

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΟΡΥΚΤΩΝ  
Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΘΕΡΜΑΝΣΗ – ΨΥΞΗ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕ**  
**ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.**  
**ΤΕΧΝΙΚΟ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ**  
**ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ.**

**ΘΑΝΟΠΟΥΛΟΥ Ξ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ Καθηγητής (Επιβλέπων)  
Dr. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΑΡΥΤΣΑΣ Προϊστάμενος Γεωθερμίας, Κ.Α.Π.Ε.  
ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ Αναπληρωτής Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ  
Φεβρουάριος, 2008

Στους γονείς μου

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια η επιστημονική κοινότητα στρέφεται στην αναζήτηση τεχνικών αξιοποίησης ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, προκειμένου να μειωθεί η ολοένα αυξανόμενη χρήση συμβατικών καυσίμων και να αντιμετωπιστεί η διαρκής άνοδος της τιμής τους και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Η γεωθερμική ενέργεια ανήκει στις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, καθώς πρόκειται για τη θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης και μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, όπως παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανση χώρων, αγροτικές χρήσεις, υδατοκαλλιέργειες κ.ά. Μέσω των γεωθερμικών εφαρμογών είναι δυνατόν να καλυφθεί μεγάλο μέρος των ενεργειακών απαιτήσεων παγκοσμίως, επιτυγχάνοντας παράλληλα μείωση κόστους εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης, βελτίωση αποδοτικότητας συγκριτικά με συμβατικές μεθόδους, μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> και δημιουργία ευκαιριών ανάπτυξης, εισάγοντας νέες ενεργειακές τεχνολογίες.

Στην Ελλάδα συναντώνται σημαντικές γεωθερμικές πηγές, παρόλα αυτά η αξιοποίησή τους βρίσκεται ακόμα σε χαμηλό ποσοστό. Οι συνηθέστερες εφαρμογές, πλην των λουτροθεραπευτικών σκοπών, αφορούν περιπτώσεις θέρμανσης θερμοκηπίων, ενώ από τις αρχές της περασμένης δεκαετίας ξεκίνησε η χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας για θέρμανση χώρων, ξήρανση αγροτικών προϊόντων και υδατοκαλλιέργειες.

Σκοπός της διπλωματικής είναι να προταθεί ένα σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, το οποίο θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση και ψύξη της ξενοδοχειακής μονάδας Olympia Riviera Resorts της εταιρίας Grecotel, βελτιώνοντας την απόδοση, επιτυγχάνοντας παράλληλα μείωση των εξόδων και της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος, με την υγιή αξιοποίηση του γεωθερμικού πεδίου στην περιοχή της Κυλλήνης, στο νομό Ηλείας.

Γίνεται περιγραφή των συνηθέστερων γεωθερμικών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης χώρων, καθώς και των διαφορετικών ειδών των γεωθερμικών αντλιών, με τη χρήση ενδεικτικών σχημάτων, ούτως ώστε να γίνει πιο συγκεκριμένη η περιγραφή του προτεινόμενου συστήματος. Κατόπιν μελέτης των γεωλογικών και υδρογεωλογικών στοιχείων της περιοχής και υπολογισμού των ενεργειακών αναγκών του ξενοδοχειακού συγκροτήματος προτείνεται ένα διπλό σύστημα υδρογεωτρήσεων το οποίο θα καλύπτει

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

το 82% της απαιτούμενης ενέργειας, σε περιόδους μέσης αιχμής θα παρέχεται επιπλέον 15% της ενέργειας από ένα κλειστό σύστημα κατακόρυφων γήινων εναλλακτών, ενώ σε περιόδους αιχμής το υπόλοιπο 3% θα παρέχεται από το ήδη υπάρχον συμβατικό σύστημα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης κόστους προκύπτει ότι είναι οικονομικά συμφέρουσα τόσο η εγκατάσταση των γεωθερμικών συστημάτων, καθώς επιτυγχάνεται σύντομα και απόσβεση, όσο και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, το οποίο μειώνεται αισθητά. Παρατίθενται συγκριτικοί πίνακες τιμών για το προτεινόμενο και το ήδη υπάρχον σύστημα, καθώς και διαγράμματα που απεικονίζουν τη σύγκριση μεταξύ των συστημάτων, τόσο σε περίπτωση αντικατάστασης προϋπάρχοντος συστήματος όσο και σε νέα εφαρμογή. Στον επίλογο συνοψίζονται τα αποτελέσματα και παρατίθενται οι προτάσεις, όπως αυτά προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Θέρμανση – Ψύξη ξενοδοχειακού συγκροτήματος με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Τεχνικό – οικονομική μελέτη και σύγκριση αποδοτικότητας σε σχέση με συμβατικά καύσιμα», έχει ως αντικείμενο τη γεωλογική, μηχανολογική και ενεργειακή μελέτη εφαρμογής γεωθερμικών αντλιών θερμότητας για τη θέρμανση και την ψύξη της ξενοδοχειακής μονάδας Grecotel Olympia Riviera στην περιοχή της Κυλλήνης, που χαρακτηρίζεται ως περιοχή χαμηλής ενθαλπίας.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω, καθώς και σε θερμά – ξηρά πετρώματα. Η αξιοποίηση αυτής της πηγής ενέργειας θεωρείται ολόένα αυξανόμενη, καθώς συμμετέχει σημαντικά στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο, παρέχοντας δυνατότητες για άμεσες (θέρμανση χώρων, αγροτικές χρήσεις, υδατοκαλλιέργειες, λουτροθεραπεία) και έμμεσες χρήσεις (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας).

Η εφαρμογή που προτείνεται ανήκει στις άμεσες χρήσεις, συγκεκριμένα θέρμανση χώρων, σε περιοχή χαμηλής ενθαλπίας. Με τη χρήση υπολογιστικών φύλλων προγράμματος Microsoft Excel γίνεται οικονομική σύγκριση ανάμεσα στο προτεινόμενο σύστημα και τη χρήση συμβατικών καυσίμων, ενώ μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCAD προκύπτει ένα ενδεικτικό σχεδιάγραμμα που απεικονίζει τον προτεινόμενο εξοπλισμό.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Θεόδωρο Μαρκόπουλο, για την υποστήριξη και τη βοήθειά του, καθώς και τον Dr. Κων/νο Καρύτσα, Γεωλόγο Γεωθερμικό, Προϊστάμενο Γεωθερμίας Κ.Α.Π.Ε., για τις πολύτιμες πληροφορίες, συμβουλές και την καλή συνεργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή κύριο Εμμανουήλ Μανούτσογλου, για τη βοήθειά του και τις συμβουλές του, καθώς και τους καθηγητές κυρίους Ζαχαρία Αγιουτάντη και Σπυρίδωνα Μερτίκα, για τις πολύτιμες οδηγίες ως προς τη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής με τον πρακτικό οδηγό για τη Συγγραφή Τεχνικών Κειμένων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>                                         | <b>1</b>  |
| <b>2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....</b>           | <b>3</b>  |
| 2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....                                                  | 3         |
| 2.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....                                   | 4         |
| 2.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....                                       | 4         |
| 2.4 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....                       | 5         |
| 2.5 ΟΦΕΛΗ .....                                                  | 8         |
| 2.5.1 Περιβαλλοντικά οφέλη.....                                  | 8         |
| 2.5.2 Οικονομικά οφέλη.....                                      | 9         |
| 2.5.3 Κοινωνικά οφέλη .....                                      | 9         |
| 2.6 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....       | 9         |
| 2.6.1 Γεωθερμικά πεδία Ελλάδος.....                              | 9         |
| 2.6.2 Γεωθερμικές Χρήσεις στην Ελλάδα.....                       | 12        |
| 2.6.3 Γεωθερμικό Πεδίο Περιοχής Κυλλήνης – Ηλεία.....            | 14        |
| <b>3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ – ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....</b>       | <b>19</b> |
| 3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....                                                  | 19        |
| 3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΓΩΓΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ... ..       | 19        |
| 3.2.1 Ανοιχτό γεωθερμικό σύστημα .....                           | 19        |
| 3.2.2 Κλειστά γεωθερμικά συστήματα .....                         | 20        |
| 3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΓΑΘ).....          | 24        |
| 3.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ .....               | 27        |
| <b>4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΥΛΛΗΝΗΣ. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ –</b>   |           |
| <b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΟ</b>               |           |
| <b>ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ GRECOTEL.....</b>                 | <b>29</b> |
| 4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....                                                  | 29        |
| 4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....        | 29        |
| 4.2.1 Γεωτεκτονικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής.....          | 29        |
| 4.2.2 Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη της Αδριατικοϊονίου ζώνης..... | 30        |
| 4.2.3. Λιθοστρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής .....           | 31        |
| 4.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....                     | 31        |
| 4.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΙΝΗΤΟΥ .....                                      | 35        |
| 4.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ .....                                      | 36        |
| 4.5.1 Γενικά.....                                                | 36        |
| 4.5.2 Εφαρμογή .....                                             | 37        |
| 4.5.3 Σχεδιασμός .....                                           | 40        |
| <b>5. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....</b>          | <b>46</b> |
| 5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....                                                  | 46        |
| 5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....                                           | 46        |
| 5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....                                           | 50        |
| <b>6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....</b>                                          | <b>53</b> |
| 6.1 ΣΥΝΟΨΗ.....                                                  | 53        |
| 6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....                                               | 53        |

|                                                                                                   |               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>                                                                          | <b>54</b>     |
| Ελληνική Βιβλιογραφία.....                                                                        | 54            |
| Ξένη Βιβλιογραφία.....                                                                            | 54            |
| Ηλεκτρονικές Σελίδες.....                                                                         | 55            |
| Βιβλιογραφικές αναφορές.....                                                                      | 55            |
| <br><b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....</b>                                                                       | <br><b>56</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....</b>                                                                           | <b>56</b>     |
| I.1. Κανονισμός θερμομόνωσης κτηρίων .....                                                        | 56            |
| I.2. Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ – ΚΑΠΕ) ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ ..... | 57            |
| I.2.1 Υποδιαίρεση της χώρας κατά κλιματική ζώνη.....                                              | 57            |
| I.2.2 Κατάταξη πόλεων και περιοχών σε κλιματικές ζώνες .....                                      | 59            |
| I.3. Μέθοδος Strettford, (Μ. Φυτίκας, 2004).....                                                  | 62            |
| I.4 Στοιχεία Διαγραμμάτων Κεφαλαίου 5 .....                                                       | 63            |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ .....</b>                                                                         | <b>65</b>     |
| Π.1 Χάρτης και αεροφωτογραφία ξενοδοχειακού συγκροτήματος.....                                    | 65            |
| Π.2 Φωτογραφίες Ρωμαϊκών Λουτρών Κυλλήνης .....                                                   | 66            |
| Π.3 Γήινοι εναλλάκτες θερμότητας .....                                                            | 69            |
| Π.4 Γεωλογικός χάρτης και τομή περιοχής Χλεμουτσίου .....                                         | 70            |

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

|     |                                                                                                                             |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Χάρτης γεωθερμικών περιοχών της Ελλάδας.....                                                                                | 10 |
| 2.2 | Γεωθερμική εφαρμογή στο Δημαρχείο Πυλαίας, Θεσσαλονίκη.....                                                                 | 12 |
| 2.3 | Γεωθερμική εφαρμογή σε κτήριο του ΕΜΠ, Αθήνα.....                                                                           | 13 |
| 2.4 | Γεωθερμική εφαρμογή στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου, Λεγραινά Αττικής.....                                            | 14 |
| 2.5 | Στρωματογραφική στήλη περιοχής – Υπόμνημα.....                                                                              | 16 |
| 2.6 | Ρωμαϊκά Λουτρά Κυλλήνης, Ηλεία.....                                                                                         | 18 |
| 2.7 | Εγκαταστάσεις Elixir Thalassotherapy Center, Grecotel.....                                                                  | 18 |
| 3.1 | Διάταξη ανοικτού γεωθερμικού συστήματος.....                                                                                | 20 |
| 3.2 | Διάταξη κλειστού γεωθερμικού συστήματος, οριζόντιου γήινου εναλλάκτη.....                                                   | 21 |
| 3.3 | Διάταξη κλειστού γεωθερμικού συστήματος, κατακόρυφου γήινου εναλλάκτη.....                                                  | 22 |
| 3.4 | Διάταξη κλειστού γεωθερμικού συστήματος, λίμνης.....                                                                        | 23 |
| 3.5 | Σχηματική διάταξη αρχής λειτουργίας ΓΑΘ.....                                                                                | 24 |
| 3.6 | Εναλλάκτης συστήματος νερού – αέρα.....                                                                                     | 26 |
| 3.7 | Εναλλάκτης συστήματος νερού – νερού.....                                                                                    | 26 |
| 3.8 | Μονάδα split νερού – αέρα (Water-to-air split type).....                                                                    | 27 |
| 4.1 | Γεωλογικός χάρτης περιοχής, κλίμακας 1:50.000, υπόμνημα σχ. 2.5.....                                                        | 33 |
| 4.2 | Γεωλογική τομή Α-Α' με διεύθυνση Δ-ΝΔ προς Α-ΒΑ, υπόμνημα τομής.....                                                        | 34 |
| 4.3 | Υβριδικός χάρτης Κυλλήνης, Ηλεία (Πηγή: Google map).....                                                                    | 35 |
| 4.4 | Διάγραμμα ροής στο προτεινόμενο σύστημα υδρογεωτρήσεων για τη λειτουργία θέρμανσης του ξενοδοχειακού συγκροτήματος.....     | 41 |
| 4.5 | Διάγραμμα ροής στο προτεινόμενο σύστημα υδρογεωτρήσεων για τη λειτουργία ψύξης του ξενοδοχειακού συγκροτήματος.....         | 42 |
| 4.6 | Ενδεικτικό διάγραμμα διάταξης κατακόρυφων εναλλακτών.....                                                                   | 43 |
| 4.7 | Σχηματικό διάγραμμα των προτεινόμενων εγκαταστάσεων.....                                                                    | 44 |
| 5.1 | Διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ συστημάτων, περίπτωση εγκατάστασης καινούριου συστήματος θέρμανσης – ψύξης.....                  | 51 |
| 5.2 | Διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ συστημάτων, περίπτωση αντικατάστασης συμβατικού συστήματος θέρμανσης – ψύξης από γεωθερμικό..... | 52 |



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Σύγκριση εκπομπών CO <sub>2</sub> για συστήματα άμεσης θέρμανσης χρησιμοποιώντας τη γεωθερμική ενέργεια και τα συμβατικά καύσιμα..... | 8  |
| 4.1 Πίνακας θερμοκρασιακών και άλλων στοιχείων πόλεων.....                                                                                | 37 |
| 4.2 Ταξινόμηση κλιματικών ζωνών.....                                                                                                      | 38 |
| 5.1 Δεδομένα ξενοδοχειακού συγκροτήματος, ισχύς, COP, εξοπλισμός γεωθερμικών συστημάτων.....                                              | 46 |
| 5.2 Ενεργειακή – οικονομική μελέτη για το ανοιχτό σύστημα υδρογεωτρήσεων.....                                                             | 47 |
| 5.3 Ενεργειακή – οικονομική μελέτη για το κλειστό σύστημα κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών θερμότητας.....                              | 47 |
| 5.4 Ενεργειακή – οικονομική μελέτη για το προτεινόμενο συμβατικό σύστημα (λειτουργία σε περιόδους αιχμής).....                            | 47 |
| 5.5 Κέρδη από την υποκατάσταση πετρελαίου και ηλεκτρισμού στο ανοιχτό και στο κλειστό σύστημα.....                                        | 48 |
| 5.6 Συνοπτική οικονομική σύγκριση μεταξύ προτεινόμενου συστήματος και συμβατικού....                                                      | 48 |
| 5.7 Οικονομικά οφέλη προτεινόμενου γεωθερμικού συστήματος.....                                                                            | 49 |
| 5.8 Ανάλυση κόστους προτεινόμενου συστήματος.....                                                                                         | 49 |
| 5.9 Υπολογισμός απόσβεσης με ή χωρίς επιδότηση.....                                                                                       | 51 |

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, της βιομηχανίας και την άνοδο του βιοτικού επιπέδου υπάρχει μια ολοένα αυξανόμενη κατανάλωση ενέργειας. Η επίσης διαρκώς αυξανόμενη χρήση των συμβατικών καυσίμων και η διαρκής άνοδος των τιμών τους έχει οδηγήσει την επιστημονική κοινότητα στην αναζήτηση νέων, όσο το δυνατόν ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης, η οποία προκαλεί τη δημιουργία διαφόρων γεωλογικών φαινομένων σε παγκόσμια κλίμακα. Συνήθως όμως, ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» χρησιμοποιείται σήμερα για να δηλώσει εκείνο το τμήμα της γήινης θερμότητας που μπορεί να ανακτηθεί και να αξιοποιηθεί από τον άνθρωπο.

Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα μέσο (νερό σε υγρή ή αέρια φάση) να «μεταφέρει» τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτήν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι γεωθερμικοί πόροι. Αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχόμενου των γεωθερμικών ρευστών γινόταν ήδη από τις αρχές του 19ου αιώνα. Εκείνη την περίοδο, στην Τοσκάνη της Ιταλίας, και συγκεκριμένα στην περιοχή του Larderello, λειτουργούσε μια χημική βιομηχανία για την παραγωγή βορικού οξέος, η οποία γινόταν με εξάτμιση των βοριούχων νερών μέσα σε σιδερένιους «λέβητες», χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη ξύλα από τα κοντινά δάση. Μεταξύ του 1910 και του 1940, στην περιοχή αυτή της Τοσκάνης ο χαμηλής πίεσης ατμός άρχισε να χρησιμοποιείται για τη θέρμανση βιομηχανικών κτιρίων, κατοικιών και θερμοκηπίων. Εν τω μεταξύ, ολοένα και περισσότερες χώρες άρχισαν να αναπτύσσουν τους γεωθερμικούς τους πόρους σε βιομηχανική κλίμακα. Το 1892, το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλε-θέρμανσης τέθηκε σε λειτουργία στο Boise του Άινταχο των Η.Π.Α.. Το 1928, μια άλλη πρωτοπόρος χώρα στην εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η Ισλανδία, ξεκίνησε επίσης την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών (κυρίως θερμών νερών) για τη θέρμανση κατοικιών. Η επιτυχία αυτής της πειραματικής προσπάθειας έδωσε μια ξεκάθαρη ένδειξη για τη βιομηχανική αξία της γεωθερμικής ενέργειας και σηματοδότησε την έναρξη μιας μορφής εκμετάλλευσης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Larderello αποτέλεσε πράγματι μια εμπορική επιτυχία.

Η γεωθερμική ενέργεια συμμετέχει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο αρκετών περιοχών. Για παράδειγμα, το 2001 η ηλεκτρική ενέργεια που παράχθηκε από γεωθερμικούς πόρους αντιπροσώπευε το 27% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας στις Φιλιππίνες, το 12,4% στην Κένυα, το 11,4% στην Κόστα Ρίκα και το 4,3% στο Ελ Σαλβαδόρ. Η πιο συνηθισμένη μη-ηλεκτρική χρήση της γεωθερμίας παγκόσμια είναι οι αντλίες θερμότητας (heat-pumps) (34,80%) και ακολουθούν η λουτροθεραπεία (26,2%), η θέρμανση χώρων (21,62%), η θέρμανση θερμοκηπίων (8,22%), οι υδατοκαλλιέργειες (3,93%) και οι βιομηχανικές χρήσεις (3,13%) [20].

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η γεωλογική, η μηχανολογική και η ενεργειακή μελέτη εφαρμογής γεωθερμικών αντλιών θερμότητας για τη θέρμανση και ψύξη του ξενοδοχειακού συγκροτήματος Grecotel Olympia Riviera Resorts στην περιοχή Κυλλήνης, καθώς και η συγκριτική μελέτη όσον αφορά την αποδοτικότητα και την οικονομία, σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα.

Αρχικά αναφέρονται στοιχεία σχετικά με τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας και ειδικότερα της γεωθερμικής, ενώ παρατίθενται παραδείγματα εφαρμογών, ιδιαίτερα στην Ελλάδα. Με αναλυτικά σχήματα από ελληνική και ξένη βιβλιογραφία περιγράφονται τα είδη και ο εξοπλισμός των γεωθερμικών συστημάτων και κατόπιν μελέτης για την εφαρμογή στο συγκεκριμένο ξενοδοχειακό συγκρότημα, τόσο με βάση τα γεωλογικά στοιχεία τις περιοχής, όσο και τις ενεργειακές ανάγκες προτείνεται ο βέλτιστος συνδυασμός συστημάτων για την αποδοτικότερη και οικονομικότερη εγκατάσταση. Μέσω ανάλυσης κόστους και συγκριτικών διαγραμμάτων προκύπτουν τα απαραίτητα στοιχεία που καθιστούν την πρόταση συμφέρουσα, τόσο από πλευράς οικονομίας, όσο και απόδοσης.

## 2. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο γίνεται κοινή συνείδηση η ανάγκη μεγαλύτερης αξιοποίησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Αυτό οφείλεται όχι μόνο στο ότι τα συμβατικά ενεργειακά αποθέματα εξαντλούνται, αλλά και στην ανάγκη περιορισμού των δυσμενών επιπτώσεων από την χρήση τους στο περιβάλλον.

Σημαντικές προσπάθειες έχουν γίνει για την ανάπτυξη και την αξιοποίηση αρκετών ειδών ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική, με τη δημιουργία των φωτοβολταϊκών και των ανεμογεννητριών αντίστοιχα, καθώς και η αξιοποίηση της βιομάζας, με τη δημιουργία βιοκαυσίμων. Η γεωθερμική ενέργεια αναδεικνύεται ως μια μορφή ενέργειας αρκετά φιλικότερης προς το περιβάλλον, συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα και σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα μπορεί να καλύψει ποικιλία ενεργειακών αναγκών.

Η γεωθερμία χαρακτηρίζεται από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα ως μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο ρυθμός και η δυνατότητα ενεργειακής επαναφόρτισης ενός γεωθερμικού συστήματος αποτελεί το κρίσιμο κριτήριο στο χαρακτηρισμό ενός πεδίου ως ανανεώσιμο ή όχι. Η συνειδητοποίηση της ανάγκης για χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της περαιτέρω προώθησής τους από μεγάλο τμήμα της κοινωνίας προέρχεται από τους παρακάτω λόγους:

α) Οι ΑΠΕ διαθέτουν σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και σχάσιμα πυρηνικά καύσιμα).

β) Είναι διαθέσιμες λιγότερο ή περισσότερο σε όλες σχεδόν τις περιοχές της γης, είναι δηλαδή περισσότερο «δίκαια» κατανεμημένες από ότι τα συμβατικά καύσιμα, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και των κινδύνων για τη μεταφορά των καυσίμων.

γ) Οι πόροι αυτοί, παρόλη τη μικρή συγκέντρωση που τους χαρακτηρίζει, είναι τεράστιοι και ανεξάντλητοι.

Είναι γεγονός ότι με τις παρούσες τεχνικο-οικονομικές συνθήκες οι ΑΠΕ δεν μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας στο εγγύς μέλλον. Μπορούν όμως να υποκαταστήσουν μερικώς τα συμβατικά καύσιμα, με άμεσες

συνέπειες την ανακούφιση των περιβαλλοντικών πιέσεων από τη χρήση τους και την επιμήκυνση του χρόνου εξάντλησής τους [15].

### 2.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ως γεωθερμικοί πόροι ορίζονται οι ποσότητες της θερμικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και σε προσβάσιμο βάθος, που μπορεί να ανακτηθεί με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας. Το γεωθερμικό δυναμικό αποτελείται από το σύνολο των φυσικών ατμών, των θερμών νερών και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, των οποίων η θερμοκρασία υπερβαίνει τη μέση ετήσια θερμοκρασία της κάθε περιοχής. Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μια φυσική πηγή ενέργειας με γήινη προέλευση, η οποία βρίσκεται σε ένα γεωλογικό χώρο που σχηματίζει στο σύνολό του ένα γεωθερμικό σύστημα.

Σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων διακρίνονται πέντε κατηγορίες συστημάτων:

- α) Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι
- β) Η αβαθής γεωθερμία
- γ) Τα γεωσυμπιεσμένα συστήματα
- δ) Τα συστήματα βαθιών θερμών-ξηρών πετρωμάτων
- ε) Τα μαγματικά συστήματα

Τα κύρια συστατικά ενός γεωθερμικού συστήματος είναι η εστία θερμότητας, ο ταμιευτήρας, το αδιαπέρατο κάλυμμα και η περιοχή επαναφόρτισης.

Το συνηθέστερο κριτήριο για την ταξινόμηση των υδροθερμικών συστημάτων βασίζεται στην ενθαλπία των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία είναι και οι φορείς της θερμότητας στην επιφάνεια της γης από τα θερμά βαθιά πετρώματα. Η ενθαλπία εκφράζει το θερμικό περιεχόμενό τους. Οι γεωθερμικοί πόροι ταξινομούνται σε ρευστά χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας ή θερμοκρασίας [1].

### 2.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Κυριότερος στόχος της γεωθερμίας είναι ο εντοπισμός και η μελέτη των γεωθερμικών περιοχών. Από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάνοιξη

γεωτρήσεων γνωρίζουμε ότι η θερμοκρασία αυξάνεται με το βάθος, ακολουθώντας τη γεωθερμική βαθμίδα, δηλαδή ένα μέσο ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας κατά 30°C ανά km. Σε περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι μεγαλύτερη από τη μέση γήινη έχουμε θετική γεωθερμική ανωμαλία και οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αναζήτηση και αξιοποίηση της Γεωθερμίας. Τέτοιες περιοχές είναι πολλές στον πλανήτη μας και οι περισσότερες βρίσκονται στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών.

Η συστηματική γεωθερμική έρευνα, εκτός από τον εντοπισμό των κατάλληλων περιοχών και σημείων για βαθιές γεωτρήσεις, έχει ιδιαίτερο επιστημονικό και πρακτικό ενδιαφέρον, καθώς προσεγγίζει τις πραγματικές συνθήκες του γεωθερμικού πεδίου. Η γνώση των συνθηκών του πεδίου αποτελεί εργαλείο για την κατανόηση του γεωθερμικού μοντέλου, το οποίο είναι απαραίτητο για το σχεδιασμό και την υλοποίηση της εκμετάλλευσης και της σωστής διαχείρισης του κάθε πεδίου. Εξάλλου η γεωθερμική έρευνα στοχεύει στα ευνοϊκότερα αποτελέσματα με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Η γεωθερμική έρευνα διακρίνεται σε τέσσερα κύρια στάδια:

- α) Γενική επισκόπηση μεγάλης κλίμακας
- β) Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών
- γ) Εντοπισμός-περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων και μελέτη των χαρακτηριστικών
- δ) Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων

### 2.4 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται συνήθως σε ηλεκτρικές και σε άμεσες χρήσεις. Στη δεύτερη κατηγορία γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Τελευταία έχει διαδοθεί σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες η τεχνική της εκμετάλλευσης της θερμότητας των πετρωμάτων σε πολύ μικρά βάθη με τη βοήθεια είτε αβαθών γεωτρήσεων είτε μικρών εκσκαφών στην «αυλή» του καταναλωτή και τη χρήση αντλιών θερμότητας. Η μέθοδος αυτή της αξιοποίησης της αβαθούς γεωθερμίας μπορεί να εφαρμοστεί οπουδήποτε υπάρχει ανάγκη τόσο για θέρμανση το χειμώνα, όσο και για κλιματισμό το καλοκαίρι,

επειδή πρακτικά ακόμα σε πολύ μικρό βάθος, όπως 2-100m, η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Η γεωθερμική ενέργεια ανταγωνίζεται ικανοποιητικά το πετρέλαιο και τον άνθρακα, σχετικά με το κόστος της παραγόμενης θερμότητας. Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου, όσον αφορά την αρχική έρευνα και την ανάπτυξη των πεδίων, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο. Επιπλέον, ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι τις περισσότερες φορές δοκιμασμένος σε άλλες τεχνολογικές εφαρμογές.

Οι κυριότερες άμεσες εφαρμογές της γεωθερμίας μπορούν να ταξινομηθούν στις κατηγορίες: θέρμανση χώρων, αγροτικές χρήσεις, υδατοκαλλιέργειες, βιομηχανικές χρήσεις, λουτροθεραπεία (και πισίνες) και αντλίες θερμότητας. Στο χώρο της Ε.Ε. οι άμεσες χρήσεις έχουν αναπτυχθεί κυρίως στην Ιταλία (αγροτικές χρήσεις και λουτροθεραπεία), τη Γαλλία (θέρμανση χώρων), τη Γερμανία και τη Σουηδία (γεωθερμικές αντλίες θερμότητας). Η Ισλανδία, η Γεωργία, η Ρωσία και η Ουγγαρία κατέχουν τα πρωτεία στη θέρμανση χώρων. Στην Ιαπωνία χρησιμοποιείται για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, ενώ στην Κίνα και τη Ν.Ζηλανδία για θέρμανση χώρων και βιομηχανικές χρήσεις [1].

Δεν μπορεί να παραληφθεί το γεγονός ότι για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας υπάρχουν τεχνικά προβλήματα τα οποία θα πρέπει να επιλυθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο για την οικονομικότερη εκμετάλλευση της εναλλακτικής αυτής μορφή ενέργειας. Τα προβλήματα αυτά προκύπτουν κυρίως σε εκμεταλλεύσεις γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας και είναι τα εξής:

- α) Σχηματισμός επικαθίσεων (καθαλατώσεις ή αποθέσεις)
- β) Διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών
- γ) Η διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους
- δ) Εκπομπές ορισμένων τοξικών αερίων (κυρίως υδρόθειου)

Τα τελευταία 50 χρόνια έχει εξελιχθεί ο έλεγχος και η πρόληψη του σχηματισμού επικαθίσεων και της διάβρωσης με τη συστηματική έρευνα για την κατανόηση των φαινομένων αυτών και την πρόληψη της εμφάνισής τους. Στην εξέλιξη αυτή συνέβαλε η γνώση και η εμπειρία από την αντιμετώπιση αντίστοιχων προβλημάτων στη βιομηχανία εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Πιο συγκεκριμένα, ο σχηματισμός των επικαθίσεων σε γεωθερμικές μονάδες μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό, αν όχι ολοκληρωτικά, μέσω μεθόδων και

τεχνικών, όπως είναι ο σωστός σχεδιασμός της μονάδας και η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας της, η ρύθμιση του pH του ρευστού, η προσθήκη χημικών ουσιών και, τέλος, η απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά ή φυσικά μέσα στη διάρκεια προγραμματισμένων ή όχι διακοπών λειτουργίας της μονάδας.

Η πρόβλεψη και η αντιμετώπιση της διάβρωσης σε μια γεωθερμική μονάδα αποσκοπεί στο σχεδιασμό και την κατασκευή αξιόπιστων μονάδων με το μικρότερο δυνατό κόστος λειτουργίας, συντήρησης και αντικατάστασης. Οι διάφορες δυνατότητες ελέγχου διάβρωσης στις γεωθερμικές μονάδες συνοψίζονται ως εξής:

- α) Επιλογή κατάλληλου υλικού κατασκευής
- β) Επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών με στρώματα ανθεκτικά στη διάβρωση
- γ) Προσθήκη αναστολέων διάβρωσης
- δ) Ορθός σχεδιασμός της μονάδας

Όσον αφορά τη διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους, συνηθίζεται η επανεισαγωγή τους στο υπέδαφος, μέσω γεωτρήσεων επανεισαγωγής.

Σχετικά με τα μη συμπυκνώσιμα αέρια που εμπεριέχονται στο γεωθερμικό ατμό και πιθανόν να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο έχει εκδώσει σειρά κατευθυντήριων οδηγιών (2004/107/EK, 2000/69/EK, 1999/30/EK) με τις οριακές τιμές διοξειδίου του θείου, διοξειδίου του αζώτου και οξειδίων του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα, αρσενικού και υδραργύρου στον αέρα του περιβάλλοντος, όπου θεσπίζονται μέγιστα επιτρεπόμενα και επιθυμητά όρια συγκεντρώσεων των αερίων ουσιών. Οι οδηγίες αυτές έχουν κυρωθεί με νόμους και από το Ελληνικό Κράτος (Π.Υ.Σ. 34/2002 (ΦΕΚ 125 Α'/5.6.2002), Υ.Α. Α.Η.Π. 9238/332/2004 (ΦΕΚ 405 Β'/27.2.2004), Π.Δ. 90/1999 (ΦΕΚ 94 Α'/13.5.1999)) [4].

Η αέρια ρύπανση προέρχεται από την αξιοποίηση της γεωθερμίας κυρίως κατά την παραγωγή ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις αναμένεται έκλυση CO<sub>2</sub>, αν και σε πολύ μικρότερο βαθμό από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα. Με τη μέθοδο της επανεισαγωγής των αερίων στον ταμιευτήρα ελέγχεται και περιορίζεται το φαινόμενο, καθώς το CO<sub>2</sub> διαλύεται στο αλμόλοιπο (αλμόλοιπα: νερά περισσότερο αλμυρά από τη θάλασσα, συχνά περιλαμβάνουν και τα θαλασσινά νερά), το οποίο εν συνεχεία επανεισάγεται στον ταμιευτήρα με κατάλληλες γεωτρήσεις.

Το διοξείδιο του θείου χαρακτηρίζεται από έντονη οσμή και σχετική τοξικότητα, ενώ είναι ιδιαίτερα διαβρωτικό σε ορισμένες μεταλλικές επιφάνειες. Σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις με εκπομπές H<sub>2</sub>S πρέπει να χρησιμοποιούνται φορητές συσκευές



ανίχνευσης προκειμένου να ελεγχθούν και να μειωθούν με αντίστοιχες μεθόδους, όπως τη διεργασία Stretford (Παράρτημα Ι), τη μέθοδο καύσης και έκλυσης του παραγόμενου SO<sub>2</sub>, με την καταλυτική οξείδωση με H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> κλπ.

Τέλος από τους υπόλοιπους αέριους ρύπους που εκπέμπονται η αμμωνία, το ραδόνιο και ο υδράργυρος είναι από τα πλέον επικίνδυνα, αλλά είναι πολύ σπάνια η εμφάνισή τους και σε πολύ μικρό βαθμό, οπότε δεν προκαλούν ανησυχία [1].

### 2.5 ΟΦΕΛΗ

Πέραν των τεχνικών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν από την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας, τα οφέλη που παρατηρούνται υπερτερούν, επειδή αγγίζουν τομείς όπως το περιβάλλον που βάλλεται ολοένα και περισσότερο, συνεισφέρουν στην εγχώρια οικονομία και συντελούν στην κοινωνική ανάπτυξη, αναβαθμίζοντας τις περιοχές όπου εφαρμόζεται.

#### 2.5.1 Περιβαλλοντικά οφέλη

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την άμεση θέρμανση χώρων είναι συνήθως κλειστά, που σημαίνει ότι τα γεωθερμικά ρευστά μετά τη χρήση τους επανεισάγονται σε δεύτερη γεώτρηση και αποφεύγονται έτσι τυχόν επιπτώσεις στο περιβάλλον. Το σημαντικότερο όφελος στις εφαρμογές της αβαθούς γεωθερμίας είναι ότι δεν υπάρχει έκλυση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, σε αντίθεση με τα συμβατικά καύσιμα, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 2.1:** Σύγκριση εκπομπών CO<sub>2</sub> για συστήματα άμεσης θέρμανσης χρησιμοποιώντας τη γεωθερμική ενέργεια και τα συμβατικά καύσιμα.

| Πηγή Ενέργειας | Εκπομπές CO <sub>2</sub> (kg/MWh) |
|----------------|-----------------------------------|
| Άνθρακας       | 310                               |
| Πετρέλαιο      | 250                               |
| Φυσικό Αέριο   | 176                               |
| Γεωθερμία      | 0                                 |

(Πηγή: European Geothermal House [www.geothermie.de/egec-geothernet/menu/frameset.htm](http://www.geothermie.de/egec-geothernet/menu/frameset.htm))

Η ωφέλεια από την προστασία του περιβάλλοντος, μέσω της μείωσης της ρύπανσης του, δεν κοστολογείται άμεσα, αλλά αναγνωρίζεται και επικροτείται από τις τοπικές κοινωνίες, διότι προσφέρει ποιότητα ζωής.

### **2.5.2 Οικονομικά οφέλη**

Πρόκειται για μια εγχώρια πηγή ενέργειας χαμηλού κόστους. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει ανεξαρτησία από τα δαπανηρά, εισαγόμενα καύσιμα όπως το πετρέλαιο. Είναι μικρό το κόστος εγκατάστασης και οι δαπάνες συντήρησης και επισκευών. Επιπλέον αναβαθμίζεται η ποιότητα της θέρμανσης, ενώ είναι φθηνότερη, όπως και το ζεστό νερό.

### **2.5.3 Κοινωνικά οφέλη**

Η θέρμανση με γεωθερμία εισάγει νέες ενεργειακές τεχνολογίες, αναπτύσσοντας παράλληλα την επιχειρηματικότητα και την ανταγωνιστικότητα. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι μειώνει το κόστος παραγωγής προϊόντων που χρειάζονται θερμότητα, καθώς και τα λειτουργικά κόστη των χώρων που θερμαίνονται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται νέες ευκαιρίες ανάπτυξης με τη χρήση της θερμότητας για θερμοκήπια, ξηραντήρια, βαφεία, χώρους άθλησης, κέντρα υγιεινής. Τέλος, δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας, αναπτύσσοντας το τοπικό εργατοτεχνικό και επιστημονικό δυναμικό, το οποίο απασχολείται στην κατασκευή και τη λειτουργία του εκάστοτε έργου [4].

## **2.6 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

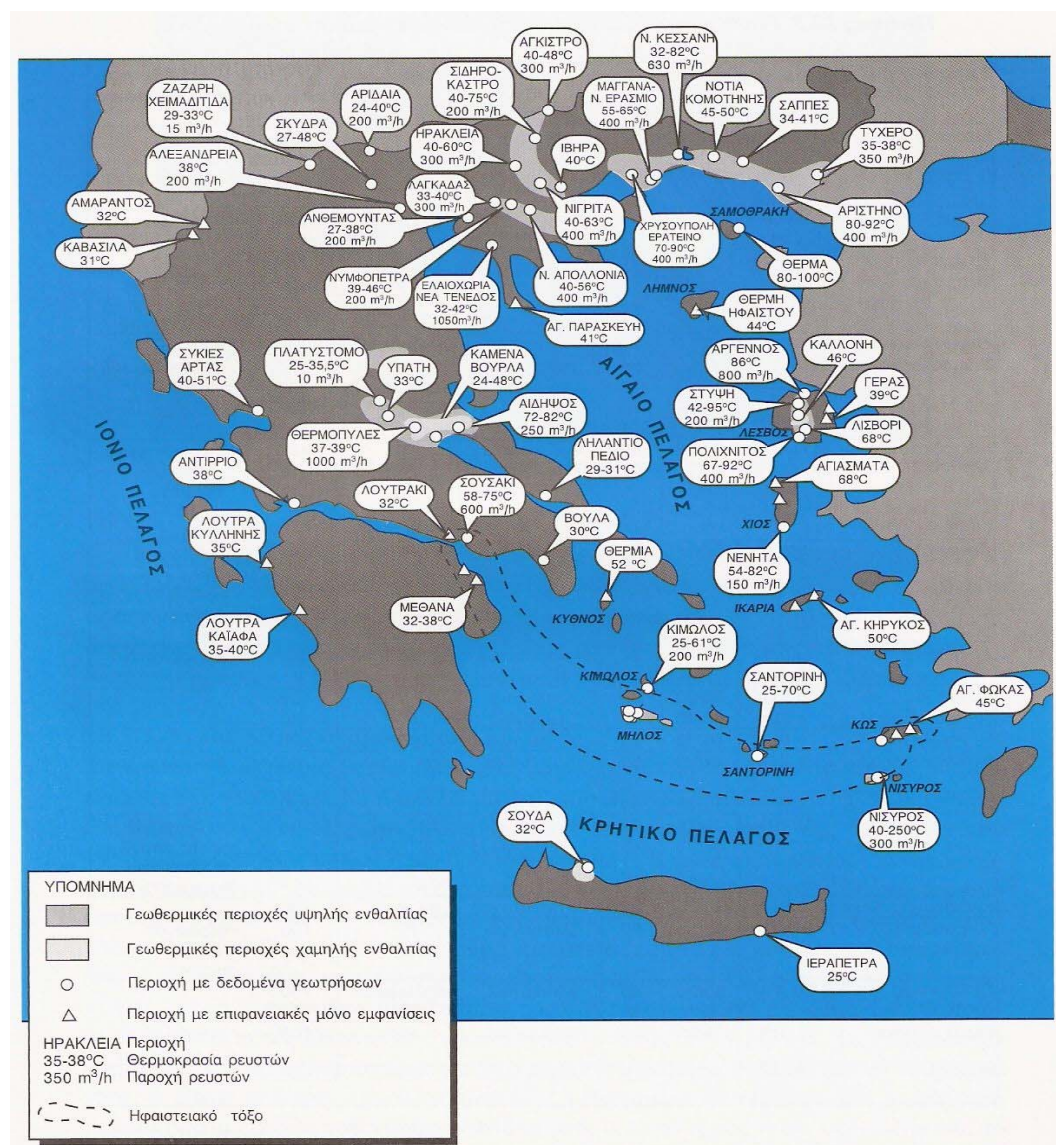
### **2.6.1 Γεωθερμικά πεδία Ελλάδος**

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει τα τελευταία 30 χρόνια για εντοπισμό και χαρακτηρισμό των γεωθερμικών πεδίων, η χώρα μας αποδεικνύεται ιδιαίτερα ευνοημένη. Ο Ελλαδικός χώρος εξαιτίας κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500m). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι σχετικά πολύ μικρά κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η Ελλάδα ανήκει στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπου υπάρχουν πεδία υψηλής ενθαλπίας (θερμοκρασία ρευστών μεγαλύτερη από  $150^{\circ}\text{C}$ ), τα οποία αξιοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Υπάρχουν ταμειυτήρες των οποίων οι θερμοκρασίες ξεπερνούν τους  $100^{\circ}\text{C}$  και θεωρούνται μέσης ενθαλπίας. Δυστυχώς, συγκρίνοντας με την χρήση άλλων εναλλακτικών πηγών ενέργειας ή με την ανάπτυξη της γεωθερμίας σε άλλες χώρες, η ανάπτυξή της στην Ελλάδα δε θεωρείται ικανοποιητική, παρά τον αξιόλογο γεωθερμικό πλούτο.

Στον ακόλουθο χάρτη απεικονίζονται οι γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας, καθώς και βασικά χαρακτηριστικά τους, όπως η θερμοκρασία και η παροχή των γεωθερμικών ρευστών.



Τα σπουδαιότερα γεωθερμικά πεδία έχουν εντοπιστεί στη Μήλο και τη Νίσυρο, όπου από βαθιές γεωτρήσεις έρευνας και παραγωγής έχει διαπιστωθεί ότι το πιθανό δυναμικό υπολογίζεται να είναι της τάξης των 200 και 50 MWe. Στη Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325°C σε βάθος 1000m και στη Νίσυρο 350°C σε βάθος 1500m. Άλλες περιοχές όπου εμφανίζονται πεδία υψηλής ή μέσης ενθαλπίας είναι η Κίμωλος, η Σαντορίνη, η Κως, η Λέσβος, η Σαμοθράκη κ.ά.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες σε διάφορες περιοχές της χώρας, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας, που πολλές φορές ξεπερνούν τους 100°C/km. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες, η ενέργεια της γης θερμαίνει υπόγειους ταμιευτήρες ρευστών σε αυξημένες θερμοκρασίες. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα, κυρίως στην ανατολική, βόρεια και αιγαιακή χώρα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθόσον αποτελούν ανανεώσιμο ενεργειακό πόρο, φιλικό προς το περιβάλλον και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Μόνο από υπάρχουσες γεωτρήσεις σε γεωθερμικά πεδία, π.χ. των πεδινών εκτάσεων της ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, είναι δυνατόν να αντληθούν 2500m<sup>3</sup>/hr θερμών ρευστών, με θερμοκρασίες μέχρι 100°C. Το εκμεταλλεύσιμο θερμοκρασιακό εύρος είναι κατά μέσο όρο 40° C. Έτσι, τα ρευστά αυτά ισοδυναμούν με θερμική ισχύ 100MWt, που σημαίνει εξοικονόμηση 90.000 Τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου (ΤΙΠ) το χρόνο. Η παραπάνω ενέργεια, μικρό μέρος μόνο της οποίας χρησιμοποιείται σήμερα, θα μπορούσε να συνδράμει στην ανάπτυξη του πρωτογενούς αγροτικού τομέα, κυρίως σε πρωτοπόρες και δυναμικές καλλιέργειες και διεργασίες. Επίσης θα συνέβαλε στην οικονομική ανάπτυξη μειονεκτικών γενικά περιοχών και στη δημιουργία πυρήνων οικονομικής δραστηριότητας και ευημερίας, στους ευαίσθητους εθνικά αυτούς χώρους. Τέτοιοι χώροι, όπως η Θράκη, η Σαμοθράκη αλλά και η Δήμος, η Λέσβος, η Χίος έχουν αποδεδειγμένα μεγάλα γεωθερμικά πεδία χαμηλής και ίσως μέσης ενθαλπίας, που περιμένουν την αξιοποίησή τους [1].

### 2.6.2 Γεωθερμικές Χρήσεις στην Ελλάδα

Η κυριότερη αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα σήμερα, εκτός από τη χρήση τους για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς είναι η θέρμανση των θερμοκηπίων. Από τις αρχές της περασμένης δεκαετίας ξεκίνησαν δειλά οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και, τελευταία, η θέρμανση χώρων, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και οι υδατοκαλλιέργειες.

Όσον αφορά τη θέρμανση χώρων, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στην Ευρώπη και στην Αμερική εδώ και πολλά χρόνια με ευεργετικά αποτελέσματα, τόσο από οικονομικής άποψης όσο και από τις απαιτήσεις ενέργειας και ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Όσον αφορά το νομοθετικό πλαίσιο, σύμφωνα με το ΦΕΚ 1595B, 25-10-2004, έχουν καθοριστεί οι όροι, οι προϋποθέσεις, τα απαιτούμενα δικαιολογητικά και οι διαδικασίες έκδοσης των αδειών εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπογείων, που δε χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό [23].

Στην Ελλάδα οι εφαρμογές της μεθόδου είναι ακόμη σχετικά περιορισμένες (τουλάχιστον 90 εγκαταστάσεις με συνολικά εγκατεστημένη θερμική ισχύ περί τα 4 MWth), με τα ακόλουθα ως βασικά παραδείγματα (Παράδειγμα 1, 2, 3) της τεχνολογίας κλειστών γήινων εναλλακτών ή γενικότερα συστημάτων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

#### Παράδειγμα 1: Δημαρχείο Πυλαίας



**Σχήμα 2.2:** Γεωθερμική εφαρμογή στο Δημαρχείο Πυλαίας, Θεσσαλονίκη. Διακρίνονται οι αντλίες θερμότητας.



- 21 γεωτρήσεις (κατακόρυφοι γήινοι εναλλάκτες θερμότητας) 6''
- 80 m βάθος έκαστος
- Σωλήνα-U, Φ 40
- 10 Υδροψυκτες Αντλίες Θερμότητας
- 155 kWth & 215 kWC
- Fan-coils - Κεντρική μονάδα διανομής αέρα

### Παράδειγμα 2: Κτίριο Ηλεκτρολόγων – Μεταλλειολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.



**Σχήμα 2.3:** Γεωθερμική εφαρμογή σε κτήριο του ΕΜΠ, Αθήνα. Διάταξη γεωτρήσεων.

- Υδρογεώτρηση βάθους 280 m, 35 m<sup>3</sup>/h 22 °C
- 80 % ενέργειας
- 13 γεωτρήσεις (γήινοι εναλλάκτες θερμότητας) 8½", 90 m βάθος, Σωλήνα-U
- 20 % ενέργειας
- 2 Υδροψυκτες Αντλίες Θερμότητας
- 526 kWth & 461 kWC
- COP = 3,3 – 3,5

### Παράδειγμα 3: Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου – Λεγραινά Αττικής



**Σχήμα 2.4:** Γεωθερμική εφαρμογή στο Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου, Λεγραινά Αττικής. Διακρίνονται οι αντλίες θερμότητας.

- Υδρογεώτρηση 24 °C
- Εναλλάκτης Θερμότητας
- 2 Υδρόψυκτες Αντλίες Θερμότητας
- 170 kWth
- Fan coils
- 2 Κεντρικές Μονάδες Τροφοδοσίας Αέρα
- Ηλιακοί Συλλέκτες
- COP = 3,91 & 4,3

(Πηγή: Μελέτη εγκατάστασης συστήματος θέρμανσης – ψύξης με ΓΑΘ σε ιδιόκτητη κατοικία, Δρ. Κων/νος Καρύτσας, Γεωλόγος-Γεωθερμικός)

#### 2.6.3 Γεωθερμικό Πεδίο Περιοχής Κυλλήνης – Ηλεία

Γεωτεκτονικά η περιοχή της Βορειοδυτικής Πελοποννήσου ανήκει στην Αδριατικοϊόνιο Ζώνη [5], η οποία περιλαμβάνει επίσης μεγάλο τμήμα της Ηπείρου, την Ακαρνανία και τμήματα των Ιονίων νησιών. Πρόκειται για μια περιοχή αυτόχθονη, η

οποία σύμφωνα με νεώτερες απόψεις χαρακτηρίζεται ως μια ηπειρωτική λεκάνη με ημιπελαγική – πελαγική ιζηματογένεση.

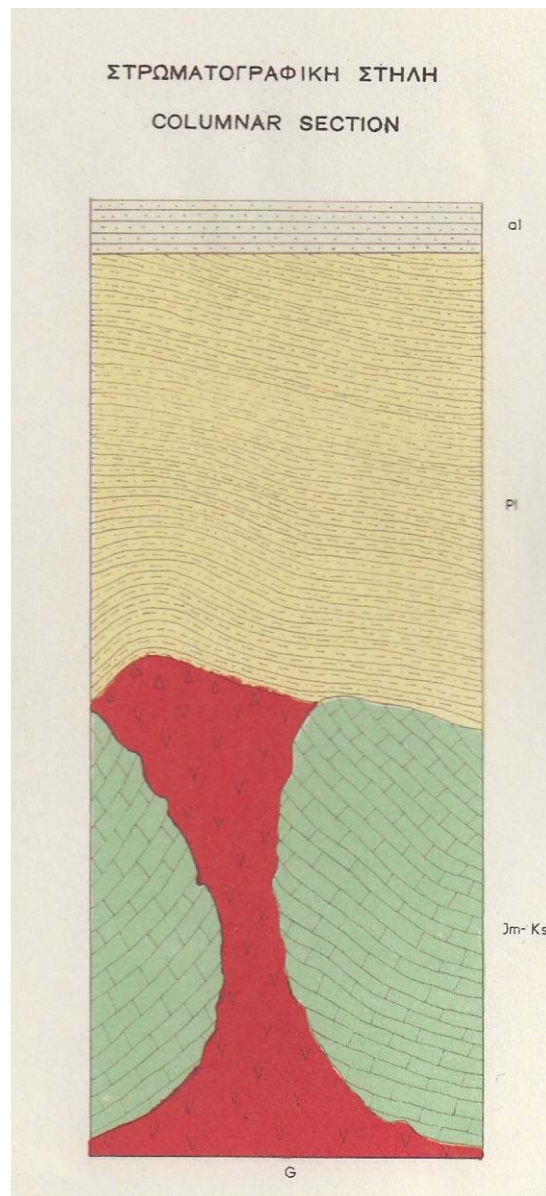
Για τον προσδιορισμό των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής ερευνάται η λιθολογική σύσταση και η κοκκομετρία των σχηματισμών που συναντώνται, εφόσον πρόκειται για εδάφη και ο βαθμός διαγένεσης και ο τεκτονισμός, εφόσον πρόκειται για πετρώματα. Η εκτίμηση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς γίνεται με βάση το πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες και την υδροπερατότητα. Συνοπτικά αναφέρεται ότι στην περιοχή συναντώνται:

- Ασβεστόλιθοι Μέσου Ιουρασικού – Άνω Κρητιδικού, έντονα κατακερματισμένοι λόγω της δράσης του διαφυρισμού της γύψου, με αποτέλεσμα να είναι υδροπερατοί.
- Μάργες, πρακτικά αδιαπέρατες με σχεδόν μηδενικό ενεργό πορώδες.
- Αργίλιοι σχηματισμοί, σχεδόν αδιαπέρατοι με μέσο πορώδες
- Ψαμμίτες, Άμμος, Θίνες, Πλευρικά κορήματα, σχηματισμοί με πολύ καλή υδροπερατότητα.

Στο σχήμα 2.5 που ακολουθεί εμφανίζεται η στρωματογραφική στήλη της περιοχής, όπου απεικονίζεται η διαδοχή των γεωλογικών σχηματισμών με τα πάχη τους, καθώς και συνοπτικό υπόμνημα.

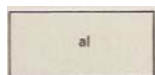
Στα πρώτα 80 m συναντώνται σύγχρονες προσχώσεις, σχηματισμοί όπως ψαμμίτες, θίνες και πλευρικά κορήματα. Στα υπόλοιπα 800 m, εδράζονται αργιλούχες μάργες, που περιλαμβάνουν κατά θέσεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, ανθρακούχους αργίλους, άμμους και ψαμμίτες. Στο τέλος της στρωματογραφικής στήλης, σε πάχος 800 m συναντάται λεπτοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ασβεστόλιθος, στον οποίο παρεμβάλλεται διαφυρική γύψος, η οποία έχει προκαλέσει κατά τόπους την επώθηση των ασβεστόλιθων, καθώς και τον κατακερματισμό τους [22].



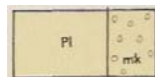


Σχήμα 2.5: Στρωματογραφική στήλη περιοχής [22].

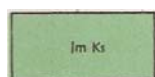
#### Υπόμνημα



Προσχώσεις, γενικώς σύγχρονες



Εναλλασσόμενα στρώματα μαργών, αργιλούχων και κατά θέσεις ανθρακούχων αργίλων, άμμων, ψαμμιτών



Ασβεστόλιθοι, λεπτοστρωματώδεις ως παχυστρωματώδεις



Διαφυρική γύψος

Οι ασβεστόλιθοι δε βρίσκονται στην αρχική θέση αποθέσεως, αλλά έχουν επωθηθεί και τοποθετηθεί σε νέες θέσεις, λόγω της διαφυρσιμού της γύψου, σε συνδυασμό με τη δράση πτυχωσιγενών δυνάμεων και ρηγμάτων.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται αναλυτική περιγραφή τόσο της λιθοστρωματογραφικής εξέλιξης της Αδριτικοϊονίου Ζώνης, όσο και της περιοχής μελέτης, καθώς και των υδρογεωλογικών στοιχείων της περιοχής με τις τιμές της υδροπερατότητας των σχηματισμών, σύμφωνα με στοιχεία από τη βιβλιογραφία [5, 22].

Όπως φαίνεται και στο χάρτη του σχήματος 2.1, η περιοχή των Λουτρών Κυλλήνης στο νομό Ηλείας χαρακτηρίζεται ως πεδίο χαμηλής ενθαλπίας. Βρίσκονται σε απόσταση 15' από το Βαρθολομίο και 10' από το Κάστρο Κυλλήνης. Η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής καλύπτεται από πευκοδάσος το οποίο καταλήγει σε μεγάλου μήκους παραλία. Το όνομά τους το πήραν από τις ιαματικές πηγές της περιοχής γνωστές από τα Ρωμαϊκά χρόνια. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι μια άλλη ονομασία της περιοχής είναι “Λίτζι”, το οποίο στα Λατινικά σημαίνει Λουτρό. Το Λίτζι είναι φημισμένο από την αρχαιότητα για τις ιαματικές του πηγές που τα νερά τους, οι αναθυμιάσεις και η λάσπη τους θεραπεύουν αρθριτικά, άσθμα και δερματικά. Υπάρχουν ερείπια από εγκαταστάσεις Ρωμαϊκών λουτρών (Σχήμα 2.6), ενώ κατά το παρελθόν λειτουργούσε δημόσιο υδροθεραπευτήριο. Πρόκειται για υπόθερμες πηγές θειούχες και υδροθειούχες (24,8°C) που προτείνονται για εισπνοθεραπεία και λουτροθεραπεία.

Πλέον στην Ξενοδοχειακή μονάδα Grecotel Olympia Riviera λειτουργεί το Κέντρο Ιαματικών Λουτρών και Θαλασσοθεραπείας που εγκαινιάστηκε το 2004, το Elixir Thalassotherapy Center, ενισχύοντας τον ιαματικό τουρισμό (Σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.6: Ρωμαϊκά Λουτρά Κυλλήνης, Ηλεία.



Σχήμα 2.7: Εγκαταστάσεις Elixir Thalassotherapy Center, Grecotel

### 3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ – ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

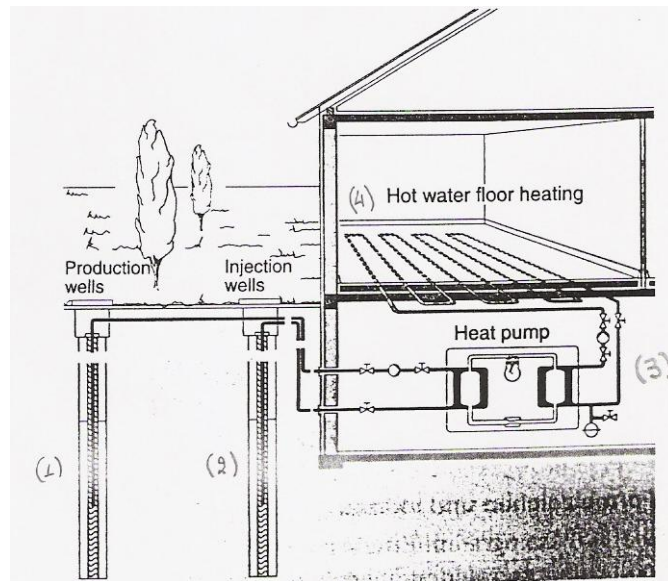
Η αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού του εδάφους, γίνεται με συνδυασμό υδρόψυκτων αντλιών θερμότητας και εναλλάκτη θερμότητας εδάφους. Ο εναλλάκτης εδάφους περιλαμβάνει ένα δίκτυο σωληνώσεων που είτε βρίσκονται σε οριζόντια διάταξη και χαμηλό βάθος, είτε σε κατακόρυφη διάταξη, εκμεταλλευόμενοι μία γεώτρηση σε μεγαλύτερο βάθος, στο οποίο κυκλοφορεί νερό σε κλειστό κύκλωμα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι αντλίες θερμότητας αφαιρούν θερμότητα από το έδαφος, την οποία προσθέτουν στο σύστημα θέρμανσης του κτηρίου. Η διαδικασία αυτή μπορεί να αναστραφεί το καλοκαίρι, έτσι ώστε η αντλία θερμότητας να παρέχει κλιματισμό (ψύξη) στο κτίριο. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας συνδυάζονται με ένα σύστημα θέρμανσης - κλιματισμού χαμηλής θερμοκρασίας, δηλαδή είτε με ενδοδαπέδιο, είτε με αερόθερμα, είτε με παροχή αέρα μέσω αεραγωγών, κλπ.

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη περιγραφή και απεικόνιση, τόσο των συστημάτων των αγωγών άντλησης της γεωθερμικής θερμότητας, όσο και των γεωθερμικών αντλιών.

#### 3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΓΩΓΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

##### 3.2.1 Ανοιχτό γεωθερμικό σύστημα

Σε αυτόν τον τύπο χρησιμοποιείται το γεωθερμικό ρευστό απευθείας, καθώς αυτό κυκλοφορεί μέσω της αντλίας, εντός του κτηρίου. Κατασκευάζονται 2 γεωτρήσεις, η μια είναι η γεώτρηση παραγωγής (production well) και η άλλη επανεισαγωγής (injection well). Συγκεκριμένα, από την πρώτη αντλείται το γεωθερμικό ρευστό, «κυκλοφορεί» εντός του κτηρίου μέσω σωληνώσεων και επανεισάγεται στη γη μέσω της δεύτερης γεώτρησης. Αυτό το σύστημα είναι πρακτικό στην περίπτωση που υπάρχει μια πηγή άφθονου γεωθερμικού ρευστού, δεδομένου ότι όλοι οι τοπικοί κανονισμοί και οι κώδικες σχετικά με την απαλλαγή υπόγειων νερών το επιτρέπουν.



**Σχήμα 3.1:** Διάταξη ανοικτού γεωθερμικού συστήματος [11]

Περιγραφή σχήματος:

- (1) Production well: Γεώτρηση παραγωγής, από την οποία αντλείται το ρευστό γεώτρησης.
- (2) Injection well: Γεώτρηση επανεισαγωγής, όπου καταλήγει το ρευστό, κατόπιν της κυκλοφορίας του στο σύστημα.
- (3) Σχηματική διάταξη εξοπλισμού γεωθερμικής αντλίας.
- (4) Ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης – κλιματισμού.

Τα ανοιχτά φρέατα απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι μπορεί να μειωθεί η παραγωγή αν προκληθούν επικαθίσεις στους σωλήνες ή αν αλλάξει η στάθμη του νερού από ανθρώπινη χρήση ή φυσικά αίτια. Αποφεύγεται η χρήση τους σε γεωθερμικές πηγές πλούσιες σε υδρόθειο, καθώς είναι έντονη η διάβρωση των σωληνώσεων. Επίσης υπάρχει μέριμνα για την αποφυγή άντλησης άμμου, αποφυγή κατασκευαστικών λαθών της γεώτρησης, καθώς και καταστροφής της αντλίας.

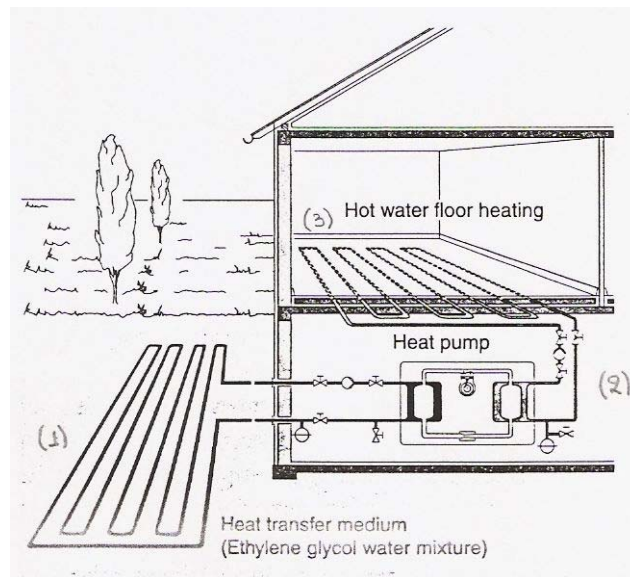
### 3.2.2 Κλειστά γεωθερμικά συστήματα

Στα κλειστά γεωθερμικά συστήματα κατασκευάζονται υπόγειοι σωλήνες οι οποίοι τοποθετούνται σε βάθος τουλάχιστον 1 μέτρου και ένα ρευστό, νερό ή μίγμα



αντιψυκτικού, κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες και στην αντλία θερμότητας μέσα στο κτήριο. Κατά την κυκλοφορία του στους σωλήνες το ρευστό απορροφά θερμότητα από το υπέδαφος, την οποία εκμεταλλευόμαστε στη συνέχεια με τους εναλλάκτες θερμότητας. Το γεγονός ότι είναι κλειστά συστήματα βρόχων υποδηλώνει ότι το ρευστό αυτό ανακυκλώνεται. Ο τρόπος διάταξης των σωλήνων κατηγοριοποιεί τα κλειστά συστήματα σε 2 επιμέρους κατηγορίες: τα οριζόντια και τα κατακόρυφα.

Το οριζόντιο σύστημα είναι πιο κοινό για τις νέες κατοικίες, ειδικά όπου η απαιτούμενη έκταση εδάφους είναι διαθέσιμη.

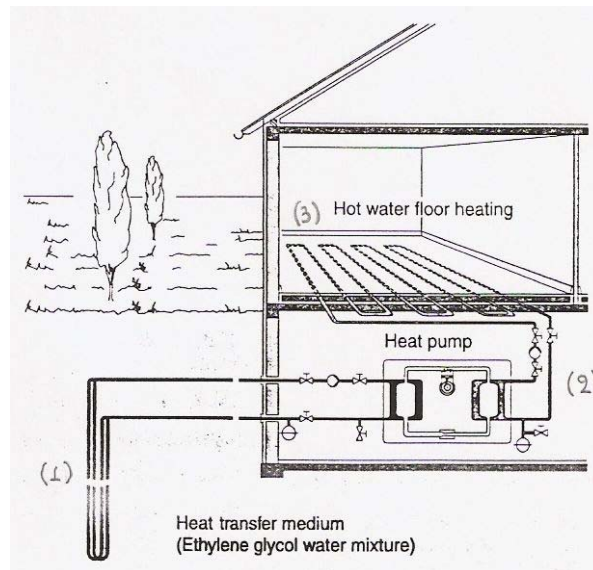


**Σχήμα 3.2:** Διάταξη κλειστού γεωθερμικού συστήματος, οριζόντιου γήινου εναλλάκτη [11]

Περιγραφή σχήματος:

- (1) Οριζόντιος γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας (κυκλοφορούν ρευστό: μίγμα νερού με αντιψυκτικό, π.χ. αιθυλένιο)
- (2) Σχηματική διάταξη εξοπλισμού γεωθερμικής αντλίας.
- (3) Ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης – κλιματισμού.

Το κατακόρυφο σύστημα προτείνεται για κτήρια, όπου δεν είναι διαθέσιμη η αντίστοιχη έκταση εδάφους που θα απαιτούσε το οριζόντιο. Χαρακτηρίζεται από υψηλότερο αρχικό κόστος, καθώς οι σωληνώσεις έχουν αντίστοιχο κόστος με αυτό των αντλιών. Επιπλέον γίνεται ειδική μελέτη για το υλικό των σωληνώσεων που ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί ανά περίπτωση.



**Σχήμα 3.3:** Διάταξη κλειστού γεωθερμικού συστήματος, κατακόρυφου γήινου εναλλάκτη [11]

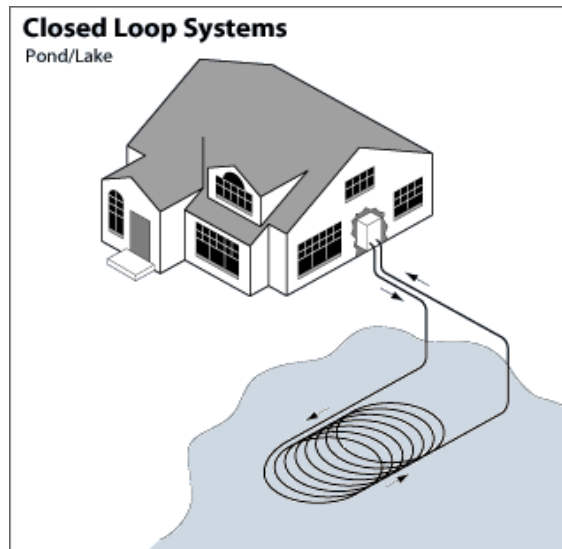
Περιγραφή σχήματος:

- (1) Κατακόρυφος γεωθερμικός εναλλάκτης (κυκλοφορούν ρευστό: μίγμα νερού με αντιψυκτικό, π.χ. αιθυλένιο)
- (2) Σχηματική διάταξη εξοπλισμού γεωθερμικής αντλίας.
- (3) Ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης – κλιματισμού.

Στο Παράρτημα II υπάρχουν φωτογραφίες εφαρμογών, όπου απεικονίζονται οι υπόγειοι εναλλάκτες, οι σωληνώσεις και ο τρόπος διάταξής τους για οριζόντιο και κατακόρυφο γεωθερμικό σύστημα.

Κύριο πλεονέκτημα των οριζόντιων συστημάτων, σε σύγκριση με τα κάθετα, είναι το μικρότερο κόστος εγκατάστασης. Σοβαρός περιορισμός είναι η ανάγκη ύπαρξης ικανού χώρου για την τοποθέτηση των υπεδάφινων σωληνώσεων, γεγονός που περιορίζει τη χρήση αυτών των συστημάτων σε εξοχικές κατοικίες. Οι κατακόρυφοι εναλλάκτες πάντως καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο, οπότε μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές με πολλά κτήρια και είναι περισσότερο αποδοτικοί, γιατί η θερμοκρασία του υπεδάφους είναι περισσότερο σταθερή σε μεγαλύτερα βάθη.

Μια άλλη διάταξη κλειστού κυκλώματος, λιγότερο συνηθισμένη, είναι αυτή της λίμνης. Ενδείκνυται σε περιοχές με επαρκή όγκο νερού, καθώς ίσως αυτή είναι η επιλογή με το χαμηλότερο κόστος.



**Σχήμα 3.4:** Διάταξη κλειστού γεωθερμικού συστήματος, λίμνης [16]

Ένας σωλήνας παροχής τοποθετείται μέσα στο έδαφος, από το κτήριο έως το νερό και τυλίγεται σε σπείρες σε βάθος τουλάχιστον 2,5 μέτρων κάτω από το έδαφος έτσι ώστε να αποφεύγεται το πάγωμα. Οι σπείρες θα πρέπει να τοποθετηθούν μόνον σε περιοχή νερού η οποία πληροί τα κριτήρια για τον ελάχιστο επιτρεπτό όγκο, βάθος και ποιότητα νερού. Στο Σχήμα 3.4 απεικονίζονται σωλήνες να ξεκινούν από το σπίτι και να εισέρχονται στο έδαφος, εκτεινόμενοι έως τη λίμνη. Η σωλήνωση βυθίζεται μέσα στη λίμνη και σχηματίζει οριζόντιο σύστημα αποτελούμενο από αλληλεπικαλυπτόμενους βρόγχους. Στη συνέχεια εκτείνεται προς την επιφάνεια και επιστρέφει στο σπίτι. Αντίστοιχη εφαρμογή μπορεί να γίνει και στη θάλασσα.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα μιας εγκατάστασης ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος είναι:

- (1) το κλίμα
- (2) οι θερμικές ιδιότητες του υπεδάφους
- (3) το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας
- (4) το κόστος ανόρυξης της γεώτρησης ή της εκσκαφής των ορυγμάτων
- (5) οι τυχόν επιδοτήσεις και κίνητρα για την εγκατάσταση μονάδων εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας

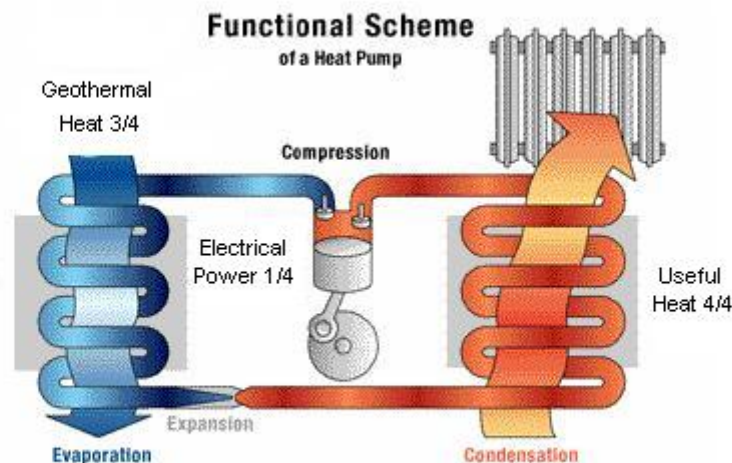


### 3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (ΓΑΘ)

Η αντλία θερμότητας είναι μία συσκευή που έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα από ένα μέσο με χαμηλή θερμοκρασία σε ένα άλλο μέσο με υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό πραγματοποιείται με απορρόφηση θερμότητας από μία πηγή χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας, όπως το υπόγειο ή το επιφανειακό νερό, ο εξωτερικός αέρας κτλ, και τη μεταφορά της θερμότητας αυτής σε ένα θερμότερο μέσο, όπως είναι το νερό ή ο αέρας, το οποίο και χρησιμοποιείται για θέρμανση.

Τα βασικά εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας περιλαμβάνουν το συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τον εξατμιστή, τη βαλβίδα εκτόνωσης και βέβαια την πηγή ενέργειας. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αντλία θερμότητας είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να αντιστρέφει την ψυκτική και τη θερμαντική λειτουργία, επιτρέποντας τη χρήση της ίδιας συσκευής τόσο για ψύξη όσο και για θέρμανση.

Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται ο τρόπος λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.



**Σχήμα 3.5:** Σχηματική διάταξη αρχής λειτουργίας ΓΑΘ, Παράδειγμα θέρμανσης με COP = 4, [17].

Κατά τη θέρμανση, το ρευστό που κυκλοφορεί στις σωληνώσεις επιστρέφει στην επιφάνεια ζεστό και διέρχεται από τη μονάδα ανταλλαγής θερμότητας (εναλλάκτη θερμότητας). Εντός του εναλλάκτη, το εσωτερικό ρευστό εκτονώνεται (expansion) και μετατρέπεται σε αέριο, χρησιμοποιώντας τη θερμότητα του εξωτερικού ρευστού. Στη

συνέχεια, το αέριο πλέον ρευστό οδηγείται στον συμπιεστή (compression) όπου συμπιέζεται, υγροποιείται και προσφέρει τη θερμότητα του στο σύστημα θέρμανσης της οικίας. Στη συνέχεια το εξωτερικό ρευστό που είχε προσφέρει εξ αρχής τη θερμότητα επιστρέφει στις σωληνώσεις, ξαναθερμαίνεται και επαναλαμβάνεται ο κύκλος. Επιπλέον ο κύκλος αυτός είναι αναστρέψιμος, προκειμένου να προσφέρεται εκτός από θέρμανση και κλιματισμός.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι από το περιβάλλον λαμβάνουμε τα 3/4 της απαιτούμενης ενέργειας (Geothermal Heat 3/4), ενώ μέσω ηλεκτρισμού προσφέρουμε μόλις το 1/4 (Electrical Power 1/4). Στην αντλία θερμότητας, θερμότητα από το «ψυχρό» μέσο μεταφέρεται σε χαμηλή θερμοκρασία  $T_0$ , ενώ προσφέρεται μηχανικό έργο,  $W_{net}$ , για τη μεταφορά της θερμότητας σε υψηλότερη θερμοκρασία  $T_H$ . Ισχύει λοιπόν η σχέση:

$$Q_H = Q_L + W_{net} \quad (3.1)$$

Η σωστή λειτουργία της αντλίας θερμότητας, στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει η θερμική ικανότητα της συσκευής, εκφράζεται με το συντελεστή απόδοσης ή επιτευξιμότητας COP (coefficient of performance), ο οποίος ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$COP = \frac{Q_H}{W_{net}} \quad (3.2)$$

$Q_H$  : η θερμότητα που αποδίδεται από το σύστημα

$W_{net}$  : το απαιτούμενο έργο εισόδου/λειτουργίας

Στις αντλίες θερμότητας ο συντελεστής COP κυμαίνεται από 1,5 μέχρι και περισσότερο από 6 και, προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο περισσότερο οικονομική γίνεται η χρήση της αντλίας. Στο παράδειγμα του σχήματος 3.5 έχουμε  $COP = 4$ , [1].

Ο τύπος γεωθερμικού συστήματος αντλιών θερμότητας που είναι κατάλληλος για ένα δεδομένο κτήριο πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά. Η επιλογή είναι θέμα τόσο του μηχανικού, όσο και του ιδιοκτήτη. Κάθε εναλλακτική έχει διαφορετικές επιπτώσεις στην αρχιτεκτονική, στην ικανότητα ελέγχου του κλιματισμού και στην απόδοση του συστήματος.

Σε κάθε εφαρμογή γίνεται ειδική μελέτη από τους μηχανικούς, που στόχο έχει τη σύγκριση των συστημάτων, προκειμένου να απαριθμήσουν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε εναλλακτικής. Αυτή η μελέτη πρέπει να συγκρίνει την απόδοση,

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

τις αρχιτεκτονικές επιπτώσεις, τις κύριες δαπάνες, τις λειτουργικές δαπάνες και τη συντήρηση, ώστε να καταλήξουν στη βέλτιστη επιλογή.

Υπάρχουν 3 ειδών εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται ανάλογα με την περίπτωση:

(1) Σύστημα νερού – αέρα



**Σχήμα 3.6:** Εναλλάκτης συστήματος νερού – αέρα [12]

Το θερμό ρευστό κυκλοφορεί εντός του εναλλάκτη, μετατρέπεται σε αέριο και αναλόγως τη ρύθμιση θερμαίνει ή ψύχει το χώρο.

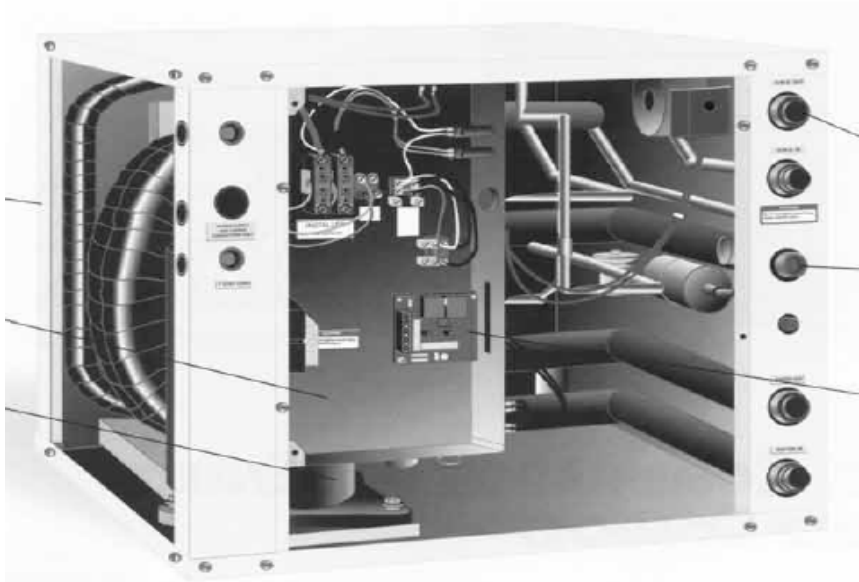
(2) Σύστημα νερού – νερού



**Σχήμα 3.7:** Εναλλάκτης συστήματος νερού – νερού [12]

Ομοίως το ρευστό από τις σωληνώσεις εισάγεται στη μονάδα, από όπου ψυχρό ή θερμό νερό διοχετεύεται στα fan coils για ψύξη και στο εγκατεστημένο σύστημα θέρμανσης για θέρμανση αντίστοιχα.

#### (3) Μονάδα Split νερού - αέρα



**Σχήμα 3.8:** Μονάδα split νερού – αέρα (Water-to-air split type) [12]

Χωρίζεται σε τμήματα συμπιεστή/συμπυκνωτή και σε τμήματα coil/blower (σπείρες/ανεμιστήρες). Ο διαχωρισμός αυτός οφείλεται στο ότι ο συμπιεστής προκαλεί το μεγαλύτερο μέρος του θορύβου που προέρχεται από τη μονάδα και με αυτό τον τρόπο μπορεί να τοποθετηθεί μακριά [12].

### 3.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ

Οι γεωθερμικές αντλίες χρησιμοποιούν 25%-50% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης ή ψύξης. Συγκεκριμένα, όπως περιγράφεται και από το Σχήμα 3.5, παρέχοντας μια μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας σε μια ΓΑΘ προκύπτουν τρεις μονάδες θερμότητας από τη γη. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας, και τις αντίστοιχες εκπομπές, μέχρι και 44% σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν αιολική ενέργεια και μέχρι και 72% σε σχέση με τη θέρμανση με ηλεκτρικές αντιστάσεις, καθώς και με τον τυποποιημένο εξοπλισμό κλιματισμού. Βελτιώνουν επίσης τον έλεγχο υγρασίας με τη

διατήρηση της σχετικής εσωτερικής υγρασίας περίπου 50%, γεγονός που τις καθιστά πολύ αποτελεσματικές στις υγρές περιοχές.

Οι ΓΑΘ χαρακτηρίζονται από ευελιξία κατά το σχεδιασμό τους και μπορούν να εγκατασταθούν και σε νέες κατασκευές, αλλά και σε ήδη υπάρχουσες, αντικαθιστώντας τα παλιά συστήματα θέρμανσης – ψύξης. Επιπλέον, ο εξοπλισμός απαιτεί μικρότερο από αυτόν που απαιτείται από τα συμβατικά συστήματα, έτσι οι χώροι τοποθέτησης του εξοπλισμού μπορούν να μειωθούν πολύ στο μέγεθος και να ελευθερωθεί χώρος για παραγωγική χρήση. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι τα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης μας παρέχουν τη δυνατότητα να διαχωρίσουμε ζώνες εντός της οικίας, επιτρέποντας έτσι να έχουμε διαφορετικές θερμοκρασίες θέρμανσης ή ψύξης.

Οι ΓΑΘ αποτελούνται από λίγα κινούμενα μέρη, τα οποία προφυλάσσονται εντός του κτηρίου και είναι ανθεκτικά και ιδιαίτερα αξιόπιστα. Οι υπόγειες σωληνώσεις έχουν εγγύηση 25-50 ετών και οι αντλίες θερμότητας συνήθως διαρκούν 20 έτη ή περισσότερο. Δεν υπάρχει περίπτωση καταστροφής λόγω βανδαλισμού, δεδομένου ότι δεν έχουν συνήθως κανέναν υπαίθριο συμπιεστή. Αφ' ετέρου, η συντήρησή τους δεν προβληματίζει, καθώς οι εγκαταστάσεις είναι εύκολα προσβάσιμες και έτσι γίνεται εύκολα και έγκαιρα.

Τέλος, εξαλείφεται ο εξωτερικός θόρυβος, αφού δεν υπάρχουν εξωτερικές μονάδες, όπως στην περίπτωση των κλιματιστικών, καθώς και ο εσωτερικός, καθώς το σύστημα είναι τόσο αθόρυβο, που οι ένοικοι δεν αντιλαμβάνονται τη λειτουργία της.

#### **4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΥΛΛΗΝΗΣ.**

##### **ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ – ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΑΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑ GRECOTEL**

#### **4.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός συστήματος γεωθερμικών αντλιών θερμότητας είτε ανοικτού είτε κλειστού τύπου το οποίο θα μπορούσε να αποτελέσει κύκλωμα ψύξης – θέρμανσης στο ξενοδοχειακό συγκρότημα Grecotel Olympia Riviera στην περιοχή των Λουτρών Κυλλήνης, στο νομό Ηλείας. Γίνεται σύγκριση του προτεινόμενου συστήματος με τη χρήση συμβατικών καυσίμων και ηλεκτρισμού, τόσο από οικονομικής πλευράς, όσο και σε σχέση με την αποδοτικότητα σε ενέργεια.

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει περιγραφή της περιοχής με γεωλογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία [22], καθώς και περιγραφή του ακινήτου και της προτεινόμενης εγκατάστασης του συστήματος γεωτρήσεων στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου.

#### **4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

##### **4.2.1 Γεωτεκτονικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής**

Γεωτεκτονικά η περιοχή στην οποία υπάγεται το έργο ανήκει στην Αδριατικοϊόνιο Ζώνη. Στην ζώνη αυτή ανήκουν μεγάλο τμήμα της Ηπείρου, η Ακαρνανία, τμήματα των Ιονίων νησιών και η Βορειοδυτική Πελοπόννησος (περιοχή μελέτης). Η σειρά των πλακωδών ασβεστόλιθων (Plattenkalk) τοποθετείται σύμφωνα με νεότερες απόψεις στην ζώνη αυτή, οπότε θα πρέπει να θεωρηθεί ότι η ζώνη εκτείνεται μέχρι την νότια Πελοπόννησο, την Κρήτη και τη Ρόδο. Είναι μια ζώνη αυτόχθονη, πάνω στην οποία έχουν τοποθετηθεί οι πιο εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες με την μορφή γεωλογικών καλυμμάτων και οι σχηματισμοί της Αδριατικοϊονίου ζώνης εμφανίζονται με την μορφή τεκτονικών παραθύρων, ορισμένες φορές διπλών. Σύμφωνα

με τις νεότερες απόψεις, χαρακτηρίζεται ως μια ηπειρωτική λεκάνη με ημιπελαγική – πελαγική ιζηματογένεση [5].

### 4.2.2 Λιθοστρωματογραφική εξέλιξη της Αδριατικοϊονίου ζώνης

Παρακάτω αναφέρεται η λιθοστρωματογραφική εξέλιξη της περιοχής [5], και αναφέρονται οι σχηματισμοί από τους παλαιότερους προς τους νεότερους.

- Πέρμιο – Τριαδικό: Κοιτάσματα γύψου, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις φαίνεται ότι παρεμβάλλονται μέσα σε ασβεστόλιθους του Κάτω Λιασίου και έχουν πάχος 1500 μ.
- Τριαδικό: Πάνω από τις γύψους επίκειται μαύρος ασβεστόλιθος ηλικίας Καρνίου και στη συνέχεια άσπροι ασβεστόλιθοι του Νορίου (Άνω Τριαδικό)
- Άνω Τριαδικό – Κάτω Ιουρασικό (Κάτω – Μέσο Λιάσιο): Πάνω στους άσπρους ασβεστόλιθους αποτίθενται νηριτικοί ασβεστόλιθοι (ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα) πάχους γύρω στα 600 μ.
- Μέσο Ιουρασικό: Στην συνέχεια το περιβάλλον γίνεται βαθύτερο και αποτίθενται κερατόλιθοι σε εναλλαγές με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και έγχρωμους αργιλικούς σχιστόλιθους. Συγχρόνως στα περιθώρια της ζώνης, εξωτερικά και εσωτερικά από την αξονική της περιοχή αποτίθενται κόκκινοι ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες της φάσης ammonitico rosso.
- Άνω Ιουρασικό (Μάλμιο): Η διαφοροποίηση αυτή στην ιζηματογένεση διαρκεί σε όλο το μέσο Ιουρασικό, ενώ αμέσως μετά γίνεται ενιαία σε όλο το πλάτος της ζώνης με πελαγικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι περιέχουν ενστρώσεις κερατολίθων (ασβεστόλιθοι Βίγλας). (Οι ασβεστόλιθοι αυτοί έχουν ομοιότητες με τους Plattenkalk της Κρήτης για το λόγο αυτό θεωρείται ότι η ζώνη αυτή επεκτείνεται πιθανόν και στην Κρήτη).
- Κάτω – Μέσο Κρητιδικό: Συνεχίζεται η ιζηματογένεση με ασβεστόλιθους της Βίγλας μέχρι το Ανώτερο Κρητιδικό με πάχος περίπου 400 μ.
- Άνω Κρητιδικό – Μέσο Ηώκαινο: Απόθεση λατυποπαγών ασβεστόλιθων, οι οποίοι στο κέντρο της ζώνης είναι περισσότερο πελαγικοί με πάχος περίπου 400μ.

- Άνω Ηώκαινο – Μειόκαινο: Γίνεται απόθεση φλύσχη μεγάλου πάχους (περίπου 2000 μ.) ο οποίος εμφανίζεται πολύ συχνά πτυχωμένος πράγμα που επηρεάζει το φαινόμενο πάχος του.

### 4.2.3. Λιθοστρωματογραφία της ευρύτερης περιοχής

Γεωλογικά, στην περιοχή, σύμφωνα με το Φύλλο Βαρθολόμιον (ΙΓΜΕ, 1969) [22] από τα παλαιότερα προς τα νεότερα συναντούμε τους εξής σχηματισμούς:

- Μέσο Ιουρασικό – Άνω Κρητιδικό: Συναντώνται παχυστρωματώδεις έως λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι οι οποίοι σε μερικές περιπτώσεις περιέχουν κερατολιθικές ενστρώσεις. Οι ασβεστόλιθοι δεν βρίσκονται στις αρχικές τους θέσεις, αλλά έχουν τοποθετηθεί δευτερογενώς στη θέση που αυτοί εμφανίζονται, είτε λόγω διαφυρισμού της γύψου είτε λόγω της δράσης ρηγμάτων ή πτυχωσιγενών δυνάμεων.
- Πλειόκαινο: Κατά την περίοδο αυτή εμφανίζονται αποθέσεις θαλάσσιες, υφάλμυρες και λιμναίες. Εναλλασσόμενα στρώματα μαργών, αργιλούχων ή κατά θέσεις ανθρακούχων αργίλων, άμμων, αδρομερών και λεπτόκοκκων ψαμμιτών χαλαρής συνοχής, καθώς και κροκαλοπαγών. Σε ορισμένες θέσεις, περιλαμβάνουν και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους. Κοντά στην περιοχή της Κυλλήνης εμφανίζεται αντίκλινο με άξονα ΒΔ διεύθυνσης το οποίο οφείλεται στη διαφυρική δράση της γύψου σε συνδυασμό με την δράση ρηγμάτων, τα οποία διατρέχουν παράλληλα την δυτική ακτή της περιοχής της Κυλλήνης. Το στρώμα αυτό όπου εμφανίζεται έχει πάχος ακόμα και 800 μ.
- Πλειστόκαινο: Απόθεση χονδρόκοκκων ασβεστιτικών ψαμμιτών
- Τεταρτογενές: Κατά την περίοδο του Ολοκαίνου αποτίθενται από τα αρχαιότερα προς τα νεότερα πλευρικά κορήματα, θίνες (άμμος με καλή στρογγυλότητα, ταξινόμηση και σφαιρικότητα που δημιουργείται από την δράση του ανέμου) και σύγχρονες γενικά προσχώσεις.

## 4.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στην περιοχή έρευνας η υδρολογική συμπεριφορά των διαφόρων σχηματισμών εξαρτάται από την λιθολογική τους σύσταση και την κοκκομετρία τους εφόσον



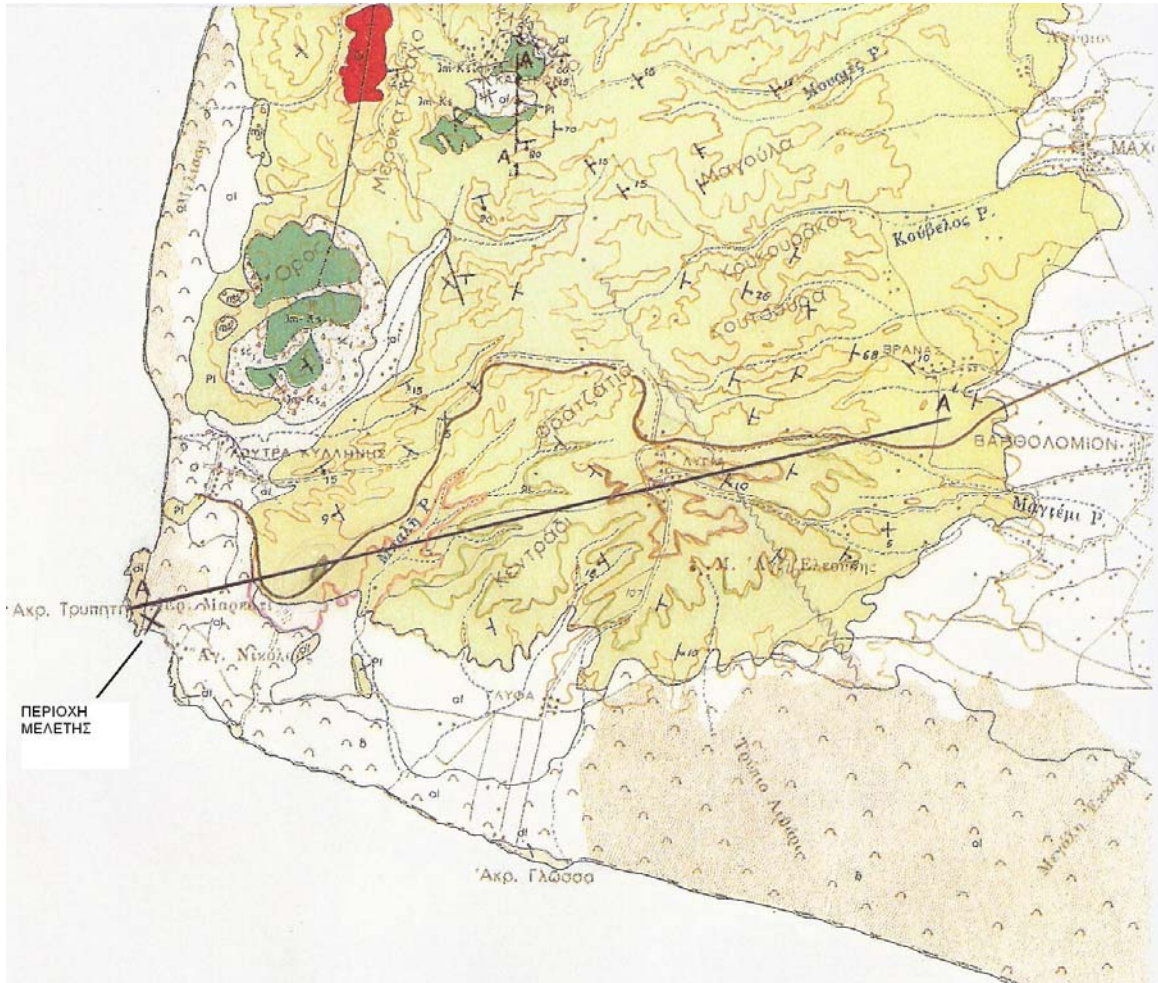
πρόκειται για εδάφη και από το βαθμό διαγένεσης και τον τεκτονισμό τους εφόσον πρόκειται για πετρώματα. Η εκτίμηση της συμπεριφοράς αυτής γίνεται με βάση το πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες και την υδροπερατότητα του σχηματισμού.

Σύμφωνα με την περιγραφή των σχηματισμών που έγινε σε προηγούμενη παράγραφο θα γίνει μια προσπάθεια στη συνέχεια εκτίμησης της υδρολογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών με στοιχεία που αναφέρονται στην βιβλιογραφία.

- Ασβεστόλιθοι του Μέσο Ιουρασικού – Άνω Κρητιδικού: Ο σχηματισμός αυτός θεωρείται ότι θα είναι έντονα κατακερματισμένος λόγω της δράσης του διαφυρισμού της γύψου, ο οποίος σε συνδυασμό με τη δράση πτυχωσιγενών δυνάμεων και ρηγμάτων μετακίνησε τον ασβεστόλιθο από την αρχική θέση απόθεσης και προκάλεσε έντονο κατακερματισμό. Λόγω του έντονου κατακερματισμού ο ασβεστόλιθος είναι υδροπερατός με υδροπερατότητα η οποία λαμβάνει αρκετά υψηλές τιμές ( $>10^{-5}$  m/sec).
- Μάργες: αποτελούν έναν πρακτικά αδιαπέρατο σχηματισμό με τιμές υδροπερατότητας που κυμαίνονται από  $10^{-11}$  μέχρι  $10^{-7}$  m/sec και σχεδόν μηδενικό ενεργό πορώδες.
- Άργιλος: Οι αργιλικοί σχηματισμοί είναι σχεδόν αδιαπέρατοι με τιμές υδροπερατότητας από  $10^{-7}$  έως  $10^{-9}$  m/sec και το πορώδες είναι της τάξης του 42% (Καλλέργης, 1986).
- Ψαμμίτης: Αποτελούν έναν γενικά υδροπερατό σχηματισμό με υδροπερατότητα  $10^{-5}$  m/sec με τιμή πορώδους 28% -30%.
- Άμμος: Είναι ένας σχηματισμός με πολύ καλή υδροπερατότητα με τιμές της τάξης του  $2.3 \cdot 10^{-2}$  m/sec για χονδρόκοκκες έως  $1.1 \cdot 10^{-2}$  m/sec για λεπτόκοκκες.
- Θίνες: Σχηματισμοί άμμων με πολύ καλή υδροπερατότητα.

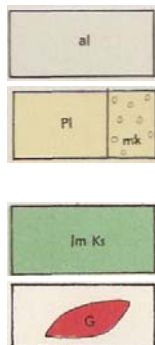
- Πλευρικά κορήματα: Σχηματισμοί με πολύ καλή υδροπερατότητα.

Στο ελάχιστο βάθος που αναμένεται να φτάσουν οι γεωτρήσεις (85 μ.) για τα συστήματα ψύξης – θέρμανσης γεωθερμικών αντλιών θερμότητας που θα χρησιμοποιηθούν αναμένεται να συναντηθεί υδροφορία, η οποία κυρίως προέρχεται από το νερό της θάλασσας, λόγω της ύπαρξης κυρίως άμμων σε μικρό βάθος, όπως φαίνεται και από την γεωλογική τομή της περιοχής (Σχήμα 4.2) [6].



**Σχήμα 4.1:** Γεωλογικός χάρτης περιοχής, κλίμακας 1:50.000, υπόμνημα σχ. 2.5 [22].

## Υπόμνημα

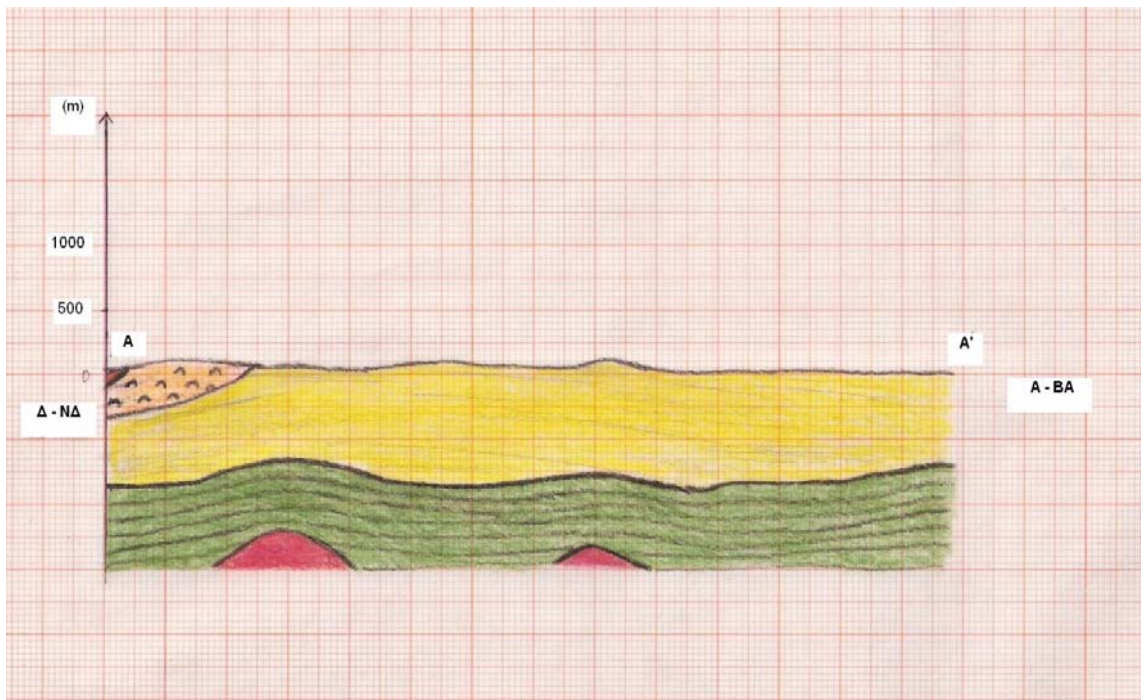


## Προσχώσεις, γενικώς σύγχρονες

**Εναλλασσόμενα στρώματα μαργών, αργιλούχων και κατά θέσεις  
ανθρακούχων αργίλων, άμμων, ψαμμιτών**

**Ασβεστόλιθοι, λεπτοστρωματώδεις ως παχυστρωματώδεις**

## Διαπυρική γύψος



**Σχήμα 4.2:** Γεωλογική τομή Α-Α' με διεύθυνση Δ-ΝΔ προς Α-ΒΑ, υπόμνημα τομής.



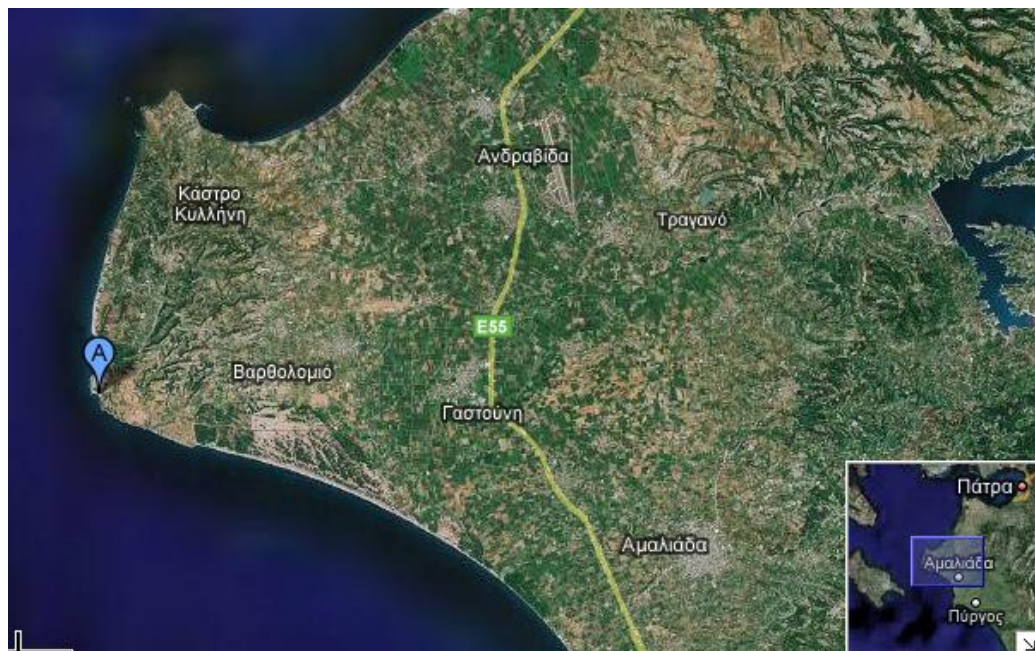
Παρατηρώντας το γεωλογικό χάρτη του σχήματος 4.1, διακρίνουμε ότι οι παρατάξεις στο ανατολικό τμήμα της τομής έχουν γενική διεύθυνση Β-ΒΑ, Ν-ΝΔ με διεύθυνση κλίσεως των στρωμάτων προς Ν-ΝΑ. Δυτικότερα οι παρατάξεις αλλάζουν και έχουν γενική διεύθυνση Β-ΒΔ, Ν-ΝΑ με διεύθυνση κλίσεως των στρωμάτων ΝΔ. Πρόκειται για ένδειξη ότι στην περιοχή εκείνη υπάρχει αναθόλωση (κυματιστή γραμμή σχήματος 4.1), που πιθανώς οφείλεται στην ύπαρξη ενός διαπύρου στην περιοχή. Ένας δεύτερος διάπυρος πιθανώς να βρίσκεται νοτίως του όρους Χλεμουτσίου (Τομή σχήματος Π.3.4, Παραρτήματος ΙΙ), που οριοθετεί τις νεογενείς από τις τεταρτογενείς



αποθέσεις. Στη γεωλογική τομή του σχήματος 4.2, απεικονίζονται τα στρώματα διαπυρικής γύψου που παρεμβάλλονται στους ασβεστόλιθους, καθώς και τα στρώματα των υπολοίπων πετρωμάτων, σε πάχη όπως αυτά ορίζονται από τη στρωματογραφική στήλη (Σχήμα 2.5).

#### 4.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΙΝΗΤΟΥ

Το ξενοδοχειακό συγκρότημα έχει συνολική έκταση 1900 στρεμμάτων, ενώ αποτελείται από 4 ξενοδοχεία δυναμικότητας 1500 κλινών, ένα συνεδριακό κέντρο και ένα υπερσύγχρονο κέντρο λουτροθεραπείας έκτασης 4500 τ.μ. Το συνολικό εμβαδόν του κτηρίου είναι της τάξης των 35.000 τ.μ. Η πρόσβαση γίνεται από τον επαρχιακό δρόμο που ενώνει την περιοχή του Βαρθολομιού με τα Λουτρά Κυλλήνης.



**Σχήμα 4.3:** Υβριδικός χάρτης Κυλλήνης, Ηλεία (Πηγή: Google map).  
Σημείο (Α), τοποθεσία ξενοδοχειακού συγκροτήματος.

Η περιοχή του έργου είναι εκτός σχεδίου πόλεως, επομένως σε επίσημη γεωλογική μελέτη θα πρέπει να γίνει περιγραφή του χώρου σε ακτίνα 500 μ (άρθρο 4, της παραγράφου 4 του ΦΕΚ 1595/25-10-2004) [4].

Συνοπτικά αναφέρεται ότι σύμφωνα με το τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις, εκτάσεις χαρακτηρισμένες ως δασικές, ιδιόκτητες εκτάσεις, ασφαλτοστρωμένοι και αγροτικοί δρόμοι οι οποίοι χαρακτηρίζονται γενικά προσπελάσιμοι.

### 4.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

#### 4.5.1 Γενικά

Οι θερμικές ανάγκες ενός χώρου και γενικότερα ενός κτηρίου είναι το ποσό θερμότητας που πρέπει να ληφθεί ως βάση για τον σχεδιασμό της εγκατάστασης θέρμανσης. Είναι ιδιότητα του χώρου ή του κτηρίου και είναι ανεξάρτητες από το σύστημα θέρμανσης που θα εγκατασταθεί. Εξαρτώνται από το μέγεθος του χώρου, τον τρόπο κατασκευής των τοίχων, το μέγεθος και το υλικό κατασκευής των ανοιγμάτων από τον αερισμό και από άλλους παράγοντες.

Ο υπολογισμός των θερμικών αναγκών γίνεται για κάθε χώρο του κτηρίου ξεχωριστά, για να μπορεί να προσδιορισθεί το μέγεθος των θερμαντικών σωμάτων του κάθε χώρου. Το σύνολο των θερμικών αναγκών προκύπτει από το άθροισμα των θερμικών αναγκών όλων των χώρων που θερμαίνονται. Η μεθοδολογία του υπολογισμού των θερμικών αναγκών βασίζεται στους νόμους της μετάδοσης θερμότητας. Επειδή όμως κατά τους υπολογισμούς πρέπει να καθοριστούν και να επιλεγούν πολλά μεγέθη, όπως π.χ. θερμοκρασίες χώρων διαφόρων χρήσεων, ποσότητες αερισμού κ.λ.π., για να αποφευχθούν αυθαίρετες παραδοχές οι διάφορες χώρες καθιέρωσαν έναν ενιαίο τρόπο υπολογισμού που δίνεται σε μορφή κανονισμού. Οι κανονισμοί αυτοί μπορούν να διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Η μέθοδος υπολογισμού που επικράτησε στον ελληνικό χώρο είναι αυτή που αναφέρεται στις δύο εκδόσεις του γερμανικού DIN 4701, που έχουν διαφοροποιηθεί μεταξύ τους από την επίδραση της ενεργειακής κρίσης και την εξέλιξη των αυτοματισμών.

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Θερμομόνωσης Κτηρίων [8] στον υπολογισμό των θερμικών αναγκών διακρίνουμε τις κανονικές και τις ειδικές περιπτώσεις. Κανονικές είναι οι συνηθισμένες κατασκευές που περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος των κτιρίων, όπως π.χ. μονοκατοικίες, πολυκατοικίες, δημόσια κτίρια, εμπορικά καταστήματα, τράπεζες, εκπαιδευτικά κτίρια, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εργοστάσια κ.λ.π.

Ως ειδικές περιπτώσεις ορίζονται:

- α) Οι σπάνια θερμαινόμενοι χώροι (π.χ. εκκλησίες)
- β) Τα κτίρια με βαριά κατασκευή (π.χ. καταφύγια, κλειστά υπόγεια γκαράζ)
- γ) Οι μεγάλες αίθουσες
- δ) Τα θερμοκήπια

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών γίνεται για μόνιμη κατάσταση θέρμανσης, δηλαδή παραδεχόμαστε ότι όλα τα μεγέθη που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς παραμένουν σταθερά με το χρόνο.

Η συγκεκριμένη περίπτωση ορίζεται ως κανονική, όμως δεν υπήρχε η δυνατότητα λεπτομερούς υπολογισμού των θερμικών αναγκών σε κάθε χώρο του ξενοδοχείου, ώστε να προκύψει το άθροισμα των θερμικών αναγκών όλων των χώρων που θερμαίνονται. Επομένως η μελέτη αποτελεί ένα παράδειγμα, με προτεινόμενη θερμοκρασία σχεδιασμού 19 °C.

#### 4.5.2 Εφαρμογή

Σύμφωνα με τον πίνακα θερμοκρασιακών και άλλων στοιχείων πόλεων του Κανονισμού Θερμομόνωσης Κτηρίων που ακολουθεί (Πίνακας 4.1) και δεδομένου ότι η κοντινότερη πόλη στην περιοχή της Κυλλήνης είναι ο Πύργος, Ηλείας, ισχύουν τα εξής δεδομένα:

- Μέση Ελάχιστη Εξωτερική Θερμοκρασία:  $t_{min\text{ εξ}} = -1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Υψόμετρο Σταθμού: 132,0 m
- Επικρατούντες Άνεμοι (Μήνες Ιανουάριο-Φεβρουάριο): B – Δ
- Ζώνη: B

**Πίνακας 4.1:** Πίνακας θερμοκρασιακών και άλλων στοιχείων πόλεων

| Όνομα Πόλεως        | Μέση<br>Ελάχιστη<br>Εξωτερική<br>Θερμοκρασία | Υψόμετρο<br>Σταθμού<br>(m) | Επικρατούντες<br>Άνεμοι (Μήνες<br>Ιανουάριο-<br>Φεβρουάριο) | Ζώνη |
|---------------------|----------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------|------|
| Αθήνα-Αστεροσκοπείο | +1                                           | 107,0                      | B. και N.                                                   | B    |
| Αλεξανδρούπολη      | -7                                           | 2,5                        | B.A.                                                        | Γ    |
| Βόλος               | -3                                           | 2,7                        | B.                                                          | B    |
| Δράμα               | -8                                           | 74,0                       | N.Δ.                                                        | Γ    |
| Ελευσίνα            | 0                                            | 29,5                       | B.                                                          | B    |
| Ελληνικό Αττικής    | +2                                           | 10,2                       | B.                                                          | B    |
| Ηράκλειο            | +6                                           | 38,5                       | N.                                                          | A    |
| Θεσσαλονίκη-Μίκρα   | -5                                           | 2,8                        | B.Δ.                                                        | Γ    |
| Θήρα                | +3                                           | 208,0                      | B.                                                          | A    |
| Κατερίνη            | -5                                           | 31,5                       | B.                                                          | Γ    |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

|                   |           |              |             |          |
|-------------------|-----------|--------------|-------------|----------|
| Κέρκυρα           | 0         | 1,0          | N.A.        | B        |
| Λήμνος            | 0         | 12,3         | B.A.        | B        |
| Παλαιόχωρα-Κρήτης | +5        | 8,0          | B.          | A        |
| Πάτρα             | -1        | 1,0          | N.Δ.        | B        |
| Πειραιάς          | +2        | 2,0          | B.A.        | B        |
| <b>Πύργος</b>     | <b>-1</b> | <b>132,0</b> | <b>B.Δ.</b> | <b>B</b> |
| Ρέθυμνο           | +3        | 16,0         | N. και B.   | A        |
| Ρόδος             | +3        | 34,7         | N. και Δ.   | A        |
| Φλώρινα           | -11       | 661,0        | Δ.          | Γ        |
| Χαλκίδα           | +2        | 4,0          | B.          | B        |
| Χανιά             | +3        | 62,5         | N.Δ.        | A        |

(Πηγή: Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτηρίων [8])

Με τον όρο Ζώνη υποδηλώνονται οι κλιματικές ζώνες στις οποίες χωρίζεται ο ελλαδικός χώρος με βάση τις ετήσιες Βαθμοημέρες Θέρμανσης (ΒΗΘ), οι οποίες είναι υπολογισμένες σε θερμοκρασία βάσης τους 19 °C. Σύμφωνα με τον Κανονισμό ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας του Κ.Α.Π.Ε. [9], ισχύει η παρακάτω ταξινόμηση (Πίνακας 4.2):

**Πίνακας 4.2:** Ταξινόμηση κλιματικών ζωνών.

| Ζώνη     | Κατώτερο όριο ΒΗΘ | Ανώτερο όριο ΒΗΘ |
|----------|-------------------|------------------|
| A        | 601               | 1100             |
| <b>B</b> | <b>1101</b>       | <b>1600</b>      |
| Γ        | 1601              | 2200             |
| Δ        | >2201             |                  |

(Πηγή: ΚΟΧΕΕ, ΚΑΠΕ – Παράρτημα Ι)

Στο Παράρτημα Ι παρατίθεται επιπλέον ο πίνακας ταξινόμησης των νομών της Ελλάδας με βάση τις κλιματικές ζώνες, καθώς και ο πίνακας με τις ακριβείς βαθμοημέρες θέρμανσης για κάθε πόλη.

### Θέρμανση

Σύμφωνα με τον Πίνακα του Παραρτήματος I, ο Πύργος που ανήκει στη Β κλιματική ζώνη έχει 1110 ΒΗΘ. Την τιμή αυτή την πολλαπλασιάζουμε επί 24 ώρες για να υπολογίσουμε τις Βαθμοώρες για την περίπτωση της θέρμανσης.

$$\frac{1110 \text{ Βαθμοημέρες}}{\times \frac{24 \text{ Ώρες}}{26640 \text{ Βαθμοώρες (ΒΩΘ)}}} \quad (4.1)$$

Για τον υπολογισμό της ενέργειας σε θερμοκρασία σχεδιασμού  $T_{σχ} = 19 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , πρέπει πρώτα να υπολογίσουμε το  $\Delta T_{σχ}$ , σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta T_{σχ} = T_{σχ} - (t_{\min \text{ εξ}}) \quad (4.2)$$

και προκύπτει  $\Delta T_{σχ \text{ th}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Χρειαζόμαστε την ισχύ με βάση την έκταση των στεγασμένων χώρων, που είναι  $35.000 \text{ m}^2$ . Σύμφωνα με τα δεδομένα που μας δόθηκαν από το τμήμα συντήρησης του ξενοδοχειακού συγκροτήματος η απαιτούμενη ισχύς ανέρχεται σε  $2800 \text{ kW}$ . **Το ποσό της ισχύος παραμένει ίδιο τόσο για τη θέρμανση, όσο και για την ψύξη.**

Η ενέργεια υπολογίζεται σε kWh μέσω της ακόλουθης σχέσης:

$$\text{ΕΝΕΡΓΕΙΑ}_{th} = \frac{\text{ΙΣΧΥΣ}}{\Delta T_{σχ \text{ th}}} \times \text{ΒΩΘ} \quad (4.3)$$

Επομένως η απαιτούμενη ενέργεια για τη θέρμανση είναι  $3.729.600 \text{ kWh}$ .

### Ψύξη

Αντίστοιχα για την ψύξη, για την οποία οι βαθμοώρες (ΒΩΨ) υπολογίζονται σε 10.000, με δεδομένο ότι  $t_{\max \text{ εξ}} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$  και θερμοκρασία σχεδιασμού  $T_{σχ} = 26^{\circ}\text{C}$ , καταλήγουμε στη σχέση (4.4) με το εξής αποτέλεσμα:

$$\Delta T_{σχ \text{ c}} = (t_{\max \text{ εξ}}) - T_{σχ} \quad (4.4)$$

$\Delta T_{σχ \text{ c}} = 9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Για την ίδια τιμή ισχύος η απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη υπολογίζεται από αντίστοιχη σχέση με την (4.3), τη σχέση (4.5):

$$\text{ΕΝΕΡΓΕΙΑ}_c = \frac{\text{ΙΣΧΥΣ}}{\Delta T_{σχ \text{ c}}} \times \text{ΒΩΨ} \quad (4.5)$$

και προκύπτουν  $3.111.110 \text{ kWh}$ , για 10.000 ΒΩΨ.



### 4.5.3 Σχεδιασμός

Για την ορθολογικότερη κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών αναγκών προτείνεται ο συνδυασμός διαφορετικών συστημάτων θέρμανσης – ψύξης, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη εγκατάσταση, που θα είναι αποδοτική και οικονομικά συμφέρουσα.

Προτείνεται η δημιουργία ανοιχτού κυκλώματος υδρογεωτρήσεων, το οποίο σε περιόδους μέσης αιχμής θα λειτουργεί σε συνδυασμό με ένα κλειστό κύκλωμα κατακόρυφων εναλλακτών θερμότητας, ενώ σε περιόδους αιχμής θα λειτουργεί και συμβατικό σύστημα λέβητα/καυστήρα και συστήματος ψύξεως νερού (chiller). Ακολουθεί αναλυτικότερη περιγραφή του προτεινόμενου σχεδιασμού.

Η ολική απαιτούμενη ισχύς είναι 2800kW. Το 50% αυτής θα προέρχεται από σύστημα υδρογεωτρήσεων διπλής εναλλαγής, δηλαδή ανοιχτό σύστημα, που θα αντιστοιχεί στο 82% της ενέργειας. Θα κατασκευαστούν 2 υδρογεωτρήσεις παραγωγής και 2 επανεισαγωγής, με συνολικά 4 γεωθερμικές αντλίες (2 σε κάθε σύστημα γεωτρήσεων παραγωγής – επανεισαγωγής) ισχύος 350kW έκαστη, με περιβαλλοντικά συμβατό ψυκτικό υγρό.

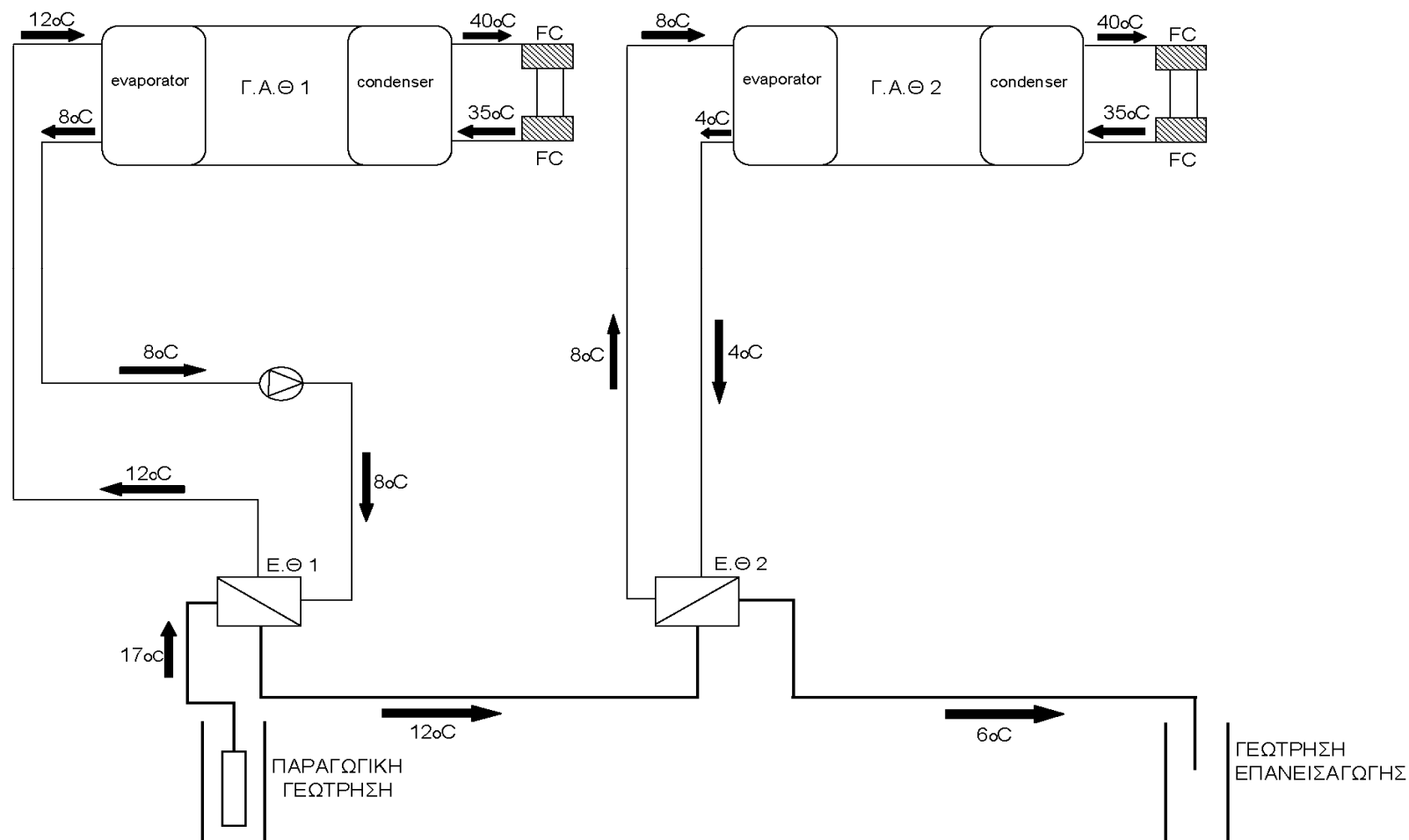
Η διαβάθμιση των θερμοκρασιών αναλύεται στα ακόλουθα δεδομένα, ενώ στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζεται το διάγραμμα ροής της προτεινόμενης εφαρμογής γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με ανοιχτό σύστημα για τις δύο υδρογεωτρήσεις (μια παραγωγική και μια επανεισαγωγής, σε βάθος 100m), τόσο κατά τη λειτουργία θέρμανσης (Σχήμα 4.4), όσο και ψύξης (Σχήμα 4.5).

Από ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΗ 1:

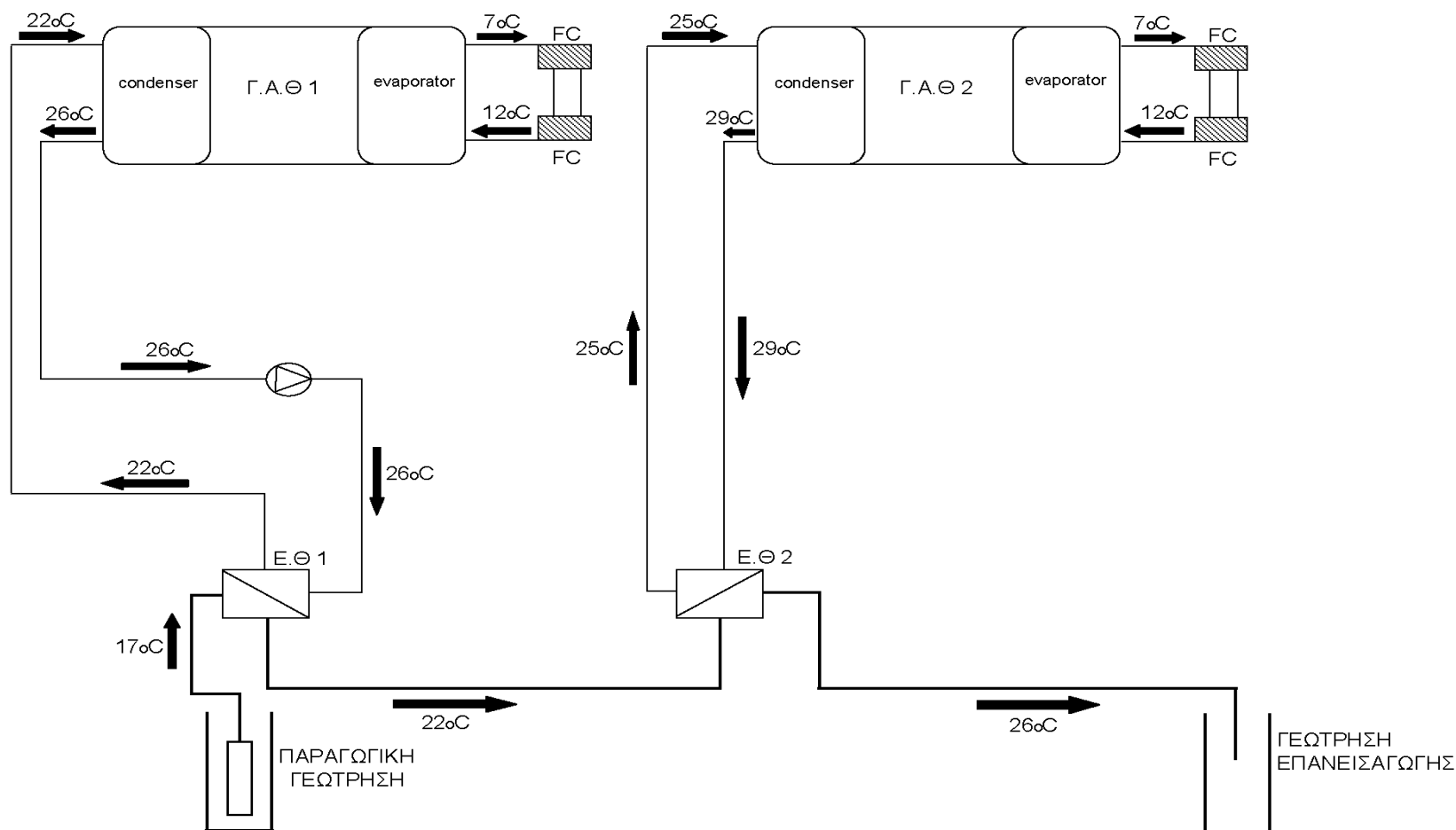
40/35°C στο κύκλωμα εντός των κτηρίων-1 & 12/8 °C στο γεωθερμικό σύστημα-1  
 40/35°C στο κύκλωμα εντός των κτηρίων-2 & 8/4°C στο γεωθερμικό σύστημα-2  
 7/12°C στο κύκλωμα εντός των κτηρίων-1 & 22/26 °C στο γεωθερμικό σύστημα-1  
 7/12°C στο κύκλωμα εντός των κτηρίων-2 & 25/29 °C στο γεωθερμικό σύστημα-2

Από ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΗ 2:

40/35°C στο κύκλωμα εντός των κτηρίων-1 & 12/8 °C στο γεωθερμικό σύστημα-3  
 40/35°C στο κύκλωμα εντός των κτηρίων-2 & 8/4°C στο γεωθερμικό σύστημα-4  
 7/12°C στο κύκλωμα εντός των κτηρίων-1 & 22/26 °C στο γεωθερμικό σύστημα-3  
 7/12°C στο κύκλωμα εντός των κτηρίων-2 & 25/29 °C στο γεωθερμικό σύστημα-4

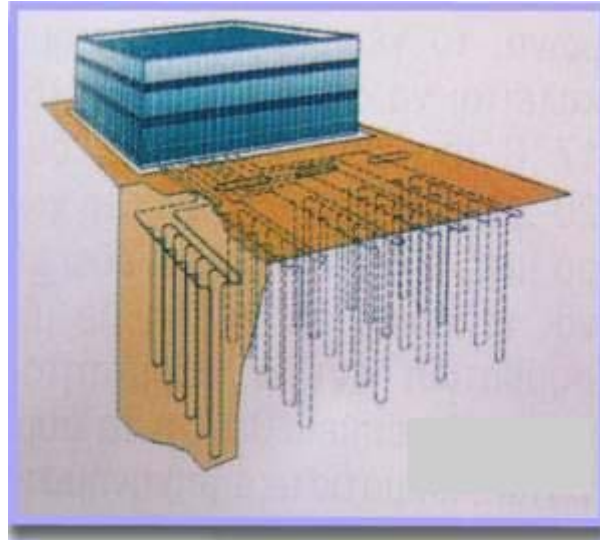


**Σχήμα 4.4:** Διάγραμμα ροής στο προτεινόμενο σύστημα υδρογεωτρήσεων για τη λειτουργία θέρμανσης του ξενοδοχειακού συγκροτήματος, το οποίο αποδίδει 700kW ισχύος, που αντιστοιχεί σε ενέργεια 1.529.136kWh. Προτείνονται 2 τέτοια συστήματα, επομένως αποδίδονται συνολικά 1400kW ισχύος, δηλαδή 3.058.272kWh [4].



**Σχήμα 4.5:** Διάγραμμα ροής στο προτεινόμενο σύστημα υδρογεωτρήσεων για τη λειτουργία ψύξης του ξενοδοχειακού συγκροτήματος. (Σημείωση: Η απαιτούμενη ισχύς για την ψύξη είναι ίδια με αυτή της θέρμανσης, ενώ αντιστοιχεί σε ενέργεια ψύξης 1.275.555kWh για το ένα ζεύγος υδρογεωτρήσεων και 2.551.110kWh για τα δύο.) [4]

Μέσω κλειστού συστήματος κάθετων γεωθερμικών εναλλακτών θερμότητας (Σχήμα 4.6) θα παράγεται το υπόλοιπο 25% της ισχύος, το οποίο όμως θα καλύπτει το 15% της ενέργειας και αναμένεται να λειτουργεί σε ώρες μέσης αιχμής. Επομένως υπολογίζεται ότι για 700kW, απαιτούνται 103 κατακόρυφοι ΓΕΘ (γεωθερμικοί εναλλάκτες θερμότητας) και 2 γεωθερμικές αντλίες, ισχύος 350kW έκαστη.

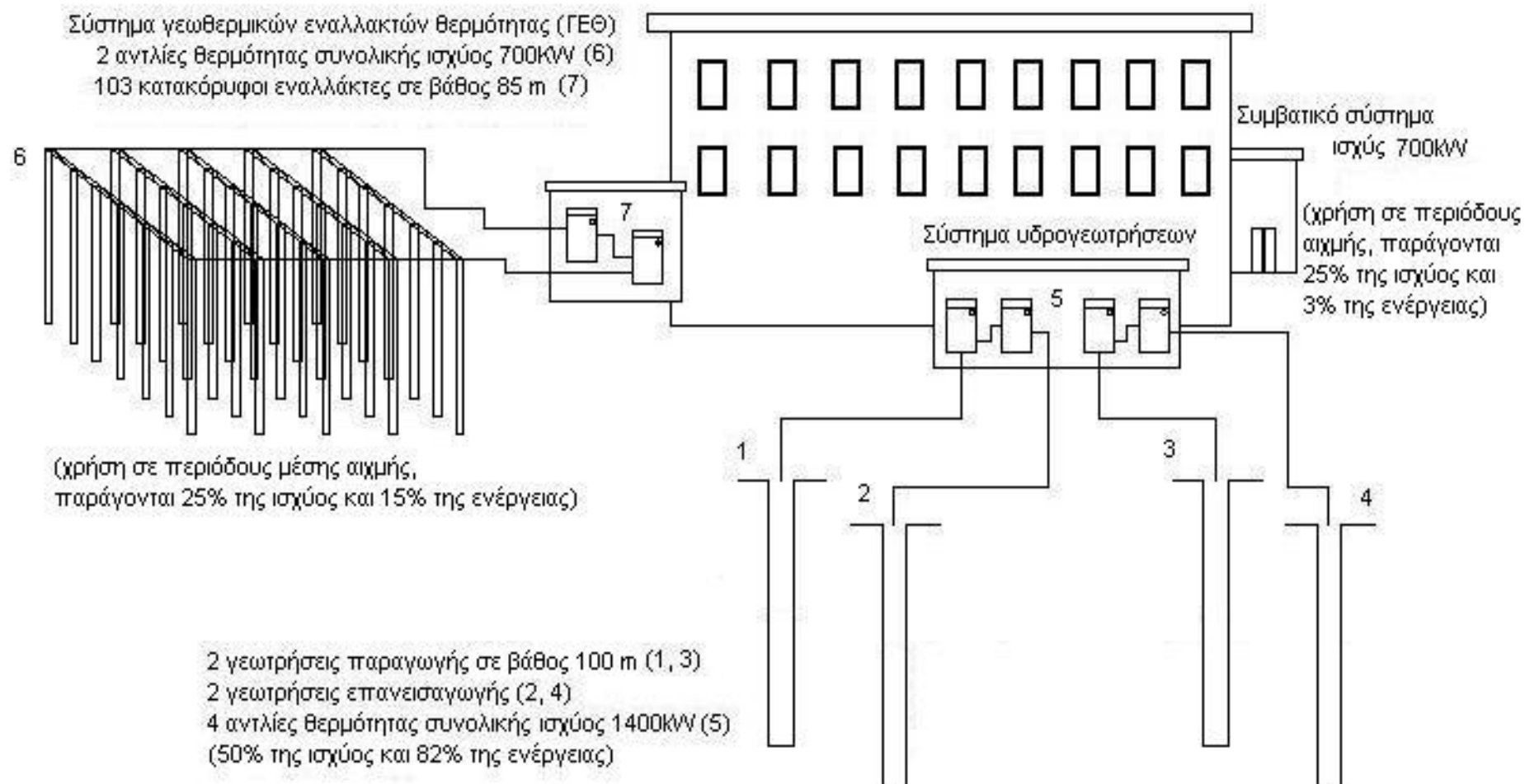


**Σχήμα 4.6:** Ενδεικτικό διάγραμμα διάταξης κατακόρυφων εναλλακτών.

Τα γεωθερμικά συστήματα που προτείνονται αποδίδουν το 97% της συνολικής απαιτούμενης ισχύος και χρησιμοποιούνται σε αυτά συνολικά 6 γεωθερμικές αντλίες ισχύος 350kW, με συνολική παραγόμενη ισχύ 2100kW, εκ των οποίων οι 4 τοποθετούνται στο ανοιχτό σύστημα και οι 2 στο κλειστό. Αυτός ο σχεδιασμός παρέχει ιδιαίτερη ευελιξία στη συγκεκριμένη εφαρμογή, καθώς παρέχει τη δυνατότητα να παράγει ταυτόχρονα ψύξη σε ορισμένους χώρους και θέρμανση σε άλλους, ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Τέλος, για τις ώρες αιχμής αναμένεται να γίνεται χρήση συμβατικού συστήματος λέβητα/καυστήρα και συστήματος ψύξεως νερού (chiller), το οποίο θα παρέχει το τελικό 25% της ισχύος, δηλαδή 700kW, που θα αποδίδουν το 3% της ενέργειας.

Μία εναλλακτική πρόταση θα ήταν να παρέχεται το 100% της ενέργειας μέσω των υδρογεωτρήσεων, καθώς θα ήταν η βέλτιστη οικονομικά λύση όσον αφορά το κόστος σχεδιασμού. Σύμφωνα όμως με υδρογεωλογικά δεδομένα δεν μπορούν να αντληθούν πάνω από 80m<sup>3</sup>/h, γεγονός που αποκλείει αυτή την εναλλακτική λύση, καθώς τότε θα χρειαζόνταν 2 συστήματα υδρογεωτρήσεων παροχής 160m<sup>3</sup>/h έκαστο. Έτσι προτείνεται ο συνδυασμός διαφορετικών συστημάτων.



Σχήμα 4.7: Σχηματικό διάγραμμα των προτεινόμενων εγκαταστάσεων

Στο σχήμα 4.7 απεικονίζεται ο προτεινόμενος συνδυασμός συστημάτων. Μπροστά από το κεντρικό κτήριο βρίσκονται οι εγκαταστάσεις του συστήματος των υδρογεωτρήσεων (ανοιχτό γεωθερμικό σύστημα), από το οποίο προκύπτει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας, με χρήση 2 γεωτρήσεων παραγωγής και 2 επανεισαγωγής και 4 αντλιών θερμότητας.

Αριστερά διακρίνονται οι εγκαταστάσεις του κλειστού γεωθερμικού συστήματος με τους 103 κατακόρυφους γεωθερμικούς εναλλάκτες και τις 2 αντλίες θερμότητας, που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας για περιόδους μέσης αιχμής. Τέλος, στα δεξιά απεικονίζεται ο χώρος των εγκαταστάσεων του συμβατικού συστήματος, που ήδη υπάρχει, και προτείνεται να λειτουργεί συμπληρωματικά σε περιόδους αιχμής.

## 5. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

### 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, η απαιτούμενη ισχύς για το ξενοδοχειακό συγκρότημα των 35.000m<sup>2</sup> είναι 2800kW, τόσο για θέρμανση, όσο και για ψύξη. Με βάση τις βαθμοώρες θέρμανσης, που μέσω θερμοκρασιακών δεδομένων προέκυψαν 26.640 ΒΩΘ, η απαιτούμενη ενέργεια για τη θέρμανση είναι 3.729.600kWh, ενώ για 10.000 Βαθμοώρες Ψύξης είναι 3.111.110kWh.

Μέσω του ανοιχτού συστήματος υδρογεωτρήσεων παράγεται το 82% της απαιτούμενης ενέργειας, δηλαδή 3.058.272kWh για θέρμανση και 2.551.110kWh για ψύξη. Σε περιόδους μέσης αιχμής τίθεται σε λειτουργία και το κλειστό, άρα παράγεται επιπλέον 15% ενέργειας, που ισοδυναμεί με 559.440kWh για θέρμανση και 466.667kWh για ψύξη. Τα γεωθερμικά συστήματα είναι ικανά να προσφέρουν το 97% των ενεργειακών αναγκών, όμως προτείνεται η ύπαρξη συμβατικού συστήματος λέβητα/καυστήρα και chiller, για λειτουργία σε περιόδους αιχμής, οπότε αποδίδουν επιπλέον 111.888 kWh για θέρμανση και 93.333 kWh για ψύξη.

### 5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με τη χρήση υπολογιστικών φύλλων Excel γίνεται η ενεργειακή – οικονομική μελέτη του προτεινόμενου συστήματος, καθώς και σύγκριση με το συμβατικό σύστημα.

**Πίνακας 5.1:** Δεδομένα ξενοδοχειακού συγκροτήματος, ισχύς, COP, εξοπλισμός γεωθερμικών συστημάτων.

|                                         |              |                        |
|-----------------------------------------|--------------|------------------------|
| <b>HOTEL</b>                            |              |                        |
| <b>ΕΜΒΑΔΟΝ ΚΤΗΡΙΟΥ</b>                  | <b>35000</b> | <b>m<sup>2</sup></b>   |
| <b>ΑΝΑΓΚΗ ΣΕ ΘΕΡΜΑΝΣΗ</b>               | <b>2800</b>  | <b>kW<sub>th</sub></b> |
| <b>ΑΝΑΓΚΗ ΣΕ ΨΥΞΗ</b>                   | <b>2800</b>  | <b>kW<sub>c</sub></b>  |
| <b>COP Γ.Α.Θ.</b>                       | <b>4</b>     |                        |
| <b>ΓΗΙΝΟΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗΣ - 85 m</b>         | <b>75</b>    | <b>W/m</b>             |
| <b>ΑΡΙΘΜΟΣ</b>                          | <b>103</b>   |                        |
| <b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΑΘ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b>  | <b>2</b>     |                        |
| <b>ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ – 100 m</b>     | <b>2</b>     |                        |
| <b>ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΕΠΑΝΕΙΣΑΓΩΓΗΣ – 100 m</b> | <b>2</b>     |                        |
| <b>ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΑΘ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b>  | <b>4</b>     |                        |

**Πίνακας 5.2:** Ενεργειακή – οικονομική μελέτη για το ανοιχτό σύστημα υδρογεωτρήσεων.

| ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ (ΑΝΟΙΧΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ) |           |           |
|----------------------------------|-----------|-----------|
| ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ                       | ΘΕΡΜΑΝΣΗ  | ΨΥΞΗ      |
| ΒΑΘΜΟΩΡΕΣ                        | 26.640    | 10.000    |
| Ανάγκη (kWh)                     | 3.058.272 | 2.551.111 |
| ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)       | 764.568   | 850.370   |
| ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ €/kWh         | 0,12      |           |
| ΚΟΣΤΟΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ             | 91.748 €  | 102.044 € |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ    | 1.614.938 | kWh       |
| ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ    | 193.793   | €         |

**Πίνακας 5.3:** Ενεργειακή – οικονομική μελέτη για το κλειστό σύστημα κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών θερμότητας.

| ΓΕΘ (ΚΛΕΙΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ)         |          |          |
|-------------------------------|----------|----------|
| ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ                    | ΘΕΡΜΑΝΣΗ | ΨΥΞΗ     |
| ΒΑΘΜΟΩΡΕΣ                     | 26.640   | 10.000   |
| Ανάγκη (kWh)                  | 559.440  | 466.667  |
| ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh)    | 139.860  | 155.556  |
| ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ €/kWh      | 0,12     |          |
| ΚΟΣΤΟΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ          | 16.783 € | 18.667 € |
| ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 295.416  | kWh      |
| ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 35.450   | €        |

**Πίνακας 5.4:** Ενεργειακή – οικονομική μελέτη για το προτεινόμενο συμβατικό σύστημα (λειτουργία σε περιόδους αιχμής)

| ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ |          |        |
|-------------------|----------|--------|
| ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ        | ΘΕΡΜΑΝΣΗ | ΨΥΞΗ   |
| ΒΑΘΜΟΩΡΕΣ         | 26.640   | 10.000 |
| Ανάγκη (kWh)      | 111.888  | 93.333 |

| ΘΕΡΜΑΝΣΗ                        |        |      |
|---------------------------------|--------|------|
| 1 ΤΟΕ = 9.302 kWh <sub>th</sub> |        |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ     | 0,7    | €/lt |
| ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ           | 14.434 | lt   |
| ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ                | 10.104 | €    |

| ΨΥΞΗ                             |        |       |
|----------------------------------|--------|-------|
| ΜΕ A/C: SPF = 2                  |        |       |
| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ ΔΕΗ Γ22/Γ21 | 0,12   | €/kWh |
| ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ           | 54.902 | kWhe  |
| ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΨΥΞΗΣ          | 6.588  | €     |

|                 |        |   |
|-----------------|--------|---|
| ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ | 16.692 | € |
|-----------------|--------|---|



**Πίνακας 5.5:** Κέρδη από την υποκατάσταση πετρελαίου και ηλεκτρισμού στο ανοιχτό και στο κλειστό σύστημα.

| ΘΕΡΜΑΝΣΗ (ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ) - ΑΝΟΙΧΤΟ |         |      |
|----------------------------------------------|---------|------|
| 1 ΤΟΕ = 9.302 kWh <sub>th</sub>              |         |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ                  | 0,7     | €/lt |
| ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ                        | 394.531 | lt   |
| ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ                             | 276.172 | €    |

| ΨΥΞΗ (ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ) - ΑΝΟΙΧΤΟ |           |                  |
|-------------------------------------------|-----------|------------------|
| ΜΕ A/C: SPF = 2                           |           |                  |
| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ ΔΕΗ Γ22/Γ21          | 0,12      | €/kWh            |
| ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ                    | 1.275.556 | kWh <sub>e</sub> |
| ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΨΥΞΗΣ                   | 153.067   | €                |

|                        |                |          |
|------------------------|----------------|----------|
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b> | <b>429.238</b> | <b>€</b> |
|------------------------|----------------|----------|

| ΘΕΡΜΑΝΣΗ (ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ) - ΚΛΕΙΣΤΟ |        |      |
|----------------------------------------------|--------|------|
| 1 ΤΟΕ = 9.302 kWh <sub>th</sub>              |        |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ                  | 0,7    | €/lt |
| ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ                        | 72.170 | lt   |
| ΚΟΣΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ                             | 50.519 | €    |

| ΨΥΞΗ (ΥΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ) - ΚΛΕΙΣΤΟ |         |                  |
|-------------------------------------------|---------|------------------|
| ΜΕ A/C: SPF = 2                           |         |                  |
| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ ΔΕΗ Γ22/Γ21          | 0,12    | €/kWh            |
| ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ                    | 233.333 | kWh <sub>e</sub> |
| ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΨΥΞΗΣ                   | 28.000  | €                |

|                        |               |          |
|------------------------|---------------|----------|
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b> | <b>78.519</b> | <b>€</b> |
|------------------------|---------------|----------|

**Πίνακας 5.6:** Συνοπτική οικονομική σύγκριση μεταξύ προτεινόμενου συστήματος και συμβατικού.

| ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΑΘ |         |   |
|------------------------------------|---------|---|
| ΑΝΟΙΧΤΟ                            | 193.793 | € |
| ΚΛΕΙΣΤΟ                            | 35.450  | € |
| ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ                          | 16.692  | € |

|                            |                |          |
|----------------------------|----------------|----------|
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΓΑΘ</b> | <b>245.934</b> | <b>€</b> |
|----------------------------|----------------|----------|

| ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ (ΕΞ ΟΛΟΚΛΗΡΟΥ) |         |   |
|----------------------------------|---------|---|
| ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ                        | 429.238 | € |
|                                  | 78.519  | € |
|                                  | 16.692  | € |

|                        |                |          |
|------------------------|----------------|----------|
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ</b> | <b>524.449</b> | <b>€</b> |
|------------------------|----------------|----------|

Πίνακας 5.7: Οικονομικά οφέλη προτεινόμενου γεωθερμικού συστήματος

| ΟΦΕΛΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ Γ.Α.Θ.                        |                |                  |
|------------------------------------------------|----------------|------------------|
| ΔΙΑΦΟΡΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ:                  | 278.515        | EURO/έτος        |
| ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ:                    | 5.000          | EURO/έτος        |
| <b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ+ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ)</b> | <b>283.515</b> | <b>EURO/έτος</b> |

Πίνακας 5.8: Ανάλυση κόστους προτεινόμενου συστήματος.

| ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ (ΧΟΝΔΡΙΚΗ ΤΙΜΗ)          |           |                    |      |
|-------------------------------------------|-----------|--------------------|------|
| ΚΟΣΤΟΣ ΓΗΙΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ (€/m)            | 40        |                    |      |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΗΙΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ                 | 103       |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΓΗΙΝΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ (€)              | 350.000   |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (€) – ΣΥΝ.ΙΣΧΥΣ | 450.000   | 2800               | kWth |
| ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ (8"5/8) (€/m)            | 90        |                    |      |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΔΡ/ΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ                | 2         |                    |      |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΔΡ/ΣΕΩΝ ΕΠΑΝΕΙΣΑΓΩΓΗΣ            | 2         |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ (€)                 | 36.000    |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ FAN-COILS (€)                      | 60.000    |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ BOILER (€)                         | 60.000    |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΩΝ/ΑΝΤΛΙΩΝ (€)           | 25.000    |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΣΩΛΗΝΩΣΕΩΝ (€)                     | 25.000    |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΩΝ (€)                   | 30.000    |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ (€)                    | 18.000    |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ (€)                   | 30.000    |                    |      |
| ΚΟΣΤΟΣ ΓΙΑ ΜΕΛΕΤΕΣ (€)                    | 25.000    |                    |      |
| ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ                             |           |                    |      |
|                                           | EURO      | ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΑ<br>+20% | €/Kw |
| ΜΕ ΓΗΙΝΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ                        |           |                    |      |
|                                           | 1.109.000 | 1.330.800          | 475  |
| ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ 350 kWth        |           | 75.000             | €    |

Σύμφωνα με την ανάλυση κόστους που παρουσιάζεται στον πίνακα 5.8, η εγκατάσταση του συστήματος αναμένεται να κοστίσει 1.330.800 €, με κόστος παραγόμενης ισχύος 475 € ανά kW.

### Παρατηρήσεις:

1. COP = 4. Συντελεστής ενεργειακής απόδοσης, ορίζεται ως ο λόγος της αποδιδόμενης ενέργειας προς την ηλεκτρική κατανάλωση.
2. SPF = 2 Εποχιακός συντελεστής απόδοσης, ορίζεται ως ο λόγος του αθροίσματος της ωφέλιμης θερμότητας σε ένα έτος προς το άθροισμα της ηλεκτρικής ενέργειας.
3. 1 TOE = 9.302 kWh<sub>th</sub>. Η ενέργεια σε θερμικές kWh που προκύπτει από ένα τόνο πετρελαίου.
4. Ένας τόνος πετρελαίου ισοδυναμεί με 1200 lt, ενώ η τιμή του λίτρου, όσον αφορά το πετρέλαιο θέρμανσης, είναι 0,7 €. Επίσης σύμφωνα με δεδομένα τιμολογίου της ΔΕΗ η kWh έχει κόστος 0,12 €. [4]

### 5.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το κόστος ενός πλήρους συμβατικού συστήματος συνολικής ισχύος 2800kW εκτιμάται σε 900.000 €, ενώ η λειτουργία και συντήρησή του αναμένεται να κοστίζει ανά έτος 524.449 €. Συγκριτικά με το προτεινόμενο σύστημα, που όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα, η εγκατάστασή του κοστίζει 1.330.800 €, ενώ κατά τη λειτουργία του θα εξοικονομούνται 283.515 € ετησίως, προκύπτει ότι η χρήση, αλλά και η εγκατάσταση του συμβατικού συστήματος είναι οικονομικά ασύμφορη.

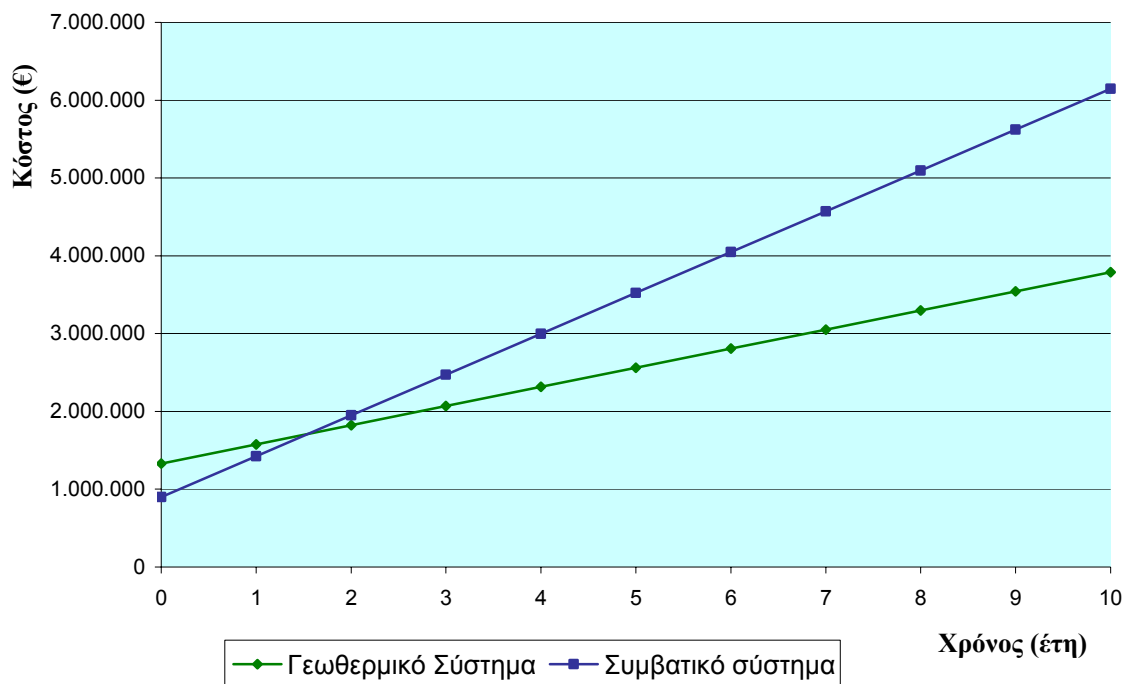
Αν το ξενοδοχείο ήταν υπό κατασκευή και η εγκατάσταση ήταν καινούρια και όχι αντικατάσταση παλαιότερης, τότε θα συνέφερε το χρήστη να προχωρήσει στην εφαρμογή άσχετα από την επιδότηση. Το κόστος εγκατάστασης είναι κατά ένα ποσοστό υψηλότερο από την εγκατάσταση συστήματος εξ ολοκλήρου συμβατικού, όμως τα λειτουργικά έξοδα μειώνονται ραγδαία και έτσι σε διάστημα μόλις 4,7 ετών γίνεται απόσβεση, γεγονός που δεν υφίσταται για την περίπτωση του συμβατικού, μιας και έχει διαρκώς υψηλά έξοδα λειτουργίας (πετρέλαιο, ηλεκτρισμός).

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.9, στην περίπτωση της αντικατάστασης, συμφέρει η επιδίωξη επιδότησης, καθώς η τιμή της εγκατάστασης μειώνεται κατά 40%, δηλαδή κοστίζει μόλις 532.320 €, ενώ η απόσβεση γίνεται μόλις σε 2,8 έτη, αντί των 4,7 ετών χωρίς την επιδότηση.

**Πίνακας 5.9:** Υπολογισμός απόσβεσης με ή χωρίς επιδότηση.

| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ            |           |     |
|-------------------------|-----------|-----|
| ΚΟΣΤΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ Γ.Α.Θ. | 1.330.800 |     |
| ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ %             | 40%       |     |
| ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ (€)           | 532.320   |     |
| ΤΕΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ           | 798.480   |     |
| ΑΠΛΟ PAY-BACK:          |           |     |
| ΜΕ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ            | 2,8       | έτη |
| ΧΩΡΙΣ ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ         | 4,7       | έτη |

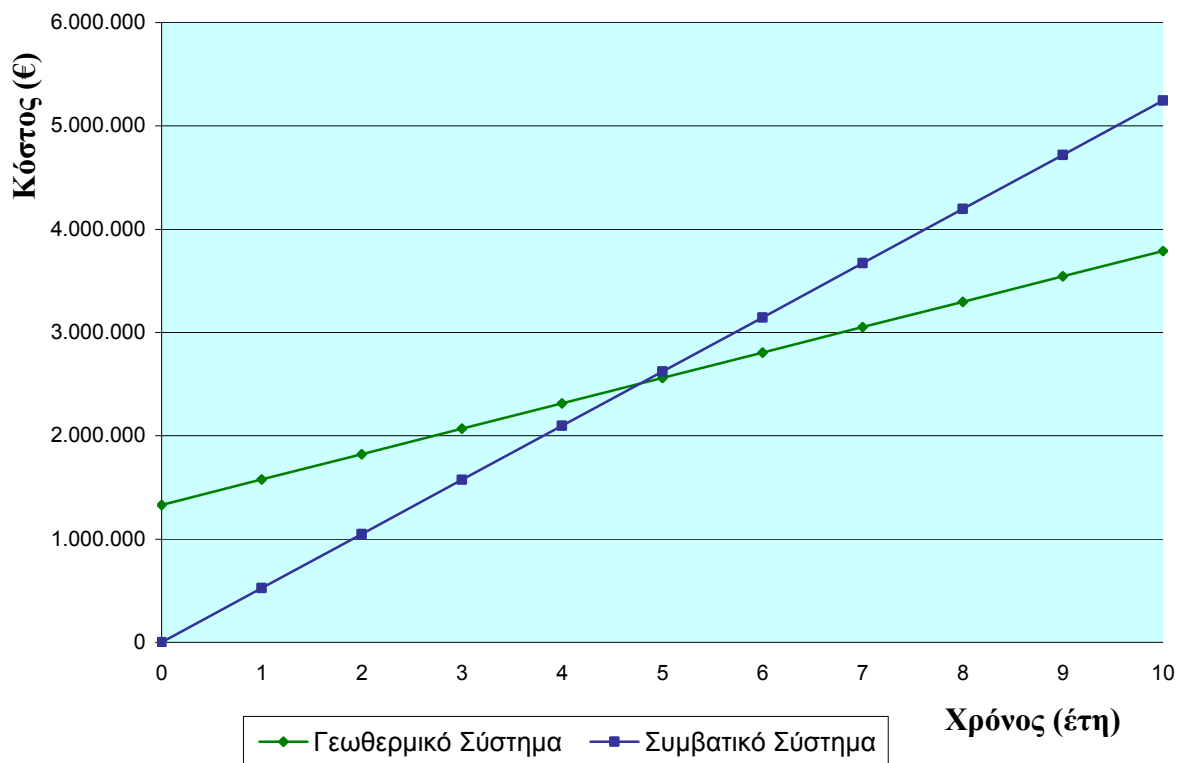
Στο σχήμα 5.1 γίνεται σύγκριση κόστους μεταξύ γεωθερμικού συστήματος και συμβατικού στην περίπτωση εφαρμογής σε νέα εγκατάσταση. Ορίζεται ενδεικτικά ένα διάστημα 10 ετών, κατά τη διάρκεια του οποίου είναι δυνατόν να έχουμε μια ικανοποιητική εικόνα της εξέλιξης του κόστους λειτουργίας.

**Σχήμα 5.1:** Διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ συστημάτων, περίπτωση εγκατάστασης καινούριου συστήματος θέρμανσης – ψύξης.

Το αρχικό κόστος της εγκατάστασης συμβατικού συστήματος είναι 900.000 €, ενώ του προτεινόμενου συστήματος 1.330.800 €, όμως το κόστος λειτουργίας του ακολουθεί ολοένα αυξανόμενη πορεία, υπερβαίνοντας το αντίστοιχο κόστος του δεύτερου. Σύμφωνα με το σχήμα 5.1 σε χρονικό διάστημα 1,5 έτους το κόστος του

συμβατικού συστήματος εξισώνεται με το κόστος του γεωθερμικού και αρχίζει πλέον να αυξάνεται με συνεχή ρυθμό, ειδικά αν ήμασταν σε θέση να λάβουμε υπόψη την άνοδο της τιμής τόσο του πετρελαίου, όσο και της τιμής της kWh. Όπως αναφέρεται και στον Πίνακα 5.6 το κόστος λειτουργίας του συμβατικού συστήματος ανά έτος είναι 524.449 €, ενώ του γεωθερμικού 245.934 €.

Συγκρίνοντας την περίπτωση εφαρμογής γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε νέα εγκατάσταση με την περίπτωση αντικατάστασης, που αφορά και την παρούσα διπλωματική εργασία, προκύπτει το διάγραμμα του σχήματος 5.2. Το κόστος εγκατάστασης συμβατικού συστήματος είναι 0 €, καθώς το σύστημα προϋπάρχει, έτσι δικαιολογείται το γεγονός ότι το συνολικό κόστος εξισώνεται με αυτό του γεωθερμικού συστήματος σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, συγκεκριμένα σε 4,8 έτη.



**Σχήμα 5.2:** Διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ συστημάτων, περίπτωση αντικατάστασης συμβατικού συστήματος θέρμανσης – ψύξης από γεωθερμικό.

Οι τιμές βάσει των οποίων δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα προέκυψαν από τη μελέτη στο συγκεκριμένο ξενοδοχειακό συγκρότημα και την ανάλυση κόστους που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.8. Στο Παράρτημα Ι υπάρχουν αναλυτικοί πίνακες που περιλαμβάνουν τις τιμές των διαγραμμάτων που απεικονίζονται στα σχήματα 5.1 και 5.2.

## 6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

### 6.1 ΣΥΝΟΨΗ

Μέσω της ενεργειακής μελέτης και οικονομικής σύγκρισης, που παρατίθεται στο Κεφάλαιο 5, προκύπτει ότι η περίπτωση αντικατάστασης του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης – ψύξης, από ένα συνδυασμένο σύστημα γεωθερμικών αντλιών είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Το ολικό κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα 1.330.800 €, ενώ το ετήσιο κόστος λειτουργίας στις 245.934 €, εξοικονομώντας 278.515 € από το μέχρι πρότινος λειτουργικό κόστος και 5.000 € από το κόστος συντήρησης. Αναμένεται να επιτευχθεί απόσβεση εντός 4,7 ετών, στην περίπτωση που το έργο δεν επιδοτηθεί, ενώ με επιδότηση 40% εντός 2,8 ετών.

Επιπλέον, από το διάγραμμα του σχήματος 5.2 προκύπτει ότι σε 4,8 έτη το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας του προτεινόμενου συστήματος γεωθερμικών αντλιών αναμένεται να εξισωθεί με το ήδη υπάρχον συμβατικό σύστημα, το οποίο έχει μόνο κόστος λειτουργίας, αφού είναι ήδη εγκατεστημένο. Με το πέρας αυτών των ετών το κόστος λειτουργίας ενός συστήματος λέβητα/καυστήρα και συστήματος ψύξεως νερού είναι ασύμφορο συγκριτικά με τη λειτουργία των ΓΑΘ, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος του πετρελαίου και του ηλεκτρισμού.

### 6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι η εγκατάσταση ενός νέου συστήματος θέρμανσης – ψύξης με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, που ανάλογα τις ενεργειακές απαιτήσεις θα συνδυάζεται με κατακόρυφους γήινους εναλλάκτες θερμότητας και με συμβατικό σύστημα είναι προτιμητέο για τους ακόλουθους λόγους. Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια αειφόρα ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, ενώ τα γεωθερμικά συστήματα έχουν λογικό κόστος εγκατάστασης, ανάλογα την εφαρμογή και χαμηλό κόστος λειτουργία και συντήρησης. Επιπλέον, πρόκειται για φιλικές προς το περιβάλλον εφαρμογές, καθώς μειώνονται αισθητά οι εκπομπές CO<sub>2</sub>, ενώ μέσω των γεωτρήσεων επανεισαγωγής, στην περίπτωση ανοιχτού γεωθερμικού συστήματος, επιστρέφονται τα χρησιμοποιούμενα ρευστά, χωρίς να διαταράσσεται έτσι η ισορροπία του υπεδάφους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική Βιβλιογραφία

- [1] Φυτίκας, Μ.Δ. & Ανδρίτσος Ν.Β. (2004), Γεωθερμία, Θεσσαλονίκη
- [2] Αγιουτάντης, Ζ.Γ. & Μερτίκας Σ.Π. (2003), Ένας πρακτικός οδηγός για τη Συγγραφή Τεχνικών Κειμένων, Αθήνα
- [3] Δάβη, Ε.Ν. (1991), Πετρολογία, Αθήνα
- [4] Καρύτσας Κ., Μενδρινός Δ., Μπένου Α. & Πολύζου Ο., Εφαρμογές συστημάτων τηλεθέρμανσης με γεωθερμικές αντλίες, Μεθοδολογία αξιολόγησης τεχνολογικών προτάσεων γεωθερμικής τηλεθέρμανσης
- [5] Μουντράκης Δ. Μ.(1985), Γεωλογία της Ελλάδας
- [6] Κράνης Χ. Δ. & Αντωνίου Β. Ε. (2003), Γεωλογικοί Χάρτες, Αθήνα
- [7] Μελέτη εγκατάστασης συστήματος ψύξης – θέρμανσης με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας στο ξενοδοχειακό συγκρότημα Robinson Club Κυλλήνης, στην τοποθεσία Παλαιοσταφίδα και Καλαμιές, πλησίον του χωριού Κάστρο του Ν. Ηλείας.
- [8] Κανονισμός δια την θερμομόνωσιν κτηρίων, Φ.Ε.Κ. 362/79 τεύχος 4ον.
- [9] Κανονισμός ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας, Παράρτημα ΙΙΙ, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.)
- [10] Ανδριώτης Ν.Π. (1967), Ετυμολογικό λεξικό της Κοινής Νεοελληνικής

### Ξένη Βιβλιογραφία

- [11] Verein Deutscher Ingenieure (2001), Thermal use of the underground – Ground source heat pump systems, Düsseldorf
- [12] P. Andrew Collins PE, Carl D. Orio & Sergio Smiriglio (2002), Geothermal Heat Pump Manual, New York
- [13] Harsh K. Gupta (1980), Geothermal Resources: an alternative energy, New York
- [14] Louis J. Goodman & Ralph N. Love (1980), Geothermal energy projects, Planning and Management, New York

**Ηλεκτρονικές Σελίδες**

- [15] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
- [16] ΑΕΝΑΟΝ, [www.aenaon.net](http://www.aenaon.net)
- [17] U.S Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)
- [18] GROUNDREACH, [www.groundreach.eu](http://www.groundreach.eu)
- [19] Ground Coupled Heat Pumps of High Technology, [www.groundhit.eu](http://www.groundhit.eu)
- [20] International Geothermal Association, <http://iga.igg.cnr.it/index.php>
- [21] [www.geoexchange.gr](http://www.geoexchange.gr)

**Βιβλιογραφικές αναφορές**

- [22] Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος, Φύλλον Βαρθολόμιον (1969)
- [23] Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας, Αρ. Φύλλου 1595 της 25 Οκτωβρίου 2004
- [24] Ημερίδα ΚΑΠΕ, στο πλαίσιο του έργου GROUNDREACH και της Ευρωπαϊκής εκστρατείας ευαισθητοποίησης «Αειφόρος Ενέργεια για την Ευρώπη», θέμα «Θέρμανση - Κλιματισμός με Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας», 24-01-2008



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

## Ι.1. Κανονισμός θερμομόνωσης κτηρίων

Πίνακας Ι.1: Πίνακας θερμοκρασιακών και άλλων στοιχείων πόλεων

| Όνομα Πόλεως        | Μέση<br>Ελάχιστη<br>Εξωτερική<br>Θερμοκρασία | Υψόμετρο<br>Σταθμού<br>(m) | Επικρατούντες<br>Άνεμοι (Μήνες<br>Ιανουάριο-<br>Φεβρουάριο) | Ζώνη |
|---------------------|----------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------|------|
| Αγρίνιο             | -3                                           | 45,8                       | Α.                                                          | Β    |
| Αθήνα-Αστεροσκοπείο | +1                                           | 107,0                      | Β. και Ν.                                                   | Β    |
| Αίγιο               | 0                                            | 64,0                       | Β.Δ.                                                        | Β    |
| Αλεξανδρούπολη      | -7                                           | 2,5                        | Β.Α.                                                        | Γ    |
| Αλιάρτος            | -2                                           | 110,0                      | Β.Δ.                                                        | Β    |
| Ανάβρυτα            | -2                                           | 290,0                      | Β. και Ν.Δ.                                                 | Β    |
| Αργοστόλι           | +1                                           | 1,7                        | Β.Α. και Ν.Δ.                                               | Α    |
| Άρτα                | -2                                           | 42,0                       | Β.Α. και Ν.                                                 | Β    |
| Βόλος               | -3                                           | 2,7                        | Β.                                                          | Β    |
| Δράμα               | -8                                           | 74,0                       | Ν.Δ.                                                        | Γ    |
| Έδεσσα              | -7                                           | 273,0                      | Β.                                                          | Γ    |
| Ελευσίνα            | 0                                            | 29,5                       | Β.                                                          | Β    |
| Ελληνικό Αττικής    | +2                                           | 10,2                       | Β.                                                          | Β    |
| Ζάκυνθος            | +2                                           | 6,6                        | Β.Α.                                                        | Α    |
| Ηράκλειο            | +6                                           | 38,5                       | Ν.                                                          | Α    |
| Θάσος               | -6                                           | 2,0                        | Β.Α.                                                        | Γ    |
| Θεσσαλονίκη-Μίκρα   | -5                                           | 2,8                        | Β.Δ.                                                        | Γ    |
| Θήρα                | +3                                           | 208,0                      | Β.                                                          | Α    |
| Ιεράπετρα           | +4                                           | 13,0                       | Β.                                                          | Α    |
| Ιωάννινα            | -6                                           | 483,0                      | Ν.Α.                                                        | Γ    |
| Καβάλα              | -8                                           | 62,8                       | Ν.Α.                                                        | Γ    |
| Καλάβρυτα           | -6                                           | 731,0                      | Β. και Ν.                                                   | Γ    |
| Καλαμάτα            | +1                                           | 4,6                        | Β.                                                          | Α    |
| Καλαμπάκα           | +6                                           | 226,5                      | Δ.                                                          | Γ    |
| Κάρπαθος            | +5                                           | 9,0                        | Δ.                                                          | Α    |
| Κάρυστος            | +1                                           | 10,0                       | Β.                                                          | Β    |
| Κατερίνη            | -5                                           | 31,5                       | Β.                                                          | Γ    |
| Κέρκυρα             | 0                                            | 1,0                        | Ν.Α.                                                        | Β    |
| Κοζάνη              | -10                                          | 625,0                      | Β.                                                          | Γ    |
| Κομοτηνή            | -7                                           | 30,0                       | Β.Α.                                                        | Γ    |
| Κόνιτσα             | -6                                           | 542,0                      | Β.                                                          | Γ    |
| Κόρινθος            | +1                                           | 14,4                       | Ν.                                                          | Β    |
| Κύθηρα              | +4                                           | 166,0                      | Β.Α.                                                        | Α    |
| Κύμη                | 0                                            | 221,1                      | Β.                                                          | Β    |
| Κως                 | +3                                           | 10,0                       | Ν.                                                          | Α    |
| Λαμία               | -4                                           | 143,0                      | Δ.                                                          | Β    |
| Λάρισα              | -7                                           | 72,7                       | Β. και Α.                                                   | Γ    |
| Λευκάδα             | 0                                            | 2,4                        | Ν.Α.                                                        | Α    |
| Λήμνος              | 0                                            | 12,3                       | Β.Α.                                                        | Β    |

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

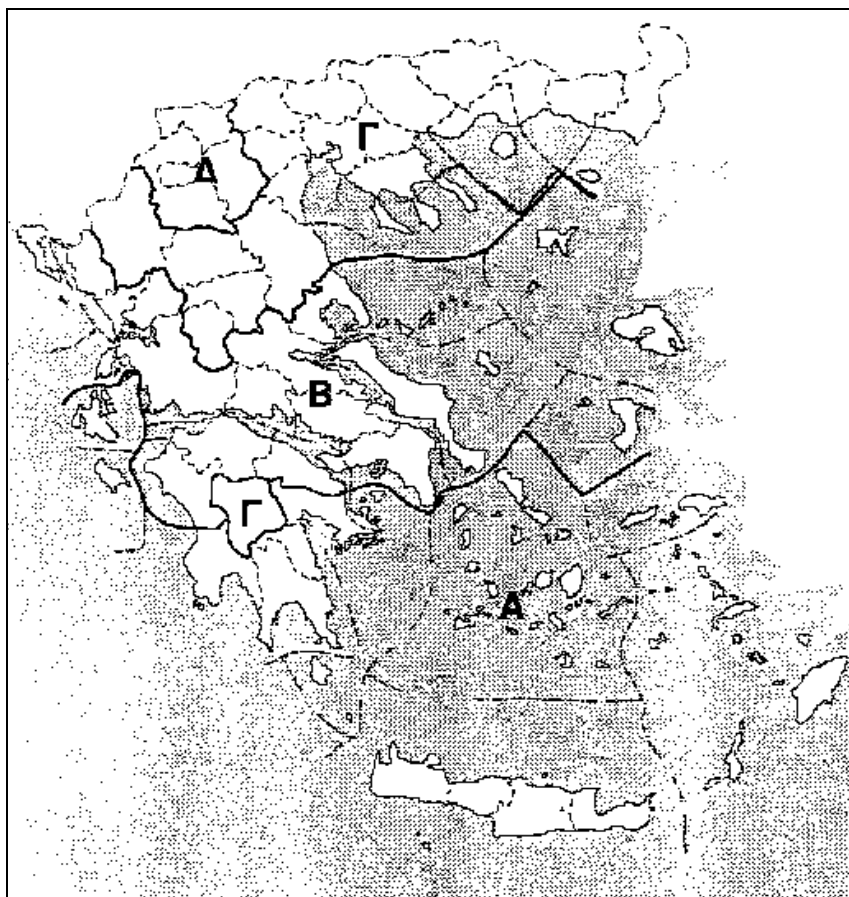
|                        |           |              |               |          |
|------------------------|-----------|--------------|---------------|----------|
| Μέγαρα                 | 0         | 36,0         | Β.Δ.          | Β        |
| Μεθώνη                 | +1        | 33,0         | Β.Α. και Δ.   | Α        |
| Μεσολόγγι              | -2        | 1,0          | Δ. και Β.Δ.   | Β        |
| Μήλος                  | +3        | 182,0        | Ν.Δ.          | Α        |
| Μυτιλήνη               | +2        | 3,2          | Ν.            | Β        |
| Νάξος                  | +4        | 9,0          | Β.            | Α        |
| Ναύπλιο                | 0         | 1,5          | Β.            | Β        |
| Ν. Φιλαδέλφεια-Αττικής | 0         | 136,0        | Β.Α.          | Β        |
| Ξάνθη                  | -8        | 82,0         | Β.            | Γ        |
| Ορεστιάδα              | -9        | 43,0         | Β.Δ.          | Γ        |
| Παλαιόχωρα-Κρήτης      | +5        | 8,0          | Β.            | Α        |
| Πάτρα                  | -1        | 1,0          | Ν.Δ.          | Β        |
| Πειραιάς               | +2        | 2,0          | Β.Α.          | Β        |
| Πολύγυρος              | -8        | 550,0        | Β.Α. και Β.   | Γ        |
| Πρέβεζα                | 0         | 11,8         | Β.Α.          | Β        |
| Πτολεμαΐδα             | -12       | 601,0        | Β.Δ.          | Γ        |
| <b>Πύργος</b>          | <b>-1</b> | <b>132,0</b> | <b>Β.Δ.</b>   | <b>Β</b> |
| Ρέθυμνο                | +3        | 16,0         | Ν. και Β.     | Α        |
| Ρόδος                  | +3        | 34,7         | Ν. και Δ.     | Α        |
| Σάμος                  | +3        | 48,4         | Ν.Α. και Β.Δ. | Α        |
| Σέρρες                 | -9        | 32,5         | Α.            | Γ        |
| Σητεία                 | +4        | 25,2         | Β.Δ.          | Α        |
| Σκύρος                 | +2        | 4,0          | Β.Α.          | Α        |
| Σουφλί                 | -10       | 15,0         | Β.            | Γ        |
| Σπάρτη                 | 0         | 212,0        | Β.            | Β        |
| Σταυρός Χαλκιδικής     | -7        | 10,0         | Δ.            | Γ        |
| Σύρος                  | +3        | 25,0         | Β.            | Α        |
| Τανάγρα                | -2        | 138,8        | Δ.            | Β        |
| Τρίκαλα                | -6        | 116,0        | Β.Δ.          | Γ        |
| Τρίπολη                | -5        | 661,4        | Β. και Ν.Δ.   | Γ        |
| Φλώρινα                | -11       | 661,0        | Δ.            | Γ        |
| Χαλκίδα                | +2        | 4,0          | Β.            | Β        |
| Χανιά                  | +3        | 62,5         | Ν.Δ.          | Α        |
| Χίος                   | +3        | 60,0         | Β.            | Α        |

(Πηγή: Κανονισμός Θερμομόνωσης Κτηρίων)

## 1.2. Κανονισμός Ορθολογικής Χρήσης και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΟΧΕΕ – ΚΑΠΕ) ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

### 1.2.1 Υποδιαίρεση της χώρας κατά κλιματική ζώνη

Για τους υπολογισμούς των κύριων παραμέτρων θερμικής προστασίας του κτιριακού κελύφους, δηλαδή των συντελεστών θερμοπερατότητας κατά την περίοδο θέρμανσης, η χώρα υποδιαιρείται σε τέσσερις (4) κλιματικές ζώνες, με βάση τις ετήσιες Βαθμοημέρες Θέρμανσης (ΒΗΘ):



**Σχήμα Ι.1:** Κλιματικές ζώνες του Ελληνικού χώρου

Ισχύει η παρακάτω κλιμάκωση :

|        |           |   |          |
|--------|-----------|---|----------|
| Ζώνη Α | από 601   | - | 1100 ΒΗΘ |
| Ζώνη Β | από 1101  | - | 1600 ΒΗΘ |
| Ζώνη Γ | από 1601  | - | 2200 ΒΗΘ |
| Ζώνη Δ | >2201 ΒΗΘ |   |          |

Σημείωση: Οι βαθμοημέρες θέρμανσης (ΒΗΘ) είναι υπολογισμένες σε θερμοκρασία βάσης τους 19°C.

**1.2.2 Κατάταξη πόλεων και περιοχών σε κλιματικές ζώνες**

Βάσει αυτού του παραπάνω διαχωρισμού, οι νομοί της Ελλάδας ταξινομούνται ακολούθως:

**Πίνακας 1.2:** Ταξινόμηση των περιοχών ανά κλιματική ζώνη.

| <b>ΖΩΝΗ Α</b>                                                                                                                                                                                                       | <b>ΖΩΝΗ Β</b>                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>ΖΩΝΗ Γ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>ΖΩΝΗ Δ</b>                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. Αργολίδας<br>2. Δωδεκανήσου<br>3. Ζακύνθου<br>4. Ηρακλείου<br>5. Κεφαλληνίας<br>6. Κυκλάδων<br>7. Λακωνίας<br>8. Λασηθίου<br>9. Μεσσηνίας<br>10. Πειραιά <sup>1</sup><br>11. Ρεθύμνου<br>12. Σάμου<br>13. Χανίων | 1. Αιτωλοακαρνανίας<br>2. Άρτας<br>3. Αττικής<br>4. Αχαΐας<br>5. Βοιωτίας<br>6. Εύβοιας<br>7. Ηλείας<br>8. Θεσπρωτίας<br>9. Κέρκυρας<br>10. Κορινθίας<br>11. Λέσβου<br>12. Λευκάδας<br>13. Μαγνησίας<br>14. Πρέβεζας<br>15. Φθιώτιδας<br>16. Φωκίδας<br>17. Χίου | 1. Αρκαδίας <sup>2</sup><br>2. Δράμας<br>3. Έβρου<br>4. Ευρυτανίας<br>5. Ημαθίας<br>6. Θεσσαλονίκης<br>7. Ιωαννίνων<br>8. Καβάλας<br>9. Καρδίτσας<br>10. Κιλκίς<br>11. Λάρισας<br>12. Ξάνθης<br>13. Πέλλας<br>14. Πιερίας<br>15. Ροδόπης<br>16. Σερρών<br>17. Τρικάλων<br>18. Χαλκιδικής | 1. Γρεβενών<br>2. Καστοριάς<br>3. Κοζάνης<br>4. Φλώρινας |

1. Εκτός της ευρύτερης περιοχής της πόλης του Πειραιά και της Σαλαμίνας, που ανήκουν στη ζώνη Β.

2. Εκτός της επαρχίας Κυνουρίας, που ανήκει στη ζώνη Α.

**Πίνακας 1.3:** Ταξινόμηση των ελληνικών πόλεων σε κλιματικές ζώνες.

| <b>ΠΟΛΕΙΣ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ</b>          | <b>ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ</b>                                                                                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Αντίπαρος<br>2. Αργοστόλι<br>3. Αστυπάλαια<br>4. Γόρτυνος (Κρήτης)<br>5. Ζάκυνθος<br>6. Ηράκλειο<br>7. Θήρα<br>8. Ιεράπετρα<br>9. Ικαρία<br>10. Καλαμάτα<br>11. Κάρπαθος<br>12. Κύθηρα<br>13. Κως<br>14. Μεθώνη<br>15. Μήλος<br>16. Νάξος<br>17. Ναύπλιο<br>18. Παλαιοχώρα (Κρήτης)<br>19. Πάρος<br>20. Πειραιάς<br>21. Ρέθυμνο<br>22. Ρόδος<br>23. Σάμος | <b>Α</b><br>από 601 - 1100 ΒΗΘ | 899<br>998<br>835<br>1004<br>940<br>829<br>1082<br>681<br>877<br>992<br>697<br>1052<br>896<br>953<br>1068<br>856<br>1095<br>730<br>932<br>1001<br>714<br>935<br>1022 |

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

| ΠΟΛΕΙΣ                   | ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ                  | ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ |
|--------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 24. Σητεία               |                                 | 745                   |
| 25. Σούδα                |                                 | 1055                  |
| 26. Σύρος                |                                 | 971                   |
| 27. Τυμπάκιο             |                                 | 898                   |
| 1. Αθήνα                 | <b>Β</b><br>από 1101 - 1600 ΒΗΘ | 1228                  |
| 2. Αγρίνιο               |                                 | 1331                  |
| 3. Αίγιο                 |                                 | 1210                  |
| 4. Ανάβρυτα              |                                 | 1537                  |
| 5. Αραξος                |                                 | 1155                  |
| 6. Αρτα                  |                                 | 1276                  |
| 7. Βόλος                 |                                 | 1471                  |
| 8. Ελευσίνα              |                                 | 1240                  |
| 9. Κάρυστος              |                                 | 1140                  |
| 10. Κέρκυρα              |                                 | 1203                  |
| 11. Κόρινθος             |                                 | 1167                  |
| 12. Κύμη                 |                                 | 1516                  |
| 13. Λαμία                |                                 | 1467                  |
| 14. Λευκάδα              |                                 | 1146                  |
| 15. Λήμνος               |                                 | 1449                  |
| 16. Μυτιλήνη             |                                 | 1234                  |
| 17. Ορεοί                |                                 | 1428                  |
| 18. Πάτρα                |                                 | 1207                  |
| 19. Πύργος               |                                 | 1110                  |
| 20. Σκόπελος             |                                 | 1452                  |
| 21. Σκύρος               |                                 | 1246                  |
| 22. Τανάγρα              |                                 | 1546                  |
| 23. Χαλκίδα              |                                 | 1200                  |
| 24. Χίος                 |                                 | 1113                  |
| 1. Αγχιάλος              | <b>Γ</b><br>από 1601 - 2200 ΒΗΘ | 1740                  |
| 2. Αλεξανδρούπολη        |                                 | 1923                  |
| 3. Αλίartos              |                                 | 1839                  |
| 4. Ανώγεια               |                                 | 1703                  |
| 5. Δεσφίνα               |                                 | 1974                  |
| 6. Δράμα                 |                                 | 1945                  |
| 7. Έδεσσα                |                                 | 2053                  |
| 8. Θάσος                 |                                 | 1781                  |
| 9. Θεσσαλονίκη           |                                 | 1812                  |
| 10. Ιωνάννινα            |                                 | 2027                  |
| 11. Καβάλα               |                                 | 1970                  |
| 12. Καλαμπάκα            |                                 | 1813                  |
| 13. Κομοτινή             |                                 | 1996                  |
| 14. Κόνιτσα              |                                 | 2003                  |
| 15. Λάρισα               |                                 | 1858                  |
| 16. Λιδωρίκι             |                                 | 1991                  |
| 17. Ξάνθη                |                                 | 1910                  |
| 18. Ορεστιάς             |                                 | 2187                  |
| 19. Σέρρες               |                                 | 2010                  |
| 20. Σουφλί               |                                 | 2124                  |
| 21. Τζερμιάδες           |                                 | 2089                  |
| 22. Τρίκαλα              |                                 | 1702                  |
| 23. Τρίπολη              |                                 | 2085                  |
| 24. Φάρσαλα              |                                 | 1777                  |
| 1. Δομοκός               | <b>Δ</b><br>>2201 ΒΗΘ           | 2376                  |
| 2. Καλάβρυτα             |                                 | 2240                  |
| 3. Κοζάνη                |                                 | 2469                  |
| 4. Πλάτανος (Ναυπακτίας) |                                 | 2363                  |
| 5. Πολύγυρος             |                                 | 2300                  |
| 6. Πτολεμαΐδα            |                                 | 2483                  |
| 7. Φλώρινα               |                                 | 2620                  |

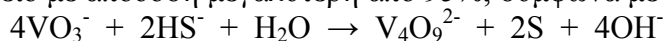
**Πίνακας Ι.4:** Ταξινόμηση των ελληνικών πόλεων σε κλιματικές ζώνες.

| ΠΟΛΕΙΣ                   | ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ | ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ |
|--------------------------|----------------|-----------------------|
| 1. Αργίριο               | B              | 1331                  |
| 2. Αγχιάλος              | Γ              | 1740                  |
| 3. Αθήνα                 | B              | 1228                  |
| 4. Αίγιο                 | B              | 1210                  |
| 5. Αλεξανδρούπολη        | Γ              | 1923                  |
| 6. Αλίαρτος              | Γ              | 1839                  |
| 7. Ανάβρυτα              | B              | 1537                  |
| 8. Αντίπαρος             | A              | 899                   |
| 9. Ανώγεια               | Γ              | 1703                  |
| 10. Αραξος               | B              | 1155                  |
| 11. Αργοστόλι            | A              | 998                   |
| 12. Άρτα                 | B              | 1276                  |
| 13. Αστυπάλαια           | A              | 835                   |
| 14. Βόλος                | B              | 1471                  |
| 15. Γόρτυνος (Κρήτης)    | A              | 1004                  |
| 16. Δεσφίνα              | Γ              | 1974                  |
| 17. Δομοκός              | Δ              | 2376                  |
| 18. Δράμα                | Γ              | 1945                  |
| 19. Έδεσσα               | Γ              | 2053                  |
| 20. Ελευσίνα             | B              | 1240                  |
| 21. Ζάκυνθος             | A              | 940                   |
| 22. Ηράκλειο             | A              | 829                   |
| 23. Θάσος                | Γ              | 1781                  |
| 24. Θεσσαλονίκη          | Γ              | 1812                  |
| 25. Θήρα                 | A              | 1082                  |
| 26. Ιεράπετρα            | A              | 681                   |
| 27. Ικαρία               | A              | 877                   |
| 28. Ιωνάννινα            | Γ              | 2027                  |
| 29. Καβάλα               | Γ              | 1970                  |
| 30. Καλάβρυτα            | Δ              | 2240                  |
| 31. Καλαμάτα             | A              | 992                   |
| 32. Καλαμπάκα            | Γ              | 1813                  |
| 33. Κάρπαθος             | A              | 697                   |
| 34. Κάρυστος             | B              | 1140                  |
| 35. Κέρκυρα              | B              | 1203                  |
| 36. Κοζάνη               | Δ              | 2469                  |
| 37. Κομοτινή             | Γ              | 1996                  |
| 38. Κόνιτσα              | Γ              | 2003                  |
| 39. Κόρινθος             | B              | 1167                  |
| 40. Κύθηρα               | A              | 1052                  |
| 41. Κύμη                 | B              | 1516                  |
| 42. Κως                  | A              | 896                   |
| 43. Λαμία                | B              | 1467                  |
| 44. Λάρισα               | Γ              | 1858                  |
| 45. Λευκάδα              | B              | 1146                  |
| 46. Λήμνος               | B              | 1449                  |
| 47. Λιδωρίκι             | Γ              | 1991                  |
| 48. Μεθώνη               | A              | 953                   |
| 49. Μήλος                | A              | 1068                  |
| 50. Μυτιλήνη             | B              | 1234                  |
| 51. Νάξος                | A              | 856                   |
| 52. Ναύπλιο              | A              | 1095                  |
| 53. Ξάνθη                | Γ              | 1910                  |
| 54. Ορεοί                | B              | 1428                  |
| 55. Ορεστιάς             | Γ              | 2187                  |
| 56. Παλαιochώρα (Κρήτης) | A              | 730                   |

| ΠΟΛΕΙΣ                    | ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ | ΒΑΘΜΟΗΜΕΡΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ |
|---------------------------|----------------|-----------------------|
| 57. Πάρος                 | A              | 932                   |
| 58. Πάτρα                 | B              | 1207                  |
| 59. Πειραιάς              | A              | 1001                  |
| 60. Πλάτανος (Ναυπακτίας) | Δ              | 2363                  |
| 61. Πολύγυρος             | Δ              | 2300                  |
| 62. Πτολεμαΐδα            | Δ              | 2483                  |
| 63. Πύργος                | B              | 1110                  |
| 64. Ρέθυμνο               | A              | 714                   |
| 65. Ρόδος                 | A              | 935                   |
| 66. Σάμος                 | A              | 1022                  |
| 67. Σέρρες                | Γ              | 2010                  |
| 68. Σητεία                | A              | 745                   |
| 69. Σκόπελος              | B              | 1452                  |
| 70. Σκύρος                | B              | 1246                  |
| 71. Σούδα                 | A              | 1055                  |
| 72. Σουφλί                | Γ              | 2124                  |
| 73. Σύρος                 | A              | 971                   |
| 74. Τανάγρα               | B              | 1546                  |
| 75. Τζερμιάδες            | Γ              | 2089                  |
| 76. Τρίκαλα               | Γ              | 1702                  |
| 77. Τρίπολη               | Γ              | 2085                  |
| 78. Τυμπάκιο              | A              | 898                   |
| 79. Φάρσαλα               | Γ              | 1777                  |
| 80. Φλώρινα               | Δ              | 2620                  |
| 81. Χαλκίδα               | B              | 1200                  |
| 82. Χίος                  | B              | 1113                  |

### 1.3. Μέθοδος Strettford, (M. Φυτίκας, 2004)

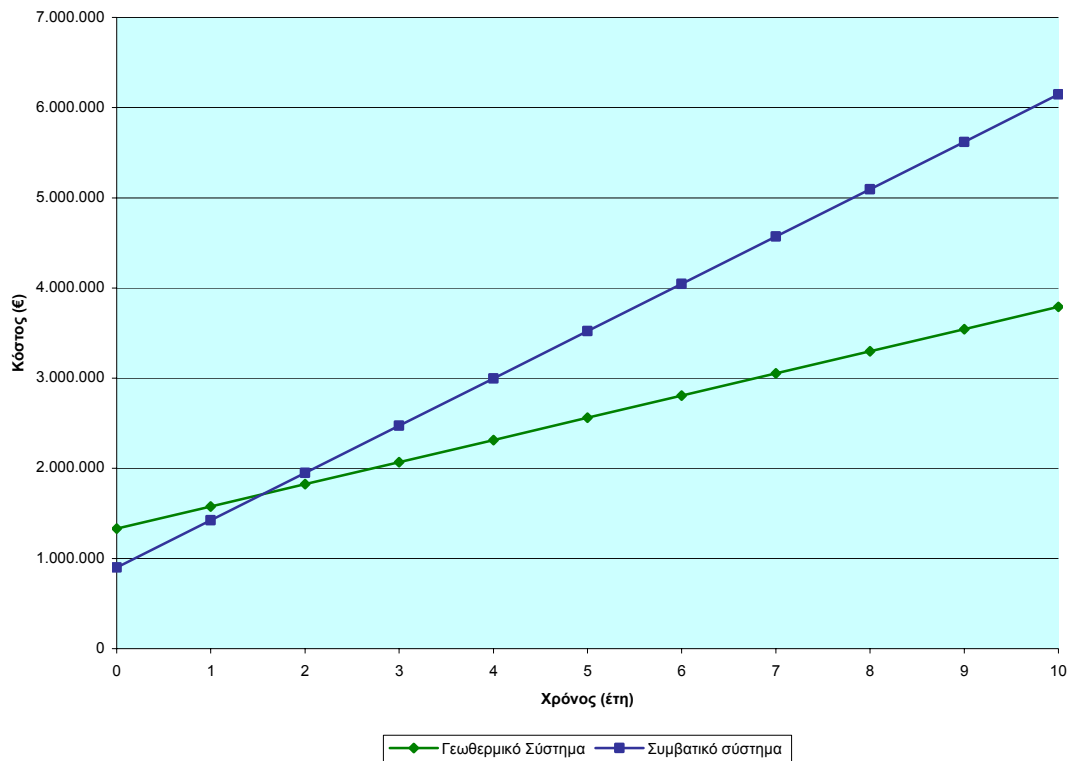
Η τεχνολογία Strettford χρησιμοποιεί καταλύτη βαναδίου για τη μετατροπή του H<sub>2</sub>S σε στοιχειακό θείο με απόδοση μεγαλύτερη από 95%, σύμφωνα με την αντίδραση:



Η αναγέννηση του καταλύτη γίνεται με τη βοήθεια δισουλφονικού οξέος ανθρακινόνης. Η χρησιμοποίηση της διεργασίας Strettford σε πολλές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του πεδίου Geysers οδηγεί στην παραγωγή και την απόθεση περίπου 2 τόνων θείου ως παραπροϊόντος ανά GWh ενέργειας που παράγεται.

Με τη διεργασία καύσης/έκπλυσης του H<sub>2</sub>S καίγεται προς διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>), το οποίο δεσμεύεται σε πλυντρίδα (scrubber) με το σχηματισμό θειώδους και θεικού οξέος. Εν συνεχεία, χρησιμοποιούνται χηλικές ενώσεις σιδήρου για το σχηματισμό θειοθειικών αλάτων (S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>). Το ακόλουθο σχήμα παρουσιάζει σχηματικά την παραπάνω μέθοδο. Το κύριο προϊόν της διεργασίας είναι διάλυμα θειοθειικών, το οποίο επανεισάγεται στον ταμιευτήρα με το συμπύκνωμα. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, το παραγόμενο με τη μέθοδο θεικό οξύ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του pH των γεωθερμικών νερών και τον έλεγχο της δημιουργίας επικαθίσεων.

### Ι.4 Στοιχεία Διαγραμμάτων Κεφαλαίου 5

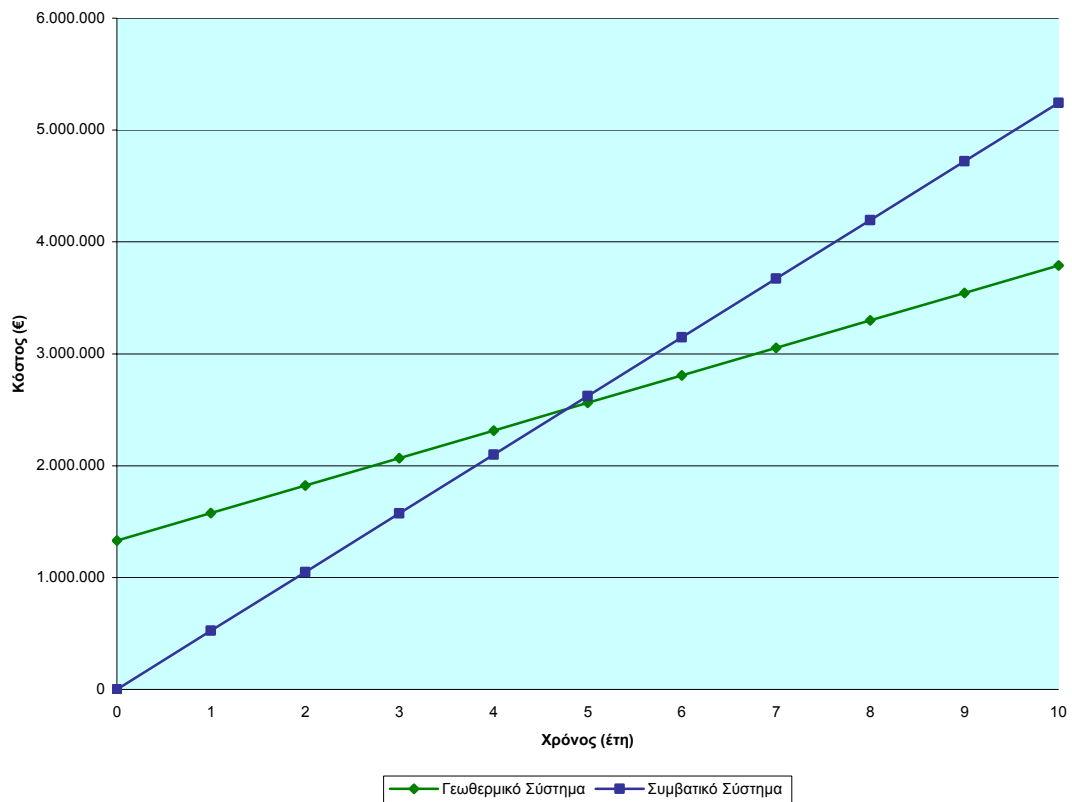


**Σχήμα Ι.2:** Διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ συστημάτων, περίπτωση εγκατάστασης καινούριου συστήματος θέρμανσης – ψύξης.

**Πίνακας Ι.5:** Τιμές διαγράμματος Ι.2

| Εγκατάσταση Καινούριου |                        |                       |
|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Χρόνος (έτη)           | Κόστος Γεωθερμικού (€) | Κόστος Συμβατικού (€) |
| 0                      | 1.330.800              | 900.000               |
| 1                      | 1.576.734              | 1.424.449             |
| 2                      | 1.822.668              | 1.948.898             |
| 3                      | 2.068.602              | 2.473.347             |
| 4                      | 2.314.536              | 2.997.796             |
| 5                      | 2.560.470              | 3.522.245             |
| 6                      | 2.806.404              | 4.046.694             |
| 7                      | 3.052.338              | 4.571.143             |
| 8                      | 3.298.272              | 5.095.592             |
| 9                      | 3.544.206              | 5.620.041             |
| 10                     | 3.790.140              | 6.144.490             |





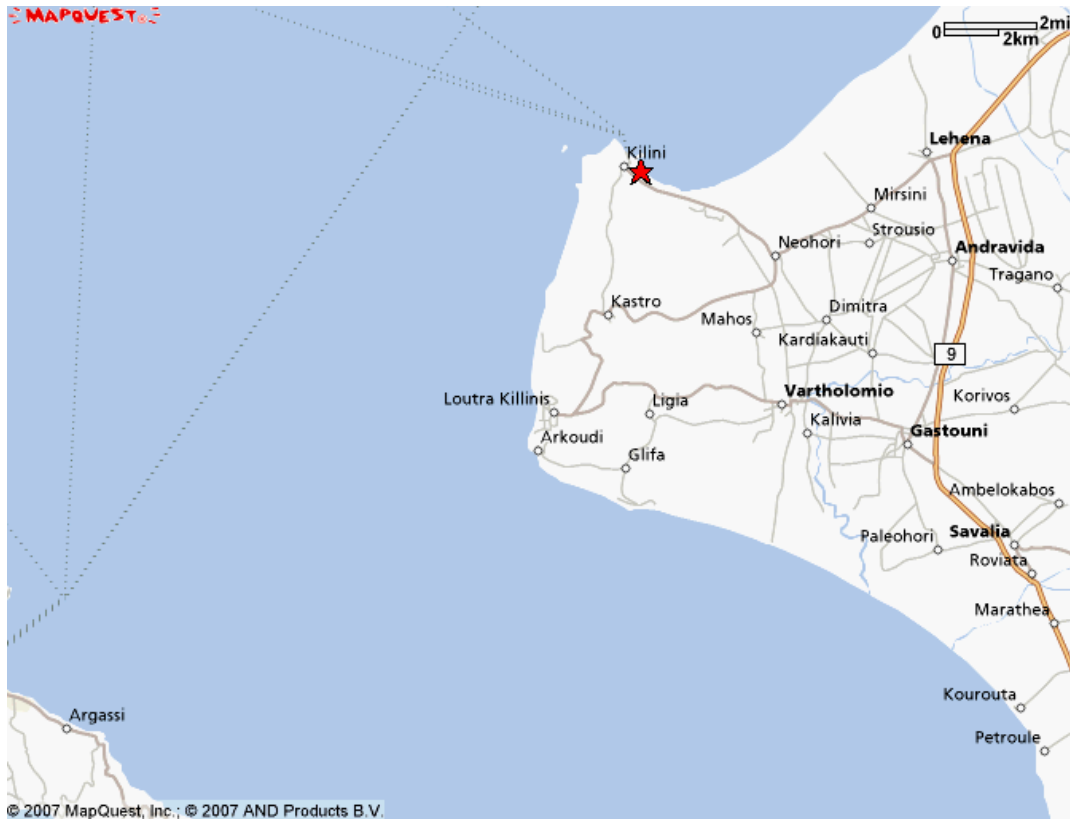
**Σχήμα Ι.3:** Διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ συστημάτων, περίπτωση αντικατάστασης συμβατικού συστήματος θέρμανσης – ψύξης από γεωθερμικό.

**Πίνακας Ι.6:** Τιμές διαγράμματος Ι.3

| Αντικατάσταση Προϋπάρχοντος |                        |                       |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| Χρόνος (έτη)                | Κόστος Γεωθερμικού (€) | Κόστος Συμβατικού (€) |
| 0                           | 1.330.800              | 0                     |
| 1                           | 1.576.734              | 524.449               |
| 2                           | 1.822.668              | 1.048.898             |
| 3                           | 2.068.602              | 1.573.347             |
| 4                           | 2.314.536              | 2.097.796             |
| 5                           | 2.560.470              | 2.622.245             |
| 6                           | 2.806.404              | 3.146.694             |
| 7                           | 3.052.338              | 3.671.143             |
| 8                           | 3.298.272              | 4.195.592             |
| 9                           | 3.544.206              | 4.720.041             |
| 10                          | 3.790.140              | 5.244.490             |

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

### II.1 Χάρτης και αεροφωτογραφία ξενοδοχειακού συγκροτήματος



Σχήμα II.1.1: Οδικός χάρτης προς Λουτρά Κυλλήνης (Google map)



Σχήμα II.1.2: Αεροφωτογραφία του ξενοδοχειακού συγκροτήματος Grecotel Olympia Riviera Resorts ([www.grecotel.com](http://www.grecotel.com)).

## ΙΙ.2 Φωτογραφίες Ρωμαϊκών Λουτρών Κυλλήνης



Σχήμα ΙΙ.2.1



Σχήμα ΙΙ.2.2





Σχήμα ΙΙ.2.3



Σχήμα ΙΙ.2.4





Σχήμα Π.2.5

### II.3 Γήινοι εναλλάκτες θερμότητας



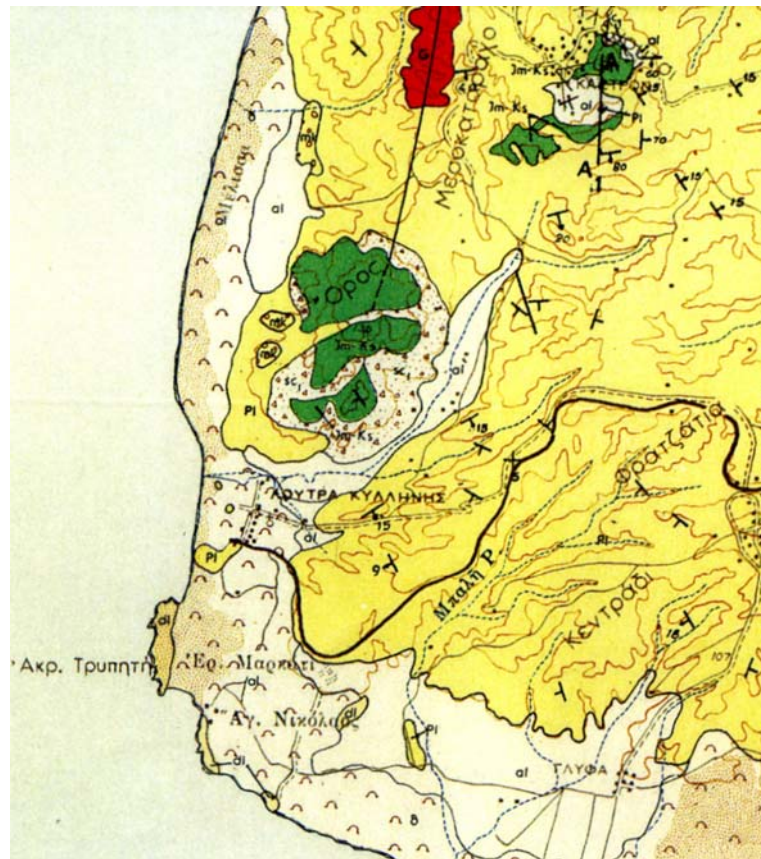
**Σχήμα II.3.1:** Εφαρμογή κλειστού γεωθερμικού συστήματος, οριζόντιου γήινου εναλλάκτη.



**Σχήμα II.3.2:** Εφαρμογή κλειστού γεωθερμικού συστήματος, κατακόρυφου γήινου εναλλάκτη.



#### Π.4 Γεωλογικός χάρτης και τομή περιοχής Χλεμουτσίου



Σχήμα Π.3.3: Γεωλογικός χάρτης περιοχής Χλεμουτσίου [22]



Σχήμα Π.3.4: Γεωλογική τομή περιοχής Χλεμουτσίου [22]