

ISSN 1105-2430

ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ

ΜΜΧ

Ε Π Ι Θ Ε Ω Ρ Η Σ Η
ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
ΤΟΜΟΣ 15 • ΙΟΥΛ. - ΔΕΚ. 2005

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΣ ΣΥΛΛΟΓΟΣ
ΔΙΠΛ. ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΗΠΕΙΡΟΥ 27 - Τ.Κ. 104 33 ΑΘΗΝΑ



ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΣ ΣΥΛΛΟΓΟΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ, ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ, ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΚΑΠΕ

Δημήτριος Μενδρινός¹

Κωνσταντίνος Καρύτσας²

Γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα της γης. Περιλαμβάνει: θερμά ξηρά πετρώματα, γεωθερμικά πεδία υψηλής ή χαμηλής ενθαλπίας, αβαθείς υδροφόρους ή εδάφη θερμοκρασίας < 25°C. Το συνολικό κόστος γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής είναι 0,05-0,09 €/kWh_(e), των θερμικών εφαρμογών 0,005-0,035 €/kWh_(th), και των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας 0,038-0,048 €/kWh. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση οι χρήσεις της γεωθερμίας περιλαμβάνουν 720 MW_(e) ηλεκτροπαραγωγή και 1.650 MW_(th) θερμικές εφαρμογές με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 5%, καθώς και 3.340 MW_(th) γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (Γ.Α.Θ.) με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 30%. Στην Ελλάδα, έχουμε 69 MW_(th) θερμικές εφαρμογές και θερμά λουτρά και ~100 εγκαταστάσεις Γ.Α.Θ. Επιλεγμένες εφαρμογές: Ξενώνας λουτρών Τραϊανούπολης, Δημαρχείο Πυλαίας, Ευρωπαϊκό κέντρο δημοσίου δικαίου, γραφεία ΚΑΠΕ, κτίριο μεταλλειολόγων ΕΜΠ. Τα οφέλη της γεωθερμικής ενέργειας είναι περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά. Τυχόν περιβαλλοντικές επιπτώσεις της γεωθερμίας υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας οφείλονται στη χημική σύσταση της υγρής φάσης και του ατμού, και αντιμετωπίζονται με επανεισαγωγή, αποφυγή διαφυγών ατμού, κατάλληλο σχεδιασμό των μονάδων και χημική επεξεργασία του ρευστού. Πρόσφατα, ολοκληρώθηκε νέο θεσμικό πλαίσιο που διέπει τη γεωθερμική ενέργεια.

¹ Μηχανικός Μεταλλείων Μεταλλουργός - Γεωθερμικός
Συνεργάτης Τμήματος Γεωθερμίας
Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)
19^ο χλμ Λεωφ. Μαραθώνος, 19009 Πικέρμι Αττικής

² Δρ. Γεωλόγος - Γεωθερμικός
Προϊστάμενος Τμήματος Γεωθερμίας
Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)
19^ο χλμ Λεωφ. Μαραθώνος, 19009 Πικέρμι Αττικής

1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι θερμές πηγές, καθώς και μετρήσεις εντός γεωτρήσεων μαρτυρούν ότι το εσωτερικό της γης περικλείει θερμότητα, η οποία ονομάζεται γεωθερμική ενέργεια ή απλά γεωθερμία. Ανάλογα με τη θερμοκρασία με την οποία μεταφέρεται στην επιφάνεια, η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού ($\theta > 80^\circ$), για θέρμανση κτιρίων, για θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών, για ιχθυοκαλλιέργειες και φυσικά για θερμά λουτρά.

Στην Ελλάδα, γεωθερμία κατάλληλη για ηλεκτροπαραγωγή βρίσκεται σε προσιτά βάθη στα νησιά του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου (Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος), αλλά και στη Λέσβο, τη Χίο, τη Σαμοθράκη και αλλού. Γεωθερμία κατάλληλη για θέρμανση και αγροτικές εφαρμογές απαντάται σε μικρά βάθη σε πολλές περιοχές στις πεδιάδες της Μακεδονίας και της Θράκης, αλλά και στη γειτονιά κάθε μιας από τις 56 θερμές πηγές της χώρας.

Η σύγχρονη τεχνολογία επιτρέπει την αξιοποίηση της θερμότητας που βρίσκεται στο έδαφος σε βάθος μερικών μέτρων για θέρμανση χώρων με τη χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, οι οποίες αναβαθμίζουν τη διαθέσιμη θερμοκρασία. Τα ίδια συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για κλιματισμό. Το πλεονέκτημα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε σχέση με τα αερόψυκτα συστήματα θέρμανσης-κλιματισμού είναι ότι το έδαφος έχει σταθερή θερμοκρασία περίπου 15°C , ανεξάρτητα των καιρικών συνθηκών.

Λόγω της ροής θερμότητας από το εσωτερικό της γης η γεωθερμία αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Στην Ελλάδα, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας γίνεται κυρίως για θερμά-ιαματικά λουτρά και για θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών, ενώ τα προσεχή χρόνια αναμένουμε ανάπτυξη των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Η τεχνολογία εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας εξαρτάται από τη μορφή στην οποία βρίσκεται η γεωθερμική ενέργεια (ή γεωθερμικό δυναμικό) μέσα στη γη. Το γεωθερμικό δυναμικό μπορεί να ταξινομηθεί στις εξής κύριες κατηγορίες:

- **Θερμά ξηρά πετρώματα** τα οποία απαντώνται παντού σε βάθη 3-5 km με θερμοκρασία 100-150°C λόγω αύξησης της θερμοκρασίας της γης με το βάθος κατά περίπου 30°C κάθε 1000 μέτρα (γεωθερμική βαθμίδα).
- Υδροφόρους ορίζοντες με θερμοκρασίες 150°C - 300+°C σε μικρά σχετικά βάθη σε ορισμένες περιοχές που αποτελούν τα **γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας**. Τέτοια γεωθερμικά πεδία αντιστοιχούν σε περιοχές γεωλογικά πρόσφατης ηφαιστειακής δράσης, όπως είναι τα νησιά Μήλος, Νίσυρος και Σαντορίνη.
- Υδροφόρους ορίζοντες με θερμοκρασίες 25°C - 100+°C σε μικρά σχετικά βάθη σε ορισμένες περιοχές που αποτελούν τα **γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας**. Τέτοια γεωθερμικά πεδία απαντώνται κυρίως κοντά σε θερμές πηγές, όπως: Λουτρά Σαμοθράκης (80-100+°C), Πολυχίτος-Άργενος Λέσβου, Νένητα Χίου, Αριστινό Αλεξανδρούπολης και Αιδηψός (80-90°C), το Νέο Εράσμιο, η Νέα Κεσσάνη Ξάνθης, η Νιγρίτα, το Σιδηρόκαστρο και η Ηράκλεια Σερρών (35°C-60°C), ο Λαγκαδάς, η Νέα Απολλωνία και η Θέρμη Θεσσαλονίκης (30°C-40°C), η Νέα Τρίγλια Χαλκιδικής (30°C-35°C) και πολλά άλλα.
- **Υδροφόρους ορίζοντες** με θερμοκρασίες 15°C-30°C σε πολλές θέσεις.
- **Εδάφη** με σταθερή θερμοκρασία 15°C παντού μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια.

Η εκμετάλλευση των θερμών ξηρών πετρωμάτων βρίσκεται ακόμη σε πειραματικό στάδιο και γίνεται με διάνοιξη 2-3 γεωτρήσεων μεγάλου βάθους και υδραυλική θραύση του πετρώματος μεταξύ τους, έτσι ώστε να δημιουργηθούν δίοδοι διαπερατοί από το νερό (ρωγμές). Στη συνέχεια νερό διοχετεύεται στο πέτρωμα, όπου θερμαίνεται και αντλείται στην επιφάνεια από τη γεώτρηση παραγωγής.

Στη περίπτωση των θερμών υπόγειων υδροφόρων, το θερμό νερό μεταφέρεται στην επιφάνεια δια μέσου γεωτρήσεων, συνήθως με άντληση. Κατόπιν τροφοδοτεί τα συστήματα θέρμανσης εφόσον η χημική του σύσταση το επιτρέπει, ή εναλλακτικά μεταδίδει τη θερμότητά του σε δευτερεύον κλειστό κύκλωμα ζεστού νερού μέσω εναλλακτών θερμότητας. Μετά τη χρήση, το γεωθερμικό νερό είτε απορρίπτεται σε επιφανειακούς αποδέκτες (κανάλια, ποτάμια, λίμνες, θάλασσα) εφόσον ικανοποιούνται οι προδιαγραφές προστασίας περιβάλλοντος, διαφορετικά διοχετεύεται ξανά στους υδροφόρους ορίζοντες απ' όπου προήλθε δια μέσου γεωτρήσεων επανεισαγωγής.

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας αξιοποιούνται κυρίως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, είτε με κύκλο υγρού ατμού (H_2O) για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από $150^{\circ}C$, είτε κύκλο οργανικής ουσίας ή αμμωνίας για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από $80^{\circ}C$. Η αξιοποίηση της υπολειπόμενης ενέργειας για τηλεθέρμανση-τηλεψύξη είναι επίσης εφικτή.

Λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας, τα συστήματα αξιοποίησης της θερμότητας από τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας απαιτούν ειδικό σχεδιασμό και εξειδικευμένη τεχνολογία σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Επειδή τα γεωθερμικά συστήματα, όπως και των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, χαρακτηρίζονται από μεγάλο αρχικό κόστος επένδυσης και μικρό κόστος λειτουργίας, συμφέρει τόσο από οικονομικής πλευράς, όσο και από ορθολογικής χρήσης της ενέργειας να σχεδιάζονται εφαρμογές σε σειρά. Με αυτό τον τρόπο από την ίδια ποσότητα ζεστού νερού εξάγουμε πολλαπλάσιο ποσό θερμικής ενέργειας, επειδή αξιοποιούμε πολλαπλάσια διαφορά

θερμοκρασίας. Ένας τέτοιος σχεδιασμός περιλαμβάνει ηλεκτροπαραγωγή, τηλεθέρμανση, τηλεψύξη, αφαλάτωση θαλασσινού νερού, παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, κλπ.

Η αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού των ρηχών υδροφόρων θερμοκρασίας $< 25^{\circ}\text{C}$ γίνεται με υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας, οι οποίες αφαιρούν θερμότητα από το υπόγειο νερό μειώνοντας τη θερμοκρασία του κατά $5-6^{\circ}\text{C}$, την οποία προσθέτουν στο σύστημα θέρμανσης (αερόθερμα ή / και ενδοδαπέδιο). Η διαδικασία αυτή μπορεί να αναστραφεί, έτσι ώστε η αντλία θερμότητας να παρέχει κλιματισμό (ψύξη) κατά τη θερινή περίοδο. Οι αντλίες θερμότητας υπόγειου νερού καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια, ίση με το $1/4-1/6$ της θερμικής ενέργειας που παρέχουν.

Η αξιοποίηση του ενεργειακού δυναμικού του εδάφους, γίνεται με συνδυασμό υδρόψυκτων αντλιών θερμότητας και εναλλάκτη θερμότητας εδάφους. Ο εναλλάκτης εδάφους περιλαμβάνει σωλήνες ενταφιασμένες εντός του εδάφους, ή εντός γεωτρήσεων, στις οποίες κυκλοφορεί νερό σε κλειστό κύκλωμα. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χαρακτηρίζονται από επίσης μικρές ηλεκτρικές καταναλώσεις, της τάξεως του $1/3-1/5$ της θερμικής ενέργειας που παρέχουν.

3. ΤΕΧΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

3.1. Εισαγωγή

Οι γεωθερμικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τις πιο κάτω τρεις κύριες κατηγορίες:

- Ηλεκτροπαραγωγή με στρόβιλο ατμού για $\Theta > 150^{\circ}\text{C}$, ή κύκλο Rankine για $\Theta > 80^{\circ}\text{C}$.
- Θερμά λουτρά, θέρμανση κτηρίων (τηλεθέρμανση), θερμοκηπίων και εδαφών, ιχθυοκαλλιέργειες και διάφορες βιομηχανικές ή αγροτικές εφαρμογές $\Theta > 25^{\circ}\text{C}$.

- Αξιοποίηση της θερμότητας ή θερμοχωρητικότητας επιφανειακών ή μικρού βάθους σχηματισμών-υδάτων για θέρμανση-κλιματισμό με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.

3.2. Ηλεκτροπαραγωγή

Η ηλεκτροπαραγωγή αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας. Ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί είτε με αμοστρόβιλους υγρού ατμού ή από μηχανές ηλεκτροπαραγωγής δυαδικού κύκλου (Rankine) οργανικής ουσίας ή αμμωνίας, θερμαινόμενο με γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας τουλάχιστον 80 °C.

Το κόστος γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής ποικίλει μεταξύ 900-1500 €/kW_(e), με τυπικό κόστος συντήρησης και λειτουργίας γύρω στο 2-3%. Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία ανέρχεται σε 0,05-0,09 €/kWh_(e), όπου περιλαμβάνονται οι αποσβέσεις των κεφαλαίων και το κόστος χρήματος [1].

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση παραγωγή ηλεκτρισμού από γεωθερμία γίνεται κυρίως στην Ιταλία με 862 MW_(e) εγκατεστημένης ισχύος το 2002, από τα οποία τα 699 MW_(e) βρίσκονται σε λειτουργία, 16 MW_(e) στις Αζόρες (Πορτογαλία), 4,2 MW_(e) στην Γουαδελούπη (Γαλλία), 1,25 MW_(e) στο Άλτχάιμ και το Μπαντ-Μπλουμάου της Αυστρίας, καθώς και η νέα μονάδα ωφέλιμης ισχύος 0,21 MW_(e) στο Νόησταντ-Γκλέβε της Γερμανίας, που τέθηκε σε λειτουργία τον Νοέμβριο του 2003. Όσον αφορά την παραγόμενη ενέργεια, στην Ιταλία το έτος 2002 παρήχθησαν 4.662 GWh_(e) από 4.376 GWh_(e) το 2001 [1].

3.3. Θερμικές Εφαρμογές

Οι θερμικές εφαρμογές της γεωθερμίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανήλθαν σε 1.650 MW_(th) εγκατεστημένης ισχύος κατά το έτος 2002, με ρυθμό αύξησης περί το 5% ετησίως, τη στιγμή που σε παγκόσμιο επίπεδο είχαμε περί τα 9.400 MW_(th)[1]. Το αντίστοιχο μέγεθος για την Ελλάδα ήταν περί τα 69 MW_(th). Αυτές περιλαμβάνουν:

Θέρμανση κτιρίων: μαζί με την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης αποτελεί την πιο διαδεδομένη εφαρμογή της γεωθεμίας στην Ευρώπη. Η τεχνολογία είναι απλή, καθώς το γεωθερμικό ρευστό παρέχει την θερμότητά του στο σύστημα θέρμανσης του καταναλωτή, είτε απευθείας, είτε μέσω εναλλάκτη θερμότητας. Στις θερμικές εφαρμογές, η γεωθερμία ανταγωνίζεται επιτυχώς τα ορυκτά καύσιμα, με κόστος κεφαλαίου 200-1400 €/kW_(th), ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας 2-3% του κόστους κεφαλαίου, και κόστος παραγόμενης ενέργειας 0,005-0,035 €/kWh_(th) συμπεριλαμβανομένων των αποσβέσεων των κεφαλαίων και του κόστους χρήματος [1]. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για θέρμανση κτιρίων ανέρχεται σε 600 MW_(th) περίπου (1999), από τα οποία περισσότερα από τα μισά είναι εγκατεστημένα στην Γαλλία και κυρίως στο Παρίσι. Στην Ελλάδα, η σημαντικότερη εφαρμογή θέρμανσης χώρων με γεωθερμία είναι εγκατεστημένη στα Λουτρά Τραϊανουπόλεως, σε κτιριακό συγκρότημα που αποτελείται από 4 ξενώνες και το κτίριο των λουτρών. Το σύστημα περιλαμβάνει γεωτρήσεις παραγωγής και επανεισαγωγής, κεντρικό πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας, υπόγειες σωληνώσεις τηλεθέρμανσης και ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης. Άλλη εφαρμογή, μικρότερης κλίμακας, αποτελεί η θέρμανση του γυμνασίου των Θερμών Ξάνθης αξιοποιώντας θερμότητα από τις γειτονικές θερμές πηγές με σύστημα σπειροειδούς εμβαπτιζόμενου εναλλάκτη και φαν-κόιλς.

Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών: Επειδή με τη θερμότητα τα φυτά μεγαλώνουν γρηγορότερα και γίνονται μεγαλύτερα, τα θερμαινόμενα θερμοκήπια και εδάφη χρησιμοποιούνται για αύξηση της παραγωγής και την πρωίμιση καλλιεργειών. Επειδή οι απαιτούμενες ποσότητες ενέργειας είναι μεγάλες, η γεωθερμία, λόγω του μικρού κόστους της, αποτελεί την ιδανική μορφή ενέργειας για αγροτικές εφαρμογές. Οι αντίστοιχες εφαρμογές στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπερβαίνουν τα 350 MW_(th) (1999), 60% από τα οποία είναι εγκατεστημένα στην Ουγγαρία. Στην Ελλάδα, η θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών με γεωθερμία είναι διαδεδομένη στους νομούς Σερρών (Νιγρίτα και Σιδηρόκαστρο),

Θεσσαλονίκης (Λαγκαδάς, Νέα Απολλωνία) και Ξάνθης (Νέο Εράσμιο), καθώς και στη Ν. Λέσβο (Πολύχνιτος), με 32 MW_(th) συνολική εγκατεστημένη ισχύ.

Θερμά λουτρά: σε γεωθερμικό νερό απευθείας, ή σε θερμαινόμενες με γεωθερμία πισίνες, είναι δημοφιλή σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες με συνολική εγκατεστημένη ισχύ περί τα 350 MW_(th) (1999). Στην Ελλάδα τα θερμά και ιαματικά λουτρά είναι επίσης αρκετά διαδομένα, σχεδόν σε όλη τη χώρα όπου απαντώνται θερμές πηγές, με συνολική ισοδύναμη εγκατεστημένη ισχύ περί τα 35 MW_(th).

Λοιπές θερμικές εφαρμογές: ιχθυοκαλλιέργειες, βιομηχανικές και αγροτικές εφαρμογές με συνολική εγκατεστημένη ισχύ στην Ευρωπαϊκή Ένωση περί τα 100 MW_(th) (1999).

3.4. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

Η εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμίας γίνεται με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, οι οποίες είναι συστήματα υδρόψυκτων αντλιών θερμότητας σε συνδυασμό με εναλλάκτες θερμότητας εδάφους (κλειστό σύστημα) ή τροφοδοτούμενες από υδρογεώτρηση (ανοιχτό σύστημα). Χρησιμοποιούν τη γη σαν πηγή θερμότητας όταν παρέχουν θέρμανση, χρησιμοποιώντας νερό (με ή χωρίς αντιψυκτικό) ως το μέσον που μεταφέρει τη γήινη θερμότητα στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας. Τα ίδια συστήματα μπορούν να παρέχουν και ψύξη, χρησιμοποιώντας τη γη ως αποδέκτη θερμότητας. Εφαρμογές και έρευνα εδώ και 50 χρόνια στις ΗΠΑ και σε χώρες της Κεντρικής Ευρώπης, έχουν οδηγήσει στην καθιέρωση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ως αξιόπιστη τεχνολογία που συμβάλλει στην ενεργειακή αειφορία, δεδομένου ότι καταναλώνουν 30%-50% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από συστήματα αερόψυκτων αντλιών θερμότητας. Αναλυτικότερα, το νερό που τροφοδοτεί τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, είναι δυνατόν να προέρχεται από:

- το υπέδαφος μέσω υδρογεωτρήσεων θερμοκρασίας 10-30 °C.
- επιφανειακά ύδατα (θάλασσα, λίμνες, ποτάμια) θερμοκρασίας 5-25 °C.

- εναλλάκτες θερμότητας εδάφους που παρέχουν 0-15 °C, όταν το σύστημα παρέχει θέρμανση και 20-35 °C, όταν παρέχει ψύξη.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, χαρακτηρίζονται από υψηλή ενεργειακή απόδοση, ενώ για κάθε μία μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν παρέχουν 3-5 μονάδες θερμότητας και 4-6 μονάδες ψύξης, ανάλογα τις παραμέτρους λειτουργίας του συστήματος. Όσο αυξάνει η ενεργειακή απόδοσή τους, τόσο αυξάνει και το αντίστοιχο κόστος κεφαλαίου.

Όταν λειτουργούν σε θέρμανση, παρέχουν ζεστό νερό θερμοκρασίας 30-60 °C, επομένως πρέπει να συνδυαστούν με σύστημα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας, όπως είναι τα φαν-κόιλς, το ενδοδαπέδιο, και οι κεντρικές μονάδες παροχής αέρα μέσω αεραγωγών. Γενικά, όσο μικρότερη είναι η παρεχόμενη θερμοκρασία, τόσο αυξάνει ο βαθμός ενεργειακής απόδοσης. Παρόλο που ουσιαστικά αποτελούν τμήμα των θερμικών εφαρμογών της γεωθερμικής ενέργειας, παρουσιάζονται χωριστά, λόγω της σπουδαιότητάς τους.

Ενώ η ηλεκτροπαραγωγή και οι θερμικές εφαρμογές της γεωθερμίας παρουσιάζουν μικρή ανάπτυξη (ετήσιος ρυθμός αύξησης γύρω στο 5%), η αγορά των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχει ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια στις χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης. Πρωτοπόροι είναι η Σουηδία, όπου από 55.000 μονάδες που ήταν εγκατεστημένες το 1998, είχαμε 176.000 μονάδες το 2002, και η Γερμανία, όπου ο αριθμός των εγκατεστημένων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας αυξήθηκε από 19.000 σε 73.455 κατά την τετραετία 1998-2002. Επίσης στην Αυστρία, από 18.000 μονάδες το 1998, είχαμε 34.000 το έτος 2001, ενώ στη Γαλλία, το 2002 είχαν εγκατασταθεί 36.500 μονάδες, όλες τα τελευταία τρία χρόνια, ενώ ο ετήσιος ρυθμός αύξησής τους ανέρχεται σε 30% περίπου.

Όσον αφορά την ισοδύναμη συνολική εγκατεστημένη ισχύ στα 25 κράτη που σήμερα αποτελούν την Ευρωπαϊκή Ένωση, κατά τη τριετία 1999-2002 σχεδόν τριπλασιάστηκε από 1.159 MW_(th) (1999) σε 3.344 MW_(th) (2002). Στη χώρα μας, η αγορά των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας άρχισε να αναπτύσσεται μόλις πρόσφατα και περιλαμβάνει λίγες

πιλοτικές εφαρμογές ισχύος 100-600 kW_(th) συνολικής ισχύος 1,35 MW_(th), καθώς και περί τις 100 μικρές μονάδες (10-20 kW_(th)) για θέρμανση-κλιματισμό κατοικιών [2].

Το αντίστοιχο κόστος εγκατάστασης των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ανέρχεται σε 500-1000 € ανά kW_(th) για μονάδες τροφοδοτούμενες από υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα, και σε 1000-1500 € ανά kW_(th) για μονάδες συνδυαζόμενες με εναλλάκτες θερμότητας εδάφους. Το κόστος ανά μονάδα παρεχόμενης ενέργειας (θερμότητα και ψύξη) ποικίλει από 0,015 €/kWh για συστήματα συνδυαζόμενα με υδρογεώτρηση που παρέχει νερό σταθερής θερμοκρασίας 17 °C καθόλη τη διάρκεια του έτους και τιμολόγηση του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση το εμπορικό τιμολόγιο της ΔΕΗ, μέχρι 0,028 €/kWh για συστήματα συνδυαζόμενα με εναλλάκτες θερμότητας εδάφους και χρέωση ηλεκτρικής ενέργειας με βάση το οικιακό τιμολόγιο της ΔΕΗ. Εάν ληφθούν υπόψη οι αποσβέσεις των κεφαλαίων και το κόστος χρήματος (τοκοχρεολύσιο 5% για 20 έτη), τότε το κόστος ανά μονάδα παρεχόμενης ενέργειας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας ποικίλει από 0,038 €/kWh για συστήματα συνδυαζόμενα με υδρογεώτρηση, μέχρι 0,048 €/kWh για συστήματα συνδυαζόμενα με εναλλάκτες θερμότητας εδάφους. [1]

4. ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ-ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

4.1. Ξενώνας Λουτρών Τραϊανούπολης

Το σύστημα περιλαμβάνει θέρμανση των 4 κτηρίων του ξενώνα από γεωθερμική γεώτρηση παραγωγής ~60 m³/h ζεστού νερού, θερμοκρασίας 52 °C, μέσω εναλλάκτη θερμότητας. Το γεωθερμικό νερό, αφού μεταδώσει τη θερμότητα του στο κλειστό κύκλωμα τηλεθέρμανσης των κτηρίων, διοχετεύεται στους υδροφόρους ορίζοντες από όπου προήλθε σε θερμοκρασία 37 °C διαμέσου γεώτρησης επανεισαγωγής. Η μεταφορά της θερμικής

ενέργειας προς και από το κάθε κτήριο, γίνεται με υπόγειες σωλήνες πολυπροπυλενίου (PP). Κάθε ένα από τα 11 δωμάτια του κάθε ξενώνα θερμαίνεται με αυτόνομο ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης που λειτουργεί σε θερμοκρασία 30-40 °C. Παράλληλα γίνεται και προθέρμανση του ζεστού νερού χρήσης, ενώ η συνολική θερμική ισχύς του συστήματος ανέρχεται σε 1050 kW.



Εικόνα 1: Ξενώνας Τραϊανούπολης, άποψη ενός από τα 4 θερμαινόμενα κτήρια .

Figure 1: Traianoupolis Hostel, view of one of the 4 heated buildings.



Εικόνα 2: Ξενώνας Τραϊανούπολης, κεντρικός εναλλάκτης θερμότητας.

Figure 2: Traianoupolis Hostel, central heat exchanger.



Εικόνα 3: Ξενώνας Τραϊανούπολης, εσωτερικό δωματίου με ενδοδαπέδια θέρμανση.

Figure 3: Traianoupolis Hostel, room interior heated by sub-floor system.



Εικόνα 4: Ξενώνας Τραϊανούπολης, λεπτομέρεια σύνδεσης ενδοδαπέδιου συστήματος.

Figure 4: Traianoupolis Hostel, sub-floor system connection detail.

4.2. Δημαρχείο Πυλαίας

Η θέρμανση και ο κλιματισμός του νέου κτιρίου του Δημαρχείου Πυλαίας γίνεται με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Το σύστημα περιλαμβάνει: α) πεδίο κατακόρυφων εναλλακτών θερμότητας εδάφους που αποτελείται από 21 γεωτρήσεις βάθους 80 μέτρων η κάθε μια και διαμέτρου 6 ιντσών, οι οποίες περιέχουν 1 σωλήνα τύπου U, Φ 40, από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, β) υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας που παρέχουν 215 kW_(c) ψύξη και 155 kW_(th) θέρμανση, και γ) σύστημα θέρμανσης-κλιματισμού χαμηλής θερμοκρασίας από φαν-κόιλ και 2 κεντρικές μονάδες τροφοδοσίας αέρα. Το πεδίο των κατακόρυφων εναλλακτών θερμότητας εδάφους χρηματοδοτήθηκε από το ΚΑΠΕ, ενώ το σύστημα λειτουργεί επιτυχώς από τον Οκτώβριο του 2002.



Εικόνα 5: Άποψη της πρόσοψης του Δημαρχείου Πυλαίας και του χώρου στάθμευσης κατά τη διάρκεια των έργων κατασκευής των κατακόρυφων εναλλακτών εδάφους.

Figure 5: Front side view of Pylaia Town Hall and parking during vertical ground heat exchangers construction works.



Εικόνα 6: Μηχανοστάσιο του Δημαρχείου Πυλαίας με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.

Figure 6: Pylaia Town Hall engineering room with geothermal heat pumps.

4.3. Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου

Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου που βρίσκεται στα Λεγραινά στην Αττική, κοντά στο Σούνιο εγκαινιάστηκε στις 28/11/2003. Η θέρμανση και ο κλιματισμός του γίνεται από συνδυασμό γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και ηλιακών συλλεκτών. Το σύστημα περιλαμβάνει υδρογεώτρηση που παρέχει σχεδόν θαλασσινό νερό, δεξαμενή αποθήκευσης νερού που εξασφαλίζει 6 ώρες αυτονομία, ινβέρτερ για ρύθμιση της παροχής του υπόγειου νερού, εναλλάκτη θερμότητας, δύο υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας ισχύος $100 \text{ kW}_{(th)}$ και $70 \text{ kW}_{(th)}$ τοποθετημένες σε σειρά, φαν-κόιλ, κεντρικές μονάδες τροφοδοσίας αέρα, καθώς και ηλιακούς συλλέκτες για προθέρμανση του αέρα τον χειμώνα. Η μελέτη και η επίβλεψη του έργου έγινε από το ΚΑΠΕ. Η παρακολούθηση και καταγραφή της λειτουργίας του συστήματος έδειξε ικανοποιητική ενεργειακή απόδοση, με συντελεστή απόδοσης (COP) των αντλιών θερμότητας ίσο με 4,3 και 3,91. [3]



Εικόνα 7: Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου, άποψη του κτιρίου κατά τη διάρκεια των έργων.

Figure 7: European Centre for Public Law, view of the building during construction works.



Εικόνα 8: Ευρωπαϊκό Κέντρο Δημοσίου Δικαίου, υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας.

Figure 8: European Centre for Public Law, water source heat pumps.

4.4. Γραφεία ΚΑΠΕ

Το νέο κτίριο γραφείων του ΚΑΠΕ στο Πικέρι Αττικής, το οποίο λειτουργεί εδώ και 4 χρόνια τώρα, θερμαίνεται και κλιματίζεται από γεωθερμική αντλία θερμότητας, υποβοηθούμενη από ηλιακούς συλλέκτες και συστήματα βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Οι ανάγκες του κτιρίου για θέρμανση και κλιματισμό ανέρχονται σε $14,5 \text{ kW}_{(th)}$ και $21,5 \text{ kW}_{(c)}$ αντίστοιχα, και καλύπτονται από υδρόψυκτη αντλία θερμότητας τροφοδοτούμενη από $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ νερό γειτονικής υδρογεώτρησης, θερμοκρασίας $18 \text{ }^\circ\text{C}$, το οποίο κατόπιν επαναδιοχετεύεται στην ίδια γεώτρηση. Το κτίριο, μαζί με το σύστημα θέρμανσης-κλιματισμού μελετήθηκε και κατασκευάστηκε από το ΚΑΠΕ. Το κτίριο λειτουργεί καθημερινά, Δευτέρα έως Παρασκευή, από τις 08:30 το πρωί μέχρι τις 18:00 το απόγευμα, χωρίς να έχει παρουσιαστεί κανένα πρόβλημα υπερθέρμανσης ή ψύξης του υπόγειου νερού.



Εικόνα 9: Άποψη του κτιρίου γραφείων του ΚΑΠΕ.

Figure 9: View of the CRES office building.



Εικόνα 10: Γραφεία ΚΑΠΕ, γεώτρηση που τροφοδοτεί τη γεωθερμική αντλία θερμότητας.

Figure 10: CRES office building, well feeding the geothermal heat pump.



Εικόνα 11: Γραφεία ΚΑΠΕ, μηχανοστάσιο με την αντλία θερμότητας και τον συνοδευτικό μηχανολογικό εξοπλισμό

Figure 11: CRES office building, engineering room with heat pump and accompanying equipment.



Εικόνα 12: Γραφεία ΚΑΠΕ, αερόθερμο δαπέδου τροφοδοτούμενο από τη γεωθερμική αντλία θερμότητας.

Figure 12: CRES office building, fan-coil of floor type, fed by the geothermal heat pump.

4.5. Κτίριο των Μεταλλειολόγων στην Πολυτεχνειούπολη του ΕΜΠ

Οι ανάγκες για θέρμανση και κλιματισμό του κτιρίου των Μεταλλειολόγων στην Πολυτεχνειούπολη του ΕΜΠ στην Αθήνα, που ανέρχονται αντίστοιχα σε $1000 \text{ kW}_{(th)}$ και $700 \text{ kW}_{(c)}$, καλύπτονται μερικά από σύστημα δύο γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Αυτό περιλαμβάνει υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας τροφοδοτούμενες με νερό θερμοκρασίας $18-22 \text{ }^\circ\text{C}$, προερχόμενο από συνδυασμό υδρογεώτρησης βάθους 280 m και παροχής $35 \text{ m}^3/\text{h}$ και πεδίου 13 κατακόρυφων υπόγειων εναλλακτών θερμότητας. Ο κάθε κατακόρυφος

εναλλάκτης αποτελείται από σωλήνα πολυαιθυλενίου τύπου U Φ32, τοποθετημένο εντός γεώτρησης βάθους 90 m και διαμέτρου 8½ ίντσες. Η υδρογεώτρηση παρέχει το 80% της γεωθερμικής ενέργειας στις αντλίες θερμότητας, ενώ οι υπόγειοι εναλλάκτες το υπόλοιπο 20%. Το γεωθερμικό σύστημα παρέχει 526 kW_{th} θέρμανσης και 461 kW_(c) ψύξης. Η μονάδα έχει εγκατασταθεί με χρηματοδότηση από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα THERMIE, και συντονιστή έργου το ΚΑΠΕ. Μετρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια των αρχικών δοκιμών και της λειτουργίας του συστήματος για θέρμανση και κλιματισμό, έδειξαν ότι και οι δύο αντλίες θερμότητας λειτουργούν με συντελεστή COP = 3,3-3,5 [4].



Εικόνα 13: Κτίριο Μεταλλειολόγων, άποψη της υδρογεώτρησης (εμπρός) και του θερμαινόμενου-κλιματιζόμενου κτιρίου (βάθος).

Figure 13: Mining engineering building, view of the water well (in front), and of the heated-cooled building (back).



Εικόνα 14: Κτίριο Μεταλλειολόγων, κατακόρυφοι εναλλάκτες θερμότητας εδάφους κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Figure 14: Mining engineering building, vertical ground heat exchangers during construction.



Εικόνα 15: Κτίριο Μεταλλειολόγων, συλλέκτες νερού από-προς τους εναλλάκτες εδάφους, πίσω όψη.

Figure 15: Mining engineering building, water collectors from-to the ground heat exchangers, back view.



Εικόνα 16: Κτίριο Μεταλλειολόγων, συλλέκτες νερού από-προς τους εναλλάκτες εδάφους: εμπρός όψη.

Figure 16: Mining engineering building, water collectors from-to the ground heat exchangers, front view.

5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

5.1. Οικονομικά οφέλη

Η ηλεκτροπαραγωγή από γεωθερμία ανταγωνίζεται επιτυχώς την ηλεκτροπαραγωγή από πετρέλαιο ντίζελ. Η θερμότητα που παράγεται από γεωθερμικά ρευστά είναι σημαντικά φθηνότερη από εκείνη που παράγεται από την καύση πετρελαίου θέρμανσης, ακόμη και από εκείνη που παράγεται από την καύση φυσικού αερίου.

Λόγω της σταθερότητας της θερμοκρασίας του εδάφους σε μερικά μέτρα βάθος καθόλη τη διάρκεια του έτους, και της μικρής διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του εδάφους και των

εσωτερικών χώρων, η χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας για θέρμανση-κλιματισμό, έχει 30% μικρότερο κόστος λειτουργίας από τα καλύτερα αερόψυκτα συστήματα, κόστος συντήρησης μόλις το 1/3 εκείνου των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης-κλιματισμού, και σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής που ανέρχεται σε 25-30 χρόνια.

5.2. Περιβαλλοντικά οφέλη

Ένα σύστημα χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή ή για θερμικές εφαρμογές, εφόσον έχει σχεδιαστεί και υλοποιηθεί σωστά, δεν ρυπαίνει το περιβάλλον. Επομένως, τα περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι σημαντικά και εντοπίζονται στην αποφυγή έκλυσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων αέριων ρύπων που εκλύονται από την καύση συμβατικών καυσίμων.

Όσον αφορά τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, αυτές καταναλώνουν 30% λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από τα καλύτερα αερόψυκτα συστήματα με αντίστοιχη μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η αντίστοιχη μείωση εκπομπών CO₂ από ένα σύστημα συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο θέρμανσης ή φυσικό αέριο) ανέρχεται σε 30% περίπου.

5.3. Κοινωνικά οφέλη

Τα κοινωνικά οφέλη από τη χρήση γεωθερμικών συστημάτων προέρχονται από το γεγονός ότι η γεωθερμία αποτελεί ανανεώσιμη και εγχώρια μορφή ενέργειας. Περιλαμβάνουν τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και ανάπτυξη σε τοπικό επίπεδο για την εγκατάσταση των γεωθερμικών μονάδων. Σε Εθνικό-Ευρωπαϊκό επίπεδο, περιλαμβάνουν μείωση της εξάρτησης της κοινωνίας από εισαγόμενα καύσιμα με παράλληλη απελευθέρωση ιδιωτικών κεφαλαίων, που μπορούν να διατεθούν για επενδύσεις και βελτίωση της ανταγωνιστικότητας, παράγοντες που έμμεσα οδηγούν στη μείωση της ανεργίας και την οικονομική ανάπτυξη.

6. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

6.1. Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας

Όσον αφορά τη γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας, και ανάλογα με την ποιότητα του παραγόμενου γεωθερμικού ρευστού, είναι δυνατόν να παρουσιαστούν τεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με α) αποθέσεις αλάτων ανθρακικού ασβεστίου, β) διάβρωση, γ) διάθεση των απορριπτόμενων ρευστών, και δ) παρουσία μικρών ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα διαλυμένων στο γεωθερμικό ρευστό.

Η αντιμετώπιση των αποθέσεων αλάτων γίνεται με χημική επεξεργασία του γεωθερμικού ρευστού με προσθήκη μικρών ποσοτήτων ανασταλτικών προς τις αποθέσεις ουσιών, ή εναλλακτικά με τακτικό μηχανικό καθαρισμό των γεωτρήσεων και των σωληνώσεων.

Η αντιμετώπιση των διαβρώσεων γίνεται με κατάλληλη επιλογή υλικών, με κατάλληλο σχεδιασμό των δικτύων, με την εφαρμογή μεθόδων αντιδιαβρωτικής προστασίας, καθώς και με χημική επεξεργασία του γεωθερμικού ρευστού με προσθήκη μικρών ποσοτήτων ανασταλτικών προς τη διάβρωση ουσιών.

Προβλήματα διάθεσης των απορριπτόμενων ρευστών επιλύονται με επαναδιοχέτευσή τους στους υδροφόρους ορίζοντες από προήλθε μέσω γεώτρησης επανεισαγωγής.

Σε ορισμένα γεωθερμικά πεδία είναι δυνατόν να υπάρχει διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα στο γεωθερμικό ρευστό σε ποσότητα ίση με το 1/10 από εκείνο που εκλύεται από την καύση ισοδύναμης ποσότητας ορυκτών καυσίμων, και το οποίο απομακρύνεται με τη βοήθεια ενός διαχωριστή.

6.2. Γεωθερμία Υψηλής Ενθαλπίας

Όσον αφορά τη γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας, εκτός από όσα αναφέρονται στο κεφάλαιο 6.1, είναι δυνατόν να παρουσιαστούν και προβλήματα που οφείλονται στην παρουσία διαλυμένων στερεών ή πολύ μικρών ποσοτήτων υδρόθειου στον ατμό, το οποίο του προσδίδει χαρακτηριστική οσμή θειαφίου. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού γίνεται ως εξής:

- με κατάλληλο σχεδιασμό της γεωθερμικής μονάδας χωρίς διαφυγές ατμού προς το περιβάλλον, με εξαίρεση τις βαλβίδες ασφαλείας
- με συμύκνωση του ατμού και επανεισαγωγή του στους βαθείς υδροφόρους από όπου προήλθε
- με διοχέτευση των μη συμυκνούμενων αερίων στους πύργους ψύξεως όπου αραιώνονται με μεγάλες ποσότητες αέρα μέχρι το σημείο που να μην εκλύεται καμία οσμή
- σε περίπτωση που τα πιο πάνω μέτρα δεν επαρκούν, με χημική επεξεργασία των μη συμυκνούμενων αερίων

6.3. Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Όσον αφορά τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, όλα τα τεχνικά θέματα είναι γνωστά στους γεωλόγους και τους μηχανικούς, ενώ εντοπίζονται τα εξής προβλήματα εμπορικής φύσεως τα οποία περιορίζουν την ανάπτυξη της αγοράς:

- Καθώς οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας δεν έχουν καθιερωθεί ακόμη, πολύ εν δυνάμει χρήστες διστάζουν να τις επιλέξουν θεωρώντας τις ως πειραματική τεχνολογία.

- Οι προμηθευτές συμβατικών συστημάτων θέρμανσης-κλιματισμού δεν ενδιαφέρονται να διαθέσουν συστήματα που δεν γνωρίζουν καλά, και όπου υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα ως προς το κέρδος που θα τους αποφέρουν.
- Υπάρχουν πολύ λίγες εξειδικευμένες εταιρείες και έμπειρο προσωπικό για διάνοιξη γεωτρήσεων και κατασκευή κατακόρυφων εναλλακτών εδάφους.

7. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ : Ν.3175/2003

Γεωθερμικό δυναμικό θερμοκρασίας άνω των 25°C

Η γεωθερμική ενέργεια αναγνωρίζεται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, ενώ παράλληλα υπάγεται στον μεταλλευτικό κώδικα. Σύμφωνα με τον μεταλλευτικό κώδικα, τα δικαιώματα έρευνας και εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας, εφόσον αντιστοιχεί σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 25 °C, ανήκουν στο Ελληνικό δημόσιο. Το Ελληνικό δημόσιο αναθέτει τα δικαιώματα έρευνας και εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας στους ενδιαφερόμενους με δημόσιο πλειοδοτικό διαγωνισμό σύμφωνα με τις διατάξεις των υπουργικών αποφάσεων:

- ΥΑ Δ9Β/Φ166/οικ8411/ΓΔΦΠ2373/117//6.5.2005 (ΦΕΚ 635 Β): Όροι και διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος του Δημοσίου για έρευνα και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού και της εν γένει διαχείρισης των γεωθερμικών πεδίων της Χώρας.
- ΥΑ Δ9Β/Φ166/12647/ΓΔΦΠ3557/193//8.7.2005 (ΦΕΚ 1012 Β): Χαρακτηρισμός και υπαγωγή σε κατηγορίες των Γεωθερμικών Πεδίων της Χώρας.

Αρμόδια αρχή για τις γεωθερμικές εκμισθώσεις είναι το Υπουργείο Ανάπτυξης για θερμοκρασία μεγαλύτερη από 90 °C, και οι Περιφέρειες για θερμοκρασία 25-90 °C. Οι

παραχωρήσεις για έρευνα γεωθερμικού δυναμικού αναθέτονται για 5 έτη με δικαίωμα παράτασης 2 ακόμη έτη, ενώ για εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας για 25 έτη με δυνατότητα παράτασης για άλλα 5 έτη. Ο εκμισθωτής γεωθερμικού δυναμικού καταβάλλει μίσθωμα στο Ελληνικό δημόσιο ίσο με 5-10% της ισοδύναμης αξίας του φυσικού αερίου, ενώ σε περίπτωση που έχουν αναπτυχθεί γεωθερμικές υποδομές από κρατικούς φορείς προβλέπεται και πάγιο μίσθωμα.

Οι άδειες ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμική ενέργεια χορηγούνται από το Υπουργείο Ανάπτυξης ύστερα από δημόσιο διαγωνισμό και αξιολόγηση των προσφορών από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. Σύμβαση για πώληση της γεωθερμικής ενέργειας υπογράφεται μεταξύ του εκμισθωτή του γεωθερμικού δυναμικού και του κατόχου της άδειας ηλεκτροπαραγωγής.

Επίσης επιτρέπεται στον εκμισθωτή γεωθερμικού δυναμικού να πουλάει θερμική ενέργεια μέσω δικτύου τηλεθέρμανσης. Η σχετική άδεια διανομής θερμικής ενέργειας χορηγείται από το Υπουργείο Ανάπτυξης αφού συμβουλευτεί την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. Ανάλογα με τη κρίση του Υπουργείου, είναι δυνατόν να γίνει πλειοδοτικός διαγωνισμός.

Το Υπουργείο Ανάπτυξης διατηρεί το δικαίωμα να διακηρύξει ότι τα δικαιώματα συγκεκριμένων γεωθερμικών παραχωρήσεων υπερισχύουν εκείνων των μεταλλευτικών ή λατομικών ορυκτών, να διευθετεί διαφορές μεταξύ χρηστών γεωθερμικής ενέργειας και θερμών πηγών, καθώς και να περιορίσει συγκεκριμένη γεωθερμική εκμίσθωση.

Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Για την εκμετάλλευση του αβαθούς γεωθερμικού δυναμικού θερμοκρασίας μικρότερης από 25 °C με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, δεν απαιτείται εκμίσθωση από την Πολιτεία,

αλλά έκδοση σχετικής άδειας από τις Νομαρχίες σύμφωνα με τις διατάξεις της υπουργικής απόφασης:

- ΥΑ Δ9Ν,Δ/Φ166/οικ18508/5552/207//19.10.2004 (ΦΕΚ 1595 Β)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καρύτσας Κ. και Μενδρινός Δ., (2004): «Αξιοποίηση της Γεωθερμικής Ενέργειας στην Ελλάδα και στην Ευρωπαϊκή Ένωση». Παρουσιάστηκε στο 10ο διεθνές συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Απρίλιος.
2. Fytikas M., Andritsos N., Dalabakis P., Kolios N. (2005): «Greek Geothermal Update 2000-2004». Proceedings (CD-ROM), World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005, paper No 0172.
3. Karagiorgas M., Mendrinis D., and Karytsas C., (2004): «Solar and Geothermal Heating and Cooling of the European Centre for Public Law Building in Greece», Renewable Energy Journal, Vol. 29, No. 4, pp. 461-470, April.
4. Karytsas C., Mendrinis D., Fytrolakis N., and Krikis N. (2002): «Heating and Cooling of the Mining-Electrical Engineering Building at the NTUA Campus with Geothermal heat Pumps.» Proceedings, International Workshop on «Possibilities of Geothermal Energy Development in the Aegean Islands Region», Geotherm 2002, September 5-8, Milos Island, Greece, pp. 194-205.
5. Sanner B., Karytsas C., Mendrinis D., and Rybach L., (2003): «Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe», Geothermics, Vol. 32, 579-588 pp., Elsevier.

GEOHERMAL ENERGY, GEOHERMAL HEAT PUMPS, CRES EXPERIENCE

Dimitrios Mendrinou¹

Constantine Karytsas²

Geothermal energy is the heat of the earth. It includes hot dry rock, the exploitation of which is in experimental stage, the high enthalpy geothermal fields which are mainly exploited for power generation, the low enthalpy geothermal fields which are mainly exploited for heating of buildings, greenhouses and soil and thermal baths, and shallow water bearing horizons and soil exploited for heating and cooling with geothermal heat pumps. Overall cost of geothermal power generation, including capital amortization and cost of money, amounts at 0.05-0.09€/kWh_(e), of thermal applications at 0.005-0.035€/kWh_(th), and of geothermal heat pumps at 0.038-0.048€/kWh. The corresponding markets (2002) in European Union include 720MW_(e) power generation and 1650MW_(th) thermal applications with 5% annual growth rate, and 3340MW_(th) geothermal heat pumps with 30% annual growth rate. In Greece, there are 69MW_(th) thermal applications and baths and ~100 geothermal heat pump units. Selected applications include the Traianoupolis spa hostel, the Town Hall of Pylaia, the European centre for public law, the offices of the Centre for Renewable Energy Sources (CRES) and the mining engineering building of National Technical University of Athens

¹ Engineer, Mining-Metallurgical, Geothermal
Geothermal Department
Centre for Renewable Energy Sources
19^o km Marathon ave, 19009 Pikermi Attikis, Greece

² Dr. Geothermal Engineering Geologist
Head of Geothermal Department
Centre for Renewable Energy Sources
19^o km Marathon ave, 19009 Pikermi Attikis, Greece

(NTUA). Geothermal energy benefits are environmental, financial and social. Main problems related to the exploitation of high and low enthalpy geothermal energy are associated with the chemical composition of the liquid and steam phases, which can be effectively solved by reinjection, eliminating steam emissions, proper plant design and chemical treatment of the fluid. Market barriers associated with geothermal heat pumps are mainly of commercial nature. A new legal framework for geothermal energy use in Greece has been completed recently.