είναι χαμηλότερη (γύρω στους 13 °C), ενώ σε βορειότερες χώρες (Σουηδία) είναι ακόμη πιο χαμηλή. Κάτω από το βάθος των 20 m έχουμε και την προσθετική επίδραση της γήινης θερμοβαθμίδας (1 °C ανά 33 m κατά μέσο όρο).

Για να δημιουργηθεί σαφής και ολοκληρωμένη εικόνα της υπεδαφικής θερμικής κατάστασης μιας περιοχής, λαμβάνονται πάντοτε υπόψη και οι εκάστοτε εδαφολογικές συνθήκες-ιδιαιτερότητες, η γεωλογική δομή και η διάταξη των πετρωμάτων, η θερμική αγωγιμότητά τους και οι υδρολογικές συνθήκες της περιοχής.



Πίνακας 1.2  
Γεωθερμικές εγκαταστάσεις ανά τον κόσμο, μη ηλεκτρικής χρήσης  
(Πηγή: [http://www.ape.chania.teicrete.gr/a/geothermia/main\\_grsituation.htm](http://www.ape.chania.teicrete.gr/a/geothermia/main_grsituation.htm))

| ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΝΑ ΤΟΝ ΚΟΣΜΟ (1987) ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ (SOMMARUGA), ΣΕ MW <sub>th</sub> |        |              |         |                   |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------|---------|-------------------|-------|
| Περιοχή ή χώρα                                                                                                     | Σύνολο | Τηλεθέρμανση | Γεωργία | Ιαματικές χρήσεις | Λοιπά |
| ΕΟΚ                                                                                                                | 1325   | 720          | 202     | 376               | 27    |
| (ΙΤΑΛΙΑ)                                                                                                           | 651    | 113          | 135     | 370               | 27    |
| (ΓΑΛΛΙΑ)                                                                                                           | 618    | 600          | 15      | 3                 | 0     |
| Λοιπή Ευρώπη εκτός ΕΣΣΔ                                                                                            | 3652   | 1138         | 931     | 1031              | 552   |
| (Ισλανδία)                                                                                                         | 1306   | 945          | 77      | 209               | 75    |
| (Ουγγαρία)                                                                                                         | 1540   | 75           | 565     | 9581              | 319   |
| Λοιπός κόσμος                                                                                                      | 7363   | 842          | 867     | 4993              | 661   |
| (ΗΠΑ)                                                                                                              | 478    | 70           | 190     | 5                 | 213   |
| (ΙΑΠΟΝΙΑ)                                                                                                          | 4764   | 49           | 50      | 4475              | 190   |
| Συνολική Ισχύς                                                                                                     | 12250  | 2700         | 2000    | 6400              | 1240  |
| Συνολική ενέργεια χ 10 <sup>3</sup> TTP/έτος                                                                       | 4300   | 1000         | 600     | 2150              | 550   |

### 1.6.1 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΜΕ ΑΒΑΘΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Στο υπέδαφος κάθε τόπου, συνεπώς και κάθε κτιρίου, επικρατεί μόνιμη και σταθερή θερμική ροή, με κατεύθυνση προς τα άνω, όπως έχει ήδη αναφερθεί, που εκδηλώνεται με τη γεωθερμική βαθμίδα. Μέχρι σήμερα στην Ελλάδα ερευνώνται μόνο τα ανώμαλα γεωθερμικά πεδία και μάλιστα αυτά που έχουν αισθητά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα, σημαντικά μεγαλύτερη των 0,3 K(°C)/m. Αντίθετα, σε άλλες χώρες η έρευνα και η αξιοποίηση τόσο της ομαλής γεωθερμικής ενέργειας, όσο και αυτής που οφείλεται σε ελαφρά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα, έχουν προχωρήσει σημαντικά. Η αξιοποίηση επιτυγχάνεται είτε με βαθιές γεωτρήσεις, βάθους άνω των 1000 m, στις οποίες αναζητούμε υπόγεια νερά θερμοκρασίας άνω των 50°C, είτε με αβαθείς γεωτρήσεις, βάθους 50-150 m, στις οποίες εκμεταλλευόμαστε τη θερμική ενέργεια με τη χρήση αντλιών θερμότητας. Με αυτές μπορούμε επίσης να εκμεταλλευθούμε και το θερμικό περιεχόμενο των αβαθών υπογείων υδάτων σε γεωτρήσεις ή φρέατα ή ακόμα και άμεσα το θερμικό περιεχόμενο των πετρωμάτων.

Με τη χρήση αντλίας θερμότητας νερού - νερού είναι δυνατόν να εκμεταλλευτούμε με οικονομικό όφελος ακόμη και θερμοκρασίες του υπεδάφους 8°-10°C. Στις χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης και στον Καναδά σ' αυτές τις



θερμοκρασίες βασίζεται η λειτουργία των γεωθερμικών αντλιών, δηλαδή των αντλιών θερμότητας που εκμεταλλεύονται την υπεδαφική θερμική ενέργεια.

Σε βάθη 0-150 m έχουμε αποθηκευμένη θερμική ενέργεια που προέρχεται και ανανεώνεται συνεχώς από δύο πηγές, τη γεωθερμική, που βρίσκεται στο εσωτερικό της γης, και την ηλιακή, που με την ακτινοβολία της διοχετεύει θερμική ενέργεια μέσω της εδαφικής επιφανείας στο υπέδαφος. Λόγω του κλίματος και της γεωγραφικής θέσεως της χώρας μας η ποσότητα ηλιακής θερμικής ενέργειας που αποθηκεύεται στο υπέδαφος αυτής είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ότι στις βορειότερες χώρες. Έτσι οι υπεδαφικές θερμοκρασίες σε βάθη 0-150 m στον ελλαδικό χώρο είναι 15°-20°C, είναι πολύ πιο ευνοϊκές για την απόδοση των γεωθερμικών αντλιών και δίνουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων θερμικής ενέργειας.

Γίνεται φανερό λοιπόν, ότι σε μικρά βάθη τα υπόγεια στρώματα πετρωμάτων και τα υπόγεια νερά μετεωρικής προέλευσης αποθηκεύουν ποσότητες θερμικής ενέργειας, οι οποίες είναι εν μέρει ηλιακές και μαζί με την από τα βαθύτερα στρώματα του φλοιού της γης ανερχόμενη γεωθερμική ενέργεια, δημιουργούν ένα ενεργειακό απόθεμα, το οποίο καλείται αβαθές γεωθερμικό και το οποίο αποτελεί μια περιβαλλοντικά καθαρή ενεργειακή πηγή και προσφέρεται για εκμετάλλευση με αντλίες θερμότητας.

Η γεωθερμική ενέργεια που αφορά θερμοκρασίες χαμηλότερες των 25°C (ενέργεια αβαθούς γεωθερμίας), παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα και ορισμένα μειονεκτήματα σε σχέση με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, από πλευράς εκμετάλλευσης.

#### Πλεονεκτήματα:

1. Είναι διαθέσιμη με σταθερές παροχές σ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες και σχεδόν παντού.
2. Οι απαιτήσεις σε χώρο μιας εγκατάστασης εκμετάλλευσης είναι ασήμαντες και δεν δημιουργούν αρχιτεκτονικά ή αισθητικά περιβαλλοντικά προβλήματα.
3. Οι πολύ χαμηλές υπεδαφικές θερμοκρασίες (κάτω των 25°C) σε συνδυασμό με γεωθερμικές αντλίες προσφέρονται για την παραγωγή τόσο ζεστού, όσο και ψυχρού νερού, δηλαδή για θέρμανση και ψύξη χώρων και νερού χρήσης.

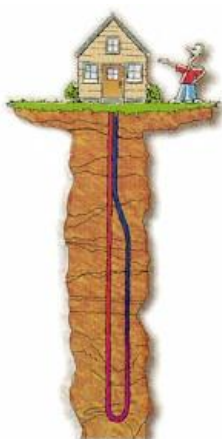
#### Μειονεκτήματα:

1. Το σχετικά υψηλό αρχικό κόστος της εγκατάστασης, που μπορεί να απαιτήσει σημαντικές δαπάνες για γεωτρήσεις και γήϊνους εναλλάκτες θερμότητας.
2. Η χαμηλή ισχύς της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας.

Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας με γεωθερμικές αντλίες άρχισε στις τεχνολογικά προηγμένες χώρες, όπως είναι οι

Η.Π.Α, ο Καναδάς, η Σουηδία, η Γαλλία, η Ελβετία και η Γερμανία γύρω στο 1980 (μετά την άνοδο των τιμών πετρελαίου). Μέχρι το 1990 υπήρχε σε λειτουργία σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων με γεωθερμικές αντλίες στις χώρες αυτές, που αυξάνεται με ταχύ ρυθμό. (>1 εκατ. στις Η.Π.Α., >350.000 στην Ευρώπη).

Έναντι του συμβατικού συστήματος θέρμανσης, το σύστημα εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα από άποψη ασφαλούς λειτουργίας, ρύπανσης και συχνότητας ρυθμίσεων. Το ουσιαστικότερο μειονέκτημα όμως είναι το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης, που αναπτύσσεται στο τέταρτο κεφάλαιο.



Σχήμα 1.12

(Πηγή: <http://www.kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/alternative/geothermal.htm>)

## 1.7 ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

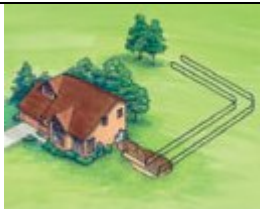
Η βασική ιδέα για την εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας συνίσταται:

1. στην απαγωγή της εδαφικής θερμότητας, μέσω ενός συστήματος το οποίο αποτελείται από κάποιο ρευστό (συνήθως νερό) που κυκλοφορεί σε σύστημα σωληνώσεων που τοποθετούνται μέσα στο έδαφος, και το οποίο ονομάζεται γεωεναλλάκτης
2. στην αναβάθμιση της (όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο), μέσω μιας αντλίας θερμότητας και,
3. στη συνέχεια, μεταφορά της μέσω συστήματος σωληνώσεων ή fancoils που καταλήγουν σε δίκτυο δαπέδου (επιδαπέδιο), οροφής, τοίχων, ή ακόμη και σε συμβατικά σώματα (καλοριφέρ), τα οποία έχουν ενσωματωμένο ανεμιστήρα για τη διασπορά της θερμότητας, και χρήση της για τη θέρμανση χώρων. Εναλλακτικά, η αρχή αυτή χρησιμοποιείται και για ψύξη, με μεταφορά της

θερμότητας απευθείας από την επιφάνεια (κτίριο) στο υπέδαφος και διάχυση της εκεί.

Τα τρία αυτά μέρη (γεωεναλλάκτης – αντλία θερμότητας – σύστημα μεταφοράς και διασποράς) απαρτίζουν τα συστήματα (τεχνολογίες) χρήσης της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας. Οι τεχνολογίες εφαρμογής διαφοροποιούνται μεταξύ τους στα επιμέρους τμήματα (μικρά ή μεγάλα) ως εξής: π.χ. στη χρήση διαφόρων τύπων αντλίας θερμότητας, στο διαφορετικό σύστημα γεωεναλλάκτη (ανοικτό ή κλειστό σύστημα, ρηχότερες ή βαθύτερες γεωτρήσεις, με μεγαλύτερη οριζόντια ή κατακόρυφη ανάπτυξη), στο διαφορετικό σύστημα διασποράς της θερμότητας στο κτίριο (επιδαπέδιο, επιτοίχιο, με θερμαντικά σώματα), κ.λ.π..

Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι υλοποίησης (τοποθέτησης) του γεωεναλλάκτη:

|                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Οριζόντιο κύκλωμα, το οποίο εφαρμόζεται σε περιπτώσεις με αρκετό διαθέσιμο οριζόντιο ελεύθερο χώρο (επιφάνεια) σε μικρό βάθος (1-3m)                                                                                                                                     |   |
| 2. Κατακόρυφο κύκλωμα, το οποίο είναι πολύ καλή επιλογή όταν έχουμε περιορισμένη διαθέσιμη επιφάνεια, και είναι η συνηθέστερη (ίσως και μοναδική) επιλογή στις πόλεις όπου τα κτίρια έχουν περιορισμένο διαθέσιμο χώρο γύρω τους                                            |  |
| 3. Οριζόντιο κύκλωμα σε λίμνη ή θάλασσα, όπου η τοποθέτηση του εναλλάκτη γίνεται στον πυθμένα γειτονικής λίμνης ή θάλασσας (όταν βέβαια η λίμνη ή η θάλασσα βρίσκονται σε μικρή απόσταση). Η διάταξη αυτή είναι ιδιαίτερως οικονομική διότι απαφεύγουμε το κόστος εκσκαφής. |  |
| 4. Ανοιχτό κύκλωμα, το οποίο εκμεταλλεύεται αντλώντας τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα ως άμεση πηγή ενέργειας. Σε ιδανικές συνθήκες αποτελεί το πιο οικονομικό σύστημα. Μοναδικό πρόβλημα στην περίπτωση αυτή είναι η διάθεση του νερού μετά τη χρήση του.                    |  |

Από τους παραπάνω τύπους οι συνηθέστεροι στην εφαρμογή είναι το κατακόρυφο και μετά το οριζόντιο κύκλωμα, διότι δεν απαιτούν ειδικές συνθήκες

(κοντινή λίμνη ή παρουσία υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα σε μικρό βάθος). Ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι αυτός του κατακόρυφου κυκλώματος, ο οποίος μπορεί να έχει πρακτική εφαρμογή σε όλες τις πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Τα συστήματα που βασίζονται στη χρήση της αβαθούς γεωθερμίας αναφέρονται διεθνώς με το όνομα **GEO THERMAL HEAT PUMP SYSTEMS** (συστήματα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας) ή **GEO EXCHANGE** (γεωεναλλακτικά συστήματα ή αλλιώς συστήματα γεωεναλλαγής).

### **1.8 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (GHP)**

Όπως αναφέρθηκε, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι πολλές φορές απαραίτητες για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας. Πρόκειται για συσκευές που έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν θερμότητα από ένα μέσο με χαμηλή θερμοκρασία σε ένα άλλο μέσο με υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό πραγματοποιείται με απορρόφηση θερμότητας από μια πηγή χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας (όπως είναι το υπόγειο ή επιφανειακό νερό, ο εξωτερικός αέρας και το υπέδαφος) και απόδοσή της σε ένα θερμότερο μέσο, όπως είναι για παράδειγμα μια οικία. Τα βασικά εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας είναι τα ίδια με τα κοινά κλιματιστικά και περιλαμβάνουν το συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τον εξαμιστήρα, τη βαλβίδα εκτόνωσης και βέβαια μια πηγή ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις η αντλία θερμότητας είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να αντιστρέφει την ψυκτική και θερμαντική λειτουργία, επιτρέποντας τη χρήση της ίδιας συσκευής για ψύξη και θέρμανση.

Η αντλία θερμότητας τροφοδοτείται με θερμότητα από το 'ψυχρό' μέσο σε χαμηλή θερμοκρασία  $T_o$ . Έτσι προσφέρεται μηχανικό έργο  $W_{net}$  για τη μεταφορά της θερμότητας σε υψηλότερη θερμοκρασία  $T_h$

Ισχύει λοιπόν ο τύπος :  $Q_H = Q_L + W_{net}$

Η σωστή λειτουργία της αντλίας θερμότητας εκφράζεται από το συντελεστή απόδοσης COP, ο οποίος ορίζεται από την ακόλουθη σχέση :

$$COP = \text{Αποδιδόμενη έξοδος} / \text{απαιτούμενη είσοδος} = Q_H / Q_{net}$$

Στις αντλίες θερμότητας ο συντελεστής απόδοσης κυμαίνεται από 1,5 έως 5, και βέβαια όσο μεγαλύτερη η τιμή του τόσο περισσότερο οικονομική γίνεται η χρήση της αντλίας.

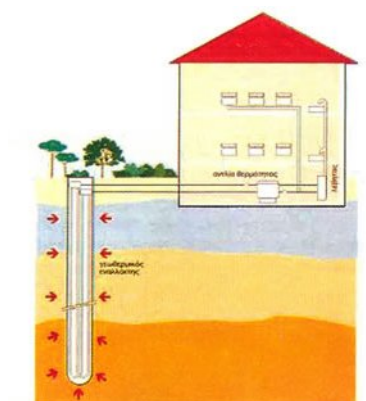
Ο COP προσδιορίζει την απόδοση της αντλίας και αποτελεί το θερμικό αποτέλεσμα που παράγεται από το σύστημα (σε BTU/ώρα), διαιρεμένο από την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος (σε BTU/ώρα) και είναι αδιάστατο μέγεθος.

Υπάρχει και ένας άλλος συντελεστής που προσδιορίζει την απόδοση ψύξης. Ο δείκτης αυτός ονομάζεται EER (Ρυθμός Απόδοσης Ενέργειας) και είναι το αποτέλεσμα του πηλίκου της «ψυκτικής ισχύος», (της ενέργειας σε Btu που μπορεί να αφαιρέσει η ψυκτική μηχανή από ένα χώρο σε μία ώρα), προς το σύνολο της ηλεκτρικής ισχύος που απαιτείται για το σκοπό αυτό (σε watt). Ο δείκτης EER, είναι και αυτός αδιάστατο μέγεθος.



Σχήμα 1.13

Σχηματική απεικόνιση της χρήσης των αντλιών θερμότητας σε σχέση με άλλα συστήματα εγκατάστασης  
(Πηγή: [http://www.spinel.semafor.ch/promot\\_plone/indexgr\\_html?set\\_language=el](http://www.spinel.semafor.ch/promot_plone/indexgr_html?set_language=el))



Σχήμα 1.14

Γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης–ψύξης κατοικίας  
με αντλία θερμότητας νερού και γεωεναλλάκτη  
(Πηγή:

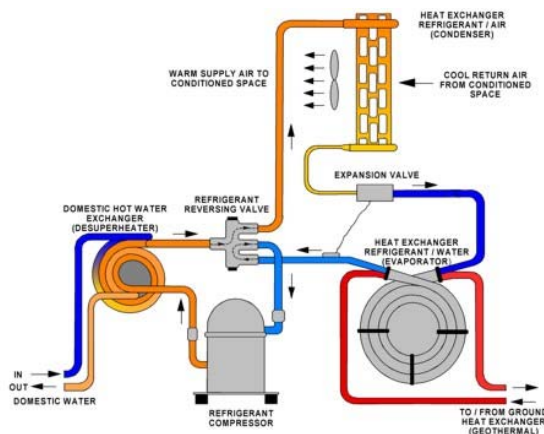
[http://www.sciencenews.gr/articles.asp?Cat\\_id=9&offset=5&Article\\_id=624](http://www.sciencenews.gr/articles.asp?Cat_id=9&offset=5&Article_id=624))

### 1.8.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η αντλία θερμότητας είναι μια ηλεκτρική μονάδα η οποία με τον μηχανισμό της, μεταφέρει θερμότητα από έναν χώρο στον άλλο. Η μόνη διαφορά μεταξύ της αντλίας θερμότητας και της ψυκτικής μονάδας είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα, το οποίο για την ψυκτική μονάδα είναι η ψύξη και για την αντλία είναι η θέρμανση. Επιπλέον οι αντλίες θερμότητας μπορούν να παρέχουν θέρμανση ή ψύξη στο χώρο.

Στην ορολογία των αντλιών θερμότητας, η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας στην οποία απορροφάται η θερμότητα (θερμοκρασία πηγής) και της

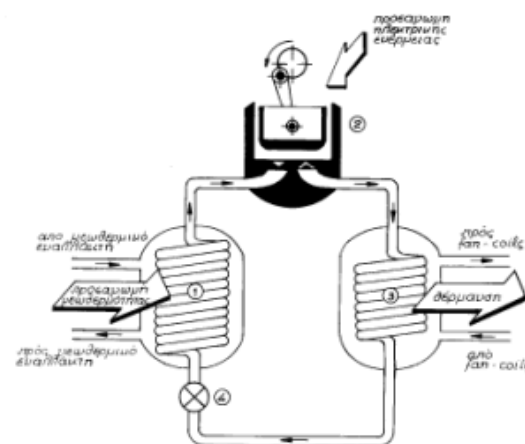
θερμοκρασίας στην οποία αποδίδεται (θερμοκρασία χώρου απόθεσης) αναφέρεται ως 'ανύψωση'. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανύψωση, τόσο μεγαλύτερη είναι η εξωτερική (εισαγόμενη) ενέργεια που απαιτείται από την αντλία θερμότητας. Αυτό είναι σημαντικό, επειδή αποτελεί πλεονέκτημα όσον αφορά την απόδοση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα.



Σχήμα 1.15

Σχηματικό διάγραμμα μιας αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιείται για θέρμανση

(Πηγή: Geo-Heat Center, Klamath Falls, Όρεγκον, ΗΠΑ, <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)



Σχήμα 1.16

Σχεδιάγραμμα μιας αντλίας θερμότητας 1. Εξατμιστής, 2. Συμπιεστής,

3. Συμπυκνωτής, 4. Σημείο εκτόνωσης (Πηγή:

<http://www.energyhomes.gr/GRECCE/Geo-1.htm>)

## 1.8.2 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

Τα συστήματα με χρήση υπόγειων εναλλακτών που χρησιμοποιούνται στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

1. Σωλήνες κλειστού κυκλώματος
2. Σωλήνες ανοικτού κυκλώματος

Ο τύπος του υπόγειου εναλλάκτη θα επηρεάσει τη λειτουργία του συστήματος αντλιών θερμότητας (επομένως την κατανάλωση ενέργειας της αντλίας θερμότητας), τις ενεργειακές απαιτήσεις για βοηθητικές αντλίες και το κόστος εγκατάστασης. Η επιλογή του πιο κατάλληλου τύπου υπόγειων εναλλακτών για μια περιοχή εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής και τον οικονομικό παράγοντα.

### 1.8.2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

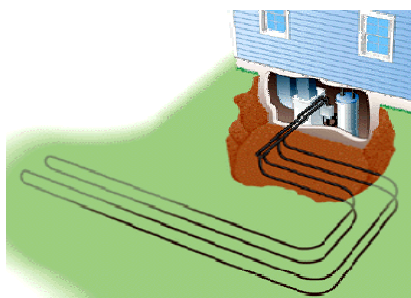
Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ένα υπόγειο δίκτυο, πλαστικών σωλήνων υψηλής αντοχής, που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας. Στο κύκλωμα κυκλοφορεί ένα ρευστό υλικό μεταφοράς θερμότητας, τυπικά νερό ή ένα υδρο-

αντιψυκτικό διάλυμα, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλα ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Όταν οι απαιτήσεις για ψύξη προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού στο κλειστό κύκλωμα, τότε μεταφέρεται θερμότητα στο ψυχρότερο έδαφος. Αντιστρόφως, όταν οι απαιτήσεις για θέρμανση προκαλούν την πτώση της θερμοκρασίας του ρευστού στο κλειστό κύκλωμα, τότε η θερμότητα απορροφάται από το θερμότερο έδαφος.

Υπάρχουν αρκετές ποικιλίες διατάξεων κλειστού κυκλώματος, όπως είναι το οριζόντιο, το σπειροειδές, το κατακόρυφο και το καταβυθιζόμενο. Στα επόμενα κεφάλαια οι επιμέρους κατηγορίες θα εξεταστούν αναλυτικά.

### 1.8.2.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Τα οριζόντια κυκλώματα, χρησιμοποιούνται συχνά όταν υπάρχει διαθέσιμη επαρκής επιφάνεια του εδάφους. Οι σωλήνες τοποθετούνται σε τάφρους σε ένα βάθος 1,2 έως 3 m. Ανάλογα με τον συγκεκριμένο σχεδιασμό μπορούν να τοποθετηθούν από έναν μέχρι έξι σωλήνες σε κάθε τάφρο. Παρόλο που απαιτούν περισσότερο μήκος σωλήνων, οι διατάξεις πολλαπλών σωλήνων δε δεσμεύουν την επιφάνεια του εδάφους, απαιτούν λιγότερες τάφρους και επομένως έχουν μικρότερο κόστος εγκατάστασης από τις διατάξεις μονού σωλήνα. Τα μήκη των τάφρων ποικίλλουν από 30-120 m ανά τόνο ψύξης, και εξαρτώνται από τις συνθήκες του εδάφους και τον αριθμό των σωλήνων μέσα στην τάφρο. Οι τάφροι συνήθως απέχουν 1,8 έως 3,7 m. Αυτά τα συστήματα είναι συνηθισμένα σε οικιακές εφαρμογές, αλλά δεν εφαρμόζονται συχνά σε μεγάλης χωρητικότητας εμπορικές εφαρμογές, γιατί απαιτείται μεγάλη επιφάνεια εδάφους για κατάλληλη μεταφορά θερμότητας. Τα οριζόντια συστήματα εφαρμόζονται συνήθως σε μεγάλες επιφάνειες εδάφους με υψηλή στάθμη νερού.



Σχήμα 1.17

(Πηγή: <http://www.ape.chania.teicrete.gr/ape/geothermia/geothermia.htm>)

#### Πλεονεκτήματα:

1. Το κόστος των τάφρων είναι τυπικά χαμηλότερο από το κόστος των γεωτρήσεων, ενώ υπάρχουν και ευέλικτες επιλογές εγκατάστασης.

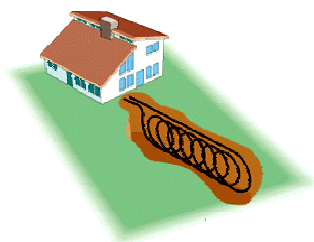
### Μειονεκτήματα:

1. Απαιτείται μεγάλη εδαφική περιοχή.
2. Η θερμότητα του εδάφους υπόκειται σε εποχιακές διακυμάνσεις γιατί είναι σε μικρά βάθη.
3. Οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους κυμαίνονται ανάλογα με την εποχή, τη βροχή, το βάθος ταφής και το είδος του σχηματισμού.
4. Η ξηρότητα του εδάφους πρέπει να μετρηθεί κατάλληλα για το σχεδιασμό του απαιτούμενου μήκους σωλήνων, ειδικά σε αμμώδη εδάφη και στις κορυφές των βουνών, στα οποία υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν προβλήματα λειψυδρίας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.
5. Το σύστημα των σωληνώσεων μπορεί να καταστραφεί κατά τη διεργασία επαναδιοχέτευσης.
6. Απαιτούνται μεγαλύτερα μήκη σωλήνων σε σχέση με τις κατακόρυφες γεωτρήσεις.
7. Η πυκνότητα του αντιψυκτικού διαλύματος αυξάνει την ενέργεια των αντλιών, ενώ μειώνει το ρυθμό μεταφοράς, ώστε έτσι να μειώνεται και η συνολική απόδοση. Γι' αυτό παρατηρείται ακόμα πιο χαμηλή απόδοση του συστήματος.

### **1.8.2.3 ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΕΣ ΚΥΚΛΩΜΑ**

Μια παραλλαγή της διάταξης οριζόντιου κυκλώματος (κάποιες φορές και κατακόρυφου αλλά πολύ λιγότερο διαδεδομένη και σπάνια) με πολλαπλούς σωλήνες είναι το σπειροειδές κύκλωμα. Το κύκλωμα αυτό αποτελείται από σωλήνες που στριφογυρίζουν σε ένα κυκλικό κύκλωμα μέσα σε τάφρους. Μια άλλη παραλλαγή του συστήματος με σπειροειδές κύκλωμα περιλαμβάνει την τοποθέτηση του κυκλώματος όρθιου σε στενές τάφρους. Η διάταξη του σπειροειδούς κυκλώματος απαιτεί γενικά περισσότερους σωλήνες τυπικά 150 – 300 m ανά τόνο ψύξης, αλλά λιγότερες συνολικά τάφρους από τα συστήματα οριζόντιου κυκλώματος με πολλαπλούς σωλήνες. Για το σχεδιασμό των οριζόντιων σπειροειδών κυκλωμάτων, οι τάφροι έχουν πλάτος γενικά 0,9 – 1,8 m. Πολλαπλές τάφροι απέχουν τυπικά περίπου 3,7 m. Για το σχεδιασμό των κατακόρυφων σπειροειδών κυκλωμάτων, οι τάφροι έχουν πλάτος γενικά 1,5 m. Σχηματικά ένα οριζόντιο σπειροειδές φαίνεται παρακάτω.





Σχήμα 1.18

(Πηγή: <http://www.ape.chania.teicrete.gr/apc/geothermia/geothermia.htm>)

#### Πλεονεκτήματα:

1. Απαιτεί λιγότερη περιοχή εδάφους και λιγότερες τάφρους από άλλα οριζόντια συστήματα
2. Το κόστος εγκατάστασης είναι μερικές φορές μικρότερο από άλλα οριζόντια κυκλώματα

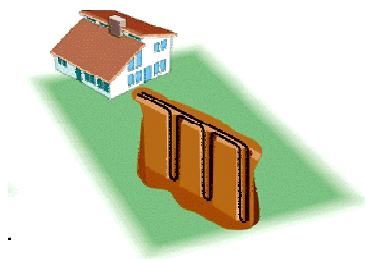
#### Μειονεκτήματα:

1. Απαιτεί μεγαλύτερο συνολικό μήκος σωλήνων σε σχέση με άλλα συστήματα υπόγειων εναλλακτών
2. Απαιτείται σχετικά μεγάλη περιοχή εδάφους
3. Η θερμοκρασία του εδάφους υπόκειται σε εποχιακές μεταβολές
4. Μεγαλύτερες απαιτήσεις ενέργειας των αντλιών από άλλα οριζόντια κυκλώματα Το σύστημα σωλήνων μπορεί να καταστραφεί κατά τη διεργασία της επαναδιοχέτευσης

### **1.8.2.4 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΚΥΚΛΩΜΑ**

Τα κατακόρυφα κυκλώματα χρησιμοποιούνται γενικά όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι περιορισμένη. Διανοίγονται γεωτρήσεις σε βάθη από 23 έως 150 m βάθος. Οι σωλήνες κλειστού κυκλώματος εισάγονται μέσα στην κατακόρυφη γεώτρηση. Το απαιτούμενο μήκος ποικίλει από 60-180 m ανά τόνο ψύξης, και εξαρτάται από το έδαφος και τις συνθήκες θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται πολλαπλές γεωτρήσεις, που απέχουν μεταξύ τους 3 έως 5 m και οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι είτε σε σειρά είτε σε παράλληλη διάταξη, ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις για τη συνολική μεταφορά θερμότητας. Τα κατακόρυφα συστήματα εφαρμόζονται εκεί που είναι περιορισμένη η εδαφική περιοχή, εκεί που το έδαφος είναι βραχώδες ή υπάρχει γεωλογικό υπόβαθρο. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι για τους εναλλάκτες θερμότητας του κατακόρυφου συστήματος :

- i. Σωλήνας σε σχήμα U
- ii. Διαχωρισμένοι σωλήνες
- iii. Ομόκεντροι σωλήνες



Σχήμα 1.19

(Πηγή: <http://ape.chania.teicrete.gr/ape/geothermia/geothermia.htm>)

Πλεονεκτήματα:

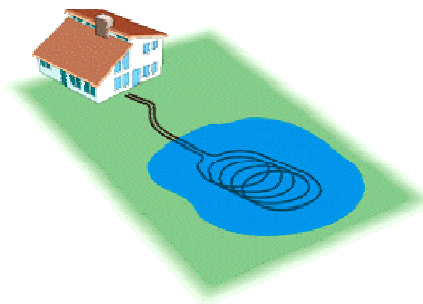
1. Απαιτεί λιγότερο μήκος σωλήνων από τα περισσότερα συστήματα κλειστού κυκλώματος.
2. Απαιτεί την ελάχιστη ενέργεια άντλησης συγκριτικά με τα υπόλοιπα συστήματα κλειστού κυκλώματος (λόγω του ότι απαιτείται μικρότερο μήκος σωλήνων σε σχέση με άλλα συστήματα)
3. Απαιτεί την ελάχιστη ποσότητα επιφανειακής περιοχής
4. Η θερμοκρασία του εδάφους δεν υπόκειται σε εποχιακές μεταβολές.

Μειονεκτήματα:

1. Απαιτεί εξοπλισμό για τη γεώτρηση, ενώ το κόστος των γεωτρήσεων είναι πιο υψηλό από το κόστος των οριζόντιων τάφρων

### 1.8.2.5 ΚΑΤΑΒΥΘΙΖΟΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Αν μία μετρίου μεγέθους υδάτινη τάφρος ή λίμνη είναι διαθέσιμες, τότε το κλειστό κύκλωμα μπορεί να καταβυθιστεί μέσα στο νερό. Οι εφαρμογές των καταβυθισμένων κυκλωμάτων απαιτούν ειδικές συνθήκες, γεγονός που απαιτεί τη συμβολή ενός μηχανικού εξειδικευμένου σε τέτοιες εφαρμογές. Αυτός ο τύπος συστήματος απαιτεί επαρκή επιφάνεια εδάφους και βάθος, ώστε να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης. Τυπικές εγκαταστάσεις απαιτούν σωλήνες 90 m ανά τόνο ψύξης.



Σχήμα 1.20

(Πηγή: <http://ape.chania.teicrete.gr/ape/geothermia/geothermia.htm>)

### Πλεονεκτήματα:

1. Χρησιμοποιούν το λιγότερο συνολικό μήκος σωλήνων από κάθε άλλο κλειστό κύκλωμα
2. Είναι λιγότερο ακριβό σε σύγκριση με άλλα κλειστά κυκλώματα, αν υπάρχει διαθέσιμη αρκετή ποσότητα νερού

### Μειονεκτήματα:

1. Απαιτεί μεγάλη ποσότητα νερού

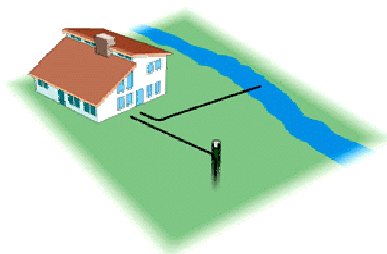
## **1.9 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ**

Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος χρησιμοποιούν υπεδαφικό νερό ως άμεσο μέσο μεταφοράς θερμότητας, σε αντίθεση με το ρευστό υλικό μεταφοράς θερμότητας που αναφέρθηκε στα συστήματα κλειστού κυκλώματος. Αυτά τα συστήματα αναφέρονται μερικές φορές ως “αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή” για να διαχωριστούν από τις “αντλίες θερμότητας από εδάφια πηγή”. Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος αποτελούνται πρωταρχικά από γεωτρήσεις εξαγωγής, γεωτρήσεις επανέγχυσης ή συστήματα τα οποία βοηθούν στη μεταφορά του επιφανειακού νερού.

Υπάρχουν αρκετοί ειδικοί παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπόψη στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος :

- i. την ποσότητα του νερού
- ii. την καταλληλότητα του διαθέσιμου νερού
- iii. το πρόβλημα της διάθεσης του υπεδαφικού νερού μετά τη χρήση του

Στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος ο εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού υλικού και του υπεδαφικού νερού υπόκειται σε διάβρωση. Ο ρυθμός ροής που απαιτείται μέσω του πρωταρχικού εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού υλικού και του υπεδαφικού νερού κυμαίνεται από 0,4 έως 0,8 m<sup>3</sup>/h ανά τόνο ψύξης. Το υπόγειο νερό πρέπει είτε να επαναφέρεται μέσα στο έδαφος από ξεχωριστές γεωτρήσεις, είτε να χύνεται σε ένα επιφανειακό σύστημα, όπως είναι ένα ποτάμι, μια λίμνη, θάλασσα, χείμαρρος.



Σχήμα 1.21

(Πηγή: <http://ape.chania.teicrete.gr/ape/geothermia/geothermia.htm>)

#### Πλεονεκτήματα:

1. Χρησιμοποιούνται λιγότερες γεωτρήσεις σε σχέση με τα συστήματα κλειστού κυκλώματος.
2. Λειτουργούν καλύτερα συγκριτικά με τα συστήματα κλειστού κυκλώματος. Κι αυτό γιατί υπάρχει καλύτερη τεχνογνωσία σε θέματα κατασκευής γεωτρήσεων για τη μεταφορά νερού σε θερμοκρασία υπόγειων στρωμάτων σε σχέση με την κατασκευή εναλλακτών (για τη μεταφορά ρευστού σε θερμοκρασία διαφορετική από αυτή των υπόγειων στρωμάτων του εδάφους).
3. Έχουν τυπικά χαμηλότερο κόστος, ειδικά αν συνδυαστεί με γεώτρηση τροφοδοσίας πόσιμου νερού.
4. Χαμηλό κόστος λειτουργίας, αν το νερό αντλείται και για άλλους σκοπούς, όπως η άρδευση.

#### Μειονεκτήματα:

1. Υψηλές απαιτήσεις ροής νερού
2. Η διαθεσιμότητα σε νερό μπορεί να περιοριστεί
3. Ο εναλλάκτης θερμότητας της αντλίας θερμότητας υπόκειται σε διαβρωτικούς παράγοντες, περιλίθωση και βακτηριακά συστατικά
4. Υψηλό κόστος, αν απαιτείται γεώτρηση επαναφοράς

### **1.10 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ**

Ανάμεσα στις μεταβλητές που έχουν σημαντική επίδραση στο μέγεθος και την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος χρήσης υπόγειων εναλλακτών, μεγάλη σημασία έχουν οι θερμοκρασίες υπεδάφους και ο τύπος του εδάφους.

#### **1.10.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ**

Η θερμοκρασία του υπεδάφους έχει σημασία για το σχεδιασμό και τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας από υδάτινη πηγή. Σε ένα σύστημα ανοικτού κυκλώματος, η θερμοκρασία του υπεδάφους νερού που εισέρχεται στην αντλία θερμότητας έχει μια άμεση επιρροή στην απόδοση του συστήματος. Σε ένα σύστημα κλειστού κυκλώματος, η θερμοκρασία του υπεδάφους θα επηρεάσει το μέγεθος του απαιτούμενου συστήματος υπόγειων εναλλακτών και την αποτελεσματικότητά του υπόγειου θερμικού εναλλάκτη. Επομένως, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί η θερμοκρασία του υπεδάφους προτού ξεκινήσει ο σχεδιασμός του συστήματος.

Οι ετήσιες θερμοκρασίες του αέρα, η περιεκτικότητα σε υγρασία, ο τύπος του εδάφους και το εδαφικό κάλυμμα, επιδρούν στη θερμοκρασία του υπεδάφους. Επιπρόσθετα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η θερμοκρασία του υπεδάφους ποικίλει

ετησίως ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του επιφανειακού αέρα, του τύπου του εδάφους και του βάθους.

### **1.10.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ**

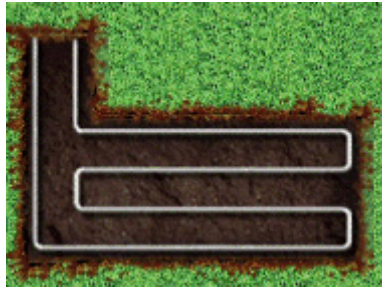
Ο πιο σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό και την επιτυχή λειτουργία ενός συστήματος αντλιών θερμότητας από υδάτινη πηγή (κλειστού κυκλώματος), είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του συστήματος υπόγειων εναλλακτών κλειστού κυκλώματος και του περιβάλλοντος εδάφους και πετρωμάτων. Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους και των πετρωμάτων καθορίζει το απαιτούμενο μήκος σωλήνων. Το μήκος των σωλήνων επιδρά στο κόστος εγκατάστασης, καθώς και στη λειτουργική αποδοτικότητα, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει το κόστος λειτουργίας. Εξαιτίας τοπικών μεταβολών στον τύπο του εδάφους και στις συνθήκες υγρασίας, ο οικονομικός σχεδιασμός μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την περιοχή.

Οι ταξινομήσεις του εδάφους περιλαμβάνουν χονδρόκοκκη άμμο και χαλίκια, λεπτόκοκκη ιλύ και άργιλο, καθώς και πηλό (ισοδύναμο μίγμα άμμου, ιλύος και αργίλου). Τα πετρώματα διαχωρίζονται σε εννέα διαφορετικές πετρολογικές ομάδες. Οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας ποικίλλουν σημαντικά σε κάθε μια από τις εννέα ομάδες. Κάθε μια από αυτές τις πετρολογικές ομάδες παίζει κάποιο ρόλο στον προσδιορισμό της θερμικής αγωγιμότητας και έτσι επηρεάζει το σχεδιασμό του συστήματος υπόγειων εναλλακτών.

### **1.10.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ**

Οι εναλλάκτες θερμότητας κλειστού κυκλώματος μπορούν να σχεδιαστούν σε σειρά ή σε παράλληλη διάταξη ή σε συνδυασμό και των δύο.

Στα συστήματα σε σειρά, το ρευστό μεταφοράς θερμότητας μπορεί να πάρει ένα μονοπάτι μέσα στο κύκλωμα, ενώ στα συστήματα με παράλληλη διάταξη, το ρευστό μπορεί να πάρει δύο ή περισσότερα μονοπάτια μέσα στο κύκλωμα. Η επιλογή θα επηρεάσει τη λειτουργία, τις απαιτήσεις άντλησης και το κόστος. Τα περισσότερα μεγάλα συστήματα υπόγειων εναλλακτών χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα ροής σε σειρά και σε παράλληλη διάταξη. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διατάξεων συγκεντρώνονται παρακάτω. Σε μεγάλα εμπορικά συστήματα, η πτώση πίεσης και το κόστος άντλησης πρέπει να ληφθούν προσεκτικά υπόψη, αλλιώς θα έχουν πολύ υψηλές τιμές. Οι αγωγοί, των οποίων η ταχύτητα του νερού είναι μεταβλητή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελαττώσουν την ενέργεια άντλησης και το κόστος κατά τη διάρκεια των συνθηκών ημιφόρτωσης (περιορισμένου φορτίου).



Σχήμα 1.22

Οριζόντιο σύστημα σε διάταξη σειράς

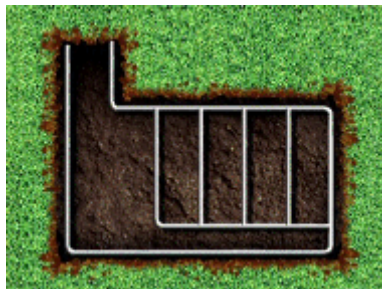
(Πηγή: <http://www.energyhomes.gr/GRECCE/geo-closed-types.htm>)

Πλεονεκτήματα του συστήματος σε σειρά :

1. Ευκολότερη απομάκρυνση του αέρα από το σύστημα
2. Ελαφρώς υψηλότερη θερμική απόδοση ανά μήκος του σωλήνα, επειδή απαιτείται μεγαλύτερη διάμετρος σωλήνα στα συστήματα σε σειρά
3. Ενιαίο μέγεθος σωλήνα
4. Μια δίοδο παροχής

Μειονεκτήματα του συστήματος σε σειρά:

1. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του ρευστού του σωλήνα σε σειρά, τόσο περισσότερος όγκος αντιψυκτικού υλικού απαιτείται
2. Παρατηρείται υψηλότερο κόστος σωλήνων ανά μονάδα λειτουργίας και αυξημένο κόστος εργασιών για την εγκατάσταση
3. Η χωρητικότητα των σωλήνων είναι περιορισμένη, εξαιτίας της πτώσης πίεσης του ρευστού



Σχήμα 1.23

Οριζόντιο σύστημα σε παράλληλη διάταξη

(Πηγή: <http://www.energyhomes.gr/GRECCE/geo-closed-types.htm>)

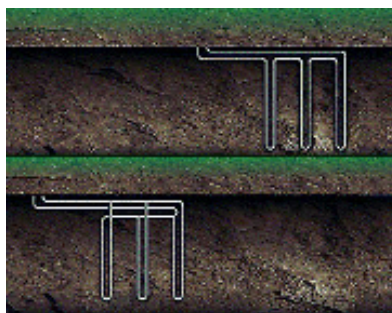
Πλεονεκτήματα του συστήματος παράλληλης διάταξης :

1. Μικρότερη διάμετρος σωλήνων αντιστοιχεί σε χαμηλότερο κόστος μονάδας
2. Μικρότερος όγκος απαιτεί λιγότερο αντιψυκτικό υλικό

### Μειονεκτήματα του συστήματος παράλληλης διάταξης:

1. Απαιτείται ειδική προσοχή για την εξασφάλιση της μεταφοράς αέρα και της ροής, που ισορροπούν μεταξύ κάθε παράλληλου μονοπατιού για να καταλήξουν σε ίσου μήκους κυκλώματα.

Τα κατακόρυφα συστήματα μπορεί να είναι σε διάταξη σειρών ή παράλληλη διάταξη με τα ίδια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όπως και στο οριζόντιο σύστημα.



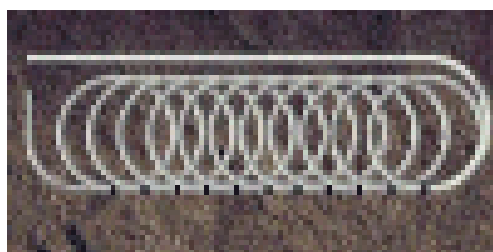
Σχήμα 1.24

Κατακόρυφα συστήματα

(Πηγή: <http://www.energyhomes.gr/GRECCE/geo-closed-types.htm>)

### Σπειροειδές σύστημα:

Αποτελείται από σωλήνες που τυλίγονται σε σπείρες (σπιράλ) και τοποθετούνται σε χαντάκια μέσα στο έδαφος. Το τυπικό σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 0,254 μέτρα το οποίο ισοδυναμεί με 12 μέτρα σωλήνωσης ανά μέτρο χαντακιού.

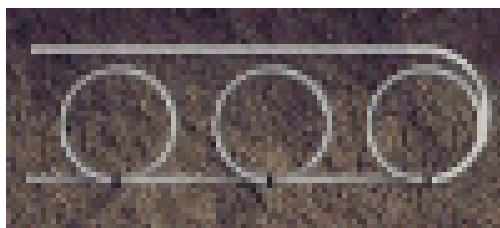


Σχήμα 1.25

Τυπικό σπειροειδές σύστημα

(Πηγή: <http://www.energyhomes.gr/GRECCE/geo-closed-types.htm>)

Το εκτεταμένο σπειροειδές σύστημα τοποθετείται με βήμα 1,42 μέτρα που ισοδυναμεί με 4 μέτρα σωλήνα ανά μέτρο χαντακιού.



Σχήμα 1.26

Εκτεταμένο σπειροειδές σύστημα

(Πηγή: <http://www.energyhomes.gr/GRECCE/geo-closed-types.htm>)

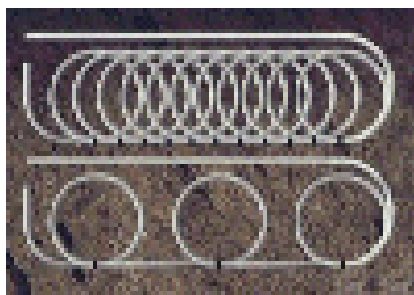
Πλεονεκτήματα:

1. Απαιτείται μικρότερη έκταση γης
2. Απαιτείται λιγότερο σκάψιμο για τη δημιουργία χαντακιών

Μειονεκτήματα:

1. Απαιτείται μεγαλύτερο μήκος σωλήνα

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



Σχήμα 1.27

Τυπικό σπειροειδές & εκτεταμένο σπειροειδές σύστημα  
(Πηγή: <http://www.energyhomes.gr/GRECCE/geo-closed-types.htm>)



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

## ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ GROUNDHIT

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ GROUNDHIT

Το πρόγραμμα GROUNDHIT είναι ένα ενδιαφέρον ερευνητικό και εφαρμοσμένο πρόγραμμα στο οποίο μετέχουν πολλοί φορείς (Ελληνικοί και Ευρωπαϊκοί) και χρηματοδοτούνται από την Ε.Ε. Έχει κύριο σκοπό να ερευνήσει και να εφαρμόσει τις αντλίες θερμότητας υπό διάφορες συνθήκες και να βελτιώσει την απόδοσή τους. Οι συνεργαζόμενοι φορείς κατά τη διάρκεια του προγράμματος αυτού, είναι οι παρακάτω:

1. Centre for Renewable Energy Sources (CRES) – Greece: *project coordinator*
  2. Compagnie Industrielle d'Applications Thermiques (CIAT) - France
  3. EWS Erdwärme-Systemtechnik GmbH & Co. KG (EWS) - Germany
  4. Geothermische Vereinigung e.V. (GtV) - Germany
  5. GEOTEAM GmbH. Consultants for Hydrogeology, Geothermics and Environment (GEOTEAM) – Austria
  6. Escola Superior de Tecnologia de Setubal (ESTS) – Portugal
  7. MENTOR Investment Consultants SA (MENTOR) – Greece
  8. Chemical Process Engineering Research Institute (CPERI) – Greece
  9. University of Oradea (UOR) Romania,
  10. University of Silesia (USI) – Poland
- and
11. BRGM (BRGM) – France

Οι κυριότεροι υποεργολάβοι στο GROUNDHIT project είναι:

1. GEOWATT GmbH – Switzerland (Subcontractor to CRES)
2. GEOEREVNA S.A. – Greece (Subcontractor to MENTOR and CRES)
3. ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI Department Of Geology (Subcontractor of participant No 8)

### 2.1.2 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥ Γ/Θ ΠΕΔΙΟΥ Ν.ΡΥΣΙΟΥ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ

Το 2002 η ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ, έχοντας αναδειχθεί πλειοδότης του σχετικού διαγωνισμού, υπέγραψε σύμβαση με την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας για την εκμίσθωση και εκμετάλλευση του Γ/Θ πεδίου Ν.Ρυσίου, συνολικής έκτασης 7.900 στρεμμάτων.

Το έργο προέβλεπε την κατασκευή δύο Γ/Θ γεωτρήσεων βάθους 650-700 μ. και εφόσον τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά, αυτό θα οδηγούσε στη δημιουργία μονάδας λουτροθεραπείας.

Ήδη η πρώτη γεώτρηση NR-1 που υλοποιήθηκε σε βάθος 660 μ. έδωσε θερμοκρασίες της τάξης των 35-39°C, ενώ η δεύτερη NR-2 έδωσε σε μικρότερο βάθος 420 m 32°C στον πυθμένα της γεώτρησης, και 29,4°C στην κεφαλή κατά τη διάρκεια των αντλήσεων. Στη δεύτερη γεώτρηση NR-2, τοποθετήθηκε αντλία με παροχή 4 m<sup>3</sup>/h και 29°C νερό, που θα τροφοδοτεί αντλία θερμότητας της CIAT η οποία θα αντικαταστήσει την υπάρχουσα του άλλου προγράμματος (GHPTRANS). Επίσης θα τοποθετηθεί και τηλεφωνική γραμμή ADSL για μετρήσεις και συνεχή αυτοματοποιημένη λειτουργία.



Εικόνα 2.1:

Κατασκευή Γ/Θ γεώτρησης στο Γ/Θ πεδίο Ν.Ρυσίου.

Το έργο έχει προϋπολογισμό 1,2 εκ. ευρώ, είναι αυτο-χρηματοδοτούμενο και αναμένεται η ένταξή του στο ΕΠΑΝ.

### **2.1.2 GHPTRANS Project**

Το GHPTRANS Project αποτελεί ένα πρόγραμμα ανταλλαγής τεχνογνωσίας της Ελλάδας με τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, σε θέματα που αφορούν τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Οι φορείς που συμμετέχουν σε αυτό είναι το Κ.Α.Π.Ε. ως συντονιστής του έργου, η ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ ως ιδιοκτήτης των μονάδων, το Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Πολυτεχνείου του OREGON με υπεύθυνους τους καθηγητές J. LUND και J. GEYER και τους συνεργάτες τους. Ο προϋπολογισμός του έργου ανήλθε στα 85.000 €, από τα οποία τα 60.000 € είναι η χρηματοδότηση. Η διάρκεια του προγράμματος ήταν 24 μήνες από 1/5/04 έως 30/4/06, αν και αυτό το διάστημα τελικά παρατάθηκε λόγω περαιτέρω εργασιών μέχρι τις 30-5-2007. Η ελληνική χρηματοδότηση έγινε από τη ΓΓΕΤ του Υπουργείου Ανάπτυξης.

Το πρόγραμμα είχε κατά βάση τέσσερις κύριους στόχους:

**Στόχος 1:** Τη δημιουργία οριζόντιου εναλλάκτη θερμότητας εδάφους, έχοντας ως στόχο την έρευνα στο πεδίο των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Η υλοποίηση αυτού του στόχου βασίζεται στα εξής:

- Σε μία (24 kW) ή δύο (2 x 12 kW) θέσεις, με όλους τους συμμετέχοντες (Ιδιοκτησία ΓΕΩΡΕΥΝΑ)
- Στη μελέτη – σχεδιασμό που έγιναν από: το ΚΑΠΕ και τη GEYER
- Σε κατασκευή που βασίζεται σε : εναλλάκτη θερμότητας εδάφους (εκσκαφή, τοποθέτηση σωλήνων, συνδέσεις, επικάλυψη με έδαφος), σε μονάδα ηλεκτρικής υδρόψυκτης αντλίας θερμότητας (προμήθεια, εγκατάσταση), σε σύστημα θέρμανσης-ψύξης (προμήθεια, εγκατάσταση, κατασκευή), σε σύστημα μετρήσεων και αυτοματισμών (αισθητήρες, εξοπλισμός Η/Υ και προγραμματισμός): φορείς είναι το ΚΑΠΕ και η ΓΕΩΡΕΥΝΑ
- Σε πειραματική λειτουργία για θέρμανση που βασίζεται: στην παρακολούθηση-καταγραφή του συντελεστή απόδοσης (COP) και της θερμικής αλληλεπίδρασης με το έδαφος για διαφορετικές παραμέτρους (α) του εναλλάκτη θερμότητας εδάφους και (β) λειτουργίας: φορείς είναι το ΚΑΠΕ και η ΓΕΩΡΕΥΝΑ
- Σε πειραματική λειτουργία για ψύξη που βασίζεται: στην παρακολούθηση-καταγραφή του συντελεστή απόδοσης (COP) και της θερμικής αλληλεπίδρασης με το έδαφος για διαφορετικές παραμέτρους (α) του εναλλάκτη θερμότητας εδάφους και (β) λειτουργίας: φορείς είναι το ΚΑΠΕ και η ΓΕΩΡΕΥΝΑ.

**Στόχος 2:** Τη δημιουργία τοπικής βάσης γνωστικού αντικείμενου και δεσμών με τις Η.Π.Α. Η υλοποίηση αυτού του στόχου βασίζεται στα εξής:

- Στην ανασκόπηση της εμπειρίας των ΗΠΑ: φορείς οι ΟΙΤ και GEYER
- Στην αποτίμηση της Ελληνικής βιομηχανίας κλιματισμού: φορέας το ΚΑΠΕ
- Στην μεθοδολογία των ΗΠΑ: φορείς οι ΟΙΤ και GEYER
- Στην προετοιμασία στρατηγικού σχεδίου τεχνολογίας για κυριαρχία στην αγορά: φορείς GEYER και ΚΑΠΕ
- Στη δημιουργία τοπικού σημείου έρευνας: φορέας το ΚΑΠΕ
- Στη δημιουργία ομάδων επαγγελματιών: φορέας το ΚΑΠΕ
- Στην ίδρυση δεσμών μεταξύ ΗΠΑ και Ελλάδας: φορείς CRES και ΟΙΤ.

**Στόχος 3:** Τη βελτιστοποίηση των εναλλακτών θερμότητας του εδάφους. Η υλοποίηση αυτού του στόχου βασίζεται στα εξής:

- Στη χρήση πακέτων λογισμικού των ΗΠΑ για μελέτη-σχεδιασμό εναλλακτών θερμότητας εδάφους εισάγοντας τοπικές γεωλογικές, κλιματολογικές, σωληνώσεων και οικονομικές παραμέτρους: φορείς οι ΟΙΤ και GEYER
- Στην προετοιμασία έκθεσης:φορείς οι ΟΙΤ και GEYER.

**Στόχος 4:** Τη μεταφορά της τεχνολογίας μέσω διάδοσης των αποτελεσμάτων της έρευνας και της εμπειρίας των Η.Π.Α. Η υλοποίηση αυτού του στόχου βασίζεται στα εξής:

- Στην προετοιμασία επιστημονικού άρθρου και παρουσίασης συνοψίζοντας τα αποτελέσματα του ερευνητικού έργου: φορείς ΚΑΠΕ, ΟΙΤ και GEYER
- Στην προετοιμασία επιστημονικού άρθρου και παρουσίασης συνοψίζοντας την εμπειρία των ΗΠΑ: φορείς ΟΙΤ και GEYER
- Στον προσδιορισμό των ομάδων στις οποίες θα στοχεύει η διάδοση: φορείς ΚΑΠΕ και ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ
- Στην δημοσίευση στις σελίδες INTERNET του ΚΑΠΕ: φορέας ΚΑΠΕ
- Σε δημοσιεύσεις σε περιοδικά επαγγελματικών ενώσεων ή στον τεχνικό-επιστημονικό τύπο της Ελλάδας: φορείς ΚΑΠΕ και ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ
- Σε παρουσιάσεις σε σημαντικά επαγγελματικά συνέδρια-εκδηλώσεις στην Ελλάδα. Φορείς ΚΑΠΕ, GEYER και ΟΙΤ
- Σε δημοσιεύσεις σε μία ή δύο σημαντικές επαγγελματικές εκδηλώσεις στις ΗΠΑ. Φορείς ΚΑΠΕ, ΟΙΤ και GEYER.

Το Project αφορά την Έρευνα και βελτιστοποίηση των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας με οριζόντιο εναλλάκτη θερμότητας εδάφους. Θα δημιουργηθεί τοπική βάση γνωστικού αντικείμενου και δεσμών με τις Η.Π.Α., καθώς και μεταφορά τεχνολογίας μέσω διάδοσης των αποτελεσμάτων της έρευνας και της εμπειρίας των Η.Π.Α.

Συμμετέχουν όπως προαναφέρθηκε οι παρακάτω:

- ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ Ο.Ε. – Ιδιοκτήτης Μονάδων – Φορέας υλοποίησης έργου.
- Κ.Α.Π.Ε. (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) – ως συντονιστής.
- OREGON INSTITUTE OF TECHNOLOGY
- JOHN GEYER & ASSOCIATES INC.

Το έργο είναι επιδοτούμενο κατά 40% από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας & Τεχνολογίας και έχει συνολικό προϋπολογισμό 85.000,00 ευρώ.

### **2.1.3 GROUNDHIT Project**

Σκοπός του Project είναι η κατασκευή πρωτότυπων αντλιών θερμότητας, που είναι σε θέση να εφοδιάζουν τους χρήστες με νερό μέχρι 80°C, καθώς και αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιώντας νερό θερμοκρασίας 20-40°C να δίνουν συντελεστή απόδοσης μέχρι και COP 1:7.

Συμμετέχουν λοιπόν όπως προαναφέρθηκε οι: 1). Κ.Α.Π.Ε., 2). Γαλλική Εταιρία CIAT, 3). Γερμανική Εταιρία KG (EWS), 4). Γερμανική Εταιρία Geothermische Vereinigung e.V., 5). GEOTEAM GmbH Austria, 6). Escola Superior

de Technologia de Setubal – Portugal, 7. ΜΕΝΤΩΡ Α.Ε., 8). Πανεπιστήμιο Oradea (Ρουμανία), 9). Γαλλική Εταιρία BRGM, 10). ΕΚΕΤΑ Θεσ/νίκη, Chemical Process Engineering Research Institute (CPERI) of Greece και σαν υποεργολάβος-συνεργάτης, το τμήμα Γεωλογίας του Α.Π.Θ. .

Η ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ συμμετείχε σαν υποεργολάβος της ΜΕΝΤΩΡ και έτσι κατασκεύασε δύο Γ/Θ γεώτρησεις, βάθους 650 μ. και 420μ. αντίστοιχα, καθώς και τα δίκτυα διανομής, σε ιδιόκτητη έκταση.

Το Project έχει συνολικό προϋπολογισμό 3.586.070,00 € και είναι επιδοτούμενο κατά 1.677.182,00 € από την Ευρωπαϊκή Ένωση (46,77%).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

## ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

### ΜΕΛΕΤΗΣ – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

#### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευρύτερη περιοχή του Νέου Ρυσίου βρίσκεται στη Λεκάνη του Ανθεμούντα (επίμηκες συνολικό βύθισμα), στα Μειοκαινικά ιζήματα της οποίας και σε βάθη 400-1000 m, αναμένεται η ύπαρξη θερμών υδροφόρων με θερμοκρασίες τουλάχιστον μέχρι 55 °C, και οι οποίοι μπορούν να δώσουν παροχή ζεστού νερού της τάξεως των 75 m<sup>3</sup>/h ανά γεώτρηση, όπως έδειξε η πρόσφατη γεωλογική και γεωτρητική έρευνα του Ι.Γ.Μ.Ε. στη θέση Άγιος Κωνσταντίνος Νέου Ρυσίου. Κοντά στη θέση αυτή, κατασκευάστηκε μια άλλη ερευνητική-παραγωγική γεωθερμική γεώτρηση με τελικό βάθος 650 m, που ως σκοπό της είχε τη διερεύνηση και αξιολόγηση των γεωθερμικών συνθηκών και τελικό στόχο την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας με εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας, εάν λάβουμε υπ' όψη ότι κοντά στη γεώτρηση βρίσκεται το κλειστό γυμναστήριο του Νέου Ρυσίου (Δήμου Θέρμης). Η γεώτρηση αυτή εντάχθηκε στο πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης γνωστό ως "GROUNDHIT" που έχει ως κύριο στόχο την κατασκευή: 1) πρωτότυπων αντλιών θερμότητας που είναι σε θέση να εφοδιάζουν τους χρήστες με νερό έως 80 °C καθώς και 2) αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν νερό 20-40 °C ώστε να δίνουν συντελεστή απόδοσης  $COP = \text{Επιθυμητή έξοδος} / \text{Απαιτούμενη είσοδος} = \text{Θερμό αποτέλεσμα} / \text{Έργο εισόδου} = Q_H / W_{net} = 7$ . Το πρόγραμμα της γεώτρησης στο Νέο Ρύσιο υλοποιήθηκε από τη συνεργασία της εταιρείας "MENTOR", με την εταιρία «Γεώρευνα Ο.Ε.» και σχεδιάστηκε σε συνεργασία μεταξύ των παραπάνω φορέων, το Κ.Α.Π.Ε., του Ε.Κ.Ε.Τ.Α. και του Α.Π.Θ., που ανέλαβε την επιστημονική επίβλεψη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της.





### 3.3 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ - ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη του Ανθεμούντα οριοθετείται από τον υδροκρίτη του ομώνυμου ποταμού. Έχει σχήμα ισοσκελούς τριγώνου με βάση την ακτή του Θερμαϊκού Κόλπου και κορυφή το χωριό Βάβδος (Σωτηριάδης, 1974). Ο ποταμός Ανθεμούντας λειτουργεί ως εποχιακός χείμαρρος και είναι συλλέκτης ομβρίων υδάτων και εκβάλλει στη θάλασσα του Θερμαϊκού.

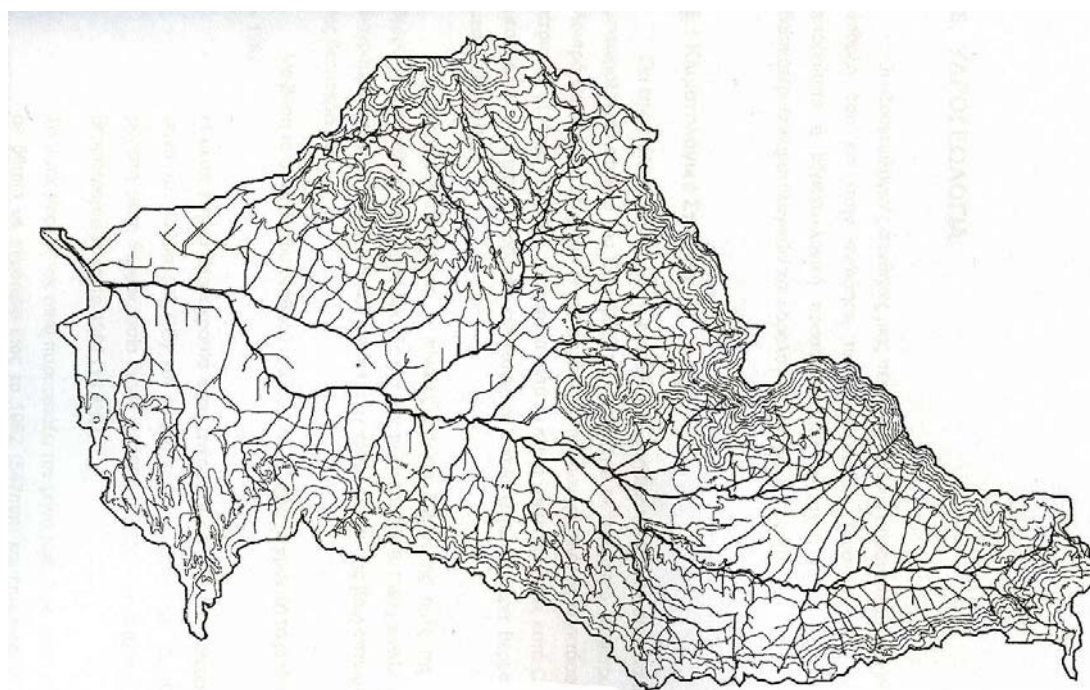
#### Μορφολογικοί παράγοντες

Η συνολική έκταση των 428 Km<sup>2</sup> κατανέμεται ως εξής:

| ΥΨΟΣ (m)   | % ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ     |
|------------|--------------|-------------------|
| 0 - 200    | 46,38        | Πεδινή περιοχή    |
| 200 – 600  | 42,70        | Λοφώδης περιοχή   |
| 600 – 1200 | 10,92        | Ημιορεινή περιοχή |

Η λεκάνη γενικά μπορεί να χαρακτηρίζεται ως πεδινή–λοφώδης δεδομένου ότι το 46,38% της επιφάνειάς της βρίσκεται σε ζώνη υψομέτρων 0 – 200m. Υψόμετρα μεγαλύτερα των 600m παρατηρούνται μόνο στη βόρεια πλευρά.

Ο δείκτης ανάγλυφου είναι 0,12 (ενδεικτικός της έντασης της διάβρωσης).



Υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης Ανθεμούντα

Χάρτης 3.2



### 3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το νοτιοδυτικό τμήμα της λεκάνης του Ανθεμούντα ανήκει στη Ζώνη Αξιού και συγκεκριμένα στην υποζώνη Παιονίας και το βορειοανατολικό τμήμα ανήκει στην Περιοδοπική Ζώνη και συγκεκριμένα στην ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη.

Ειδικότερα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή είναι προ-τριτογενείς και μετα-τριτογενείς. Οι προ-τριτογενείς κατέχουν τα πρηνή και το υπόβαθρο της λεκάνης ενώ οι μετα-τριτογενείς (νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις) καλύπτουν κυρίως το πεδινό τμήμα, καθώς και τη νότια και τη βόρεια πτέρυγα της λεκάνης

Το υπόβαθρο συναντάται στα βόρεια και ανατολικά πρηνή της λεκάνης και σε μικρό βαθμό στα νότια. Το υπόβαθρο περιλαμβάνει πυριγενή (όξινα έως βασικά, γρανίτες → **Άγιος Αντώνιος**, γάββροι, περιδοίτες δουνίτες → **βόρεια**) και ημιμεταμορφωμένα-μεταμορφωμένα πετρώματα (φυλλίτες, γνεύσιοι) με έντονη σχιστότητα. Βόρεια και ανατολικά τα στρώματα παρουσιάζουν **B-A** κλίση (30-45°) ενώ κάποιες φορές μέσα σε φυλλίτες και γνεύσιους συναντώνται και μάρμαρα με κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους στα ψηλότερα σημεία της λεκάνης.

Οι νεογενείς-τεταρτογενείς αποθέσεις που αποτελούν και τον πιο σημαντικό σχηματισμό της εξεταζόμενης περιοχής αποτελούνται από χαλαρά κλαστικά ιζήματα, προϊόντα ποικίλων αποθετικών παλαιοπεριβαλλόντων, (χερσοποτάμιας, ποταμο-δελταϊκής, λιμνο-δελταϊκής, λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις) που σχηματίστηκαν κατά την ταφρογένεση στο χώρο του Βόρειου Αιγαίου (Lachelos & Savoyat 1979, Lachelos 1986, Ψιλοβίκος κ.ά., 1988).

Οι **νεογενείς σχηματισμοί** με βάση το διαχωρισμό από τα παλαιότερα στα νεότερα διακρίνονται ως εξής:

**Φάση κροκαλών με άμμους → Σχηματισμός Αντωνίου**, που συναντάται στις περιοχές Αγίας Παρασκευής, Σουρωτής και Αγίου Αντωνίου. Περιλαμβάνει κροκαλοπαγή βάσης με φακούς άμμου και αργίλου. Αποτέθηκε το Μειόκαινο, πάνω στο υπόβαθρο σε χερσαίο περιβάλλον.

➤ **Σχηματισμός Τριλόφου**. Πρόκειται για καλά διαβαθμισμένα λεπτοστρωματώδη και απολιθωματοφόρα ιζήματα που αποτέθηκαν σε υφάλμυρο ή θαλάσσιο περιβάλλον και περιλαμβάνουν άμμους, ψαμμίτες και πράσινες αργίλους. Η ηλικία τους είναι πλειοκαινική, ενώ χαρακτηρίζονται από παρεμβολές εκτεταμένων οριζόντων από παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους ως και ασβεστολίθους με την μορφή τόφφων.

➤ **Σχηματισμός Γωνιάς**. Αποτελείται από ποταμοχειμάρρια και λιμναία ιζήματα με φακούς και στρώματα άμμου, ιλύος, ψαμμιτών, μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και ερυθροστρωμάτων. Το συνολικό πάχος των ιζημάτων

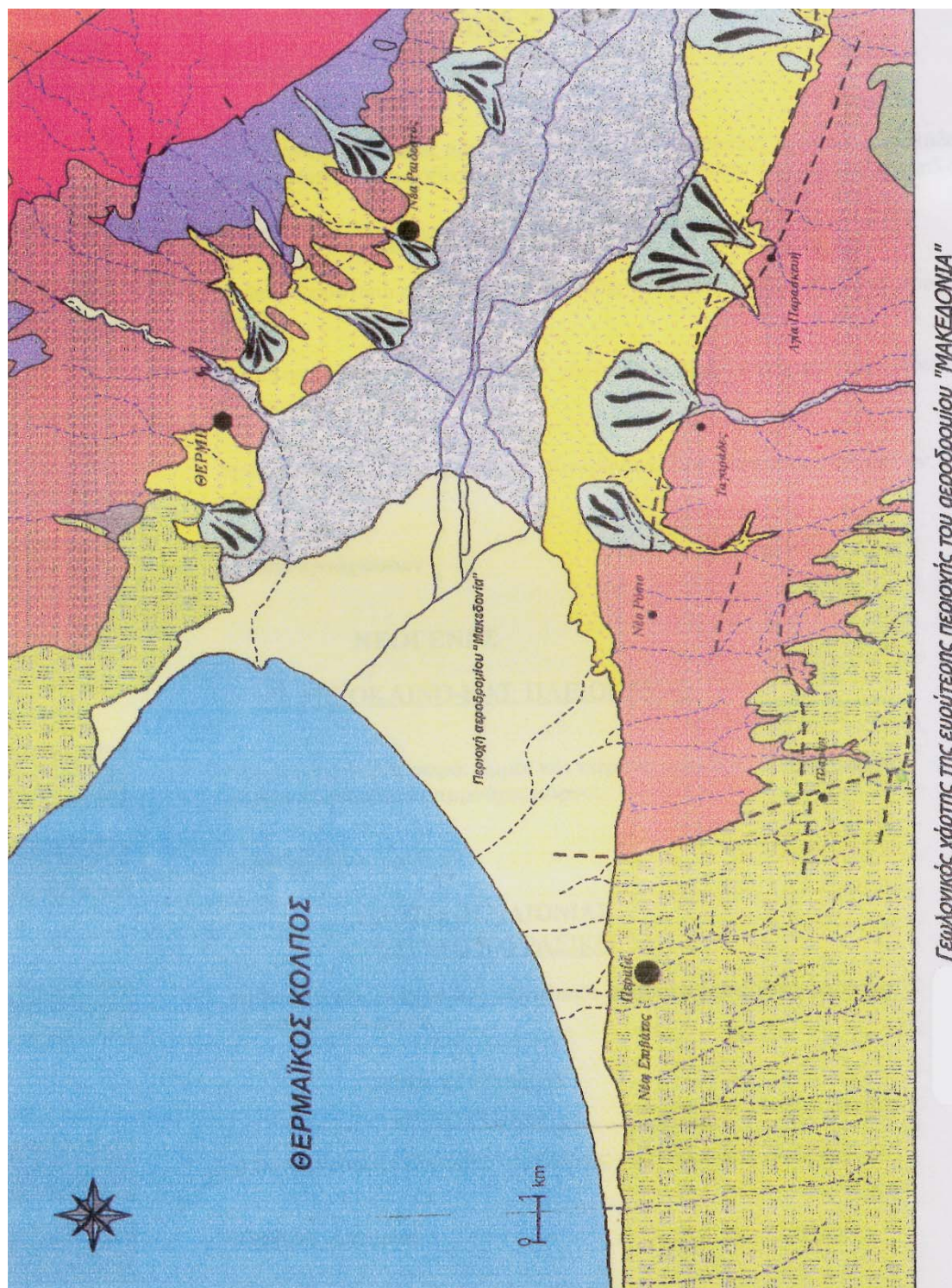
εκτιμάται σε 100-150m, ενώ η ηλικία τους τοποθετείται στο Ρουσίνιο (Κάτω-Μέσο Πλειόκαινο).

- **Σχηματισμός Μουδανιών.** Αποτελείται από ερυθροστρώματα του Βιλλαφραγκίου (Ανώτερο Πλειόκαινο).

Οι **αποθέσεις του Τεταρτογενούς** αποτελούνται από ερυθροπηλούς, άμμους, κροκαλοπαγή και λατυποπαγή, κάνουν την εμφάνισή τους στο πεδινό τμήμα της λεκάνης και σε μέρη των κλιτύων, και έχουν τη μορφή αλλούβιων σχηματισμών, κώνων χειμάρρων και πλευρικών κορρημάτων. Οι **ερυθροπηλοί** εντοπίζονται στα τοπογραφικά υψηλότερα σημεία, στα πρηνή της λεκάνης και μέχρι το υψόμετρο των 300m. Εμφανίζονται στην περιοχή της Θέρμης νοτιοανατολικά του Τριαδίου και νότια της Περιστεράς. Στο χώρο μεταξύ Θέρμης και Πανοράματος διακρίνεται η επαφή των ερυθροπηλών με στρώματα άμμου και χαλικιών ποταμοχειμάρρειας φάσης. Οι **κώνοι χειμάρρων** συναντώνται στις εξόδους των χειμάρρων της λεκάνης και καταλαμβάνουν αρκετά σημαντική έκταση. Εκτείνονται σε υψόμετρο από 80 έως 100m. Ο μεγαλύτερος σε διαστάσεις κώνος βρίσκεται στην Περιστερά, Βόρεια των Βασιλικών. Επίσης, κατά μήκος του ποταμού Ανθεμούντα και των κυριότερων χειμάρρων αναπτύσσονται αναβαθμίδες με άμμους, χάλικες, κροκάλες και ερυθροπηλούς.

Τέλος, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στις περιοχές Αγίασμα Αγίας Παρασκευής και Βοσκίνα Σουρωτής εντοπίζονται τοπικά ορίζοντες ασβεστολιθικού τόφφου (τραβερίνες) που περικλείουν στη μάζα τους υπολείμματα φυτικών οργανισμών. Συνδέονται με τη λειτουργία θερμών-υπόθερμων πηγών, μερικές από τις οποίες είναι ενεργές.

Οι **σύγχρονες προσχώσεις** που εμφανίζονται στην περιοχή είναι χερσαίας προέλευσης και αποτελούνται κυρίως από αργιλικά υλικά και άμμους, αναμεμειγμένα με κροκάλες, λατύπες και ψηφίδες. Εντοπίζονται κατά βάση στα μορφολογικά χαμηλότερα σημεία της λεκάνης. Το πάχος τους κυμαίνεται από λίγα μέτρα έως και 50 m.



Χάρτης 3.3

(Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., επεξεργασία Παπαχρήστου Μαρία)

### 3.5 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λεκάνη του Ανθεμούντα είναι ένα επίμηκες τεκτονικό βύθισμα με διεύθυνση ανάπτυξης Α-Δ. Δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια των τεκτονικών διεργασιών που έλαβαν χώρα κυρίως στο Ολιγόκαινο και επηρέασαν την ευρύτερη λεκάνη της Θεσσαλονίκης. Τα σημερινά της χαρακτηριστικά διαμορφώθηκαν από τα τοπικής κλίμακας τεκτονικά γεγονότα στο τέλος του Νεογενούς-αρχές Τεταρτογενούς, τα οποία την κατέστησαν μερικώς ανεξάρτητη από τη λεκάνη της Θεσσαλονίκης.

Οι εφελκυστικές τάσεις που επικράτησαν την περίοδο εκείνη στην περιοχή, οδήγησαν στη δημιουργία ενεργών κανονικών ρηγμάτων ΑΝΑ-ΔΒΔ διεύθυνσης, πάνω στα οποία εντοπίζονται αρκετές θερμομεταλλικές πηγές (Θέρμης, Σουρωτής, Αγίας Παρασκευής).

Ακολούθησε η πλήρωση της λεκάνης με πλειοκαινικά ιζήματα, ενώ η τελική της μορφολογία διαμορφώθηκε από τη δράση των Α-Δ και Β-Ν ρηγμάτων. Τα ιζήματα αυτά καλύφθηκαν στη συνέχεια από τις νεότερες αλλουβιακές αποθέσεις.

Στο νότιο τμήμα της λεκάνης εκτείνεται ένα μεγάλο ρήγμα Α-Δ διεύθυνσης, το οποίο διέρχεται από τους οικισμούς Γαλαρινού, Σουρωτής, Αγίας Παρασκευής, Ν. Ρυσίου, Περαιάς και Αγίας Τριάδος. Το συγκεκριμένο ρήγμα βύθισε το βόρειο προς αυτό τμήμα και οδήγησε στην ανάπτυξη του ποταμού Ανθεμούντα. Πάνω στο ρήγμα αυτό εντοπίζονται οι πηγές της Αγίας Παρασκευής και της Σουρωτής.

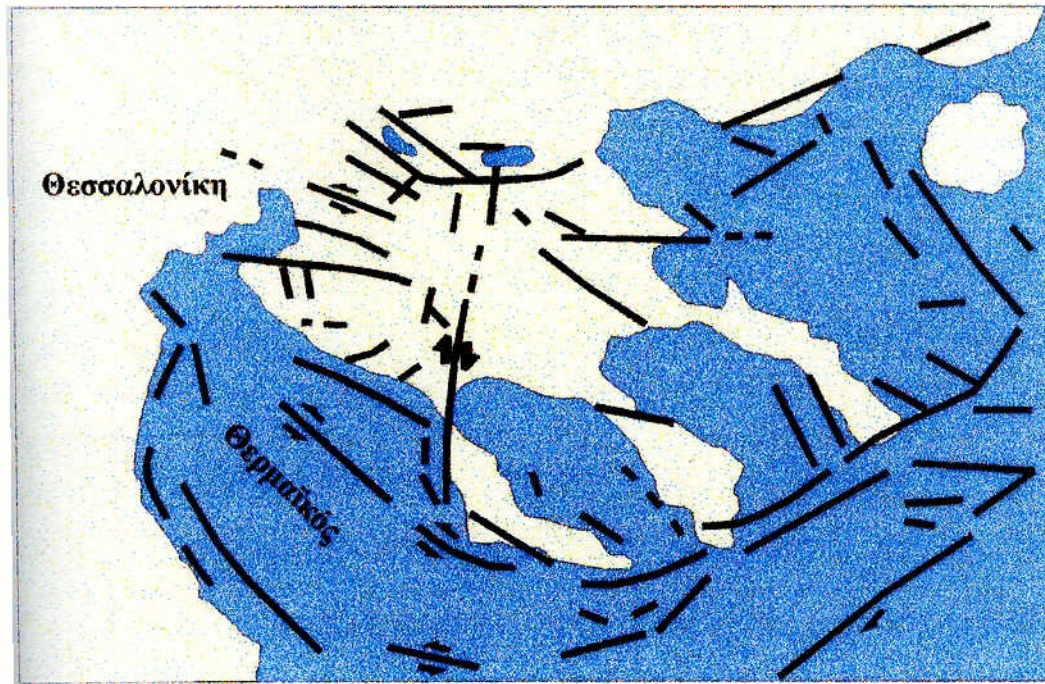
Στη βόρεια πλευρά της λεκάνης δεν διακρίνονται επιφανειακά μεγάλα ρήγματα ή μεταπτώσεις. Παρόλα αυτά, λεπτομερής παρατήρηση και ερμηνεία των μορφολογικών στοιχείων της περιοχής δείχνουν ότι και αυτό το τμήμα έχει υποστεί τεκτονική καταπόνηση, η οποία αποδεικνύεται τόσο από την ύπαρξη των θερμών πηγών της Θέρμης όσο και από την παρουσία μικρότερων διαρρήξεων.

Όπως είναι γνωστό, μετά το τέλος του Πλειοκαίνου η λεκάνη του Ανθεμούντα εξελίχθηκε ανεξάρτητα από την πεδιάδα της Θεσσαλονίκης. Στις αρχές του Πλειστοκαίνου κάποια τμήματά της υπέστησαν κατακόρυφες ανοδικές κινήσεις, οι οποίες επηρέασαν τις νεογενείς αποθέσεις, με αποτέλεσμα σήμερα να εμφανίζονται σε διαφορετικά υψόμετρα. Το φαινόμενο αυτό επιβεβαιώνεται και από την παρουσία αναβαθμίδων.

Οι κατακόρυφες κινήσεις μετέβαλαν το μορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής και συνέβαλαν στη δημιουργία λόφων και κοιλάδων και στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου. Τα φαινόμενα διάβρωσης και αποσάθρωσης εντατικοποιήθηκαν με τη βοήθεια του ευνοϊκού κλίματος, ενώ τα υλικά τους μεταφέρθηκαν με τη δράση του νερού από τα πρηνή της λεκάνης προς τα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία όπου αποτέθηκαν είτε ως χονδρόκοκκο (κροκάλες, ψηφίδες) είτε ως λεπτομερές υλικό (ιλύς, άργιλος, άμμος). Με τον τρόπο αυτόν



σχηματίστηκαν κώνοι αποθέσεων λατυπο-κροκαλοπαγών και λεπτόκοκκου υλικού, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως ριπιδοειδείς σχηματισμοί και θεωρούνται πως αποτελούν τις τελευταίες αποθέσεις της λεκάνης.



Τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής (Μουντράκης κ.α. 1992)

Χάρτης 3.4  
(Πηγή Μουντράκης, 1992)

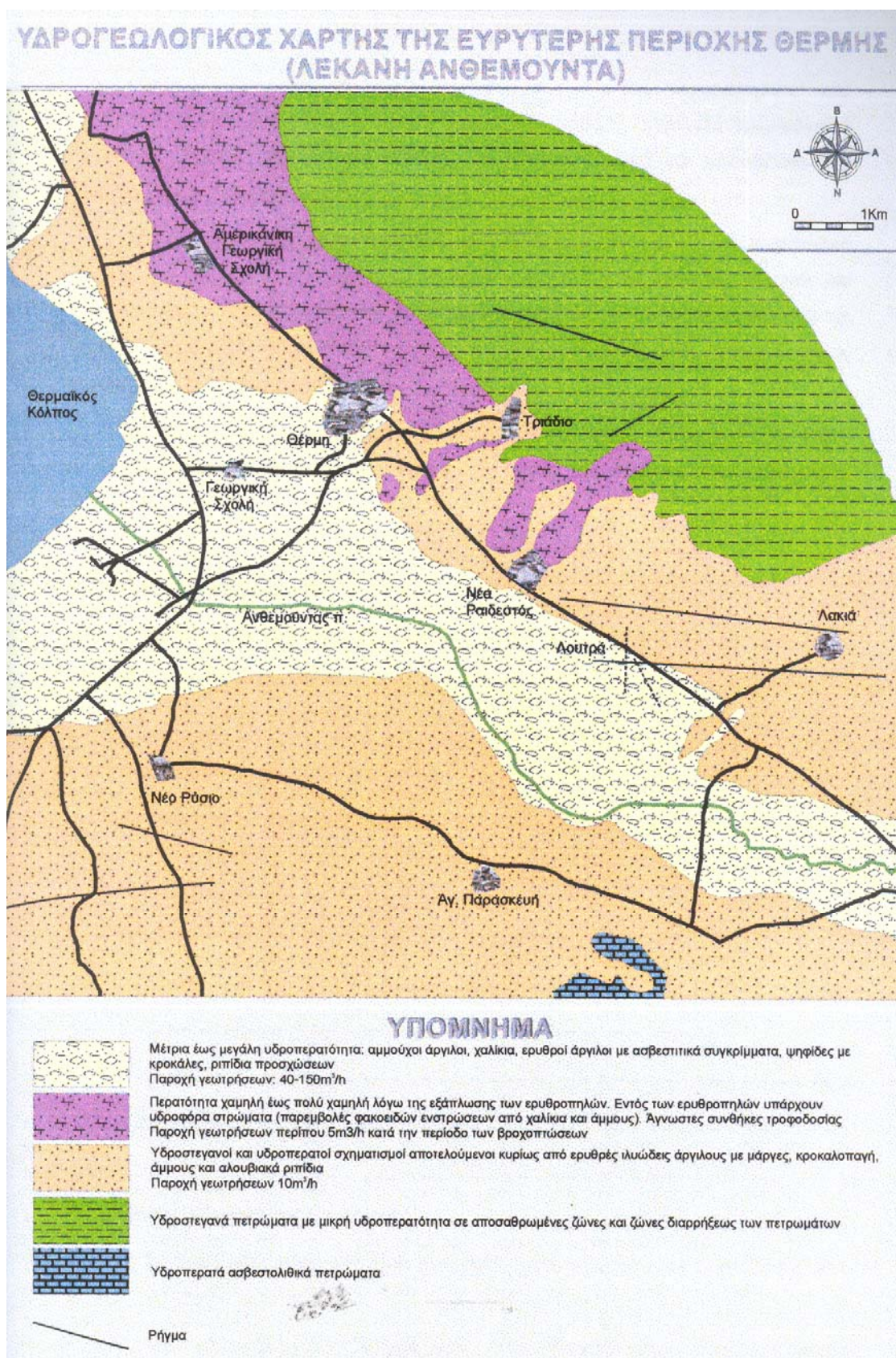
### 3.6 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης αναπτύσσονται γεωλογικοί σχηματισμοί με διαφορετικό υδρολιθολογικό χαρακτήρα.

- **Τεταρτογενείς αποθέσεις:** Εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης και εκτείνονται εκατέρωθεν του ποταμού Ανθεμούνα. Έχουν πάχος 50m και αποτελούνται από ερυθρές και αμμούχες αργίλους, χάλικες, κροκάλες και ριπιδοειδείς προσχώσεις. Παρουσιάζουν το κύριο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, ενώ οι γεωτρήσεις που υπάρχουν στις περιοχές των σχηματισμών αυτών έχουν παροχές της τάξης των 80-140 m<sup>3</sup>/h. Οι υδροφορίες αυτές δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον, αφού οι θερμοκρασίες τους δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές.
- **Νεογενείς αποθέσεις:** Καταλαμβάνουν το βόρειο και νότιο τμήμα της λεκάνης και αποτελούνται από στρώματα ερυθροπηλών, ψαμμιτών, άμμων, μαργών, μαργαϊκών ασβεστόλιθων, σε εναλλαγές (Κ. Πλειόκαινο – Α. Μειόκαινο). Οι μειοκαινικοί σχηματισμοί με κροκαλοπαγή και φακούς άμμου και τραβερτινών αναμένεται να έχουν μεγάλη υδροφορία και παρουσιάζουν το κύριο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Οι γεωτρήσεις που έγιναν σε ερυθροπηλούς σε βάθη μέχρι 240m έδειξαν φτωχή υδροφορία. Αντίθετα οι γεωτρήσεις που έφτασαν σε μεγαλύτερα βάθη, κοντά στον κροκαλοπαγή σχηματισμό, συνάντησαν αρτεσιανισμό, καλές υδροφορίες και υψηλές θερμοκρασίες της τάξης των 45-50 °C.
- **Μεταμορφωμένο υπόβαθρο:** Πρόκειται για γάββρους, περιδοίτες και σχιστόλιθους που αποτελούν σχετικά στεγανούς σχηματισμούς με μικρό πρωτογενές πορώδες, και μάρμαρα. Η υδροφορία παρατηρείται μόνο κατά μήκος των ζωνών διάρρηξης ή αποσάθρωσης και για το λόγο αυτό παρουσιάζουν μόνο τοπικό υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

Μικρή έως μέτρια υδροφορία μπορεί να υπάρξει και εντός των ερυθροπηλών που εμφανίζονται ως φακοειδή υδροφόρα στρώματα. Τέτοιες περιοχές εντοπίζονται κοντά στην Αμερικάνικη Γεωργική Σχολή, βόρεια της Θέρμης και νοτιοανατολικά – νοτιοδυτικά της Νέας Ραιδεστού.





Χάρτης 3.5 (Πηγή: Προκαταρκτική μελέτη Αεροδρομίου Μακεδονία, Παπαχρήστου Μαρία)

### 3.7 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η περιοχή της λεκάνης του Ανθεμούντα παρουσιάζει αυξημένο γεωθερμικό ενδιαφέρον, το οποίο αποδεικνύεται τόσο από την ύπαρξη θερμών πηγών, με κυριότερες τις θερμοπηγές της Θέρμης ( $T = 37,5^{\circ}\text{C}$ ) και της Αγίας Παρασκευής ( $T = 26^{\circ}\text{C}$ ) αλλά και από τη θερμοκρασία των υπαρχουσών παραγωγικών (υδρευτικές-αρδευτικές) και ερευνητικών γεωτρήσεων.

Στο δυτικό περιθώριο του βυθίσματος του Ανθεμούντα εντοπίζεται επίσης μικρός αριθμός αναβλύσεων μέσα σε τραβερτινοειδείς αποθέσεις, η θερμοκρασία των οποίων κυμαίνεται από  $21-28^{\circ}\text{C}$ .

Η ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών σε μικρά σχετικά βάθη της λεκάνης του Ανθεμούντα, οφείλεται σε τεκτονικά αίτια. Η ύπαρξη υδροπερατών σχηματισμών που παίζουν το ρόλο των γεωθερμικών ταμιευτήρων, ενεργών ρηγμάτων (ΒΔ-ΝΑ ρήγματα που διασταυρώνονται με σχεδόν κατακόρυφα Β-Ν και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης) καθώς και νεογενών και τεταρτογενών ιζημάτων που λειτουργούν ως το ιδανικό «κάλυμμα» των γεωθερμικών ταμιευτήρων, παρέχει τις κατάλληλες προϋποθέσεις για τη δημιουργία αξιόλογων γεωθερμικών πεδίων.

Τα ενεργά και «ανοικτά» ρήγματα λειτουργούν ως οδοί ανόδου των ρευστών από τα μεγαλύτερα βάθη προς την επιφάνεια. Όταν τα ρευστά καταφέρνουν να φτάσουν στην επιφάνεια, τότε δημιουργούνται οι θερμές πηγές. Στην αντίθετη περίπτωση, εγκλωβίζονται σε μεγαλύτερα βάθη μέσα στο υπέδαφος, μέσα σε κατάλληλους σχηματισμούς (ταμιευτήρες), οπότε η εκμετάλλευσή τους γίνεται με τη βοήθεια γεωτρήσεων.

Στην περιοχή μελέτης έχουν κατά καιρούς διεξαχθεί αρκετές ερευνητικές εργασίες με σκοπό την αναζήτηση στοιχείων για την ύπαρξη γεωθερμικών ρευστών και την εκτίμηση του δυναμικού των επιμέρους γεωθερμικών πεδίων.

Με βάση μια παλιότερη προκαταρκτική έρευνα του Ι.Γ.Μ.Ε. (Τραγανός, 1985), για την αναζήτηση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας στα νότια και νοτιοανατολικά προάστια της Θεσσαλονίκης, κατά τη διάρκεια της οποίας θερμομετρήθηκαν 112 γεωτρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του Ανθεμούντα και κατασκευάστηκαν οι χάρτες ισόθερμων καμπυλών (Σχήματα 2,3 στους Χάρτες 3.6, 3.7) για τα βάθη 100 και 200 m αντίστοιχα. Στα πλαίσια της ίδιας μελέτης κατασκευάστηκαν τρεις ερευνητικές γεωτρήσεις, η Α1-Θ, Α2-Θ, Α3-Ρ. Η θέση των γεωτρήσεων αυτών απεικονίζεται στο χάρτη του σχήματος 4, (Χάρτης 3.8). Ειδικότερα για την Α1-Θ, που βρίσκεται κοντά στην Αμερικανική Γεωργική Σχολή και τη Θέρμη, η γεώτρηση έφτασε στα 401 m και διέτρησε κυρίως ομογενείς αργιλικούς σχηματισμούς μέχρι τα 366 m, οπότε συνάντησε το υπόβαθρο με γάββρους και χαλαζιακές φλέβες. Η θερμοκρασία στο τελικό βάθος ήταν  $28,8^{\circ}\text{C}$ .





Χάρτες 3.6, 3.7 (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε., Τραγανός, 1985)



Χάρτης 3.8

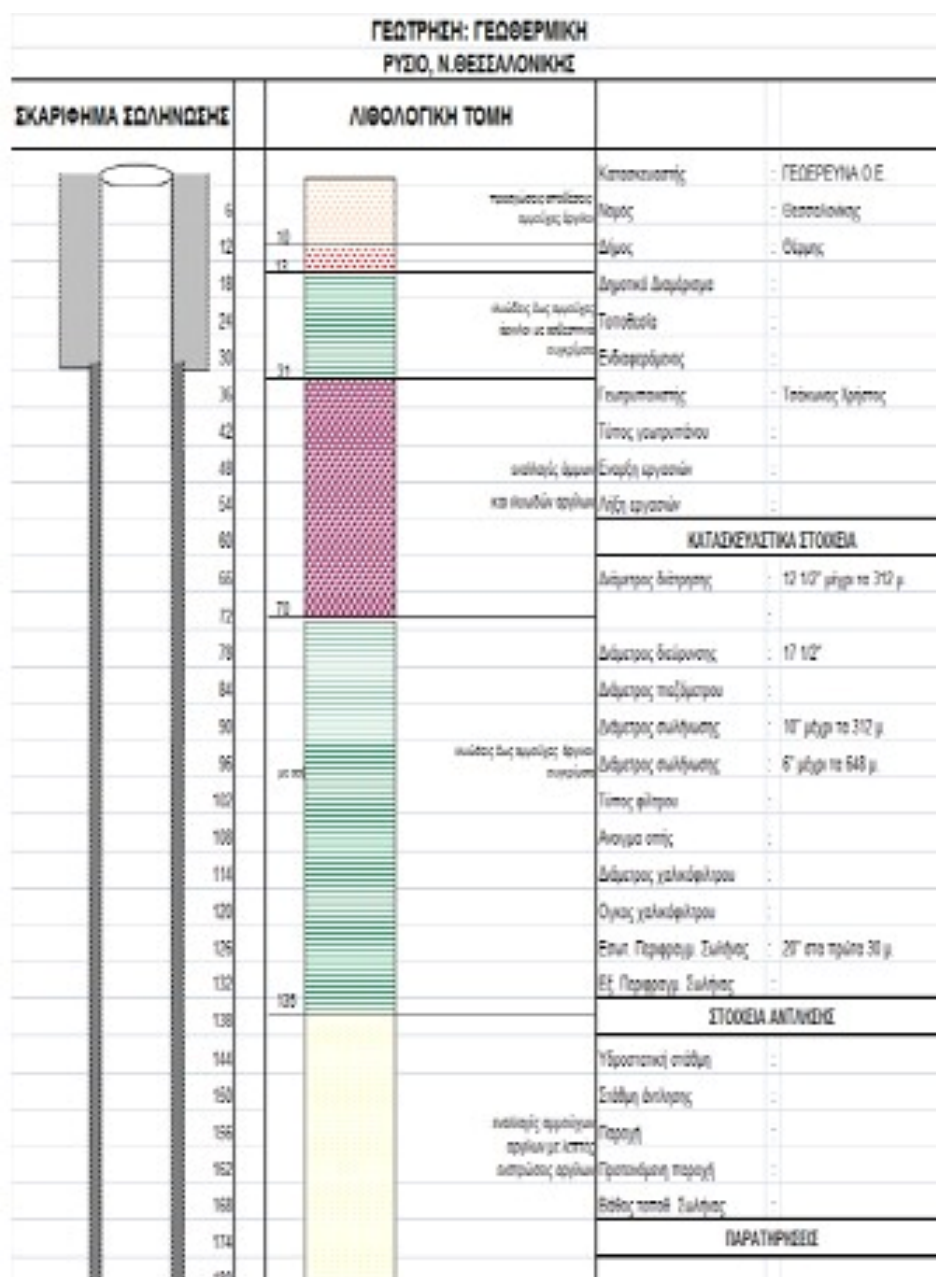
### 3.8 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Ν. ΡΥΣΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ NR-1

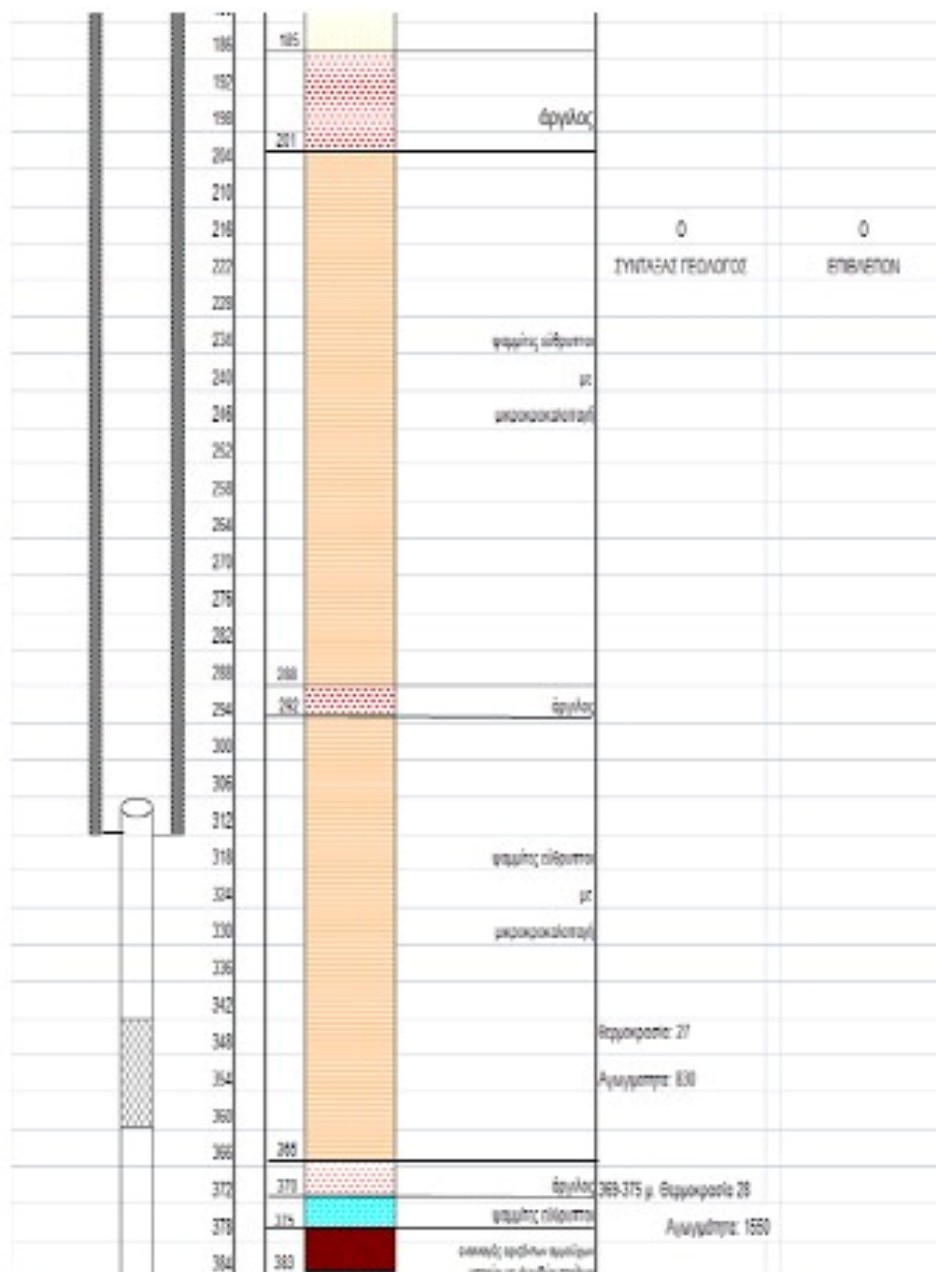
Η γεώτρηση του παρόντος προγράμματος που έγινε στην περιοχή του Νέου Ρυσίου έφτασε σε τελικό βάθος 650 m. Τα κατασκευαστικά στοιχεία της γεώτρησης έχουν ως εξής:

Μέχρι τα 312 m η αρχική διάμετρος διάτρησης είναι 12½", η διάμετρος διεύρυνσης είναι 17½".

- Η διάτρηση στο διάστημα 312 – 650 m έχει διάμετρο, 12 5/8"
- Η διάμετρος σωλήνωσης είναι 10" μέχρι τα 312 m και 6" από 300 m μέχρι τα 648 m
- Ο ανώτερος τσιμεντωμένος περιφραγματικός σωλήνας είναι 20" και αφορά τα πρώτα 30 m.

(Το σχήμα σωλήνων – φίλτρων της γεώτρησης παρατίθεται στην παρακάτω τομή 3.1).











Στις 1/9/04 έγινε εξαγωγή της διατρητικής στήλης και αλλαγή κοπτικού με τοποθέτηση κοπτικού 16" και οδηγού 15".

Στις 2/9/04 έγινε διεύρυνση της γεώτρησης στο διάστημα 24-78 m με διάμετρο 16". Στις 3/9/04 στο διάστημα 78-130 m, στις 4/9/04 στο διάστημα 130-200 m, στις 5/9/04 στο διάστημα 200-270 m και στις 6/9/04 στο διάστημα 270-314 m. Ακολούθησε καθαρισμός της γεώτρησης.

Στις 7/9/04 έγινε εξαγωγή όλης της διατρητικής στήλης και σωλήνωση με τυφλούς σωλήνες 10" έως το βάθος των 312 m και ξύλινη βαλβίδα στον πυθμένα.

Στις 8/9/04 ετοιμάστηκε η στήλη για τσιμέντωση και πραγματοποιήθηκε με επιτυχία, καταναλώνοντας 25 m<sup>3</sup> τσιμέντου μεταξύ τοιχωμάτων (16") και σωλήνων (10").

Στις 9/9/04 έγινε εξαγωγή της στήλης και πλύσιμο-καθαρισμός του τσιμέντου. Διακοπή της διαδικασίας (αναμονή στερεοποίησης του τσιμέντου) και έναρξη β' φάσης .

Στις 22/10/04 γίνεται προετοιμασία της στήλης και εισαγωγή της στη σωληνωμένη γεώτρηση με κοπτικό διαμέτρου 9 5/8" μέχρι το βάθος των 274 m.

Στις 23/10/04 κόψιμο του τσιμέντου μέχρι το βάθος των 309 m και διάτρηση έως το βάθος των 320 m.

Στη συνέχεια εισήχθησαν στελέχη διαμέτρου (4 1/2") με συστολή 5 1/2"-4 1/2" και άρχισε διάτρηση στο διάστημα 320- 340 m.

Στις 26/10/04 συνεχίστηκε η διάτρηση στο διάστημα 340-361 m.

Στις 27 έως 30/10/04 έγινε διάτρηση στο διάστημα 361-455 m.

Στις 1/11/04 έγινε διάτρηση στο διάστημα 455-481 m. Την επόμενη ημέρα έγινε εξαγωγή όλης της διατρητικής στήλης για έλεγχο του κοπτικού οργάνου όπου διαπιστώθηκε σοβαρό πρόβλημα αφύσικης φθοράς του. Κατασκευάστηκε μαγνήτης αλιευτής.

Στις 3 και 4/11/04 έγινε αλίευση τμημάτων του προηγούμενου κοπτικού άκρου (περιλαμβανομένου του κωνικού άκρου).

Στις 5/11-8/11/04 έγινε διάτρηση με 9 5/8" στο διάστημα 480-540 m.

Στις 9/11/04 έγινε εξαγωγή της στήλης και έλεγχος του κοπτικού άκρου.

Στις 10/11/04 έγινε νέα αλλαγή του κοπτικού, εισαγωγή της στήλης και διάτρηση στο διάστημα 540-560 m

Μεταξύ 11 και 15/11/04 έγινε διάτρηση με 9 5/8" στο διάστημα 560-651 m, όπου και το τελικό βάθος της γεώτρησης.

Στις 16/11/04 έγινε καθαρισμός και εξαγωγή της στήλης.

Στις 17/11/04 πραγματοποιήθηκαν οι διαγραφίες (loggings) από την GEOTECH στο ασωλήνωτο διάστημα 315-651 m.

Στις 18/11/04 παραλήφθηκαν οι σωλήνες και προετοιμάσθηκε ο τελικός κώνος (αμμοδέκτης).

Στις 19/11/04 έγινε σωλήνωση της γεώτρησης στα τελευταία 348 m με 58 εξάμετρες σωλήνες 6". Κατέβηκαν οι σωλήνες με στήλη αριστερό-δεξί και στη συνέχεια έγινε εξαγωγή της στήλης των στελεχών. Η σωλήνωση έγινε με πλήρη επιτυχία.

Στις 20/11/04 έγινε εισαγωγή στελεχών και προετοιμασία για ανάπτυξη άντλησης με air-lift.

Στις 22/11/04 ανάπτυξη με air-lift.

Στις 23/11/04 γίνεται καθαρισμός της γεώτρησης με νερό και στη συνέχεια πάλι άντληση με air-lift, χωρίς να καθαρίσει καλά η γεώτρηση.

Στις ημέρες 24 έως 29/11/04 γίνονται επανειλημμένες προσπάθειες άντλησης με air-lift, χωρίς να καθαρίσει καλά η γεώτρηση παρόλη την ικανοποιητική παραγωγή ρευστού.

Στις 30/11/04 γίνεται εξαγωγή της στήλης του air-lift και αποχωρεί το γεωτρύπανο με τα υλικά.

Η λιθολογική τομή έδειξε τα εξής:

| <b>ΒΑΘΟΣ</b> | <b>ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ</b>                                           | <b>ΘΕΡ/ΣΙΑ</b> | <b>ΑΓΩΓ/ΤΑ</b> |
|--------------|------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| 0-10 m       | Προσχώσεις – Αποθέσεις, αμμούχες<br>άργιλοι                |                |                |
| 10-13 m      | Άργιλος                                                    |                |                |
| 13-31 m      | Ιλυώδεις έως αμμούχες άργιλοι με<br>ασβεστιτικά συγκρίματα |                |                |
| 31-70 m      | Εναλλαγές άμμων και ιλυωδών<br>αργίλων                     |                |                |
| 70-135 m     | Ιλυώδεις άργιλοι με ασβεστιτικά<br>συγκρίματα              |                |                |
| 135-185 m    | Εναλλαγές αμμούχων αργίλων με<br>λεπτές ενστρώσεις αργίλων |                |                |
| 185-201 m    | Άργιλος                                                    |                |                |
| 201-288 m    | Ψαμμίτες εύθρυπτοι με<br>μικροκροκαλοπαγή                  |                |                |
| 288-292 m    | Άργιλος                                                    |                |                |



|           |                                                             |       |                          |
|-----------|-------------------------------------------------------------|-------|--------------------------|
| 292-365 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι με<br>μικροκροκαλοπαγή                   | 27 °C | 830 $\mu\text{S/cm}$     |
| 365-370 m | Άργιλος                                                     |       |                          |
| 370-375 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι                                          | 28 °C | 1550<br>$\mu\text{S/cm}$ |
| 375-383 m | Εναλλαγές οριζόντων αμμούχων<br>μαργών με ιλυώδεις αργίλους |       |                          |

|           |                                                                         |         |                          |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------|
| 383-396 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι                                                      | 28 °C   | 1100<br>$\mu\text{S/cm}$ |
| 396-418 m | Εναλλαγές αμμούχων μαργών με κατά<br>θέσεις ορίζοντες συμπαγών ψαμμιτών |         |                          |
| 418-423 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι                                                      | 28.3 °C | 700 $\mu\text{S/cm}$     |
| 423-442 m | Εναλλαγές αμμούχων μαργών με κατά<br>θέσεις ορίζοντες συμπαγών ψαμμιτών |         |                          |
| 442-460 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι με μικρο-<br>κροκαλοπαγή                             | 28.7 °C | 700 $\mu\text{S/cm}$     |
| 460-470 m | Εναλλαγές οριζόντων αμμούχων<br>μαργών με ιλυώδεις αργίλους             |         |                          |
| 470-480 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι                                                      | 29 °C   | 690 $\mu\text{S/cm}$     |
| 480-520 m | Εναλλαγές αμμούχων μαργών με κατά<br>θέσεις ορίζοντες συμπαγών ψαμμιτών |         |                          |
| 520-530 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι                                                      | 30 °C   | 690 $\mu\text{S/cm}$     |
| 530-537 m | Εναλλαγές αμμούχων μαργών με κατά<br>θέσεις ορίζοντες συμπαγών ψαμμιτών |         |                          |
| 537-568 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι με<br>μικροκροκαλοπαγή                               | 30.5 °C | 740 $\mu\text{S/cm}$     |
| 568-590 m | Ενστρώσεις μαργών και ιλυωδών<br>ερυθρών αργίλων                        |         |                          |
| 590-604 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι με<br>μικροκροκαλοπαγή                               | 31.2 °C | 730 $\mu\text{S/cm}$     |
| 604-608 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι με<br>μικροκροκαλοπαγή                               |         |                          |

|           |                                                  |         |                      |
|-----------|--------------------------------------------------|---------|----------------------|
| 608-615 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι με<br>μικροκροκαλοπαγή        | 31.7 °C | 670 $\mu\text{S/cm}$ |
| 615-627 m | Ενστρώσεις μαργών και ιλυωδών<br>ερυθρών αργίλων |         |                      |
| 627-637 m | Ψαμμίτες εύθρυπτοι με<br>μικροκροκαλοπαγή        | 33 °C   | 670 $\mu\text{S/cm}$ |

Πίνακας 3.1

### 3.10 ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ-LOGGINGS ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Ν. ΡΥΣΙΟΥ

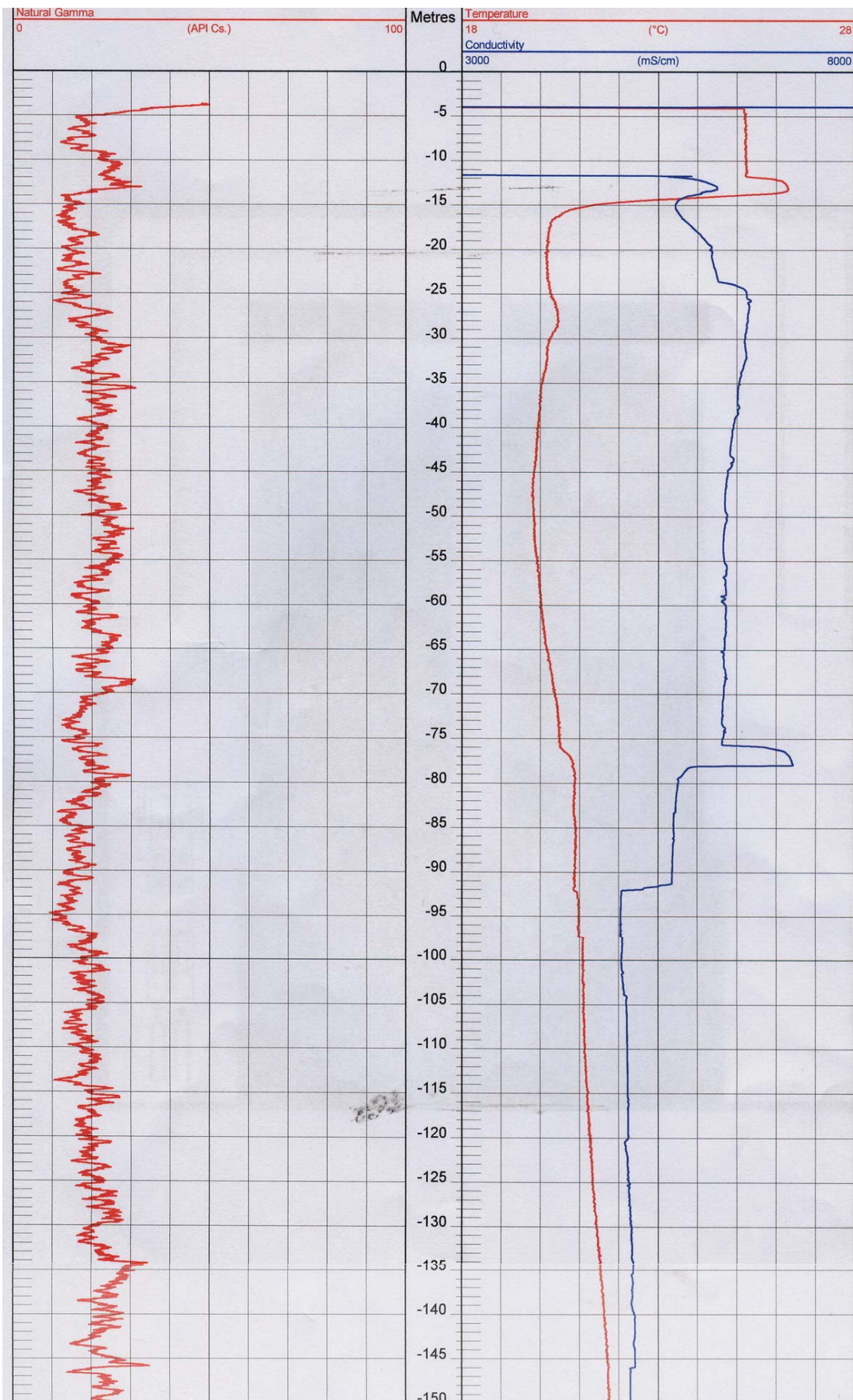
Από διαγραφίες που έγιναν από το Ι.Γ.Μ.Ε. στα πρώτα 290 m (μετά τη σωλήνωση – τσιμέντωση μέχρι τα 312 m) προέκυψαν τα εξής στοιχεία:

Στάθμη νερού : 9,40 m

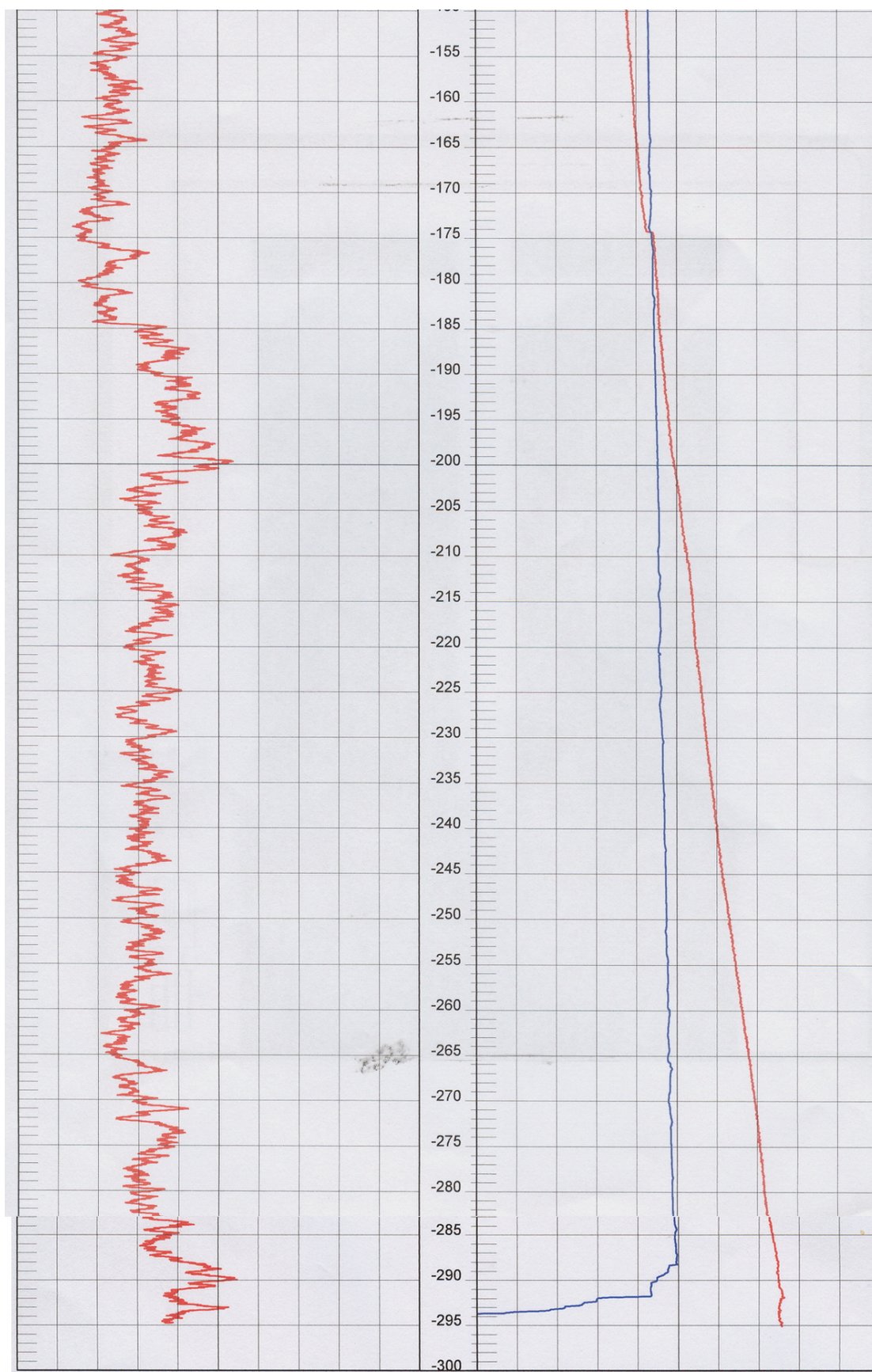
| ΒΑΘΟΣ (m) | T(°C) | Αγωγιμότητα ( $\mu\text{S/cm}$ ) | ΒΑΘΟΣ (m) | T(°C) | Αγωγιμότητα ( $\mu\text{S/cm}$ ) |
|-----------|-------|----------------------------------|-----------|-------|----------------------------------|
| 10        | 26,1  | 6190                             | 160       | 22    | 5169                             |
| 15        | 20,2  | 5970                             | 170       | 22,2  | 5170                             |
| 20        | 20,1  | 6241                             | 175       | 22,5  | 5200                             |
| 25        | 20,3  | 6635                             | 180       | 22,5  | 5220                             |
| 30        | 20,2  | 6590                             | 185       | 22,6  | 5233                             |
| 35        | 19,9  | 6529                             | 190       | 22,7  | 5245                             |
| 40        | 19,9  | 6414                             | 195       | 22,8  | 5267                             |
| 45        | 19,8  | 6356                             | 200       | 23    | 5275                             |
| 50        | 19,8  | 6337                             | 205       | 23,1  | 5289                             |
| 55        | 19,9  | 6366                             | 210       | 23,3  | 5300                             |
| 60        | 20    | 6360                             | 215       | 23,4  | 5308                             |
| 65        | 20,2  | 6366                             | 220       | 23,5  | 5300                             |
| 70        | 20,4  | 6317                             | 225       | 23,7  | 5317                             |
| 75        | 20,7  | 7205                             | 230       | 23,8  | 5330                             |
| 80        | 20,8  | 5733                             | 235       | 23,9  | 5347                             |
| 85        | 20,9  | 5694                             | 240       | 24    | 5367                             |
| 90        | 20,9  | 5036                             | 245       | 24,2  | 5370                             |
| 95        | 21    | 5026                             | 250       | 24,4  | 5376                             |
| 100       | 21,1  | 5064                             | 255       | 24,5  | 5389                             |
| 105       | 21,1  | 5112                             | 260       | 24,7  | 5385                             |
| 110       | 21,2  | 5122                             | 265       | 24,8  | 5424                             |
| 115       | 21,2  | 5128                             | 270       | 25    | 5428                             |
| 120       | 21,3  | 5110                             | 275       | 25,1  | 5443                             |
| 125       | 21,4  | 5150                             | 280       | 25,2  | 5460                             |
| 130       | 21,5  | 5180                             | 285       | 25,4  | 5376                             |
| 140       | 21,7  | 5207                             | 290       | 25,6  |                                  |
| 150       | 21,8  | 5160                             |           |       |                                  |

Πίνακας 3.2

Οι διαγραφίες του Ι.Γ.Μ.Ε. είναι οι εξής (διαγράμματα 0 – 315 m):

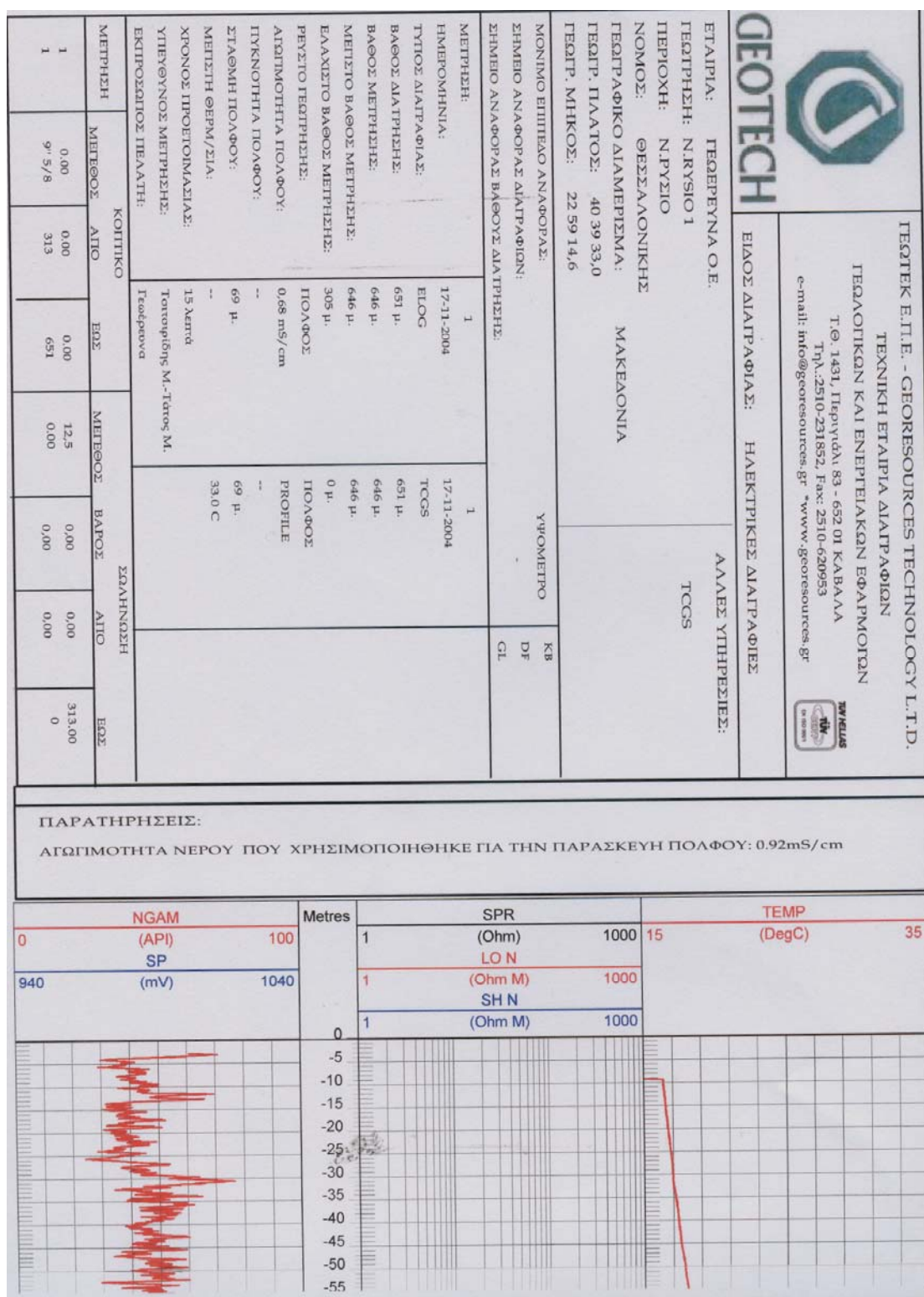




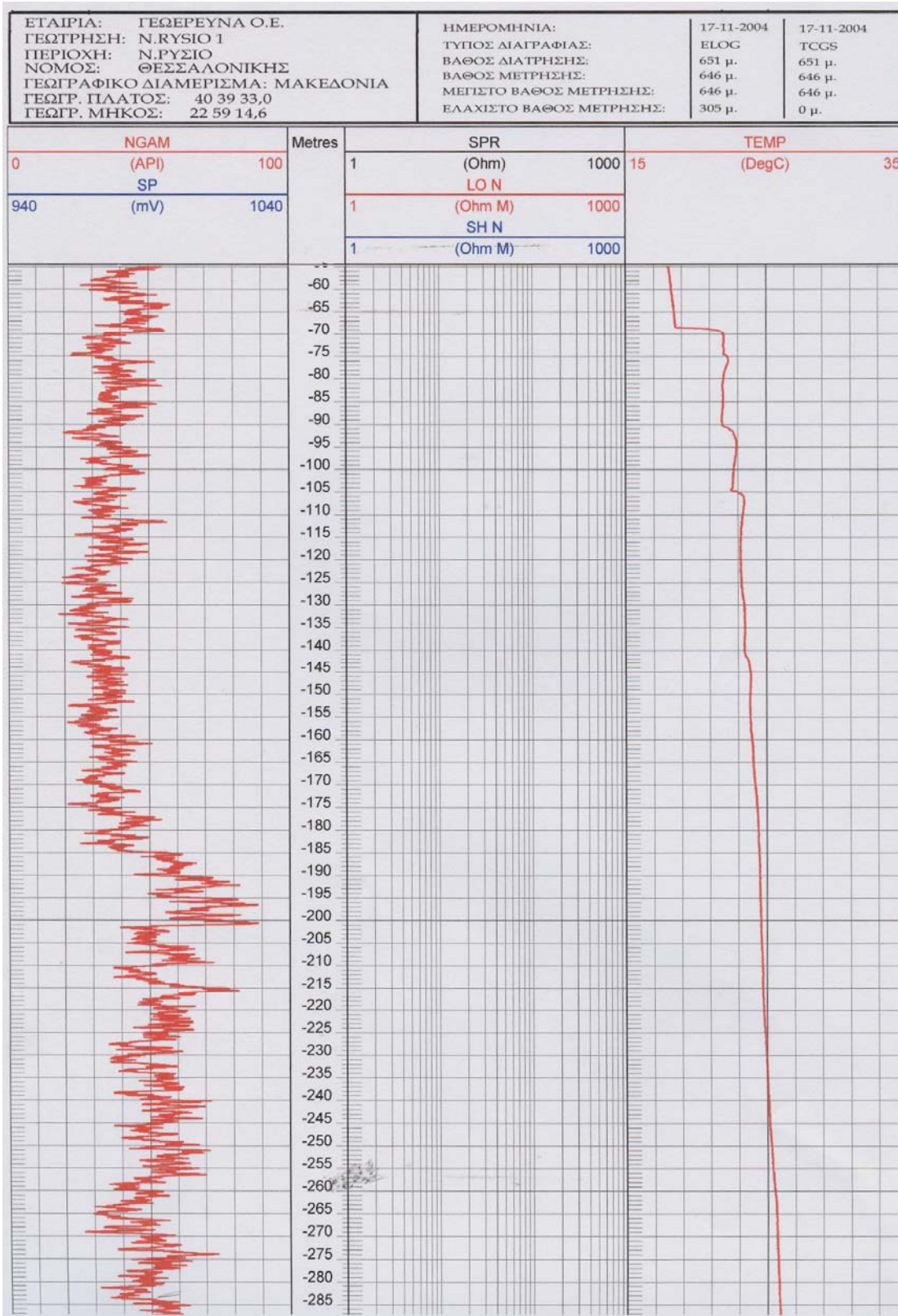


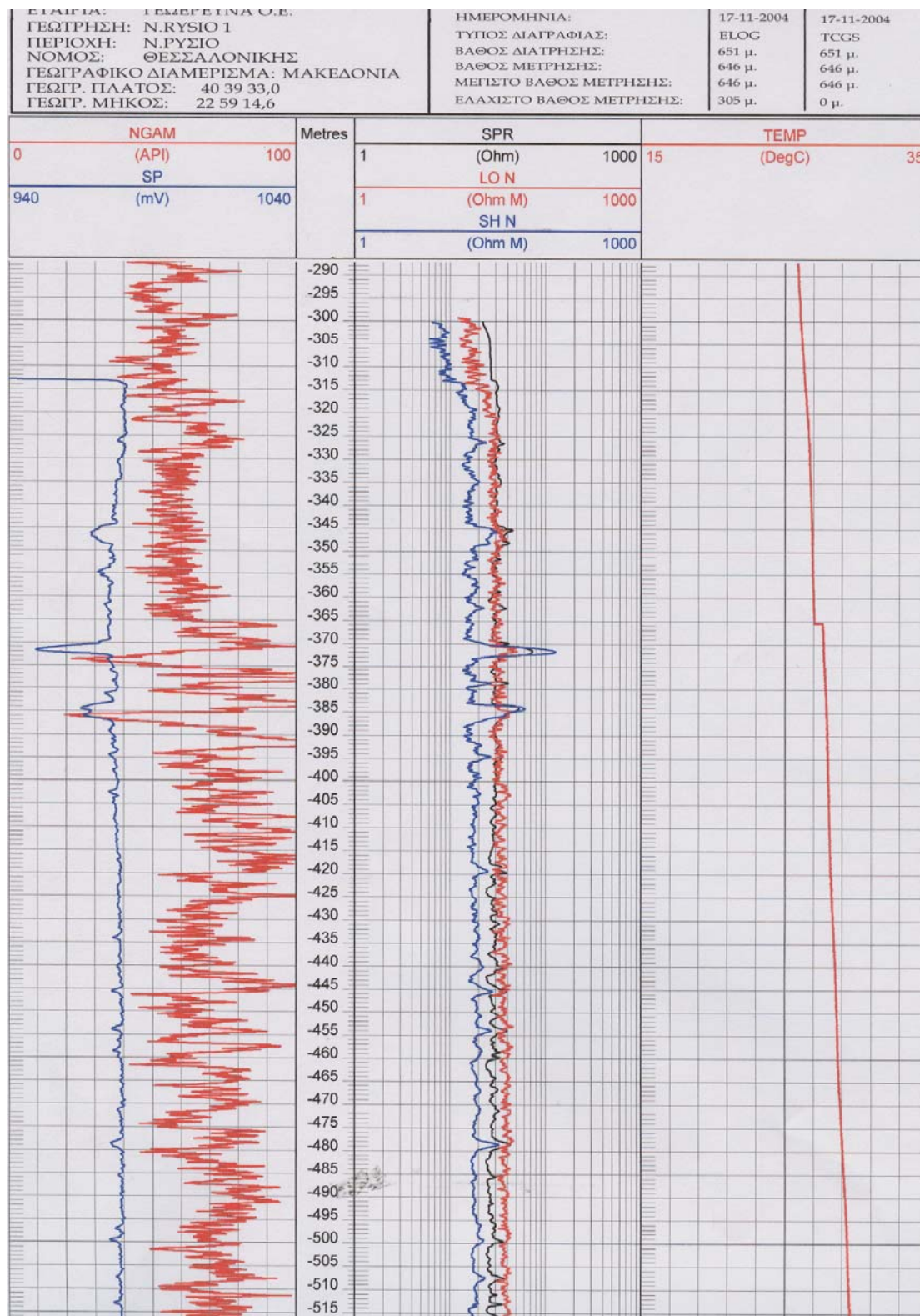
Διάγραμμα 3.1 (Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε.)

Από την εξειδικευμένη εταιρεία GEOTECH έγιναν οι παρακάτω διαγραφίες στο εσωτερικό της γεώτρησης στις 17-11-2004.

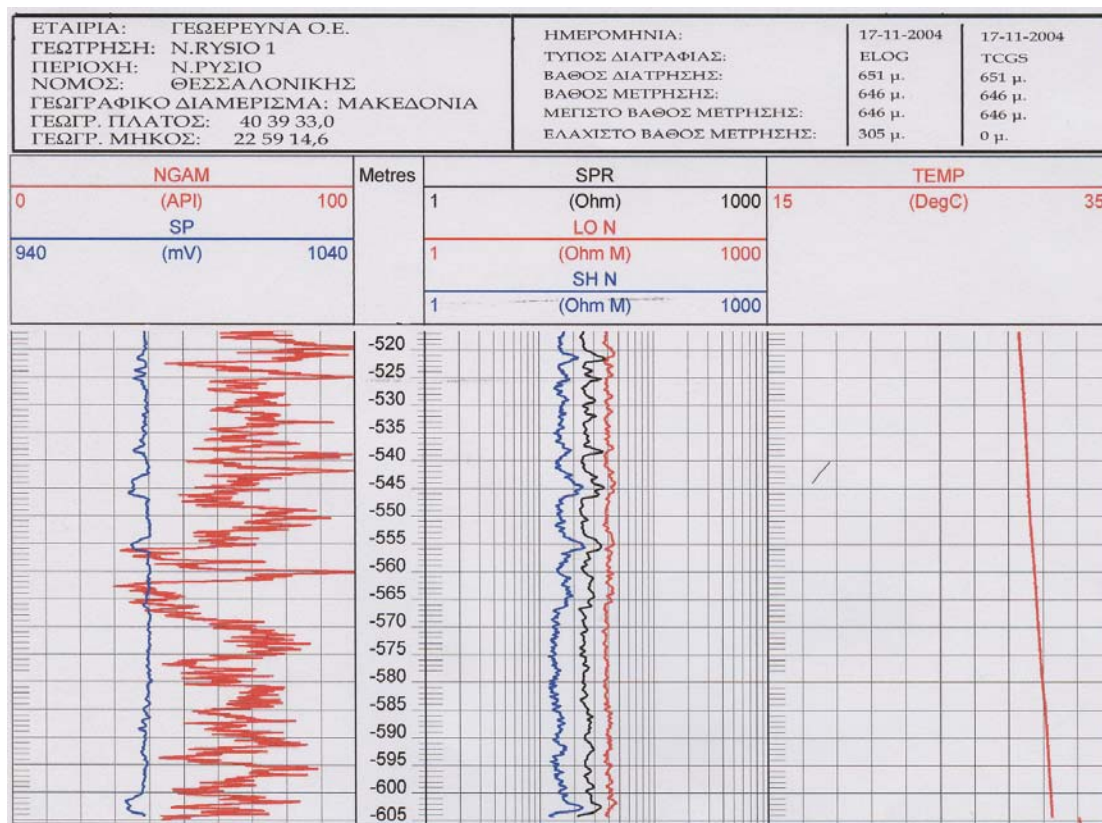












Διάγραμμα 3.2 (Πηγή: Τεχνική εταιρεία διαγραφιών GEOTECH)

### 3.11 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΟΡΕΙΑ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Από διάφορες μετρήσεις και παρατηρήσεις από τον μεταπτυχιακό σπουδαστή κ.

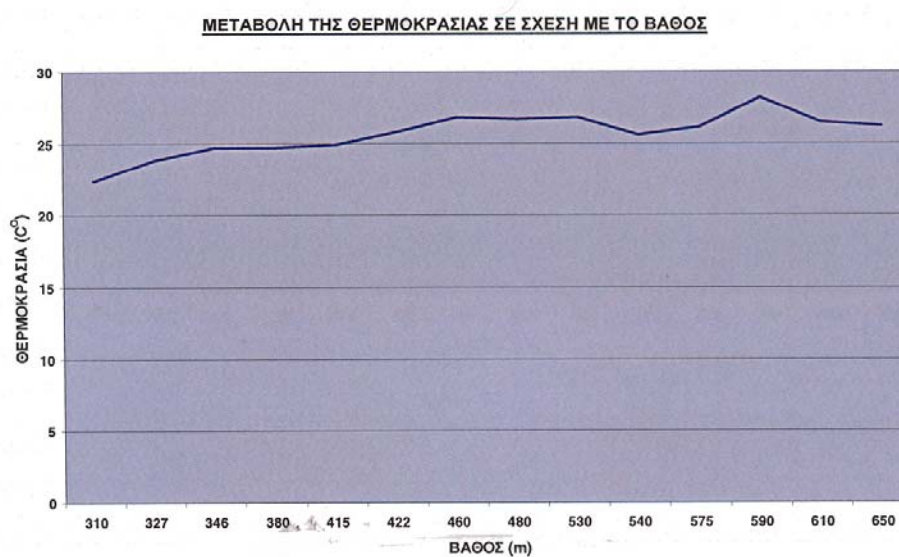
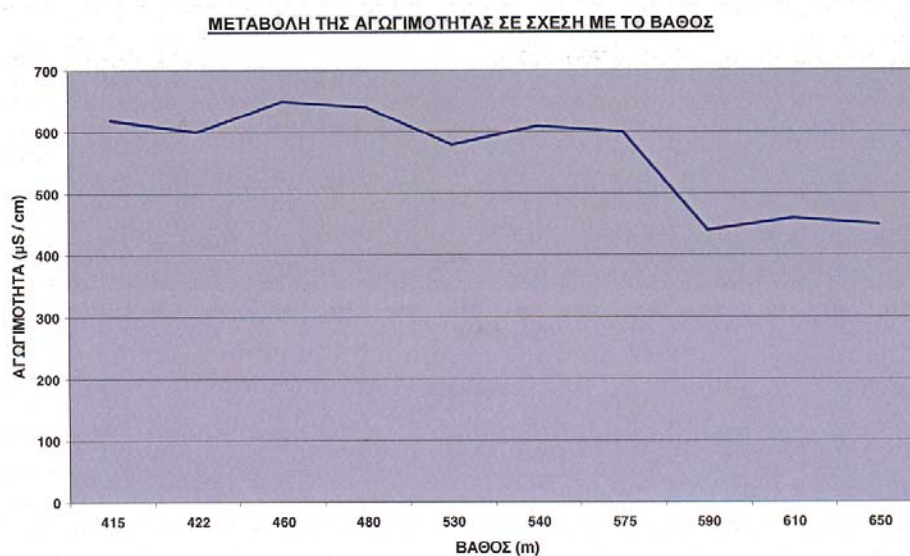
Ιωάννη Βλαμίδα προέκυψαν τα παρακάτω συνοπτικοί πίνακες και διαγράμματα:

Βελτιστοποίηση του πολτού διάτρησης στις γεωτρήσεις. Μετρήσεις διαφόρων παραμέτρων μέσα στις γεωτρήσεις

| ΒΑΘΟΣ<br>(m) | ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | ΙΣΩΔΕΣ<br>(sec) | ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ<br>ΕΞΟΔΟΥ (C°) | ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ<br>ΕΙΣΟΔΟΥ (C°) | ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ<br>(μS/cm) | pH  | Ca (mg/l) | Cl (mg/l) | N (mg/l) | S (mg/l) | % ΣΤΕΡΕΑ |
|--------------|------------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|-----|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 310          | 1,06                               | 49              | 22,4                       | 22,1                        |                        | 11  |           |           |          |          |          |
| 327          | 1,09                               | 49              | 23,8                       | 22,5                        |                        | 10  |           |           |          |          |          |
| 346          | 1,11                               | 48              | 24,7                       | 21,4                        |                        | 9,4 | 24        | 128       | 13,5     | 12       | 42       |
| 380          | 1,13                               | 50              | 24,7                       | 23                          |                        | 9   |           |           |          |          |          |
| 415          | 1,17                               | 51              | 24,9                       | 23,2                        | 620                    | 8   | 48        | 295       | 26,4     | 22       | 60       |
| 422          | 1,17                               | 51              | 25,8                       | 19,6                        | 600                    | 7   |           |           |          |          |          |
| 460          | 1,23                               | 52              | 26,8                       | 19,5                        | 650                    | 7,1 |           |           |          |          |          |
| 480          | 1,25                               | 55              | 26,7                       | 18,3                        | 640                    | 7,3 | 44        | 129       | 11,4     | 18       | 72       |
| 530          | 1,3                                | 57              | 26,8                       | 22,5                        | 580                    | 7   | 38        | 133       | 13,2     | 24       | 75       |
| 540          | 1,3                                | 58              | 25,6                       | 16,5                        | 610                    | 7   |           |           |          |          |          |
| 575          | 1,34                               | 72              | 26,1                       | 22,2                        | 600                    | 7,2 |           |           |          |          |          |
| 590          | 1,34                               | 70              | 28,2                       | 22,2                        | 440                    | 7   | 80        | 136       | 70,4     | 32       | 80       |
| 610          | 1,33                               | 68              | 26,5                       | 21,3                        | 460                    | 7,3 | 95        | 90        | 87,1     | 36       | 82       |
| 650          | 1,28                               | 63              | 26,2                       | 21,1                        | 450                    | 7,5 | 62        | 138       | 22,88    | 33       | 77       |

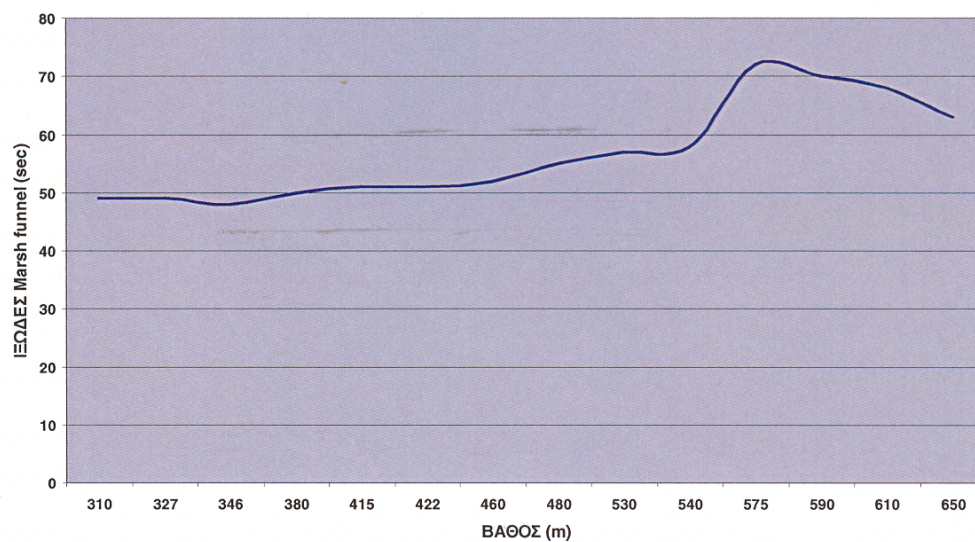
Πίνακας : Συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων του πολτού διάτρησης στο Ν. Ρύσιο

Πίνακας 3.3 (Πηγή Βλαμίδης Ιωάννης, 2005)

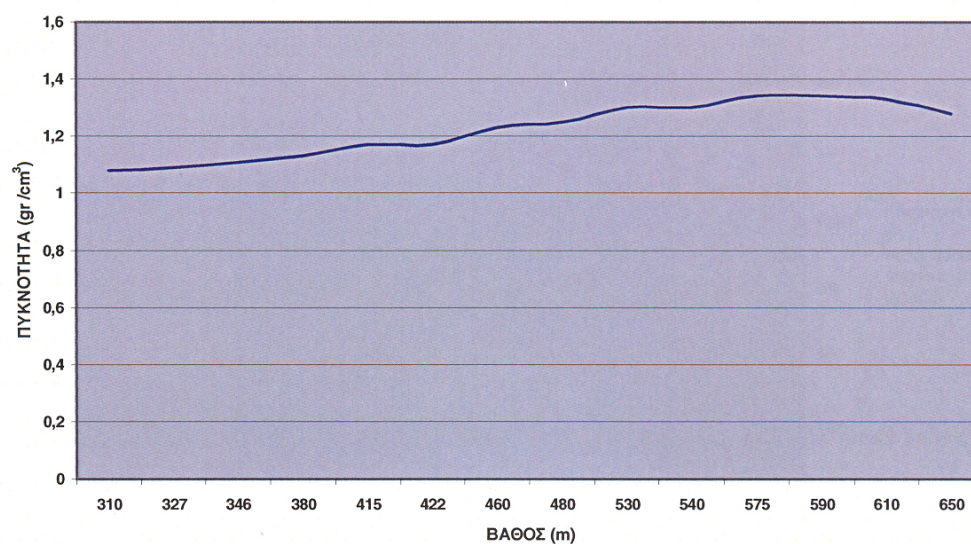


Διαγράμματα 3.3, 3.4 (Πηγή: Βλαμίδης Ιωάννης, 2005)

**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΙΞΩΔΟΥΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ**



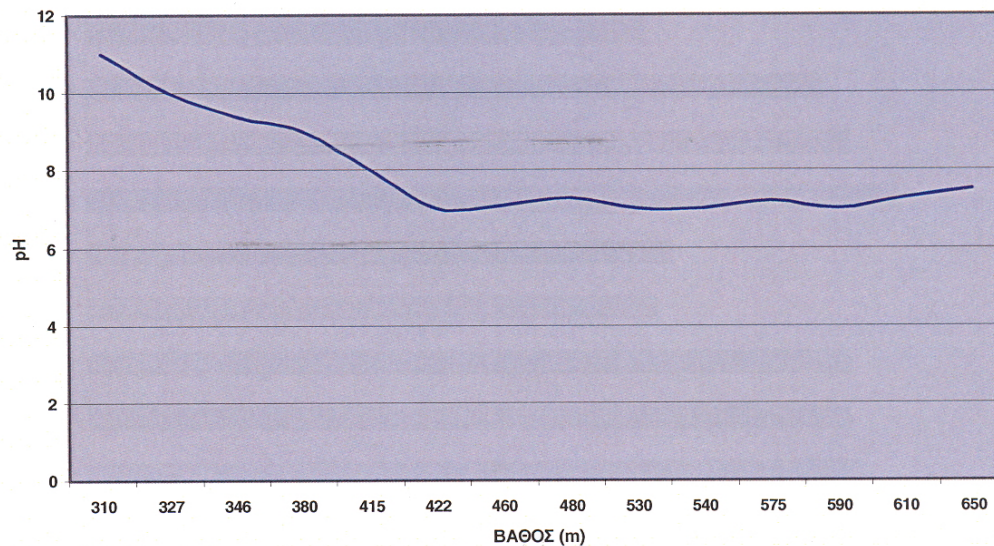
**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ**



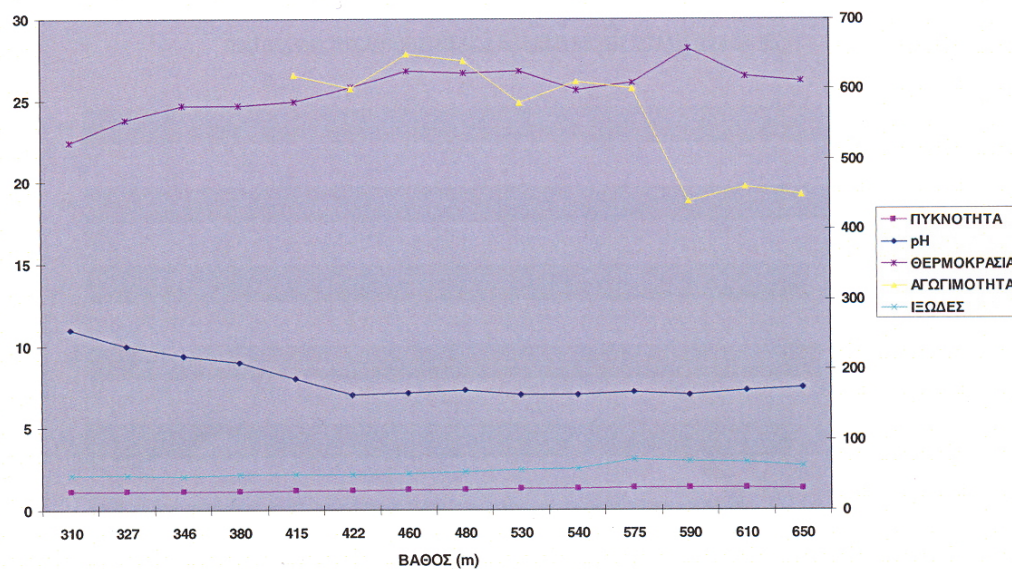
Διαγράμματα 3.5, 3.6 (Πηγή: Βλαμίδης Ιωάννης, 2005)



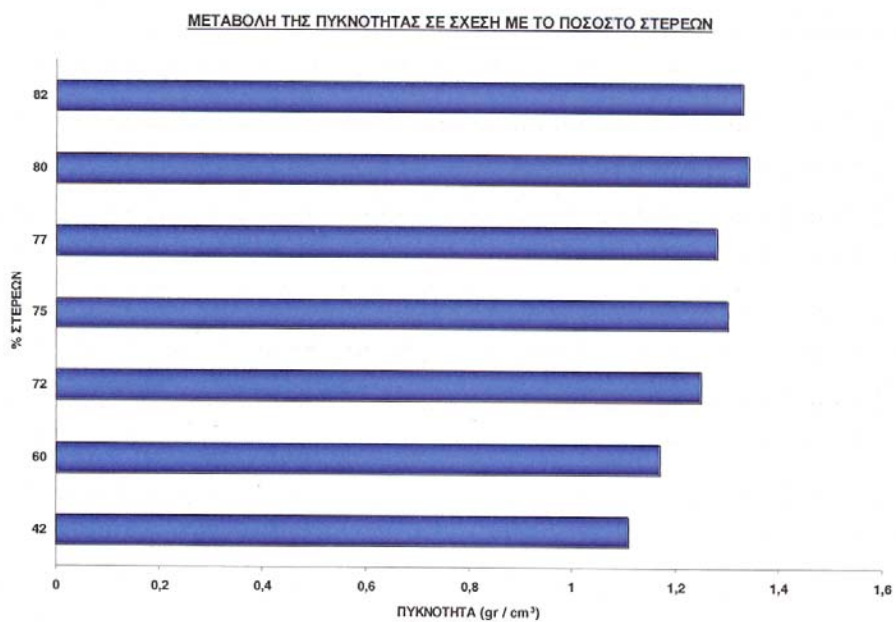
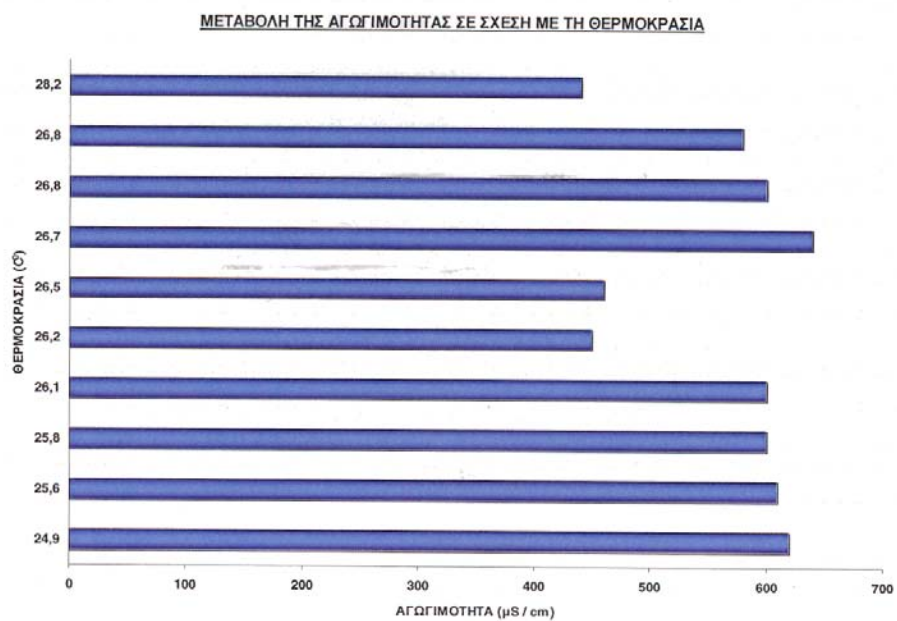
### ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ pH ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ



### ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ

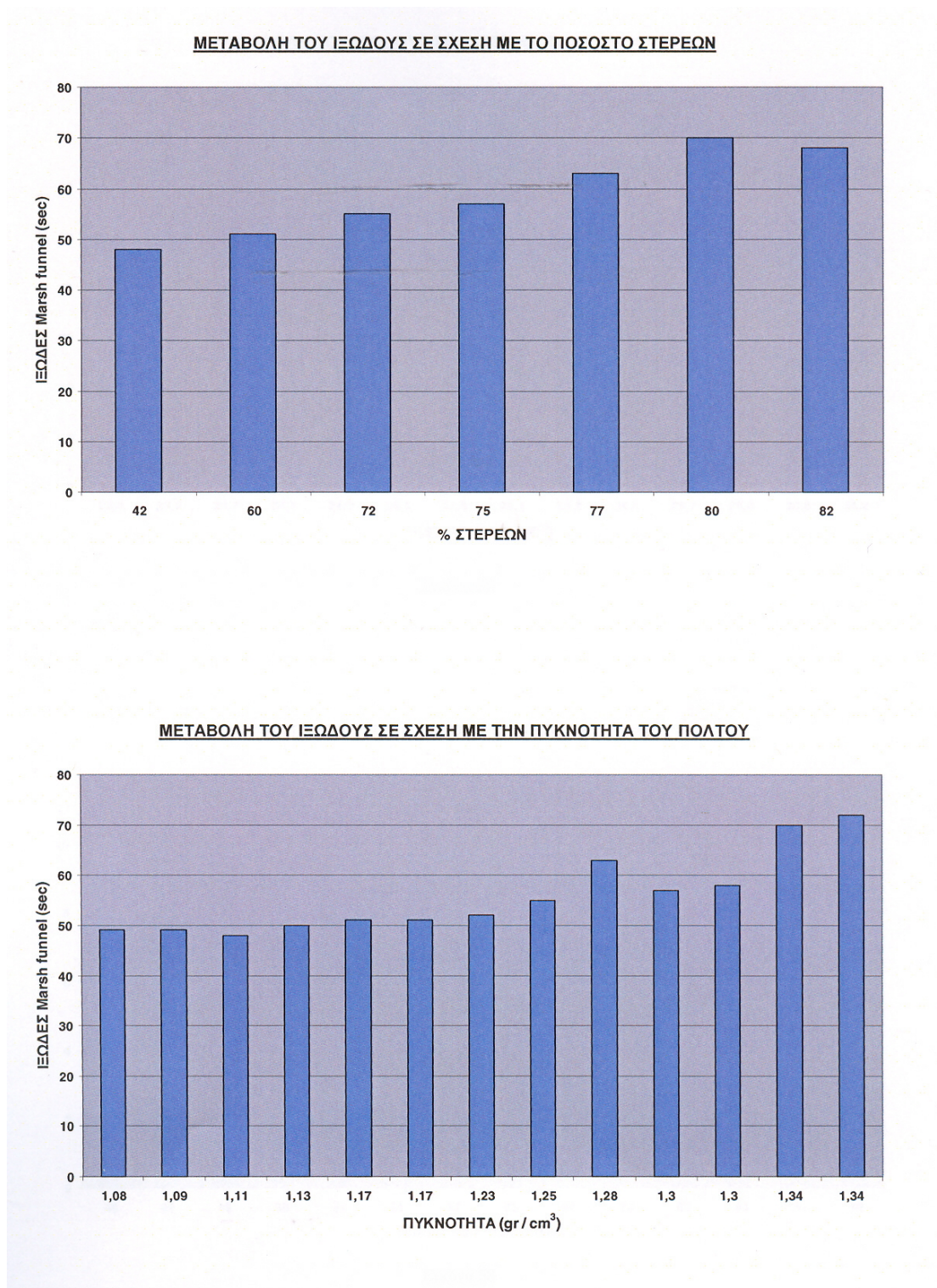


Διαγράμματα 3.7, 3.8 (Πηγή: Βλαμίδης Ιωάννης, 2005)



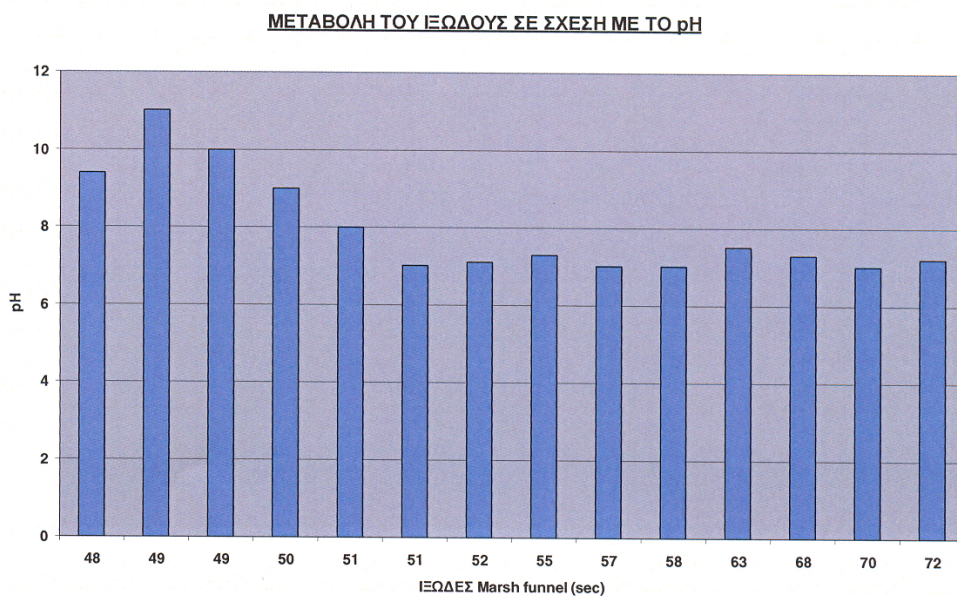
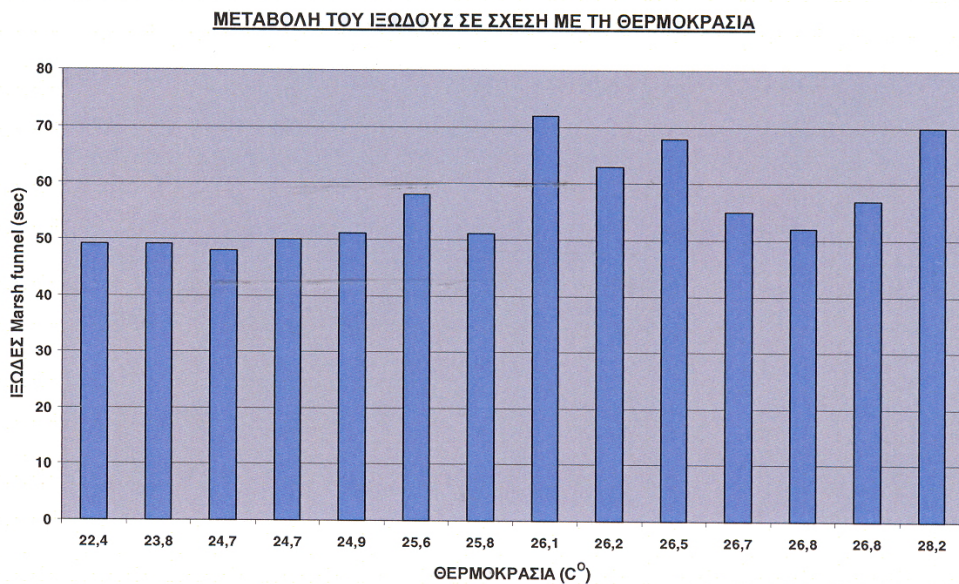
Διαγράμματα 3.9, 3.10 (Πηγή: Βλαμίδης Ιωάννης, 2005)





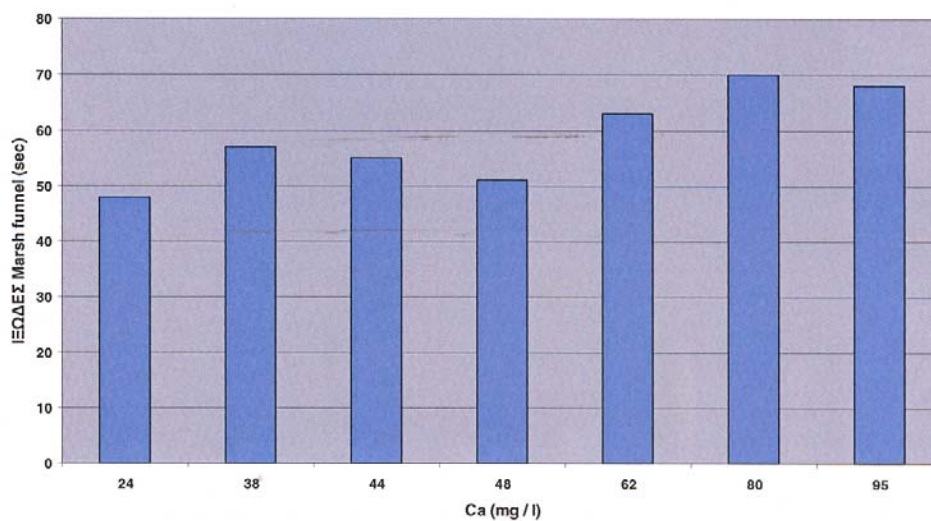
Διαγράμματα 3.11, 3.12 (Πηγή: Βλαμίδης Ιωάννης, 2005)



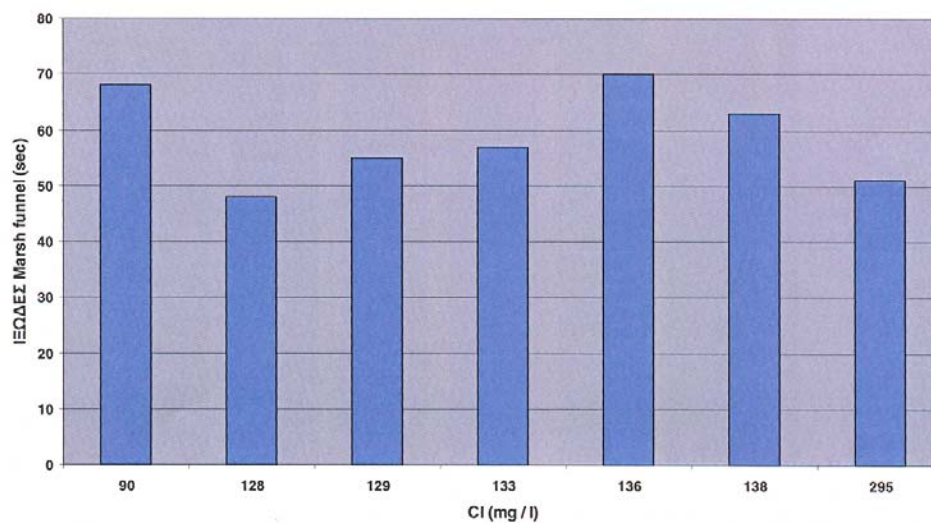


Διαγράμματα 3.13, 3.14 (Πηγή: Βλαμίδης Ιωάννης, 2005)

**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΙΞΟΔΟΥΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΑΣΒΕΣΤΙΟ**

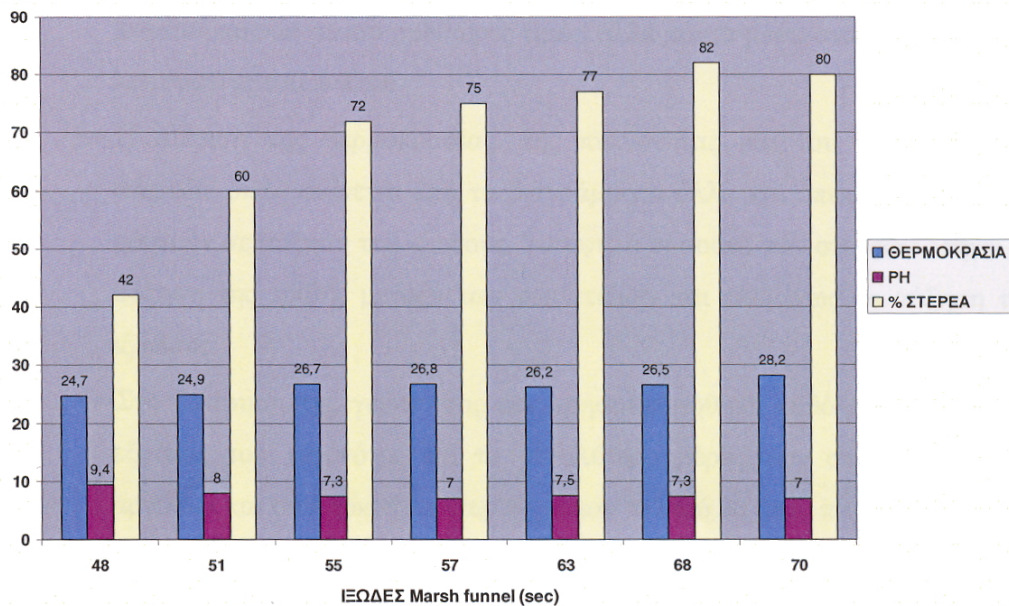
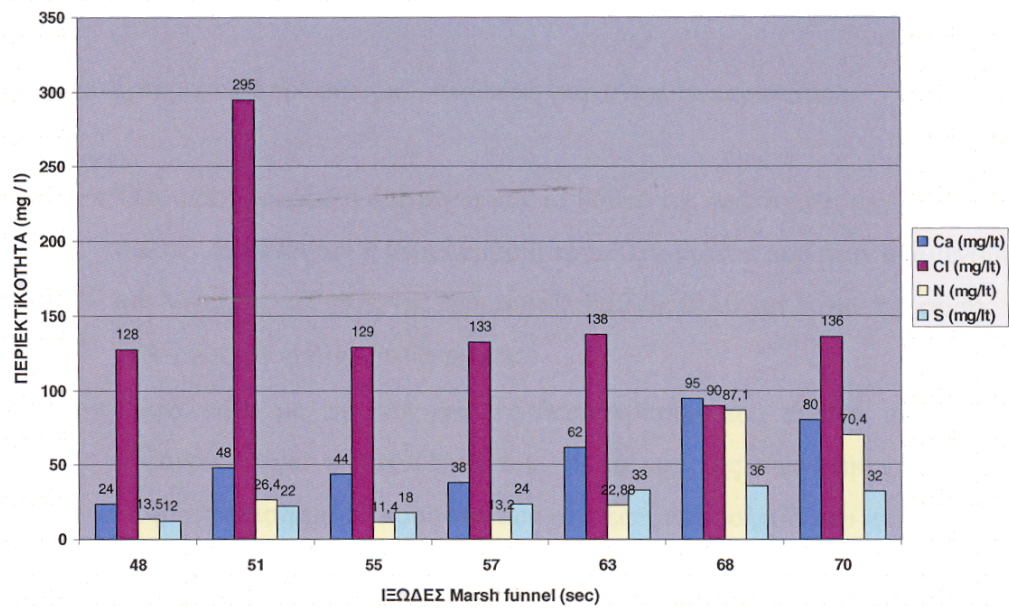


**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΙΞΟΔΟΥΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΧΛΩΡΙΟ**



Διαγράμματα 3.15, 3.16 (Πηγή: Βλαμίδης Ιωάννης, 2005)





Διαγράμματα 3.17, 3.18 (Πηγή: Βλαμίδης Ιωάννης, 2005)

Από τις παραπάνω γραφικές παραστάσεις-διαγράμματα φαίνονται τα εξής:

Όσο προχωρούσε η διάτρηση και το βάθος της γεώτρησης μεγάλωνε, στον πολτό αυξάνονταν η θερμοκρασία του. Κάτι βέβαια που ήταν αναμενόμενο, λόγω της γεωθερμικής βαθμίδας, αλλά και λόγω της φύσης της γεώτρησης.

Παράλληλα με την αύξηση της θερμοκρασίας του πολτού με το βάθος αυξάνονταν και η πυκνότητά του. Η αύξηση της πυκνότητας έρχεται σε πλήρη ταύτιση με το ποσοστό των στερεών του πολτού που ακολουθεί την αυξητική τάση της πυκνότητας.

Η αγωγιμότητα παρουσιάζει μια πτωτική πορεία σε συνάρτηση με το βάθος αν και η θερμοκρασία αυξάνει. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στη μείωση της συγκέντρωσης των διαλυμένων αλάτων και κυρίως στη απομόνωση των επιφανειακότερων οριζόντων που επηρεάζονται από τη θάλασσα

Το pH του πολτού είναι αλκαλικό στην αρχή, παρουσιάζοντας όμως πτωτική πορεία σε πιο ουδέτερες τιμές, αλλά πάντα μέσα στα όρια της καλής λειτουργίας του πολτού.

Η αύξηση της θερμοκρασίας, της πυκνότητας και του ποσοστού των στερεών όπως φαίνεται από τα διαγράμματα αλλά και όπως είναι επόμενο, οδηγούν σε αύξηση του ιξώδους. Το υψηλό ποσοστό των στερεών οδηγεί σε αύξηση της τριβής μεταξύ των σωματιδίων.

Κατά τη διάτρηση της γεώτρησης δεν χρησιμοποιήθηκε καθόλου μπετονίτης εξαιτίας του γεγονότος ότι μεγάλο μέρος των στρωμάτων ήταν αργιλικά. Η διάτρηση αργίλων εισάγει στο σύστημα νέα ενεργά στερεά, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τις ελκτικές δυνάμεις, με αποτέλεσμα να έρχονται πιο κοντά και να αυξάνεται ο συνολικός αριθμός των φορτίων. Επίσης το σπάσιμο των σωματιδίων της αργίλου εξαιτίας της δράσης του κοπτικού άκρου και των στελεχών δημιουργεί νέες υπολειμματικές δυνάμεις. Αυτές οι δυνάμεις τείνουν να ενώσουν τα σωματίδια σε μη οργανωμένες μορφές συσσωματωμάτων. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του yield point δηλαδή τη μέτρηση των ηλεκτροχημικών ή των ελκτικών δυνάμεων του πολτού. Αύξηση του yield point συνεπάγεται αύξηση του ιξώδους.

Η αύξηση του yield point οδηγεί στην αύξηση του gel strength. Το gel strength αποτελεί ένα μέτρο των ελκτικών δυνάμεων των σωματιδίων του πολτού κάτω από στατικές συνθήκες, δηλαδή κάτω από συνθήκες μη ροής, ενώ το yield point από την άλλη μεριά είναι ένα μέτρο των ελκτικών δυνάμεων κάτω από συνθήκες ροής.

Η παρουσία του ασβεστίου και του χλωρίου, στοιχεία τα οποία επηρεάζουν τον πολτό διάτρησης με μείωση του ιξώδους, φαίνεται ότι βρίσκονται σε τέτοιες συγκεντρώσεις που να μην είναι ικανές να επηρεάσουν το ιξώδες του πολτού.

Σε περίπτωση που ήταν απαραίτητη η μείωση της πυκνότητας του πολτού και κατά συνέπεια η μείωση του ιξώδους, το πρόβλημα θα αντιμετωπιζόταν με διάφορους τεχνικούς τρόπους.

Στη συγκεκριμένη γεώτρηση δεν υπήρχε η ανάγκη προσθήκης υλικών για την αύξηση της πυκνότητας του πολτού. Ανεξάρτητα όμως από τη διάτρηση αργιλικών σχηματισμών, η χρησιμοποίηση του μπετονίτη είναι γενικά προτιμητέα στις γεωτρήσεις, τόσο γιατί αυξάνονται οι λειτουργικές ικανότητες του πολτού όσο και γιατί μπορούν να ελεγχθούν καλύτερα οι ρεολογικές ιδιότητες του. Στη συγκεκριμένη γεώτρηση αποφασίστηκε να μη χρησιμοποιηθεί μπετονίτης γιατί η άργιλος των σχηματισμών τον αντικατέστησε ικανοποιητικά και φυσικά για λόγους για λόγους οικονομίας.

Οι υδροφόροι ορίζοντες που αφορούν το μη τσιμεντωμένο τμήμα της γεώτρησης (312 – 650 m) και που προκύπτουν από την ερμηνεία των διαγραφιών σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές αγωγιμότητας και θερμοκρασίας, αναγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

| <b>ΔΙΑΣΤΗΜΑ</b> | <b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ<br/>(°C)</b> | <b>ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (μS/cm)</b>                   |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------------------------|
| 342-360 m       | 27                          | 830                                          |
| 369-375 m       | 28                          | 1550 (προτείνεται να μείνει εκτός παραγωγής) |
| 383-396 m       | 28                          | 1100 (προτείνεται να μείνει εκτός παραγωγής) |
| 418-423 m       | 28,3                        | 700                                          |
| 442-460 m       | 28,7                        | 700                                          |
| 470-480 m       | 29                          | 690                                          |
| 520-530 m       | 30                          | 690                                          |
| 537-568 m       | 30,5                        | 740                                          |
| 590-604 m       | 31,2                        | 730                                          |
| 608-615 m       | 31,7                        | 670                                          |
| 627-637 m       | 33                          | 670                                          |

Πίνακας 3.4

Οι πραγματικές τιμές θερμοκρασίας θεωρούνται ότι πρέπει να είναι ελαφρώς υψηλότερες, γιατί η γεώτρηση επηρεάστηκε αρνητικά από την κυκλοφορία της λάσπης και δε μεσολάβησε αρκετός χρόνος για αποκατάσταση της θερμικής

ισορροπίας. Έτσι, η πραγματική θερμοκρασία στο βάθος (650 m) πρέπει να είναι περίπου 38 °C.

Τα στρώματα με υψηλή αγωγιμότητα είναι μάλλον παλαιές «αλμύρες» (εμπλουτισμένα σε θαλασσινά άλατα) και είναι δυνατόν να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα του νερού όταν παράγει η γεώτρηση. Η αναμενόμενη παραγωγή από τα υπόλοιπα στρώματα – διαστήματα θα καλύψει τις απαιτούμενες ανάγκες του προγράμματος.

### 3.12 ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΜΕ ΠΟΜΟΝΑ

Μετά από τις αντλήσεις air-lift έγιναν διάφορες προσπάθειες πραγματοποίησης συστηματικών αντλήσεων με πομόνα, που τοποθετήθηκε σε βάθος 80 m αρχικά και ύστερα στα 120 m.

Παρ' όλες τις επανειλημμένες προσπάθειες καθαρισμού της γεώτρησης με το air-lift, η άντληση με πομόνα δεν παρήγαγε καθαρό νερό και γι' αυτό αποφασίστηκε να γίνει προσπάθεια χαλίκωσης της γεώτρησης στο διάστημα 315-650 m. Πριν από αυτό, οι αντλήσεις με δύο διαφορετικές πομόνες έδωσαν κάποια αποτελέσματα που θεωρούμε σκόπιμο να αναφέρουμε. Φαίνεται ότι η γεώτρηση θα μπορούσε να παράγει νερό σε ποσότητα της τάξης των 30 m<sup>3</sup>/h (πολύ πιθανόν και παραπάνω) και θερμοκρασίας περίπου 30°C στην κεφαλή (η γεώτρηση είχε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 33 °C στον πυθμένα της).

Η στάθμη ηρεμίας είναι σαφής στο επίπεδο του εδάφους και κατά διαστήματα η γεώτρηση έχει τάση αρτεσιανισμού, με πολύ μικρή πίεση.(~0,5 atm). Κατά την 11/1/05 έγινε μια συνεχής δοκιμαστική άντληση που διήρκεσε περίπου 8 ώρες (από 9:00 έως τις 17:00). Τα στοιχεία αυτής της άντλησης είναι τα εξής:

| ΩΡΑ    | ΠΑΡΟΧΗ | ΣΤΑΘΜΗ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (m) | ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΗ (°C) |
|--------|--------|--------------------------|------------------------------|
| 9:00   | 7      | -14,00                   | 24,5                         |
| 9:10   | 7      | -20,00                   | 25,0                         |
| 9:20   | 12     | -24,00                   | 25,0                         |
| 9:30   | 7      | -30,00                   | 25,5                         |
| 9:40   | 7      | -30,00                   | 26,0                         |
| 9:50   | 6      | -30,00                   | 26,5                         |
| 10:00  | 6      | -30,00                   | 26,5                         |
| 11:00  | 6      | -30,00                   | 27,0                         |
| 12:00  | 6      | -30,00                   | 27,0                         |
| 13:00  | 6      | -30,00                   | 27,5                         |
| 14:00  | 5      | -30,00                   | 27,5                         |
| 15:00  | 5      | -30,00                   | 28,0                         |
| 16:00  | 5      | -30,00                   | 29,0                         |
| 17:00' | 5      | -30,00                   | 29,5                         |

Πίνακας 3.5



Η παροχή της πομόνας μεταβάλλονταν συνεχώς και από μόνη της εξαιτίας της εισόδου μεγάλων ποσοτήτων άμμου στο παραγόμενο ρευστό.

Κατά την επόμενη ημέρα (12/1/05) επαναλήφθηκε η προσπάθεια άντλησης με διάφορες παροχές, που όμως και πάλι μειώνονταν για την ίδια αιτία. Η πτώση στάθμης φυσιολογικά ήταν μεγαλύτερη τη δεύτερη ημέρα και δείχνει με προσέγγιση το δυναμικό της γεώτρησης, που εκτιμάται σε 30 m<sup>3</sup>/h με πτώση στάθμης γύρω στα 80-100 m από την επιφάνεια του εδάφους, όπου και η στάθμη ηρεμίας.

Τα αποτελέσματα της άντλησης κατά την 12/1/05 ήταν τα παρακάτω:

| ΩΡΑ   | ΠΑΡΟΧΗ (m <sup>3</sup> /h) | ΣΤΑΘΜΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (σε m) | ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΗ (°C) |
|-------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 8:30  | 7                          | -14,0                           | 24,00                        |
| 9:30  | 5                          | -25,0                           | 26,00                        |
| 10:45 | 24                         | -57,0                           | 28,00                        |
| 11:05 | 17                         | -70,0                           | 28,5                         |
| 11:30 | 12,5                       | -70,0                           | 29,5                         |
| 12:20 | 4,7                        | -53,0                           | 29,5                         |

Πίνακας 3.6

Λόγω της συνεχούς μεταβολής της παροχής άντλησης δεν ήταν δυνατόν να συνταχθούν οι σχετικές καμπύλες άντλησης και να εξαχθούν βάσιμα συμπεράσματα για το ακριβές δυναμικό της γεώτρησης με τις συνθήκες που βρισκόταν τότε (χωρίς χαλίκωμα), γι' αυτό αποφασίσθηκε να μην γίνουν αντλήσεις μακράς διάρκειας και σταθερής παροχής (αφού δεν μπορεί να εξασφαλιστεί η σταθερότητα). Μετά από διάφορες σκέψεις και συνεργασίες των εμπλεκόμενων φορέων, αποφασίσθηκε να γίνει προσπάθεια χαλίκωσης του τμήματος 312-650 m., το οποίο όμως δεν κατέστη δυνατόν, αφού διαπιστώθηκε ότι η γεώτρηση «αυτοχαλικώθηκε» με λεπτομερές όμως υλικό άμμου που εισχωρούσε από τα φίλτρα των σωλήνων 6" και γέμισε τα σωληνωτά φίλτρα της γεώτρησης και εμπόδιζε στην κυκλοφορία.

Έγινε και μια τελική προσπάθεια καθαρισμού με air-lift και στη συνέχεια άντληση με κεντρόφυγα αντλία από την επιφάνεια για παραγωγή λιγότερου σε ποσότητα, αλλά καθαρού κατά το δυνατόν ,νερού που θα χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες του έργου GROUNDHIT, χωρίς όμως θετικά αποτελέσματα.

### 3.13 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Από τα μέχρι τώρα στοιχεία της γεώτρησης και τις μετρήσεις που διεξήχθησαν προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.:

- Η γεώτρηση επιτέλεσε το σκοπό της που ήταν η διερεύνηση των γεωθερμικών συνθηκών στην περιοχή, και έδωσε τα αναμενόμενα

αποτελέσματα όσον αφορά στην ποσότητα και την ποιότητα του νερού, ενώ υποδεέστερα στη θερμοκρασία

- Οι υδροφόροι που χρησιμοποιούνται μερικά, θα μπορούσαν να παράγουν συνολικά νερό σε ποσότητα τουλάχιστον 30 m<sup>3</sup>/h και πιθανότατα μεγαλύτερη
- Η χημική σύσταση του νερού δίνεται στο σχετικό κεφάλαιο και είναι πολύ καλή.
- Η θερμοκρασία κατά τη διαδικασία παραγωγής ήταν της τάξης των 30°C στην κεφαλή.
- Η πίεση των υδροφόρων ελαχιστοποιεί την απαιτούμενη ενέργεια άντλησης. Η πίεση του εξερχόμενου νερού αμέσως μετά τη σωλήνωση υπολογίστηκε περίπου στις 0,5 atm.
- Συνεπώς πέρα από το γεγονός ότι είναι γλυκό νερό καλής ποιότητας έχει και γεωθερμικό-ενεργειακό περιεχόμενο.
- Η μη χαλίκωση των παραγωγικών οριζόντων που αποδείχθηκαν απίστευτα αμμώδεις (με λεπτούς κόκκους) εμπόδισε τον καθαρισμό και την παραγωγικότητα της γεώτρησης.

## **ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ NR-1**

16/11/2004 Διάτρηση – Μετρήσεις θερμοκρασίας, αγωγιμότητας, ιξώδους.

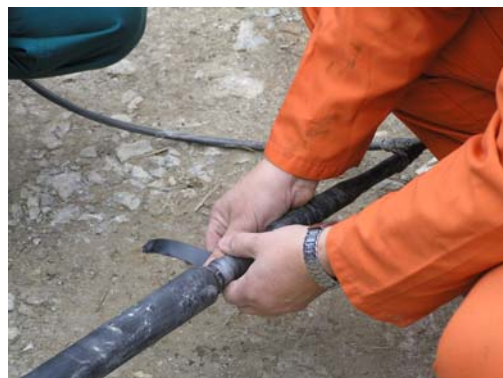






17/11/2004 Loggings – Διαγραφίες









19/11/2004 Σωλήνωση με χαλικόφιλτρα







20-24/11/2004 Air Lift



25/11/2004 Καθαρισμός της γεώτρησης με δεύτερο γεωτρύπανο





20-23/12/2004 Άντληση

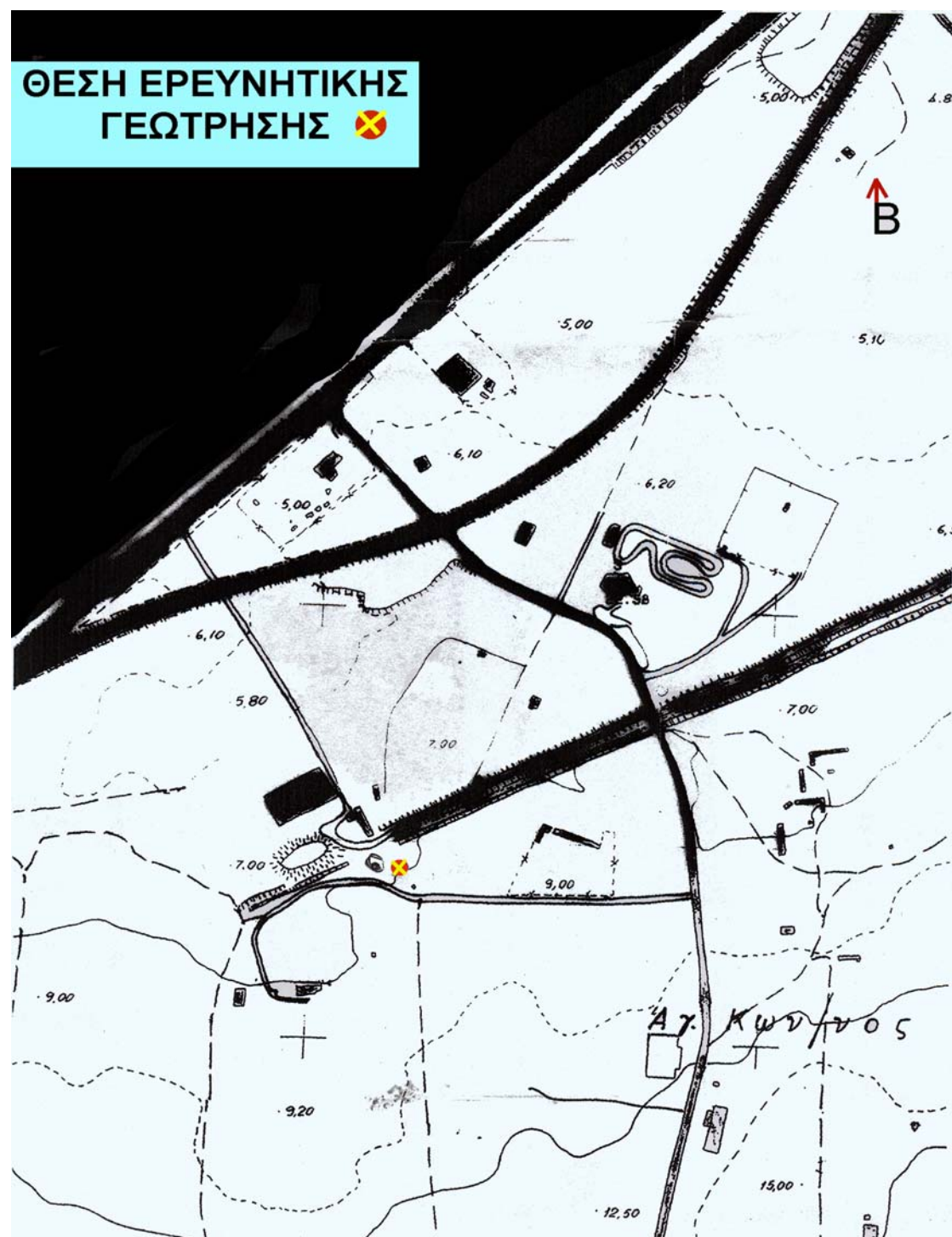


1/2/2005 Καθαρισμός γεώτρησης





## ΘΕΣΗ ΠΡΩΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΣΕ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΧΑΡΤΗ



Σημείωση: Η δεύτερη γεώτρηση πραγματοποιήθηκε ελάχιστα μέτρα από την πρώτη γεώτρηση Χ.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

## ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

#### **4.1 Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΤΟΥ Ν. ΡΥΣΙΟΥ NR-2**

Η συμμετοχή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου στο πρόγραμμα GROUNDHIT κατά το διάστημα 1-6-2005 έως 31-5-2006, αφορά κυρίως τη γεωθερμική έρευνα της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Ανθεμούντα στη Θεσσαλονίκη, όπου αποφασίσθηκε να πραγματοποιηθούν δύο γεωτρήσεις (μία παραγωγής και μία επανεισαγωγής), με σκοπό τη χρήση του νερού του βαθιού θερμού-υπόθερμου υδροφόρου στις αντλίες θερμότητας.

Όλα τα γεωλογικά - τεκτονικά – υδρογεωλογικά δεδομένα της περιοχής καθώς και οι μετρήσεις από την πρώτη βαθιά γεώτρηση NR-1 (που τελικά θα χρησιμοποιηθεί ως γεώτρηση επανεισαγωγής) έχουν περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η γεώτρηση, NR-1 έφτασε σε βάθος 650m, έγινε για ερευνητικούς σκοπούς και είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα, δηλαδή 30 m<sup>3</sup>/h παροχή, 33 °C στον πυθμένα και περίπου 30 °C στην κεφαλή κατά τη διάρκεια των αντλήσεων. Εξαιτίας σοβαρών προβλημάτων από τη φύση των παραγωγικών σχηματισμών της γεώτρησης, που προκαλούσαν την είσοδο άμμου μέσα στους φιλτροσωλήνες δεν κατέστη δυνατή η επίτευξη παραγωγής καθαρού γεωθερμικού νερού παρά μαζί με άμμο και γι'αυτό αποφασίσθηκε η NR-1 να χρησιμοποιηθεί αυτή σαν γεώτρηση επανεισαγωγής.

Με βάση τα δεδομένα της πρώτης γεώτρησης αποφασίσθηκε και σχεδιάστηκε κατάλληλα μια δεύτερη, δίπλα στην πρώτη για πρακτικούς λόγους, σε μικρότερο όμως βάθος, ώστε η παραγωγή και η επανεισαγωγή να γίνεται σε διαφορετικούς ορίζοντες. Έτσι, η δεύτερη γεώτρηση NR-2 (γεώτρηση παραγωγής), αφού αποφύγει με τσιμέντωση τους ρηχούς ορίζοντες που έχουν μικρή θερμοκρασία, θα εκμεταλλευτεί τους ενδιάμεσους ορίζοντες ( μεταξύ 324-426 m ) και η επανεισαγωγή θα γίνεται στους βαθείς ορίζοντες της πρώτης γεώτρησης NR-1. Η γεώτρηση παραγωγής NR-2 ξεκίνησε στις 3/8/2005 και τελείωσε στις 27/9/2005 χρησιμοποιώντας το κατάλληλο υδραυλικό γεωτρήπανο τύπου K800 II. Μετά τη γεώτρηση έγιναν δοκιμές παραγωγής και διάφορες μετρήσεις ανά μικρά τακτά χρονικά διαστήματα.

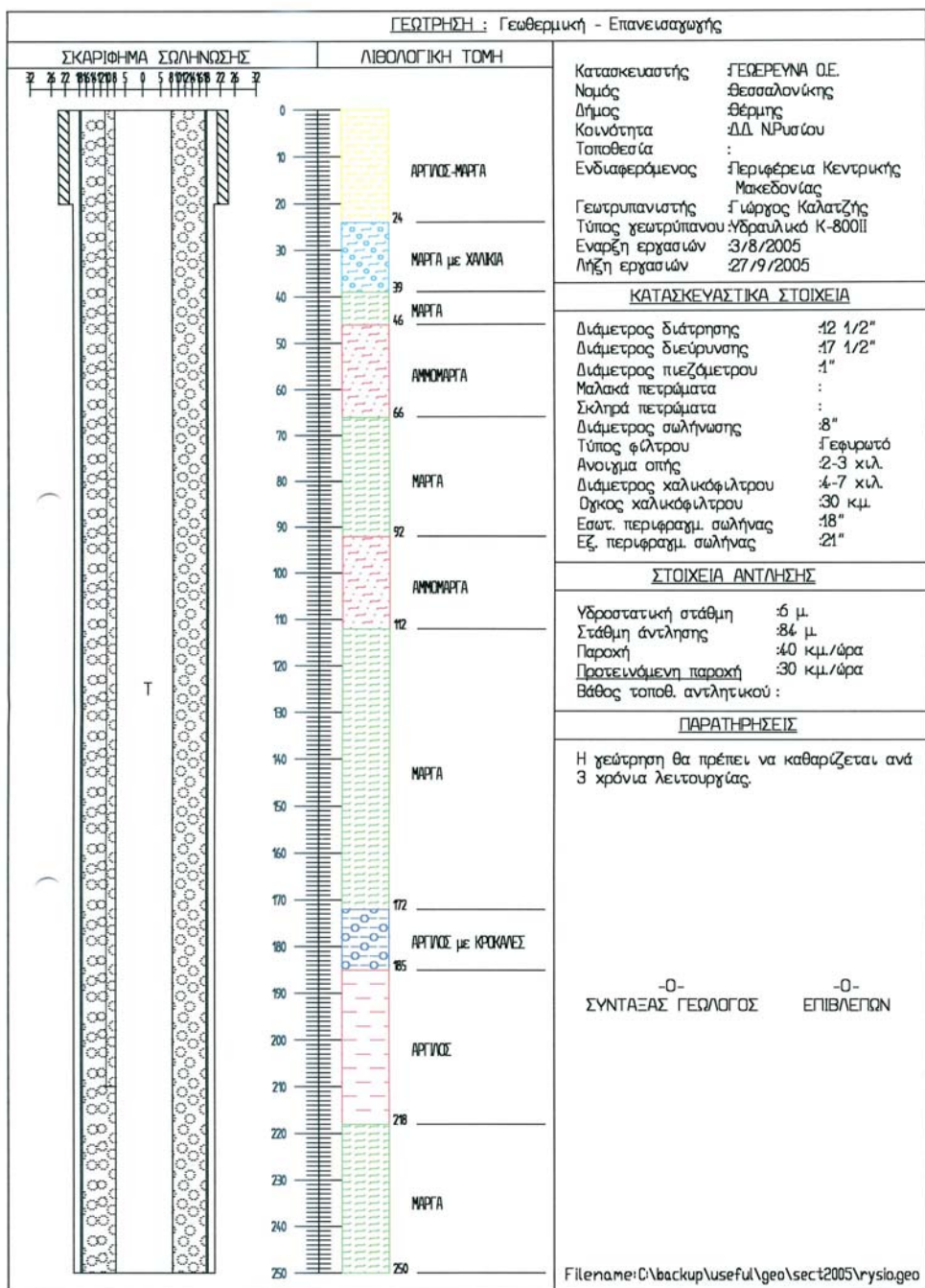
Η διάτρηση στα πρώτα 20m έγινε με διάμετρο Φ 24” και σωλήνωση με 21” και ύστερα τσιμεντώθηκε στο εξωτερικό μέρος. Στη συνέχεια η διάτρηση έγινε με Φ 12 ½” και η διεύρυνση με Φ 17 ½” μέχρι το τελικό βάθος (442 m). Η γεώτρηση

σωληνώθηκε με  $\Phi$  8'' και τσιμεντώθηκε από 0-300 m. Τοποθετήθηκε χαλικόφιλτρο διαμέτρου 4-7 mm σε ποσότητα  $30 \text{ m}^3$  και ένας πιεζομετρικός σωλήνας  $\Phi$  1'' μέχρι το βάθος 210 m. Οι φιλτροσωλήνες των 8'' είναι γεφυρωτοί, με άνοιγμα οπής 2-3 mm. Τοποθετήθηκαν συνολικά 9 φιλτροσωλήνες των 6 m (συνολικό μήκος 54 m) μεταξύ 324-426 m, σε αντιστοιχία των κυριότερων υδροφόρων και 12 σωλήνες τυφλοί. Στους ανώτερους υδροφόρους (0-300 m) για να αποφευχθεί η άντληση νερού χαμηλής θερμοκρασίας, τσιμεντώθηκαν οι σωλήνες με απλό τσιμέντο (για περισσότερες λεπτομέρειες βλέπε τομή). Τομή δεύτερης γεώτρησης NR-2 (Τομή 4.1).

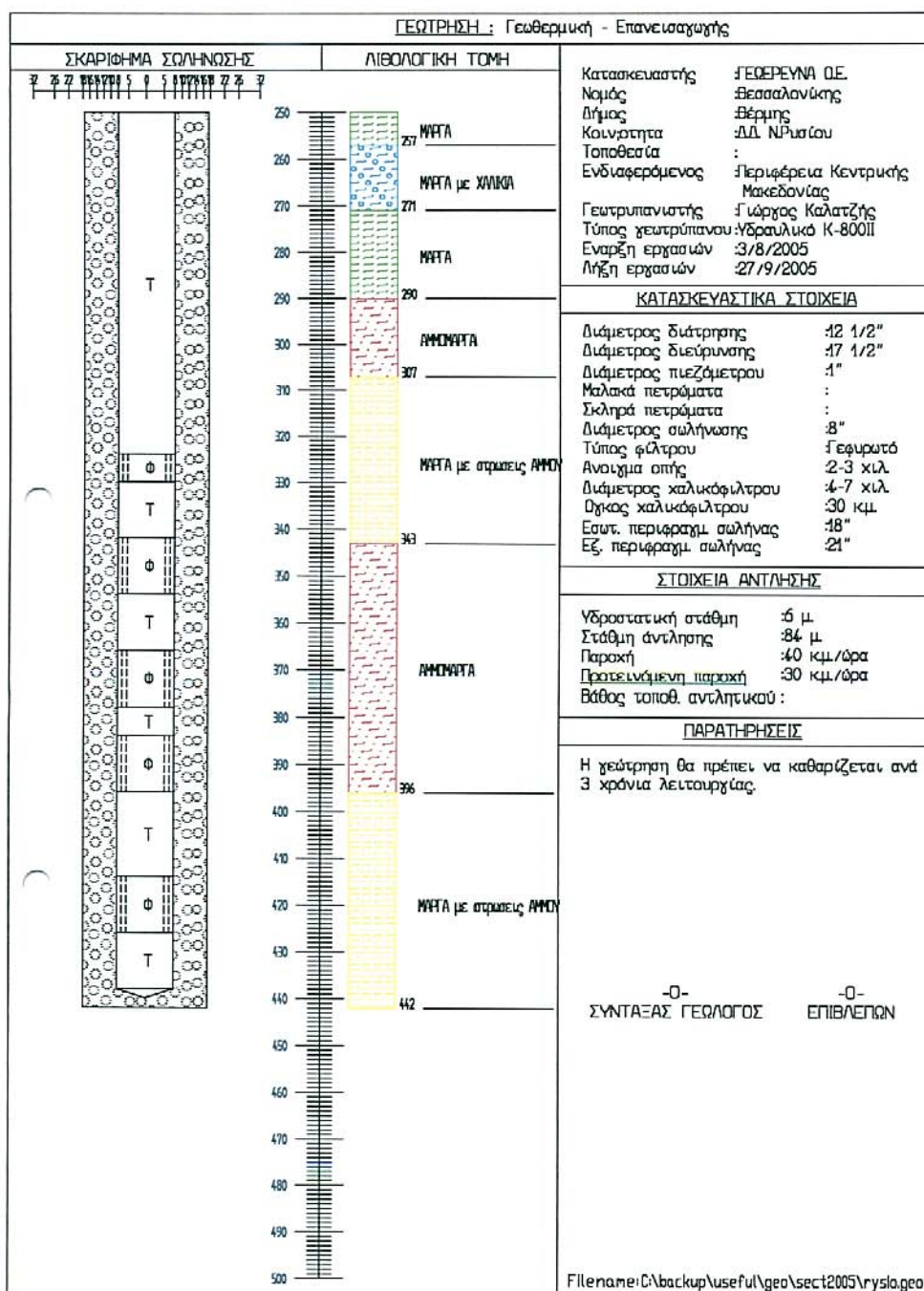
Η γεώτρηση έχει θερμοκρασία στον πυθμένα της τάξης των  $32^\circ\text{C}$ , ενώ η θερμοκρασία στην κεφαλή κατά την άντληση είναι περίπου  $28^\circ\text{C}$  (μέσος όρος των υδροφόρων που υπάρχουν σε βάθη μεταξύ 300-420 m). Η υδροστατική στάθμη της γεώτρησης είναι υψηλή και βρίσκεται στα 6 m όπως δείχνουν οι μετρήσεις, ενώ η στάθμη άντλησης με παροχή  $47 \text{ m}^3/\text{h}$  βρίσκεται στα 34 m. Η παροχή νερού της γεώτρησης υπολογίζεται μεγαλύτερη των  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , με θερμοκρασία  $28^\circ\text{C}$  στην κεφαλή.

Η γεώτρηση παραγωγής έχει ικανοποιητικά στοιχεία για τους σκοπούς του προγράμματος. Μπορεί να τροφοδοτήσει την πειραματική αντλία θερμότητας με νερό  $28^\circ\text{C}$  (ή και λιγότερο αν κριθεί σκόπιμο) και μετά τη χρήση να επαναδιοχετεύεται το νερό στην προηγούμενη και βαθύτερη γεώτρηση NR-1. Η αντλία θερμότητας θα εξυπηρετεί κοντινούς στεγασμένους χώρους που θα επιλεγούν από την ομάδα του προγράμματος για να εξυπηρετήσει καλύτερα τους σκοπούς αυτού.





ΓΕΩΡΕΥΝΑ Ο.Ε. - ΤΣΙΜΙΣΚΗ 82 - Τηλ: 031/281166 - Fax: 031/287552



Τομή 4.1

#### **4.1.2 ΑΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ**

Στα πλαίσια του προγράμματος και προκειμένου να ενημερωθούν διάφοροι φορείς στη χρήση των γήινων εναλλακτών και των αντλιών θερμότητας, η ομάδα του Α.Π.Θ. πήρε διάφορες πρωτοβουλίες και μετείχε σε διάφορες ημερίδες και συνέδρια με ανάλογες εισηγήσεις.

Έτσι λοιπόν, μετείχε με εισηγήσεις στην εκδήλωση Money show που έγινε στη Θεσσαλονίκη (ξενοδοχείο HYATT ) με πρωτοβουλία του εμπορικού και βιομηχανικού επιμελητηρίου της Γερμανίας, το οποίο μας παραχώρησε ειδική αίθουσα και τρεις ώρες. Στις εισηγήσεις περιελήφθησαν και πληροφορίες για την πορεία και τους σκοπούς του προγράμματος GROUNDHIT.

Επίσης, στην Αλεξανδρούπολη, σε εκδήλωση του Τεχνικού Επιμελητηρίου Θράκης, παρουσιάστηκε εισήγηση για τη Γεωθερμία, τονίζοντας ιδιαίτερα το θέμα των γήινων εναλλακτών και των αντλιών θερμότητας, και έγινε αναφορά στο πρόγραμμα του GROUNDHIT.

Στο παγκόσμιο συνέδριο γεωθερμίας που έγινε στην Antalya της Τουρκίας το 2005, παρουσιάστηκε η κατάσταση της γεωθερμίας στην Ελλάδα και έγινε αναφορά σε παραδείγματα εφαρμογών αντλιών θερμότητας σε διάφορες περιοχές της χώρας μας.

Επίσης, στο τρίτο Εθνικό Συνέδριο για την εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Αθήνα 23-25/2/05), παρουσιάστηκε εργασία για «Το παρόν και το μέλλον των γεωθερμικών εφαρμογών στην Ελλάδα».

Η ομάδα του Α.Π.Θ. συμμετείχε στην συνάντηση των Δελφών 27-28/5/05 για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπου παρουσιάστηκε το θέμα «Γεωθερμική Ενέργεια και Περιφερειακή Ανάπτυξη», έτσι ώστε να επακολουθήσει μια εποικοδομητική συζήτηση και ανασυγκροτήθηκαν ομάδες εργασίας.

Επίσης στην Αθήνα, σε Διεθνές Συνέδριο με θέμα «Γεωθερμία στα κτίρια», δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη χρήση των γήινων εναλλακτών και των αντλιών θερμότητας.

Στις Βρυξέλλες στο workshop του προγράμματος GROUNDHIT που έγινε στις 18/5/06, παρουσιάσθηκαν όλες οι πτυχές και τα μέχρι τώρα αποτελέσματα του προγράμματος.

Στα πλαίσια των δραστηριοτήτων του Α.Π.Θ. για τη διάδοση και ενημέρωση διαφόρων φορέων πραγματοποιήθηκαν συνεργασίες, συναντήσεις και συζητήσεις σχετικές με το σημαντικό θέμα που πραγματεύεται το GROUNDHIT. Π.χ. πραγματοποιήθηκε συνεργασία με ιδιωτικό γραφείο στη Θεσσαλονίκη που

ασχολείται με ειδικές γεωτρήσεις, εγκαταστάσεις ground heat exchangers και αντλίες θερμότητας.

Καθ' όλη τη διάρκεια του προγράμματος και για το συγκεκριμένο διάστημα υπήρξε στενή συνεργασία με το ΕΚΕΤΑ (CPERI) για όλα τα θέματα και με τους συνεργάτες Κ.Α.Π.Ε. και MENTOR και με τον υποεργολάβο ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ όσον αφορά τη γεώτρηση και τις σχετικές μετρήσεις και δοκιμές σε αυτή.

Κατά την προσεχή τελευταία περίοδο του έργου όπως είχε προγραμματιστεί άλλωστε, πραγματοποιήθηκε η σύνταξη των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων και της γεωθερμικής έρευνας σε κατάλληλες εργασίες που θα εστάλησαν για δημοσίευση σε ανάλογα περιοδικά. Επίσης συνεχίστηκε η συμμετοχή σε εθνικά ή διεθνή συνέδρια και η παρουσίαση μέρους των αποτελεσμάτων του GROUNDHIT κατά περίπτωση.

#### **4.2 ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ Ν. ΡΥΣΙΟΥ NR-2**

Στα πλαίσια της συμμετοχής του Α.Π.Θ. στο πρόγραμμα GROUNDHIT, αποφασίστηκε όπως αναφέρθηκε πραγματοποιηθούν δύο γεωτρήσεις (παραγωγής και επανεισαγωγής) με σκοπό τη χρήση του νερού του υδροφόρου στις αντλίες θερμότητας. Κατά το χρονικό διάστημα 1-6-2006 έως 30-5-2007 και με το πέρας της δεύτερης γεώτρησης πραγματοποιήθηκε μια σειρά αντλήσεων. Τα αποτελέσματά αυτών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Ημερομηνία : 24 – 2 – 07

| ΩΡΑ   | ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΤΑΘΜΗΣ | ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ |
|-------|-----------------|-------------|
| 7:45  | 8,95 m          | 21,6 °C     |
| 8:00  | 28,40 m         | 24,8 °C     |
| 8:15  | 33,20 m         | 26,9 °C     |
| 8:30  | 34,50 m         | 27,9 °C     |
| 9:30  | 34,80 m         | 28,4 °C     |
| 10:00 | 35,05 m         | 28,3 °C     |
| 10:30 | 35,25 m         | 28 °C       |
| 11:00 | 35,70 m         | 28 °C       |
| 11:30 | 37,90 m         | 29 °C       |
| 12:10 | 36,10 m         | 28 °C       |
| 13:00 | 36,20 m         | 28 °C       |
| 14:00 | 36,20 m         | 29 °C       |
| 14:39 |                 | 28 °C       |
| 15:10 |                 | 28 °C       |

Πίνακας 4.1

Κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων λήφθηκε δείγμα νερού με σκοπό την ανάλυση των φυσικοχημικών παραμέτρων του νερού. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων, που έγιναν στα εργαστήρια της ΕΚΕΤΑ, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Κωδικός Δείγματος  
Ημερομηνία Δειγματοληψίας

: Γεωθερμική Γεώτρηση (GROUNDHIT) :  
13/03/2007

| Μετρούμενη Παράμετρος                             | Μέγιστη                                               | Αποτελέσματα | Όριο<br>ανίχνευσης |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------|--------------------|
|                                                   | Συγκέντρωση ΕΕ C<br>98/83 3.11.1998 (για πόσιμο νερό) |              |                    |
| pH                                                | 6,5 - 8,5                                             | 7.1          |                    |
| Αγωγιμότητα, $\mu\text{S}/\text{cm}$              | 2.500                                                 | 1480         |                    |
| Ολική Σκληρότητα, $^{\circ}\text{F}$              | -                                                     | 19.8         |                    |
| Ανθρακική Σκληρότητα, $^{\circ}\text{F}$          | -                                                     | 19.8         |                    |
| Μη ανθρακική Σκληρότητα, $^{\circ}\text{F}$       | -                                                     | ND           |                    |
| Ολική Αλκαλικότητα, M                             | -                                                     | 200          |                    |
| Ογκομέτρηση σε τελικό pH 4,5 mg/L $\text{CaCO}_3$ |                                                       |              |                    |
| Turbidity, NTU                                    |                                                       | 7.7          |                    |
| Total Dissolved Solids, mg/L                      |                                                       | 950          |                    |
| <b>Κατιόντα, mg/L</b>                             |                                                       |              |                    |
| Νάτριο, $\text{Na}^+$                             | 200                                                   | 214          | 4                  |
| Κάλιο, $\text{K}^+$                               | 12                                                    | 2.8          | 0.08               |
| Ασβέστιο, $\text{Ca}^{2+}$                        | 100                                                   | 5.1          | 0.1                |
| Μαγνήσιο, $\text{Mg}^{2+}$                        | 50                                                    | 45           | 2                  |
| Αμμωνιακά, $\text{NH}_4^+$                        | 0,50                                                  | -            | 0.01               |
| Λίθιο, $\text{Li}^+$                              |                                                       | 0.02         | 0.001              |
| <b>Ανιόντα, mg/L</b>                              |                                                       |              |                    |
| Χλωριόντα, $\text{Cl}^-$                          | 250                                                   | 338          | 0.02               |
| Οξίνα ανθρακικά, $\text{HCO}_3^-$                 | -                                                     | 244          | -                  |
| Θειικά, $\text{SO}_4^{2-}$                        | 250                                                   | -            | 1.0                |
| Νιτρικά, $\text{NO}_3^-$                          | 50                                                    | ND           | 2.0                |
| Νιτρώδη, $\text{NO}_2^-$                          | 0,5                                                   | -            | 0.01               |
| Φωσφορικά, $\text{PO}_4^{3-}$                     | 3,4                                                   |              | 0.46               |
| Βόριο                                             | 1,0                                                   | 0.7          |                    |
| <b>Ιχνοστοιχεία (mg/L)</b>                        |                                                       |              |                    |
| Αρσενικό, (As)                                    |                                                       | ND           | 0.05               |
| Σίδηρος, (Fe)                                     | 0,2                                                   | 0.45         | 0.01               |
| Μαγγάνιο, (Mn)                                    | 0,05                                                  | 0.3          | 0.008              |
| Ψευδάργυρος, (Zn)                                 | -                                                     | 0.05         | 0.002              |

\*ND: Δεν ανιχνεύτηκε

Πίνακας 4.2



Κωδικός Δείγματος

: Γεωθερμική Γεώτρηση, Δήμος Θέρμης (Νέο Ρύσιο) Έργο (GROUNDHIT)

Ημερομηνία Δειγματοληψίας

: 24/02/2007

| Μετρούμενη Παράμετρος                                             | Μέγιστη<br>Συγκέντρωση ΕΕ C<br>98/83 3.11.1998 (για πόσιμο νερό) | Αποτελέσματα | Όριο<br>ανίχνευσης |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|
| pH                                                                | 6,5 - 8,5                                                        | 7.3          |                    |
| Αγωγιμότητα, $\mu\text{S}/\text{cm}$                              | 2.500                                                            | 1488         |                    |
| Ολική Σκληρότητα, $^{\circ}\text{F}$                              | -                                                                | 21.5         |                    |
| Ανθρακική Σκληρότητα, $^{\circ}\text{F}$                          | -                                                                | 21.5         |                    |
| Μη ανθρακική Σκληρότητα, $^{\circ}\text{F}$                       | -                                                                | ND           |                    |
| Ολική Αλκαλικότητα, M                                             | -                                                                | 293          |                    |
| Ογκομέτρηση σε τελικό pH 4,5 $\text{mg}/\text{L}$ $\text{CaCO}_3$ |                                                                  |              |                    |
| Turbidity, NTU                                                    |                                                                  | 19           |                    |
| Total Dissolved Solids, $\text{mg}/\text{L}$                      |                                                                  |              |                    |
| <b>Κατιόντα, <math>\text{mg}/\text{L}</math></b>                  |                                                                  |              |                    |
| Νάτριο, $\text{Na}^+$                                             | 200                                                              |              | 2,0                |
| Κάλιο, $\text{K}^+$                                               | 12                                                               |              | 2,0                |
| Ασβέστιο, $\text{Ca}^{2+}$                                        | 100                                                              | 70           | 1,0                |
| Μαγνήσιο, $\text{Mg}^{2+}$                                        | 50                                                               |              | 0,1                |
| Αμμωνιακά, $\text{NH}_4^+$                                        | 0,50                                                             |              | 0,01               |
| Λίθιο, $\text{Li}^+$                                              |                                                                  |              |                    |
| <b>Ανιόντα, <math>\text{mg}/\text{L}</math></b>                   |                                                                  |              |                    |
| Χλωριόντα, $\text{Cl}^-$                                          | 250                                                              |              | 0.02               |
| Οξίνα ανθρακικά, $\text{HCO}_3^-$                                 | -                                                                | 357          | -                  |
| Θειικά, $\text{SO}_4^{2-}$                                        | 250                                                              |              | 1.0                |
| Νιτρικά, $\text{NO}_3^-$                                          | 50                                                               | ND           | 2.0                |
| Νιτρώδη, $\text{NO}_2^-$                                          | 0,5                                                              |              | 0.01               |
| Φωσφορικά, $\text{PO}_4^{3-}$                                     | 3,4                                                              |              | 0.46               |
| Βόριο                                                             | 1,0                                                              | 0.5          |                    |
| <b>Ιχνοστοιχεία (<math>\text{mg}/\text{L}</math>)</b>             |                                                                  |              |                    |
| Αρσενικό, (As)                                                    | 2                                                                |              | 0.08               |
| Σίδηρος, (Fe)                                                     | 0,2                                                              |              | 0.10               |
| Μαγγάνιο, (Mn)                                                    | 0,005                                                            |              | 0.05               |
| Ψευδάργυρος, (Zn)                                                 | -                                                                |              | 0.02               |

\*ND: Δεν ανιχνεύτηκε

Πίνακας 4.3

Στη γεώτρηση έγινε πολύ καλός καθαρισμός με τη μέθοδο του air-lift και τη χρήση ενός ικανού συμπιεστή, ώστε να απαλλαγεί αυτή από τα τρήματα, το μπετονίτη και τα άλλα ξένα υλικά που εμποδίζουν τη λειτουργία των παραγωγικών οριζόντων και των συγγενών φίλτρων.

Η στάθμη ηρεμίας του νερού μέσα στην οπή της διάτρησης, πριν από τα κανονικά τεστ αντλήσεων ήταν σε βάθος 9,20 m κάτω από τη στάθμη του υπόγειου ύδατος.

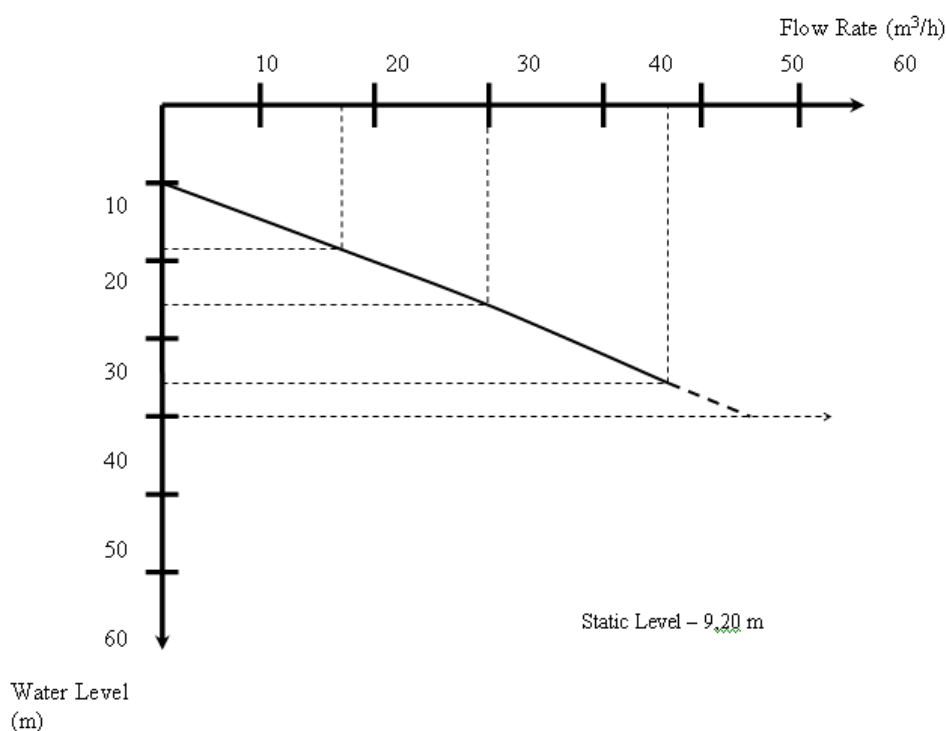
Στο τέλος του Φεβρουαρίου του 2007 έγινε μια προκαταρτική σειρά αντλήσεων, με σκοπό να καθοριστούν οι παραγωγικές ικανότητες της γεώτρησης.

Η αντλία που τοποθετήθηκε ήταν αξονικού τύπου και τοποθετήθηκε στα 84 m.

Την επόμενη μέρα αποφασίστηκε να γίνουν δοκιμαστικές αντλήσεις σε τρεις κλίμακες και χρησιμοποιήθηκαν σαν παροχές οι 18 m<sup>3</sup>/h, 30 m<sup>3</sup>/h και 47 m<sup>3</sup>/h αντίστοιχα για τρεις συνεχόμενες ώρες σε κάθε μια από αυτές. Το αντίστοιχο επίπεδο στάθμης του νερού στη γεώτρηση κάτω από την επιφάνεια ήταν μόνο 18, 25 και 34 m αντίστοιχα.

Την επόμενη μέρα αποφασίστηκε να πραγματοποιηθεί μια συνεχής άντληση διάρκειας 48 ωρών, με σταθερή παροχή 37 m<sup>3</sup>/h. Η στάθμη ύδατος της γεώτρησης σταθεροποιήθηκε στα 32,00m. Το σημαντικό βάθος των υδροφόρων ήταν μεταξύ 324-426m.

Από τις συστηματικές δοκιμές αντλήσεων της δεύτερης γεώτρησης, που θα χρησιμοποιηθεί ως γεώτρηση παραγωγής, γίνεται φανερό ότι η γεώτρηση αυτή μπορεί να παράγει πάνω από 50 m<sup>3</sup>/h. Αυτό το συμπέρασμα μπορεί να εξαχθεί και από την καμπύλη του διαγράμματος άντλησης σε τρεις διαφορετικές κλίμακες (18 m<sup>3</sup>/h, 30 m<sup>3</sup>/h και 47 m<sup>3</sup>/h, διάρκειας 3 ώρες η καθεμία). Αυτή η καμπύλη δεν έφτασε σε κρίσιμο σημείο και παρέμεινε ευθεία γραμμή καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων. Αντίθετα, οι δοκιμαστικές αντλήσεις σε σταθερή παροχή 37 m<sup>3</sup>/h για 48 ώρες έδειξε πτώση στάθμης ύδατος μόνο 32m, η θερμοκρασία του νερού στην κεφαλή της γεώτρησης κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων έφτασε στους 29,4 °C.



Διάγραμμα 4.1

#### 4.1.2 ΆΛΛΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ

Η ομάδα του Α.Π.Θ. εξακολούθησε να παίρνει μέρος σε πολλές σημαντικές ημερίδες, συνέδρια και άλλες εισηγήσεις, έχοντας ως στόχο την εκτενή πληροφόρηση σε τεχνολογικά θέματα που αφορούν τους υπόγειους γεωεναλλάκτες και τη χρήση των αντλιών θερμότητας και κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου, της δεύτερης γεώτρησης. Η ομάδα σε κάθε ευκαιρία που της δίνεται προωθεί τα οφέλη και τα τεχνολογικά αποτελέσματα που εξάγονται από το πρόγραμμα GROUNDHIT.

Η ομάδα του Α.Π.Θ. παρουσίασε επίσης στη Θράκη τον Απρίλιο του 2007 τις γεωθερμικές εφαρμογές στον ελληνικό χώρο, συμπεριλαμβανομένου και των αντλιών θερμότητας και αναφέρθηκε στο πρόγραμμα GROUNDHIT.

Στις 10/5/2007 παρουσιάστηκε σε σεμινάριο οικονομικών σε συνεργασία Ελλάδας και Γερμανίας που πραγματοποιήθηκε στη Θεσσαλονίκη τα πλεονεκτήματα από τις εφαρμογές της χρήσης των αντλιών θερμότητας.

Έχοντας ως σκοπό τη διάδοση των αποτελεσμάτων της, η ομάδα του Α.Π.Θ. ήρθε σε συνεργασία και σε συζητήσεις με πολλά ιδρύματα, οργανισμούς (δημόσιους και ιδιωτικούς) στη Θεσσαλονίκη.

Τέλος το Α.Π.Θ. ήρθε σε συνεργασία με το Ε.ΚΕ.ΤΑ. (CPERI), το Κ.Α.Π.Ε. και τη ΓΕΩΕΡΕΥΝΑ (την εταιρεία που πραγματοποίησε της γεωτρήσεις) και αξιολόγησε τα αποτελέσματα της διάτρησης.

**ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ  
ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΡΥΣΙΟΥ NR-2 - ΠΡΩΤΗ ΜΕΡΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ  
24-02-2007**





Γενική άποψη της περιοχής  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής - πομόνα  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής - πομόνα  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής - πομόνα  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής - πομόνα  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής - πομόνα  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής - πομόνα  
μέτρηση θερμοκρασίας  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια  
της άντλησης  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής – πομόνα –  
συνέχιση της άντλησης  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής – πομόνα –  
συνέχιση της άντλησης  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Χώρος τοποθέτησης αντλίας θερμότητας  
& στοιχεία της  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)





Γενική εσωτερική άποψη του χώρου της αντλίας θερμότητας  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική εσωτερική άποψη του χώρου της αντλίας θερμότητας  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική εσωτερική άποψη του χώρου της αντλίας θερμότητας  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική εσωτερική άποψη του χώρου της αντλίας θερμότητας - διάφορες συνδέσεις  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική εσωτερική άποψη του χώρου της αντλίας θερμότητας - διάφορες συνδέσεις  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Φαν coils τοποθετημένα στο διπλανό κτίριο για παροχή θέρμανσης στα αποδυτήρια των εργαζομένων της εταιρείας Χριστοδουλίδη  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)

**ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΔΕΥΤΕΡΗ ΓΕΩΤΡΗΣΗ  
ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΡΥΣΙΟΥ NR-2 - ΔΕΥΤΕΡΗ ΜΕΡΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ  
25-02-2007**



Γενική άποψη της περιοχής – πομόνα –  
συνέχιση της άντλησης-δεύτερη μέρα  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής – πομόνα –  
συνέχιση της άντλησης-δεύτερη μέρα  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Γενική άποψη της περιοχής – πομόνα –  
συνέχιση της άντλησης-δεύτερη μέρα  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Προσδιορισμός σημείου με GPS  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μετρήσεις θερμοκρασίας κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μετρήσεις θερμοκρασίας κατά την  
άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)





Μετρήσεις θερμοκρασίας κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μετρήσεις θερμοκρασίας κατά την  
άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μετρήσεις θερμοκρασίας κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μετρήσεις θερμοκρασίας κατά την  
άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μετρήσεις θερμοκρασίας κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μετρήσεις θερμοκρασίας κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)





Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)





Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Μέτρηση στάθμης κατά την άντληση  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Κλείσιμο της πομόνας  
(Πηγή:Προσωπικό αρχείο)



Σταμάτημα της άντλησης  
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σταμάτημα της άντλησης  
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σταμάτημα της άντλησης  
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Σταμάτημα της άντλησης  
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Ένδειξη θερμοκρασίας στην αντλία  
θερμότητας  
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



Ένδειξη θερμοκρασίας στην αντλία  
θερμότητας  
(Πηγή: Προσωπικό αρχείο)



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

## ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

**Τι πληρώνουμε ετησίως για θέρμανση**

| ΕΙΔΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΗΓΗΣ | ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ          | ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ  | ΤΙΜΗ ΑΓΟΡΑΣ             | ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (δρχ.) |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| Diesel                  | 10.000 Kcal/Kg             | 1.500 Kg ή 1.875 Lt   | 75 δρχ./Lt              | 140.625                   |
| Φυσικό αέριο            | 8.600 Kcal/Nm <sup>3</sup> | 1.744 Nm <sup>3</sup> | 90 δρχ./Nm <sup>3</sup> | 156.960                   |
| Αντλία θερμότητας       | (COP=3)*                   | 5.760 kWh             | 32 δρχ./kWh             | 184.320                   |

ΠΗΓΗ - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ: Χρ. Σιγάλης, μέλος της Διοικούσας Επιτροπής του ΤΕΕ  
\* COP=3 σημαίνει ότι για να πάρουμε 3kW θερμική ισχύ καταναλώνουμε 1 kW ηλεκτρική ισχύ.

Σχήμα 4.1

(Πηγή: [http://tovima.dolnet.gr/print\\_article.php?e=B&f=12503&m=E06&aa=1](http://tovima.dolnet.gr/print_article.php?e=B&f=12503&m=E06&aa=1))

## ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΓΑΘ)

### 5.1. ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

- 1 λίτρο πετρελαίου αποδίδει 10.835 θερμίδες ή 10,6 θερμικές kWh
- 1 λίτρο πετρελαίου κοστίζει σήμερα (2006) 0,65 €
- Με απόδοση λέβητα ίση με 80% το κόστος ανέρχεται στα 0,81 €
- Συνεπώς για 10,6 θερμικές kWh ο πελάτης πληρώνει ~ 0,8 €

### 5.2. ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΑΘ

- Βαθμός Απόδοσης ΓΑΘ = 4
- Δηλαδή για παραγωγή 4 θερμικών kWh, η ΓΑΘ καταναλώνει 1 ηλεκτρική kWh
- Συνεπώς για ίδια θερμική ενέργεια με το συμβατικό (10,6kWh) καταναλώνει 2,65kWh ηλεκτρικές
- Με το οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ πληρώνει 0,11 €/kWh
- Άρα για τις 10,6 θερμικές kWh ο πελάτης πληρώνει ~ 0,3 €

\*Εξοικονόμηση ~ 0,5 € ανά λίτρο πετρελαίου που καταναλώνεται για θέρμανση.

### 5.3. ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ

- Βαθμός Απόδοσης συμβατικού ψύκτη = 1,7
- Δηλαδή για παραγωγή 1,7 ψυκτικών kWh, ο ψύκτης καταναλώνει 1 ηλεκτρική kWh
- Άρα για 100 kWh ψύξης, καταναλώνει 59 ηλεκτρικές kWh
- Με το οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ πληρώνει 0,11 €/kWh
- Συνεπώς για 100 ψυκτικές kWh ο πελάτης πληρώνει ~ 6,5 €

### 5.4. ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ ΓΑΘ

- Βαθμός Απόδοσης ΓΑΘ = 3,
- Δηλαδή για παραγωγή 3 ψυκτικών kWh, η ΓΑΘ καταναλώνει 1 ηλεκτρική kWh
- Άρα για 100 kWh ψύξης, καταναλώνει 33 ηλεκτρικές kWh
- Με το οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ πληρώνει 0,11 €/kWh
- Συνεπώς για 100 ψυκτικές kWh ο πελάτης πληρώνει ~3,7 €

\*Εξοικονόμηση 2,8 € ανά 100 ηλεκτρικές kWh που καταναλώνεται για ψύξη.

### 5.5 Παράδειγμα για κατοικία 130 τμ

Η περίοδος θέρμανσης θεωρήθηκε 6 μήνες το χρόνο. Στο διάστημα αυτό οι αντλίες θερμότητας θα λειτουργούν 30 μέρες το μήνα, 6 ώρες την ημέρα, παράγοντας συνολικά 19.650 θερμικές kWh.

Αν θέλαμε να παράξουμε αυτές τις 19.650 θερμικές kWh με συμβατικό σύστημα καυστήρα/λέβητα που έχει απόδοση 80%, θα έπρεπε να καταναλώσουμε 1.860 λίτρα πετρελαίου θέρμανσης.

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, το σπίτι θα εξοικονομεί περίπου 0,5 € ανά λίτρο πετρελαίου που καταναλώνεται για θέρμανση. Αυτό σημαίνει ότι για τα 1.860 λίτρα η ετήσια εξοικονόμηση θα είναι περίπου 950 €.

Ομοίως, η περίοδος ψύξης θεωρήθηκε 4 μήνες το χρόνο. Στο διάστημα αυτό οι αντλίες θερμότητας θα λειτουργούν 30 μέρες το μήνα, 6 ώρες την ημέρα, παράγοντας συνολικά 14.000 ψυκτικές kWh.

Αν θέλαμε να παράξουμε αυτές τις 14.000 ψυκτικές kWh με συμβατικό air-condition που έχει απόδοση 1.7, θα έπρεπε να καταναλώσουμε περίπου 8.250 ηλεκτρικές kWh.

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, το σπίτι θα εξοικονομεί περίπου 2,8 € ανά 100 ηλεκτρικές kWh που καταναλώνει για ψύξη. Αυτό σημαίνει ότι για τις 8.250 kWh η ετήσια εξοικονόμηση θα είναι 230 €.

Υπάρχει επίσης και το όφελος από το ζεστό νερό χρήσης που παράγεται από τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, σε περίπτωση που αυτό θα παραγόταν από ηλεκτρικό θερμοσίφωνα.

Ένας ηλεκτρικός θερμοσίφωνας των 150 λίτρων έχει ηλεκτρική αντίσταση 4 kW. Αν η λειτουργία του το χειμώνα είναι για 150 ημέρες, 3 ώρες την ημέρα, τότε η κατανάλωσή του είναι 1800kWh. Με κόστος kWh = 0.11 € το συνολικό κόστος είναι περίπου 200€. Η ΓΑΘ με COP = 4, θα χρειαστεί μόνο το ¼ αυτών των χρημάτων δηλαδή 50 €.

Αν θεωρήσουμε ότι το καλοκαίρι χρειαζόμαστε τον θερμοσίφωνα για 50 ημέρες, 3 ώρες την ημέρα, τότε η κατανάλωσή του είναι 600kWh με κόστος περίπου 70 €. Το καλοκαίρι όμως η αντλία θερμότητας παράγει ζεστό νερό για χρήση θερμοκρασίας 30 βαθμών Κελσίου ως παραπροϊόν του κύκλου ψύξης.

Η εξοικονόμηση λοιπόν το χειμώνα είναι 150 € και το καλοκαίρι 70€. Συνεπώς η συνολική εξοικονόμηση σε ζεστό νερό χρήσης σε σύγκριση με έναν ηλεκτρικό θερμοσίφωνα είναι 220 €.

Επίσης τα συστήματα ΓΑΘ δεν έχουν προγραμματισμένη συντήρηση, συνεπώς σε σχέση με τα συμβατικά για το συγκεκριμένο σπίτι θα υπάρχει ετήσια εξοικονόμηση της τάξης των 100 €.

Η μέγιστη συνολική ετήσια εξοικονόμηση που θα μπορούσε να είχε η παραπάνω κατοικία με την εγκατάσταση ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας είναι περίπου 1500 €.

#### Πλεονεκτήματα:

- Παραγωγή ζεστού και κρύου νερού για θέρμανση και ψύξη καθώς και ζεστού νερού χρήσης από το ίδιο μηχάνημα.
- Πλήρης αποδέσμευση από το πετρέλαιο και τις συνεχώς αυξανόμενες τιμές του.
- Μεγάλη εξοικονόμηση σε χρήματα λόγω της μεγάλης τους απόδοσης σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα.
- Εξοικονόμηση χώρων, αφού δεν υπάρχει ανάγκη για δεξαμενή πετρελαίου και καμινάδα (δεν έχουμε καύση πετρελαίου ή άλλου καυσίμου)
- Πληρωμή μετά την κατανάλωση χωρίς την ανάγκη προαγοράς πετρελαίου.
- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον αφού δεν υπάρχουν εκπομπές ρύπων.

## 5.6 Συγκριτική μελέτη κόστους εγκατάστασης και κόστους λειτουργίας

Σε κατοικία επιφανείας 100 m<sup>2</sup>, η οποία παρουσιάζει ορθή θερμική συμπεριφορά, είναι δηλαδή καλά μονωμένη και εμφανίζει μέση τιμή του ολικού συντελεστή θερμικής διαπερατότητας (αγωγιμότητας και συναγωγιμότητας) περίπου 0,6 W/m<sup>2</sup>K, το ύψος των θερμικών αναγκών ανέρχεται στα 7kW. Ενδεικτικά παρουσιάζεται παρακάτω πίνακας κατανομής θερμικών απαιτήσεων κτιρίων ανάλογα με την ποιότητα της μόνωσης.

| α/α | Ποιότητα από<br>άποψη μόνωσης | Συνολικός<br>συντελεστής θερμικής<br>διαπερατότητας "U" | Θερμικές<br>ανάγκες |
|-----|-------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------|
|     |                               | W/m <sup>2</sup> / K                                    | kW                  |
| 0   | Άριστη Μόνωση                 | U < 0,4                                                 | Q < 4,0             |
| 1   | Πολύ καλή μόνωση              | 0,6                                                     | 7,0                 |
| 2   | Μέσης ποιότητας<br>μόνωση     | 1,0                                                     | 10,5                |
| 3   | Ελλιπούς ποιότητας<br>μόνωση  | 1,4                                                     | 14,5                |

Πίνακας 5.1

«Ανάλυση θερμικών απαιτήσεων κτιρίων»

(Πηγή :Βραχόπουλος Μ., 2003)

Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης συμβατικής κεντρικής θέρμανσης, όταν χρησιμοποιούνται αξιόπιστες συσκευές ανέρχεται για την 1η περίπτωση (Πίνακας 4.1) στο ποσό των 4.600 €.

Η ανάλυση του παραπάνω ποσού έχει όπως παρακάτω:

1. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών λεβητοστασίου (λέβητα, καυστήρα, κυκλοφορητή, δοχείου διαστολής και δεξαμενής καυσίμου) περίπου 2.300 €.
2. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών χώρων (θερμαντικά σώματα, σωληνώσεις, διανεμητές νερού, και θερμοστάτες χώρου) περίπου 2.000 €.
3. Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, συστήματα αυτοματισμών περίπου 300 €.

\* Στην περίπτωση της κατασκευής ενδοδαπέδιας εγκατάστασης το κόστος ανέρχεται στο ποσό των 7.900 €.

Για την ίδια κατοικία στην περίπτωση της εγκατάστασης κλιματισμού με σύστημα γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας, το κόστος κατασκευής ανέρχεται στο ποσό των 13.500,00 €.

1. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών μηχανοστασίου (θερμαντλία, κυκλοφορητές, δοχείο διαστολής και αυτοματισμοί περίπου 5.000 €.
2. Προμήθεια και εγκατάσταση συσκευών χώρων (θερμαντικά στοιχεία ανεμιστήρα (fan coils), σωληνώσεις, διανεμητές νερού, και θερμοστάτες

χώρου) περίπου 2.600 €.

3. Κατασκευή γεωθερμικού συστήματος άντλησης θερμότητας, περίπου 5.300 €.

4. Ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, συστήματα αυτοματισμών περίπου 300 €.

\* Στην περίπτωση της κατασκευής ενδοδαπέδιας εγκατάστασης το κόστος ανέρχεται στο ποσό των 16.300 €.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος άντλησης γεωθερμικής ενέργειας, έναντι της κεντρικής θέρμανσης ορίζονται στα:

1. Η κεντρική θέρμανση απαιτεί μεγάλο χώρο για την εγκατάσταση των συσκευών παραγωγής ζεστού νερού, αποθήκευσης καυσίμου, διαφυγής καυσαερίων στην ατμόσφαιρα κτλ.
2. Η κεντρική θέρμανση παρουσιάζει συχνά ακαθαρσίες κατά τη λειτουργία και μονίμως κίνδυνο με την ύπαρξη φλόγας στο υπόγειο (χώρο λεβητοστασίου)
3. Η κεντρική θέρμανση απαιτεί συχνά καθαρισμό και ρυθμίσεις ενώ για περιοχές που επικρατεί θερμοκρασία κάτω των 5°C, απαιτεί ειδική προθέρμανση στο πετρέλαιο ή παρουσιάζει συχνά μπουκώματα, λόγω στερεοποίησης της παραφίνης και του κεριού που περιέχεται στο πετρέλαιο θέρμανσης.
4. Τέλος το κόστος λειτουργίας μιας εγκατάστασης θέρμανσης για περιοχές χαμηλών θερμοκρασιών, βόρεια Ελλάδα παρουσιάζει απαιτήσεις χρήσης επί 6 μήνες για 20 ώρες την ημέρα, που στην περίπτωση της πολύ καλής μόνωσης απαιτείται ενέργεια της τάξης των 25.000 kWh /έτος. Για τη μέση περιοχή της χώρας (Αθηνών) η ετήσια κατανάλωση ανέρχεται σε 18.000 kWh. Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις θερμικής ενέργειας σαν συνάρτηση της εξωτερικής θερμοκρασίας για τη 1η περίπτωση (Πίνακας 5.1)

| Θερμοκρασία<br>Ακραία<br>περιβάλλοντος<br>(συχνή)<br>°C | Περίοδος | Χρόνος | Θερμική<br>Ισχύς | Ενέργεια |
|---------------------------------------------------------|----------|--------|------------------|----------|
|                                                         | month    | Ωρες   | kW               | kWh      |
| <b>Χειμώνας</b>                                         |          |        |                  |          |
| -5                                                      | 6        | 17     | 7                | 30607    |
| 0                                                       | 5        | 14     | 6                | 21006    |
| 5                                                       | 4        | 12     | 5,5              | 14406    |
| <b>Θέρος</b>                                            |          |        |                  |          |
| 30                                                      | 3        | 7      | 7                | 6307     |
| 35                                                      | 3,5      | 8      | 6                | 8406     |
| 40                                                      | 4,5      | 10     | 5,5              | 13506    |
| <b>Σύνολο</b>                                           |          |        |                  | 36914    |
|                                                         |          |        |                  | 29412    |
|                                                         |          |        |                  | 27911    |

Πίνακας 5.2

(Πηγή :Βραχόπουλος Μ., 2003)



Ο μέσος ετήσιος βαθμός εκμετάλλευσης της θερμικής ενέργειας που περιέχεται στο καύσιμο (πετρέλαιο), σε εγκαταστάσεις κεντρικών θερμάνσεων ανέρχεται στο 75% (όταν η εγκατάσταση λειτουργεί πάρα πολύ καλά), οι ενεργειακές απαιτήσεις (αγορά πετρελαίου) ανέρχονται σε 34.000 kWh ή 2.900 kg πετρέλαιο, που αντιστοιχεί σε κόστος περίπου 730 € ετησίως.

Το σύστημα αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας, παρουσιάζει για τις ίδιες θερμικές ανάγκες βαθμό εκμετάλλευσης περίπου 4, με αποτέλεσμα οι πραγματικές ενεργειακές καταναλώσεις να ανέρχονται σε 6.250 kWh /έτος, που αντιστοιχούν σε κόστος λειτουργίας περίπου 510 €.

Η οικονομικότητα στη λειτουργία μεταξύ των δυο αυτών εγκαταστάσεων ανέρχεται στο ποσό μόνο των 220 € ανά έτος.

Για τη θερινή περίοδο η εγκατάσταση κλιματισμού με αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας αποδίδει την απαιτούμενη ψυκτική ενέργεια με απόδοση της τάξης 4-πλάσιου και καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια 1.800 kWh. Σε αντίθεση η χρήση συσκευών διμερούς τύπου για τη κάλυψη των αντιστοίχων αναγκών απαιτεί κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ύψους 3.600 kWh. Το επιπλέον ετήσιο κόστος λειτουργίας ανέρχεται σε 150 €. Επίσης το κόστος των συσκευών διμερούς τύπου για τη κάλυψη των αναγκών δροσισμού ανέρχεται σε 2.350 €.

Με το συνολικό κόστος των εγκαταστάσεων θέρμανσης και δροσισμού να ανέρχεται σε 6.950 €, η απόσβεση του επιπλέον κόστους κατασκευής, που μπορεί να παρουσιάσει η γεωθερμική εγκατάσταση, επιτελείται σε χρόνο μικρότερο των 14 ετών.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο όγκος των εγκαταστάσεων των συσκευών του γεωθερμικού συστήματος είναι μικρότερος κατά 30% του χώρου που απαιτεί η εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης με αποτέλεσμα την πραγματική (ουσιαστική) μείωση του κόστους κατασκευής λόγω χρήσης μικρότερου χώρου οι δε εγκαταστάσεις των διμερούς τύπου κλιματιστικών αποφεύγεται πλήρως.

Στο γεωθερμικό σύστημα δεν απαιτείται δεξαμενή πετρελαίου και τα προβλήματα που αυτή επιφέρει (οσμές, ρύποι, κίνδυνος).

Σημαντικότερο πλεονέκτημα επίσης του συστήματος είναι η δυνατότητα χρήσης ειδικού αυτοματισμού, εφόσον δεν παρουσιάζει κινδύνους κατά τη λειτουργία. Ο αυτοματισμός αυτός μπορεί να ενεργοποιηθεί από απόσταση (π.χ. μέσω τηλεφώνου), με αποτέλεσμα το σύστημα να ενεργοποιείται μερικώς, με περίπου μηδενικό κόστος λειτουργίας και να συντηρεί την κατοικία, όταν αυτή είναι για καιρό ακατοίκητη, σε θερμοκρασία πολύ κοντά στις θερμοκρασιακές απαιτήσεις, με αποτέλεσμα την επιπλέον μείωση του κόστους λειτουργίας και την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Συγκεκριμένα, όταν απουσιάζουμε από την οικία, δε

λειτουργεί η αντλία θερμότητας, αλλά λειτουργεί η αντλία κυκλοφορίας νερού που μεταφέρει τη θερμότητα στο κτίριο με χαμηλότερο κόστος και παράλληλα μεταβάλλει την κατάσταση του νερού από την αδράνεια σε κοντινότερες θερμοκρασίες της αντλίας θερμότητας. Έτσι, όταν η αντλία θερμότητας λειτουργήσει, καλύπτει μικρότερη διαφορά θερμοκρασίας, μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία που έχουμε επιλέξει για το χώρο με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση της κατανάλωσης ενέργειας έως και 70%.

Η σύγκρισή τους με τις εγκαταστάσεις κλιματισμού με στοιχεία ανεμιστήρα οδηγούν σε ακόμη καλύτερα αποτελέσματα που συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες (5.3, 5.4).

| α/α | Εγκατάσταση                                      | Κόστος<br>€ | Καταλαμβανόμενος χώρος<br>m <sup>2</sup> |
|-----|--------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|
| 1   | Κεντρική Θέρμανση                                | 4.600,00    | 10, Υπόγειο                              |
| 2   | Κεντρική Θέρμανση και Διμερούς Κλιματιστικά      | 6.950,00    | 10, Υπόγειο και εξωτ. –εσωτ στοιχεία     |
| 3   | Κεντρικός Κλιματισμός (κοινό)                    | 9.000,00    | 8, Ταράτσα                               |
| 4   | Γεωθερμική εγκατάσταση με κάθετο εδαφ. εναλλάκτη | 13.200,00   | 4,5, Υπόγειο                             |
| 5   | Γεωθερμική εγκατάσταση με Οριζόντιο εδαφ. Εναλ.  | 9.500,00    | 4,5, Υπόγειο                             |
| 6   | Γεωθερμική εγκατάσταση με Εναλλάκτη θάλασσας     | 8.900,00    | 4,5, Υπόγειο                             |
| 5   | Γεωθερμική εγκατάσταση με Εναλλάκτη λίμνης       | 8.500,00    | 4,5, Υπόγειο                             |

Πίνακας 5.3  
(Πηγή :Βραχόπουλος Μ., 2003)

| α/α | Εγκατάσταση                                      | Απόσβεση<br>Έτη |
|-----|--------------------------------------------------|-----------------|
| 1   | Κεντρική Θέρμανση                                | Μη συγκρίσιμο   |
| 2   | Κεντρική Θέρμανση και Διμερούς Κλιματιστικά      | 14              |
| 3   | Κεντρικός Κλιματισμός (κοινό)                    | 6               |
| 4   | Γεωθερμική εγκατάσταση με κάθετο εδαφ. εναλλάκτη | -               |
| 5   | Γεωθερμική εγκατάσταση με Οριζόντιο εδαφ. Εναλ.  | Οικονομικότερη  |
| 6   | Γεωθερμική εγκατάσταση με Εναλλάκτη θάλασσας     | Οικονομικότερη  |
| 5   | Γεωθερμική εγκατάσταση με Εναλλάκτη λίμνης       | Οικονομικότερη  |

\* Σημειώνεται ότι η σύγκριση γίνεται με την Γεωθερμική εγκατάσταση με κάθετο εδαφικό εναλλάκτη

Πίνακας 5.4  
(Πηγή :Βραχόπουλος Μ., 2003)

## **5.7 ΣΤΟΧΕΥΣΗ ΣΕ ΕΡΓΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ**

Για να θεωρείται οικονομικά ελκυστικό ένα έργο γεωθερμίας, σε μια οικονομοτεχνική μελέτη, επιδιωκονται και πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Έργα >100 kW
- Ανάγκη για ψύξη και θέρμανση
- Συμβατικό καύσιμο πετρέλαιο
- Λειτουργία 12 μήνες το χρόνο
- Ανοιχτό κύκλωμα κατά προτίμηση
- Πελάτες μέσης τάσης κατά προτίμηση

### **ΓΕΝΙΚΑ**

Στις παραγραφους που ακολουθούν(5.7.1 – 5.7.4.3) αναλύονται όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόσβεση συστημάτων αβαθούς γεωθερμίας.

#### **5.7.1. ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

Η περίοδος λειτουργίας της αντλίας θερμότητας αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την βιωσιμότητα της επένδυσης. Συγκεκριμένα:

##### **Περίοδος θέρμανσης:**

- 6 ώρες την ημέρα
- 30 ημέρες το μήνα
- 7 μήνες το χρόνο

##### **Περίοδος ψύξης:**

- 6 ώρες την ημέρα
- 30 ημέρες το μήνα
- 5 μήνες το χρόνο

Αύξηση του χρόνου λειτουργίας κατά 40% την ημέρα (10 ώρες την ημέρα), έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου απόσβεσης κατά 40%.

#### **5.7.2. ΨΥΞΗ - ΘΕΡΜΑΝΣΗ**

Το λειτουργικό όφελος ενός συστήματος ΑΒΓΘ σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα προέρχεται στο μεγαλύτερο ποσοστό από την θέρμανση. Συγκεκριμένα το 60% των εσόδων προέρχεται από τη θέρμανση και το 40% από τη ψύξη.

### 5.7.3. ΑΝΟΙΧΤΟ - ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

| ΑΠΟΣΒΕΣΗ |             |      |        |      |        |      |
|----------|-------------|------|--------|------|--------|------|
| ΜΕΓΕΘΟΣ  | 100 kW      |      | 150 kW |      | 200 kW |      |
|          | Επιχορήγηση |      |        |      |        |      |
|          | Ναι         | Όχι  | Ναι    | Όχι  | Ναι    | Όχι  |
| ΚΛΕΙΣΤΟ  | 4,7         | 12,7 | 3,9    | 10,5 | 4,4    | 11,6 |
| ΑΝΟΙΧΤΟ  | 2,9         | 9,6  | 1,0    | 5,8  | 0,8    | 5,5  |
| Διαφορά  | 38%         | 24%  | 74%    | 45%  | 82%    | 53%  |

#### 5.7.3.1. ΤΙΜΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Τα λειτουργικά έξοδα ενός λεβητοστασίου εξαρτώνται αποκλειστικά από την τιμή του πετρελαίου μιας και η ηλεκτρική κατανάλωση σ' ένα λεβητοστάσιο είναι αμελητέα.

Μείωση στην τιμή του πετρελαίου κατά 10% έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου απόσβεσης κατά 14%.

#### 5.7.3.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ ΔΕΗ

Ένα συμβατικό σύστημα ψύξης (αερόψυκτη μονάδα) καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια στους συμπιεστές, στους κυκλοφορητές και στους ανεμιστήρες.

Το τιμολόγιο της ΔΕΗ που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους ενός συμβατικού συστήματος ψύξης είναι το Τιμολόγιο Γενικής Χρήσης υπό Χαμηλή Τάση με τιμή χρέωσης της ενέργειας 0,11655 €/kW.

Αν υπήρχε διαθέσιμη μέση τάση και χρησιμοποιούσαμε το Τιμολόγιο Γενικής Χρήσης υπό Μέση τάση (0,048235€/kWh), τότε για τον ίδιο εξοπλισμό και τον ίδιο χρόνο λειτουργίας το ετήσιο λειτουργικό όφελος αυξάνεται κατά 50%.

### 5.7.4 ΚΟΣΤΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

#### 5.7.4.1 ΑΝΟΙΧΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Στα ανοιχτά κυκλώματα το κόστος των γεωτρήσεων είναι περίπου 90€/μ και το κόστος του μπετονίτη που χρησιμοποιείται για την ολοκλήρωση της γεώτρησης είναι 200€/1200kg.

Το κόστος των γεωτρήσεων (χωρίς αντλητικό συγκρότημα, επιφανειακές σωληνώσεις και παρελκόμενα) κυμαίνεται από 12% έως 18% του συνολικού προϋπολογισμού του έργου, για γεωτρήσεις βάθους 100μ η καθεμία.

Αν το βάθος των γεωτρήσεων αυξηθεί κατά 20% (20 μέτρα ανά γεώτρηση) τότε ο χρόνος απόσβεσης αυξάνεται κατά 8% στα συστήματα των 100kW και φτάνει μέχρι και 10% στα συστήματα των 200kW.

#### 5.7.4.2 ΚΛΕΙΣΤΟ ΚΥΚΛΩΜΑ

Στα κλειστά κυκλώματα το κόστος των γεωτρήσεων είναι περίπου 40€/μ σύν το κόστος του μπετονίτη ομοίως με τα παραπάνω.

Το κόστος των γεωτρήσεων (χωρίς αντλητικό συγκρότημα, επιφανειακές σωληνώσεις και παρελκόμενα) κυμαίνεται από 26% έως 30% του συνολικού προϋπολογισμού του έργου, για γεωτρήσεις βάθους 100μ η καθεμιά.

Αν το βάθος των γεωτρήσεων μεταβληθεί κατά 20% (20 μέτρα ανά γεώτρηση) τότε ο χρόνος απόσβεσης αυξάνεται κατά 11% στο συστήματα των 100kW και φτάνει μέχρι και 28% στο συστήματα των 200kW (αφού αυξάνεται πολύ ο αριθμός των γεωτρήσεων).

#### 5.7.4.3 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ

Αναφέρεται ενδεικτικά το κόστος έργου με εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ισχύος 100-300kWt:

| Τύπος Γ/Ε                  | Κόστος έργου/ kWth |
|----------------------------|--------------------|
| Κλειστό Σύστημα -Οριζόντιο | 650€/kWt           |
| Κλειστό Σύστημα -Κάθετο    | 1030€/kWt          |
| Ανοικτό Σύστημα            | 870€/kWt           |

(Πηγή: ΤΕΜΑ Ενεργειακή ΑΕ)

Σε κάθε περίπτωση το κόστος κατασκευής του γεωεναλλάκτη καλύπτει ένα μέρος του συνολικού κόστους του έργου όπως φαίνεται παρακάτω:

| Τύπος Γ/Ε                  | % Κόστος έργου |
|----------------------------|----------------|
| Κλειστό Σύστημα -Οριζόντιο | 40%            |
| Κλειστό Σύστημα -Κάθετο    | 53%            |
| Ανοικτό Σύστημα            | 51%            |

(Πηγή: ΤΕΜΑ Ενεργειακή ΑΕ)

Ενδεικτικά πάντα αναφέρεται ότι το κόστος έργου (παρόμοιου τύπου με το δημαρχείο της Πυλαίας), με γεωθερμική αντλία θερμότητας ισχύος 150 kWt και κάθετο γεωεναλλάκτη, ανέρχεται σε 160.000€.



**Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας  
100 Kw- κλειστό κύκλωμα**

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ       |                     |
|----------------------------|---------------------|
| ΑΝΑΓΚΗ kW                  | 100                 |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ | 2xStandard OWWP56   |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ                 | Κλειστό Κύκλωμα     |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ         | 8x100μ              |
| ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ          | Πετρέλαιο Θέρμανσης |

| ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| Κόστος Αντλίας Θερμότητας                | 44.000 €         |
| Κόστος Γεωτρήσεων                        | 32.000 €         |
| Αντλητικό Συγκρότημα                     | 1.750 €          |
| Κόστος σωληνώσεων                        | 2.236 €          |
| Κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων        | 1.320 €          |
| Εργασία υδραυλικού                       | 1.600 €          |
| Απρόβλεπτα                               | 12.436 €         |
| <b>Μικτό Περιθώριο</b>                   | <b>28.602 €</b>  |
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP</b>              | <b>123.944 €</b> |

| ΓΙΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ                          |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 45.000 €  | 45.000 €  |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%        | 0%        |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 45.000    | 45.000    |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 123.944 € | 123.944 € |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%       | 0%        |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 74.366    | 123.944   |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 13.156 €  | 13.156 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 6.923 €   | 6.923 €   |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 6.233 €   | 6.233 €   |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 29.366    | 78.944    |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 4,7       | 12,7      |

| ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ                         |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 45.000 €  | 45.000 €  |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%        | 0%        |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 45.000    | 45.000    |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 123.944 € | 123.944 € |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%       | 0%        |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 74.366    | 123.944   |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 21.927 €  | 21.927 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 11.538 €  | 11.538 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 10.388 €  | 10.388 €  |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 29.366    | 78.944    |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 2,8       | 7,6       |

### **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHSNER
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 40€ το μέτρο
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για κλειστό σύστημα είναι 1750 €

4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 0,7452€/m
5. Το κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA
9. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58 €/λίτρο
10. Θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

### Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας 100 Kw- ανοικτό κύκλωμα

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ       |                     |
|----------------------------|---------------------|
| ΑΝΑΓΚΗ kW                  | 100                 |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ | 2xStandard OWWP56   |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ                 | Ανοιχτό Κύκλωμα     |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ         | 2x100μ              |
| ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ          | Πετρέλαιο Θέρμανσης |

| ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| Κόστος Αντλίας Θερμότητας                | 44.000 €         |
| Κόστος Γεωτρήσεων                        | 18.000 €         |
| Αντλητικό Συγκρότημα                     | 2.000 €          |
| Κόστος σωληνώσεων                        | 4.000 €          |
| Κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων        | 1.320 €          |
| Εργασία υδραυλικού                       | 900 €            |
| Απρόβλεπτα                               | 10.533 €         |
| Μικτό Περιθώριο                          | 24.226 €         |
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP</b>              | <b>104.979 €</b> |

| ΓΙΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ                          |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 45.000 €  | 45.000 €  |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%        | 0%        |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Σύστημα                 | 45.000    | 45.000    |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 104.979 € | 104.979 € |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%       | 0%        |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 62.987    | 104.979   |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 13.156 €  | 13.156 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 6.923 €   | 6.923 €   |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 6.233 €   | 6.233 €   |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 17.987    | 59.979    |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 2,9       | 9,6       |

| ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ                         |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 45.000 €  | 45.000 €  |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%        | 0%        |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Σύστημα                 | 45.000    | 45.000    |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 104.979 € | 104.979 € |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%       | 0%        |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 62.987    | 104.979   |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 21.927 €  | 21.927 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 11.538 €  | 11.538 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 10.388 €  | 10.388 €  |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 17.987    | 59.979    |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 1,7       | 5,8       |

## **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHSNER
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 90€ το μέτρο
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για ανοιχτό σύστημα είναι

|                  |         |
|------------------|---------|
| υποβρύχια αντλία | 1.200 € |
| κεφαλή           | 500€    |
| διάφορα          | 300€    |
4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλίνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 40€/μ
5. Το κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA
9. Οι ώρες λειτουργίας τόσο της αντλίας όσο και του συμβατικού θεωρήθηκαν ίσες με 6 ώρες την ημέρα
11. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58 €/λίτρο
12. Θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης



**Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας  
150 Kw- κλειστό κύκλωμα**

|                            |                                  |
|----------------------------|----------------------------------|
| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ       | ΒΡΕΦΟΝΗΠΙΑΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ |
| ΑΝΑΓΚΗ KW                  | 150                              |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ | 2xStandard OWWP96                |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ                 | Κλειστό Κύκλωμα                  |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ         | 8x100μ                           |
| ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ          | Πετρέλαιο Θέρμανσης              |

| ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| Κόστος Αντλίας Θερμότητας                | 50.000 €         |
| Κόστος Γεωτρήσεων                        | 48.000 €         |
| Αντλητικό Συγκρότημα                     | 3.500 €          |
| Κόστος σωληνώσεων                        | 4.471 €          |
| Κόστος μικρούλικών και αναλωσίμων        | 1.500 €          |
| Εργασία υδραυλικού                       | 2.400 €          |
| Απρόβλεπτα                               | 16.481 €         |
| Μικτό Περιθώριο                          | 37.906 €         |
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP</b>              | <b>164.257 €</b> |

| ΓΙΑ 6 ΩΡΕΣ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ                            |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 60.000 €  | 60.000 €  |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%        | 0%        |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 60.000    | 60.000    |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 164.257 € | 164.257 € |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%       | 0%        |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 98.554    | 164.257   |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 20.185 €  | 20.185 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 10.246 €  | 10.246 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 9.939 €   | 9.939 €   |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 38.554    | 104.257   |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 3,9       | 10,5      |

| ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ                           |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 60.000 €  | 60.000 €  |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0 €       | 0 €       |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 60.000    | 60.000    |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 164.257 € | 164.257 € |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%       | 0%        |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 98.554    | 164.257   |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 33.642 €  | 33.642 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 17.077 €  | 17.077 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 16.565 €  | 16.565 €  |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 38.554    | 104.257   |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 2,3       | 6,3       |

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHSNER
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 40€ το μέτρο
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για κλειστό σύστημα είναι 1750 €

4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 0,7452€/μ
5. Το κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA
9. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58 €/λίτρο
10. θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

### Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας 150 Kw- ανοικτό κύκλωμα

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ       |                     |
|----------------------------|---------------------|
| ΑΝΑΓΚΗ kW                  | 150                 |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ | 2xStandard OWWP96   |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ                 | Ανοιχτό Κύκλωμα     |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ         | 2x100μ              |
| ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ          | Πετρέλαιο Θέρμανσης |

| ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| Κόστος Αντλίας Θερμότητας                | 50.000 €         |
| Κόστος Γεωτρήσεων                        | 18.000 €         |
| Αντλητικό Συγκρότημα                     | 4.000 €          |
| Κόστος σωληνώσεων                        | 4.000 €          |
| Κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων        | 1.500 €          |
| Εργασία υδραυλικού                       | 900 €            |
| Απρόβλεπτα                               | 11.760 €         |
| <b>Μικτό Περιθώριο</b>                   | <b>27.048 €</b>  |
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP</b>              | <b>117.208 €</b> |

| ΓΙΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ                          |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 60.000 €  | 60.000 €  |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%        | 0%        |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 60.000    | 60.000    |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 117.208 € | 117.208 € |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%       | 0%        |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 70.325    | 117.208   |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 20.185 €  | 20.185 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 10.246 €  | 10.246 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 9.939 €   | 9.939 €   |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 10.325    | 57.208    |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 1,0       | 5,8       |

| ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ                         |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 60.000 €  | 60.000 €  |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%        | 0%        |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 60.000    | 60.000    |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 117.208 € | 117.208 € |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%       | 0%        |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 70.325    | 117.208   |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 33.642 €  | 33.642 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 17.077 €  | 17.077 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 16.565 €  | 16.565 €  |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 10.325    | 57.208    |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 0,6       | 3,5       |



## **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHSNER
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 90€ το μέτρο
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για ανοιχτό σύστημα είναι :

|                  |         |
|------------------|---------|
| υποβρύχια αντλία | 1.200 € |
| κεφαλή           | 500€    |
| διάφορα          | 300€    |
4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 40€/μ
5. Το κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA
9. Οι ώρες λειτουργίας τόσο της αντλίας όσο και του συμβατικού θεωρήθηκαν ίσες με 6 ώρες την ημέρα
10. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58 €/λίτρο
11. Θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

**Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας  
200 Kw- κλειστό κύκλωμα**

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ       |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| ΑΝΑΓΚΗ KW                  | 200                          |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ | Standard OWWP96x2 + OWWP46x1 |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ                 | Κλειστό Κύκλωμα              |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ         | 16x100μ                      |
| ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ          | Πετρέλαιο Θέρμανσης          |

| ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| Κόστος Αντλίας Θερμότητας                | 65.000 €         |
| Κόστος Γεωτρήσεων                        | 64.000 €         |
| Αντλητικό Συγκρότημα                     | 3.500 €          |
| Κόστος σωληνώσεων                        | 4.471 €          |
| Κόστος μικρούλικών και αναλωσίμων        | 1.950 €          |
| Εργασία υδραυλικού                       | 3.200 €          |
| Απρόβλεπτα                               | 21.318 €         |
| Μικτό Περιθώριο                          | 49.032 €         |
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP</b>              | <b>212.471 €</b> |

| ΓΙΑ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ                |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 75.000 €  | 75.000 €  |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%        | 0%        |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 75.000    | 75.000    |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 212.471 € | 212.471 € |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%       | 0%        |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 127.483   | 212.471   |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 26.102 €  | 26.102 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 14.274 €  | 14.274 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 11.828 €  | 11.828 €  |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 52.483    | 137.471   |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 4,4       | 11,6      |

| ΓΙΑ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ               |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 75.000 €  | 75.000 €  |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%        | 0%        |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 75.000    | 75.000    |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 212.471 € | 212.471 € |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%       | 0%        |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 127.483   | 212.471   |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 43.503 €  | 43.503 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 23.790 €  | 23.790 €  |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 19.713 €  | 19.713 €  |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 52.483    | 137.471   |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 2,7       | 7,0       |

## ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHSNER
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 40€ το μέτρο
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για κλειστό σύστημα είναι 1750 €
4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 0,7452€/μ

5. Το κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA
11. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58 €/λίτρο
12. θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

### Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας 200 Kw- ανοικτό κύκλωμα

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ       |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| ΑΝΑΓΚΗ KW                  | 200                          |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ | Standard OWWP96x2 + OWWP46x1 |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ                 | Ανοιχτό Κύκλωμα              |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ         | 2x100μ                       |
| ΚΑΥΣΙΜΟ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ          | Πετρέλαιο Θέρμανσης          |

| ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| Κόστος Αντλίας Θερμότητας                | 65.000 €         |
| Κόστος Γεωτρήσεων                        | 18.000 €         |
| Αντλητικό Συγκρότημα                     | 4.000 €          |
| Κόστος σωληνώσεων                        | 4.000 €          |
| Κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων        | 1.950 €          |
| Εργασία υδραυλικού                       | 900 €            |
| Απρόβλεπτα                               | 14.078 €         |
| <b>Μικτό Περιθώριο</b>                   | <b>32.378 €</b>  |
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ GSHP</b>              | <b>140.306 €</b> |

| ΜΕ 6 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ                           |                 |                 |
|-------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 75.000 €        | 75.000 €        |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%              | 0%              |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Σύστημα                 | 75.000          | 75.000          |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 140.306 €       | 140.306 €       |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%             | 0%              |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 84.183          | 140.306         |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 26.102 €        | 26.102 €        |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 14.274 €        | 14.274 €        |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | <b>11.828 €</b> | <b>11.828 €</b> |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 9.183           | 65.306          |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 0,8             | 5,5             |

| ΜΕ 10 ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ                          |                 |                 |
|-------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 75.000 €        | 75.000 €        |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0 €             | 0 €             |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Σύστημα                 | 75.000          | 75.000          |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 140.306 €       | 140.306 €       |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%             | 0%              |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 84.183          | 140.306         |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 43.503 €        | 43.503 €        |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 23.790 €        | 23.790 €        |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | <b>19.713 €</b> | <b>19.713 €</b> |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 9.183           | 65.306          |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 0,5             | 3,3             |

## **ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

1. Το κόστος Αντλίας Θερμότητας είναι σύμφωνα με τιμοκατάλογο της OCHSNER
2. Το κόστος Γεωτρήσεων θεωρήθηκε ίσο με 90€ το μέτρο
3. Το συνολικό κόστος αντλητικού συγκροτήματος για ανοιχτό σύστημα είναι :

|                  |         |
|------------------|---------|
| υποβρύχια αντλία | 1.200 € |
| κεφαλή           | 500€    |
| διάφορα          | 300€    |
4. Το κόστος σωληνώσεων αναφέρεται στις σωλήνες του γεωεναλλάκτη και είναι ίσο με 40€/μ
5. Το κόστος μικροϋλικών και αναλωσίμων θεωρήθηκε ίσο με 3% επί της τιμής της αντλίας θερμότητας
6. Η εργασία υδραυλικού θεωρήθηκε ίση με 5% επί της τιμής των γεωτρήσεων
7. Απρόβλεπτα θεωρήθηκαν ίσα με το 15% επί του συνόλου του έργου
8. Το κόστος συμβατικού συστήματος είναι σύμφωνα με εξοπλισμό McQuay και CALDA
9. Οι ώρες λειτουργίας τόσο της αντλίας όσο και του συμβατικού θεωρήθηκαν ίσες με 6 ώρες την ημέρα
10. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε 0,58 €/λίτρο
11. Θεωρήθηκαν τιμολόγια ΔΕΗ χαμηλής τάσης

## **5.8 ΒΡΕΦΟΝΗΠΙΑΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ**

### **5.8.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Ο σκοπός της προμελέτης αυτής της παραγράφου είναι η εκτίμηση της βιωσιμότητας ενός συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας σε Βρεφονηπιακό Σταθμό στην Κρήτη.

### **5.8.2 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ**

Για τη σύνταξη της μελέτης ελήφθησαν υπόψη τα παρακάτω:

1. Οι καταναλώσεις είναι βασισμένες σε θερμικές και ψυκτικές ανάγκες του Βρεφονηπιακού Σταθμού σύμφωνα με τη μελέτη κλιματισμού-θέρμανσης που έχει πραγματοποιηθεί για την Πολεοδομία.
2. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε ανά 0,59 € το λίτρο.
3. Οι τιμές ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτές που

αναγράφονται στα τιμολόγια χαμηλής τάσης της ΔΕΗ που ισχύουν από 01/09/2005.

4. Ως συμβατικό σύστημα θεωρήθηκε ένα τυπικό λεβητοστάσιο με καυστήρα πετρελαίου RIELLO BG7D 91kW και αερόψυκτο ψυκτικό συγκρότημα YORK 100kW.
5. Για το κλειστό κύκλωμα επιλέχθηκαν δύο αντλίες θερμότητας συνολικής ισχύος 74kW και για το ανοιχτό κύκλωμα δύο αντλίες θερμότητας συνολικής ισχύος 65kW
6. Δεδομένου ότι το έργο λόγω μεγέθους δεν καλύπτεται από τον Αναπτυξιακό Νόμο, δεν λήφθηκε υπόψη επιδότηση για την εγκατάσταση στο αποτελέσματα της προμελέτης.
7. Η περίοδος θέρμανσης /ψύξης θεωρήθηκε ως εξής:

**ΧΕΙΜΩΝΑΣ:** 7 μήνες το χρόνο.

**ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ:** 5 μήνες το χρόνο.

Ο χρόνος λειτουργίας των αντλιών θερμότητας θεωρήθηκε ως εξής:

**ΘΕΡΜΑΝΣΗ:** 6 ώρες κάθε ημέρα εκτός Κυριακής.

**ΨΥΞΗ:** 6 ώρες κάθε ημέρα εκτός Κυριακής.

8. Στα οφέλη από την λειτουργία συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας δεν υπολογίστηκαν τα οφέλη από την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης κατά την περίοδο ψύξης.

### **5.8.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Στη μελέτη εξετάστηκαν οι περιπτώσεις τόσο του κλειστού όσο και του ανοιχτού κυκλώματος (με την προϋπόθεση ότι θα βρεθούν υπόγεια νερά), με δύο γεωτρήσεις για το ανοιχτό κύκλωμα και δώδεκα γεωτρήσεις για το κλειστό κύκλωμα μαζί με τα αντίστοιχα αντλητικά συγκροτήματα.

#### **1° ΣΕΝΑΡΙΟ: Κλειστό κύκλωμα**

Στην περίπτωση αυτή οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κλειστό κύκλωμα γεωθερμικού εναλλάκτη όπου απαιτούνται 12 γεωτρήσεις των 90μ βάθους η κάθε μία. Οι γεωτρήσεις πρέπει να έχουν τουλάχιστον 10 μέτρα απόσταση μεταξύ τους. Στο εσωτερικό των γεωτρήσεων ανακυκλοφορεί διάλυμα νερού-γλυκόλης. Το διάλυμα απορροφά θερμότητα από το υπέδαφος και καθώς εισέρχεται στις αντλίες θερμότητας αποδίδει θερμότητα. Η ψύξη και η θέρμανση των χώρων πραγματοποιείται μέσω "fan coils". Το κόστος των γεωτρήσεων υπολογίστηκε στα 40 € ανά μέτρο.



## **2° ΣΕΝΑΡΙΟ: Ανοιχτό κύκλωμα**

Στην περίπτωση αυτή οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με ανοιχτό κύκλωμα όπου απαιτούνται 2 γεωτρήσεις 100μ βάθους η κάθε μία. Στο εσωτερικό της 1<sup>ης</sup> γεώτρησης τοποθετείται αντλητικό συγκρότημα για την άντληση του νερού και την επανεισαγωγή του στη 2<sup>η</sup>. Το νερό διέρχεται απο τις αντλίες θερμότητας όπου γίνεται εναλλαγή θερμότηας. Η ψύξη και η θέρμανση των χώρων πραγματοποιείται μέσω "fan coils".

Στην περίπτωση του ανοιχτού κυκλώματος θεωρήθηκε η ύπαρξη υπογείων νερών στα 100 μέτρα με δυνατότητα παροχής 25 m<sup>3</sup>/h. Το κόστος των γεωτρήσεων υπολογίστηκε στα 900 ανά μέτρο και περιλαμβάνει τη γεώτρηση, την εσωτερική σωλήνωση και το χαλίκωμα των γεωτρήσεων.

### **5.8.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ**

Το κόστος ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης υπολογίστηκε σύμφωνα με το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης τυπικού λεβητοστασίου με καυστήρα πετρελαίου τύπου RIELLO BG7D 91kW. Το κόστος ενός συμβατικού συστήματος ψύξης υπολογίστηκε σύμφωνα με το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης τυπικού ψυκτικού συγκροτήματος YOPK 100 kW.

Το λειτουργικό κόστος των παραπάνω συστημάτων υπολογίστηκε με βάση τις καταναλώσεις πετρελαίου και ηλεκτρισμού για την καθορισμένη περίοδο θέρμανσης-ψύξης αντίστοιχα και σύμφωνα με τις τιμές αγοράς πετρελαίου θέρμανσης και των τιμολογίων της ΔΕΗ. Το κόστος προμήθειας ενός συστήματος με αντλίες θερμότητας υπολογίστηκε σύμφωνα με το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης των αντλιών θερμότητας, των γεωτρήσεων, των σωληνώσεων και των κατάλληλων αντλητικών συγκροτημάτων. Το λειτουργικό κόστος ενός συστήματος γεωθερμίας υπολογίστηκε με βάση τις ηλεκτρικές καταναλώσεις της αντλίας θερμότητας και των αντλιών που χρησιμοποιούνται για την άντληση και κυκλοφορία του νερού.

### 5.8.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### Κλειστό κύκλωμα

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ                            |                       |
|-------------------------------------------------|-----------------------|
| ΑΝΑΓΚΗ kW                                       | 100                   |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ                      | TCMM 40.3 + TCMM 33.4 |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ                                      | Κλειστό Κύκλωμα       |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ                              | 12 x 90μ              |
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 45.000 €              |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%                    |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 45.000                |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 104.612 €             |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 0%                    |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 104.612               |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 11.536 €              |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 6.369 €               |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 5.167 €               |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 59.612                |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 11,5                  |

#### Ανοιχτό κύκλωμα

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ                            |                       |
|-------------------------------------------------|-----------------------|
| ΑΝΑΓΚΗ kW                                       | 100                   |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ                      | TCMM 44.4 + TCMM 20.8 |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ                                      | Ανοιχτό Κύκλωμα       |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ                              | 2 x 100μ              |
| Κόστος Συμβατικού συστήματος                    | 45.000 €              |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%                    |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 45.000                |
| Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας            | 64.185 €              |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 0%                    |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 64.185                |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 11.536 €              |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 6.042 €               |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 5.494 €               |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | 19.185                |
| Απόσβεση (έτη)                                  | 3,5                   |

### 5.8.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του βρεφονηπιακού σταθμού σαν αρχική επένδυση θα πρέπει να επιλεχθεί είτε το συμβατικό σύστημα είτε το σύστημα αβαθούς γεωθερμίας. Η απόσβεση του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας υπολογίζεται με βάση την διαφορά κόστους μεταξύ των δύο συστημάτων και τα οφέλη που υπάρχουν από τη λειτουργία του.

Στην περίπτωση που βρεθούν υπόγεια νερά και πάντα υπό τις προϋποθέσεις της παραγράφου 2, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ανοιχτό

κύκλωμα με δύο μόνο γεωτρήσεις. Στην περίπτωση αυτή, το έργο έχει απόσβεση περίπου 3,5 χρόνια με ετήσιο όφελος 5.500€ και όφελος από 10ετή λειτουργία περίπου 36.000 €.

Στην περίπτωση του κλειστού κυκλώματος ο αριθμός των γεωτρήσεων που θα μας δώσουν τα απαραίτητα kW είναι μεγάλος (12) γεγονός που αυξάνει πολύ το κόστος του συστήματος. Παρ' όλα αυτά και αν θεωρήσουμε ότι ένα τέτοιο σύστημα έχει διάρκεια ζωής 30-50 χρόνια, τα 11,5 χρόνια της απόσβεσης δεν χαρακτηρίζονται απαγορευτικά.

Θα πρέπει ακόμη να τονίσουμε ότι η μελέτη έχει βασιστεί σε σημερινές ημές πετρελαίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Οι διεθνείς τάσεις δείχνουν συνεχιζόμενη αύξηση της τιμής του πετρελαίου, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια θα έχει χαμηλότερους ρυθμούς αύξησης. Το γεγονός αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερα λειτουργικά οφέλη από αυτά που φαίνονται στην μελέτη.

Το κόστος του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας ανοιχτού κυκλώματος έχει βασιστεί στη θεώρηση ότι θα βρεθεί νερό στα 100 μέτρα. Το κόστος θα είναι σαφώς μικρότερο αν βρεθεί νερό σε μικρότερα βάθη.

Τα λειτουργικά οφέλη στηρίζονται σε λειτουργία 6 ώρες την ημέρα. Αν λόγω της πίσινας η λειτουργία αυξηθεί σε 10 ώρες την ημέρα, τα λειτουργικά οφέλη θα είναι διπλάσια και ο χρόνος απόσβεσης σημαντικά χαμηλότερος.

## **5.9 ΕΜΠΟΡΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΜΕΛΕΤΗΣ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ 5.9.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Ο σκοπός της προμελέτης αυτής της παραγράφου είναι η εκτίμηση της βιωσιμότητας ενός συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας σε εμπορικό χώρο στη Βόρεια Ελλάδα.

### **5.9.2 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ**

Για την σύνταξη της προμελέτης ελήφθησαν υπόψη τα παρακάτω:

1. Οι θερμικές και ψυκτικές ανάγκες έχουν προκύψει κατά προσέγγιση, σύμφωνα με το εμβαδόν του χώρου. Η ανάγκη θεωρήθηκε στις 21.000 θερμίδες ανά όροφο.
2. Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε στα 0,59 € το λίτρο.
3. Οι τιμές ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτές που αναγράφονται στα τιμολόγια χαμηλής τάσης της ΔΕΗ που ισχύουν από 01/09/2005.
4. Ως συμβατικό σύστημα θεωρήθηκε ένα τυπικό λεβητοστάσιο με καυστήρα

πετρελαίου RIELLO/Gulliver RG5D ισχύος 296kW και δύο αερόψυκτο ψυκτικά συγκροτήματα της YORK ισχύος 2x150 kW.

5. Το σύστημα γεωθερμίας που επιλέχθηκε αποτελείται από πέντε αντλίες θερμότητας της Τσέχικης εταιρείας PZP, συνολικής ισχύος 240kW.
6. Η περίοδος θέρmonσης/ψύξης θεωρήθηκε ως εξής:  
**ΧΕΙΜΩΝΑΣ:** 7 μήνες το χρόνο.  
**ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ:** 5 μήνες το χρόνο.
7. Ο χρόνος λειτουργίας των αντλιών θερμότητας θεωρήθηκε ως:  
**ΘΕΡΜΑΝΣΗ:** 6 ώρες κάθε ημέρα εκτός Κυριακής.  
**ΨΥΞΗ:** 6 ώρες κάθε ημέρα εκτός Κυριακής.
8. Στα οφέλη από την λειτουργία συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας δεν υπολογίστηκαν τα οφέλη από την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης κατά την περίοδο ψύξης.

### **5.9.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Στην μελέτη εξετάστηκε η περίπτωση του ανοιχτού κυκλώματος, δεδομένου ότι στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν ήδη γεωτρήσεις σε βάθη από 80-100 μέτρα με υπόγεια νερά περίπου στους 17 βαθμούς Κελσίου.

Απαιτούνται 2 γεωτρήσεις 100μ βάθους η κάθε μία. Στο εσωτερικό της 1<sup>ης</sup> γεώτρησης τοποθετείται αντλητικό συγκρότημα για την άντληση του νερού και την επανεισαγωγή του στη 2<sup>η</sup>.

Το νερό διέρχεται από τις αντλίες θερμότητας όπου γίνεται εναλλαγή θερμότητας. Η ψύξη και η θέρμανση των χώρων πραγματοποιείται μέσω "fan coils". Θεωρήθηκε ότι στην περιοχή υπάρχουν υπόγεια νερά σε βάθος 100 μέτρων με δυνατότητα παροχής 55 m<sup>3</sup>/h.

Το κόστος των γεωτρήσεων υπολογίστηκε στα 90€/μ και περιλαμβάνει τη γεώτρηση, την εσωτερική σωλήνωση και το χαλίκωμα των γεωτρήσεων.

### **5.9.4 ΤΡΟΠΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ**

Το κόστος ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης υπολογίστηκε σύμφωνα με το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης τυπικού λεβητοστασίου με καυστήρα πετρελαίου τύπου RIELLO/Gulliver RG5D ισχύος 296kW.

Το κόστος ενός συμβατικού συστήματος ψύξης υπολογίστηκε σύμφωνα με το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης τυπικού ψυκτικού συγκροτήματος YORK συνολικής ισχύος 300 kW.

Το λειτουργικό κόστος των παραπάνω συστημάτων υπολογίστηκε με βάση

τις καταναλώσεις πετρελαίου και ηλεκτρισμού για την καθορισμένη περίοδο θέρμανσης-ψύξης αντίστοιχα και σύμφωνα με τις τιμές αγοράς πετρελαίου θέρμανσης και των τιμολογίων της ΔΕΗ.

Το κόστος προμήθειας ενός συστήματος με αντλίες θερμότητας υπολογίστηκε σύμφωνα με το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης των αντλιών θερμότητας, των γεωτρήσεων, των σωληνώσεων και των κατάλληλων αντλητικών συγκροτημάτων.

Το λειτουργικό κόστος ενός συστήματος γεωθερμίας υπολογίστηκε με βάση τις ηλεκτρικές καταναλώσεις της αντλίας θερμότητας και των αντλιών που χρησιμοποιούνται για την άντληση και κυκλοφορία του νερού.

### 5.9.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΡΓΟΥ                            |                            |         |
|-------------------------------------------------|----------------------------|---------|
| ΑΝΑΓΚΗ kW                                       | 221                        |         |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ                      | 4xTCMM 53,8 + 1x TCMM 25,8 |         |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ                                      | Ανοιχτό Κύκλωμα            |         |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ                              | 2x100μ                     |         |
| Εκτιμώμενο Κόστος Συμβατικού συστήματος         | 80.000 €                   |         |
| Επιδότηση Συμβατικού συστήματος                 | 0%                         |         |
| Τελικό κόστος Συμβατικό Συστήματος              | 80.000                     |         |
| Εκτιμώμενο Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας | 115.893 €                  |         |
| Επιδότηση συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας         | 40%                        | 0%      |
| Τελικό Κόστος συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας     | 69.536                     | 115.893 |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος συμβατικού συστήματος | 24.765 €                   |         |
| Ετήσιο λειτουργικό κόστος GSHP                  | 12.849 €                   |         |
| Ετήσιο λειτουργικό όφελος                       | 11.916 €                   |         |
| Διαφορά κόστους συμβατικού και GSHP             | Αρνητική Διαφορά           | 35.893  |
| Απόσβεση (έτη)                                  | Άμεση Απόσβεση             | 3,0     |

### 5.9.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του εμπορικού χώρου στη Βόρεια Ελλάδα σαν αρχική επένδυση θα πρέπει να επιλεγθεί είτε το συμβατικό σύστημα είτε το σύστημα αβαθούς γεωθερμίας. Η απόσβεση του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας υπολογίζεται με βάση την διαφορά κόστους μεταξύ των δύο συστημάτων και τα οφέλη που υπάρχουν από τη λειτουργία του.

Σύμφωνα με τα παραπάνω και δεδομένων των παραδοχών της παραγράφου 4.9.2, η εγκατάσταση ενός συστήματος Αβαθούς Γεωθερμίας ανοιχτού κυκλώματος με ταυτόχρονη παραγωγή ψύξης και θέρμανσης κρίνεται βιώσιμη.

Αν υπάρξει επιδότηση 40% τότε η διαφορά κόστους μεταξύ των δύο συστημάτων αποσβένεται αυτόματα, ενώ αν θέλουμε να δούμε την απόσβεση σε όλη την επένδυση (των 69,536 €) αυτή είναι λιγότερο από 6 χρόνια.



Σε περίπτωση που δεν υπάρξει επιδότηση, η απόσβεση του συστήματος γίνεται στα τρία χρόνια με ετήσιο κέρδος περίπου 12.000€. Τα οφέλη μετά από 10ετή λειτουργία ανέρχονται σε 84.000 €.

Θα πρέπει ακόμη να τονίσουμε ότι η μελέτη έχει βασιστεί σε σημερινές τιμές πετρελαίου και ηλεκτρικής ενέργειας. Οι διεθνείς τάσεις δείχνουν συνεχιζόμενη αύξηση της τιμής του πετρελαίου, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια θα έχει μικρότερους ρυθμούς αύξησης. Το γεγονός αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερα λειτουργικά οφέλη από αυτά που φαίνονται στη μελέτη.

Το κόστος του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας ανοιχτού κυκλώματος έχει βασιστεί στη θεώρηση ότι θα βρεθεί νερό στα 100 μέτρα. Το κόστος θα είναι σαφώς μικρότερο αν βρεθεί νερό σε χαμηλότερα βάθη.

Το κόστος λειτουργίας του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας στηρίζεται σε σύνδεση στη χαμηλή τάση. Αν είναι δυνατόν η σύνδεση να γίνει στην μέση τάση τότε η kWh της ΔΕΗ έχει το μισό κόστος από αυτής στη χαμηλή τάση με αποτέλεσμα το κόστος λειτουργίας να μειώνεται στο μισό με ανάλογη μείωση του χρόνου απόσβεσης.

## **5.10 ΔΥΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗ**

### **5.10.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΟΥ ΓΑΘ**

Για να γίνει εγκατάσταση ενός συστήματος γεωθερμικών αντλιών θερμότητας πρέπει να ακολουθηθούν τα επόμενα στάδια:

Τεχνική προσέγγιση, προϋπολογιστική προσφορά και προμελέτη βιωσιμότητας

Οριστική μελέτη και αναλυτικός σχεδιασμός γεωεναλλάκτη

Μελέτη εφαρμογής

Προμήθεια γεωθερμικών αντλιών θερμότητας με όλο τον απαραίτητο Η/Μ εξοπλισμό και ηλεκτρονικό έλεγχο λειτουργίας

Προμήθεια αντλητικού συγκροτήματος και παρελκόμενων για τους γεωεναλλάκτες

Προμήθεια όλων των ειδικών εξαρτημάτων για τις γεωτρήσεις στην περίπτωση του κάθετου γεωεναλλάκτη

Προμήθεια όλων των σωλήνων για γεωεναλλάκτη και για επίγεια δίκτυα μεταξύ γεωεναλλάκτη και αντλίας θερμότητας

Κατασκευή τάφρων στην περίπτωση του οριζόντιου γεωεναλλάκτη

Κατασκευή γεωτρήσεων στην περίπτωση του κάθετου γεωεναλλάκτη

Συναρμολόγηση γεωεναλλάκτη στην επιφάνεια

Δοκιμή αντοχής γεωεναλλάκτη

Τοποθέτηση γεωεναλλάκτη σε τάφρους και γεωτρήσεις

Επιχωμάτωση τάφρων

Προμήθεια μπετονίτη και πλήρωση γεωτρήσεων

Σύνδεση γεωεναλλάκτη με συλλέκτη νερού και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Σύνδεση αντλιών θερμότητας με εσωτερικά δίκτυα υπάρχουσας εγκατάστασης

Επίβλεψη εγκατάστασης για όλο το αντικείμενο του έργου

Θέση σε λειτουργία του όλου έργου

## **5.10.2 ΜΕΛΕΤΗ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ**

### **5.10.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στην παρούσα προμελέτη αξιολογείται σύμφωνα με τεχνικοοικονομικά κριτήρια η εγκατάσταση στο ξενοδοχείο, συστήματος θέρμανσης, ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού χρήσης με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ).

Συγκεκριμένα η προμελέτη καλύπτει τις παρακάτω ενότητες:

- Τεχνική προσέγγιση και προκαταρκτικοί υπολογισμοί αναγκών
- Επιλογή συστήματος ΓΑΘ
- Οικονομική αξιολόγηση επένδυσης

### **5.10.2.2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ**

Γενικά

Το ξενοδοχείο αποτελείται από 35 δωμάτια με εμβαδό το καθένα περίπου  $16\text{m}^2$ . Επίσης όσον αφορά στον περιβάλλοντα χώρο η πρόσοψη έχει εμβαδό περίπου  $22\text{m}^2$  ( $11\text{m} \times 2\text{m}$ ) ενώ στην πίσω πλευρά του κτιρίου η επιφάνεια είναι  $49,5\text{m}^2$  ( $11\text{m} \times 4,5\text{m}$ ). Υπάρχουν δύο διάδρομοι δεξιά και αριστερά της εισόδου με εμβαδό  $54\text{m}^2$  ( $18\text{m} \times 3\text{m}$ ) και  $45\text{m}^2$  ( $18\text{m} \times 2,5\text{m}$ ).

Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης του ξενοδοχείου είναι τα εξής:

Κεντρική θέρμανση και χρήση fan-coils

Ψύξη με κεντρικό σύστημα κλιματισμού και χρήση fan-coils

Ζεστό νερό χρήσης με boiler συνδεδεμένο στο σύστημα κεντρικής θέρμανσης

Για τη λειτουργία του συστήματος κεντρικής θέρμανσης ως καύσιμο χρησιμοποιείται αποκλειστικά το πετρέλαιο. Ο καυστήρας είναι τύπου Joannes με min ισχύ  $83\text{kW}$  ( $72.000\text{ kcal/h}$ , κατανάλωση  $7\text{kg/h}$  πετρελαίου), και max ισχύ  $176\text{kW}$  ( $151.000\text{ kcal/h}$ , κατανάλωση  $14\text{kg/h}$  πετρελαίου). Το boiler είναι χωρητικότητας  $900\text{lt}$ . Η μέση κατανάλωση πετρελαίου το μήνα για θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης ανέρχεται σε  $2.316$  λίτρα.

Όσον αφορά στη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας η κατηγορία τιμολογίου της ΔΕΗ που χρησιμοποιείται είναι τριφασικό, γενικής χρήσης (Γ22). Η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες για την λειτουργία του κεντρικού κλιματιστικού συστήματος, αλλά και όλο το χρόνο για την λειτουργία των fan coils. Ο μέσος όρος κατανάλωσης το μήνα ανέρχεται σε 8.500 kWh.

#### Υπολογισμοί

Για τον προσδιορισμό του συστήματος ΓΑΘ, απαιτείται ο υπολογισμός των φορτίων θέρμανσης/ψύξης για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του ξενοδοχείου. Η ανάγκη αυτή εκτιμήθηκε σύμφωνα με τα εξής:

αριθμό και εμβαδόν των δωματίων

εμβαδόν των κοινόχρηστων χώρων

συνολικά εγκατεστημένη ισχύ των λεβήτων

τοπικές περιβαλλοντικές θερμοκρασιακές συνθήκες

| Θέρμανση             | Ψύξη               |
|----------------------|--------------------|
| 100 kW <sub>th</sub> | 85 kW <sub>c</sub> |

Όσον αφορά τη χωροθέτηση των γήινων εναλλακτών επιλέχθηκε κατακόρυφο σύστημα γήινων εναλλακτών θερμότητας εφόσον δεν υπάρχει ικανή ποσότητα υπόγειου νερού για να καλύψει την συγκεκριμένη ανάγκη(ανοικτό σύστημα) και ο περιβάλλον χώρος του ξενοδοχείου είναι περιορισμένος για εγκατάσταση οριζόντιου Γ/Ε.

Από τους υπολογισμούς προκύπτει ότι θα τοποθετηθούν 11 κατακόρυφοι γήиноι εναλλάκτες σε βάθος 90m, σε κάθε έναν από τους οποίους θα τοποθετηθούν τέσσερις σωλήνες Φ40 στους οποίους θα ανακυκλοφορεί νερό.

Ο αριθμός των γήινων εναλλακτών υπολογίζεται με βάση τα εξής:

- Προβλεπόμενα φορτία θέρμανσης-ψύξης
- SPF=4
- Βάθος γήινου εναλλάκτη (90m)
- Μέση αποδιδόμενη ισχύς ανά μέτρο γήινου εναλλάκτη (75W/m)

Σημειώνεται ότι η πρώτη γεώτρηση θα είναι διερευνητική το οποίο σημαίνει ότι εφόσον βρεθεί ικανή ποσότητα νερού στο υπέδαφος υπάρχει πιθανότητα αντικατάστασης μέρους ή όλου του συστήματος γήινων γεωθερμικών εναλλακτών με ανοικτό σύστημα γεωτρήσεων.

### Εισαγωγή του γεωθερμικού εναλλάκτη και επιχωμάτωση

Οι γεωθερμικοί εναλλάκτες θερμότητας θα κατασκευαστούν επι τόπου από υψηλής αντοχής σωλήνες και εξαρτήματα πολυαιθυλαινίου (HDPE, PE100-PN16) με χρόνο ζωής μεγαλύτερο από 100 χρόνια. Η επιχωμάτωση των γεωτρήσεων μετά την εγκατάσταση του γεωθερμικού εναλλάκτη θα γίνει από μπετονίτη και θα καλύπτει τις παρακάτω απαιτήσεις:

1. στιβαρή και πλήρης επιχωμάτωση του δακτυλίου των γεωτρήσεων.
2. πλήρης επαφή με τον γεωθερμικό εναλλάκτη για να γίνεται μετάδοση θερμότητας.
3. εξασφάλιση της μηχανικής σταθερότητας των γεωλογικών σχηματισμών στους οποίους στηρίζεται η γεώτρηση.

Η επιχωμάτωση θα γίνει από τον πυθμένα προς τα πάνω. Σε μέρη που υπάρχει ο κίνδυνος επιφανειακών νερών, η γεώτρηση θα «ντυθεί» στο πάνω της μέρος με ένα μίγμα μπετονίτη και τσιμέντου για να εμποδίζεται νερό αγνώστης ποιότητας (οξικό, φυτοφάρμακα, άλατα) να εισέλθει στην γεώτρηση.

### Εγκατάσταση επιφανειακών σωληνώσεων

Οι σωλήνες προσαγωγής και απαγωγής αποτελούν το κλειστό κύκλωμα νερού μεταξύ γεωθερμικού εναλλάκτη και αντλίας θερμότητας. Όλες οι συνδέσεις μεταξύ των σωληνώσεων πολυαιθυλαινίου θα γίνουν με υψηλής ποιότητας ηλεκτρομούφες και κατάλληλα μηχανήματα συγκόλλησης που εξασφαλίζουν συνδέσεις με μεγάλο χρόνο ζωής σε μη φιλικό περιβάλλον. Κάθε μεμονωμένος γεωθερμικός εναλλάκτης θα συνδεθεί σε ένα κεντρικό συλλέκτη.

### Δοκιμή και θέση σε λειτουργία

Μετά την εγκατάσταση του κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη, των επιφανειακών σωληνώσεων και τη σύνδεση με την αντλία θερμότητας μέσω των συλλεκτών προσαγωγής και επιστροφής, το σύστημα θα καθαριστεί από τις βρωμιές και θα εξαερωθεί.

Μετά το καθάρισμα και την εξαέρωση, θα γίνει δοκιμή διαρρών και μηχανικής αντοχής του συστήματος (σωληνώσεων και ιδιαιτέρως των συνδέσεων). Η δοκιμή πίεσης θα γίνει με νερό.

### 5.10.2.3 ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας του προτεινόμενου συστήματος ΓΑΘ, υπολογίζεται ο χρόνος αποπληρωμής του κόστους της επένδυσης, με βάση τη μείωση στα λειτουργικά και στα έξοδα συντήρησης του ξενοδοχείου σε σχέση με τον υπάρχον συμβατικό σύστημα.

#### Υποθέσεις - Παραδοχές

Για την σύνταξη της προμελέτης ελήφθησαν υπόψη τα παρακάτω:

Η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης θεωρήθηκε στα 0,6 € το λίτρο.

1. Οι τιμές ηλεκτρικού ρεύματος που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτές που αναγράφονται στα τιμολόγια χαμηλής τάσης της ΔΕΗ που ισχύουν από 01/09/2005.
2. Η περίοδος θέρμανσης θεωρήθηκε 7 μήνες και αυτή της ψύξης 5 μήνες το χρόνο.
3. Έχει θεωρηθεί ότι το σύστημα ΓΑΘ θα λειτουργεί στους 45C και θα τροφοδοτεί το υπάρχον σύστημα σωληνώσεων και fan coil του ξενοδοχείου.

#### Κόστος λειτουργίας και συντήρησης συστημάτων θέρμανσης και ψύξης

Το συνολικό κόστος της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία της ΓΑΘ υπολογίζεται με δεδομένα τα εξής:

- Φορτία θέρμανσης, Ψύξης και Ζεστού νερού χρήσης
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης συστήματος ΓΑΘ
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης «συμβατικού» συστήματος
- Ποσοστό λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης ανά έτος
- Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το αντίστοιχο τιμολόγιο της ΔΕΗ (0,094 €/KWh)

Το συνολικό κόστος λειτουργίας για το υπάρχον «συμβατικό» σύστημα προκύπτει από τα εξής:

- Θερμικά και ψυκτικά φορτία τα οποία έχουν ήδη αναφερθεί
- Κόστος πετρελαίου θέρμανσης
- Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το αντίστοιχο τιμολόγιο της ΔΕΗ (0,094 €/KWh)

#### Κόστος ενέργειας με συμβατικό σύστημα θέρμανσης

- 1 λίτρο πετρελαίου θέρμανσης αποδίδει 12.900 θερμίδες ή 15 kWh (θερμικές)



- 1 λίτρο πετρελαίου κοστίζει σήμερα (2006) 0,6 €
- Άρα οι 15 θερμικές kWh κοστίζουν 0,71€ (με απόδοση λέβητα 85%)

Κόστος ενέργειας με σύστημα θέρμανσης από ΓΑΘ

- Βαθμός Απόδοσης (COP) ΓΑΘ = 5,
- Δηλαδή για παραγωγή 5 θερμικών kWh, η ΓΑΘ καταναλώνει 1 ηλεκτρική kWh
- Συνεπώς για ίδια θερμική ενέργεια με το συμβατικό = 15kWh καταναλώνει 3 kWh ηλεκτρικές
- Αν είναι εμπορικός καταναλωτής τιμολογίου Γ22 πληρώνει 0,094 €/kWh
- Άρα οι 15 θερμικές kWh κοστίζουν:  $3 \times 0.094 = 0,28\text{€}$

Υπάρχει λοιπόν εξοικονόμηση 0,42 € ανά λίτρο πετρελαίου που καταναλώνεται.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του 2005 η κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης είναι 28.000 λίτρα. Η εξοικονόμηση για αυτή την κατανάλωση είναι: 11.760 €

Κόστος ενέργειας με συμβατικό σύστημα ψύξης

- Βαθμός Απόδοσης (SPF) συμβατικού ψύκτη = 1,7
- Δηλαδή για παραγωγή 1,7 ψυκτικών kWh, ο ψύκτης καταναλώνει 1 ηλεκτρική kWh
- Άρα για 1 kWh ψύξης, καταναλώνει 0,59 ηλεκτρικές kWh
- Αν είναι εμπορικός καταναλωτής τιμολογίου Γ22 πληρώνει 0,094 €/kWh
- Συνεπώς για 1 ψυκτική kWh το κόστος είναι 0,055 €

Κόστος ενέργειας με σύστημα ψύξης από ΓΑΘ

- Βαθμός Απόδοσης (COP) ΓΑΘ = 4,
- Δηλαδή για παραγωγή 4 ψυκτικών kWh, η ΓΑΘ καταναλώνει 1 ηλεκτρική kWh
- Άρα για 1 kWh ψύξης, καταναλώνει 0,25 ηλεκτρικές kWh
- Αν είναι εμπορικός καταναλωτής τιμολογίου Γ22 πληρώνει 0,094 €/kWh
- Συνεπώς για 1 ψυκτική kWh το κόστος είναι 0,0235 €

Υπάρχει λοιπόν εξοικονόμηση 0,032€ ανά ηλεκτρική kWh που καταναλώνεται για ψύξη.

Αν θεωρήσουμε ότι η περίοδος ψύξης είναι 5 μήνες και ότι ο μέσος όρος του μήνα σε κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για παραγωγή ψύξης είναι 10.000kWh, τότε η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη είναι 50.000 kWh. Η εξοικονόμηση ενέργειας για αυτή την κατανάλωση είναι: 1.590 €

Τα συστήματα ΓΑΘ δεν χρειάζονται συντήρηση εκτός από τον έλεγχο για πληρότητα ψυκτικού υγρού μια φορά το χρόνο. Η διαφορά στο κόστος συντήρησης εκτιμάται σε 500€

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΑΠΟ ΓΑΘ: ~13.850€

### **Πρόσθετα Οφέλη**

Στα οφέλη από την λειτουργία της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, δεν έχει υπολογιστεί η παραγωγή ζεστού νερού. Αυτό είναι ένα επιπλέον όφελος που θα μειώσει ακόμη περισσότερο τον χρόνο απόσβεσης.

Επίσης δεν έχει ληφθεί υπόψη η δυνατότητα εφαρμογής Μειωμένου (Νυκτερινού) Τιμολογίου που θα μειώσει κατά το ήμισυ την κατανάλωση της ΓΑΘ, τουλάχιστον τις ώρες που αυτό ισχύει. Για τους πελάτες Βιομηχανικής και Γενικής χρήσης, το ωράριο εφαρμογής του Μειωμένου (Νυκτερινού) Τιμολογίου είναι συνεχές, από 22.00 έως 08.00 καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

### **Μελέτη Ευαισθησίας**

Αναμένεται αύξηση των τιμολογίων της ΔΕΗ για τα επόμενα πέντε χρόνια. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του λειτουργικού κόστους της αντλίας θερμότητας. Η αύξηση αυτή έχει υπολογιστεί στην μελέτη ευαισθησίας.

Μετά από την αλματώδη άνοδο του πετρελαίου, τα 0,60 €/λίτρο που έχει στηριχθεί η βασική μελέτη είναι μια υπεραισιόδοξη πρόβλεψη αφού αντιστοιχεί σε μια τιμή brent στις διεθνείς αγορές ίση με 55 \$/βαρέλι (ενώ σήμερα έχει πάνω απο 70\$/βαρέλι).

Στην μελέτη ευαισθησίας εξετάζονται τρεις τιμές πετρελαίου (0,65 €/lt, 0,70 €/lt και 0,75 €/lt) τιμές που αναμένονται το χειμώνα 2007-2008, με τιμή πετρελαίου που αναμένεται να σταθεροποιηθεί στα 60-65 \$/βαρέλι.

## **5.11 ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ**

Το υπό ανέγερση κτίριο γραφείων στο Μαρκόπουλο Ωρωπού, έχει συνολικό εμβαδό περίπου 670 τ.μ. Δεν υπάρχει μελέτη θερμικών απωλειών διαθέσιμη, έτσι ο υπολογισμός των θερμικών και ψυκτικών αναγκών έχει γίνει κατά προσέγγιση.

Ο υπολογισμός έδειξε ότι οι ανάγκες του παραπάνω χώρου μπορούν να καλυφθούν με μια Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας των 100kW.

Για να καλυφθεί η παραπάνω ανάγκη με ένα σύστημα οριζόντιου γεωεναλλάκτη, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση περίπου 5 χιλιομέτρων σωλήνα, σε βάθος 1,5μ.

Το συνολικό εμβαδόν χώρου που απαιτείται είναι  $75 \times 25 \text{ μέτρα} = 1875 \text{ τ.μ.}$  Μετά από επιτόπου επίσκεψη στο χώρο αλλά και από μελέτη του τοπογραφικού φαίνεται ότι ο παραπάνω χώρος είναι διαθέσιμος. Σε περίπτωση που μέρος του χώρου αυτού είναι δεσμευμένο για άλλες χρήσεις που δεν επιτρέπουν την τοποθέτηση του γεωεναλλάκτη, τότε η υπόλοιπη ενέργεια θα ληφθεί με κάθετες γεωτρήσεις μέσα στις οποίες θα τοποθετηθεί ο γεωεναλλάκτης.

Θα γίνουν κατάλληλες τάφροι των 25 μέτρων μήκος, μέσα στις οποίες θα τοποθετηθούν σε παράλληλη διάταξη σωλήνες πολυαιθυλενίου Φ32 ή Φ40 τρίτης γενιάς (PE 100, SDR11) σε 8 σειρές. Συνολικά σε κάθε τάφρο θα τοποθετηθούν 200 μέτρα σωλήνας πολυαιθυλενίου. Αυτό σημαίνει ότι ο συνολικός αριθμός τάφρων θα είναι 25.

Όλες οι συνδέσεις θα γίνουν με ηλεκτροσυγκόλληση και θα εγκιβωτιστούν σε μπετόν. Στην επιφάνεια θα μαζευτούν όλες οι σωληνώσεις από τις 25 τάφρους και θα οδηγηθούν σε επισκέψιμο φρεάτιο, από το οποίο θα αναχωρήσουν για το λεβητοστάσιο.

Στο λεβητοστάσιο θα γίνει η σύνδεση με το αντλητικό συγκρότημα και την αντλία θερμότητας. Όλες οι σωληνώσεις που βρίσκονται εκτός εδάφους και μέσα στο λεβητοστάσιο θα μονωθούν.

Η διάταξη των σωληνώσεων μέσα στην τάφρο φαίνεται στην εικόνα 5.1.



Εικόνα 5.1:

Διάταξη σωληνώσεων μέσα σε τάφρο.  
(Πηγή: ΤΕΜΑ Ενεργειακή ΑΕ)

Σε περίπτωση που μέρος του χώρου είναι δεσμευμένο για άλλες χρήσεις που δεν επιτρέπουν την τοποθέτηση του γεωεναλλάκτη, τότε η υπόλοιπη ενέργεια θα ληφθεί με κάθετες γεωτρήσεις μέσα στις οποίες θα τοποθετηθεί ο γεωεναλλάκτης. Στη περίπτωση αυτή όμως το κόστος κατασκευής του Γ/Ε θα αυξηθεί αρκετά ανάλογα με τις επιπλέον γεωτρήσεις που πρέπει να κατασκευαστούν καθώς και ο χρόνος που απαιτείται για την κατασκευή του εφόσον απαιτείται γεωτρύπανο και ειδικές εργασίες από έμπειρο προσωπικό.

Στην περίπτωση που το μεγαλύτερο μέρος του χώρου είναι δεσμευμένο για άλλες χρήσεις, τότε θα επιλέγαμε να καλύψουμε την απαιτούμενη ανάγκη με κάθετες γεωτρήσεις μόνο. Συνολικά απαιτούνται 11 στεγνές γεωτρήσεις 90μ βάθους η κάθε μία και τουλάχιστον 70τ.μ. διαθέσιμου χώρου.

Εαν επιλέγαμε τη περίπτωση του ανοικτού συστήματος τότε απαιτούνται 2 γεωτρήσεις, μία παραγωγική και μία επανεισαγωγής 90μ βάθους η κάθε μία με τη προϋπόθεση ότι υπάρχει υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας με δυνατότητα παροχής νερού τουλάχιστον 20μ<sup>3</sup>/ώρα.

#### **5.11.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΟΥ**

Η προμήθεια Αντλίας Θερμότητας, ισχύος 100kW.

Η προμήθεια όλων των απαραίτητων εξαρτημάτων και αναλωσίμων για την κατασκευή του γεωεναλλάκτη.

Η εγκατάσταση του παραπάνω προσφερόμενου εξοπλισμού.

Η θέση σε λειτουργία του προσφερόμενου εξοπλισμού.

#### **5.11.2 ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

Η Αντλία θερμότητας αποτελείται από:

Δύο συμπιεστές τύπου SCROLL, με ανεξάρτητη Λειτουργία (0/50/100%)

Δύο ανεξάρτητα κυκλώματα ψύξης/θέρμανσης με στεγνωτήρα φίλτρων

Πλακοειδή εναλλάκτη χαλκού (Εξατμιστής)

Πλακοειδή εναλλάκτη χαλκού (Συμπυκνωτής)

Δοχείο αδράνειας

Δοχείο συμπυκνωμάτων

Θερμοστατική Βαλβίδα Εκτόνωσης

Ψυκτικό Υγρό

Γενικό Ηλεκτρολογικό Πίνακας-Σύστημα ελέγχου Multitalent με μικρο-υπλογιστή και οθόνη LCD

Συσκευές Προστασίας απο Υποπίεση και Υπερπίεση  
Διακόπτη πίεσης νερού για τον έλεγχο ασφάλειας της αντλίας νερού.  
Ρυθμιστή θέρμανσης “Siemens RVA53.280” διπλής βαθμίδας, με δυνατότητα ανεξάρτητης ρύθμισης των δύο θερμικών κύκλων και λειτουργία αποθήκευσης δεδομένων.  
Τετράοδη βάνα για αντίστροφη λειτουργία από θέρμανση σε ψύξη  
Εύκαμπτους σύνδεσμους σωληνώσεων  
Αντικραδασμική στήριξη

### **5.11.3 BOILER ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΖΕΣΤΟΥ ΝΕΡΟΥ 500 ΛΙΤΡΩΝ**

Τεχνολογίας HGL με ξεχωριστό εναλλάκτη θερμότητας  
HYGIENIC σύστημα που προστατεύει από το μικρόβιο της legionella

### **5.11.4 ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ**

Ο Γεωεναλλάκτης αποτελείται από:  
Σωληνώσεις πολυαιθυλαινίου Φ32 ή Φ40 (εκτιμώμενο μήκος 5.000 μέτρα)  
Ηλεκτρομούφες για σύνδεση σωληνώσεων μέσα στις τάφρους (εκτιμώμενος αριθμός 50)  
Δύο συλλέκτες νερού, 25 θέσεων ο καθένας με βάνες σε κάθε θέση  
Μονώσεις σωληνώσεων με ARMAFLEX  
Σωληνώσεις χαλκού για σύνδεση με αντλία θερμότητας  
Κατάλληλο σύστημα αντλιών για την ανακυκλοφορία του νερού μέσα στον γεωεναλλάκτη

### **5.11.5 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

Η εγκατάσταση περιλαμβάνει:  
Εκσκαφή 25 τάφρων μήκους 25μ, πλάτους 2,8μ και βάθους 1,5μ  
Τοποθέτηση ανά 8 μήκη (200 μέτρα συνολικά) σε κάθε τάφρο.  
Σύνδεση με ηλεκτροσυγκόλληση των σωληνώσεων μεταξύ τους  
Σύνδεση με τους συλλέκτες νερού  
Έλεγχος διαρροών με πιεστικό σύστημα στα 10bar  
Επιχωμάτωση  
Τοποθέτηση συλλεκτών νερού  
Σύνδεση γεωεναλλάκτη με αντλητικό συγκρότημα  
Εγκατάσταση αντλίας θερμότητας με όλα τα παρελκόμενα για τη σωστή λειτουργία της (δοχείο διαστολής, όργανα, αυτόματα εξαρτιστικά κτλ)



Ηλεκτρολογική σύνδεση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και του αντλητικού συγκροτήματος με την υπάρχουσα εγκατάσταση.

## **5.12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας, ενώ είχε πολύ εντυπωσιακά ερευνητικά αποτελέσματα, δεν είχε αξιόλογη ανάπτυξη των εφαρμογών κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας εξ αιτίας διαφόρων προβλημάτων (έλλειψη εμπειρίας, αδικαιολόγητων καθυστερήσεων, λαθών κ.λ.π. και προπαντός εξαιτίας της παραπληροφόρησης των κατοίκων της Μήλου που τελικά αντέδρασαν για «περιβαλλοντικούς λόγους» στην ανάπτυξη μιας ήπιας μορφής ενέργειας όπως είναι η γεωθερμική).

Στη χαμηλή ενθαλπία, αντίθετα υπήρξε σημαντική πρόοδος στην αύξηση του γεωθερμικού δυναμικού (παρόλο ότι δεν είναι δυνατόν αυτό να εκτιμηθεί επακριβώς εξαιτίας της έλλειψης πολλών κατάλληλων γι' αυτό γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου) και στην εφαρμογή εκμεταλλεύσεων. Το Ι.Γ.Μ.Ε. έχει προχωρήσει σε συστηματική έρευνα των ελπιδοφόρων περιοχών, όπως Δέλτα Νέστου, Λιθότοπου Ηράκλειας, Σιδηροκάστρου, Μυγδονίας και Ανθεμούντα Θεσσαλονίκης, Αλμωπίας, Νοτίου Θεσσαλίας, Σπερχειού, Ληλαντίου Πεδίου, Ανδραβίδας, ενώ σε μερικές άλλες περιοχές η έρευνα βρίσκεται στην παλιά κατάσταση. Η ανάπτυξη των εφαρμογών γεωθερμίας στα θερμοκήπια ήταν μάλλον ικανοποιητική και έγινε σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ξεπεράστηκαν ή ξεπερνιούνται τα αρχικά τεχνικά προβλήματα. Σ' αυτό βοήθησαν και τα διάφορα ερευνητικά ιδρύματα. Η σχεδόν απαγορευτική δυνατότητα παραχώρησης άδειας γεωθερμικής εκμετάλλευσης, σύμφωνα με το Ν. 1475/84, σε ιδιώτες στέρησε τη δυνατότητα ταχύτερης ανάπτυξης των εφαρμογών.

Αντίθετα, υπάρχουν αξιόλογες προσπάθειες ανάπτυξης γεωθερμικών εφαρμογών χαμηλής ενθαλπίας, κυρίως σε θερμοκήπια, από Ο.Τ.Α. και Συνεταιρισμούς που ενθαρρύνονται από το Ν. 1475/84 και τον Ν. 1262/82. Στις πρωτοβουλίες όμως αυτές αντιμετωπίζονται καθυστερήσεις υλοποίησης από γραφειοκρατικούς λόγους και έλλειψη εμπειρίας, οργάνωσης και ικανότητας. Δε φτάνει η συμπαράσταση της ΕΤΒΑ, ΙΓΜΕ κ.λ.π. Τέτοιες πρωτοβουλίες προχώρησαν, έστω και με καθυστερήσεις, στη Ν. Κεσσάνη Ξάνθης, Πολίχνιτο Λέσβου, Μήλο, Σιδηρόκαστρο, Νιγρίτα, Λαγκαδά. Υπήρξε ένα σοβαρό πρόβλημα διάθεσης κατάλληλων γεωτρήσεων για γεωτρήσεις έρευνας- παραγωγής σε ενδιάμεσο βάθος (50-600 m). Η Δ.Ε.Π. ανέλαβε γεωτρήσεις βαθιές (800-2500 m) και κάλυψε αυτό το χώρο σε δύο περιπτώσεις. Τελευταία Η ΓΕΜΕΕ προμηθεύτηκε κατάλληλο γεωτρήσιμο για βαθιές γεωτρήσεις και ήδη πραγματοποίησε γεώτρηση και ήδη χρησιμοποίησε γεώτρηση 1000 μ. στη Ν. Κεσσάνη.

Ακόμη, διαπιστώνεται με τον καιρό, ολοένα και περισσότερο πως οι ανάγκες για οικονομικότερη ψύξη και θέρμανση στο εσωτερικό των χώρων δίνουν ώθηση στην προώθηση έργων με χρήση αντλιών θερμότητας.

Το σύστημα GHP είναι από τα μόλις πιο ανταγωνιστικά εναλλακτικά συστήματα, για τους εξής λόγους:

- Απλός σχεδιασμός
- Ασφάλεια στη χρήση
- Αθόρυβο και διακριτικό

Οι μονάδες είναι εσωτερικά των σπιτιών, συνεπώς θεωρείται δεδομένη η προστασία τους από εξωτερικούς παράγοντες. Επίσης είναι δεδομένο πως χρειάζεται περιορισμένη συντήρηση, αλλάζοντας τα φίλτρα και εφαρμόζοντας ετήσιο καθαρισμό.

Με την παρουσία των GHP δεν επηρεάζεται η εξωτερική εμφάνιση των σπιτιών και δεν υφίσταται θόρυβος εξωτερικού συμπιεστή.

Αν λάβουμε υπόψιν ότι το σύστημα παραδίδει τρεις ελεύθερες μονάδες ενέργειας για κάθε μονάδα ετήσιας απόδοσης, αυτό σημαίνει αυτόματα ότι το κόστος θέρμανσης μπορεί να μειωθεί περίπου 50% κατά τη διάρκεια του χειμώνα και το κόστος ψύξης περίπου 25% κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Το σύστημα GHP μπορεί να έχει μεγαλύτερο αρχικό κόστος από τα συμβατικά συστήματα, αλλά εξασφαλίζει χαμηλότερο κόστος χειρισμού.

Τέλος η κυκλοφορία των GHP έχει πολλαπλά οφέλη:

- Μείωση στους λογαριασμούς ενέργειας
- Μεγαλύτερη αποδοτικότητα
- Χαμηλότερη εθνική κατανάλωση ενέργειας
- Μείωση της μόλυνσης του αέρα

### **5.13 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ**

Το γεωθερμικό δυναμικό της χώρας είναι σίγουρα πολύ μεγάλο και με πολύ καλές συνθήκες (βάθος, ποιότητα ρευστών, θερμοκρασία, παροχή γεωτρήσεων). Για παράδειγμα η Λέσβος μπορεί να παράγει ρεύμα από τη μέση ενθαλπία (κύκλος RANKINE) και έχει τεράστιο δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας σε πολύ μικρά βάθη. Άλλα νησιά του Αιγαίου έχουν πιθανώς παρόμοιες συνθήκες με τη Λέσβο, αλλά η έρευνα βρίσκεται σε αρχική φάση (Χίος, Σάμος, Ικαρία, Κώς, Πάτμος, Σαμοθράκη, Λήμνος). Το ίδιο ισχύει και για μερικά κυκλαδίτικα νησιά, όπως η Σέριφος, Κύθνος.

Όσον αφορά τη χαμηλή ενθαλπία θα πρέπει να υπάρξει ενημέρωση του καταναλωτικού κοινού για τις παροχές και τις ωφέλειές της, μια που στον ελλαδικό

χώρο συναντώνται αρκετά ευνοϊκές συνθήκες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας.

Η ενεργειακή αυτοδυναμία των νησιών που δεν έχουν άλλες ενεργειακές πρώτες ύλες κάνει πιο ελκυστική την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών όπως είναι η γεωθερμική. Στη βόρεια κυρίως Ελλάδα, οι ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες συνδυάζονται με αυξημένη ενεργειακή ζήτηση λόγω κλίματος και κατάλληλες αναπτυξιακές δομές. Στα γνωστά μέχρι στιγμής πεδία θα πρέπει να αναπτυχθούν προγράμματα γεωτρητικής έρευνας μεγάλης διαμέτρου για παραγωγή και μελέτη των συνθηκών των ταμιευτήρων. Χρειάζονται μέσα, κονδύλια και επιστημονική προσπάθεια.

Επίσης θα πρέπει να αναπτυχθούν περισσότερες και πολύπλευρες ενεργειακές εφαρμογές (κυρίως θερμάνσεις, βιομηχανικές χρήσεις), εκτός από τα ανακαλυφθέντα πεδία επιβάλλεται να ερευνηθούν συστηματικά και νέες περιοχές, όπως οι Λεκάνες Αλμωπίας, Θεσσαλίας, Σπερχειού, περιοχές δυτικής Χαλκιδικής Αλεξανδρούπολης, Σαππών, Άγγιστρου Σερρών, Αμυνταίου Φλώρινας, Δομοκού κ.λ.π. (βλπ. Μέτρα προώθησης γεωθερμικής ενέργειας, Παράρτημα Β). Να αναπτυχθούν και νέες μέθοδοι έρευνας με μεγαλύτερη συμμετοχή και συνεργασία των γεωεπιστημόνων. Επίσης, χρειάζεται διεθνής συνεργασία και συνεχής ενημέρωση και μετεκπαιδεύσεις καθώς και συμπλήρωση των ειδικοτήτων που λείπουν. Στη γεωθερμία, που έχει ανάγκη της γεωλογικής επιστήμης σε πολλές ειδικότητες, η συμμετοχή όλο και περισσότερων γεωεπιστημόνων μπορεί να δώσει παραπέρα ικανοποιήσεις και να συνδράμει θετικά στην ενεργειακή οικονομία και ανάπτυξη και παράλληλα στην ποιότητα ζωής και το περιβάλλον.

# **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. McQuiston C.F., Parker D.J., επιμέλεια Βραχόπουλος Μ., (2003), «Θέρμανση, αερισμός και κλιματισμός. Σχεδιασμός & Ανάλυση», Εκδόσεις Ιων, 1<sup>η</sup> ελληνική έκδοση
2. Ελληνική Τράπεζα Βιομηχανικής Αναπτύξεως, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση Ενέργειας (ΓΔ XVII), (Σεπτέμβριος 1995), Πρόγραμμα ALTENER, Έργο: πληροφόρηση και υποστήριξη επιχειρηματικών φορέων για την υλοποίηση παραγωγικών επενδύσεων με αξιοποίηση γεωθερμικής ενέργειας. «Ενημερωτικός οδηγός για τις δυνατότητες αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα».
3. Καραμάνης Ε., (2005), «Χρήση της αβαθούς γεωθερμίας», Θεσσαλονίκη
4. Παπαγεωργάκης Ι., (Οκτώβριος 1993), «Η πρώτη στην Ελλάδα κατοικία με γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης και παραγωγής ζεστού νερού», Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα
5. Rafferty K., (April 1997), "An information Survival kit for the prospective residential owner", GeoHeat Center Bulletin, Oregon Institute of Technology, Oregon
6. Κυριάκης Ν., Μιχόπουλος Α., Πάπας Κ., (2002), «Πρώτος χρόνος λειτουργίας του γεωθερμικού εναλλάκτη Πυλαίας, Ενεργειακή αξιολόγηση» Τεχν.Χρον. Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ, IV, Τευχ. 1-2, Θεσσαλονίκη
7. Καγκέλη Ο., (1999), «Χρήση των αντλιών Θερμότητας για την αξιοποίηση της γεωθερμίας χαμηλών- μέσων θερμοκρασιών», Θεσσαλονίκη
8. Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν., (2004), «Γεωθερμία», Α.Π.Θ., Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη
9. Τσεκούρα Α., Αρζόγλου Σ. (2002), «Γεωλογικά θέματα: διερεύνηση και μελέτη των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης με αντλίες θερμότητας στο νέο δημαρχείο Πυλαίας», Θεσσαλονίκη
10. Φυτίκας Μ., (1993), «Η έρευνα στη γεωθερμία και τα αποτελέσματά της τα τελευταία 40 χρόνια στον Ελλαδικό χώρο - μελλοντικές προοπτικές», 40 χρόνια εξέλιξη και προσφορά της Γεωλογίας, μελλοντικές προοπτικές, Διήμερο Συμπόσιο 22-23 Μαΐου Ειδ. Δημοσιεύσεις της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας Νο. 2, ,Σελ.201-208.
11. Φυτίκας Μ., (Οκτώβριος 2004), «Μέτρα προώθησης της γεωθερμικής ενέργειας», Θεσσαλονίκη
12. Μπουσγολίτης Χ., (2004), «Οδηγός επιβίωσης για τον μελλοντικό ιδιοκτήτη γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, Μετάφραση- σχολιασμός», Θεσσαλονίκη
13. Βραχόπουλος Μ., (Φεβρουάριος 2003), «Θέρμανση κτιρίων με αβαθή ενέργεια στην Ελλάδα» Τεχν.Χρον., Επιστ. Εκδ. ΤΕΕ.
14. Φυτίκας Μ., (2005), «Γεωεναλλάκτες-Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Ανανεώσιμη πηγή ενέργειας θέρμανση- ψύξη- ζεστό νερό. Πρόταση μέτρων προώθησης», Θεσσαλονίκη
15. Σιμιτόπουλος Χ., Βραχόπουλος Μ. (2005), «Υπολογισμός κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών», Συνέδριο Συλλόγου Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα



16. Popovski K., Seibt P., Cohut I., (2000), "Geothermal energy in Europe, State-of-the-art and necessary actions and measures to accelerate the development", IGA&EGEC QUESTIONNAIRE 2000, Greece, 235-258
17. Παπαγεωργάκης Ι., (Μάρτιος 1996), «Γεωθερμία σε κτίριο της Πολυτεχνειούπολης για εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>»
18. Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2005), «Συστήματα αβαθούς γεωθερμίας-Αποτελέσματα μελέτης βιωσιμότητας για σύστημα γεωθερμίας, Ανοιχτό-Κλειστό κύκλωμα»
19. Καϊκή Π., Τσίτση Μ., (2000), «Χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας στη θέρμανση και ψύξη με αντλίες θερμότητας», Θεσσαλονίκη
20. Μιχόπουλος Α., Μπόζης Δ., Κυριάκης Ν., (Μαρτίου 2006), 29-31 «Συμπεράσματα από τη λειτουργία του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας του νέου δημαρχείου Πυλαίας κατά τα έτη 2003-2005» Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής 8<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας τεύχος περιλήψεων ,Θεσσαλονίκη, Σελ.15
21. Μιχόπουλος Α., Πάττας Κ., Κυριάκης Ν., (29-31 Μαρτίου 2006), «Το μέγιστο φορτίο κατακόρυφου γεωεναλλάκτη ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του εδάφους», Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής, 8<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, τεύχος περιλήψεων Σελ.16, Θεσσαλονίκη
22. Ανδρίτσος Ν., Αρβανίτης Α., Κολιός Ν., Κουτσινός Σ. (29-31 Μαρτίου 2006), «Εφαρμογή Γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σύστημα μιας γεώτρησης και η συμβολή τους στην εξοικονόμηση ενέργειας», Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής, 8<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, τεύχος περιλήψεων Σελ.17, Θεσσαλονίκη
23. Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν., (29-31 Μαρτίου 2006), «Παγκόσμιο συνέδριο γεωθερμίας 2005: παρούσα κατάσταση στον κόσμο και την Ελλάδα και προοπτικές» Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής, 8<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας, τεύχος περιλήψεων Σελ.19, Θεσσαλονίκη
24. Γκουλιαμάνης Σ., (2002), «Πολυσταδιακή χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για τη θέρμανση-ψύξη κτιρίων στο Λαγκαδά Θεσσαλονίκης», Θεσσαλονίκη
25. Λουκίδης Κ., (2002), «Διερεύνηση της δυνατότητας θέρμανσης των θερμών Νιγρίτας με γεωθερμική ενέργεια» Θεσσαλονίκη
26. Water Furnace, «Θέρμανση και ψύξη με γεωεναλλάκτες, συχνές ερωτήσεις»
27. Ανδρίτσος Ν, Καράμπελας Α.Ι., Φυτίκας Μ. (2000), «Αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα : παρούσα κατάσταση, τεχνικά προβλήματα, προοπτικές» Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής 6<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας
28. Σιγάλας Ι., Κολδέλλης «Βέλτιστη ενεργειακή διαχείριση εγκατάστασης αναερόβιας επεξεργασίας βιολογικής ιλύος με χρήση γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας», Ινστιτούτο ηλιακής τεχνικής 6<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας

29. Οικονομίδης Γ., Μπολολιά Μ., Καράγιωργας Μ.,(2002) «Βιοκλιματικό κτίριο με επίδειξη ενεργειακών τεχνολογιών στις εγκαταστάσεις του ΚΑΠΕ στο Πικέρμι»
30. Ευαγγελίδης Ε., Γιαννουσάς Ε., (Μάιος 2006), «Γεωθερμία Άμεσης και Έμμεσης Χρήσης με Αντλίες Θερμότητας για Κλιματισμό Χώρων-Εφαρμογές στον ελλαδικό χώρο», Αθήνα
31. Σιγάλας Ι., Κολδέλλης Ι., (2000) «Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας» 6<sup>ο</sup> Εθνικό Συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας του Ινστιτούτου ηλιακής τεχνικής «Βέλτιστη ενεργειακή διαχείριση εγκατάστασης αναερόβιας επεξεργασίας βιολογικής ιλύος με χρήση γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας»
32. Ελληνική Τράπεζα Βιομηχανικής Αναπτύξεως, Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση Ενέργειας (ΓΔ XVII), (Μάρτιος 1996), Πρόγραμμα ALTENER ,Έργο: πληροφόρηση και υποστήριξη επιχειρηματικών φορέων για την υλοποίηση παραγωγικών επενδύσεων με αξιοποίηση γεωθερμικής ενέργειας. «Επενδυτικός οδηγός για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας σε παραγωγικές δραστηριότητες στην Ελλάδα».
33. Lynch R.D., Hutchenson C.E., (1991), "Enviromental education,profession/ecology/industry" colloquium "Industrial Ecology",National Academy of Sciences, Washington, DC.
34. Κουρίδης Χ., Παπουτσίδου Ο., (2005), «Εγκατάσταση συστήματος ψύξης – θέρμανσης σε εμπορική αποθήκη της εταιρείας Συμεωνίδης Χ & Π. Ο.Ε», Θεσσαλονίκη
35. Κουρίδης Χ.,(2005), «Τεχνική μελέτη μηχανολογικών στοιχείων στην εμπορική αποθήκη της εταιρείας Συμεωνίδης Χ & Π. Ο.Ε», Θεσσαλονίκη
36. Ναγκούλης Α., (2001) «Θέρμανση – κλιματισμός, εγκατάσταση πεδίου γεωτρήσεων του νέου δημαρχείου Πυλαίας (ΜΠΕ)», Θεσσαλονίκη
37. Πάπτας Κ., Κικίδης Π., Μπόζης Δ., Καμπίσης Γ., (1997), «Θέρμανση – κλιματισμός, εγκατάσταση πεδίου γεωτρήσεων του νέου δημαρχείου Πυλαίας ,Τεχνική μελέτη,τεχνική περιγραφή, τεχνικές προδιαγραφές, τεχνική συγγραφή υποχρεώσεων», Θεσσαλονίκη
38. Ναγκούλης Α., (2002) «Θέρμανση – κλιματισμός, εγκατάσταση - πεδίο γεωτρήσεων του νέου δημαρχείου Πυλαίας Γεωλογική – Τεχνική Έκθεση», Θεσσαλονίκη
39. Στεργιάννης Θ., (2002) «Θέρμανση – κλιματισμός, εγκατάσταση - πεδίο γεωτρήσεων του νέου δημαρχείου Πυλαίας Τεχνική Έκθεση», Θεσσαλονίκη
40. Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Εξοικονόμηση ενέργειας από σύστημα (ΓΑΘ)»
41. Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Ενδεικτικό κόστος έργου με εγκατάσταση γεωθερμικών αντλιών»
42. Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Μελέτη βιωσιμότητας ξενοδοχείου»
43. Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Βρεφονηπιακός σταθμός ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ- αποτελεσματα προμελετης σκοπιμότητας συστηματος αβαθους γεωθερμιας»

44. Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Εμπορικός χώρος στη βόρεια Ελλάδα αποτελέσματα προμελέτης σκοπιμότητας συστήματος αβαθούς γεωθερμίας»
45. Βλαμίδης Ιωάννης, (2005), «Βελτιστοποίηση του πολτού δάτρησης στις γεωτρήσεις. Μετρήσεις διαφόρων παραμέτρων στις παραγωγικές γεωτρήσεις Νέου Ρυσίου και Κυμίνων Θεσσαλονίκης»
46. Παπαχρήστου Μαρία, (2004), «Προκαταρκική μελέτη για το αεροδρόμιο Μακεδονία Θεσσαλονίκης»
47. Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Σύστημα γεωθερμικού κλιματισμού»
48. Τέμα Ενεργειακή Α.Ε., (2006), «Παράδειγμα για κατοικία 130 τ.μ.»

## Ιστοσελίδες

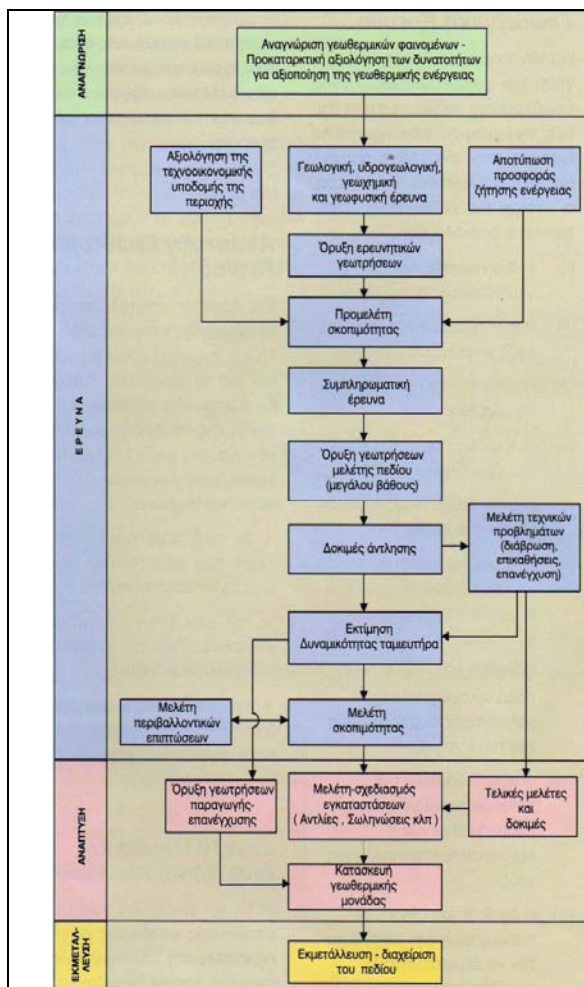
1. [http://www.europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/index\\_en.htm](http://www.europa.eu.int/comm/energy/res/legislation/index_en.htm) (last reviewed 27 September 2006)
2. <http://www.europa.eu.int/scadplus/leg/el/lvb/128066.htm> (last reviewed 27 September 2006)
3. <http://www.geoexchange.org> (last reviewed 14 October 2006)
4. <http://www.igshpa.okstate.edu> (last reviewed 14 October 2006)
5. <http://www.geoheat.oit.edu> (last reviewed 14 October 2006)
6. <http://www.clear-skies.org> (last reviewed 14 October 2006)
7. <http://www.waterfurnace.com> (last reviewed 14 October 2006)
8. <http://www.tema.gr> (last reviewed 27 September 2006)
9. [http://www.tema.gr/GR\\_GroupPres.asp?Group=4](http://www.tema.gr/GR_GroupPres.asp?Group=4) (last reviewed 27 September 2006)
10. <http://www.cress.gr> (last reviewed 14 October 2006)
11. <http://www.energyhomes.gr/GRECCE/Geo-1.htm> (last reviewed 14 October 2006)
12. <http://www.wfiglobal.com/HeatingCycleAnimation.asp> (last reviewed 14 October 2006)
13. <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php?lang=gr> (last reviewed 14 October 2006)
14. <http://www.energyhomes.gr/GRECCE/zestonero.htm> (last reviewed 14 October 2006)
15. <http://www1.eere.energy.gov/geothermal/animations.html> (last reviewed 14 October 2006)
16. [http://www.sciencenews.gr/articles.asp?Cat\\_id=9&offset=5&Article\\_id=624](http://www.sciencenews.gr/articles.asp?Cat_id=9&offset=5&Article_id=624) (last reviewed 14 October 2006)
17. <http://www.kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/alternative/geothermiki.htm> (last reviewed 14 October 2006)
18. <http://www.physics4u.gr/energy/geotherme.html> (last reviewed 27 September 2006)
19. <http://www.iaheatpump.org/winter.html> (last reviewed 27 September 2006)
20. <http://www.iaheatpump.org/air.html> (last reviewed 27 September 2006)

21. [http://www.ape.chania.teicrete.gr/ape/geothermia/main\\_geotherm.htm](http://www.ape.chania.teicrete.gr/ape/geothermia/main_geotherm.htm) (last reviewed 27 September 2006)
22. <http://www.ape.chania.teicrete.gr/ape/geothermia/anaptixinf.htm> (last reviewed 27 September 2006)
23. <http://www.aidengineering.gr/gr/profile/Projectstudies/geothermal2.htm> (last reviewed 14 October 2006)
24. <http://www.news.pathfinder.gr/ecology/greenpeace/geothermics.html> (last reviewed 27 September 2006)
25. <http://www.greenpeace.org/greece/137368/137396/138606> (last reviewed 14 October 2006)
26. [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_geothermal.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_geothermal.htm) (last reviewed 27 September 2006)
27. [http://www.cres.gr/kape/index\\_gr.htm](http://www.cres.gr/kape/index_gr.htm) (last reviewed 27 September 2006)
28. <http://www.cres.gr/kape/kidsol/geotherm/bottom.htm> (last reviewed 27 September 2006)
29. [http://www.spinel.semafor.ch/promot\\_plone/indexgr\\_html?set\\_language=el](http://www.spinel.semafor.ch/promot_plone/indexgr_html?set_language=el) (last reviewed 14 October 2006)
30. <http://www.google.com/intl/el/help/features.html#cached> (last reviewed 27 September 2006)
31. <http://www.waermepumpen-marktplatz-nrw.de/> (last reviewed 14 October 2006)
32. <http://www.kfw.de/EN/Inhalt.jsp> (last reviewed 14 October 2006)
33. <http://www.ghp.gr/egatast.htm> (last reviewed 14 October 2006)
34. [http://tovima.dolnet.gr/print\\_article.php?e=B&f=12503&m=E06&aa=1](http://tovima.dolnet.gr/print_article.php?e=B&f=12503&m=E06&aa=1) (last reviewed 14 October 2006)

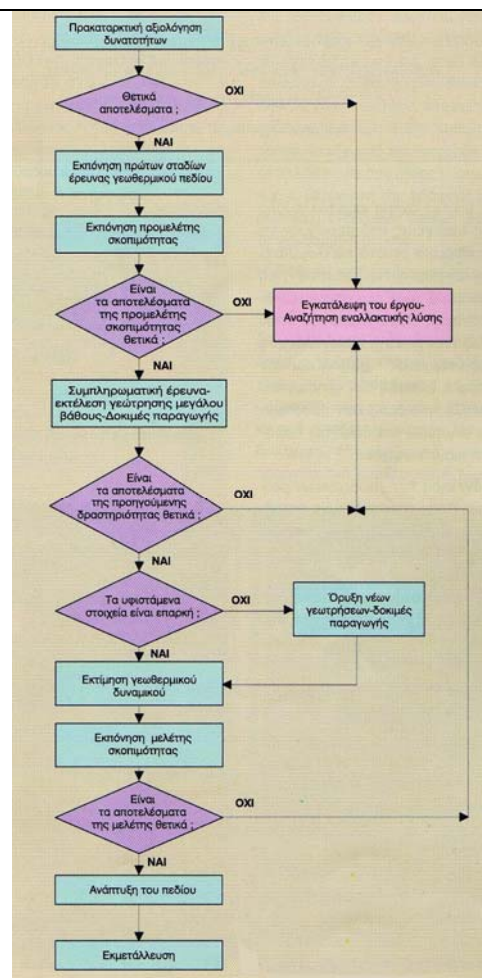
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

### **➤ ΕΙΚΟΝΕΣ & ΠΙΝΑΚΕΣ**

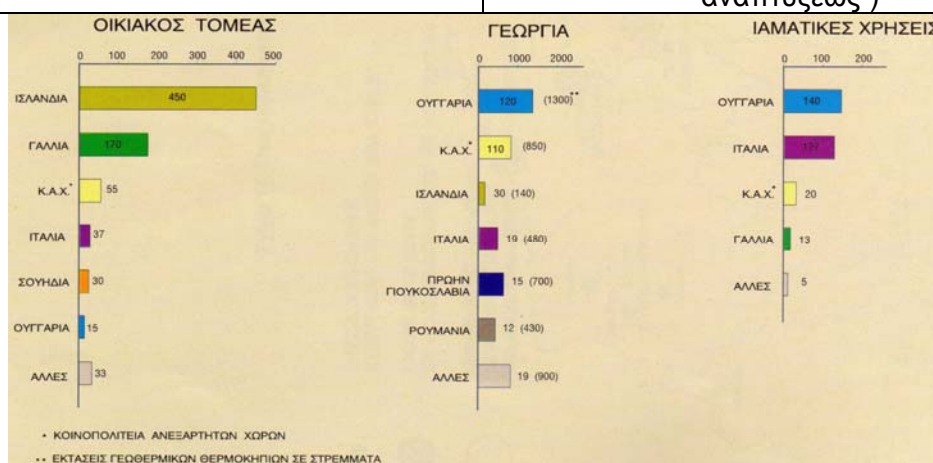




Σχήμα Α1  
Στάδια ενός γεωθερμικού προγράμματος  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως )



Σχήμα Α2  
Λήψη αποφάσεων κατά την έρευνα ενός γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως )

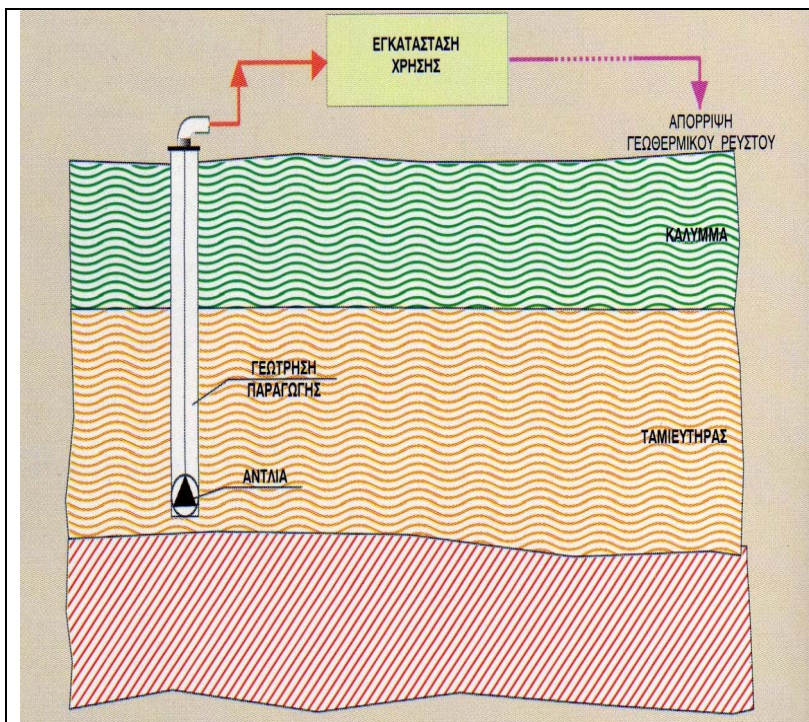


Σχήμα Α3  
Κατανάλωση γεωθερμικής ενέργειας σε μη ηλεκτρικές χρήσεις στην Ευρώπη (σε χιλ. ΤΙΠ)  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως)

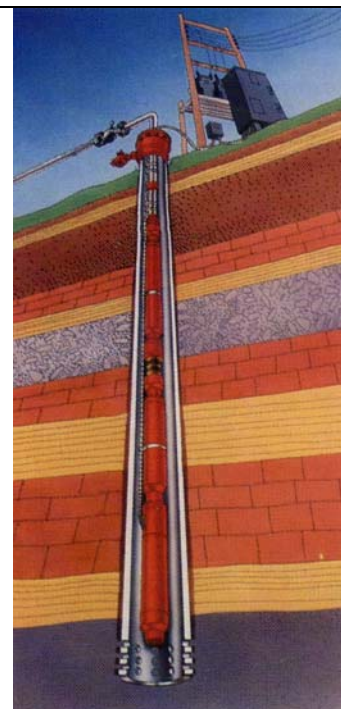
|                                                                                           | (1)                                          | (2)                                  | (3)                        | (4)                           | (5)                              | (6)                        | (7)                                                                                                               | (8)                      | (9)                        | (10)                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ                                                                      | ΕΚΤΑΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ (km <sup>2</sup> ) | ΒΑΘΟΣ ΤΑΜΙΕΥ -ΤΗΡΑ (m)               | ΠΑΡΟΧΗ (m <sup>3</sup> /h) |                               | ΘΕΡΜΟ -ΚΡΑΣΙΑ ( °C)              | ΑΛΑΤΟ -ΤΗΤΑ [TDS] (gr/ltr) | ΧΗΜΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙ -ΣΜΟΣ                                                                                           | ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (ΤΙΠ/h)    |                            | ΠΑΡΑΤΗ-ΡΗΣΕΙΣ                                                                                                                                                           |
|                                                                                           |                                              |                                      | ΒΕΒΑΙΩΜΕΝΗ                 | ΠΙΘΑΝΗ                        |                                  |                            |                                                                                                                   | ΒΕΒΑΙΩΜΕΝΗ               | ΠΙΘΑΝΗ                     |                                                                                                                                                                         |
| 1. ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ<br>- Αριστινίό<br>- Τυχερό                                      | 3<br>-                                       | -<br>-                               | 100<br>150                 | -                             | 90-92<br>35-40                   | 15<br>0,5                  | Na-Cl<br>-                                                                                                        | 0,65<br>0,22             | -                          |                                                                                                                                                                         |
| 2. ΛΕΚΑΝΗ ΞΑΝΘΗΣ - ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ<br>- Ν. Κεσσάνη<br><br>- Αίμνη Μητρικού<br>- Σάμπες          | 15<br><br>->30<br>->30                       | 150-1000<br><br>-<br>-               | 350<br><br>-<br>-          | 1000<br><br>-<br>-            | 40-82<br><br>-<br>35-50          | 5<br><br>-<br>-            | Na-Cl<br>(CO <sub>2</sub> :99%)<br>(N <sub>2</sub> :1%)<br>-<br>-                                                 | 1,75<br><br>-<br>-       | 4,5<br><br>-<br>-          | CO <sub>2</sub> :3,0-3,3 Kg/tn<br>H <sub>2</sub> S:3-8ppm<br>προβλήματα<br>καταλάτωσης                                                                                  |
| 3. ΛΕΚΑΝΗ ΔΕΛΤΑ ΝΕΣΤΟΥ<br>- Ν. Εράσμιο Μαγγάνων<br><br>-Ερατεινό Χρυσούπολης              | 15<br><br>40                                 | 200-400<br><br>500-650               | 400<br><br>-               | -<br><br>500-600              | 40-65<br><br>40-70               | 1-12<br><br>-              | Na-Cl<br>Na-HCO <sub>3</sub><br>-                                                                                 | 1,1<br><br>-             | -<br><br>1,65              |                                                                                                                                                                         |
| 4. ΛΕΚΑΝΗ ΣΤΡΥΜΩΝΑ<br>- Σιδηρόκαστρο<br>- Λιθότοπος Ηράκλειας<br>- Θερμά Νιγρίτας         | 10<br>25<br>16                               | 25-400<br>200-450<br>100-325         | 200<br>-<br>400            | -<br>200<br>-                 | 40-67<br>33-62<br>40-60          | 1,5<br>1,2<br>0,8-3,7      | HCO <sub>3</sub> -Na<br>HCO <sub>3</sub><br>Ca-HCO <sub>3</sub> -Na<br>(CO <sub>2</sub> :99%)                     | 0,5<br>-<br>1,0          | -<br>0,5<br>-              | καθαλατώσεις<br><br>αυξημένη<br>περιεκτικότητα                                                                                                                          |
| 5. ΛΕΚΑΝΗ ΜΥΤΩΝΙΑΣ<br>- Νυμφόπετρα<br>- Λαγκαδάς<br>- Ν. Απολλωνία                        | 2<br>6<br>2                                  | 100-150<br>100-250<br>50-200         | 200<br>-<br>200            | -<br>300<br>-                 | 37-44<br>35-40<br>45-50          | <1,0<br>0,7<br>0,7-1,0     | SO <sub>4</sub> Na-HCO <sub>3</sub><br>SO <sub>4</sub> Na-HCO <sub>3</sub><br>SO <sub>4</sub> Na-HCO <sub>3</sub> | 0,3<br>-<br>0,45         | -<br>0,37<br>-             |                                                                                                                                                                         |
| 6. ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΘΕΜΟΥΝΤΑ                                                                     | -                                            | -                                    | -                          | -                             | 27-38                            | -                          | -                                                                                                                 | -                        | -                          |                                                                                                                                                                         |
| 7. ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ<br>- Ελαιχώρια                                                      | >5                                           | -                                    | 1000                       | 1500                          | 34-41                            | 1,5                        | -                                                                                                                 | 1,3                      | 2,0                        |                                                                                                                                                                         |
| 8. ΛΕΚΑΝΗ Δ. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ                                                                 | (100)                                        | 700-1500                             | -                          | -                             | 50-70                            | -                          | -                                                                                                                 | -                        | (>0,8)                     |                                                                                                                                                                         |
| 9. ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΜΟΠΙΑΣ<br>- Αριδαία                                                           | 6                                            | 700-800                              | -                          | -                             | 70                               | -                          | -                                                                                                                 | -                        | -                          |                                                                                                                                                                         |
| 10. ΛΕΚΑΝΗ ΓΡΕΒΕΝΩΝ-ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ<br>- Νεάπολη                                                | -                                            | 600                                  | -                          | -                             | 50                               | -                          | -                                                                                                                 | -                        | -                          |                                                                                                                                                                         |
| 11. ΛΕΚΑΝΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ<br>- Καρδίτσα<br>- Σοφάδες                                           | -<br>-                                       | 900-100<br>700                       | -<br>-                     | -<br>-                        | 45-50<br>65                      | -<br>-                     | -<br>-                                                                                                            | -<br>-                   | -<br>-                     |                                                                                                                                                                         |
| 12. ΘΕΡΜΟΠΥΛΕΣ - ΑΙΔΗΨΟΣ<br>- Θερμοπύλες<br><br>- Αιδηψός                                 | 5<br>-                                       | 0-100<br>0-100                       | 1000<br>500                | 2500<br>-                     | 40<br>70-80                      | 8<br>-                     | -<br>-                                                                                                            | -<br>-                   | -<br>-                     | αυξημένη<br>περιεκτικότητα H <sub>2</sub> S<br>καθαλατώσεις                                                                                                             |
| 13. ΣΟΥΣΑΚΙ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ<br>- Ανώτερος ταμειευτήρας (αβαθής)<br><br>- Κατώτερος ταμειευτήρας | 10                                           | 120-200<br><br>600-900               | 400<br><br>200             | -<br><br>1000                 | 50-77<br><br>60-80               | 40-46,2<br><br>49          | -<br><br>-                                                                                                        | 1,5<br><br>0,9           | -<br><br>(4,5)             | CO <sub>2</sub> :2,7 kg/tn,<br>H <sub>2</sub> S:22 gr/tn<br>καθαλατώσεις<br>στερεά υπόλοιπα<br>CO <sub>2</sub> :7,1 kg/tn,<br>H <sub>2</sub> S:20 gr/tn<br>καθαλατώσεις |
| 14. ΚΑΙΑΦΑΣ-ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ ΗΛΕΙΑΣ<br>- Καιάφα<br>- Ανδραβίδα                                   | -<br>-                                       | 0-100<br>0-100                       | -<br>-                     | -<br>-                        | 28-35<br>25                      | -<br>-                     | -<br>-                                                                                                            | -<br>-                   | -<br>-                     |                                                                                                                                                                         |
| 15. ΤΟΞΟ ΝΟΤ. ΑΙΓΑΙΟΥ<br>- Μήλος<br><br>- Νίουρος                                         | 30<br>-                                      | 10-100<br>30-120                     | 200<br>100                 | 1000<br>-                     | 30-75<br>25-95                   | 5-30<br>10-30              | -<br>-                                                                                                            | -<br>-                   | -<br>-                     | αυξημένη<br>περιεκτικότητα H <sub>2</sub> S<br>καθαλατώσεις<br>αυξημένη<br>περιεκτικότητα H <sub>2</sub> S                                                              |
| 16. ΝΗΣΟΣ ΛΕΣΒΟΣ<br>- Πολυχνίτος<br><br>- Λισβόρι<br>- Αργενος<br>- Στύψη-Καλλονή         | 10<br>2-3<br>5<br>20                         | 50-150<br>50-150<br>40-150<br>50-150 | 300<br>100<br>600<br>-     | 1000<br>-<br>1500<br>800-2000 | 70-90<br>70-90<br>80-90<br>23-61 | 10<br>-<br>12<br>0,8-1,2   | -<br>-<br>-<br>-                                                                                                  | 1,65<br>0,55<br>3,6<br>- | 5,5<br>(1,3)<br>7-9<br>2-4 | περιεκτικότητα H <sub>2</sub> S<br>καθαλατώσεις<br><br>H <sub>2</sub> S:5-10 ppm<br>αυξημένη<br>περιεκτικότητα H <sub>2</sub> S                                         |

Σχήμα Α4  
Χαρακτηριστικά Ελληνικών γεωθερμικών πεδίων  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως)

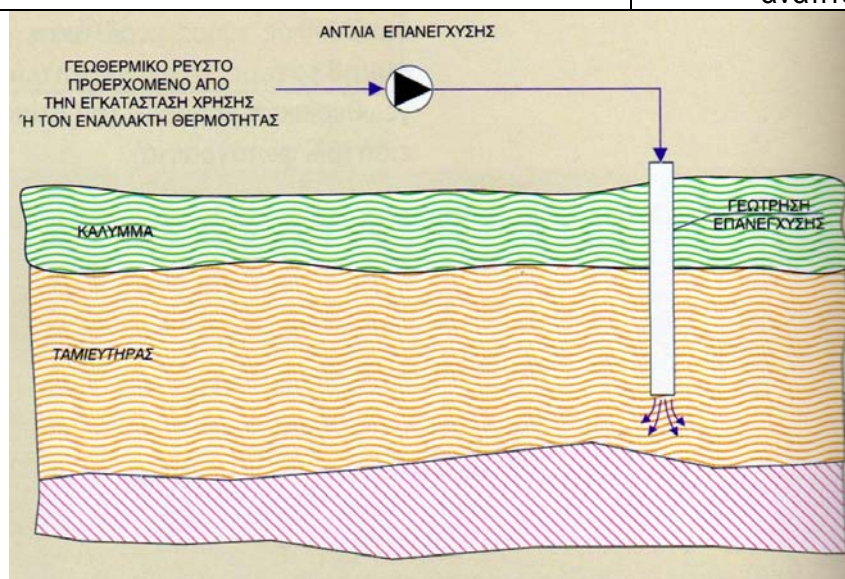




Σχήμα Α5  
Απλό σχήμα εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως)

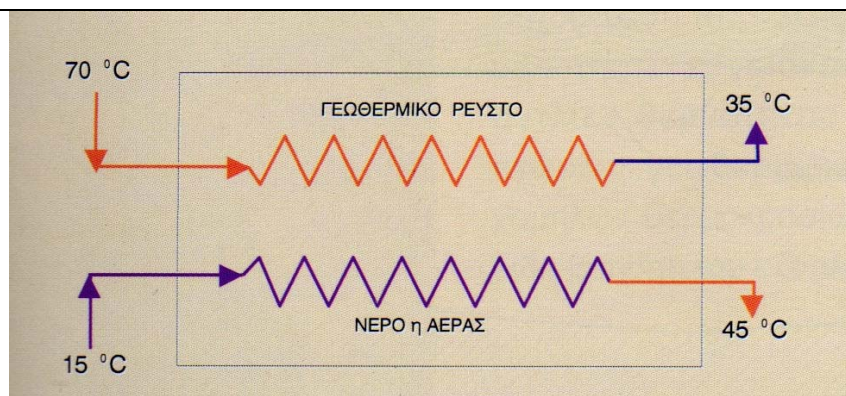


Σχήμα Α6  
Υποβρύχια αντλία  
εγκατεστημένη σε γεώτρηση  
(τομή) (Πηγή: Ελληνική  
τράπεζα βιομηχανικής  
αναπτύξεως)



Σχήμα Α7  
Επανέγχυση των γεωθερμικών ρευστών μετά τη χρήση  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως)





Σχήμα Α8

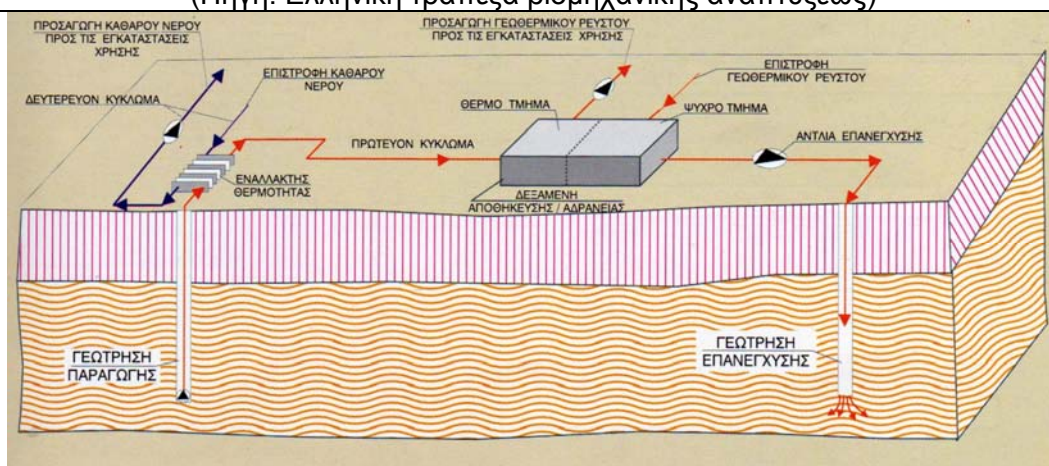
Αρχή λειτουργίας εναλλάκτη θερμότητας (οι θερμοκρασίες είναι ενδεικτικές)  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως)



Σχήμα Α9

Φυγοκεντρικές αντλίες επανέγχυσης  
(Γεωθερμικό πεδίο Ν. Κεσσάνης Ξάνθης)

(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως)



Σχήμα Α10

Εγκατάσταση εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας (χαμηλής ενθαλπίας)  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως)

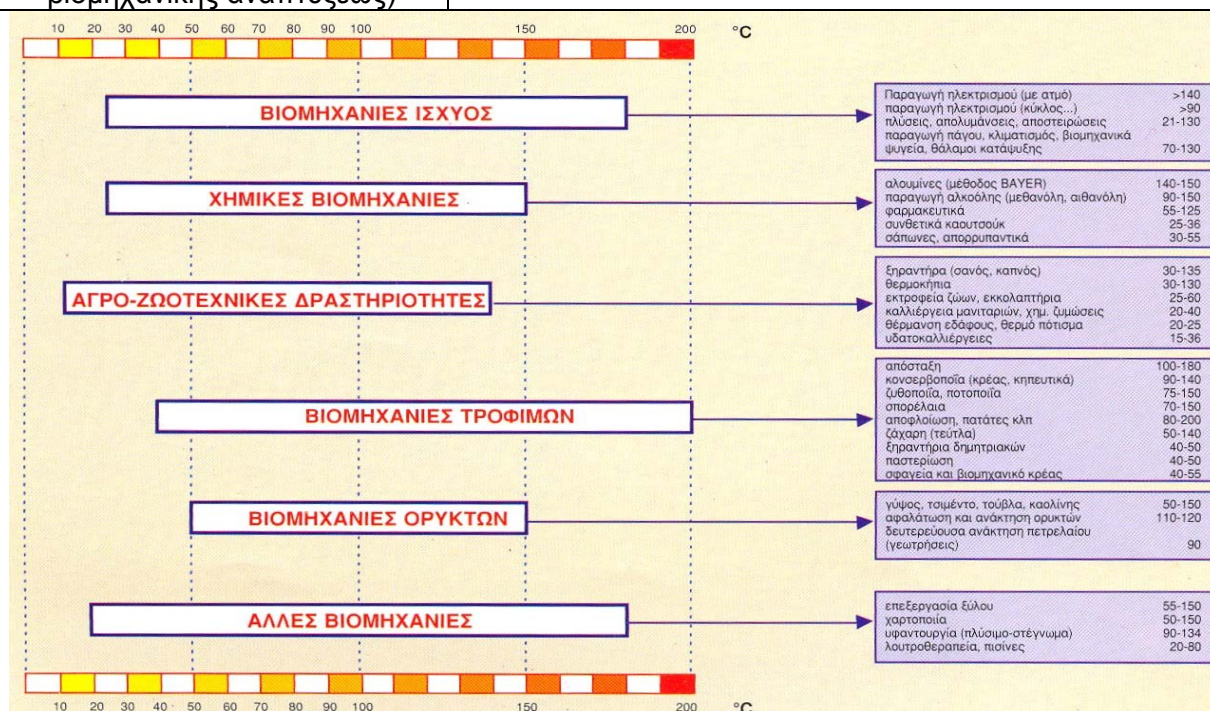




Σχήμα A11  
Σωλήνες μεταφοράς  
γεωθερμικών ρευστών  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα  
βιομηχανικής αναπτύξεως)



Σχήμα A12  
Πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας  
(Γεωθερμικό πεδίο Ν. Κεσσάνης Ξάνθης)  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως)



Σχήμα A13  
Χρήσεις γεωθερμικών ρευστών συναρτήσει της θερμοκρασίας  
(Πηγή: Ελληνική τράπεζα βιομηχανικής αναπτύξεως)





**PRESENT SITUATION AND FURTHER NEEDS FOR THE PROMOTION  
OF GEOTHERMAL ENERGY IN EUROPEAN COUNTRIES**

**TABLE A: MAIN CHARACTERISTICS OF RECENTLY EXPLORED GEOTHERMAL FIELDS IN GREECE**

| Geothermal Field      | Surface area (km <sup>2</sup> ) | Reservoir depth (m) | Total flow rate (m <sup>3</sup> /h) | T <sub>max</sub> (°C) | T.D.S. (g/L) | Type of water                         | Wells expl./prod. (<1994) | Wells expl./prod. (1995-1999) |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| <b>THRACE</b>         |                                 |                     |                                     |                       |              |                                       |                           |                               |
| Aristino-Aetochori    | 30                              | 350-450             | 400                                 | 92                    | 12           | Cl-Na                                 | 6/0                       | 3/2                           |
| Tranacoupoli          |                                 | 50-150              | 100+                                | 52                    | 8            | Cl-Na                                 | 0/1                       | 0/2                           |
| Sappes                | 25+                             | 400                 | 500                                 | 40                    | 1-2          | HCO <sub>3</sub> -Ca                  | 0/0                       | 4/3                           |
| Tychero               |                                 | 400                 | 500                                 | 38                    | 1-5          | Cl-Na-HCO <sub>3</sub>                | 0/0                       | 0/2                           |
| Neo Erasmo            | 10                              | 200                 | 400                                 | 60                    | 1            | Cl-Na-HCO <sub>3</sub>                | 11/3                      | 0/3                           |
| Porto Lagos           |                                 | 450                 | 20                                  | 38                    | 5            | Cl-Na                                 | 0/0                       | 0/2                           |
| South Komotini        | 30                              | 450                 |                                     | 40                    |              |                                       | 0/0                       | 5/0                           |
| <b>MACEDONIA</b>      |                                 |                     |                                     |                       |              |                                       |                           |                               |
| Agistro               | 3-4                             | 100-300             | 100                                 | 47                    | <0.3         | Ca-Na-HCO <sub>3</sub>                | 0/0                       | 5/1                           |
| Sidirokastro          | 14                              | 20-400              | 250                                 | 75                    | 1-5          | Cl-Na-HCO <sub>3</sub>                | 16/5                      | 0/3                           |
| Nigrita               | 20                              | 370                 | 1000                                | 64                    | 2-5          | Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>             | 0/0                       | 0/0                           |
| Iraklia               | 25                              | 200-400             | 200                                 | 62                    | 1-2          | HCO <sub>3</sub>                      | 8/0                       | 1/0                           |
| Achinos - Ivra        | 25                              | 300                 |                                     | 35                    |              |                                       |                           |                               |
| Erziano               |                                 | 500-650             | 300                                 | 75                    |              |                                       | 0/0                       | 0/2                           |
| Nea Apollonia         | 4+                              | 30-110              | 600                                 | 56                    | 1+           | SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Na | 3/2                       | 0/2                           |
| Nymphopetra           | 2                               | 60-110              | 300                                 | 45                    | 1+           | SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Na | 5/1                       | 0/1                           |
| Neo Ryssio            |                                 | 500+                |                                     | 40+                   | 2            | HCO <sub>3</sub>                      | 8/0                       | 1/0                           |
| Sani - Aftytos        | 6                               | 500-600             |                                     | 38                    | 1-2          |                                       | 0/0                       | 3/0                           |
| Imeoupoli             |                                 | 400                 |                                     | 27                    | 15           | Cl-Na                                 | 0/0                       | 2/0                           |
| Nissi                 |                                 | 500-580             |                                     | 35                    | 1            |                                       | 0/0                       | 2/0                           |
| Lamochori             |                                 | 200                 | >100                                | 38                    | 1            |                                       | 0/0                       | 0/2                           |
| Florina               |                                 | 350                 | 400                                 | 27                    |              |                                       | 0/0                       | 0/2                           |
| <b>AEGEAN ISLANDS</b> |                                 |                     |                                     |                       |              |                                       |                           |                               |
| Argemnos (Lesvos)     | 4                               | 10-300              | 800                                 | 86                    | 12           | Cl-Na                                 | 6/3                       | 3/1                           |
| Stipa (Lesvos)        | 10                              | 50-200              | 200+                                | 95                    | 1-5          | Cl-Na                                 | 0/3                       | 0/2                           |
| Nenita (Chios)        | 5+                              | 300-400             | 100                                 | 90                    | 4+           | Cl-Na                                 | 3/0                       | 5/1                           |
| Therma, Samothraki    |                                 | 40-120              | 100                                 | 100                   | 40           | Cl-Na                                 | 0/0                       | 0/3                           |
| Milos                 | 50                              | 10-100              | 200                                 | 90                    | 5-30         | Cl-Na                                 | 25/0                      | 0/1                           |
| Kumollos              |                                 | 170-200             | 200                                 | 60                    | 40           | Cl-Na                                 | 0/0                       | 1/2                           |

**TABLE 1. PRESENT AND PLANNED PRODUCTION OF ELECTRICITY**

| (approximately)                                                 | Geothermal   |                    | Fossil Fuels |                    | Hydro        |                    | Nuclear      |                    | Other Renewables (specify) |                    | Total            |                    |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|----------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
|                                                                 | Capacity MWe | Gross Prod. GWh/yr | Capacity MWe | Gross Prod. GWh/yr | Capacity MWe | Gross Prod. GWh/yr | Capacity MWe | Gross Prod. GWh/yr | Capacity MWe               | Gross Prod. GWh/yr | Capacity MWe     | Gross Prod. GWh/yr |
| In operation in January 2000                                    | (2)          | -                  | 8000         | 38000              | 3000         | 4000               | -            | -                  | wind 26                    | wind 43            | 11000            | 42000              |
| Under construction in January 2000                              | -            |                    | 800          |                    | 200          |                    | -            |                    |                            |                    | 1000             |                    |
| Funds committed, but not yet under construction in January 2000 |              |                    |              |                    |              |                    |              |                    |                            |                    | ~ 1 billion Euro |                    |
| Total projected use by 2005                                     | 2 - 3        | 0 - 2              | 9000         | 43000              | 3500         | 4500               | -            | -                  | 30                         | 50                 | 12500            | 47500              |



### QUESTIONNAIRE FORM: GREECE

**TABLE 3. UTILIZATION OF GEOTHERMAL ENERGY FOR DIRECT HEAT AS OF 31 DECEMBER 1999**

|                                                    |                                                              |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| I = Industrial process heat                        | H = Space heating & district heating (other than heat pumps) |
| C = Air conditioning (cooling)                     | B = Bathing and swimming (including balneology)              |
| A = Agricultural drying (grain, fruit, vegetables) | G = Greenhouse and soil heating                              |
| F = Fish and animal farming                        | O = Other (please specify by footnote)                       |
| S = Snow melting                                   |                                                              |

| Locality         | Type <sup>1)</sup> | Maximum Utilization |                  |        |                                | Capacity <sup>1)</sup> | Annual Utilization |                     |                                 |                                  |
|------------------|--------------------|---------------------|------------------|--------|--------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|                  |                    | Flow Rate           | Temperature (°C) |        | Enthalpy <sup>2)</sup> (kJ/kg) |                        | (MWt)              | Ave. Flow<br>(kg/s) | Energy <sup>1)</sup><br>(TJ/yr) | Capacity<br>Factor <sup>2)</sup> |
|                  |                    |                     | Inlet            | Outlet | Inlet                          | Outlet                 |                    |                     |                                 |                                  |
| Nigrita 1        | G                  | 20.0                | 58               | 38     |                                |                        | 1.67               | 6.67                | 17.6                            | 0.33                             |
| Nigrita 2        | G                  | 13.9                | 41               | 28     |                                |                        | 0.76               | 5.00                | 8.57                            | 0.36                             |
| Nigrita 3        | G                  | 7.0                 | 37               | 25     |                                |                        | 0.35               | 2.90                | 4.59                            | 0.41                             |
| Nigrita 4        | G, O*              | 20.0                | 45               | 30     |                                |                        | 1.26               | 7.00                | 13.9                            | 0.35                             |
| Nigrita 5        | G                  | 16.7                | 37               | 20     |                                |                        | 1.19               | 4.20                | 9.42                            | 0.25                             |
| Sidirokastro 1a  | G                  | 10.0                | 48               | 34     |                                |                        | 0.59               | 3.50                | 6.46                            | 0.35                             |
| Sidirokastro 1b  | G                  | 7.8                 | 63               | 35     |                                |                        | 0.91               | 2.80                | 10.3                            | 0.36                             |
| Sidirokastro 1c  | G                  | 8.3                 | 43               | 32     |                                |                        | 0.38               | 3.00                | 4.35                            | 0.36                             |
| Sidirokastro 2   | G                  | 14.0                | 37               | 25     |                                |                        | 0.70               | 5.80                | 9.18                            | 0.41                             |
| Langadas 1       | G                  | 6.0                 | 36               | 15     |                                |                        | 0.53               | 2.00                | 5.54                            | 0.33                             |
| Langadas 2       | G                  | 8.4                 | 37               | 23     |                                |                        | 0.49               | 2.80                | 5.17                            | 0.33                             |
| Langadas 3       | G                  | 6.0                 | 35               | 22     |                                |                        | 0.33               | 2.00                | 3.43                            | 0.33                             |
| Nymfopetra       | G                  | 14.0                | 45               | 20     |                                |                        | 1.46               | 3.00                | 9.89                            | 0.21                             |
| Nea Apollonia 1  | G                  | 7.0                 | 46               | 32     |                                |                        | 0.41               | 2.50                | 4.62                            | 0.36                             |
| Nea Apollonia 2  | G                  | 14.0                | 42               | 27     |                                |                        | 0.88               | 4.80                | 9.50                            | 0.34                             |
| Nea Apollonia 3  | G                  | 11.1                | 45               | 30     |                                |                        | 0.70               | 3.70                | 7.32                            | 0.33                             |
| Nea Apollonia 4a | G                  | 10.0                | 46               | 28     |                                |                        | 0.75               | 3.50                | 8.31                            | 0.35                             |
| Nea Apollonia 4b | G                  | 7.0                 | 32               | 22     |                                |                        | 0.29               | 2.60                | 3.43                            | 0.37                             |
| Nea Apollonia 5  | G                  | 10.0                | 45               | 27     |                                |                        | 0.75               | 2.40                | 7.67                            | 0.34                             |
| Eleochoia        | G                  | 5.6                 | 30               | 20     |                                |                        | 0.23               | 1.80                | 2.37                            | 0.32                             |
| Neo Erasmio      | G                  | 16.7                | 60               | 30     |                                |                        | 2.10               | 3.50                | 13.9                            | 0.21                             |
| Polychnitos      | G                  | 16.7                | 80               | 35     |                                |                        | 3.14               | 5.60                | 33.2                            | 0.34                             |
| Geras, Lesbos    | G                  | 5.6                 | 38               | 25     |                                |                        | 0.30               | 1.90                | 3.26                            | 0.34                             |
| Milos            | G                  | 4.2                 | 46               | 24     |                                |                        | 0.39               | 1.00                | 2.90                            | 0.24                             |
| Traianoupolis    | H                  | 16.7                | 52               | 37     |                                |                        | 1.05               | 6.30                | 12.5                            | 0.38                             |
| Neo Erasmio      | H                  | 1.0                 | 60               | 40     |                                |                        | 0.08               | 0.33                | 0.87                            | 0.33                             |
| TOTAL            |                    | 258                 |                  |        |                                |                        | 21.7               | 90.6                | 218                             | 0.32                             |

\* Spiroulina cultivation

**TABLE 4. GEOTHERMAL (GROUND-SOURCE) HEAT PUMPS AS OF DECEMBER 1999**

<sup>1)</sup> V = vertical ground coupled, H = horizontal ground coupled  
<sup>2)</sup> W = water source (well or lake water), O = others (please describe)

| Locality           | Ground or<br>water temp.<br>(°C) | Typical Heat Pump<br>Rating or Capacity<br>(kW) | Number of<br>Units | Type <sup>1)</sup> | COP | Equivalent<br>Full Load<br>Hr/Year | Thermal Energy Used<br>(TJ/yr = 10 <sup>12</sup> J/yr) |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------|--------------------|-----|------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Kavouri, Athens    | 36                               | 220                                             | 1                  | W                  | 4   | 3600                               | 2.1                                                    |
| Kapandriti, Athens | 17                               | 35                                              | 1                  | W                  | 4   | 1200                               | 0.1                                                    |
| Rhodes             | 17                               | 140                                             | 4                  | W                  | 4   | 2400                               | 0.9                                                    |
| <b>TOTAL</b>       |                                  |                                                 |                    |                    |     |                                    | <b>3.1</b>                                             |

**PRESENT SITUATION AND FURTHER NEEDS FOR THE PROMOTION  
OF GEOTHERMAL ENERGY IN EUROPEAN COUNTRIES**

**TABLE 5. SUMMARY TABLE OF GEOTHERMAL DIRECT HEAT USES AS OF 31 DECEMBER 1999**

| Use                        | Installed Capacity<br>(MWt) | Annual Energy Use<br>(TJ/yr = $10^{12}$ J/yr) | Capacity Factor |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|
| Space Heating              | 1.13                        | 13.3                                          | 0.37            |
| Air Conditioning (Cooling) |                             |                                               |                 |
| Greenhouse Heating         | 20.6                        | 205                                           | 0.32            |
| Fish and Animal Farming    |                             |                                               |                 |
| Agricultural Drying        | -                           |                                               |                 |
| Industrial Process Heat    | -                           |                                               |                 |
| Snow Melting               | -                           |                                               |                 |
| Bathing and Swimming       | (35)*                       | (164)*                                        | (0.15)*         |
| Other Uses (specify)       |                             |                                               |                 |
| <b>Subtotal</b>            | 21.7                        | 218                                           | 0.32            |
| Geothermal Heat Pumps      | 0.40                        | 3.1                                           | 0.25            |
| <b>TOTAL</b>               | 22.1                        | 221                                           | 0.32            |

\* conservative estimate, not included in the total

**TABLE 6. WELLS DRILLED FOR ELECTRICAL, DIRECT AND COMBINED USE OF GEOTHERMAL RESOURCES FROM JANUARY 1, 1995 TO DECEMBER 31, 1999**

| Purpose      | Wellhead<br>Temperature | Number of Wells Drilled |               |          |                    | Total Depth<br>(km) |
|--------------|-------------------------|-------------------------|---------------|----------|--------------------|---------------------|
|              |                         | Electric<br>Power       | Direct<br>Use | Combined | Other<br>(specify) |                     |
| Exploration  | (all)                   | 9                       | 32            |          |                    | 14.0                |
| Production   | >150° C                 |                         |               |          |                    |                     |
|              | 150-100° C              |                         |               |          |                    |                     |
|              | <100° C                 | 3                       | 43            |          |                    | 12.5                |
| Injection    | (all)                   |                         |               |          |                    |                     |
| <b>Total</b> |                         | 12                      | 75            |          |                    | 26.5                |

**TABLE 2. UTILIZATION OF GEOTHERMAL ENERGY FOR ELECTRIC POWER GENERATION AS OF 31 DECEMBER 1999**

- <sup>1)</sup> N = Not operating (temporary), R = Retired. Otherwise leave blank if presently operating.  
<sup>2)</sup> 1F = Single Flash                      B = Binary (Rankine Cycle)  
2F = Double Flash                    H = Hybrid  
3F = Triple Flash                    O = Other (please specify)  
D = Dry Steam

| Locality     | Power Plant<br>Name  | Year<br>Com-<br>missioned | No. of<br>Units | Status <sup>1)</sup> | Type of<br>Unit <sup>2)</sup> | Unit<br>Rating<br>MWe | Total<br>Installed<br>Capacity<br>MWe | Annual<br>Energy<br>Produced<br>1999<br>GWh/yr | Total<br>under<br>Constr. or<br>Planned<br>MWe |
|--------------|----------------------|---------------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Milos        | Milos<br>Pilot Plant | 1987                      | 1               | R                    | 1F                            | 2                     | 2                                     | 10 (1988)                                      | -                                              |
| Lesvos       |                      |                           |                 |                      |                               |                       |                                       |                                                | 1                                              |
| <b>Total</b> |                      |                           | 1               |                      |                               | 2                     | 2                                     | -                                              | 1                                              |

**QUESTIONNAIRE ON PRESENT SITUATION AND  
FURTHER NEEDS FOR THE PROMOTION OF  
GEOTHERMAL ENERGY IN EUROPEAN COUNTRIES  
COUNTRY: GREECE**

**1. ENERGY POLITICAL MATTERS**

In my country:

|                                                                                                                   | Yes | No |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|
| 1.1 A national energy master plan exists                                                                          | ☆   |    |
| 1.2 Priority is given to indigenous energy options in policy decisions                                            | ☆   |    |
| 1.3 Priority is given to environmentally benign energy options                                                    | ☆   |    |
| 1.4 Geothermal is included in the national energy master plan                                                     | ☆   |    |
| 1.5 Provisions exists to provide government/communal<br>subsidy/risk guarantee to geothermal drilling/development | ☆   |    |

**2. SOCIAL AND POLITICAL MATTERS**

In my country, geothermal energy is generally considered:

|                                                                                     | By general public |    | By decision makers |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----|--------------------|----|
|                                                                                     | Yes               | No | Yes                | No |
| 2.1 As unknown                                                                      |                   | ☆  |                    | ☆  |
| 2.2 An important energy source with much potential                                  |                   | ☆  | ☆                  |    |
| 2.3 An insignificant energy source                                                  |                   | ☆  |                    | ☆  |
| 2.4 Beneficial to the people/society                                                | ☆                 |    | ☆                  |    |
| 2.5 To need communal/regional solutions<br>(such as e.g. district heating networks) | ☆                 |    | ☆                  |    |



*PRESENT SITUATION AND FURTHER NEEDS FOR THE PROMOTION  
OF GEOTHERMAL ENERGY IN EUROPEAN COUNTRIES*

## **6. LEGAL MATTERS**

In my country:

|                                                                                    | Yes | No |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|
| 3.1 There exists a specific geothermal legislation                                 | ☆   |    |
| 3.2 Mining, oil or other legislation, which also includes geothermal energy        |     | ☆  |
| 3.3 Regulation/documentation exists for obtaining leases, permits, and concessions | ☆   |    |
| 3.4 Guidelines exist for geothermal exploration permits                            | ☆   |    |
| 3.5 Guidelines exist for licensing of geothermal exploitation                      | ☆   |    |
| 3.5 Geothermal licensing is issued by the state                                    | ☆   |    |
| 3.7 Geothermal licensing is issued by regional authorities                         | ☆   |    |
| 3.8 Geothermal licensing is issued by local authorities                            |     | ☆  |

## **4. ENVIRONMENTAL MATTERS**

| <i>Activity</i>                                                                                                                 | <i>Needs</i> |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----|
| In my country, for major geothermal projects:                                                                                   | Yes          | No |
| 4.1 Environmental limits/control exist (eg. for land subsidence, surface water pollution, aquifer penetration (connection) etc. | ☆            |    |
| 4.2 Environmental impact statements/reports (EIS/EIR) are required                                                              | ☆            |    |
| 4.3 Lower limits (e.g. in MW) exist for the need for EIS/EIR                                                                    | ☆            |    |
| 4.4 Environmental benefits of projects must be demonstrated ("ecobalance")                                                      | ☆            |    |
| 4.4 Planning documents of projects must be open to the public                                                                   | ☆            |    |
| 4.6 Provisions are made for public opinion surveys                                                                              |              | ☆  |

## 5. PROMOTIONAL MATTERS

In my country/region the promotional activity for geothermal energy is in the form of:

|                                          | Yes | No |
|------------------------------------------|-----|----|
| 5.1 Information campaign                 | ☆   |    |
| 5.2 Advertising campaign                 |     | ☆  |
| 5.3 Through the school system            |     | ☆  |
| 5.4 Conferences, workshops, events       | ☆   |    |
| 5.5 Through the public media             | ☆   |    |
| 5.6 Through professional associations    | ☆   |    |
| 5.7 Information or demonstration centers | ☆   |    |

## 6. PLANNING AND MANAGEMENT MATTERS

| Activity                                                            | Needs<br>Much Some None |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| In my country/region activity is needed in the field of:            |                         |
| 6.1 Country/regional geothermal resources assessment                | ☆                       |
| 6.2 Definition of development goals and selection of priority areas | ☆                       |
| 6.3 Evaluation of personnel, equipment and other operational costs  | ☆                       |
| 6.4 Studies on socio/economic impacts                               | ☆                       |
| 6.5 Cost-benefit analysis                                           | ☆                       |
| 6.6. Compilation of project documents                               | ☆                       |
| 6.7 Other (specify)                                                 |                         |

## 7. ORGANIZATION AND FACILITIES

| Activity                                                 | Needs<br>Much Some None |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|
| In my country/region activity is needed in the field of: |                         |

*PRESENT SITUATION AND FURTHER NEEDS FOR THE PROMOTION  
OF GEOTHERMAL ENERGY IN EUROPEAN COUNTRIES*

|      |                                                                        |   |   |
|------|------------------------------------------------------------------------|---|---|
| 7.1  | Establishment of operational structure(s) to develop geothermal energy | ☆ |   |
| 7.2  | Formation of project groups                                            |   | ☆ |
| 7.3  | Office facilities (eg. phone, fax, computers etc.)                     |   | ☆ |
| 7.4  | Field facilities (as above plus cars)                                  | ☆ |   |
| 7.5  | Laboratory facilities and instrumentation                              | ☆ |   |
| 7.5  | Field/well equipment, instrumentation and devices                      | ☆ |   |
| 7.7  | Drilling equipment                                                     |   | ☆ |
| 7.8  | Gathering and flow of technical documentation and information          |   | ☆ |
| 7.9  | National and international co/operation                                | ☆ |   |
| 7.10 | Other (specify)                                                        |   |   |

## **8. FINANCIAL MATTERS**

| In my country/region, geothermal projects are financed by:      |                                                   | Much | Some | None |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------|------|------|
| 8.1                                                             | Funds from supranational/national/local authority | ☆    |      |      |
| 8.2                                                             | National banks and funds                          |      | ☆    |      |
| 8.3                                                             | International banks and finance institutions      |      | ☆    |      |
| 8.3                                                             | Private and/or commercial sources                 |      | ☆    |      |
| 8.5                                                             | Other (specify)                                   |      |      |      |
| In my country/region, financing for geothermal is available as: |                                                   |      |      |      |
| 8.6                                                             | Loans with commercial interest rates              |      |      | ☆    |
| 8.7                                                             | Loans with subsidized interest rates              |      |      | ☆    |
| 8.7                                                             | Conditional loans                                 |      |      | ☆    |
| 8.9                                                             | Grants                                            | ☆    |      |      |
| 8.10                                                            | Guarantees                                        |      |      | ☆    |
| 8.11                                                            | Equity (share capital)                            |      | ☆    |      |

*QUESTIONNAIRE FORM: GREECE*

- 8.11 Project financing ☆
- 8.13 Other (specify)

**9. GENERAL SUPPORTIVE MEASURES (INCENTIVES)**

In my country the government/other authorities gives support to investments in geothermal projects through:

|                                                                | Yes | No |
|----------------------------------------------------------------|-----|----|
| 9.1 Tax incentives                                             | ☆   |    |
| 9.2 Incentives through reduction of customs duties             |     | ☆  |
| 9.2 Price indexing (price in relation to other energy sources) | ☆   |    |
| 9.4 Provision of land or facilities                            | ☆   |    |
| 9.5 Free utilization of existing wells                         |     | ☆  |
| 9.6 Royalties, prices and tariffs                              | ☆   |    |
| 9.7 Special selling price                                      | ☆   |    |
| 9.8 Other (specify)                                            |     |    |

**10. RATIONAL USE OF ENERGY AND/OR HEAT CO-GENERATION MATTERS**

In my country/region there are examples/possibilities of co-generation of:

|                                        | Good | Some | None |
|----------------------------------------|------|------|------|
| 10.1 Geothermal and Coal               |      |      | ☆    |
| 10.2 Geothermal and Biomass            |      |      | ☆    |
| 10.3 Geothermal and Waste incineration |      |      | ☆    |
| 10.4 Geothermal and Solar              |      | ☆    |      |
| 10.5 Geothermal and Oil                |      |      | ☆    |
| 10.5 Geothermal and Hydro              |      |      | ☆    |
| 10.7 Geothermal and Gas                |      | ☆    |      |



*PRESENT SITUATION AND FURTHER NEEDS FOR THE PROMOTION  
OF GEOTHERMAL ENERGY IN EUROPEAN COUNTRIES*

10.8 Other (specify)

☆

## **11. MARKETING MATTERS**

In my country/region the main potential market for geothermal is:

|                                         | Mostly | Some | None |
|-----------------------------------------|--------|------|------|
| 11.1 District heating                   |        | ☆    |      |
| 11.2 Greenhouses and agriculture        | ☆      |      |      |
| 11.2 Fish farming                       |        | ☆    |      |
| 11.4 Electricity generation             |        | ☆    |      |
| 11.5 Health spas                        | ☆      |      |      |
| 11.6 Swimming pools                     |        | ☆    |      |
| 11.6 Industrial processes               |        | ☆    |      |
| 11.8 Combined space heating and cooling |        | ☆    |      |
| 11.9 Cascaded uses                      |        | ☆    |      |
| 11.10 Other (specify)                   |        |      |      |

In my country/region the main customers for geothermal energy are:

|                                                    | Mostly | Some | None |
|----------------------------------------------------|--------|------|------|
| 11.11 State/municipal/public companies or agencies |        | ☆    |      |
| 11.12 Private companies                            |        | ☆    |      |
| 11.13 Individual house owners/farmers              | ☆      |      |      |

In my country/region the production and distribution of geothermal energy is in the hands of the:

|                          |   |  |   |
|--------------------------|---|--|---|
| 11.14 Same company       |   |  | ☆ |
| 11.15 Separate companies | ☆ |  |   |
| 11.16 Variable           | ☆ |  |   |



*QUESTIONNAIRE FORM: GREECE*

## **12. EDUCATIONAL MATTERS**

In my country/region the following types of educational activities are needed

|                                                                                                                                  | <i>Needs (next 5 years)</i> |      |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------|---------|
|                                                                                                                                  | 1-5                         | 6-10 | over 10 |
| Participants per year                                                                                                            |                             |      |         |
| 12.1 Specialized-training at international school (in English) 6-9 months                                                        |                             | ☆    |         |
| 12.2 Regional seminars for 2-3 countries, 2-4 weeks (in English with translation).                                               |                             |      | ☆       |
| 12.2 International or regional seminars 1-2 weeks (lecturer travelling from country to country and giving courses for 1-2 weeks) |                             |      | ☆       |
| 12.5 Long courses at local universities/institutions                                                                             |                             |      | ☆       |
| 12.6 Short courses at local universities/institutions                                                                            |                             | ☆    |         |
| 12.7 Other (specify)                                                                                                             |                             |      |         |

## **13. TECHNICAL MATTERS**

Due to the large number of items regarding technical matters, only subject headings are listed here, but more detailed questions kept in an appendix to this document. Participants in the opinion survey are encouraged to answer the detailed questions in the appendix before replying to the general questions listed here

| <i>Activity</i>                                            | <i>Needs</i> |      |      |
|------------------------------------------------------------|--------------|------|------|
|                                                            | Much         | Some | None |
| In my country, the following types of activity are needed: |              |      |      |
| 13.1 Reconnaissance study                                  |              | ☆    |      |
| 13.2 Pre-feasibility study                                 | ☆            |      |      |
| 13.3 Feasibility study                                     | ☆            |      |      |
| 13.3.1 Evaluation of reserves                              | ☆            |      |      |
| 13.3.2 Preliminary design                                  | ☆            |      |      |
| 13.3.3 Economic study                                      | ☆            |      |      |
| 13.3.4 Planning of field development and fluid utilization | ☆            |      |      |

*PRESENT SITUATION AND FURTHER NEEDS FOR THE PROMOTION  
OF GEOTHERMAL ENERGY IN EUROPEAN COUNTRIES*

|      |                        |   |
|------|------------------------|---|
| 13.4 | Demonstration projects | ☆ |
| 13.5 | Field development      | ☆ |
| 13.6 | Fluid utilization      | ☆ |

### APPENDIX TO ITEM 13:

#### DETAILED QUESTIONS REGARDING TECHNICAL MATTERS

|             |                                                       | Evaluation of needs |      |      |
|-------------|-------------------------------------------------------|---------------------|------|------|
|             |                                                       | Much                | Some | None |
| <b>13.1</b> | <b>Reconnaissance study (at the regional scale)</b>   | ☆                   |      |      |
|             | Analyses of existing geoscientific information        | ☆                   |      |      |
|             | Geological investigations                             | ☆                   |      |      |
|             | Geochemical studies and analyses                      | ☆                   |      |      |
|             | Geophysical survey                                    | ☆                   |      |      |
| <b>13.2</b> | <b>Pre-feasibility study (at the sectorial scale)</b> | ☆                   |      |      |
|             | Evaluation of geoscientific information               | ☆                   |      |      |
|             | Detailed geological investigations                    | ☆                   |      |      |
|             | Detailed geochemical studies and analyses             | ☆                   |      |      |
|             | Specific geophysical surveys                          | ☆                   |      |      |
| <b>13.3</b> | <b>Feasibility study (at the local scale)</b>         | ☆                   |      |      |
|             | <i>Technical activities (evaluation of reserves)</i>  | ☆                   |      |      |
|             | Exploratory drilling                                  | ☆                   |      |      |
|             | In hole measurements and logs                         | ☆                   |      |      |
|             | Well-testing                                          | ☆                   |      |      |
|             | Application of stimulation techniques                 | ☆                   |      |      |

*PRESENT SITUATION AND FURTHER NEEDS FOR THE PROMOTION  
OF GEOTHERMAL ENERGY IN EUROPEAN COUNTRIES*

Sensitivity analysis (technical)



**13.4 Demonstration projects (possible)**



Construction of the provisional gathering system



Installation and commissioning of the pilot power unit



Construction of provisional hot water pipes



Construction of pilot thermal plant



**13.5 Field development**



Production drilling



Production tests



Fluid processing (scaling and corrosion)



Technical specifications and terms of reference for tenders  
concerning industrial plants (thermal and electrical)

**13.6 Fluid utilization**



Construction of permanent gathering system



Construction of power plant(s)



Construction of thermal plant(s)



Construction of the off water distribution network



Realization of plant(s) for multiple uses



Commissioning of thermal and/or power plants

Place: Thessaloniki

Date: 31.05.2000

Name, Forename: Prof.Dr. M. Fytikas

Athens

06.06.2000

George Hatzyanis

QUESTIONNAIRE FORM: GREECE

|                                                                                    |   |   |
|------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| Fluid characterization                                                             |   | ☆ |
| Reservoir characterization and modeling                                            | ☆ |   |
| Fluid processing (scaling and corrosion)                                           |   | ☆ |
| Injectivity tests                                                                  | ☆ |   |
| Simulation of reservoir performances                                               | ☆ |   |
| Study of environmental impact                                                      | ☆ |   |
| <i>Preliminary design</i>                                                          |   | ☆ |
| Gathering and re-injection systems                                                 | ☆ |   |
| Submersible pumps                                                                  | ☆ |   |
| Heat pumps                                                                         | ☆ |   |
| Hot water distribution network                                                     | ☆ |   |
| Thermal plant design (including equipment definition and technical specifications) | ☆ |   |
| Layout and technical specifications of district heating systems                    | ☆ |   |
| Power plant design (including equipment definition and technical specification)    | ☆ |   |
| <i>Economic study</i>                                                              | ☆ |   |
| Estimate of investment costs (field development and plant installation)            | ☆ |   |
| Evaluation of production costs                                                     | ☆ |   |
| Assessment of avoided costs                                                        | ☆ |   |
| Cost-benefit analysis                                                              | ☆ |   |
| Evaluation of internal rate of return                                              | ☆ |   |
| <i>Planning of field development and fluid utilization</i>                         | ☆ |   |
| Field development program                                                          |   | ☆ |
| Fluid utilization program                                                          |   | ☆ |



| Πεδίο                  | Έκταση<br>ταμιευτήρα<br>(km <sup>2</sup> ) | Παροχή<br>(m <sup>3</sup> /h) | Θερμο-<br>κρασία<br>(°C) | Ολικά διαλ.<br>στερεά<br>(g/kg νερ.) | Κύρια συστατικά<br>νερών                        | Αριθ. νέων<br>γεω/σεων |
|------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| <b>ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ</b>       |                                            |                               |                          |                                      |                                                 |                        |
| Θερμά-Νιγρίτας [4]     | 10                                         | >300                          | 42-63                    | 1,0-2,4                              | HCO <sub>3</sub> , Na, Ca, Mg, Cl               | 9                      |
| Άγκιστρο [4]           | 5                                          | 300                           | 48                       | 0,25                                 | HCO <sub>3</sub> , Na, Ca                       | 6                      |
| Σιδηρόκαστρο [4]       | 10                                         | 200                           | 40-75                    | 1,0-1,3                              | HCO <sub>3</sub> , Na, Ca, SO <sub>4</sub> , Cl | 3                      |
| N. Απολλωνία Θεσ.      | >4                                         | 150                           | 40-56                    | 1,0                                  | Na, SO <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub>          | 2                      |
| Νυμφόπετρα Θεσ.        | >2                                         | 100                           | 46                       | 1,0                                  | Na, SO <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub>          | 1                      |
| Ερατεινό Καβάλας       | 40                                         | 400                           | 75                       | 6-8                                  | Na, Cl, SO <sub>4</sub>                         | 2                      |
| <b>ΘΡΑΚΗ</b>           |                                            |                               |                          |                                      |                                                 |                        |
| Τραιανούπολη Έβρου [5] | >2                                         | 150                           | 42-52                    | 8,6                                  | Cl, Na, Ca, SO <sub>4</sub>                     | 2                      |
| Θερμά Σαμοθρ. [5]      | 1                                          | 100                           | 80-100                   | 28,6                                 | Cl, Na, HCO <sub>3</sub> , Ca, SO <sub>4</sub>  | 3                      |
| Αρίστηνο Έβρου [6]     | 30                                         | 400                           | 80-92                    | 12                                   | Na, Cl, Ca, SO <sub>4</sub>                     | 5                      |
| N. Εράσμιο Ξάνθης [6]  | 10                                         | 400                           | 60                       | 1                                    | Na, SO <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub>          | 3                      |
| Νότια Κομοτηνής [6]    | 30                                         | 450                           | 40                       | 12                                   | Na, Cl, Ca, SO <sub>4</sub>                     | 5                      |
| <b>ΝΗΣΙΑ ΑΙΓΑΙΟΥ</b>   |                                            |                               |                          |                                      |                                                 |                        |
| Αργεννος Λέσβου [7]    | >4                                         | 800                           | 86                       | 12                                   | Na, Cl, Ca, SO <sub>4</sub>                     | 3                      |
| Στύπη Λέσβου [7]       | 10                                         | >200                          | 95                       | 1-5                                  | Na, Cl, Ca, SO <sub>4</sub>                     | 8                      |
| Νένητα Χίου [8]        | >5                                         | 100                           | 83                       | 4-5                                  | Na, Cl, SO <sub>4</sub>                         | 6                      |
| Μήλος                  | 50                                         | 200                           | 90                       | 5-30                                 | Na, Cl, SO <sub>4</sub>                         | 1                      |
| Κίωλος                 | >4                                         | 200                           | 60                       | 40                                   | Na, Cl, SO <sub>4</sub>                         | 3                      |

Πίνακας Α1

Χαρακτηριστικά γεωθερμικών πεδίων που ερευνήθηκαν κατά την περίοδο 1995 –99 με  
θερμοκρασία ρευστών μεγαλύτερη από 40 °C.

(Πηγή: N.Ανδρίτσος, Α.Ι Καράμπελας και Μ.Φυτίκας)

| ΠΕΡΙΟΧΗ       | ΘΕΡΜ. ΓΕΩΘ.<br>ΡΕΥΣΤΟΥ (°C) | ΒΑΘΟΣ<br>(m) | ΠΕΡΙΟΧΗ  | ΘΕΡΜ. ΓΕΩΘ.<br>ΡΕΥΣΤΟΥ (°C) | ΒΑΘΟΣ<br>(m) |
|---------------|-----------------------------|--------------|----------|-----------------------------|--------------|
| ΕΛΑΙΟΧΩΡΙΩΝ   | 34                          | 67           | ΛΕΩΝΙΔΑ  | 37                          | 0            |
| ΘΕΡΜΟΠΥΛΩΝ    | 39                          | 0            | ΑΙΔΗΨΟΥ  | 38                          | 0            |
| ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ     | 39                          | 217          | ΛΑΓΚΑΔΑ  | 38                          | 220          |
| ΝΕΑΣ ΚΕΣΣΑΝΗΣ | 46                          | 0            | ΝΙΓΡΙΤΑΣ | 49                          | 177          |
| ΑΓΙΟΥ ΚΗΡΥΚΟΥ | 58                          | 0            | ΣΤΥΨΗΣ   | 67                          | 154          |
| ΠΟΛΥΧΝΙΤΟΥ    | 80                          | 0            | ΒΟΛΙΣΣΟΥ | 68                          | 0            |

Πίνακας Α2

Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας

(Πηγή: Σιγάλας Ι., Κολδελλής Ι.)



| Country          | 1995<br>(MW <sub>e</sub> ) | 2000<br>(MW <sub>e</sub> ) | 1995-2000<br>(increase in<br>MW <sub>e</sub> ) | %<br>increase<br>(1995-2000) | 2003<br>(MW <sub>e</sub> ) |
|------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Argentina        | 0.67                       | -                          | -                                              | -                            | -                          |
| Australia        | 0.15                       | 0.15                       | -                                              | -                            | 0.15                       |
| Austria          | -                          | -                          | -                                              | -                            | 1.25                       |
| China            | 28.78                      | 29.17                      | 0.39                                           | 1.35                         | 28.18                      |
| Costa Rica       | 55                         | 142.5                      | 87.5                                           | 159                          | 162.5                      |
| El Salvador      | 105                        | 161                        | 56                                             | 53.3                         | 161                        |
| Ethiopia         | -                          | 7                          | 7                                              | -                            | 7                          |
| France           | 4.2                        | 4.2                        | -                                              | -                            | 15                         |
| Germany          | -                          | -                          | -                                              | -                            | 0.23                       |
| Guatemala        | -                          | 33.4                       | 33.4                                           | -                            | 29                         |
| Iceland          | 50                         | 170                        | 120                                            | 240                          | 200                        |
| Indonesia        | 309.75                     | 589.5                      | 279.75                                         | 90.3                         | 807                        |
| Italy            | 631.7                      | 785                        | 153.3                                          | 24.3                         | 790.5                      |
| Japan            | 413.7                      | 546.9                      | 133.2                                          | 32.2                         | 560.9                      |
| Kenya            | 45                         | 45                         | -                                              | -                            | 121                        |
| Mexico           | 753                        | 755                        | 2                                              | 0.3                          | 953                        |
| New Zealand      | 286                        | 437                        | 151                                            | 52.8                         | 421.3                      |
| Nicaragua        | 70                         | 70                         | -                                              | -                            | 77.5                       |
| Papua New Guinea | -                          | -                          | -                                              | -                            | 6                          |
| Philippines      | 1227                       | 1909                       | 682                                            | 55.8                         | 1931                       |
| Portugal         | 5                          | 16                         | 11                                             | 220                          | 16                         |
| Russia           | 11                         | 23                         | 12                                             | 109                          | 73                         |
| Thailand         | 0.3                        | 0.3                        | -                                              | -                            | 0.3                        |
| Turkey           | 20.4                       | 20.4                       | -                                              | -                            | 20.4                       |
| USA              | 2816.7                     | 2228                       | -                                              | -                            | 2020                       |
| Total            | 6833.35                    | 7972.5                     | 1728.54                                        | 16.7                         | 8402.21                    |

Πίνακας A3

Εγκατεστημένη ισχύς θερμική ισχύς σε παγκόσμια κλίμακα, από το 1995 έως το 2000  
(Huttrer,2001 και στις αρχές του 2003

(Πηγή: <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

|                                 | (a)    | (b)     | (c)     | (d)  | (e)  |
|---------------------------------|--------|---------|---------|------|------|
| Low enthalpy resources          | < 90   | <125    | <100    | ≤150 | ≤190 |
| Intermediate enthalpy resources | 90-150 | 125-225 | 100-200 | -    | -    |
| High enthalpy resources         | >150   | >225    | >200    | >150 | >190 |

Source: (a) Muffler and Cataldi (1978).  
(b) Hochstein (1990).  
(c) Benderitter and Cormy (1990).  
(d) Nicholson (1993).  
(e) Axelsson and Gunnlaugsson (2000)

Πίνακας A4

Ταξινόμηση γεωθερμικών πόρων (°C)

(Πηγή: <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

|                             | Current<br>energy cost<br>US¢/kWh | Potential future<br>energy cost<br>US¢/kWh | Turnkey<br>investment cost<br>US\$/kW |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|
| Biomass (including ethanol) | 1 - 5                             | 1 - 5                                      | 250 - 750                             |
| Geothermal                  | 0.5 - 5                           | 0.5 - 5                                    | 200 - 2000                            |
| Wind                        | 5 - 13                            | 3 - 10                                     | 1100 - 1700                           |
| Solar heat low temperature  | 3 - 20                            | 2 - 10                                     | 500 - 1700                            |

Πίνακας A5

Ενεργειακό και επενδυτικό κόστος για απευθείας χρήση θερμότητας από ανανεώσιμες πηγές  
(Freidleifsson,2001, Πηγή: <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

| Country           | Power (MW) | Energy (TJ/yr) |
|-------------------|------------|----------------|
| Algeria           | 100        | 1586           |
| Argentina         | 25.7       | 449            |
| Armenia           | 1          | 15             |
| Australia         | 34.4       | 351            |
| Austria           | 255.3      | 1609           |
| Belgium           | 3.9        | 107            |
| Bulgaria          | 107.2      | 1637           |
| Canada            | 377.6      | 1023           |
| Caribbean Islands | 0.1        | 1              |
| Chile             | 0.4        | 7              |
| China             | 2282       | 37 908         |
| Colombia          | 13.3       | 266            |
| Croatia           | 113.9      | 555            |
| Czech Republic    | 12.5       | 128            |
| Denmark           | 7.4        | 75             |
| Egypt             | 1          | 15             |
| Finland           | 80.5       | 484            |
| France            | 326        | 4895           |
| Georgia           | 250        | 6307           |
| Germany           | 397        | 1568           |
| Greece            | 57.1       | 385            |
| Guatemala         | 4.2        | 117            |
| Honduras          | 0.7        | 17             |
| Hungary           | 472.7      | 4086           |
| Iceland           | 1469       | 20170          |
| India             | 80         | 2517           |
| Indonesia         | 2.3        | 43             |
| Israel            | 63.3       | 1713           |
| Italy             | 325.8      | 3774           |
| Japan             | 1167       | 26933          |
| Jordan            | 153.3      | 1540           |
| Kenya             | 1.3        | 10             |
| Korea             | 35.8       | 753            |
| Lithuania         | 21         | 599            |
| Macedonia         | 81.2       | 510            |
| Mexico            | 164.2      | 3919           |
| Nepal             | 1.1        | 22             |
| Netherlands       | 10.8       | 57             |
| New Zealand       | 307.9      | 7081           |
| Norway            | 6          | 32             |
| Peru              | 2.4        | 49             |
| Philippines       | 1          | 25             |
| Poland            | 68.5       | 275            |
| Portugal          | 5.5        | 35             |
| Romania           | 152.4      | 2871           |
| Russia            | 308.2      | 6144           |
| Serbia            | 80         | 2375           |
| Slovak Republic   | 132.3      | 2118           |
| Slovenia          | 42         | 705            |
| Sweden            | 377        | 4128           |
| Switzerland       | 547.3      | 2386           |
| Thailand          | 0.7        | 15             |
| Tunisia           | 23.1       | 201            |
| Turkey            | 820        | 15756          |
| United Kingdom    | 2.9        | 21             |
| USA*              | 3766       | 20302          |
| Venezuela         | 0.7        | 14             |
| Yemen             | 1          | 15             |
| Total             | 15145      | 190699         |

Πίνακας Α6  
Μη ηλεκτρικές χρήσεις ενέργειας ανά τον κόσμο (2000) – εγκατεστημένη ισχύς (σε MWt) και  
ενεργειακή χρήση (σε TJ/έτος)  
(Land and Freeston,2001, Πηγή: <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

| Impact                                              | Probability of occurring | Severity of consequences |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Air quality pollution                               | L                        | M                        |
| Surface water pollution                             | M                        | M                        |
| Underground pollution                               | L                        | M                        |
| Land subsidence                                     | L                        | L to M                   |
| High noise levels                                   | H                        | L to M                   |
| Well blow-outs                                      | L                        | L to M                   |
| Conflicts with cultural and archaeological features | L to M                   | M to H                   |
| Social-economic problems                            | L                        | L                        |
| Chemical or thermal pollution                       | L                        | M to H                   |
| Solid waste disposal                                | M                        | M to H                   |

L = Low; M = Moderate; H= High

Source: Lunis and Breckenridge (1991)

Πίνακας A7

Πιθανότητα εμφάνισης και σοβαρότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από εγκαταστάσεις άμεσης χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας

(Πηγή: <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

|                 | High-temperature resources suitable for electricity generation |                                                             | Low-temperature resources suitable for direct use in million TJ/yr of heat (lower limit) |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | Conventional technology in TWh/yr of electricity               | Conventional and binary technology in TWh/yr of electricity |                                                                                          |
| Europe          | 1830                                                           | 3700                                                        | > 370                                                                                    |
| Asia            | 2970                                                           | 5900                                                        | > 320                                                                                    |
| Africa          | 1220                                                           | 2400                                                        | > 240                                                                                    |
| North America   | 1330                                                           | 2700                                                        | > 120                                                                                    |
| Latin America   | 2800                                                           | 5600                                                        | > 240                                                                                    |
| Oceania         | 1050                                                           | 2100                                                        | > 110                                                                                    |
| World potential | 11 200                                                         | 22 400                                                      | > 1400                                                                                   |

Πίνακας A8

Γεωθερμικό δυναμικό στον πλανήτη (International Geothermal Association, 2001)

(Πηγή: <http://www.iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>)

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

## ***B1 ΟΔΗΓΟΣ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΟ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ***

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η αγορά ενός γεωθερμικού συστήματος ή ενός συστήματος σε συνδυασμό με αντλία θερμότητας, καθιστά τους χρήστες ιδιαίτερα ενημερωμένους και καινοτόμους. Το μερίδιο των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (GHPs Geothermal Heat Pumps) στην αγορά της θέρμανσης/ψύξης, αν και δεν αποτελεί μια νέα τεχνολογία, παραμένει μικρό (αλλά αυξανόμενο). Αν και με κάπως υψηλότερο το αρχικό κόστος, αυτή η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα σύντομης απόσβεσης της δαπάνης, μέσω της μείωσης των λειτουργικών και ενεργειακών δαπανών.

Παρόλη τη θετική δημοσιότητα των Γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (GHPs), η εφαρμογή τους δεν είναι για τον καθένα. Όπως οποιοδήποτε άλλο σύστημα θέρμανσης/ψύξης, το σύστημα GHPs βελτιστοποιείται σε ορισμένες περιστάσεις. Η εξοικείωση των χρηστών με τους παράγοντες που επηρεάζουν τη δυνατότητα πραγματοποίησης συστήματος GHPs βοηθούν στη λήψη εμπεριστατωμένης απόφασης ως προς την καταλληλότητα του για τον κάθε χώρο.

### **ΟΡΟΛΟΓΙΑ**

Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια για αυτή την τεχνολογία είναι η επίτευξη συναίνεσης για την ονομασία της. Μεγάλος αριθμός ονομάτων έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν με αποτέλεσμα τη σύγχυση για το κοινό και τη βιομηχανία. Οι ακόλουθες ονομασίες και ακρωνύμια περιγράφουν τους σημαντικότερους τύπους συστημάτων για κατοικίες.

Τρεις όροι είναι σε χρήση για να περιγράψουν την τεχνολογία γενικά: γεωθερμική αντλία θερμότητας (GHPs geothermal heat pump), γεωθερμικός εναλλάκτης (GX geoechange) και εδαφικής πηγής αντλία θερμότητας (GSHP ground-source heat pump). Οι δύο πρώτες χρησιμοποιούνται στην αγορά και στην δημόσια διοίκηση και ο όρος GSHP από τους μηχανικούς και τον τεχνικό κόσμο στην Αμερική.

Συστήματα συνδεδεμένα με το έδαφος, κλειστού κυκλώματος (GCHP ground coupled heat pumps) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως από τα μέσα της δεκαετίας του '80 στην Αμερική. Αυτήν την περίοδο, τα οριζόντια συστήματα αποτελούν το ήμισυ των εγκαταστάσεων, τα κατακόρυφα το 35%, και τα παραλίμνια και "άλλα" περίπου το 15%(Kavanaugh, 1995).

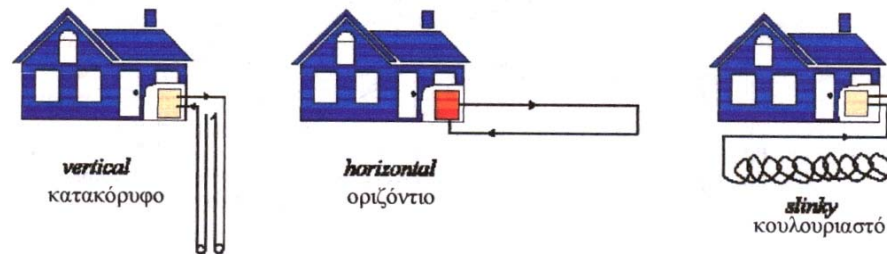
Τα συστήματα άντλησης υπόγειων νερών, ανοικτού κυκλώματος (GWHP ground water heat pump) έχουν χρησιμοποιηθεί για περισσότερο καιρό από τα συνδεδεμένα με το έδαφος συστήματα, και ήταν δημοφιλή από την αρχή της δεκαετίας του '70.



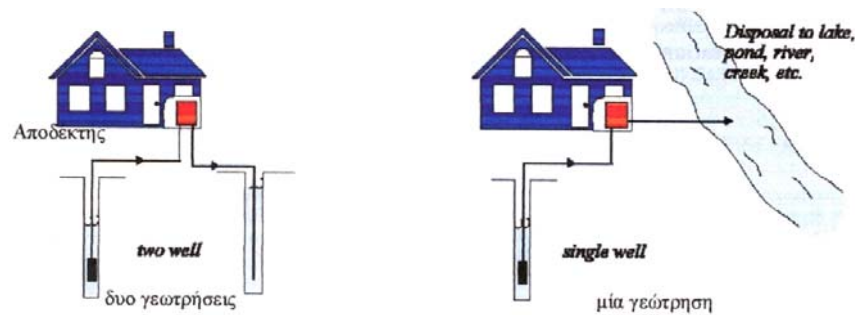
## GEOTHERMAL HEAT PUMPS (GHP) - ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

(ΓΑΘ) ή Ground Source Heat Pumps (GSHP) – Εδαφικής Πηγής Αντλίες Θερμότητας (ΕΠΑΘ).

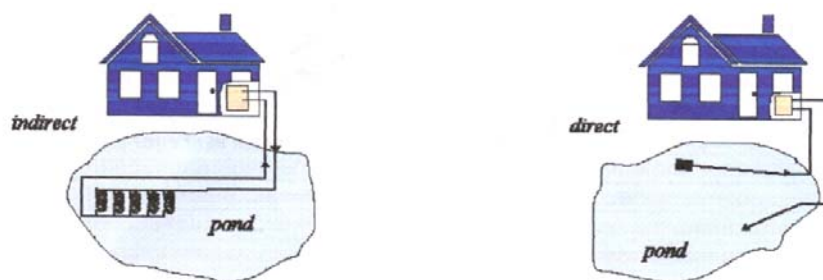
Ground Coupled Heat Pumps (GCHP)- Εδαφικά Συνδεδεμένες Αντλίες θερμότητας (ΕΣΑΘ) ή closed loop heat pumps- κλειστού νκυκλώματος αντλίες θερμότητας.

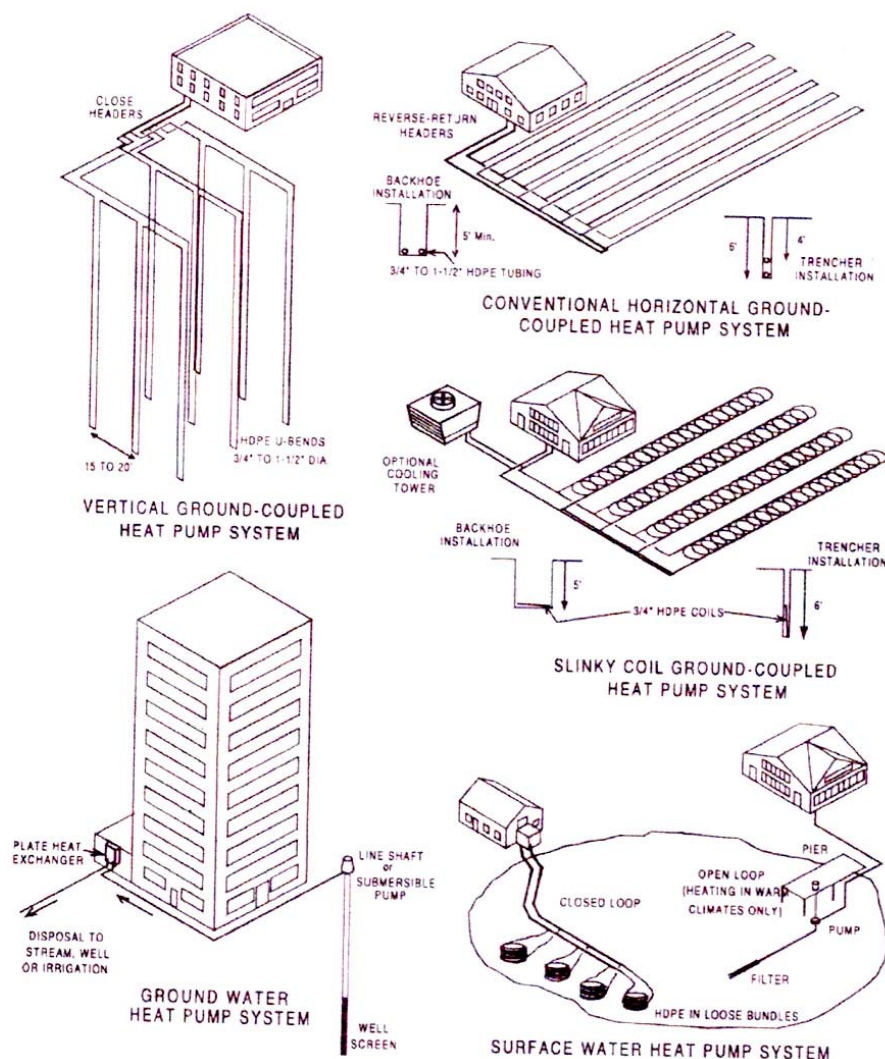


Groundwater Heat Pumps (GWHP)- Υπόγειου Νερού Αντλίες Θερμότητας (ΥΝΑΘ) ή open loop heat pumps- ανοικτού κυκλώματος αντλίες θερμότητας.



Surface Water Heat Pumps (SWHP)- Επιφανειακού Νερού Αντλίες Θερμότητας (ΕΝΑΘ) ή lake or pond loop heat pumps- παραλίμνια αντλία θερμότητας





Σχήμα Β1

## ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ- ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Η φυσική ροή της θερμότητας είναι “προς τα κάτω”, από υψηλότερες σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Μια αντλία θερμότητας είναι μια μηχανή που αναγκάζει τη θερμότητα να κινηθεί σε κατεύθυνση αντίθετη από τη φυσική ροή, “ανηφορικά”. Επειδή καταναλώνεται ενέργεια για την “ανηφορική” κίνηση της θερμότητας, η ονομασία “αντλία” θερμότητας χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη συσκευή.

Στην πραγματικότητα, μια αντλία θερμότητας, δεν είναι τίποτα περισσότερο από μια μονάδα ψύξης. Οποιαδήποτε συσκευή ψύξης (κλιματιστικό μηχανήμα, ψυγείο, ψύκτης, κ.λ.π.) κινεί τη θερμότητα από ένα χώρο (για να τον κρατήσει δροσερό) και αποβάλλει αυτή τη θερμότητα σε έναν άλλο χώρο με υψηλότερη θερμοκρασία. Η μόνη διαφορά μεταξύ μιας αντλίας θερμότητας και μιας μονάδας ψύξης είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα, η μονάδα ψύξης δροσίζει και η αντλία θερμότητας θερμαίνει. Ένας δεύτερος σημαντικός παράγοντας των

αντλιών θερμότητας είναι ότι είναι αντιστρέψιμες και μπορούν να παρέχουν είτε θέρμανση είτε ψύξη στον ίδιο χώρο.

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των αντλιών θερμότητας, ιδιαίτερα στα πλαίσια της οικιακής θέρμανσης /ψύξης, είναι ότι η αποδοτικότητα της μονάδας και η ενέργεια που απαιτείται για να λειτουργήσει το σύστημα είναι άμεση συνάρτηση των θερμοκρασιών μεταξύ των οποίων λειτουργεί. Στην ορολογία των αντλιών θερμότητας, η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας όπου η θερμότητα απορροφάται (“πηγή”) και της θερμοκρασίας όπου η θερμότητα αποβάλλεται (“αποδέκτης”), καλείται “ανύψωση” ή θερμοβαθμίδα. Όσο μεγαλύτερη η ανύψωση, τόσο μεγαλύτερη η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται από την αντλία θερμότητας. Αυτό είναι σημαντικό επειδή αποτελεί τη βάση για το πλεονέκτημα αποδοτικότητας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σχέση με τις συμβατικές αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα, τα γνωστά ως κλιματιστικά στην Ελλάδα. Μια αντλία θερμότητας με πηγή τον αέρα, πρέπει να αφαιρέσει τη θερμότητα από τον κρύο αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος το χειμώνα και επίσης να αποδώσει τη θερμότητα στον καυτό εξωτερικό αέρα το καλοκαίρι. Αντίθετα, η GHP ανακτά τη θερμότητα από το σχετικά θερμό χώμα (ή υπόγεια νερά) το χειμώνα και επίσης αποβάλλει τη θερμότητα στο ίδιο σχετικά δροσερό χώμα (ή υπόγεια νερά) το καλοκαίρι.

Κατά συνέπεια, η γεωθερμική αντλία θερμότητας, ανεξάρτητα από την εποχή, αντλεί πάντα τη θερμότητα από μια πηγή με πλησιέστερη θερμοκρασία σε σχέση με την συμβατική αντλία θερμότητας που συνεργάζεται με τον εξωτερικό αέρα. Αυτό οδηγεί στην υψηλότερη αποδοτικότητα και τη χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

## ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Η καρδιά οποιουδήποτε συστήματος GHP είναι η ίδια η μονάδα αντλίας θερμότητας. Η συνηθισμένη μονάδα σε αυτά τα συστήματα είναι η ενιαία αντλία θερμότητας νερού-αέρα για την Αμερική. Η θέρμανση με αεραγωγούς κυριαρχεί στην Αμερική όπου η δόμηση πραγματοποιείται με μέταλλο και ξύλο. Αντίθετα, στην Ελλάδα όπου κυριαρχεί το σκυρόδεμα με τις υψίκορμες δοκούς περιορίζεται η εφαρμογή αεραγωγών στις κατοικίες όπου εφαρμόζονται συστήματα νερού. Επομένως το σύστημα που αναμένεται να επικρατήσει στην Ελλάδα είναι αντλία θερμότητας νερού-νερού. Όλα τα τμήματα των αντλιών θερμότητας περιλαμβάνονται σε ένα ενιαίο περίβλημα που έχει μέγεθος περίπου 50x50x100cm.

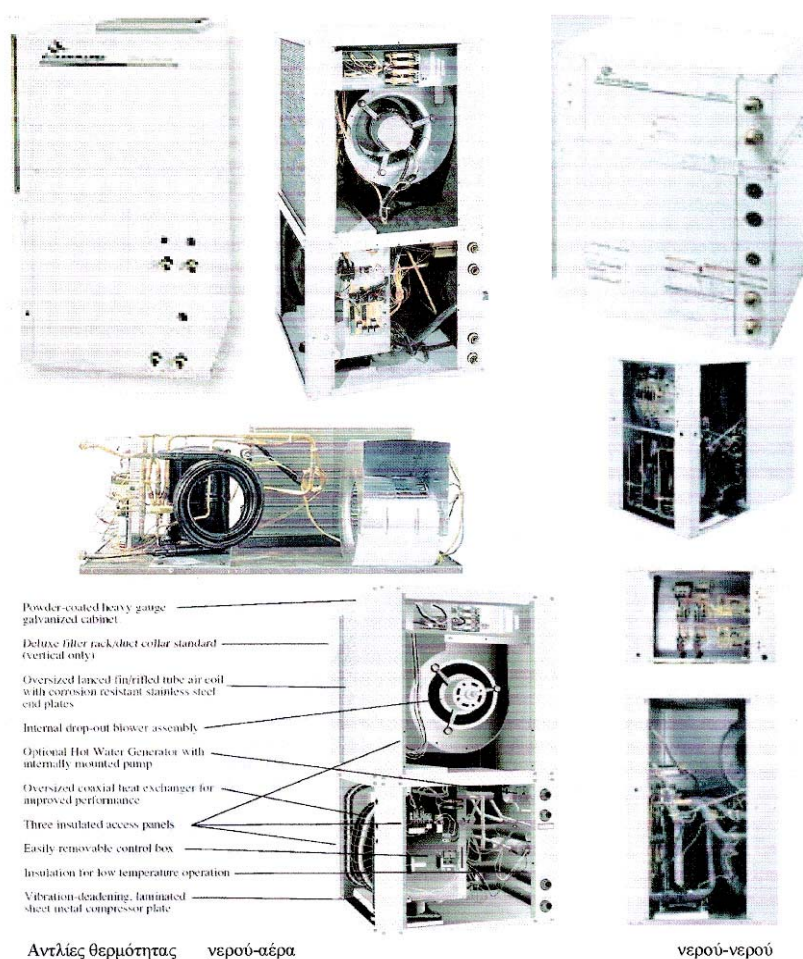
Η μονάδα περιλαμβάνει έναν εναλλάκτη θερμότητας ψυκτικού υγρού-νερού εξωτερικού κυκλώματος, το κύκλωμα του ψυκτικού υγρού και μια βάνα ελέγχου, τον συμπιεστή, στη συνέχεια για τα συστήματα νερού-αέρα ακολουθεί ο εναλλάκτης ψυκτικού υγρού-εσωτερικού αέρα (θερμαίνει το χειμώνα, δροσίζει και ξηραίνει το καλοκαίρι), ανεμιστήρας και μονάδα ελέγχου, ενώ για τα συστήματα νερού- νερού, ακολουθεί ο εναλλάκτης ψυκτικού υγρού-νερού εσωτερικού κυκλώματος, ο κυκλοφορητής και η μονάδα

ελεγχου. Στα συστήματα αντλιών θερμότητας νερού-νερού το εσωτερικό κύκλωμα νερού οδηγεί σε fan coils για θέρμανση/ ψύξη ή σε ενδοδαπέδιο μόνο για θέρμανση.

Το ενιαίο περίβλημα είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα συμβατικά διαιρούμενα κλιματιστικά που χρησιμοποιούν τον αέρα ως εξωτερική πηγή (ASHP air source heat pump). Η απουσία εξωτερικής μονάδας μειώνει την απαιτούμενη ποσότητα ψυκτικού υγρού και την πιθανότητα διαρροών με αποτέλεσμα σημαντική αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος.

Στην Αμερική συνεχίζουν να χρησιμοποιούν το ψυκτικό υγρό R22 το οποίο έχει απαγορευτεί στην Ευρώπη και επίσης, έχουν διαφορετική ηλεκτρική τροφοδοσία με συχνότητα 60Hz. Στην Ευρώπη τα μηχανήματα απαιτείται να έχουν την πιστοποίηση CE, χρησιμοποιούν το ψυκτικό υγρό R407c και λειτουργούν σε συχνότητα 50 Hz.

Η δυνατότητα θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης μπορεί να προστεθεί στον εξοπλισμό των περισσότερων μοντέλων. Ο εξοπλισμός εγκαθίσταται εσωτερικά από μερικούς κατασκευαστές ή παρέχεται ως πρόσθετος εξωτερικά από άλλους. Το τμήμα θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης αποτελείται από έναν εναλλάκτη θερμότητας ψυκτικού υγρού-νερού και έναν μικρό κυκλοφορητή που οδηγεί το ζεστό νερό χρήσης στο θερμοσίφωνο.



Σχήμα Β2

## ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Μια από τις πιο συγκεχυμένες πτυχές της τεχνολογίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας είναι η βαθμονόμηση του εξοπλισμού. Οι τιμές απόδοσης θέρμανσης και ψύξης είναι χρήσιμες για τις μονάδες του ίδιου τύπου (δηλ. ASHP με ASHP ή GHP με GHP). Δυστυχώς, οι βαθμονομήσεις που χρησιμοποιούνται για τους διαφορετικούς τύπους εξοπλισμών (καυστήρες ASHP, GHP) δεν είναι γενικά σταθερές, καθιστώντας τις συγκρίσεις δύσκολες. Κατά συνέπεια, είναι χρήσιμο να είναι γνωστό τι περιλαμβάνουν οι τιμές βαθμονόμησης και τι όχι.

Όλες οι αντλίες θερμότητας εκτιμώνται στην Αμερική από το Air Conditioning and Refrigerant Institute (ARI). Τα αποτελέσματα δημοσιεύονται κάθε έξι μήνες στο Directory of Certified Applied Air Conditioning Products (for GHPs) και στο Directory of Unitary Products (for ASHPs).

Για τις αντλίες θερμότητας πηγής νερού (δηλ. ο τύπος της αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιείται σε όλα τα συστήματα GHP), η απόδοση στην ψύξη καθορίζεται από έναν συντελεστή αποκαλούμενο EER (Energy Efficiency Ratio). Ο συντελεστής EER εκφράζει το λόγο της αποδιδόμενης ψύξης σε μονάδες (Btu/hr) προς την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται σε (Watts) και έχει τελικά μονάδες (Btu/Watt\*hr). Στην Ευρώπη εφαρμόζεται το SI και όλες οι μονάδες είναι σε (Watts) οπότε ο EER είναι αδιάστατος και έχει διαφορετική τιμή από τον Αμερικανικό.

$$\text{EER} = \frac{\text{ΣΥΝΟΛΙΚΗ ...ΨΥΚΤΙΚΗ ...ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ}}{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ...ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ}}$$

Η απόδοση στη θέρμανση καθορίζεται από το συντελεστή COP (Coefficient Of Performance). Ο συντελεστής αυτός εκφράζει τη θερμότητα που αποδίδεται σε μονάδες (Btu/hr) προς την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνεται σε (Btu/hr) και τελικά προκύπτει ένας αδιάστατος αριθμός. Στην Ευρώπη εφαρμόζεται το SI και όλες οι μονάδες είναι σε (Watts). Και για τους δύο συντελεστές COP και EER, όσο αυξάνει η τιμή τους τόσο μειωμένη είναι η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία.

$$\text{COP} = \frac{\text{ΣΥΝΟΛΙΚΗ ...ΘΕΡΜΑΝΤΙΚΗ ...ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ}}{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ...ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ}}$$

Και οι δύο συντελεστές COP και EER για τις αντλίες θερμότητας με πηγή υπόγεια νερά (ανοιχτού κυκλώματος) έχουν βαθμονόμηση σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία και γι'αυτό παίρνουν μόνο μία τιμή σε αντίθεση με τις εποχιακές τιμές (HSPF και SEER) που



ανακοινώνονται για τις αντλίες θερμότητας με πηγή τον εξωτερικό αέρα. Οι τιμές COP και EER δεν πρέπει να συγκρίνονται με τις τιμές SEER και HSPF.

#### ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ GHP

Οι παλιότερες βαθμονόμησης ARI 325 και 330 αντικαταστάθηκαν με τον ενιαίο σύστημα βαθμονόμησης ISO 13256-1. Στο πλαίσιο του νέου συστήματος, οι τιμές απόδοσης (EER και COP) υπολογίζονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες για να εκφράζουν την απόδοση διαφορετικών συστημάτων. Οι βαθμονομήσεις εφαρμόζονται σε τρεις κατηγορίες συστημάτων: WLHP, GWHP και GLHP εκ των οποίων η πιο χρησιμη για τα συστήματα GSHP είναι η βαθμονόμηση για GLHP. Αυτές οι τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συγκριθούν τα μηχανήματα διαφορετικών κατασκευαστών για είτε ανοικτό ή κλειστό κύκλωμα τροφοδοσίας νερού. Όπως στην παλαιότερη βαθμονόμηση ARI330, τα μηχανήματα εξετάζονται για την απόδοση με θερμοκρασία νερού στην είσοδό τους 0 °C για τη θέρμανση και 25 °C για την ψύξη. Η σημαντικότερη διαφορά στο νεότερο ISO είναι ότι οι ποινές για την καταναλισκόμενη ενέργεια άντλησης (που χρησιμοποιούνται στο παλαιότερο ARI) σε συνδυασμό με τις ποινές για τους ανεμιστήρες (εκτός μονάδας) έχουν αφαιρεθεί. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών απόδοσης έναντι του παλαιότερου συστήματος βαθμονόμησης ARI. Όπου μια μέση μονάδα με την παλαιά βαθμονόμηση μπορεί να είχε 13,0 EER (Αμερικάνικο) στην ψύξη, με το ISO η ίδια μονάδα παρουσιάζει τιμή 14,0 ή 14,5.

Οι τιμές βαθμονόμησης (COP και EER) πρέπει να θεωρήσουν ως σχετικοί αριθμοί. Σκοπός τους είναι η σύγκριση των προϊόντων των κατασκευαστών. Δεν απεικονίζουν την πραγματική απόδοση σε οποιαδήποτε εγκατάσταση.

#### ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ASHP

Η σημαντική διαφορά μεταξύ των βαθμονομήσεων για ASHPs και GHPs είναι οι τιμές των συστημάτων με πηγή τον εξωτερικό αέρα είναι εποχιακές. Προορίζονται να απεικονίσουν τη συνολική θερμαντική ή ψυκτική απόδοση για κάθε εποχή η οποία διαιρείται με το σύνολο ηλεκτρικής κατανάλωσης για την εποχή. Αυτές οι εκτιμήσεις (HSPF-θέρμανση, SEER- ψύξη) δε μπορούν να συγκριθούν άμεσα έναντι των συστημάτων GHP που έχουν τους συντελεστές EER και COP.

Τα ASHPs βαθμονομούνται σύμφωνα με τα συστήματα ARI 210/240. Προκειμένου να απλοποιηθεί η διαδικασία έγιναν διάφορες παραδοχές σχετικά με τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Η βαθμονόμηση είναι βασισμένη σε ένα μέτριο κλίμα και κατά συνέπεια, δεν ανταποκρίνεται σε πολύ κρύες ή πολύ θερμές περιοχές.

## ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ

Οι καυστήρες βαθμονομούνται με ένα συντελεστή γνωστό ως (annual fuel utilization efficiency). Εκφράζει την ετήσια αποδιδόμενη ενέργεια διαιρημένη με τη θερμογόνο δύναμη της συνολικής ποσότητας του καυσίμου που καταναλώθηκε. Το σημαντικότερο μειονέκτημα της συγκεκριμένης βαθμονόμησης είναι ότι η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για λειτουργία του καυστήρα δε συνυπολογίζεται.

## **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ GSHPs**

Πλεονέκτημα 1- Μεγάλος και σταθερός συντελεστής απόδοσης

Οι κατάλληλα σχεδιασμένες γεωθερμικές αντλίες θερμότητας εξασφαλίζουν λειτουργία με πολύ υψηλότερη απόδοση και οικονομία από τα συμβατικά κλιματιστικά και καυστήρες. Οι μικρές σχετικά διαφορές θερμοκρασίας ανάμεσα στο κύκλωμα νερού εδάφους και του ψυκτικού υγρού επιτρέπουν την αποδοτικότερη και πιο σταθερή λειτουργία του εξοπλισμού.

Πλεονέκτημα 2-Απλά συστήματα ελέγχου και εξοπλισμός

Δεν απαιτούνται σύνθετα συστήματα ελέγχου για να διατηρήσουν την άνεση και την αποδοτικότητα ακόμη και σε συνθήκες μερικού φορτίου. Ιδιαίτερα ακριβά συστήματα ελέγχου δεν συνίστανται. Κάθε κτιριακή ζώνη μπορεί να εξυπηρετείται από ανεξάρτητη αντλία θερμότητας η οποία ελέγχεται τοπικά. Τα πολύπλοκα μηχανήματα γενικά είναι ακριβότερα και πιο σύνθετα.

Πλεονέκτημα 3- Μικρόκόστος συντήρησης

Τα GSHPs μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς υπαίθριο εξοπλισμό κατά συνέπεια, φθορά και διάβρωση δεν είναι συνηθισμένα προβλήματα. Όλος ο εξοπλισμός των αντλιών θερμότητας είναι στεγασμένος. Ο εξοπλισμός δεν καταπονείται στις υψηλές και χαμηλές πιέσεις των ψυκτικών ουσιών που αντιμετωπίζονται στα συμβατικά κλιματιστικά. Επίσης, δεν απαιτούνται πύργοι ψύξης στις περισσότερες περιπτώσεις.

Πλεονέκτημα 4- Δεν απαιτούνται βοηθητικά συστήματα

Οι δυνατότητες των GSHPs σχεδόν πάντα ικανοποιούν τις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης σε κάθε κτιριακή ζώνη. Η θέρμανση ή ψύξη ενεργοποιούνται εύκολα με την αντιστροφή της εσωτερικής βάνας (με το θερμοστάτη). Επειδή δεν αντιμετωπίζονται ακραίες θερμοκρασίες αέρα, όπως για παράδειγμα με τα συμβατικά κλιματιστικά την περίοδο του χειμώνα, δεν απαιτούνται απικουρικά ή παράλληλα συστήματα θέρμανσης.

#### Πλεονέκτημα 5- Φθινό ζεστό νερό χρήσης

Υπάρχει η δυνατότητα με έναν πρόσθετο μικρό εναλλάκτη στο συμπιεστή της αντλίας θερμότητας να θερμαίνεται ζεστό νερό χρήσης, το οποίο μάλιστα κατά τη θερινή περίοδο παρέχεται δωρεάν.

#### Πλεονέκτημα 6-Απουσία εξωτερικών μονάδων

Τα περισσότερα GSHPs δεν απαιτούν υπαίθριο εξοπλισμό. Αυτό ελευθερώνει χώρο για άλλες χρήσεις και καταργεί τα προβλήματα ασφάλειας και πιθανής ζημίας που μπορούν να εμφανιστούν με το συμβατικό υπαίθριο εξοπλισμό. Στα σχολεία μία τέτοια παράμετρος είναι εξαιρετικά σημαντική δεδομένου ότι απαιτούνται συχνά ειδικές προφυλάξεις στην πρόσβαση του υπαίθριου εξοπλισμού. Επίσης οι εσωτερικές αντλίες θερμότητας είναι συνήθως πιο προσβάσιμες για συντήρηση.

#### Πλεονέκτημα 7- Ενιαία Μονάδα

Οι αντλίες θερμότητας νερού-αέρα και νερού-νερού είναι αυτόνομα συστήματα, γεγονός που μειώνει τις πιθανότητες διαρροής ψυκτικών ουσιών και βλαβών σε αντίθεση με τα συμβατικά κλιματιστικά που αποτελούνται από δύο μονάδες (εσωτερική και εξωτερική). Οι αυτόνομες μονάδες απαιτούν επίσης το 20% έως 70% της ποσότητας των ψυκτικών ουσιών του συμβατικού εξοπλισμού.

#### Πλεονέκτημα 8- Περιβαλλοντικά φιλικά συστήματα

Σε έκθεσή της, η Αμερικάνικη υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος (U.S. EPA- Environmental Protection Agency), χαρακτηρίζει τα συστήματα κλιματισμού GSHPs αυτά με τις χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> όλων των τεχνολογιών που αναλύονται, και αυτά με τις χαμηλότερες γενικά περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις. Η αυξημένη αποδοτικότητα ενός καλά σχεδιασμένου και εγκατεστημένου συστήματος GSHPs μειώνει το ποσό ενεργειακής κατανάλωσης που απαιτείται, με συνέπεια τη μείωση των ρυπογόνων εκπομπών. Θεωρώντας μια απόδοση 30% για παραγωγή- μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας και 15% απώλειες για την καύση φυσικού αερίου, τα παρακάτω ποσά ενέργειας απαιτούνται για την παραγωγή 1MBtu θερμότητας σε ένα κτίριο:

Αντλία θερμότητας με πηγή αέρα με 7,5 HSPF = 1.500.000 Btu

Καυστήρας φυσικού αερίου με 90% AFUE, ανεμιστήρας 70%, κινητήρας 90%=1200.000 Btu

Σύστημα GSHP, με ποινή κινητήρα 8% =900.000 Btu

#### Πλεονέκτημα 9- Υψηλή απόσβεση

Παρά το μεγαλύτερο αρχικό κόστος, τα συστήματα GSHPs έχουν τρία χαρακτηριστικά που τα κάνουν να ξεχωρίζουν όταν συγκριθούν στη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού (LCC life-cycle cost analysis). Αυτά είναι :

Χαμηλή κατανάλωση

Μικρό κόστος συντήρησης

Μεγάλη διάρκεια ζωής

#### Μειονέκτημα 1- Υψηλή αρχικό κόστος

Για οικιακή χρήση το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι περίπου το διπλάσιο από τα συμβατικά συστήματα.

Για εμπορικές εφαρμογές τα τιμολόγια είναι συγκρίσιμα.

#### Μειονέκτημα 2- Η απόδοση εξαρτάται από τον γεωεναλλάκτη και τον εξοπλισμό

Πολύ συχνά επικρατεί η εντύπωση ότι επειδή το σύστημα είναι “γεωθερμικό” πρέπει να είναι και το καλύτερο. Τεχνικοί χωρίς μεγάλη εμπειρία προτείνουν υψηλούς κόστους εξοπλισμό και αναμένουν ότι θα λειτουργήσει με καλή απόδοση ανεξάρτητα από την ποιότητα σχεδιασμού και εγκατάστασης. Μια άλλη κοινή πρακτική είναι όταν εμφανίζονται υψηλές δαπάνες γεωεναλλάκτη να μειώνεται το συνολικό κόστος με αντλίες θερμότητας κατωτέρας ποιότητας.

#### Μειονέκτημα 3- Περιορισμένος αριθμός πιστοποιημένων μελετητών

Οι μελετητές συστημάτων θέρμανσης και ψύξης είναι εγκλωβισμένοι στη μείωση του προϋπολογισμού κατασκευής, στην ανάγκη για τη συμμόρφωση με τα πρότυπα, και ακόμη περισσότερο με τη νομική ευθύνη. Συχνά το τελευταίο πράγμα που θέλουν να κάνουν είναι να δοκιμάσουν κάτι “νέο”. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα εάν πρέπει να αφιερώσουν πολύ χρόνο στην εκμάθηση σχεδιασμού συστημάτων GSHPs.

#### Μειονέκτημα 4- Περιορισμένος αριθμός πιστοποιημένων εγκαταστατών

Η επένδυση σε χρόνο και εξοπλισμό για έναν εγκαταστάτη είναι σημαντική. Οι γεωτρυπανιστές επίσης αμείβονται λιγότερο για το μέτρο μήκους γεώτρησης με αποτέλεσμα να μην ενδιαφέρονται ιδιαίτερα για έργα γεωεναλλακτών.

## ΣΥΧΝΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

### 1. Πόσο κοστίζει η εγκατάσταση;

Ο καλύτερος τρόπος για να αρχίσει αυτή η απάντηση είναι να ειπωθεί ότι θα κοστίσει περισσότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Πόσο περισσότερο εξαρτάται από τον τόπο κατοικίας και ποιο σύστημα GHP θα χρησιμοποιηθεί.

Για τα γεωθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος (οριζόντια και κάθετα), το κόστος ποικίλει με τον αριθμό των διαθέσιμων αναδόχων. Όπου η τεχνολογία δεν είναι διαδεδομένη, η έλλειψη ανταγωνισμού έχει ως αποτελέσματα υψηλότερες τιμές. Συστήματα ανοικτών κυκλωμάτων, επειδή δεν απαιτούν τους ειδικευμένους αναδόχους επηρεάζονται λιγότερο από αυτό το πρόβλημα.

Για την Ελλάδα δεν υπάρχουν συγκριτικά στοιχεία και θα ήταν άδικο γι' αυτή την τεχνολογία να την συγκρίνουμε με άλλα ευρέως εφαρμοσμένα συστήματα. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι προσφέρει και κλιματισμό κατά τους θερινούς μήνες και ότι πρέπει η σύγκριση να γίνει με συνδυασμένα συστήματα ψύξης θέρμανσης.

### 2. Πως γίνεται η σύγκριση με άλλα συστήματα θέρμανσης;

Η σύγκριση περιλαμβάνει την απόδοση του εξοπλισμού, το είδος του καυσίμου και το κόστος του.

Θερμική ικανότητα των συμβατικών καυσίμων

Πετρέλαιο θέρμανσης 11,0 kWh/lit

Φυσικό Αέριο 11,0 kWh/Nm<sup>3</sup>

Ηλεκτρικό Ρεύμα 1,0 kWh/kWh

Αναγωγή κόστους θέρμανσης σε € ανά 1.000 kWh ωφέλιμης θερμότητας.

Για την πραγματοποίηση της αναγωγής της πραγματικά αποδιδόμενης θερμότητας στο σπίτι, είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν οι συντελεστές απόδοσης κάθε θερμαντικής συσκευής σε συνδυασμό με το κόστος του καυσίμου. Εφαρμόζονται οι ακόλουθες σχέσεις:

| ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ                                              | (lit/1000 kWh) | (€/lit) | n    |
|--------------------------------------------------------|----------------|---------|------|
| $[(\text{lit}/1000 \text{ kWh}) * (\text{€/lit})] / n$ | 90,9           | 0,34    | 0,84 |
| n: βαθμοί απόδοσης καύσης                              |                |         |      |
| Παλαιό 0,65                                            |                |         |      |
| Συμβατικό 0,78                                         |                |         |      |
| Επιθυμητό 0,84                                         |                |         |      |
| Υψηλός 0,92                                            |                |         |      |



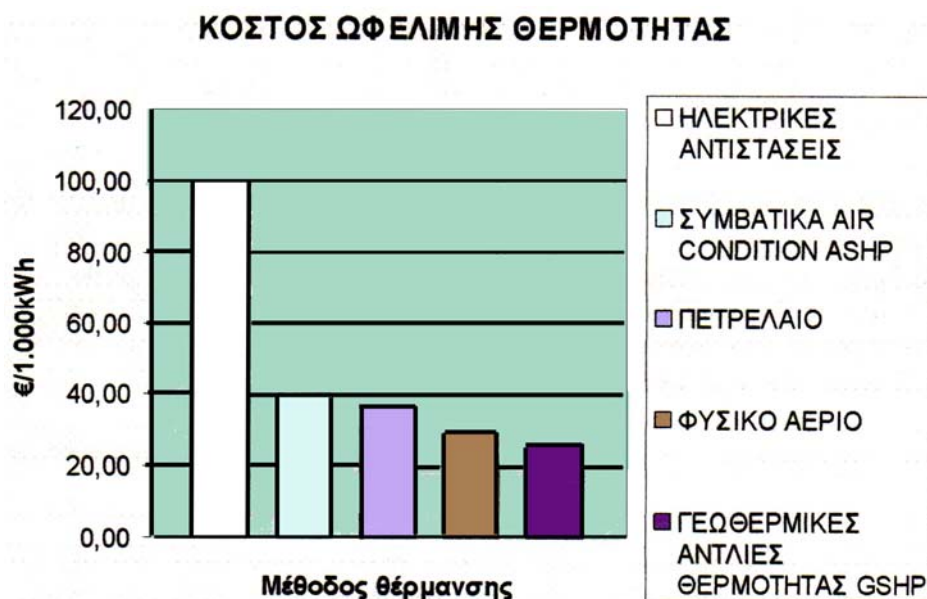
|                            |                             |                      |      |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------|------|
| ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ               | (Nm <sup>3</sup> /1000 kWh) | (€/Nm <sup>3</sup> ) | n    |
| [(lit/1000 kWh)*(€/lit)]/n | 90,9                        | 0,2692               | 0,84 |

|                              |                 |         |   |
|------------------------------|-----------------|---------|---|
| ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ       | (kWh /1000 kWh) | (€/kWh) | n |
| [(kWh /1000 kWh)*(€/ kWh)]/n | 1000,0          | 0,1     | 1 |

|                                                                         |                 |         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------|-----|
| ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ AIR CONDITION ASHP                                            | (kWh /1000 kWh) | (€/kWh) | n   |
| [(kWh /1000 kWh)*(€/ kWh)]/n                                            | 1000,0          | 0,1     | 2,5 |
| COP Βαθμοί απόδοσης κλιματιστικών<br>2,5 θερμό κλίμα<br>1,8 ψυχρό κλίμα |                 |         |     |

|                                                                |                 |         |     |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|---------|-----|
| ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ GSHP                            | (kWh /1000 kWh) | (€/kWh) | n   |
| [(kWh /1000 kWh)*(€/ kWh)]/n                                   | 1000,0          | 0,1     | 3,9 |
| COP Βαθμοί απόδοσης GSHP<br>3,9 θερμό κλίμα<br>3,1 ψυχρό κλίμα |                 |         |     |

| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΩΦΕΛΙΜΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ |             |                |
|------------------------------------------|-------------|----------------|
|                                          | €/1.000 kWh | €/1.000.000Btu |
| ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ                                | 36,80       | 10,78          |
| ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ                             | 29,13       | 8,54           |
| ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ                   | 100,00      | 29,30          |
| ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ AIR CONDITION ASHP             | 40,00       | 11,72          |
| ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ GSHP      | 25,64       | 7,51           |



Σχήμα: Β3

Προφανώς είναι απαραίτητο να είναι γνωστό το συνολικό ποσό θερμότητας που απαιτείται κατ' έτος για να υπολογιστεί η ετήσια εξοικονόμηση. Οι ανωτέρω τιμές, εντούτοις, παρέχουν μια ένδειξη της εξοικονόμησης που αναμένεται από ένα σύστημα GHP έναντι άλλων επιλογών. Εξοικονόμηση γίνεται επίσης και από την θέρμανση ζεστού νερού χρήσης.

### 3. Τί γίνεται με το ζεστό νερό χρήσης;

Οι περισσότερες μονάδες GHP μπορούν να εξοπλιστούν (προαιρετικά) με μια συσκευή που καλείται desuperheater για τη θέρμανση ζεστού νερού χρήσης. Το καλοκαίρι αυτή η συσκευή χρησιμοποιεί ένα ποσοστό της θερμότητας πριν απορριφθεί στο έδαφος, επομένως κατά τη θερινή περίοδο, αυτή η θερμότητα είναι δωρεάν. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα μερική από την ικανότητα της αντλίας θερμότητας εκτρέπεται από τη θέρμανση χώρου στην παραγωγή ζεστού νερού.

### 4. Θα έπρεπε να χρησιμοποιήσουμε το κατακόρυφο, το οριζόντιο ή το ανοικτό κύκλωμα;

Προκειμένου να απαντηθεί αυτή η ερώτηση θα πρέπει να εξετασθεί πρώτα εάν θα επιλεχθεί ανοικτό ή κλειστό κύκλωμα.

Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος εφαρμόζονται καλύτερα στις περιπτώσεις όπου το σπίτι βρίσκεται σε περιοχή με υδάτινο ορίζοντα κοντά στην επιφάνεια και με ικανοποιητικές παροχές. Μια μεγαλύτερη αντλία εγκαθίσταται για να μεταφέρει το νερό που απαιτείται κοντά στην αντλία θερμότητας. Μια σημαντική εκτίμηση είναι η διάθεση του ύδατος. Στα υπάρχοντα συστήματα έχουν χρησιμοποιηθεί, λίμνες, ποταμοί, αρδευτικά κανάλια, και φρεάτια επιστροφής. Η επιφανειακή διάθεση είναι προφανώς η λιγότερη ακριβή επιλογή αλλά ακόμα κι αν απαιτηθεί φρεάτιο επιστροφής, το κόστος είναι πολύ λιγότερο από το κόστος ενός

**EER = Energy Efficient Ratio**

$$\text{EER} = E_c / E_a$$

$$\text{EER} = \text{COP} \times 3,412$$

$$\text{COP} = \text{EER} / 3.412$$

Το χαρακτηριστικό αυτό αναφέρεται σε συστήματα ψύξης. Ορίζεται ως το πηλίκο της «ψυκτικής ισχύος» (της ενέργειας σε Btu που μπορεί να αφαιρέσει η ψυκτική μηχανή από ένα χώρο σε 1 ώρα), προς το σύνολο της ηλεκτρικής ισχύος που απαιτείται για το σκοπό αυτό (σε watt). Στην ισχύ που απαιτείται περιλαμβάνεται και όση χρειάζεται για τη λειτουργία του συμπιεστή, της αντλίας κυκλοφορίας του ψυκτικού υγρού, και ανεμιστήρες.

Για να υπολογιστούν οι συντελεστές COP και EER για τις διάφορες αντλίες θερμότητας (κατασκευής Η.Π.Α.), οι μετρήσεις γίνονται με βάση τις εξής θερμοκρασίες νερού εισόδου (στην αντλία) :

Για τα συστήματα με γεωεναλλάκτη ανοικτού τύπου οι θερμοκρασίες εισόδου είναι 21,1 °C (70 °F) για την ψύξη και 10 °C (50 °F) για τη θέρμανση.

Για τα συστήματα με γεωεναλλάκτη κλειστού τύπου οι θερμοκρασίες εισόδου είναι 25 °C (77 °F) για την ψύξη και 0 °C (32 °F) για τη θέρμανση.

Είναι φανερό ότι οι προδιαγραφές αυτές είναι ιδιαίτερα αυστηρές, και σε συνήθεις συνθήκες (π.χ. για την Ελλάδα όπου η θερμοκρασία εισόδου του νερού θα είναι γύρω στους 18 °C) οι αντλίες θερμότητας αναμένεται να λειτουργούν πολύ πιο αποδοτικά.

### ***Btu = British thermal unit***

Μονάδα μέτρησης της θερμότητας (ενέργειας) στο αγγλοσαξωνικό σύστημα.

$$1 \text{ Btu} = 0,252 \text{ kcal} = 0,293 \text{ wh}$$

## ***B3 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΓΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ***

Τα επόμενα στοιχεία έχουν δημοσιευτεί από το American Refrigeration Institute στο κατάλογο που εξέδωσε το 1996, (Πηγή: Καραμάνης Ε., 2005):

κλειστού κυκλώματος. Η ποιότητα νερού είναι επίσης σημαντικό ζήτημα. Δεδομένου ότι το νερό χρησιμοποιείται άμεσα στην αντλία θερμότητας θέματα διάβρωσης ή/ και φθορών πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Εάν το σύστημα πρόκειται να είναι κλειστού κυκλώματος, η επιλογή γίνεται μεταξύ του κατακόρυφου και του οριζόντιου συστήματος. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη είναι ότι τοποθετεί το βρόχο σε ζώνη θερμοκρασιακά πιο σταθερή. Το έδαφος σε βάθος 30 m δεν υπόκειται στις ίδιες διακυμάνσεις θερμοκρασίας με το έδαφος σε 1,5 m βάθος. Συνεπώς ο κατακόρυφος σχεδιασμός προσφέρει τη δυνατότητα της παροχής θερμότερου νερού στην αντλία θερμότητας το χειμώνα και πιο δροσερού το καλοκαίρι.

Η διαθεσιμότητα αναδόχου είναι ο κυρίαρχος παράγοντας των σχεδιαστικών επιλογών σε πολλές εγκαταστάσεις.

Σε ήπια κλίματα το πλεονέκτημα των κατακόρυφων συστημάτων μειώνεται ως προς τα οριζόντια συστήματα. Όσο πιο ακραίο το κλίμα, είτε στη θέρμανση είτε στην ψύξη, τόσο μεγαλύτερο το πλεονέκτημα των κατακόρυφων συστημάτων.

5. Μπορούν τα συστήματα GHP να χρησιμοποιηθούν με συστήματα ζεστού νερού;

Η απάντηση είναι ναι και όχι. Αντλίες θερμότητας νερού-νερού διατίθεται από διάφορους κατασκευαστές και αποδίδουν ζεστό ή κρύο νερό αντί ζεστό και κρύο αέρα. Αυτές οι μονάδες μπορούν να συνδεθούν με μερικούς τύπους θέρμανσης με ζεστό νερό. Ο περιορισμός στον τρόπο θέρμανσης είναι η θερμοκρασία. Στα συμβατικά συστήματα ζεστό νερό θερμοκρασίας 70 °C - 80 °C διατρέχει τα θερμαντικά σώματα τα οποία είναι σχεδιασμένα για να λειτουργήσουν σε αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες. Συνεπώς η τοποθέτηση σε περίπτωση ανακαίνισης αντλίας θερμότητας στη βάση ενός συμβατικού συστήματος σωμάτων δεν είναι ενδεδειγμένη.

Το καλύτερο σύστημα ζεστού νερού για να συνδεθεί με ένα GHP είναι η ενδοδαπέδια θέρμανση. Αυτό το σύστημα, στο οποίο η σωλήνωση εγκαθίσταται στο πάτωμα, λειτουργεί σε θερμοκρασίες νερού πολύ χαμηλότερες από τα συστήματα θερμαντικών σωμάτων. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία νερού, στο σπίτι πρέπει να ακολουθήσει σωστά ο κανονισμός θερμομόνωσης.

Γενικά, η πλήρης ψύξη δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα ενδοδαπέδιο σύστημα γιατί συμπυκνώματα θα εμφανίζονταν στην επιφάνεια των πατωμάτων. Κατά συνέπεια, αυτό το σύστημα πρέπει γενικά να είναι συνδεδεμένο με μονάδες Fan Coil για να παρέχει τη ψύξη και την αφύγρανση. Σημειώνεται ότι με ένα σύστημα Fan Coil μπορούν να εξυπηρετηθούν και οι απαιτήσεις θέρμανσης.

6. Που μπορεί κανείς να ανατρέξει για περισσότερες πληροφορίες;

Geo-Heat Center

3201 Campus Drive

Klamath Falls OR 97601

541-885-1750

<http://geoheat.oit.edu>

International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA)

470 Cordell South

Stilwater, OK 74078-8018

Ph: 1-800 626- GSHP

<http://www.igshpa.okstate.edu>

Geothermal Heat Pump Consortium Inc.

701 Pennsylvania Avenue NW

Washington, DC 20004-2696

Ph: 202-508-5500

Fax: 202-508-5222

<http://www.geoexchange.org>

## **B2 ΟΡΟΛΟΓΙΑ - ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ**

Βασικά χαρακτηριστικά για την μέτρηση, απόδοσς και σύγκριση των αντλιών θερμότητας και άλλων συστημάτων θέρμανσης-ψύξης:

**COP = Coefficient Of Performance**

**COP=Eu/ Ea**

Συντελεστής απόδοσης: ορίζεται ως το πηλίκο της «χρήσιμης» ενέργειας Eu που αποδίδει μια αντλία θερμότητας προς την ενέργεια που απαιτεί για να λειτουργήσει Ea (καταναλισκόμενη ενέργεια). Για τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας μπορεί (δε συμβαίνει όμως πάντα) να περιλαμβάνεται και αυτή που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας κυκλοφορίας του ψυκτικού υγρού, τυχόν ανεμιστήρων ή άλλων κινητών μερών της αντλίας θερμότητας. Στην περίπτωση της ψύξης ως αποδιδόμενη ενέργεια λαμβάνεται η ενέργεια που απορροφά (κατά την ψύξη) η αντλία. Ο συντελεστής απόδοσης μπορεί να υπολογιστεί και σαν πηλίκο των αντίστοιχων ισχύων (αποδιδόμενη θερμική ισχύς σε Btu/hr προς καταναλισκόμενη ισχύ ηλεκτρικού ρεύματος σε watt) με τη μετατροπή των αντίστοιχων μονάδων (Btu/hr σε watt).

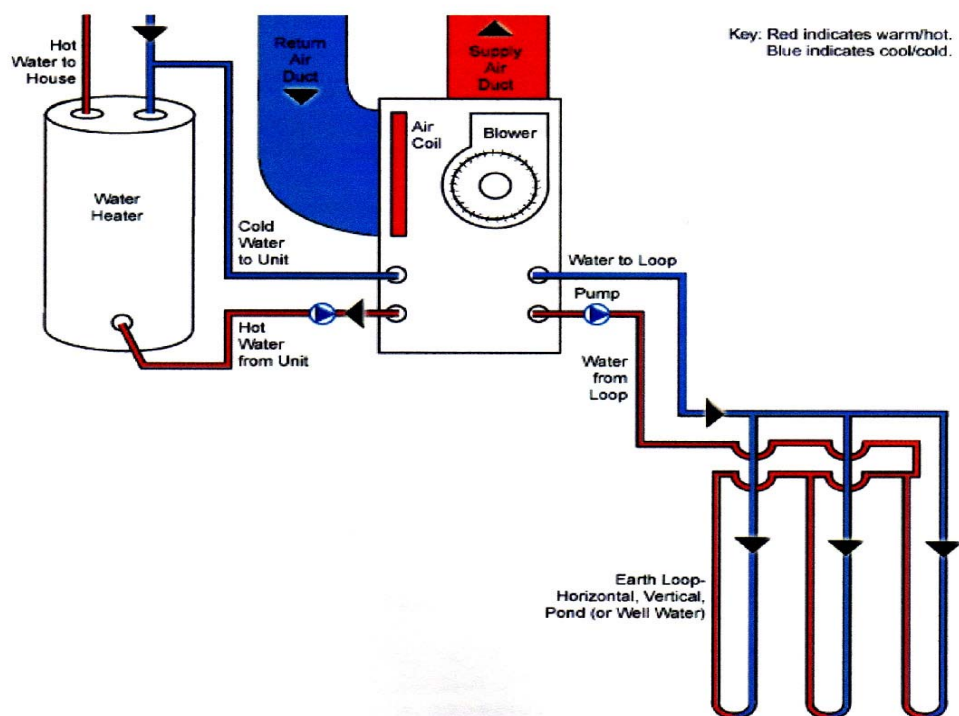


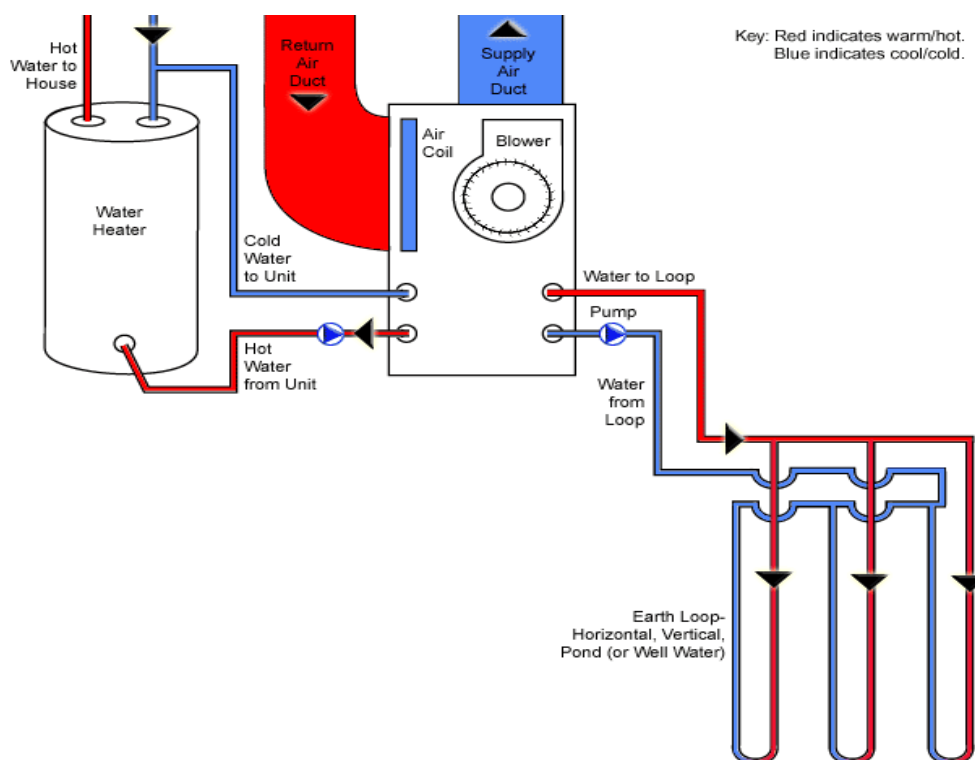
| Για Θέρμανση (Heating)         |       | COP  |      |      |      |      |
|--------------------------------|-------|------|------|------|------|------|
|                                | Tons: | 2    | 3    | 3.5  | 4    | 5    |
| Addison G                      |       | 3, 1 | 3, 1 | 3    | 3, 1 | 2, 9 |
| Bard                           |       | 3    | 3    | 2, 8 | 2, 7 | 2, 5 |
| Carrier                        |       | 3    | 3    | 2, 8 | 3    | 2, 6 |
| Carrier GT                     |       | 3    | 3    | 2, 8 | 3    | 2, 6 |
| Carrier GTX                    |       | -    | 3, 5 | 3, 8 | 3, 7 | 3, 4 |
| Climate Master Classic (P)     |       | 3, 4 | 3, 2 | 3, 2 | 3, 2 | 3, 2 |
| Climate Master Geo-Thermal (E) |       | 3    | 3    | 2, 8 | 3    | 2, 6 |
| Climate Master Ultra TR        |       | -    | 3, 5 | 3, 8 | 3, 7 | 3, 4 |

| Για Θέρμανση (Heating)     |       | COP  |      |      |      |      |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|
|                            | Tons: | 2    | 3    | 3.5  | 4    | 5    |
| Command Aire               |       | 2, 9 | 3, 1 | 2, 9 | 3, 1 | 2, 9 |
| ECONAR                     |       | 3, 4 | 3, 2 | 3    | 3    | 3, 1 |
| FHP Geo-Miser Single       |       | 3, 3 | 3, 4 | 3, 4 | 3, 4 | -    |
| FHP Geo-Thermal            |       | 3, 1 | 3, 1 | 3, 3 | 3    | 3, 1 |
| FHP GT 3000                |       | -    | 2, 4 | -    | 2, 4 | -    |
| Heat Controller            |       | 3, 1 | 3, 1 | 3    | 3, 1 | 2, 9 |
| Hydro Delta Hydro Heat     |       | 3, 1 | 3, 3 | 3, 2 | 3, 1 | 3, 2 |
| Mammoth                    |       | 3, 1 | 3, 1 | 3    | 3, 1 | 2, 9 |
| Millbrook Hydron Module    |       | 3, 2 | 3, 4 | 3, 3 | 3, 3 | 3, 4 |
| TETCO                      |       | 3, 3 | 3, 2 | 3, 1 | 3, 1 | 3    |
| Trane                      |       | 2, 9 | 3, 1 | 3    | 3, 1 | 2, 9 |
| WaterFurnace Premier AT    |       | 3, 4 | 3, 3 | 3, 4 | 3, 3 | 3, 2 |
| WaterFurnace Spectra (SX)  |       | 3, 3 | 3, 2 | 3, 3 | 3, 1 | 3, 1 |
| WaterFurnace Northern Ldr. |       | 2, 7 | 2, 7 | -    | -    | -    |

| Για Ψύξη (Cooling)             |       | EER   |       |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                | Tons: | 2     | 3     | 3.5   | 4     | 5     |
| Addison G                      |       | 14, 1 | 14, 6 | 14, 2 | 14, 3 | 13    |
| Bard                           |       | 13    | 12, 5 | 11, 5 | 11, 5 | 11, 5 |
| Carrier                        |       | 11, 5 | 11, 2 | 11, 3 | 10, 9 | 10, 6 |
| Carrier GT                     |       | 11, 5 | 11, 2 | 11, 3 | 10, 9 | 10, 6 |
| Carrier GTX                    |       | -     | 16, 2 | 17, 5 | 16, 6 | 14, 3 |
| Climate Master Classic (P)     |       | -     | 13, 8 | 13, 2 | 13, 5 | 13    |
| Climate Master Geo-Thermal (E) |       | 11, 5 | 11, 2 | 11, 3 | 10, 9 | 10, 6 |
| Climate Master Ultra TR        |       | -     | 16, 2 | 17, 2 | 16, 6 | 14, 3 |
| Command Aire                   |       | 15, 6 | 16, 1 | 15    | 16    | 13, 9 |
| ECONAR                         |       | 14, 5 | 13, 8 | 13, 4 | 12, 4 | 11, 9 |
| FHP Geo-Miser Single           |       | 16, 6 | 15, 4 | 15, 7 | -     | -     |
| FHP Geo-Thermal                |       | 13, 4 | 14, 3 | 13, 5 | 13    | 13    |
| FHP GT 3000                    |       | -     | 12, 5 | -     | 12, 1 | 11    |
| Heat Controller                |       | 14, 1 | 14, 6 | 14, 4 | 14, 2 | 13    |

| Για Ψύξη (Cooling)         |       | EER  |      |      |      |      |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|
|                            | Tons: | 2    | 3    | 3.5  | 4    | 5    |
| Hydro Delta Hydro Heat     |       | 13   | 13,2 | 13,1 | 13,1 | 13   |
| Mammoth                    |       | 13,8 | 14   | 13,4 | 13,4 | 13,1 |
| Millbrook Hydron Module    |       | 13,5 | 13,6 | 13   | 13,1 | 13   |
| TETCO                      |       | 13,8 | 13,6 | 13,6 | 13,3 | 13   |
| Trane                      |       | 15,6 | 16,1 | 15   | 16   | 13,9 |
| WaterFurnace Premier AT    |       | 16,8 | 16   | 17   | 16,1 | 15   |
| WaterFurnace Spectra (SX)  |       | 15,5 | 13,6 | 13,9 | 13,9 | 13,4 |
| WaterFurnace Northern Ldr. |       | 14,1 | 14   | -    | -    | -    |



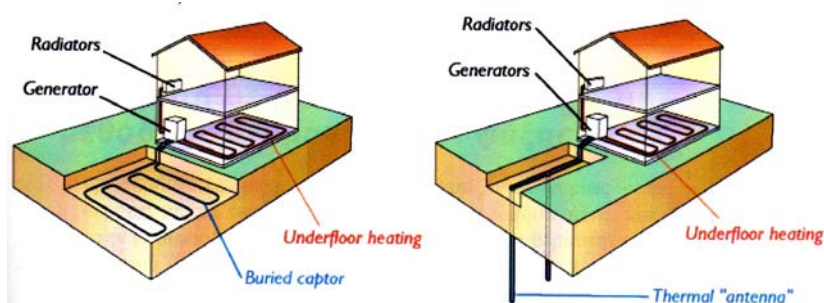


Σχήμα Β4

Λειτουργία αντλίας θερμότητας  
Εναλλαγή ψυχρού-ζεστού και αντίστροφα  
(Πηγή:<http://www.wfiglobal.com/HeatingCycleAnimation.asp>)

Τα δύο παρακάτω σχήματα απεικονίζουν τις δύο διαφορετικές χρήσεις του γεωεναλλάκτη, με οριζόντια ανάπτυξη στην πρώτη περίπτωση και κατακόρυφη στη δεύτερη. Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε συνδυασμό συστημάτων διασποράς της θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου (επιδαπέδιο -underfloor- και με τη χρήση θερμαντικού σώματος- Radiator-).

Τα συστήματα που βασίζονται στη χρήση αβαθούς γεωθερμίας αναφέρονται διεθνώς με το όνομα **Geothermal heat pump systems** (συστήματα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας) ή και **Geoexchange** (γεωεναλλακτικά συστήματα, γεωεναλλάκτες συστήματα γεωεναλλαγής )

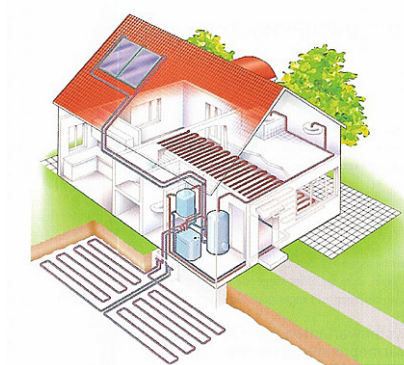


Σχήμα: Β5

(Πηγή:Καραμάνης Ε., 2005)

Οι δύο αυτοί τύποι (το οριζόντιο και το κατακόρυφο κύκλωμα) είναι και οι συνηθέστεροι στην εφαρμογή, διότι δεν απαιτούν ειδικές συνθήκες (κοντινή λίμνη ή παρουσία υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα σε μικρό βάθος), ενώ ο πιο διαδεδομένος τύπος είναι αυτός του κατακόρυφου κυκλώματος, ο οποίος είναι και ο μόνος που μπορεί να έχει πρακτική εφαρμογή σε πυκνοκατοικημένες περιοχές λόγω ελλείψεως μεγάλου επιφανειακού χώρου.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε υβριδικά συστήματα, από κοινού με ηλιοθερμικά.

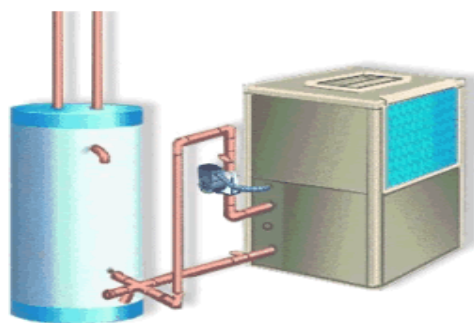


Σχήμα: B6

(Πηγή:<http://www.greenpeace.org/greece/137368/137396/138606>)

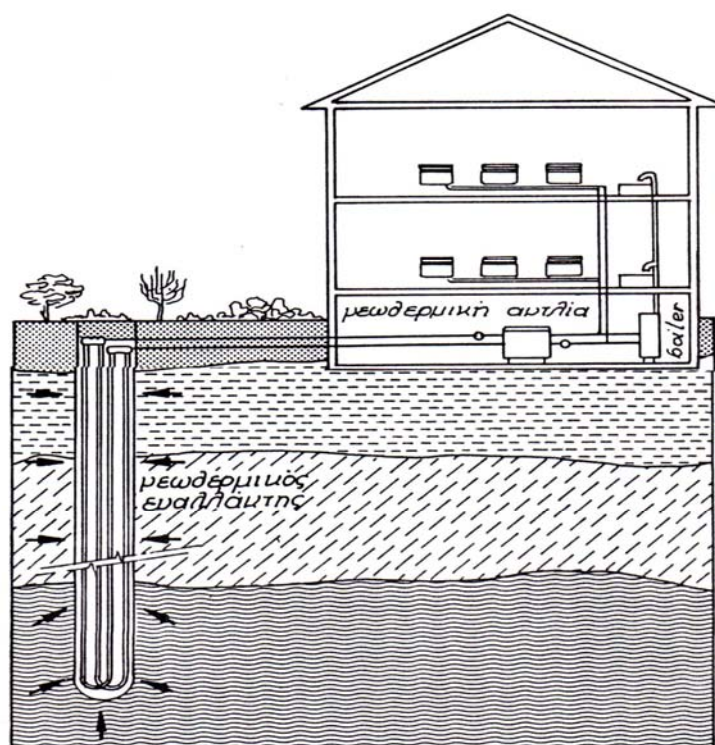
## ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ

Για εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί το σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας για παροχή ζεστού νερού προς χρήση. Το ζέσταμα του νερού μπορεί να παραχθεί πολύ πιο αποτελεσματικά με την τεχνολογία εξάτμισης συμπίεσης παρά με συστήματα ηλεκτρικών αντιστάσεων ή με συστήματα παραγωγής ζεστού νερού με καυστήρα. Το ζεστό νερό χρήσης παράγεται δωρεάν κατά την θερινή περίοδο αφού αποτελεί παραπροϊόν της διαδικασίας ψύξης. Κατά την χειμερινή περίοδο το ζεστό νερό που μπορεί να παραχθεί από τις ΓΑΘ είναι πολύ πιο οικονομικό από οποιοδήποτε άλλο σύστημα. Για να εξασφαλιστεί το ζεστό νερό χρήσης του κτιρίου απαιτείται να εγκατασταθεί ένα Boiler και να συνδεθεί μέσω ενός ξεχωριστού συστήματος.



Σχήμα: B7

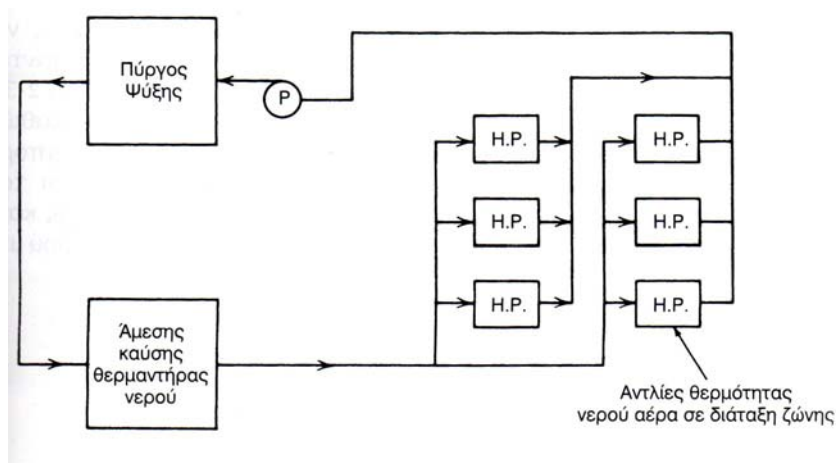
(Πηγή: <http://www.energyhomes.gr/GRECCE/zestonero.htm>)



Σχήμα B8: Εγκατάσταση αντλίας θερμότητας

(Πηγή: Παπαγεωργάκης Ι., 1993)





Σχήμα: B9

(Πηγή: McQuiston F.C., Jerald D.Parker 2003)

## **B4 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

### **ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ**

Προώθηση των ΑΠΕ μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Ο πιο απλός και εύκολος τρόπος είναι η πληροφόρηση του κοινού ( αλλά και των πολιτικών) για τις νέες τεχνολογίες και τα βραχυχρόνια ή μακροχρόνια οφέλη από τη διείσδυση των ΑΠΕ. Ένας άλλος, «παράλληλος» τρόπος, είναι η υποστήριξη εκπαιδευτικών προγραμμάτων σε κάθε βαθμίδα της εκπαίδευσης. Γενικά, οι ΑΠΕ μπορούν να προωθηθούν με τα παρακάτω μέτρα.

#### **Καθορισμός στόχων**

Οι διάφορες χώρες (ή πολιτείες, περιφέρειες, πόλεις) μπορούν να ενισχύσουν τη θέση των ΑΠΕ με τον καθορισμό συγκεκριμένων στόχων σε σχέση με τη συμμετοχή του συνόλου των ΑΠΕ ή ορισμένων ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας. Όπως είναι γνωστό, η Ε.Ε. έθεσε ως στόχο τη συμμετοχή των ΑΠΕ σε ποσοστό 12% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης για το 2010. Επίσης, η κοινοπολιτεία της Καλιφόρνιας έχει καθορίσει πρόσφατα το στόχο να εγκατασταθούν ηλιακά συστήματα σε ένα εκατομμύριο σπίτια (Million Home Plans) μέχρι το 2017.

#### **Υποστήριξη προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης**

Η υποστήριξη αυτή θα πρέπει να είναι συστηματική, συνεχής και συνεπής και να μην εξαρτάται από τις αυξομειώσεις της τιμής του αργού πετρελαίου. Η υποστήριξη αυτή είναι διαφορετική από την κρατική επιχορήγηση πιλοτικών ή εμπορικών εφαρμογών των ΑΠΕ. Είναι αξιοσημείωτο ότι μερικές φορές μία, όχι ιδιαίτερα υψηλή, συστηματική ενίσχυση της έρευνας μπορεί να φέρει σημαντικά αποτελέσματα. Στη δεκαετία του '80 ενισχύθηκαν πολλές μικρές εταιρείες ανεμογεννητριών στη Δανία, ενώ το κρατικό εργαστήριο Riso παρείχε υπηρεσίες, ευκολίες δοκιμών και πιστοποίηση προϊόντων. Οι ενέργειες αυτές έθεσαν τη βάση για την ταχεία ανάπτυξη της δανέζικης βιομηχανίας παραγωγής ανεμογεννητριών, που σήμερα αποτελεί τη μεγαλύτερη στον κόσμο στον τομέα αυτό. Αντίστοιχο παράδειγμα αποτελεί η ανάπτυξη της βιομηχανίας ηλιακών θερμοσιφώνων στη χώρα μας.

#### **Νομοθετικές ρυθμίσεις**

Ειδικές νομοθετικές ρυθμίσεις μπορούν να γίνουν (παράλληλα με τις αυστηρές προδιαγραφές για τη θερμομόνωση των κτιρίων) αναφορικά με την υποχρέωση εγκατάστασης ηλιακού συλλέκτη σε κάθε νέα κατοικία ( π.χ. Ισραήλ), τη χωροθέτηση περιοχών για εγκατάσταση αιολικών πάρκων, την υποχρέωση παραγωγής μέρους της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ (π.χ. Ηνωμένο Βασίλειο, Η.Π.Α.).



## Οικονομικά μέτρα

Τα περισσότερα κράτη βασίζονται στη θέσπιση οικονομικών κινήτρων για τη διείσδυση των ΑΠΕ και των τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας. Μερικά από αυτά τα μέτρα είναι :

Εγγυημένη ενίσχυση της παραγόμενης ενέργειας (κυρίως ηλεκτρικής) για το συγκεκριμένο (renewable feed-in tariff, REFIT). Η ενίσχυση αυτή θα πρέπει να εξαρτάται από το επίπεδο ανάπτυξης της ανανεώσιμης τεχνολογίας και από το ύψος της αρχικής επένδυσης. Με αυτόν τον τρόπο, η ενίσχυση της φωτοβολταϊκής kWh είναι μεγαλύτερη από την αιολική kWh.

Επιδότηση του παγίου κόστους της ανανεώσιμης εφαρμογής. Σε ορισμένες χώρες σε αυτό το πρόγραμμα συμμετέχουν και οι εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Μείωση της άμεσης ή έμμεσης φορολογίας των συστημάτων ΑΠΕ. Για παράδειγμα, μείωση του Φ.Π.Α. των ηλιακών συλλεκτών και συσκευών ΑΠΕ και αφαίρεση της πάγιας επένδυσης από το φορολογητέο εισόδημα.

Προσφορά δανείων με μηδενικό ή μικρό επιτόκιο για αγορά συστημάτων ΑΠΕ. Παράδειγμα η Ιαπωνία με τα δάνεια μηδενικού επιτοκίου για φωτοβολταϊκές στέγες.

Αύξηση της τιμής της συμβατικής ενέργειας, ώστε να καλυφθεί μέρος του «εξωτερικού» κόστους και να γίνει περισσότερο ελκυστικό το κόστος της ανανεώσιμης ενέργειας.

## **ΕΙΔΙΚΟΤΕΡΑ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ**

### ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ

Ένταξη της Γεωθερμίας των Αντλιών θερμότητας ξεχωριστά και διάφανα στα προγράμματα της Ανταγωνιστικότητας των ΚΠΣ όπως χαρακτηρίζονται και στη λευκή βίβλο της Ε.Ε.

Μείωση του φορολογητέου εισοδήματος ίση με το κόστος εγκατάστασης συστήματος γεωεναλλάκτη.

Μείωση του Φ.Π.Α. από 19% σε 9% όπως έχει ζητηθεί για όλες τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Επιδότηση των γεωεναλλακτών αντίστοιχη με των άλλων χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Clear Skies U.K.)

Αξιοποίηση της μείωσης των ρύπων στο χρηματιστήριο των ρύπων σε όλα τα επίπεδα εφαρμογής των γεωεναλλακτών (Δημόσια Κτίρια, Ιδιωτικές επιχειρήσεις, κατοικίες)

Εφαρμογή ευνοϊκών τιμολογίων ηλεκτρισμού αντίστοιχων με των άλλων χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Γερμανία)

## **B5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΓΕΝΙΚΑ**

Το βασικό ζητούμενο από τον υπολογισμό ενός κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη είναι το συνολικό μήκος των απαιτούμενων γεωτρήσεων.

Οι βασικοί παράγοντες στο σχεδιασμό και την οικονομικότητα των συστημάτων ήπιας γεωθερμίας, είναι το θερμικό φορτίο και τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

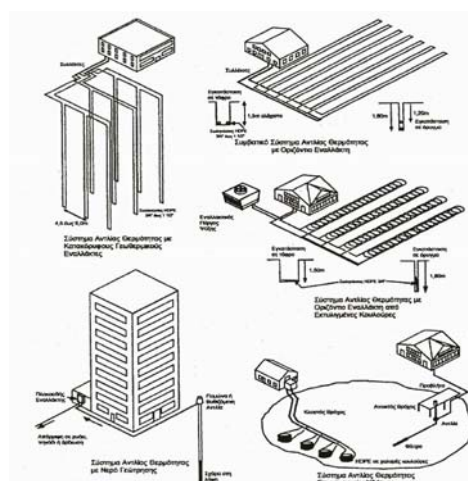
Καταστρώθηκε πρόγραμμα επίλυσης με το μοντέλο της ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), και χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή ποιοτικών συμπερασμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά των γεωθερμικών εναλλακτών. Το υπολογιστικό πλεονέκτημα της μεθόδου ASHRAE είναι η χρήση μεταβλητών θερμικών αντιστάσεων γεώτρησης συναρτήσει της φόρτισης τους, για τον υπολογισμό των θερμικών ροών σε μακροχρόνια κλίμακα.

Από την ανάλυση ευαισθησίας που έγινε, επάνω σε παράδειγμα υπολογισμού μιας εγκατάστασης, προέκυψαν συμπεράσματα που αφορούν τις σχέσεις του συνολικού μήκους γεωτρήσεων γεωθερμικού εναλλάκτη, ως προς:

- α. το μέγεθος των σωληνώσεων,
- β. το μέγεθος του κανάβου στοίχισης αλλά και της διάταξης των γεωτρήσεων, και
- γ. την εκτίμηση της ταχύτητας των υπογείων υδάτων που, μακροπρόθεσμα, θα διαχύσουν τη συσσωρευμένη στο έδαφος θερμότητα.

### **Εισαγωγή**

Η ανάλυση εξεύρεσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας χαμηλού οικονομικού και περιβαλλοντικού κόστους, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη των γεωθερμικών συστημάτων αντλιών θερμότητας, για οικιακή και εμπορική χρήση στον τομέα της παραγωγής θέρμανσης και ψύξης.



Σχήμα B13

Τύποι συστημάτων Αντλίας Θερμότητας – Γεωθερμικών Εναλλακτών  
(Πηγή: Σιμιτόπουλος Χρήστος, Βραχόπουλος Μιχάλης, 2005)



Η μέχρι σήμερα συσσωρευμένη εμπειρία της εφαρμογής των συστημάτων αυτών, έχει επιδείξει την οικονομική βιωσιμότητά τους. Συγκρινόμενα με συμβατικά συστήματα αντλιών θερμότητας που εναλλάσσουν θερμότητα με τον αέρα του περιβάλλοντος, τα συστήματα ήπιας γεωθερμίας προσφέρουν χαμηλότερη ηλεκτρική κατανάλωση και είναι απλούστερα στη λειτουργία και τη συντήρησή τους.

Παρά τα ενεργειακά πλεονεκτήματά τους, τα συστήματα ήπιας γεωθερμίας δεν έχουν διεισδύσει αρκετά στην παγκόσμια αγορά, πολύ δε λιγότερο στην Ελλάδα. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στο υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης τέτοιων συστημάτων (το οποίο λειτουργικά αποσβένεται) ή στις απαιτήσεις των συστημάτων αυτών για ύπαρξη και δέσμευση επαρκούς περιβάλλοντος χώρου των κτιρίων.

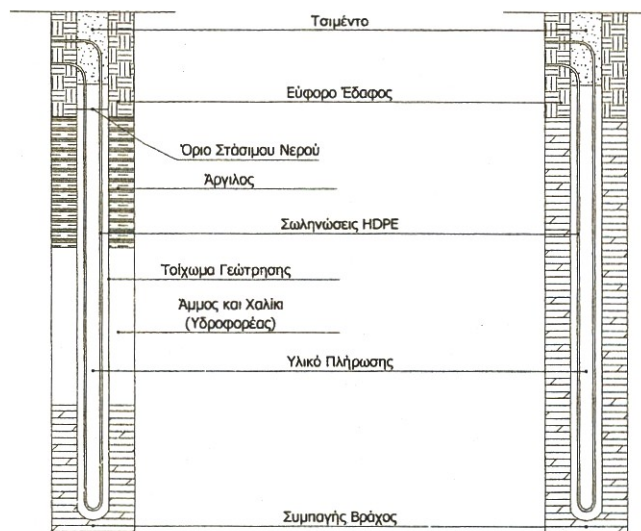
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την Ελλάδα παρουσιάζουν οι κατακόρυφοι γεωθερμικοί εναλλάκτες, τούτο διότι οι διαθέσιμες εκτάσεις που απαιτούνται για την ανάπτυξη οριζόντιων εναλλακτών είναι περιορισμένες. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι βασικότερες αρχές και παράμετροι υπολογισμού κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών, και ένα πρόγραμμα επίλυσης, στηριγμένο στο πλέον διαδεδομένο μοντέλο, χρησιμοποιείται για την εξαγωγή ποιοτικών συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά τους.

### **Παράγοντες Σχεδιασμού Γεωθερμικών Εναλλακτών**

Ένας Γεωθερμικός Εναλλάκτης στην απλούστερη μορφή του αποτελείται από έναν ενιαίο σωλήνα εγκιβωτισμένο σε μία γεώτρηση, με τα άκρα του στην επιφάνεια του εδάφους.

Δύο είναι οι βασικοί παράγοντες στο σχεδιασμό και την οικονομικότητα των ΣΗΓ, το φορτίο και το έδαφος.

Από το φορτίο (εν γένει κτίριο), μας ενδιαφέρει το ενεργειακό προφίλ του, δηλαδή η χρονική κατανομή των ψυκτικών και θερμικών του φορτίων στην ημέρα και το χρόνο, κυρίως δε, οι αιχμές των φορτίων και η διάρκεια αυτών. Στον όρο φορτίο συμπεριλαμβάνεται και οποιαδήποτε διάταξη αποθηκεύει, εξομαλύνει ή μεταθέτει θερμικά φορτία όπως είναι οι δεξαμενές πάγου, οι οποίες όμως δεν επιλέγονται πριν από την πρώτη επίλυση των κτιριακών φορτίων.



**Σχήμα Β14**  
Κατακόρυφοι Γεωθερμικοί Εναλλάκτες σε Μικτό έδαφος και Βράχο  
(Πηγή: Σιμιτόπουλος Χρήστος, Βραχόπουλος Μιχάλης, 2005)

Από το έδαφος μας ενδιαφέρει η διαστρωμάτωσή του, ο τύπος του κάθε στρώματος, και ιδιαίτερα τα θερμικά χαρακτηριστικά του (θερμοχωρητικότητα, θερμική διαπερατότητα), η Πυκνότητα, η υγρασία του και η ετήσια διακύμανση αυτής, καθώς και η θερμοκρασία του θερμικά αδιατάρακτου υπεδάφους. Τα δεδομένα αυτά είναι απαραίτητα, και κάθε υπολογιστική μέθοδος απαιτεί τη γνώση τους. Το απαιτούμενο βάθος γεώτρησης, το πλήθος των γεωτρήσεων και συνακόλουθα το κόστος της εγκατάστασης είναι άμεση συνάρτηση των χαρακτηριστικών του εδάφους, εντούτοις, αυτά δεν είναι συνήθως διαθέσιμα στον μελετητή, οπότε και απαιτείται, είτε πειραματικός προσδιορισμός τους, είτε παραδοχή συντηρητικών τιμών. Ενδεικτικά, αναφέρεται πως η θερμική διαπερατότητα αμμόδους εδάφους κυμαίνεται μεταξύ  $3,1 \div 7,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Ο συντηρητικός μελετητής θα επιλέξει μία τιμή σχεδιασμού πλησιέστερα στην ελάχιστη τιμή  $3,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , αν και το κόστος επιπλέον γεωτρήσεων ενδέχεται τελικά να μη δικαιολογεί τεχνοοικονομικά την επιλογή ΣΗΓ από ένα συμβατικό σύστημα.

## **Μεθοδολογία ASHRAE**

### **Γενικά**

Η μεθοδολογία της ASHRAE, (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) όπως αναπτύσσεται από τους Kavanaugh, S.P. and K. Rafferty. (1997), στηρίζεται στη θεωρία της κυλινδρικής πηγής των Carslaw & Jaeger, η οποία θεωρείται καταλληλότερη για τον υπολογισμό της βραχυχρόνιας συμπεριφοράς του εναλλάκτη από τη θεωρία της γραμμικής πηγής. Η εξίσωση και η λύση της προτάθηκαν από

τον Ingersoll, για τη διαστασιολόγηση γεωθερμικών εναλλακτών στις περιπτώσεις που η θεωρία γραμμικής πηγής θα μπορούσε να παρουσιάσει σφάλμα.

Η θερμική συμπεριφορά ενός κατακόρυφου γεωθερμικού εναλλάκτη είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ποσότητα θερμότητας που έχει ήδη απορριφθεί ή απορροφηθεί από το έδαφος. Μπορεί να περάσουν πολλά χρόνια πριν αναπτυχθούν ακραίες θερμοκρασίες, ιδιαίτερα σε συστοιχίες γεωτρήσεων. Καθώς πρόκειται για συστήματα με αρκετά υψηλότερο κόστος εγκατάστασης από τα συμβατικά, απαιτείται η αξιολόγησή τους για μεγάλο χρόνο λειτουργίας.

### **Εξισώσεις Απαιτούμενου Μήκους Γεωτρήσεων**

Η μέθοδος του Ingersoll μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βραχυχρόνιες διακυμάνσεις. Χρησιμοποιεί τον ακόλουθο τύπο σταθερής κατάστασης:

$$q = L (T_g - T_w) / R \quad \{ \text{Εξίσωση B1} \}$$

όπου:

L : απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων [m]

q : ρυθμός συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος [W]

R : θερμική αντίσταση εδάφους – εναλλάκτη [ $m^2 K/W$ ]

T<sub>g</sub> : θερμοκρασία αδιατάρακτου εδάφους [°C]

T<sub>w</sub> : μέση θερμοκρασία εισόδου - εξόδου νερού στην αντλία θερμότητας [°C]

Η εξίσωση {B1} αναδιατάσσεται ως προς το απαιτούμενο συνολικό μήκος γεωτρήσεων (L). Η εξίσωση σταθερής κατάστασης μπορεί να μετασχηματιστεί ώστε να αναπαριστά και μεταβαλλόμενους ρυθμούς θερμότητας γεωθερμικών εναλλακτών με τη χρήση θερμικών παλμών. Η θερμική αντίσταση του εδάφους ανά μέτρο μήκους (βάθους) γεώτρησης υπολογίζεται συναρτήσει του χρόνου εφαρμογής του συγκεκριμένου θερμικού παλμού. Περιλαμβάνεται επίσης και ένας όρος για την θερμική αντίσταση των σωληνώσεων του εναλλάκτη μεταξύ του ρευστού, των σωληνώσεων και του εδάφους. Η προκύπτουσα εξίσωση παίρνει τις ακόλουθες μορφές:

$$L_{c/h} = \{q_a R_{ga} + [q_{lc/h} - \dot{W}_{c/h}] [R_b + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{sc}]\} / \{T_g - (T_{wic/h} + T_{woc/h})/2 - T_p\} \quad \{ \text{Εξίσωση B2} \}$$

όπου ο δείκτης c ή h, αφορά μήκη και φορτία ψύξης και θέρμανσης αντίστοιχα, και:

L<sub>c</sub> : απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων για ψύξη [m]

L<sub>h</sub> : απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων για θέρμανση [m]

q<sub>a</sub> : καθαρός ετήσιος ρυθμός συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος [W]

R<sub>ga</sub> : ισοδύναμη θερμική αντίσταση εδάφους σε ετήσιο παλμό [ $m^2 K/W$ ]

q<sub>lc</sub> : φορτίο αιχμής ψύξης [W]

q<sub>lh</sub> : φορτίο αιχμής θέρμανσης [W]

W<sub>c</sub> : καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς αντλίας θερμότητας σε ψύξη [W]

W<sub>h</sub> : καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς αντλίας θερμότητας σε θέρμανση [W]

$R_b$  : θερμική αντίσταση πυρήνα γεώτρησης [ $m^2K/W$ ]

$PLF_m$  : συντελεστής μερικού φορτίου το μήνα σχεδιασμού

$R_{gm}$  : ισοδύναμη θερμική αντίσταση εδάφους σε μηνιαίο παλμό [ $m^2K/W$ ]

$R_{gd}$  : ισοδύναμη θερμική αντίσταση εδάφους σε ημερήσιο παλμό [ $m^2K/W$ ]

$F_{sc}$  : συντελεστής απωλειών θερμικού βραχυκυκλώματος σωληνώσεων εισόδου - εξόδου μίας γεώτρησης

$T_g$  : θερμοκρασία αδιατάρακτου εδάφους [ $^{\circ}C$ ]

$T_{wi}$  : θερμοκρασία εισόδου νερού στην αντλία θερμότητας [ $^{\circ}C$ ]

$T_{wo}$  : θερμοκρασία εξόδου νερού από αντλία θερμότητας [ $^{\circ}C$ ]

$T_p$  : θερμοκρασία ποινή ολόκληρου του εναλλάκτη (λόγω επαλληλίας όμορων γεωτρήσεων) [ $^{\circ}C$ ]

Σημείωση: Οι ρυθμοί μεταφοράς θερμότητας θεωρούνται θετικοί για θέρμανση και αρνητικοί για ψύξη.

Η εξίσωση {B2} χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικούς θερμικούς παλμούς για την αξιολόγηση της μακροπρόθεσμης ανισορροπίας ( $q_a$ ), το μέσο φορτίο του μήνα σχεδιασμού( $q_m$ ) και της ημερήσιας αιχμής ( $q_d$ ). Η ημερήσια αιχμή μπορεί να εκτιμηθεί σε ωριαία βάση, αλλά προτιμότερη είναι η τετράωρη.

Το επιλεγόμενο μήκος γεώτρησης είναι το μεγαλύτερο από τα  $L_c$  και  $L_b$ . Εάν το απαιτούμενο μήκος για ψύξη είναι μεγαλύτερο από αυτό για θέρμανση, τότε το όφελος του υπερδιαστασιολογημένου, για θέρμανση, εναλλάκτη θα είναι το μικρότερο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης το χειμώνα. Μία δεύτερη επιλογή; είναι η κατασκευή εναλλάκτη στο απαιτούμενο για θέρμανση μήκος, και η χρήση πύργου ψύξης σε σειρά με το κύκλωμα του γεωθερμικού εναλλάκτη το καλοκαίρι.

### **Θερμική Αντίσταση Σωληνώσεων**

Οι εξισώσεις σχεδιασμού γεωθερμικών εναλλακτών περιέχουν τέσσερις όρους θερμικής αντίστασης ανά μέτρο μήκους γεώτρησης και όχι ανά μέτρο μήκους σωληνώσεων. Τρεις από αυτούς αφορούν τη θερμική συμπεριφορά του εδάφους. Έχουν τη μορφή εξισώσεων σταθερής κατάστασης, αλλά, στην ουσία, προέρχονται από τις μεταβατικές καταστάσεις που προηγούνται των αιχμών του συστήματος. Ο υπολογισμός των τιμών αυτών θα αναπτυχθεί αργότερα. Ο τέταρτος όρος είναι η ισοδύναμη θερμική αντίσταση του πυρήνα της γεώτρησης ( $R_b$ ). Ο πυρήνας, δηλαδή οι σωληνώσεις, το περιεχόμενό τους ρευστό και το υλικό πλήρωσης της γεώτρησης, έχουν ελάχιστη θερμική μάζα σε σχέση με το υπόλοιπο, υπό σχεδίαση, γεωθερμικό σύστημα. Για το λόγο αυτό η θερμική συμπεριφορά τους μπορεί με ασφάλεια να θεωρηθεί σταθερή. Οι τιμές του μπορούν να βρεθούν είτε από πίνακες, για δεδομένους τύπους σωληνώσεων, είτε αναλυτικά, ως άθροισμα των αντιστάσεων θερμικής ροής του πλαστικού σωλήνα (για  $Re > 4000$ ) και υλικού πλήρωσης της γεώτρησης.

### Θερμικές Ιδιότητες Εδάφους

Η αντίσταση του εδάφους στη θερμική ροή μπορεί να γίνει ιδιαίτερα σύνθετη λόγω των διακυμάνσεων στα εδάφη, αλλά και στο τρόπο λειτουργίας των εγκαταστάσεων που συναλλάσσονται θερμικά μαζί τους. Η εκτίμηση των θερμικών ιδιοτήτων εδαφών είναι εργασία απαραίτητη μεν εδώ, αλλά ελάχιστα διαδεδομένη στους μηχανικούς. Αρκετές εργασίες έχουν δημοσιευθεί σχετικά με το θέμα και τα απαιτούμενα μεγέθη μπορεί να ληφθούν από σχετικούς πίνακες. Δυστυχώς, οι διακυμάνσεις των μεθόδων μέτρησης και των μετρούμενων μεγεθών είναι σημαντικότερες. Η σύσταση του εδάφους βρίσκεται με κοσκίνισμα δείγματος μέσω κόσκινων ολοένα και αυξανόμενης κόκκωσης. Απουσία άλλης μεθόδου, οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους βρίσκονται από το μίγμα των επιμέρους συστατικών του, δηλαδή αργίλου, άμμου και πετρωμάτων. Μία απλή μέθοδος υπολογισμού της θερμικής αγωγιμότητας άμμου και αργίλου οφείλεται στον Kersten ο οποίος έδωσε τις σχετικές εξισώσεις.

Η θερμική διάχυση είναι πιο ευαίσθητη στην περιεχόμενη υγρασία καθώς η ειδική θερμότητα του νερού 4,1868 kJ/kg K είναι τέσσερις έως πέντε φορές υψηλότερη από αυτή των τυπικών εδαφών. Η θερμική διάχυση  $\alpha$ , η θερμική αγωγιμότητα  $k$ , η ειδική θερμότητα  $c_p$  και η πυκνότητα  $\rho$  ενός υλικού συνδέονται τον ακόλουθο τύπο:

$$\alpha = k / c_p \times \rho \text{ \{Εξίσωση B3\}}$$

Τόσο η ειδική θερμότητα όσο και η πυκνότητα ξηρού εδάφους πρέπει να διορθωθούν για την περιεχόμενη υγρασία. Οι πλέον δύσκολοι στον υπολογισμό τους όροι της εξίσωσης {B2} είναι οι τρεις θερμικές αντιστάσεις εδάφους. Οι λύσεις των Carslaw & Jeager απαιτούν τη σύνδεση του χρόνου λειτουργίας  $t$ , της εξωτερικής διαμέτρου της σωλήνας  $d$ , και της θερμικής διάχυσης  $\alpha$  μέσω ενός αδιάστατου αριθμού Fourier ( $Fo$ )

$$Fo = 4 \times \alpha_g \times t / d^2 \text{ \{Εξίσωση B4\}}$$

Η μέθοδος των Carslaw & Jeager τροποποιήθηκε από τον Eskilson, για να επιτρέπει τον υπολογισμό των ισοδύναμων θερμικών αντιστάσεων για μεταβαλλόμενους θερμικούς παλμούς. Θεωρείται ένα σύστημα το οποίο μοντελοποιείται μέσω τριών παλμών: ενός υπερετήσιου (συνήθως δεκαετούς) εύρους  $q_a$ , ενός μηνιαίου εύρους  $q_m$ , και ενός εξαώρου εύρους  $q_d$ . Ορίζονται οι ακόλουθοι τρεις χρόνοι:

$$t_1 = 3.650, t_2 = 3.650 + 30 = 3.680 \text{ και } t_f = 3.650 + 30 + 0,25 = 3.680,25$$

Κατόπιν υπολογίζονται οι αντίστοιχοι τρεις αριθμοί Fourier:

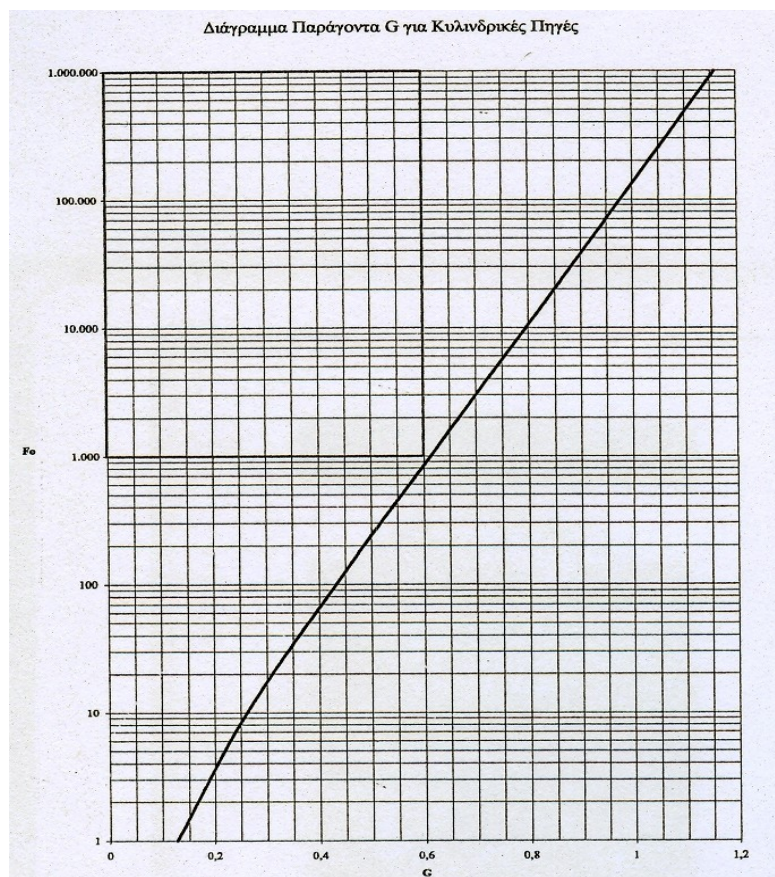
$$Fo_f = 4\alpha t / d^2, Fo_1 = 4\alpha(t_f - t_1) / d^2 \text{ και } Fo_2 = 4\alpha(t_f - t_2) / d^2 \text{ \{Εξίσωση B5\}}$$

Στη συνέχεια, από το γράφημα του σχήματος B.13, βρίσκεται ο αντίστοιχος παράγοντας  $G$  για κάθε μία από τις τιμές Fourier. Τελικά, οι ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις, για κάθε θερμικό παλμό, βρίσκονται από:

$$R_{ga} = (G_f - G_1) / k_g, R_{gm} = (G_1 - G_2) / k_g, R_{gd} = G_2 / k_g \text{ \{Εξίσωση B6\}}$$

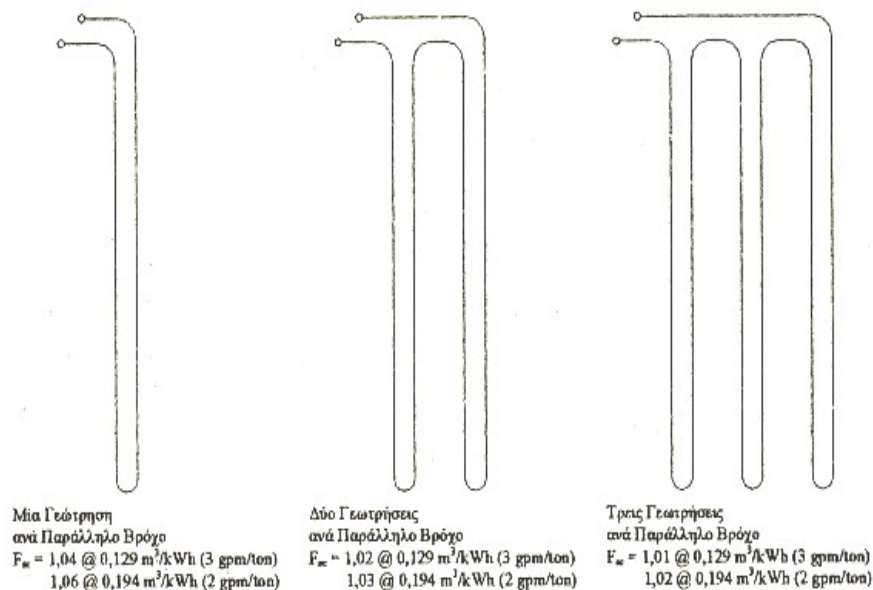


και αντικαθίστανται στην εξίσωση {B2}.



Σχήμα Β.15  
Γράφημα Παράγοντα G και Αριθμού Fourier  
(Πηγή: Σιμιτόπουλος Χρήστος, Βραχόπουλος Μιχάλης, 2005)

Λόγω του θερμικού βραχυκυκλώματος μεταξύ του ανερχόμενου και του κατερχόμενου κλάδου της γεώτρησης παρουσιάζεται μείωση της απόδοσης του εναλλάκτη. Η μείωση αυτή είναι της τάξης του 4% για ροές της τάξης των  $0,258 \text{ m}^3/\text{kWh}$ . Οι απώλειες αυτές μπορούν να ληφθούν υπόψη πολλαπλασιάζοντας την ημερήσια ισοδύναμη θερμική αντίσταση ( $q_d$ ) με 1,04. Οι απώλειες αυτές μειώνονται σημαντικά εάν χρησιμοποιηθούν δύο ή και τρεις γεωτρήσεις σε σειρά, ανά παράλληλο κύκλωμα. Τούτο μπορεί να επιτευχθεί σε μεγαλύτερες διατομές σωληνώσεων οι οποίες δεν εμφανίζουν μεγάλες πτώσεις πίεσης σε μεγάλες γεωτρήσεις. Για παράδειγμα, συνίσταται η χρήση σωληνώσεων  $1\frac{1}{2}$ " για κυκλώματα μήκους  $180 \div 240 \text{ m}$ . Μεγαλύτερα μήκη θα εμφανίσουν υπερβολική πτώση πίεσης και σε μικρότερα πιθανόν να εκδηλωθεί στρωτή ροή. Αν και είναι δύσκολη η τοποθέτηση σωλήνα  $1\frac{1}{2}$ " σε γεώτρηση  $180 \text{ m}$ , είναι ευκολότερη η τοποθέτησή του σε δύο γεωτρήσεις των  $90 \text{ m}$  ή τρεις των  $60 \text{ m}$ . Στις τελευταίες αυτές περιπτώσεις, οι απώλειες λόγω θερμικού βραχυκυκλώματος μειώνονται.



Σχήμα Β.16

Πιθανές Συνδέσεις Γεωτρήσεων Και αντίστοιχοι Συντελεστές Βραχυκυκλώματος  
(Πηγή: Σιμιτόπουλος Χρήστος, Βραχόπουλος Μιχάλης, 2005)

### **Ρυθμοί Μεταφοράς Θερμότητας**

Ο συντελεστής μερικού φορτίου μηνός σχεδιασμού ( $PLF_m$ ) βρίσκεται από πληροφορίες μέσα από την επίλυση των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του κτιρίου.

$PLF_m = \{ \Sigma(\text{φορτίο} \times \text{ώρες}) / (\text{Φορτίο αιχμής} \times 24\text{h}) \} / \text{Ημέρες λειτουργίας στο μήνα} / \text{Ημέρες του μήνα} \{ \text{Εξίσωση B7} \}$

Το γινόμενο φορτίου-ωρών μπορεί να υπολογιστεί σε ωριαία βάση αλλά συνίσταται η χρήση του μέσου τετράωρου φορτίου για μείωση των υπολογισμών.

Ο καθαρός ετήσιος ρυθμός συναλλαγής θερμότητας με το έδαφος ( $q_a$ ) υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο για ολόκληρο το έτος. Η ετήσια συνολική απόρριψη θερμότητας προς το έδαφος εισάγεται ως αρνητικός αριθμός και πρέπει να περιέχει τη θερμότητα που απορρίφθηκε από το συμπιεστή. Η θερμότητα που απορροφήθηκε από το έδαφος κατά την περίοδο θέρμανσης είναι θετικός αριθμός, με τη θερμότητα συμπίεσης αφαιρούμενη, δεδομένου ότι κατά την περίοδο θέρμανσης, η θερμότητα αυτή αποδίδεται προς το κριτήριο. Η εξίσωση παίρνει την ακόλουθη μορφή:

$$q_a = \{ \{ \Sigma q_{lc} \times \{ [(COP_{\text{θέρμανσης}} + 1) / COP_{\text{θέρμανσης}}] \times h_c \} \} + \Sigma q_{lh} \times [(COP_{\text{ψύξης}} - 1) / COP_{\text{ψύξης}} \times h_h] \} / (8760 \text{ h} / \text{έτος}) \{ \text{Εξίσωση B8} \}$$

Σημείωση: COP: (Coefficient of Performance – Συντελεστής Συμπεριφοράς) είναι ο αδιάστατος λόγος της αποδιδόμενης θερμικής ισχύος προς την καταναλισκόμενη.

Φορτία αιχμής ψύξης  $q_{lc}$  και θέρμανσης  $q_{lh}$  του συστήματος: Οι τιμές των ωρών θα πρέπει να εκτιμηθούν, ενώ γενικά η επίδραση αυτού του όρου στο τελικό μήκος του εναλλάκτη είναι σχετικά μικρή.

Προσοχή πρέπει να δοθεί στην απόδοση των φορτίων της κάθε ζώνης, εάν η εγκατάσταση έχει πολλαπλές, χωριστές γεωτρήσεις ανά ζώνη ή ζώνες. Πρέπει να προσδιοριστεί η απορροφούμενη ισχύς της ή των αντλιών θερμότητας στο φορτίο αιχμής του συστήματος. Αυτό μπορεί να γίνει με άθροιση των γινομένων μερικών φορτίων επί την απορροφούμενη ισχύ στην αιχμή, για κάθε αντλία θερμότητας συνδεδεμένης στον γεωθερμικό εναλλάκτη.

$$\hat{W} = \sum PLF_m \times W_c. \quad \{\text{Εξίσωση B9}\}$$

### **Θερμοκρασίες Γεωθερμικών Συστημάτων**

Η θερμοκρασία αδιατάρακτου εδάφους ( $T_g$ ) μπορεί να βρεθεί από οποιαδήποτε αρχή είναι αρμόδια για την τήρηση της νομιμότητας σε θέματα γεωτρήσεων ή από μετρήσεις σε γεωτρήσεις και πηγάδια της περιοχής.

Η θερμοκρασία νερού εισόδου στην αντλία θερμότητας ( $T_{wi}$ ) είναι κρίσιμη επιλογή. Μία τιμή πολύ κοντά σε αυτή του εδάφους θα οδηγήσει σε πολύ μεγάλο μέγεθος εναλλάκτη με πολλές και βαθιές γεωτρήσεις και αδικαιολόγητα υψηλό κόστος. Αντίθετα η επιλογή μίας τιμής αρκετά μακριά από αυτή του εδάφους θα οδηγήσει μεν στη σχεδίαση ενός μικρού εναλλάκτη, αλλά οι αντλίες θερμότητας θα έχουν μικρή απόδοση στη θέρμανση και μεγάλη κατανάλωση στη ψύξη. Συνίσταται η επιλογή των θερμοκρασιών εισόδου στην αντλία θερμότητας να είναι  $11 \div 16,5^\circ\text{C} > T_g$  για εφαρμογές ψύξης και  $5,5 \div 11^\circ\text{C} < T_g$  για θέρμανση, ώστε να υπάρχει μία καλή σχέση του αρχικού με το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.

Η θερμοκρασία εξόδου νερού από την αντλία θερμότητας ( $T_{wo}$ ) είναι συνάρτηση της παροχής, της ψυκτικής ή / και θερμικής ισχύος και της απορροφούμενης ισχύος.

$$T_{wo} (^{\circ}\text{C}) = T_{wi} (^{\circ}\text{C}) - \{[q(\text{Watts}) + \hat{W}(\text{Watts})] / 1.61,318 \times Q_w (\text{m}^3 / \text{h})\} \quad \{\text{Εξίσωση B10}\}$$

Η τιμή που θα αντικαταστήσει το  $q$  μπορεί να είναι το φορτίο αιχμής είτε της θέρμανσης είτε της ψύξης, τηρούμενου του ορθού πρόσημου (+ για θέρμανση και - για ψύξη). Ο συντελεστής 1.161,318 αφορά την ειδική θερμότητα του νερού, την πυκνότητά του και τη μετατροπή του σε  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Η θερμοκρασιακή ποινή ( $T_p$ ), αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης όμορων γεωτρήσεων, και της μείωσης της συνολικής απόδοσης του γεωθερμικού εναλλάκτη λόγω αυτών. Και εδώ ο μελετητής έχει να επιλέξει μία απόσταση κανάβου η οποία δεν θα καταλαμβάνει άσκοπα μεγάλη έκταση στο οικόπεδο του έργου αλλά. Και δε θα μεγαλώνει εξίσου άσκοπα το απαιτούμενο συνολικό μήκος γεωτρήσεων ( $L_c$  ή  $L_h$ ; Η συνιστώμενη πρακτική της εφεύρεσης του  $T_p$  είναι η αρχική υπόθεση μίας λογικής τιμής ( $\pm 0,5+2,5^\circ\text{C}$  για 10ετή περίοδο) για την πρώτη επίλυση της εξίσωσης {B2}, και στη συνέχεια η επίλυση εκ νέου της θερμοκρασιακής ποινής, εφόσον καταλήξει στη διάταξη μεταξύ των γεωτρήσεων.

Η επίλυση της γραμμικής θερμικής πηγής, η οποία χρησιμοποιείται για την επίλυση ΣΗΓ, είναι ένας τρόπος υπολογισμού της θερμοκρασιακής ποινής. Για τον υπολογισμό της

πολυετούς θερμικής επίδρασης μίας γεώτρησης χρησιμοποιείται μόνον ο καθαρός ετήσιος ρυθμός συναλλαγής της θερμότητας με το έδαφος ( $q_a$ ). Εάν μία γεώτρηση περιβάλλεται από άλλες, δε μπορεί να διαχύσει θερμότητα ανεπηρέαστα πέρα από το μισό της απόστασης μεταξύ των γεωτρήσεων.

Η κίνηση των υπογείων υδάτων έχει μεγάλη επίδραση στη μακροχρόνια συμπεριφορά των γεωθερμικών εναλλακτών, ιδιαίτερα για πυκνούς κανάβους. Η ακριβής συμπεριφορά του φαινομένου είναι δύσκολο να παρατηρηθεί και να μελετηθεί. Ο μελετητής πρέπει να κάνει παραδοχές της συμπεριφοράς αυτής, η οποία κυμαίνεται από την ελάχιστη κίνηση υπογείων υδάτων σε αργιλικό έδαφος μέχρι την ισχυρή κίνηση υδάτων σε πορώδη εδάφη.

Η διακύμανση αυτή διαπιστώνεται υποθέτοντας πως δεν διαχέεται θερμότητα έξω από το κυλινδρικό πρίσμα που περιβάλλει τη γεώτρηση με πλευρές μήκους  $d_{sep}$ . Η διαχεόμενη θερμότητα υπολογίζεται με τη χρήση της επίλυσης γραμμικής θερμικής πηγής, οπότε και η θερμοκρασιακή διαφορά του εδάφους που περιβάλλει τη γεώτρηση βρίσκεται από:

$$T_{pl} = Q_{αποθηκευμένη} / (\rho \times c_p \times d_{sep}^2 \times L) \quad \{Εξίσωση B11\}$$

Το ποσό της θερμότητας που διαχέεται πέραν του κυλινδρικού πρίσματος προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας τη διαφορά μεταξύ της κανονικής θερμοκρασίας εδάφους γύρω από τη γεώτρηση με τη θερμοκρασία του αδιατάρακτου εδάφους.

Έστω κανάβος κατακόρυφων γεωτρήσεων διαστάσεως 6 m. Ένα κυλινδρικό πρίσμα πλευράς 6 m πρέπει να αποθηκεύσει όλη τη θερμότητα που κανονικά θα διαχέονταν πέραν από αυτήν την απόσταση. Η επίδραση του μηνιαίου θερμικού παλμού είναι μικρή σε αυτήν την απόσταση. Εντούτοις, η ετήσια ανισορροπία μπορεί να προκαλέσει θερμοκρασιακή μεταβολή αρκετών βαθμών. Για τον υπολογισμό του μεγέθους αυτού χρησιμοποιείται η επίλυση της γραμμικής θερμικής πηγής για να βρεθεί η θερμοκρασιακή μεταβολή 3,3 m από τη γεώτρηση μετά από 10 έτη λειτουργίας. Το ποσό της θερμότητας που αποθηκεύτηκε σε κοίλο κύλινδρο εσωτερικής διαμέτρου 3 m και εξωτερικής 3,6 m μπορεί να βρεθεί από τον πολλαπλασιασμό της θερμοκρασιακής μεταβολής στα 3,3 m από τη γεώτρηση με την ικανότητα θερμικής αποθήκευσης του εδάφους (πυκνότητα επί ειδική θερμοχωρητικότητα επί όγκο). Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για την υπόλοιπη σειρά κοίλων κυλίνδρων μέχρι την απόσταση των 7,6 έως 9 m. Σε αυτή την απόσταση η θερμότητα έχει διαχυθεί πλήρως με τη βοήθεια των υπογείων υδάτων. Η αποθηκευμένη θερμότητα της εξίσωσης {B11} βρίσκεται με την άθροιση των συνόλων όλων των κοίλων κυλίνδρων:

$$Q_{αποθηκευμένη} = \sum [\rho \times c_p \times \pi \times L \times (r_o^2 - r_i^2 \times \Delta T_r)] \quad \{Εξίσωση B12\}$$

Η εφαρμογή της λύσης γραμμικής θερμικής πηγής είναι παρόμοια με της κυλινδρικής θερμικής πηγής. Ένας αδιάστατος όρος χρησιμοποιείται για τη συσχέτιση της θερμικής

διάχυσης εδάφους ( $\alpha$ ), χρόνο εφαρμογής ( $t$ ) και απόσταση από τη γραμμική πηγή ( $r$ ). Ο Ingersoll χρησιμοποιεί τον όρο:

$$X = r / [2\sqrt{(\alpha t)}] \quad \{\text{Εξίσωση B13}\}$$

Η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας αδιατάρακτου εδάφους και θερμοκρασίας σε απόσταση  $r$  από τη γεώτρηση είναι:

$$\Delta T_r = [q_a I(X_a)] / [2\pi k_g x L] \quad \{\text{Εξίσωση B14}\}$$

Όπου  $I(X)$  το εκθετικό ολοκλήρωμα.

Η θερμοκρασιακή ποιινή εναλλάκτη  $T_p$  καθορίζεται με βάση τη γειτνίαση κάθε γεώτρησης με μία, δύο, τρεις ή τέσσερις άλλες γεωτρήσεις:

$$T_p = [(N_4 + 0,5 \times N_3 + 0,25 \times N_2 + 0,1 \times N_1) / \text{Σύνολο γεωτρήσεων}] \times T_{pl} \quad \{\text{Εξίσωση B15}\}$$

όπου  $T_{pl}$  (από εξίσωση {B11}) είναι η θερμοκρασιακή ποιινή περικλειστης γεώτρησης, και  $N_4 + N_1$  είναι το πλήθος των γεωτρήσεων που γειτνιάζουν με τέσσερις, τρεις, δύο ή μία γεώτρηση όπως φαίνεται από το δείκτη. Οι συντελεστές βαρύτητας που χρησιμοποιήθηκαν στην εξίσωση {B15} αντικατοπτρίζουν το γεγονός της όλο και μεγαλύτερης διάχυσης σε γεωτρήσεις με όλο και λιγότερους «γείτονες».

### **Ανάλυση Ευαισθησίας**

Προκειμένου να δοθεί μία ποιοτική εικόνα της επίδρασης κάθε μίας των βασικών παραμέτρων, εξετάστηκε η μεταβολή στο υπολογισμένο μήκος γεωτρήσεων που θα προκαλούν οι ακόλουθες αλλαγές:

Χρησιμοποίηση μικρότερων σωληνώσεων γεωθερμικού εναλλάκτη (3/4", 1 και 1/4" αντί 1 1/2"). Κάναβος 4,5 x 4,5 έως και 7,5 x 7,5 m για τις εξής διατάξεις 30 γεωτρήσεων 5x6, 3 x 10, 2 x 15 και 1 x 30.

Υπόθεση ισχυρής κίνησης υπογείων υδάτων, δηλαδή ετήσιου αντί δεκαετούς χρονικού ορίζοντα θερμικού κορεσμού εδάφους.

Μεταβολή του φορτίου θέρμανσης από 0 έως την τιμή που εξισώνει τα απαιτούμενα μήκη εναλλακτών για ψύξη - θέρμανση

Διερευνήθηκε επίσης ποια σχέση τιμών θερμοδιαπερατότητας - θερμικής διάχυσης κρατάει ίδιο το μήκος του εναλλάκτη.

Τέλος, διερευνήθηκε η σχέση τιμών θερμοδιαπερατότητας - μήκους εναλλάκτη για σταθερό γινόμενο πυκνότητας επί θερμοχωρητικότητα εδάφους.

### **Μικρότερες σωληνώσεις**

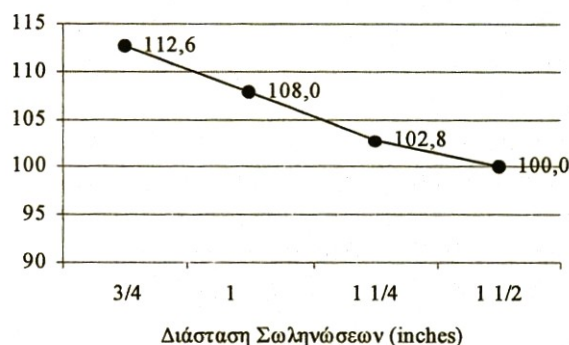
Με τη χρησιμοποίηση μικρότερης διαμέτρου σωληνώσεων, έχουμε και μικρότερη επιφάνεια θερμικής συναλλαγής με το έδαφος ανά τρέχον μέτρο μήκους εναλλάκτη, άρα τελική απαίτηση περισσότερων γεωτρήσεων για την επίτευξη του ίδιου θερμικού αποτελέσματος.



Κρατώντας όλα τα άλλα αρχικά δεδομένα σταθερά, η επίλυση για διαφορετικές σωληνώσεις έδωσε τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στο ακόλουθο διάγραμμα του σχήματος B15.

Εμφανίζεται μία προσαύξηση μήκους γεωτρήσεων 12,6% εάν επιλεγούν σωληνώσεις εναλλάκτη  $\frac{3}{4}$ " έναντι  $1\frac{1}{2}$ ". Η προσαύξηση αυτή στη βιβλιογραφία δίνεται έως και 15%.

%μεταβολή του μήκους (100% για  $1\frac{1}{2}$ ")



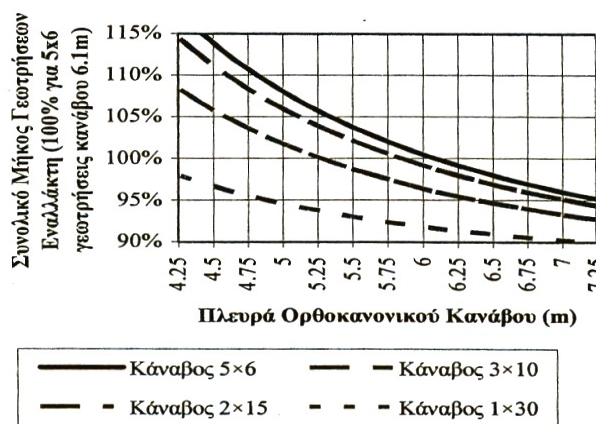
Σχήμα B17

Μήκος Εναλλάκτη ως προς Ονομαστική Διαμέτρο Σωληνώσεων  
(Πηγή: Σιμιτόπουλος Χρήστος, Βραχόπουλος Μιχάλης, 2005)

Σε αυτήν την τάξη μεγέθους θα πρέπει να εκτιμηθεί η σχέση κόστους - οφέλους υλικών και εργατικών δικτύου ως προς αυτό των γεωτρήσεων. Οι ενδιάμεσες διαστάσεις χρησιμοποιούνται ως συμβιβασμός. Τα δίκτυα με μεγαλύτερες διατομές μπορούν να έχουν μεγαλύτερο μήκος ανά γεωθερμικό κύκλωμα.

### Κάναβος 4,5 x 4,5 έως και 7,5 x 7,5 m

Η αρχική επίλυση έγινε για μία διάταξη 30 γεωτρήσεων σε κάναβο 5 x 6 πλευράς 6,1m. Κρατώντας όλα τα άλλα αρχικά δεδομένα σταθερά, η επίλυση για διαφορετικές πλευρές και διατάξεις ορθοκανονικών κανάβων, έδωσε τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στο παραπάνω διάγραμμα.



Σχήμα B18

Μήκος Εναλλάκτη ως προς πλευρά Κανάβου και Διάταξη

Όσο μεγαλύτερη η πυκνότητα των γεωτρήσεων και όσο πιο «τετραγωνισμένη» είναι η διάταξή τους, τόσο μεγαλώνει το απαιτούμενο μήκος εναλλάκτη για το ίδιο θερμικό αποτέλεσμα.

Είναι σαφής η επίδραση, της απόστασης μεταξύ των γεωτρήσεων, στο απαιτούμενο μήκος γεωθερμικού εναλλάκτη και μάλιστα αρκετά έντονη στην περιοχή κάτω των 6 m, το οποίο στη βιβλιογραφία είναι το ελάχιστο ενδεικνυόμενο. Το διάγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της σχέσης κόστους - οφέλους γεωτρήσεων και γηπέδου εγκατάστασης.

Ένα επιπλέον σημαντικό μειονέκτημα της επιλογής «πυκνής» διάταξης είναι κατασκευαστικό. Μία μικρή αλλά και αρκετά πιθανή απόκλιση από την καθετότητα, προκαλεί την κατάληξη του γεωτρύπανου αρκετά μέτρα μακρύτερα από το επιθυμητό σημείο σε μία βαθειά γεώτρηση. Σε μία τέτοια περίπτωση, ακόμα και εάν δεν υπάρξει διάτρηση όμορης γεώτρησης, είναι δεδομένη η μείωση της απόδοσης του γεωθερμικού εναλλάκτη.

### Αλλαγή στον χρονικό ορίζοντα θερμικής διάχυσης

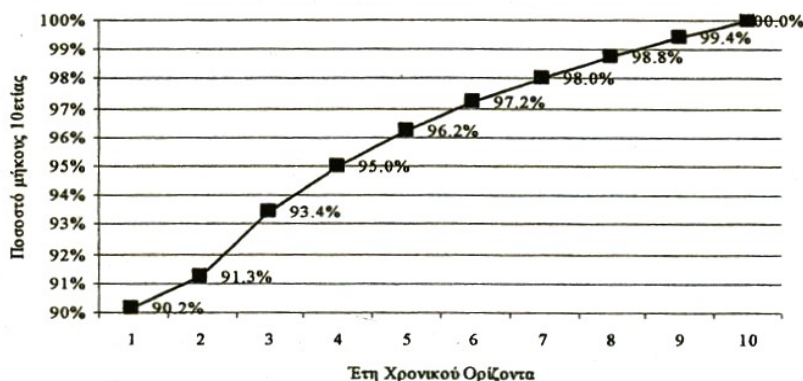
Εάν υποθεθούν υψηλότεροι ρυθμοί κίνησης του νερού στο υπέδαφος, η συσσώρευση θερμότητας σε υπερετήσια βάση, θα μειωθεί. Εξίσου θα μειωθούν η θερμοκρασιακή ποινή, και συνακόλουθα το απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων. Για τον εναλλάκτη που μελετήσαμε, υπολογίστηκε το απαιτούμενο μήκος γεωτρήσεων, εάν ο χρονικός ορίζοντας μεταβάλλονταν από ένα έως και δέκα χρόνια

Από το διάγραμμα φαίνεται πως, εάν είχαμε ισχυρή κίνηση των υπογείων υδάτων, θα μπορούσαμε να εξοικονομήσουμε περίπου 10% σε μήκος γεωτρήσεων.

Στοιχεία Εδάφους:  $k_g : 2,25 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ,  $a_g : 0,070 \text{ m}^2/\text{day}$ ,  $\rho_g : 1.686 \text{ kg/m}^3$

← Πορώδες Έδαφος

Αδιαπέραστο Έδαφος →



Σχήμα B19

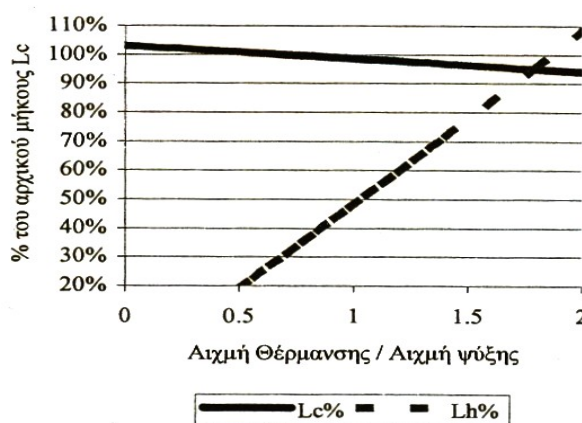
Επίδραση της Κινητικότητας του Υδροφόρου Ορίζοντα στο Μήκος του Εναλλάκτη  
(Πηγή: Σιμιτόπουλος Χρήστος, Βραχόπουλος Μιχάλης, 2005)

### Σχέση μεταβολής μήκους εναλλάκτη για ψύξη λόγω μεταβολής φορτίου θέρμανσης

Υπολογίστηκαν τα μήκη του εναλλάκτη υπό σταθερό ψυκτικό φορτίο και μεταβαλλόμενο θερμικό φορτίο από 0 έως την τιμή που εξισώνει το μήκος εναλλάκτη για ψύξη και για θέρμανση.

Παρατηρείται πως όταν δεν υπάρχει καθόλου φορτίο θέρμανσης (εάν πι εξυπηρετούνταν φορτία επαγγελματικών ψυγείων) ο εναλλάκτης έχει το μέγιστο δυνατό μήκος του.

Αντίθετα όταν τα απαιτούμενα μήκη εναλλακτών είναι ίσα για ψύξη και για θέρμανση τότε είναι και τα μικρότερα δυνατά.



Σχήμα B20

Επίδραση της Μεταβολής του Θερμικού Φορτίου στο Μήκος του Εναλλάκτη

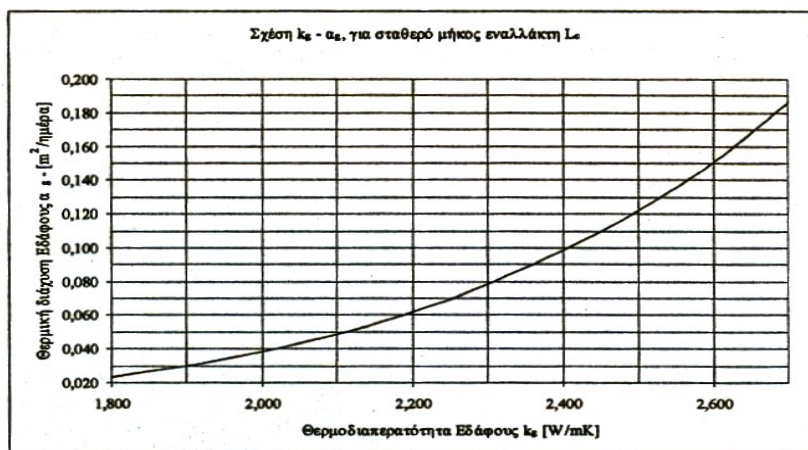
(Πηγή: Σιμιτόπουλος Χρήστος, Βραχόπουλος Μιχάλης, 2005)

### Σχέση τιμών διαπερατότητας ( $k_g$ ) - θερμικής διάχυσης ( $a_g$ ) εδάφους για το ίδιο μήκος εναλλάκτη

Το πρόβλημα επιλύθηκε, ψάχνοντας να βρούμε ποιοι συνδυασμοί διαπερατότητας - θερμικής διάχυσης οδηγούν στον ίδιο εναλλάκτη για την ίδια διάταξη. Από τις λύσεις αυτές προέκυψε ο ακόλουθος πίνακας τιμών:

| $k_g$<br>W / m·K | $a_g$<br>m <sup>2</sup> / day | $\rho c_p$<br>W·h / m <sup>3</sup> ·K | $L_c$<br>m                                    |
|------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1,8              | 0,024                         | 1836                                  | 2125<br>κοινό<br>για<br>κάθε<br>συνδυα<br>σμό |
| 1,913            | 0,031                         | 1487                                  |                                               |
| 2,025            | 0,041                         | 1200                                  |                                               |
| 2,138            | 0,053                         | 966                                   |                                               |
| 2,25             | 0,07                          | 775                                   |                                               |
| 2,363            | 0,091                         | 624                                   |                                               |
| 2,475            | 0,116                         | 514                                   |                                               |
| 2,588            | 0,147                         | 423                                   |                                               |
| 2,7              | 0,186                         | 348                                   |                                               |

Από όπου κατασκευάζεται το ακόλουθο διάγραμμα  $k_g - a_g$ :



Σχήμα Β 21

Σχέση  $k_g - a_g$  για σταθερό μήκος εναλλάκτη  $L$  και από όπου τελικά μπορεί να εξαχθεί ο ακόλουθος τύπος:  $L_a = \text{const.} \rightarrow k_g / (a_g)^{0,19445} = \text{σταθερό} = 3,763 (\text{μονάδες SI})$

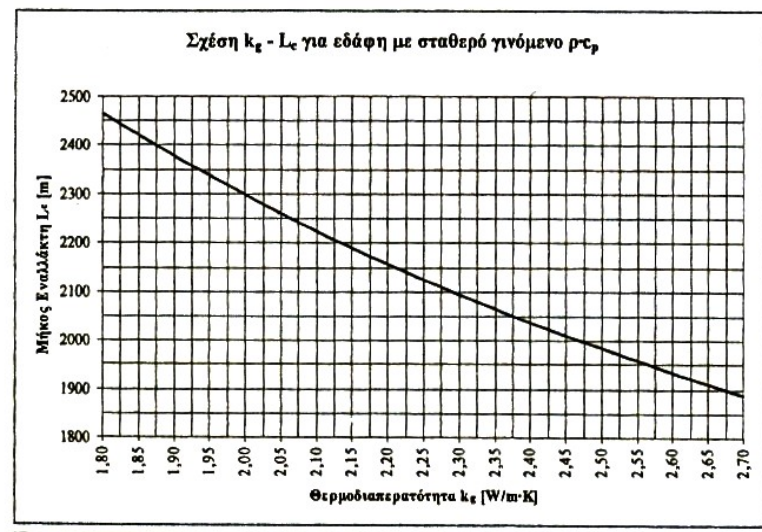
(Πηγή: Σιμιτόπουλος Χρήστος, Βραχόπουλος Μιχάλης, 2005)

### Σχέση μεταβολής μήκους εναλλάκτη για σταθερό γινόμενο πυκνότητας ( $\rho$ ) - ειδικής θερμότητας εδάφους ( $c_p$ )

Επιλύθηκε το ίδιο πρόβλημα κατά τρόπο ώστε το γινόμενο πυκνότητας - θερμοχωρητικότητας εδάφους να παραμένει σταθερό. Από το βασικό τύπο  $k_g / a_g = \rho c_p$  γνωρίζουμε πως για να τηρηθεί αυτός ο περιορισμός αρκεί να διατηρήσουμε σταθερό το πηλίκο θερμοδιαπερατότητας προς θερμική διάχυση. Η επίλυση έδωσε τον ακόλουθο πίνακα αποτελεσμάτων:

| $k_g$<br>W/m·K | $a_g$<br>m <sup>2</sup> /day | $\rho c_p$<br>W·h/m <sup>3</sup> ·K     | $L_c$<br>m |
|----------------|------------------------------|-----------------------------------------|------------|
| 1,8            | 0,056                        | 775<br>κοινό για<br>κάθε συν-<br>δυασμό | 2.465,0    |
| 1,913          | 0,059                        |                                         | 2.367,7    |
| 2,025          | 0,063                        |                                         | 2.278,4    |
| 2,138          | 0,066                        |                                         | 2.198,2    |
| 2,25           | 0,07                         |                                         | 2.125,9    |
| 2,363          | 0,073                        |                                         | 2.058,7    |
| 2,475          | 0,077                        |                                         | 1.997,5    |
| 2,588          | 0,08                         |                                         | 1.940,3    |
| 2,7            | 0,084                        |                                         | 1.888,1    |

Από όπου κατασκευάζεται το ακόλουθο διάγραμμα  $k_g - L_c$ :



Σχήμα Β 22

Σχέση  $k_g - L_g$  για Σταθερή Κατ' Όγκον Θερμοχωρητικότητα Εδάφους  
(Πηγή: Σιμιτόπουλος Χρήστος, Βραχόπουλος Μιχάλης, 2005)

και απ' όπου μπορεί να εξαχθεί ο ακόλουθος τύπος:

$$\rho \times c_p = \frac{k_g}{a_g} = \text{const.} \Rightarrow$$

$$L_{c \text{ νέο}} = L_{c \text{ αρχικό}} \times \left( \frac{k_{g \text{ νέο}}}{k_{g \text{ αρχικό}}} \right)^{-0,659} = L_{c \text{ αρχικό}} \times \left( \frac{a_{g \text{ αρχικό}}}{a_{g \text{ νέο}}} \right)^{-0,659}$$

Ο ανωτέρω μαθηματικός τύπος, αν και προέκυψε για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση, δείχνει την ποιοτική σχέση που μπορεί να έχει η υπόθεση θερμοχωρητικότητας και



διαπερατότητας κατά τον πειραματικό προσδιορισμό των ιδιοτήτων του εδάφους, στο τελικό μήκος του εναλλάκτη.

### **Συμπεράσματα**

Επιγραμματικά θα μπορούσαν να δοθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι επιθυμητές ιδιότητες του εδάφους είναι η όσο το δυνατόν υψηλότερη θερμοδιαπερατότητα ( $k_g$ ) με την όσο το δυνατόν μικρότερη θερμική διάχυση ( $a_g$ ).
- Η ποσοστιαία μεταβολή της θερμοδιαπερατότητας είναι σημαντικότερη από τη ποσοστιαία μεταβολή της θερμικής διάχυσης.
- Η ύπαρξη υψηλού υδροφόρου ορίζοντα είναι ιδιαίτερα ευνοϊκή.
- Για το ίδιο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας, τα αμμώδη εδάφη απαιτούν μικρότερο μήκος γεωτρήσεων από τα αργιλώδη.
- Όσο πιο αμμώδες και υγρό το έδαφος τόσο πιο μικρό μήκος γεωτρήσεων απαιτείται. αντίθετα όσο πιο ξηρό και αργιλώδες, τόσο πιο μεγάλο.
- Το βραχώδες έδαφος είναι ευνοϊκότερο όλων, αλλά δυσανάλογα ακριβό στη διάτρησή του.
- Καθώς οι δαπάνες κατασκευής είναι ευθέως ανάλογες του απαιτούμενου μήκους του εναλλάκτη, η υπερδιαστασιολόγηση κοστίζει περισσότερο από ότι στα συμβατικά συστήματα, άρα οι συντελεστές ασφαλείας στη διαστασιολόγηση πρέπει να είναι πιο συντηρητικοί από ότι στα συμβατικά συστήματα ψύξης - θέρμανσης.
- Το πλέον αδύνατο σημείο στην αλυσίδα των υπολογισμών, βρίσκεται στην ορθή εκτίμηση των θερμικών χαρακτηριστικών του εδάφους, η οποία, αφενός ως πείραμα είναι χρονοβόρο και πολυέξοδο, αφετέρου ως υπόθεση ενέχει απροσδιοριστία που μπορεί, με την χρήση υπερβολικών συντελεστών ασφαλείας, να οδηγήσει στην αρνητική οικονομική αξιολόγηση παρόμοιων εγκαταστάσεων από το στάδιο της προμελέτης.

### **Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Γεωθερμικών Εναλλακτών**

#### **Πλεονεκτήματα**

1. Υψηλός Συντελεστής Απόδοσης και Σταθερή Συμπεριφορά
2. Απλοί Αυτοματισμοί και Εξοπλισμός
3. Χαμηλό Κόστος Συντήρησης
4. Δωρεάν Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης κατά την Περίοδο Ψύξης
5. Δε Χρειάζεται Υπαίθριος Εξοπλισμός

6. Συνεπτυγμένος Μηχανολογικός Εξοπλισμός που Απαιτεί Μικρότερα Μηχανοστάσια
7. Χαμηλές Ενεργειακές Απαιτήσεις
8. Εξαιρετικό Κόστος Κύκλου Ζωής
9. Εξαιρετικές Δυνατότητες Ανάπτυξης

#### **Μειονεκτήματα**

1. Υψηλό Κόστος Αρχικής Εγκατάστασης
2. Απόδοση Εξαρτώμενη από το Γεωθερμικό Εναλλάκτη
3. Μικρός Αριθμός Ειδικευμένων Μελετητών & Εργολάβων

Μειωμένο Κέρδος στις Εταιρείες Εμπορίας Κλιματιστικών, και συνακόλουθα μικρό εμπορικό αντικείμενο και προσπάθεια προώθησής τους.