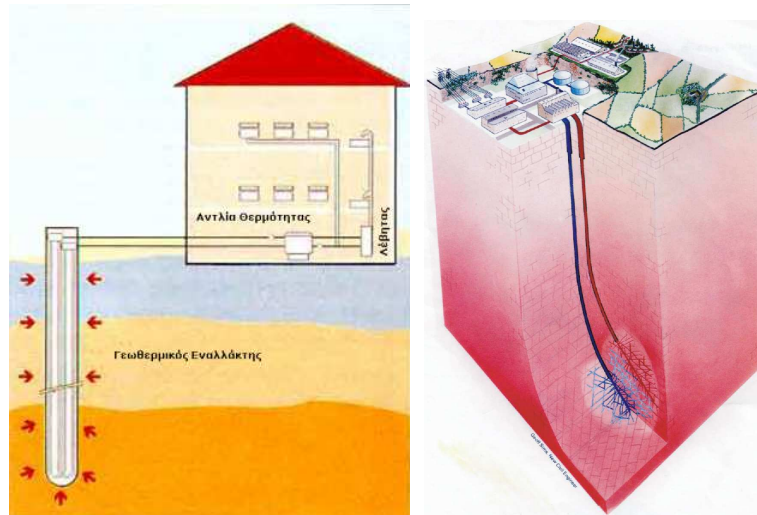


ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΓΟΥΛΑΣ ΤΗΛΕΜΑΧΟΣ

A.M. : 181

ΓΙΑΝΝΕΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

A.M. : 629

Επιβλέπων καθηγητής : κ. Σουπιός Παντελής

Νοέμβριος 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι να αναπτύξει και να αναλύσει την Γεωθερμία και τις εφαρμογές της στην Ελλάδα.

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν δύο τύποι συστημάτων :

1. Συστήματα με σωλήνες κλειστού κυκλώματος.
2. Συστήματα με σωλήνες ανοιχτού κυκλώματος.

Ακολούθησε ανάλυση της τεχνικής απόληψης ενέργειας με χρήση νερού. Επίσης παρουσιάσαμε οικονομική ανάλυση των δεδομένων χρήσης γεωθερμικής ενέργειας καθώς και τα περιβαντολλογικά οφέλη. Τέλος, η εργασία συμπεριλάμβανε το νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει για τη γεωθερμία στην Ελλάδα.

ABSTRACT

Purpose of this thesis is to develop and analyze Geothermal and its applications in Greece.

Two kinds of systems have been presented:

1. Closed loop system.
2. Open loop system.

Analysis of **energy extraction technique** using water has followed. Furthermore an analysis of the economic data and environmental benefits of the use of geothermal energy has been given. For closure the paper concluded the current legislative framework of geothermal in Greece.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΠΕΔΙΑ.....	5
2.1 Τα γεωθερμικά πεδία.....	5
2.2 Χρήσεις γεωθερμικής ενέργειας.....	5
2.2.1 Τρόπος λειτουργίας.....	5
2.2.2 Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπείας.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (G.H.P.).....	11
3.1 Εισαγωγή.....	11
3.2 Βασικές αρχές λειτουργίας.....	12
3.3 Τύποι συστημάτων με χρήση υπόγειων εναλλακτων.....	14
3.3.1 Συστήματα με σωλήνες κλειστού κυκλώματος	14
3.3.1.1 Οριζόντιο κύκλωμα	16
3.3.1.2 Σπειροειδές κύκλωμα	17
3.3.1.3 Κάθετο κύκλωμα	18
3.3.1.4 Καταβυθιζομενο κύκλωμα	19
3.3.2 Συστήματα με σωλήνες ανοιχτού κυκλώματος	20
3.4 Μεταβλητές που επιδρούν στο σχεδιασμό και στην εφαρμογή	23
3.4.1 Θερμοκρασία υπεδάφους	23
3.5 Σύγκριση των διατάξεων σε σειρά και παράλληλα	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΠΟΛΗΨΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	25
4.1 Με χρήση νερού	25
4.1.1 Γεωτρήσεις – Εναλλάκτες θερμότητας	25
4.1.1.1 Επιφανειακοί Εναλλάκτες	25
4.1.1.2 Εναλλάκτες εντος της γεώτρησης	26
4.1.1.3 Σχεδιασμός εντος του συστήματος	27
4.1.1.4 Εναλλάκτες θερμότητας μέσα σε βαθιές γεωτρήσεις	29
4.1.1.5 Συμπεράσματα	29
4.2 Μερικές παρατηρήσεις	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	31
5.1 Γενικά	31
5.1.1 Περιβαλλοντικά και χωροταξικά θέματα	33
5.1.2 Τα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	35
6.1 Κόστος παράγωγης γεωθερμικής ενεργείας	35
6.2 Οικονομικά πλεονεκτήματα	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ – ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	37
7.1 Αειφορία και ανανεωσιμότητα της γεωθερμίας	37
7.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	39
7.3 Επιπτώσεις από μονάδες χαμηλής ενθαλπίας	40
7.4 Επιπτώσεις από μονάδες υψηλής ενθαλπίας	41
7.4.1 Χρήση γης και απόθεση στερεών απόβλητων	41
7.4.2 Εκπομπές αέριων και αντιμετώπιση	43
7.4.3 Υδάτινη και θερμική ρύπανση	46
7.4.4 Θόρυβος	47
7.4.5 Δημιουργία μικροσεισμικότητας	48
7.4.6 Πρόκληση καθιζήσεων	48

7.5 Περιβαλλοντικά οφέλη	49
7.6 Νομοθεσία για τη γεωθερμία	50
7.7 Συμπεράσματα και προοπτικές	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	55
ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	59

Κεφάλαιο 1

1.Εισαγωγή στη Γεωθερμία

Η Γη είναι ζεστή στο εσωτερικό της και αυτό γίνεται αντιληπτό από την θερμοκρασία που αυξάνει όσο απομακρυνόμαστε με τεχνητά έργα από την επιφάνεια, καθώς εισερχόμαστε στο εσωτερικό της, είτε με υπόγειες στοές ορυχείων, σήραγγες δρόμων και κυρίως με γεωτρήσεις.

Γεωθερμική ενέργεια είναι η φυσική πηγή με γήινη προέλευση, που με τη μορφή θερμών ρευστών ατμού, νερού και αερίων, είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη. Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια σχετικά ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη σε ανθρώπινη κλίμακα μορφή ενέργειας και με αυτή την έννοια ανανεώσιμη, γιατί τα ρευστά που εκμεταλλευόμαστε έχουν μετεωρική προέλευση και ανανεώνονται.

Σε διάφορους τόπους υπάρχουν γεωθερμικά πεδία, των οποίων η χρήσιμη ενέργεια μπορεί να ληφθεί με διάφορους τρόπους. Τα γεωθερμικά πεδία κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με τη θερμοκρασία τους:

- α) Υψηλής ενθαλπίας, με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 150°C (ή 180°C)
- β) Μέσης ενθαλπίας, με θερμοκρασίες 90-150°C (ή 100-180°C)
- γ) Χαμηλής ενθαλπίας, με θερμοκρασίες 25-90°C (ή 25-100°C)

Η γεωθερμική ενέργεια κατατάσσεται στις: ανανεώσιμες, ήπιες, μη εξαντλήσιμες πηγές ενέργειας, όμως θα πρέπει να προσεχθούν δύο σημεία:

1. Κάθε γεωθερμικό πεδίο έχει ένα ορισμένο ενεργειακό δυναμικό, το οποίο με το χρόνο και ανάλογα με τη χρήση του μπορεί να εξαντληθεί.

2. Οι επιπτώσεις της γεωθερμικής ενέργειας στο περιβάλλον ορισμένες φορές δεν είναι καθόλου ήπιες. Έτσι, ανάλογα με τη φύση του γεωθερμικού ρευστού και κατά τη διάρκεια της χρήσης του, μπορεί να προκληθεί σημαντική ρύπανση του περιβάλλοντος, αν δεν αντιμετωπιστεί έγκαιρα με σωστά και κατάλληλα μέτρα.

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

Κεφάλαιο 2

2.Εισαγωγή στα γεωθερμικά πεδία

2.1 Τα γεωθερμικά πεδία

Το κάθε γεωθερμικό πεδίο όμως παρουσιάζει ιδιαιτερότητες και απαιτεί εξειδικευμένες μελέτες για τη βέλτιστη τεχνικά και οικονομικά εκμετάλλευσή του. Όσον αφορά όμως την εκμετάλλευση της γεωθερμίας που εμπεριέχεται στα θερμά ξηρά πετρώματα και των σε εξέλιξη ηφαιστειών η τεχνολογία δεν έδωσε ακόμα πρακτικά αποδεκτές λύσεις.

Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων βάσει της ισχύος:

1. Ομαλή γεωθερμία: $T < 25^{\circ}\text{C}$, απόδοση $< 2\%$ (ψύξη – θέρμανση κτιρίων)
2. Χαμηλής ενθαλπίας: $T = 25 - 100^{\circ}\text{C}$, απόδοση $2 - 8\%$ (νερό οικιακής χρήσης)
3. Μέσης ενθαλπίας: $T = 100 - 150^{\circ}\text{C}$, απόδοση $2 - 8\%$ (ηλεκτροπαραγωγή με πτητικό ρευστό)
4. Υψηλής ενθαλπίας: $T > 150^{\circ}\text{C}$, απόδοση $8 - 18\%$ (ηλεκτροπαραγωγή)

Ξηρού ατμού: $H > 1.5 \text{ MJ/kg}$,

Υγρής φάσης: $H > 2.5 \text{ MJ/kg}$

5. Θερμά ξηρά πετρώματα.

2.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.2.1 Τρόπος λειτουργίας

Η γεωθερμική ενέργεια, ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες :

- Χαμηλής ενθαλπίας ($25-100^{\circ}\text{C}$)
- Μέσης ενθαλπίας ($100-150^{\circ}\text{C}$)
- Υψηλής ενθαλπίας ($>150^{\circ}\text{C}$)

Η γεωθερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η εγκατεστημένη ισχύς των γεωθερμικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο ανέρχεται σε 6.000 MWe περίπου.

Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης ενθαλπίας βρίσκεται σε διεθνές επίπεδο πολλές εφαρμογές στη γεωργία, τη γεωργική βιομηχανία, την κτηνοτροφία – ιχθυοκαλλιέργεια και τη θέρμανση χώρων.

Η τεχνολογία που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών αυτής της κατηγορίας έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό και είναι ευρύτατα γνωστή. Συνιστάται κυρίως στη χρήση εναλλακτών θερμότητας ή σε μερικές περιπτώσεις, στην απευθείας χρήση των γεωθερμικών ρευστών.

2.2.2 Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας

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.

Οι ορατές εκμεταλλεύσεις τη γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα σε χρήσεις μόνο θέρμανσης (όπως τηλεθέρμανση κτιρίων, θερμοκήπια, ξηραντήρια αγροτικών προϊόντων και ιχθυοκαλλιέργειες) μπορούν μέχρι το έτος 2000 να αγγίξουν τα 150 MW_{th}, εγκατεστημένης ισχύος, εξοικονομώντας 17.000 περίπου τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Τ Ι.Π.) το έτος.

Στην πράξη όμως σήμερα η εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας στην χώρα μας είναι ασήμαντη έως μηδαμινή.

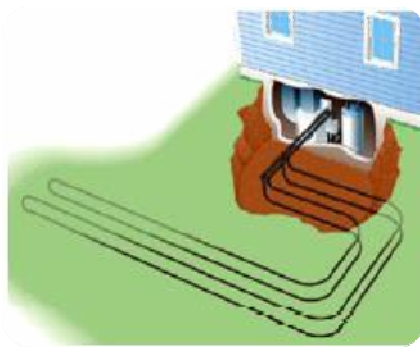
Σήμερα υπάρχουν εγκατεστημένα στην χώρα μας μόλις 200 στρ. γεωθερμικών θερμοκηπίων με εγκατεστημένη ισχύ περί τα 20 MW_{th} που εξοικονομούν 2000 Τ.Ι.Π. το έτος.

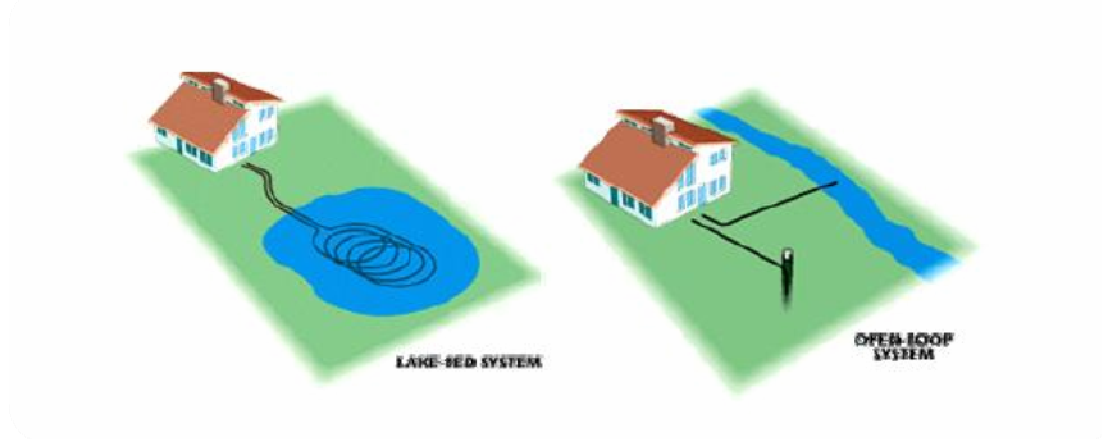
Αυτό συμβαίνει παρ' όλο που οι συνθήκες παραγωγής και εκμετάλλευσης των γεωθερμικών ρευστών είναι συμφέρουσες και παρ' όλο που τα γεωθερμικά πεδία συμπίπτουν γεωγραφικά με εύφορες πεδιάδες με μεγάλη γεωργική παραγωγή.

Οι πλέον συνήθεις και τεχνικοοικονομικά συμφέρουσες χρήσεις που εφαρμόζονται κατά την αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι:

1. Τηλεθέρμανση

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





Σχήμα 2.2.1: Τηλεθέρμανση

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

2. Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο δύνανται να επιτευχθεί με τη μέθοδο της πολυσταδιακής εξάτμισης εν κενώ (MES). Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον 60 °C. Η θερμοκρασία απόρριψης σχεδιάζεται να είναι 40-50 °C.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για περίπτωση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 75 °C και παροχής 100 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.

3. Θέρμανση θερμοκηπίων

Οι χρήσεις και το μέγεθος των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων εξαρτάται από τη διαθέσιμη γεωθερμική ενέργεια, από τις κλιματολογικές συνθήκες, από τα υλικά κατασκευής των θερμοκηπίων και από το είδος της καλλιέργειας.

Μια πάρα πολύ κοινή περίπτωση, για τα δεδομένα του ελλαδικού χώρου είναι η θέρμανση γυάλινων θερμοκηπίων με ντομάτα και με θερμαντικό μέσο γεωθερμικά

ρευστά $40 - 55^{\circ}\text{C}$. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται περί τις 150.000 kcal/h το στρέμμα για μία περίοδο θέρμανσης, κατά μέσο όρο, 1.250 ωρών (Load Factor 14%) διατηρώντας μία εσωτερική θερμοκρασία αέρα τουλάχιστον 14°C .

Η ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται στην περίπτωση αυτή είναι της τάξεως των 24 τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου το στρέμμα ή περί τα 2.400.000 δρχ./έτος το στρέμμα.

Παράδειγμα: Γεωθερμικό Θερμοκήπιο Σιδηροκάστρου Σερρών

Το γεωθερμικό πεδίο της Θερμοπηγής Σιδηροκάστρου, του νομού Σερρών εκτείνεται 10 km βόρεια του Σιδηροκάστρου και η βεβαιωμένη έκταση του καταλαμβάνει 6 km^2 . Το βάθος του ταμιευτήρα κυμαίνεται από 30-400m με θερμοκρασιακό εύρος από $40-57^{\circ}\text{C}$, αλατότητα 800- 2200 ppm TDS και με αυξημένη περιεκτικότητα σε CO_2 , Το πιθανό δυναμικό του πεδίου εκτιμάται σε $1000\text{ m}^3/\text{h}$ έχοντας δυνατότητα παραγωγής 28 MW_{th} (θερμοκρασία απόρριψης στους 250°C). Στην περιοχή υπάρχουν γεωθερμικά θερμοκήπια συνολικής εκτάσεως 17,5 στρεμμάτων με συνολική εγκατεστημένη ισχύ $6,64\text{ MW}_{\text{th}}$ και η επιτυγχανόμενη εξοικονόμηση ενέργειας είναι της τάξεως των 1180 ΤΙΠ/έτος. Από αυτά τα θερμοκήπια, αυτό που λειτουργεί, πλήρως, εκμεταλλεζόμενο όλες τις φυτεύσεις ανά έτος, είναι μια εγκατάσταση γεωθερμικού θερμοκηπίου εκτάσεως 415 στρεμμάτων Το υλικό κάλυψης του συγκεκριμένου θερμοκηπίου είναι γυαλί. Η εγκατεστημένη ισχύς του είναι $1,9\text{ MW}_{\text{th}}$ και η ετήσια εξοικονόμηση 365,8 ΤΙΠ/ έτος.

Το γεωθερμικό πεδίο της Θερμοπηγής Σιδηροκάστρου έχει αρκετές δυνατότητες αξιοποίησης, κυρίως για θέρμανση θερμοκηπίων Αν αξιοποιηθεί ορθολογικά όλο το βεβαιωμένο δυναμικό του πεδίου μπορεί να πολλαπλασιασθεί η έκταση των εγκατεστημένων θερμοκηπίων σε πενήντα στρέμματα τουλάχιστον.



ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΣΗΔΙΡΟΚΑΣΤΡΟΥ ΣΕΡΡΩΝ

Σχήμα 2.2.2

4. Ιχθυοκαλλιέργειες

Η απαραίτητη θερμοκρασία στο νερό της δεξαμενής της ιχθυοκαλλιέργειας κυμαίνεται από 14 έως 30 °C, ανάλογα με το είδος της.

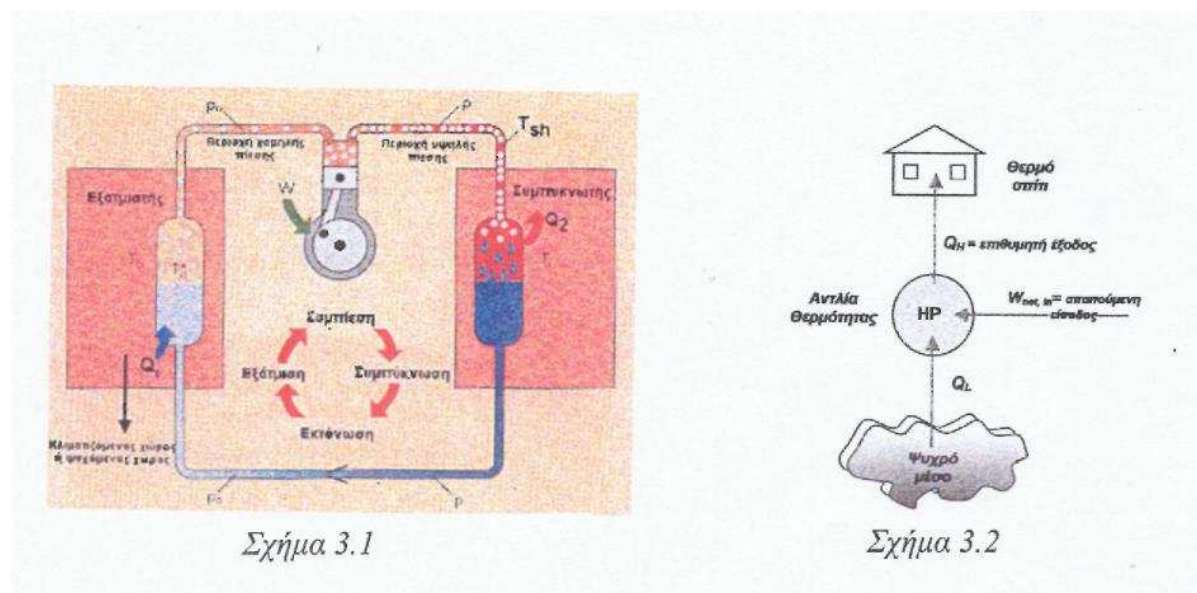
Η ιχθυοκαλλιέργεια μπορεί να γίνει είτε μεμονωμένα με γεωθερμικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο, θερμοκρασίας 25 έως 35 °C, είτε από το απορριπτόμενο νερό από τη θέρμανση θερμοκηπίων. Στη δεύτερη περίπτωση εκτιμάται ότι από τα απορριπτόμενα νερά 5 στρεμμάτων γυάλινου θερμοκηπίου με τριαντάφυλλα δύναται να θερμανθεί δεξαμενή χελοτροφείου όγκου 500 m³.

Κεφάλαιο 3

3.Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (G.H.P.)

3.1 Εισαγωγή

Για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται πολλές φορές και οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Πρόκειται για συσκευές που έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν θερμότητα από ένα μέσο με χαμηλή θερμοκρασία σε ένα άλλο μέσο με υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό πραγματοποιείται με απορρόφηση θερμότητας από μια πηγή χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας (όπως είναι το υπόγειο ή επιφανειακό νερό, ο εξωτερικός αέρας και το υπέδαφος) προμηθεύοντας τη θερμότητα αυτή σε ένα θερμότερο μέσο, όπως είναι για παράδειγμα ένα σπίτι. Τα βασικά εξαρτήματα μιας αντλίας θερμότητας είναι τα ίδια με τα κοινά κλιματιστικά και περιλαμβάνουν το συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τον εξαμιστήρα, τη βαλβίδα εκτόνωσης και βέβαια μια πηγή ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις η αντλία θερμότητας είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να αντιστρέφει την ψυκτική και θερμαντική λειτουργία, επιτρέποντας τη χρήση της ίδιας συσκευής για ψύξη και θέρμανση. Στο Σχήμα 3.1 φαίνεται η αρχή λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας. (Μ.Φυτίκας, Ν.Ανδρίτσος Γεωθερμία Εκδόσεις Τζιόλλα)



Στην αντλία θερμότητας, τροφοδοτείται θερμότητα από το “ψυχρό” μέσο σε χαμηλή θερμοκρασία T_0 . Έτσι προσφέρεται μηχανικό έργο W_{net} για τη μεταφορά της θερμότητας σε υψηλότερη θερμοκρασία T_H (Σχήμα 3.2).

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

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

$$COP = \frac{\text{επιθυμητή έξοδος}}{\text{απαιτούμενη είσοδος}} = \frac{\text{θερμό αποτέλεσμα}}{\text{έργο εισόδου}} = \frac{\text{γεωθερμική και προστιθέμενη}}{\text{προστιθέμενη}}$$

$$Q_H / Q_{NET}$$

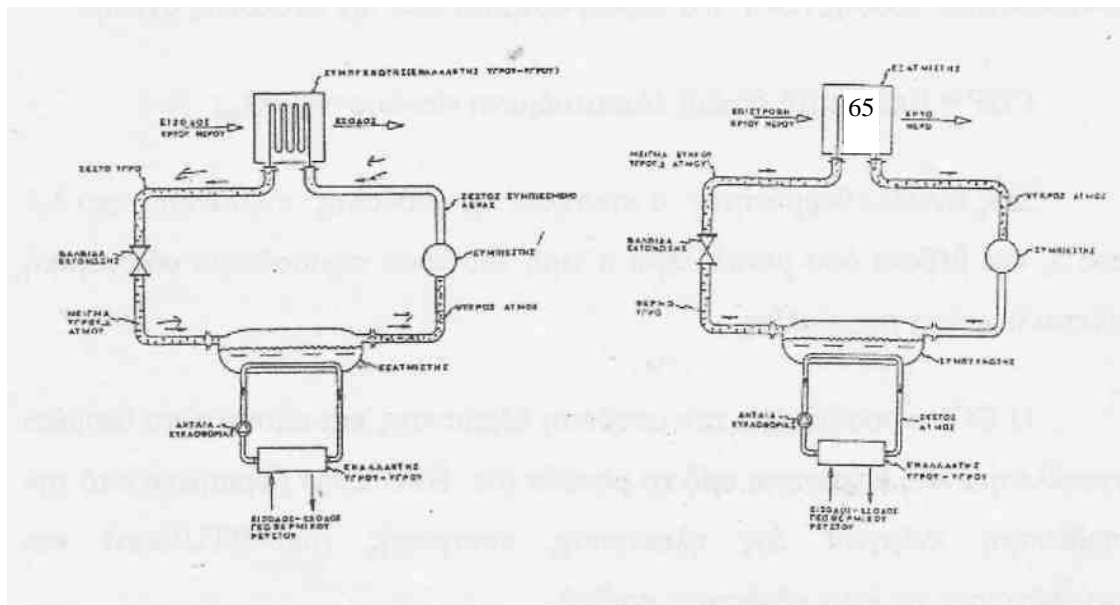
Στις αντλίες θερμότητας ο συντελεστής απόδοσης κυμαίνεται από 1.5 έως 7, και βέβαια όσο μεγαλύτερη η τιμή του τόσο περισσότερο οικονομική γίνεται η χρήση της αντλίας (και τόσο πιο ακριβή είναι προφανώς).

Ο COP προσδιορίζει την απόδοση θέρμανσης και αποτελεί το θερμικό αποτέλεσμα που παράγεται από τη μονάδα (σε BTU/ώρα) διαιρεμένο με την ισοδύναμη ενέργεια της ηλεκτρικής εισαγωγής (σε BTU/ώρα) και καταλήγοντας σε έναν αδιάστατο αριθμό.

Υπάρχει και ένας άλλος συντελεστής που προσδιορίζει την απόδοση ψύξης, λέγεται EER (Ρυθμός Απόδοσης Ενέργειας) και είναι το αποτέλεσμα ψύξης που παράγεται από τη μονάδα (σε BTU/ώρα) διαιρεμένο με την ηλεκτρική εισαγωγή (σε watt) και καταλήγοντας σε μονάδες BTU/Wh.

3.2 Βασικές αρχές λειτουργίας

Η αντλία θερμότητας είναι μια ψυκτική μονάδα. Κάθε ψυκτικός μηχανισμός (ψυγείο, καταψύκτης) μεταφέρει θερμότητα από ένα χώρο και αποβάλλει αυτή την θερμότητα σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η μόνη διαφορά μεταξύ της αντλίας θερμότητας και της ψυκτικής μονάδας είναι το επιθυμητό αποτέλεσμα, το οποίο για την ψυκτική μονάδα, είναι η ψύξη και για την αντλία θερμότητας είναι η θέρμανση. Επιπλέον οι αντλίες θερμότητας μπορούν να παρέχουν θέρμανση ή ψύξη στο χώρο, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.3 και 3.4 αντίστοιχα.



Σχήμα 3.3

Σχήμα 3.4

Σχήμα 3.3: Λειτουργία αντλίας θερμότητας σε σύστημα θέρμανσης

Σχήμα 3.4: Λειτουργία αντλίας θερμότητας σε ψυκτικό σύστημα

Στην ορολογία των αντλιών θερμότητας, η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας στην οποία απορροφάται η θερμότητα (θερμοκρασία πηγής) και της θερμοκρασίας στην οποία η θερμότητα αποδίδεται (θερμοκρασία χώρου απόθεσης) αναφέρεται ως “ανύψωση”. Όσο μεγαλύτερη είναι η ανύψωση, τόσο μεγαλύτερη είναι η εισαγόμενη ενέργεια που απαιτείται από την αντλία θερμότητας. Αυτό είναι σημαντικό, επειδή αποτελεί πλεονέκτημα όσον αφορά στην απόδοση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σχέση με τις αντλίες θερμότητας με πηγή τον αέρα.

3.3 Τύποι συστημάτων με χρήση υπόγειων εναλλακτών

Τα συστήματα με χρήση υπόγειων εναλλακτών που χρησιμοποιούνται στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή ταξινομούνται σε 3 κύριες κατηγορίες:

- σωλήνες κλειστού κυκλώματος
- σωλήνες ανοικτού κυκλώματος
- σωλήνες άμεσης διαστολής

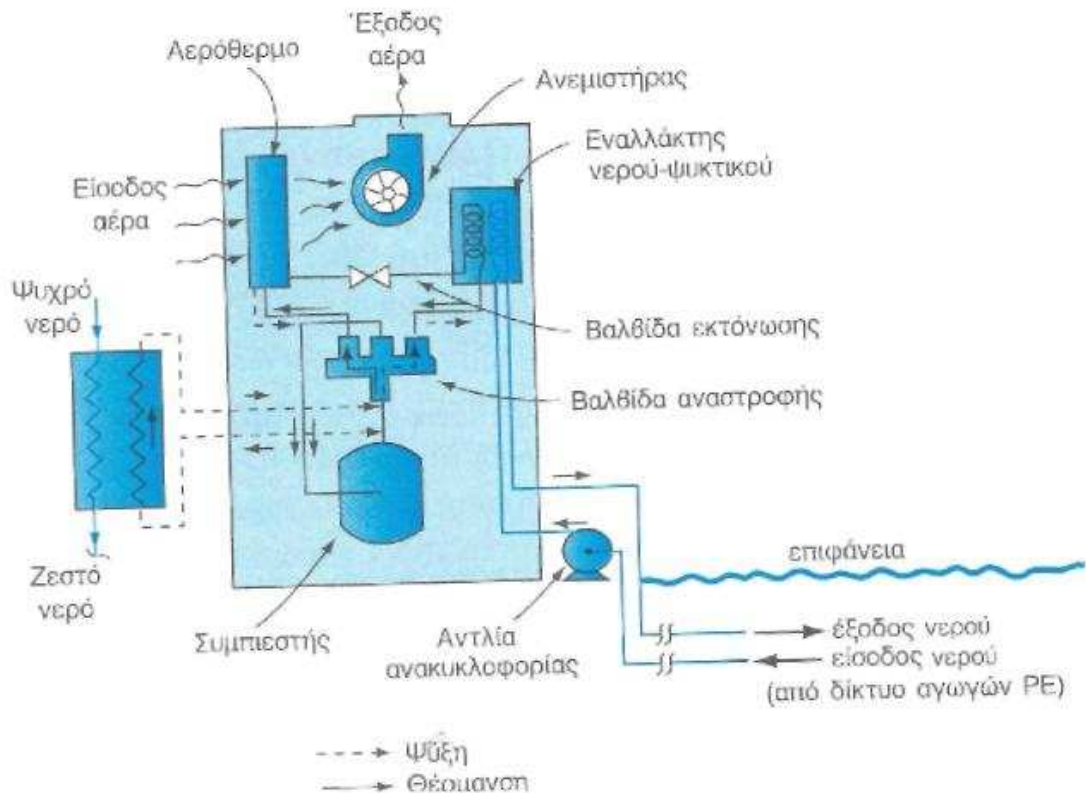
Ο τύπος του υπόγειου εναλλάκτη θα επηρεάσει τη λειτουργία του συστήματος αντλιών θερμότητας (επομένως την κατανάλωση ενέργειας της αντλίας θερμότητας), τις ενεργειακές απαιτήσεις για βοηθητικές αντλίες και το κόστος της εγκατάστασης. Η επιλογή του πιο κατάλληλου τύπου υπόγειων εναλλακτών για μια περιοχή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

3.3.1 Συστήματα με σωλήνες κλειστού κυκλώματος

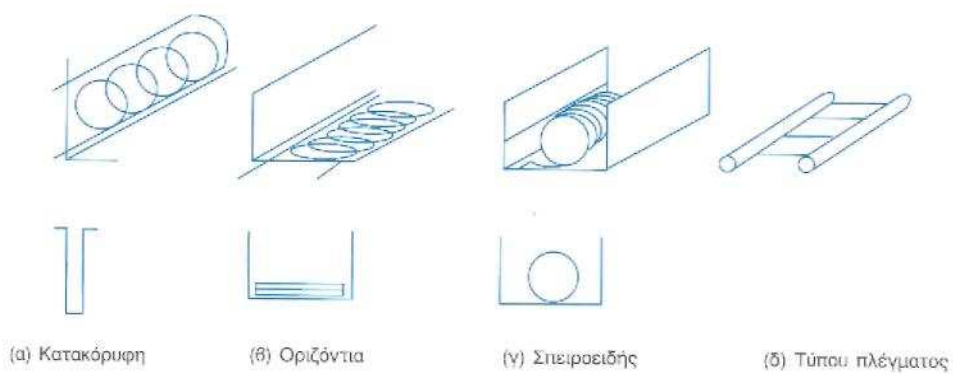
Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από ένα υπόγειο δίκτυο στεγανοποιημένων, πλαστικών σωλήνων υψηλής αντοχής, που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας. Στο κύκλωμα κυκλοφορεί ένα ρευστό υλικό μεταφοράς θερμότητας, τυπικά νερό ή ένα υδρο-αντιψυκτικό διάλυμα, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθούν και άλλα ρευστά μεταφοράς θερμότητας. Όταν οι απαιτήσεις για ψύξη προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού στο κλειστό κύκλωμα, τότε μεταφέρεται θερμότητα στο ψυχρότερο έδαφος.

Αντιστρόφως, όταν οι απαιτήσεις για θέρμανση προκαλούν την πτώση της θερμοκρασίας του ρευστού στο κλειστό κύκλωμα, τότε θερμότητα απορροφάται από το θερμότερο έδαφος.

Υπάρχουν αρκετές ποικιλίες διατάξεων κλειστού κυκλώματος, όπως είναι το οριζόντιο, το σπειροειδές, το κάθετο και το καταβυθισμένο.



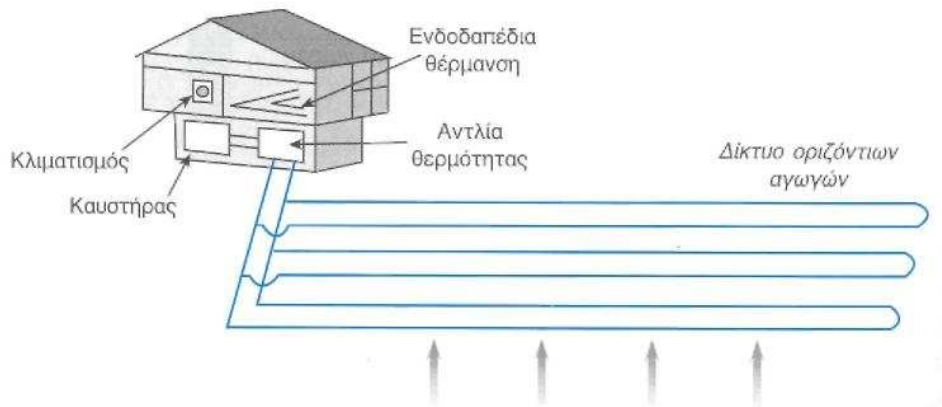
Σχήμα 3.5: Γ.Α.Θ κλειστού κυκλώματος



Σχήμα 3.6: Διάφοροι τύποι εγκατάστασης των σωληνώσεων (α) στα κατακόρυφα (β) στα οριζόντια συστήματα.

3.3.1.1 Οριζόντιο κύκλωμα

Τα οριζόντια κυκλώματα, που απεικονίζονται στο Σχήμα 3.5, χρησιμοποιούνται συχνά όταν υπάρχει διαθέσιμη επαρκής επιφάνεια του εδάφους. Οι σωλήνες τοποθετούνται σε τάφρους, τυπικά σε ένα βάθος 1,2 έως 3 m. Ανάλογα με το συγκεκριμένο σχεδιασμό, μπορούν να τοποθετηθούν από 1 μέχρι 6 σωλήνες σε κάθε τάφρο. Παρόλο που απαιτούν περισσότερο μήκος σωλήνων, οι διατάξεις πολλαπλών σωλήνων διατηρούν την επιφάνεια του εδάφους, απαιτούν λιγότερες τάφρους και επομένως έχουν μικρότερο κόστος εγκατάστασης από τις διατάξεις μονού σωλήνα. Τα μήκη των τάφρων ποικίλλουν από 30-120 m ανά σύστημα τόνου ψύξης, εξαρτώνται από τις συνθήκες του εδάφους και τον αριθμό των σωλήνων μέσα στην τάφρο. Οι τάφροι συνήθως απέχουν 1,8 έως 3,7 m. Αυτά τα συστήματα είναι συνηθισμένα σε οικιακές εφαρμογές, αλλά δεν εφαρμόζονται συχνά σε μεγάλης χωρητικότητας εμπορικές εφαρμογές, αφού απαιτείται μεγάλη επιφάνεια εδάφους για κατάλληλη μεταφορά θερμότητας. Τα οριζόντια συστήματα εφαρμόζονται συνήθως σε μεγάλες επιφάνειες εδάφους με υψηλή στάθμη νερού. Στους σωλήνες κυκλοφορεί νερό και αντιπηκτικό.



Σχήμα 3.7:οριζόντιο κύκλωμα

Πλεονεκτήματα: Το κόστος των τάφρων είναι τυπικά χαμηλότερο από το κόστος των γεωτρήσεων- υπάρχουν ευέλικτες επιλογές εγκατάστασης

Μειονεκτήματα:

1. απαιτείται μεγάλη εδαφική περιοχή
2. η θερμότητα του εδάφους υπόκειται σε εποχιακές διακυμάνσεις σε μικρά βάθη
3. οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους κυμαίνονται ανάλογα με την εποχή, τη

βροχή και το βάθος ταφής. Η ξηρότητα του εδάφους πρέπει να μετρηθεί κατάλληλα για το σχεδιασμό του απαιτούμενου μήκους σωλήνων, ειδικά σε αμμώδη εδάφη και στις κορυφές των βουνών, όπου μπορούν να στερέψουν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού

4. το σύστημα σωλήνων μπορεί να καταστραφεί κατά τη διεργασία αναγεμίματος

5. απαιτούνται μεγαλύτερα μήκη σωλήνων σε σχέση με τις κάθετες γεωτρήσεις

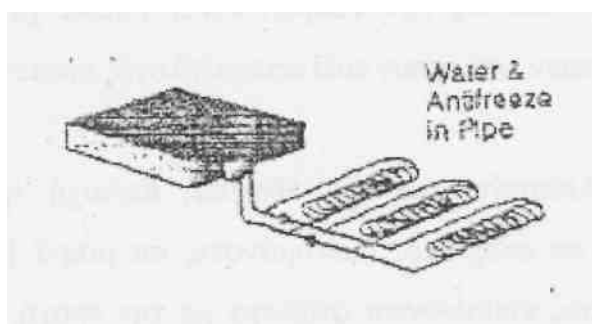
6. η πυκνότητα του αντιψυκτικού διαλύματος αυξάνει την ενέργεια των αντλιών, μειώνει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας κι έτσι μειώνει τη συνολική απόδοση

7. Παρατηρείται χαμηλή απόδοση του συστήματος

3.3.1.2 Σπειροειδές κύκλωμα

Μια παραλλαγή της διάταξης οριζόντιου κυκλώματος με πολλαπλούς σωλήνες είναι το σπειροειδές κύκλωμα. Το κύκλωμα αυτό, που απεικονίζεται στο Σχήμα 3.8, αποτελείται από σωλήνες που στριφογυρίζουν σε ένα κυκλικό κύκλωμα μέσα σε τάφρους. Μια άλλη παραλλαγή του συστήματος με σπειροειδές κύκλωμα περιλαμβάνει την τοποθέτηση του κυκλώματος όρθιο σε στενές κάθετες τάφρους. Η διάταξη του σπειροειδούς κυκλώματος απαιτεί γενικά περισσότερους σωλήνες, τυπικά 150-300μ ανά σύστημα τόνου ψύξης, αλλά λιγότερες συνολικά τάφρους από τα συστήματα οριζόντιου κυκλώματος με πολλαπλούς σωλήνες.

Για το σχεδιασμό των οριζόντιων σπειροειδών κυκλωμάτων, οι τάφροι έχουν πλάτος γενικά 0,9 έως 1,8 m, πολλαπλές τάφροι απέχουν τυπικά περίπου 3,7 m. Για το σχεδιασμό των κάθετων σπειροειδών κυκλωμάτων, οι τάφροι έχουν πλάτος γενικά 15,2 cm.



Σχήμα 3.8:Σπειροειδές κύκλωμα

Πλεονεκτήματα:

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

Μειονεκτήματα :

1. απαιτεί μεγαλύτερο συνολικό μήκος σωλήνων σε σχέση με άλλα συστήματα υπόγειων εναλλακτών εδάφους
2. η θερμοκρασία του εδάφους υπόκειται σε εποχιακές μεταβολές
3. μεγαλύτερες απαιτήσεις ενέργειας των αντλιών από άλλα οριζόντια κυκλώματα που αναφέρονται παραπάνω
4. το σύστημα σωλήνων μπορεί να καταστραφεί κατά τη διεργασία του αναγεμίσματος

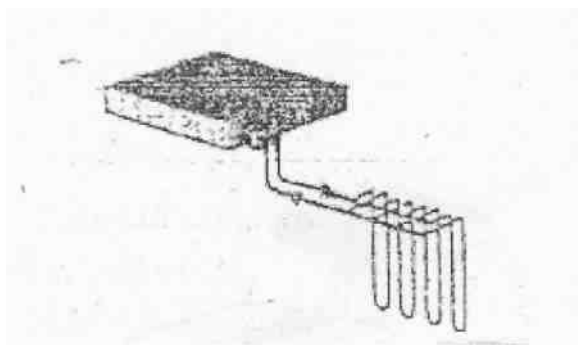
3.3.1.3 Κάθετο κύκλωμα

Τα κάθετα κυκλώματα απεικονίζονται στο Σχήμα 3.9 και χρησιμοποιούνται γενικά όταν η επιφάνεια του εδάφους είναι περιορισμένη.

Διανοίγονται γεωτρήσεις σε τυπικά βάθη από 22,9 έως 91,4m βάθος. Οι σωλήνες κλειστού κυκλώματος εισάγονται μέσα στην κάθετη γεώτρηση και ποικίλλουν από 60-180m ανά σύστημα ψύξης τόνου, εξαρτώμενες από το έδαφος και τις συνθήκες θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται πολλαπλές γεωτρήσεις, που απέχουν 3 έως 4,9m και οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι είτε σε σειρά ή σε παράλληλη διάταξη, ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις για τη συνολική μεταφορά θερμότητας. Τα κάθετα

συστήματα εφαρμόζονται εκεί που είναι περιορισμένη η εδαφική περιοχή, εκεί που το νερό βρίσκεται σε μεγάλο βάθος κι εκεί που το έδαφος είναι βραχώδες ή υπάρχει υπόβαθρο. Υπάρχουν 3 βασικοί τύποι για τους εναλλάκτες θερμότητας του κάθετου συστήματος:

- σωλήνας σε σχήμα U
- διαχωρισμένοι σωλήνες
- ομόκεντροι σωλήνες



Σχήμα 3. 9:Κάθετο κύκλωμα

Πλεονεκτήματα:

1. απαιτεί λιγότερο μήκος σωλήνων από τα περισσότερα συστήματα κλειστού κυκλώματος
2. απαιτεί την ελάχιστη ενέργεια άντλησης από όλα τα συστήματα κλειστού κυκλώματος
3. απαιτεί την ελάχιστη ποσότητα επιφανειακής περιοχής
4. η θερμοκρασία του εδάφους δεν υπόκειται σε εποχιακές μεταβολές

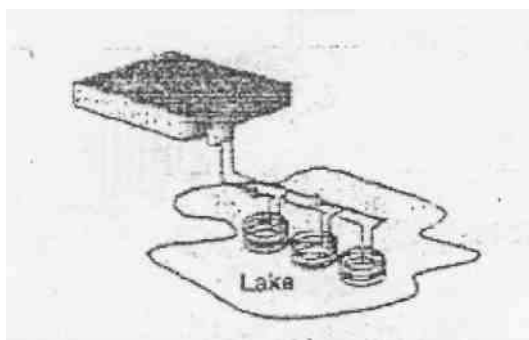
Μειονεκτήματα:

1. απαιτεί εξοπλισμό για τη γεώτρηση
2. το κόστος των γεωτρήσεων είναι συχνά πιο υψηλό από το κόστος των οριζόντιων τάφρων (περίπου 30-40 ευρώ/μ)

3.3.1.4 Καταβυθιζόμενο κύκλωμα

Αν ένας μετρίου μεγέθους νερόλακκος ή λίμνη είναι διαθέσιμα, τότε το κλειστό κύκλωμα μπορεί να καταβυθιστεί όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.10.

Οι εφαρμογές των καταβυθισμένων κυκλωμάτων απαιτούν κάποιες ειδικές συνθήκες και αυτό πρέπει να συζητηθεί άμεσα με έναν μηχανικό εξειδικευμένο σε τέτοιες εφαρμογές. Αυτός ο τύπος συστήματος απαιτεί επαρκή επιφάνεια εδάφους και βάθος, ώστε να αντεπεξεχθεί στις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης. Τυπικές εγκαταστάσεις απαιτούν σωλήνες 90 m ανά σύστημα τόνου ψύξης.



Σχήμα 3.11:Καταβυθιζόμενο κύκλωμα

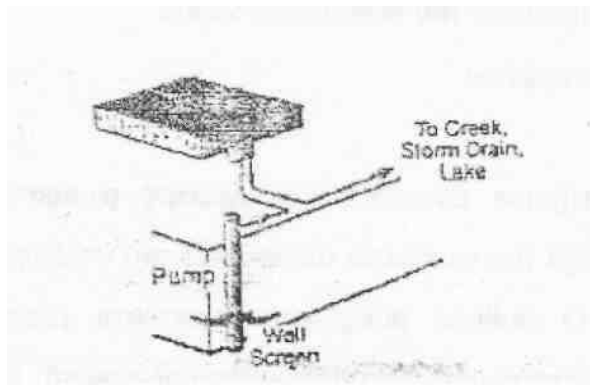
Πλεονεκτήματα:

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

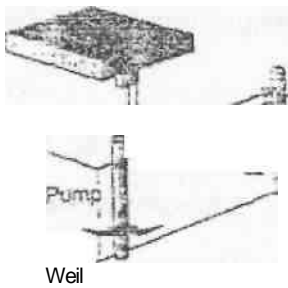
Μειονεκτήματα: Απαιτεί μεγάλη ποσότητα νερού.

3.3.2 Συστήματα με σωλήνες ανοικτού κυκλώματος

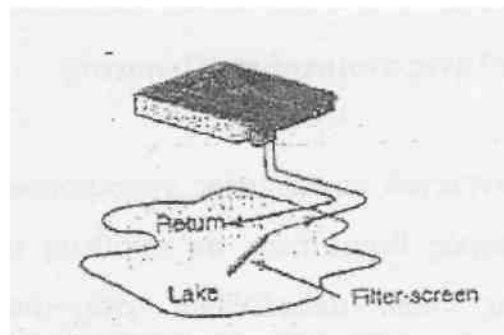
Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος χρησιμοποιούν υπεδαφικό νερό ως άμεσο μέσο μεταφοράς θερμότητας σε αντίθεση με το ρευστό υλικό μεταφοράς θερμότητας ,στα συστήματα κλειστού κυκλώματος. Αυτά τα συστήματα αναφέρονται μερικές φορές ως "αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή" για να διαχωριστούν από τις "αντλίες θερμότητας από εδάφια πηγή". Τα συστήματα ανοικτού κυκλώματος αποτελούνται πρωταρχικά από γεωτρήσεις εξαγωγής, γεωτρήσεις επανέγχυσης ή συστήματα επιφανειακού νερού. Αυτοί οι τρεις τύποι απεικονίζονται στα σχήματα 3.11,3.12,3.13 αντιστοίχως.



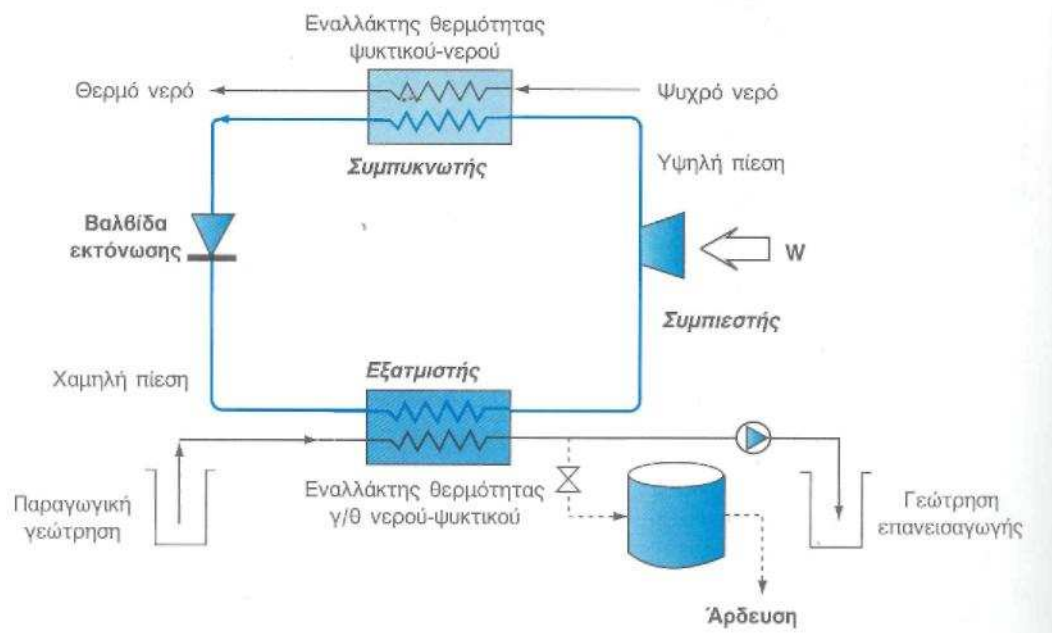
Σχήμα 3.11 γεώτρηση εξαγωγής



Σχήμα 3.12: γεώτρηση επανέγχυσης



Σχήμα 3.13: Σύστημα επιφανειακού νερού



Σχήμα 3.14: Σχηματικό διάγραμμα γ.α.θ νερού-νερού για θέρμανση θερμοκηπίου. Ο συμπυκνωτής μπορεί να είναι και αερόψυκτος(θερμαντικό στοιχείο αέρα)

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

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

Στα συστήματα ανοικτού κυκλώματος ο πρωταρχικός εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού υλικού και του υπεδαφικού νερού μπορεί να υπόκειται σε διάβρωση. Ο ρυθμός ροής που απαιτείται μέσω του πρωταρχικού εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού υλικού και του υπεδαφικού νερού κυμαίνεται από 0.4 έως 0.8 m³/h ανά σύστημα τόνου ψύξης. Το υπόγειο νερό πρέπει είτε να επανεγχύεται μέσα στο έδαφος από ξεχωριστές γεωτρήσεις ή να εκρέει σε ένα επιφανειακό σύστημα, όπως είναι ένα ποτάμι ή μια λίμνη.

Πλεονεκτήματα :

1. χρησιμοποιούνται λιγότερες γεωτρήσεις σε σχέση με τα συστήματα κλειστού κυκλώματος
2. υπόκεινται σε καλύτερη θερμοδυναμική λειτουργία από ότι τα συστήματα κλειστού κυκλώματος, γιατί οι γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται για να παραδώσουν υπόγειο νερό σε υπόγεια θερμοκρασία περισσότερο από ότι ένας εναλλάκτης θερμότητας παραδίδει ρευστό τροφοδοσίας πόσιμου νερού
3. χαμηλό κόστος λειτουργίας αν το νερό έχει ήδη αντληθεί για άλλους σκοπούς όπως η άρδευση

Μειονεκτήματα :

1. υψηλές απαιτήσεις ροής νερού
2. η διαθεσιμότητα σε νερό μπορεί να περιοριστεί
3. ο εναλλάκτης θερμότητας της αντλίας θερμότητας υπόκειται σε διαβρωτικούς παράγοντες, περιλίθωση και βακτηριακά συστατικά.
4. υψηλό κόστος αν απαιτείται γεώτρηση επανέγχυσης.

3.4 Μεταβλητές που επιδρούν στο σχεδιασμό και στην εφαρμογή

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

3.4.1 Θερμοκρασία υπεδάφους

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

Οι ετήσιες θερμοκρασίες του αέρα, η περιεκτικότητα σε υγρασία, ο τύπος του εδάφους και το εδαφικό κάλυμμα επιδρούν στη θερμοκρασία του υπεδάφους. Επιπρόσθετα, η θερμοκρασία του υπεδάφους ποικίλλει ετησίως ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του επιφανειακού αέρα, του τύπου του εδάφους, του βάρους.

3.5 Σύγκριση των διατάξεων σε σειρά και παράλληλης

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

Στα συστήματα σε σειρά, το ρευστό μεταφοράς θερμότητας μπορεί να πάρει ένα μονοπάτι μέσα στο κύκλωμα, ενώ στα συστήματα με παράλληλη διάταξη, το ρευστό μπορεί να πάρει δύο ή περισσότερα μονοπάτια μέσα στο κύκλωμα. Η επιλογή θα επηρεάσει τη λειτουργία, τις απαιτήσεις άντλησης και το κόστος. Τα περισσότερα μεγάλα συστήματα υπόγειων εναλλακτών χρησιμοποιούν και τα δύο συστήματα ροής σε σειρά και σε παράλληλη διάταξη. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διατάξεων συγκεντρώνονται παρακάτω. Σε μεγάλα εμπορικά συστήματα, η πτώση πίεσης και το κόστος άντλησης πρέπει να ληφθούν προσεκτικά υπόψη, αλλιώς θα έχουν πολύ υψηλές τιμές. Αγωγοί μεταβλητής ταχύτητας μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για να ελαττώσουν την ενέργεια άντλησης και το κόστος κατά τη διάρκεια των συνθηκών ημιφόρτωσης.

Πλεονεκτήματα του συστήματος σε σειρά:

- ευκολότερη μετακίνηση αέρα από το σύστημα. ελαφρώς υψηλότερη θερμική απόδοση ανά μήκος του σωλήνα, επειδή απαιτείται μεγαλύτερο μέγεθος σωλήνα στα συστήματα σε σειρά

Μειονεκτήματα του συστήματος σε σειρά:

- όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του ρευστού του σωλήνα σε σειρά, τόσο περισσότερος όγκος αντιψυκτικού υλικού απαιτείται.
- παρατηρείται υψηλότερο κόστος σωλήνων ανά μονάδα λειτουργίας και αυξημένο κόστος εργασιών για την εγκατάσταση.
- η χωρητικότητα είναι περιορισμένη εξαιτίας της πτώσης πίεσης του ρευστού.

Πλεονεκτήματα του συστήματος σε παράλληλη διάταξη :

- μικρότερη διάμετρος σωλήνων αντιστοιχεί σε χαμηλότερο κόστος μονάδας
- μικρότερος όγκος απαιτεί λιγότερο αντιψυκτικό υλικό
- απαιτείται χαμηλότερο κόστος εργασιών για την εγκατάσταση.

Μειονεκτήματα του συστήματος σε παράλληλη διάταξη :

- Απαιτείται ειδική προσοχή για την εξασφάλιση της μεταφοράς αέρα και της ροής θερμότητας.

Κεφάλαιο 4

4.Τεχνική απόληψης ενέργειας

4.1 Με χρήση νερού

4.1.1 Γεωτρήσεις - Εναλλάκτες θερμότητας

Οι επικαθήσεις αλάτων και οι διαβρώσεις των συστημάτων κυκλοφορίας των γεωθερμικών ρευστών στο τμήμα της θερμικής αξιοποίησής τους (ανάκτηση θερμότητας) και ο χημισμός τους απαιτούν την αντιμετώπισή τους, που συνήθως γίνεται με εναλλάκτες θερμότητας (επιφανειακοί ή υπόγειοι). Συχνά η απευθείας χρήση των γεωθερμικών ρευστών δεν είναι εφικτή λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών (<35° C) τους, οπότε με την υποστήριξη της αντλίας θερμότητας είναι δυνατή η αύξηση της θερμοκρασίας και επομένως η αξιοποίηση των ρευστών.

4.1.1.1 Επιφανειακοί εναλλάκτες

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της μεταφοράς της θερμότητας χρησιμοποιούνται κάποιες συσκευές, οι εναλλάκτες θερμότητας, όπου στο πρώτο κύκλωμα κυκλοφορεί το γεωθερμικό νερό και στο δεύτερο (ανοικτό ή κλειστό) νερό καλής ποιότητας (όπως στο κύκλωμα κεντρικής θέρμανσης) ή αέρας (αερόθερμο), που διοχετεύεται στους χώρους θέρμανσης. Οι εναλλάκτες θερμότητας (**heat exchangers**) χρησιμοποιούνται για την εναλλαγή της θερμότητας μεταξύ δύο ρευστών, τα οποία διαχωρίζονται με ένα στερεό τοίχωμα, συνήθως μεταλλικό η δε μετάδοσή της θερμότητας γίνεται με την επαφή των ρευστών με την επιφάνεια θέρμανσης.

Κατά την εναλλαγή της θερμότητας από το ένα ρευστό στο άλλο εμφανίζεται μια σχετική πτώση της θερμοκρασίας (1° – 4° C). Για το σχεδιασμό των εναλλακτών το βασικό μέγεθος προσδιορισμού είναι η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας, που καθορίζεται από τη διαφορά θερμοκρασίας, το συνολικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και την πτώση πίεσης (Βισσόρογλου, 1989). Ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες, την ταχύτητα και τη θερμοκρασία του ρευστού και τη γεωμετρική διάταξη και το υλικό του συστήματος.

Οι συνήθεις τύποι που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση θερμότητας από τα γεωθερμικά ρευστά είναι:

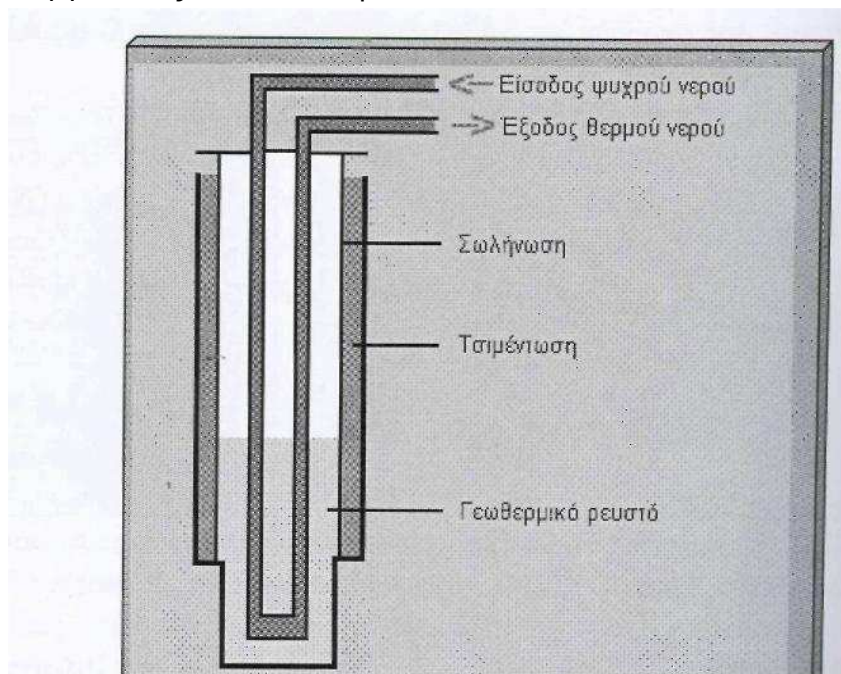
- Εναλλάκτες θερμότητας κελύφους και αυλών
- Εναλλάκτες θερμότητας πλακών

4.1.1.2 Εναλλάκτες εντός της γεώτρησης

Ο συνήθης τύπος γεωθερμικού εναλλάκτη αποτελείται από ένα σύστημα διπλής σωλήνωσης τοποθετημένης εντός της γεώτρησης, όπου κυκλοφορεί καθαρό νερό με φυσική ροή ή με τη βοήθεια αντλίας.

Με τη μέθοδο αυτή αντλείται μόνο θερμότητα από το γεωθερμικό ταμιευτήρα, αφού σε σχέση με του επιφανειακούς εναλλάκτες θερμότητας δεν απαιτείται η άντληση του γεωθερμικού ρευστού στην επιφάνεια και αποτελεί ένα παθητικό τρόπο εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας. Έτσι, λοιπόν δεν τίθεται θέμα διάθεσης των γεωθερμικών αποβλήτων, που συνήθως απαιτούν μια δεύτερη γεώτρηση επανεισαγωγής.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για μικρές μονάδες ανάκτησης γεωθερμικής ενέργειας και η χρήση της περιορίζεται συνήθως για θέρμανση οικιών και εμπορικών συγκροτημάτων, αλλά και για τη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης. Τέτοιες μονάδες λειτουργούν στις ΗΠΑ, Νέα Ζηλανδία, Ιταλία κλπ.



Σχήμα 4.1 :Γεωθερμικός εναλλάκτης εντός της γεώτρησης

Το πεδίο εφαρμογής της μεθόδου αυτής είναι (Reistad et al.,1978)

- Μονάδες μικρού ή μεσαίου μεγέθους θερμικών εφαρμογών
- Γεωθερμικές γεωτρήσεις συνήθως μικρού βάθους
- Διαβρωτικά γεωθερμικά ρευστά, όπου το κόστος συντήρησης ενός αντλητικού συγκροτήματος είναι αυξημένο
- Γεωθερμικές περιοχές όπου περιβαλλοντικοί όροι απαιτούν την επανεισαγωγή των ρευστών με αυξημένο κόστος για μικρό γεωθερμικό έργο

Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι ο βαθμός θερμικής απόδοσης και το μέγεθος της μονάδας εξαρτάται από τη βασική ροή θερμότητας στο γεωθερμικό ταμιευτήρα της γεώτρησης, είναι δε μικρότερος από τον αντίστοιχο βαθμό απόδοσης ενός επιφανειακού εναλλάκτη θερμότητας.

4.1.1.3 Σχεδιασμός εντός του συστήματος

Η γεώτρηση θα πρέπει να έχει διάμετρο άνω των 12", ενώ η σωλήνωση που θα τοποθετηθεί θα πρέπει να είναι 1,5-2 φορές μικρότερης διαμέτρου. Το κενό ανάμεσα στη γεώτρηση και τη σωλήνωση που υπάρχει πάνω από το γεωθερμικό ταμιευτήρα πρέπει νατσιμεντάρεται ενώ η τοποθέτηση μιας πιεζομετρικής σωλήνωσης διαμέτρου 1-2" μέχρι τον πυθμένα της γεώτρησης επιβάλλεται για μετρήσεις θερμοκρασίας και στάθμης.

Ο γεωθερμικός εναλλάκτης είναι συνήθως ένα σύστημα διπλής σωλήνωσης διαμέτρου 1,5-2" (μεταλλικός) τοποθετημένο στο εσωτερικό της σωλήνωσης της γεώτρησης σχηματίζοντας ένα U στο τμήμα του γεωθερμικού ταμιευτήρα. Το σύστημα U είναι έτσι κατασκευασμένο για να παγιδεύει τα υλικά της διάβρωσης ώστε να μην δημιουργούν προβλήματα στην ελεύθερη κυκλοφορία του νερού. Καθαρό νερό κυκλοφορεί μέσα στη σωλήνωση με ορισμένη ροή χωρίς να αναμιγνύεται με το γεωθερμικό ρευστό, θερμαίνεται και εξέρχεται από την άλλη σωλήνωση μεταφερόμενο στους προς θέρμανση χώρους.

Ακολούθως, το ίδιο νερό, αφού αποβάλλει μέρος της θερμότητάς του (ψύχεται), επιστρέφει πάλι στον εναλλάκτη για να θερμανθεί. Το νερό κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα που συνδέει τον εναλλάκτη εντός της γεώτρησης με τους χώρους θέρμανσης. Πολλές φορές υπάρχει και δεύτερος εναλλάκτης εντός της γεώτρησης που θερμαίνει το νερό ύδρευσης για να χρησιμοποιηθεί για οικιακές χρήσεις σε ανοικτό κύκλωμα, όπου το νερό μετά τη χρήση του διοχετεύεται στην αποχέτευση. Βεβαίως, υπάρχουν και παραλλαγές του συστήματος ως προς τον εναλλάκτη

(συνήθως με πολλαπλές σωληνώσεις), ενώ συχνά υποστηρίζεται με αντλία θερμότητας.

Η ποιότητα των υλικών και κυρίως των σωληνώσεων εξαρτάται από:

- Την τάση διαβρωτικότητας και επικάθισης αλάτων των γεωθερμικών ρευστών
- Τη θερμική αγωγιμότητα των σωληνώσεων
- Τα είδη χρήσης του θερμαινόμενου νερού (ανοικτό ή κλειστό κύκλωμα)

Οι σωληνώσεις γεώτρησης θα πρέπει να επιλεγούν σωστά ποιοτικά, αφού η αντικατάστασή τους δεν είναι εφικτή. Σημειώνεται ότι οι γαλβανισμένες σωληνώσεις χάνουν την προστατευτική τους ικανότητα σε θερμοκρασίες άνω των 55° C.

Η επιλογή μεταλλικών σωληνώσεων στον εναλλάκτη είναι η ενδεικνυόμενη, λόγω της αυξημένης θερμικής αγωγιμότητάς τους όμως σε γεωθερμικά ρευστά με τάση επικαθίσεων αλάτων μειώνεται αισθητά. Επίσης, σε διαβρωτικά ρευστά η φθορά των μεταλλικών σωληνώσεων είναι αυξημένη. Έντονα προβλήματα διάβρωσης στις σωληνώσεις εμφανίζονται στο επίπεδο της στάθμης όπου το περιβάλλον του νερού-οξυγόνου (αέρα) είναι η βασική αιτία. Ικανοποιητική αντιμετώπιση γίνεται με το αεροστεγές σφράγισμα της κεφαλής της γεώτρησης.

Η επιλογή σωληνώσεων θερμοσκληραινόμενης ρητίνης (fiberglass) ή από πολυβουτυλένιο ή πολυβινύλιο προτείνονται σε γεωθερμικά ρευστά με τάσεις διάβρωσης ή επικάθισης αλάτων, όμως η θερμική αγωγιμότητά τους είναι αρκετά μικρότερη αυτής των μεταλλικών σωληνώσεων. Η ποιότητα των σωληνώσεων σε συνδυασμό με το κόστος και τη διάρκεια ζωής πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα.

Η ενέργεια εφοδιασμού για τον εναλλάκτη θερμότητας μπορεί να γίνει από μερικές πηγές:

- Κάθετη ροή γεωθερμικής ενέργειας
- Οριζόντια εισαγωγή ενέργειας από αγωγιμότητα
- Το σύστημα BHE μπορεί να κλιμακωθεί ώστε να εγκατασταθεί σε διαφορετικές εγκαταλελειμμένες βαθιές γεωτρήσεις.

4.1.1.4 Εναλλάκτες θερμότητας μέσα σε βαθιές γεωτρήσεις

Οι εναλλάκτες θερμότητας μέσα σε βαθιές γεωτρήσεις (BHE) μπορούν να εξασφαλίσουν ενέργεια θέρμανσης σε πολλές περιοχές. Μπορούν να εγκατασταθούν είτε σε ειδικές ανοιχτές γεωτρήσεις ή εναλλακτικά σε "στεγνές" βαθιές γεωτρήσεις. Υπάρχουν αρκετές βαθιές γεωτρήσεις, οι οποίες μπορούν να αναπτυχθούν ως (BHE) και συνεπώς ως ένας νέος τύπος πηγής θερμότητας για θέρμανση χώρων.

Αυτές οι γεωτρήσεις διαιρούνται σε 2 κατηγορίες:

- Γεωτρήσεις παλιάς έρευνας ή εξερευνητικές
- Αποτυχημένες "στεγνές" γεωτρήσεις έρευνας υδρογεωθερμικών πόρων, και πόρων αερίου ή πετρελαίου

4.1.1.5 Συμπεράσματα

Τα συστήματα BHE μπορούν να εγκατασταθούν πρακτικά σε όλα τα γεωλογικά μέσα και να λειτουργούν αξιόπιστα για δεκαετίες, εφόσον οι παράγοντες τροφοδοσίας θερμότητας (κάθετη γεωθερμική ροή θερμότητας, υπόγειο νερό μεταφοράς θερμότητας, ατμοσφαιρικός εναλλάκτης θερμότητας) παράγουν μια τροποποιημένη θερμική ισορροπία όσον αφορά τα συστήματα BHE.

Με βάση νέες αναπτύξεις πιστεύουμε ότι είναι εφικτά τα παρακάτω:

- αποδοτική, συνδυασμένη θερμική εξαγωγή/ αποθήκευση μπορεί να επιτευχθεί από πολλαπλά BHE
- προσεκτική διαχείριση και λειτουργία των συστημάτων BHE για την παραγωγή θερμότητας
- οι σωλήνες θεμελίωσης μπορούν να εφοδιαστούν με εναλλάκτες θερμότητας

4.2 Μερικές παρατηρήσεις

Όταν η αρχική θερμοκρασία του νερού είναι σχετικά υψηλή, τότε συμφέρει η κλιμακωτή εκμετάλλευση. Για παράδειγμα, το νερό αρχικά χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μετά κυκλοφορεί σε διαμερίσματα εξοπλισμένα με θερμαντικά σώματα (τα οποία χρειάζονται 70-90° C), στη συνέχεια διοχετεύεται σε διαμερίσματα με επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης (40 °C) και τέλος χρησιμοποιείται σε θερμοκήπια (ή λουτρά) πριν την επανεισαγωγή του στους υδροφορείς.

Μία άλλη σημαντική παρατήρηση αφορά τη χρήση συστημάτων επιδαπέδιας θέρμανσης και αντλιών θερμότητας. Αυτή παρουσιάζει μια σειρά πλεονεκτημάτων έναντι των περισσότερων συστημάτων. Επιγραμματικά αυτά είναι:

1. Υγιεινότερη θέρμανση
2. Εξοικονόμηση χώρου
3. Έλλειψη θορύβου
4. Εξοικονόμηση ενέργειας
5. Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης
6. Μεγάλο φάσμα εφαρμογών

Ωστόσο υπάρχουν κάποια μειονεκτήματα που καλό θα ήταν να αναφερθούν:

1. Ρηγματώσεις στις πλάκες τελικής επικάλυψης
2. Διάβρωση μεταλλικών σωλήνων σε κάποιες περιπτώσεις
3. Δυσμενή επίδραση στην κυκλοφορία του αίματος ανθρώπων, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στην επιφάνεια του δαπέδου.
4. Έλλειψη ομοιογένειας στην κατανομή της θερμοκρασίας στο δάπεδο
5. Μεγάλη θερμική αδράνεια του στρώματος τσιμεντοκονίας, όπως και προβλήματα στη ρύθμιση της εγκατάστασης.
6. Διαρροές ή θραύση των σωληνώσεων
7. Ίσως αδυναμία θέρμανσης σε πολύ ψυχρές περιοχές

Αιτίες αυτών των αστοχιών ήταν κυρίως η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος, η λανθασμένη τοποθέτηση των σωληνώσεων και η χρήση ακατάλληλων σωλήνων.

Κεφάλαιο 5

5.Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

5.1 Γενικά

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

Στη χώρα μας, το 1985, εγκαταστάθηκε μια μονάδα υψηλής ενθαλπίας ισχύος 2 MWe στη Μήλο, που λειτούργησε για κάποιο διάστημα μέχρι το 1989.

Από το 1980 και μετά προχώρησε στη χώρα μας η έρευνα για τον εντοπισμό αξιοποιήσιμων γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας.

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

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

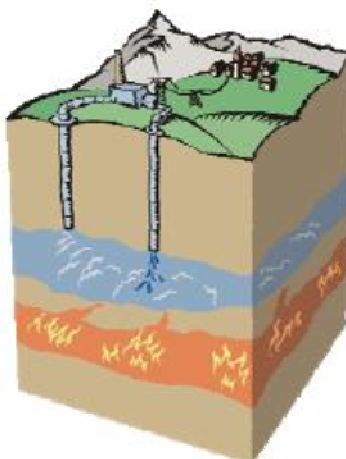
Πίνακας 5.1.1

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

5.1.1 Περιβαλλοντικά και χωροταξικά θέματα

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί καθαρή μορφή ενέργειας, εφόσον η τελική διάθεση των γεωθερμικών αποβλήτων πραγματοποιείται κατάλληλα. Ήδη έχει αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμη η σχετική τεχνολογία για την προστασία του περιβάλλοντος.

Ειδικότερα, σε περιπτώσεις που τα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών το επιβάλλουν επιλέγεται η λύση της επιστροφής των ρευστών μετά τη χρήση τους στον υδροφόρο μέσα από μια δεύτερη γεώτρηση (γεώτρηση επανεισαγωγής). Η λύση αυτή παρουσιάζει επιπλέον το πλεονέκτημα της ανανέωσης των γεωθερμικών ρευστών αυξάνει το χρόνο ζωής και τη δυναμικότητα του γεωθερμικού πεδίου. Οι γεωτρήσεις και τα αντλιοστάσια επεμβαίνουν ελάχιστα στην αισθητική του τοπίου δεδομένου ότι αποτελούν κατασκευές μικρού όγκου.



Σχήμα 5.1.1: Γεωτρήσεις

5.1.2 Τα γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα

Στο γεωθερμικό πεδίο Μήλου, μετά από πολύπλευρες έρευνες του ΙΓΜΕ προσδιορίστηκαν το 1973 συγκεκριμένες θέσεις για βαθιές γεωτρήσεις. Η ΔΕΗ έκανε (1975-1981) 5 συνολικά γεωτρήσεις σε βάθος 1.000 - 1.400 μέτρων, που παράγουν συνολικά 350 t/h (μίγμα ρευστών, νερού και ατμού σε σχέση 1 :1 περίπου). Εγκατέστησε (1985) μια πειραματική γεωθερμοηλεκτρική μονάδα ισχύος 2 MW η οποία έδειξε ότι το νερό του μίγματος που διαχωρίζεται έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα, που δημιουργούν σοβαρά αλλά όχι ανυπέρβλητα προβλήματα διάβρωσης και περιλίθωσης.

Το γεωθερμικό δυναμικό της Μήλου σε ρευστά υψηλής ενθαλπίας κατά μία πρώτη εκτίμηση ανέρχεται σε 120 MWe τουλάχιστον. Δεν αποκλείουν όμως οι ειδικοί να υπερβεί και τα 200 MWe.

Στο Γεωθερμικό πεδίο Νισύρου, ύστερα από Πολύπλευρες έρευνες στην περίοδο 1972-81, εντοπίστηκαν οι θέσεις για τις δύο πρώτες γεωτρήσεις έρευνας - παραγωγής. Οι γεωτρήσεις αυτές εκτελέστηκαν κατά το 1982-83.

Η πρώτη, παρ' όλο που συνάντησε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες (400 °C) αλλά και πολύ δύσκολες συνθήκες ρευστών παράγει σήμερα μικρές μόνο ποσότητες μίγματος ατμών και νερού από το "Ρηχότερο" ρεζερβουάρ των 1.500 μ. (Το βαθύτερο ρεζερβουάρ στα 1.800 μ. έχει εγκαταλειφθεί λόγω ανυπέμβλητων τεχνικών προβλημάτων κατά την κατασκευή της γεώτρησης).

Η δεύτερη γεώτρηση παράγει από βάθος 1.500 μ. (όπου η θερμοκρασία είναι περίπου 350 °C) μίγμα ατμού και νερού. Η παραγωγή ατμού ανέρχεται περίπου στους 23 t/h και ισοδυναμεί με 3 Mwe .

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

Πιθανά πεδία υψηλής ενθαλπίας βρίσκονται στα νησιά Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως και Λέσβος. Οι πιθανότητες είναι πολύ μεγάλες στα δύο πρώτα νησιά και μικρότερες στα άλλα, για τα οποία αλλού υπάρχουν εντελώς ελλιπή στοιχεία (Κως) και αλλού πολλά, αλλά με μικρές πιθανότητες (Λέσβος) .

Περιοχές υψηλής ενθαλπίας με ελάχιστες πιθανότητες είναι αυτές του Σουσακίου Κορινθίας και των Μεθάνων Τροιζηνίας.

Στα νησιά Κίμωλος και Πολύαιγος, οι γεωθερμικές έρευνες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι συνθήκες σε αυτά είναι εντελώς παρόμοιες με αυτές της Μήλου .Πρόκειται για πολύ πιθανά πεδία υψηλής ενθαλπίας. Παρόμοιο γεωθερμικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο αβαθής υποθαλάσσιος χώρος μεταξύ των τριών νησιών όπως επίσης και αυτός του Όρμου Μήλου. Μελλοντικά σ' αυτούς τους χώρους μπορεί να γίνουν κεκλιμένες γεωτρήσεις από την παραλία ή και ακόμα στη θάλασσα.

Στη Λέσβο, από τις μέχρι τώρα πολύπλευρες και εκτεταμένες γεωλογικές-γεωθερμικές έρευνες και τη συνθετική ερμηνεία των αποτελεσμάτων εντοπίστηκαν τρεις κύριες περιοχές ενδιαφέροντος: Πέτρας-Αργένου, Καλλονής-Στύψης και Πολιχνίτου.

Οι πιθανές θερμοκρασίες των ρευστών στον ταμειυτήρα αναμένονται να είναι της τάξης των 100-140 °C, χωρίς να αποκλείονται εντελώς και υψηλότερες. Η περιοχή που προτάθηκε για τις πρώτες βαθιές γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής βρίσκεται νότια του χώρου Στύψη.

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

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

Η περιοχή Σουσακίου Κορινθίας, μετά από τη συνθετική ερμηνεία όλων των στοιχείων που προέκυψαν από τη γεωθερμική έρευνα, φαίνεται ότι έχει δυνατότητες παραγωγής ρευστών μέσης ενθαλπίας. Αυτά τα ρευστά έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μη ηλεκτρικές χρήσεις, σύμφωνα με τις συνθήκες της περιοχής.

Η περιοχή του ηφαιστείου των Μεθάνων έχει καταρχήν ενδιαφέρον από γεωθερμική άποψη. Οι δυσμενείς όμως συνθήκες τοπογραφίας και γεωλογίας, τα λιγοστά στοιχεία και οι προκαταρκτικές εκτιμήσεις δεν επιτρέπουν αισιόδοξες προβλέψεις. Οποσδήποτε η περιοχή αυτή δεν έχει προτεραιότητα για αναζήτηση ρευστών υψηλής ενθαλπίας.

Δεν είναι δυνατόν σήμερα να εκτιμηθεί το συνολικό δυναμικό της χώρας σε ρευστά υψηλής ενθαλπίας, γιατί λείπουν επαρκή ερευνητικά στοιχεία, και κυρίως οι πολυδάπανες βαθιές παραγωγικές γεωτρήσεις ως και η μελέτη της συμπεριφοράς τους στο χρόνο.

Κεφάλαιο 6

6. Οικονομικά δεδομένα

Τα οικονομικά στοιχεία των γεωθερμικών πόρων χαμηλής ενθαλπίας, είναι περιορισμένα και εξαρτώνται από :

- τη διαθεσιμότητα και τις τιμές των ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο)
- το ενδιαφέρον της κυβέρνησης για την ανάπτυξη νέων ενεργειακών πηγών
- τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- την προώθηση της «καθαρής» ενέργειας στον εμπορικό και στον ιδιωτικό τομέα.

6.1 Κόστος παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας

Ένας σημαντικός οικονομικός παράγοντας αποτελεί το κόστος της διάνοιξης των γεωτρήσεων καθώς και της άντλησης τους, το οποίο βρίσκεται σε υψηλό επίπεδο και μεταβάλλεται ανάλογα με την περιοχή, το υπέδαφος και τον εξοπλισμό διάτρησης.

Το κόστος παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ 0.003 και 0.023 Ευρώ ανά KWh, ενώ το αντίστοιχο κόστος παραγωγής της από συμβατικά καύσιμα είναι περίπου 0.04 Ευρώ ανά KWh. Το κόστος βέβαια επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, είναι όμως εμφανές ότι υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες για οικονομικά συμφέρουσα εκμετάλλευση της γεωθερμίας για την παραγωγή θερμότητας.

6.2 Οικονομικά πλεονεκτήματα

Τα συστήματα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης, του μεγάλου κύκλου ζωής σε συνδυασμό με την αυξανόμενη αξιοπιστία και λειτουργικότητα τους σε σχέση με τα άλλα εναλλακτικά συστήματα ψύξης και θέρμανσης.

Η λειτουργικότητα των συστημάτων αυτών οφείλεται στο γεγονός ότι εκτός από τα κλιματιστικά σώματα (fan-coils), το boiler και την αντλία θερμότητας που έχει το μέγεθος ενός κοινού ψυγείου τροφίμων, δεν υπάρχει κανένας άλλος εξοπλισμός μέσα ή έξω από το κτίριο εγκατάστασης, αφού ο εναλλάκτης θερμότητας δεν καταλαμβάνει επιφανειακό χώρο. Επίσης, υπάρχει μεγάλη ποικιλία ειδών εγκατάστασης τόσο από πλευράς σχημάτων όσο και μεγεθών, με αποτέλεσμα να προσαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες-απαιτήσεις του κάθε χώρου εγκατάστασης.

Για τα συστήματα από υδάτινες πηγές το κόστος περιλαμβάνει τα έξοδα μιας μεγαλύτερης αντλίας γεώτρησης και δεξαμενής, τις σωληνώσεις από και προς το κτίριο και μια γεώτρηση απόρριψης νερού βάθους 15m. Για τα συστήματα με υπόγειους εναλλάκτες, το κόστος περιλαμβάνει την εγκατάσταση των σωλήνων και την τοποθέτηση των κεφαλών στο σπίτι.

Σε περιοχές όπου το φυσικό αέριο δεν είναι διαθέσιμο ή όπου το κόστος του φυσικού αερίου ή άλλων καυσίμων είναι υψηλό σε σύγκριση με τον ηλεκτρισμό, οι αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή αποτελούν μια οικονομική λύση. Λειτουργούν με ένα συντελεστή απόδοσης θέρμανσης περίπου 3-4,5 συγκρινόμενο με τη συμβατική απόδοση θέρμανσης που κυμαίνεται στο 80-97%. Επομένως όταν το κόστος του ηλεκτρισμού είναι λιγότερο από 3,5 φορές από τα συμβατικά καύσιμα θέρμανσης, οι αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή έχουν ακόμη μικρότερο ενεργειακό κόστος.

Το υψηλό κόστος φυσικού αερίου (ή καύσιμου πετρελαίου) ευνοεί τις αντλίες θερμότητας από υδάτινη πηγή έναντι των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης. Το υψηλό κόστος ηλεκτρισμού ευνοεί τις αντλίες θερμότητας από υδάτινες πηγές έναντι των αντλιών θερμότητας με πηγή τον αέρα.

Είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε το συνολικό ποσό της θερμότητας που απαιτείται κατά τη διάρκεια του χρόνου, για να υπολογίσουμε τις ετήσιες εξοικονομήσεις.

Κεφάλαιο 7

7. Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις- Νομοθεσία

7.1 Αειφορία και ανανεωσιμότητα της γεωθερμίας

Η επιστημονική κοινότητα ταξινομεί συνήθως τη γεωθερμία ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ). Αν και αυτή η ταξινόμηση ισχύει εδώ και δεκαετίες, συχνά διατυπώνονται κάποια ερωτηματικά, καθώς και η άποψη ότι με αυστηρά επιστημονικά κριτήρια η γεωθερμική ενέργεια δεν αποτελεί πάντα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Μία έννοια συνδεδεμένη με την ανανεωσιμότητα ενός ενεργειακού πόρου είναι η αειφορία (sustainability). Επειδή συχνά επικρατεί σύγχυση, είναι ανάγκη να διευκρινιστούν αυτές οι δύο έννοιες. Η ανανεωσιμότητα αποτελεί ιδιότητα του ενεργειακού πόρου, ενώ η αειφορία περιγράφει τον τρόπο με το οποίο χρησιμοποιείται οποιοσδήποτε φυσικός πόρος. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Η αειφορία σχετίζεται με την ορθολογική διαχείριση των πόρων, τη διάθεσή τους με προσιτό κόστος στον άνθρωπο και χαρακτηρίζεται από κάποια μορφή ισορροπίας. Ο όρος «αειφορία» είναι δανεισμένος από την επιστήμη της δασολογίας και περιλαμβάνει σειρά πρακτικών, πολιτικών και τεχνολογιών, με τις οποίες προσπαθούμε να καλύψουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες με το λιγότερο περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των διεργασιών και κυρίως με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ανανεωσιμότητα ενός ενεργειακού πόρου σημαίνει ότι η οποιαδήποτε ποσότητα ενέργειας που λαμβάνεται από το συγκεκριμένο πόρο, η ίδια ποσότητα αναπληρώνεται κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Οι γεωθερμικοί πόροι, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: πόροι που παράγονται από συστήματα, τα οποία τροφοδοτούν και με ενέργεια από την άνοδο του μάγματος (και ακολούθως του νερού), αλλά και από τη συνεχή θερμική ροή από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια, και στα λεγόμενα στατικά συστήματα, όπου η ενέργεια είναι αποθηκευμένη σε θερμά υπόγεια πετρώματα ή σε εγκλεισμένους ταμιευτήρες.

Ο ρυθμός και η δυνατότητα ενεργειακής επαναφόρτισης ενός γεωθερμικού συστήματος αποτελεί το κρίσιμο κριτήριο στην ταξινόμηση ενός πεδίου

ως ανανεώσιμοι ή όχι. Σε όλες τις πρακτικές περιπτώσεις, κάποιος βαθμός τοπικής εξάντλησης των πόρων (στο συγκεκριμένο πεδίο/ταμιευτήρα) σίγουρα συμβαίνει κατά την αξιοποίηση του πόρου, όταν για παράδειγμα ο ταμιευτήρας των γεωθερμικών ρευστών δεν «επικοινωνεί» με την επιφάνεια του εδάφους, παρά σε μακρινή απόσταση και ο ρυθμός επανατροφοδοσίας και θέρμανσης των ρευστών του δεν είναι ίσος με το ρυθμό άντλησης αυτών. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Κατά την εκμετάλλευση των υδροθερμικών συστημάτων, η επανατροφοδοσία της ενέργειας επιτυγχάνεται με τη φυσική αναπλήρωση του νερού στον ταμιευτήρα, στο ίδιο χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η παραγωγή των ρευστών. Τα συστήματα αυτά είναι και τα πιο κοινά από αυτά που αποτελούν στόχο των γεωθερμικών ερευνών και τυχαίνουν εκμετάλλευσης σε μεγάλο ποσοστό. Από την άλλη μεριά, στα ξηρά-θερμά πετρώματα και σε μερικούς θερμούς, αλλά εγκλεισμένους, ταμιευτήρες σε ιζηματογενείς λεκάνες, η ενεργειακή επαναφόρτιση ελέγχεται από την αγωγή θερμότητας, μία ιδιαίτερα αργή διεργασία. Ο ρυθμός θερμικής αγωγής είναι αρκετά αργός για να γίνει δυνατή η επαναφόρτιση ενός εξαντλημένου ταμιευτήρα. Συνεπώς, μπορεί να λεχθεί ότι τα τελευταία γεωθερμικά συστήματα κατατάσσονται στις σχετικά πεπερασμένες ενεργειακές πηγές. Υπάρχει βέβαια και η ακραία περίπτωση των εντελώς κλειστών ταμιευτήρων, οπότε η εκμετάλλευση με άντληση των ρευστών θα οδηγήσει κάποια στιγμή στην πρακτική εκκένωση του ταμιευτήρα (όπως γίνεται με τους ταμιευτήρες των υδρογονανθράκων). (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Η συνειδητοποίηση της ανάγκης για χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και της περαιτέρω προώθησής τους από μεγάλο τμήμα της κοινωνίας προέρχεται από τους παρακάτω λόγους: (α) Οι ΑΠΕ διαθέτουν σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και σχάσιμα πυρηνικά καύσιμα). (β) Οι ΑΠΕ είναι διαθέσιμες λιγότερο ή περισσότερο σε όλες σχεδόν τις περιοχές της γης, είναι δηλαδή περισσότερο «δίκαια» κατανεμημένες από ότι τα συμβατικά καύσιμα, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και των κινδύνων από τη μεταφορά των καυσίμων. (γ) Οι πόροι αυτοί, παρόλη τη μικρή συγκέντρωση που τους χαρακτηρίζει, είναι τεράστιοι και ανεξάντλητοι.

Είναι γεγονός βέβαια, ότι με τις παρούσες τεχνικό-οικονομικές συνθήκες, οι ΑΠΕ δεν μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας στο εγγύς μέλλον. Μπορούν όμως να υποκαταστήσουν μερικώς τα συμβατικά καύσιμα, με άμεσες συνέπειες στην ανακούφιση των περιβαλλοντικών πιέσεων από τη χρήση τους και την επιμήκυνση του χρόνου εξάντλησης τους. Δεν είναι τυχαίο ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως πρωταρχικό στόχο για το 2010 την κάλυψη του

12% των ενεργειακών της αναγκών από τις ΑΠΕ . Μέσα σε αυτό το πλαίσιο τοποθετείται και ο διπλασιασμός της παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας ανάμεσα στο 1995 και το 2010. Είναι ενδεικτικό ότι ο στόχος αυτός επιτεύχθηκε ήδη από το 2005, κυρίως από τη μεγάλη ανάπτυξη των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και όχι από τη σημαντική χρήση των υδροθερμικών πόρων, όπως είχε προβλεφθεί το 1995. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Σε αντίθεση με άλλες ΑΠΕ, όπως η ηλιακή, η αιολική ενέργεια και η βιομάζα, οι οποίες προωθούνται συστηματικά μέσω διαφόρων προγραμμάτων και ομάδων πίεσης, η γεωθερμική ενέργεια έχει υποτιμηθεί κατά τη γνώμη μας, ιδιαίτερα στη χώρα μας από παρανοήσεις σε σχέση με τη φύση, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το μέγεθος των γεωθερμικών πόρων, την κατανομή τους στο χώρο και τα χαρακτηριστικά της ανανεωσιμότητάς τους.

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται η μόνη αξιόλογη πηγή ενέργειας που δεν εξαρτάται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο. Μόνο που θα πρέπει να αντλείται από οικονομικά βάθη και με τέτοιο ρυθμό ώστε να ανανεώνεται. Υπάρχει και ένα μικρό τμήμα της γεωθερμίας, η αβαθής γεωθερμία, η οποία αντλεί θερμότητα ή ψύξη από το έδαφος και σε μικρό βάθος, αφού η θερμοκρασία του εδάφους δεν επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια κάθε περιοχής της γης κάτω από τα 15 m βάθους. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

7.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται καθαρή μορφή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν συγκρίνεται με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, χωρίς βέβαια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της να είναι πάντα εντελώς αμελητέες. Σε γενικές γραμμές, 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 θερμών νερών που χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις είναι κατά κανόνα ηπιότερα από ότι των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί από την αρχή ότι, στην περίπτωση που εφαρμόζεται η άμεση επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμειυτήρα, όπως στην περίπτωση των μονάδων δυαδικού κύκλου, οι επιπτώσεις είναι σχεδόν μηδενικές όσον αφορά στις εκπομπές αερίων και τη διάθεση των γεωθερμικών νερών. Η μόνη πιθανή επιβάρυνση μπορεί να προέλθει από διαρροές του

δευτερεύοντος οργανικού ρευστού, αν και τα τελευταία χρόνια η χρήση των χλωροφθορανθράκων (ουσιών επιβλαβών στη στιβάδα του όζοντος) έχει υποκατασταθεί από υδροφθοράνθρακες, ουσίες με πολύ μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Βεβαίως, κατά τη φάση της έρευνας, της ανόρυξης των γεωτρήσεων, των δοκιμών και κατασκευής των μονάδων μπορεί να υπάρξουν διαρροές και προσωρινή διάθεση γεωθερμικών νερών σε υδάτινους αποδέκτες, καθώς και αυξημένος θόρυβος. Αναφορικά με τις άλλες μορφές επιπτώσεων (π.χ. χρήση γης, πρόκληση μικροσεισμικότητας κτλ.), αυτές είναι κοινές με τις ανοικτές μονάδες . (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

7.3 Επιπτώσεις από 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. Κατ' αρχάς, η θερμική επιβάρυνση είναι σαφώς μικρότερη, με την προϋπόθεση ότι τα νερά μετά τη χρήση τους έχουν θερμοκρασία μικρότερη από 30-35°C. Επίσης, η περιεκτικότητα των νερών χαμηλής ή μέσης θερμοκρασίας σε τοξικά και επιβλαβή συστατικά (As, H₂S, B, βαρέα μέταλλα κτλ) είναι κατά κανόνα πολύ μικρή ή και αμελητέα, χωρίς να απουσιάζουν και κάποιες εξαιρέσεις. Γενικά, η περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα των νερών αυτών κυμαίνεται από 500-3.000 mg/L, αν και στη χώρα μας παρατηρούνται αρκετά υψηλότερες περιεκτικότητες στις νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές, εξαιτίας της συμμετοχής του θαλασσινού νερού στη τροφοδοσία των γεωθερμικών συστημάτων. Επίσης, η περιεκτικότητα σε μη συμπυκνώσιμα αέρια είναι γενικά περιορισμένη, εκτός από μερικές περιπτώσεις όπου υπάρχουν ορισμένες ποσότητες CO₂. Προβλήματα καθιζήσεων ή δημιουργίας μικροσεισμικότητας δεν έχουν ποτέ καταγραφεί σε πεδία χαμηλής ενθαλπίας. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Το κύριο περιβαλλοντικό πρόβλημα από τα ρευστά χαμηλής ενθαλπίας εντοπίζεται στη διάθεση των νερών μετά την απόληψη της θερμότητάς 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 :

- 1) αυξημένη θερμοκρασία των νερών (θερμική ρύπανση) ,
- 2) σχετικά υψηλή περιεκτικότητα των νερών σε διάφορα συστατικά (μερικά από τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή) και
- 3) «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 φυσικά ότι πληρούνται οι όροι διάθεσης των νερών στους συγκεκριμένους φυσικούς αποδέκτες. Ορισμένα γεωθερμικά νερά, όχι μόνο πληρούν αυτά τα όρια και μπορούν να διατεθούν άφοβα σε όλους τους φυσικούς αποδέκτες, αλλά μπορούν ακόμη και να χρησιμοποιηθούν τόσο για άρδευση όσο και για ύδρευση. Οι τεχνητές λίμνες απαιτούν στεγανοποίηση (για να μην υπάρξει επιβάρυνση και ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων νερών) και διάθεση των στερεοποιημένων αλάτων. Η μέθοδος αυτή γενικά δεν εφαρμόζεται, παρά μόνον κατά τη φάση των γεωτρήσεων και των δοκιμών. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Η δεύτερη και καλύτερη μέθοδος διάθεσης των νερών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα. Πλεονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν η αποφυγή οποιασδήποτε θερμικής και χημικής ρύπανσης των αποδεκτών και η επαναφόρτιση του ταμιευτήρα, που διατηρείται έτσι πάντα υπό πίεση. Κύρια μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το κόστος κατασκευής της γεώτρησης επανεισαγωγής και το κόστος λειτουργίας (αντλία επανεισαγωγής), καθώς και η πιθανότητα απόφραξης των πετρωμάτων, γύρω από τα φίλτρα της γεώτρησης με άλατα, οπότε πρέπει να γίνει επέμβαση με χημικά μέσα ή αντικατάσταση της γεώτρησης με άλλη. Ένα άλλο μειονέκτημα, είναι η δημιουργία ψυχρού μετώπου στη γεώτρηση επανεισαγωγής. Αν αυτό προχωρήσει και φτάσει την αρχική γεώτρηση τότε έχουμε πρόβλημα υποβιβασμού (θερμικό) ποιότητας υδροφορέα. Αν γίνει κατάλληλα μακριά μάλλον μηδενίζεται το πρόβλημα και σίγουρα θα χουν ζεσταθεί τα νερά όταν φθάσουν στην θέση της πρώτης γεώτρησης. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

7.4 Επιπτώσεις από μονάδες υψηλής ενθαλπίας

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αξιοποίηση των ρευστών υψηλής ενθαλπίας διαφέρουν από πεδίο σε πεδίο και περιλαμβάνουν τη χρήση της γης, εκπομπές αερίων, υγρά απόβλητα, θόρυβο, δημιουργία μικροσεισμικότητας και καθιζήσεις.

7.4.1 Χρήση γης και απόθεση στερεών αποβλήτων

Το κύριο χαρακτηριστικό της γεωθερμικής ενέργειας αυτής της κατηγορίας είναι ότι απαντά σε ορισμένες μόνο περιοχές και η αξιοποίησή της γίνεται αναγκαστικά 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 (π.χ. 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 (ατμοηλεκτρικοί σταθμοί άνθρακα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί κτλ), ιδιαίτερα αν συνυπολογίσει κανείς 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 αισθητική ρύπανση από τις γεωθερμικές μονάδες. Το κυριότερο ορατό τμήμα μιας γεωθερμικής μονάδας είναι ο πύργος ψύξης. Κατά μέσο όρο, μία γεωθερμική μονάδα καταλαμβάνει έκταση περίπου 400 m² για την παραγωγή ενέργειας 1 GWh για 30 χρόνια. Στον παρακάτω Πίνακα καταγράφονται οι απαιτήσεις γης για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από διάφορες μορφές ενέργειας, τόσο συμβατικές όσο και ανανεώσιμες, και καταδεικνύεται το σχετικό πλεονέκτημα της γεωθερμίας. Η χρήση γης για την ανάπτυξη της γεωθερμίας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τον περιορισμό της περιοχής των γεωτρήσεων και με την αύξηση της δυναμικότητας των μονάδων. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Πίνακας 7.1. Απαιτήσεις σε έκταση γης για διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σε m² ανά παραγόμενη GWh για 30 χρόνια).

Μορφή ενέργειας	Απαιτούμενη έκταση γης σε m²
Άνθρακας*	3.640
Βιοαέριο	3.600
Ηλιακά-θερμικά	3.560
Φωτοβολταϊκά	3.237
Αιολική	1.335
Γεωθερμία	404

Ένα άλλο πρόβλημα που συνδέεται με τις περιοχές που γειτνιάζουν άμεσα (σε απόσταση μικρότερη από 1-2 km) με αξιοποιημένα πεδία, είναι η πιθανότητα επίδρασης της φυσικής ροής θερμών πηγών που χρησιμοποιούνται για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς και της εκδήλωσης φυσικών ατμίδων ή θερμοπιδάκων, οι οποίοι πάντοτε αποτελούν χώρους τουριστικού ενδιαφέροντος. Εάν από την έρευνα του πεδίου καταδειχθεί ότι μπορούν να υπάρξουν τέτοιες επιδράσεις, η ανάπτυξη του πεδίου θα πρέπει να ματαιωθεί ή να περιορισθεί στις πιο μακρινές περιοχές ή να ανασταλεί για πληρέστερη μελέτη. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

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) λάσπες γεωτρήσεων και τρίμματα μόνο κατά τη διάρκεια της διάτρησης, (β) απόβλητα από τις τεχνολογίες δέσμευσης του υδρόθειου (π. χ. στοιχειακό θείο) και (γ) στερεά άλατα από την απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων στο γεωθερμικό νερό (π.χ. πυριτικά άλατα στο Cerro Prieto του Μεξικού) ή από τον καθαρισμό σωληνώσεων από τις επικαθίσεις. Γενικά πάντως, οι ποσότητες στερεών αποβλήτων δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες, ειδικά όταν συγκρίνονται με απόβλητα από μονάδες που λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα. Επιπλέον, τα περισσότερα από τα στερεά αυτά απόβλητα δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως τοξικά.

7.4.2 Εκπομπές αερίων και αντιμετώπιση

Η αέρια ρύπανση παρουσιάζει ίσως το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που προέρχονται από την αξιοποίηση της γεωθερμίας, κυρίως κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας. Τα μη συμπυκνώσιμα αέρια αποτελούν ποσοστό μικρότερο του 5% κ.β. των γεωθερμικών ρευστών. Από τα μη συμπυκνώσιμα αέρια το κυριότερο αέριο που εκπέμπεται, σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90% κ.β., είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Άλλα αέρια είναι το υδρόθειο (H_2S), το ραδόνιο (Rn), η αμμωνία (NH_3), ενώ δεν εκπέμπονται καθόλου οξείδια του αζώτου. Το ραδόνιο βρίσκεται σε χαμηλές ή μηδαμινές συγκεντρώσεις και δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα, αφού από φυσικές πηγές εκπέμπονται καθημερινά πολύ μεγαλύτερες ποσότητες. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Οι ποσότητες CO_2 που εκπέμπονται από γεωθερμικές μονάδες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του πεδίου, καθώς και από την τεχνολογία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Πάντως, οι εκπομπές CO_2 από γεωθερμικές μονάδες είναι κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές ατμοηλεκτρικών μονάδων και συγκρίνονται ευνοϊκά και με τις εκπομπές (έμμεσες ή άμεσες) από άλλες ΑΠΕ (Πίνακας 1.2). Οι γεωθερμικές μονάδες νέας γενιάς εκπέμπουν λιγότερο από 0,5 kg CO_2 ανά MWh, σύγκρινόμενες με τα 1.000 kg περίπου CO_2 ανά MWh που εκπέμπονται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα. Για τον περαιτέρω περιορισμό των γεωθερμικών εκπομπών CO_2 μπορεί να εφαρμοστεί η υγρή λεγόμενη επανεισαγωγή των αερίων στον ταμιευτήρα. Με τη μέθοδο αυτή, το CO_2 διαλύεται στο θερμό αλμόλοιπο, το οποίο εν συνεχεία επανεισάγεται στον ταμιευτήρα με κατάλληλες γεωτρήσεις. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Το H₂S, λόγω της έντονης οσμής του (γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο ακόμη και σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 0,03 ppmv) και της σχετικής τοξικότητάς του, είναι υπεύθυνο τις περισσότερες φορές για την προκατάληψη που εκδηλώνεται κατά της γεωθερμίας. Επιπλέον, το υδρόθειο επιταχύνει τη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και αποκλείει τη χρήση ορισμένων μεταλλικών υλικών.

Το αποδεκτό όριο για μέση συνεχή έκθεση των εργαζομένων είναι 10 ppmv, με οροφή τα 20 ppmv για 10 λεπτά της ώρας. Στις γεωθερμικές εγκαταστάσεις με εκπομπές H₂S θα πρέπει να χρησιμοποιούνται φορητές συσκευές για την ανίχνευσή του, ιδιαίτερα για το προσωπικό που εισέρχεται σε κλειστούς χώρους. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Πίνακας 7.2 : εκπομπές επιβλαβών αερίων από τεχνολογίες παραγωγής (σε kg/MWh παραγόμενης ενέργειας)

Μορφή ενέργειας	CO ₂	NO _x	SO _x
Άνθρακας	1042	4,4	11,8
Πετρέλαιο	839	12,4	1,6
Φ. Αέριο	453	1,4	0
Γεωθερμία	95	0,3	0,1
Φωτοβολταϊκά	135	0,3	0,4
Βιομάζα	20	1,8	0,5

Οι εκπομπές H₂S ποικίλλουν από <0,1 kg/MWh μέχρι και 6,4 kg/MWh. Οι εκπομπές του H₂S μπορεί να ελεγχθούν σχετικά εύκολα και να μειωθούν σε συγκεντρώσεις κάτω από 1 ppmv με πληθώρα μεθόδων, όπως με τη διεργασία Stretford, με τη μέθοδο της καύσης (θερμική οξειδωση) και της έκπλυσης (scrubbing) του παραγόμενου SO₂, με τη χρήση χημικών ενώσεων του σιδήρου, με την καταλυτική οξειδωση με H₂O₂, με τη μέθοδο BIOX κτλ. (Sanopoulos and Karabelas, 1997). Οι δύο πρώτες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται στο γεωθερμικό πεδίο The Geysers της Καλιφόρνιας για την πρωτογενή απομάκρυνση του H₂S από το γεωθερμικό ατμό, ενώ η χημική οξειδωση και η χρήση χημικών ενώσεων του σιδήρου χρησιμοποιούνται στο δευτερογενή έλεγχο (για παράδειγμα από το συμπύκνωμα) των εκπομπών του H₂S.

Η τεχνολογία Stretford χρησιμοποιεί καταλύτη βαναδίου για τη μετατροπή του H₂S σε στοιχειακό θείο με απόδοση μεγαλύτερη από 95%, σύμφωνα με την αντίδραση :



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

Με τη διεργασία καύσης/έκπλυσης το H_2S καίγεται προς διοξείδιο του θείου (SO_2), το οποίο δεσμεύεται σε πλυντρίδα (scrubber) με το σχηματισμό θειώδους και θειικού οξέος. Εν συνεχεία, χρησιμοποιούνται ενώσεις σιδήρου για το σχηματισμό θειοθειικών αλάτων (S_2O_3). 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.

Μερικά πεδία υπέρθερμου ατμού (όπως το Larderello) περιέχουν και μικρές ποσότητες υδροχλωρίου (HCl). Αν και οι ποσότητες αυτές είναι συνήθως μικρές, και πιθανόν να μη δημιουργούν σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα (οξίνιση εδαφών και νερών), εντούτοις τις περισσότερες φορές απαιτείται η απομάκρυνσή του για λόγους προστασίας των μεταλλικών επιφανειών από τη διάβρωση.

Εκεί που υπερέχει η γεωθερμική ενέργεια σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες είναι οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου και θείου και στα αιωρούμενα σωματίδια.

Οξείδια του θείου δεν εκπέμπονται άμεσα από τις γεωθερμικές χρήσεις. Το εκπεμπόμενο H_2S στην ατμόσφαιρα όμως οξειδώνεται σχετικά γρήγορα σε SO_2 σε απόσταση μικρότερη των 5 km από το σημείο εκπομπής. Παρόλα αυτά, οι εκπομπές SO_2 από τις γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ένα μικρό ποσοστό των αντίστοιχων εκπομπών από μονάδες που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.2.

Η αμμωνία σε γεωθερμικές μονάδες βρίσκεται μόνο σε ορισμένα συστήματα, και σε μικρές ποσότητες. Στις μονάδες με εκτόνωση ατμού, η αμμωνία οξειδώνεται ταχύτατα σε άζωτο και νερό, καθώς οδηγείται στην ατμόσφαιρα. Οι γεωθερμικές μονάδες δεν εκπέμπουν σχεδόν καθόλου οξείδια του αζώτου.

Τέλος, τα γεωθερμικά αέρια μπορεί να περιέχουν ίχνη υδραργύρου (Hg), ατμούς βορίου (B) και υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο, CH_4). Το βόριο βρίσκεται σε μικρές γενικά συγκεντρώσεις (5-100 mg/L) στο γεωθερμικό νερό, από το οποίο μικρό μέρος μπορεί να παρασυρθεί στην αέρια φάση. Μόνο στο πεδίο του Larderello περιέχεται σε σημαντικές ποσότητες και παλαιότερα γινόταν ανάκτησή του. Συνήθως,

δεσμεύεται από το νερό της βροχής και μπορεί να προκαλέσει ρύπανση στο έδαφος με κάποιες επιπτώσεις για τη βλάστηση. Οι εκπομπές υδραργύρου φτάνουν και τα 900 g/MWh. Η πρόσληψη του Hg από τα ανώτερα φυτά μέσω του ριζικού τους συστήματος είναι πρακτικά μηδενική, αλλά διάφοροι μύκητες και λειχήνες βιοσυσσωρεύουν τον Hg περισσότερο αποδοτικά. Οι τιμές αυτές είναι συγκρίσιμες με τις τιμές που εκπέμπονται από ατμοηλεκτρικές μονάδες που χρησιμοποιούν άνθρακα. Το μεθάνιο, στα πεδία στα οποία βρίσκεται σε ικανές ποσότητες, μπορεί να διαχωριστεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

7.4.3 Υδάτινη και θερμική ρύπανση

Η κύρια ανησυχία από την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας υψηλής ενθαλπίας προέρχεται από τη διάθεση των γεωθερμικών νερών στους υδάτινους αποδέκτες. Η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο αλμόλοιπο μπορεί να φτάσει μέχρι και 30% κ.β. Ως γνωστόν, η σύσταση ενός γεωθερμικού ρευστού εξαρτάται από το είδος και την προέλευση των πετρωμάτων ή του γεωλογικού σχηματισμού του ταμιευτήρα, τη θερμοκρασία και την πίεση. Ταμιευτήρες σε ιζηματογενή πετρώματα περιέχουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες διαλυμένων αλάτων από ότι π.χ. οι γρανιτικοί σχηματισμοί. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Η απόρριψη ενός αλμολοίπου, από το οποίο έχει εξαχθεί ή όχι η θερμότητα, δημιουργεί συνήθως περιβαλλοντικό πρόβλημα, τόσο από την περιεκτικότητά του σε διάφορα χημικά συστατικά (αρσενικό, βόριο, φθόριο κτλ), όσο και από την αρκετά υψηλότερη θερμοκρασία του σε σχέση με τη θερμοκρασία των αποδεκτών. Έτσι, συνήθως απαιτείται επεξεργασία και ψύξη των νερών προτού διατεθούν σε υδάτινους αποδέκτες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη φυσική ψύξη των νερών κατά την παραμονή τους σε τεχνητές λίμνες. Ένας άλλος τρόπος μείωσης του θερμικού φορτίου που διατίθεται στο περιβάλλον αποτελεί η διαδοχική χρήση των γεωθερμικών ρευστών. Βέβαια αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Τέλος, τονίζεται ξανά ότι η περιβαλλοντικά περισσότερο αποδεκτή μέθοδος διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Ένα άλλο πρόβλημα που συνδέεται με την υδάτινη ρύπανση ή τη ρύπανση του εδάφους, είναι οι τυχόν διαρροές των ρευστών. 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) και από τις όχι καλά

στεγανοποιημένες τεχνητές λίμνες του πολφού κυκλοφορίας ή των γεωθερμικών νερών.

Θερμική ρύπανση είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα ή του νερού από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, άμεσες ή έμμεσες. Στη γεωθερμία, η θερμική ρύπανση του αέρα σχετίζεται με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (που είναι σχετικά μικρές) και με την απόρριψη θερμότητας στην ατμόσφαιρα από διάφορες δραστηριότητες. Περισσότερο σοβαρή όμως μπορεί να είναι η θερμική ρύπανση των νερών, με την απελευθέρωση ποσοτήτων θερμότητας σε λίμνες, ποτάμια και θάλασσα, σε τέτοιο βαθμό που να επιδρούν στα υδάτινα οικοσυστήματα, έστω και τοπικά.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας των υδάτινων όγκων γίνεται βεβαίως σε κάποιο βαθμό φυσικά, με την αλλαγή των εποχών. Εκείνο που ανησυχεί, είναι οι αλλαγές της θερμοκρασίας από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η θερμική ρύπανση των νερών προκαλείται κυρίως από τη διάθεση θερμών νερών που χρησιμοποιήθηκαν στα συστήματα ψύξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος και από τη διάθεση θερμών γεωθερμικών απόνευρων. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Η αυξημένη θερμοκρασία των νερών μειώνει τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, επιδρά στην ανάπτυξη και την αναπαραγωγική διαδικασία πολλών υδάτινων ειδών, μπορεί να προκαλέσει ασθένειες, ακόμη και το θάνατο ψαριών λόγω του θερμικού αιφνιδιασμού (thermal shock) και επιδρά στη χλωρίδα των οικοσυστημάτων. Βεβαίως, μερικοί υποστηρίζουν, και αυτό είναι σωστό σε ορισμένες περιπτώσεις, ότι το θερμό νερό μπορεί να είναι ευεργετικό (thermal enrichment). Για παράδειγμα, καλλιέργειες που κινδυνεύουν να παγώσουν τη νύχτα μπορούν να ψεκαστούν με θερμό νερό, ενώ μπορεί να βοηθηθεί η ελεγχόμενη ανάπτυξη ιχθυοκαλλιεργειών. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

7.4.4 Θόρυβος

Ο θόρυβος σε γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μεγαλύτερος από το θόρυβο που προκαλείται σε συμβατικές μονάδες, ενώ σε εγκαταστάσεις χαμηλής ενθαλπίας ο θόρυβος είναι μηδαμινός. Κατά τη φάση της ανόρυξης των γεωτρήσεων και της κατασκευής της μονάδας μπορεί να παρουσιαστούν ορισμένα προβλήματα από αυξημένα επίπεδα θορύβου και για το λόγο αυτό συνιστάται οπωσδήποτε η χρήση ωτοασπίδων από το προσωπικό του

εργοταξίου. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Ενδεικτικά επίπεδα θορύβου στη φάση αυτή είναι:

- Ανόρυξη γεωτρήσεων με αέρα (air drilling): 120 dBa (γίνεται πολύ σπάνια)
- Ανόρυξη γεωτρήσεων με κυκλοφορία πολφού (mud drilling): 80 dBa
- Άντληση τσιμέντου: 80 dBa
- Δοκιμή γεωτρήσεων: 70-120 dBa (ελεύθερη εκροή από γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας: μέγιστο 120dBa, το οποίο μειώνεται στα 85 dBa με χρήση σιγαστήρα).
- Μηχανές ντίζελ (π.χ. συμπιεστές): 45-60 dBa
- Εκσκαφείς, φορτηγά, τρακτέρ κτλ.: 55-75 dBa

Κατά τη φάση της λειτουργίας της μονάδας, τα επίπεδα του θορύβου ελέγχονται από μόνιμες εγκαταστάσεις σιγαστήρων ή άλλων συσκευών μείωσης του θορύβου.

7.4.5 Δημιουργία μικροσεισμικότητας

Με την επανεισαγωγή των υγρών στο ταμιευτήρα υπάρχει πιθανότητα πρόκλησης μικροσεισμών στην περιοχή, επειδή τα υγρά κατά την επανεισαγωγή δρουν ως λιπαντικό για τα υπερκείμενα πετρώματα. Αντίστοιχα φαινόμενα παρατηρούνται κατά την εισαγωγή νερού σε ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Επειδή τα περισσότερα γεωθερμικά πεδία βρίσκονται σε σεισμογενείς περιοχές, είναι πιθανόν οι μικροί αυτοί σεισμοί να «ανακουφίζουν» τις τοπικές συνθήκες και έτσι να συντελούν στην αποφυγή μεγαλύτερου σεισμού. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

7.4.6 Πρόκληση καθιζήσεων

Η αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων νερού ή ατμού από ένα γεωθερμικό πεδίο, όταν οι ταμιευτήρες του αποτελούνται από πορώδεις σχηματισμούς, μπορεί να προκαλέσει ορισμένες φορές καθίζηση του εδάφους, από λίγα εκατοστά μέχρι μερικά μέτρα. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και κατά την εξόρυξη πετρελαίου ή φυσικού αερίου, καθώς και από την άντληση νερού για άρδευση και ύδρευση. Οι καθιζήσεις μπορούν να αποφευχθούν ή να μειωθούν με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών νερών στον ταμιευτήρα. Οι Mosson and Segal (1997) εκτίμησαν ότι η μέγιστη ετήσια υποχώρηση του εδάφους στην περιοχή The Geysers της Βόρειας Καλιφόρνιας ήταν 0,047+0,002 m/έτος κατά τα έτη 1977-1996. Το φαινόμενο αυτό δεν μπορεί να εξηγηθεί μόνο από

τη θερμοελαστική συστολή των πετρωμάτων. Η μεγαλύτερη καθίζηση μέχρι τώρα παρατηρήθηκε στο Wairakei της Νέας Ζηλανδίας και έφτασε τοπικά τα 13 m, εξαιτίας του είδους των γεωλογικών σχηματισμών του ταμιευτήρα. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

7.5 Περιβαλλοντικά οφέλη

Έγινε αντιληπτό ότι η γεωθερμική ενέργεια, σε οποιαδήποτε μορφή, παρουσιάζει σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Συγκρινόμενη ακόμη και 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 της τεχνολογίας, αλλά και την επιβάρυνση στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία των μονάδων. Για παράδειγμα, στα Φωτοβολταϊκά συστήματα θα πρέπει να υπολογιστεί η επιβάρυνση τόσο από την κατασκευή των στοιχείων, όσο και από την απόσυρση και την ασφαλή διάθεσή τους, όταν θα κλείσει ο κύκλος λειτουργίας τους. (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004). Τα περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμίας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής :

- Συνεχής παροχή ενέργειας. Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο, σε αντίθεση με άλλες ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, κύματα- παλίρροιες), οι οποίες δεν μπορούν να παρέχουν συνεχώς ενέργεια και η χρήση τους προϋποθέτει αξιόπιστες τεχνολογίες αποθήκευσης της ενέργειας. Έτσι, δεν είναι τυχαίο ότι οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος έχουν συντελεστή αξιοποίησης (load factor) που μπορεί να φτάσει και το 90%. Για σύγκριση, ο συντελεστής αξιοποίησης μιας υδροηλεκτρικής μονάδας ανέρχεται μέχρι 70%, ενώ για ηλιακές και αιολικές μονάδες κυμαίνεται μεταξύ 20% και 35%.
- Ακόμη, η γεωθερμία διακρίνεται από υψηλό δείκτη διαθεσιμότητας (availability factor), της τάξης του 90%. Ο δείκτης αυτός δηλώνει το ποσοστό του χρόνου στον οποίο η μονάδα λειτουργεί στην ονομαστική της ισχύ. Για τις άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας, ο δείκτης λειτουργίας είναι αρκετά μικρότερος και, προφανώς, αντιστοιχεί με τη ζήτηση της γεωθερμικής ενέργειας.

Τέλος, η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας στο θέμα της αβαθούς γεωθερμίας,

καθιστά δυνατή τη χρήση της πρακτικά οπουδήποτε και όλες τις εποχές του έτους (σε συνδυασμό με την ψύξη).

- **Μικρό λειτουργικό κόστος.** Αν και το πάγιο κόστος είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, το λειτουργικό κόστος των γεωθερμικών μονάδων είναι σχεδόν μηδαμινό, ή αρκετά μικρότερο από τις άλλες μορφές ενέργειας, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας.
- **Εκπομπές στο περιβάλλον.** Οι εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα είναι σημαντικά μικρότερες από τις εκπομπές που προκύπτουν από την καύση των συμβατικών καυσίμων, ενώ τονίζεται ιδιαίτερα ότι δεν εκπέμπονται καθόλου σωματίδια.
- **Απαιτήσεις γης.** Οι γεωθερμικές μονάδες καταλαμβάνουν σχετικά μικρή έκταση γης.

Κύριος λόγος γι' αυτό είναι ότι δεν απαιτούν αποθηκευτικούς χώρους, όπως συμβαίνει με ορισμένες ΑΠΕ (βιομάζα, υδροηλεκτρικά) και με τα συμβατικά καύσιμα.

- **Μικρές ανάγκες για μεταφορά υλικών.** Από τη στιγμή της αποπεράτωσης της κατασκευής της μονάδας δεν απαιτείται μεταφορά υλικών ή καυσίμων, σε αντίθεση με τις μονάδες με συμβατικά καύσιμα, στις οποίες υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος ατυχημάτων (ανάφλεξη καυσίμων, διαρροές, πετρελαιοκηλίδες κτλ.) και επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από την κίνηση των μεταφορικών μέσων.
- **Αξιόπιστη και ασφαλής ενεργειακή πηγή.** Η γεωθερμική ενέργεια παράγεται 24 ώρες την ημέρα, με γνωστή και καθιερωμένη τεχνολογία.
- **Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε και του Πρωτοκόλλου του Κιότο,** με τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων.
- **Τοπική μορφή ενέργειας.** Η ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας σε μία περιοχή οδηγεί και στην οικονομική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής, αφού παρέχει φθηνή ενέργεια και δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.
- **Συμβολή στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης** μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων.

7.6 Νομοθεσία για τη γεωθερμία

Για τη γεωθερμική ενέργεια και την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού στην Ελλάδα ψηφίστηκε πρόσφατα ο Νόμος 3175/2003 (Αρ. ΦΕΚ 207Α'129.8.2003),

ο οποίος αντικατέστησε τον προηγούμενο νόμο 1475/84.

Συνοπτικά, ο νέος νόμος περιλαμβάνει τις εξής διατάξεις που αφορούν στη γεωθερμία:

- Το γεωθερμικό δυναμικό χαρακτηρίζεται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία συμβάλλει στην αειφόρο ανάπτυξη και το γενικό συμφέρον των πολιτών. Για την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού (Γ.Δ.) και για πρακτικούς λόγους χρησιμοποιούνται οι διατάξεις του Μεταλλευτικού Κώδικα (Ν.Δ. 210/73).
- Ως Γ.Δ. θεωρούνται οι γηγενείς φυσικοί ατμοί, τα θερμά νερά και η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25°C.
- Για τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας (25-90°C) η αρμοδιότητα ανήκει στις Περιφέρειες που ανήκουν, ενώ για τα πεδία με θερμοκρασίες μεγαλύτερη των 90°C αρμόδιο είναι το Υπουργείο Ανάπτυξης (Υ.Α).
- Εισάγεται ο όρος της διαχείρισης του γεωθερμικού πεδίου για την παραγωγική εξόρυξη των ρευστών, την ορθολογική αξιοποίηση των διαφόρων προϊόντων κτλ., τη διανομή και ελεύθερη διάθεσή τους σε τρίτους και για κάθε είδους χρήσιμες εφαρμογές.
- Το δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης του Γ.Δ. ανήκει στο Δημόσιο. Στα βεβαιωμένα πεδία εκμισθώνεται το δικαίωμα διαχείρισης σε τρίτους ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό για 25 χρόνια και δυνατότητα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή για πέντε ακόμα χρόνια.
- Για τους χώρους και πεδία που δεν έχουν ερευνηθεί εκμισθώνεται το δικαίωμα έρευνας, πάλι με διαγωνισμό, για 5 χρόνια, με δικαίωμα παράτασης για άλλα δύο. Εφόσον η έρευνα καταλήξει θετικά, παρέχεται στο μισθωτή και το δικαίωμα διαχείρισης χωρίς νέο διαγωνισμό.
- Οι ειδικότεροι όροι και οι διαδικασίες της εκμίσθωσης θα ρυθμίζονται με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης. Η εκμίσθωση και η διαχείριση των πεδίων χαμηλής θερμοκρασίας διενεργείται σύμφωνα με το μεταλλευτικό κώδικα.
- Ο μισθωτής υποχρεώνεται σε κατάθεση εγγυητικών επιστολών εκπλήρωσης των όρων της σύμβασης και στην εκτέλεση των ερευνητικών προγραμμάτων και των οικονομοτεχνικών μελετών. Επίσης καταβάλλει στο Δημόσιο αναλογικό μίσθωμα βάσει του μεταλλευτικού κώδικα (5 ή 10% της καταναλισκόμενης θερμικής ενέργειας) και εφοδιάζεται με τις προβλεπόμενες διοικητικές άδειες και εγκρίσεις.
- Το 30% του εισπραττόμενου μισθώματος προορίζεται για τους ΟΤΑ, στην περιοχή των οποίων βρίσκεται το πεδίο.

- Ο μισθωτής δικαιούται να διαχειρίζεται το γεωθερμικό πεδίο στο πλαίσιο της μελέτης και να διαθέτει ελεύθερα τα προϊόντα, παραπροϊόντα και υποπροϊόντα του πεδίου. Ακόμη, μπορεί να καταλαμβάνει προσωρινώς εδάφη με τη διαδικασία του μεταλλευτικού κώδικα.
- Τα δικαιώματα εκμίσθωσης μπορούν να εκχωρηθούν σε τρίτους μόνο ύστερα από έγκριση του Δημοσίου.
- Με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης θεσπίζεται Κανονισμός Γεωθερμικών Εργασιών.
- Απαγορεύεται η έρευνα, διαχείριση, εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων χωρίς το σχετικό δικαίωμα. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Γ.Δ. επιτρέπεται μόνο ύστερα από διαγωνισμό και την έκδοση άδεια παραγωγής σύμφωνα με τις διατάξεις του ν. 2773/1999 (ΦΕΚ286Α', «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας-Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις»).
- Αντιμετωπίζεται και η δυνατότητα θέρμανσης-ψύξης χώρων με εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών με θερμοκρασίες < 25°C (αβαθής γεωθερμίας), για την οποία αρμόδια είναι η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση.
- Δικαιώματα έρευνας ή εκμετάλλευσης Γ.Δ., που έχουν παραχωρηθεί μέχρι την έκδοση του Νόμου αυτού, παραμένουν ισχυρά με τους ίδιους όρους. Επέκταση αυτών μπορεί να γίνει μόνο με τις διαδικασίες του νέου νόμου.
- Επιτρέπεται η εγκατάσταση, διαχείριση και εκμετάλλευση δικτύου διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους ύστερα από άδεια του Υ.Α. και γνωμάτευση της Ρ.Α.Ε. (Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας).

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

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

υποδομή για παραγωγή και διάθεση σε τρίτους έτοιμης ενέργειας (θερμικής ή ηλεκτρικής).

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

7.7 Συμπεράσματα και προοπτικές

Η χώρα μας συγκαταλέγεται αναμφισβήτητα στις πλούσιες γεωθερμικά χώρες, παρά το γεγονός ότι μέρος μόνο του γεωθερμικού δυναμικού έχει βεβαιωθεί και αυτό είναι ήδη τεράστιο. Δυστυχώς όμως, το επίπεδο αξιοποίησης της γεωθερμίας ως ήπιας εναλλακτικής πηγής ενέργειας κρίνεται μέχρι τώρα σχεδόν απογοητευτικό.

Η προσπάθεια παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος στη Μήλο έληξε άδοξα το 1989.

Αξίζει να σημειωθεί ότι από τεχνολογικής άποψης το πρόβλημα των εκπομπών υδρόθειου (που ήταν η κύρια αιτία αντίδρασης των κατοίκων) μπορούσε να επιλυθεί, αλλά και το πρόβλημα δημιουργίας επικαθίσεων μπορούσε να περιορισθεί και περιορίστηκε σημαντικά. Η γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας στη Μήλο και τη Νίσυρο θα ήταν δυνατό να αναπτυχθεί, αφού ξεπερασθούν τα προβλήματα της αντίδρασης των κατοίκων ύστερα από μια σοβαρή προσπάθεια ενημέρωσης, νέας πρωτοβουλίας από αξιόπιστο φορέα, με τη συμμετοχή της τοπικής αυτοδιοίκησης και για αμοιβαίο όφελος.

Στο πλαίσιο δημιουργίας κλίματος εμπιστοσύνης του κόσμου προς τη γεωθερμία, θα ήταν ίσως σκόπιμη η επιτυχής λειτουργία μικρής μονάδας με δυαδικό κύκλο (Rankine) ισχύος 1 MWe, ή και με μικρότερη ισχύ, σε ένα από τα νησιά του ενεργού ηφαιστειακού τόξου (Μήλο, Νίσυρο) ή τη Λέσβο, με ολική επανεισαγωγή των ρευστών, χωρίς κανένα περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η προσπάθεια αυτή μπορεί να γίνει σε συνδυασμό με παραπέρα άμεσες χρήσεις (π.χ. θέρμανση οικισμών και θερμοκηπίων, αφαλάτωση κτλ.).

Η κατανομή των γεωθερμικών περιοχών χαμηλής ενθαλπίας στη Βόρεια Ελλάδα και στα νησιά του Βόρειου Αιγαίου, σε περιοχές δηλαδή που οι θερμοκρασίες ανάγκες είναι μεγάλες, θα αποτελούσε σημαντικό πλεονέκτημα για την επέκταση των υπάρχοντων γεωθερμικών θερμοκηπίων στις περιοχές αυτές, με σωστή όμως

διαχείριση των γεωθερμικών πόρων και επανεισαγωγή στον ταμειυτήρα των ρευστών μετά τη χρήση τους. Στις περιοχές αυτές βεβαίως θα πρέπει να ενταθούν οι προσπάθειες για τη διεύρυνση των γεωθερμικών εφαρμογών. Υπάρχουν ήδη πολλές έτοιμες γεωτρήσεις παραγωγής που είναι ανεκμετάλλευτες, και μπορούν γρήγορα και εύκολα να δημιουργήσουν αναπτυξιακές εφαρμογές στις περιοχές όπου βρίσκονται.

Όχι μόνο η ανάπτυξη της γεωθερμίας είναι περιορισμένη, αλλά και τα αποτελέσματα από τη λειτουργία αρκετών θερμοκηπίων (κυρίως των συνεταιριστικών) είναι πενιχρά. Ορισμένα γεωθερμικά θερμοκήπια είναι εκτός λειτουργίας ή υπολειτουργούν για διάφορους λόγους, συνήθως άσχετους με τη γεωθερμία, και άλλα παρουσιάζουν ορισμένα τεχνικά προβλήματα. Από την εικόνα που δίνουν τα υπάρχοντα γεωθερμικά θερμοκήπια γίνονται φανεροί και άλλοι παράγοντες. Τέτοιοι παράγοντες είναι και ο ερασιτεχνισμός που επικρατεί στο σχεδιασμό των συστημάτων θέρμανσης, στην κατασκευή και τη λειτουργία των θερμοκηπίων, καθώς και η ανυπαρξία συμβουλευτικής καθοδήγησης από τους αρμόδιους φορείς.

Παρόλα τα πενιχρά αποτελέσματα των μέχρι τώρα προσπαθειών ανάπτυξης της γεωθερμίας στη χώρα μας, υποστηρίζεται ότι είναι θετικές οι προοπτικές για την καλύτερη αξιοποίησή της. Τονίζεται επίσης ότι θα πρέπει να προωθηθεί και στη χώρα μας η χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, ιδιαίτερα σε περιοχές με αυξημένες ανάγκες θέρμανσης, με τη θέσπιση οικονομικών κινήτρων. Προφανώς, η πρόσφατη άρση των φορολογικών κινήτρων για τις Α.Π.Ε. δε βοηθά σε αυτή την κατεύθυνση.

Μερικά από τα ενδιαφέροντα νέα προγράμματα, που άλλα βρίσκονται υπό μελέτη και άλλα ξεκίνησαν να υλοποιούνται είναι :

1. Τηλεθέρμανση δημόσιων κτιρίων στο Λαγκαδά Θεσσαλονίκης, με ρευστά 30-40°C και αντλίες θερμότητας.
2. Πρόγραμμα αφαλάτωσης και ηλεκτροπαραγωγής στη Μήλο (2000 m³/ημέρα και 350 kW αντίστοιχα) με ρευστά 80-98°C.
3. Πρόγραμμα θέρμανσης-κλιματισμού ΑΠΘ/Θέρμη με αντλίες θερμότητας.
4. Πρόγραμμα θέρμανσης-κλιματισμού του νέου αεροδρομίου «ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ» με νερά θερμοκρασίας 50°C και 20°C για θέρμανση και ψύξη, αντίστοιχα.
5. Νέες θερμοκηπιακές μονάδες στη Β.Ελλάδα και επέκταση υπαρχουσών (Καρυδάκης , 2005)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φυτίκας Μ. και Ανδρίτσος, Ν. Γεωθερμία– Γεωθερμικοί πόροι, Γεωθερμικά Ρευστά, Εφαρμογές, Περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2004.
2. Γ.Ι.Καρυδάκης , Γεωθερμική Ενέργεια , Εκδόσεις Αθλότυπο ,Αθήνα 2005
3. Τολίκας Δ.Κ. , Υπόγεια Υδραυλική , Εκδόσεις Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη 1997.
4. [H₂ Abatement in Geothermal Plants: Evaluation of Process Alternatives](#)
Dimitrios Sanopoulos & Anastasios Karabelas , *Energy Sources, Part A: Recovery , Utilization, and Environmental Effects*, 1556-7230, Volume 19, Issue 1, 1997, Pages 63 – 77
5. Bodvarsson, G. - Reistad, G.M. Performance and feasibility of forced geoheat recovery for low temperature applications. Second technical status report, July 1, 1978--September 30, 1978
6. Bazilian M. N.K Groenhout and D. Prasad, 2001. Simplified numerical modeling and simulation of a photovoltaic heat recovery system. *Proc. 17th European PV solar energy conference*, October 22-26, Munich, Germany, pp. 2754-2757.
7. Bazilian M. Leenders F, B.G.C Van Der Ree and D Prasad, 2001. Photovoltaic cogeneration in the built environment. *Solar Energy*, Vol. 71, pp.57-69.
8. Benemann J. Oussama C. and E. Schaar-Gabriel, 2001. Building integrated PV modules. *Solar Energy Material and Solar Cells*, Vol. 67, pp.345-354.
9. Bliss Jr R. W, 1959. The derivation of several 'plate- efficiency factors' useful in the design of flat- plate solar heat collectors. *Solar Energy*, Vol. 13, pp. 55-64.
10. Brinkworth B.J, B.M Cross, R.H Marchall and Yang H, 1997. Thermal regulation of PV cladding. *Solar Energy*, Vol. 61, pp. 169-178.
11. Brinkworth B.J, R.H Marchall and Z. Ibarahim, 2000. A validated model of naturally ventilated PV Cladding. *Solar Energy*, Vol. 69, pp. 67-81.
12. Cartmell B.P, N.J Shankland, D. Fiala and V. Hanby, 2004. A multi-operational ventilated photovoltaic and solar air collector: application, simulation and initial monitoring feedback. *Solar Energy*, Vol. 76, pp. 45-53.
13. Choudhury C. and Garg H.P, 1996. Performance of two-pass Photovoltaic/Thermal air heater. WREC 1996, pp. 1803-1806.
14. Chow T.T, J.W Hand and P.A Strachan, 2003. Building- integrated photovoltaic and thermal applications in a subtropical hotel building. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, pp 2035-2049
15. Chow T.T, 2003. Performance analysis of photovoltaic-thermal collector by explicit dynamic model. *Solar Energy*, Vol. 75, pp. 143-152.

16. *Climate Change 2008 – Mitigation of Climate Change Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Μάρτιος 2008
17. Duffie J.A and W.A Beckman, 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
18. Florschuetz L. W, 1979. Extension of the Hottel-Whillier-Bliss model to the analysis of combined photovoltaic/ thermal flat plate collectors. *Solar Energy*, Vol.22, pp. 361-366.
19. Garg H.P and Adhicari R.S, 1997. Conventional hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) air heating collector: steady-state simulation. *Renewable Energy*, Vol. 11, pp.363-385.
20. Garg H.P and R.S Adhikari, 1998. Transient simulation of conventional hybrid Photovoltaic/Thermal (PV/T) air heating collectors. *Int. J. Energy Res.* Vol.22, pp.547-562.
21. Garg H.P and Adhikari R.S, 2000. Studies on cost effectiveness of hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) air heating collectors. WREC VI, July 1-7, Brighton, pp.1098-1101.
22. Gibbons C.J, Keane M. and Mckeogh E, 2001. The thermal performance of a perforated photovoltaic panel. *Proc. 17th European photovoltaic solar energy conf.*, October 22-26, Munich, Germany, pp. 277-280.
23. Green, M., Emery, K., King, D., et al. 2006. Solar Cell Efficiency Tables (Version 27). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 14:45–51.
24. Hacker R.J, JR Bates, U. Blieske, J.J Bloem, J. Campbell, F. Ferrazza, P, Strachan, Y. Tripanagnostopoulos, 2001. Building implementation of photovoltaics with active control of temperature, 'Building Impact'- Finals results. *Proc. 17th European photovoltaic solar energy conf.*, October 22-26, Munich, Germany, pp.2391-2394.
25. Hendrie S.D, Raghuraman P, Cox C.H, 1981. Liquid Photovoltaic/thermal collectors for residential applications. *Proc. of 15th IEEE Photovoltaic specialists conference*, May, Orlando Florence USA, pp.818-821.
26. Hestnes A.G, 1999. Building Integration of Solar Energy Systems. *Solar Energy*, Vol. 67, pp.181-187.
27. Kelly N. and P. A Strachan, 2000. Modeling enhanced performance integrated PV modules. *Proc. of the 16th European PV solar energy conf.*, May 1-5, Glasgow, UK, pp.2025-2028.
28. Kern E.C JR and Russell M.C, 1978. Compined photovoltaic and thermal hybrid collector systems. *Proc. of the 13th IEEE PV specialist*, June 6-8, Washington DC, pp.1153-1157.
29. Markvart T (Ed), 2000. *Solar Electricity*, 2nd Edition. John Wiley & sons, LTD, Chichester, UK.
30. Moshfegh B, M Sandberg, J.J Bloem and H. Ossenbrink et al, 1995. Analysis of fluid flow and heat transfer within the Photovoltaic façade on the ELSA building, JRC

- ISPRA. *Proc. Of the 13th European PV solar energy conference Nice 1995*, pp. 2215-2217.
31. Ossenbrink H.A, Rigolini, Chehab O and Olaf van der Vebbe, 1994. Builgung integration of an amorphous silicon photovoltaic façade. IEEE first world conf. on photovoltaic energy conversion, December 5-9, Hawaii, pp.770-773.
 32. Othman M.Y, Yatim B, K. Sopian and Abu Bakar M.N, 2002. The development of hybrid Photovoltaic-Thermal (PV/T) solar air heater systems. WREC VII (2002).
 33. Overstaeten R.J and Mertens R.P, 1986. Physycs, Technology and use of Photovoltaics. *Adam Hilger LTD*, Briston and Boston.
 34. Posnasky M., S Gnos and S Coonen, 1994. The importance of hybrid PV-Building integration. *Proc. 1st world conference on Photovoltaic energy conversion*, December 5-9, Hawaii, pp.998-1003.
 35. Randall K.R, Mitchel J.W and El-Wakij M.M, 1979. Natural convection heat transfer characteristics of flat plate enclosures. *ASME J. Transfer*, vol. 101, pp.120-125.
 36. Razelos P. 2003. A critical review of extended surface heat transfer. *Heat Transfer Engineering*, Vol. 24, pp. 11-28.
 37. Ricaud A and Roubeau P, 1994. Capthel, a 66% efficient hybrid solar module and the Ecothel co-generation solar system. *Proc. IEEE 1st World Conf. on Photovoltaic Energy Conversion*, December, 5-9, Waikoloa, Hawaii, pp. 1012-1015.
 38. Sandnes B and J Rekstad, 2000. A Photovoltaic/Thermal (PV/T) collector with polymer absorber plate. Experimental study and analytical model. *Solar Energy*, Vol. 72, pp.63-73.
 39. Sopian K, H.T Liu, S Kakac and T. N Vegiroglu, 1996. Performance analysis of photovoltaic thermal air heaters. *Energy Convers. Mgmt.* Vol. 37, pp.1657-1670.
 40. Sopian K, H.T Liu, S Kalac and T.N Vegiroglu, 1996. Performance of a hybrid Photovoltaic thermal solar collector. *Proc. of the ASME Int. Mech. Eng. Congress and Exhibition*, November 25-28, Atlanta, USA, AES, Vol.36, pp.341-346.
 41. Sorensen B. and Munro D, 2000. Hybrid PV/Thermal Collectors. 2nd World Solar Electric Buildings Conf. , March, 8-10, Sydney, Australia.
 42. Strachan P.A, C.M Johnstone, N Kelly, J.J Bloem and H Ossenbrink, 1997. Results of thermal and power modeling of the PV façade on the Elsa Building, Ispra. *Proc. 14th European Photovoltaic solar energy conf.*, June- July, Barcelona, Spain, pp.1910-1913.
 43. S.A. Kalogirou, Y. Tripanagnostopoulos, 2007. Industrial application of PV/T solar energy systems. *Applied Thermal Engineering*, vol. 27.
 44. Taylor C.M, JR Bates, H. Bloem, C. Bucci, J Campell, N. Luling, Y. Tripanagnostopoulos and P.A Ruyssevelt, 2000. Building implementation of photovoltaic with active control of temperature. 'Building Impact'. *Proc. 16th European PV solar energy conference*, May 1-5, Glasgow, UK, pp. 1866-1869.

45. Tonui J.K and Tripanagnostopoulos Y, 2005. Ventilation benefit accrued from PV modules installed in buildings. *Proc. 1st PALNEC conference*, May 19-21, Santorini, Greece, pp.861-866.
46. Tonui J.K, Tripanagnostopoulos Y, 2006. Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements. *Resubmitted to Solar Energy Journal*.
47. Tonui J.K, Tripanagnostopoulos Y, 2006. Improved PV/T solar collectors with heat extraction by natural or forced air circulation. *In the press, Renewable Energy*.
48. Tonui J.K, Tripanagnostopoulos Y, 2006. Theoretical results on the performance of improved solar air systems. *Presentation in WREC IX, August 19-25, Florence, Italy*.
49. Tonui J.K, Tripanagnostopoulos Y, 2006. Performance results of improved PV/T air solar collectors. *Presentation in the 21st European PV solar conf.* September 4-8, Dresden, Germany.
50. Tonui J,K, Tripanagnostopoulos Y., 2008. Performance improvement of PV/T solar collectors with natural air flow operation. *Solar Energy*.
51. Tripanagnostopoulos Y, P. Yianoulis and D. Patrikos, 1996. Hybrid PV-TC solar systems. *Renewable Energy*, Vol.8, pp 505-508.
52. Tripanagnostopoulos Y, Th. Nousia and M. Souliotis, 2000. Low cost improvements to building integrated air hybrid PV-Thermal systems. *Proc. 16th European PV solar energy conf.* May 1-5, Glasgow, UK, pp. 1874-1877.
53. Tripanagnostopoulos Y, Th. Nousia and M. Souliotis, 2001a. Test results for air cooled modified PV modules. *Proc. 17th European PV solar energy conf.* October 22-26, Munich, Germany, pp 2519-2522.
54. Tripanagnostopoulos Y, D.Tzavellas, I. Zoulia and M. Chotratou. 2001b. Hybrid PV/T systems with dual heat extraction operation. *Proc. 17th European PV solar energy conf.* October 22-26, Munich, Germany, pp. 2519-2522.
55. Tripanagnostopoulos Y, M. Bazilian and I. Zoulia, R. Battisti, 2002a. Hybrid PV/T system with improved heat extraction modification. *Proc. 17th European PV solar energy conf.* October 22-26, Munich, Germany, pp. 718-721.
56. Tripanagnostopoulos Y, S. Tselepis, M. Souliotis, J.K Tonoui, 2004^a. Design aspect of photovoltaic/thermal system. *Proc. 19th European PV solar energy conf.* June 7-11, Paris, France, pp. 2321-2324.
57. Tripanagnostopoulos Y and Kalogirou S.,2004b. Design aspect and application of hybrid photovoltaic/thermal systems. *WREC Denver 2004*, CD ROM.
58. Tripanagnostopoulos Y, Christodoulou A. Tselepis S., Souliotis M, J.K Tonoui, 2004. Practical aspects for small wind turbine applications. *Proc. European wind energy conference & Exhibition*, November 22-25, London, UK, CD ROM.
59. Τρυπαναγνωστόπουλος Ι., Σουλιώτης Μ, Τσελέπης Σ., J.K Tonoui,2005. Σχεδίαση και οικονομικά στοιχεία για υβριδικά Φωτοβολταϊκά/ θερμικά ηλιακά συστήματα. 30 Εθνικό Συνέδριο RENES 2005, Φεβρουαρίου 23-25, Αθήνα, Greece.

60. Tripanagnostopoulos Y, Siabekou Ch., Tonui J.K, 2005. The Fresnel lens concept for solar control of buildings. *Proc. 1st PALNEC conference, May 19-21, Santorini, Greece, 977-982.*
61. Tripanagnostopoulos Y, M. Souliotis, R. Battisti, A. Corrado, 2005. Energy, Cost and LCA results of PV and hybrid PV/T solar systems. *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 13, pp. 235-250.
62. Tripanagnostopoulos Y, M. Souliotis, R. Battisti, A. Corrado, 2006. Performance, cost and life-cycle assessment study of hybrid PVT/AIR solar systems. *Prog. Photovolt: Appl*, 14, 65-76.
63. Tripanagnostopoulos Y. Themelis P. 2007. The potential of effective PV application to schools in Greece. *Conf. E.P.E.Q.U.B. 12-13 July, Milos, Greece.*
64. Tripanagnostopoulos Y, 2007. Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems. *Solar Energy*, Vol. 81, pp 1117–1131.
65. Tsuji T and Nagano Y, 1988. Characteristics of a turbulent natural convection boundary layer along a vertical flat plate. *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 31, pp.1723-1734.
66. Whitfield G. R; Bentley R. W, Weatherby C. K, Hunt A. C, Mohring H. D, Klotz F. H, Keuber P, Minano J. C and Alarte- Garvi E, 1999. The development and testing of small concentrating PV systems. *Solar Energy*, Vol.67, pp.23-34.
67. Yang H.X, R.H Marchall and B.J Brinkworth, 1994. An experimental study of the thermal regulation of a PV-clad building roof. *Proc. Of the 12th European Photovoltaic solar energy conference, April 11-15, Amsterdam, the Netherlands*, pp.1115-1118.
68. Yeh Ho-Ming and Ting Young-Chun, 1986. Effects of free convection on collector efficiencies of solar air heaters. *Applied Energy*, Vol.22, pp. 145-155.
69. Photovoltaic Engineering Handbook. France Lashier and Tony Gan Ang Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

www.cres.gr/

www.rae.gr

www.ipcc.ch