

ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΕΔΑΦΙΚΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ-ΨΥΞΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ

του Ι. Παπαγεωργάκη*

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο προηγούμενο τεύχος του «Πυρφόρου» (αρ. 2-3, σελ. 42-47) δημοσιεύθηκε άρθρο μου με τίτλο: «Ομαλή γεωθερμική ενέργεια για εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος». Σ' αυτό αναπτύχθηκαν οι δυνατότητες εφαρμογής και στην Ελλάδα των νέων συστημάτων εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας, που παρουσιάζεται σε κάθε τόπο ως αποτέλεσμα της κανονικής (ή ομαλής) γεωθερμικής βαθμίδας, για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Τονίσθηκε, ότι στις χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης ήδη κατά τη δεκαετία του 1980 δοκιμάστηκαν, βελτιώθηκαν και εφαρμόστηκαν με επιτυχία τα εν λόγω συστήματα, προς όφελος της ενεργειακής οικονομίας και της προστασίας του περιβάλλοντος, και ότι στη δική μας χώρα, η οποία έχει σαφώς ευνοϊκότερες κλιματικές και γεωθερμικές συνθήκες λειτουργίας και απόδοσης αυτών και οξύτερο ενεργειακό πρόβλημα, πρέπει να προχωρήσουμε άμεσα στην εφαρμογή τους, μάλιστα σε συνεργασία με εφαρμογές και ηλιακών, φωτοβολταϊκών, αιολικών και λοιπών συστημάτων ανανεώσιμων και καθαρών πηγών ενέργειας.

Το Πολυτεχνείο μας, που είναι το αρχαιότερο και μεγαλύτερο πανεπιστημιακό ίδρυμα εκπαίδευσης Μηχανικών και τεχνολογικής έρευνας της χώρας μας, επιβάλλεται να γίνει πρωτοπόρο και κεντρικός μοχλός ανάπτυξης στον τομέα εφαρμογών των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, έχοντας μάλιστα τη δυνατότητα ενός ξεκινήματος στο ίδιο του το σπίτι, την Πολυτεχνειούπολη. Τα κατασκευαζόμενα και τα κατασκευασθέντα κτίρια αυτής θα μπορούν κάλλιστα να καλύψουν μέρος, ή ορισμένα και το σύνολο των θερμικών και ψυκτικών αναγκών τους, από εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τα οφέλη για το ίδρυμά μας θα είναι:

- Ανάπτυξη της τεχνολογικής έρευνας στον τομέα αυτό.
- Άμεση μεταφορά της γνώσης και της εμπειρίας από την ανάπτυξη αυτή στους εκπαιδευόμενους Μηχανικούς.
- Εξοικονόμηση ενέργειας, και
- Προστασία του περιβάλλοντος από τον περιορισμό των ρυπογόνων καυσίμων.

Και ο αγώνας αυτός του Ε.Μ.Π. θα έχει και μια ιδιαίτερη σημασία, γιατί θα αρχίσει σε περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας, δηλ. της πολιτιστικής και οι-

κονομικής πρωτεύουσας, που, δυστυχώς, εξελίχθηκε και σε πρωτεύουσα της περιβαλλοντικής ρύπανσης της χώρας μας.

2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΟ ΥΠΕΔΑΦΟΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥΠΟΛΗΣ

Για να εκτιμήσουμε κατ' αρχήν, τί ομαλή γεωθερμική ενέργεια μπορούμε να εκμεταλλευθούμε με αντλίες θερμότητας από το υπέδαφος της Πολυτεχνειούπολης, θα ξεκινήσουμε από μια θεωρητική εκτίμηση του αποθέματος τέτοιας ενέργειας, η οποία βρίσκεται στα πετρώματα, που συνιστούν το υπέδαφος της οικοπεδικής έκτασης από την επιφάνεια μέχρι βάθος 100m. Με έναν αριθμό καταλλήλων γεωτρήσεων του βάθους αυτού, θα μπορούμε με αντλίες θερμότητας να αντλήσουμε την εν λόγω θερμική ενέργεια, που είναι ανανεώσιμη, και να την χρησιμοποιήσουμε.

Το εμβαδόν της οικοπεδικής έκτασης της Πολυτεχνειούπολης είναι περίπου $1.000.000 \text{ m}^2$ (δηλ. 1000 στρέμματα), συνεπώς ο όγκος του υπεδάφους μέχρι το βάθος των 100 m είναι $1.000.000 \text{ m}^2 \times 100 \text{ m} = 100.000.000 \text{ m}^3$. Από τη βιβλιογραφία γνωρίζουμε, ότι η θερμοχωρητικότητα των πετρωμάτων, που περιέχονται στον όγκο αυτό, κυμαίνεται από $2,0 - 2,5 \text{ MJm}^{-3} \text{ K}^{-1}$. Συνεπώς, εάν με συστήματα γεωθερμικών συλλεκτών και αντλιών θερμότητας μπορούσαμε να μειώσουμε τη θερμοκρασία των πετρωμάτων του όγκου αυτού κατά 5° C , δηλαδή από τους 20° C στους 15° C , θα λαμβάναμε ανανεώσιμη θερμική ενέργεια:

$$Q = 100.000.000 \text{ m}^3 \times 2 \text{ MJm}^{-3} \text{ K}^{-1} \times 5^\circ \text{ C} = 1 \times 10^9 \text{ MJ}$$

Η απόληψη της ενέργειας αυτής μέσα σε ένα έτος θα επιτυγχανόταν με μια συνολική ισχύ των γεωθερμικών συστημάτων:

$$1 \times 10^9 \text{ MJ} : 31,5 \times 10^6 \text{ sec} = 31,7 \text{ MW}$$

Για να μπορέσουμε να φθάσουμε αυτή την ισχύ θα χρειαζόμασταν κάπου 5.200 γεωθερμικά συστήματα των 6-7KW το καθένα. Ο αριθμός αυτός δεν είναι ανέφικτος από πλευράς ελεύθερης οικοπεδικής έκτασης, αφού είναι δυνατόν, οι γεωθερμικοί συλλέκτες να απέχουν μεταξύ τους 10 m χωρίς να αλληλοεπηρεάζονται. Πλην όμως το κόστος των μονάδων αυτών θα είναι τεράστιο, αφού κάθε μια θα στοιχίζει κάπου 3.000.000 δρχ. και συνεπώς συνολικά η δαπάνη θα έφθανε τα 15.600.000.000 δρχ.

(*) Ο Ι. Παπαγεωργάκης είναι Καθηγητής στο Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του ΕΜΠ

Πέραν όμως από τα μεγάλα ύψη των αριθμών αυτών θα υπάρχουν και άλλα εμπόδια (π.χ. χωροταξικά, πολεοδομικά), που περιορίζουν τους αριθμούς αυτούς και συνεπώς και την απολήψιμη γεωθερμική ισχύ.

Από την άλλη πλευρά, στην αδυναμία αύξησης των γεωθερμικών μονάδων στον επιθυμητό αριθμό μπορούν να αντιπαραταχθούν οι εξής δυνατότητες:

1. Η χρησιμοποίηση της ενέργειας των τυχόν υπαρχόντων υπόγειων νερών της οικοπεδικής έκτασης της Πολυτεχνειούπολης. Όπως αναλύεται παρακάτω, τα υπόγεια νερά έχουν πολλαπλάσιο ενεργειακό δυναμικό, απ' ότι οι γεωθερμικοί συλλέκτες.
2. Μπορούμε να διπλασιάσουμε τη θερμοκρασιακή πτώση του υπεδάφους με τις αντλίες θερμότητας, δηλαδή από 20°C στους 10°C, κι έτσι να διπλασιάσουμε την απολήψιμη με τους γεωθερμικούς συλλέκτες και τις αντλίες θερμότητας, θερμική ενέργεια. Κι αυτό διότι στη χώρα μας οι θερμοκρασίες των 17°-20°C του υπεδάφους είναι κατά πολλούς βαθμούς υψηλότερες από το θερμοκρασιακό όριο των 0°C για τις αντλίες θερμότητας, πράγμα που δεν συμβαίνει, π.χ. στις Σκανδιναβικές χώρες, στις οποίες υπάρχει ο κίνδυνος παγώματος του εδάφους



Τοπογραφικό σχέδιο του Riehen, προιστίου της Βασιλείας, με το τμήμα του (χρωματισμένο γκρι), στο οποίο κάπου 1.000 κατοικίες θα θερμαίνονται με νερό θερμοκρασίας 61°C προερχόμενο από γεώτρηση, στο σημείο B1, βάθους 1.547 m.

με σοβαρές επιπτώσεις στη βλάστηση, όταν η θερμοκρασία του υπεδάφους πέσει κάτω από το 0°C.

3. Με τους γεωθερμικούς συλλέκτες μπορούμε το καλοκαίρι, με τη λειτουργία της ψύξης των κτιρίων, να διοχετεύουμε τη θερμότητα αυτών, καθώς και θερμότητα από ηλιακούς συλλέκτες, στο υπεδάφος και, έτσι, να αυξάνουμε τεχνητά το θερμικό δυναμικό του με αποθήκευση σ' αυτό υπέρργειας θερμικής ενέργειας.

Άλλη δυνατότητα προσφέρεται από υπόγεια νερά μεγάλου βάθους, τα οποία λόγω της κανονικής γεωθερμικής βαθμίδας μπορούν να έχουν σε βάθη 1000-3000m θερμοκρασίες 50°-120°C. Τα νερά αυτά, εάν βέβαια υπάρχουν και μπορούν να αντληθούν με οικονομικά συμφέρουσες παροχές, θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για τις θερμικές ανάγκες των κτιρίων.

Η γεωλογική αναγνώριση και μια πρόσφατα εκτελεσθείσα υδρογεώτρηση, βάθους 280μ., στο ανατολικό άκρο της οικοπεδικής έκτασης της Πολυτεχνειούπολης, έδειξαν τα παρακάτω (βλέπε άρθρο Ν. Φυτρολάκη στο προηγούμενο τεύχος 2-3, σελ. 20-21).

1. Ένα στρώμα μαρμάρου, πάχους μερικών εκατοντάδων μέτρων, διέρχεται από το νοτιανατολικό και τοπογραφικά υψηλότερο τμήμα της Πολυτεχνειούπολης, παρεμβαλλόμενο μεταξύ μαρμαρυγιακών σχιστολιθών προς την πλευρά του Υμητίου και των αθηναϊκών σχιστολιθών προς την χαμηλότερη πλευρά. Το στρώμα αυτό επεκτείνεται βορειοανατολικά προς τις περιοχές Άνω Παπάγου και Άνω Χολαργού και νοτιοδυτικά προς την Καισαριανή.

2. Η γεώτρηση σε όλο το μήκος της διέτρησε μάρμαρα με λίγες ρωγμές και καρστικές διαβρώσεις. Εντούτοις, απέδειξε την παρουσία καρστικού υδροφόρου ορίζοντα με στατική στάθμη σε βάθος 178m. και εκμεταλλεύσιμη παροχή 35.000 l/h νερού από βάθος στάθμης 230m.

Το υπόγειο νερό της γεώτρησης έχει θερμοκρασία 20°C και με αντλία θερμότητας νερού-νερού μπορεί να αποδώσει με $\Delta t = 5^\circ K (= 20^\circ - 15^\circ C)$:

$$35.000 \text{ l/h} \times 5^\circ C = 175.000 \text{ Kcal/h} = 203 \text{ KW} \rightarrow 200 \text{ KW}$$

Εάν για την αντλία θερμότητας είναι: $Q_{\text{cond}} =$ ισχύς συμπυκνωτή, $W_{\text{inp}} =$ ισχύς εισαγόμενη (καταναλισκόμενη) και $Q_{\text{evap}} =$ ισχύς εξατμιστή = 200KW και με συντελεστή συμπεριφοράς αυτής COP = 4 προκύπτει:

$$\text{COP} = Q_{\text{cond}} / W_{\text{inp}} = Q_{\text{cond}} / (Q_{\text{cond}} - Q_{\text{evap}}) \rightarrow$$

$$\rightarrow 4 = Q_{\text{cond}} / (Q_{\text{cond}} - 200) \rightarrow Q_{\text{cond}} = 267 \text{ KW και}$$

$$W_{\text{inp}} = 67 \text{ KW}$$

Συνεπώς, η αποδοσιμένη θερμική ισχύς για θέρμανση, με $\Delta t = 5^\circ K$, θα είναι 267KW, ενώ η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς θα είναι 67KW.

Το ίδιο υπόγειο νερό μπορεί το καλοκαίρι να χρησιμοποιηθεί για ψύξη. Με $\Delta t = 5^\circ\text{K}$ ($=20^\circ-25^\circ\text{C}$) θα αποδίδει θερμική ισχύ:

$$Q_{\text{cond}} = 35.000 \text{ l/h} \times 5^\circ\text{C} = 175.000 \text{ Kcal/h} = 203 \text{ KW} \rightarrow 200 \text{ KW}$$

Με συντελεστή συμπεριφοράς της αντλίας θερμότητας σε ψύξη $\text{COP} = 5$ προκύπτει:

$$\text{COP} = 5 = Q_{\text{evap}} / (200 - Q_{\text{evap}}) \rightarrow Q_{\text{evap}} = 167 \text{ KW και } W_{\text{inp}} = 33 \text{ KW}$$

Συνεπώς, η αποδομένη ψυκτική ισχύς θα είναι 167KW και η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς 33KW.

Οι ανωτέρω τιμές της αποδομένης θερμικής και ψυκτικής ισχύος μπορούν να αυξηθούν, εφ' όσον καταστεί δυνατόν να αξιοποιήσουμε τη θερμική ενέργεια του υπόγειου νερού της γεώτρησης με $\Delta t > 5^\circ\text{K}$. Προκύπτει λοιπόν, ότι μια γεώτρηση παροχής $35 \text{ m}^3/\text{h}$ νερού μπορεί να παράσχει θερμική ισχύ με $\Delta t = 5^\circ\text{K}$, 267 KW και ψυκτική ισχύ 167KW, ενώ με $\Delta t = 10^\circ\text{K}$ οι τιμές αυτές μπορούν να διπλασιαστούν.

3. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Σύμφωνα με τη Μελέτη Σκοπιμότητας Κεντρικού Λεβητοστασίου και Ψυχοστασίου Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (1988), υπάρχουν σήμερα 12 λειτουργούντα κτίρια, 4 υπό κατασκευή και 9 υπό μελέτη ή προβλεπόμενα από το χωροταξικό σχέδιο κτίρια, δηλαδή σύνολο 25 κτίρια.

Στα λειτουργούντα και υπό κατασκευή κτίρια (σύνολο 16) έχουν κατασκευασθεί ή κατασκευάζονται τοπικά συστήματα θέρμανσης-κλιματισμού. Επίσης:

α) Έχει γίνει προκαταρκτική μελέτη κεντρικού λεβητοστασίου-ψυχοστασίου (1990)

β) Έχει κατασκευασθεί ένα κεντρικό δίκτυο τροφοδοσίας ζεστού νερού για θέρμανση με $\Delta t_{\text{νερού}} = 40^\circ\text{K}$ ($110^\circ/70^\circ\text{C}$) και ψυχρού νερού με $\Delta t_{\text{νερού}} = 14^\circ\text{K}$ ($4^\circ/18^\circ\text{C}$).

γ) Έχει κατασκευασθεί ο σκελετός του κτιρίου του κεντρικού λεβητοστασίου-ψυχοστασίου που θα στεγάσει το κεντρικό σύστημα θέρμανσης και ψύξης δυναμικότητας 35MW και 18MW αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο προηγούμενο κεφάλαιο 2 προκύπτει, ότι οι θερμικές και ψυκτικές ανάγκες (35MW και 18MW αντίστοιχα) των κτιρίων της Πολυτεχνειούπολης, θεωρητικά, θα μπορούσαν να καλυφθούν από την υπάρχουσα στο υπεδάφος της γεωθερμική ενέργεια.

Τα 9 κτίρια, τα οποία είναι υπό μελέτη, ή προβλέπονται στο χωροταξικό σχέδιο, θα έχουν ανάγκες σε θερμική ενέργεια, σύμφωνα με την υπάρχουσα μελέτη, περίπου 19MW. Από τα λίγα γεωλογικά στοιχεία που διαθέτουμε, εκτιμούμε ότι το υπεδάφος της Πολυτεχνειούπολης μπορεί να δώσει εκμεταλλεύσιμο υπόγειο νερό συνολικής παροχής ίσως μέχρι $100-200 \text{ m}^3/\text{h}$, που



Συγκρότημα κτιρίων του Pessac, προαστίου του Bordeaux Γαλλίας, που θερμαίνονται από νερό θερμοκρασία 48°C προερχόμενο από γεώτρηση βάθους 1.000 μ.

θα παρέχει ισχύ 0.75-1.5MW. Η ισχύς αυτή θα μπορούσε σχεδόν να διπλασιασθεί με διπλασιασμό του Δt νερού (από 5° σε 10°C).

Στις περιοχές, που δεν διαθέτουν υπόγεια νερά σε ποσότητα επαρκή για την παραπάνω λύση, θα εφαρμοσθεί το σύστημα των γεωθερμικών συλλεκτών (vertical earth heat probes or exchangers), το οποίο αξιοποιεί τη θερμική ενέργεια του υπεδάφους με κλειστό κύκλωμα νερού.

Ο γεωθερμικός συλλέκτης είναι ένας διπλός ή τετραπλός πλαστικός σωλήνας, που εισάγεται σε γεώτρηση βάθους 100-150m. και τροφοδοτεί μια αντλία θερμότητας με νερό σταθερής θερμοκρασίας ίσης περίπου με αυτή του υπεδάφους. Η αντλία θερμότητας παράγει ζεστό ή κρύο νερό για θέρμανση ή ψύξη. Η ισχύς του συστήματος αυτού είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή του συστήματος που λειτουργεί με υπόγειο νερό, είναι όμως αρκετή για τις ανάγκες ενός χώρου εμβαδού 100-150 m^2 . Στην Ελβετία έχει βρεθεί ισχύς 40-55W ανά μέτρο γεώτρησης, δηλ. 4-5.5KW ανά 100m. Στην περιοχή της Αττικής οι θερμοκρασιακές συνθήκες του υπεδάφους είναι τέτοιες, ώστε εκτιμάται ότι η ισχύς μίας μονάδας γεωθερμικού συλλέκτη και αντλίας θερμότητας θα φθάνει τα 7-8KW ανά 100m γεώτρησης.

Τρίτη δυνατότητα εφοδιασμού της Πολυτεχνειούπολης με θερμό νερό είναι με γεώτρηση μεγάλου βάθους. Με συνθήκες ομαλής γεωθερμικής βαθμίδας ($33^\circ\text{C}/1000\text{m}$) και με θερμοκρασία εκκίνησης 18°C σε βάθος 20m (όπως είναι στην περιοχή της Αττικής), το υπόγειο νερό, που θα βρεθεί σε βάθη γύρω στα 1000m, αναμένεται να έχει θερμοκρασία περίπου 50°C , στα 1500m, 65°C και στα 2000m, 80°C τουλάχιστον. Ένα τέτοιο νερό θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσω εναλλακτικών θερμότητας για τις ανάγκες θέρμανσης και ζεστού νερού των κτιρίων.

Σε συνδυασμό με αντλίες θερμότητας, το νερό αυτό μπορεί να αποδώσει σημαντικές ποσότητες θερμικής ενέργειας. Έτσι, σε περίπτωση μιας μέτριας παροχής της γεώτρησης της τάξης των $50 \text{ m}^3/\text{h}$ με νερό θερμοκρασίας 60°C μπορούμε, θεωρητικά, με ψύξη στους



Συγκρότημα διαμερισμάτων στην Creil που θερμαίνονται με υπόγειο νερό και αντλίες θερμότητας. Δεξιά μπροστά η γεώτρηση παραγωγής, αριστερά στο μέσο η γεώτρηση επανεισοαγωγής.

10°C δηλ. με $\Delta\text{tνευ} = 50^{\circ}\text{C}$ να αποσπάσουμε από αυτό θερμική ενέργεια ίση με:

$$50.000\text{l} \times 50^{\circ}\text{C} = 2.500.000\text{Kcal/h} = 2.900\text{KW}$$

Μια γεώτρηση βάθους 1000-1500m στοιχίζει περίπου 100.000 δρχ./m.

Οι αποδόσεις των πρώτων δύο κατηγοριών αβαθών γεωτρήσεων (βάθους μέχρι 300m) μπορούν να αυξηθούν, ως κάποιο βαθμό, με αποθήκευση ηλιακής θερμικής ενέργειας στο υπέδαφος της Πολυτεχνειούπολης στη διάρκεια του καλοκαιριού με ηλιακούς συλλέκτες, καθώς και με αποθήκευση των θερμικών φορτίων των κτιρίων κατά τη διαδικασία της ψύξης αυτών. Και στις δύο περιπτώσεις ζεστό νερό θα διοχετεύεται στους γεωθερμικούς συλλέκτες και μέσω αυτών θα αποδίδει τη θερμική του ενέργεια στο υπέδαφος. Μέρος αυτής της αποθηκευμένης στα πετρώματα θερμότητας, ηλιακής προέλευσης, θα διατηρείται μέχρι την περίοδο θέρμανσης και θα μπορεί να αξιοποιείται μαζί με την από τα βαθύτερα στρώματα ανερχόμενη γεωθερμική ενέργεια. Η τεχνική αυτή έχει αναπτυχθεί τελευταία και είναι γνωστή ως **ηλιογεωθερμία**. Σημειώνεται, ότι οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, όταν έχει ηλιοφάνεια, θα εφοδιάζουν το ή τα κτίρια με ζεστό νερό, και η περίσσεια αυτού θα διοχετεύεται στους γεωθερμικούς συλλέκτες.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές, ότι η εφαρμογή και ηλιακών συστημάτων για την κάλυψη μέρους των

ενεργειακών αναγκών της Πολυτεχνειούπολης, και μάλιστα σε συνεργασία με τα γεωθερμικά συστήματα, είναι πολύ ενδιαφέρουσα και θα πρέπει να ερευνηθεί.

4. ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Ανακεφαλαιώνοντας τις δυνατότητες, που υπάρχουν για την κάλυψη όλων ή μέρους των θερμικών και ψυκτικών αναγκών των 9 υπό μελέτη ή προβλεπομένων από το χωροταξικό σχέδιο κτιρίων με γεωθερμικά συστήματα, που θα αξιοποιούν την ομαλή γεωθερμική ροή του υπεδάφους της Πολυτεχνειούπολης, βλέπουμε ότι:

1. Με γεωτρήσεις βάθους 250-300m συνολικής παροχής $100-200\text{m}^3/\text{h}$ υπόγειου νερού, συνδεδεμένες με αντλίες θερμότητας μπορεί με $\Delta\text{tνευ} = 10^{\circ}\text{C}$ να εξασφαλισθεί θερμική ισχύς της τάξης των 1.5-3MW. Για την ισχύ αυτή ίσως χρειασθούν 5 τέτοιες γεωτρήσεις που θα στοιχίσουν κάπου 30.000.000 δρχ., ενώ για τις αντλίες θερμότητας η δαπάνη εκτιμάται, ότι θα ανέλθει σε 10.000.000 δρχ. περίπου.
2. Στις περιοχές της Πολυτεχνειούπολης, στις οποίες θα αποδειχθεί ότι δεν υπάρχει εκμεταλλεύσιμο υπόγειο νερό, θα εφαρμοσθεί το σύστημα γεωθερμικού συλλέκτη-αντλίας θερμότητας, που θα αποδίδει 6KW τουλάχιστον και θα στοιχίζει περίπου 3.000.000 δρχ. ανά μονάδα. Θεωρητικά, με τέτοιες μονάδες μαζί με αυτές που θα χρησιμοποιούν τα υπόγεια νερά, μπορούν να καλυφθούν οι θερμικές

και ψυκτικές ανάγκες της Πολυτεχνειούπολης, αλλά θα απαιτηθεί προηγουμένως να εφαρμοσθεί ένα πειραματικό πρόγραμμα με το σύστημα αυτό. Εξάλλου, η λύση αυτή είναι η φθηνότερη και η τεχνικά απλούστερη, ιδιαίτερα από λειτουργική πλευρά.

3. Με μια γεώτρηση βάθους 1000-1500m, δαπάνης περίπου 150.000.000 δρχ., εφόσον θα είναι επιτυχής, μπορούν να εξασφαλισθούν περίπου 3MW. Η γεώτρηση αυτή μπορεί να εκτελεσθεί, εφ' όσον προηγουμένως έρευνες δώσουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

4. Σε περίπτωση μη ανεύρεσης εκμεταλλεύσιμου νερού στη βαθειά γεώτρηση, θα είναι ενδιαφέρον, να εφαρμοστούν σ' αυτή οι νέες μέθοδοι του H.D.R. (Hot Dry Rock), οι οποίες δοκιμάζονται πρόσφατα κυρίως στις Η.Π.Α., Δυτική Ευρώπη και Ιαπωνία.

5. Η εφαρμογή και ηλιακών συστημάτων ασφαλώς θα αυξήσει σημαντικά το ποσοστό συμμετοχής των ανανεωσίμων πηγών ενέργειας στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της Πολυτεχνειούπολης. Μέρος των συστημάτων αυτών θα αφορά τη δυνατότητα αποθήκευσης ηλιακής θερμικής ενέργειας στο υπέδαφος της Πολυτεχνειούπολης (βλ. σ. 19, κεφ. 3).

6. Επειδή τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να λειτουργούν χωρίς διακοπές όλο το χρόνο, έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν πολύ υψηλές ποσότητες θερμικής ενέργειας ετησίως. Η δυνατότητα αυτή, σε συνδυασμό με εκείνη των ηλιακών συλλεκτών να παράγουν περίσσεια ζεστού νερού σε περιόδους μακράς ηλιοφάνειας, επιβάλλει τη μελέτη αξιοποίησης των ήδη κατασκευασμένων και μη χρησιμοποιούμενων έργων του κτιρίου του κεντρικού λεβητοστασίου-ψυχοστασίου και του κεντρικού δικτύου τροφοδοσίας ζεστού και κρύου νερού για θέρμανση και ψύξη των κτιρίων της Πολυτεχνειούπολης. Κι έτσι πιστεύουμε, ότι η τηλεθέρμανση και η τηλεψύξη με ανανεώσιμες και περιβαλλοντικά καθαρές μορφές ενέργειας θα μπορέσουν να γίνουν πραγματικότητα και στην Ελλάδα.

Στον Τομέα Γεωλογικών Επιστημών του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών ετοιμάζεται, σε συνεργασία με τον Αναπλ. Καθηγητή κ. Κιμ. Αντωνόπουλο του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, πρόταση μελέτης εφαρμογής των γεωθερμικών και ηλιακών συστημάτων για θέρμανση και κλιματισμό του υπό κατασκευή κτιρίου της βιβλιοθήκης της Πολυτεχνειούπολης. Με την εφαρμογή αυτή θα επιτευχθούν:

1. Η κάλυψη μέρους ή όλων των θερμικών και ψυκτικών αναγκών της βιβλιοθήκης, οι οποίες ανάγκες είναι, σε σχέση με τα άλλα κτίρια, αυξημένες, λόγω του σταθερού και μακρότερου ωραρίου λειτουργίας της, που μάλιστα δεν διακόπτεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

2. Η απόκτηση πολύτιμων στοιχείων για τα χαρακτηριστικά και την απόδοση της λειτουργίας της εγκατάστασης, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και για τις γεωθερμικές συνθήκες και τη θερμική συμπεριφορά του υπεδάφους στη διάρκεια της λειτουργίας. Τα στοιχεία αυτά θα είναι χρησιμότερα για τις παραπέρα εφαρμογές σε άλλα κτίρια.

Αναφέρουμε τέσσερα παραδείγματα παρόμοιων γεωθερμικών έργων από τα πολλά που μέχρι σήμερα έχουν κατασκευασθεί στο εξωτερικό:

— Το γεωθερμικό έργο της νέας πόλης Cergy-Pontoise, 25Km ΒΔ του Παρισιού, με γεώτρηση βάθους 1530m που αποδίδει νερό θερμοκρασίας 55°C με παροχή 180-200m³/h. Το έργο αυτό καλύπτει το 70% των θερμικών αναγκών 2.900 κατοικιών.

— Στην πόλη Creil, στην πεδιάδα του Παρισιού, μια γεωθερμική εγκατάσταση τροφοδοτείται με υπόγειο νερό θερμοκρασίας 55°C με παροχή 215m³/h και θερμαίνει 2.000 κατοικίες. Στη συνέχεια το νερό αυτό διέρχεται από 3 μεγάλες αντλίες θερμότητας και ψύχεται στους 5°C για να αποδόσει θερμική ενέργεια για άλλες 2.000 κατοικίες (βλέπε φωτογραφία).

— Το γεωθερμικό έργο του Pessac, προαστίου ΝΔ του Bordeaux, αποτελείται από γεώτρηση βάθους 1000m., που αποδίδει νερό θερμοκρασίας 48°C με παροχή 150m³/h και καλύπτει τις ανάγκες σε ζεστό νερό 1526 διαμερισμάτων, με μέση ετήσια κατανάλωση 18.815MWh (βλέπε φωτογραφία).

— Στη Σουηδία, χώρα πλούσια και με μεγάλη παραγωγή φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας, η κυβέρνηση, προκειμένου να εφαρμοσθούν συστήματα χρησιμοποίησης ανανεωσίμων πηγών ενέργειας, επέβαλε με νόμους περιορισμούς στην κατανάλωση πετρελαίου θέρμανσης 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 κατασκευάσθηκε γεωθερμικό έργο, παρ' όλο ότι η γεωθερμική βαθμίδα της περιοχής είναι κανονική, δηλ. 3°C ανά 100m. Το έργο αποτελείται από 2 γεωτρήσεις άντλησης υπόγειου νερού θερμοκρασίας 25°C με συνολική παροχή 700m³/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.