



ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας

Γεωθερμία στην Κεντρική Μακεδονία

(Πόρισμα Ομάδας Εργασίας του ΤΕΕ/ΤΚΜ όπως εγκρίθηκε με την απόφαση της Διοικούσας Επιτροπής)



Μέλη Ομάδας Εργασίας

Γεώργιος Αναστασιάδης, Η.Μ.
Δρ. Απόστολος Μιχόπουλος, Μ.Μ.
Αγγελική Μπαλτζή, Η.Μ.
Χρήστος Μπουσγολίτης, Μ.Μ., Π.Μ.

Θεσσαλονίκη Μάρτιος 2012

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ



Ομάδα Εργασίας Μόνιμης Επιτροπής Ενέργειας
Τ.Ε.Ε./Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας

Γεώργιος Αναστασιάδης, Δρ. Απόστολος Μιχόπουλος, Χρήστος Μπουσγολίτης

Συντονιστής : Αγγελική Μπαλτζή

Πρόλογος

Ο ρόλος της ενέργειας σε μία χώρα αποτελεί κριτήριο οικονομικής ανεξαρτησίας και ανάπτυξης. Στην δύσκολη περίοδο που περνάει η Ελλάδα, η εξασφάλιση της ενέργειας μέσω της αξιοποίησης των φυσικών εθνικών πόρων αποτελεί κύρια οικονομική συνιστώσα στην οποία πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα.

Με βάση το παραπάνω σκεπτικό και εκτιμώντας ότι η γεωθερμία αποτελεί αδιαμφισβήτητο φυσικό εθνικό πόρο, η Μόνιμη Επιτροπή Ενέργειας (ΜΕΕ) για την περίοδο 2010-2012 του Τμήματος Κεντρικής Μακεδονίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΕΕ/ΤΚΜ) υπό την Προεδρεία της Στ. Μπεζεργιάννη, όρισε μια Ομάδα Εργασίας (ΟΕ) για την μελέτη, αξιολόγηση και ανάδειξη του γεωθερμικού δυναμικού της Κεντρικής Μακεδονίας.

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσονται οι διαφορετικές χρήσεις της γεωθερμίας ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο (Υψηλής Ενθαλπίας, Χαμηλής Ενθαλπίας και Αβαθούς Ενθαλπίας), οι Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση της και το Νομικό πλαίσιο για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας. Επίσης καταγράφονται και κατηγοριοποιούνται τα γεωθερμικά πεδία της Κεντρικής Μακεδονίας και εκτιμώνται οι προοπτικές ανάπτυξης της γεωθερμικής ενέργειας.

Ως συντονίστρια της ΟΕ θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο και Κ. Κωνσταντίνου για το υλικό που παρείχε και τους συναδέλφους Γ. Αναστασιάδη, Απ. Μιχόπουλο και Χ. Μπουσγολίτη για τη συνεισφορά, το υλικό και το χρόνο τους για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Θεσσαλονίκη Μάρτιος 2012

Μπαλτζή Γρ. Αγγελική
Διπλ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	2
Πρόλογος	3
Εισαγωγή	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα στη σύγχρονη εποχή.....	9
1.2. ΑΠΕ και συμμετοχή τους στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας – Εκτιμήσεις για την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας.....	10
1.2.1. Ενεργειακά σενάρια	10
1.2.2. Πηγές Ενέργειας	10
1.2.3. Σενάριο 450	11
1.2.4. Ενέργεια για όλους.....	13
1.2.5. Ώρα για δράση.....	13
1.2.6. Οι ΑΠΕ και ο ρόλος τους	15
1.2.7. Γεωθερμία.....	17
1.2.8. ΑΠΕ – Γεωθερμία στην Ελλάδα.....	19
1.3. Βασικές έννοιες – Ορισμοί της γεωθερμικής ενέργειας.....	21
1.4. Σύντομο ιστορικό για την εξέλιξη της χρήσης της Γεωθερμίας	22
1.5. Νομικό πλαίσιο για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας	26
1.5.1. Ισχύουσα νομοθεσία (άμεσες χρήσεις)	26
1.5.2. Βασικοί ορισμοί του Ν. 3175.....	27
1.5.3. Νεωτερισμοί του Ν. 3175/03 και των σχετικών Υπ. Αποφάσεων	28
1.5.4. Αποτελέσματα νέας νομοθεσίας (Γεωθερμίας)	28
1.5.5. Ισχύουσα νομοθεσία ιαματικής χρήσης	28
1.5.6. Νεωτερισμοί του Ν. 3498/06 και των σχετικών Υπ. Αποφάσεων	29
1.5.7. Προβλήματα του Ν. 3498/06	29
1.5.8. Υπό Έκδοση Π. Δ. και Υπ. Αποφάσεις σε εφαρμογή Ν. 3498/2006.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ – ΓΕΝΙΚΑ	31
2.1. Γενικά	32
2.1.1. Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης	32
2.2. Γεωθερμικά Πεδία	35
2.2.1. Γεωθερμικά Πεδία υψηλής ενθαλπίας.....	39
2.2.2. Γεωθερμικά Πεδία χαμηλής ενθαλπίας	39
2.2.3. Αβαθής γεωθερμία	40
2.3. Γεωθερμικά Ρευστά	42
2.3.1 Προέλευση των γεωθερμικών ρευστών	42

2.3.2 Διαδικασία θέρμανσης των γεωθερμικών ρευστών	42
2.4. Γεωθερμικά Συστήματα.....	45
2.4.1. Ταξινόμηση Γεωθερμικών Συστημάτων	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΥΨΗΛΗΣ	52
ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ	52
3.1. Γενικά	53
3.2. Ηλεκτροπαραγωγή	53
3.2.1. Κύκλος ξηρού ατμού	54
3.2.2. Κύκλος εκτόνωσης διφασικού ρευστού	56
3.2.3. Δυαδικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό	57
3.2.4. Συνδυασμένος κύκλος ατμού και δυαδικού συστήματος	59
3.2.5. Κύκλος εκτόνωσης της συνολικής ροής.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ.....	60
4.1. Τηλεθέρμανση και θέρμανση χώρων – Ψύξη χώρων	61
4.2. Αφαλάτωση θαλασσινού νερού.....	65
4.3. Αγροτικές Εφαρμογές	66
4.4. Υδατοκαλλιέργειες	70
4.5. Βιομηχανικές εφαρμογές.....	71
4.6. Λουτροθεραπεία - Θέρμανση πισινών - Ιατρικές εφαρμογές.....	73
4.7. Άλλες χρήσεις	74
4.7.1. Ανάκτηση διοξειδίου του άνθρακα.....	74
4.7.2. Διάφορες Χρήσεις	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ	76
5.1 Εισαγωγή	77
5.2 Αντλίες Θερμότητας.....	77
5.2.1. Σύντομη Περιγραφή Συστημάτων	77
5.2.2. Αρχή Λειτουργίας Αντλιών Θερμότητας	80
5.3 Παραδείγματα Χρήσης.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.....	84
6.1 Επιπτώσεις κατά το στάδιο έρευνας των γεωθερμικών πεδίων	85
6.2 Επιπτώσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων	86
6.2.1. Επιπτώσεις από τη γεώτρηση την παραγωγή και την επανεισαγωγή	86
6.2.2. Αύξηση στάθμης Θορύβου	87
6.2.3. Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς	87
6.2.4. Πρόκληση καθιζήσεων.....	87
6.2.5. Δημιουργία μικροσεισμικότητας.....	87
6.2.6. Υδροθερμικές εκρήξεις	87

6.3 Επιπτώσεις από γεωθερμικές μονάδες υψηλής ενθαλπίας.....	87
6.3.1. Εκπομπές αερίων	88
6.3.2. Υδάτινη και θερμική ρύπανση	89
6.3.3. Απόθεση στερεών αποβλήτων.....	89
6.3.4. Χρήση γης και οπτική ρύπανση	89
6.3.5. Θόρυβος	89
6.4 Επιπτώσεις από γεωθερμικές μονάδες χαμηλής ενθαλπίας	90
6.5 Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας	91
6.5.1. Εισαγωγή.....	91
6.5.2. Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τα στάδια έρευνας και ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων	91
6.5.3. Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	91
6.5.4 Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ Β. ΕΛΛΑΔΟΣ	96
7.1 Η γεωθερμική ενέργεια στην Ελλάδα.....	97
7.2 Γεωθερμικά πεδία Κεντρικής Μακεδονίας	100
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	103
8.1 Ο ρόλος των τοπικών κοινωνιών στην εκμετάλλευση της γεωθερμίας	104
8.1.1 Εισαγωγή.....	104
8.1.2 Το φαινόμενο NIMBY και LULU	105
8.1.3 Γεωθερμική ενέργεια και τοπική κοινωνία	107
8.2 Προβλήματα.....	110
8.3 Προοπτικές - Συμπεράσματα – Προτάσεις	113
8.3.1 Προτάσεις σχετικά με την τεχνολογία των εδαφικής πηγής αντλιών θερμότητας	115
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ.....	116

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία αποτελείται από οκτώ κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί το εισαγωγικό κεφάλαιο που αναφέρεται γενικά στο σύγχρονο ενεργειακό πρόβλημα και στη συμμετοχή των ΑΠΕ στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας καθώς επίσης στις βασικές έννοιες, την ιστορική εξέλιξη και το νομοθετικό πλαίσιο χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές έννοιες της γεωθερμίας, τα διαφορετικά είδη των Γεωθερμικών πεδίων, τα Γεωθερμικά ρευστά και τα Γεωθερμικά συστήματα.

Στο τρίτο, τέταρτο και πέμπτο κεφάλαιο αναπτύσσονται αντίστοιχα οι χρήσεις των γεωθερμικών πεδίων υψηλής, χαμηλής και αβαθούς ενθαλπίας.

Στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση της γεωθερμίας, ενώ στο έβδομο κεφάλαιο καταγράφονται και κατηγοριοποιούνται τα γεωθερμικά πεδία της Κεντρικής Μακεδονίας.

Τέλος, στο όγδοο Κεφάλαιο γίνεται μνεία στα προβλήματα και τις προοπτικές ανάπτυξης της χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας και αναφέρονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις της ομάδας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επιμέλεια : Γ. Αναστασιάδης (1.1), Χ. Μπουσγολίτης (1.2), Α. Μπαλτζή (1.3, 1.5),
Απ. Μιχόπουλος (1.4)

1.1 Το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα στη σύγχρονη εποχή

Η παγκοσμίως κλιμακούμενη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, συνέπεια της βιομηχανικής ανάπτυξης και της ανόδου του βιοτικού επιπέδου των λαών, έχει ως αποτέλεσμα τη βαθμιαία εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων. Το ενεργειακό πρόβλημα σε συνδυασμό με το περιβαλλοντικό κόστος που προκύπτει από την παραγωγή και τη χρήση της ενέργειας έχει προκαλέσει έντονα (ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια) το ενδιαφέρον για τη χρήση των ΑΠΕ.

Μετά το τέλος του Β' παγκοσμίου πολέμου παρατηρήθηκε μια διαρκής αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας στις αναπτυσσόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες. Μόνο μικρό μέρος αυτής της ενέργειας ήταν απαραίτητο για την ανάπτυξη των χωρών αυτών και την άνοδο του βιοτικού τους επιπέδου. Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας είναι υπερβολικά υψηλή σε ορισμένες πλούσιες χώρες, αλλά εξακολουθεί να παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα σε πολλές χώρες του τρίτου κόσμου. Στις χώρες αυτές η αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας είναι απαραίτητη για την επίτευξη ανεκτού βιοτικού επιπέδου. Γι' αυτό αναμένεται ότι η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας θα μεγαλώσει, με ταχύτερο μάλιστα ρυθμό από τον πληθυσμό. Επομένως το πρόβλημα επάρκειας των ενεργειακών πηγών θα οξυνθεί.

Μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, το ενδιαφέρον άρχισε να στρέφεται προς την αξιοποίηση των λεγόμενων ήπιων μορφών ενέργειας. Η παραγωγή ενέργειας από τον ήλιο, τον αέρα, τη βιομάζα, τη γεωθερμία και άλλες πηγές δεν παρουσιάζει τα προβλήματα της παραγωγής ενέργειας με συμβατικές μεθόδους. Θεωρείται ότι δεν προκαλούν εξαρτήσεις, είναι πρακτικά ανεξάντλητες, ανανεώσιμες και οικολογικά καθαρές. Οι ήπιες μορφές ενέργειας φαίνεται να ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις, ώστε ν' αποτελέσουν τις κύριες πηγές ενέργειας του μέλλοντος.

Μια άλλη συνέπεια του ενεργειακού προβλήματος, που άρχισε να κατανοείται με σημαντική καθυστέρηση, είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος η οποία οφείλεται στην κατανάλωση ενέργειας. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και θείου, έχουν φθάσει ήδη σε ανησυχητικά επίπεδα. Η ατμοσφαιρική ρύπανση των πόλεων, το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η συνακόλουθη κλιματική μεταβολή μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις τα επόμενα χρόνια.

Γενικά, αυτό που θ' απαλύνει τις επιπτώσεις του ενεργειακού προβλήματος είναι η χρήση της λογικής για την αντιμετώπισή του. Δεν θα ήταν υπερβολή να λέγαμε ότι η ενέργεια που σήμερα αντλείται αξιοποιείται σε αρκετά μικρό ποσοστό. Το υπόλοιπο χάνεται μετατρέπόμενο σε απώλειες (θερμότητα). Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε πως υπάρχει μια τεράστια ανεκμετάλλευτη ποσότητα ενέργειας. Με λίγα λόγια, θα μπορούσαμε να πούμε πως και οι δύο πτυχές του ενεργειακού προβλήματος μπορούν και πρέπει να αντιμετωπισθούν με τους ακόλουθους τρόπους: α) με εξοικονόμηση ενέργειας και αποφυγή κάθε περιττής κατανάλωσης. Για παράδειγμα η θερμική μόνωση των κτιρίων συντελεί στην εξοικονόμηση ενέργειας β) με καλύτερη αξιοποίηση των συμβατικών ενεργειακών πηγών, π.χ. με τη βελτίωση της απόδοσης των καυστήρων πετρελαίου των συστημάτων θέρμανσης και γ) με αξιοποίηση νέων καθαρών ενεργειακών πηγών, ό-πως είναι οι ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.2. ΑΠΕ και συμμετοχή τους στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας – Εκτιμήσεις για την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας

1.2.1. Ενεργειακά σενάρια

Κάθε χρόνο εκδίδεται από τον φορέα International Energy Agency (IEA) η ετήσια παγκόσμια ενεργειακή πρόβλεψη World Energy Outlook 2011 (WEO11). Η μελέτη επεξεργάζεται τα πρόσφατα δεδομένα στην παγκόσμια ενεργειακή πολιτική και διερευνά τις οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις τριών σεναρίων για την περίοδο 2010-2035.

Η WEO11 βασίζεται σε ένα μεγάλης κλίμακας μαθηματικό μοντέλο το οποίο αναπαριστά την λειτουργία των αγορών ενέργειας και τα αποτελέσματά του αφορούν σε κάθε ενεργειακό τομέα και σε κάθε περιοχή του κόσμου. Τα αποτελέσματα τροποποιούνται με αστάθμητους πολιτικούς ή περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως φέτος η Αραβική άνοιξη, το τσουνάμι στην Ιαπωνία και η οικονομική κρίση στην Ευρώπη.

Τα τρία σενάρια που διερευνούνται από το IEA.

-**The New Policies Scenario.** Αυτό το σενάριο χαρακτηρίζεται ως σενάριο αναφοράς. Θεωρεί ότι οι κυβερνήσεις θα αναλάβουν τις υποχρεώσεις τους σχετικά με την μείωση των εκπομπών και την υιοθέτηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

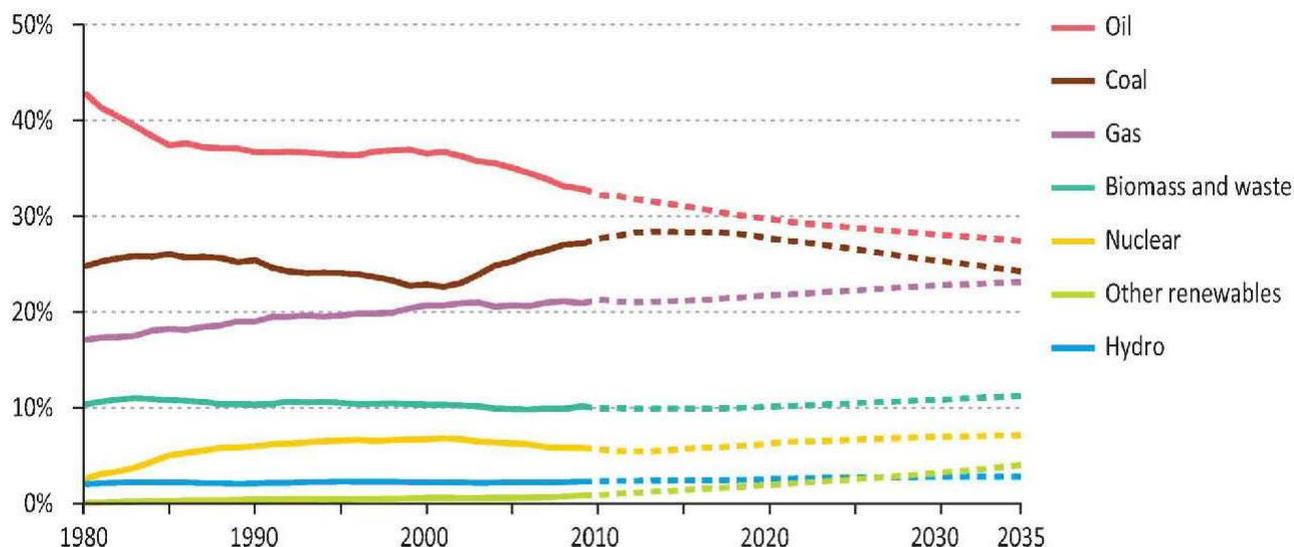
- **The 450 Scenario.** Αυτό αποτελεί καταληκτικό ενεργειακό σενάριο το οποίο οδηγεί σε βάθος χρόνου στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου σε ισοδύναμη συγκέντρωση ίση με 450 ppm CO₂. Η επίτευξη αυτού του στόχου οδηγεί σε 50% πιθανότητα περιορισμού της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 2°C. Ωστόσο υπάρχουν επιστήμονες κλιματολογίας οι οποίοι ζητούν τον στόχο των 350 ppm για να μην βιώσουμε μη αναστρέψιμα καταστροφικά φαινόμενα.

-**The Current Policies Scenario.** Αυτό το σενάριο μοντελοποιεί το μέλλον μόνο με τις παρούσες πολιτικές αποφάσεις.

1.2.2. Πηγές Ενέργειας

Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται από την WEO11 η πρόβλεψη για το ενεργειακό μίγμα σύμφωνα με το New Policies Scenario. Σημειώνεται ότι οι απόλυτες ποσότητες κατανάλωσης πετρελαίου και λιγνιτών συνεχίζουν να αυξάνουν, παρά την μείωσή τους στην αναλογία του μίγματος.

**Figure 2.7: Shares of energy sources in world primary energy demand
in the New Policies Scenario**



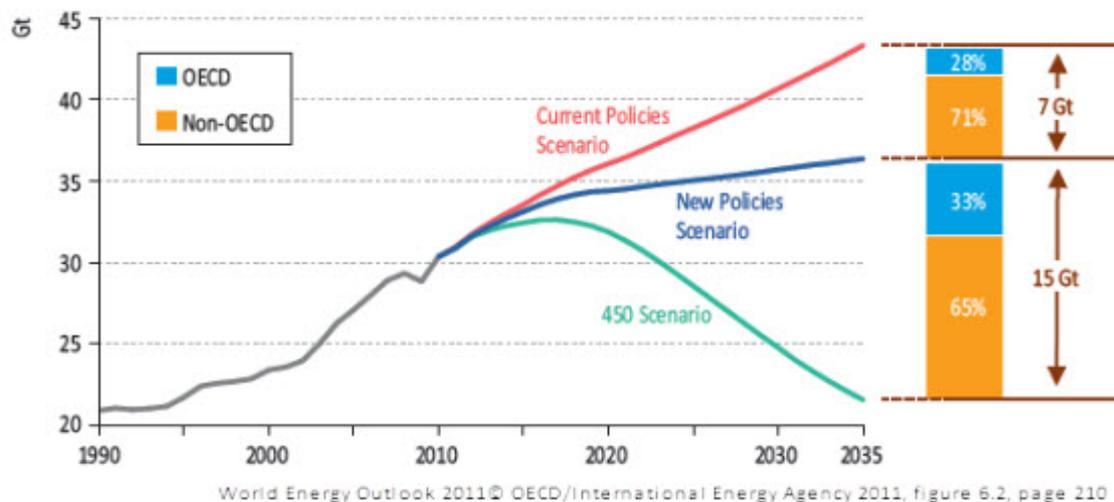
Σχήμα 1: Αναλογία των πηγών ενέργειας στην πρωτογενή ζήτηση σύμφωνα με το New Policies Scenario.

Κυριαρχική παρουσιάζεται η αύξηση του φυσικού αερίου. Επίσης λόγω της πληθυσμιακής αύξησης και της μακροπρόθεσμης οικονομικής ανάπτυξης στην περίοδο 2010-2035 αναμένεται αύξηση κατά 40% της ενεργειακής κατανάλωσης.

Η υιοθέτηση του New Policies Scenario θα οδηγήσει σε συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα ισοδύναμη με 650 ppm με αποτέλεσμα αύξησης της θερμοκρασίας περισσότερο από 3,5°C. Μόνο τότε θα αισθανθεί η παγκόσμια κοινότητα την ανάγκη δραστηκότερων αντιδράσεων λόγω των καταστροφών που θα παρουσιάζονται.

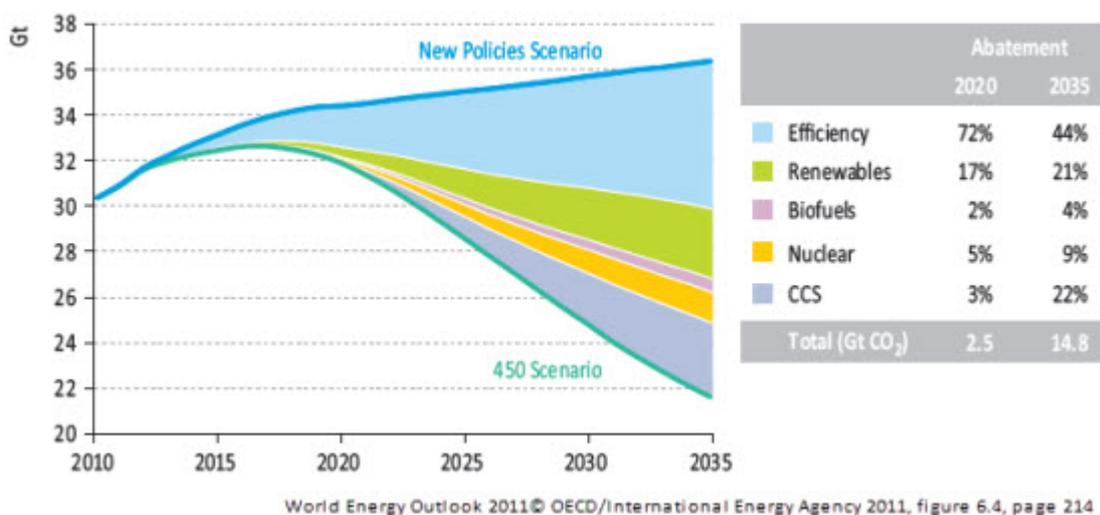
1.2.3. Σενάριο 450

Η σταθεροποίηση του CO₂ στα επίπεδα των 450 ppm είναι εφικτή μόνο με επιθετικές πολιτικές όπως η φορολογία των εκπομπών του άνθρακα από \$20-45 τον τόνο στις ανεπτυγμένες χώρες και σταδιακά σε \$95-120 σε όλες τις χώρες μέχρι το 2035.



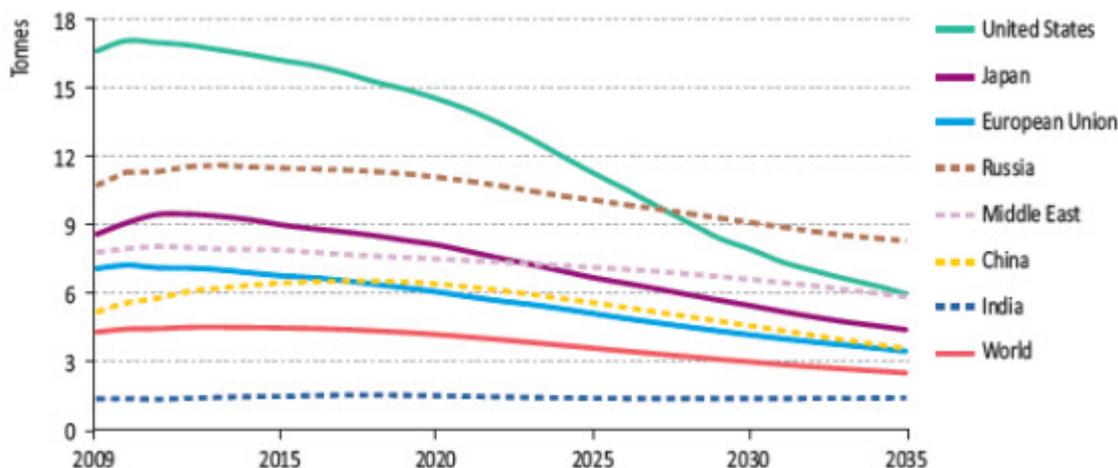
Σχήμα 2: Συσχέτιση των εκπομπών CO₂ για κάθε σενάριο (πηγή WEO11).

Το σενάριο 450 προβλέπει την μείωση των εκπομπών το 2035 στα επίπεδα του 1990.



Σχήμα 3: Παγκόσμια ελάττωση των εκπομπών CO₂ στο σενάριο 450 σε σχέση με το New Policies Scenario (πηγή WEO11).

Σημειώνεται ότι το IEA εκτιμά ότι η μείωση των εκπομπών CO₂ θα προκύψει από την εξοικονόμηση και τις ΑΠΕ αλλά επίσης ότι και η πυρηνική ενέργεια και οι τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Capture and Storage (CCS)) θα αναλάβουν μεγάλο ποσοστό. Ωστόσο μετά την Fukushima, οι χώρες εγκαταλείπουν την πυρηνική προοπτική και επίσης η τεχνολογία CCS αντιμετωπίζει προβλήματα ανάπτυξης, ασφάλειας και κοινωνικής αποδοχής.



World Energy Outlook 2011 © OECD/International Energy Agency 2011, figure 6.7, page 218

Σχήμα 4: Κατά κεφαλή εκπομπές CO₂ σε κάθε περιοχή σύμφωνα με το σενάριο 450 (πηγή WEO11).

Η μεγαλύτερη κατά κεφαλή μείωση σε ποσοστό και απόλυτο ποσό θα πρέπει να αναφερθεί στις ΗΠΑ. Στις αναπτυσσόμενες χώρες η ελάττωση εμφανίζεται μετά το 2020. Στο 450 σενάριο η μεγαλύτερη μείωση παρουσιάζεται στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2.4. Ενέργεια για όλους

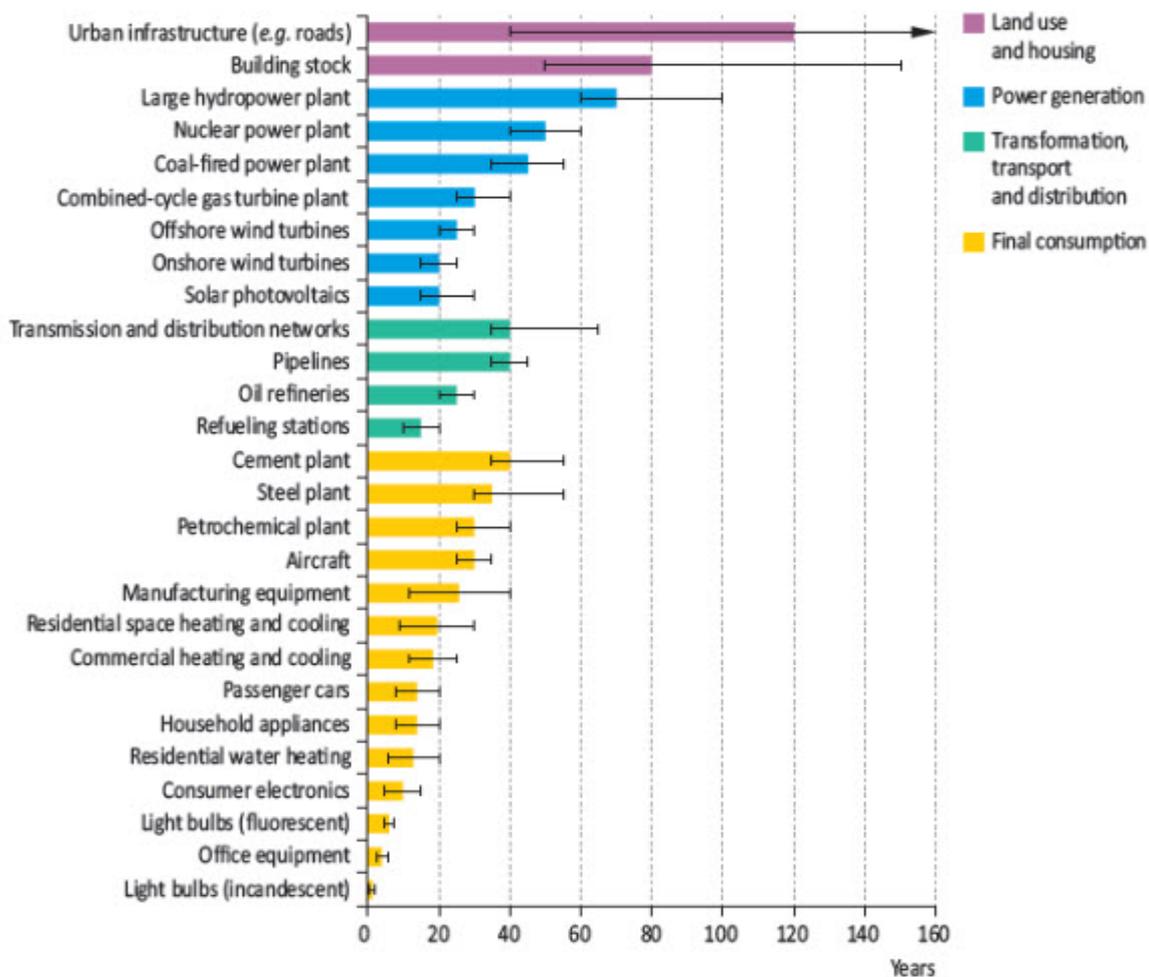
Η συσχέτιση της παροχής ενέργειας και της ανθρώπινης ευημερίας δεν αφορά μόνο στις κλιματικές αλλαγές. Σύμφωνα με την WEO11, 1,3 δισεκατομμύρια φτωχοί άνθρωποι ζουν χωρίς πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια και περίπου 2,7 δισεκατομμύρια, δηλαδή το 40%, δεν διαθέτει υποδομές εστίασης στα νοικοκυριά του.

Εκτιμάται ότι πρωτόγονες οικιακές εστίες καύσης οδηγούν σε περίπου 2 εκατομμύρια θανάτους λόγω εσωτερικής ρύπανσης και ασφυξίας. Το IEA με την αναφορά του εκτιμά ότι μέχρι το 2030 ο καπνός από τη βιομάζα θα οδηγήσει σε περισσότερους πρόωρους θανάτους λόγω αναπνευστικών προβλημάτων από ότι το AIDS.

Η αναδιάταξη των υποδομών, η αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας και η αξιοποίηση των ΑΠΕ με σκοπό την διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας σε περισσότερους ανθρώπους αποτελεί ανθρωπιστικό στόχο.

1.2.5. Ώρα για δράση

Μπορεί τα όρια της καταστροφής να μην είναι απόλυτα καθορισμένα ωστόσο η κατάσταση βρίσκεται σε κομβικό χρονικό σημείο αποφάσεων. Οποιαδήποτε εφαρμογή αποφάσεων θα χρειαστεί χρόνο για να αποδώσει. Οι υποδομές που υπάρχουν και οι τωρινές αποφάσεις θα επηρεάζουν τον πλανήτη για πολλά χρόνια.



Note: The solid bars show average lifetimes while the range lines show typical variations.

World Energy Outlook 2011© OECD/International Energy Agency 2011, figure 1.2, page 68

Σχήμα 5: Τυπικός χρόνος ζωής ενεργειακών υποδομών (πηγή WEO11).

Ο στόχος του σεναρίου 450 είναι ακόμα εφικτός, ωστόσο εάν δεν παρθούν δραστικά μέτρα μετά το 2017 δεν θα είναι πλέον εφικτός. Κάθε χρόνος υστέρησης εφαρμογής της απαιτούμενης πολιτικής οδηγεί σε καθυστέρηση εφαρμογής τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών. Κάθε εργοστάσιο λιγνίτη που ανοίγει θα λειτουργεί για τα επόμενα σαράντα χρόνια. Κτίρια χαμηλής ενεργειακής απόδοσης που τώρα κατασκευάζονται θα υφίστανται για περίπου ακόμα έναν αιώνα. Οποιαδήποτε μελλοντική διόρθωση θα απαιτήσει πολλαπλάσια οικονομική ενίσχυση. Επομένως απαιτείται η κινητοποίηση όλων των δυνάμεων για την αποτροπή των καταστροφικών σεναρίων.

1.2.6. Οι ΑΠΕ και ο ρόλος τους

Reference case projections by end-use sector and country grouping

Table D1. Total world delivered energy consumption by end-use sector and fuel, 2008-2035
(Quadrillion Btu)

Sector/fuel	2008	Projections					Average annual percent change, 2008-2035
		2015	2020	2025	2030	2035	
Residential							
Liquids	9.8	9.7	9.1	8.9	8.8	8.8	-0.4
Natural gas	20.8	22.3	23.3	24.3	24.8	25.4	0.8
Coal	4.4	4.5	4.6	4.6	4.5	4.4	0.0
Electricity	16.2	19.4	22.0	24.7	27.5	30.3	2.3
Renewables	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	-0.2
Total	51.7	56.2	59.4	62.9	66.1	69.3	1.1
Commercial							
Liquids	4.6	4.3	4.2	4.1	4.1	4.1	-0.4
Natural gas	8.3	9.2	9.6	10.0	10.3	10.6	0.9
Coal	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	0.7
Electricity	13.8	17.0	19.3	21.7	23.9	25.8	2.3
Renewables	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	28.1	31.9	34.6	37.3	39.9	42.1	1.5
Industrial							
Liquids	55.3	57.5	59.2	61.9	65.1	68.6	0.8
Natural gas	44.0	49.7	54.3	58.8	63.9	69.5	1.7
Coal	49.8	61.2	64.5	68.7	72.3	75.5	1.6
Electricity	27.9	32.4	36.3	41.1	46.1	51.4	2.3
Renewables	14.2	15.4	17.2	19.4	21.4	23.2	1.8
Total	191.3	216.2	231.5	249.9	268.8	288.2	1.5
Transportation							
Liquids	93.5	106.8	114.6	123.9	130.7	136.1	1.4
Natural gas	3.6	3.7	3.8	3.9	4.2	4.6	0.9
Coal	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	--
Electricity	0.9	1.2	1.2	1.3	1.5	1.4	1.6
Renewables	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--
Total	98.2	111.9	119.9	129.1	136.5	142.1	1.4
All end-use sectors							
Liquids	163.3	178.2	187.1	198.8	208.7	217.7	1.1
Natural gas	76.8	84.8	91.0	96.9	103.3	110.1	1.3
Coal	55.6	67.3	70.6	74.7	78.2	81.3	1.4
Electricity	58.9	70.1	78.9	88.9	99.1	108.9	2.3
Renewables	14.8	15.9	17.7	19.9	21.9	23.7	1.8
Delivered energy	369.4	416.3	445.4	479.2	511.3	541.7	1.4
Electricity-related losses	135.3	157.2	174.1	192.3	210.2	228.1	2.0
Total	504.7	573.5	619.5	671.5	721.5	769.8	1.6
Electric power*							
Liquids	9.7	9.0	8.6	8.2	7.8	7.5	-0.9
Natural gas	37.5	42.5	47.0	52.5	59.0	64.6	2.0
Coal	83.4	90.0	94.0	105.0	116.4	127.8	1.6
Nuclear	27.2	33.1	38.9	43.7	47.4	51.2	2.4
Renewables	36.5	52.6	64.5	71.7	78.7	85.8	3.2
Total	194.3	227.3	253.0	281.1	309.3	337.0	2.1
Total energy consumption							
Liquids	173.0	187.2	195.8	207.0	216.6	225.2	1.0
Natural gas	114.3	127.3	138.0	149.4	162.3	174.7	1.6
Coal	139.0	157.3	164.6	179.7	194.7	209.1	1.5
Nuclear	27.2	33.1	38.9	43.7	47.4	51.2	2.4
Renewables	51.3	68.5	82.2	91.7	100.6	109.5	2.9
Total	504.7	573.5	619.5	671.5	721.5	769.8	1.6

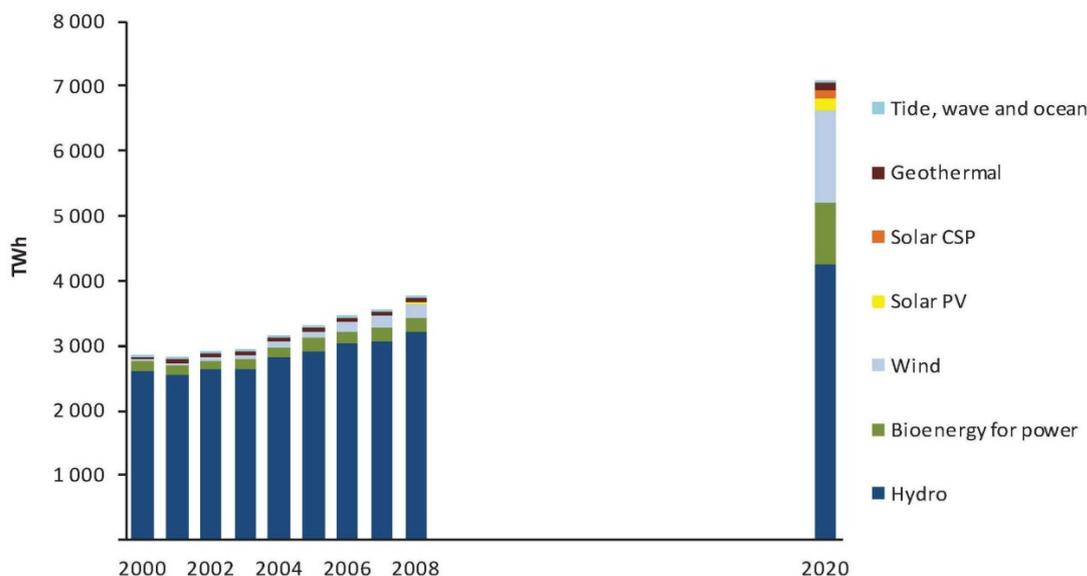
*Fuel inputs used in the production of electricity and heat at central-station generators.

Sources: 2008: Derived from U.S. Energy Information Administration (EIA), International Energy Statistics database (as of March 2011), website www.eia.gov/ies; and International Energy Agency, "Balances of OECD and Non-OECD Statistics" (2010), website www.iea.org (subscription site). Projections: EIA, *Annual Energy Outlook 2011*, DOE/EIA-0383(2011) (Washington, DC: May 2011); AEO2011 National Energy Modeling System, run REF2011.D020911A, website www.eia.gov/aes, and World Energy Projection System Plus (2011).

Σχήμα 6: Πίνακας καταναλισκόμενης ενέργειας ανά τομέα και καύσιμο (πηγή U.S. Energy Information Administration)

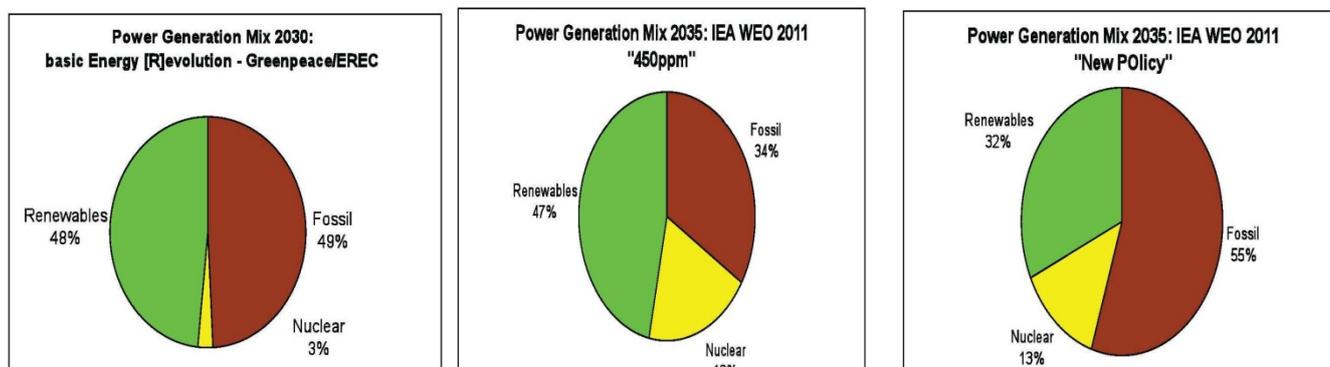
Καθοριστικό ρόλο για την επίτευξη της διάσωσης του πλανήτη καλούνται να διαδραματίσουν οι ΑΠΕ και γενικά οι «καθαρές» τεχνολογίες (Clean Energy Progress report IEA).

Figure 19. Global power generation from renewable sources vs. BLUE Map scenario



Σχήμα 7: Παγκόσμια ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ (πηγή Clean Energy Progress report IEA).

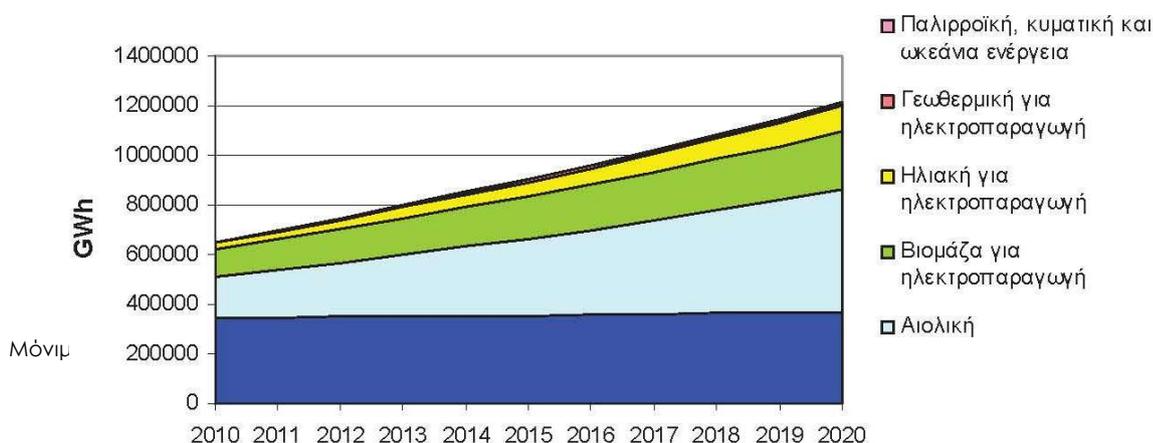
Η Greenpeace με την αναφορά Energy [R]evolution vs. IEA World Energy Outlook scenario 2011, καυτηριάζει την χρήση της πυρηνικής ενέργειας, θεωρεί ανεφάρμοστη την τεχνολογία CCS και παρακινεί για την υποστήριξη των ΑΠΕ και όχι των ορυκτών καυσίμων όπως ισχύει μέχρι σήμερα.



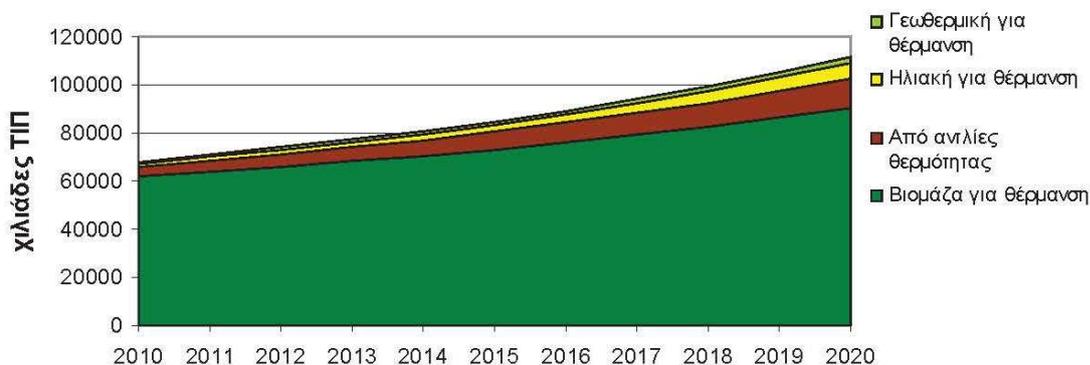
Σχήμα 8: Ποσοστά ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (πηγή Greenpeace International, 2011).

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και την ανακοίνωση της (2011) «Η πρόοδος προς την επίτευξη του στόχου για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές το 2020» παρουσιάζονται τα παρακάτω διαγράμματα για την εξέλιξη των ΑΠΕ.

Εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών για ηλεκτροπαραγωγή στην ΕΕ

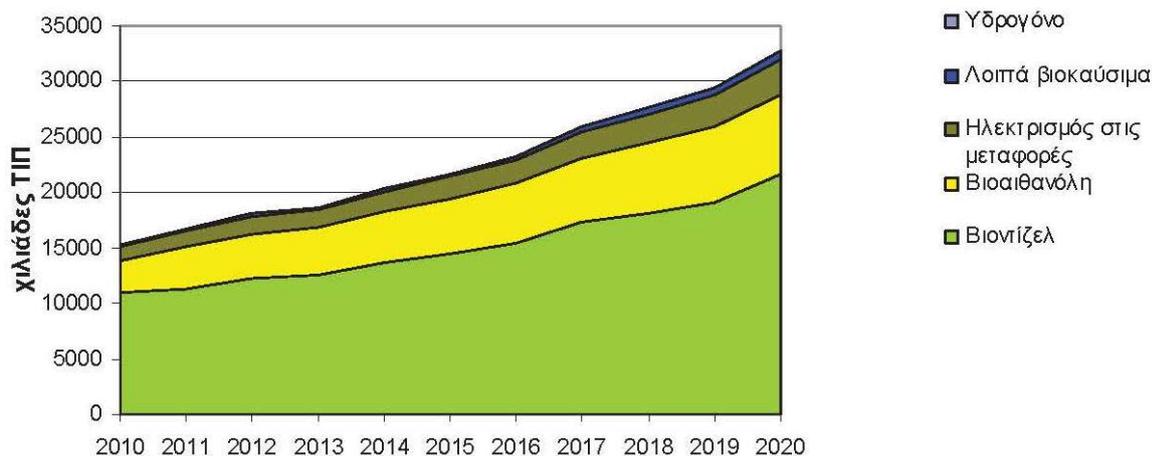


Εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών για θέρμανση και για ψύξη στην ΕΕ



Σχήμα 9: Εξέλιξη των ΑΠΕ στην ΕΕ (πηγή ΕΕ. Η πρόοδος προς την επίτευξη του στόχου για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές το 2020).

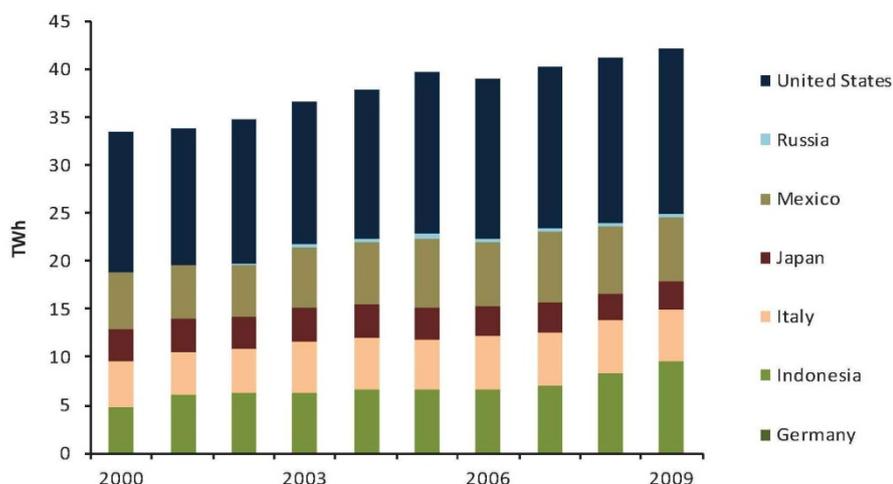
Εξέλιξη των ανανεώσιμων πηγών για τις μεταφορές στην ΕΕ



1.2.7. Γεωθερμία

Οι κύριες ανάγκες τις οποίες καλούνται να καλύψουν οι γεωθερμικές τεχνολογίες, αξιοποιώντας τη γεωθερμική ενέργεια, αναλύονται σε ηλεκτροπαραγωγή και κάλυψη κυρίως θερμικών αναγκών. Επίσης η αξιοποίηση της σταθερής θερμοκρασίας του εδάφους σε μικρά βάθη με συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας καλύπτει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης.

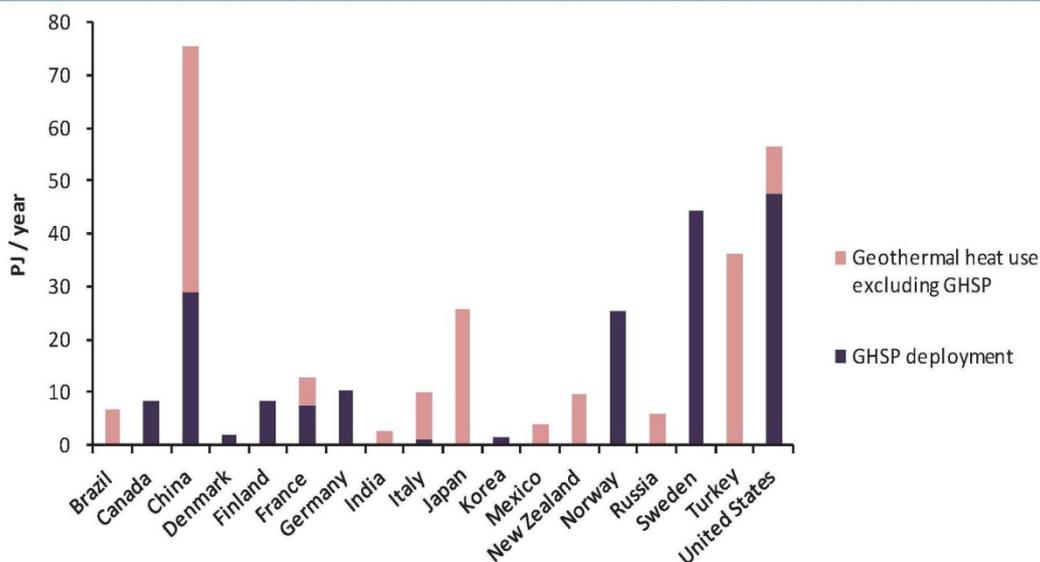
Figure 24. Geothermal electricity production in CEM countries (TWh)



Source: Country submissions and Bertani, 2010.

Σχήμα 10: Ηλεκτροπαραγωγή από Γεωθερμία (πηγή IEA Clean energy Progress Report 2011).

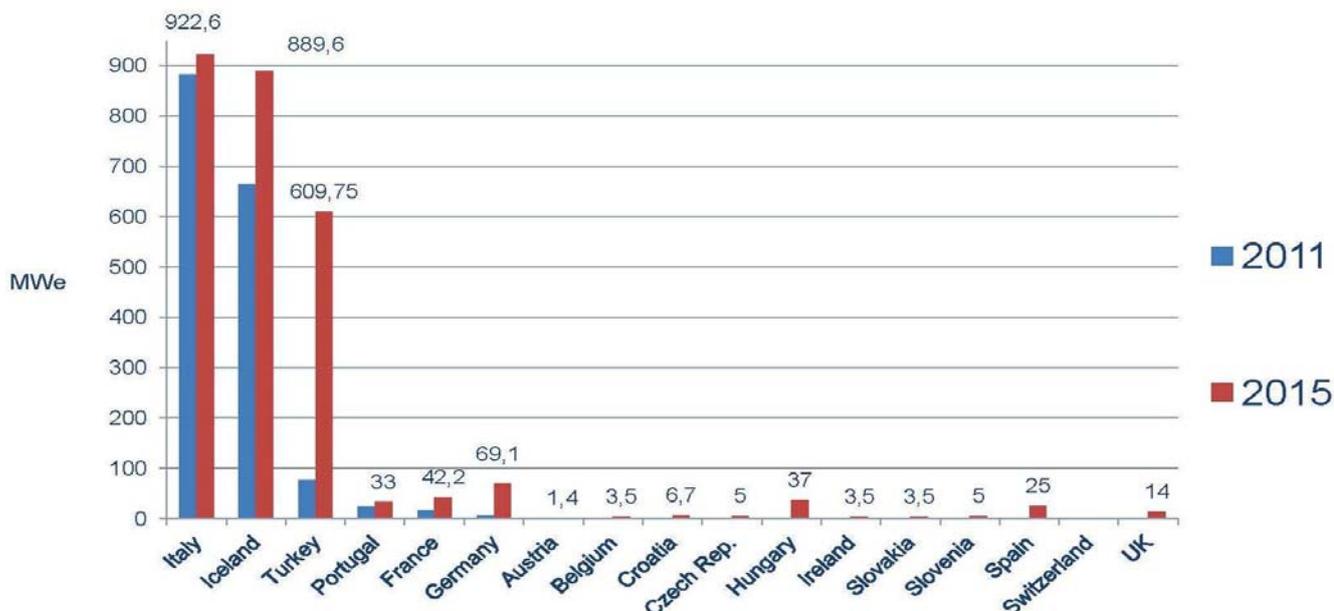
Figure 25. Top 15 countries using geothermal heat, excluding heat pumps, 2009



Source: Lund et al., 2010.

Σχήμα 11: Θερμική αξιοποίηση Γεωθερμίας και Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (πηγή IEA Clean energy Progress Report 2011).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η ηλεκτροπαραγωγή περιγράφεται στο σχήμα 12 σύμφωνα με το European Geothermal Energy Council (EGEC) και την έκθεσή του Deep Geothermal Market Report 2011.



Σχήμα 12: Εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρώπη (πηγή EGEC Deep Geothermal Market Report 2011).

1.2.8. ΑΠΕ – Γεωθερμία στην Ελλάδα

Η εξέλιξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα ενεργοποιήθηκε χάρη στην Ευρωπαϊκή οδηγία 28/2009 και τον επακόλουθο νόμο «ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3851 Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΦΕΚ Α'/85/4-6-2010)».

Αναλυτική περιγραφή της προόδου βρίσκεται στην ετήσια έκθεση της υπηρεσίας ΑΠΕ «Ετήσια Έκθεση της Υπηρεσίας Α.Π.Ε. Έτος 2010». Σημειώνεται ότι ενώ η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δώσει ιδιαίτερη βαρύτητα και στους τομείς της εξοικονόμησης, της θέρμανσης-ψύξης και στις μεταφορές, στην Ελλάδα σχεδόν αποκλειστικό τομέα των ΑΠΕ αποτελεί η ηλεκτροπαραγωγή.

Σύμφωνα με την «Απόφαση για την επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και την κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Αριθ. Α.Υ./Φ1/οικ.19598/ΦΕΚ Β'/1630/11-10-2010)» καθορίστηκε ο πίνακας του σχήματος 13.

	2014	2020
Υδροηλεκτρικά	3700	4650
Μικρά (0-15MW)	300	350
Μεγάλα (>15MW)	3400	4300
Φωτοβολταϊκά	1500	2200
Εγκαταστάσεις από επαγγελματίες αγρότες της περίπτωσης (β) της παρ. 6 του άρθ. 15 του ν.3851/2010	500	750
Λοιπές Εγκαταστάσεις	1000	1450
Ηλιοθερμικά	120	250
Αιολικά (περιλαμβανομένων θαλασσίων)	4000	7500
Βιομάζα	200	350

Πίνακας 1. Όρια εγκατεστημένης ισχύος (MW) ανά τεχνολογία Α.Π.Ε. και κατηγορία παραγωγού.

Σχήμα 13: Απόφαση για την επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και την κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Αριθ. Α.Υ./Φ1/οικ.19598/ΦΕΚ Β'/1630/11-10-2010).

Η γεωθερμία δεν συμπεριλαμβάνεται στην ηλεκτροπαραγωγή και οι στόχοι για την θερμική αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας δεν είναι καθορισμένοι.

1.3. Βασικές έννοιες – Ορισμοί της γεωθερμικής ενέργειας

Οι βασικές έννοιες και οι ορισμοί της γεωθερμικής ενέργειας είναι σύμφωνες με το Νόμο 3175/2003 (ΦΕΚ Α' 207) υπό τον τίτλο «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις».

Σκοπός του νόμου αυτού ήταν η δημιουργία των προϋποθέσεων για την ορθολογική αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας, ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

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).

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

Προϊόν του γεωθερμικού πεδίου θεωρείται το αξιοποιήσιμο θερμοενεργειακό του περιεχόμενο.

Παραπροϊόντα θεωρούνται άλλα προϊόντα που συμπαραγονται εκτός από το θερμοενεργειακό περιεχόμενο του πεδίου.

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

Τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

Χαμηλής θερμοκρασίας όταν η θερμοκρασία του προϊόντος κυμαίνεται από 25°C-90°C.

Υψηλής θερμοκρασίας όταν η θερμοκρασία του προϊόντος υπερβαίνει τους 90°C.

Βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο είναι το πεδίο του οποίου τα χαρακτηριστικά είναι πιστοποιημένα με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας με ερευνητικές εργασίες. Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης καθορίζονται τα χαρακτηριστικά και ο βαθμός αξιοπιστίας των εκτιμήσεων προκειμένου ένα γεωθερμικό πεδίο να χαρακτηριστεί βεβαιωμένο.

Πιθανό γεωθερμικό πεδίο είναι το πεδίο, του οποίου τα χαρακτηριστικά εκτιμώνται από προκαταρκτικά ερευνητικά έργα. Με την υπουργική απόφαση της προηγούμενης περιπτώσεως καθορίζονται τα χαρακτηριστικά και ο βαθμός αξιοπιστίας των εκτιμήσεων προκειμένου ένα γεωθερμικό πεδίο να χαρακτηριστεί πιθανό.

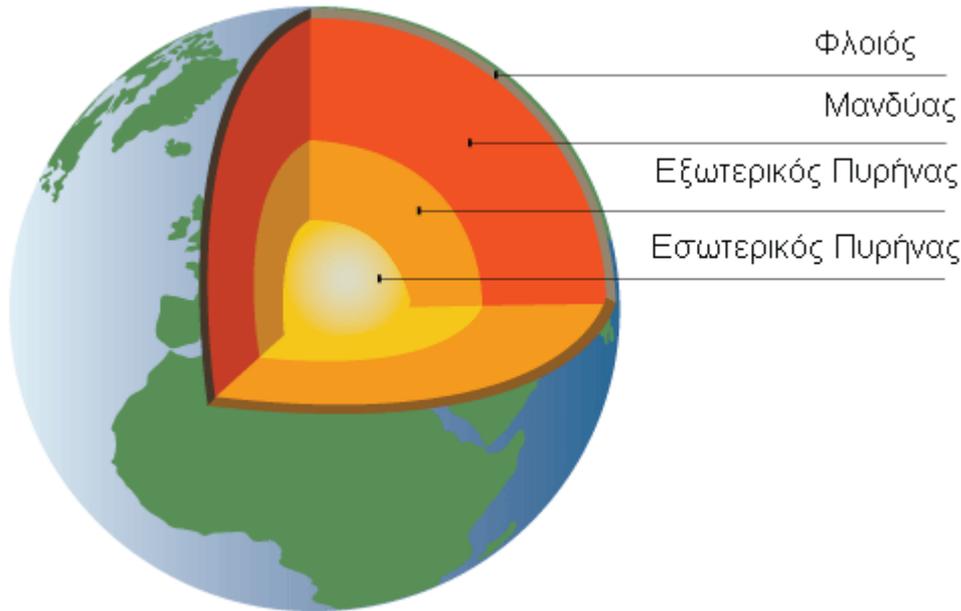
Διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στην παραγωγική εξόρυξη του γεωθερμικού ρευστού, την ορθολογική αξιοποίηση προϊόντος και παραπροϊόντων, τη διανομή και ελεύθερη διάθεσή του σε τρίτους για κάθε είδους εφαρμογές και την περιβαλλοντικά συμβατή διάθεση των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

1.4. Σύντομο ιστορικό για την εξέλιξη της χρήσης της Γεωθερμίας

Η ύπαρξη των ηφαιστείων, των θερμών πηγών και των άλλων φαινομένων έκχυσης θερμότητας από το υπέδαφος στην επιφάνεια του πλανήτη οδήγησε τους ανθρώπους από τα χρόνια της αρχαιότητας στο συμπέρασμα ότι το εσωτερικό της γης είναι θερμό. Όμως, μόνο κατά την περίοδο μεταξύ του 16^{ου} και 17^{ου} αιώνα, όταν δηλαδή κατασκευάστηκαν τα πρώτα μεταλλεία σε βάθος μερικών εκατοντάδων μέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, οι άνθρωποι με τη βοήθεια ορισμένων απλών φυσικών παρατηρήσεων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος.

Οι πρώτες μετρήσεις με θερμόμετρο έγιναν κατά πάσα πιθανότητα το 1740, σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας (Bulland, E.C., 1965). Ήδη από το 1870, για τη μελέτη της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης χρησιμοποιούνταν ορισμένες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι, αλλά το θερμικό ισοζύγιο που διέπει τη Γη κατανοήθηκε καλύτερα τον 20^ο αιώνα, με την ανακάλυψη του ρόλου της ραδιενεργής θερμότητας. Σήμερα όλα τα σύγχρονα πρότυπα (μοντέλα) που εξετάζουν τη θερμική κατάσταση στο εσωτερικό της Γης λαμβάνουν υπόψη τη θερμότητα που παράγεται συνεχώς από τη διάσπαση των μακράς διάρκειας ζωής ραδιενεργών ισοτόπων του ουρανίου (U^{238} , U^{235}), του θορίου (Th^{232}) και του καλίου (K^{40}), τα οποία υπάρχουν στο εσωτερικό της (Lubimova, E.A., 1968). Εκτός όμως από τη ραδιενεργό θερμότητα, υπάρχουν και άλλες δυναμικές πηγές θερμικής ενέργειας, όπως είναι η αρχέγονη ενέργεια από την εποχή της δημιουργίας και μεγέθυνσης του πλανήτη που δρουν αθροιστικά, σε απροσδιόριστες όμως ποσότητες.

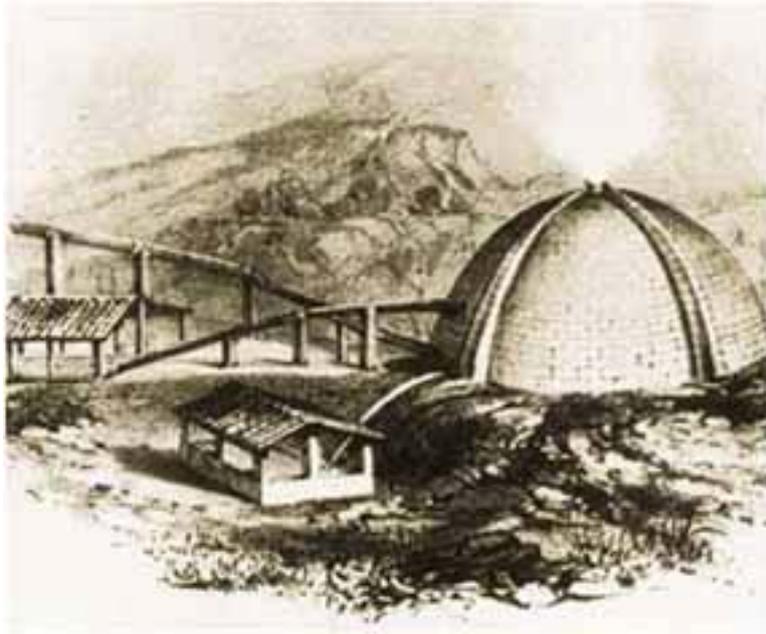
Τα μοντέλα αυτά μέχρι και τη δεκαετία του 1980 δεν βασίζονταν σε κάποιες ρεαλιστικές θεωρίες. Τότε όμως αποδείχθηκε ότι αφενός δεν υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ της ραδιενεργής θερμότητας που δημιουργείται στο εσωτερικό της γης και της θερμότητας που διαφεύγει από τη γη προς το διάστημα και αφετέρου ότι η Γη ψύχεται με αργό ρυθμό και στο εσωτερικό της. Έτσι η θερμοκρασία του μανδύα δεν έχει μειωθεί περισσότερο από 300-350°C τα τελευταία 3 δισεκατομμύρια χρόνια και παραμένει περίπου στους 4000°C στη βάση του, Σχήμα 14. Έχει υπολογιστεί ότι το συνολικό θερμικό περιεχόμενο της γης (για θερμοκρασίες πάνω από τη μέση επιφανειακή των 15°C) είναι της τάξης των $12,6 \times 10^{24}$ MJ και του φλοιού $5,4 \times 10^{21}$ MJ (Armstead, H.C.H., 1983).



Σχήμα 14: Ο φλοιός, ο μανδύας και ο πυρήνας της Γης [<http://www.bbc.co.uk>]

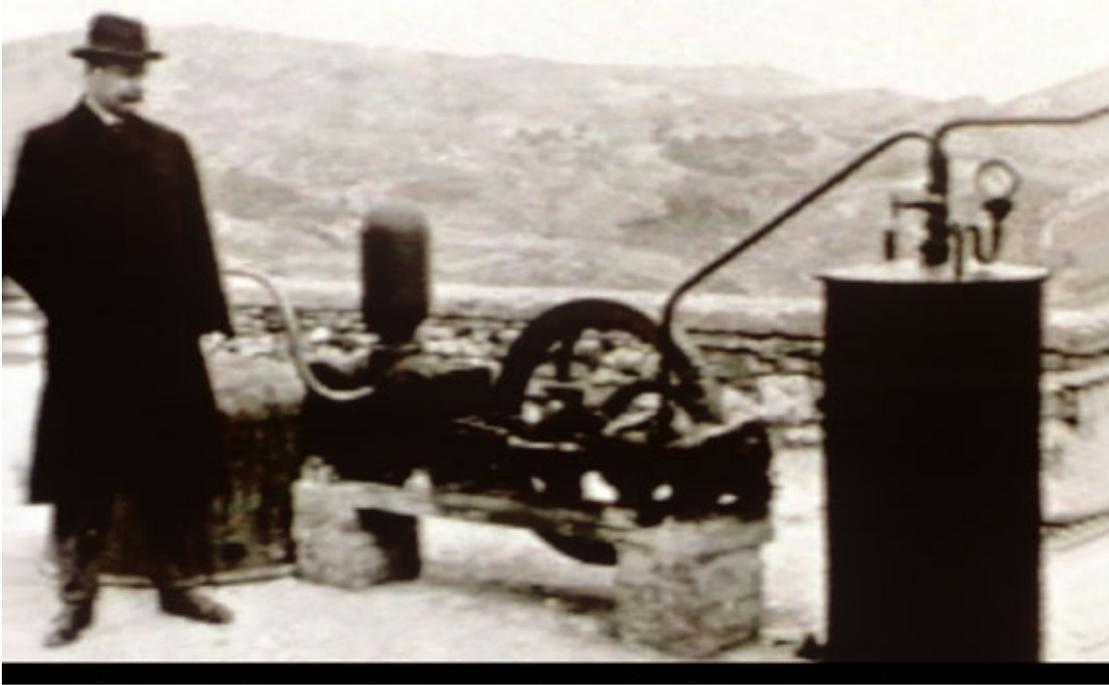
Όπως λοιπόν προκύπτει από τα παραπάνω, η θερμική ενέργεια της γης είναι απέραντη, όμως ένα μόνο τμήμα αυτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί τελικά από τον άνθρωπο. Μέχρι σήμερα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έχει περιοριστεί σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επιτρέπουν σε ένα φορέα θερμότητας (νερό σε υγρή ή αέρια φάση) να μεταδώσει τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην επιφάνεια του εδάφους ή κοντά σε αυτήν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι γεωθερμικοί πόροι (geothermal resources). Πιθανώς, στο άμεσο μέλλον, νέες πρωτοποριακές και καινοτόμες τεχνολογίες θα προσφέρουν καινούργιες προοπτικές στον τομέα αυτόν.

Σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας οι πρακτικές εφαρμογές προηγούνται της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογικής ανάπτυξης. Η γεωθερμία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του φαινομένου αυτού, καθώς η αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχόμενου των γεωθερμικών ρευστών γινόταν ήδη από τις αρχές του 19^{ου} 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 σε σιδερένιους λέβητες οι οποίοι χρησιμοποιούσαν ως καύσιμη ύλη ξύλα από τα κοντινά δάση. Το 1827, ο Francesco Larderel, ιδρυτής της βιομηχανίας αυτής, αντί να καταναλώνει ξύλα από τα διαρκώς αποψιλούμενα δάση της περιοχής, ανέπτυξε ένα σύστημα που επέτρεπε τη χρήση της θερμότητας των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης, Σχήμα 15.



Σχήμα 15: Η καλυμμένη λιμνούλα (covered lagoon), που χρησιμοποιούνταν κατά το πρώτο μισό του 19^{ου} αιώνα στην περιοχή του Larderello, για τη συλλογή των βοριούχων υδάτων και την παραγωγή βορικού οξέος [<http://architecture.mit.edu>]

Η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του φυσικού ατμού ξεκίνησε περίπου την ίδια περίοδο. Ο γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιήθηκε για την ανέλκυση των ρευστών, αρχικά με πρωτόγονους αέριους ανυψωτήρες και στη συνέχεια με παλινδρομικές και φυγοκεντρικές αντλίες και βαρούλκα. Ανάμεσα στο 1850 και 1875, οι εγκαταστάσεις του Larderello κατείχαν το μονοπώλιο παραγωγής βορικού οξέος στην Ευρώπη. Μεταξύ του 1910 και του 1940, στην περιοχή αυτή της Τοσκάνης, χαμηλής πίεσης ατμός άρχισε να χρησιμοποιείται για τη θέρμανση βιομηχανικών κτιρίων, κατοικιών και θερμοκηπίων. Εν τω μεταξύ, ολοένα και περισσότερες χώρες άρχισαν να αξιοποιούν τους γεωθερμικούς τους πόρους σε βιομηχανική κλίμακα. Το 1892, το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλεθέρμανσης τέθηκε σε λειτουργία στο Boise του Άινταχο των Η.Π.Α.. Το 1928, μια άλλη πρωτοπόρος χώρα στην εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η Ισλανδία, ξεκίνησε επίσης την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών (κυρίως θερμών νερών) για τη θέρμανση κατοικιών.



Σχήμα 16: Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό. Διακρίνεται επίσης ο εφευρέτης της, πρίγκηπας Piero Ginori Conti [<http://geothermal.marin.org>]

Η πρώτη απόπειρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό έγινε το 1904 και πάλι στο Larderello της Ιταλίας, Σχήμα 16. Η επιτυχία αυτής της πειραματικής προσπάθειας έδωσε μια ξεκάθαρη ένδειξη για τη βιομηχανική αξία της γεωθερμικής ενέργειας και σηματοδότησε την έναρξη της εκμετάλλευσης ενός νέου φυσικού πόρου, που επρόκειτο να αναπτυχθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια. Το 1942, η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς σε σταθμούς που χρησιμοποιούσαν τη γεωθερμία ανερχόταν στα 127,65 MWe. Σύντομα, πολλές χώρες ακολούθησαν το παράδειγμα της Ιταλίας. Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Βερρυ 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.

1.5. Νομικό πλαίσιο για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας

Το νομικό πλαίσιο που διέπει την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας απαρτίζεται από νόμους, προεδρικά διατάγματα και υπουργικές αποφάσεις ανάλογα με τη χρήση αυτής.

Στις επόμενες υποενότητες αναπτύσσεται η ισχύουσα νομοθεσία ανάλογα με τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας.

1.5.1. Ισχύουσα νομοθεσία (άμεσες χρήσεις)

Η ισχύουσα νομοθεσία που αφορά στην Ενεργειακή χρήση της γεωθερμικής ενέργειας αποτελείται από τους κάτωθι νόμους, προεδρικά διατάγματα και υπουργικές αποφάσεις:

- Ν. 3175/03 ΦΕΚ 207 Α' 29-8-2003 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση, κ.α. διατάξεις»
- Υ. Α. Υπ. Αν. με αρ. Δ9Β/Φ166/οικ1508/ΓΔΦΠ374/10/27-1-2004, ΦΕΚ 208Β', 5-2-2004 «Χαρακτηρισμός των Γεωθερμικών Πεδίων».
- Υ. Α. Υπ. Αν. με αρ. Δ9Β,Δ/Φ166/ΟΙΚ18508/5552/207/19-10-2004, ΦΕΚ 1595Β', 25-10-2004, «Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης ή ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό».
- Υ. Α. Υπ. Αν. με αρ. Δ9Β/Φ166/οικ8411/ΓΔΦΠ2373/117/6-5-2005, ΦΕΚ 635Β', 12-5-2005 «Όροι και διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος του Δημοσίου για έρευνα και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού και της εν γένει διαχείρισης των γεωθερμικών πεδίων της χώρας».
- Υ. Α. Υπ. Αν. με αρ. Δ9Β/Φ166/12647/ΓΔΦΠ3557/193/8-7-2005, ΦΕΚ 1012Β', 19-7-2005, «Χαρακτηρισμός και υπαγωγή σε κατηγορίες των γεωθερμικών πεδίων της χώρας».
- Υ. Α. Υπ. Αν. με αρ. Δ9Β/Φ166/οικ20076/ΓΔΦΠ5258/329/24-10-2005, ΦΕΚ 1530Β', 7-11-2005 «Κανονισμός Γεωθερμικών Εργασιών».
- Π.Δ. με αρ. 78, ΦΕΚ 80Α'/13-4-2006, «Διάρθρωση, στελέχωση και αρμοδιότητες της Διεύθυνσης Ανάπτυξης των Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων».

Σε ότι αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή ισχύουν τα παρακάτω :

- Ν. 3468/2006, ΦΕΚ 129 Α' «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης
- και λοιπές διατάξεις»
- Υ.Α. Υπ. Αν. Δ6/Φ1/οικ.18359/14-9-2006,ΦΕΚ 1442Β' «Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων αγοραπωλησίας ηλεκτρικής ενέργειας στο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 12 παρ. 3 του Ν.3468/2006».
- Υ.Α. Υπ.Αν. Δ6/Φ1/οικ.1725/25-1-2007, ΦΕΚ 148Β' «Καθορισμός τύπου και περιεχομένου συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με χρήση Α.Π.Ε. και μέσω Συμπαράγωγής ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης στο Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 12 παρ. 3 του Ν. 3468/2006».
- Υ.Α. Υπ. Αν. Δ6/Φ1/οικ.5707/13-3-2007 ΦΕΚ 448 Β' «Κανονισμός Αδειών Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση Α.Π.Ε. και μέσω Συμπαράγωγής ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης».

- Υ.Α. Υπ.Αν. Δ6/Φ1/οικ.13310/18-6-2007 ΦΕΚ 1153 Β' «Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση Α.Π.Ε.».

Η διαδικασία εκμίσθωσης του γεωθερμικού δυναμικού απαρτίζεται από τους κάτωθι νόμους και υπουργικές αποφάσεις:

- Νόμος 3175/2003 (ΦΕΚ.207Α/29-8-2003) «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανσης και άλλες διατάξεις»
- Νόμος 1475/1984 (ΦΕΚ.131Α/11-9-1984) «Αξιοποίηση Γεωθερμικού Δυναμικού όπως τροποποιήθηκε με το Ν.2244/94 (άρθρο 8))ΦΕΚ.168Α/7-10-94)
- Μεταλλευτικός Κώδικας Ν.Δ.210/73 (ΦΕΚ.277Α/5-10-73 και ΦΕΚ.295Α/24-10-73)
- Η Υ.Α Δ9Β/Φ166/οικ1508/ΓΔΦΠ374/10/27.1.2004 (ΦΕΚ.208Β) «Χαρακτηρισμός γεωθερμικών πεδίων»
- Η Υ.Α.Δ9Β/Φ166/12647/ΓΔΦΠ3557/193/19-7-2005 (ΦΕΚ. 1012Β) «Χαρακτηρισμός και υπαγωγή σε κατηγορίες των γεωθερμικών πεδίων της χώρας»
- Η Υ.Α. Δ9Β/Φ166/ΟΙΚ8411/ΓΔΦΠ2373/117/12-5-2005 (ΦΕΚ.635Β) «Όροι και διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος του Δημοσίου για έρευνα και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού και της εν γένει διαχείρισης των γεωθερμικών πεδίων της Χώρας»
- Η Υ.Α. Δ9Β/Φ166/ΟΙΚ20076/ΓΔΦΠ5258/359/7-11-2005 (ΦΕΚ.1530Β) «Κανονισμός Γεωθερμικών Εργασιών»

1.5.2. Βασικοί ορισμοί του Ν. 3175

Ο νόμος 3175/03 αντικατέστησε το Ν. 1475/84 ο οποίος είχε για πρώτη φορά εισαγάγει **Βασικές διατάξεις σχετικά με δικαιώματα αναζητήσεως, έρευνας & εκμεταλλεύσεως του γεωθερμικού δυναμικού & εκμισθώσεως γεωθερμικών πηγών.**

Ο παλαιότερος νόμος είχε θεωρηθεί ως αναχρονιστικός και δεν συνέβαλε στην παραπέρα ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας.

Η ουσιαστική εφαρμογή της νέας νομοθεσίας άρχισε περί το τέλος του 2005 οπότε ολοκληρώθηκε η έκδοση των προβλεπόμενων υπουργικών αποφάσεων.

Σκοπός του Νόμου είναι η δημιουργία των προϋποθέσεων για την ορθολογική αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού της χώρας, ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας η οποία προωθεί τη βιώσιμη ανάπτυξη και εξυπηρετεί το γενικό συμφέρον.

Αξιοποίηση θεωρείται η έρευνα, εκμετάλλευση και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού και βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο είναι το πεδίο, του οποίου τα χαρακτηριστικά είναι πιστοποιημένο με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας με ερευνητικές εργασίες.

Πιθανό γεωθερμικό πεδίο είναι το πεδίο, του οποίου τα χαρακτηριστικά εκτιμώνται από προκαταρκτικά ερευνητικά έργα ενώ Διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου, είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων, που αποσκοπούν στην παραγωγική εξόρυξη του γεωθερμικού ρευστού, την ορθολογική αξιοποίηση του προϊόντος και παραπροϊόντων, τη δια-

νομή και ελεύθερη διάθεση τους σε τρίτους, για κάθε είδους εφαρμογές και την περιβαλλοντικά συμβατή διάθεση των υποπροϊόντων.

Γεωθερμικό πεδίο χαμηλής θερμοκρασίας είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό που η θερμοκρασία του προϊόντος κυμαίνεται από 25°C – 900°C και το δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού και των γεωθερμικών πεδίων ανήκει, κατά την έννοια του άρθρου 143 του Ν.Δ.210/1973, μόνο στο Δημόσιο.

Το δικαίωμα του Δημοσίου για έρευνα και διαχείριση γεωθερμικού δυναμικού, εκμισθώνεται ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό με γραπτές σφραγισμένες προσφορές ενώ για χώρους που δεν έχουν ερευνηθεί ή για πιθανά γεωθερμικά πεδία εκμισθώνεται το δικαίωμα της έρευνας.

Στην περίπτωση των Βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων εκμισθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης.

Για την εγκατάσταση δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους (τηλεθέρμανση ή τηλεψύξη) απαιτείται Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας.

Δικαιώματα έρευνας ή εκμετάλλευσης γεωθερμικού δυναμικού, που έχουν εκμισθωθεί ή παραχωρηθεί μέχρι την θέσπιση του νόμου αυτού, παραμένουν ισχυρά με τους ίδιους όρους.

1.5.3. Νεωτερισμοί του Ν. 3175/03 και των σχετικών Υπ. Αποφάσεων

Ο Ν. 3175/03 αντιμετωπίζει το γεωθερμικό πεδίο ενιαία ως «κοίτασμα» για τη διαχείριση του και δίνει τη δυνατότητα μίσθωσης του συνολικού πεδίου ενώ οι επί μέρους μισθώσεις διακόπτονται.

Καταργεί τις ανισότητες που πλήττουν τον ανταγωνισμό (υπέρ δημόσιων επιχειρήσεων, ΟΤΑ, κ.α.) και παρέχει τη δυνατότητα πώλησης γεωθερμικής ενέργειας.

Διαχωρίζει τα βεβαιωμένα από τα πιθανά και άγνωστα γεωθερμικά πεδία Χαμηλής (25-90°C) και υψηλής (>90°C) ενθαλπίας και προβλέπει τις διαδικασίες αδειοδότησης Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας.

1.5.4. Αποτελέσματα νέας νομοθεσίας (Γεωθερμίας)

Το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από την ολοκλήρωση νομοθετημάτων (τέλος 2005) είναι μικρό για να κριθεί η νέα νομοθεσία. Όμως μπορούν να διαφανούν κάποια θετικά σημεία, όπως:

- Η ταχύτερη ανάπτυξη των Γ.Α.Θ. παρά την ανυπαρξία οικονομικών κινήτρων και φοροαπαλλαγών.
- Η πρώτη μίσθωση γεωθερμικού πεδίου με σύντομες διαδικασίες (Χρυσούπολη).
- Το ενδιαφέρον μεγάλων ξένων εταιριών για ηλεκτροπαραγωγή.

1.5.5. Ισχύουσα νομοθεσία ιαματικής χρήσης

Σε ότι αφορά στην Ιαματική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας ισχύουν τα κάτωθι:

- Ν. 3498/06 περί «Ανάπτυξης του Ιαματικού Τουρισμού» και
- Υ. Α. του Υπ. Τουρ. Αν. με αρ. 16655/22-12-2006, ΦΕΚ Β1932/29-12-2006, περί «Διαδικασίας Αναγνώρισης Ιαματικών Φυσικών Πόρων».

- Υ.Α. του Υπ. Τουρ. Αν. με αρ. 4530/13-3-2007, «Συγκρότηση της Επιτροπής Προστασίας Ιαματικών Φυσικών Πόρων του άρθρου 10 του Ν. 3498/2006».

Σχετικά με το Ν. 3498/06 περί «Ανάπτυξης του Ιαματικού Τουρισμού» σημειώνεται ότι:

- Από τις προβλεπόμενες στο νόμο αρκετές Υπουργικές Αποφάσεις έχουν εκδοθεί μόνο δύο (Αναγνώριση Ιαματικών Φυσικών Πόρων και σύσταση επιτροπής προστασίας) και επίκειται εντός μηνός περίπου η έκδοση μίας ακόμη (Κανονισμός Λειτουργίας και Ειδικό Σήμα λειτουργίας των ΚΙΤ, ΜΙΘ, ΜΘΛ και ΣΠΑ).
- Ουσιαστικά η νέα νομοθεσία δεν λειτούργησε πλήρως ακόμη.
- Η μόνη εφαρμογή ήταν στη σύσταση της προβλεπόμενης «Επιτροπής Προστασίας Ιαματικών Φυσικών Πόρων», η οποία λειτουργεί κανονικά.
- Αρχισε η σύνταξη των απαιτούμενων μελετών ορισμένων ιαματικών πηγών για την προβλεπόμενη αναγνώριση του ιαματικού φυσικού πόρου που χρησιμοποιείται στα λουτροθεραπευτήρια.

1.5.6. Νεωτερισμοί του Ν. 3498/06 και των σχετικών Υπ. Αποφάσεων

Ο Ν.3498/06 εκσυγχρονίζει την ισχύουσα από το 1920 νομοθεσία δημιουργώντας ενιαίο θεσμικό πλαίσιο για όλες τις μορφές ιαματικού τουρισμού.

Προβλέπει τη λειτουργία SPA και παρέχει τη δυνατότητα πώλησης και διανομής ιαματικού νερού.

Καταργεί τη διάκριση μεταξύ πηγών τουριστικής και τοπικής σημασίας και καθορίζει ζώνες προστασίας του ιαματικού φυσικού πόρου με βάση τα ιδιαίτερα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης.

Παρέχει τη δυνατότητα χρήσης του θερμού νερού για θέρμανση των χώρων του λουτροθεραπευτηρίου.

Ορίζει ότι ο διανομέας ιαματικού νερού δεν μπορεί να είναι και χρήστης και οποιαδήποτε πηγή αναγνωριστεί εφεξής ανήκει στον Ε.Ο.Τ. ο οποίος την εκμισθώνει με διαδικασία που θα ορίσει Υπ. Απόφαση. Επίσης ορίζει ότι υποχρέωση αναγνώρισης έχουν και όσοι διαχειρίζονται ιαματικές πηγές με βάση το προηγούμενο θεσμικό πλαίσιο.

Καθιερώνει Γενικό Μητρώο Ιαματικών Φυσικών Πόρων στον ΕΟΤ.

1.5.7. Προβλήματα του Ν. 3498/06

Τα προβλήματα που απορρέουν από την εφαρμογή του Ν.3498/06 είναι:

- Ο Διανομέας Ιαματικών Πόρων δεν μπορεί να είναι και χρήστης.
- Οι Ιαματικοί Πόροι που αναγνωρίζονται μετά την ισχύ του Ν.3498/06 ανήκουν κατά κυριότητα στον ΕΟΤ (άρθρ. 6, παρ. 1), ο οποίος δύναται να προβαίνει στην παραχώρηση της εκμετάλλευσής τους σε τρίτους μετά την προκήρυξη δημόσιου διαγωνισμού (άρθρ. 15, παρ. 1).
- Οι ήδη υφιστάμενες παραχωρήσεις της εκμετάλλευσής των ιαματικών πόρων στους ΟΤΑ, παρατείνεται μόνο για 20 έτη συνολικά (10+10)!
- Για τον καθορισμό της ζώνης προστασίας κάθε μιας ιαματικής πηγής προβλέπεται η έκδοση Π.Δ. αντί της απλούστερης Υ.Α. (άρθρ. 9, παρ. 2)!!
- Δεν εξασφαλίζεται η ενιαία διαχείριση του ιαματικού πόρου (στην ουσία γεωθερμικού πεδίου) επειδή ο ΕΟΤ μπορεί να προβαίνει σε μία ή περισσότερες παραχωρήσεις εκμετάλλευσής για κάθε ιαματική πηγή (άρθρ. 15, παρ. 2). Στο Ν.3175/2003 επιτρέπεται η μίσθωση μόνο του συνόλου του βέβαιου ή πιθανού πεδίου.

1.5.8. Υπό Έκδοση Π. Δ. και Υπ. Αποφάσεις σε εφαρμογή Ν. 3498/2006

- Προεδρικά Διατάγματα για τον καθορισμό ζωνών προστασίας των ιαματικών φυσικών πόρων ανάλογα με τα υδρογεωλογικά δεδομένα και το περιβάλλον κάθε ιαματικής πηγής (άρθρ.9, παρ.2).
- Υ.Α. Καθορισμού των κριτηρίων και τρόπου διανομής των ιαματικών φυσικών πόρων (άρθρ. 3, παρ.5).
- Υ.Α. Ρύθμισης λεπτομερειών τήρησης του Γενικού Μητρώου Ιαματικών Φυσικών Πόρων (άρθρ. 7, παρ. 3).
- Υ.Α. Διαδικασία και όροι ανάθεσης της διαχείρισης των Ιαματικών Φυσικών Πόρων σε τρίτους (από τον ΕΟΤ, Άρθρ.13, παρ.1)
- Υ.Α. Κριτήρια διανομής ιαματικών φυσικών πόρων (άρθρ. 14, παρ. 6).
- Προεδρικό Διάταγμα ορισμού ελέγχων επιχειρήσεων ιαματικού τουρισμού.

Προβλέπεται η έκδοση οκτώ Π.Δ. και Υ.Α..

Μέχρι σήμερα έχουν εκδοθεί τρία ενώ τα υπόλοιπα πέντε είναι υπό επεξεργασία.

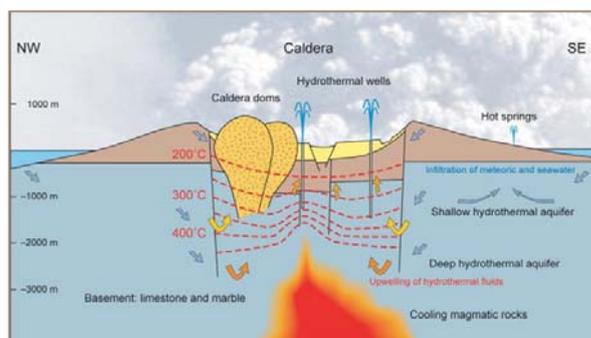
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ – ΓΕΝΙΚΑ

Επιμέλεια : Α. Μπαλτζή

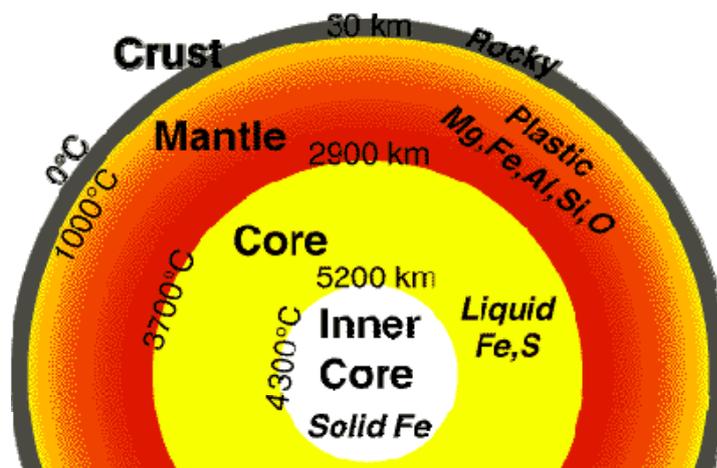
2.1. Γενικά

Γεωθερμία είναι ο εφαρμοσμένος επιστημονικός κλάδος που πραγματεύεται μεταξύ άλλων:

- τη μελέτη της γήινης ροής θερμότητας,
 - τις συνθήκες κατανομής των θερμοκρασιών στο υπέδαφος,
 - το μηχανισμό της κυκλοφορίας των υπόγειων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες, καθώς και τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά τους
 - τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με κατάλληλες παραγωγικές γεωτρήσεις
 - τις χρήσεις των θερμών ρευστών
- (Μ. Φυτίκας)



Σχήμα 17: Μορφές μετατόπισης των λιθοσφαιρικών πλακών



Σχήμα 18: Δομή της γης

Γεωθερμικοί πόροι (geothermal resources) είναι οι ποσότητες της θερμικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και σε κάποιο προσβάσιμο βάθος και μπορεί να ανακτηθεί με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας (Μ. Φυτίκας).

Γεωθερμική ενέργεια είναι στην κυριολεξία η θερμότητα που εμπεριέχεται στη γη, η οποία είναι τεράστια σε μέγεθος και δημιουργεί διάφορα γεωλογικά φαινόμενα (Μ. Φυτίκας).

Συνήθως με τον όρο «γεωθερμική ενέργεια», εννοούμε το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες (< 3 km) (Μ. Φυτίκας).

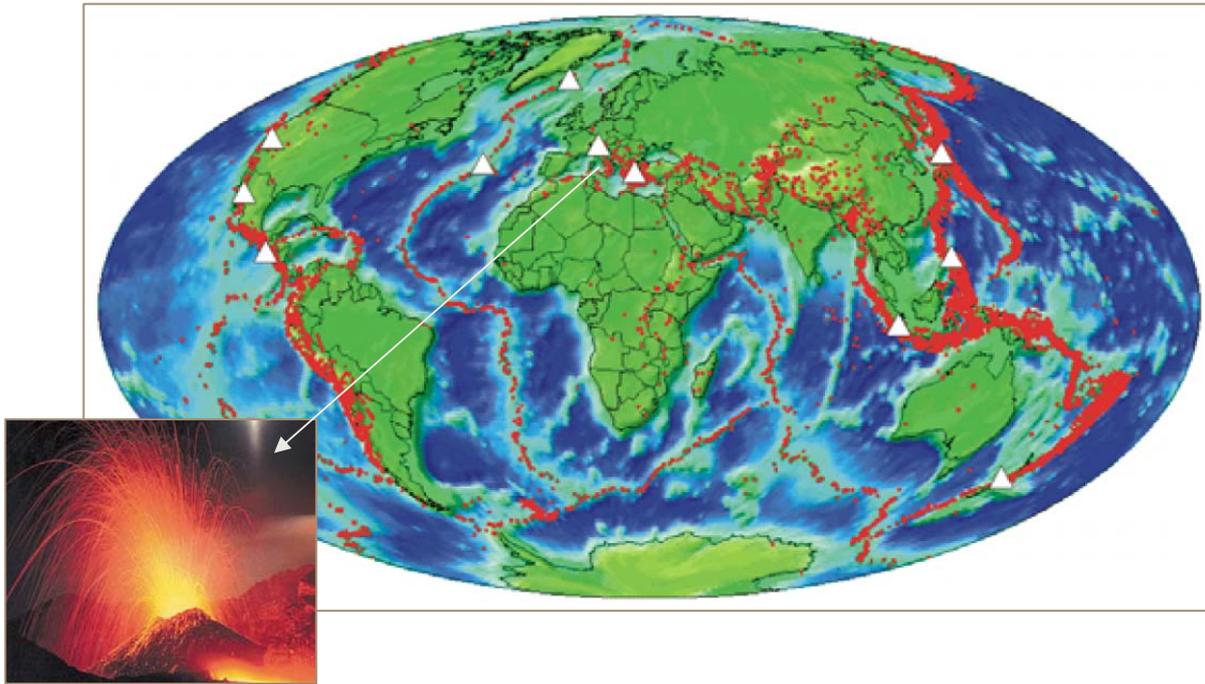
Η ενέργεια αυτή βρίσκεται συνήθως περιορισμένη σε μία γεωθερμική περιοχή ή πεδίο (geothermal area ή field) με συγκεκριμένα επιφανειακά όρια (Μ. Φυτίκας).

Ως γεωθερμική χρήση αναφέρεται η οικονομική εκμετάλλευση του ατμού ή των θερμών νερών (Μ. Φυτίκας).

Γεωθερμική βαθμίδα ονομάζεται ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της γης με το βάθος και η μέση τιμή της είναι 30°C ανά km (Μ. Φυτίκας).

2.1.1. Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης

- Ηφαιστειακές εκρήξεις: το εντυπωσιακότερο φυσικό φαινόμενο της γήινης θερμότητας



Σχήμα 19: Αίτνα

- Υδροθερμικοί ή φρεατικοί κρατήρες: σχηματίζονται ύστερα από «έκρηξη» υπέρθερμων γεωθερμικών ρευστών που βρίσκονται εγκλωβισμένα σε μικρό βάθος υπό πίεση, και τα οποία ανατινάζουν τα υπερκείμενα πετρώματα.



Σχήμα 20: Ο εντυπωσιακότερος υδροθερμικός κρατήρας, που έγινε σε ιστορικούς χρόνους και έχει το μυθολογικό όνομα του Πολυβώτη, βγάζει ακόμα υπέρθερμους ατμούς και θερμά αέρια

- Θερμές πηγές (hot springs): φυσικές έξοδοι ζεστού νερού, κάτω από ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, με θερμοκρασία μέχρι το σημείο ζέσεως του νερού.
 - Μερικές φορές εντυπωσιακή παροχή (π.χ. πηγές των Θερμοπυλών, ~ 1000 m³/h)



Σχήμα

21: Φωτογραφία των θερμών πηγών στις Θερμοπύλες Σχήμα 22: Νυμφόπετρα

- Αποθέσεις αλάτων όπως πυριτικές αποθέσεις, ανθρακικές αποθέσεις και τραβερτίνες (π.χ. Yellowstone National Park Η.Π.Α. και στο Pamukkale της Τουρκίας).



Σχήμα 23: Αποθέσεις ανθρακικών αλάτων από θερμές πηγές με το σχηματισμό εντυπωσιακών αναβαθμίδων στο Mammoth Springs, Yellowstone National Park, Η.Π.Α. και στο Pamukkale της Τουρκίας (η Ελληνιστική και Ρωμαϊκή πόλη της Ιεράπολης)

- Ατμίδες (fumaroles): αναδύσεις υπέρθερμων ατμών και αερίων που βγαίνουν από ρωγμές ή τρύπες του εδάφους χωρίς πίεση. Περιέχουν κυρίως CO_2 , SO_2 , H_2S κ.ά. Όταν περιέχουν αρκετές ποσότητες H_2S = θειωνίες (solfataras), όταν περιέχουν μόνο CO_2 = μοφέτες (mofettes).



Σχήμα 24: Ατμίδα

- Θερμά εδάφη (hot grounds): σχηματίζονται συνήθως από τη θερμική αγωγή των πετρωμάτων που παρεμβάλλονται μεταξύ της επιφάνειας της γης και των υποκείμενων αβαθών και θερμών ρευστών. Έχουν θερμοκρασίες που φτάνουν μέχρι και 100°C στην επιφάνεια του εδάφους. Στη Μήλο έχουμε μια τέτοια περιοχή με έκταση 15000 m², στη θέση «Χάρου Θειάφες» κοντά στον Αδάμαντα.
- Θερμοπίδακες (geysers): αποτελούν ειδική περίπτωση ζέουσων θερμών πηγών και δημιουργούνται από την κυκλοφορία υπέρθερμων υπόγειων νερών σε μικρό βάθος.
 - σχεδόν περιοδική και εντυπωσιακή μερικές φορές έκρηξη νερού και υδρατμών
 - ιδιαίτερα σπάνιο φαινόμενο και παρατηρούνται σε ενεργές ηφαιστειακά περιοχές (<1000 θερμοπίδακες σε όλο τον κόσμο, στις Η.Π.Α., Ρωσική Δημοκρατία, Ν. Ζηλανδία, Ισλανδία και Χιλή).



Σχήμα 25: Ο θερμοπίδακας Old Faithful στο Yellowstone National Park, Η.Π.Α

(Μ. Φυτίκας).

2.2. Γεωθερμικά Πεδία

Η συγκεντρωμένη στο εσωτερικό της γης θερμότητα μεταφέρεται κοντά στην επιφάνειά της μέσω γεωλογικών φαινομένων, δημιουργώντας έτσι υπέρθερμες περιοχές με γεω-

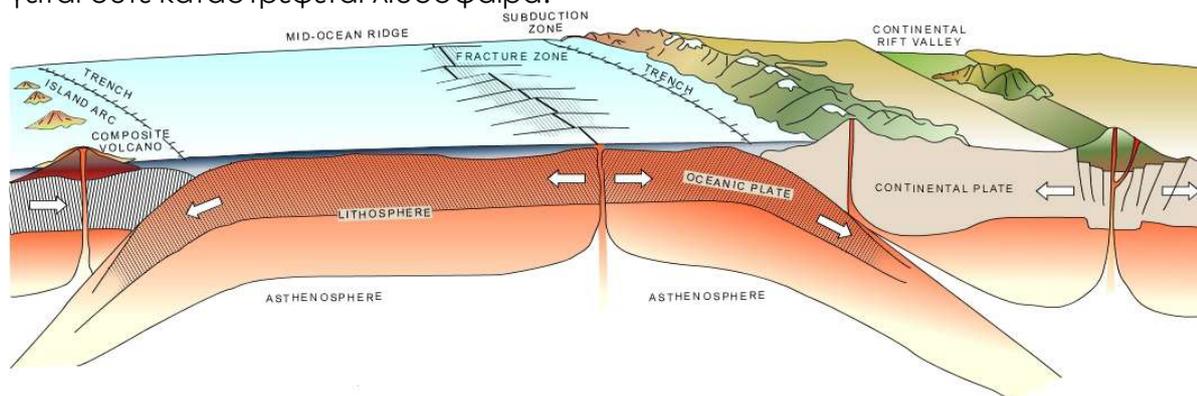
θερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από $700^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Το σημαντικότερο από αυτά τα γεωλογικά φαινόμενα είναι αυτό της κίνησης των λιθόσφαιρικών πλακών: Το εξωτερικό κέλυφος της γης, η λιθόσφαιρα, δεν είναι ενιαίο αλλά αποτελείται από πολλά κομμάτια, τις λιθόσφαιρικές πλάκες.

Οι πλάκες αυτές βρίσκονται σε μια διαρκή κίνηση που πραγματοποιείται με πολύ μικρή ταχύτητα, μερικά μόλις εκατοστά το χρόνο. Ανάλογα με τη σχετική κίνηση των πλακών, στα όριά τους παρατηρούνται τρία διαφορετικά φαινόμενα:

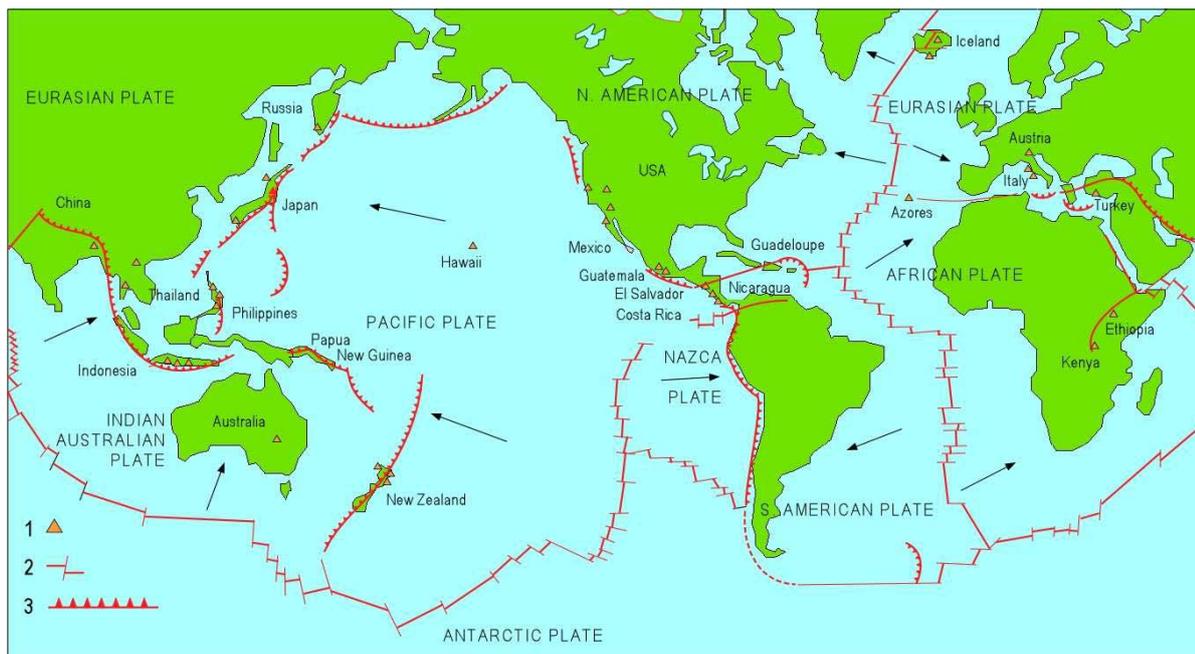
1. Οι δύο πλάκες αποκλίνουν, δηλαδή κινούνται έτσι που να απομακρύνονται η μια από την άλλη. Στο κενό που αφήνουν, αναβλύζει μάγμα που στερεοποιείται, γεμίζει το κενό και δημιουργεί καινούργια λιθόσφαιρα. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι λεγόμενες "ράχες".

2. Οι δύο πλάκες συγκλίνουν έτσι που η μια να βυθίζεται κάτω από την άλλη και τελικά να απορροφάται από το μανδύα ή να καταστρέφεται. Φαινόμενα τριβής στα όρια των πλακών έχουν σαν αποτέλεσμα, μέρος της μηχανικής ενέργειας να μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτή η θερμότητα εκτονώνεται με τη μορφή ηφαιστειακής δράσης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται οι "τάφροι". Στις τάφρους η λιθόσφαιρα καταστρέφεται με το ρυθμό που δημιουργείται στις ράχες.

3. Οι δύο πλάκες "γλιστρούν" η μια παράλληλα στην άλλη με τρόπο που ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται λιθόσφαιρα.



Σχήμα 26: Σχηματική τομή που δείχνει τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στις τεκτονικές Πλάκες (www.geothermal-energy.org).



Σχήμα 27: Τεκτονικές πλάκες, μεσωκεάνιες ράχες, ωκεάνιες τάφροι, ζώνες καταβύθισης και γεωθερμικά πεδία. Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών προς τις ζώνες καταβύθισης.

(1) Γεωθερμικά πεδία όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια

(2) Μεσωκεάνιες ράχες που τέμνονται από μεγάλα ρήγματα μετασχηματισμού

(3) Ζώνες καταβύθισης, όπου η βυθιζόμενη πλάκα κάμπτεται προς τα κάτω και λιώνει μέσα στην ασθενόσφαιρα (www.geothermal-energy.org).

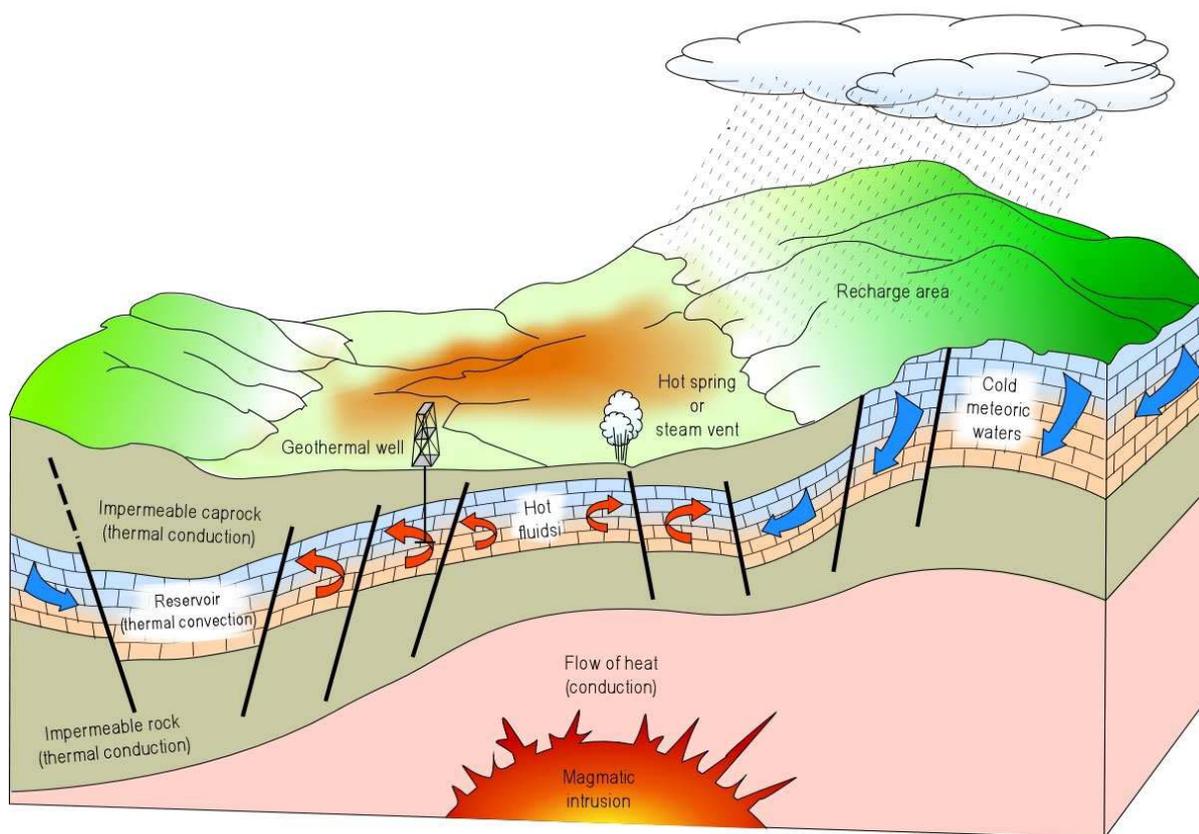
Τόσο οι "τάφροι" όσο και οι "ράχες" συνδέονται με ηφαιστειακή δράση και κατά συνέπεια με υπέρθερμες περιοχές. Γι' αυτό και τα σημαντικότερα γεωθερμικά πεδία εντοπίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές, δηλαδή στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, τις λεγόμενες "ζώνες σεισμικών εστιών". Περιοχές με μικρότερο γεωθερμικό ενδιαφέρον, δηλαδή με γεωθερμική βαθμίδα λίγο υψηλότερη από τη μέση, μπορεί να βρεθούν και εκτός των εν λόγω ζωνών.

Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε πως γεωθερμικά πεδία είναι οι περιοχές στις οποίες οι συνθήκες για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι ευνοϊκές. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι τα ακόλουθα (Κατσιφάρακης, 2009):

α) Αυξημένη (σε μικρό ή μεγάλο βαθμό) θερμική ροή. Αυτή συνδέεται με την ύπαρξη μαγματικού όγκου σε μικρό σχετικά βάθος.

β) Ύπαρξη υπόγειου υδροφορέα, σε βάθος μικρότερο των 3 km, ο οποίος θερμαίνεται από τον μαγματικό όγκο. Μεταξύ του υδροφορέα και της πηγής θερμότητας πρέπει να υπάρχουν θερμοπερατά στρώματα ή ρήγματα, που ευκολύνουν την κυκλοφορία ρευστών (Σχήμα 28).

γ) Ύπαρξη πρακτικά αδιαπέρατου, θερμικά και υδραυλικά, στρώματος πάνω από τον υδροφορέα, για την προστασία του θερμικού περιεχομένου του.



Σχήμα 28: Σχηματική παράσταση γεωθερμικού πεδίου (www.geothermal-energy.org).

Τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται, όπως και οι γεωθερμικές ενεργειακές πηγές, σε υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας (Πίνακας 2.1). Είναι φανερό ότι τα πεδία ψηλής ενθαλπίας είναι πολύ πιο αποδοτικά από οικονομική και τεχνική άποψη. Τα χαμηλής ενθαλπίας όμως είναι πολύ περισσότερα.

Είδος πηγής	(α)	(β)	(γ)	(δ)
Χαμηλής ενθαλπίας	$T < 90^{\circ}\text{C}$	$T < 125^{\circ}\text{C}$	$T < 100^{\circ}\text{C}$	$T \leq 150^{\circ}\text{C}$
Μέσης ενθαλπίας	$90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$	$125^{\circ}\text{C} < T < 225^{\circ}\text{C}$	$100^{\circ}\text{C} < T < 200^{\circ}\text{C}$	-
Υψηλής ενθαλπίας	$T > 150^{\circ}\text{C}$	$T > 225^{\circ}\text{C}$	$T > 200^{\circ}\text{C}$	$T > 150^{\circ}\text{C}$

Πίνακας 1: Ταξινόμηση γεωθερμικών πεδίων (Πηγή: Dickson and Fanelli (2004))
(α) Muffler and Cataldi (1978), (β) Hochstein (1990), (γ) Benderitter and Cormy (1990), (δ) Nicholson (1993).

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

ταλλεύσιμου γεωθερμικού πεδίου. Κατά συνέπεια, ένα φυσικό γεωθερμικό πεδίο είναι συνδυασμός θερμών πετρωμάτων και ύπαρξης νερού που να κυκλοφορεί μέσα σ' αυτά.

Το οικονομικό ενδιαφέρον των γεωθερμικών πεδίων, όπως και όλων των γεωθερμικών πηγών, εξαρτάται και από τη μέγιστη παροχή γεωθερμικού ρευστού που μπορεί να αντληθεί, χωρίς εξάντληση του νερού του θερμού υδροφορέα και χωρίς σημαντική μείωση της θερμοκρασίας του (δηλαδή με βιώσιμη διαχείριση της ανανεώσιμης ενεργειακής πηγής). Η παροχή αυτή εξαρτάται από τον όγκο και τη διαπερατότητα του υδροφόρου στρώματος, καθώς και από την τροφοδοσία του σε νερό και τη διαδικασία θέρμανσής του.

2.2.1. Γεωθερμικά Πεδία υψηλής ενθαλπίας

Η γεωθερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας, που παρέχεται από τα αντίστοιχα πεδία, χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εκμετάλλευση άρχισε από γεωθερμικά πεδία που παράγουν ξηρό ατμό. Η πρώτη μονάδα λειτούργησε στο Larderello, όπως αναφέρθηκε, το 1913 και είχε ισχύ 250 KW. Σήμερα η εκμετάλλευση έχει επεκταθεί και σε πεδία, τα οποία παράγουν θερμό νερό, ενώ η συνολική εγκαταστημένη ισχύς έχει ξεπεράσει τα 8000 MW. Στην Ελλάδα υπάρχουν γεωθερμικά πεδία ψηλής ενθαλπίας, που συνδέονται με το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου. Πιο γνωστό είναι το πεδίο της Μήλου, όπου έγινε προσπάθεια για κατασκευή σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς όμως να ολοκληρωθεί. Εξ ίσου αξιόλογο είναι και το γεωθερμικό πεδίο της Νισύρου.

2.2.2. Γεωθερμικά Πεδία χαμηλής ενθαλπίας

Στις περιοχές της Γης με κανονική θερμοβαθμίδα, δηλαδή στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, η θερμοκρασία σε βάθος 2000 m φθάνει τους 80°C. Επομένως όλοι οι υδροφορείς που υπάρχουν σ' αυτό το βάθος, αποτελούν γεωθερμικές πηγές χαμηλής ενθαλπίας. Για την εκμετάλλευσή τους απαιτούνται γεωτρήσεις μεγάλου βάθους. Γι' αυτό το κόστος κατασκευής και λειτουργίας είναι σχετικά μεγάλο. Πάντως σε ορισμένες χώρες γίνεται εκτεταμένη εκμετάλλευση των πηγών αυτών.

Ενεργειακές πηγές πολύ χαμηλής ενθαλπίας αποτελούν οι υδροφορείς που βρίσκονται σε μικρό βάθος. Σε κλιματικές συνθήκες όμοιες με τις ελληνικές, η θερμοκρασία σε βάθος 30-50 m κυμαίνεται από 12°C ως 15°C. Επομένως το νερό των υδροφορέων αυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση, με τη βοήθεια αντλίας θερμότητας. Η απόδοση των πηγών αυτών βελτιώνεται, αν το καλοκαίρι διοχετεύεται στον υδροφορέα νερό, που έχει θερμανθεί με ηλιακούς συλλέκτες (ηλιογεωθερμία). Ο συνδυασμός αυτός παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για τη χώρα μας.

Κριτήρια αξίας των γεωθερμικών πηγών χαμηλής ενθαλπίας είναι το ποσό θερμίδων που παρέχουν και η θερμοκρασία του παρεχομένου νερού. Για τον λόγο αυτό η ενέργεια που παράγεται από τις πηγές αυτές, μετρείται με βάση την ποσότητα πετρελαίου που υποκαθιστούν στη θέρμανση κάποιου χώρου (ή σε άλλη χρήση). Η μονάδα μέτρησης ονομάζεται TEP (Tonne Equivalent Petrole = ισοδύναμο τόνου πετρελαίου).

Η χώρα μας παρουσιάζει ένα αρκετά αξιόλογο δυναμικό γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας. Με τις σημερινές γνώσεις μας από τα δεδομένα των γεωτρήσεων και από άλλες ενδείξεις στα γεωθερμικά πεδία, εκτιμάται ότι το βεβαιωμένο συνολικό δυναμικό της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας (με βάση την απόρριψη των νερών σε θερμοκρασίες περίπου 25°C) ανέρχεται σε 700-800 MW_{th}, περίπου.

2.2.3. Αβαθής γεωθερμία

2.2.3.1. Εισαγωγή

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 0-200 m, 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 0-30 m περίπου, είναι ηλιακής προέλευσης. Στα βάθη 0-15 m 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 (Παπαγεωργάκης Ι. 1992).

2.2.3.2. Εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται σήμερα εμπορικά με αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού. Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας γίνεται με δύο τρόπους. Χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας είτε τα αβαθή υπόγεια νερά, είτε τη θερμοκρασία των πετρωμάτων μικρού βάθους. Πλεονέκτημα των αβαθών γεωθερμικών πηγών είναι οι σταθερές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αφού δεν επηρεάζονται από τις θερμοκρασιακές και μετεωρολογικές, εποχιακές και ημερήσιες μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνεια της Γης (Παπαγεωργάκης Ι. 1992).

2.2.3.3. Αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος (Ground-coupled heat pumps)

Περιλαμβάνουν μηχανικές αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν το νερό το οποίο προέρχεται από υπόγειες πηγές (κρύες, χλιαρές ή θερμές γεωτρήσεις, εγκαταλειμμένα ορυχεία, κλπ) με θερμοκρασία 10-30°C, επιφανειακές πηγές (λίμνες, ποταμοί, θάλασσα) θερμοκρασίας 5-25°C, γεωτρήσεις με εναλλάκτες θερμότητας, που παράγουν νερό θερμοκρασίας 0-15°C.

Χαρακτηρίζονται από αποδοτικότητα υψηλής ενέργειας με ένα μέσο συντελεστή απόδοσης (COP) 3 για τις εγκατεστημένες μονάδες. COP είναι ο συντελεστής απόδοσης μίας αντλίας θερμότητας και ορίζεται ως ο λόγος της ωφέλιμης ενέργειας που παράγεται προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Οι νέες μονάδες έχουν υψηλότερο συντελεστή απόδοσης (> 4,0) (Mendrínos D. and Karytsas C. 2003).

Ένα σύστημα αποτελείται από 1) τη μηχανική μονάδα της αντλίας θερμότητας, 2) τον εναλλάκτη θερμότητας κλειστού ή ανοικτού συστήματος, και 3) το σύστημα κυκλοφορίας νερού στο κτίριο.

Οι αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος μπορούν να παράγουν νερό θερμοκρασίας 40-60°C και κατά συνέπεια, συνδυάζονται με συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας όπως τις τοπικές μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (fan-coils), τη θέρμανση

δαπέδων και τις μονάδες τροφοδοσίας αέρα (air handling). Μπορούν επίσης να παρέχουν ψύξη κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου για τα θερμότερα κλίματα.

Στην Ελλάδα, η εγκατεστημένη ισχύς γεωθερμικών αντλιών θερμότητας περιλαμβάνει λίγες πιλοτικές εφαρμογές και αντιστοιχεί σε 4 MW_{th} περίπου.

2.3. Γεωθερμικά Ρευστά

2.3.1 Προέλευση των γεωθερμικών ρευστών

Κύριο γεωθερμικό ρευστό είναι το νερό, σε υγρή ή αέρια κατάσταση. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται στα επόμενα και ο όρος γεωθερμικό νερό. Το γεωθερμικό ρευστό έχει και άλλα στερεά ή αέρια συστατικά, τα οποία είναι επιβλαβή και δυσχεραίνουν την θερμική εκμετάλλευση, αν και μερικές φορές δίνουν χρήσιμα παραπροϊόντα (όπως CO₂ για τη βιομηχανία αναψυκτικών).

Το γεωθερμικό νερό προέρχεται από (Κατσιφαράκης, 2009):

1. **Μετεωρικό νερό** (Meteoric water), δηλαδή νερό που πρόσφατα συμμετείχε στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία και κατείσδυσε μέχρι τον θερμό υδροφορέα.
2. **Ωκεάνιο νερό** (Ocean water), που εισδύει στον φλοιό στις περιοχές ωκεάνιας απομάκρυνσης.
3. **Νέο νερό** (Juvenile water), που προέρχεται από το μάγμα και δεν συμμετείχε προηγουμένως στην υδρόσφαιρα.
4. **Συγγενές νερό** (Connate water), δηλαδή απολιθωμένο νερό, που εμπεριέχεται σε ιζήματα από τον χρόνο εναπόθεσής τους.
5. **Μαγματικό νερό** (Magmatic water), δηλαδή νερό άλλων κατηγοριών (όχι νέο), που σε κάποια φάση αποτέλεσε μέρος του μάγματος.
6. **Μεταμορφικό νερό** (Metamorphic water), που προκύπτει από την ανακρυστάλλωση υδρομεταλλικών ενώσεων κατά τη διαδικασία της μεταμόρφωσης.

Όπως προέκυψε από την ανάλυση των σταθερών ισοτόπων του υδρογόνου και του οξυγόνου, το γεωθερμικό νερό έχει κυρίως μετεωρική προέλευση. Το συμπέρασμα αυτό ενισχύθηκε με πειράματα, που αφορούν στη σύσταση του γεωθερμικού ρευστού.

Το ωκεάνιο νερό αποτελεί την κύρια πηγή των υποθαλάσσιων γεωθερμικών συστημάτων, που βρίσκονται κοντά σε ωκεάνιες ράχες, αλλά και ορισμένων γεωθερμικών πεδίων, που βρίσκονται στην ξηρά. Τα ρευστά των πεδίων αυτών διακρίνονται από τη μεγάλη περιεκτικότητά τους σε μέταλλα, που είναι αποτέλεσμα της μεγάλης οξύτητάς τους.

2.3.2 Διαδικασία θέρμανσης των γεωθερμικών ρευστών

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το γεωθερμικό ρευστό έχει κυρίως μετεωρική προέλευση, δηλαδή προέρχεται από τις κατακρημνίσεις. Το νερό από τις βροχές και τα χιόνια εισχωρεί στο έδαφος και σιγά-σιγά προχωρεί στο εσωτερικό της γης φτάνοντας σε βάθη μέχρι και 5 km. Στην πορεία του θερμαίνεται λόγω της υψηλής θερμικής ροής και στη συνέχεια βρίσκει διόδους μέσα από ρήγματα και ρωγμές και επιστρέφει στην επιφάνεια. Η περιοχή τροφοδοσίας του συστήματος μπορεί να βρίσκεται πολύ κοντά στο πεδίο ή σε μεγάλη απόσταση μέχρι και 200 km, οπότε και η διαδρομή του ρευστού ποικίλλει ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες. Το νερό, λόγω της μεγάλης του θερμοχωρητικότητας, λειτουργεί και σαν "συμπυκνωτής" θερμότητας. Η μέση θερμοχωρητικότητα των πετρωμάτων που βρίσκονται στα πρώτα 10 km από την επιφάνεια της γης είναι 85 kJ/kg, ενώ του νερού στην ίδια μέση θερμοκρασία (1300°C) είναι 420 kJ/kg, δηλαδή πενταπλάσια.

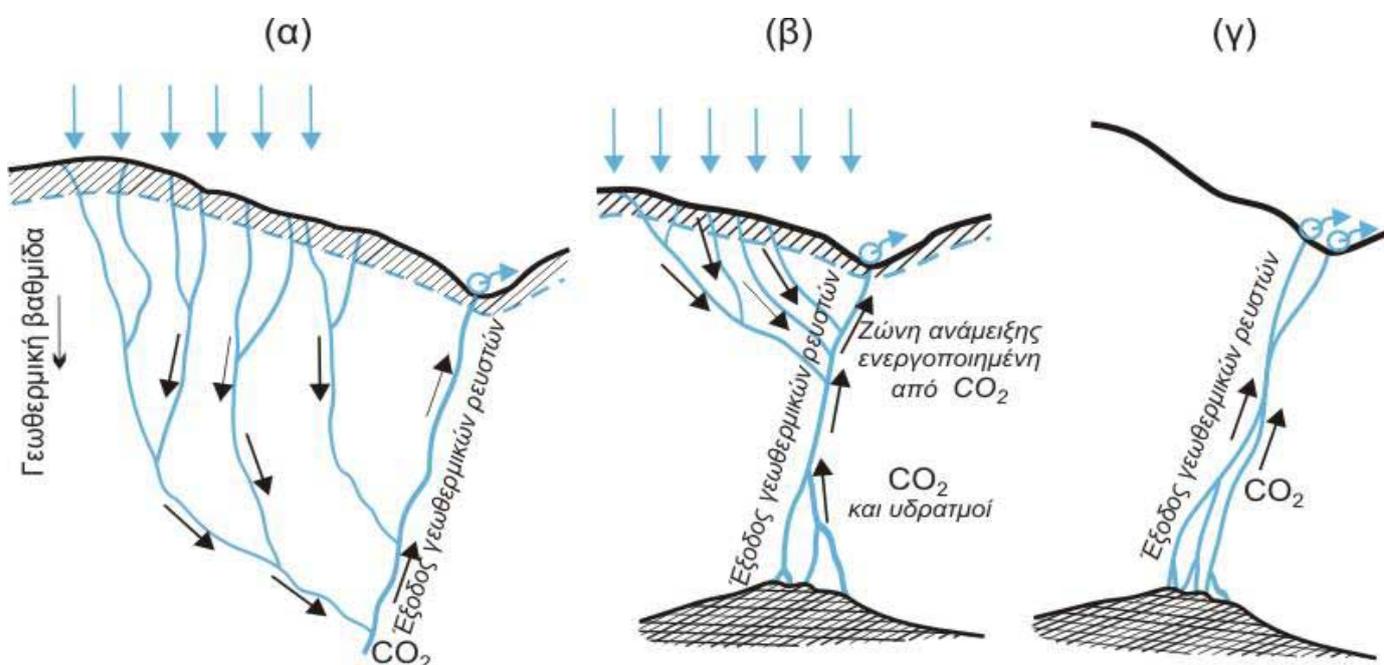
Η θέρμανση του κρύου νερού των επιφανειακών στρωμάτων, που κατεισδύει και συγκεντρώνεται τελικά στον γεωθερμικό υδροφορέα, ακολουθεί μια από τις τρεις διαδικασίες που περιγράφονται στη συνέχεια (Κατσιφαράκης, 2009):

- Το νερό κατεισδύει μέσα από ρηγματώσεις, μέχρι τον γεωθερμικό υδροφορέα και εκεί θερμαίνεται με αγωγή. Πηγή θερμότητας είναι κάποιος μαγματικός όγκος,

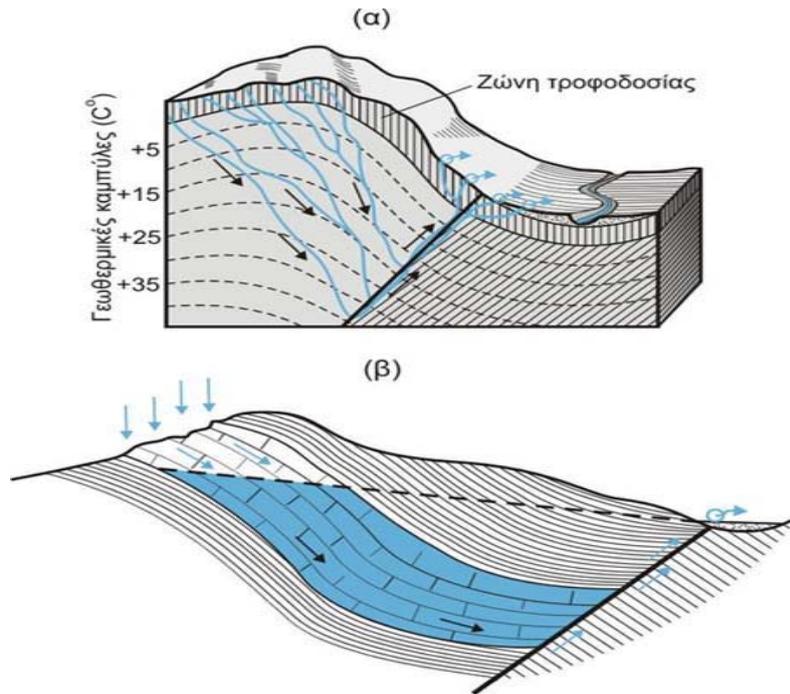
που βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος, ή η γενική θερμική ροή της Γης. Η διαδικασία αυτή συμβαίνει σε γεωθερμικά συστήματα με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία, που κατά κανόνα δεν ξεπερνά τους 150°C στα προσιτά στον άνθρωπο βάθη.

- Το νερό του γεωθερμικού υδροφορέα κατεισδύει σε μεγαλύτερο βάθος μέσα από σχισμές και ρήγματα, και πλησιάζει τον μαγματικό όγκο, ο οποίος αποτελεί την πηγή της θερμότητας. Κατά την κίνησή του αυτή το νερό θερμαίνεται (με αγωγή από τα πετρώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή) και ανεβαίνει πάλι στον γεωθερμικό υδροφορέα μέσα από άλλα ρήγματα, λόγω άνωσης. "ηλαδή στην περίπτωση αυτή η φυσική συναγωγή παίζει τον κύριο ρόλο στη θέρμανση του νερού. Όπως είναι φυσικό, υδροθερμικά συστήματα με συναγωγή εμφανίζονται γενικά μεγαλύτερες θερμοκρασίες, σε σχέση με τα συστήματα της προηγούμενης κατηγορίας. Οι θερμοκρασίες αυτές αντιστοιχούν κατά κανόνα σε πεδία μέσης και υψηλής ενθαλπίας.
- Το μετεωρικό νερό κατεισδύει σε μεγάλο βάθος, θερμαίνεται με συναγωγή από κάποιον μαγματικό όγκο και βράζει. Ο υδρατμός που δημιουργείται, τροφοδοτεί τον υδροφορέα του γεωθερμικού πεδίου, που βρίσκεται σε μικρότερο βάθος. Οι απώλειες λόγω αγωγής από τα τοιχώματα του υδροφορέα αυτού, ισοσταθμίζονται από τη συμπύκνωση μέρους του ατμού. Το συμπύκνωμα επιστρέφει στο βαθύτερο στρώμα ακολουθώντας τους μικρότερους πόρους, αντίθετα με τον ατμό, που κατά την άνοδό του προς τον γεωθερμικό υδροφορέα ακολουθεί τις ευρύτερες διόδους.

Σε όλες τις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν, το γεωθερμικό ρευστό τείνει να κινηθεί προς την επιφάνεια του εδάφους μέσα από φυσικές διόδους του καλύμματος του υδροφορέα, λόγω υδραυλικού φορτίου και άνωσης. Αν φθάσει στην επιφάνεια, σχηματίζει θερμές πηγές ή ατμίδες, που αποτελούν χαρακτηριστικά καθοδηγητικά στοιχεία για τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων.



Σχήμα 29: Θερμή πηγή με μετεωρικό νερό (α), με μετεωρικό + «νεαρό» νερό (β) και με «νεαρό» νερό (γ) (κατά Castany G., 1968, ανασχεδιασμένο από το συγγραφέα)



Σχήμα 30: Περιπτώσεις δημιουργίας θερμών πηγών [(α) κατά Desio 1959 από τον Καλλέργη Γ., 2001, (β) κατά Moret L., 1946, ανασχεδιασμένο από το συγγραφέα]

2.4. Γεωθερμικά Συστήματα

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μία φυσική πηγή ενέργειας με γήινη προέλευση, η οποία βρίσκεται σε ένα γεωλογικό χώρο που σχηματίζει στο σύνολό του ένα γεωθερμικό σύστημα (Μ. Φυτίκας).

Η εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού είναι πολύ πιθανή σε εκείνες τις περιοχές της γης όπου μάζες ρευστών ανεβαίνουν προς την επιφάνεια. Τέτοιες περιοχές συνδέονται με γεωλογικά πολύ πρόσφατη ή και ενεργό ηφαιστειότητα όπως και με περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα $> 30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (Μ. Φυτίκας).

Στην πρώτη περίπτωση, οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, από σχετικά χαμηλές τιμές μέχρι και μεγαλύτερες από 400°C .

Στη δεύτερη περίπτωση, τα γεωθερμικά συστήματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες, που συνήθως δεν ξεπερνούν τους 100°C σε οικονομικά και προσβάσιμα βάθη.

Ένα γεωθερμικό σύστημα σχηματικά μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύστημα που βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης και αποτελείται από κινούμενο νερό το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μια πηγή σε μια δεξαμενή θερμότητας, που συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια (Hochstein, 1990).

Έτσι λοιπόν, ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τρία στοιχεία:

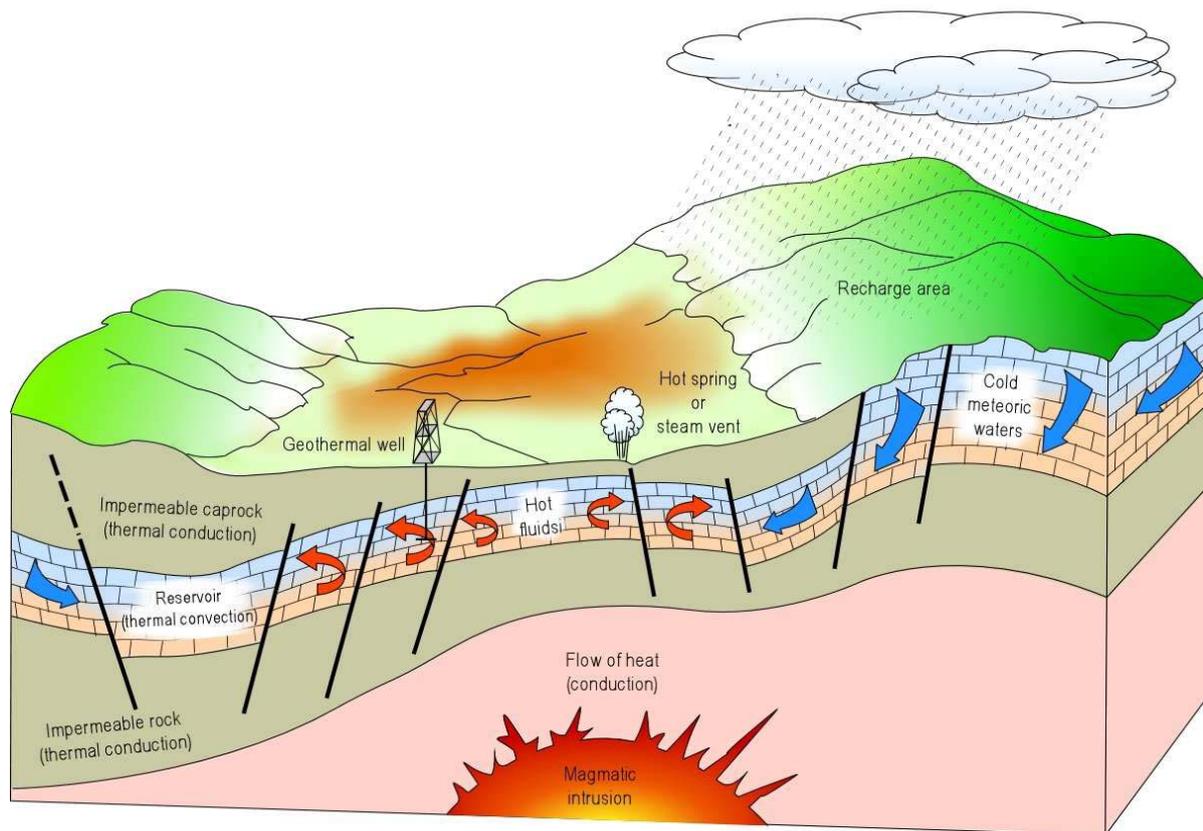
- την εστία θερμότητας,
- τον ταμιευτήρα και το
- ρευστό, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας

Η εστία θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια πολύ υψηλής ($>600^{\circ}\text{C}$) θερμοκρασίας μαγματική διείσδυση που έχει φτάσει σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 km) ή, στα χαμηλής θερμοκρασίας συστήματα, η κανονική θερμοκρασία των πετρωμάτων του εσωτερικού της γης, η οποία όπως αναφέρθηκε αυξάνεται με το βάθος.

Ο ταμιευτήρας είναι ένας σχηματισμός από θερμά υδατοπερατά πετρώματα, που επιτρέπει την κυκλοφορία των ρευστών μέσα σε αυτόν και από τον οποίο τα ρευστά αντλούν θερμότητα. Πάνω από τον ταμιευτήρα βρίσκεται συνήθως ένα κάλυμμα αδιαπέρατων πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται με μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, δια μέσου της οποίας μετεωρικό ή επιφανειακό γενικά 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 από γεωτρήσεις.

Το γεωθερμικό ρευστό συνήθως είναι νερό, στις περισσότερες περιπτώσεις μετεωρικής προέλευσης, το οποίο, ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον ταμιευτήρα, βρίσκεται σε υγρή ή αέρια κατάσταση. Συχνά το ρευστό είναι εμπλουτισμένο σε χημικά στοιχεία και αέρια, όπως CO_2 , H_2S , κλπ.

Στο Σχήμα 31 αποτυπώνεται σε πολύ απλουστευμένη μορφή ένα πρότυπο γεωθερμικό σύστημα.

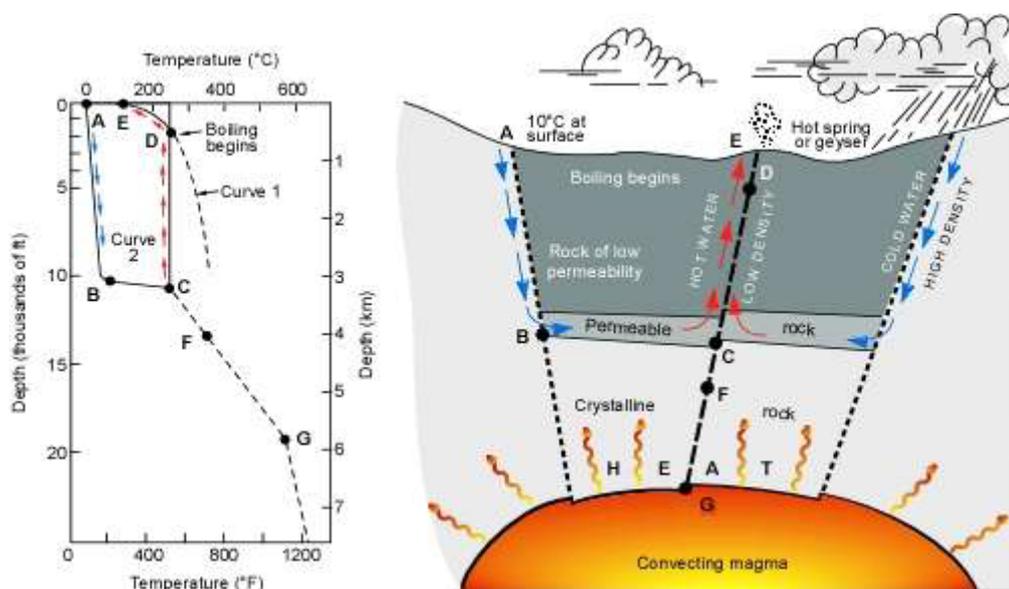


Σχήμα 31: Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος (www.geothermal-energy.org).

Ο μηχανισμός που διέπει τη λειτουργία των γεωθερμικών συστημάτων εν γένει ελέγχεται από τη μεταφορά θερμότητας μέσω της (συναγωγής/κυκλοφορίας) των ρευστών (fluid convection).

Στο Σχήμα 32 παριστάνεται σχηματικά ο μηχανισμός στην περίπτωση ενός υδροθερμικού συστήματος ενδιάμεσης θερμοκρασίας.

Η θερμική συναγωγή λαμβάνει χώρα λόγω της θέρμανσης και, κατ' επέκταση, της θερμικής διαστολής των ρευστών σε ένα πεδίο βαρύτητας. Η ενέργεια που προκαλεί το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι ουσιαστικά η θερμότητα που προσφέρεται από την εστία στη βάση του συστήματος κυκλοφορίας. Η πυκνότητα των ρευστών που θερμαίνονται μειώνεται, οπότε αυτά παρουσιάζουν τάσεις ανόδου προς μικρότερα βάθη, ενώ αντικαθίστανται στη συνέχεια από ρευστά μικρότερης θερμοκρασίας και μεγαλύτερης πυκνότητας, που προέρχονται από τα περιθώρια του γεωθερμικού συστήματος. Λόγω της θερμικής συναγωγής προκαλείται λοιπόν θερμοκρασιακή αύξηση στο ανώτερο τμήμα του γεωθερμικού συστήματος, καθώς οι θερμοκρασίες στα κατώτερα τμήματα μειώνονται (White, 1973).



Σχήμα 32: Πρότυπο (μοντέλο) ενός γεωθερμικού συστήματος.
Η γραμμή (1) είναι η καμπύλη αναφοράς του σημείου ζέσεως του καθαρού νερού.
Η καμπύλη (2) δείχνει τη θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος μια τυπικής διαδρομής κυκλοφορίας του ρευστού από το σημείο A (τροφοδοσία) προς το σημείο E (αποφόρτιση) (Από White, 1973)

Οι διεργασίες που μόλις περιγράφηκαν πιθανώς να φαίνονται πολύ απλές, όμως η κατασκευή ενός καλού προτύπου (μοντέλου), το οποίο να αντιστοιχεί σε ένα πραγματικό γεωθερμικό σύστημα, είναι πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί. Μια τέτοια εργασία απαιτεί πολύπλευρες ικανότητες, ειδικές γνώσεις και μεγάλη εμπειρία, ιδιαίτερα όταν αφορά συστήματα υψηλής θερμοκρασίας. Εξάλλου, τα γεωθερμικά συστήματα εμφανίζονται στη φύση με πάρα πολλές ιδιαιτερότητες και ιδιομορφίες, οι οποίες σχετίζονται με διάφορους συνδυασμούς γεωλογικών, φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών που μπορεί να οδηγήσουν σε διάφορους τύπους συστημάτων.

Από τα τρία στοιχεία ενός γεωθερμικού συστήματος, η εστία θερμότητας είναι το μόνο που απαραίτητως πρέπει να έχει φυσική προέλευση. Εάν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές, τα άλλα δύο στοιχεία μπορεί να είναι και τεχνητά.

Για παράδειγμα, τα γεωθερμικά ρευστά που αντλούνται από τον ταμιευτήρα και χρησιμοποιούνται ως η κινητήρια δύναμη ενός γεωθερμικού ατμοστρόβιλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν μετά την ενεργειακή εκμετάλλευσή τους να επανεισαχθούν στον ταμιευτήρα μέσω συγκεκριμένων γεωτρήσεων επανεισαγωγής (injection wells).

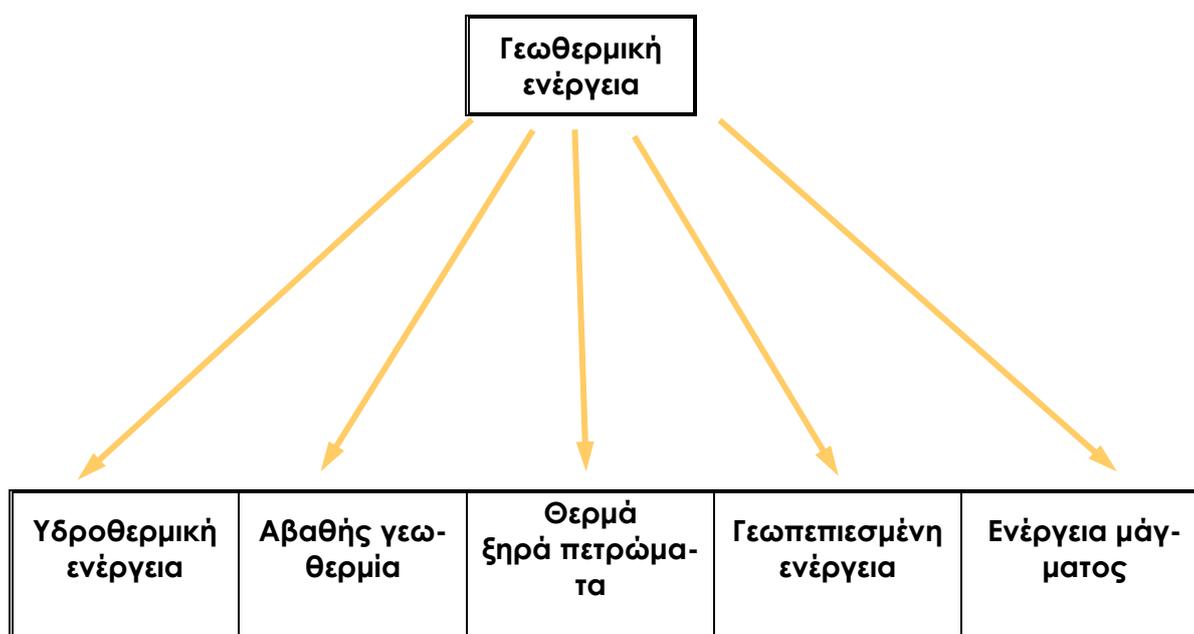
Έτσι λοιπόν, η φυσική τροφοδοσία ενός ταμιευτήρα μπορεί να συνοδευθεί και να συμπληρωθεί από μια τεχνητή επανατροφοδοσία.

Εδώ και αρκετά χρόνια, η τεχνική επανεισαγωγής των ρευστών στον ταμιευτήρα εφαρμόζεται σε πολλές περιοχές του κόσμου, ως ένα μέσο δραστικής μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία των γεωθερμικών εγκαταστάσεων.

Η χρήση των γεωτρήσεων επανεισαγωγής για τεχνητή επανατροφοδοσία μπορεί επίσης να βοηθήσει στην ανανέωση και συντήρηση κάποιων παλιών ή εξαντλημένων γεωθερμικών πεδίων. Ως παράδειγμα αναφέρεται η περίπτωση του γεωθερμικού πεδίου 'The Geysers' της Καλιφόρνιας (ΗΠΑ), ενός από τα μεγαλύτερα γεωθερμικά πεδία στον κόσμο, όπου παρατηρήθηκε δραστική μείωση της παραγωγής στα τέλη της δεκαετίας του 1980, λόγω ακριβώς της έλλειψης ρευστών στον ταμιευτήρα.

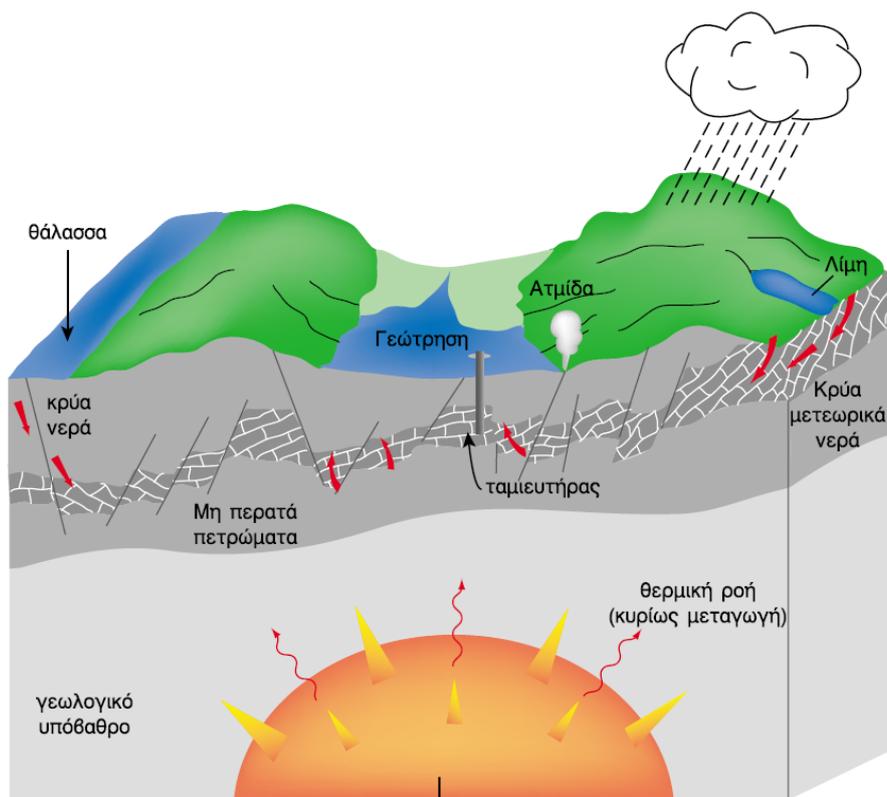
2.4.1. Ταξινόμηση Γεωθερμικών Συστημάτων

Τα γεωθερμικά συστήματα 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. (Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης). Σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων διακρίνονται πέντε κατηγορίες συστημάτων (Σχήμα 33), που περιγράφονται συνοπτικά ως εξής:



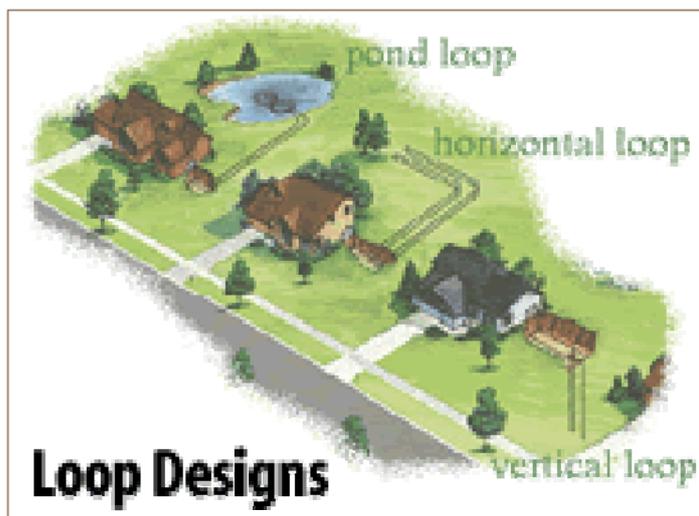
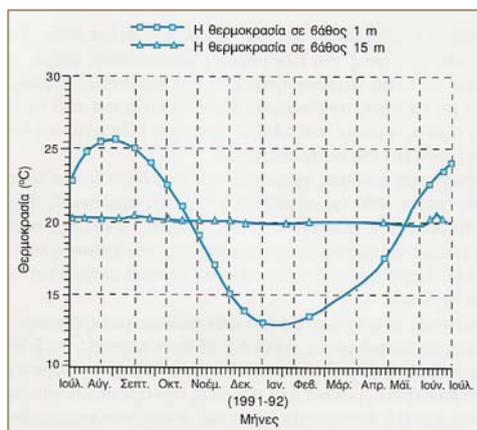
Σχήμα 33: Μορφές γεωθερμικής ενέργειας κατά σειρά ενδιαφέροντος χρήσεων σήμερα και προοπτικής στο εγγύς μέλος, από αριστερά προς τα δεξιά (Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης).

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 (Σχήμα 34) (Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης).



Σχήμα 34: Ένα γεωθερμικό πεδίο που παράγει ατμό και τα κύρια συστατικά του (από πάνω προς τα κάτω): η περιοχή επαναφόρτισης, το μη περατό κάλυμμα, ο ταμιευτήρας ρευστών και η πηγή ενέργειας (Μ. Φυτίκας)

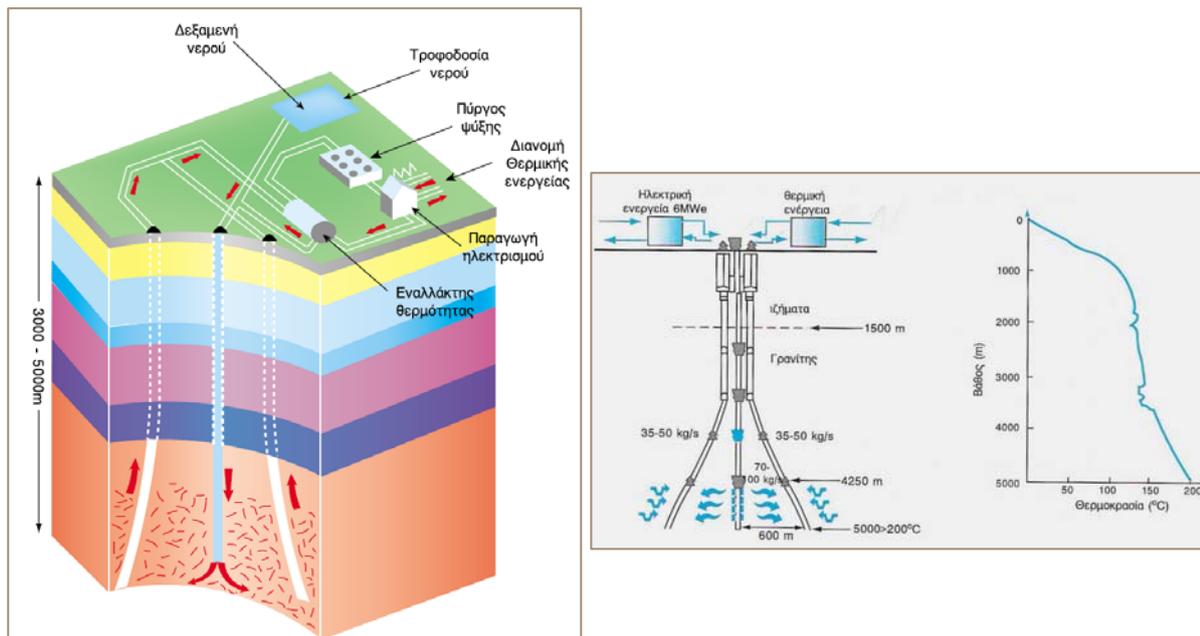
β) Αβαθής γεωθερμία (earth energy), κατά την οποία λαμβάνονται (ή και απορρίπτονται) ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100 m από την επιφάνεια της γης ή με την κυκλοφορία υπόγειων νερών ή νερών από λίμνες, ποτάμια και τη θάλασσα. Αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας (Σχήμα 35) (Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης).



Σχήμα 35: Μετρήσεις θερμοκρασίες εδάφους σε βάθος 1 m και 15 m στο Κορωπί Αττικής (Βραχόπουλος και Παπαγεωργάκης, 1998).

γ) Τα προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα (enhanced geothermal systems) αναφέρονται στα θερμά πετρώματα σε βάθος από 2 μέχρι 10 km, από τα οποία μπορεί να

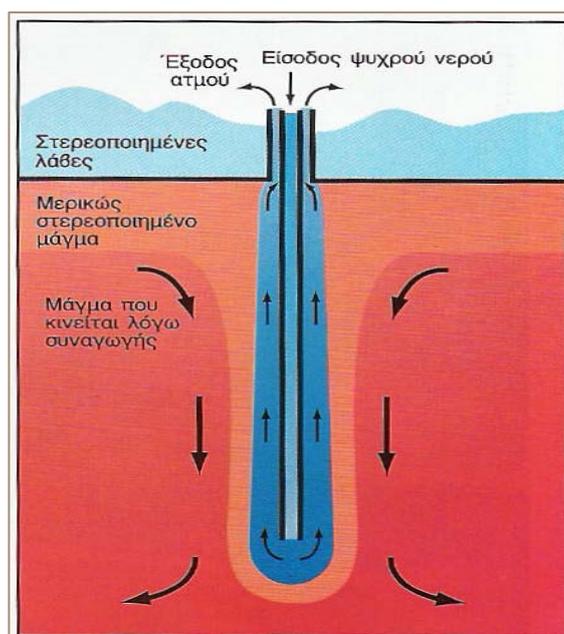
ανακτηθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που διοχετεύεται από την επιφάνεια, μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων, και ανακτάται αρκετά θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων (Σχήμα 36) (Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης).



Σχήμα 36: Σχηματική παρουσίαση της αξιοποίησης των θερμών ξηρών πετρωμάτων με μία γεώτρηση τροφοδοσίας και δύο παραγωγικές γεωτρήσεις (Μ. Φυτίκας).

δ) Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα (geopressed systems) αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος, βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και η πίεσή τους υπερβαίνει την υδροστατική (Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης).

ε) Τα μαγματικά συστήματα (magma systems) αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος (Σχήμα 37) (Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης).



Σχήμα 37: Σχηματική παρουσίαση μαγματικού συστήματος (Μ. Φυτίκας)

Τα κύρια τυπικά τμήματα ενός υδροθερμικού συστήματος είναι η εστία θερμότητας, ο ταμειυτήρας, το αδιαπέρατο κάλυμμα και η περιοχή επαναφόρτισης. Ο ταμειυτήρας είναι το σημαντικότερο τμήμα ενός γεωθερμικού συστήματος από την άποψη της ενεργειακής αξιοποίησης των περιεχόμενων ρευστών (Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης).

Μία πρώτη ταξινόμηση-τυποποίηση των υδροθερμικών συστημάτων γίνεται συνήθως ανάμεσα στα συστήματα στα οποία το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός (συστήματα ατμού, π.χ. στο Larderello, Ιταλία), και τα οποία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για ηλεκτροπαραγωγή, και στα συστήματα στα οποία κυρίαρχο ρευστό είναι το θερμό νερό (συστήματα θερμού νερού) (Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης).

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, ΔH , η οποία μπορεί να θεωρηθεί ανάλογη της θερμοκρασίας τους, χρησιμοποιείται για να εκφράσει το θερμικό περιεχόμενό τους.

Οι γεωθερμικοί πόροι ταξινομούνται συνήθως για λόγους ευκολίας (αν και με κάπως αυθαίρετο τρόπο) σε ρευστά χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας ή θερμοκρασίας. Υψηλής ενθαλπίας ορίζονται τα ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 150°C , μέσης ενθαλπίας τα ρευστά με θερμοκρασία από 90°C μέχρι 150°C , και χαμηλής ενθαλπίας τα νερά με θερμοκρασία μικρότερη από 90°C (Nicholson, 1993, Dickson & Fanelli, 1995).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ

Επιμέλεια : Δρ. Απ. Μιχόπουλος

3.1. Γενικά

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας αξιοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αυτά η εκμετάλλευση του γεωθερμικού πόρου (ρευστού), μίγμα ατμού και αερίου, γίνεται σε ειδικούς στροβίλους χαμηλής πίεσης, στους οποίους οδηγείται το ρευστό είτε αυτούσιο είτε μετά το διαχωρισμό του από την υγρή φάση και παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

3.2. Ηλεκτροπαραγωγή

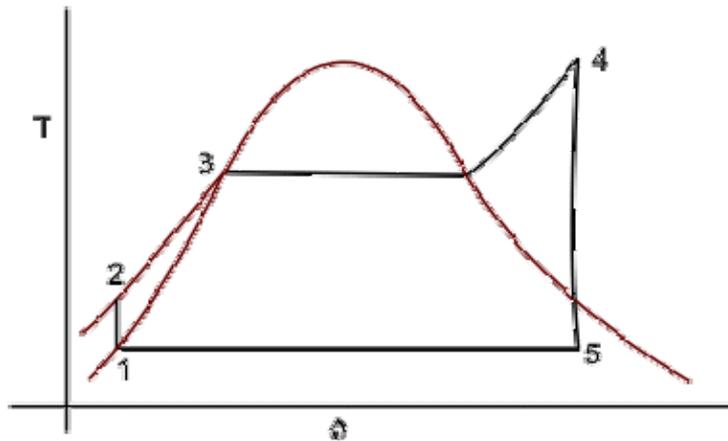
Ο τύπος (κύκλος) της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της γεωθερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική καθορίζεται από μία σειρά χαρακτηριστικών του γεωθερμικού πόρου τα οποία είναι:

- το είδος (φύση) του γεωθερμικού πόρου, πχ. ξηρός ατμός, διφασικό ρευστό, κτλ,
- η θερμοκρασία και η πίεση (ενθαλπία) στην οποία βρίσκεται ο πόρος,
- η σύσταση του γεωθερμικού ρευστού, πχ. συγκεντρώσεις αλάτων, ποσοστό μη-συμπυκνώσιμων αερίων κτλ. και
- η παροχή.

Με βάση λοιπόν τα χαρακτηριστικά αυτά σχεδιάζεται και η αντίστοιχη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Οι κυριότεροι τύποι μονάδων που έχουν χρησιμοποιηθεί έως και σήμερα είναι ο κύκλος ξηρού ατμού, ο κύκλος εκτόνωσης διφασικού ρευστού, ο δυαδικός κύκλος, ο συνδυασμένος κύκλος και ο κύκλος της συνολικής ροής [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004]. Πριν παρουσιαστούν και περιγραφούν συνοπτικά οι παραπάνω κύκλοι, θα γίνει μια σύντομη αναφορά στη διεργασία η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η θερμοδυναμική διεργασία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζεται κύκλος Rankine. Ο κύκλος αυτός παρουσιάζεται στη γενική του μορφή στο Σχήμα 38, στο οποίο περιγράφονται οι θερμοδυναμικές μεταβολές στις οποίες υπόκειται το εργαζόμενο μέσο καθώς διέρχεται μέσα από τις επιμέρους διατάξεις (συσκευές) της εγκατάστασης παραγωγής.

Αρχικά το εργαζόμενο μέσο διέρχεται μέσα από την αμοπαραγωγική συσκευή της διάταξης όπου προσλαμβάνει θερμότητα (διεργασία 2-4) και εξέρχεται σε κατάσταση κορεσμού ή υπέρθερμη κατάσταση (σημείο 4). Στη συνέχεια ακολουθεί η ισεντροπική εκτόνωση (διεργασία 4-5) η οποία λαμβάνει χώρα στον αμοστροβίλο της διάταξης και τελικά το εργαζόμενο μέσο εξέρχεται του αμοστροβίλου στην κατάσταση 5. Ακολουθώντας το εργαζόμενο ρευστό οδηγείται στο συμπυκνωτή της εγκατάστασης (πύργο ψύξης) όπου συμπυκνώνεται υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία (διεργασία 5-1). Τέλος με τη βοήθεια μίας αντλίας αυξάνεται η πίεση του ρευστού (διεργασία 1-2) και προσάγεται στην αμοπαραγωγική συσκευή της εγκατάστασης σε υγρή μορφή από όπου ξεκινά και πάλι η κυκλική διεργασία.



Σχήμα 38: Διάγραμμα θερμοκρασίας-εντροπίας κύκλου Rankine

Ο θερμοδυναμικός κύκλος που περιγράφηκε παραπάνω αντιστοιχεί στη λειτουργία μιας συμβατικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί π.χ. κάποιο στερεό, υγρό ή αέριο καύσιμο. Η διαφορά μίας μονάδας που χρησιμοποιεί γεωθερμικό ρευστό από την αντίστοιχη συμβατική είναι πως σε αυτή απουσιάζει η ατμοπαραγωγική συσκευή, καθώς στην περίπτωση αυτή το εργαζόμενο ρευστό είναι γεωθερμικό προϊόν υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας (ενθαλπίας) με συνέπεια να μην είναι απαραίτητη η προσδώση επιπλέον θερμικής ενέργειας.

3.2.1. Κύκλος ξηρού ατμού

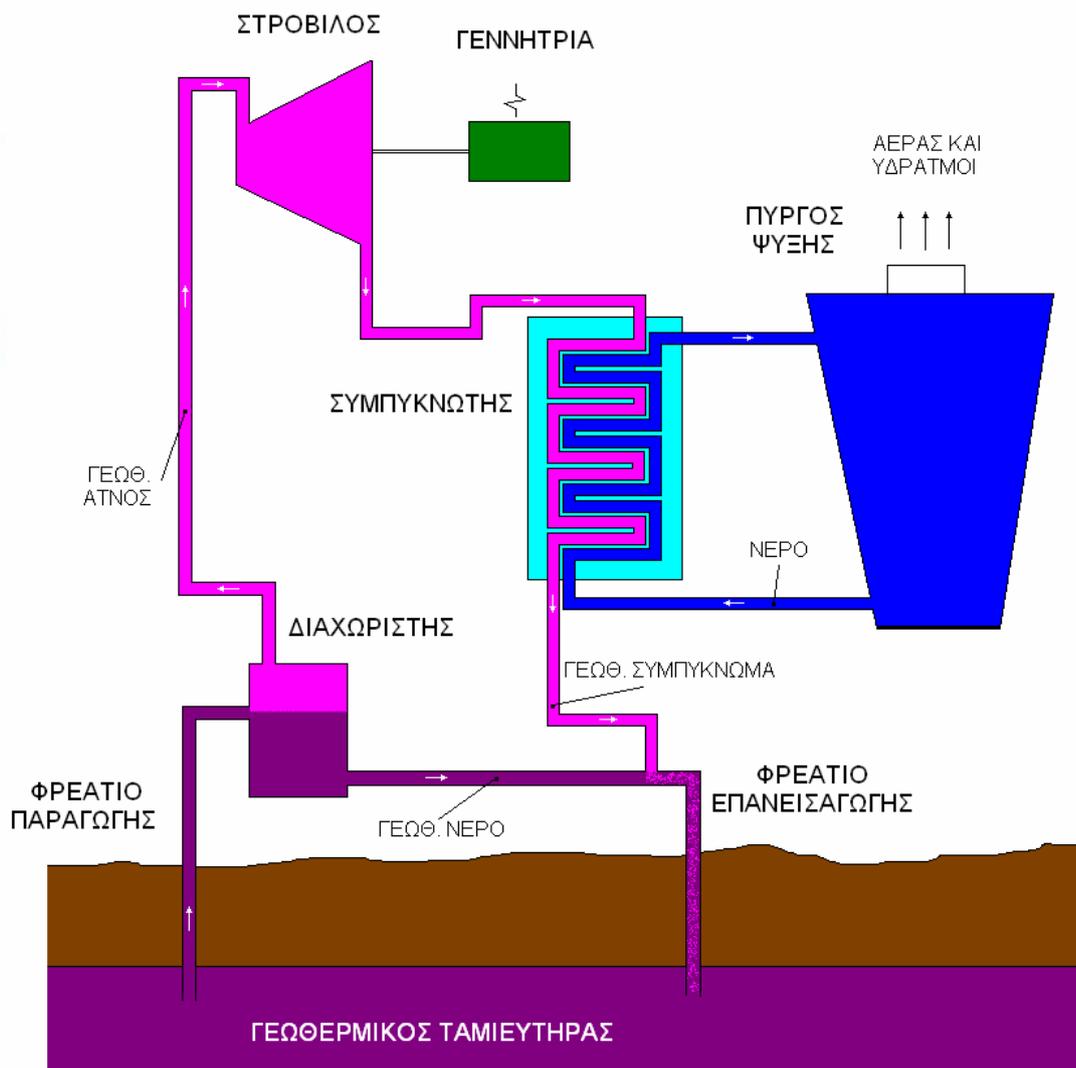
Ο κύκλος απευθείας χρήσης του ατμού ή κύκλος ξηρού ατμού (direct steam expansion) είναι ο πιο απλός τύπος γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτεί το μικρότερο κόστος κεφαλαίου. Η τεχνολογία αυτή βρίσκει εφαρμογή στις περιπτώσεις όπου το γεωθερμικό προϊόν που λαμβάνεται από το φρεάτιο παραγωγής βρίσκεται σε καθαρή αέρια φάση με πολύ μικρό ποσοστό υδρατμών, π.χ. Larderello και Amiata στην Ιταλία, The Geysers στις Η.Π.Α., κ.α. Στην περίπτωση αυτή το γεωθερμικό προϊόν που λαμβάνεται από μία ή περισσότερες γεωτρήσεις οδηγείται απευθείας στον αμοστρόβιλο χωρίς καμιά επεξεργασία ή μετά από επεξεργασία για την απομάκρυνση του υδροχλωρίου (HCl) ή άλλων επιβλαβών συστατικών που βρίσκονται στον ατμό. Ο ατμός μετά την έξοδό του από τον αμοστρόβιλο μπορεί να απορρίπτεται απευθείας στην ατμόσφαιρα, ή εναλλακτικά η μονάδα να διαθέτει συμπυκνωτή, Σχήμα 39, από τον οποίο διέρχεται ο ατμός πριν τελικά απορριφτεί και πάλι στην ατμόσφαιρα [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004].

τητας στο σχεδιασμό και την ευκολία στην κατασκευή της η μονάδα μπορεί να τεθεί σε λειτουργία σε σύντομο χρονικό διάστημα (13-14 μήνες). Επιπροσθέτως, το μικρότερο κόστος κατασκευής της, αναδεικνύει ελκυστική την κατασκευή της μονάδας σε περιπτώσεις (α) πιλοτικών εφαρμογών, (β) μονάδων εφεδρείας, (γ) όπου υπάρχει μικρή παροχή του γεωθερμικού πόρου και (δ) στα πλαίσια διερεύνησης και αξιολόγησης της παραγωγικής δυναμικότητας ενός γεωθερμικού πεδίου, [Dickson, M., και Fanelli, M., 2004].

Οι διατάξεις ατμοστροβίλων που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων με κύκλο ξηρού ατμού απαιτούν ατμό ελάχιστης θερμοκρασίας 150°C. Η υφιστάμενη τεχνολογία επιτρέπει σήμερα την εκμετάλλευση υπέρθερμων γεωθερμικών προϊόντων θερμοκρασίας μέχρι και 350°C, παρέχοντας τη δυνατότητα αύξησης του βαθμού απόδοσης της εγκατάστασης ο οποίος όμως ακόμα και στην περίπτωση αυτή δεν ξεπερνά το 30%. Θα πρέπει όμως να τονιστεί στο σημείο αυτό πως τα γεωθερμικά πεδία που παράγουν καθαρό ατμό είναι σπάνια και υπάρχουν σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές του πλανήτη.

3.2.2. Κύκλος εκτόνωσης διφασικού ρευστού

Ο κύκλος της εκτόνωσης του διφασικού ρευστού (flash condensing type) χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου το γεωθερμικό προϊόν είναι νερό σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία, πάνω από τους 150°C. Στα συστήματα αυτά διφασικό ρευστό είτε αντλείται απευθείας από την παραγωγική γεώτρηση, είτε παράγεται μέσω της εκτόνωσης σε χαμηλότερη πίεση του γεωθερμικού προϊόντος στην κεφαλή της γεώτρησης. Η διαφορά του συστήματος αυτού σε σχέση με το προηγούμενο είναι ότι το διφασικό μίγμα οδηγείται αρχικά σε έναν κατακόρυφο διαχωριστή όπου διαχωρίζονται οι δύο φάσεις. Στη συνέχεια ο ατμός εκχέεται στον ατμοστρόβιλο και παράγεται ηλεκτρική ισχύς ενώ για το υγρό μέρος του μίγματος υπάρχει η δυνατότητα είτε να εκτονωθεί για δεύτερη ή και τρίτη φορά, εφόσον οι συνθήκες της θερμοκρασίας και της πίεσης το επιτρέπουν, ώστε να δώσει επιπλέον ατμό, είτε σε διαφορετική περίπτωση να επανεισαχτεί στο γεωθερμικό ταμειυτήρα μέσω αντίστοιχης γεώτρησης, Σχήμα 40. Η διεργασία της πολλαπλής εκτόνωσης του γεωθερμικού προϊόντος αυξάνει το βαθμό απόδοσης της γεωθερμικής εγκατάστασης αλλά συγχρόνως προσαυξάνει και το αρχικό κόστος της επένδυσης.



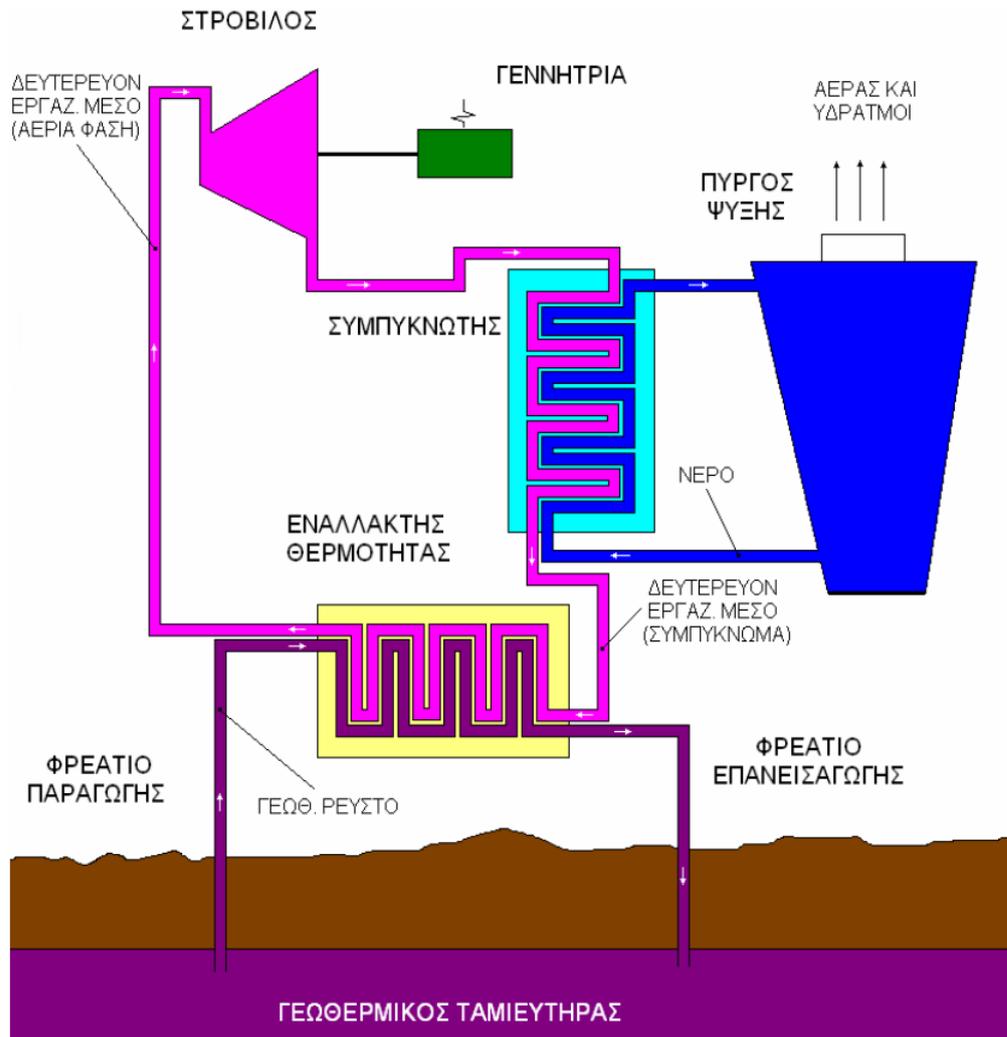
Σχήμα 40: Διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος με εκτόνωση διφασικού γεωθερμικού ρευστού και συμπυκνωτή [Γκαρδιάκος, Χ., 2010]

Οι μονάδες εκτόνωσης διφασικού ρευστού μπορούν κατά πλήρη αντιστοιχία με τις μονάδες ξηρού ατμού να διαθέτουν ή όχι συμπυκνωτή (πύργο ψύξης). Στην πρώτη περίπτωση η ισχύς των μονάδων φτάνει μέχρι και τα 65 MWe και η απόδοσή τους το 85%. Αντίστοιχα στη δεύτερη περίπτωση η ισχύς των μονάδων περιορίζεται σε μικρά μεγέθη, δεν ξεπερνούν τα 5 MWe, ενώ συγχρόνως εμφανίζουν και μειωμένο βαθμό απόδοσης της τάξης του 60%. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί πως τα συστήματα εκτόνωσης διφασικού ρευστού αποτελούν την πλέον αποδοτική τεχνολογία όταν η θερμοκρασία του γεωθερμικού προϊόντος υπερβαίνει τους 150°C. Χαρακτηριστικά παραδείγματα χρήσης της τεχνολογίας αυτής είναι το Wairakei στη Νέα Ζηλανδία, το Salton Sea στις Η.Π.Α., η LATERA στην Ιταλία και η Μήλος, [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004].

3.2.3. Δυαδικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό

Η τεχνολογία του δυαδικού κύκλου (binary fluid cycle) ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό (Organic Rankine Cycle – ORC), εφαρμόζεται στις περιπτώσεις όπου το γεωθερμικό προϊόν βρίσκεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 85°C και 175°C. Είναι κατά βάση τε-

χνολογία η οποία γνωρίζει τις περισσότερες εφαρμογές καθώς η πλειονότητα των γεωθερμικών πεδίων ανήκει στο παραπάνω θερμοκρασιακό εύρος.



Σχήμα 41: Διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος με τη χρήση οργανικού ρευστού [Γκαρδιάκος, Χ., 2010]

Στο Σχήμα 41 παρουσιάζεται το λειτουργικό διάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος με τη χρήση οργανικού κύκλου Rankine. Σύμφωνα με το διάγραμμα αυτό το γεωθερμικό ρευστό που αντλείται από την παραγωγική γεώτρηση οδηγείται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας όπου απορρίπτει θερμότητα σε ένα δευτερεύον ρευστό (οργανικό ρευστό), ψύχεται και στη συνέχεια επαναπροωθείται μέσω της γεώτρησης επανεισαγωγής στο γεωθερμικό ταμειυτήρα. Το οργανικό ρευστό είναι συνήθως μίγμα νερού-αμμωνίας, ή ισοβουτάνιο, ή ισοπεντάνιο, ή CO₂, κτλ, ρευστό δηλαδή που παρουσιάζει χαμηλό σημείο εξάτμισης, χαμηλότερο του νερού, έτσι ώστε να μπορεί να παραλαμβάνει θερμότητα από το γεωθερμικό ρευστό. Οι ατμοί του οργανικού ρευστού οδηγούνται στο στρόβιλο του συστήματος όπου εκτονώνονται και παράγουν μηχανική ισχύ η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική με τη χρήση ηλεκτρογεννήτριας. Μετά την έξοδο από το στρόβιλο το οργανικό ρευστό διέρχεται από το συμπυκνωτή της διάταξης, έναν εναλλάκτη, όπου απορρίπτει θερμότητα και ψύχεται από ένα ρεύμα νερού. Στη συνέχεια το οργανικό ρευστό συμπιέζεται σε μία αντλία η οποία αυξάνει την πίεσή του και εισέρχεται στον ε-

ναλλάκτη όπου θερμαίνεται από το γεωθερμικό ρευστό για να αρχίσει ξανά η κυκλική διεργασία. Τα δυαδικά συστήματα αποτελούνται από μικρές αρθρωτές μονάδες η ισχύς των οποίων κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες kWe μέχρι και περίπου 3 MWe.

Την δεκαετία του 1990 αναπτύχθηκε ένας νέος τύπος δυαδικού συστήματος. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί ως οργανικό ρευστό μίγμα νερού-αμμωνίας σε αναλογία 7:3 και η διεργασία εκτελείται σε έναν πιο σύνθετο κύκλο από τον κύκλο Rankine, αλλά και πιο αποδοτικό, τον κύκλο Kalina. Στον κύκλο αυτό το οργανικό ρευστό εκτονώνεται σε υπέρθερμη κατάσταση στο στρόβιλο υψηλής πίεσης και στη συνέχεια αναθερμαίνεται πριν εκτονωθεί στο στρόβιλο χαμηλής πίεσης. Μικρές μονάδες που λειτουργούν με τον κύκλο Kalina κατασκευάστηκαν και λειτουργούν ήδη στο Husavik της Ισλανδίας και στην Ιαπωνία, [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004].

3.2.4. Συνδυασμένος κύκλος ατμού και δυαδικού συστήματος

Ο συνδυασμένος κύκλος (combined cycle) χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια και αποτελεί το συνδυασμό του δυαδικού κύκλου και του κύκλου εκτόνωσης διφασικού μίγματος. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στην ανάκτηση μέρους της θερμότητας που απορρίπτεται από το υγρό και τον ατμό, στην έξοδο του αμοστρόβιλου, κατά τον κύκλο εκτόνωσης διφασικού μίγματος και την παραγωγή ατμών δευτερεύοντος ψυκτικού ρευστού (πχ. νερού και αμμωνίας, ισοβουτανίου, CO₂, κτλ) με τη βοήθεια εναλλακτών θερμότητας. Οι ατμοί αυτοί αξιοποιούνται στη συνέχεια για τη λειτουργία ενός δυαδικού κύκλου από τον οποίο παράγεται πρόσθετη ηλεκτρική ισχύς. Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας του συνδυασμένου κύκλου είναι (α) ο υψηλότερος βαθμός απόδοσης της διεργασίας, (β) η συμπίκνωση του ψυκτικού ρευστού γίνεται σε έναν αερόψυκτο συμπυκνωτή και (γ) το σύνολο των γεωθερμικών ρευστών επανααισιάζεται στον γεωθερμικό ταμειυτήρα.

3.2.5. Κύκλος εκτόνωσης της συνολικής ροής

Η τεχνολογία του κύκλου εκτόνωσης της συνολικής ροής προκύπτει από το δυαδικό κύκλο με την εγκατάσταση ενός κατάλληλου ακροφυσίου (nozzle) το οποίο αρχικά εκτονώνει ολόκληρη την ποσότητα του γεωθερμικού προϊόντος και το διφασικό μίγμα που παράγεται κινεί έναν στρόβιλο τύπου Pelton ο οποίος συνδέεται με μία ηλεκτρογεννήτρια.

Στη συνέχεια της διεργασίας ο ατμός που εξέρχεται από το διφασικό στρόβιλο οδηγείται στον αμοστρόβιλο όπου και πάλι παράγεται ηλεκτρική ισχύς. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της παραγομένης ισχύος σε σχέση με τον κύκλο εκτόνωσης του διφασικού ρευστού. Πιλοτικές μονάδες που λειτουργούσαν με τον κύκλο αυτό βρίσκονταν στο Coso Hot Springs της Καλιφόρνιας και στο Cerro Prieto του Μεξικού [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝ- ΘΑΛΠΙΑΣ

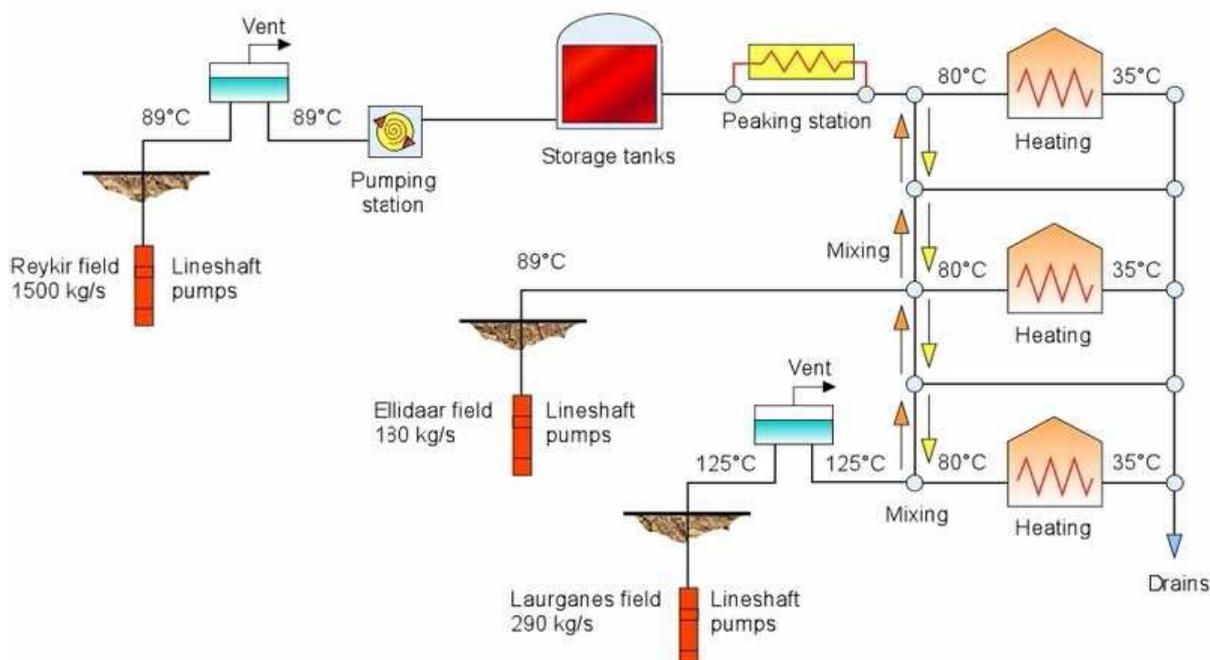
Επιμέλεια : Α. Μπαλτζή (4.1 – 4.3, 4.5 – 4.6), Χ. Μπουσγολίτης (4.4),
Απ. Μιχόπουλος (4.7)

4.1. Τηλεθέρμανση και θέρμανση χώρων – Ψύξη χώρων

Η τηλεθέρμανση και η θέρμανση χώρων αποτελούν από τις πλέον συνήθεις και τεχνικοοικονομικά συμφέρουσες χρήσεις που εφαρμόζονται κατά την αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας.

Η περιφερειακή θέρμανση οικισμών και πόλεων ευρίσκει εφαρμογή σε πολλές χώρες. Ιδιαίτερα μεγάλη ανάπτυξη παρουσίασαν στην Ισλανδία, όπου η συνολική ισχύς του γεωθερμικού συστήματος τηλεθέρμανσης ανέρχεται σε περίπου 1200 MWt. Αποτελούν επίσης ιδιαίτερα διαδεδομένες εφαρμογές και στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, καθώς και τις Η.Π.Α., Κίνα, Ιαπωνία, Γαλλία, κλπ.

Με την εφαρμογή τηλεθέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια μπορεί να δημιουργηθούν ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες εκμετάλλευσης, διότι η παραγωγή θερμικής ενέργειας εξασφαλίζεται από εγκαταστάσεις χαμηλού κόστους κατασκευής, συντηρήσεως και κυρίως λειτουργίας.



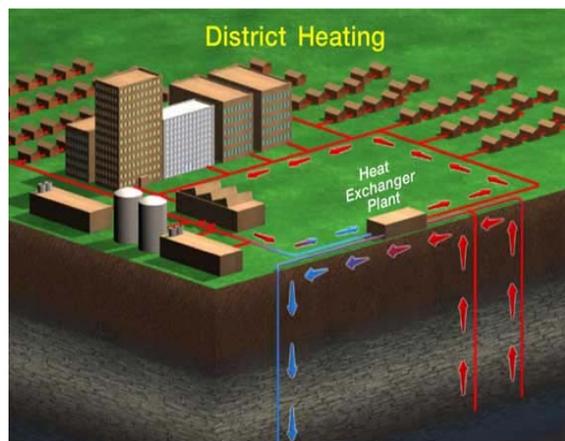
Σχήμα 42: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής του συστήματος τηλεθέρμανσης του Reykjavik (www.geothermal-energy.org)

Τα γεωθερμικά συστήματα τηλεθέρμανσης είναι έντασης κεφαλαίου, δηλαδή απαιτούν μεγάλα αρχικά κεφάλαια. Το κύριο κόστος αφορά την αρχική επένδυση για την κατασκευή των γεωτρήσεων άντλησης και επαναφόρτισης, 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 τη διαχείριση της εγκατάστασης, είναι σημαντικά μικρότερα σε σύγκριση με αυτά μιας συμβατικής μονάδας.

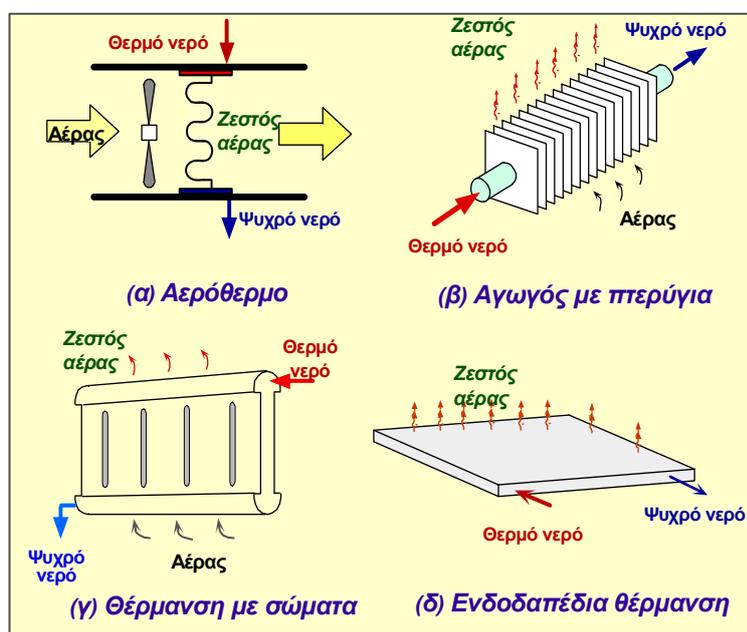
Οι θερμικές απαιτήσεις εξαρτώνται από τις κλιματολογικές συνθήκες, ενώ οι θερμοκρασίες σχεδιασμού από τη χρήση (κατοικίες 18-20°C, γραφεία 17-18°C κ.λπ.). Για να γίνει συνδυασμός τηλεθέρμανσης και κάλυψης αναγκών σε ζεστό νερό πρέπει η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού να είναι τουλάχιστον 65°C (Lund *et al.*, 2005). 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.

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 (Σχήμα 43,44) (John W. Lund 1996, R. G. Bloomquist 2003, Rafferty Kevin 2001).



Σχήμα 43: Εγκατάσταση για άμεση θέρμανση χώρων



Σχήμα 44: Εναλλάκτες αέρα-υγρού: (α) με εξαναγκασμένη ροή, (β και γ) με φυσική συναγωγή και (δ) με ακτινοβολία (N. Ανδρίτσος).

Η θέρμανση χώρων από τη γεωθερμία είναι πολύ ανταγωνιστική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.

Στην Ευρώπη, η άμεση θέρμανση χώρων από τη γεωθερμία αντιστοιχεί στο 75% του συνόλου παγκοσμίως, με εγκατεστημένη ισχύ που ανέρχεται σε 3.339,45 MW_{th} (στοιχεία

του 2005). Πρώτη σε εγκατεστημένη ισχύ έρχεται η Ισλανδία με 1.375 MW_{th} (το 95% των κτιρίων της πόλης του Ρέικιαβικ θερμαίνονται με γεωθερμικό ρευστό) και δεύτερη η Τουρκία με 901 MW_{th}.

Με μεγάλη διαφορά από τις δύο προηγούμενες ακολουθούν η Γαλλία με 243 MW_{th}, η Ιταλία με 131,8 MW_{th}, η Ρωσία με 110 MW_{th}, η Γερμανία με 92,6 MW_{th}, η Πολωνία με 59,2 MW_{th}, και η Ρουμανία με 57,2 MW_{th}.

Στην Ελλάδα η εγκατεστημένη ισχύς για άμεση θέρμανση χώρων ανέρχεται μόλις σε 1,2 MW_{th}, με τη μεγαλύτερη εγκατάσταση να βρίσκεται στα Λουτρά Τραϊανούπολης (C. Karytsas, D. Mendrinou and J. Goldbrunner 2003) του νομού Έβρου.

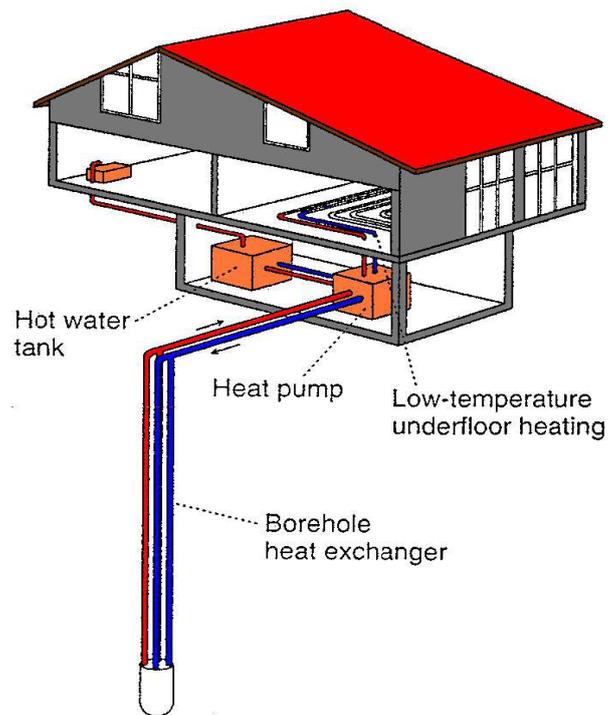
Η ψύξη χώρων αποτελεί μια αρκετά εφικτή και βιώσιμη επιλογή, στην περίπτωση όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανές απορρόφησης, οι οποίες βρίσκονται εύκολα στο εμπόριο και η τεχνολογία τους είναι ευρέως γνωστή. Ο κύκλος της απορρόφησης είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας τη θερμότητα έναντι του ηλεκτρισμού.

Η ψύξη επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο υγρών:

- ενός ψυκτικού, το οποίο κυκλοφορεί, εξατμίζεται και συμπυκνώνεται, και
- ενός δευτερεύοντος ρευστού ή απορροφητικού (absorbent)

Για εφαρμογές πάνω από 0°C, ο κύκλος χρησιμοποιεί βρωμίδιο του λιθίου ως απορροφητικό και νερό ως ψυκτικό υγρό. Για εφαρμογές κάτω από τους 0°C χρησιμοποιείται ο κύκλος αμμωνίας/νερού, με την αμμωνία στο ρόλο του ψυκτικού και του νερού στο ρόλο του απορροφητικού μέσου. Τα γεωθερμικά ρευστά παρέχουν την απαιτούμενη ενέργεια για την κίνηση αυτών των μηχανών, όμως η αποτελεσματικότητά τους μειώνεται όταν οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες των 105°C.

Ο γεωθερμικός κλιματισμός (θέρμανση και ψύξη) χώρων άρχισε να αναπτύσσεται σημαντικά από τη δεκαετία του 1980, ακολουθώντας την εμφάνιση και την ευρεία διάδοση των αντλιών θερμότητας (heat pumps). Οι πολλοί διαθέσιμοι τύποι αντλιών θερμότητας επιτρέπουν την απόληψη και χρήση με οικονομικό τρόπο του θερμικού περιεχομένου των σωμάτων χαμηλής θερμοκρασίας, όπως είναι το έδαφος ή οι ρηχοί υδροφόροι, τεχνητές ή φυσικές συγκεντρώσεις νερού (ponds), κλπ. (Sanner, 2001) (Σχήμα 45).



Σχήμα 45: Τυπική εφαρμογή συστήματος αντλιών θερμότητας που είναι συνδεδεμένες με το υπέδαφος (από Sanner et al., 2003)

4.2. Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές η αφαλάτωση θαλασσινού νερού είναι μια σημαντική εφαρμογή της γεωθερμίας.

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 m³/h επιτυγχάνεται αφαλάτωση 600 m³/h την ημέρα, σε οκτώ δράσεις, με εκτιμώμενο κόστος επένδυσης 550.000,000 δρχ. και κόστος αφαλάτωσης νερού περί της 350 δρχ./m³. 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.



Σχήμα 46: Αφαλάτωση νερού στην Κίμωλο (N. Ανδρίτσος)

4.3. Αγροτικές Εφαρμογές

Οι αγροτικές εφαρμογές της γεωθερμίας συνίστανται κυρίως στις ανοικτές καλλιέργειες και τη θέρμανση θερμοκηπίων. Συγκεκριμένα το πεδίο εφαρμογής καλύπτει τους παρακάτω τομείς:

- Θέρμανση θερμοκηπίων κηπευτικών
- Θέρμανση θερμοκηπίων παραγωγής μανιταριών
- Θέρμανση φυτειών σπαραγγίων με σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης
- Αντιπαγετική προστασία σε ιχθυοκαλλιέργειες
- Θέρμανση εγκαταστάσεων ιχθυογεννητικών σταθμών
- Καλλιέργεια φυκιών
- Εντατική ιχθυοκαλλιέργεια
- Ξήρανση – αφυδάτωση αγροτικών προϊόντων
- Ξήρανση – αφυδάτωση ζωοτροφών
- Θέρμανση σταβλικών εγκαταστάσεων και ορνιθοτροφείων

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.

Βέλτιστη λύση 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.

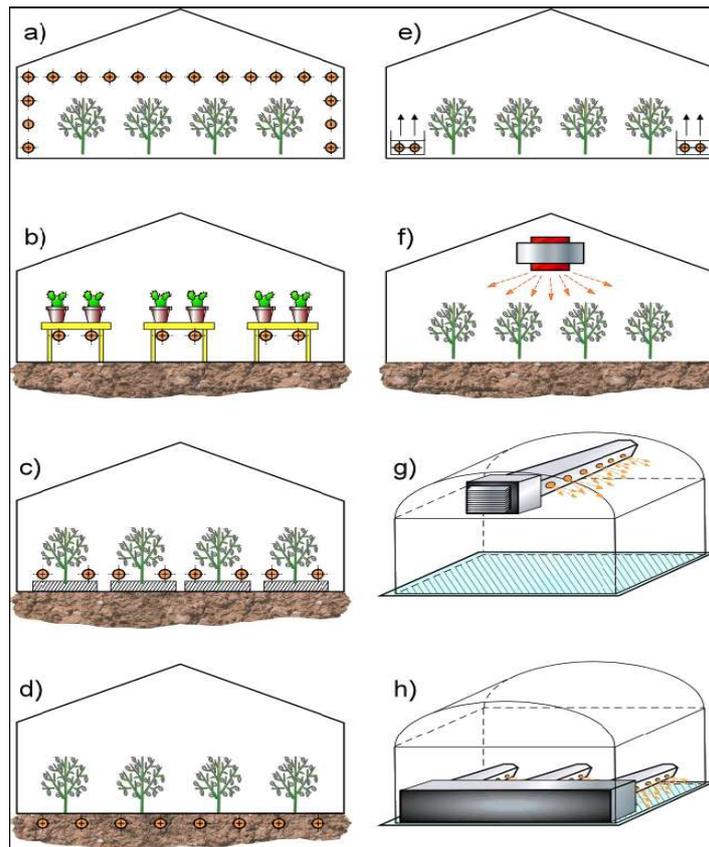
Ο θερμοκρασιακός έλεγχος στις ανοικτές καλλιέργειες έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

(α) αποτρέπει τις ζημιές λόγω χαμηλών θερμοκρασιών, παγετού, κλπ.,

(β) επεκτείνει την περίοδο ανάπτυξης των φυτών και δίνει σημαντική ώθηση στην παραγωγή, και

(γ) αποστειρώνει το έδαφος (Barbier and Fanelli, 1977).

Τα θερμαινόμενα θερμοκήπια και εδάφη χρησιμοποιούνται για την αύξηση της παραγωγής και την πρωίμιση καλλιεργειών. 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 και η θέρμανση εδαφών απαιτούν την παρουσία γεωθερμικών ρευστών σε θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 30°C. Ο χώρος ενός θερμοκηπίου μπορεί να θερμανθεί με πέντε τρόπους (Σχήμα 47): α) με εναέριους, επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες τοποθετημένους μέσα στο χώμα (σε βάθος 5-20 cm), β) με εναλλάκτη αέρα – γεωθερμικού νερού ή νερού λειτουργίας (αερόθερμο), γ) με τοποθέτηση θερμοηλεκτρικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου, δ) με ψεκασμό της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής (κυρίως για αντιπαγετική προστασία) και ε) με συνδυασμό των προηγούμενων τρόπων (Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν. 2005).



Σχήμα 47: Συστήματα θέρμανσης σε γεωθερμικά θερμοκήπια.

Εγκαταστάσεις θέρμανσης με φυσική κίνηση του αέρα (φυσική συναγωγή):

(α) εναέριοι σωλήνες θέρμανσης (β) θέρμανση πάγκων (γ) σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένοι χαμηλά (δ) θέρμανση εδάφους

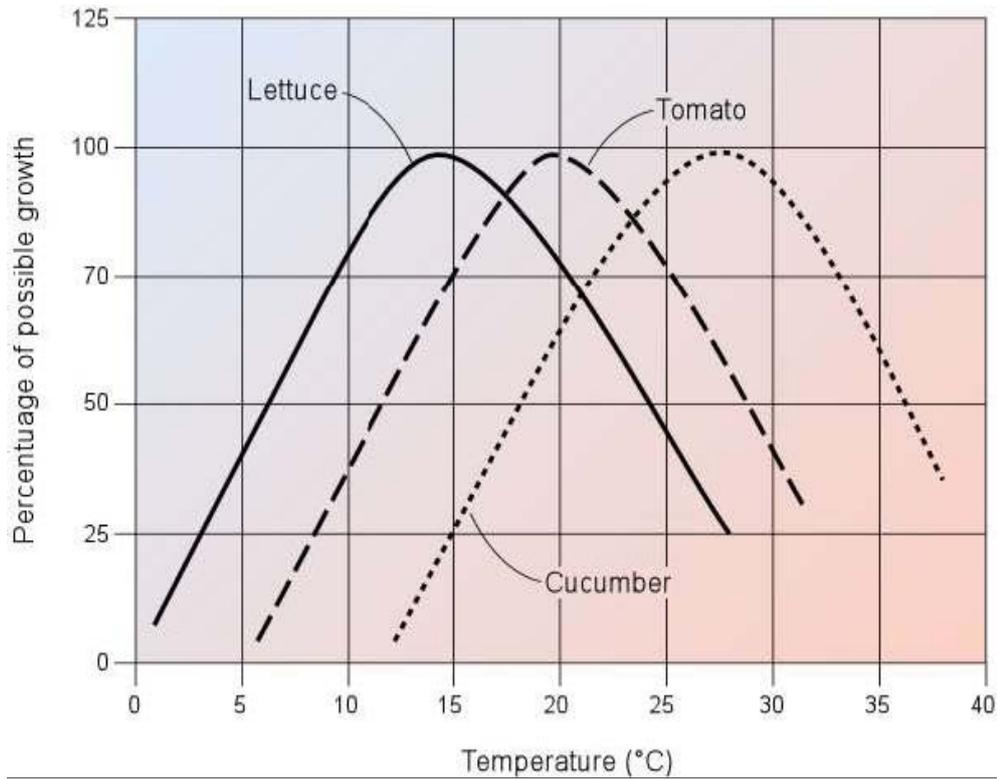
Εγκαταστάσεις θέρμανσης με εξαναγκασμένη κίνηση του αέρα (εξαναγκασμένη συναγωγή)

(ε) πλευρική τοποθέτηση σωλήνων (στ) εναέριο αερόθερμα (ζ) αγωγοί τοποθετημένοι

ψηλά (η) αγωγοί τοποθετημένοι χαμηλά

(von Zabeltitz, 1986)

Υπάρχουν ποικίλες λύσεις για την επίτευξη των βέλτιστων συνθηκών ανάπτυξης των φυτών, οι οποίες βασίζονται στη χρήση της καλύτερης θερμοκρασίας για το κάθε είδος (Σχήμα 48), στη σωστή ένταση του φωτός, στην ιδανική συγκέντρωση CO₂ μέσα στο θερμοκήπιο, στην κατάλληλη υγρασία του εδάφους και του αέρα και στην κίνηση του αέρα μέσα στα θερμοκήπια.



Σχήμα 48: Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη κάποιων φυτών (Beall and Samuels, 1971)



Σχήμα 49: Πρωίμηση σπαραγγιών με σωλήνες PP με πτυχώσεις (N. Ανδρίτσος)



Σχήμα 50: Σακούλες PE

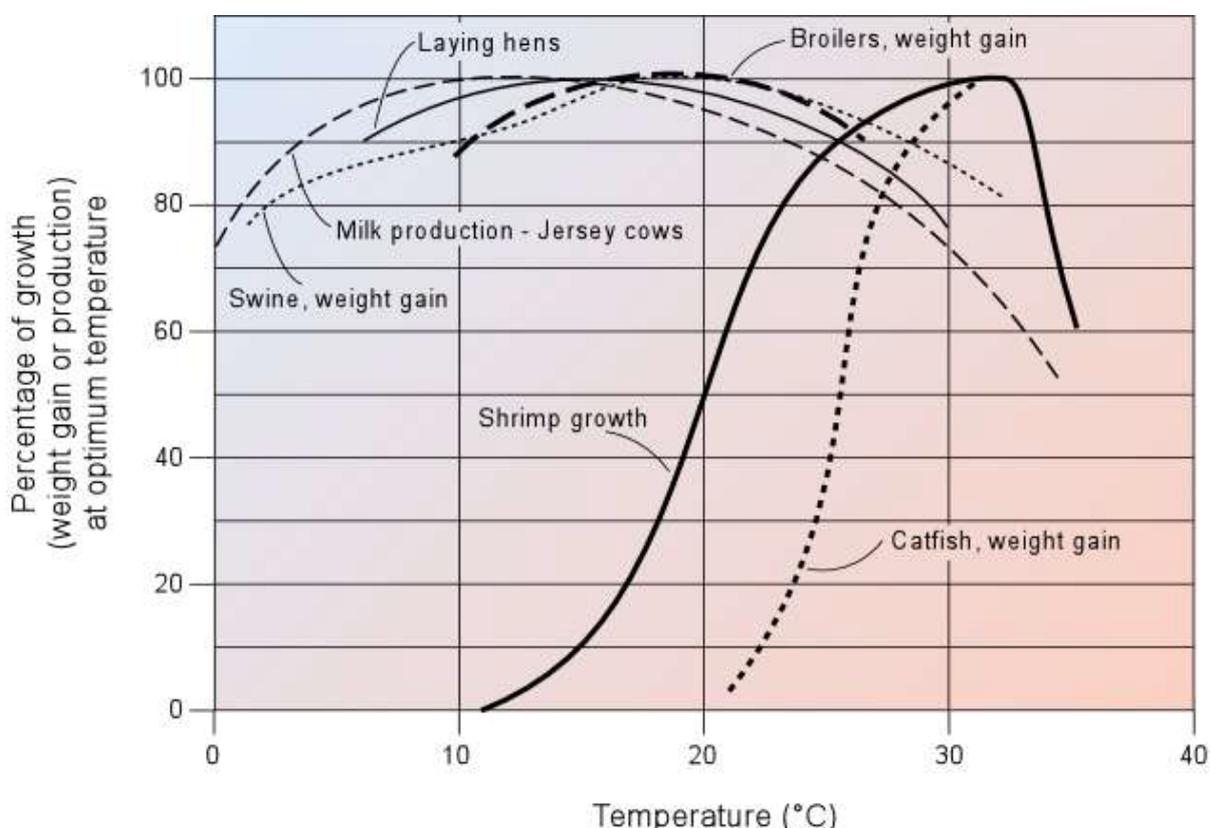


Σχήμα 51: Μεταλλικοί αγωγοί με πτερόγια

Η εκτροφή κτηνοτροφικών ειδών και οι υδρόβιοι οργανισμοί, όπως ακριβώς και τα φυτά, επωφελούνται σημαντικά από τις άριστες συνθήκες της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου, τόσο ως προς την ποιότητα όσο και ως προς την ποσότητα παραγωγής τους (Σχήμα 52).

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 τη 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 (Barbier and Fanelli, 1977).



Σχήμα 52: Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη ή παραγωγή ζώων που εκτρέφονται για κατανάλωση (Beall and Samuels, 1971)

4.4. Υδατοκαλλιέργειες

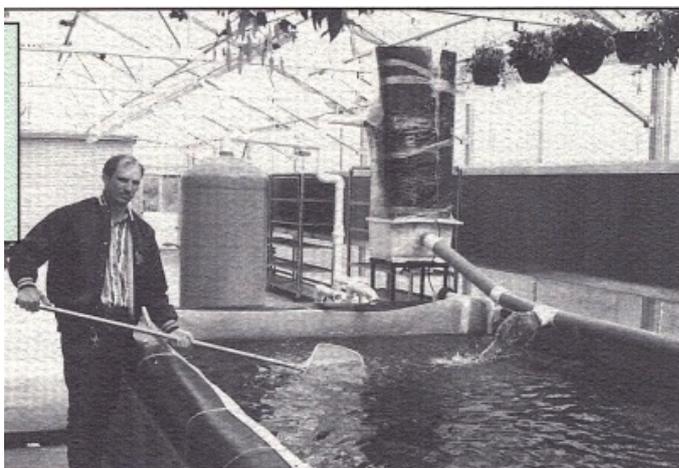
Ο όρος υδατοκαλλιέργεια περιλαμβάνει την καλλιέργεια ή εκτροφή υδρόβιων οργανισμών με τη χρήση διάφορων τεχνικών με σκοπό την αύξηση, πέραν των φυσικών ικανοτήτων του περιβάλλοντος, της παραγωγής των εν λόγω οργανισμών. Οι οργανισμοί αυτοί παραμένουν, καθ' όλη τη διάρκεια εκτροφής ή καλλιέργειάς τους μέχρι την εξαλίευσή τους, στην ιδιοκτησία φυσικού ή νομικού προσώπου. (Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του Ε.Π..Χ.Σ.Α.Α. για τις Υδατοκαλλιέργειες)

Στις υδατοκαλλιέργειες ο έλεγχος της θερμοκρασίας του νερού μπορεί να απαιτείται σε διάφορες περιπτώσεις, για παράδειγμα στην αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης, στο καθορισμό συγκεκριμένου μεγέθους ψαριού σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, στην αναπαραγωγή, εκκόλαψη και στα πρώτα στάδια ανάπτυξης. Τα διάφορα είδη οργανισμών έχουν διαφορετικές βέλτιστες θερμοκρασίες. Εάν η περιβάλλουσα θερμοκρασία νερού είναι ψυχρότερη ή θερμότερη από την ιδανική θερμοκρασία τότε είναι χρήσιμη η παρέμβαση.

Ο τύπος υδατοκαλλιέργειας στον οποίο είναι δυνατή η θερμοκρασιακή παρέμβαση είναι στα κλειστά κυκλώματα εκτροφής. Δηλαδή στις εκμεταλλεύσεις υπερεντατικής υδατοκαλλιέργειας, οι οποίες βασίζονται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού εκτροφής, εντός θερμομονωμένων εγκαταστάσεων με τη χρήση τεχνητών μέσων, στις οποίες δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες εκτροφής. Χαρακτηρίζονται από τις περιορισμένες ανάγκες σε νερό, το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας και τις αυξημένες διαχειριστικές διαδικασίες.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την θέρμανση στις υδατοκαλλιέργειες δεν διαφέρουν από αυτές στον οικιακό και βιομηχανικό τομέα. Ωστόσο τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες πρέπει να θερμάνουν μεγάλες ποσότητες νερού και γι' αυτό οφείλουν να είναι αποδοτικά. Προσοχή επίσης χρειάζεται στο είδος του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί (εναλλάκτες σωληνώσεις κτλ) ώστε να μην επηρεαστεί αρνητικά το υδάτινο περιβάλλον αλλά και να συνεχίσει η εγκατάσταση να λειτουργεί αξιόπιστα.

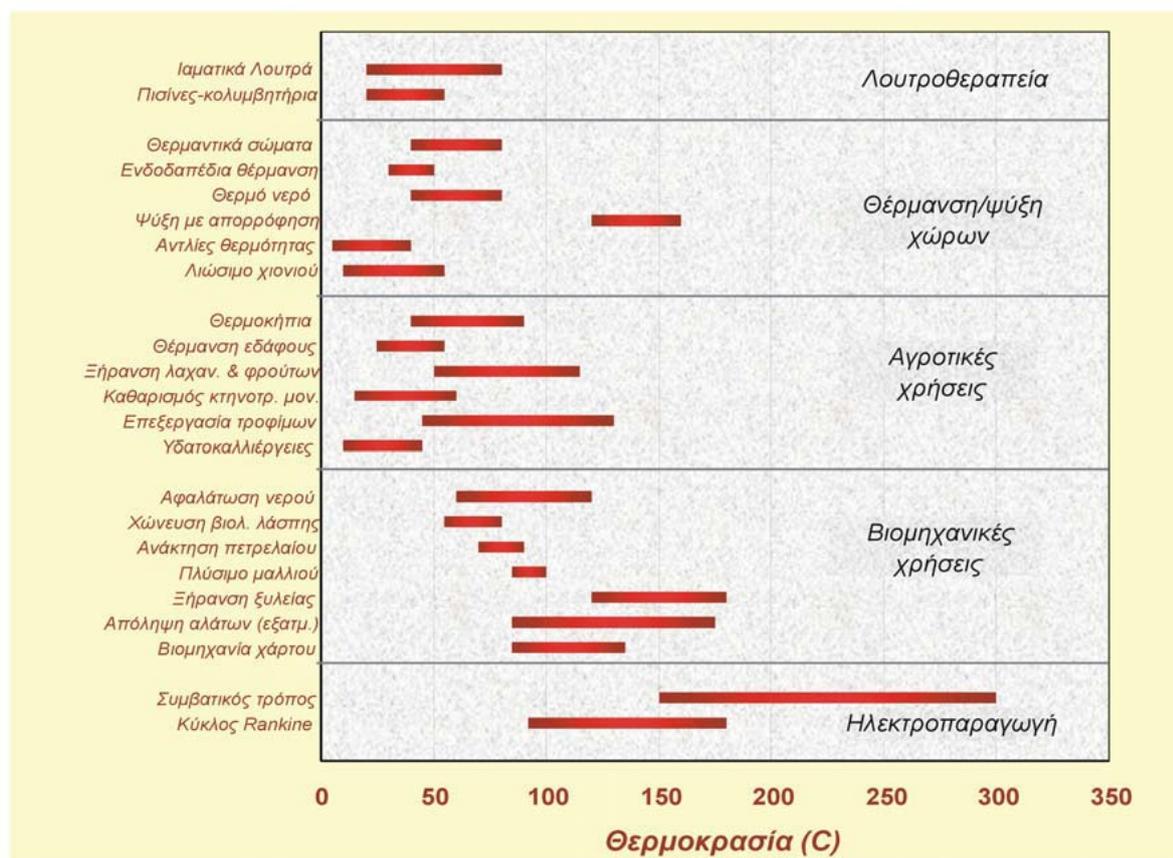
Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας θα έδινε ανταγωνιστικό πλεονέκτημα ανάλογα με την απαιτούμενη ποσότητα θέρμανσης. Επίσης, χάρη στην υψηλή απόδοση στη θέρμανση και ψύξη, η χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πρόσβαση σε γεωθερμικά πεδία αποτελεί ελκυστική λύση.



Σχήμα 53: Υδατοκαλλιέργεια των τροπικών *tilapia* σε θερμοκρασίες 26~32°C σε δεξαμενές 350 m³, με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.

4.5. Βιομηχανικές εφαρμογές

Τα γεωθερμικά ρευστά, σε ολόκληρο το θερμοκρασιακό τους εύρος, είτε πρόκειται για ατμό είτε για νερό, μπορούν να αξιοποιηθούν και σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπως άλλωστε φαίνεται από το διάγραμμα του Lindal (Σχήμα 54).



Σχήμα 54: Τροποποιημένο διάγραμμα Lindal (www.ypan.gr).

Οι διάφορες δυνατές μορφές αξιοποίησης περιλαμβάνουν θέρμανση κατά τη διεργασία, εξάτμιση, ξήρανση, απόσταξη, αποστείρωση, πλύσιμο, λιώσιμο πάγων και ανάκτηση αλάτων.

Η χρήση της γεωθερμικής θερμότητας κατά τη βιομηχανική επεξεργασία διάφορων προϊόντων εφαρμόζεται σε 19 χώρες (Lund and Freeston, 2001), όπου οι εγκαταστάσεις είναι γενικά πολύ μεγάλες και η κατανάλωση ενέργειας υψηλή.

Άλλα συγκεκριμένα παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών είναι η εμφιάλωση νερού και ανθρακούχων ποτών, η παραγωγή χαρτιού, τμημάτων αυτοκινήτων, η ανάκτηση λαδιού, η παστερίωση γάλακτος, η χρήση στη βυρσοδεψία, η χημική ανάκτηση προϊόντων, η παραγωγή με διαχωρισμό του CO₂, η χρήση σε πλυντήρια, η ξήρανση γης διατόμων, η επεξεργασία πολτού και χαρτιού και η παραγωγή βορικών αλάτων και βορικού οξέος.

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 γεινίαση της τελευταίας με το γεωθερμικό πεδίο (B. Lindal 1992).

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.

Στην Ιαπωνία λειτουργεί μια μικρή βιομηχανία που χρησιμοποιεί τις λευκαντικές ιδιότητες του υδρόθειου (H_2S) των γεωθερμικών νερών για την παραγωγή πρωτοποριακών και εξαιρετικής ποιότητας υφασμάτων για γυναικεία ρούχα. Στην ίδια χώρα, εφαρμόζεται σε πειραματικό στάδιο μια τεχνική για τη βιοτεχνική-βιομηχανική παρασκευή ενός ελαφρού 'γεωθερμικού ξύλου', το οποίο θεωρείται ιδιαίτερα κατάλληλο για ειδικές κατασκευές. Κατά την επεξεργασία του κανονικού ξύλου με το νερό μιας γεωθερμικής πηγής, τα πολυσακχαρίδιά του υφίστανται υδρόλυση, οπότε το υλικό γίνεται πιο πορώδες και συνεπώς ελαφρύτερο.

Οι βιομηχανικές εφαρμογές από τη γεωθερμία στην Ευρώπη αντιστοιχούν σε $120,3 \text{ MW}_{th}$, περίπου το 25% του συνόλου παγκοσμίως. Η πλειοψηφία των εφαρμογών βρίσκεται στην Ισλανδία (60 MW_{th}), τη Ρωσία (25 MW_{th}), τη Ρουμανία ($14,1 \text{ MW}_{th}$), την Ιταλία ($10,2 \text{ MW}_{th}$) και τη Γεωργία ($7,1 \text{ MW}_{th}$).

Η Ελλάδα βρίσκεται στη 10^η θέση των κρατών της Ευρώπης, με εγκατεστημένη ισχύ μόλις $0,2 \text{ MW}_{th}$. Πρόκειται για μία μονάδα αφυδάτωσης ντομάτας στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης, η οποία μάλιστα ήταν η πρώτη τέτοια μονάδα στον κόσμο.



Σχήμα 55: Γεωθερμικό ξηραντήριο τομάτας τύπου σήραγγας στο Ν. Εράσμιο της Ξάνθης



Σχήμα 56: Δύο μονάδες για αντιπαγετική προστασία και θέρμανση τεχνητών λιμνών για ιχθυοκαλλιέργεια στο Πόρτο-Λάγος και στο Ν. Εράσμιο Ξάνθης

4.6. Λουτροθεραπεία - Θέρμανση πισινών - 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 (Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν. 2005).

Η εγκατεστημένη ισχύς για θέρμανση πισινών και ιατρικές εφαρμογές στην Ευρώπη το 2005 ανήλθε σε 1.476,43 MW_{th}. Πρώτη έρχεται η Τουρκία με 402 MW_{th} και ακολουθεί η Ουγγαρία με 350 MW_{th}. Με διαφορά ακολουθούν η Ιταλία (158,8 MW_{th}), η Σλοβακία (118,3 MW_{th}), η Κροατία (77 MW_{th}), η Ισλανδία (75 MW_{th}), η Ρουμανία (42,4 MW_{th}), η Ελβετία (40,8 MW_{th}), ενώ 9^η στην κατάταξη έρχονται η Ελλάδα και η Σερβία με εγκατεστημένη ισχύ 36 MW_{th}.

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.

Ειδικότερα η Ελλάδα διαθέτει:

- Περισσότερες από 700 θερμές πηγές
- 52 θεραπευτικά κέντρα

Σημειώνεται ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στασιμότητα, αν και γίνεται προσπάθεια για ανακαίνιση και αναβάθμιση των υπηρεσιών (Αιδηψός, Καμένα Βούρλα, Σιδιρόκαστρο, Ν. Απολλωνία κτλ.)



Σχήμα 57: Θερμά Λουτρά Αιδηψού και Θερμοπυλών

4.7. Άλλες χρήσεις

Η αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών δεν περιορίζεται μόνο στη χρήση της θερμικής ενέργειας την οποία περιέχουν. Τα ρευστά αυτά μεταφέρουν μια σειρά από διαλυμένα σε αυτά στοιχεία, τα οποία μπορούν με συγκεκριμένες τεχνικές να ανακτηθούν και να αξιοποιηθούν κατάλληλα. Τέτοια στοιχεία είναι π.χ. ο χρυσός, ο λευκόχρυσος, το στρόντιο, το μαγνήσιο, το βόριο, το αντιμόνιο, κ.α. Σε προηγούμενη ενότητα έχει αναφερθεί η παραγωγή βορικού οξέως από εξάτμιση γεωθερμικού ρευστού, στο Larderello της Ιταλίας, δραστηριότητα η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα έχοντας ήδη 200 χρόνια εφαρμογής. Αντίστοιχα στην Ισλανδία λειτουργεί μονάδα ανάκτησης διαφόρων αλάτων και στο Μεξικό ανακτάται κάλιο και μαγνήσιο από γεωθερμικά ρευστά [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004]. Εκτός όμως από τα στερεά στοιχεία και τις χημικές ενώσεις, τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν διαλυμένα και αέρια. Από τα αέρια αυτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάκτηση και αξιοποίηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂).

4.7.1. Ανάκτηση διοξειδίου του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα υπάρχει σε πολλά γεωθερμικά πεδία και μπορεί εύκολα να δεσμευτεί και να χρησιμοποιηθεί ως εμπορικό παραπροϊόν. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα στο Kizildere της Τουρκίας όπου παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανακτώνται και ποσότητες CO₂ οι οποίες χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία αναψυκτικών. Μονάδες ανάκτησης του CO₂ από γεωθερμικά ρευστά υπάρχουν επίσης και στην Ισλανδία, στην Κένυα, στις Η.Π.Α., κ.α. [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004]. Το διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται εκτός από τη βιομηχανία αναψυκτικών για την παρασκευή των αεριούχων ποτών και ως πυροσβεστικό μέσο, συστατικό για τη συντήρηση των τροφίμων, ως πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία, για τη σύνθεση ανόργανων και οργανικών χημικών ενώσεων, όπως επίσης και για την εξόρυξη πετρελαίου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η χρήση του CO₂ ως πρόσθετο στην ατμόσφαιρα των θερμοκηπιακών καλλιέργειών. Η προσθήκη διοξειδίου του άνθρακα στα θερμοκήπια έχει ως στόχο την αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών λόγω της επιτάχυνσης του φαινομένου της φωτοσύνθεσης. Πρέπει όμως στο σημείο αυτό να τονιστεί πως η ανάκτηση του CO₂ από γεωθερμικές πηγές εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη ζήτηση του προϊόντος αλλά και από τους τεχνικούς περιορισμούς λόγω προβλημάτων που εμφανίζονται στην αποθήκευση για μεγάλο χρονικό διάστημα και στη μεταφορά του.

4.7.2. Διάφορες Χρήσεις

Εκτός όμως από τις χρήσεις της γεωθερμίας που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στις προηγούμενες παραγράφους, υπάρχει και μια πληθώρα άλλων σημαντικών εφαρμογών περισσότερο ή λιγότερο διαδεδομένων. Ορισμένες από τις χρήσεις αυτές είναι [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004], [Lund, κ.α., 2011]:

- το πλύσιμο και διαύγαση ινών,
- η παραγωγή αποσταγμένου νερού,
- η χώνευση λυμάτων,
- το πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού,
- ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων οριζόντων,
- η αντιπαγετική προστασία δρόμων, γεφυρών, πλατιών,
- η επεξεργασία πατάτας,
- η άρδευση,

- η ψύξη των κτιρίων με τη χρήση συστημάτων απορρόφησης, προσρόφησης,
- η θέρμανση κτηνοτροφικών μονάδων,
- η αποστείρωση φιαλών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Επιμέλεια : Χ. Μπουσγολίτης

5.1 Εισαγωγή

Η κυρίαρχη χρήση των Ground Source Heat Pumps (GSHP, εδαφικής πηγής αντλίες θερμότητας) είναι ο κλιματισμός (θέρμανση-ψύξη) των κτιρίων. Σύμφωνα με την Αμερικάνικη Environmental Protection Agency (EPA) από το 1993 χαρακτηρίστηκε «το πιο ενεργειακά αποδοτικό, περιβαλλοντικά καθαρό και οικονομικά σκόπιμο σύστημα κλιματισμού». Αυτή η τοποθέτηση αποδεικνύεται ακόμη πιο αληθινή στη παρούσα φάση όπου η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται και να βελτιώνεται ενώ οι συμβατικές τεχνολογίες έχουν πιάσει τα όριά τους και οι τιμές της ενέργειας έχουν συνεχιζόμενη ανοδική πορεία. Πολλές παραλλαγές των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας είναι διαθέσιμες (νερού-νερού, νερού-αέρα, νερού-αέρα και ζεστού νερού κτλ) με αποτέλεσμα να υπάρχει ευελιξία στο σχεδιασμό και την εγκατάσταση συστημάτων θέρμανσης-ψύξης σε όλα τα κτίρια και ταυτόχρονα να επιτυγχάνονται ασύγκριτες αποδόσεις σε σχέση με τα ανταγωνιστικά συστήματα.

Πλεονεκτήματα

Οικονομικά πλεονεκτήματα

- Μειωμένο λειτουργικό κόστος, λόγω μεγαλύτερης απόδοσης και στη θέρμανση και στη ψύξη όταν συγκρίνεται με ανταγωνιστικά συστήματα
- Μειωμένη ηλεκτρική κατανάλωση και κυρίως σε περιόδους αιχμής στη ψύξη
- Μειωμένο κόστος συντήρησης επειδή όλος ο εξοπλισμός βρίσκεται σε εσωτερικό χώρο και χωρίς απαιτήσεις καθαρισμού
- Μεγάλος χρόνος ζωής του εξοπλισμού και επομένως ασυναγώνιστη οικονομική απόδοση στο χρόνο ζωής (25 χρόνια για τον μηχανικό εξοπλισμό περισσότερο από 50χρόνια για το γεωεναλλάκτη).

Πλεονεκτήματα χωροταξίας

- Βελτιωμένη αισθητική χωρίς εξωτερικές μονάδες
- Χωρίς προβλήματα φθοράς ή κλοπής
- Χωρίς εξωτερικές σωληνώσεις και ηλεκτρικές παροχές
- Χωρίς υποχρεωτικά ανοίγματα αερισμού

Άνεση και Ασφάλεια για τους χρήστες

- Χωρίς καύση με θέματα μονοξειδίου άνθρακα, οσμές και ρύπους
- Απλή λειτουργία
- Χωρίς θέματα ανεφοδιασμού και αποθήκευσης

Περιβαλλοντικά οφέλη

- Συμπαγής κατασκευή χωρίς διαφυγές ψυκτικών υγρών
- Σημαντική ελάττωση των εκπομπών των αερίων που δημιουργούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου

5.2 Αντλίες Θερμότητας

5.2.1. Σύντομη Περιγραφή Συστημάτων

Ο όρος που χρησιμοποιείται διεθνώς για να περιγράψει την τεχνολογία είναι GROUND SOURCE HEAT PUMP (GSHP), στα Ελληνικά θα μπορούσε να μεταφραστεί και ως Εδαφικής Πηγής Αντλία Θερμότητας. Ο όρος συμπεριλαμβάνει μία ποικιλία συστημάτων τα οποία εκμεταλλεύονται το έδαφος, τα υπόγεια νερά και τα επιφανειακά νερά ως πηγές

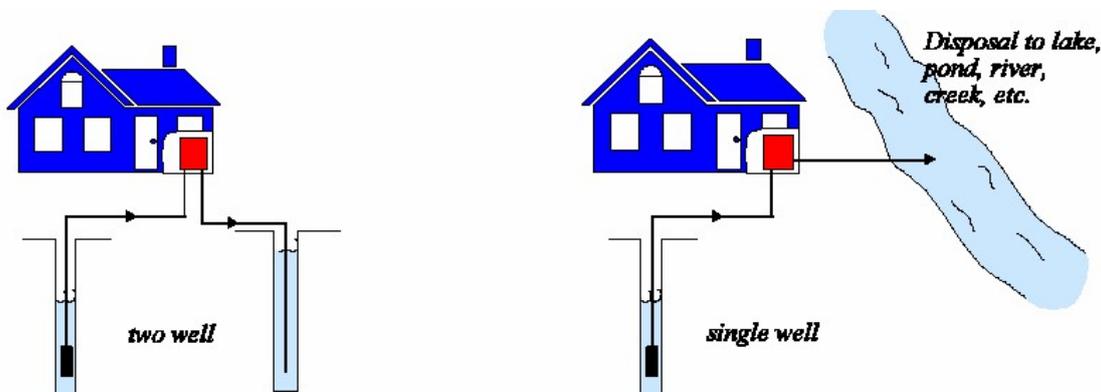
θερμότητας ή αποθήκευσης. Πολλοί παράλληλοι όροι χρησιμοποιούνται, για να περιγράψουν την τεχνολογία σύμφωνα με τις επιστημονικές ή εμπορικές ανάγκες, όπως geothermal heat pump (GHP, Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (ΓΑΘ)), earth energy systems («αβαθής γεωθερμία» πηγή «Γεωθερμία» Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος 2004) και Georexchange (GX, Γεωεναλλάκτες). Ο φορέας American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) έχει τυποποιήσει την ορολογία και οι υποκατηγορίες του όρου GSHP ακολουθούν

- Ο τύπος Ground-Coupled Heat Pump (GCHP, συζευγμένη με το έδαφος αντλία θερμότητας). Με τον όρο αυτό αναφέρονται συνήθως τα κλειστά κυκλώματα (closed loops) τα οποία συμπεριλαμβάνουν τον ψυκτικό κύκλο της αντλίας θερμότητας ο οποίος συνδέεται με το έδαφος απευθείας (direct expansion DX) ή συνήθεστερα με ενδιάμεσο εναλλάκτη. Στη πλευρά του εναλλάκτη που συνδέεται με το κύκλωμα του εδάφους (συνήθως δίκτυο πλαστικών σωληνώσεων) κυκλοφορεί νερό ή διάλυμα νερού με αντιψυκτικό.



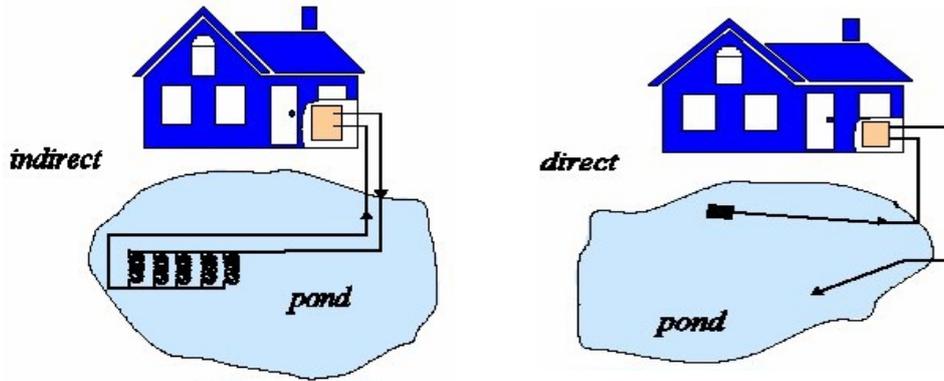
Σχήμα 58: GCHP, Κλειστά συστήματα, κατακόρυφο και οριζόντιο

- Ο τύπος GroundWater Heat Pump (GWHP, υπεδαφικού ή υπόγειου νερού υδροφόρου αντλία θερμότητας). Μέχρι και την προηγούμενη δεκαετία και την ανάπτυξη των κλειστών κυκλωμάτων αποτελούσε το πιο διαδεδομένο σύστημα. Ωστόσο στη κατηγορία των κατοικιών, η μειωμένη ανάγκη συντήρησης των κλειστών κυκλωμάτων τα έκανε ελκυστικότερα. Όσο αναφορά τα μεγαλύτερα κτίρια ο τύπος GWHP αποτελεί την οικονομικότερη λύση αρχικού κόστους εφόσον υπάρχει υπόγειος υδροφόρος σε μικρό βάθος. Το νερό από τον υδροφόρο ανάλογα με την ποιότητά του οδεύει απευθείας στις αντλίες θερμότητας ή αυτές παρεμβολή ενδιάμεσου εναλλάκτη.



Σχήμα 59: GWHP, ανοικτά συστήματα υπόγειου υδροφόρου, άντλησης-επανεισαγωγής και ά-
ντλησης-απόρριψης

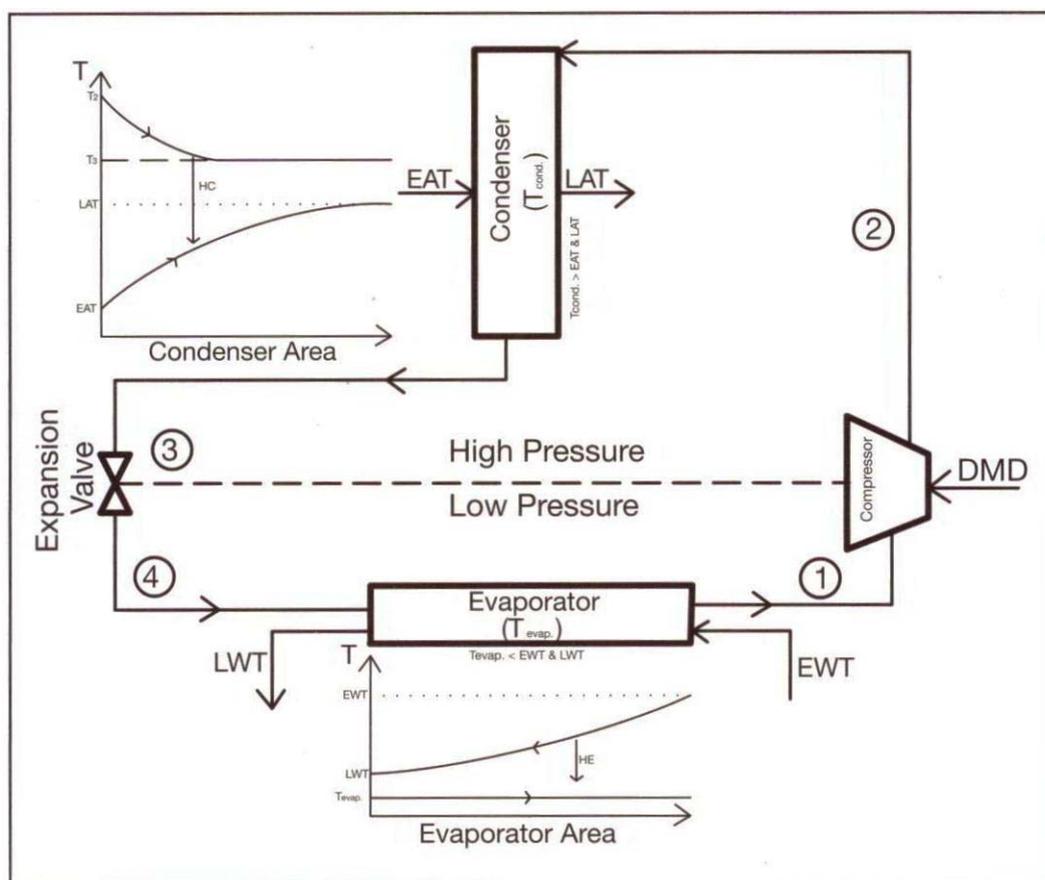
- Ο τύπος Surface Water Heat Pump (SWHP, επιφανειακών νερών αντλία θερμότητας). Συμπεριλαμβάνεται και αυτός ο τύπος στις GSHP επειδή υπάρχουν μεγάλες ομοιότητες στις μεθόδους εφαρμογής και εγκατάστασης. Οι αντλίες θερμότητας επιφανειακών νερών υποδιαιρούνται σε κλειστού κυκλώματος, παρόμοιες με τις GCHP ή σε ανοικτού κυκλώματος, παρόμοιες με τις GWHP. Ωστόσο η θερμική συμπεριφορά των επιφανειακών νερών διαφοροποιείται από αυτή του εδάφους.



Σχήμα 60: SWHP, επιφανειακών νερών αντλίες θερμότητας, κλειστό και ανοικτό κύκλωμα

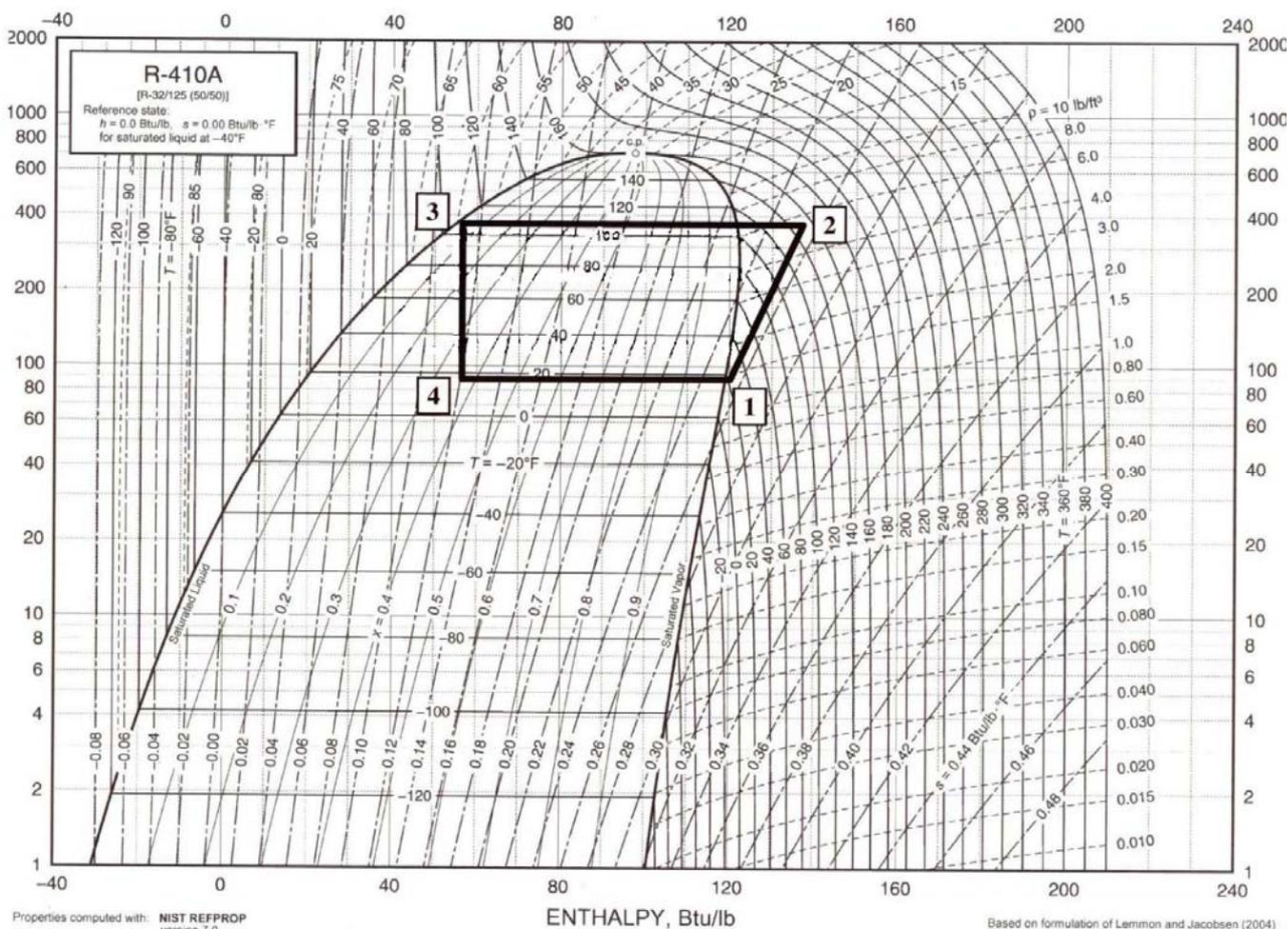
5.2.2. Αρχή Λειτουργίας Αντλιών Θερμότητας

Ο κύκλος εξάτμισης-συμπύκνωσης του ψυκτικού μέσου στις εδαφικής πηγής αντλίες θερμότητας βασίζεται στον κλασικό ψυκτικό κύκλο. Ο κύκλος παρουσιάζεται στην εικόνα 4 για αντλία θερμότητας νερού-αέρα σε λειτουργία θέρμανσης. Τα νούμερα αντιπροσωπεύουν τα οριακά σημεία του ψυκτικού κύκλου (1-αέριο-χαμηλή πίεση-χαμηλή θερμοκρασία, 2-αέριο-υψηλή πίεση-υψηλή θερμοκρασία, 3-υγρό, υψηλή πίεση, υψηλή θερμοκρασία, 4-υγρό-αέριο, χαμηλή πίεση, χαμηλή θερμοκρασία). Ο κύκλος χρησιμοποιεί δύο εναλλάκτες θερμότητας, έναν συμπιεστή, και μία βαλβίδα εκτόνωσης για να παρουσιάσει δύο πλευρές του ψυκτικού μέσου, της υψηλής πίεσης (υψηλής θερμοκρασίας) και της χαμηλής πίεσης (χαμηλής θερμοκρασίας). Η υψηλής πίεσης/θερμοκρασίας πλευρά αποβάλλει θερμότητα μέσω του εναλλάκτη στην υψηλής θερμοκρασίας «αποθήκη» (αέρα στο παράδειγμα) και η χαμηλής πίεσης/θερμοκρασίας πλευρά απορροφά θερμότητα μέσω του εναλλάκτη από την χαμηλής θερμοκρασίας πηγή (έδαφος) σε μία υψηλής θερμοκρασίας αποθήκη (κτίριο) χρησιμοποιώντας ηλεκτρική ενέργεια για την κίνηση του συμπιεστή.



Σχήμα 61: Ψυκτικός κύκλος, εξάτμιση - συμπύεση

Ο κύκλος εξάτμισης-συμπύεσης του ψυκτικού μέσου (συνηθέστερα του R410A και 407C) βασίζεται στις αλλαγές φάσης του σε συγκεκριμένες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας. Στο σχήμα 62 φαίνεται το διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας, το οποίο παρουσιάζει τη συσχέτιση ανάμεσα στην πίεση ($psia$), θερμοκρασίας (F), φάσης (υγρή, μίγμα αέριας και υγρής, αέριας) και της ενθαλπίας (ενέργεια στη μονάδα της μάζας Btu/lb).



Σχήμα 62: Διάγραμμα Πίεσης-Ενθαλπίας για ψυκτικό R410A

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των εδαφικής πηγής αντλιών θερμότητας, ο βαθμός απόδοσης COP (Coefficient Of Performance) ως ο λόγος της αποδιδόμενης ενέργειας προς την καταναλισκόμενη.

$$COP_{ideal} = \frac{HC_{cond}}{Work_{comp}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

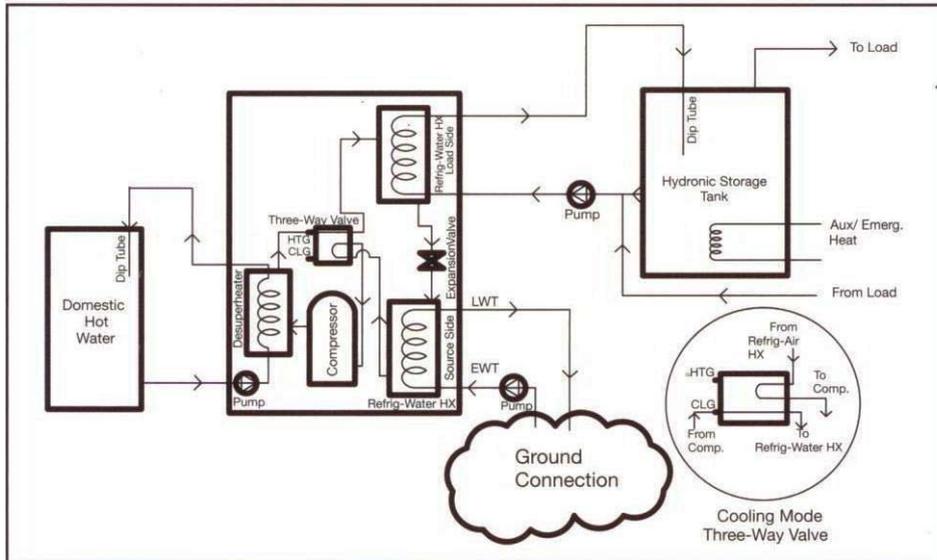
όπου:

COP_{ideal} : ο ιδανικός βαθμός απόδοσης

HC_{cond} : η αποδιδόμενη θερμότητα στον συμπυκνωτή (condenser)

$Work_{comp}$: η καταναλισκόμενη ενέργεια στον συμπιεστή (compressor)

h_{1-2-3} : η ενθαλπία του ψυκτικού στα διάφορα στάδια



Σχήμα 63: GSHP, νερού – νερού, κατάσταση θέρμανσης

Στο σχήμα 63 παρουσιάζεται μια αντλία θερμότητας νερού-νερού η οποία διαθέτει τριόδη βάνα στο ψυκτικό κύκλωμα η οποία επιτρέπει την αυτόματη εσωτερική αλλαγή του συστήματος από θέρμανση σε ψύξη και το αντίστροφο. Επίσης επιλεκτικά κατασκευάζονται και μηχανήματα με εναλλάκτη ζεστού νερού χρήσης (desuperheater).

5.3 Παραδείγματα Χρήσης

Υπάρχουν εκατομμύρια συστήματα παγκοσμίως σε αναρίθμητα είδη κτιρίων με σκοπό την κάλυψη κυρίως αναγκών θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης.

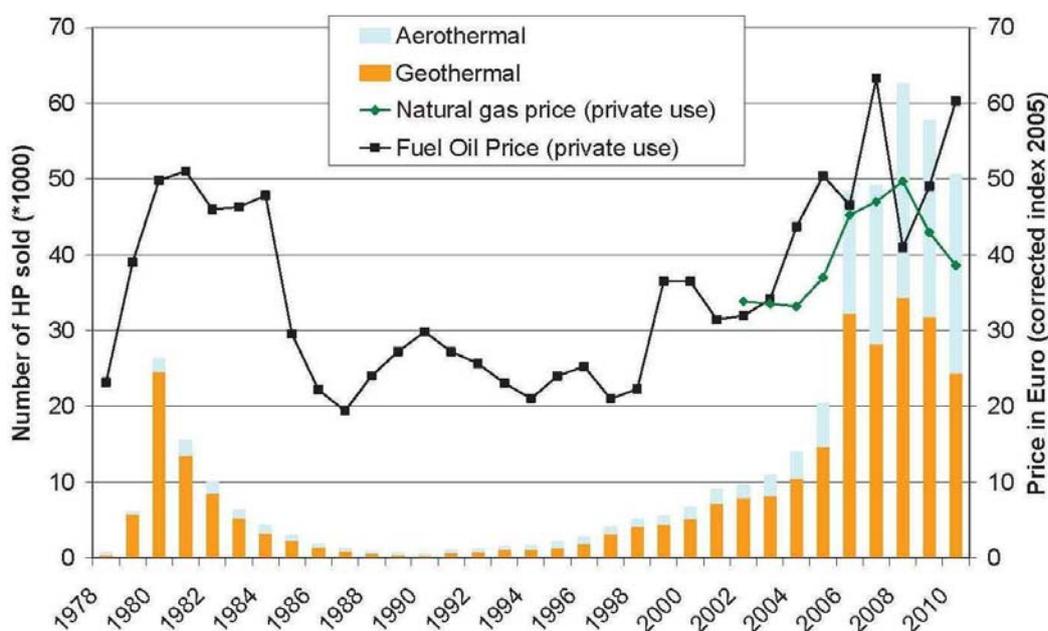


GSHP in Germany – the Market



Development of heat pump sales in Germany

(after data of BWP and German Statistical Office)



European Geothermal Energy Council



www.egec.org

Σχήμα 64: Συσχέτιση πωλήσεων αντλιών θερμότητας σε σχέση με τις τιμές ενέργειας στη Γερμανία

Η πορεία των εφαρμογών είναι ανάλογη με την πορεία του κόστους της ενέργειας και ειδικότερα της ψαλίδας του κόστους των καυσίμων για θέρμανση και της ηλεκτρικής ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Επιμέλεια : Γ. Αναστασιάδης

6.1 Επιπτώσεις κατά το στάδιο έρευνας των γεωθερμικών πεδίων

Για να ξεκινήσει η έρευνα και η αναζήτηση για τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων θα πρέπει να υπάρχουν θετικές ενδείξεις για την ύπαρξη ηφαιστειακών και πλουτώνιων πετρωμάτων. Τέτοιες ενδείξεις συναντώνται σε ηφαιστειογενείς περιοχές ή σε περιοχές που γειτνιάζουν με μαγματικές εστίες σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια. Επιφανειακές εκδηλώσεις που πιστοποιούν την ύπαρξη θερμών πετρωμάτων σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια είναι οι θερμομεταλλικές πηγές, οι οποίες είναι καθοδηγητικές για την αναζήτηση γεωθερμικών πεδίων.

Τα στάδια έρευνας για την αναζήτηση ενός γεωθερμικού πεδίου περιλαμβάνουν τις εξής εργασίες:

1. Γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες.
2. Γεωχημικές έρευνες.
3. Γεωφυσικές έρευνες. Οι παράμετροι ενδιαφέροντος των σχηματισμών και οι μέθοδοι προσδιορισμού είναι:
 - Θερμοκρασία (θερμική έρευνα)
 - Ηλεκτρική αγωγιμότητα (γεωηλεκτρική και ηλεκτρομαγνητική μέθοδος)
 - Ταχύτητα διάδοσης των ελαστικών κυμάτων (σεισμική μέθοδος)
 - Πυκνότητα (βαρυτομετρική μέθοδος)
 - Μαγνητική επιδεκτικότητα (μαγνητική μέθοδος)
4. Όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων.
5. Χρήσεις γης

Από τα προαναφερόμενα στάδια σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις παρουσιάζει η όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων μιας και επιβαρύνει με υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης την ευρύτερη περιοχή καθώς επίσης αλλάζει σημαντικά και την αισθητική του τοπίου. Επίσης σε μικρότερο βαθμό περιβαλλοντικές επιπτώσεις προκαλεί και η γεωφυσική έρευνα με χρήση ελαστικών κυμάτων (σεισμική μέθοδος) μιας και επηρεάζει την πανίδα και επιπλέον αυξάνει τα επίπεδα θορύβου της περιοχής.

6.2 Επιπτώσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας έρευνας και εφόσον διαπιστωθεί η ύπαρξη εκμεταλλεύσιμων γεωθερμικών πεδίων, ακολουθεί η ανάπτυξη της υποδομής που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών. Κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Όρυξη των γεωτρήσεων παραγωγής – και των γεωτρήσεων επανεισαγωγής (εάν αυτό έχει κριθεί απαραίτητο για τη διάθεση των γεωθερμικών ρευστών μετά την εκμετάλλευσή τους).
2. Κατασκευή του δικτύου άντλησης, μεταφοράς και τελικής διάθεσης (απόρριψης) των γεωθερμικών ρευστών.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων διακρίνονται σε:

1. Επιπτώσεις κατά την κατασκευή της παραγωγικής γεώτρησης και της γεώτρησης επανεισαγωγής
2. Αύξηση στάθμης Θορύβου
3. Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς
4. Πρόκληση καθιζήσεων
5. Δημιουργία μικροσεισμικότητας
6. Υδροθερμικές εκρήξεις

6.2.1. Επιπτώσεις από τη γεώτρηση την παραγωγή και την επανεισαγωγή

Η πρώτη περιβαλλοντική επίπτωση που γίνεται αντιληπτή από τα πρώτα κιόλας στάδια εφαρμογής ενός γεωθερμικού έργου είναι οι γεωτρήσεις, ανεξάρτητα αν αυτές φτάνουν σε μικρά βάθη και αποσκοπούν στη μέτρηση της γεωθερμικής βαθμίδας κατά το στάδιο έρευνας ή αν είναι γεωτρήσεις παραγωγής και επανεισαγωγής. Η εγκατάσταση ενός γεωτρητικού συγκροτήματος, που περιλαμβάνει και όλο το βοηθητικό εξοπλισμό του, απαιτεί τη διάνοιξη-επισκευή δρόμων για την πρόσβαση στο σημείο των γεωτρήσεων. Αποτέλεσμα των εργασιών αυτών είναι η ελαφρά τροποποίηση της επιφανειακής μορφολογίας της περιοχής ενώ δεν αποκλείεται η πιθανότητα πρόκλησης μικρών ζημιών στη χλωρίδα και την πανίδα. Επίσης, κατά τη διάρκεια κατασκευής των γεωτρήσεων ή των δοκιμών παραγωγής, υπάρχει κίνδυνος διαφυγής στην ατμόσφαιρα κάποιων ανεπιθύμητων αερίων. Ιδιαίτερα προβλήματα διαρροών μπορεί να υπάρξουν από τα ρευστά που εκρέουν κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων, σε περίπτωση ατυχήματος ή διάρρηξης των σωληνώσεων (παραγωγής και επανεισαγωγής) και από τις όχι καλά στεγανοποιημένες τεχνητές λίμνες των γεωθερμικών ρευστών. Αρκετά υψηλή μπορεί να είναι επίσης και η οπτική όχληση κατά τη διάρκεια της διάτρησης, οφειλόμενη στην παρουσία των γεωτρυπάνων και στην έκταση του εργοταξίου.

6.2.2. Αύξηση στάθμης Θορύβου

Κατά το στάδιο ανόρυξης των γεωτρήσεων και της κατασκευής της μονάδας υπάρχει πιθανότητα να παρουσιαστούν αυξημένα επίπεδα θορύβου τα οποία επιβαρύνουν και την ευρύτερη περιοχή και κυρίως το προσωπικό του εργοταξίου κατασκευής της γεωθερμικής μονάδας.

6.2.3. Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς

Η εγκατάσταση του δικτύου μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών και η κατασκευή των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, επηρεάζει επιπλέον την πανίδα, τη χλωρίδα και την επιφανειακή μορφολογία της περιοχής. Το τοπίο της περιοχής μπορεί να αλλάξει ελαφρώς αν και είναι εφικτό το δίκτυο των σωληνώσεων που διαπερνά την περιοχή και οι πύργοι ψύξης των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να σχεδιαστούν έτσι ώστε να γίνουν αναπόσπαστα τμήματα του τοπίου.

6.2.4. Πρόκληση καθιζήσεων

Η αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων νερού ή ατμού από ένα γεωθερμικό πεδίο, ειδικά όταν οι ταμιευτήρες του αποτελούνται από πορώδεις σχηματισμούς, μπορεί να προκαλέσει ορισμένες φορές καθίζηση του εδάφους η οποία κυμαίνεται από λίγα εκατοστά μέχρι και μερικά μέτρα. Η καθίζηση του εδάφους μπορεί να έχει επιπτώσεις είτε στη σταθερότητα των σωληνώσεων των δικτύων είτε σε άλλα μέρη της εγκατάστασης. Μπορεί επίσης να προκαλέσει το σχηματισμό λιμνών και ρωγμών στο έδαφος και εάν η θέση των εγκαταστάσεων είναι κοντά σε κατοικημένη περιοχή μπορεί να οδηγήσει σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και σε αστάθεια των κτιρίων.

6.2.5. Δημιουργία μικροσεισμικότητας

Με την επανεισαγωγή των υγρών στον ταμιευτήρα υπάρχει πιθανότητα πρόκλησης μικροσεισμών στην περιοχή για το λόγο ότι τα υγρά κατά την επανεισαγωγή τους δρουν ως λιπαντικό για τα υπερκείμενα πετρώματα. Επειδή τα περισσότερα γεωθερμικά πεδία βρίσκονται σε σειсмоγενείς περιοχές, είναι πιθανόν οι μικροί αυτοί σεισμοί να «ανακουφίζουν» τις τοπικές συνθήκες και έτσι να συνδράμουν στην αποφυγή μεγαλύτερου σεισμού.

6.2.6. Υδροθερμικές εκρήξεις

Αυτές είναι σπάνιες αλλά είναι ένας πιθανός κίνδυνος στα πεδία υψηλής θερμοκρασίας. Εμφανίζονται όταν η πίεση ατμού στα υδροφόρα στρώματα κοντά στην επιφάνεια μπορεί να εκτινάξει το εδαφικό υλικό και να προκαλέσει τη δημιουργία κρατήρων. Οι διαστάσεις των κρατήρων μπορεί να κυμαίνονται από 5 m – 500 m διάμετρο και βάθος έως 500 m (αν και οι περισσότερες εκρήξεις δημιουργούν κρατήρες με βάθος λιγότερο από 10 m).

6.3 Επιπτώσεις από γεωθερμικές μονάδες υψηλής ενθαλπίας

Τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση των τεσσάρων τεχνολογιών που έχουν ήδη αναφερθεί (ξηρού ατμού, στρόβιλοι υγρού ατμού, δυαδικού κύκλου με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό, συνδυασμένος κύκλος).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση γεωθερμίας έχει τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με άλλες μεθόδους. Οι επιπτώσεις αυτές κατηγοριοποιούνται σε:

1. Εκπομπές αερίων
2. Υδάτινη και θερμική ρύπανση
3. Απόθεση στερεών αποβλήτων
4. Χρήση γης και οπτική ρύπανση
5. Θόρυβος

6.3.1. Εκπομπές αερίων

Τα μη συμπυκνώσιμα αέρια που εμπεριέχονται στον γεωθερμικό ατμό και μπορούν να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα είναι κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο. Επίσης, υπάρχει περίπτωση να περιέχετε αμμωνία, υδρογόνο, άζωτο, μεθάνιο και ραδόνιο σε δευτερεύουσες ποσότητες, καθώς επίσης και πτητικά σωματίδια βορίου, αρσενικού και υδραργύρου.

Η εκπομπή υδρόθειου (H_2S) αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή ρύπανσης. Χαρακτηρίζεται από μία «οσμή κλούβιων αυγών» και ανιχνεύεται από τον άνθρωπο ακόμη και σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 0,03 ppmv (parts per million by volume). Το υδρόθειο επιταχύνει τη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και αποκλείει τη χρήση ορισμένων μεταλλικών υλικών. Στις γεωθερμικές εγκαταστάσεις με εκπομπές υδροθείου θα πρέπει να χρησιμοποιούνται φορητές συσκευές για την ανίχνευσή του, ιδιαίτερα για το προσωπικό που εισέρχεται σε κλειστούς χώρους.

Οι ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που εκπέμπονται από τις γεωθερμικές μονάδες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του πεδίου και από την τεχνολογία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από γεωθερμικές μονάδες είναι κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές ατμοηλεκτρικών μονάδων και συγκρίνονται ευνοϊκά με τις εκπομπές (έμμεσες) από άλλες μορφές ΑΠΕ. Οι γεωθερμικές μονάδες νέας γενιάς εκπέμπουν λιγότερο από 0,5 kg διοξειδίου του άνθρακα ανά MWh, συγκρινόμενες με τα 1000 kg περίπου διοξειδίου του άνθρακα ανά MWh που εκπέμπονται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα.

Από τους υπόλοιπους αέριους ρύπους που εκπέμπονται, η αμμωνία μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό των ματιών, των ρινικών κοιλοτήτων και του αναπνευστικού συστήματος, ενώ το ραδόνιο είναι καρκινογόνο εάν εισπνευσθεί. Οι εκπομπές αυτών των δύο αερίων είναι κανονικά σε χαμηλά επίπεδα και δεν προκαλούν ανησυχία. Από τα διάφορα μεταλλικά στοιχεία που εκπέμπονται, το αρσενικό είναι καρκινογόνο καθώς επίσης προσβάλλει και το δέρμα, το βόριο ερεθίζει το δέρμα και τους βλεννογόνους υμένες και επιπλέον είναι τοξικό και για τα φυτά και τέλος η εισπνοή ή η κατάποση του υδραργύρου μπορεί να προκαλέσει νευρολογικές διαταραχές. Όμως, αυτά τα μέταλλα εκπέμπονται γενικά σε χαμηλές ποσότητες με αποτέλεσμα να μη θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία. Τα μέταλλα είναι πιθανό επίσης να αποθεθούν στο έδαφος και με τη διήθησή τους να συμβάλουν στη μόλυνση των υπόγειων νερών.

6.3.2. Υδάτινη και θερμική ρύπανση

Η κύρια ανησυχία από την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας υψηλής ενθαλπίας προέρχεται από τη διάθεση των γεωθερμικών ρευστών στους υδάτινους αποδέκτες. Η σύσταση ενός γεωθερμικού ρευστού εξαρτάται από το είδος και την προέλευση των πετρωμάτων του ταμιευτήρα καθώς επίσης και από τη θερμοκρασία και την πίεση του.

Η απόρριψη ή η διαρροή του γεωθερμικού ρευστού, από το οποίο έχει εξαχθεί ή όχι η θερμότητα, δημιουργεί συνήθως περιβαλλοντικό πρόβλημα (υδάτινη ρύπανση ή ρύπανση του εδάφους), τόσο λόγω της περιεκτικότητάς του σε διάφορα χημικά συστατικά (αρσενικό, βόριο, φθόριο, κλπ), όσο και λόγω της αρκετά υψηλότερης θερμοκρασίας του σε σχέση με τη θερμοκρασία των αποδεκτών. Ιδιαίτερα προβλήματα διαρροών μπορεί να υπάρξουν κυρίως στα αρχικά στάδια αξιοποίησης του πεδίου (από τα ρευστά που εκρέουν κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων) σε περίπτωση ατυχήματος ή διάρρηξης των σωληνώσεων (παραγωγής και επανεισαγωγής) ή από τις μη αποτελεσματικά στεγανοποιημένες τεχνητές λίμνες των γεωθερμικών ρευστών.

6.3.3. Απόθεση στερεών αποβλήτων

Επιπτώσεις από τη γεωθερμία στο έδαφος ή στο υπέδαφος μπορεί να υπάρξουν και από την απόθεση στερεών αποβλήτων. Σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις στερεά απόβλητα μπορεί να δημιουργηθούν από τις εξής πηγές: α) λάσπη γεωτρήσεων και θρύμματα των διατρούμενων σχηματισμών κατά τη διάρκεια της διάτρησης, β) απόβλητα από τις τεχνολογίες δέσμευσης του υδρόθειου και γ) στερεά άλατα από την απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων στο γεωθερμικό ρευστό ή από τον καθαρισμό των σωληνώσεων από τις επικαθίσεις (ανθρακικό ασβέστιο, θειούχες ενώσεις βαρέων μετάλλων, πυριτικές ενώσεις).

Οι ποσότητες στερεών αποβλήτων δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες, ειδικά όταν συγκρίνονται με απόβλητα από μονάδες που λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα και τα περισσότερα από αυτά δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως τοξικά.

6.3.4. Χρήση γης και οπτική ρύπανση

Το κύριο χαρακτηριστικό της γεωθερμικής ενέργειας αυτής της κατηγορίας είναι ότι απαντά σε ορισμένες μόνο περιοχές και η αξιοποίησή της γίνεται επιτόπου. Το θετικό σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι ο «συνολικός κύκλος παραγωγής της ενέργειας» περιορίζεται σε μία μόνον περιοχή, κάτι που εξαλείφει την ανάγκη μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών σε αποστάσεις μεγαλύτερες από μερικά χιλιόμετρα. Η έκταση που απαιτείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας (πχ για την εγκατάσταση της μονάδας, το χώρο των γεωτρήσεων, τις σωληνώσεις μεταφοράς και τους δρόμους πρόσβασης) είναι γενικά μικρότερη από την έκταση της γης που απαιτούν άλλες μορφές ενέργειας, ιδιαίτερα αν συγκρίνει κανείς με τις εκτάσεις που απαιτούνται για την εξόρυξη και την αποθήκευση των καυσίμων ή τη δημιουργία φραγμάτων και τεχνητών λιμνών. Το ίδιο ισχύει και για την οπτική ρύπανση από τις γεωθερμικές μονάδες μιας και το κυριότερο ορατό τμήμα μίας μονάδας είναι ο πύργος ψύξης.

6.3.5. Θόρυβος

Κατά τη φάση λειτουργίας της γεωθερμικής μονάδας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει αρκετά υψηλό επίπεδο θορύβου που προέρχεται κυρίως από τους ανεμιστήρες του πύργου ψύξης, τον εκτοξευτή ατμού και το βόμβο των ατμοστροβίλων.

Ο θόρυβος ελέγχεται κυρίως από μόνιμες εγκαταστάσεις σιγαστήρων ή άλλων συσκευών μείωσης θορύβου.

6.4 Επιπτώσεις από γεωθερμικές μονάδες χαμηλής ενθαλπίας

Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι ηπιότερη σε σχέση με την επιβάρυνση από τα ρευστά υψηλής ενθαλπίας. Η περιεκτικότητα των ρευστών σε μη συμπυκνώσιμα αέρια είναι γενικά περιορισμένη, εκτός από μερικές περιπτώσεις όπου υπάρχουν ορισμένες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Προβλήματα καθιζήσεων ή δημιουργίας μικροσεισμικότητας δεν έχουν ποτέ καταγραφεί σε πεδία χαμηλής θερμοκρασίας.

Η θερμική επιβάρυνση είναι σαφώς μικρότερη, με την προϋπόθεση ότι τα νερά μετά τη χρήση τους έχουν θερμοκρασία μικρότερη από 30-35°C. Το κύριο περιβαλλοντικό πρόβλημα από τα ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας εντοπίζεται στη διάθεση των νερών μετά την απόληψη του θερμικού φορτίου τους. Η επιφανειακή διάθεση (τεχνητές ή φυσικές λίμνες, χείμαρροι, ποταμοί, θάλασσα) αποτελεί τη φθηνότερη λύση και τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε από τις αρχές της αξιοποίησης της γεωθερμίας. Τρία προβλήματα σχετίζονται με τη λύση αυτή: α) η αυξημένη θερμοκρασία των νερών (θερμική ρύπανση), β) η σχετικά υψηλή περιεκτικότητα των νερών σε διάφορα συστατικά (υδροθείο, βαρέα μέταλλα, κλπ) και γ) η «εξάντληση» του πεδίου με το χρόνο. Η διάθεση σε λίμνες, ποτάμια και χείμαρρους, λόγω της ευαισθησίας αυτών των οικοσυστημάτων, θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και ύστερα από εμπειριστατωμένη μελέτη και με την προϋπόθεση ότι πληρούνται οι όροι διάθεσης των νερών στους συγκεκριμένους φυσικούς αποδέκτες.

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο έχει εκδώσει σειρά κατευθυντήριων οδηγιών που αφορούν την ποιότητα γλυκών επιφανειακών υδάτων προοριζομένων για υδροληψία, διαβίωση ιχθύων και κολύμβηση, όπου θεσπίζονται μέγιστα επιτρεπόμενα και επιθυμητά όρια συγκεντρώσεων των διαφόρων ουσιών. Οι οδηγίες αυτές έχουν κυρωθεί με νόμους και από το Ελληνικό Κράτος. Για τους θαλάσσιους αποδέκτες η θέσπιση αντίστοιχων περιβαλλοντικών ορίων είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας των υδροδυναμικών συνθηκών που επικρατούν. Η EPA (Environmental Protection Agency) έχει προτείνει ανώτατα και συνιστώμενα όρια ορισμένων ουσιών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν οδηγοί κατά τη μελέτη διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών σε θαλάσσια ύδατα.

Επίσης, επιπτώσεις στο έδαφος ή στο υπέδαφος μπορεί να υπάρξουν και από την απόθεση στερεών αποβλήτων. Πρόκειται για στερεά άλατα από την απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων στο γεωθερμικό ρευστό (π.χ. πυριτικά άλατα) ή από τον καθαρισμό των σωληνώσεων από τις επικαθίσεις (ανθρακικό ασβέστιο, θειούχες ενώσεις βαρέων μετάλλων, πυριτικές ενώσεις).

Τέλος υπάρχει και κίνδυνος από διαρροή υγρών ή αερίων αποβλήτων τα οποία επιβαρύνουν την χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής.

6.5 Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας

6.5.1. Εισαγωγή

Αν και η γεωθερμία αποτελεί μία ήπια μορφή ενέργειας σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές η ιδιόζουσα φύση των γεωθερμικών ρευστών μπορεί να προκαλέσει επιδράσεις στο περιβάλλον όπως αναλυτικά έχουν αναφερθεί.

Η τεχνολογία που είναι διαθέσιμη διεθνώς, μπορεί να συμβάλλει στην αντιμετώπιση των εκπομπών υδρόθειου, της απόρριψης γεωθερμικών ρευστών, κλπ. Ταυτόχρονα έχουν θεσπιστεί παγκοσμίως κατάλληλοι περιβαλλοντικοί κανονισμοί που στηρίζουν την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας. Θετικό είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να ελεγχθούν ή να περιοριστούν σε μεγάλο βαθμό.

6.5.2. Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τα στάδια έρευνας και ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων

Όλες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις γεωτρητικές εργασίες τόσο στο στάδιο έρευνας όσο και σ' αυτό της παραγωγής εκλείπουν με το πέρας αυτών εφόσον εφαρμοστεί η εγκεκριμένη περιβαλλοντική μελέτη. Βέβαια, στη φάση της διάτρησης και των δοκιμών παραγωγής, για να μην υπάρξει επιβάρυνση και ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων νερών από τη λάσπη της διάτρησης αλλά και τα στερεοποιημένα άλατα, απαιτούνται τεχνητές λίμνες απόλυτα στεγανοποιημένες.

Οι καθιζήσεις μπορούν να αποφευχθούν ή να μειωθούν με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα, ενώ η διατήρηση της πίεσης στον ταμιευτήρα μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης υδροθερμικών εκρήξεων.

6.5.3. Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

6.5.3.1 Αντιμετώπιση αέριων εκπομπών

6.5.3.1.1 Μέθοδοι περιορισμού εκπομπών υδρόθειου (H₂S)

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες δέσμευσης του υδρόθειου μπορούν γενικά να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, αυτές που απομακρύνουν το υδρόθειο από τα απαέρια (πρωτογενής καθαρισμός) και αυτές που απομακρύνουν το υδρόθειο που έχει διαλυθεί στο συμπύκνωμα ή στο μίγμα συμπυκνώματος – νερού ψύξης (δευτερογενής καθαρισμός). Η κατανομή του υδρόθειου σ' αυτά τα ρεύματα είναι βασικής σημασίας για το σχεδιασμό της κατάλληλης μεθόδου αντιρρύπανσης.

α) Διεργασία Stretford: Η διεργασία Stretford είναι μία διαδικασία αποθείωσης υγρού-τύπου που χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανίες κατά την οποία το υδρόθειο αφαιρείται από τον ατμό του αερίου και ανακτάται το θείο. Πρόκειται για διαδικασίες αποθείωσης με άριστη απόδοση (σχεδόν 99,9%). Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να απομακρυνθεί το υδρόθειο από τα απαέρια του συμπυκνωτή. Για μονάδες με εναλλάκτη έμμεσης επαφής, οι οποίες τροφοδοτούνται με σχετικά καθαρό ατμό που δεν περιέχει αμμωνία, η μονάδα Stretford μπορεί να επιτυγχάνει τον απαιτούμενο βαθμό απομάκρυνσης του υδρόθειου χωρίς δευτερογενή καθαρισμό.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της διαδικασίας Stretford είναι τα παρακάτω:

- 1) Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται σε οποιοδήποτε αέριο.
- 2) Το υδρόθειο που περιέχεται στο αέριο μπορεί να μειωθεί σε λιγότερο από 0,1 ppm σε ατμοσφαιρικές και υψηλότερες πιέσεις.
- 3) Το θείο ανακτάται με υψηλή καθαρότητα, περισσότερο από το 99,5% κατά βάρος.
- 4) Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία είναι σταθερές, μη τοξικές και επεξεργάζονται εύκολα.
- 5) Η λύση της απορρόφησης είναι ελαφρώς αλκαλική (pH 8,5 – 9,0) και δεν προκαλεί διαβρώσεις.

Η τεχνολογία Stretford χρησιμοποιεί καταλύτη βαναδίου για τη μετατροπή του υδρόθειου σε στοιχειακό θείο και η αναγέννηση του καταλύτη γίνεται με τη βοήθεια δισουλφονικού οξέως ανθρακικώνης. Η διεργασία συνίσταται στην απομάκρυνση του υδρόθειου με απορρόφηση από υδατικό διάλυμα ανθρακικού νατρίου και στη συνέχεια καταλυτική οξειδωση του προς στοιχειακό θείο με αναγωγή πεντασθενούς βαναδίου. Το οξειδωτικό διάλυμα αναγεννάται με τροφοδοσία οξυγόνου που επαναφέρει το βανάδιο στην πεντασθενή του μορφή. Η μονάδα συμπληρώνεται με εγκαταστάσεις απομάκρυνσης του καθαρισμού του στοιχειακού θείου που παράγεται.

Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται τεχνικά αξιόπιστη, ικανή να κατεργαστεί ρεύματα με διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης του ρυπαντή και απαλλαγμένα σοβαρών μειονεκτημάτων. Για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση όμως της μεθόδου για γεωθερμικές εφαρμογές θα πρέπει να τονισθούν και τα εξής σημεία:

- Η διεργασία Stretford είναι μία, σχετικά πολύπλοκη, χημική διεργασία που απαιτεί στενή παρακολούθηση και ρύθμιση. Επιπλέον απαιτεί σοβαρή τεχνική υποστήριξη ώστε να υπάρχει δυνατότητα αντιμετώπισης μίας σειράς προβλημάτων, όπως απόφραξης συσκευών, αφρισμού και αυξημένης κατανάλωσης χημικών.
- Έχει αναγνωρισθεί διεθνώς η αναγκαιότητα ανάπτυξης μεθόδων καθαρισμού του ατμού από το υδρόθειο. Εκτιμάται ότι μέθοδοι καθαρισμού των απαερίων, όπως η διεργασία Stretford, θα έχουν μελλοντικά μάλλον συμπληρωματικό ρόλο στις γεωθερμικές εφαρμογές.

β) Δευτερογενής καθαρισμός: Ο καθαρισμός του συμπυκνώματος και νερού ψύξης από το διαλυμένο υδρόθειο επιτυγχάνεται συνήθως με οξειδωσή του προς στοιχειακό θείο. Η οξειδωση μπορεί να γίνει με τρισθενή ιόντα σιδήρου που εισάγονται στο κύκλωμα με τη μορφή χηλικών συμπλόκων. Στη συνέχεια τα ιόντα σιδήρου αναγεννώνται με ατμοσφαιρικό οξυγόνο στον πύργο ψύξης. Τα κυριότερα τεχνικά προβλήματα αυτής της μεθόδου καθαρισμού είναι η μείωση του χρόνου ζωής της εγκατάστασης λόγω διάβρωσης και τα προβλήματα αποφράξεων από το κολλοειδές θείο που παράγεται.

γ) Διεργασία καύσης/έκπλυσης: Η μέθοδος αυτή αποτελεί βελτίωση του δευτερογενούς διαχωρισμού που περιγράφηκε παραπάνω. Το υδρόθειο καίγεται προς διοξείδιο του θείου το οποίο δεσμεύεται σε πλυντρίδα (scrubber) με το σχηματισμό θειώδους και θειικού οξέος. Εν συνεχεία, χρησιμοποιούνται χηλικές ενώσεις σιδήρου για το σχηματισμό θειοθειικών αλάτων. Το κύριο προϊόν της διεργασίας είναι διάλυμα θειοθειικών, το οποίο επανεισάγεται στον ταμιευτήρα με το συμπύκνωμα. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, το παραγόμενο με τη μέθοδο θειικό οξύ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του pH των γεωθερμικών νερών και τον έλεγχο της δημιουργίας επικαθίσεων.

6.5.3.1.2 Μέθοδοι περιορισμού εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)

Για τον περιορισμό της περιεκτικότητας των γεωθερμικών ρευστών από το διοξείδιο του άνθρακα, μπορεί να εφαρμοστεί η υγρή λεγόμενη επανεισαγωγή των αερίων στον ταμιευτήρα. Με τη μέθοδο αυτή, το διοξείδιο του άνθρακα διαλύεται στο θερμό αλμόλοιπο, το οποίο εν συνεχεία επανεισάγεται στον ταμιευτήρα μέσω των γεωτρήσεων επανεισαγωγής.

6.5.3.1.3 Μέθοδοι περιορισμού εκπομπών από άλλα αέρια

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, η αμμωνία εμφανίζεται σε μικρές ποσότητες σε πολλά γεωθερμικά συστήματα. Στα γεωθερμικά εργοστάσια ξηρού ατμού, η αμμωνία οξειδώνεται σε άζωτο και νερό καθώς περνά στην ατμόσφαιρα. Άλλα επικίνδυνα αέρια που τυχόν υπάρχουν όπως το ραδόνιο, μεθάνιο, κλπ επανεισάγονται στον ταμιευτήρα.

Τα φίλτρα επίσης μειώνουν τις αέριες εκπομπές αλλά παράγουν μία υγρή λάσπη πλούσια σε θείο και βανάδιο, ένα μέταλλο που είναι τοξικό σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Επιπρόσθετη λάσπη παράγεται όταν υδροθερμικός ατμός συμπυκνώνεται προκαλώντας την καθίζηση των διαλυμένων στερεών. Αυτή η λάσπη έχει γενικά υψηλή περιεκτικότητα σε πυριτικά συστατικά, χλωρικά, αρσενικό, υδράργυρο, νικέλιο και άλλα τοξικά βαρέα μέταλλα. Μία δαπανηρή μέθοδος απόθεσης των αποβλήτων περιλαμβάνει την ξήρανση τους (όσο το δυνατόν περισσότερο) και τη μεταφορά σε χώρους που έχουν ειδική άδεια για απόθεση τοξικών αποβλήτων.

6.5.3.2 Αντιμετώπιση υδάτινης και θερμικής μόλυνσης

6.5.3.2.1 Επανεισαγωγή

Η πλέον περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδος διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα. Για την επανεισαγωγή αρκεί να διανοιχτούν γεωτρήσεις μεγάλου βάθους, μέσα από τις οποίες τα ρευστά είτε με την υφιστάμενη πίεση τους, είτε με τη βαρύτητα, είτε με τη χρήση αντλιών, προωθούνται στο υπέδαφος. Τα απορριπτόμενα ρευστά μπορεί να είναι άλμη, συμπύκνωμα ατμού, μίγμα αυτών ή τέλος μίγμα με άλλο διαθέσιμο νερό (για αραιώση τυχόν συστατικών). Η θερμοκρασία των ρευστών μπορεί να είναι χαμηλότερη από 50°C, αν επανεισάγεται συμπύκνωμα ή μίγμα με ψυχρά ρευστά, ή και μεγαλύτερη από 100°C, αν επανεισάγεται κατ' ευθείαν άλμη από διαχωριστή υψηλής πίεσης. Από το είδος των ρευστών και τη θερμοκρασία τους εξαρτάται η επιτυχία της μεθόδου. Ο λόγος για τον οποίο μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμη η επανεισαγωγή είναι ο σχηματισμός αποθέσεων με αποτέλεσμα την απαίτηση όλο και μεγαλύτερων πιέσεων και τελικά την απόφραξη των διαδρόμων ροής των ρευστών. Οι αποθέσεις αυτές δημιουργούνται όταν επανεισάγεται υπέρκορη άλμη ή όταν εισάγεται μίγμα συμπυκνώματος με άλλο νερό, που έχουν συστατικά των οποίων η διαλυτότητα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Συνήθως, αντιμετωπίζεται η πρώτη από τις δύο αυτές περιπτώσεις, που όπως και η δεύτερη, έχουν ως αποτέλεσμα να θέτουν περιορισμούς στο χρόνο ζωής της γεώτρησης επανεισαγωγής. Ο χρόνος ημιζωής μίας γεώτρησης επανεισαγωγής ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο η απαιτούμενη πίεση για την επανεισαγωγή ρευστών με σταθερή παροχή έχει πια, λόγω αποθέσεων, διπλασιαστεί

6.5.3.2.2 Φυσικοχημική επεξεργασία του αλμόλοιπου πριν τη διάθεση

Τα συστατικά εκείνα που υπολογίζεται ότι, μετά τη διάλυση, θα εξακολουθούσαν να βρίσκονται σε συγκεντρώσεις πάνω από τα ανεκτά όρια, θα πρέπει να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία, πριν αποτεθούν σε κάποιο υδάτινο αποδέκτη. Παρακάτω αναφέρονται μέθοδοι επεξεργασίας που έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές από τις μέχρι τώρα εφαρμογές:

- Πυριτικά και κολλοειδή στερεά: Ο βέλτιστος τρόπος μείωσης τους είναι η κροκίδωση και χημική κατακρήμνιση με άλατα σιδήρου ή αλουμινίου ή με υδροξείδιο του ασβεστίου, που συνήθως προτιμάται για οικονομικούς λόγους. Οι απαιτούμενες δΟΣΟΛΟΓΙΕΣ εξαρτώνται από τη σύσταση του αλμολοίπου και κυρίως από την αλκαλικότητά του.
- Αρσενικό: Επειδή το αρσενικό βρίσκεται στα αλμολοίπα συνήθως σε τρισθενή μορφή, είναι απαραίτητη κατ' αρχήν η οξειδωσή του σε πεντασθενές αρσενικό που είναι λιγότερο διαλυτό. Η οξειδωση επιτυγχάνεται με κατεργασία του αλμολοίπου με υποχλωριώδες νάτριο, σε αναλογίες 20-50 mg/L, ανάλογα με τη συγκέντρωση του αρσενικού. Μετά την οξειδωση είναι δυνατή η κατακρήμνιση του αρσενικού με υδροξείδιο του ασβεστίου ή άλατα σιδήρου ή αργιλίου.
- Βαρέα μέταλλα (Fe, Cr, Cd, Cu, Pb, Hg): Τα περισσότερα από τα βαρέα μέταλλα κατακρημνίζονται αμέσως με κατεργασία με υδροξείδιο του ασβεστίου. Οι απαιτούμενες αναλογίες εξαρτώνται από την αλκαλικότητα.
- Μαγγάνιο: Το μαγγάνιο κατακρημνίζεται με ασβέστη σε υψηλές τιμές pH.
- Βόριο, Βάριο: Το Βόριο και το Βάριο είναι τα στοιχεία που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δυσκολία απομάκρυνσης με τις απλές φυσικοχημικές μεθόδους που εφαρμόζονται στη κατεργασία των αλμολοίπων.
- Αμμωνία: Η αμμωνία δεν απομακρύνεται γενικά με φυσικοχημικές μεθόδους παρά σε μικρά ποσοστά της τάξης του 20-30%. Εφόσον η συγκέντρωσή της είναι υψηλή και αποτελεί πρόβλημα για τον αποδέκτη, απαιτείται η αφαίρεση της με άλλες μεθόδους (ammonia stripping) ή με βιολογική επεξεργασία.

Σε περιπτώσεις διάθεσης του αλμολοίπου στο έδαφος σε περιοχές υπόγειας υδροφορίας, η πρόβλεψη των θέσεων και της έκτασης μίας ενδεχόμενης μελλοντικής ρύπανσης πηγών υδροληψίας μπορεί να είναι εξαιρετικά δυσχερής λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας στις τιμές των συντελεστών διασποράς, της μεγάλης βραδύτητας διάδοσης της ρύπανσης και της σωρευτικής συμπεριφοράς ορισμένων συστατικών στον εδαφικό ιστό. Συνίσταται γι' αυτό η εφαρμογή επεξεργασίας ικανής να απομακρύνει τα επιβλαβή συστατικά σε βαθμό τουλάχιστον ανάλογο εκείνου που απαιτείται για διάθεση σε επιφανειακά ύδατα.

Τέλος, ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης της θερμικής ρύπανσης είναι η ψύξη του νερού πριν διατεθεί σε υδάτινους αποδέκτες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη φυσική ψύξη κατά την παραμονή του σε τεχνητές λίμνες. Άλλος τρόπος μείωσης του θερμικού φορτίου αποτελεί η διαδοχική χρήση των γεωθερμικών ρευστών (εν σειρά εφαρμογής).

6.5.3.3 Αντιμετώπιση των στερεών αποβλήτων

Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν κατά μέσο όρο 45 kg στερεών αποβλήτων ανά MWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόσφατες τεχνολογικές πρόοδοι μειώνουν σημαντικά την προς απόθεση ποσότητα. Μερικά εργοστάσια, έχουν σήμερα την ικανότητα να αφυδατώνουν τα υποπροϊόντα και να τα αποπλύνουν,

αφαιρώντας με τον τρόπο αυτό τα βαρέα μέταλλα. Το νερό που χρησιμοποιείται για την απόπλυση των βαρέων μετάλλων, επανεισάγεται στον ταμιευτήρα και τα εναπομείναντα στερεά, κυρίως πυριτικό οξύ, χρησιμοποιούνται ως υλικό πλήρωσης στο τσιμέντο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή δρόμων και αντιπλημμυρικών έργων.

Τα άλατα που περιέχονται στα γεωθερμικά ρευστά κρυσταλλώνονται, απομακρύνονται και ανακυκλώνονται. Ο πολύτιμος ψευδάργυρος διαχωρίζεται και πωλείται, όχι μόνο ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα αλλά και συμβάλλοντας στο οικονομικό κέρδος του εργοστασίου.

6.5.3.4 Αντιμετώπιση θεμάτων που σχετίζονται με τις χρήσεις γης

Η χρήση γης για την ανάπτυξη της γεωθερμίας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τον περιορισμό της περιοχής των γεωτρήσεων (χρήση κατευθυνόμενων τεχνικών διάτρησης) και με την αύξηση της δυναμικότητας των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

6.5.4 Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι ηπιότερες από αυτές της υψηλής ενθαλπίας. Παρ' όλα αυτά, η υδάτινη και η θερμική μόλυνση που τυχόν εμφανίζονται, αντιμετωπίζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, όπως αναφέρθηκε και στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή, είτε με επανεισαγωγή των χρησιμοποιημένων ρευστών στον ταμιευτήρα ή με φυσικοχημική διεργασία των αλμολοίπων από τα τοξικά συστατικά και απόθεσή τους σε επιφανειακούς αποδέκτες.

Βέβαια, ανάλογα με τη χρήση των γεωθερμικών ρευστών, υπάρχουν ορισμένοι ακόμη τρόποι αντιμετώπισης, οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω.

6.5.4.1 Αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τις αντλίες θερμότητας

Ισχύουν ακριβώς τα ίδια για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, όσον αφορά τα ψυκτικά υγρά που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα, θα πρέπει να πληρούν όλες τις προδιαγραφές έτσι ώστε να μην συμβάλουν στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος. Η χρήση των χλωροφθορανθράκων που θεωρούνταν ιδανικοί για το σκοπό αυτό, έχει απαγορευτεί με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1987), τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 2037/2000 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και την Απόφαση 94/68/ΕΚ. Χρήση οποιονδήποτε άλλων ψυκτικών απαγορεύεται και τιμωρείται με ιδιαίτερα υψηλές κυρώσεις. Ψυκτικά που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι το R417a, HFC 134a, R407c, R410a,b και τα Εξαμιστικά / Αποξηραντικά ψυκτικά.

6.5.4.2 Αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τη θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών και ιατρικών εφαρμογών

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τα περισσότερα από τα αέρια που περιέχονται στο γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιούνται για θεραπευτικούς σκοπούς. Επομένως, δεν απομακρύνονται, παρά μόνο ελέγχονται πολύ προσεκτικά οι συγκεντρώσεις τους. Για τη μείωση των υγρών αποβλήτων τόσο κατά τη θέρμανση των κολυμβητικών δεξαμενών όσο και κατά τη χρήση των ρευστών σε θέρετρα αναψυχής και λουτροθεραπευτικά κέντρα, γίνεται χρήση ειδικών φίλτρων. Κατά την είσοδο και την έξοδό του, το νερό φιλτράρεται κι έτσι είναι ασφαλές είτε να επανεισαχθεί και να χρησιμοποιηθεί ξανά, είτε να αποθεθεί σε επιφανειακούς αποδέκτες.

6.5.4.3 Αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τις βιομηχανικές εφαρμογές

Ισχύουν όσα αναφέρθηκαν σχετικά με την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να μειωθούν χρησιμοποιώντας διάφορα φίλτρα στις καπνοδόχους των βιομηχανιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ Β. ΕΛΛΑΔΟΣ

Επιμέλεια : Α. Μπαλτζή

7.1 Η γεωθερμική ενέργεια στην Ελλάδα

Οι γεωλογικές συνθήκες στην Ελλάδα ευνόησαν γενικά τη δημιουργία ενός πολύ σημαντικού γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας.

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) τα γνωστά σήμερα αποθέματα γεωθερμικής ενέργειας, χαμηλής θερμοκρασίας, ανέρχονται σε 200.000 Τόνους Ισοδύναμου Πετρελαίου (Τ.Ι.Π.) ανά έτος.

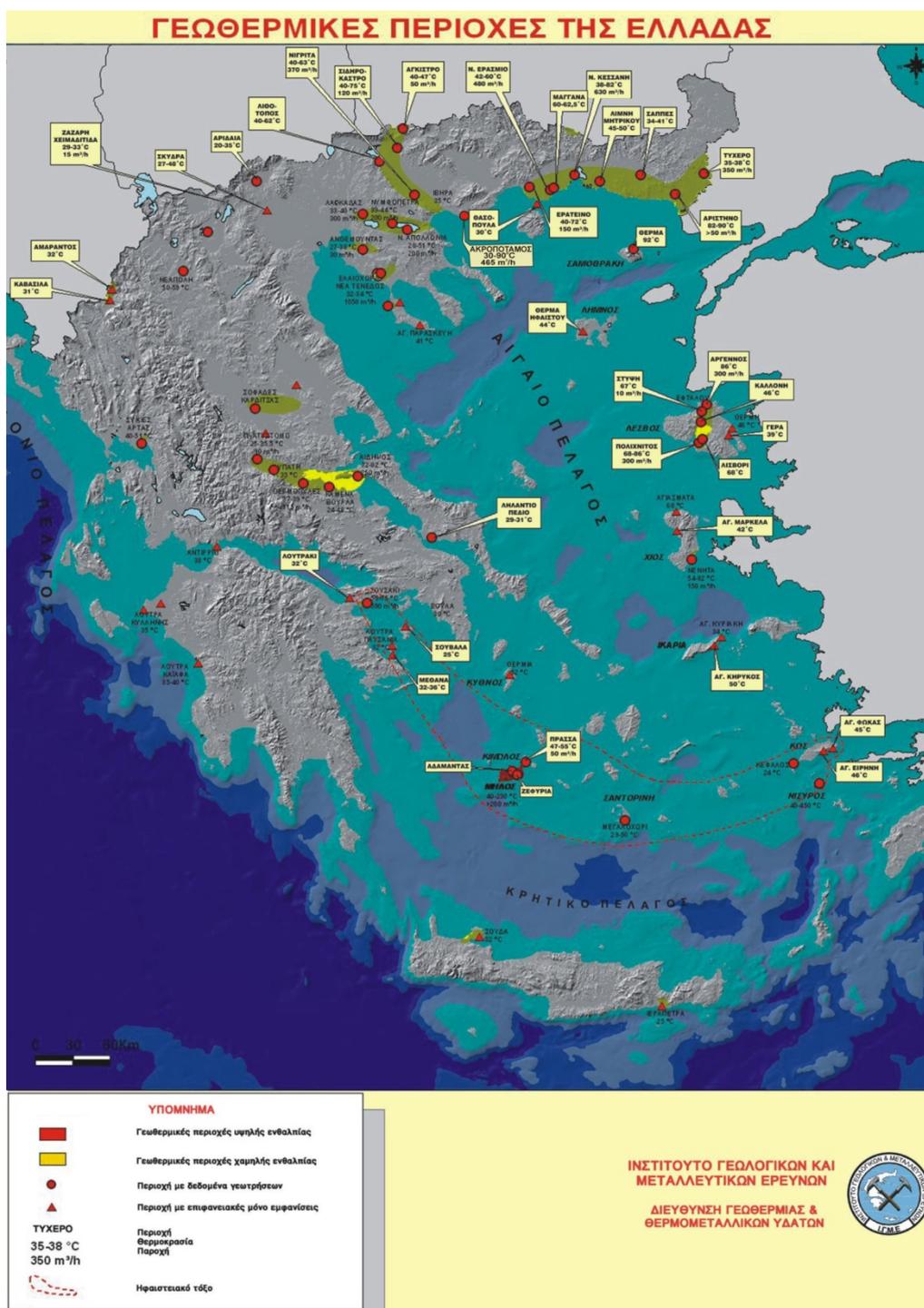
Το απολήψιμο δυναμικό των δύο γνωστών πεδίων υψηλής θερμοκρασίας, σε περίπτωση αξιοποίησης στην ηλεκτροπαραγωγή, ανέρχεται σε 170 MW_e ενώ το πιθανό δυναμικό όλης της χώρας υπερβαίνει τα 500 MW_e.

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής θερμοκρασίας (>130°C) εντοπίζονται στο ηφαιστειακό τόξο του Νότιου Αιγαίου που εκτείνεται από τη νήσο Νίσυρο μέχρι το Σουσάκι-Αγ. Θεοδώρους.

Σημαντικότερα απ' αυτά είναι το πεδίο της νήσου Μήλου με απολήψιμο δυναμικό 120 MW_e και της Νισύρου με 60 MW_e. Τα δύο αυτά πεδία δεν αξιοποιούνται σήμερα στην ηλεκτροπαραγωγή λόγω αντίθεσης των κατοίκων των νησιών. Πολύ ελπιδοφόρες περιοχές για τον εντοπισμό και άλλων πεδίων υψηλής θερμοκρασίας είναι η ν. Κίμωλος, ν. Πολύαιγος, ν. Κως, ν. Γυαλί, ν. Λέσβος, Β. Εύβοια, ν. Σαμοθράκη, κ.ά..

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ν. Λέσβος, όπου από τις μέχρι σήμερα ερευνητικές εργασίες, εντοπίστηκαν σε μικρά βάθη γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασίες γύρω στους 90°C τα οποία μπορούν να τύχουν αξιοποίησης σε γεωργικές, κτηνοτροφικές και βιομηχανικές εφαρμογές.

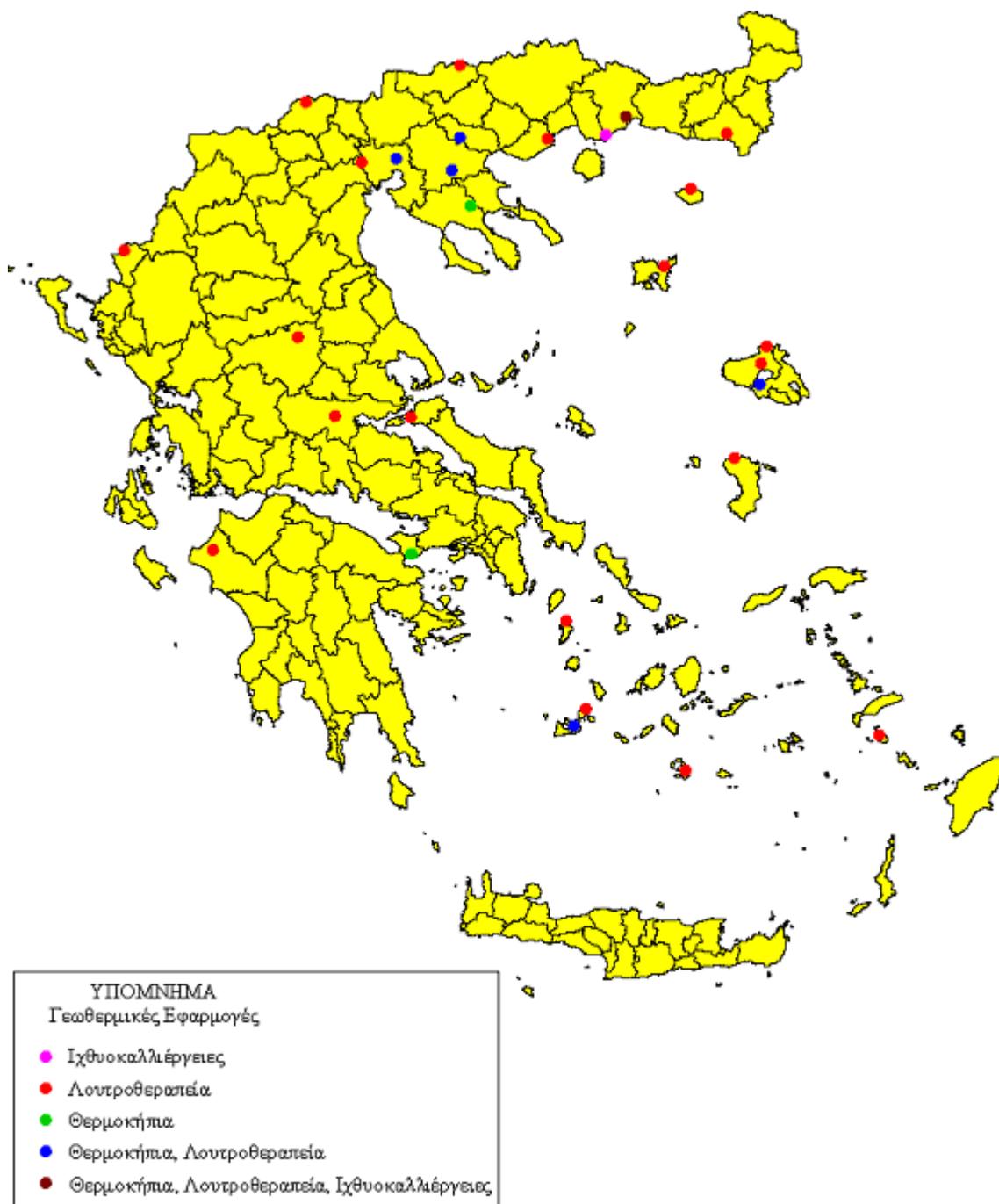
Στο Σχήμα 65 παρουσιάζονται οι περιοχές που έχουν εντοπιστεί γεωθερμικά πεδία στον Ελλαδικό χώρο.



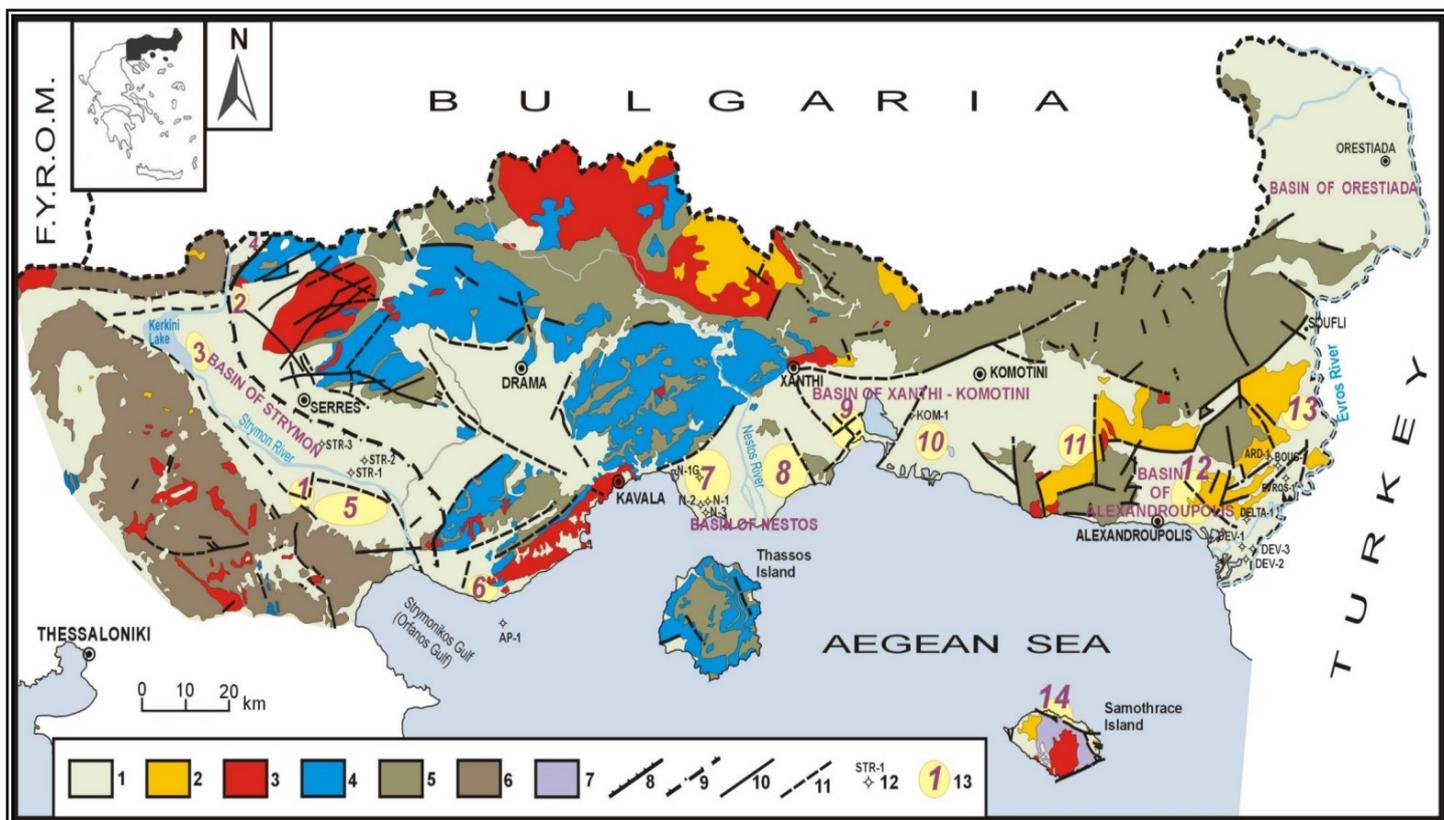
Σχήμα 65: Γεωθερμικές περιοχές της Ελλάδας

Σήμερα αξιοποιούνται μόνο τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας (από 25 μέχρι 80°C περίπου) τα οποία είναι πολύ περισσότερο διαδεδομένα και βρίσκονται σχεδόν σ' όλη τη χώρα. Αν και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ηλεκτροπαραγωγή (εκτός από ειδικές περιπτώσεις) αξιοποιούνται όμως σε πολλές άλλες χρήσεις συνεισφέροντας στην εξοικονόμηση ενέργειας από συμβατικές πηγές και έμμεση μείωση των εκπομπών CO₂, στην ανάπτυξη νέων παραγωγικών δραστηριοτήτων όπως και των μειονεκτικών περιοχών της χώρας.

Οι αντίστοιχες γεωθερμικές εφαρμογές έχουν συνολική θερμική ισχύ μόλις 70 MW_{th}, και περιλαμβάνουν κυρίως θερμά και ιαματικά λουτρά (~45%), και θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών (~55%) (Π. Πουλόπουλος).



Σχήμα 66: Γεωγραφική κατανομή των Γεωθερμικών πεδίων σύμφωνα με τις εφαρμογές τους



Σχήμα 68: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της ΒΑ Ελλάδος (Ανατολική Μακεδονία και Θράκη) με τις θέσεις των κύριων γεωθερμικών πεδίων

1:Θερμά - Νιγρίτα, 2: Σιδηρόκαστρο, 3: Λιθότοπος - Ηράκλεια, 4: Άγκιστρο, 5: Ίβηρα - Αχινός - Μαυροθάλασσα, 6: Ακροπόταμος, 7: Ερατεινό, 8: Μάγγανα - Ν. Εράσμιο, 9: Νέα Κεσσάνη, 10: Λίμνη Μητρικού, 11: Σάππες, 12: Αρίστηνο - Αλεξανδρούπολη, 13: Τυχερό, 14: Θέρμα - Σαμοθράκη](Ν.Κολιός)



Σχήμα 69: Αλεξάνδρεια Ημαθίας



Σχήμα 70: Σωσάνδρα Αλμωπίας



Σχήμα 71: Νέα Κεσσάνη Ξάνθης



Σχήμα 72: Θερμά Νιγρίτας

Πιθανοί γεωθερμικοί πόροι μέσης ενθαλπίας στη Βόρεια Ελλάδα (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δυαδικό κύκλο) εντοπίζονται στις περιοχές:

- Λεκάνη Δέλτα Νέστου (γεωθερμικό πεδίο Ερατεινού - Χρυσούπολης)
- Λεκάνη Δέλτα Έβρου (γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου)
- Λεκάνη Στρυμόνα
- Σαμοθράκη
- Γεωθερμικό πεδίο Ακροποτάμου Καβάλας (ευρύτερη περιοχή λεκάνης Στρυμόνα)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα υπολογισμού της γεωθερμικής βαθμίδας μετά από βαθιές ερευνητικές γεωτρήσεις του Ι.Γ.Μ.Ε, υπάρχουν τα εχέγγυα για ρευστά μέσων - υψηλών θερμοκρασιών στις περιοχές του Έβρου, της Καβάλας και της λεκάνης του Στρυμόνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Επιμέλεια : Γ. Αναστασιάδης (8.1), Α. Μπαλτζή (8.2, 8.3), Χ. Μπουσγολίτης (8.3)

8.1 Ο ρόλος των τοπικών κοινωνιών στην εκμετάλλευση της γεωθερμίας

8.1.1 Εισαγωγή

Εδώ και πολλές δεκαετίες καταδεικνύεται η ανησυχία του κοινού σε σχέση με τις τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι έρευνες κοινής γνώμης για την ηλεκτροπαραγωγή από την πυρηνική ενέργεια έχουν φέρει κατ' επανάληψη στην επιφάνεια την αρνητική στάση του κοινού απέναντι σ' αυτή τη μορφή ενέργειας. Οι περιβαλλοντικές ομάδες, οι τοπικές κοινωνίες και οι τοπικές αρχές έχουν βρεθεί συχνά στο επίκεντρο των αντιθέσεων σε σχέση με τον ενεργειακό σχεδιασμό που προωθείται από τις κυβερνήσεις των κρατών. Οι αντιδράσεις του κοινού σε πολύ μεγάλο βαθμό οφείλονται στο ότι οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ογκώδεις, πολύπλοκοι τεχνικά και διακρίνονται για τις σοβαρές και πιθανόν μη αναστρέψιμες περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους.

Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, από τα πρώτα στάδια ανάπτυξής τους, εμφανίζονται ικανές να αποφύγουν παρόμοια εμπόδια (δυσκολίες). Οι περιβαλλοντικές οργανώσεις έχουν υποστηρίξει σθεναρά τις τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ δεδομένου ότι είναι ανεξάντλητες και περιβαλλοντικά φιλικές σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Ωστόσο, η εφαρμογή των προγραμμάτων ΑΠΕ που έχουν εμφανιστεί σε ποικίλες μορφές και περιοχές του κόσμου πολλές φορές προσέκρουε σε ανυπερέβλητα εμπόδια. Δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις όπου παρουσιάστηκαν κοινωνικές αντιδράσεις, έντονες διαμάχες και δημόσιες συζητήσεις σε οξύ τόνο.

Στις ημέρες μας οι περισσότερες έρευνες σχετικά με την κοινωνική αντιμετώπιση (στάση, συμπεριφορά, κλπ) προς τις ΑΠΕ έχουν επικεντρωθεί σε συγκεκριμένες τεχνολογίες και προγράμματα. Επιπλέον, επειδή η κοινωνική αποδοχή έχει ένα όριο στην εκμετάλλευση των ΑΠΕ υπάρχει επιτακτική ανάγκη εκτίμησης της γνώσης και της εμπειρίας για την κοινωνική συμπεριφορά ώστε να διαμορφωθεί η βάση για τις περαιτέρω έρευνες.

Η πολυπλοκότητα κατανόησης της κοινής γνώμης καθώς και του τρόπου με τον οποίο η συμπεριφορά του κοινού σχηματίζεται δεν πρέπει να υποτιμώνται. Στοιχεία ερευνών σχετικά με την κοινωνική συμπεριφορά προς άλλες μορφές ενέργειας και τις αιτίες των αντιδράσεων επί προγραμμάτων ανάπτυξης διαφόρων τύπων, δείχνουν ότι οι συμπεριφορές μπορεί να είναι ποικίλες, δυναμικές και ορισμένες φορές αντιφατικές. Αυτές μπορεί να εδράζουν σε πολιτιστικές και ιδεολογικές ταυτότητες (χαρακτηριστικά) και να διαμορφώνονται από την αλληλεπίδραση πηγών πληροφόρησης και επιρροής.

Η κοινωνική αποδοχή αποτελεί ολοένα και μεγαλύτερο εμπόδιο στην προσπάθεια για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι ο βαθμός υποστήριξης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας είναι γενικά υψηλός, μπορεί να εμφανιστούν αρνητικές αντιδράσεις έναντι συγκεκριμένων έργων από ορισμένο τμήμα του κοινού, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδιασμού ενός έργου.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η άποψη του κοινού μπορεί να μοιραστεί ανάμεσα: α) στις αντιπροσωπευτικές εθνικές απόψεις, όπου συνήθως τα θέματα λαμβάνονται υπόψη με ένα περισσότερο γενικό και απόμακρο τρόπο, και β) στις τοπικές απόψεις, οι οποίες στηρίζονται στην πιθανή ή στην πραγματική εμπειρία από συγκεκριμένα έργα ανάπτυξης. Εν τέλει η πρακτική εμπειρία δείχνει ότι το κοινό δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η κοινωνική αποδοχή των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας συχνά χαρακτηρίζεται από το σύνδρομο NIMBY (not in my backyard). Άλλοι παράγοντες, όπως οι αντιδράσεις για τους άξονες ανάπτυξης, η θέση των τοπικών παραγόντων που διαμορφώνουν απόψεις και η διαδικασία λήψης αποφάσεων φαίνεται να έχουν σημαντική επιρροή στη συ-

μπεριφορά του κοινού απέναντι στα προγράμματα ανάπτυξης. Επίσης η κοινωνικοτεχνική πλευρά, για παράδειγμα πώς οι άνθρωποι χρησιμοποιούν την τεχνολογία και πώς αναπτύσσεται αυτή στις κοινωνίες μας, είναι πολύ σημαντική.

8.1.2 Το φαινόμενο NIMBY και LULU

Το φαινόμενο Not In My BackYard (NIMBY) πρωτοεμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και παραμένει έως σήμερα ένα θέμα πολύ μεγάλης σημασίας σε πρακτικές σχεδιασμού και έρευνας. Το φαινόμενο χαρακτηρίζει την κοινωνική αντίδραση σε ανεπιθύμητες δράσεις (έργα) που συχνά χαρακτηρίζονται και ως «τοπικά ανεπιθύμητες χρήσεις γης» (Locally Unwanted Land Uses - LULUs). Οι αντιδράσεις τύπου LULU συχνά συνδέονται με σχεδιασμούς έργων που χαρακτηρίζονται ως έργα που έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων, όπως για παράδειγμα βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, μεγάλης κλίμακας αγροτικές καλλιέργειες ή μονάδες διαχείρισης αποβλήτων. Αντιδράσεις τύπου NIMBY διεγείρονται από έργα όπως κέντρα αποτοξίνωσης, ψυχιατρικά νοσοκομεία, φυλακές, οίκους ανοχής ή άσυλα αστέγων που απευθύνονται (εξυπηρετούν) μικρό σχετικά μέρος του πληθυσμού. Οι αντιπυθήμενοι σε τέτοιου είδους έργα συνήθως προβάλλουν το επιχείρημα ότι ένα τέτοιο εγχείρημα δεν είναι αναγκαίο, δεν αρμόζει στα χαρακτηριστικά της περιοχής, ο τρόπος λειτουργίας είναι ανεπαρκής ή τέλος ότι τα αποτελέσματά του θα είναι επιζήμια.

Η κοινωνική αντίδραση στηρίζεται στις πιθανές επιδράσεις τοπικού χαρακτήρα ή ακόμα και σε γενικευμένες επιδράσεις οικουμενικού τύπου όπως για παράδειγμα οι επιδράσεις περιβαλλοντικού τύπου. Οι κίνδυνοι ως προς την υγεία αποτελούν την πρώτη εκφρασμένη ανησυχία όμως σε πολλές περιπτώσεις αντιδράσεων τύπου LULU καταγράφονται φόβοι όπως:

1. πτώση των τιμών στις ιδιοκτησίες
2. αδυναμία της τοπικής κοινότητας να αντισταθεί σε άλλες μελλοντικές ανεπιθύμητες χρήσεις γης όταν δεν θα μπορεί να αποσοβήσει την προτεινόμενη
3. επιβάρυνση στην ποιότητα ζωής λόγω θορύβου, αυξημένου κυκλοφοριακού ή δυσοσμίας
4. αισθητική επιβάρυνση του τοπίου του χώρου της τοπικής κοινωνίας
5. πρόσθετες απαιτήσεις από τον προϋπολογισμό της κοινότητας (οικονομική επιβάρυνση) ή επιβάρυνση των υπηρεσιών εξυπηρέτησης των πολιτών της.

Ο τρόπος με τον οποίο οι φορείς υλοποίησης των προτεινόμενων δράσεων κατανοούν τις αντιδράσεις NIMBY επιδρά σημαντικά στον τρόπο με τον οποίο θα μορφοποιηθούν οι ενέργειες που τυχόν οδηγούν σε ουσιαστική εκτόνωση. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται αποτίμηση των επιπτώσεων με πολύ μεγάλη ευαισθησία και προσοχή, καθώς επίσης απαραίτητη είναι και η συμμετοχή της κοινότητας με παροχή πληροφόρησης στους συμμετέχοντες.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι τα φαινόμενα NIMBY και LULU δεν είναι εύκολο να αποσαφηνισθούν ακόμα και μέσα από την υπάρχουσα βιβλιογραφία δεδομένου ότι η αρθρογραφία αναφέρεται σε ποικίλες και ανόμοιες περιπτώσεις, σε μεγάλο εύρος δράσεων και σε ποικιλία συμμετεχόντων και κινήτρων που τα προκαλούν με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν να εξαχθούν γενικευμένα συμπεράσματα.

Έχει αναγνωρισθεί ότι οι συμμετέχοντες σε κινητοποιήσεις τύπου LULU παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα κινήτρων. Οι αντιδράσεις μπορεί να είναι τοπικές ή ακόμα και να απο-

κτούν ευρύτερη αποδοχή. Για εκείνους που ζουν κοντά σ' ένα προτεινόμενο έργο, οι επιπτώσεις (περιβαλλοντικές ή οικονομικές) είναι απόλυτα διακριτές και επομένως έχουν ένα άμεσο κίνητρο για αντίσταση, ενώ όπου υπάρχει μεγάλη διασπορά κατοίκων και συνεπώς λιγότερη άμεση ζημία είναι πιθανόν να μην εμφανιστούν αντιστάσεις. Σε πολλές περιπτώσεις οι περισσότεροι των αντιτιθέμενων είναι ιδιοκτήτες ακινήτων, οι οποίοι επιδεικνύουν μια «στρατηγική απώθησης ανάληψης κινδύνου» που κυρίως συνδέεται με το φόβο τους να «εξασφαλίσουν το περιουσιακό τους στοιχείο έναντι της υποτίμησης από τα αποτελέσματα γειτονίας». Σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου οι συμμετέχοντες σε φαινόμενα NIMBY και LULU προέρχονται από ευρύτερο χώρο, έξω από την περιοχή που άμεσα πλήττεται, συνήθως εκφράζουν γενικότερους προβληματικούς και ενδιαφέροντα σχετικά με τις οικονομικές, κοινωνικές και πολιτικές παραμέτρους του προβλήματος. Μπορεί, επομένως, τοπικές αντιδράσεις να στηρίζονται από οργανώσεις εθνικού επιπέδου οι οποίες συμβάλλουν στην οργανωτική και οικονομική στήριξη των τοπικών κινήσεων.

Γενικά τα κίνητρα των αντιδράσεων NIMBY και LULU επιδέχονται αρνητική και θετική κριτική. Η στάση απέναντι στην αξιολόγηση των κινήτρων είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για τη βαθιά κατανόηση και διαχείριση τους.

Για πολλούς υπάρχει μια δεδομένη προκατάληψη, όπως ότι το προσωπικό συμφέρον είναι το κυρίαρχο της εναντίωσης στην υλοποίηση ενός έργου. Μάλιστα μερικοί θεωρούν ότι οι αντιδράσεις αυτές υποκινούνται από στενά προσωπικά συμφέροντα, από εμμονές και περιβαλλοντικού τύπου φανατισμό ή ακόμα και από πεπειθήσεις ότι μπορεί να ασκηθεί έλεγχος της οικονομίας και του προσανατολισμού της μέσα από κινητοποιήσεις τέτοιου χαρακτήρα. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι πολιτικοί θεωρούν τη συμμετοχή των πολιτών ενοχλητική και έτσι αποτυγχάνουν να κατανοήσουν τις ανησυχίες τους. Πολλοί επικριτές, επίσης, επισημαίνουν το γεγονός ότι οι ατομικές αντιδράσεις δεν είναι πάντα αντιπροσωπευτικές ως προς το σύνολο της κοινότητας (σιωπηρά πλειοψηφία) αλλά αντανακλούν μια μειονότητα των πολιτών. Άλλοι πάλι επισημαίνουν ότι μια μικρή ομάδα των αντιτιθέμενων μπορεί να προκαταλάβει τους υπεύθυνους τοπικούς φορείς ως προς τις επιθυμίες και τις επιλογές της κοινότητας. Έρευνες πάντως δείχνουν ότι όσοι συντάσσονται με εκφράσεις τύπου NIMBY και LULU είναι άνθρωποι με έντονη και παρορμητική προσωπικότητα, ώριμοι ηλικιακά, υψηλού σχετικά μορφωτικού επιπέδου, εύποροι, διαθέτουν ικανότητες στην οργάνωση των πολιτών, χρόνο στη συμμετοχή σε ποικίλες συναντήσεις και πολύ σίγουροι για την ορθότητα των πεποιθήσεών τους.

Σε αντίθεση με αυτούς που βλέπουν τους υποστηρικτές των NIMBY και LULU ως κάποιους που υποσκάπτουν το δημοκρατικό σύστημα λόγω προσωπικού συμφέροντος, υπάρχουν και άλλοι που θεωρούν ότι αυτές οι ομάδες και ο τρόπος λειτουργίας τους ενισχύουν την δημοκρατία και την εν γένει κοινωνική ευαισθησία. Κάποιοι μάλιστα βλέπουν το φαινόμενο NIMBY ως το «θρίαμβο της δημοκρατίας της Δύσης» καθώς «χρηστοί και ηθικοί πολίτες» χέρι-χέρι αναζητούν δικαιοσύνη (πολιτική και περιβαλλοντική) και προαναγγέλλουν την επερχόμενη «δημοκρατία με οικολογικό πρόσωπο». Άλλοι υποστηρικτές προβάλλουν την αξία της αντιπαράθεσης σε επιλογές αναπτυξιακού χαρακτήρα. Επισημαίνετε από αυτούς ότι «ο πατριωτικός φανατισμός» μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο κατά την φάση της αντιπαράθεσης προκαλώντας την ευαισθητοποίηση των υπευθύνων σχετικά με τις ανάγκες μιας πληθυσμιακής ομάδας. Επιπλέον υπάρχει και η άποψη που θεωρεί τα φαινόμενα αυτά ως συνέπεια μιας κοινωνικής διαμαρτυρίας που απορρίπτει κάθε πρόταση ανεξαρτήτως χαρακτηριστικών σε μια προσπάθεια να ανταποκριθεί στους τρόπους που επιλέγονται για την ανάπτυξη και την εφαρμογή της τεχνολογίας στις σύγχρονες κοινωνίες.

Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχει μεγάλη διακύμανση στις αντιλήψεις του κοινού σε ότι αφορά στις επιπτώσεις που θα προκύψουν από έργα που εγείρουν φαινόμενα LULU, όπως επιπτώσεις στο περιβάλλον ή στην υγεία των ανθρώπων και συνέπειες στην αξία των ιδιοκτησιών ή της ασφάλειας του κοινού. Εμπειρική έρευνα έχει δείξει ότι οι ομάδες των ανθρώπων που αντιτίθενται πολλές φορές παρακινούνται από τον κίνδυνο που διαφαίνεται και όχι που πιστοποιείται. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι πολύ σημαντικό να κατανοηθούν οι απειλές και οι κίνδυνοι που πιστεύουν οι κάτοικοι ότι θα υπάρξουν ώστε να προβλεφθούν και οι πιθανές τους αντιδράσεις. Τέλος σημαντικό είναι και ο ρόλος των ειδικών όπου πολλές φορές η διχογνωμία που εμφανίζεται μεταξύ τους δημιουργεί έντονη δυσπιστία και σύγχυση στο κοινό.

Η εμπιστοσύνη είναι μια παράμετρος η οποία πέραν των παραπάνω αγγίζει έντονα και τους φορείς που προτείνουν το συγκεκριμένο έργο αλλά και την ίδια την Κυβέρνηση και τους εκφραστές της. Συγκεκριμένα η έλλειψη εμπιστοσύνης στην κυβέρνηση έχει αναγνωριστεί ως μια παράμετρος κλειδί η οποία διεγείρει την αντίθεση στις προτεινόμενες εγκαταστάσεις. Η επιτυχής λειτουργία ανάλογων έργων ιδιαίτερα όταν αυτά έχουν πραγματοποιηθεί σε περιοχές που διαθέτουν όμοια χαρακτηριστικά τοπίου και ανάπτυξης είναι καταλυτικός παράγοντας στην ανάπτυξη εμπιστοσύνης του κοινού. Η έλλειψη τέτοιων δεδομένων ή πολύ περισσότερο η ύπαρξη αποτυχημένων εγκαταστάσεων εντείνει κάθε αντίληψη κινδύνου και δημιουργεί πλαίσιο καχυποψίας. Είναι προφανές ότι όταν υπάρχει μια εδραιωμένη θέση πάνω σε ένα θέμα είναι απίθανο να αναζητηθούν επιπλέον πληροφορίες.

Εν τέλει το θέμα αφορά κατά κύριο λόγο στην ευθύτητα και στην αντικειμενικότητα με τις οποίες έχει αξιολογηθεί η προτεινόμενη θέση. Θεωρείται ότι οι «προκατειλημμένοι» προβάλλουν υποψίες για τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας χωροθέτησης της εγκατάστασης και αμφισβητούν την αξιοπιστία αυτών που είναι υπεύθυνοι για την προστασία τους και συνεπώς υπάρχουν οι συνθήκες για έντονη διαμάχη και αδιέξοδο. Υποστηρίζεται επομένως ότι η επιτυχής χωροθέτηση ενός έργου πρέπει να ικανοποιεί δύο βασικά κριτήρια: α) να είναι κοντά στις γενικότερες προτιμήσεις του πληθυσμού και να προσθέτει αξία στην ευρύτερη περιοχή και β) ο επιστημονικός κόσμος να έχει διαδραματίσει ένα κεντρικό ρόλο στη χωροθέτηση αυτή ώστε να πιστοποιείται σε κάποιο βαθμό το αδιόβλητο της διαδικασίας.

8.1.3 Γεωθερμική ενέργεια και τοπική κοινωνία

8.1.3.1 Εισαγωγή

Στον τομέα της γεωθερμικής ενέργειας η διεθνής βιβλιογραφία καταδεικνύει:

1. Την πλήρη έλλειψη συστηματικής διερεύνησης, αποτίμησης και αξιολόγησης των απόψεων και της στάσης των τοπικών κοινωνιών.
2. Την αναφορά συγκεκριμένων μόνο περιπτώσεων όπου έχουν εγερθεί αντιδράσεις του πληθυσμού και όπου συμπεριλαμβάνονται και τα χαρακτηριστικά παραδείγματα της χώρας μας, Μήλος και Νίσυρος.

Σχετικά με το σημείο 2 στην διεθνή βιβλιογραφία περιλαμβάνονται τα παρακάτω παραδείγματα ανάπτυξης γεωθερμικών πεδίων με την καταγραφή των αρνητικών αντιδράσεων των τοπικών κοινωνιών.

8.1.3.2 Νήσος Χαβάη (Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής)

Η περίπτωση της Χαβάης αποτελεί ίσως το πιο μελετημένο παράδειγμα αντιδράσεων της τοπικής κοινωνίας ως προς την ανάπτυξη της γεωθερμίας.

Το 1972 άρχισε η εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου του νησιού με στόχο την κατασκευή μεγάλου σταθμού ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 500 MW. Κατά την πορεία του έργου παρουσιάστηκαν αντιδράσεις από την τοπική κοινωνία οι οποίες οφείλονταν:

- Στην παραβίαση (σύληση) θρησκευτικών και πνευματικών περιοχών κατά την όρυξη των γεωτρήσεων.
- Στο θόρυβο και τις οσμές από το δοκιμαστικό πρόγραμμα και τη λειτουργία του πιλοτικού σταθμού.
- Στην καταστροφή περιοχών με τροπικά δάση.
- Στη διατάραξη της χλωρίδας και της πανίδας και τέλος,
- Στην καταστροφή του τουριστικού εμπορίου και την ανεπιθύμητη βιομηχανοποίηση της γεωργίας στα οποία στηριζόταν η οικονομία του νησιού.

Οι αντιδράσεις εκφράστηκαν με διαδηλώσεις, νομικές αγωγές και απείθεια κατά της αρχής γεγονότα που έφεραν στη μνήμη του κόσμου τις οικίες αντιπυρηνικές διαμαρτυρίες. Οι διαδηλωτές συγκεντρώθηκαν ή ακόμη και κατασκήνωσαν σε κρατικά κτίρια για να διαμαρτυρηθούν στην κρατική πρόταση σχετικά με την προώθηση της κατασκευής του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Οι διαμαρτυρίες συνεχίστηκαν για περισσότερο από 18 χρόνια καθυστερώντας την ανάπτυξη του έργου.

Η μελέτη των συγκρούσεων αυτών έφερε στην επιφάνεια ένα μεγάλο αριθμό βαθύτερων αιτιών. Κύριες αιτίες ήταν ότι η συνεργασία μεταξύ κυβέρνησης και βιομηχανίας έβαλε σε δευτερεύον επίπεδο τα τοπικά συμφέροντα και ότι η κλίμακα του έργου ήταν δυσανάλογη με τα χαρακτηριστικά και το φυσικό περιβάλλον της κοινότητας του νησιού. Μόνον δια μέσου μίας περισσότερο προσεκτικής προσέγγισης με σεβασμό στην κοινότητα και την τοπική οικονομική ανάπτυξη θα είχε επιτευχθεί μία διαδικασία με λιγότερες αντιδράσεις. Επίσης οι περιορισμοί ως προς τη συμμετοχή των κατοίκων στο πρόγραμμα που ξεκίνησε πολύ αργά και προσέγγισε μόνο ένα μικρό αριθμό ανθρώπων αποτέλεσε σημαντική αιτία αντιδράσεων. Εφόσον δημιουργήθηκε η αντίδραση, εκ των υστέρων προσπάθειες από τους υποστηρικτές του προγράμματος για να είναι αυτό περισσότερο προσιτό, πχ. εκπαιδεύοντας το κοινό σχετικά με τη γεωθερμική ενέργεια, επεκτείνοντας την συμμετοχή του κοινού και ξεκινώντας μία διαδικασία μεσολάβησης (σχετικά με το πώς και εάν θα προχωρήσει η ανάπτυξη), απέτυχαν εξαιτίας της έλλειψης εμπιστοσύνης που είχε ήδη δημιουργηθεί.

8.1.3.3 Νήσος Μήλος (Ελλάδα)

Μετά τον εντοπισμό του ιδιαίτερα υψηλού γεωθερμικού δυναμικού της Μήλου, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, ξεκίνησε την κατασκευή σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το νησί και το ευρύ νησιωτικό σύμπλεγμα.

Ωστόσο, η κύρια γεώτρηση ορύχθηκε στην περιοχή της Ζεφυρίας, πολύ κοντά στη μεγαλύτερη πόλη του νησιού (Αδάμαντας) όπου είχε μόλις ξεκινήσει η τουριστική ανάπτυξη. Επιπλέον, η αρνητική εμπειρία του κοινού από τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις (το μεγαλύτερο τμήμα του νησιού είχε ήδη υποστεί επιδράσεις από την τοπική μεταλλευτική δραστηριότητα) είχε σαν αποτέλεσμα να εκδηλωθεί σφοδρή αντίδραση των κατοίκων ως προς το σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με το απλό σύνθημα «σε καμία περίπτωση!»

Αιτίες της αρνητικής τοποθέτησης του κοινού ήταν η ιδιαίτερα επιβαρημένη ατμόσφαιρα, οφειλόμενη στην ανεξέλεγκτη διαρροή υδρόθειου και άλλων επικίνδυνων αερίων από τη γεώτρηση, η ρύπανση των επιφανειακών νερών (βρόχινο νερό και νερό υδατοδεξαμενών) με αρσενικό και θειικά ιόντα και η απόθεση μεγάλων ποσοτήτων υγρών και στερεών αποβλήτων στον όρμο της Αγίας Κυριακής.

Αποτέλεσμα των ανωτέρω επιπτώσεων ήταν η δημιουργία έντονων διαμαρτυριών με συγκεντρώσεις και απεργίες οι οποίες διήρκεσαν 2 περίπου χρόνια (1987-1989) και οδήγησαν στην επιβολή παύσης λειτουργίας του πιλοτικού σταθμού.

8.1.3.4 Νήσος Νίσυρος (Ελλάδα)

Η Νίσυρος διαθέτει επίσης υψηλό γεωθερμικό δυναμικό. Και σ' αυτή την περίπτωση η ΔΕΗ πρότεινε την κατασκευή σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με σκοπό να επιλύσει τα προβλήματα ομαλής ηλεκτροδότησης τόσο στην Κω (γειτονικό νησί), η οποία παρουσιάζει έντονα αναπτυσσόμενο τουρισμό, αλλά φυσικά και της ίδιας της Νισύρου.

Το 1983 ορύχθηκαν δύο γεωτρήσεις στην περιοχή της καλδέρας του ηφαιστείου, το οποίο αποτελεί τον κύριο πόλο έλξης για τους τουρίστες του νησιού. Όπως στη Μήλο έτσι και στη Νίσυρο οι κάτοικοι αντέδρασαν στο σχέδιο κατασκευής του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Στόχος όλων των αντιρρήσεων και της αρνητικής τοποθέτησης μεγάλης μερίδας του κοινού ήταν η προστασία του περιβάλλοντος από ρύπους επιβλαβείς για την υγεία των κατοίκων σε συνδυασμό με την πιθανότητα πρόκλησης σεισμικής ή και ηφαιστειακής δραστηριότητας από τη διατάραξη της ισορροπίας του ηφαιστείου.

Η εμπειρία από τις δοκιμαστικές γεωτρήσεις στο νησί και ο απόηχος των περιβαλλοντικών προβλημάτων από την προσπάθεια εκμετάλλευσης του γεωθερμικού πεδίου της Μήλου οδήγησε τους κατοίκους της Νισύρου να εκφράσουν την αντίθεσή τους σε κάθε σκέψη εκμεταλλεύσεως του δυναμικού αυτού με δημοψήφισμα που διενεργήθηκε το Μάιο του 1997 και είχε αρνητικό αποτέλεσμα.

8.2 Προβλήματα

Γενικά, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας συναντά ορισμένα βασικά προβλήματα, τα οποία θα πρέπει να λυθούν ικανοποιητικά για την οικονομική εκμετάλλευση της εναλλακτικής αυτής μορφής ενέργειας.

Οι τύποι αυτοί των προβλημάτων είναι ο σχηματισμός επικαθίσεων (ή όπως συχνά λέγεται οι καθαλατώσεις ή αποθέσεις) σε κάθε σχεδόν επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό, η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών, καθώς και ορισμένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις (διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους, εκπομπές τοξικών αερίων, ιδίως του υδροθείου).

Όλα αυτά τα προβλήματα σχετίζονται άμεσα με την ιδιάζουσα χημική σύσταση των περισσότερων γεωθερμικών ρευστών. Τα γεωθερμικά ρευστά λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της παραμονής τους σε επαφή με διάφορα πετρώματα περιέχουν κατά κανόνα σημαντικές διαλυμένων αλάτων και αερίων. Η αλλαγή των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών των ρευστών στο στάδιο της εκμετάλλευσης μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες ευνοϊκές τόσο για τη χημική προσβολή των μεταλλικών επιφανειών, όσο και για την απόθεση ορισμένων διαλυμένων ή αιωρούμενων στερεών και την απελευθέρωση στο περιβάλλον επιβλαβών ουσιών.

Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε γεωθερμικές μονάδες μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό, αν όχι ολοκληρωτικά, με μια πληθώρα τεχνικών και μεθόδων.

Μερικές από τις πιο τυπικές πρακτικές είναι 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) και, τέλος, η απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά ή φυσικά μέσα, στη διάρκεια προγραμματισμένων ή όχι διακοπών λειτουργίας της μονάδας.

Οι διάφορες δυνατότητες ελέγχου της διάβρωσης στις γεωθερμικές μονάδες επικεντρώνονται (α) στην επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής (π.χ. χρήση πολυμερικών υλικών, εναλλακτών θερμότητας από τιτάνιο, Hastelloy κτλ.), (β) στην επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών με ανθεκτικά στη διάβρωση στρώματα, (γ) στην προσθήκη αναστολέων διάβρωσης, και (δ) στον ορθό σχεδιασμό της μονάδας.

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται «ήπια» μορφή ενέργειας, σε σύγκριση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, χωρίς βέβαια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλυσή της να είναι συχνά αμελητέες. Η υψηλότερη περιεκτικότητα των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας σε διαλυμένα άλατα και αέρια σε σχέση με τα ρευστά χαμηλής ενθαλπίας επιβάλλουν το διαχωρισμό των επιπτώσεων από την αξιοποίηση της γεωθερμίας.

Τα προβλήματα από τη διάθεση των νερών που χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις είναι κατά κανόνα ηπιότερα (και σχεδόν μηδενικά) από ότι των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίσης θα πρέπει να τονιστεί από την αρχή ότι στην περίπτωση που εφαρμόζεται η άμεση επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα, όπως στην περίπτωση των μονάδων με δυαδικό κύκλο, οι επιπτώσεις είναι ελάχιστες. Βεβαίως κατά τη φάση της έρευνας, της ανόρυξης των γεωτρήσεων, των δοκιμών και της κατασκευής της μονάδας μπορούν να υπάρξουν διαρροές και διάθεση γεωθερμικών νερών σε υδάτινους αποδέκτες, καθώς και αυξημένος θόρυβος.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αξιοποίηση των ρευστών υψηλής ενθαλπίας διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και ταξινομούνται σε συνάρτηση της αιτίας όπως τη χρήση γης, εκπομπές αερίων, τη διάθεση υγρών αποβλήτων, θόρυβο, δημιουργία μικροσεισμικότητας και καθιζήσεις.

Η έκταση γης που απαιτείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας (π.χ. για την εγκατάσταση της μονάδας, το χώρο για τις γεωτρήσεις, τις σωληνώσεις μεταφοράς και τους δρόμους πρόσβασης) είναι γενικά μικρότερη από την έκταση της γης που απαιτούν

άλλες μορφές ενέργειας (ατμοηλεκτρικοί σταθμοί άνθρακα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί κτλ.).

Το CO₂ που εκπέμπεται από γεωθερμικές μονάδες ποικίλλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πεδίου, καθώς και την τεχνολογία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, αν και οι εκπομπές του είναι κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές ατμοηλεκτρικών μονάδων και συγκρίνονται ευνοϊκά και με τις εκπομπές (έμμεσες ή άμεσες) από άλλες ΑΠΕ (Ανοημους, 2002). Το H₂S, λόγω της έντονης οσμής του και της σχετικής τοξικότητάς του, είναι υπεύθυνο τις περισσότερες φορές για τη προκατάληψη που εκδηλώνεται κατά της γεωθερμίας. Οι εκπομπές H₂S ποικίλλουν από <0,5 g/kWh μέχρι και 7 g/kWh. Οι εκπομπές του H₂S μπορούν να ελεγχθούν

σχετικά εύκολα και να μειωθούν σε συγκεντρώσεις 1 ppb με μια πληθώρα μεθόδων, όπως με τη διεργασία Stredford, με την καύση και επανεισαγωγή, με την οξειδωτική μέθοδο Dow κτλ.

Η κύρια ανησυχία από την αξιοποίηση της γεωθερμίας υψηλής ενθαλπίας προέρχεται από τη διάθεση των γεωθερμικών νερών στους υδάτινους αποδέκτες. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της περιεκτικότητάς του σε διάφορα χημικά συστατικά, το γεωθερμικό ρευστό προτού διατεθεί σε υδάτινους αποδέκτες θα πρέπει να υποστεί κάποια επεξεργασία και να μειωθεί η θερμοκρασία του. Τονίζεται ξανά ότι η περιβαλλοντικά περισσότερο αποδεκτή μέθοδος διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα.

Συγκρινόμενη με τις άλλες ΑΠΕ, η γεωθερμία δεν υστερεί σε περιβαλλοντικά οφέλη. Αυτό βέβαια έρχεται σε προφανή αντίθεση με την εντύπωση που κυριαρχεί ότι ορισμένες ΑΠΕ (π.χ. φωτοβολταϊκά, αιολική ενέργεια) δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον. Η εντύπωση αυτή μεταβάλλεται όταν κανείς συνυπολογίσει τις επιπτώσεις οποιασδήποτε μορφής ενέργειας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής μιας τεχνολογίας, αλλά και την επιβάρυνση στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία των μονάδων.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμίας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- (α) Συνεχής παροχή ενέργειας, με υψηλό συντελεστή λειτουργίας (load factor), >90%.
- (β) Μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος παγίων είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας.
- (γ) Μηδενικές ή μικρές εκπομπές αερίων στο περιβάλλον.
- (δ) Μικρή απαίτηση γης.
- (ε) Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. και του Πρωτοκόλλου του Κιότο.
- (στ) Αποτελεί τοπική μορφή ενέργειας με συνέπεια την οικονομική ανάπτυξη της γεωθερμικής περιοχής.
- (ζ) Συμβολή στην μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων.

(Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος, Ρ. Δρακούλης)

Πέραν των τεχνικών και περιβαλλοντικών προβλημάτων που προαναφέρθηκαν υπάρχουν και τα προβλήματα που προκύπτουν από :

- Το Νομοθετικό πλαίσιο (Ν.3175/2003) και συγκεκριμένα
 - τι συμβαίνει στην περίπτωση που δεν έχει προχωρήσει η εκμίσθωση και διαχείριση ενός πεδίου και κάποιος ιδιώτης θέλει να χρησιμοποιήσει γεωθερμική Ενέργεια
 - τι γίνεται με τις μισθώσεις της ΔΕΗ και
 - ποια θα είναι η τιμολογιακή πολιτική του διαχειριστή

- Οικονομικά Προβλήματα
 - Το υψηλό κόστος εγκατάστασης μιας γ/θ είναι το σημαντικότερο πρόβλημα στην ανάπτυξη της γ/θ ενέργειας είτε πρόκειται για ΓΑΘ ή για μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
 - Μεταλλευτικό «ρίσκο» σε περίπτωση που το πεδίο δεν είναι καλά ερευνημένο
 - Απουσία οικονομικών κινήτρων για τα φυσικά πρόσωπα για εγκατάσταση ΓΑΘ.

- Προβλήματα πολιτικής βούλησης, ενημέρωσης, διαφήμισης
 - Προβολή της λέξης «γεωθερμία» στον τύπο

8.3 Προοπτικές - Συμπεράσματα – Προτάσεις

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

Η ανάγκη για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, μαζί με τη δυνατότητα πώλησης δικαιωμάτων άνθρακα από γ/θ μονάδες αναμένεται να βοηθήσει σε μια γρηγορότερη ανάπτυξη της γ/θ ενέργειας, ιδιαίτερα στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Τόσο για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος όσο και την παραγωγή θερμότητας (ΓΑΘ) παρατηρείται μία τάση για μείωση των θερμοκρασιών των ρευστών που αξιοποιούνται. Η τιμή πετρελαίου, η ευκολία αδειοδότησης, το ενδιαφέρον της βιομηχανίας κλιματισμού και η διαφήμιση αποτελούν κάποιους από τους παράγοντες που οδήγησαν στην «έκρηξη» των ΓΑΘ οι οποίες αυξήθηκαν τα τελευταία χρόνια τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς.

Η γεωθερμία είναι μία από τις εναλλακτικές και ήπιες μορφές ενέργειας (ηλιακή και αιολική ενέργεια, βιομάζα και βιοκαύσιμα, μικρά υδροηλεκτρικά), η οποία σύμφωνα με τα δεδομένα της σημερινής τεχνολογίας, μπορεί να αναπτυχθεί σοβαρά (εκατοντάδες μεγαβάτ για παραγωγή ηλεκτρισμού και χιλιάδες μεγαβάτ για απευθείας χρήση σε οικιακή θέρμανση, στον αγροτικό τομέα και στην βιομηχανία) και με ανταγωνιστικό κόστος. Μαζί με τις άλλες ΑΠΕ, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να προσφέρει σημαντική ανακούφιση στο ενεργειακό ισοζύγιο των κρατών.

Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου (για την αρχική έρευνα και την ανάπτυξη των πεδίων), ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο. Επίσης, ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι, τις περισσότερες φορές, δοκιμασμένος σε άλλες τεχνολογικές εφαρμογές.

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα μας είναι αρκετά περιορισμένη. Σύμφωνα, όμως, με το δυναμικό που έχει, η περαιτέρω ανάπτυξη της θα επιφέρει μείωση στην κατανάλωση εισαγόμενου πετρελαίου, πράγμα που συνεπάγεται εξοικονόμηση πολύτιμου συναλλάγματος. Εκτός από τα βραχυπρόθεσμα οικονομικά οφέλη, μπορεί να οδηγήσει και στον περιορισμό της εξάρτησης της χώρας μας από το εξωτερικό και τις διεθνείς οικονομικές συγκυρίες, στο μέτρο των δυνατοτήτων της, πράγμα που θα επιτρέψει τον καλύτερο μακροπρόθεσμο προγραμματισμό ανάπτυξης της εθνικής μας οικονομίας.

Η γεωθερμική ενέργεια για να αποκτήσει εμπορική αξία θα πρέπει να αξιοποιηθεί και να καταναλωθεί στον τόπο παραγωγής.

Παράλληλα με την εκμετάλλευση θα πρέπει να εντοπισθούν τομείς διάθεσης ή επιχειρήσεις που μπορούν να κάνουν χρήση απευθείας θερμικής ενέργειας.

Σε σχέση με τις άλλες Α.Π.Ε. (ηλιακή – αιολική) που διατίθενται σχετικά έτοιμες προς διαχείριση, η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί ενεργειακό ορυκτό, που διαθέτει γεωλογικό ρίσκο εξόρυξης, γι' αυτό θα πρέπει να υπάρχει η κατάλληλη γεωλογική δομή που θα εξασφαλίζει τη συνεχή διάθεσή της.

Η όλη διαδικασία έρευνας, εντοπισμού, εξόρυξης, διαχείρισης της ενέργειας θα πρέπει να ακολουθήσει τους νόμους της μεταλλευτικής τέχνης και επιστήμης λαμβάνοντας υπ' όψη την υδροδυναμική και θερμοδυναμική κατάσταση του κοιτάσματος.

Τα κύρια προβλήματα στη διαχείριση του θερμοενεργειακού δυναμικού εστιάζονται στα εξής:

- (α) Κακής ποιότητας κατασκευές στις γεωτρήσεις με αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη ροή ρευστών και επακόλουθα περιβαλλοντικά προβλήματα
- (β) Κατασπατάληση ενέργειας από ένα γεωθεμικό πόρο που θεωρείται ανανεώσιμος και του οποίου θα έπρεπε να εξασφαλίζεται η αειφορία
- (γ) Υψηλό κόστος δαπανών στη διαχείριση των γεωθερμικών ρευστών με αρνητικό ισοζύγιο στη σχέση κόστος – όφελος (κέρδος)
- (δ) Χαμηλός συντελεστής χρήσης των γεωτρήσεων από μεμονωμένους επενδυτές
- (ε) Μετατόπιση της ευθύνης παραγωγής – διάθεσης της ενέργειας από την Πολιτεία στον καταναλωτή(στ) Έλλειψη παρακολούθησης των παραγωγικών διαδικασιών σε βαθμό να μην είναι γνωστό το σημείο εκκίνησης της εκμετάλλευσης

Η σύγχρονη επιστημονική γνώση και η έρευνα στα γεωθερμικά κοιτάσματα έχουν θεσπίσει μεθόδους σύγχρονου management, οι οποίες θα πρέπει να ακολουθούνται με ευλάβεια, προκειμένου να επιτευχθούν τα μέγιστα οφέλη.

Η διοίκηση ενός γεωθερμικού κοιτάσματος θα πρέπει να ανήκει στην ευθύνη ενός φορέα αξιοποίησης που θα έχει την κατάλληλη επιστημονική - τεχνική - οικονομική υποδομή (Περιφέρεια, Ι.Γ.Μ.Ε., άλλος φορέας). Η προσεκτική παρακολούθηση των φυσικοχημικών συνθηκών και χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα αποτελούν τη βάση για μια πετυχημένη οικονομική δραστηριότητα. Η συνεχής έρευνα για τη βελτίωση των συνθηκών παραγωγής πρέπει να αποτελούν το βασικό μέλημα του φορέα.

Μπορούν και πρέπει να δημιουργηθούν τοπικά ενεργειακά κέντρα, που το καθένα θα έχει τα δικά του χαρακτηριστικά, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τις συνθήκες παραγωγής και θα διαμορφώσουν τη δική τους αγορά και την προσέγγιση ενεργοβόρων επιχειρήσεων του αγροτικού, αγροτοβιομηχανικού και τριτογενούς τομέα (π.χ. στον Ακροπόταμο Καβάλας, λόγω του παράκτιου χαρακτήρα και της μορφολογίας του εδάφους. ενδείκνυται η στροφή προς τον τουρισμό και όχι σε θερμοκήπια).

Κάθε γεωθερμικό πεδίο θα διαμορφώσει τη δική του αγορά και θα έχει διαφορετικό κόστος παραγωγής ανάλογα με το βάθος του γεωθερμικού ταμιευτήρα, την ποιότητα και το κόστος επεξεργασίας του γεωθερμικού ρευστού, το βαθμό και τη θερμοκρασία επανεισαγωγής κ.ο.κ.

Το υδάτινο δυναμικό σε πεδινές αγροτικές περιοχές μπορεί να αξιοποιηθεί ενεργειακά με χρήση αντλιών θερμότητας. Ένα (1) m³ νερού θερμοκρασίας 21°C όταν αυτό χρησιμοποιηθεί σε σύστημα αντλίας θερμότητας μπορεί να δώσει 10.000 kcal (ισχύς 11,6 kWth) σε αντιδιαστολή με την κατανάλωση 1 l πετρελαίου που απαιτείται για την απόδοση 8,39 kWth.

Για να γίνουν τα γ/θ πεδία λειτουργικά και για να αξιοποιηθεί ορθολογικά η γ/θ ενέργεια χρειάζονται έργα υποδομής. Επίσης, είναι ανάγκη φορείς του Δημοσίου όπως ο

Οργανισμός Εργατικής Κατοικίας, ο Οργανισμός Σχολικών Κτιρίων και πολλοί άλλοι να προχωρήσουν στην αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού ή της αβαθούς γεωθερμίας σε δημόσια κτίρια.

Αναγκαία είναι και η χρηματοδότηση από τις Περιφέρειες για τη συντήρηση των έργων υποδομής της γεωθερμίας (υπάρχουσες γεωτρήσεις).

8.3.1 Προτάσεις σχετικά με την τεχνολογία των εδαφικής πηγής αντλιών θερμότητας

Το σημαντικότερο βήμα για την ομαλή, μακροχρόνια και επιτυχημένη ανάπτυξη της τεχνολογίας των εδαφικής πηγής αντλιών θερμότητας αποτελεί η σωστή προετοιμασία, εκπαίδευση και πιστοποίηση των εμπλεκόμενων. Σύμφωνα με την σχετική οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, μέχρι τις 31-12-2012 θα πρέπει κάθε χώρα να έχει εφαρμόσει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο εκπαίδευσης.

Στη παρούσα φάση αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες έχουν θεσπίσει το πλαίσιο εκπαίδευσης και πιστοποίησης. Οι σχετικές προσπάθειες στην Ευρώπη γίνονται στα πλαίσια των προγραμμάτων «QualiCert» (Κοινή προσέγγιση για την πιστοποίηση ή τον ισοδύναμο χαρακτηρισμό των εγκαταστατών των μικρής κλίμακας συστημάτων ΑΠΕ στα κτήρια) και του GEOTRAINET (Geo-Education for sustainable geothermal heating and cooling market).

Το ΤΕΕ οφείλει να εμπλακεί ενεργά στις σχετικές διαδικασίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ

1. European Geothermal Energy Council. (2011). *Deep Geothermal Market Report 2011*.
2. European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling. (2011). *2020-2030-2050 Common Vision for the Renewable Heating & Cooling sector in Europe*.
3. Greenpeace International. (2011). *Energy [R]evolution vs. IEA World Energy Outlook scenario 2011*.
4. IEA. (2011). *Clean energy Progress Report 2011*.
5. International Energy Agency. (2011). *WORLD ENERGY OUTLOOK 2011*.
6. U.S. Energy Information Administration. (2011). *International Energy Outlook 2011*.
7. Ελληνική Νομοθεσία. (2010). Απόφαση για την επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και την κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Αριθ. Α.Υ./Φ1/οικ.19598/ΦΕΚ Β'/1630/11-10-2010).
8. Ελληνική Νομοθεσία. (2010). ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 3851 Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΦΕΚ Α'/85/4-6-2010).
9. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ. (2011). *Η πρόοδος προς την επίτευξη του στόχου για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές το 2020*.
10. ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟ. (2009). ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 23ης Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ.
11. ΥΠΕΚΑ. (2010). *National Renewable Energy Action Plan in the scope of Directive 2009/28/EC*.
12. ΥΠΕΚΑ. (2011). *Ετήσια Έκθεση της Υπηρεσίας Α.Π.Ε. Έτος 2010*.
13. Lekang, O.-I. (2007). *Aquaculture Engineering*.
14. WaterFurnace International. (1998). *Aquaculture facility Case Study*.
15. ΥΠΕΚΑ. (2011). *ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδίου & Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Υδατοκαλλιέργειες*.
16. ΥΠΕΚΑ. (2011). *ΣΧΕΔΙΟ ΚΥΑ - ΕΙΔΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ*.
17. IGSHPA. (2009). *Ground Source Heat Pump Residential and Light Commercial Design and Installation Guide*.

18. Kavanaugh, S. P., & Rafferty, K. (1997). *GROUND SOURCE HEAT PUMPS DESIGN OF GEOTHERMAL SYSTEMS FOR COMMERCIAL AND INSTITUTIONAL BUILDINGS*. ASHRAE.
19. Sanner, B. (2011). *Chances for and barriers to Ground Source Heat Pump applications in Germany*.
20. VDI 4640. (2001). *Thermal use of the underground Ground source heat pump systems*.
21. Υπουργείο Ανάπτυξης. (2009). Υπ.Απ.Δ9Β,Δ/Φ166/οικ13068/ΓΔΦΠ2488/11-6-09 ΦΕΚ1249-24/06/2009 Άδειες εγκατάστασης για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης-ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπογείων...
22. Armstead, H.C.H., (1983). *Geothermal Energy*. E. & F. N. Spon, London.
23. Bullard, E.C., (1965). Historical introduction to terrestrial heat flow, in: Lee, W.H.K., ed. *Terrestrial Heat Flow*, Amer. Geophys. Un., Geophys. Mon. Ser., 8, pp.1-6.
24. Dickson, M., Fanelli, M., (2004). *What is Geothermal Energy?* Istituto di Geoscienze e Georisorse, Pisa, Italy.
25. Lubimova, E.A., (1968). Thermal history of the Earth, in: *The Earth's Crust and Upper Mantle*. Amer. Geophys. Un., Geophys. Mon. Ser., 13, pp.63-77.
26. Lund, W.J., Freeston, H.D., Loyd, L.T., (2011). Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. *Geothermics*, 40 (3) pp. 159-180.
27. Γκαρδιάκος, Χ., (2010). Αξιοποίηση της Γεωθερμίας για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας. Διπλωματική Εργασία στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. Επιβλέπων: Καθ. Αρθούρος Ζερβός.
28. Φυτίκας, Μ., Ανδρίτσος, Ν., (2004). *Γεωθερμία*. Εκδόσεις Τζιόλα. ISBN 960-418-019-3.
29. ΝΔ210/1973 Μεταλλευτικός Κώδικας.
30. Ν1475/84 Αξιοποίηση γεωθερμικού δυναμικού.
31. Ν3175/03 Αξιοποίηση γεωθερμικού δυναμικού.
32. ΦΕΚ Β' 1530/07.11.2005 Κανονισμός γεωθερμικών εργασιών.
33. ΦΕΚ Β' 635/12.05.2005 Εκμίσθωση δικαιώματος έρευνας και διαχείρισης γεωθερμικών πεδίων.
34. Enrico Barbier, *Geothermal energy technology and current status: an overview*, Institute of Geosciences and Earth Resources, Area della Ricerca del CNR, Pisa, Italy.
35. Δίας Χαραλαμπόπουλος, *Γεωθερμική ενέργεια - σημειώσεις*, Τμήμα περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
36. Ανδρέας Ζανής (Δρ), *Σημειώσεις για την έρευνα γεωθερμικών πεδίων*, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβαλλοντικής, Τομέας Γεωφυσικής-Γεωθερμίας, Αθήνα, Νοέμβριος 2010.
37. Ολυμπία Πολύζου (2007), *Γεωθερμία, βιώσιμη ανάπτυξη και τοπικές κοινωνίες*, Διδακτορική Διατριβή στο τμήμα Μεταλλείων- Μεταλλουργών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
38. Καμακάρης Βασίλειος, (2010) *Η γεωθερμική έρευνα στην νήσο Μήλο- αξιολόγηση γεωθερμικών δεδομένων*, Διπλωματική Εργασία στο Ε.Μ.Π.
39. Αικατερίνη Βαρβέρη, (2009), *Βελτιστοποίηση γεωθερμικών πεδίων με χρήση γενετικών αλγορίθμων*, Διπλωματική Εργασία Μηχανικού Περιβάλλοντος.