

Πρακτικά	δου	Συνεδρίου	Μάϊος	1992
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ.	XXVIII/2	σελ.	Αθήνα
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.		551-573	1993
			pag.	Athens

## ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΟΜΑΛΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Ι.ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΑΚΗΣ

### Σύνοψη

Η ενέργεια, που αποδίδεται από την ομαλή γεωθερμική βαθμίδα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επωφελώς για τα κτίρια στην Ελλάδα με τη μορφή ζεστού νερού από βάθη 1.000-2.500 m και με μορφή αβαθούς θερμικής ενέργειας με τη βοήθεια αντλίας θερμότητας για θέρμανση ψύξη.

Οι ελληνικές κλιματικές συνθήκες είναι πολύ ευνοϊκές για την εκμετάλλευση της δευτέρης μορφής, η οποία μπορεί να αποφέρει ενεργειακό και περιβαλλοντικό όφελος ακόμη και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

### Summary

The normal geothermal energy can be used profitably in Greece by applying two types of exploitation systems:

1. With 1000-2500 m deep bore holes, which can yield warm water with temperatures ranging from 50<sup>o</sup>-100<sup>o</sup>C. This type has the disadvantage of high initial research and bore hole expenses connected with a great risk of failure. In case of success the heating energy of the deep ground water can be used for district heating and production of domestic warm water.
2. With 50-200m deep bore holes, in which we can obtain normal geothermal energy contained in the ground waters and/or in the rocks. The temperatures in these media and depths range in Greece between 15<sup>o</sup>-20<sup>o</sup>C and are very suitable to heat and cool buildings and produce domestic warm water by means of heat pumps. In case of a bore hole with a suffi-

### Utilisation of normal geothermal energy in Greece.

J. Papageorgakis, Geologist, Professor of N.T.U.A., Vakhou 7,  
Ag. Paraskevi, 153 42 Athens.

cient ground water yield a water pump is needed to feed the heat pump. In case of a bore hole with no ground water exploitable for its heat content a vertical earth heat exchanger is used. This is a closed water circuit which absorbs the geothermal energy from the first tens or hundreds of meters of the rock strata and feeds the heat (geothermal) pump.

The earth coupled heat pump systems of type 2 are expected to be adequately efficient in the climatic and shallow geothermal conditions of Greece and can be used for individual dwellings and buildings of any kind. Their high initial installation costs are compensated by their low functional and maintenance costs. But the unquestionable profits of these systems, are:

- the energy saving, as their Coefficient of Performance (COP = ratio of produced heat energy to consumed electrical energy) is estimated to be greater than 3:1 in Greece.
- the use of a renewable energy source, which is environmentally pure and everywhere-everytime steadily flowing and therefore available also in regions requiring urgently pure energy substitutes for the pollutant mineral fuels.

In the region of Attica ground waters of the neogene and quaternary strata and karst waters of the metamorphic and non-metamorphic carbonate rocks can be used as heating and cooling energy sources. In particular the thickly populated coastal zones include aquifers of unused brackish waters, which usually have high yields and can cover the energy demands of the buildings by means of heat pumps. Otherwise the extensive application of vertical earth heat exchangers in regions lacking exploitable ground waters will be also advantageous and must be pursued. A vertical earth heat exchanger, the first in Greece, is now being installed in Agios Dimitrios of Koropi to heat and cool a new house.

## Περίληψη

Η ομαλή γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην Ελλάδα επωφελώς με εφαρμογή δύο τύπων συστημάτων εκμετάλλευσης:

1. Με γεωτρήσεις βάθους 1000-2500 m, οι οποίες μπορούν να παρέχουν ζεστό νερό με θερμοκρασίες 50<sup>o</sup>-100<sup>o</sup>C. Ο τύπος αυτός έχει το μειονέκτημα του υψηλού αρχικού κόστους ερευνητικών και γεωτρητικών εργασιών, που μάλιστα, συνδέονται με μεγάλο ρίσκο αποτυχίας. Σε περίπτωση επιτυχίας η θερμική ενέργεια του βαθιού υπόγειου νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τηλεθέρμανση και για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.
2. Με γεωτρήσεις βάθους 50-200m, στις οποίες μπορούμε να αξιοποιήσουμε την ομαλή γεωθερμική ενέργεια την περιεχομένη στα υπόγεια νερά και/ή στα πετρώματα. Οι θερμοκρασίες σ' αυτά τα μέσα και βάθη κυμαίνονται στην Ελλάδα από 15<sup>o</sup>-20<sup>o</sup>C και είναι πολύ κατάλληλες για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης με τη βοήθεια αντλιών θερμότητας. Σε περίπτωση γεώτρησης χωρίς υπόγειο νερό εκμεταλλεύσιμο για το θερμικό του περιεχόμενο χρησιμοποιείται ο γεωθερμικός συλλέκτης (ή εναλλάκτης).

Αυτός είναι ένα κλειστό κύκλωμα νερού, το οποίο απορροφά τη γεωθερμική ενέργεια από τις πρώτες δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα των lithολογικών σχηματισμών και την μεταφέρει στην αντλία θερμότητας.

Τα συστήματα του τύπου 2, δηλ. των αντλιών θερμότητας των συνδεδεμένων με τη γη, αναμένεται να είναι αρκετά αποδοτικά στις κλιματικές και αβαθείς γεωθερμικές συνθήκες του ελληνικού χώρου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μονοκατοικίες και άλλα κτίρια. Το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης μπορεί να αντισταθμιστεί με τις χαμηλές δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης. Αλλά τα αναμφίβολα οφέλη των συστημάτων αυτών είναι:

- η εξοικονόμηση ενέργειας, αφού ο βαθμός απόδοσης (COP), δηλ. ο λόγος της παραγομένης προς την καταναλισκόμενη ποσότητα ενέργειας εκτιμάται, ότι υπερβαίνει το 3:1 στην Ελλάδα.
- η χρήση μιας ανανεώσιμης ενεργειακής πηγής, η οποία είναι περιβαλλοντικά καθαρή, παντού και πάντοτε παρούσα, με σταθερή ισχύ και, συνεπώς, διαθέσιμη ακόμη και σε περιοχές που έχουν άμεση ανάγκη αντικατάστασης των ρυπογόνων καυσίμων με καθαρά ενεργειακά υποκατάστατα.

Στην περιοχή της Αττικής τα υπόγεια νερά των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών και τα καρστικά νερά των μεταμορφωμένων και μη πετρωμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγές θερμικής και ψυκτικής ενέργειας. Ειδικότερα στις πυκνοκατοικημένες παράκτιες ζώνες υφίστανται υπόγειοι υδροφορείς αχρησιμοποίητων υφάλμυρων νερών, συχνά με μεγάλες παροχές, οι οποίοι μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων με τη βοήθεια αντλιών θερμότητας. Εξάλλου, η εκτεταμένη εφαρμογή γεωθερμικών συλλεκτών σε περιοχές χωρίς εκμεταλλεύσιμα υπόγεια νερά θα είναι επίσης επωφελής και πρέπει να επιδιωχθεί.

Ενός γεωθερμικός συλλέκτης, ο πρώτος στην Ελλάδα, ετοιμάζεται να κατασκευασθεί στον Άγιο Δημήτριο Κορωπίου για θέρμανση-ψύξη νέας κατοικίας.

## 1. Εισαγωγή

Από τις ανανεώσιμες και περιβαλλοντικά καθαρές ενεργειακές πηγές η ηλιακή, η γεωθερμική και η αιολική έχουν αποκτήσει μετά την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του 1970 ένα σημαντικό ενδιαφέρον για την κάλυψη ενός μέρους του ενεργειακών αναγκών, καθώς και για τον περιορισμό της ρύπανσης του φυσικού περιβάλλοντος που προκαλεί η χρήση των καυσίμων.

Εκτός από την περίπτωση της υδραυλικής ενέργειας, στην Ελλάδα δεν έχει επιχειρηθεί ακόμη, πέρα από ωρισμένες πειραματικές προσπάθειες, να γίνει μία μελέτη εισαγωγής στο ενεργειακό μας σύστημα των παραπάνω ανανεώσιμων πηγών, που αφθονούν στη χώρα μας. Το οξύ ενεργειακό μας πρόβλημα προσπαθούμε να το λύσουμε βασιζόμενοι κυρίως στα ρυπογόνα καύσιμα, δηλαδή στους ορυκτούς άνθρακες, στα πετρέλαια και στο φυσικό αέριο. Ειδικότερα το τελευταίο, που θα εισάγεται προσεχώς σε μεγάλες ποσότητες από το

εξωτερικό, θα παίξει στο ενεργειακό μας σύστημα σημαντικό ρόλο και ελπίζουμε, ότι με αυτό θα καλύψουμε μεγάλο μέρος των ενεργειακών μας αναγκών και θα περιορίσουμε τη ρύπανση της ατμόσφαιράς μας.

Το φυσικό αέριο όμως, πέρα από τις εκατοντάδες δισεκατομμυρίων δραχμών, κυρίως σε συνάλλαγμα, που θα μας στοιχίσει, έχει και αυτό τα μειονεκτήματά του, κυρίως στο γεγονός της συμμετοχής του στην αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Με τη νέα τεχνολογία αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ηλιακής, αιολικής και γεωθερμικής ενέργειας θα ήταν δυνατό να καλύψουμε ένα σημαντικό ποσοστό από τις ενεργειακές μας ανάγκες χωρίς τα παραπάνω προβλήματα και μειονεκτήματα του φυσικού αερίου.

Θα αντιπαινει κανείς, ότι και στις τεχνολογικά αναπτυγμένες χώρες το ποσοστό των ενεργειακών αναγκών, που καλύπτεται από τις πηγές αυτές, είναι πολύ μικρό έως ασήμαντο. Εν τούτοις η διαπίστωση αυτή ισχύει για το παρόν. Στην πραγματικότητα στις χώρες αυτές γίνονται εκτεταμένες έρευνες και προσπάθειες, ώστε μετά 10-20 χρόνια να περιορίσουν σημαντικά τη χρήση των ρυπογόνων καυσίμων με τις καθαρές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στη χώρα μας επειδή:

- α) Εχουμε μεγάλη ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και συναλλάγματος
- β) Εχουμε σοβαρά προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα καύσιμα και
- γ) Διαθέτουμε άφθονη ηλιακή, αιολική και γεωθερμική ενέργεια

επιβάλλεται να εφαρμόσουμε βραχυχρόνια και μακροχρόνια προγράμματα, άμεσης εφαρμογής των ήδη γνωστών τεχνολογιών εκμετάλλευσης των πηγών αυτών με στόχους:

1. Την παραγωγή και χρήση καθαρής ενέργειας
2. Την αφομοίωση της ξένης και ανάπτυξη εγχώριας σχετικής τεχνολογίας, που σημαίνει απόκτηση γνώσης και εμπειρίας από τους μηχανικούς και τεχνικούς μας, και
3. Την ενημέρωση του κοινού και των διαφόρων οικονομικών και επιχειρηματικών φορέων πάνω στα πλεονεκτήματα των πηγών αυτών, ώστε να συμβάλουν ενεργά στη διάδοση της εκμετάλλευσής τους.

## **2. Η γεωθερμική ενέργεια**

Η λιγότερο αισθητή και αντιληπτή, αλλά και η περισσότερο παρεξηγημένη (στην Ελλάδα) από τις τρεις κατηγορίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η γεωθερμική ενέργεια. Είναι πανταχού παρούσα, όμως νομίζουμε, λανθασμένα, ότι εκμεταλλεύσιμη είναι μόνο στη Μήλο, Νίσυρο, Λέσβο, Σαντορίνη, Νέα Κεσσάνη κ.ά. δηλ. σε περιοχές ηφαιστειογενείς ή με ειδικές γεωλογικές συνθήκες. Σ' αυτές βρίσκουμε υπόγεια νερά πολύ ζεστά, συνήθως με πολλά διαλυμένα άλατα και αέρια, που όταν τα φέρουμε στην επιφάνεια, μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα ρύπανσης του περιβάλλοντος, τα οποία όμως με τις νέες

τεχνολογίες αντιμετωπίζονται ριζικά. Επίσης, οι περιοχές αυτές βρίσκονται συνήθως μακριά από μεγάλα πληθυσμιακά και βιομηχανικά κέντρα κατανάλωσης της θερμικής τους ενέργειας. Ετσι, για να αξιοποιήσουμε την ενέργεια των περιοχών αυτών, επιδιώκουμε:

1. Να αναπτύξουμε θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες, γεωργικές εφαρμογές, κ.ά.
2. Να εντοπίσουμε υπόγεια νερά με θερμοκρασίες πολύ υψηλές, ώστε να αποδίδουν ατμό ικανό να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα, όπως π.χ. στη Μήλο.

Προς τις κατευθύνσεις αυτές γίνονται έρευνες και έχουν δαπανηθεί τεράστια χρηματικά ποσά στη διάρκεια των τελευταίων 15 ετών, αλλά κάποια εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής βρίσκεται ακόμη σχεδόν στο μηδέν και η ζημιά, που υφιστάμεθα ξοδεύοντας για έρευνες χωρίς ακόμη κανένα όφελος, είναι ανυπολόγιστη.

Εάν κάνουμε μια σύγκριση ως προς το θέμα της εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας με μιά χώρα πιό μικρή από τη δική μας, την Ελβετία, που στερείται εντελώς γεωθερμικής ενέργειας, παρόμοιας με αυτή που εμείς τόσα χρόνια προσπαθούμε ανεπιτυχώς να αξιοποιήσουμε, η διαφορά είναι συντριπτική, όπως θα διαπιστώσουμε παρακάτω. Διότι στην Ελβετία (Burkart, R. et al. 1989, Descoeudres, F. 1982, Rybach, L. 1987, Schwanner, I. et al. 1982, Hopkirk, R. et al. 1985) έχουν αναπτύξει σε υψηλό βαθμό την εκμετάλλευση της ομαλής γεωθερμικής ενέργειας, αυτής δηλ. που έχει μεν χαμηλές θερμοκρασίες, είναι όμως περιβαλλοντικά εντελώς καθαρή, είναι ανεξάντλητη και πανταχού παρούσα και συνεπώς διαθέσιμη εκεί που την χρειαζόμαστε, ακόμη και κάτω από το σπίτι μας ή τον οικισμό μας.

Σήμερα, τόσο η ομαλή γεωθερμική ενέργεια, που προέρχεται από την κανονική γεωθερμική βαθμίδα των 3,3°C περίπου ανά 100μ., όσο και αυτή που προέρχεται από ελαφρά αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα, μπορούν να αξιοποιηθούν με τη χρήση αντλίας θερμότητας, με την οποία είναι δυνατόν να εκμεταλλευθούμε με οικονομικό όφελος ακόμη και θερμοκρασίες του υπεδάφους 8°-10°C. Στις χώρες της Κεντρικής και Βόρειας Ευρώπης και στον Καναδά σ' αυτές τις θερμοκρασίες βασίζεται η λειτουργία των γεωθερμικών αντλιών (geothermal heat pumps), δηλαδή των αντλιών θερμότητας που εκμεταλλεύονται την υπεδασφική θερμική ενέργεια (Lund, J. 1988, 1989, Campinchi, J. 1982, Tengborg, P., 1985, Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 1984).

Σε βάθη 0-150μ. έχουμε αποθηκευμένη θερμική ενέργεια, που προέρχεται και ανανεώνεται συνεχώς από δύο πηγές, την γεωθερμική, που βρίσκεται στο εσωτερικό της Γης και την ηλιακή, που με την ακτινοβολία της διοχετεύει θερμική ενέργεια μέσω της εδαφικής επιφάνειας στο υπέδαφος. Λόγω του κλίματος και της γεωγραφικής θέσεως της χώρας μας η ποσότητα ηλιακής θερμικής ενέργειας, που αποθηκεύεται στο υπέδαφος αυτής, είναι πολύ μεγαλύτερο απ' ό τι στις βορειότερες χώρες. Ετσι, οι υπεδασφικές θερμοκρασίες σε βάθη 0-150μ. είναι εδώ 15°-22°C, που είναι πολύ πιο ευνοϊκές για την απόδοση των γεωθερμικών αντλιών και δίνουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης πολύ μεγαλύτερων ποσοτήτων γεωθερμικής ενέργειας.

Γίνεται φανερό λοιπόν, ότι τα υπεδαφικά στρώματα πετρωμάτων και τα υπόγεια νερά μετωερικής προέλευσης αποθηκεύουν τεράστιες ποσότητες ηλιακής θερμικής ενέργειας, οι οποίες μαζί με την από τα βαθύτερα στρώματα του φλοιού της Γης ανερχόμενη γεωθερμική ενέργεια δημιουργούν ένα ενεργειακό απόθεμα, το οποίο μπορούμε να καλέσουμε υπεδαφικό και το οποίο προσφέρεται για εκμετάλλευση με αντλίες θερμότητας.

Σε βάθη μεγαλύτερα των 150μ. και μέχρι 1.000-2.000μ., μπορούμε να αναζητήσουμε ζεστά υπόγεια νερά και με συνθήκες ομαλής ή ελαφρά αυξημένης γεωθερμικής βαθμίδας. Το θερμικό περιεχόμενο των νερών αυτών μπορούμε να το εκμεταλλευθούμε για διάφορους σκοπούς με άμεση χρήση. Εάν η θερμοκρασία τους είναι κάτω από 50°C και δεν είναι αρκετή για κάποιο σκοπό, π.χ. θέρμανση χώρων ή για κάποια ανάγκη βιομηχανική ή βιοτεχνική, παρεμβάλλουμε μία αντλία θερμότητας, ώστε να αποκτήσει το νερό την απαιτούμενη θερμοκρασιακή στάθμη (Ausseur, J. et al., 1982, Bohi, H., 1991).

### 3. Εκμετάλλευση της ομαλής γεωθερμικής ενέργειας

Στην Τεχνολογία κάθε θερμική ενέργεια που λαμβάνεται από το υπεδάφος ή τα βαθύτερα στρώματα της Γης, καλείται γεωθερμική, έστω και εάν μέρος αυτής είναι ηλιακής προέλευσης. Επίσης μια γεωθερμική πηγή χαρακτηρίζεται ως χαμηλής θερμοκρασίας ή ενθαλπίας, όταν παρουσιάζει θερμοκρασίες κάτω από 100°C μέχρις 25°C και ως πολύ χαμηλής θερμοκρασίας, όταν είναι κάτω από 25°C.

Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής και πολύ χαμηλής θερμοκρασίας παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα και ορισμένα μειονεκτήματα σε σχέση με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια από πλευράς εκμετάλλευσης. Πλεονεκτήματα:

1. Είναι διαθέσιμη με σταθερή παροχή σ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες και σχεδόν παντού.
2. Οι απαιτήσεις σε χώρο μιας εγκατάστασης εκμετάλλευσης είναι ασήμαντες και δεν δημιουργούν αρχιτεκτονικά ή αισθητικά περιβαλλοντικά προβλήματα.
3. Οι πολύ χαμηλές υπεδαφικές θερμοκρασίες (κάτω των 25°C) σε συνδυασμό με γεωθερμικές αντλίες προσφέρονται για την παραγωγή τόσο ζεστού, όσο και ψυχρού νερού, δηλ. για θέρμανση και ψύξη χώρων (National Center f.Appr.Technology, 1988)

Μειονεκτήματα:

1. Το σχετικά υψηλό αρχικό κόστος της εγκατάστασης που μπορεί να απαιτήσει σημαντικές δαπάνες για γεωτρήσεις και εναλλάκτες θερμότητας.
2. Η μικρή ισχύς ανά μονάδα όγκου υπεδαφικού υλικού.
3. Το υψηλό ρίσκο των βαθειών και συνεπώς δαπανηρών γεωτρήσεων, λόγω της πιθανής αποτυχίας ανεύρεσης επαρκών για εκμετάλλευση παροχών ζεστού υπογείου νερού.

Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας πολύ χαμηλών θερμοκρασιών με γεωθερμικές αντλίες άρχισε στις τεχνολογικά προηγμένες χώρες γύρω στο 1980 μετά την



άνοδο των τιμών πετρελαίου στη δεκαετία του 1970. Μέχρι το 1990 υπήρχε σε λειτουργία σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων με γεωθερμικές αντλίες. Εξ άλλου πολυάριθμες είναι οι πόλεις, μικρές και μεγάλες, στις οποίες τμήματά τους, ακόμη και κεντρικά, θερμαίνονται με κεντρικά δίκτυα (τηλεθέρμανση) από ζεστά νερά που προέρχονται από γεωτρήσεις βάθους 1.000-2.500μ. σε περιοχές με κανονική γεωθερμική βαθμίδα.

Μερικά παραδείγματα:

- \* Στην πεδιάδα του Παρισιού λειτουργούν σήμερα πάνω από 50 βαθιές γεωθερμικές γεωτρήσεις, από τις οποίες περισσότερες από 150.000 κατοικίες εφοδιάζονται με ζεστό νερό για θέρμανση και για τις άλλες οικιακές χρήσεις.
- \* Το γεωθερμικό έργο της νέας πόλης Cergy-Pontoise, 25 χλμ. ΒΔ του Παρισιού, με γεώτρηση βάθους 1530μ. που αποδίδει νερό θερμοκρασίας 55°C με παροχή 180-200μ<sup>3</sup>/ώρα. Το έργο αυτό καλύπτει το 70% των θερμικών αναγκών 2.900 κατοικιών.
- \* Το γεωθερμικό έργο του Bordeaux με γεώτρηση βάθους 1148μ. που αποδίδει νερό θερμοκρασίας 53°C με παροχή 138μ<sup>3</sup>/ώρα και καλύπτει μέρος των θερμικών αναγκών κεντρικής συνοικίας της πόλης.
- \* Το γεωθερμικό έργο του Pessac, προαστίου ΝΔ του Bordeaux, αποτελείται από γεώτρηση βάθους 1000μ., που αποδίδει νερό θερμοκρασίας 48°C με παροχή 150μ<sup>3</sup>/ώρα και καλύπτει τις ανάγκες σε ζεστό νερό 1526 διαμερισμάτων, με μέση ετήσια κατανάλωση 18.815MWh ή 1.483 TlΠ (τόνους ισοδύναμου πετρελαίου).
- \* Στην Ιταλία το θερμικό έργο του Metanopoli, νότια του Μιλάνου, διαθέτει γεώτρηση βάθους 2276μ. που αποδίδει νερό θερμοκρασίας 62°C με παροχή 50μ<sup>3</sup>/ώρα. Το νερό αυτό χρησιμοποιείται για τις ανάγκες οικισμού σε θερμό νερό και αποδίδει καθαρή γεωθερμική ενέργεια 645 TlΠ.
- \* Στο Southampton της Αγγλίας το γεωθερμικό έργο αποτελείται από γεώτρηση βάθους 1887μ. που αποδίδει νερό θερμοκρασίας 74°C με παροχή 43μ<sup>3</sup>/ώρα και καλύπτει το 87% των αναγκών θέρμανσης τμήματος του κέντρου της πόλης που περιλαμβάνει ένα shopping center, γραφεία, σχολεία, ένα ξενοδοχείο, κεντρικά λουτρά και άλλα κτίρια. Το έργο αποδίδει 50.000 GJ/έτος.
- \* Στην Ελβετία λειτουργούσαν μέχρι το 1990 γύρω στις 5.000 γεωθερμικές αντλίες με γεωτρήσεις βάθους συνήθως 80-120μ. για θέρμανση και ζεστό νερό κατοικιών κυρίως (Rybach, L., 1990). Πέραν αυτών συμπληρώνεται το πρώτο γεωθερμικό έργο στο Riehen, κοινότητα βόρεια της Βασιλείας, το οποίο προβλέπεται να λειτουργήσει το 1993. Αυτό βασίζεται σε γεώτρηση βάθους 1547μ. που αποδίδει νερό θερμοκρασίας 60°C με παροχή 55μ<sup>3</sup>/ώρα. Η θερμική του ενέργεια θα χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες σε ζεστό νερό του Συνδέσμου Θέρμανσης της κοινότητας Riehen (για κάπου 1000 κατοικίες). Ο πίνακας 1 δείχνει τις πηγές ενέργειας και τα ποσοστά κάλυψης των θερμικών αναγκών στο υφιστάμενο σήμερα

κοινοτικό έργο του Συνδέσμου και την προβλεπόμενη κάλυψη, όταν ολοκληρωθεί το γεωθερμικό έργο (Bohi, 1991).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1**  
**ΘΕΡΜΙΚΟ ΕΡΓΟ RIEHEN**

Κάλυψη θερμικών αναγκών Συνδέσμου Θέρμανσης Κοινότητας Riehen	Γεωθερμική ενέργεια	Πετρέλαιο	Φυσικό αέριο	Στερεά καύσιμα	Ηλεκτρική ενέργεια
Στο υφιστάμενο σήμερα έργο	—	81%	14%	2%	3%
Μετά την ένταξη του γεωθερμικού έργου (1993)	39%	19%	38%	—	4%

Στον πίνακα αυτόν παρατηρούμε τα εξής:

1. Τη δραστική μείωση των ποσοτήτων των δύο ρυπογόνων πηγών, δηλ. του πετρελαίου και των στερεών καυσίμων (από 83% στο 19%).
2. Την μεγάλη αύξηση του ποσοστού του φυσικού αερίου, που οφείλεται στη χρήση αυτού για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας του έργου, χρήση που, για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος, προτιμήθηκε έναντι του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται από ρυπογόνο πετρέλαιο.

Το γεωθερμικό έργο θα παράγει ετησίως θερμική ενέργεια 12.000MWh. Με τη λειτουργία του έχει εκτιμηθεί, ότι στην ατμόσφαιρα του Riehen θα μειωθούν οι ρυπογόνες εκπομπές του διοξειδίου του θείου κατά 78%, των οξειδίων του αζώτου κατά 77%, του μονοξειδίου του άνθρακα κατά 33%, του διοξειδίου του άνθρακα κατά 53% και του καπνού κατά 83%.

Το γεωθερμικό έργο προβλέπεται να στοιχίσει συνολικά περίπου 25.000.000 ελβετικά φράγκα, δηλ. κάπου 3,5 δισ. δραχμές και χρηματοδοτείται από πόρους της Κοινότητας Riehen και του Καντονίου της Βασιλείας, χωρίς να έχει το πλεονέκτημα της χρηματοδότησης από την Ε.Ο.Κ., αφού η Ελβετία δεν ανήκει σ' αυτήν.

Μετά την πρώτη επιτυχία πολλές άλλες πόλεις της χώρας αυτής, στην οποία λειτουργούν ήδη πάνω από 10 μελετητικές και κατασκευαστικές εταιρίες



ειδικευμένες στις γεωθερμικές γεωτρήσεις, ετοιμάζονται ή μελετούν να κάνουν παρόμοιες γεωτρήσεις. Στο St.Moritz και στη Γενεύη εκτελέσθηκαν το 1991 ερευνητικές γεωτρήσεις βάθους 1600μ. και 2.500μ. αντίστοιχα.

- \* Στη Σουηδία, χώρα πλούσια και με μεγάλη παραγωγή φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας, τα δίκτυα τηλεθέρμανσης των πόλεων είχαν το 1983 μιά παροχή περίπου 40TWh. Η κυβέρνηση, προκειμένου να εφαρμοσθούν συστήματα χρησιμοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, επέβαλε με νόμους περιορισμούς στην κατανάλωση πετρελαίου στα δίκτυα αυτά κατά 75% για τη δεκαετία 1981-90. Έτσι στη Lund, πόλη της νότιας Σουηδίας, 90.000 κατοίκων, στην οποία περίπου το 75% των κτιρίων είναι συνδεδεμένο με δίκτυο τηλεθέρμανσης θερμικής ισχύος 375MW, που κατασκευάσθηκε το 1963 με ενεργειακές πηγές πετρέλαιο και ηλεκτρικό ρεύμα, το 1984 κατακευάσθηκε γεωθερμικό έργο, παρ' όλον ότι η γεωθερμική βαθμίδα της περιοχής είναι κανονική, δηλ. 3°C ανά 100m. Το έργο αποτελείται από 2 γεωτρήσεις άντλησης υπογείου νερού θερμοκρασίας 25°C με συνολική παροχή 700m<sup>3</sup>/h, 2 γεωτρήσεις επανεισαγωγής του νερού και γεωθερμικές αντλίες των 20MW. Το αντλούμενο νερό φθάνοντας στην αντλία θερμότητας έχει θερμοκρασία 21°C, ενώ το νερό επανεισαγωγής έχει θερμοκρασία 5°C. Οι γεωτρήσεις είναι βάθους 630m έως 760m.

Το γεωθερμικό έργο της Lund λειτουργεί από το 1985 και καλύπτει κάπου το 40% των ενεργειακών αναγκών του δικτύου τηλεθέρμανσης της πόλης, στο οποίο, πλην άλλων, χρησιμοποιείται με αντλία θερμότητας και η θερμική ενέργεια υγρών αποβλήτων (Χαλκουτσάκη, 1990).

Η εμπειρία από τη Σουηδία δείχνει, ότι τα γεωθερμικά συστήματα έχουν μόν μάλλον υψηλό κόστος εγκατάστασης (λόγω των γεωτρήσεων), αλλά το κόστος παραγωγής π.χ. στο έργο του Lund είναι 7,5-8 ore/KWh (2,0-2,5 δρχ.), ενώ με boiler πετρελαίου φθάνει 22 ore (6,5 δρχ.). Η ολική δαπάνη του γεωθερμικού έργου της Lund (45 εκατ. σουηδικές κορώνες, δηλ. περίπου 1.350 εκατ. δρχ.) αποσβέστηκε σε τρία έτη, με συνεχή ετήσια λειτουργία (Tengborg, Per., 1985).

Στις Η.Π.Α. και στον Καναδά παρατηρείται ραγδαία αύξηση των εγκαταστάσεων γεωθερμικών αντλιών συνδεδεμένων με γεωθερμικούς εναλλάκτες ή με υπόγεια νερά θερμοκρασίας 5°C έως 30°C. Στις Η.Π.Α. ο αριθμός των εγκαταστάσεων αυτών έφθανε το 1989 τις 110.000 με ισχύ 1.470 MW και ετήσια αύξηση κάπου 25%. Στον Καναδά το ποσοστό αυτό κυμαίνεται τα τελευταία χρόνια μεταξύ 50-100%. Η εντυπωσιακή αύξηση του αριθμού των εγκαταστάσεων οφείλεται κατά μεγάλο μέρος σε διάφορα κίνητρα που δίνουν οι ηλεκτρικές εταιρίες κοινής οφέλειας στους πελάτες τους για να αντικαταστήσουν την ηλεκτρική τους θέρμανση με γεωθερμική αντλία. Έτσι, επιτυγχάνεται και εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση των αιχμών ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος (Lund, J., 1989).

#### 4. Σημερινή κατάσταση στην Ελλάδα

Σε αντίθεση με τις παραπάνω χώρες, στη δική μας, όπου ξοδεύουμε μεγάλες ποσότητες πετρελαίου και ηλεκτρικού ρεύματος για θέρμανση και ψύξη και για παραγωγή ζεστού νερού, συζητάμε χρόνια τώρα για την ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος από τη ρύπανση, δυστυχώς όμως δεν έχουμε ακόμη καν μελετήσει τις δυνατότητες που υπάρχουν για την εκμετάλλευση μιας άφθονης, εγχώριας, περιβαλλοντικά καθαρής και σχεδόν πανταχού παρούσας ενεργειακής πηγής, όπως είναι η γεωθερμική ενέργεια ομαλής έως ελαφρά αυξημένης ενθαλπίας.

Αντίθετα, μέχρι σήμερα έχουμε περιορισθεί μόνο στα ανώμαλα γεωθερμικά πεδία, έχουμε εκτελέσει αρκετές βαθειές γεωτρήσεις και συνεχίζουμε τις έρευνες, χωρίς να είμαστε σίγουροι που θα οδηγήσουν, ότι δεν θα επαναληφθεί το παράδοξο και πρωτοφανές παράδειγμα της Μήλου με το βίαιο σταμάτημα της λειτουργίας της πειραματικής μονάδας των 2MW από τους κατοίκους του νησιού. Έτσι, συνεχίζεται και η άγνοια και η καθυστέρηση στην ανάπτυξη εγχώριας γεωθερμικής τεχνολογίας και η ζημιά στην εθνική οικονομία. Κι' όμως, τα 2 ή 20MW που προσπαθούμε χρόνια τώρα και με τεράστιες δαπάνες να πάρουμε από τη Μήλο, μπορούμε να τα επιτύχουμε εκεί που τα χρειαζόμαστε άμεσα πολύ πιο γρήγορα και με λιγώτερα χρήματα. Το όφελος δεν θα είναι μόνο η καθαρή και δωρεάν ενέργεια από το υπέδαφος της Αττικής, της Θεσσαλονίκης και άλλων πυκνοκατοικημένων περιοχών, αλλά και:

1. Επειδή τα προγράμματα, που θα εφαρμοσθούν, προβλέπουν κυρίως τη χρήση αντλιών θερμότητας νερού-νερού σε αυτόνομες μονάδες θέρμανσης-ψύξης αρχικά σε κατοικίες και στη συνέχεια σε μεγαλύτερα κτίρια, θα αποκτηθεί η απαραίτητη γνώση και εμπειρία από τους τεχνικούς, θα ενημερωθεί το κοινό και θα δημιουργηθούν οι προϋποθέσεις για την ίδρυση εξειδικευμένων μελετητικών και κατασκευαστικών εταιριών για την διάδοση των συστημάτων εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας.
2. Με την εμπειρία του πρώτου σταδίου εφαρμογής, η χρήση της τοπικής γεωθερμικής ενέργειας θα επεκταθεί και σε κτιριακά συγκροτήματα, κατά περίπτωση σε συνδυασμό με συστήματα εκμετάλλευσης και της ηλιακής ενέργειας.
3. Θα αναπτυχθεί η εγχώρια γεωθερμική τεχνολογία, που θα συμβάλλει σημαντικά στην ταχύτερη αξιοποίηση και της γεωθερμικής ενέργειας υψηλών θερμοκρασιών της χώρας μας.

Συνεπώς, πρέπει άμεσα να ενημερωθούν το κοινό, οι τεχνικοί, οι κατασκευαστικές εταιρίες, οι δημόσιες υπηρεσίες, η τοπική αυτοδιοίκηση και γενικά οι οικονομικοί παράγοντες του τόπου για τις μεγάλες δυνατότητες που έχουμε στην Ελλάδα να αξιοποιήσουμε το είδος αυτό εγχώριας ενέργειας, που θα μας προσφέρει οφέλη τόσο οικονομικά, όσο και περιβαλλοντικά.

Η ίδια συλλογιστική μπορεί, ενδεχομένως, να εφαρμοσθεί και για την ηλιακή και την

αιολική ενέργεια, που και αυτές, όπως αναφέραμε, αφθονούν στον τόπο μας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός των δύο ή και των τριών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε συστήματα εκμετάλλευσης, στα οποία οι πηγές θα συνεργάζονται, ώστε να αλληλοεξουδετερώνουν τα μειονεκτήματά τους. Π.χ. στη διάρκεια μακρού χρόνου ηλιοφάνειας (το καλοκαίρι) οι ηλιακοί συλλέκτες θα διοχετεύουν με τη βοήθεια των γεωθερμικών συλλεκτών την πλεονάζουσα ηλιακή θερμική ενέργεια στα πετρώματα του υπεδάφους, όπου αυτή θα αποθηκεύεται ή θα εξουδετερώνει κάποια έντονη θερμοκρασιακή πτώση, που ενδεχομένως θα έχει προκληθεί από μια προηγηθείσα χειμερινή εντατική λειτουργία γεωθερμικών αντλιών. Οι τελευταίες, μαζί με τους γεωθερμικούς συλλέκτες, σε περιόδους νεφώσεων και συνεπώς αδράνειας των ηλιακών συλλεκτών, θα μας προσφέρουν ανετώτερα θερμική ενέργεια από το υπέδαφος, χρησιμοποιώντας και την τεχνητά αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια.

Τα ενεργειακά και τα περιβαλλοντικά μας προβλήματα, όπως έχει τονισθεί από πολλές πλευρές, απαιτούν λύσεις όχι μόνο για τα προσεχή 5-10 χρόνια, αλλά και για τις προσεχείς δεκαετίες, ώστε να μπορέσουμε εμείς και οι επόμενες γενιές μας να περάσουμε ομαλά από τη σημερινή εποχή των ορυκτών ενεργειακών καυσίμων στην αεριανή εποχή, που αναγκαστικά θα έχει απαλλαγεί από τα καύσιμα αυτά. Κι' εμείς εδώ στην Ελλάδα πρέπει να συμμετάσχουμε σ' αυτόν τον αγώνα μαζί με τις ανεπτυγμένες χώρες και να μη επαναπαυόμαστε μακαρίως μόνο στους λιγνίτες και στους εισαγόμενους υδρογονάνθρακες.

## **5. Συστήματα εκμετάλλευσης**

Η κατασκευή συστημάτων εκμετάλλευσης της ομαλής γεωθερμικής ενέργειας είναι δυνατή σήμερα ακόμη και σε κεντρικά και πυκνοδομημένα τμήματα μεγαλοπόλεων σε νέα, καθώς και σε παλαιά κτίρια. Επίσης σε βιοτεχνίες και εργοστάσια που πέρα από τη θέρμανση και ψύξη χρειάζονται και ζεστό νερό.

Οι μεθοδολογίες, που χρησιμοποιούνται, μπορούν να είναι δύο κατηγοριών:

α) Με βαθιές γεωτρήσεις που θα φθάσουν σε βάθη 1000-3000μ. και με την ομαλή γεωθερμική βαθμίδα θα μας δώσουν νερό με θερμοκρασίες 50°-110°C. Η επιτυχία των γεωτρήσεων αυτών εξαρτάται από την παροχή του ζεστού νερού και την σταθερότητα της θερμοκρασίας του. Συνεπώς η μεθοδολογία αυτή είναι και πολύ δαπανηρή και έχει υψηλό ρίσκο αποτυχίας. Προκειμένου να μειωθεί το ρίσκο αυτό είναι αναγκαίο να προηγηθεί λεπτομερής γεωλογική, γεωφυσική, υδρογεωλογική και γεωχημική έρευνα. Επίσης είναι αναγκαίες και βαθιές ερευνητικές γεωτρήσεις, με πρόβλεψη να χρησιμοποιηθούν ως παραγωγικές, εφόσον είναι επιτυχείς, ή, διαφορετικά, να είναι διαθέσιμες για μελλοντική εφαρμογή νέων μεθοδολογιών εκμετάλλευσης, όπως π.χ. της H.D.R. (Hot Dry Rock), που είναι υπό έρευνα και που σκοπό έχουν να αξιοποιήσουν τη γεωθερμική ενέργεια χωρίς την παρουσία της υπόγειας ζεστής υδροφορίας.

β) Με γεωτρήσεις βάθους μέχρις 150m, με τις οποίες εκμεταλλευόμαστε την αβαθή γεωθερμική ενέργεια με αντλίες θερμότητας. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται δύο μέθοδοι:

- I. Η μέθοδος που εκμεταλλεύεται τη θερμική ενέργεια αβαθών υπόγειων νερών και
- II. Η μέθοδος που εκμεταλλεύεται τη θερμική ενέργεια πετρωμάτων μικρού βάθους.

## 6. Γεωθερμική ενέργεια αβαθών υπόγειων νερών

Τα υπόγεια νερά που κυκλοφορούν σε βάθη 15-150μ. έχουν συνήθως θερμοκρασία ίση ή παραπλήσια με την μέση ετησία θερμοκρασία του αέρα του τόπου. Αυτά που κυκλοφορούν σε βάθη 0-15μ. έχουν θερμοκρασία που επηρεάζεται από τις εποχιακές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις της εδαφικής επιφάνειας. Η εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού είναι μηδενική σε βάθος περίπου 15μ. και αυξάνει μειούμενου του βάθους, μέχρις ότου φθάσει βαθμιαία την διακύμανση της εδαφικής επιφάνειας, όταν το νερό αυτό γίνει επιφανειακό. Φυσικά η θερμοκρασία του και η διακύμανσή της επηρεάζονται σημαντικά από τις υπόγειες ροές.

Γεώτρηση βάθους μέχρι 150μ. και σταθερής παροχής 20 m<sup>3</sup>/h μπορεί να μας δώσει εκμεταλλεύσιμη θερμική ενέργεια, όταν το νερό της, θερμοκρασίας λ.χ. 18°C, οδηγηθεί στην αντλία θερμότητας και ψυχθεί σ' αυτήν, π.χ. κατά 5°C (Δtνερού = 18°-13°C = 5°C).

Η αντλία θερμότητας θα έχει παραλάβει τότε θερμική ενέργεια ίση με:  
20.000 l/h X 5°C = 100.000 Kcal/h = 116 KW.

Με θερμικό συντελεστή απόδοσης (Coefficient of Performance for heating) C.O.P.<sub>h</sub> = 4:1 η αντλία θερμότητας θα αποδώσει ζεστό νερό θερμοκρασίας 45°/50°C για θέρμανση και θα έχει ισχύ Q<sub>cond</sub>:

$$C.O.P._h = Q_{cond} / W_{inp} = Q_{cond} / (Q_{cond} - Q_{evap})$$

όπου Q<sub>cond</sub> = ενέργεια συμπυκνωτή, Q<sub>inp</sub> = ενέργεια εισαγομένη (καταναλισκομένη),

$$Q_{evap} = \text{ενέργεια εξατμιστή} = 116 \text{ KW}$$

$$4 = Q_{cond} / (Q_{cond} - 116) \rightarrow Q_{cond} = 155 \text{ KW και } W_{inp} = 39 \text{ KW.}$$

Συνεπώς, η αποδιδόμενη ενέργεια για θέρμανση με Δt = 5°C θα είναι Q<sub>cond</sub> = 155KW,

η αντίστοιχη καταναλισκομένη ισχύς για την αντλία θερμότητας θα είναι W<sub>inp</sub> = 39 KW.

Με την θερμική ισχύ των 155 KW, δηλ. 133.600 Kcal/h μπορούμε να θερμάνουμε

αριθμό διαμερισμάτων συνολικού εμβαδού 1000m<sup>2</sup> περίπου με ισχύ κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος 39KW.

Το ίδιο υπόγειο νερό μπορεί το καλοκαίρι να αποδώσει ψυκτική ενέργεια με αντιστροφή του κυκλώματος της αντλίας θερμότητας. Με Δtνερού=5°C (13°-18°C) θα έχουμε:

$$Q_{\text{cond}} = 20.000 \text{ l/h} \times 5^{\circ}\text{C} = 100.000 \text{ Kcal/h} = 116 \text{ KW}$$

Με ψυκτικό συντελεστή απόδοσης C.O.P.<sub>c</sub> = 5:1 η αντλία θερμότητας θα αποδώσει με

θερμοκρασία νερού στον συμπυκνωτή t<sub>cond</sub> = 25°/30°C

$$\text{C.O.P.}_c = 5 = Q_{\text{evap}} / 116 - Q_{\text{evap}} \rightarrow Q_{\text{evap}} = 97 \text{ KW και } W_{\text{inp}} = 20 \text{ KW.}$$

Συνεπώς, η αποδομένη ψυκτική ενέργεια θα είναι 97KW και η καταναλισκομένη ισχύς 20 KW. Η ενέργεια αυτή είναι αρκετή για να ψύξουμε διαμερίσματα συνολικού εμβαδού άνω των 1000m<sup>2</sup>.

Τα ανωτέρω ποσά ενέργειας μπορούν να αυξηθούν σημαντικά, εφόσον καταστεί δυνατόν να αξιοποιήσουμε την θερμική ενέργεια του υπόγειου νερού της γεώτρησης με Δt μεγαλύτερο, π.χ. 10°C (18°-8°C). Η δυνατότητα αυτή φαίνεται παραγματοποιήσιμη στον ελληνικό χώρο, χωρίς προβλήματα, επειδή η θερμοκρασία του υπόγειου νερού εδώ, λόγω του κλίματος, είναι υψηλή, 16°-20°C, και ο κίνδυνος παγώματος του εδάφους από την λειτουργία της αντλίας θερμότητας πρέπει να θεωρείται ανύπαρκτος.

## 7. Γεωθερμική ενέργεια πετρωμάτων μικρού βάθους

Πρόκειται για τη μέθοδο του γεωθερμικού συλλέκτη ή εναλλάκτη (σχ.1), που έχει ήδη δοκιμασθεί και εφαρμόζεται σε χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης, στις Η.Π.Α. και στον Καναδά. Είναι μια μορφή H.D.R. επειδή δεν χρησιμοποιεί υπόγειο νερό στη λειτουργία του.

Με τη μέθοδο αυτή εκμεταλλευόμαστε τη θερμική ροή, που προκαλεί η ομαλή γεωθερμική βαθμίδα, με κλειστό κύκλωμα νερού που κυκλοφορεί στον γεωθερμικό συλλέκτη. Αυτός είναι πλαστικός σωλήνας τοποθετημένος μέσα σε γεώτρηση βάθους 50-150μ. Κατά την κυκλοφορία του το νερό αυτό αποκτά τη μέση θερμοκρασία (17° έως 20°C στην Αττική) των πετρωμάτων που διασχίζει η γεώτρηση, στη συνέχεια διέρχεται από τον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας, όπου ψύχεται κατά 3°-6°C και επανέρχεται στη γεώτρηση για να αποκτήσει πάλι τη θερμοκρασία του υπεδάφους.

Η ψύξη του νερού του γεωθερμικού συλλέκτη αποδίδει θερμική ενέργεια στην αντλία θερμότητας, η οποία με τη δράση του συμπιεστή και του συμπυκνωτή (ή υγροποιητή) ανεβάζει

τη θερμοκρασία του νερού στο κύκλωμα θέρμανσης, καθώς το νερό αυτό διέρχεται από το συμπυκνωτή, στο ύψος που απαιτείται για τη θέρμανση του κτιρίου. Έτσι με τη διαδικασία αυτή μεταφέρεται από το υπέδαφος στην αντλία θερμότητας γεωθερμική ενέργεια πολύ χαμηλής θερμοκρασίας (17°-20°C), η οποία στη συσκευή αυτή (γεωθερμική αντλία) αναβαθμίζεται στην απαιτούμενη θερμοκρασιακή στάθμη.

Με το σύστημα του γεωθερμικού συλλέκτη μπορούμε να βελτιώσουμε σημαντικά το γνωστό και πολύ διαδεδομένο στην Ελλάδα σύστημα κλιματισμού (θέρμανσης-ψύξης) με αντλία θερμότητας αέρα-αέρα, ή αέρα-νερού, που ως πηγή θερμότητας χρησιμοποιεί τον περιβάλλοντα αέρα. Το νέο σύστημα, που μπορεί να κληθεί γεωκλιματισμός (θέρμανση-ψύξη) και γεωθέρμανση (μόνο θέρμανση), παρουσιάζει έναντι του χρησιμοποιούμενου σήμερα συστήματος με πηγή αέρα τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Ο βαθμός απόδοσης (C.O.P.), δηλ. η ποσότητα θερμικής ενέργειας που παράγει η γεωθερμική αντλία σε σχέση με την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, που καταναλώνει, είναι στη πράξη 3,5 έως 4,0, ενώ στην αντλία θερμότητας με πηγή αέρα είναι κατώτερη από 2,8, εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (σχ.2, National Center for Appropriate Technology, 1988).
2. Λειτουργεί χωρίς προβλήματα σε οποιοσδήποτε καιρικές και θερμοκρασιακές συνθήκες περιβάλλοντος υπό το μηδέν τον χειμώνα και πάνω από 40°C το καλοκαίρι, διότι η γεωθερμική αντλία τροφοδοτείται από τον γεωθερμικό συλλέκτη με νερό αμετάβλητης θερμοκρασίας, λίγο χαμηλότερης αυτής που επικρατεί στο υπέδαφος κάτω από το κτίριο, όπως φαίνεται από την μεταβολή του συντελεστή απόδοσης στον πίνακα 2.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 2

### ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ			ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	
	+7°	0°	-5°	+35°	+45°
ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΠΗΓΗ ΑΕΡΑ	100%	80%	60%	100%	90%
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ	100%	100%	100%	100%	100%

3. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος αυτού είναι πολύ χαμηλότερο, απ' ότι στο σύστημα με αντλία θερμότητας με πηγή αέρα. Αυτό προκύπτει από τις προηγούμενες παραγράφους 1 (βαθμός απόδοσης) και 2 (άνετη και σταθερή λειτουργία σε όλο το φάσμα θερμοκρασιών του περιβάλλοντος).

Εναντι του κλασσικού συστήματος θέρμανσης με πετρέλαιο το σύστημα του γεωθερμικού συλλέκτη παρουσιάζει τα εξής ενεργειακά πλεονεκτήματα:

1. Με καύση πετρελαίου περιεκτικότητας 100 μονάδων θερμικής ενέργειας παίρνουμε περίπου ογδόντα μονάδες (80%) χρήσιμης θερμικής ενέργειας, διότι 20 περίπου μονάδες (20%) χάνονται, κυρίως με τα καυσάερια.
2. Με την γεωθερμική αντλία παίρνουμε 100 μονάδες χρήσιμης θερμικής ενέργειας με κατανάλωση περίπου 25 μονάδων αντίστοιχης ηλεκτρικής ενέργειας. Τις υπόλοιπες 75 περίπου μονάδες θερμικής ενέργειας τις παίρνουμε δωρεάν από τη Γη (βλέπε πίνακα 3). Με άλλα λόγια, με κατανάλωση ποσότητας πετρελαίου 100 Kcal παίρνουμε 80 Kcal (απώλεια 20%), ενώ στην γεωθερμική αντλία με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχης προς 100 Kcal παίρνουμε 400 Kcal (κέρδος 300%).

### ΠΙΝΑΚΑΣ 3

#### ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΣΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

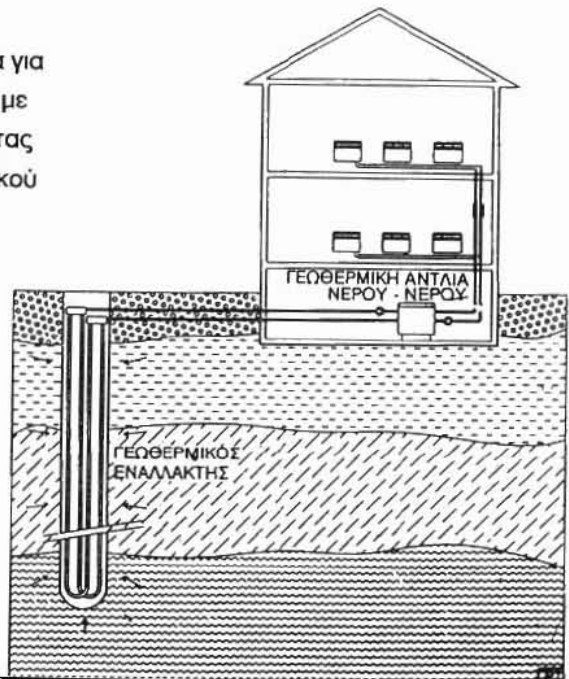
ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	ΞΟΔΕΥΟΥΜΕ	ΛΑΜΒΑΝΟΥΜΕ	ΚΕΡΔΙΖΟΥΜΕ	ΧΑΝΟΥΜΕ
ΜΕ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	100	80	—	20
ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ	25	100	75	—
ΜΕ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛ/ΝΤΟΣ				
ΜΕ ΠΗΓΗ ΑΕΡΑ +7°C	40	100	60	—
0°C	50	100	50	—

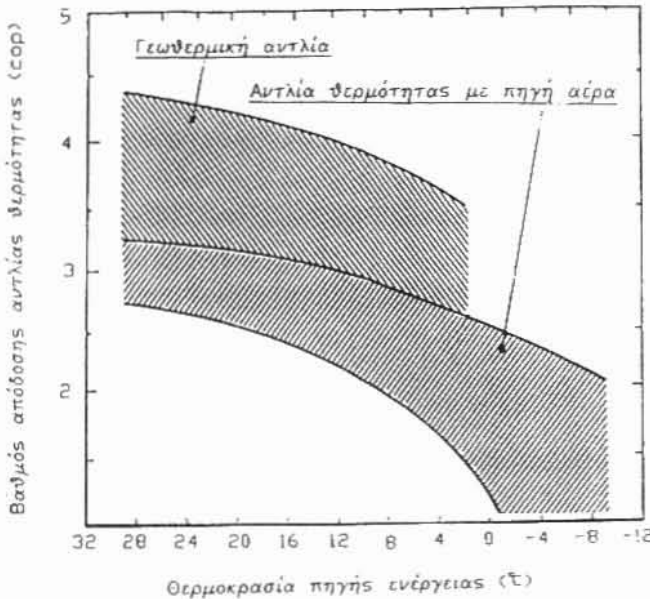


### Συμπεράσματα:

1. Η γεωθερμική αντλία είναι πολύ οικονομικότερη στη λειτουργία της, αφού καταναλώνει τόσο ηλεκτρική ενέργεια (25% της παραγόμενης), που λίγο ξεπερνάει τη θερμική ενέργεια που χάνεται με τα καυσαέρια κατά την θέρμανση με πετρέλαιο (20% της παραγόμενης).
2. Το σύστημα γεωθέρμανσης είναι απαλλαγμένο από τα προβλήματα και τα απρόοπτα της αγοράς του πετρελαίου, αφού για τη λειτουργία του χρειάζεται μόνο λίγο ηλεκτρικό ρεύμα και παράγει θερμαντική ενέργεια από τη γεωθερμική, που είναι μια ενέργεια συνεχώς ανανεούμενη, ανεξάντλητη και δωρεάν διαθέσιμη για κάθε ιδιοκτήτη ή χρήστη κτιρίου.
3. Το πετρέλαιο κατά την καύση του εκπέμπει καυσαέρια, που ρυπαίνουν τον ατμοσφαιρικό αέρα με επιβλαβή συστατικά. Επίσης είναι επιβαρυνμένο με προβλήματα μεταφοράς, αποθήκευσης, κινδύνους εκρήξεων κ.ά. Αντίθετα η γεωθερμική ενέργεια είναι καθαρή και απαλλαγμένη από τα προβλήματα αυτά.
4. Η εγκατάσταση γεωθέρμανσης μπορεί εύκολα και με πολύ λίγα έξοδα να μετατραπεί σε σύστημα γεωκλιματισμού και να μας προσφέρει από τη γεωθερμική ενέργεια όχι μόνο θέρμανση αλλά και ψύξη, καθώς και ζεστό νερό (με boiler) για τις οικιακές ανάγκες. Αυτές τις δυνατότητες τις προσφέρει ιδιαίτερα στην Ελλάδα, λόγω κλίματος, ενώ στα βόρεια κράτη χρησιμοποιείται κυρίως μόνο για θέρμανση και ζεστό νερό.

Σχ.1. Γεωθερμική Ενέργεια για θέρμανση-ψύξη κατοικίας με σύστημα αντλίας θερμότητας νερού-νερού και γεωθερμικού εναλλάκτη (συλλέκτη)





Σχ.2. Σύγκριση του COP μιας γεωθερμικής αντλίας και μιας αντλίας θερμότητας με πηγή αέρα (National Center for Appropriate Technology, 1988).

### 8. Ωφέλη από την εκμετάλλευση της ομαλής γεωθερμικής ενέργειας

Μειονέκτημα των παραπάνω συστημάτων εκμετάλλευσης της ομαλής γεωθερμικής ενέργειας είναι το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, που οφείλεται κυρίως στις δαπάνες των γεωτρήσεων και που μπορεί να ανεβάσει το χρόνο απόσβεσης, παρά το πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας, σε 10-12 έτη. Το μειονέκτημα αυτό μετριαζεται, άγνωστο πόσο, από το πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης και το μεγάλο χρόνο λειτουργίας του εγκατεστημένου γεωθερμικού εναλλάκτη, που έχει εκτιμηθεί σε περισσότερα από 30 έτη.

Στην παραπάνω εκτίμηση δεν έχει συνυπολογισθεί το όφελος από τη σημαντική συμβολή της εκμετάλλευσης της ομαλής γεωθερμικής ενέργειας, όπως αυτή περιγράφεται, σε δύο υψηλούς αναπτυξιακούς-κοινωνικούς στόχους:

- α) Στην εξοικονόμηση ενέργειας με την πολύ χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και την παραγωγή πολλαπλάσιας θερμαντικής και ψυκτικής ενέργειας από τη γεωθερμική, πριν αυτή χαθεί στο κοσμικό διάστημα.
- β) Στην προστασία του περιβάλλοντος, διότι, χρησιμοποιώντας την καθαρή γεωθερμική ενέργεια, εκπονίζουμε τα ρυπογόνα καύσιμα και μειώνουμε την κατανάλωση ηλεκτρικού

ρεύματος, το οποίο στη χώρα μας παράγεται κυρίως στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς από ρυπογόνα καύσιμα.

## 9. Αμεσες εφαρμογές στον ελληνικό χώρο

### 9.1. Γενικά

Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται σήμερα κυρίως πετρέλαιο για θέρμανση κατοικιών, χώρων εργασίας, δημοσίων κτιρίων, νοσοκομείων, σχολείων, βιοτεχνιών, εργοστασίων κ.ά. καθώς και για παραγωγή ζεστού νερού (με boiler) χρήσιμου στις διάφορες ανάγκες του ανθρώπου. Μικρό μέρος του θερμού νερού τόσο για θέρμανση όσο και για τις λοιπές ανάγκες παράγεται με ηλεκτρική ενέργεια (ηλεκτρικά καλοριφέρ, ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες).

Όπως είναι γνωστό, το πετρέλαιο κατά την καύση του εκπέμπει ρύπους στο αέριο περιβάλλον μας. Η ποσότητα και η ποιότητα των ρύπων εξαρτώνται από την κατανάλωση, από την ποιότητα του καυσίμου και από το είδος της εγκατάστασης και συνεπώς την ποιότητα της καύσης. Ειδικά οι εκπομπές του διοξειδίου του θείου αποτελούν ρύπο πρωταρχικής σημασίας και εξαρτώνται από τον ρυθμό κατανάλωσης πετρελαίου και από την περιεκτικότητα αυτού σε θείο. Σε μικρότερες, αλλά όχι αμελητέες ποσότητες, παράγονται σωματίδια καπνού και οξειδία του αζώτου.

Σύμφωνα με τις μελέτες του ΠΕΡΠΑ, πάνω από 400.000 τόννοι πετρελαίου καταναλώνονται σε λέβητες-καυστήρες για θέρμανση και παραγωγή ζεστού νερού στο λεκανοπέδιο της Αθήνας. Η καύση του πετρελαίου αυτού προκαλεί εκπομπή στην ατμόσφαιρα ρύπων, κυρίως διοξειδίου του θείου, καπνού και οξειδίων του αζώτου. Οι ρύποι αυτοί συμμετέχουν στη συνολική ρύπανση της ατμόσφαιρας με ποσοστά αντίστοιχα 21%, 17% και 5% σε ετήσια βάση, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες τα ποσοστά αυτά θα είναι αρκετά υψηλότερα. Συνεπώς, το πετρέλαιο, που χρησιμοποιείται για θέρμανση και παραγωγή ζεστού νερού, προκαλεί σημαντική ρύπανση στην ατμόσφαιρα του λεκανοπεδίου της Αθήνας.

Το κόστος του πετρελαίου αυτού για τους καταναλωτές ξεπερνάει τα 34.000.000.000 δρχ. σε τιμές του Ιανουαρίου 1992. Η ποσότητα του πετρελαίου θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού αυξάνεται με ταχύ ρυθμό με την πάροδο των ετών, διότι με τις σημερινές συνθήκες είναι συνάρτηση της οικιστικής ανάπτυξης, η οποία είναι σημαντική στο λεκανοπέδιο της Αθήνας.

Για την καταπολέμηση του νέφους του λεκανοπεδίου οι μέχρι σήμερα προσπάθειες έχουν κατευθυνθεί σχεδόν αποκλειστικά στις δύο πρώτες πηγές ρύπανσης, που είναι το αυτοκίνητο και η βιομηχανία. Για την τρίτη πηγή, τη θέρμανση, η προσπάθεια περιορίζεται μέχρι σήμερα σε μέτρα αντικατάστασης του μαζούτ από ντίζελ και βελτίωσης της λειτουργίας του συστήματος λέβητα-καυστήρα. Τα μέτρα αυτά έχουν ως στόχο την τελειότερη καύση του πετρελαίου και τη μείωση των εκπεμπομένων ρύπων. Εν τούτοις, η καύση του πετρελαίου εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό παράγοντα ρύπανσης της ατμόσφαιρας με τα ποσοστά

που δίνονται παραπάνω για τη συμμετοχή της θέρμανσης.

Όπως όλα τα καύσιμα, έτσι και το πετρέλαιο της θέρμανσης παράγει κατά την καύση του διοξείδιο του άνθρακα. Το αέριο αυτό από την άποψη των επιδράσεων του στην υγεία του ανθρώπου δεν θεωρείται ρύπος, αλλά σε παγκόσμια κλίμακα αποτελεί το αίτιο του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο θεωρείται υπεύθυνο απειλητικών κλιματικών μεταβολών του πλανήτη μας. Το ίδιο ισχύει και για το φυσικό αέριο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε λίγα χρόνια και στη χώρα μας σε σημαντικό ποσοστό.

Τίθεται λοιπόν το ερώτημα: Υπάρχουν στην Ελλάδα, και ιδιαίτερα στις πυκνοκατοικημένες και από τα καύσιμα βεβαρυμένες περιοχές της, όπως είναι οι περιοχές της Αττικής και της Θεσσαλονίκης, δυνατότητες αντικατάστασης των καυσίμων θέρμανσης και παραγωγής ζεστού νερού από άλλες καλύτερες, επί τόπου ευρισκόμενες πηγές ενέργειας και ειδικότερα από τις ανανεώσιμες ηλιακή, αιολική και γεωθερμική; Οι δύο πρώτες γνωρίζουμε, ότι υπάρχουν σε αφθονία, αλλά μέχρι σήμερα δεν έχει επιχειρηθεί η εκμετάλλευση και χρησιμοποίησή τους γι' αυτές τις ενεργειακές ανάγκες μας, εκτός από την περίπτωση των ηλιακών θερμοσιφώνων, που μπορούν να παράγουν σημαντικές ποσότητες ζεστού νερού για τις οικιακές ανάγκες, όχι όμως τον χειμώνα και όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια.

#### 9.2. Γεωθερμική ενέργεια από υπόγεια νερά

Δεδομένου, ότι σ' ένα τόπο η γεωθερμική βαθμίδα πρακτικά αρχίζει από ένα βάθος 15-20μ. περίπου με τη μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα, η οποία στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας είναι περίπου 18°C, στο βάθος των 100μ. η θερμοκρασία των πετρωμάτων θα είναι κανονικά 20° - 21°C και σε βάθος 1000μ. γύρω στους 50°C, ενώ σε βάθος 2000μ. θα φθάνει γύρω στους 80°C. Έτσι, εάν μια γεώτρηση του βάθους αυτού αποδώσει υπόγειο νερό αυτής της θερμοκρασίας, είναι δυνατό το νερό αυτό να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση κτιρίων και άλλες χρήσεις με όφελος την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος. Η δυνατότητα αυτή έχει εφαρμοσθεί με επιτυχία σε πολυάριθμες περιπτώσεις σε χώρες του εξωτερικού, όπως περιγράφεται στις σελίδες 4-6. Τα αβαθή υπόγεια νερά χρησιμοποιούνται ως ενεργειακές πηγές με τη βοήθεια αντλιών θερμότητας.

Πολλές περιοχές της χώρας μας, και μάλιστα κατοικημένες, διαθέτουν υπόγεια νερά, τα οποία, ανάλογα με την ποιότητά τους, είτε χρησιμοποιούνται για ύδρευση και άρδευση, ή μόνο για άρδευση, ή για κάποια βιομηχανική ή βιοτεχνική εφαρμογή, είτε παραμένουν εντελώς ανεκμετάλλευτα λόγω μόλυνσής τους από διάφορα λύματα και απόβλητα.

Σε άλλες περιοχές τα υπόγεια νερά έχουν διαλελυμένα διάφορα συστατικά (κυρίως άλατα) από φυσική ανάμιξη. Σ' αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται και τα υφάλμυρα νερά, που προκύπτουν από ανάμιξη με θαλασσινό νερό και φυσικά παρουσιάζονται κυρίως στις παράκτιες ζώνες. Τα νερά αυτά είναι συνήθως ακατάλληλα για τις παραπάνω χρήσεις.

Όλα τα υπόγεια νερά, τόσο τα ποιοτικώς κατάλληλα για κάποια συμβατική χρήση, όσο και τα ακατάλληλα για τέτοιο σκοπό, καθώς και αυτά που έχουν ρυπανθεί από βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, μπορούν, σύμφωνα με τα παραπάνω να μας προσφέρουν θερμική ενέργεια, ακόμη και όταν έχουν χαμηλές θερμοκρασίες, με τη βοήθεια της αντλίας θερμότητας, (Ζερβογιάννης, Γ., 1985, Μακατσώρης, Ι., 1989). Σε περιοχές του λεκανοπεδίου της Αθήνας υφίστανται μέσα στους νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς υδροφόροι ορίζοντες με νερό κατάλληλο για αρδεύσεις, ενώ στα παραθαλάσσια προάστια, ιδιαίτερα σ' αυτά με υπόβαθρο από ασβεστολίθους και μάρμαρα (π.χ. Ελληνικό, Γλυφάδα, Βούλα, Βουλιαγμένη, Βάρη, Βάρκιζα) υφίστανται υφάλμυροι έως και αλμυροί υδροφόροι ορίζοντες, ενίοτε με μεγάλες παροχές.

Σ' όλες αυτές τις περιοχές μπορούμε με γεωτρήσεις και πηγάδια να εκμεταλλευτούμε το θερμικό περιεχόμενο των υπόγειων νερών για θέρμανση-ψύξη των κτιρίων και παραγωγή ζεστού νερού για οικιακές και βιοτεχνικές χρήσεις, ενώ συγχρόνως με τις ίδιες γεωτρήσεις και τα φρέατα, εάν αποδίδουν αρδευτικό νερό, θα μπορούμε να αρδεύουμε τους κήπους.

Σημειώνεται, ότι 1000 γεωθερμικές γεωτρήσεις, μέσου βάθους 150m και παροχής  $20\text{m}^3/\text{h}$  η κάθε μία, οι οποίες θα στοιχίσουν μαζί με τους εναλλάκτες θερμότητας και τις υδραντλίες κάπου 3.000.000.000 δρχ., μπορούν να αποδώσουν, σύμφωνα με τα αναφερόμενα στη σελίδα 10, με  $\Delta t = 5^\circ\text{C}$  θερμική ενέργεια:

$$1000 \times 150 \text{ KW} = 150.000 \text{ KW} = 150 \text{ MW}$$

Η ισχύς αυτή θα προέρχεται κατά 1/4 από το ηλεκτρικό δίκτυο και κατά 3/4 δωρεάν από την αβαθή γεωθερμική ενέργεια. Ας προστεθούν όμως και τα ακόλουθα:

- α) Με  $\Delta t > 5^\circ\text{C}$  η απόδοση θα είναι ακόμη μεγαλύτερη
- β) Η ανάπτυξη της εκμετάλλευσης γίνεται σε ανεξάρτητες μονάδες μίας ή μικρού αριθμού γεωθερμικών γεωτρήσεων για μονοκατοικίες, πολυκατοικίες, μεγάλα κτίρια και κτιριακά συγκροτήματα και δεν χρειάζονται πολυδάπανοι κεντρικοί σταθμοί και έργα υποδομής.
- γ) Συνέπεια της προηγούμενης παραγράφου είναι, ότι το μικρό ιδιωτικό κεφάλαιο μπορεί να συμμετάσχει αποφασιστικά στη κάλυψη των δαπανών κατασκευής.
- δ) Οι γεωτρήσεις και τα φρέατα μπορούν, εάν παρέχουν νερό κατάλληλο για αρδεύσεις, να φέρουν πρόσθετο κέρδος από αυτές, πέρα από το όφελος της θερμικής ενέργειας.

Στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, όπως και στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, δεν έχει διαπιστωθεί μέχρι σήμερα παρουσία γεωθερμικών ρευστών θερμοκρασίας άνω των  $30^\circ\text{C}$ . Το πλησιέστερο γνωστό γεωθερμικό πεδίο είναι αυτό της περιοχής Σουσακίου Αγίων Θεοδώρων. Σύμφωνα με μελέτη του ΙΓΜΕ, πρόκειται για σημαντικό πεδίο με θερμοκρασίες ρευστών  $60^\circ - 75^\circ\text{C}$ , του οποίου όμως η θερμική ενέργεια, λόγω μεγάλης απόστασης από την Αθήνα (περίπου 50 χλμ.), δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες αυτής. Συνεπώς, θα πρέπει να

επιδιώξουμε την εφαρμογή γεωθερμικών αντλιών για αβαθή υπόγεια νερά, ή την ανεύρεση θερμού νερού βάθους βασιζόμενοι στην κανονική γεωθερμική βαθμίδα. Προϋπόθεση είναι να εντοπισθούν βαθείς υδροφορείς με παροχές επαρκείς για εκμετάλλευση.

Μια γεωθερμική γεώτρηση, βάθους 1.500 - 2.000μ., όπως είναι γνωστό, είναι πολύ δαπανηρή και για να αυξήσουμε στο ανώτατο δυνατό βαθμό την πιθανότητα επιτυχίας, είναι απαραίτητο να προηγηθεί ένα λεπτομερές ερευνητικό πρόγραμμα των υδρογεωλογικών και γεωθερμικών συνθηκών. Το πρόγραμμα αυτό είναι τόσο μάλλον απαραίτητο στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, καθ' όσον αυτό δεν έχει μέχρι σήμερα μελετηθεί όχι μόνο γεωθερμικά, αλλά ούτε υδρογεωλογικά. Ο υδρογεωλογικός χάρτης του J.Niederlmayer περιορίζεται στο κεντρικό τμήμα της πόλης της Αθήνας και δίνει στοιχεία επιφανειακά και μικρού βάθους.

Από τα γνωστά μέχρι σήμερα στοιχεία προκύπτει, ότι στην γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής του λεκανοπεδίου της Αθήνας συμμετέχουν και υδροπερατοί σχηματισμοί (κυρίως μάρμαρα και ασβεστόλιθοι) που εισχωρούν σε μεγάλα βάθη, άνω των 1000μ., και ότι πηγαία και αβαθή υπόγεια νερά ωρισμένων περιοχών έχουν θερμοκρασίες κατά μερικούς βαθμούς ανώτερες από τις κανονικές. Αυτά τα στοιχεία αποτελούν ενδείξεις θετικές για την ύπαρξη σε μεγαλύτερα βάθη ζεστών νερών με θερμοκρασίες κατάλληλες για εκμετάλλευση. Ετσι, δικαιολογείται η πραγματοποίηση ενός σχετικού ερευνητικού προγράμματος στο λεκανοπέδιο της Αθήνας και στους γύρω απ' αυτό ορεινούς όγκους.

Σ' ένα προκαταρκτικό στάδιο του προτεινόμενου ερευνητικού προγράμματος πρέπει να διαξαχθεί λεπτομερής υδρογεωλογική μελέτη με γεωφυσικές έρευνες και με αριθμό ερευνητικών γεωτρήσεων, βάθους μέχρι 300μ. με τις οποίες θα ερευνηθούν τα υπόγεια νερά και οι γεωθερμικές συνθήκες του λεκανοπεδίου με στόχο να εντοπισθούν περιοχές γεωθερμικά ευνοϊκές για την εκτέλεση βαθιών παραγωγικών γεωτρήσεων. Επίσης στο στάδιο αυτό αναμένεται να εντοπισθούν υπόγεια νερά εκμεταλλεύσιμα, σε βάθη μέχρι 300μ., τα οποία θα αξιοποιηθούν με αντλίες θερμότητας και για κάλυψη αρδευτικών αναγκών του λεκανοπεδίου.

Στο κύριο στάδιο του προγράμματος θα εκτελεσθεί γεωθερμική γεώτρηση, βάθους 1.500 - 2.000μ. σε θέση, που θα αποδειχθεί με βάση τα αποτελέσματα του προκαταρκτικού σταδίου, ως η πιο ευνοϊκή για να είναι επιτυχής, δηλ. παραγωγική και εκμεταλλεύσιμη.

### 9.3. Θέρμανση-ψύξη με σύστημα γεωθερμικού συλλέκτη και γεωθερμικής αντλίας

Όπου δεν διατίθενται υπόγεια νερά επαρκούς παροχής για να τροφοδοτήσουν την αντλία θερμότητας, χρησιμοποιείται ο γεωθερμικός συλλέκτης (βλ. σελ.11). Μετρήσεις της αποδοσιμής ισχύος τέτοιων εγκαταστάσεων στην Ελβετία με υπεδαφικές θερμοκρασίες 8<sup>ο</sup>-12<sup>ο</sup>C για λειτουργία θέρμανσης κατοικιών έδωσαν τιμές 4,5-5,5KW ανά 100m γεωθερμικού συλλέκτη, δηλ. γεώτρησης, με COP 2,5-3,0 (Burkart et al., 1989). Στον ελληνικό χώρο και ειδικότερα στις χαμηλότερες και πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως της Αττικής και της



Θεσσαλονίκης, οι υπεδάφικες θερμοκρασίες, όπως αναφέρθηκε, κυμαίνονται από 15°C έως 20°C και, συνεπώς, σύμφωνα και με το διάγραμμα του σχ.2, το COP θα είναι μεγαλύτερο του 3 και η ισχύς θα είναι τουλάχιστο 6KW ανά 100m γεωθερμικού συλλέκτη.

Αλλα στοιχεία, που ευνοούν μια ανώτερη απόδοση ισχύος του γεωθερμικού συλλέκτη στις ελληνικές συνθήκες, απ' ότι στις ελβετικές, είναι:

- α) Η μειωμένη θερμική καταπόνηση, που θα υφίσταται το υπέδαφος από το σύστημα αυτό στη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης και
- β) Η λειτουργία του συστήματος και για ψύξη στη διάρκεια του καλοκαιριού θα εξουδετερώνει γρήγορα τη θερμική καταπόνηση, που θα έχει υποστεί το υπέδαφος στη διάρκεια της λειτουργίας θέρμανσης, αφού ο γεωθερμικός συλλέκτης κατά τη λειτουργία ψύξης θα διοχετεύει τη θερμική ενέργεια του κτιρίου στο υπέδαφος και θα την αποθέτει σ' αυτό.

Με βάση τα παραπάνω γίνεται φανερό, ότι θα πρέπει το σύστημα αυτό να δοκιμασθεί και στην Ελλάδα και ότι η επιτυχία του πρέπει να θεωρείται εξασφαλισμένη. Ίσως το όφελος από καθαρά οικονομικής πλευράς να είναι οριακό, όμως πρέπει να λάβουμε υπ' όψη και το περιβαλλοντικό όφελος και την ανάγκη για εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Με την εγκατάσταση των πρώτων γεωθερμικών συλλεκτών στη χώρα μας θα καταστεί δυνατό, με τοποθέτηση γεωθερμομέτρων κατά μήκος των αντίστοιχων γεωτρήσεων, καθώς και γειτονικών γεωτρήσεων, που θα ανοιχθούν για ερευνητικούς σκοπούς, να μετρήσουμε τις θερμοκρασίες του υπεδάφους και να μελετήσουμε τα θερμικά χαρακτηριστικά και την θερμική συμπεριφορά αυτού πριν και κατά την λειτουργία του συστήματος. Τα αποτελέσματα, σε συνδυασμό με αυτά από μετρήσεις και άλλων παραμέτρων του συστήματος (παροχών, καταναλώσεων, θερμοκρασιών λοιπών κυκλωμάτων κ.ά.), θα είναι χρήσιμα για να μελετηθούν η λειτουργία και η απόδοσή του και να καταστήσουν δυνατή μια βελτιστοποίησή του στις ελληνικές συνθήκες.

Στα πλαίσια της παραπάνω ανάγκης έχει αποφασισθεί από τον συντάκτη της παρούσας ανακοίνωσης και από οικοδομική εταιρία η κατασκευή εγκατάστασης γεωθερμικού συλλέκτη και αντλίας θερμότητας νερού-νερού στον Άγιο Δημήτριο Κορωπίου Αττικής. Η εγκατάσταση αυτή, της οποίας η γεώτρηση είναι ήδη έτοιμη, θα χρησιμεύσει για θέρμανση-ψύξη νέας κατοικίας και συγχρόνως θα είναι μια πρώτη στην Ελλάδα πειραματική μονάδα μελέτης της μεθόδου.

## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Ausseur, J. et Sauty, J. "Exploitation de doublets de forages pour le chauffage ou la climatisation avec pompes a chaleur". B.R.G.M., Orleans, 1982.
- Bohi, H., "Geothermie in Riehen - von der Idee zur Realisierung". Schweizerische Vereinigung fur Geothermie (SVG), 1991.



- Burkart, R., Eugster, W., Hopkirk, R., Rybach, L. "Erdwärmesonden-Heizanlagen: Durch Messungen und Berechnungen bestimmte Auslegungs- und Betriebsgrößen". Studie Nr. 46, Schriftenreihe des Bundesamtes für Energiewirtschaft, Bern, 1989.
- Campinchi, J. "Aptitude des nappes d' eaux souterraines entre 0 et 100m de profondeur, d' Ile-de-France, pour alimenter des pompes a chaleur eau/eau". B.R.G.M., 1982.
- Descœudres, F. "Utilisation de l' energie thermique". Societe Suisse des Ingenieurs et des Architectes. Documentation 59, Zurich, 1982.
- Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (Community Energy R and D Programme-Energy Conservation). "Heat pumps, domestic and industrial applications". Brussels, 1984.
- Ζερβογιάννης, Γ. "Οι υπόγειοι υδροφορείς σαν πηγή ενέργειας". Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, τομ.17, 1985.
- Hopkirk, R., Gilby, D. and Rybach, L. "Vertical tube earth heat exchangers - the swiss experience". Intern.Symposium on Geothermal Energy. Hawai, 1985.
- Hopkirk, R. and Burkart, R. "Earth-Coupled Heat Pumps". Proceedings of the 3rd Intern. Energy Agency Heat Pump Conference, Tokyo, 1990.
- Lienau, P. "Heat pumps and geothermal". GHC Bulletin, March, 1980.
- Lund, J. "Geothermal heat pump utilisation in the United States". GHC Bulletin, Summer, 1988.
- Lund, J. "Geothermal heat pumps - trends and comparisons". GHC Bulletin, Fall, 1989.
- Μακατσώρης, Ι. "Χρήση αντλιών θερμότητας στην αξιοποίηση γεωθερμικών πεδίων χαμηλών θερμοκρασιών". Πρακτικά Εθνικού Συνεδρίου Εφαρμογών Γεωθερμίας, Θεσσαλονίκη, 1989.
- National Center for Appropriate Technology-U.S. Department of Energy. "Using the earth to heat and cool homes". GHC Bulletin, Summer, 1988.
- Rybach, L. "The vertical earth heat exchanger - a small - scale geothermal energy system". Revista Brasileira de Geofisica, Vol. 5, 1987.
- Rybach, L. and Hauber, L. "Swiss geothermal energy update 1985-1990". U.S. Geothermal Council Transactions, Vol.14, Part I, 1990.
- Schwanner, I. und Hopkirk, R. "Die vertikale Erdsonde als Energiebeschaffungssystem"; Ein Ueberblick über die Einflüsse wichtiger Parameter". Bericht für des B.E.W. Bern, 1982.
- Tengborg, Per., "Heatpumps utilizing low enthalpy geothermal resources in Scania, Sweden". Memoirs of the 18th Congress of the Intern. Association of Hydrogeologists, Cambridge, 1985.
- Χαλκουτσάκη, Ε., "Λούτζ Σουηδίας: Υπόδειγμα τηλεθέρμανσης με χρήση Γεωθερμίας, αλλά και θερμότητας υγρών αποβλήτων". Πρακτικά 1ου Διεθνούς Συνεδρίου Τηλεθέρμανσης, Κοζάνη, 1990.