



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ**

**Τ. Ε. Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**

**ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**Επιβλέπων: ΠΕΤΡΟΣ Γ. ΒΕΡΝΑΔΟΣ, Καθηγητής**

**Συνεπιβλέπουσα: ΕΡΙΕΤΤΑ Ι. ΖΟΥΝΤΟΥΡΙΔΟΥ, Εργ.**

**Συνεργάτης**

**«Η Γεωθερμία στην Ελλάδα»**

**Geothermal energy in Greece**

**Πτυχιακή Εργασία:**

**Θύμιος Ε. Δημήτρης (Α.Μ. 37836)**

**Κατινάς Β. Νικόλαος (Α.Μ. 36741)**

## Περίληψη

Η μόλυνση του περιβάλλοντος, η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης τα τελευταία χρόνια, καθώς και τα μειονεκτήματα των ορυκτών καυσίμων, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρον από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, έχουν οδηγήσει την ανθρωπότητα στην αναζήτηση νέων μορφών ενέργειας. Όπως είναι προφανές, η εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο αποτελεί μια από τις σημαντικότερες λύσεις στα παραπάνω προβλήματα. Έτσι λοιπόν, την τελευταία εικοσαετία έχει σημειωθεί τεράστια ανάπτυξη των τεχνολογιών και των διατάξεων αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών για την παραγωγή ενέργειας.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία μελετά τη γεωθερμική ενέργεια και τις εφαρμογές της στην καθημερινή ζωή.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο, δίνεται ο ορισμός της γεωθερμίας και κάποιες γενικές πληροφορίες για αυτήν την ανανεώσιμη πηγή. Επίσης παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή για την γεωθερμική ενέργεια, τότε χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά και πως εξελίχθηκε η τεχνολογία γύρω από αυτήν ως τις μέρες μας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύονται οι μορφές με τις οποίες συναντάται η γεωθερμία στη γη και αναλύεται η κάθε μορφή της ξεχωριστά, στις επιμέρους ιδιότητες της και τα στοιχεία που την χαρακτηρίζουν.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναφέρονται όλα τα γεωθερμικά πεδία της Ελλάδας, ενώ γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στα πεδία της Μήλου και της Νισύρου τα οποία είναι τα μοναδικά πεδία υψηλής ενθαλπίας στη χώρα. Ακόμη γίνεται σύντομη ανάλυση του γεωθερμικού πεδίου της περιοχής της Θεσσαλονίκης και παρουσιάζονται πίνακες με τα γεωθερμικά χαρακτηριστικά όλων των ενεργειακών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας της χώρας αναλυτικά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφονται αναλυτικά οι χρήσεις και οι εφαρμογές της κάθε μορφής γεωθερμικής ενέργειας ξεχωριστά. Περιγράφονται λεπτομερώς όλες οι τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας για ηλεκτροπαραγωγή και για άμεση χρήση. Τέλος αναφέρονται χαρακτηριστικά παραδείγματα χρήσης της γεωθερμίας στην Ελλάδα και το εξωτερικό.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της γεωθερμίας και των εφαρμογών της, καθώς επίσης και τις επιπτώσεις της χρήσης γεωθερμίας στο περιβάλλον.

## **Abstract**

The contamination of the environment, an increase in energy demand over the last few years, as well as the disadvantages of fossil fuels, which are used extensively from the beginning of the 20th century, have led the world in search of new forms of energy. As is evident, the importation of renewable sources of global energy is one of the most important solutions to the above mentioned problems. Thus, the last twenty years there has been an enormous development of technologies and of exploitation of renewable energy sources for the production of energy. In this degree term paper is the study of geothermal energy and its applications in everyday life. Initially in the first section, the definition of geothermal energy and general information about this renewable source is given. Also presented is a historical overview of geothermal energy, when it was used for the first time and how that developed the technology around it up until this day. In the second section, all of the forms of geothermal energy are analyzed and broken down separately and is described by the individual properties of the elements. In the third section, all geothermal fields of Greece are mentioned, while there are references made in the fields of Milos and Nisiros, which are the only unique fields high in enthalpy in the country. Also, a brief analysis of the geothermal field in the region of Thessaloniki as well as detailed charts are presented with geothermal features of all energy fields low in enthalpy of the country. In the fourth section, described separately and in detail, are the uses and applications of each form of geothermal energy. All technologies that are used for the exploitation of geothermic energy for the production of electricity and for immediate use are described in detail. To conclude, characteristic examples of the usage of geothermic energy in Greece and abroad are given. The fifth chapter presents the advantages and disadvantages of geothermic energy and its applications, as well as the impact of its use to the environment.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Abstract .....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....	6
1.1 Γενικά.....	6
1.2 Το ενεργειακό μέλλον και η γεωθερμία .....	6
1.3 Η ανάπτυξη της γεωθερμίας - Ιστορική αναδρομή.....	8
1.4 Τα γεωθερμικά πεδία.....	9
1.5 Γεωθερμικό σύστημα .....	10
1.6 Γεωθερμικοί πόροι .....	11
1.7 Θερμά Ξηρά Πετρώματα .....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....	13
2.1 Ταξινόμηση Γεωθερμικών Συστημάτων.....	13
2.2 Ομαλή ή αβαθής γεωθερμική ενέργεια.....	15
2.3 Υδροθερμική ενέργεια - υδροθερμικές πηγές.....	15
2.4 Γεωπεπιεσμένες πηγές.....	16
2.5 Μάγμα .....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> .....	18
3.1 Γενικά.....	18
3.2 Τα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα .....	18
3.3 Γεωθερμικό πεδίο Μήλου .....	20
3.4 Γεωθερμικό πεδίο Νισύρου .....	22
3.5 Γεωθερμικό πεδίο λεκάνης Θεσσαλονίκης.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> .....	29
4.1 Εισαγωγή .....	29
4.2 Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας.....	31
4.3 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας.....	32
4.3.1 Ξηρού ατμού (Θερμοκρασία ρευστών >180°C) .....	33
4.3.2 Στρόβιλοι υγρού ατμού (Θερμοκρασία ρευστών >150°C).....	34
4.3.3 Δυαδικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό (Θερμοκρασία ρευστών >90°C) .....	34
4.4 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλή ενθαλπίας.....	35
4.4.1 Άμεση θέρμανση χώρων .....	35
4.4.2. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας.....	36

4.4.3. Τηλεθέρμανση.....	43
4.4.4 Θέρμανση θερμοκηπίων.....	44
4.4.5 Γεωργία - Κτηνοτροφία.....	45
4.4.6 Υδατοκαλλιέργειες - Ιχθυοκαλλιέργειες.....	46
4.4.7 Βιομηχανικές εφαρμογές.....	47
4.4.8 Θέρμανση πισίνων - Ιατρικές εφαρμογές.....	48
4.4.9 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού.....	48
4.5 Αβαθής γεωθερμία.....	49
4.5.1. Νερό.....	49
4.5.2 Έδαφος.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> .....	52
5.1 Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας.....	52
5.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα.....	52
5.3 Προβλήματα παραγωγής και ρύπανσης.....	54
5.3.1 Αποθέσεις μετάλλων.....	54
5.3.2 Υδρολογικές αλλαγές.....	55
5.3.3 Διάβρωση.....	55
5.3.4 Ρύπανση.....	55
5.3.5 Επανέγχυση.....	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### 1.1 Γενικά

Η ενέργεια είναι άμεσα συνδεδεμένη με κάθε πτυχή της ζωής του ανθρώπου. Είναι απαραίτητη για τη θέρμανση, τον κλιματισμό, το φωτισμό των χώρων διαβίωσης και για το μαγείρεμα και την συντήρηση των τροφίμων. Καλύπτει ακόμα τις ανάγκες των μέσων μετακίνησης, τις βιομηχανίες, του κάθε είδους εργασιακούς χώρους και γενικά όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Στη σημερινή εποχή, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας προέρχεται από την εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων, όπως ο λιγνίτης, το πετρέλαιο, και το φυσικό αέριο. Όμως από το τέλος της δεκαετίας του 1960 άρχισαν να αναγνωρίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιομηχανικής ανάπτυξης και ιδιαίτερα της καύσης των ορυκτών καυσίμων και ο άνθρωπος άρχισε να ευαισθητοποιείται στο θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος. Η ευαισθητοποίηση αυτή σε συνδυασμό με τις ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970 οδήγησαν στην ανάπτυξη τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης ενεργειακά ανανεώσιμων πηγών. Η πτώση όμως των τιμών του πετρελαίου τη δεκαετία του 1980 και του 1990 λειτούργησε ανασταλτικά στην ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών, καθώς συνέχισε να προωθείται για οικονομικούς λόγους η εκμετάλλευση των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Στη σημερινή εποχή, τα ορυκτά καύσιμα καλύπτουν περίπου το 81% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης. Μεταξύ αυτών το πετρέλαιο κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό (35%) και ακολουθεί ο άνθρακας (25%) και το φυσικό αέριο (21%). Το υπόλοιπο μερίδιο αντιστοιχεί στις ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ) και την πυρηνική ενέργεια με ποσοστά 13% και 6% αντίστοιχα.

Η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση εικοσαπλασιάστηκε από το 1850 ως σήμερα και τετραπλασιάστηκε από το 1950. Να σημειωθεί βέβαια, ότι το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης, τον τελευταίο αιώνα, έγινε στις αναπτυγμένες βιομηχανικά χώρες, που αποτελούν το 20% του παγκόσμιου πληθυσμού. Η ενεργειακή ζήτηση συνεχίζει να αυξάνεται με υψηλούς ρυθμούς, καθώς όλο και μεγαλύτερο τμήμα του πληθυσμού της γης βελτιώνει το βιοτικό του επίπεδο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το γεγονός ότι το 2008, δεν είχαν πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια 1,5 δις άνθρωποι, ενώ ο αντίστοιχος αριθμός για το 2030 υπολογίζεται σε 1,3 δις.

### 1.2 Το ενεργειακό μέλλον και η γεωθερμία

Έχοντας ως δεδομένο τους υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης των χωρών και την ολοένα αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση, προβλέπεται να παρουσιαστούν μια σειρά από προκλήσεις και προβλήματα για την ανθρωπότητα, αν συνεχίσει να στηρίζει το ενεργειακό μέλλον της στην εντατική εκμετάλλευση των ορυκτών καυσίμων. Τα κυριότερα από αυτά, είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η ατμοσφαιρική ρύπανση, οι κίνδυνοι ασφαλείας, τα υψηλά κόστη, η μείωση των αποθεμάτων και η άνιση κατανομή των ορυκτών καυσίμων. Η λύση στα παραπάνω προβλήματα είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, η αποκέντρωση της παραγωγής και το σημαντικότερο, η εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη με όσο το δυνατόν υψηλότερο ποσοστό. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούνται από την ηλιακή, την αιολική, την υδροδυναμική, τη βιομάζα και τη γεωθερμία.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μία ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη, συνεπώς ανανεώσιμη, μορφή ενέργειας, η οποία αποτελεί φυσικό εγχώριο πλούτο που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικό ποσοστό από τις ενεργειακές ανάγκες των κρατών.

Η αξιοποίηση της λοιπόν για την παραγωγή ενέργειας, αντικείμενο με το οποίο θα ασχοληθούμε εκτενέστερα στο παρόν πόνημα, παρουσιάζει ορισμένες ενδιαφέρουσες ιδιαιτερότητες και πλεονεκτήματα. Αρχικά, χρήσιμο είναι να δοθούν οι ορισμοί και οι σημασίες κάποιων βασικών εννοιών.

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

**2) Γεωθερμικό δυναμικό** είναι το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπόγειων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που υπερβαίνουν τους είκοσι πέντε βαθμούς Κελσίου (25°C).

**3) Γεωθερμικό πεδίο** είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό.

Τα γεωθερμικά πεδία ανάλογα με το θερμοκρασιακό επίπεδό τους διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

A) Υψηλής Ενθαλπίας (>150 °C) που χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρισμού Τα ρευστά αυτά αποτελούνται στις περισσότερες περιπτώσεις από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού.

B) Μέσης Ενθαλπίας (80 έως 150°C) που χρησιμοποιούνται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).

Γ) Χαμηλής Ενθαλπίας (25 έως 80°C) που χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

Δ) Περιβαλλοντική (ή πολύ χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες αντίστοιχες των μέσων ετησίων του αέρα περιβάλλοντος συνήθως μικρότερες των 25°C, κανονική, ομαλή ή αβαθής), που χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού.

Η ενθαλπία, η οποία σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι είναι ανάλογη της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για να εκφράσει την περιεχόμενη θερμική ενέργεια των ρευστών και δίνει μια γενική εικόνα της ενεργειακής αξία τους. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

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

**4) Προϊόν** του γεωθερμικού πεδίου θεωρείται το αξιοποιήσιμο θερμοενεργειακό του περιεχόμενο.

**5) Παραπροϊόντα** θεωρούνται άλλα προϊόντα που συμπαράγονται εκτός από το θερμοενεργειακό περιεχόμενο του πεδίου.

**6) Υποπροϊόν** θεωρείται το γεωθερμικό ρευστό που απομένει, ύστερα από την απόληψη των κατά τα ανωτέρω προϊόντων και παραπροϊόντων.

**7) Διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου** είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στην παραγωγική εξόρυξη του γεωθερμικού ρευστού, την ορθολογική αξιοποίηση προϊόντος και παραπροϊόντων, τη διανομή και ελεύθερη διάθεσή του σε τρίτους για κάθε είδους εφαρμογές και την περιβαλλοντικά συμβατή διάθεση των υποπροϊόντων.

### **1.3 Η ανάπτυξη της γεωθερμίας - Ιστορική αναδρομή**

Σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής οι πρακτικές εφαρμογές προηγούνται της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογικής ανάπτυξης. Η γεωθερμία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του φαινομένου αυτού. 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 από τα βοριούχα θερμά νερά που ανέβλυζαν από φυσικές πηγές ή αντλούνταν από ρηχές γεωτρήσεις.

Η παραγωγή του βορικού οξέος γινόταν με εξάτμιση των βοριούχων νερών μέσα σε σιδερένιους λέβητες, χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη ξύλα από τα κοντινά δάση. Το 1827, ο Francesco Larderel, ιδρυτής της βιομηχανίας αυτής προτίμησε αντί να καίγονται ξύλα από τα διαρκώς αποψιλώνόμενα δάση της περιοχής να αναπτύξει ένα σύστημα για τη χρήση της θερμότητας των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης. Η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του φυσικού ατμού ξεκίνησε περίπου την ίδια περίοδο. Ο γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιήθηκε για την ανέλκυση των ρευστών, αρχικά με κάποιους πρωτόγονους αέριους ανυψωτήρες και στη συνέχεια με παλινδρομικές και φυγοκεντρικές αντλίες και βαρούλκα.

Το 1892, το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλεθέρμανσης τέθηκε σε λειτουργία στο Boise του Αϊντάχο 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.

Το 1904, έγινε η πρώτη απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό, και πάλι στο Larderello της Ιταλίας. Το 1942, η εγκατεστημένη γεωθερμοηλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 kWe.

Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Berpu της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο The Geysers της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ. Το 1958 ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959, στις ΗΠΑ το 1960 και ακολούθησαν πολλά άλλα σε διάφορες χώρες. Μετά το 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε ελκυστική σε πολλές χώρες, επειδή ήταν ανταγωνιστική ως προς άλλες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η ενέργεια αυτή δε χρειαζόταν να εισαχθεί από άλλες χώρες, όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα ενώ σε πολλές περιπτώσεις αποτελούσε τον μοναδικό διαθέσιμο εγχώριο ενεργειακό πόρο. Στη δεκαετία του 1970, λόγω της πετρελαϊκής κρίσης, δόθηκε σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη της γεωθερμίας, ακόμα και σε περιοχές με σχετικά χαμηλή γεωθερμική βαθμίδα, όπως είναι η λεκάνη του Παρισιού.

Η παρουσία θερμού νερού στους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης του Παρισιού είχε ανακαλυφθεί ήδη από τη δεκαετία του 1950 ενώ διεξάγονταν έρευνες για πετρέλαιο, αλλά η πρώτη γεωθερμική γεώτρηση έγινε μόλις το 1962 στο Carriers- surseme.



Οι αβεβαιότητες και τα συναφή επενδυτικά ρίσκα που συνδέονται με τον προσδιορισμό και τη σωστή εκτίμηση της υπόγειας ενεργειακής πηγής (γεωθερμικός ταμιευτήρας), αποτελούν δύσκολα προβλήματα που ξεπερνιούνται όμως διαρκώς ευκολότερα χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας και στη συσσώρευση γνώσεων. Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας παγκοσμίως αναπτύχθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια, ενώ οι προοπτικές για περαιτέρω ανάπτυξη είναι ιδιαίτερα μεγάλες, ακόμα και με τις σημερινές χαμηλές τιμές του πετρελαίου.

Το μεγαλύτερο γεωθερμικό έργο παγκόσμια ωστόσο ευρίσκεται στα Geysers στη Β. Καλιφόρνια. Η εγκατεστημένη ισχύς υπερβαίνει τα 1300MW και αναμένεται να διπλασιαστεί στο τέλος του αιώνα. Ήδη η παραγωγή καλύπτει το 6% της ηλεκτρικής ενέργειας της Β. Καλιφόρνιας.

Οι έρευνες για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα άρχισαν το 1970 και μέχρι το 1980 αφορούσαν μόνο στις περιοχές που είχαν καταρχήν ενδιαφέρον για την υψηλή ενθαλπία. Εντοπίστηκαν τα γεωθερμικά πεδία στη Μήλο και στη Νίσυρο και προέκυψαν πολλά ή λιγότερα στοιχεία για πιθανά πεδία στην Κίμωλο, Πολύαιγο, Σαντορίνη, Κω και Λέσβο. Μερικές από τις παραπάνω περιοχές ίσως αποδειχθεί ότι δεν έχουν σε οικονομικά βάθη, γεωθερμικά ρευστά υψηλής αλλά μόνο μέσης ενθαλπίας, όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποδειχθεί συμφέρουσα σε μερικές περιπτώσεις.

#### **1.4 Τα γεωθερμικά πεδία**

Σε περιοχές με σχετικά πρόσφατη ηφαιστειότητα, παρουσιάζεται το φαινόμενο διάπυρο υλικό από το εσωτερικό της γης να έχει κινηθεί προς την επιφάνεια και το υπέδαφος να έχει θερμανθεί. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται σε τυχόν υδροφόρους σχηματισμούς της περιοχής. Τα νερά θερμαίνονται και κυκλοφορούν μέσα στα πετρώματα φθάνοντας σε πολλές περιπτώσεις μέχρι την επιφάνεια, αφού προηγουμένως έχουν εμπλουτιστεί από άλατα των πετρωμάτων (θερμές πηγές, ατμίδες), ενώ κάποιες άλλες φορές τα νερά εγκλωβίζονται σε μη υδροπερατά πετρώματα και αποκτούν θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 350 C.

Η θερμική ροή εμφανίζεται:

1. Κατά τη βύθιση λιθοσφαιρικών πλακών.
2. Στα ηπειρωτικά βυθίσματα.
3. Στις ηπειρωτικές περιοχές διόγκωσης.

Η Γεωθερμική ενέργεια αποτελεί ένα φυσικό εγχώριο πλούτο και ως εκ τούτου η εντατική της έρευνα και αξιοποίηση είναι πολλαπλά ωφέλιμη και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με ιδιαίτερο αναπτυξιακό χαρακτήρα σε τοπικό και σε εθνικό επίπεδο. Η απαιτούμενη τεχνολογία για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας που εμπεριέχεται σε ρευστά είναι πλέον δοκιμασμένη σε ευρεία κλίμακα. Το κάθε γεωθερμικό πεδίο όμως παρουσιάζει ιδιαιτερότητες και απαιτεί εξειδικευμένες μελέτες για τη βέλτιστη τεχνικά και οικονομικά εκμετάλλευσή του. Όσον αφορά όμως την εκμετάλλευση της γεωθερμίας που εμπεριέχεται στα θερμά ξηρά πετρώματα και των σε εξέλιξη ηφαιστειών η τεχνολογία δεν έδωσε ακόμα πρακτικά αποδεκτές λύσεις.

Ωστόσο, το γεωθερμικό δυναμικό υψηλής ενθαλπίας θα μπορούσε να εξασφαλίσει μερικές εκατοντάδες MWe και μάλιστα σε ευαίσθητους νησιωτικούς χώρους, όπου η παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να επιτευχθεί με αρκετά χαμηλότερο κόστος ανά KWh.

Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας, όπου είναι έτοιμες πολλές δεκάδες γεωτρήσεων παραγωγής, με εξαιρετικά μεγάλο δυναμικό. Από αυτό το δυναμικό, μικρό μόνο μέρος (περίπου τα 3/20) χρησιμοποιείται σήμερα για θέρμανση χώρων, λουτροθεραπεία, θέρμανση θερμοκηπίων κι ιχθυοκαλλιέργειες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς της χώρας το 2005 ανήλθε σε 74,8 MWth.

Τα γεωθερμικά πεδία περιέχουν μερικές φορές, χρήσιμα άλατα, ή αέρια. Μεταξύ των πρώτων, σημειώνουμε τη χρησιμοποίηση των αλάτων του καλίου και μαγνησίου που παράγονται από γεωθερμικές ενέργειες. Παρόμοια ρευστά, πολύ πλούσια σε θειικό κάλιο βρέθηκαν τελευταία στο καινούργιο γεωθερμικό πεδίο Cesano Ιταλίας. Ένα αέριο που έχει τεράστια σημασία για τα θερμοκήπια είναι το CO<sub>2</sub> που παράγεται συνήθως σε αφθονία στα γεωθερμικά πεδία.

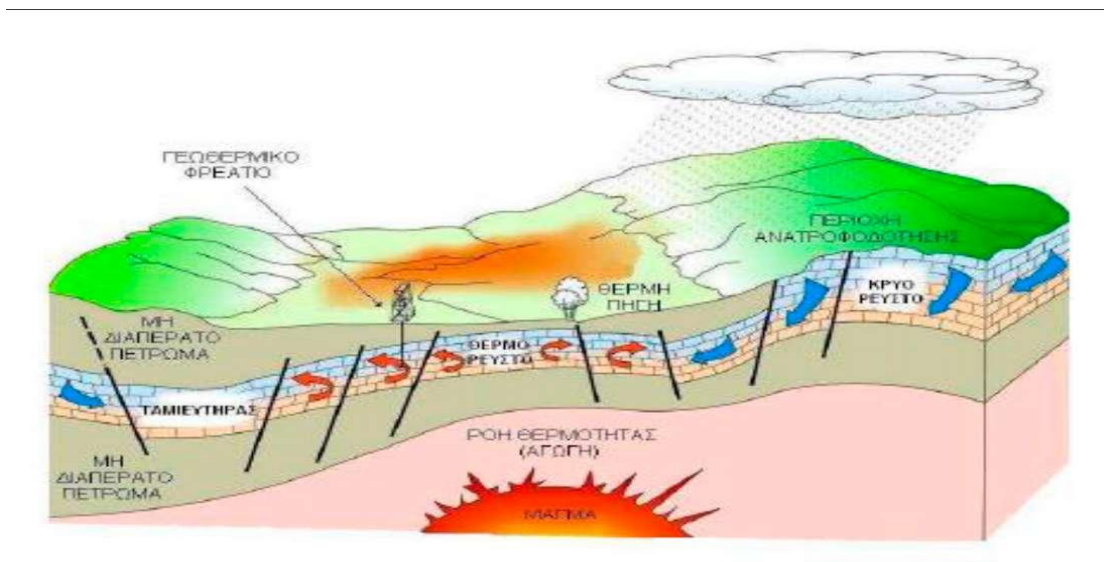
### 1.5 Γεωθερμικό σύστημα

Ως γεωθερμικό σύστημα ορίζεται ένας γεωλογικός σχηματισμός με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, μέσα στον οποίο είναι αποθηκευμένη η γεωθερμική ενέργεια. Τα γεωθερμικά συστήματα εντοπίζονται σε περιοχές με κανονική ή με λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα και κυρίως γύρω από τα όρια των τεκτονικών πλακών, όπου η βαθμίδα μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη της μέσης τιμής. Στην πρώτη περίπτωση τα γεωθερμικά συστήματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες που συνήθως δεν ξεπερνούν τους 100°C, ενώ στη δεύτερη περίπτωση οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, από σχετικά χαμηλές μέχρι και μεγαλύτερες, της τάξεως των 400°C.

Το γεωθερμικό σύστημα μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύστημα που βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης. Στο εσωτερικό του υπάρχει κινούμενο νερό, το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μία πηγή σε μια δεξαμενή θερμότητας, η οποία συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια. Έτσι λοιπόν, ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τα εξής τρία στοιχεία: την εστία θερμότητας, τον ταμιευτήρα και το γεωθερμικό ρευστό, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας.

Η εστία θερμότητας μπορεί να είναι είτε μία πολύ υψηλής θερμοκρασίας (>600°C) μαγματική διείδυση που έχει φτάσει σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 Km), είτε -στα χαμηλής θερμοκρασίας συστήματα- η κανονική θερμοκρασία των πετρωμάτων του εσωτερικού της γης, η οποία όπως έχει αναφερθεί αυξάνεται με το βάθος. Ο ταμιευτήρας είναι ένας σχηματισμός από θερμά υδροπερατά πετρώματα, που επιτρέπουν την κυκλοφορία των ρευστών και από τα οποία το ρευστό αντλεί θερμότητα. Πάνω στον ταμιευτήρα βρίσκεται συνήθως ένα κάλυμμα αδιαπέρατων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται σε μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, διαμέσου της οποίας βρόχινο και γενικά επιφανειακό νερό κατεβαίνει και αντικαθιστά μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται μέσω γεωτρήσεων. Το γεωθερμικό ρευστό είναι νερό, το οποίο ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον ταμιευτήρα βρίσκεται σε υγρή ή αέρια

φάση. Συχνά το ρευστό είναι εμπλουτισμένο με χημικά στοιχεία και αέρια όπως CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S και άλλα. Στο σχήμα 1.5 αποτυπώνεται σε πολύ απλουστευμένη μορφή ένα πρότυπο γεωθερμικό σύστημα.



Σχήμα 1.5

### 1.6 Γεωθερμικοί πόροι

Ως γεωθερμικός πόρος ορίζεται ουσιαστικά η θερμική ενέργεια (δυναμικό) που βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από μια συγκεκριμένη περιοχή, μεταξύ της επιφάνειας τη γης και ενός ορισμένου βάθους στο φλοιό. Ο ωφέλιμος και προσβάσιμος γεωθερμικός πόρος αναφέρεται στο τμήμα της ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί με νόμιμο και οικονομικά συμφέροντα τρόπο κάποια στιγμή στο σχετικά άμεσο μέλλον, δηλαδή μέσα σε λιγότερο από 100 χρόνια. Ο οικονομικά επωφελής γεωθερμικός πόρος αποτελεί μέρος του ωφέλιμου και προσβάσιμου πόρου. Αυτού του είδους οι γεωθερμικοί πόροι είναι γνωστοί και ως αποθέματα και αναφέρονται στην ποσότητα της γεωθερμικής ενέργειας μιας συγκεκριμένης περιοχής, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες πηγές ενέργειας. Οι πόροι αυτοί έχουν εξερευνηθεί και αξιολογηθεί με τη βοήθεια γεωτρητικών, γεωχημικών και άλλων γεωλογικών ερευνών και μελετών. Στον πίνακα 1.6, δίνεται η εκτίμηση του παγκόσμιου γεωθερμικού δυναμικού.

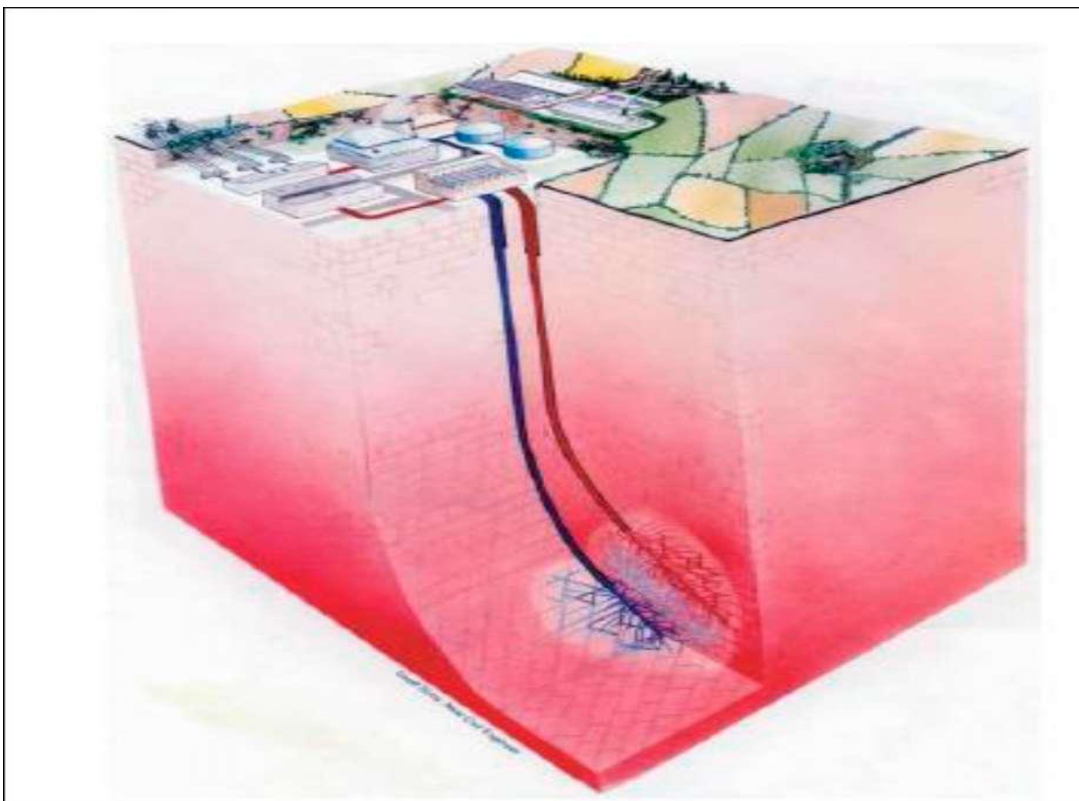
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ
Θεωρητικό δυναμικό (βάθος 5km)	140.000.000
Διαθέσιμο δυναμικό	600.000
Ωφέλιμο και προσβάσιμο δυναμικό	5.000
Οικονομικά επωφελές δυναμικό	500

Πίνακας 1.6

### 1.7 Θερμά Ξηρά Πετρώματα

Μια ιδιαίτερη κατηγορία γεωθερμικών πόρων αποτελούν τα θερμά ξηρά πετρώματα τα οποία μπορούν να περιγραφούν ως ένας θερμός γεωλογικός σχηματισμός. Η ειδοποιός διαφορά τους από τους υπόλοιπους γεωθερμικούς πόρους και από το τυπικό γεωθερμικό σύστημα είναι η απουσία γεωθερμικού μέσου και ταμιευτήρα. Για την αξιοποίηση των θερμών ξηρών πετρωμάτων γίνεται - μέσω ειδικών γεωτρήσεων- τεχνητή εισαγωγή νερού με υψηλή πίεση σε ένα θερμό και συμπαγές πέτρωμα, το οποίο βρίσκεται σε μεγάλο βάθος.

Η υψηλή πίεση του νερού προκαλεί στο πέτρωμα υδραυλική διάρρηξη. Το νερό διαπερνά τις τεχνητές διαρρήξεις και ερχόμενο σε επαφή με τις μεγάλες επιφάνειες θερμού πετρώματος αντλεί θερμότητα από αυτόν τον μεγάλο σε όγκο σχηματισμό, ο οποίος λειτουργεί ως ένας φυσικός ταμιευτήρας. Στη συνέχεια, ο ταμιευτήρας διαπερνάται από μια δεύτερη γεώτρηση μέσα από την οποία αντλείται το νερό που θερμάνθηκε. Συνοψίζοντας λοιπόν το συγκεκριμένο γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από την ειδική γεώτρηση που χρησιμοποιείται για την υδραυλική διάρρηξη., τον τεχνητό ταμιευτήρα ο οποίος τροφοδοτείται με κρύο νερό υψηλής πίεσης και από τη γεώτρηση άντλησης του θερμού νερού. Όλο αυτό το σύστημα μαζί με τις αντίστοιχες εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης στην επιφάνεια, σχηματίζουν ένα κλειστό κύκλωμα όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.7.



Σχήμα 1.7

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### 2.1 Ταξινόμηση Γεωθερμικών Συστημάτων

Τα γεωθερμικά συστήματα, δηλαδή οι μορφές με τις οποίες συναντάται η γεωθερμική ενέργεια, μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια, όπως είναι το είδος των γεωθερμικών πόρων, ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών, ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά, το είδος της εστίας θερμότητας, αν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα κ.ά.

Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε ρηχή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη σε μορφή θερμότητας ενέργεια του φλοιού της γης, σε βάθη έως 150m, με θερμοκρασίες υπεδάφους έως 18 C.

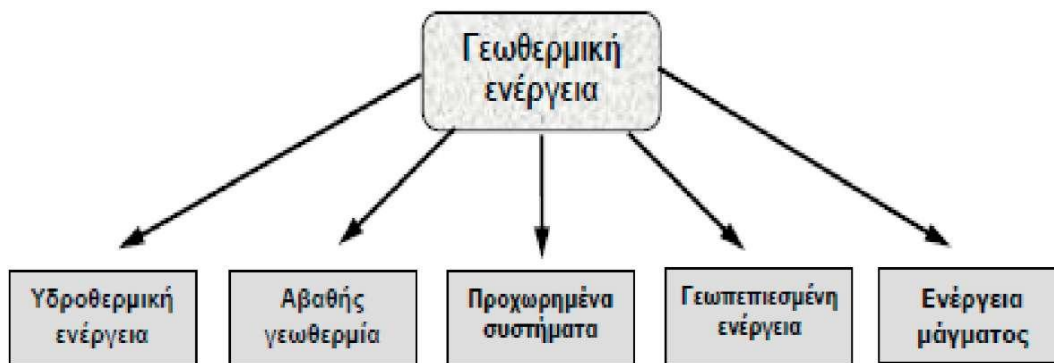
Η άντληση της ενέργειας από τα βαθύτερα στρώματα της Γης, η λεγόμενη βαθιά γεωθερμική ενέργεια, απαιτεί τη διάνοιξη πηγαδιών σε μεγάλο βάθος. Τα πιθανά θερμά υπόγεια ύδατα μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Συχνά γίνεται διάκριση ανάμεσα στα γεωθερμικά συστήματα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι το νερό στην υγρή φάση και σε εκείνα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός. Στα συστήματα όπου επικρατεί το νερό, η υγρή φάση είναι αυτή που ελέγχει συνεχώς την πίεση. Μέσα στη φάση αυτή μπορεί να περιέχονται και κάποια αέρια με τη μορφή μικρών φυσαλίδων. Αυτά τα γεωθερμικά συστήματα, των οποίων οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 125°C μέχρι 225°C, είναι τα πλέον συνηθισμένα παγκοσμίως.

Ένας άλλος διαχωρισμός των γεωθερμικών συστημάτων είναι αυτός που βασίζεται στην κατάσταση ισορροπίας στον ταμιευτήρα σύμφωνα με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη η κυκλοφορία των ρευστών του ταμιευτήρα και ο μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας.

Στα δυναμικά συστήματα ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με νερό, το οποίο θερμαίνεται. Στη συνέχεια, ο ταμιευτήρας αποφορτίζεται, είτε γιατί το θερμό ρευστό ανέβηκε μέχρι την επιφάνεια είτε γιατί άρχισε να γεμίζει τους υδατοπερατούς υπόγειους σχηματισμούς. Η θερμότητα μεταφέρεται στο σύστημα μέσω του μηχανισμού της συναγωγής και της κυκλοφορίας του ρευστού.

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει συστήματα τόσο υψηλής (>150<sup>ο</sup>Ο όσο και χαμηλής (<100<sup>ο</sup>Ο) θερμοκρασίας. Στα στατικά συστήματα, γνωστά και ως στάσιμα ή συστήματα αποθήκευσης, παρατηρείται ελάχιστη ή καμία τροφοδοσία του ταμιευτήρα και η μεταφορά θερμότητας γίνεται μόνο με τη βοήθεια του μηχανισμού αγωγής.

Σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων διακρίνονται πέντε κατηγορίες συστημάτων (Σχήμα 2.1), που περιγράφονται συνοπτικά ως εξής:



**Σχήμα 2.1. Μορφές γεωθερμικής ενέργειας κατά σειρά ενδιαφέροντος χρήσεων σήμερα και προοπτικής στο εγγύς μέλλον, από αριστερά προς τα δεξιά.**

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

β) Αβαθής γεωθερμία (earth energy), κατά την οποία λαμβάνονται (ή και απορρίπτονται) ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100 m από την επιφάνεια της γης ή με την κυκλοφορία υπόγειων νερών ή νερών από λίμνες, ποτάμια και τη θάλασσα. Αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας.

γ) Τα προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα (enhanced geothermal systems) αναφέρονται στα θερμά πετρώματα σε βάθος από 2 μέχρι 10 km, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που διοχετεύεται από την επιφάνεια, μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων, και ανακτάται αρκετά θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων.

δ) Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα (geopressured systems) αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος, βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και η πίεσή τους υπερβαίνει την υδροστατική.

ε) Τα μαγματικά συστήματα (magma systems) αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος.

Τα κύρια τυπικά τμήματα ενός υδροθερμικού συστήματος είναι η εστία θερμότητας, ο ταμιευτήρας, το αδιαπέρατο κάλυμμα και η περιοχή επαναφόρτισης. Ο ταμιευτήρας είναι το σημαντικότερο τμήμα ενός γεωθερμικού συστήματος από την άποψη της ενεργειακής αξιοποίησης των περιεχόμενων ρευστών.

Μία πρώτη ταξινόμηση-τυποποίηση των υδροθερμικών συστημάτων γίνεται συνήθως ανάμεσα στα συστήματα στα οποία το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός (συστήματα ατμού), και τα οποία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για ηλεκτροπαραγωγή, και στα συστήματα στα οποία κυρίαρχο ρευστό είναι το θερμό νερό (συστήματα θερμού νερού).

Το συνηθέστερο κριτήριο για την ταξινόμηση των υδροθερμικών συστημάτων νερού 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 των ρευστών, ΔΗ, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ανάλογη της θερμοκρασίας τους, χρησιμοποιείται για να εκφράσει το θερμικό περιεχόμενό τους.

## 2.2 Ομαλή ή αβαθής γεωθερμική ενέργεια

Καλείται η ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό και βρίσκονται σε μικρό βάθος. Οι θερμοκρασίες των πετρωμάτων και υπόγειων νερών, που αναπτύσσει η ομαλή γεωθερμική ενέργεια σε βάθη 0-200m, είναι κατά το πλείστον κατώτερες από 25°C. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (σχεδόν το 50% από τη συνολική ποσότητα που φθάνει στη Γη) από τη γήινη επιφάνεια και που στα γεωγραφικά πλάτη της εύκρατης ζώνης κάτω από κάποιο βάθος παραμένει περίπου σταθερή (10-18°C) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η σταθερή και μόνιμη αυτή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί, το χειμώνα για θέρμανση νερού κεντρικής θέρμανσης έως 50°C, το καλοκαίρι για ψύξη νερού κλιματισμού έως 10X όπως επίσης και για ζεστό νερό χρήσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

## 2.3 Υδροθερμική ενέργεια - υδροθερμικές πηγές

Όλοι οι ταμειυτήρες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για παραγωγή ηλεκτρισμού ονομάζονται υδροθερμικά συστήματα συναγωγής και τα χαρακτηρίζει η κυκλοφορία επιφανειακού νερού σε μικρά έως μέσα βάθη (100m-4,5km). Η κινητήρια δύναμη των συστημάτων αυτών είναι η βαρύτητα, δρώσα λόγω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ του κρύου νερού αναπλήρωσης που κινείται προς τα κάτω και του ζεστού θερμικού νερού που κινείται προς τα πάνω. Τα υδροθερμικά συστήματα μπορεί να οδηγούνται είτε από ένα υποκείμενο νέο πυριγενές έγκλεισμα, είτε απλά από την κυκλοφορία του νερού σε βάθος μέσω ρωγμών και καταγμάτων.

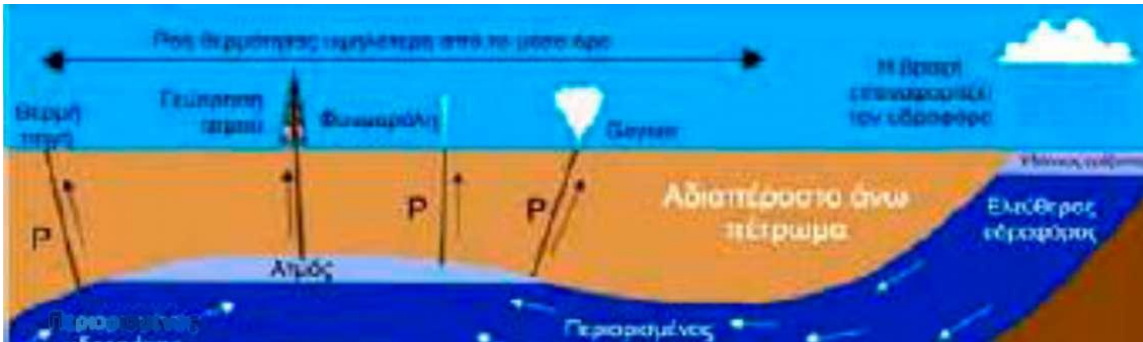
Οι υδροθερμικές πηγές απαιτούν τρία βασικά συστατικά:

A) Μια θερμική πηγή (π.χ. κρυσταλλωμένο μάγμα)

B) Ένα υδροφόρο ορίζοντα που περιέχει προσπελάσιμο νερό

Γ) Και ένα στεγανό πέτρωμα που να σφραγίζει τον υδροφόρο ορίζοντα (σχήμα 2.2)

Η γεωθερμική ενέργεια αντλείται με τη διάτρηση του υδροφόρου ορίζοντα και την εξαγωγή του θερμού νερού ή ατμού. Οι υψηλής θερμοκρασίας υδροθερμικές πηγές (με θερμοκρασίες από 180°C έως πάνω από 350°C) συνήθως θερμαίνονται από θερμό τηγμένο πέτρωμα, ενώ οι χαμηλής θερμοκρασίας πηγές (από 100°C έως 180°C) μπορούν να δημιουργηθούν με οποιαδήποτε διαδικασία.



**Σχήμα 2.2 Αναπαράσταση των κύριων χαρακτηριστικών μιας γεωθερμικής περιοχής .**

Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση του ρευστού των πόρων, δύο είδη υδροθερμικών συστημάτων συναγωγής μπορούν να διακριθούν :

α) υπερίσχυσης υγρού, στα οποία όλοι οι πόροι και οι ρωγμές γεμίζουν με υγρό νερό που βρίσκεται σε θερμοκρασίες αρκετά υψηλότερες από αυτή του βρασμού υπό ατμοσφαιρική πίεση, εξαιτίας της πίεσης του υπερκείμενου νερού

β) υπερίσχυσης ατμού, όπου οι μεγαλύτεροι πόροι και ρωγμές είναι πλήρεις ατμού. Οι ταμιευτήρες υπερίσχυσης υγρού παράγουν είτε νερό, είτε μίγμα νερού και ατμού, ενώ οι ταμιευτήρες υπερίσχυσης ατμού παράγουν μόνο ατμό, ως επί το πλείστον υπέρθερμο. Οι φυσικοί γεωθερμικοί ταμιευτήρες εμφανίζονται και ως περιφερειακοί υδροφόροι ορίζοντες, όπως ο ασβεστόλιθος Dogger της λεκάνης του Παρισιού στη Γαλλία και οι ψαμμίτες της οροσειράς Pannonia της κεντρικής Ουγγαρίας.

#### **2.4 Γεωπεπιεσμένες πηγές**

Σε μερικές ταχέως καθιζάνουσες νέες ιζηματογενείς λεκάνες, όπως η βόρεια λεκάνη του Κόλπου του Μεξικού, οι πορώδεις ψαμμίτες των ταμιευτήρων διαιρούνται από επεκτάσεις ρηγμάτων σε μεμονωμένους ταμιευτήρες σε βάθος περίπου 3-6 km, όπου μπορεί η πίεση του ρευστού να υπερβαίνει αυτήν της στήλης ύδατος, πλησιάζοντας αυτήν του υπερκείμενου πετρώματος. Ο στεγανός σχιστόλιθος που περιβάλλει τον διαιρεμένο ψαμμίτη εμποδίζει την διαφυγή του νερού των πόρων και η θερμοκρασία του κυμαίνεται μεταξύ των 90 και 200°C. Στους πεπιεσμένους ταμιευτήρες η ενέργεια δεν είναι μόνο θερμική, αλλά περιλαμβάνει ένα ίσο ποσό ενέργειας λόγω του διαλυμένου στο νερό μεθανίου (χημική ενέργεια), συν ένα μικρό ποσό μηχανικής/υδραυλικής ενέργειας λόγω των υψηλών πιέσεων των ρευστών.



## **2.5 Μάγμα**

Το μάγμα, η μεγαλύτερη γεωθερμική πηγή, είναι τηγμένο πέτρωμα που βρίσκεται σε βάθη 3-10 km και παραπάνω, και επομένως δεν είναι προσπελάσιμο. Η θερμοκρασία του κυμαίνεται από 700 έως 1200°C. Η πηγή αυτή δεν έχει ερευνηθεί καλά μέχρι σήμερα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### 3.1 Γενικά

Η χώρα μας λόγω των ειδικών γεωλογικών συνθηκών της είναι πλούσια σε γεωθερμική ενέργεια . Μέχρι το 1980, οι έρευνες στη χώρα περιορίζονταν στον εντοπισμό γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεωθερμικό δυναμικό υψηλής ενθαλπίας εντοπίστηκε κυρίως κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος κ.λπ.).

Παράλληλα όμως, είχαμε και τον εντοπισμό ρευστών μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. Στη χώρα μας, το 1985, εγκαταστάθηκε μια μονάδα υψηλής ενθαλπίας ισχύος 2 MWe στη Μήλο, που λειτούργησε για κάποιο διάστημα μέχρι το 1989. Από το 1980 και μετά προχώρησε στη χώρα μας η έρευνα για τον εντοπισμό αξιοποιήσιμων γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας.

Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα σε ολόκληρη τη χώρα και εντοπίζονται κυρίως σε αγροτικές περιοχές. Στον πίνακα δίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας και οι περιοχές γεωθερμικού ενδιαφέροντος αντίστοιχα.

Το πιθανό γεωθερμικό δυναμικό των πεδίων χαμηλής ενθαλπίας ανέρχεται περίπου σε 700 MW και το βεβαιωμένο, περίπου σε 300 MW (1MW μπορεί να καλύψει τις θερμικές απώλειες περίπου 6 στρεμμάτων γυάλινων θερμοκηπίων στην περιοχή Κορινθίας).

### 3.2 Τα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα

Στο γεωθερμικό πεδίο Μήλου, μετά από πολύπλευρες έρευνες του ΙΓΜΕ προσδιορίστηκαν το 1973 συγκεκριμένες θέσεις για βαθιές γεωτρήσεις. Η ΔΕΗ έκανε (1975-1981) 5 συνολικά γεωτρήσεις σε βάθος 1000-1400m, που παράγουν συνολικά 350 t/h (μίγμα ρευστών, νερού και ατμού σε σχέση 1:1 περίπου). Εγκατέστησε (1985) μια πειραματική γεωθερμοηλεκτρική μονάδα ισχύος 2MW η οποία έδειξε ότι το νερό του μίγματος που διαχωρίζεται έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα που δημιουργούν σοβαρά, αλλά όχι ανυπερβλήτα προβλήματα διάβρωσης και περιλίθωσης.

Το γεωθερμικό δυναμικό της Μήλου σε ρευστά υψηλής ενθαλπίας κατά μία πρώτη εκτίμηση ανέρχεται σε 120 MWe τουλάχιστον. Δεν αποκλείουν όμως οι ειδικοί να υπερβεί και τα 200 MWe. Στο Γεωθερμικό πεδίο Νίσυρου, ύστερα από πολύπλευρες έρευνες στην περίοδο 1972-81, εντοπίστηκαν οι θέσεις για τις δύο πρώτες γεωτρήσεις έρευνας - παραγωγής. Οι γεωτρήσεις αυτές εκτελέστηκαν κατά το 1982-83.

Η πρώτη, παρόλο που συνάντησε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες (400°C) αλλά και πολύ δύσκολες συνθήκες ρευστών παράγει σήμερα μικρές μόνο ποσότητες μίγματος ατμών και νερού από το "Ρηχότερο" ρεζερβουάρ των 1500m. (Το βαθύτερο ρεζερβουάρ στα 1800m έχει εγκαταλειφθεί λόγω ανυπερβλήτων τεχνικών προβλημάτων κατά την κατασκευή της γεώτρησης).

Η δεύτερη γεώτρηση παράγει από βάθος 1500m (όπου η θερμοκρασία είναι περίπου 350°C) μίγμα ατμού και νερού. Η παραγωγή ατμού ανέρχεται περίπου στους 23 t/h και ισοδυναμεί με 3Mwe. Το

συνολικό γεωθερμικό δυναμικό της Νισύρου κατά μία πρώτη εκτίμηση ανέρχεται σε 40 MWe περίπου.

Πιθανά πεδία υψηλής ενθαλπίας βρίσκονται στα νησιά Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως και Λέσβος. Οι πιθανότητες είναι πολύ μεγάλες στα δύο πρώτα νησιά και μικρότερες στα άλλα, για τα οποία αλλού υπάρχουν εντελώς ελλιπή στοιχεία (Κως) και αλλού πολλά, αλλά με μικρές πιθανότητες (Λέσβος). Περιοχές υψηλής ενθαλπίας με ελάχιστες πιθανότητες είναι αυτές του Σουσακίου Κορινθίας και των Μεθάνων Τροιζηνίας. Στα νησιά Κίμωλος και Πολύαιγος, οι γεωθερμικές έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι συνθήκες σε αυτά είναι εντελώς παρόμοιες με αυτές της Μήλου. Πρόκειται για πολύ πιθανά πεδία υψηλής ενθαλπίας.

Παρόμοιο γεωθερμικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο αβαθής υποθαλάσσιος χώρος μεταξύ των τριών νησιών όπως επίσης και αυτός του Όρμου Μήλου. Μελλοντικά σ' αυτούς τους χώρους μπορεί να γίνουν κεκλιμένες γεωτρήσεις από την παραλία ή και ακόμα στη θάλασσα. Στη Λέσβο, από τις μέχρι τώρα πολύπλευρες και εκτεταμένες γεωλογικές-γεωθερμικές έρευνες και τη συνθετική ερμηνεία των αποτελεσμάτων εντοπίστηκαν τρεις κύριες περιοχές ενδιαφέροντος: Πέτρας-Αργένου, Καλλονής- Στύψης και Πολιχνίτου. Οι πιθανές θερμοκρασίες των ρευστών στον ταμειυτήρα αναμένονται να είναι της τάξης των 100-140°C, χωρίς να αποκλείονται εντελώς και υψηλότερες. Η περιοχή που προτάθηκε για τις πρώτες βαθιές γεωτρήσεις έρευνας- παραγωγής βρίσκεται νότια του χώρου Στύψης.

Στη Σαντορίνη η γεωθερμική έρευνα προσδιόρισε σαν ενδιαφέρουσα την περιοχή που βρίσκεται μεταξύ των οικισμών Μεγαλοχωρίου, Εμπορίου και Ακρωτηρίου. Μερικές συμπληρωματικές βαθιές γεωφυσικές έρευνες θα βοηθήσουν ουσιαστικά στην επιλογή της καλύτερης θέσης για την πρώτη βαθιά γεώτρηση έρευνας-παραγωγής, η οποία θα δώσει και την οριστική απάντηση σχετικά με την κατηγορία των ρευστών (υψηλής ή μέσης ενθαλπίας).

Στην Κω η εντελώς προκαταρκτική διερεύνηση έδωσε ενθαρρυντικά στοιχεία. Η δυτική περιοχή του νησιού χρειάζεται συστηματική και πολύπλευρη γεωθερμική έρευνα.

Ακόμη στις Πηγές Καβασιλών κοντά στον ποταμό Σαραντάπορο, με θερμοκρασία νερού 28,1° C, στις Πηγές Αμάραντου στα βόρεια της Κόνιτσας, στην οροσειρά της Πίνδου, με θερμοκρασία ατμού στην έξοδό τους 32° C.

Επίσης στην Περιοχή Συκιών στην Άρτα, όπου πραγματοποιήθηκαν τέσσερις ερευνητικές και μία παραγωγική γεώτρηση βάθους 320 μέτρων, που έδειξε δυνατότητα άντλησης νερού, έως και 100 κυβικών μέτρων ανά ώρα, θερμοκρασίας 55° C περίπου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η κανονική γεωθερμική βαθμίδα είναι 3,3° C /100 m, ενώ στην περιοχή ενδιαφέροντος η τιμή της υπολογίζεται στους 17° C /100 m περίπου.

Στη Βόρεια Ελλάδα εντοπίστηκαν σημαντικά γεωθερμικά πεδία  $T < 95^{\circ}\text{C}$ , στις περιοχές:

- 1) της Δυτικής Μακεδονίας (Φλώρινα - Πτολεμαΐδα),
- 2) της Λεκάνης Θεσσαλονίκης (Νομοί Πέλλας, Ημαθίας, Πιερίας, Θεσ/νίκης),
- 3) της Λεκάνης Ανθεμούντα,
- 4) της Λεκάνης Μυγδονίας (γεωθερμικά πεδία Λαγκαδά, Νυμφόπετρας, Νέας Απολλωνίας)
- 5) του Δήμου Τρίγλιας και της Χερσονήσου Κασσάνδρας Ν. Χαλκιδικής,
- 6) της Λεκάνης Στρυμόνα (γεωθερμικά πεδία Νιγρίτας, Σιδηροκάστρου, Ηράκλειας, Αγκίστρου, Αχινού - Ιβήρων του Ν. Σερρών),

- 7) του Στρυμονικού Κόλπου (πεδίο Ακροποτάμου Ν. Καβάλας),
- 8) του Δέλτα του Νέστου (γεωθερμικά πεδία Ερατεινού Χρυσούπολης και Ν. Εράσμιου, Ν. Ξάνθης),
- 9) της Λεκάνης Ξάνθης - Κομοτηνής (γεωθερμικά πεδία Ν. Κεσσάνης, Λίμνης Μητρικού και Σαππών)
- 10) της Λεκάνη Αλεξανδρούπολης-Έβρου (γεωθερμικά πεδία Αρίστηνου και Τυχερού).

### 3.3 Γεωθερμικό πεδίο Μήλου

Πρόκειται για το πλουσιότερο Γ/Θ πεδίο στη χώρα μας με θερμοκρασία ρευστού 350°C και πίεση ατμού περί τα 20 bars. Η Μήλος βρίσκεται στο ηφαιστειακό τόξο του νοτίου Αιγαίου και έχει δύο μεγάλα αλλά ανενεργά ηφαίστεια. Το ένα είναι το ηφαίστειο της Φυρίπλακας και το δεύτερο του Τράχηλα που βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού. Μπορεί βέβαια τα ηφαίστεια αυτά να είναι ανενεργά, λαμβάνουν χώρα όμως διάφορες εκδηλώσεις που δείχνουν ότι, ακόμα και σήμερα, υπάρχει επικοινωνία ανάμεσα στην επιφάνεια του νησιού και το εσωτερικό της γης.

Στη Μήλο λοιπόν, συναντούνται ατμίδες (πηγές αερίων) κυρίως στην ανατολική και νοτιοανατολική περιοχή του νησιού. Είναι περιοχές από όπου, αέρια προερχόμενα από το εσωτερικό της γης (ατμοί, CO<sub>2</sub>, υδρόθειο κ.α.) διαφεύγουν και απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Στις περιοχές αυτές, είναι χαρακτηριστικό το κίτρινο χρώμα του θείου και η οσμή του, ενώ η θερμοκρασία του εδάφους είναι πολύ υψηλή. Τέτοια μέρη είναι η Αγία Κυριακή (102°C), οι Πυρωμένες (100°C), το Παλιοχώρι (101 °C), τα Βουνάλια (54°C), ο Καστανάς (86°C), και ο Αδάμαντας (100°C). Ατμίδες όμως παρατηρούνται και σε υποθαλάσσιες περιοχές (Αγία Κυριακή, Παλιοχώρι, Κάναβα, Ριβάρι), όπου και πάλι το κίτρινο χρώμα του θείου είναι εμφανές και τα αέρια βγαίνουν στην επιφάνεια του νερού με τη μορφή φυσαλίδων. Στη Μήλο υπάρχουν επίσης και θερμές πηγές, οι οποίες βρίσκονται σε διάφορα μέρη του νησιού και κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Κάποιες από αυτές είναι και ιαματικές, χωρίς ωστόσο να έχουν αξιοποιηθεί κατάλληλα. Οι πηγές αυτές βρίσκονται στον Αδάμαντα (33,3°C), στις Αλυκές (22°C), στα Μαντράκια (54°C) και σε άλλα σημεία.

Οι έρευνες του Ι.Γ.Μ.Ε. που πραγματοποιήθηκαν στη Μήλο τη δεκαετία του 1970 εντόπισαν το πρώτο ελληνικό γεωθερμικό πεδίο υψηλής ενθαλπίας. Για την περαιτέρω διερεύνηση του πεδίου χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές και μέθοδοι επιφανείας, μεταξύ των οποίων και η διάνοιξη 48 αβαθών γεωτρήσεων (250m) γεωθερμικής βαθμίδας.

Σε δεύτερη φάση η ΔΕΗ πραγματοποίησε συνολικά 5 βαθιές γεωτρήσεις έρευνας- παραγωγής σε βάθος 1000-1400m. Τα χαρακτηριστικά του βεβαιωμένου αυτού γεωθερμικού πεδίου, όπως προέκυψαν από τις έρευνες είναι τα εξής :

Έκταση : 3,5m<sup>2</sup>

Θερμοκρασία : ≥350°C (πυθμένα γεωτρήσεων)

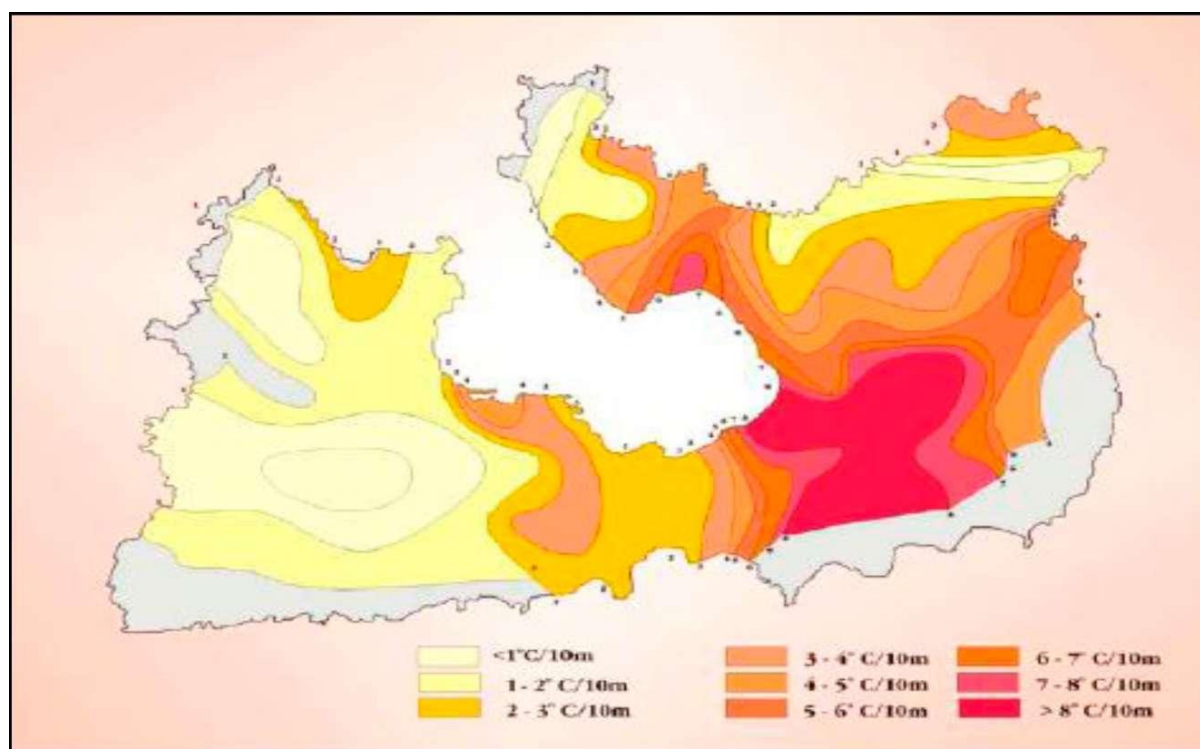
Βάθος ταμιευτήρα : 1400-1900m

Παραγωγή : 75 tn/h (21 tn/h κεκορεσμένος ατμός και 54 tn/h θερμό νερό)

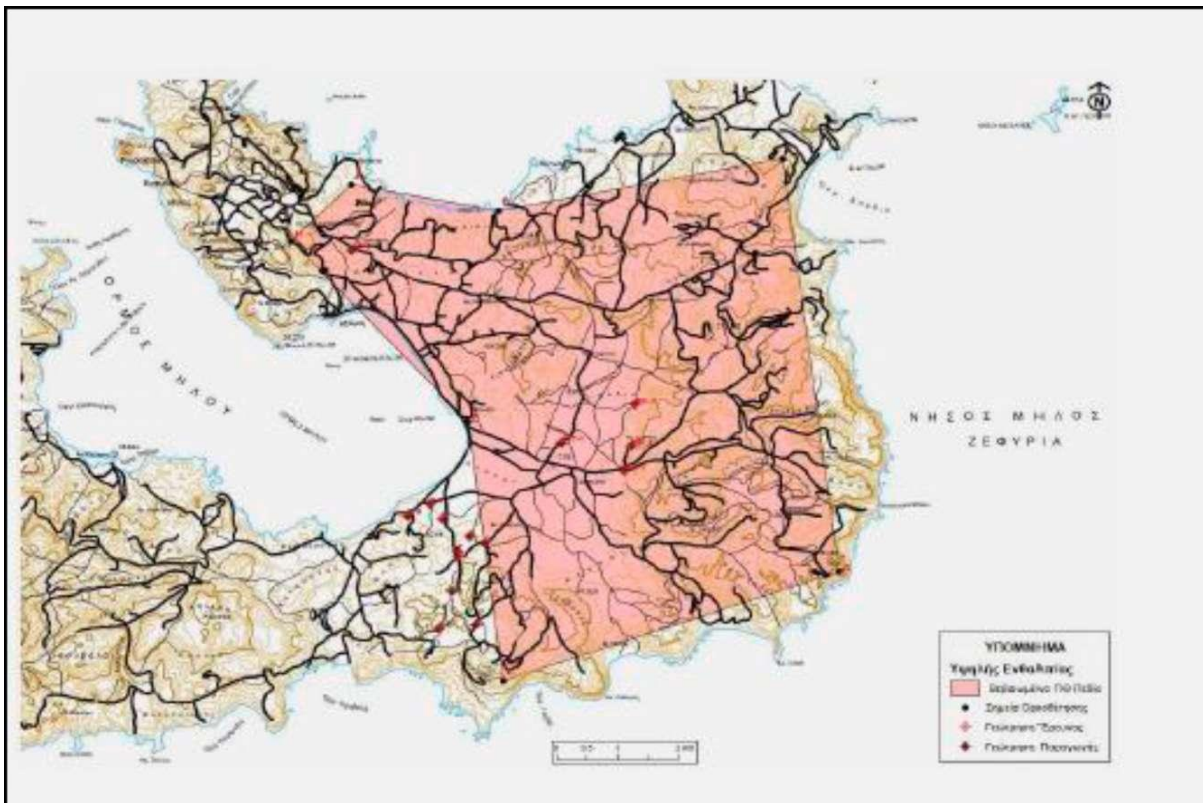
Πίεση : 12atm

Μία πρώτη μονάδα παραγωγής ρεύματος ισχύος 2MW εγκαταστάθηκε από τη ΔΕΗ το 1986 και επί 2ετία λειτουργούσε κανονικά και κάλυψε σχεδόν το σύνολο της ηλεκτρικής κατανάλωσης του νησιού. Στη συνέχεια λόγω κάποιων αστοχιών αποφασίστηκε το σταμάτημα λειτουργίας της μονάδας.

Εκτιμάται ότι το Γ/Θ πεδίο της Μήλου στην πλήρη ανάπτυξη του, θα μπορεί να καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής κατανάλωσης των Κυκλάδων.



**Σχήμα 3.3(α): Διακύμανση της γεωθερμικής βαλβίδας στο νησί της Μήλου.**



**Σχήμα 3.3 (β): Χωροθέτηση του βεβαιωμένου Γ/Θ πεδίου υψηλής ενθαλπίας της Μήλου και τα σημεία των γεωτρήσεων παραγωγής.**

### 3.4 Γεωθερμικό πεδίο Νίσυρου

Η Νίσυρος είναι ένα από τα νησιά που βρίσκεται στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και από τη σημαντική ηφαιστειακή της δραστηριότητα και τους κρατήρες που υπάρχουν στο εσωτερικό της. Ο μεγαλύτερος και επιβλητικότερος κρατήρας του νησιού ονομάζεται «Στέφανος» και μονοπωλεί το ενδιαφέρον διότι είναι ένας από τους καλύτερα διατηρημένους υδροθερμικούς κρατήρες στον κόσμο.

Η τελευταία υδροθερμική έκρηξη που έχει καταγραφεί στη Νίσυρο έγινε το 1887 και είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ακόμη κρατήρα που ονομάστηκε «Μικρός Πολυβιώτης».

Οι άφθονες πηγές του νησιού είναι ακόμη μια απόδειξη της γεωθερμικής δραστηριότητας του. Σε πολλά σημεία κατά μήκος των ακτών αναβλύζει θερμό νερό θερμοκρασίας 30-60°C, το οποίο αποτελείται από θαλασσινό και βρόχινο νερό αναμειγμένο με γεωθερμικά ρευστά του ανώτερου θερμικού ορίζοντα. Οι πιο γνωστές θερμές πηγές είναι αυτές των Λουτρών, της Θερμιάνης και του Αυλακιού. Η Νίσυρος σύμφωνα με τις έρευνες του Ι.Γ.Μ.Ε. το 1970 είναι το δεύτερο Γ/Θ πεδίο υψηλής ενθαλπίας της χώρας. Στις έρευνες ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία με τις αντίστοιχες στη Μήλο, που είχαν λάβει χώρα λίγα χρόνια νωρίτερα. Εκτελέστηκαν, λοιπόν μεγάλου εύρους ερευνητικές εργασίες επιφανείας και διανοίχθηκαν 9 αβαθείς γεωτρήσεις με σκοπό τη μέτρηση της

γεωθερμικής βαθμίδας. Λίγο αργότερα, τη δεκαετία του 1980, η ΔΕΗ, βασιζόμενη στα αποτελέσματα των προηγούμενων ερευνών, προχώρησε σε διάνοιξη δύο βαθιών γεωτρήσεων έρευνας-παραγωγής βάθους μέχρι 1820m περίπου. Τα χαρακτηριστικά του βεβαιωμένου αυτού Γ/Θ πεδίου, όπως προέκυψαν από τις έρευνες είναι τα εξής:

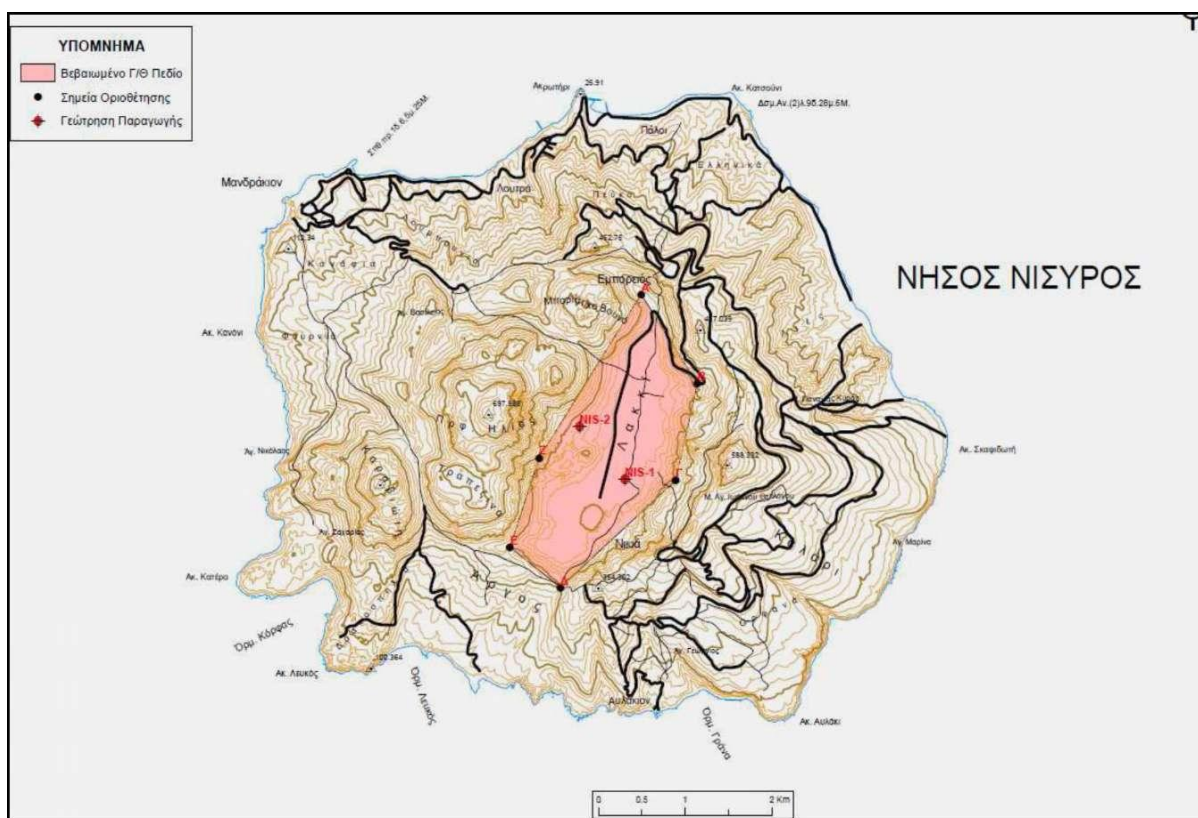
Έκταση :  $3,5\text{m}^2$

Θερμοκρασία :  $>350^\circ\text{C}$  (πυθμένα γεωτρήσεων)

Βάθος ταμιευτήρα : 1400-1900m

Παραγωγή : 75 tn/h (21 tn/h κεκορεσμένος ατμός και 54 tn/h θερμό νερό)

Πίεση : 12atm



**Σχήμα 3.4 : Χωροθέτηση του βεβαιωμένου Γ/Θ πεδίου υψηλής ενθαλπίας της Νισύρου και τα σημεία των γεωτρήσεων παραγωγής.**

### 3.5 Γεωθερμικό πεδίο λεκάνης Θεσσαλονίκης

Η λεκάνη της Θεσσαλονίκης καταλαμβάνει γεωγραφικά την χερσαία περιοχή της πεδιάδας Θεσσαλονίκης-Κατερίνης, δυτικά της πόλης της Θεσσαλονίκης και εκτείνεται προς βορρά ως την F.Y.R.O.M. , προς νότο επικοινωνεί με τον Θερμαϊκό κόλπο, δυτικά περιορίζεται από τα Πιέρια Όρη και το Βέρμιο και ανατολικά από τον Χορτιάτη. Πρόκειται για έναν τεράστιο ιζηματογενή

χώρο έκτασης 4200 km στην ξηρά και 4000 km σε θαλάσσιο περιβάλλον. Οι ποταμοί Αξιός, Αλιάκμονας, Λουδίας και Γαλλικός ρέουν μέσα σε αυτή τη λεκάνη.

Η ιδιαίτερη γεωτεκτονική κατάσταση (ρηξιγενής τεκτονική) που διαμορφώθηκε στον Βορειοελλαδικό χώρο μετά τις αλπικές ορογενετικές κινήσεις, η υπόθερμων νερών και η έντονη παρουσία Πλειοκαινικών λαβών δημιουργούν προϋποθέσεις ύπαρξης γεωθερμικού ενδιαφέροντος και τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την εγκαθίδρυση υδροθερμικών συστημάτων κυρίως χαμηλής ενθαλπίας.

Στην κεντρική Μακεδονία οι μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες, αποτέλεσμα κυρίως εφελκυστικής τεκτονικής, συνοδεύτηκαν από την αύξηση της ροής θερμότητας και επέτρεψαν τη συγκέντρωση θερμικής ενέργειας σε βαθείς γεωλογικούς σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν υψηλό πορώδες και φιλοξενούν γεωθερμικά ρευστά που μπορούν να αξιοποιηθούν για το υψηλό θερμοενεργειακό τους φορτίο. Στη λεκάνη Θεσσαλονίκης έχουν ανορυχθεί αρκετές γεωτρήσεις έρευνας υδρογονανθράκων από ξένες εταιρείες, ελληνικό δημόσιο και Δ.Ε.Π. όπως για παράδειγμα: Αλεξάνδρεια 1, Λουδίας, Κλειδί κ.τ.λ.

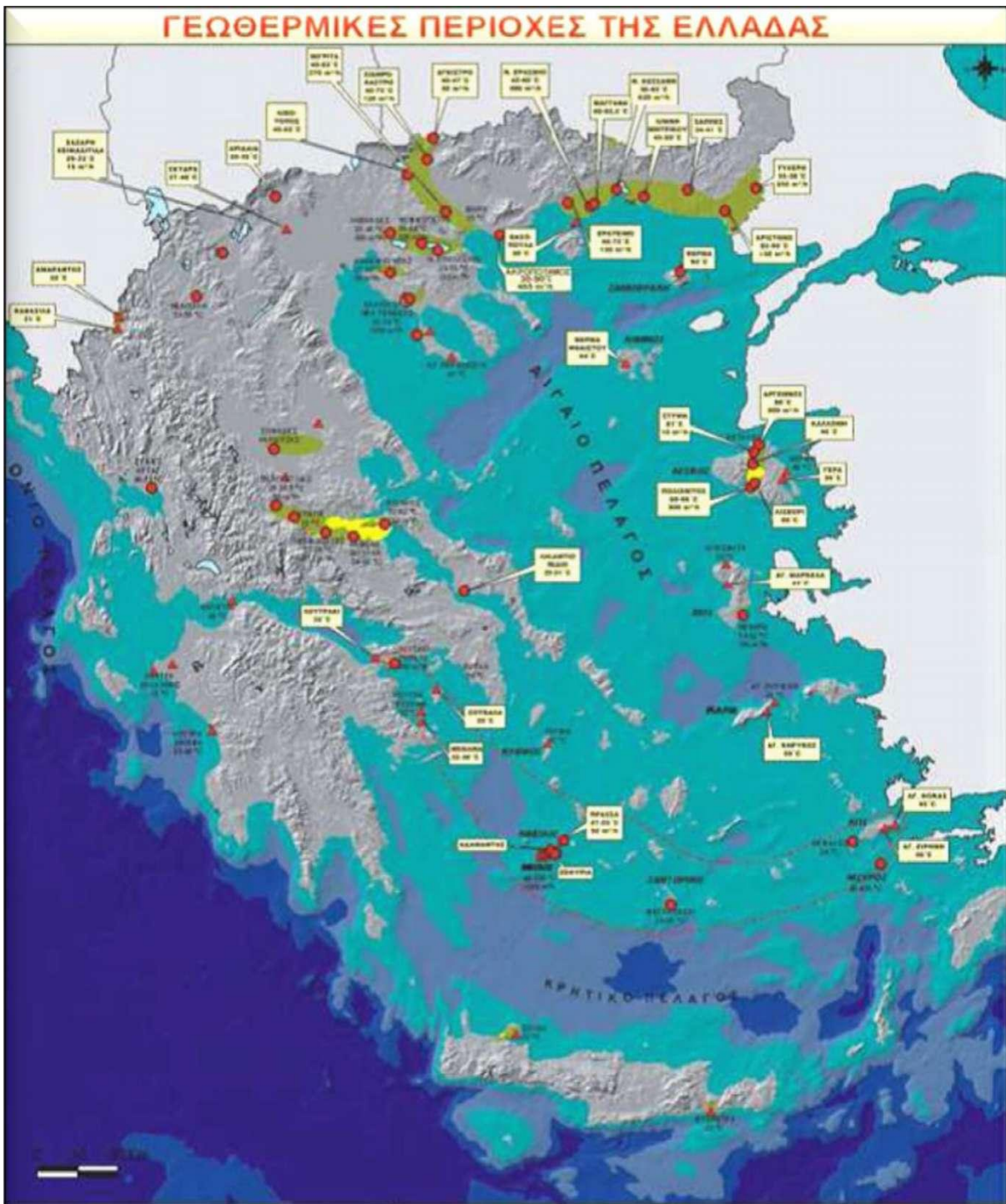
Οι λόγοι οι οποίοι οδήγησαν στην απόφαση της κατασκευής βαθιάς γεωθερμικής γεώτρησης έρευνας - παραγωγής ΒΒΔ της Αλεξάνδρειας είναι οι εξής:

α) Η μεγαλύτερη θερμική ανωμαλία στην περιοχή της λεκάνης διαπιστώθηκε στην περιοχή Αλεξάνδρειας Ημαθίας.

β) Σε όλη την ευρύτερη περιοχή οι θερμοκρασίες των νερών στις υδρογεωτρήσεις έχουν τιμές μεγαλύτερες των 17°. Οι θερμοκρασίες αυτές είναι κατάλληλες για την αξιοποίηση του θερμικού φορτίου μέσω αντλιών θερμότητας τόσο στον οικιακό όσο και στον αγροτικό τομέα.

γ) Η αναμενόμενη παρουσία Μειοκαινικών σχηματισμών είναι σημαντικού πάχους (~300m) και έχουν καλά υδραυλικά χαρακτηριστικά (πορώδες, περατότητα).





Σχήμα 3.5

Πίνακας 3.5 :  
Χαρακτηριστικά στοιχεία γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας

Περιοχή	Έκταση πεδίου (km <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία ταμειυτήρα (°C)	Βάθος ταμειυτήρα	Παροχή
Άγκιστρο Σερρών	1.5	40 - 46	100 - 300	60
Σιδηρόκαστρο Σερρών	4	40-75	30 - 500	200
Λιθότροπο Ηράκλειας	45	40-62	300 - 450	—
Θερμά Νιγρίτας Σερρών	10	40-64	70 - 500	1.000
Λαγκαδάς Θεσσαλονίκης	6	33-40	<210	300
Λεκάνη Ανθεμούντας Χαλκιδικής	13	25-40	>100	15
Ελαιοχώρια Χαλκιδικής	25	42	250	—
Σάνη - Άφυτος Κασσάνδρας	5	35-45	500	100
Αρίστεινο Αλεξανδρούπολης	20	30-90	150 - 450	200
Σάπες Ροδόπης	9	30-40	50 - 360	100
Λίμνη Μητρικού	7	30-40	350 - 500	—
Νέα Κεσσάνη Ξάνθης	25	40-63	1 GO - 500	>300
Ερατεινό Καβάλας	14	65-70	650	300
Ακραπόταμος Καβάλας	6,9	45-90	100-165/240-515	4 15
Σουσάκι Κορινθίας	3	60 - 76 / <75	50-200 / 600-900	600
Συκιές Άρτας	10	32-51	>320	100
Αργενός Λέσβου	i	90	< 150	300
Στύψη Λέσβου	20	90	150 - 200	—
Πολιχνίτος Λέσβου	10	65-95	50 - 200	300
Νένητα Χίου	5	76-62	300 - 500	60
Σαντορίνη	25	30-65	50 - 250	—
Μήλος	63	60-99	50 - 200	750
Σούδα Χανίων	—	32	—	—

Ιεράπετρα Λασιθίου	—	25	—	—
Κυλλήνη Ηλείας	—	35	—	—
Καϊάφας Ηλείας	—	35-40	—	—
Μέθανα Αττικής	—	32 - 30	—	—
Αντίρριο Αιτωλοακαρνανίας	—	33	—	—
Λουτράκι Κορινθίας	—	32	—	—
Θερμοπύλες Φθιώτιδας	—	37-39	—	1.000
Πλατύστομο Φθιώτιδας	—	25-35	—	10
Υπάτη Φθιώτιδας	—	32	—	—
Καμένα Βούρλα Φθιώτιδας	—	24-4S	—	—
Αιδηψός Ευβοίας	—	72-S5	—	240
Ληλάντιο Πεδίο Ευβοίας	—	29-31	—	—
Βούλα Αττικής	—	30	—	—
Κίμωλος	—	25-61	—	200
Αγ. Φωκάς	—	45	—	—
Αγ. Κήρυκος	—	50	—	—
Αμάραντος Ιωαννίνων	—	25	—	—
Ζάζαρη Χειμαδίτιδα Φλώρινας	—	29-33	—	15
Αλεξάνδρεια Ημαθίας	—	33	—	200
Σκύδρα Πέλλας	—	27-40	—	—
Αριδαία Πέλλας	—	24-40	—	200
Νυμφόπετρα Θεσσαλονίκης	—	39-40	—	200
Ίβηρα Σερρών	—	40	—	—
Αγ. Παρασκευή Χαλκιδικής	—	41	—	—
Τυχερό Θράκης	—	35	—	350
Καλλονή Λέσβου	—	45	—	—

Γέρας Λέσβου	—	38	—	—
Αρίσβη Λέσβου	—	65	—	—
Αγιάσματα Χίου	—	38	—	—

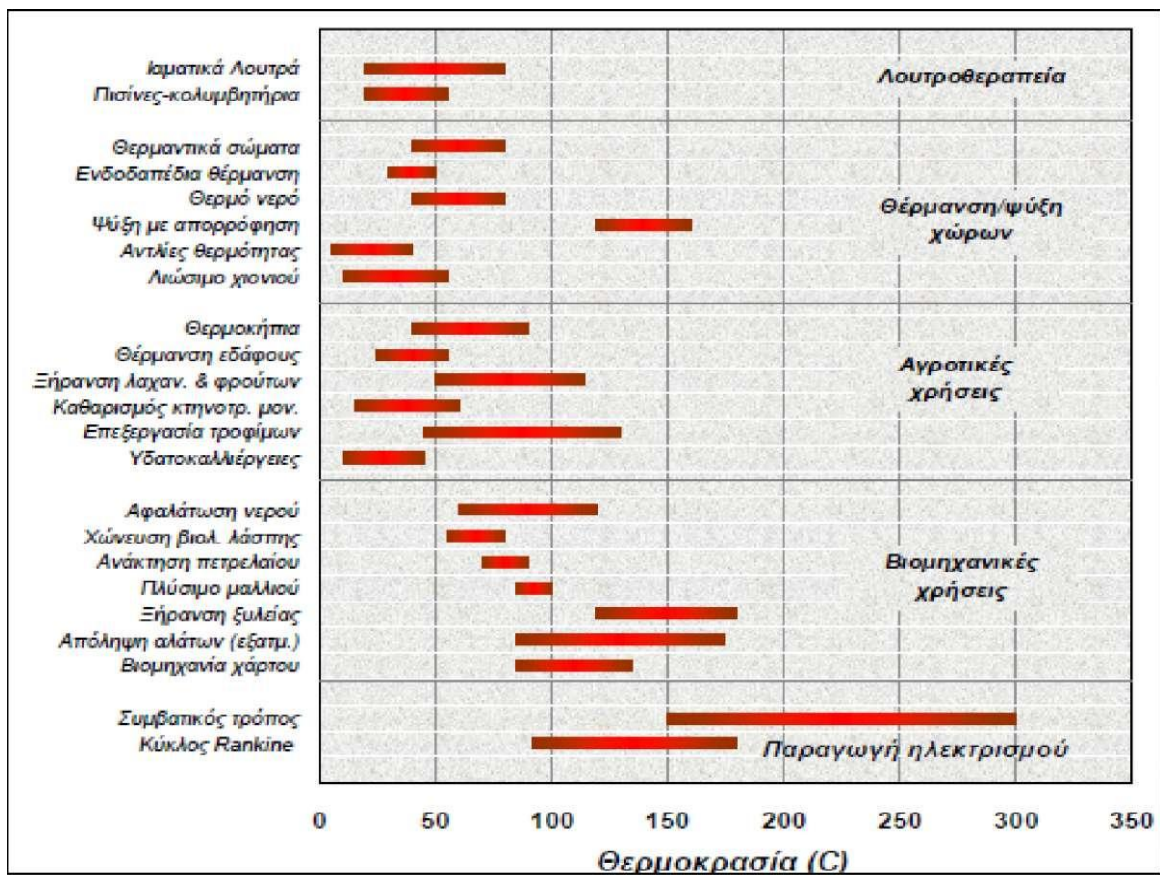
Να σημειωθεί πως τα γεωθερμικά πεδία που παρατίθενται στην πρώτη σελίδα του πίνακα 3.5, είναι τα σημαντικότερα πεδία χαμηλής ενθαλπίας της χώρας και αυτά που έχουν ερευνηθεί εκτενέστερα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

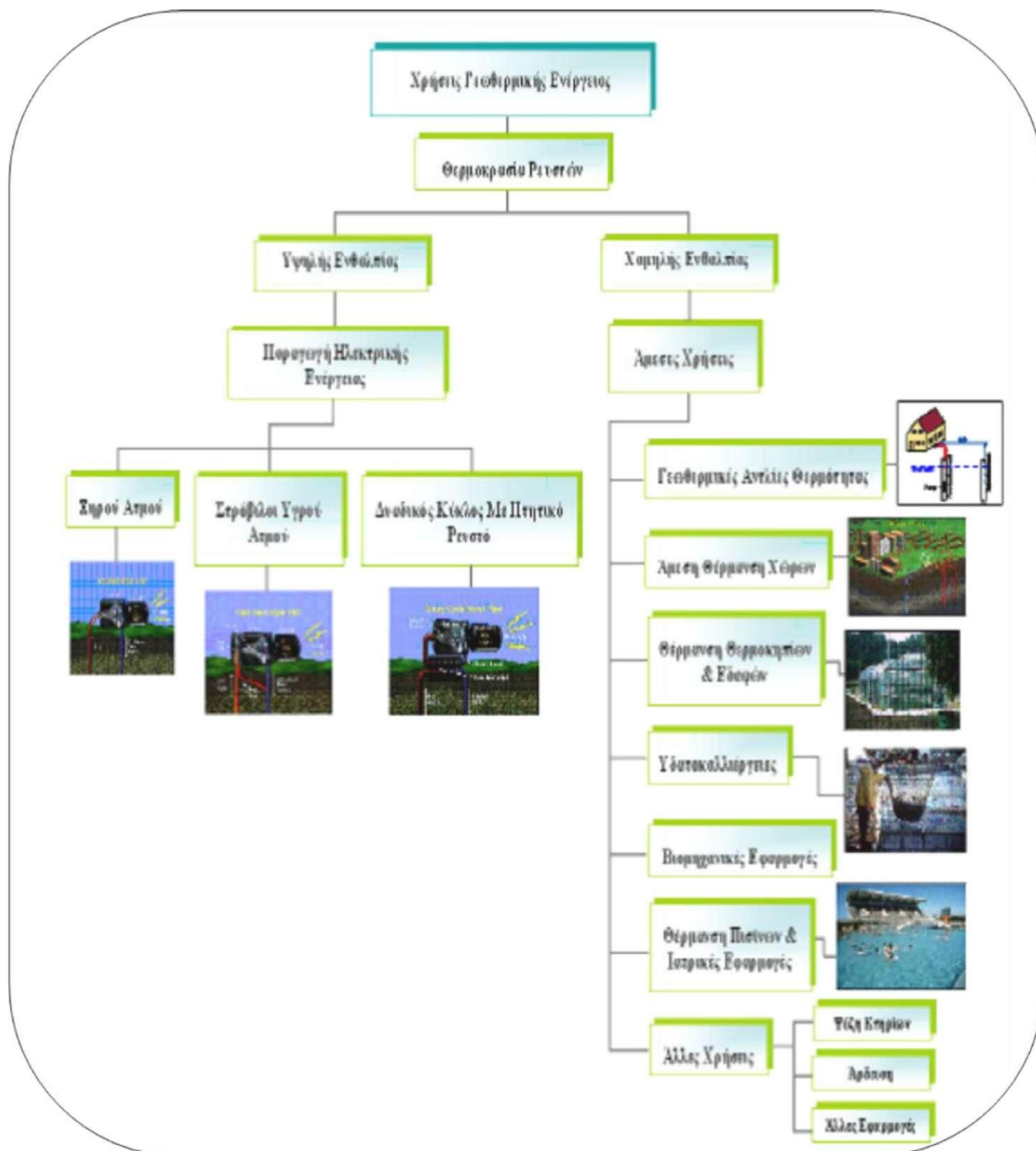
### 4.1 Εισαγωγή

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στις άμεσες και στις ηλεκτροπαραγωγικές. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει εφαρμογές στις οποίες ο άνθρωπος εκμεταλλεύεται τη θερμότητα του γεωθερμικού ρευστού άμεσα και χωρίς περίπλοκες διεργασίες και διατάξεις, αξιοποιώντας τη για διάφορες χρήσεις. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν τη γεωθερμία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, πράγμα το οποίο επιτυγχάνεται με διάφορων ειδών διατάξεις, οι οποίες θα αναλυθούν διεξοδικά παρακάτω. Ο τρόπος εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού. Έτσι λοιπόν, κάθε εφαρμογή αξιοποίησης της γεωθερμίας αντιστοιχεί με ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, για το οποίο η εφαρμογή αυτή καθίσταται τεχνικά εφικτή και οικονομικά συμφέρουσα. Οι δυνατότητες αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας λοιπόν, είναι σε άμεση συνάρτηση με το θερμικό περιεχόμενο (θερμοκρασία) των γεωθερμικών ρευστών, τα οποία ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες :

- Υψηλής Ενθαλπίας (θερμοκρασίες ρευστών  $> 90^{\circ}\text{C}$ )
- Χαμηλής Ενθαλπίας ( $25^{\circ}\text{C} <$  θερμοκρασίες ρευστών  $< 90^{\circ}\text{C}$ )



Η αντιστοιχία μεταξύ γεωθερμικών εφαρμογών και θερμοκρασιακού εύρους του γεωθερμικού ρευστού παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1 (α)



Σχήμα 4.1 (β) Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών

#### 4.2 Χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας

Αν και η γεωθερμική ενέργεια βρίσκεται παντού κάτω από την επιφάνεια της Γης, η χρήση της είναι δυνατή μόνο όταν ικανοποιούνται συγκεκριμένες συνθήκες:

- Η ενέργεια πρέπει να είναι προσπελάσιμη μέσω γεωτρήσεων, συνήθως σε βάθη μικρότερα των 3km αλλά ενδεχομένως και σε βάθη 6-7km, σε ιδιαίτερα ευνοϊκά περιβάλλοντα (όπως στη βόρεια λεκάνη του Κόλπου του Μεξικού).

- Εν αναμονή επίδειξης της τεχνολογίας και των οικονομικών για τη διάρρηξη και την παραγωγή ενέργειας από πετρώματα χαμηλής περατότητας, το πορώδες των ταμιευτήρων και η διαπερατότητα πρέπει να είναι αρκετά υψηλά ώστε να επιτρέπουν την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων θερμού νερού.
- Δεδομένου ότι σημαντικό μέρος του κόστους μιας γεωθερμικής εγκατάστασης αφορά τη γεώτρηση και καθώς το κόστος ανά μέτρο αυξάνεται με το βάθος, όσο πιο ρηχά βρίσκεται συσσωρευμένη η γεωθερμική ενέργεια τόσο το καλύτερο.
- Τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν να μεταφερθούν οικονομικά με σωληνώσεις στην επιφάνεια της Γης μόνο για μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, οπότε οποιαδήποτε εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής ή άμεσης χρήσης πρέπει να βρίσκεται στην γεωθερμική ανωμαλία ή κοντά σε αυτήν.

Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται συνήθως ανάλογα με τη θερμοκρασία της πηγής.

θερμοκρασία ταμιευτήρα	Ρευστό ταμιευτήρα	Συνήθης χρήση	Τεχνολογία που συνήθως επιλέγεται
Υψηλή θερμοκρασία [ $> 220^{\circ}\text{C}$ ]	Νερό ή ατμός	Ηλεκτροπαραγωγική χρήση	* Ακαριαίος ατμός • Συνδυασμένος κύκλος (ακαριαία ατμοποίηση & δυαδικός)
		Άμεση χρήση	• Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας
Ενδιάμεση θερμοκρασία ( $100\text{-}220^{\circ}\text{C}$ )	Νερό	Ηλεκτροπαραγωγική χρήση	* Δυαδικός κύκλος
		Άμεση χρήση	• Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας
Χαμηλή θερμοκρασία ( $50\text{-}150^{\circ}\text{C}$ )	Νερό	Άμεση χρήση	• Άμεση χρήση ρευστού • Εναλλάκτες θερμότητας • Αντλίες θερμότητας

Πίνακας 4.2

Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας

### 4.3 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας

Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού έχει διαδοθεί λόγω διαφόρων παραγόντων. Οι χώρες όπου επικρατούν οι γεωθερμικές πηγές επιθυμούν να αναπτύξουν τους ίδιους πόρους αντί του να εισάγουν καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρισμού. Σε χώρες όπου διατίθενται πολλές εναλλακτικές πηγές για παραγωγή ηλεκτρισμού, περιλαμβανομένης της γεωθερμίας, αυτή προτιμάται καθώς δεν μπορεί να μεταφερθεί προς πώληση, ενώ μέσω αυτής επιτρέπεται η χρήση των συμβατικών καυσίμων για ανώτερους και καλύτερους σκοπούς από την παραγωγή

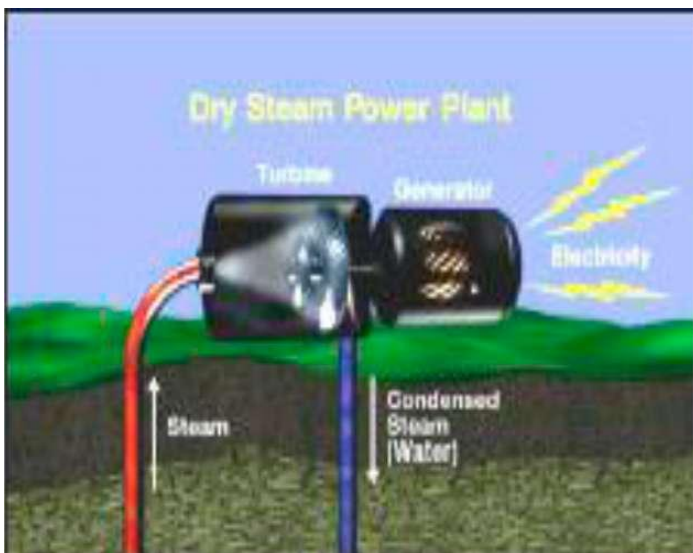


ηλεκτρισμού. Ο πλέον συνήθης (και τεχνικοοικονομικά συμφέρον) τρόπος αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας είναι η χρήση τους για την **παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**.

Η διεργασία που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή ποικίλλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής πηγής. Σχεδόν όλες οι πηγές που έχουν ήδη εξερευνηθεί είναι του υδροθερμικού τύπου (ζεστό νερό υπό πίεση), η εκμετάλλευση των οποίων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Εάν η θερμοκρασία της πηγής είναι κάτω από 204°C, το γεωθερμικό φρέαρ εξοπλίζεται με αντλία που δημιουργεί ικανή πίεση στη γεωθερμική άλμη ώστε να διατηρείται ως ζεστό νερό υπό πίεση. Για τις πηγές άνω των 204°C, η καταλληλότερη μέθοδος παραγωγής είναι η φυσική ροή από το φρέαρ, η οποία αποφέρει ένα ακαριαία ατμοποιούμενο μίγμα άλμης και ατμού. Ο τύπος μετατροπής της γεωθερμίας που χρησιμοποιείται, εξαρτάται από την κατάσταση του ρευστού (είτε είναι ατμός είτε νερό), τη θερμοκρασία του, την πίεση και την παροχή. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι τρεις.

#### 4.3.1 Ξηρού ατμού (Θερμοκρασία ρευστών >180°C)

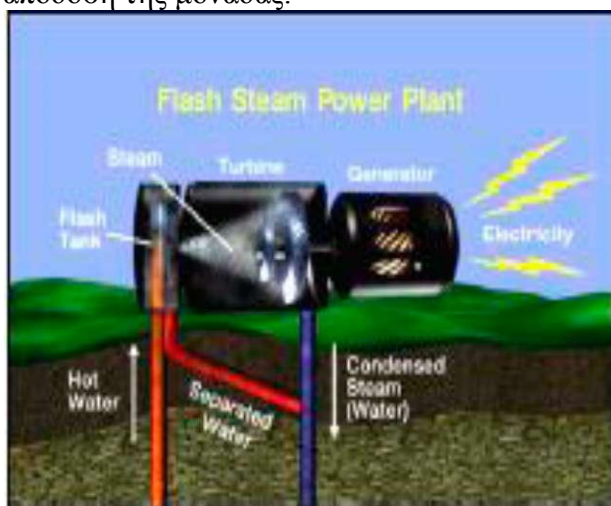
Ο ατμός οδηγείται σε στρόβιλο, ο οποίος θέτει σε λειτουργία γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Αυτός είναι ο παλαιότερος τύπος γεωθερμικών εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο Larderello στην Ιταλία το 1904 και συνεχίζει να είναι πολύ αποτελεσματικός. Η τεχνολογία ατμού χρησιμοποιείται σήμερα σε Θερμοπίδακες (Γκείζερ) στη βόρεια Καλιφόρνια, που εξακολουθεί να παραμένει το μεγαλύτερο γεωθερμικό πεδίο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο.



Σχήμα 4.3.1: Εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ξηρό ατμό.

### 4.3.2 Στρόβιλοι υγρού ατμού (Θερμοκρασία ρευστών >150°C)

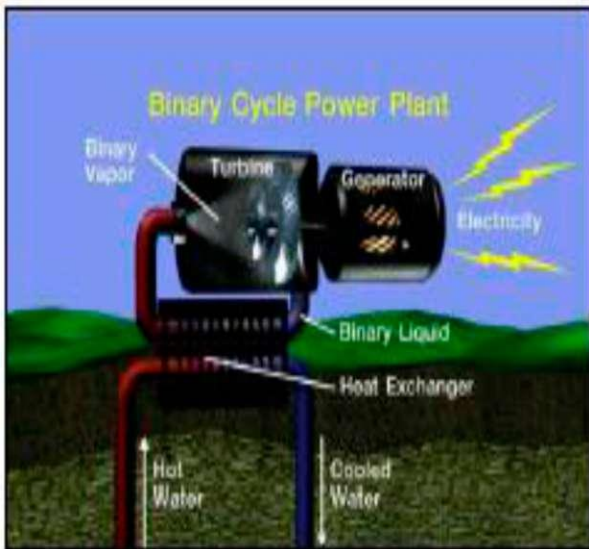
Το γεωθερμικό ρευστό είτε έρχεται ως διφασική ροή από τη γεώτρηση είτε εκτονώνεται σε πίεση χαμηλότερη από την πίεση που επικρατεί στην κεφαλή της γεώτρησης και μετατρέπεται σε διφασικό μίγμα. Το μίγμα αυτό διαχωρίζεται σε κατακόρυφο διαχωριστή και ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Εάν η θερμοκρασία και η πίεση του γεωθερμικού υγρού το επιτρέπουν, τότε το υγρό μπορεί να εκτονωθεί για δεύτερη φορά ή και περισσότερες φορές, ώστε να παραχθεί επιπλέον ατμός, που θα αυξήσει σοβαρά την απόδοση της μονάδας.



Σχήμα 4.3.2. Εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με στρόβιλο υγρού ατμού.

### 4.3.3 Δυναμικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό (Θερμοκρασία ρευστών >90°C)

Το γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση (και εξάτμιση) σε έναν εναλλάκτη του δευτερεύοντος ρευστού (νερό & αμμωνία, ισοβουτάνιο, ισοπεντάνιο, CO<sub>2</sub> κ.λπ.) το οποίο έχει μικρότερο σημείο ζέσεως σε σχέση με το νερό. Οι ατμοί του δευτερεύοντος ρευστού οδηγούνται αρχικά στο στρόβιλο και εν συνεχεία στο συμπυκνωτή. Τέλος το ρευστό από το συμπυκνωτή συμπιέζεται και επανεισάγεται πάλι στον εναλλάκτη μέσω της αντλίας ανακυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου. Μία τέτοια εγκατάσταση λειτουργεί στο Soda Lake, στη Νεβάδα.



**Σχήμα 4.3.3: Εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δυαδικού κύκλου με πτητικό μέσο.**

#### **4.4 Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλή ενθαλπίας**

Εξίσου σημαντική παγκοσμίως είναι και η άμεση χρήση της γεωθερμικής ενέργειας, συχνά σε θερμοκρασίες ταμειυτήρων μικρότερες των 100°C. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται άμεσα για θέρμανση κτιρίων (ανεξάρτητες κατοικίες, συγκροτήματα διαμερισμάτων, μέχρι ολόκληρες κοινότητες), ψύξη κτιρίων (με χρήση μονάδων απορρόφησης βρωμιούχου λιθίου), θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών για καλλιέργειες, και για την παροχή ζεστού ή χλιαρού νερού για οικιακή χρήση, επεξεργασία προϊόντων (π.χ. την παραγωγή χαρτιού), καλλιέργεια οστρακοειδών και ψαριών, θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών και θεραπευτικούς σκοπούς (ιαματικά λουτρά, spa), και για θερμικές διεργασίες (π.χ. ξήρανση προϊόντων).

##### **4.4.1 Άμεση θέρμανση χώρων**

Η άμεση θέρμανση χώρων είναι η παλαιότερη μορφή χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας και η πλέον διαδεδομένη στην Ευρώπη. Περιλαμβάνει επίσης την παραγωγή ζεστού νερού για οικιακές χρήσεις. Η τεχνολογία που υιοθετείται είναι απλή. Το γεωθερμικό ρευστό από μία ή δύο γεωτρήσεις αποδίδει θερμότητα στο σύστημα θέρμανσης του ενεργειακού χρήστη, είτε άμεσα, είτε μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Γι' αυτή την εφαρμογή απαιτούνται γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 45°C.

Όσον αφορά στη θέρμανση και την ψύξη των χώρων της κατοικίας, η οποία εφαρμόζεται εδώ και αρκετά χρόνια σε χώρες του δυτικού κόσμου, χρησιμοποιούνται κυρίως γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν εκμεταλλευόμενα τη σταθερή θερμοκρασία της γης με σκοπό να αντλούν ενέργεια και είτε να θερμαίνουν τους χώρους είτε να αποβάλλουν τη θερμότητα και να ψύχουν το κτίριο. Τα συστήματα που λειτουργούν χρησιμοποιώντας γεωθερμικές αντλίες θερμότητας περιλαμβάνουν τρία μέρη.

Το πρώτο αποτελείται από ένα δίκτυο σωληνώσεων μέσα στο οποίο κυκλοφορεί νερό κι αποκαλείται εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος, σε αυτό το δίκτυο οι σωλήνες απλώνονται σε χαντάκια όπου υπάρχει διαθέσιμη ελεύθερη έκταση οικοπέδου, επίσης μπορούν να τοποθετηθούν σε πολλές κάθετες γεωτρήσεις σε περίπτωση που ο διαθέσιμος χώρος είναι περιορισμένος ή η κατοικία βρίσκεται σε βραχώδη έκταση.

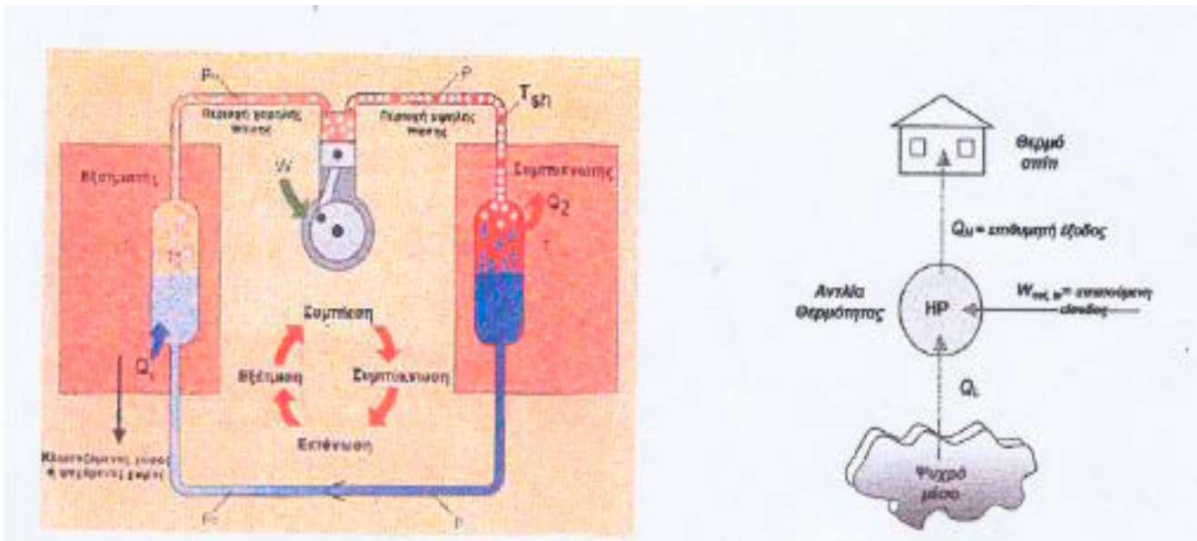
Επιπλέον αντί για το δίκτυο σωληνώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπόγεια ύδατα, μια μικρή λίμνη ή και η θάλασσα εφόσον υπάρχουν. Τότε ο γεωθερμικός εναλλάκτης καλείται εναλλάκτης ανοιχτού κυκλώματος.

Το δεύτερο μέρος, αποτελείται από την αντλία θερμότητας, στην αντλία θερμότητας, το νερό φτάνει από το δίκτυο του γεωθερμικού εναλλάκτη, σε σταθερή θερμοκρασία, και χρησιμοποιείται είτε για τη θέρμανση του χώρου είτε για την ψύξη του. Η λειτουργία αυτού του συστήματος είναι παρόμοια με αυτή των κλιματιστικών, η διαφορά είναι ότι τα κλιματιστικά χρησιμοποιούν τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα εξαερώνοντας ή υγροποιώντας το πτητικό αέριο που περιέχουν ενώ η γεωθερμική αντλία χρησιμοποιεί τη θερμοκρασία του νερού.

Το τρίτο τμήμα του συστήματος αποτελείται κι αυτό από δίκτυο σωληνώσεων που τρέχει μέσα στο δίκτυο στο οποίο αποδίδει ή από το οποίο παραλαμβάνει θερμότητα, κι αυτό μπορεί να είναι είτε ενδοδαπέδιο, είτε επίτοιχο είτε δίκτυο με θερμαντικά σώματα με ενσωματωμένο ανεμιστήρα τα λεγόμενα fan coils.

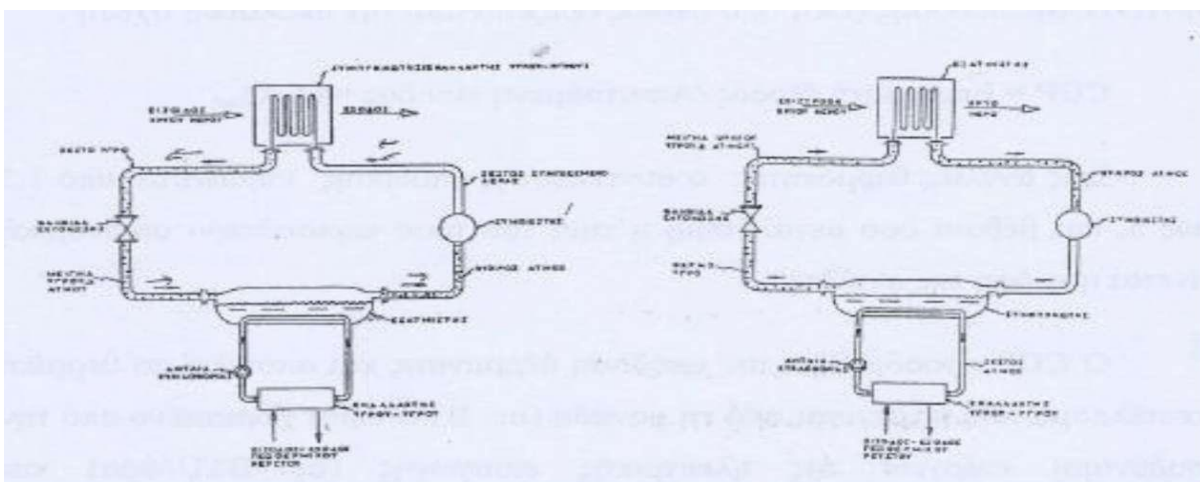
#### **4.4.2. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας**

Πρόκειται για συσκευές που έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν θερμότητα από ένα μέσο με χαμηλή θερμοκρασία σε ένα άλλο μέσο με υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό πραγματοποιείται με απορρόφηση θερμότητας από μια πηγή χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας (όπως είναι το υπόγειο ή επιφανειακό νερό, ο εξωτερικός αέρας και το υπέδαφος) προμηθεύοντας τη θερμότητα αυτή σε ένα θερμότερο μέσο, όπως είναι για παράδειγμα ένα σπίτι. Τα βασικά εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας είναι τα ίδια με τα κοινά κλιματιστικά και περιλαμβάνουν τον συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τον εξαμιστήρα, τη βαλβίδα εκτόνωσης και βέβαια μια πηγή ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις η αντλία θερμότητας είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να αντιστρέφει την ψυκτική και θερμαντική λειτουργία, επιτρέποντας τη χρήση της ίδιας συσκευής για ψύξη και θέρμανση. Στο Σχήμα 4.4.2 φαίνεται η αρχή λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας.



Σχήμα 4.4.2

Η αντλία θερμότητας είναι μια ψυκτική μονάδα. Κάθε ψυκτικός μηχανισμός (ψυγείο, καταψύκτης) μεταφέρει θερμότητα από ένα χώρο και αποβάλλει αυτή την θερμότητα σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η μόνη διαφορά μεταξύ της αντλίας θερμότητας και της ψυκτικής μονάδας είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα, το οποίο για την ψυκτική μονάδα, είναι η ψύξη και για την αντλία θερμότητας είναι η θέρμανση. Επιπλέον οι αντλίες θερμότητας μπορούν να παρέχουν θέρμανση ή ψύξη στο χώρο, όπως φαίνεται στα Σχήματα 4.3.1 και 4.3.2 αντίστοιχα



Σχήμα 4.3.1

Σχήμα 4.3.2

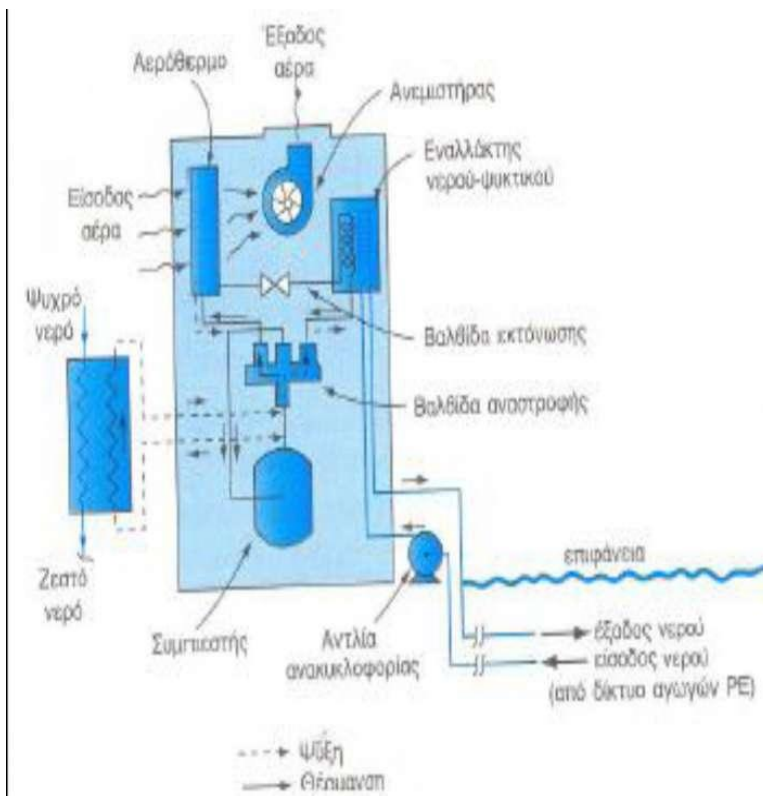
Στην ορολογία των αντλιών θερμότητας, η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας στην οποία απορροφάται η θερμότητα (θερμοκρασία πηγής) και της θερμοκρασίας στην οποία η θερμότητα αποδίδεται (θερμοκρασία χώρου απόθεσης) αναφέρεται ως "ανύψωση". Όσο μεγαλύτερη είναι η

ανύψωση, τόσο μεγαλύτερη είναι η εισαγόμενη ενέργεια που απαιτείται από την αντλία θερμότητας. Αυτό είναι σημαντικό, επειδή αποτελεί πλεονέκτημα όσον αφορά στην απόδοση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα. Τα συστήματα με χρήση υπόγειων εναλλακτών που χρησιμοποιούνται στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή ταξινομούνται σε 2 κύριες κατηγορίες:

- σωλήνες κλειστού κυκλώματος
- σωλήνες ανοικτού κυκλώματος

#### **4.4.2.1 Συστήματα με σωλήνες κλειστού κυκλώματος**

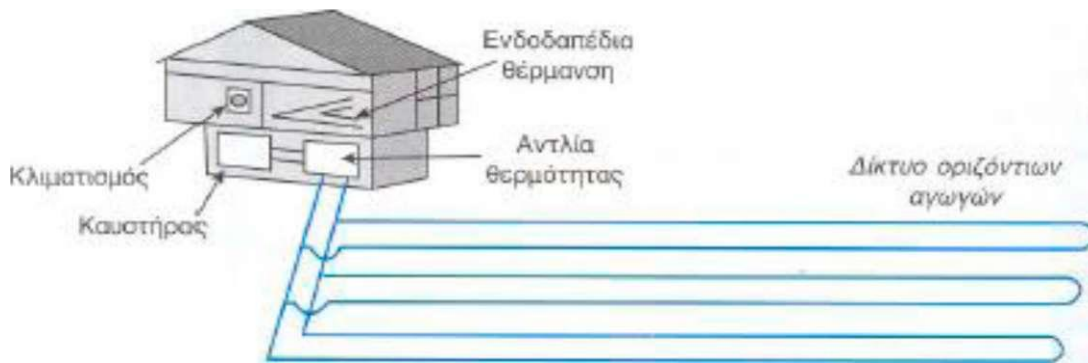
Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ένα υπόγειο δίκτυο στεγανοποιημένων, πλαστικών σωλήνων υψηλής αντοχής, που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας. Στο κύκλωμα κυκλοφορεί ένα ρευστό υλικό μεταφοράς θερμότητας, τυπικά νερό ή ένα υδρο-αντιψυκτικό διάλυμα, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν και άλλα ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Όταν οι απαιτήσεις για ψύξη προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού μέσα στο κλειστό κύκλωμα, τότε μεταφέρεται θερμότητα στο ψυχρότερο έδαφος. Αντιστρόφως, όταν οι απαιτήσεις για θέρμανση προκαλούν την πτώση της θερμοκρασίας του ρευστού στο κλειστό κύκλωμα, τότε θερμότητα απορροφάται από το θερμότερο έδαφος. Υπάρχουν αρκετές ποικιλίες διατάξεων κλειστού κυκλώματος, όπως είναι το οριζόντιο, το σπειροειδές, το κάθετο και το καταβυθισμένο.



**Σχήμα 4.4.2.1 Γ.Α.Θ. κλειστού κυκλώματος**

#### 4.4.2.2 Οριζόντιο κύκλωμα

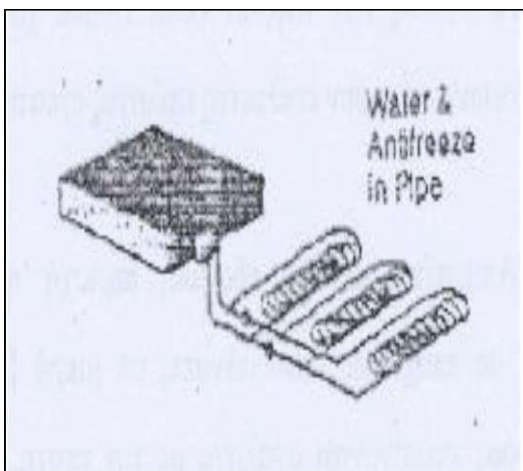
Τα οριζόντια κυκλώματα, που απεικονίζονται στο Σχήμα 3.5, χρησιμοποιούνται συχνά όταν υπάρχει διαθέσιμη επαρκής επιφάνεια του εδάφους. Οι σωλήνες τοποθετούνται σε τάφρους, τυπικά σε ένα βάθος 1,2 έως 3 m. Ανάλογα με το συγκεκριμένο σχεδιασμό, μπορούν να τοποθετηθούν από 1 μέχρι 6 σωλήνες σε κάθε τάφρο. Παρόλο που απαιτούν περισσότερο μήκος σωλήνων, οι διατάξεις πολλαπλών σωλήνων διατηρούν την επιφάνεια του εδάφους, απαιτούν λιγότερες τάφρους και επομένως έχουν μικρότερο κόστος εγκατάστασης από τις διατάξεις μονού σωλήνα. Τα μήκη των τάφρων ποικίλλουν από 30-120 m ανά σύστημα τόνου ψύξης, εξαρτώνται από τις συνθήκες του εδάφους και τον αριθμό των σωλήνων μέσα στην τάφρο. Αυτά τα συστήματα είναι συνηθισμένα σε οικιακές εφαρμογές, αλλά δεν εφαρμόζονται συχνά σε μεγάλης χωρητικότητας εμπορικές εφαρμογές, αφού απαιτείται μεγάλη επιφάνεια εδάφους για κατάλληλη μεταφορά θερμότητας. Τα οριζόντια συστήματα εφαρμόζονται συνήθως σε μεγάλες επιφάνειες εδάφους με υψηλή στάθμη νερού. Στους σωλήνες κυκλοφορεί νερό και αντιπηκτικό.



**Σχήμα 4.4.2.2 : Οριζόντιο κύκλωμα**

#### 4.4.2.3 Σπειροειδές κύκλωμα

Μια παραλλαγή της διάταξης οριζόντιου κυκλώματος με πολλαπλούς σωλήνες είναι το σπειροειδές κύκλωμα. Το κύκλωμα αυτό, που απεικονίζεται στο Σχήμα 4.4.2.3, αποτελείται από σωλήνες που στριφογυρίζουν σε ένα κυκλικό κύκλωμα μέσα σε τάφρους. Μια άλλη παραλλαγή του συστήματος με σπειροειδές κύκλωμα περιλαμβάνει την τοποθέτηση του κυκλώματος όρθιο σε στενές κάθετες τάφρους. Η διάταξη του σπειροειδούς κυκλώματος απαιτεί γενικά περισσότερους σωλήνες, τυπικά 150-300m ανά σύστημα τόνου ψύξης, αλλά λιγότερες συνολικά τάφρους από τα συστήματα οριζόντιου κυκλώματος με πολλαπλούς σωλήνες. Για το σχεδιασμό των οριζόντιων σπειροειδών κυκλωμάτων, οι τάφροι έχουν πλάτος γενικά 0,9 έως 1,8m, πολλαπλές τάφροι απέχουν τυπικά περίπου 3,7m. Για το σχεδιασμό των κάθετων σπειροειδών κυκλωμάτων, οι τάφροι έχουν πλάτος γενικά 15,2cm.



**Σχήμα 4.4.2.3: Σπειροειδές κύκλωμα**

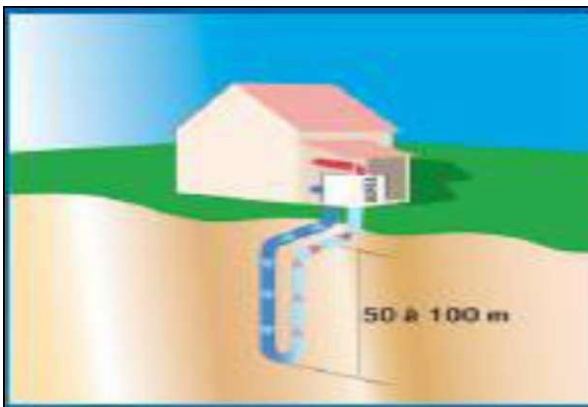
#### 4.4.2.4 Κάθετο κύκλωμα

Τα κάθετα κυκλώματα απεικονίζονται στο Σχήμα 4.4.2.4 και χρησιμοποιούνται γενικά όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι περιορισμένη. Διανοίγονται γεωτρήσεις σε τυπικά βάρη από 22,9 έως



91,4m βάθος. Οι σωλήνες κλειστού κυκλώματος εισάγονται μέσα στην κάθετη γεώτρηση και ποικίλλουν από 60-180m ανά σύστημα ψύξης τόνου, εξαρτώμενες από το έδαφος και τις συνθήκες θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται πολλαπλές γεωτρήσεις, που απέχουν 3 έως 4,9m και οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι είτε σε σειρά ή σε παράλληλη διάταξη, ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις για τη συνολική μεταφορά θερμότητας. Τα κάθετα συστήματα εφαρμόζονται εκεί που είναι περιορισμένη η εδαφική περιοχή, εκεί που το νερό βρίσκεται σε μεγάλο βάθος κι εκεί που το έδαφος είναι βραχώδες ή υπάρχει υπόβαθρο. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι για τους εναλλάκτες θερμότητας του κάθετου συστήματος:

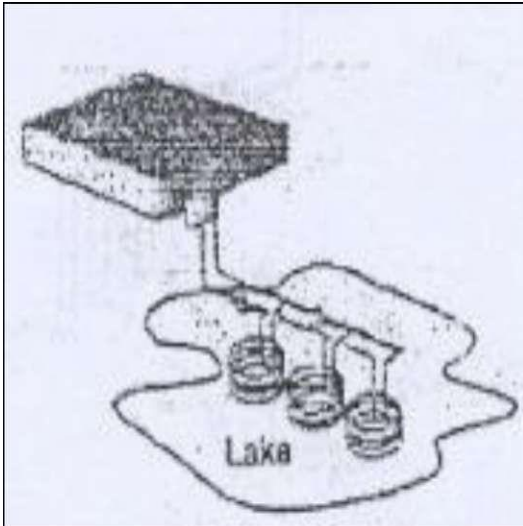
- Σωλήνας σε σχήμα U
- διαχωρισμένοι σωλήνες
- ομόκεντροι σωλήνες



**Σχήμα 4.4.2.4 : Κάθετο κύκλωμα**

#### **4.4.2.5 Καταβυθιζόμενο κύκλωμα**

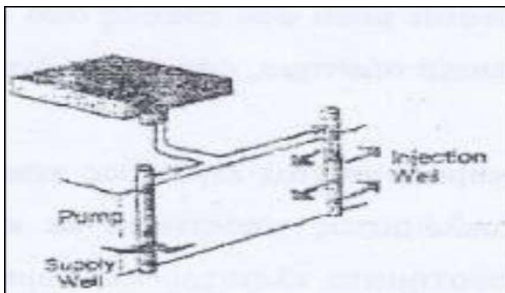
Αν ένας μετρίου μεγέθους νερόλακκος ή λίμνη είναι διαθέσιμα, τότε το κλειστό κύκλωμα μπορεί να καταβυθιστεί όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4.4.2.5. Οι εφαρμογές των καταβυθισμένων κυκλωμάτων απαιτούν κάποιες ειδικές συνθήκες και αυτό πρέπει να συζητηθεί άμεσα με έναν μηχανικό εξειδικευμένο σε τέτοιες εφαρμογές. Αυτός ο τύπος συστήματος απαιτεί επαρκή επιφάνεια εδάφους και βάθος, ώστε να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης. Τυπικές εγκαταστάσεις απαιτούν σωλήνες 90m ανά σύστημα τόνου ψύξης



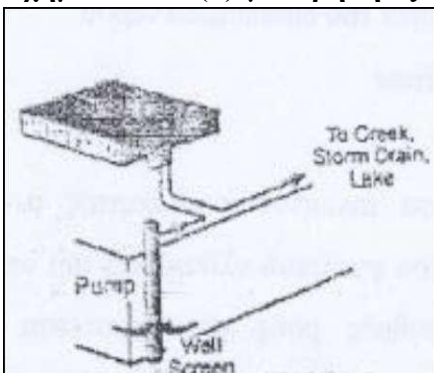
**Σχήμα 4.4.2.5 Καταβυθιζόμενο κύκλωμα**

#### 4.4.2.6 Συστήματα με σωλήνες ανοικτού κυκλώματος

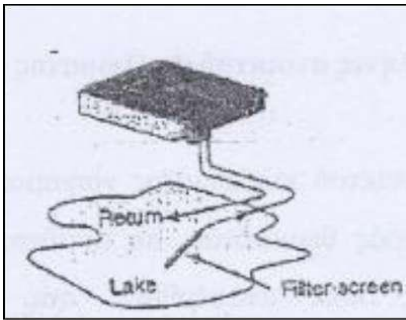
Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος χρησιμοποιούν υπεδafικό νερό ως άμεσο μέσο μεταφοράς θερμότητας σε αντίθεση με το ρευστό υλικό μεταφοράς θερμότητας, στα συστήματα κλειστού κυκλώματος. Αυτά τα συστήματα αναφέρονται μερικές φορές ως "αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή" για να διαχωριστούν από τις "αντλίες θερμότητας από εδάφια πηγή". Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος αποτελούνται πρωταρχικά από γεωτρήσεις εξαγωγής, γεωτρήσεις επανέγχυσης ή συστήματα επιφανειακού νερού. Αυτοί οι τρεις τύποι απεικονίζονται στα σχήματα 4.4.2.6 (α), (β) και (γ) αντιστοίχως.



**Σχήμα 4.4.2.6 (α) γεώτρηση εξαγωγής**



**Σχήμα 4.4.2.6 (β) γεώτρηση επανέγχυσης**



**Σχήμα 4.4.2.6.(γ) σύστημα επιφανειακού νερού**

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

- η ποσότητα νερού
- η καταλληλότητα του διαθέσιμου νερού
- η εκροή ρευμάτων

Στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος ο πρωταρχικός εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού υλικού και του υπεδαφικού νερού μπορεί να υπόκειται σε διάβρωση. Ο ρυθμός ροής που απαιτείται μέσω του πρωταρχικού εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού υλικού και του υπεδαφικού νερού κυμαίνεται από 0.4 έως 0.8m<sup>3</sup>/h ανά σύστημα τόνου ψύξης. Το υπόγειο νερό πρέπει είτε να επανεγχύεται μέσα στο έδαφος από ξεχωριστές γεωτρήσεις ή να εκρέει σε ένα επιφανειακό σύστημα, όπως είναι ένα ποτάμι ή μια λίμνη.

### **4.4.3. Τηλεθέρμανση**

Η περιφερειακή θέρμανση οικισμών και πόλεων βρίσκει εφαρμογή σε πολλές χώρες. Με την εφαρμογή τηλεθέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια δύνανται να δημιουργηθούν ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες εκμετάλλευσης διότι η παραγωγή θερμικής ενέργειας εξασφαλίζεται από εγκαταστάσεις χαμηλού κόστους κατασκευής, συντηρήσεως και, κυρίως, λειτουργίας.

Οι θερμικές απαιτήσεις εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες, ενώ οι θερμοκρασίες σχεδιασμού από τη χρήση (κατοικίες 18-20°C, γραφεία 17-18°C κ.λπ.). Για να γίνει συνδυασμός τηλεθέρμανσης και κάλυψης αναγκών σε ζεστό νερό πρέπει η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού να είναι τουλάχιστον 65°C. Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα μια εκμετάλλευση τηλεθέρμανσης με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί στο 50-60% του κόστους πετρελαίου.

Τα γεωθερμικά συστήματα τηλεθέρμανσης είναι έντασης κεφαλαίου, δηλαδή απαιτούν μεγάλα αρχικά κεφάλαια. Το κύριο κόστος αφορά την αρχική επένδυση για την κατασκευή των γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής, την αγορά των συστημάτων άντλησης και μεταφοράς των ρευστών, την κατασκευή των δικτύων και των σωληνώσεων, την προμήθεια του εξοπλισμού ελέγχου και παρακολούθησης των εγκαταστάσεων, την κατασκευή των σταθμών διανομής και των δεξαμενών αποθήκευσης. Παρόλα αυτά, τα λειτουργικά έξοδα, τα οποία αφορούν στην ενέργεια που καταναλώνεται για την άντληση των ρευστών, τη συντήρηση του συστήματος και η διαχείριση

της εγκατάστασης, είναι σημαντικά μικρότερα σε σύγκριση με αυτά μιας συμβατικής μονάδας. Ένας κρίσιμος παράγοντας για τον υπολογισμό του αρχικού κόστους του συστήματος είναι η πυκνότητα του θερμικού φορτίου ή, αλλιώς, οι απαιτήσεις σε θέρμανση δια την επιφάνεια που καλύπτει η περιοχή που πρόκειται να θερμανθεί.

Η υψηλή θερμική πυκνότητα καθορίζει την οικονομική βιωσιμότητα του έργου τηλεθέρμανσης, αφού το δίκτυο διανομής απορροφά μεγάλα κεφάλαια. Οικονομικά οφέλη θα μπορούσαν να προκύψουν από το συνδυασμό θέρμανσης και ψύξης σε μέρη όπου οι κλιματικές συνθήκες επιτρέπουν τέτοιες εφαρμογές. Ο συντελεστής φορτίου σε ένα τέτοιο σύστημα ψύξης-θέρμανσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που αντιστοιχεί μόνο στη θέρμανση, και η τιμή της ενεργειακής μονάδας πρέπει είναι κατά συνέπεια χαμηλότερη.



**Εικόνα 4.4.3: Οικισμός στην Ιταλία που Θερμαίνεται με τηλεθέρμανση**

#### **4.4.4 Θέρμανση θερμοκηπίων**

Τα θερμαινόμενα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται για την αύξηση της παραγωγής και την προώθηση καλλιεργειών. Η εκτός εποχής καλλιέργεια κηπουρικών, οπωρικών και ανθοκομικών προϊόντων ή η ανάπτυξη τους σε περιοχές με μη ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες, μπορεί σήμερα να βασιστεί σε μια ευρέως εφαρμοσμένη τεχνολογία. Οι χρήσεις και το μέγεθος των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων εξαρτώνται από τη διαθέσιμη γεωθερμική ενέργεια, από τις κλιματολογικές συνθήκες, από τα υλικά κατασκευής των θερμοκηπίων και από το είδος της καλλιέργειας. Οι απαιτούμενες ποσότητες ενέργειας όμως, είναι μεγάλες, με αποτέλεσμα η γεωθερμία να αποτελεί την ιδανική μορφή ενέργειας για αγροτικές εφαρμογές, λόγω του μικρού κόστους της. Τα θερμοκήπια απαιτούν την παρουσία γεωθερμικών ρευστών σε θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 30°C. Μια πάρα πολύ κοινή περίπτωση, για τα δεδομένα του ελλαδικού χώρου είναι η θέρμανση γυάλινων θερμοκηπίων με ντομάτα και με θερμαντικό μέσο γεωθερμικά ρευστά 40-55°C. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται περί τις 150.000 kcal/h το στρέμμα για μία περίοδο θέρμανσης, κατά

μέσο όρο, 1.250 ωρών (Load Factor 14%) διατηρώντας μία εσωτερική θερμοκρασία αέρα τουλάχιστον 14°C. Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται στην περίπτωση αυτή είναι της τάξεως των 24 τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου το στρέμμα ή περί τα 7000€/έτος το στρέμμα. Ο χώρος ενός θερμοκηπίου μπορεί να θερμανθεί με πέντε τρόπους:

- με εναέριους, επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες τοποθετημένους μέσα στο χώμα (σε βάθος 5-20cm)
- με εναλλάκτη αέρα - γεωθερμικού νερού ή νερού λειτουργίας (αερόθερμο)
- με τοποθέτηση θερμοαντικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου
- με ψεκάσμο της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής (κυρίως για αντιπαγετική προστασία)
- με συνδυασμό των προηγούμενων τρόπων



**Γ/Θ θερμοκήπιο  
στο Σιδηρόκαστρο Ν. Σερρών**



**Γ/Θ θερμοκήπιο κηπευτικών στα  
Ελαιοχώρια Ν. Χαλκιδικής**

#### **4.4.5 Γεωργία - Κτηνοτροφία**

Οι αγροτικές εφαρμογές της γεωθερμίας συνίστανται κυρίως στις ανοικτές καλλιέργειες. Το θερμό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις ανοικτές καλλιέργειες για την άρδυσή τους και/ή τη θέρμανση του εδάφους. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της άρδευσης με χλιαρό νερό εντοπίζεται στο γεγονός ότι, για να επιτευχθεί κάποια αξιόλογη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους θα πρέπει οι μεγάλες ποσότητες νερού να έχουν θερμοκρασία τόσο χαμηλή ώστε να μην προκαλούν ζημιές στις αρδευόμενες καλλιέργειες. Η βέλτιστη λύση φαίνεται ότι είναι ο συνδυασμός θέρμανσης εδάφους και άρδευσης.

Η χημική σύσταση των γεωθερμικών νερών που χρησιμοποιούνται για άρδευση θα πρέπει να εξετάζεται και να παρακολουθείται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται τυχόν βλαβερές συνέπειες στα φυτά.

Σε πολλές περιπτώσεις τα γεωθερμικά νερά θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ακόμη επικερδέστερα, μέσα από τη συνδυασμένη χρήση τους σε κτηνοτροφικές μονάδες και γεωθερμικά θερμοκήπια. Η ενέργεια που χρειάζεται για την θέρμανση μιας μονάδας εκτροφής ζώων είναι περίπου το 50% αυτής που απαιτείται για ένα θερμοκήπιο ίδιας επιφάνειας, οπότε η κλιμακωτή χρήση των

γεωθερμικών ρευστών θεωρείται ενδεδειγμένη. Η εκτροφή ζώων σε ένα περιβάλλον ελεγχόμενης θερμοκρασίας συνεισφέρει στη βελτίωση της υγείας τους, ενώ η χρήση των θερμών ρευστών θα μπορούσε να επεκταθεί στον καθαρισμό και την εξυγίανση των χώρων τους, αλλά και στην ξήρανση των αποβλήτων τους.

#### 4.4.6 Υδατοκαλλιέργειες - Ιχθυοκαλλιέργειες

Οι υδατοκαλλιέργειες, οι οποίες στην ουσία αποτελούν την ελεγχόμενη εκτροφή υδρόβιων οργανισμών, αποκτούν σήμερα ολοένα και μεγαλύτερη σπουδαιότητα σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω της αυξημένης ζήτησής τους στην αγορά. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας εκτροφής των ειδών αυτών είναι πολύ πιο σημαντικός σε σχέση με τα είδη που αναπτύσσονται στην ξηρά.

Η γεωθερμία μπορεί να προσφέρει με οικονομικό τρόπο στη θέρμανση του νερού σε υδατοκαλλιέργειες ψαριών (χέλια, λαβράκια, τσιπούρες, πέστροφες, σολομούς, γατόψαρα κ.α.), θαλάσσιων μαλακόστρακων (π.χ. γαρίδας) και ερπετών με εμπορική αξία (π.χ. αλιγάτορες). Η θέρμανση πραγματοποιείται είτε άμεσα, με την απευθείας εισαγωγή του γεωθερμικού νερού στις δεξαμενές ή λιμνούλες ανάπτυξης, είτε έμμεσα, ύστερα από τη θέρμανση γλυκού ή θαλασσινού νερού.

Για την άμεση χρήση του γεωθερμικού νερού απαιτείται να μην υπάρχουν τοξικά συστατικά στο νερό (π.χ. βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, αρσενικό κλπ.). Οι υδατοκαλλιέργειες απαιτούν την παρουσία γεωθερμικού ρευστού σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 20°C. Το μέγεθος των εγκαταστάσεων εξαρτάται από την αρχική θερμοκρασία των ρευστών, τη θερμοκρασία που απαιτείται στις δεξαμενές εκτροφής και από τις θερμικές απώλειες των τελευταίων. Η απαραίτητη θερμοκρασία στο νερό της δεξαμενής της ιχθυοκαλλιέργειας κυμαίνεται από 14 έως 30°C ανάλογα με το είδος της. Στην Ελλάδα μονάδες ιχθυοκαλλιέργειας βρίσκονται στο Πόρτο Λάγος και στο Ν. Εράσμιο - Μάγανα Ξάνθης.



#### **4.4.7 Βιομηχανικές εφαρμογές**

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να είναι οικονομικώς αποδοτική και αξιόπιστη στις βιομηχανικές εφαρμογές. Συγκεκριμένα παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών είναι η λεύκανση λαχανικών, η προπαρασκευή κονσερβοποιημένων τροφών, η εμφιάλωση νερού και ανθρακούχων ποτών, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων, η παραγωγή χαρτιού, τμημάτων αυτοκινήτων, η ανάκτηση λαδιού, η παστερίωση γάλακτος, η χρήση στη βυρσοδεψία, η χημική ανάκτηση προϊόντων, η παραγωγή με διαχωρισμό του CO<sub>2</sub>, η χρήση σε πλυντήρια, η ξήρανση γης διατόμων, η επεξεργασία πολτού και χαρτιού και η παραγωγή βορικών αλάτων και βορικού οξέος.

Υπάρχουν επίσης εφαρμογές για χρήση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας για λιώσιμο πάγου και αντιπαγετική προστασία πεζοδρομίων, δρόμων και πλατειών, ως και σχέδια για τη διάλυση της ομίχλης σε κάποια αεροδρόμια. Στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ρευστών σε διαδικασίες προθέρμανσης ή η ανύψωση της θερμοκρασίας τους με τη χρήση αντλιών θερμότητας ή με συμπληρωματική θέρμανση (με συμβατικά καύσιμα). Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση των γεωθερμικών ρευστών από υφιστάμενη βιομηχανική μονάδα είναι η γειννίαση της τελευταίας με το γεωθερμικό πεδίο. Η Ελλάδα βρίσκεται στη 10<sup>η</sup> θέση των κρατών της Ευρώπης (Σχήμα 2.10), με εγκατεστημένη ισχύ μόλις 0,2 MWth. Πρόκειται για μία μονάδα αφυδάτωσης ντομάτας στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης, η οποία μάλιστα ήταν η πρώτη τέτοια μονάδα στον κόσμο.



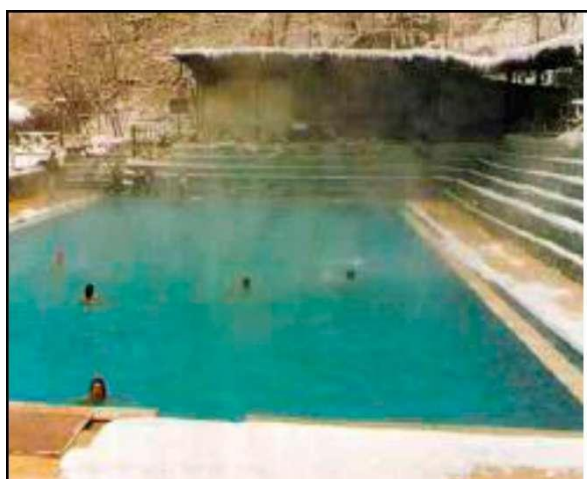
**Πιλοτική μονάδα προξήρανσης  
βαμβακιού στο Ν. Ξάνθης**

**Γ/Θ Ξηραντήριο τομάτας τύπου  
σήραγγας στο Εράσμιο Ν. Ξάνθης**

#### **4.4.8 Θέρμανση πισίνων - Ιατρικές εφαρμογές**

Μία από τις πλέον δημοφιλείς χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο είναι η θέρμανση πισινών και οι ιατρικές εφαρμογές. Σήμερα, υπάρχει μία πληθώρα από λουτροπόλεις που χρησιμοποιούν το γεωθερμικό νερό είτε για θεραπεία είτε για αναζωογόνηση. Σε ότι αφορά τις θεραπευτικές εφαρμογές, οι δράσεις των γεωθερμικών νερών στον ανθρώπινο οργανισμό διαφέρουν ανάλογα με τη σύστασή τους (θερμοκρασία, μεταλλικά στοιχεία) αλλά και με τον τρόπο χρήσης τους. Οι κυριότερες εφαρμογές είναι: λουτροθεραπεία, ποσιθεραπεία, εισπνοθεραπεία και λασποθεραπεία. Σε ότι αφορά τις εφαρμογές αναζωογόνησης, πρόκειται για λουτροπόλεις με κέντρα υγείας και ομορφιάς, κύριος στόχος των οποίων είναι η ξεκούραση και η ανανέωση του ανθρώπινου οργανισμού.

Στην Ελλάδα η εφαρμογή αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη, με λουτροθεραπευτικά κέντρα να υπάρχουν σχεδόν σε όλη τη χώρα, με πιο γνωστά αυτά των Θερμοπυλών και της Αιδηψού.



**Λουτράκι Αριδαίας Ν. Πέλλας**



**Λουτρά Αιδηψού**

#### **4.4.9 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού**

Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο δύνανται να επιτευχθεί με τη μέθοδο της πολυσταδιακής εξάτμισης εν κενώ (MES). Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η



αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον 60°C. Η θερμοκρασία απόρριψης σχεδιάζεται να είναι 40-50°C.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για περίπτωση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 75 °C και παροχής 100 m<sup>3</sup>/h επιτυγχάνεται αφαλάτωση 600 m<sup>3</sup>/h την ημέρα, σε οκτώ δράσεις, με εκτιμώμενο κόστος επένδυσης 1600€ και κόστος αφαλάτωσης νερού περί το 1€/m<sup>3</sup>. Για να θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα μία εκμετάλλευση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί το πολύ στο 60% του κόστους αφαλάτωσης με πετρέλαιο.

## 4.5 Αβαθής γεωθερμία

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

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

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σήμερα εμπορικά με αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού. Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας γίνεται με δύο τρόπους. Χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας είτε τα αβαθή υπόγεια νερά, είτε τη θερμοκρασία των πετρωμάτων μικρού βάθους.

Πλεονέκτημα των αβαθών γεωθερμικών πηγών είναι οι σταθερές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αφού δεν επηρεάζονται από τις θερμοκρασιακές και μετεωρολογικές, εποχιακές και ημερήσιες μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνεια της Γης.

### 4.5.1. Νερό

Το νερό αποτελεί μια ικανοποιητική και σε πολλές περιπτώσεις ιδανική πηγή θερμότητας. Το νερό του δικτύου της πόλης σπάνια χρησιμοποιείται γιατί κοστίζει πολύ και υπάρχουν νομικοί περιορισμοί για τη χρήση του σε τέτοιες εφαρμογές. Το επιφανειακό νερό (ποτάμια, λίμνες) μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλλά η θερμοκρασία του πέφτει αισθητά το χειμώνα, με αποτέλεσμα να

επηρεάζεται δυσμενώς η λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και το νερό της θάλασσας ιδιαίτερα σε παραθαλάσσια ξενοδοχεία.

Τα υπόγεια νερά είναι μια ιδιαίτερα ελκυστική πηγή θερμότητας διότι έχουν σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους σταθερή θερμοκρασία (10-20°C), η οποία είναι αρκετά υψηλή για την λειτουργία των Α.Θ. Συχνά υπάρχουν υπόγεια νερά σε επαρκείς ποσότητες, τα οποία αφού χρησιμοποιηθούν διοχετεύονται πάλι στον υδροφόρο ορίζοντα (σε αυτή την περίπτωση το κόστος του νερού είναι μηδενικό και αλλάζει μόνο η θερμοκρασία του νερού). Στην περίπτωση των υπόγειων νερών ως πηγή θερμότητας, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα παρακάτω σημεία:

- Η θερμοκρασία του νερού της πηγής να έχει ικανοποιητική και σταθερή θερμοκρασία.
- Το νερό να βρίσκεται σε εκμεταλλεύσιμο βάθος και να είναι γνωστή η παροχή και η διεύθυνση ροής του.
- Η παροχή του νερού να είναι ικανοποιητική και να διατηρείται σταθερή. Πρέπει να λαμβάνονται μέτρα ώστε το νερό να μη μολύνεται από διαρροές λαδιού ή ψυκτικού μέσου.
- Το νερό να είναι χημικά κατάλληλο και να δίνεται προσοχή στην πιθανή διάβρωση του εναλλάκτη της Α.Θ.

Στις εφαρμογές όπου αξιοποιούνται τα επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα της γης (λίμνη, πηγάδι, ποτάμι, γεώτρηση ή και η ίδια η θάλασσα.) ως πηγή θερμότητας, χρησιμοποιείται ειδικός τύπος σωληνώσεων που ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης ανοικτού κυκλώματος.

## 4.5.2 Έδαφος

Για την εκμετάλλευση της ενέργειας των πετρωμάτων του υπεδάφους χρησιμοποιείται η τεχνική του θαψίματος δικτύου σωληνώσεων (γεωσυλλέκτης- γεωεναλλάκτης) σε μικρό σχετικά βάθος. Η τεχνική αυτή ξεκίνησε να εφαρμόζεται τη δεκαετία του '40 σε περιορισμένη όμως χρήση. Από τότε μέχρι σήμερα η πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα αξιοποίησης της θερμικής ενέργειας του εδάφους είναι αλματώδης. Σε αυτή την εξέλιξη συνέβαλε καθοριστικά τόσο η χρήση ανθεκτικότερων υλικών στο δίκτυο σωληνώσεων όσο και χρήση νέου τύπου αντλιών θερμότητας, με αποτέλεσμα σήμερα τα συστήματα γεωεναλλακτών-αντλιών θερμότητας να αποτελούν ένα από τα πιο αποδοτικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης. Η σύνθεση του χώματος, η οποία ποικίλλει (υγρός άργιλος, άμμος, βραχώδες έδαφος κ.τ.λ.), έχει μια καθοριστική επίδραση στις θερμικές του ιδιότητες και επομένως και στο βαθμό απόδοσης των Α.Θ. Το σημαντικότερο μέγεθος είναι η θερμική διαχυτότητα, που όμως είναι δύσκολο να υπολογισθεί χωρίς επαρκή δεδομένα για την ποιότητα του χώματος. Η θερμική διαχυτότητα είναι ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας προς το γινόμενο της πυκνότητας και της ειδικής θερμότητας. Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους εξαρτάται από το περιεχόμενό του σε υγρασία. Η λογική της χρήσης σωληνώσεων ενταφιασμένων στο έδαφος στηρίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία της γης σε βάθος δύο έως τριών μέτρων διατηρείται σχεδόν σταθερή (μεταξύ 10 C και 18 C) καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου κάτι που δεν συμβαίνει με την θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Συνήθως οι σωληνώσεις στο έδαφος είναι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας. Στο κύκλωμα σωληνώσεων κυκλοφορεί νερό (ή αντιπηκτικό διάλυμα για την αποφυγή δημιουργίας πάγου σε ψυχρά κλίματα) το οποίο όμως δεν αντλείται από τον υδροφόρο ορίζοντα του υπεδάφους αλλά διοχετεύεται από ειδικό σύστημα παροχής που εγκαθίσταται από ηλεκτρολόγο-μηχανολόγο μηχανικό και αποκτά σταδιακά την θερμοκρασία του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή το δίκτυο σωληνώσεων ονομάζεται γεωθερμικός εναλλάκτης κλειστού κυκλώματος. Όπου εφαρμόζονται τέτοιοι εναλλάκτες χρησιμοποιείται και ένας κυκλοφορητής για την ομαλή τροφοδοσία της αντλίας θερμότητας. Το βασικό πλεονέκτημα του κλειστού κυκλώματος είναι ότι το κύκλωμα της γης και του σπιτιού, είναι κλειστά και κατά συνέπεια δεν παρουσιάζονται επικαθίσεις αλάτων σε αυτά, με αποτέλεσμα η συντήρηση του συστήματος να είναι μηδαμινή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### 5.1 Ανταγωνιστικότητα της γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια παράγεται εμπορικά σε μία κλίμακα εκατοντάδων MW για περισσότερο από τρεις δεκαετίες δεδομένου ότι διαθέτει διάφορα θετικά γνωρίσματα που την καθιστούν ανταγωνιστική προς τις συμβατικές πηγές ενέργειας και μερικές άλλες ΑΠΕ. Ειδικότερα:

- Αποτελεί έναν τοπικό ενεργειακό πόρο που μπορεί να μειώσει τη ζήτηση για εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα.
- Έχει σημαντική θετική επίδραση στο περιβάλλον με την αντικατάσταση της καύσης των ορυκτών καυσίμων.
- Είναι αποδοτική και ανταγωνιστική με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Οι γεωθερμικοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, χωρίς εμπόδια που επιβάλλονται από τις καιρικές συνθήκες, αντίθετα από άλλες ΑΠΕ.
- Διαθέτει εγγενή ικανότητα αποθήκευσης και είναι καταλληλότερη για την κάλυψη της ζήτησης του φορτίου βάσης.
- Είναι μία αξιόπιστη και ασφαλής ενεργειακή πηγή που δεν απαιτεί αποθήκευση ή μεταφορά των καυσίμων.

Επιπλέον, η νεώτερη γενιά των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής εκπέμπει μόνο 136gr CO<sub>2</sub> / kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά μέσο όρο, έναντι των 453gr CO<sub>2</sub> / kWh μιας μονάδας με καύσιμο φυσικό αέριο ή των 1042gr / kWh CO<sub>2</sub> από ένα θερμικό σταθμό άνθρακα. Αυτή τη στιγμή, οι ΑΠΕ με το μέγιστο δυναμικό και τις χαμηλότερες εκπομπές στην Ευρώπη, βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, είναι η υδραυλική και η γεωθερμική ενέργεια. Ο συντελεστής διαθεσιμότητας της γεωθερμικής ενέργειας, δηλαδή το ποσοστό του χρόνου που μπορεί να παράγεται η ονομαστική ενέργεια, εξαρτάται από τη φύση της πηγής και κατά δεύτερο λόγο από τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.

### 5.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μία καθαρή μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα όταν συγκρίνεται με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, με ελάχιστες έως μηδαμινές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της. Ακόμη και όταν υπάρχουν κάποιες περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αυτές μπορούν πάντοτε να αντιμετωπισθούν με τη χρήση της τεχνολογίας. Τα κύρια πλεονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας είναι:

- Είναι διαθέσιμη μέρα και νύχτα όλο το χρόνο και δεν επηρεάζεται από καιρικές συνθήκες.
- Προσφέρεται έτοιμη σαν θερμικό προϊόν. Δεν μπορεί να μεταφερθεί μακριά, άρα θα πρέπει να αξιοποιηθεί επί τόπου από τις παραγωγικές δυνάμεις.
- Αναπτύσσεται σε πεδινές περιοχές με άριστες συνθήκες αξιοποίησης στη σύγχρονη γεωργία, αγροτοβιομηχανία, ιχθυοκαλλιέργεια, αστικές και βιομηχανικές χρήσεις κλπ.

- Μπορεί να συμβάλλει στην αγροτουριστική και οικοτουριστική ανάπτυξη.
- Λόγω της αυξημένης θερμικής ροής της περιοχής μπορεί να γίνει χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Συγκεκριμένα τα περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμικής ενέργειας είναι:

- Συνεχόμενη παροχή ενέργειας με υψηλό συντελεστή λειτουργίας >90%.
- Μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος εγκατάστασης είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας.
- Δεν παράγει επικίνδυνα αέρια καύσης (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> κλπ), ούτε σωματίδια, ούτε τέφρα, ούτε καπνό.
- Μικρή απαίτηση γης για την αξιοποίηση της (εγκατάσταση μονάδας, χώρος γεωτρήσεων, σωληνώσεις μεταφοράς κτλ) συγκριτικά με αυτή που απαιτείται από ατμοηλεκτρικούς, υδροηλεκτρικούς σταθμούς κτλ.
- Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. και του πρωτοκόλλου του Κιότο.
- Συμβολή στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό εισαγωγών ορυκτών καυσίμων.

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας συναντά ορισμένα βασικά προβλήματα τα οποία θα πρέπει να λυθούν ικανοποιητικά για την οικονομική εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας. Τα προβλήματα αυτά που σχετίζονται άμεσα με την ιδιάζουσα χημική σύσταση των περισσότερων γεωθερμικών ρευστών, είναι:

- Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε κάθε σχεδόν επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό.
- Η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών.
- Ορισμένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, όπως διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους και εκπομπές τοξικών αερίων κυρίως του υδρόθειου.

Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε γεωθερμικές μονάδες μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό, αν όχι ολοκληρωτικά, με μια πληθώρα τεχνικών και μεθόδων. Μερικές τυπικές πρακτικές είναι οι εξής:

- Ο σωστός σχεδιασμός της μονάδας και η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας της.
- Η ρύθμιση του pH του ρευστού.
- Η προσθήκη χημικών ουσιών (αναστολέων δημιουργίας επικαθίσεων).
- Η απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά ή φυσικά μέσα στη διάρκεια προγραμματισμένων ή όχι διακοπών λειτουργίας της μονάδας.

Οι δυνατότητες ελέγχου της διάβρωσης στις γεωθερμικές μονάδες επικεντρώνονται στα εξής:

- Επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής.
- Επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών με ανθεκτικά στη διάβρωση στρώματα.
- Προσθήκη αναστολέων διάβρωσης.
- Σωστός σχεδιασμός της μονάδας.

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ήπια μορφή ενέργειας, σε σύγκριση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, χωρίς βέβαια οι επιπτώσεις από την εκμετάλλευση της να είναι συχνά αμελητέες. Τα προβλήματα από τη διάθεση των ρευστών που χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις (ρευστά μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) είναι κατά κανόνα ηπιότερα, σχεδόν μηδενικά, από ότι των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (ρευστά υψηλής ενθαλπίας). Θα πρέπει να τονιστεί ότι στην περίπτωση που εφαρμόζεται η άμεση επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα οι επιπτώσεις είναι ελάχιστες.

### **5.3 Προβλήματα παραγωγής και ρύπανσης**

Στα

κύρια προβλήματα κατά την παραγωγή γεωθερμικής ισχύος περιλαμβάνονται οι αποθέσεις μετάλλων, οι μεταβολές στις υδρολογικές συνθήκες και η διάβρωση του εξοπλισμού. Προβλήματα ρύπανσης προκύπτουν κατά τον χειρισμό των γεωθερμικών αποβλήτων, τόσο του νερού όσο και του ατμού.

#### **5.3.1 Αποθέσεις μετάλλων**

Σε

μερικά πεδία όπου επικρατεί το νερό μπορούν να υπάρξουν αποθέσεις μετάλλων από το ζέων γεωθερμικό ρευστό. Για παράδειγμα, η απόθεση πυριτίου στα φρέατα προκάλεσε προβλήματα στο πεδίο του Salton Sea (Καλιφόρνια). Συχνότερα, μπορεί να περιοριστεί η ανάπτυξη ενός πεδίου από το σχηματισμό αποθέσεων ανθρακικών αλάτων ασβεστίου στα φρέατα ή στα πετρώματα της περιοχής, όπως για παράδειγμα συνέβη στην Τουρκία και τις Φιλιππίνες. Τα πεδία με ζεστά νερά και υψηλά ολικά ανθρακικά άλατα τελευταία αντιμετωπίζονται με καχυποψία. Κατά την απόρριψη των θερμών υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια, η απόθεση πυριτίου στους αγωγούς και τους διαύλους του νερού μπορεί να προκαλέσει προβλήματα.

### 5.3.2 Υδρολογικές αλλαγές

Η εκτεταμένη παραγωγή από τα φρέατα αλλάζει τις τοπικές υδρολογικές συνθήκες. Η ελάττωση της πίεσης του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να προκαλέσει βρασμό στο νερό των πετρωμάτων (που οδηγεί σε μεταβολές των χαρακτηριστικών του ρευστού της γεώτρησης), τη διείδυση κρύου νερού από τις παρυφές του πεδίου, ή μεταβολές στη χημεία του νερού λόγω των μειωμένων θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων των αερίων. Μετά την παρατεταμένη άντληση ζεστού νερού από πετρώματα μικρής αντοχής μπορεί να συμβεί τοπική γαϊόχωση (μέχρι μερικά μέτρα) και να μειωθεί σε ένταση η αρχική φυσική θερμική δραστηριότητα.

Κάποιες μεταβολές συμβαίνουν σε όλους τους τομείς και απαιτείται η καλή κατανόηση της γεωλογίας και της υδρολογίας ενός συστήματος προκειμένου να μπορέσει να συνταιριαστεί ο ρυθμός άντλησης της γεώτρησης με τη μακροπρόθεσμη δυνατότητα αυτής να παρέχει ρευστό.

### 5.3.3 Διάβρωση

Τα γεωθερμικά νερά προκαλούν την ταχεία διάβρωση των περισσότερων κραμάτων μετάλλων, αλλά αυτό δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα κατά τη χρήση τους εκτός από τις περιοχές όπου αντλούνται υψηλής θερμοκρασίας όξινα ύδατα (πολύ σπάνια), για παράδειγμα σε ενεργές ηφαιστειακές ζώνες. Το σύνηθες βαθύ γεωθερμικό νερό έχει σχεδόν ουδέτερο pH. Οι κυριότερες επιπτώσεις διάβρωσης μετάλλων που πρέπει να αποφεύγονται είναι η διάβρωση με στίγματα σουλφιδίου και χλωριδίου ορισμένων ανοξειδωτών και υψηλής αντοχής χαλύβων και η ταχεία διάβρωση των κραμάτων χαλκού. Το υδρόθειο, ή τα προϊόντα οξείδωσής του, προκαλεί επίσης την πιο ταχεία από την κανονική υποβάθμιση των οικοδομικών υλικών, π.χ. του σκυροδέματος, των πλαστικών και των βαφών.

### 5.3.4 Ρύπανση

Από τις μη ηχομονωμένες γεωτρήσεις εκροής μπορεί να προκύψει υψηλό επίπεδο θορύβου (μέχρι 120dB), ενώ οι εκτονώσεις των φρεάτων μπορεί να ψεκάσουν αλατούχα και πυριτιούχα ρευστά στα φυτά και τα κτίρια. Με την εφαρμογή ορθών πρακτικών μπορούν να μειωθούν οι επιδράσεις αυτές σε αποδεκτά επίπεδα. Οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, λόγω της χαμηλότερης αποδοτικότητας τους, εκπέμπουν περισσότερους υδρατμούς ανά μονάδα ισχύος από τους σταθμούς με ορυκτά καύσιμα. Ο ατμός από τους σιγαστήρες των κεφαλών των φρεάτων και τους πύργους ψύξης των σταθμών μπορεί να προκαλέσει τοπικά μια αυξημένη τάση για σχηματισμό ομίχλης και χειμερινού πάγου.

Τα απόβλητα γεωθερμικά νερά που ελευθερώνονται σε υδάτινους διαύλους μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα θερμικής ρύπανσης, εκτός εάν αραιώνονται κατά 100:1 τουλάχιστον. Οι γεωθερμικοί

σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να έχουν τέσσερα κύρια ρεύματα αποβλήτων. Μεγάλοι όγκοι απορριπτόμενου ζεστού αλατούχου νερού παράγονται στα υδροθερμικά πεδία. Μη καθαρός υδρατμός αναδύεται από τους πύργους ψύξης των σταθμών, οι οποίοι παράγουν επίσης μια ροή συμπυκνώματος που περιέχει ποικίλες συγκεντρώσεις αμμωνίας, σουλφιδίων, ανθρακικών αλάτων και βορίου. Απόβλητα αέρια διαφεύγουν από τις εξόδους απαερίωσης των αντλιών. Οι γεωθερμικοί ατμοί ποικίλουν ευρέως ως προς τα περιεχόμενα αέρια, τα οποία είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, μεθάνιο και αμμωνία. Η απαγωγή του υδρόθειου μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις ένα δεν διασκορπίζεται επαρκώς, και σε έναν μεγάλο γεωθερμικό σταθμό κοντά σε κοινότητες με χαμηλή ανοχή στις οσμές χρειάζεται μια μονάδα παγίδευσης του θείου.

Η επίπτωση της διασποράς των σουλφιδίων στα δέντρα και τα φυτά φαίνεται να είναι μικρή. Η χαμηλή συγκέντρωση ραδονίου στον ατμό, όταν διασκορπίζεται είναι απίθανο να έχει επιπτώσεις στην υγεία.

Ο υδράργυρος των γεωθερμικών ρευστών τελικά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, αλλά οι δημιουργούμενες συγκεντρώσεις δεν είναι επικίνδυνες. Η σύσταση των γεωθερμικών νερών ποικίλλει ευρέως. Στις πρόσφατες ηφαιστειακές περιοχές αυτά είναι συνήθως αραιά (<0,5%) αλατούχα διαλύματα, αλλά τα νερά στις ιζηματογενείς λεκάνες ή τις ενεργές ηφαιστειακές περιοχές έχουν ιδιαίτερα μεγάλη συγκέντρωση σε άλμες. Σε σύγκριση με τα επιφανειακά, τα περισσότερα γεωθερμικά νερά περιέχουν υπερβολικές συγκεντρώσεις βορίου, φθοριδίων, αμμωνίας, πυριτίου και αρσενικού.

Στα συνήθη αραιά γεωθερμικά νερά, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, π.χ. σιδήρου, μαγγανίου, μολύβδου, ψευδαργύρου και καδμίου, σπάνια υπερβαίνουν τα επιτρεπόμενα για το πόσιμο νερό επίπεδα. Πάντως, οι συμπυκνωμένες άλμες μπορεί να περιέχουν ικανά επίπεδα βαρέων μετάλλων.

Λόγω της σύνθεσης τους, τα απόβλητα γεωθερμικά νερά ή συμπυκνώματα μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στις παροχές πόσιμου ή αρδευτικού νερού και την υδρόβια ζωή. Η αμμωνία μπορεί να αυξήσει την ανάπτυξη των φυκιών στους υδάτινους διαύλους και να ευνοήσει τον ευτροφισμό τους, ενώ η εισχώρηση του βορίου στα αρδευτικά ύδατα μπορεί να έχει επιπτώσεις σε ευαίσθητα φυτά, όπως τα εσπεριδοειδή. Μικρές ποσότητες ιζήματος μεταλλικού σουλφιδίου, που περιέχουν αρσενικό, αντιμόνιο και υδράργυρο, μπορεί να συσσωρευτούν στα ιζήματα των ρυακίων και να προκαλέσουν ανεπιθύμητα υψηλές (πάνω από 0,5 ppm) συγκεντρώσεις υδραργύρου στα ψάρια.

### 5.3.5 Επανάγχυση

Το πρόβλημα της επιφανειακής διάθεσης μπορεί να αποφευχθεί με την επανέγχυση των απορριπτόμενων νερών ή συμπυκνωμάτων πίσω στα έγκατα μέσω φρεάτων απόρριψης. Η επανέγχυση του συμπυκνώματος ατμού εμφανίζει λίγα προβλήματα και εφαρμόζεται στην Ιταλία και τις ΗΠΑ. Μια πιο δύσκολη περίπτωση επανέγχυσης συνιστούν οι πολύ μεγαλύτεροι όγκοι του διαχωριζόμενου απόβλητου ζεστού νερού (περίπου 50 μετρικοί τόνοι ανά MW) πεδία υπερίσχυσης νερού.



Η απόθεση πυριτίου και ανθρακικών αλάτων μπορεί να προκαλέσει αποφράξεις στις σχισμές των πετρωμάτων, εάν δεν ικανοποιούνται οι κατάλληλες θερμοκρασιακές, χημικές και υδρολογικές συνθήκες στο βάθος απόρριψης. Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να είναι απαραίτητη πριν την επανέγχυση η χημική επεξεργασία της άλμης. Η επιλεκτική επανέγχυση του νερού στο θερμικό σύστημα μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση των πιέσεων του υδροφόρου ορίζοντα και στην απόληψη περισσότερης θερμότητας από το πέτρωμα. Ένα επιτυχές σύστημα επανέγχυσης νερού λειτουργεί για αρκετά χρόνια στο Ελ Σαλβαδόρ.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γ.Ι.Καρυδάκης : Γεωθερμική Ενέργεια, Εκδόσεις Αθλότυπο, Αθήνα 2005
2. Μ.Φυτίκας, Ν.Ανδρίτσος : Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα 2004
3. Η.Καστρινάκης, Διπλωματική εργασία με τίτλο: "Βελτιστοποίηση παραμέτρων βιοκλιματικού σχεδιασμού και χρήση γεωθερμικού κλιματισμού σε κτίριο κατοικίας με εφαρμογή προσομοιωτικού σχεδιαστικού εργαλείου και Γενετικών Αλγορίθμων, Θεσσαλονίκη Οκτώβριος 2007
4. Αβραμίδου Νίκη, Πτυχιακή εργασία με τίτλο «Γεωθερμία». Θεσσαλονίκη Φεβρουάριος του 2011
5. Τσίτση Μαρία & Καϊκή Παρασκευή, Διπλωματική εργασία με τίτλο "Χρησιμοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας στη θέρμανση και ψύξη με αντλίες θερμότητας". Θεσσαλονίκη Ιανουάριος 2001
6. Κ.κατσιφάρακης, Διδακτορική διατριβή που παραδόθηκε στο τμήμα πολιτικών Μηχανικών με τίτλο : Βέλτιστη Εκμετάλλευση Γεωθερμικού Πεδίου Χαμηλής Ενθαλπίας Με Σύστημα Πηγαδιών
7. Φυτίκας Μιχάλης & Παπαχρήστου Μαρία, Γεωθερμική ενέργεια στη Μήλο και αξιοποίηση της, ΑΠΘ - Τμήμα Γεωλογίας
8. ΓΓΜΕ - Τομέας Υδάτινων Πόρων και Περιβάλλοντος - Διεύθυνση Γεωθερμίας και Θερμομεταλλικών Υδάτων, Τα γεωθερμικά πεδία της χώρας, Αθήνα 2007
9. Φυτίκας Μιχάλης & Ανδρίτσος Νικόλαος, Γεωθερμικές εφαρμογές στις Κυκλάδες και εφαρμογές υψηλής ενθαλπίας, Συνέδριο IENE, Σύρος 2008
10. MARY H. DICKSON & MARIO FANELLI, What is Geothermal Energy? : CNR, Pisa Italy, February 2004
11. Κατσοτούργης Μιχαήλ, Ανάλυση κόστους γεωθερμικών εγκαταστάσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, Αθήνα 2008
12. Ellis, A.J. & Mahon, W.A.J., Chemistry and Geothermal Systems. Academic Press, London 1977
13. Brown, G. : Geothermal Energy in Renewable energy- power for a sustainable future, Oxford 1996
12. DiPippo R. : "Small Geothermal Power Plants: Design, Performance and Economics, Quarterly Bulletin 1999
13. Έκθεση ΠΑΕ «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» (Μάιος 2002)
14. International Energy Agency (IEA) «Energy Policies of IEA Countries: Greece Review 2002». ([www.iea.org](http://www.iea.org))
15. International Energy Agency (IEA) «Renewables in Global Energy Supply: An IEA Fact sheet». November 2002
16. International Energy Agency (IEA) «Renewables in Global Energy Supply: An IEA Fact sheet». 2006
17. Bakos G., Fidanidis D., Tsagas N. «Greenhouse heating using geothermal energy». Geothermics Vol. 28, Issue 6, p. 759-765 (December 1999)
18. Bertani R. «World geothermal power generation in the period 2001-2005». Geothermics Vol. 34, Issue 6, p. 651-690 (December 2005)
19. Bloomquist R. G. «Geothermal space heating». Geothermics Vol. 32, Issues 4-6, p. 513-526 (August-December 2003)
20. Eliasson E. T. «Power Generation from High-Enthalpy Geothermal Resources». Geo-Heat Center Bulletin Vol. 22, No. 2, p. 26-34 (June 2001)

21. Karytsas C., Mendrinis D. and Goldbrunner J. «Low enthalpy geothermal energy utilization schemes for greenhouse and district heating at Traianoupolis Evros, Greece». Geothermics Vol. 32, Issue 1, p. 69-78 (February 2003)
22. Lindal B. «Review of industrial applications of geothermal energy and future considerations». Geothermics Vol. 21, Issues 5-6, p. 591-604 (October-December 1992)
23. Lund J., Freeston D, Boyd T. «Direct application of geothermal energy: 2005 Worldwide review». Geothermics Vol. 34, Issue 6, p. 691-727 (December 2005)
24. Lund John W. «Direct Heat Utilization of Geothermal Resources». Geo-Heat Center Bulletin Vol. 17, No. 3. (August 1996)
25. Lund J., Sanner B., Rybach L., Curtis R., Hellstrom G. «Geothermal (Ground- Source) Heat Pumps - A World Overview». Geo-Heat Center Bulletin Vol. 25, No. 3, p. 1-10 (September 2004)
26. Mendrinis D., Karagiorgas M., and Karytsas C. «Use of Geothermal heat Pumps for heating and cooling of buildings in Greece». OPET - Low Temperature Systems in Existing/Historical Buildings Workshop (OPET - LowExx Workshop), Maastricht, the Netherlands, March 2002.
27. Mendrinis D. and Karytsas C. «Geothermal energy utilization in Europe-State of the art». Centre for Renewable Energy Sources - CRES, February 2003

#### ***ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ***

1. California Energy Commission <http://www.energy.ca.gov/geothermal/>
2. EERE - Energy Efficiency and Renewable Energy [www.eere.energy.gov](http://www.eere.energy.gov)
3. EGEC - European Geothermal Energy Council [www.egec.net](http://www.egec.net)
4. European Geothermal House [www.geothermie.de/egec-geothernet/menu/frameset.htm](http://www.geothermie.de/egec-geothernet/menu/frameset.htm)
5. ENERGIA.gr - Ηλεκτρονική ενημέρωση για θέματα ενέργειας [www.energia.gr](http://www.energia.gr)
6. GAI - Geothermal Association of Iceland [www.jardhitafelag.is/english/](http://www.jardhitafelag.is/english/)
7. GEA - Geothermal Energy Association <http://www.geo-energy.org/>
8. GEO - Geothermal Education Office <http://geothermal.marin.org/>
9. GEOCEN - Geothermal Energy Research Development Test and Education Center <http://geocen.iyte.edu.tr/>
10. GEOEXCHANGE [www.geoexchange.org/](http://www.geoexchange.org/)
11. Geothermal Exchange [www.the-gx.com/main.asp](http://www.the-gx.com/main.asp)
12. Geo-Heat Center <http://geoheat.oit.edu/>
13. Geothermal Institute [www.science.auckland.ac.nz/uoa/science/about/research/gei/gei.cfm](http://www.science.auckland.ac.nz/uoa/science/about/research/gei/gei.cfm)
14. GRC - Geothermal Resources Council [www.geothermal.org/](http://www.geothermal.org/)
15. INL - Idaho National Laboratory <http://geothermal.id.doe.gov/>
16. IEA - International Energy Agency Geothermal Energy [www.iea-gia.org](http://www.iea-gia.org)
17. IGA - International Geothermal Association <http://iga.igg.cnr.it/index.php>
18. New Zealand Geothermal Association [www.nzgeothermal.org.nz/](http://www.nzgeothermal.org.nz/)

19. NREL - National Renewable Energy Laboratory [www.nrel.gov/learning/](http://www.nrel.gov/learning/)
  20. Science direct [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
  21. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
  22. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
- The World Bank Group [www.worldbank.org/html/fpd/energy/geothermal/](http://www.worldbank.org/html/fpd/energy/geothermal/)

