

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΟΥΣΑΚΙΟΥ, ΑΓΙΩΝ ΘΕΟΔΩΡΩΝ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ

Φυτίκας Μ.¹, και Ανδρίτσος Ν.²

¹ Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 546 21 Θεσσαλονίκη, fytikas@auth.gr

² Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 38334, Βόλος, nandrits@uth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το γεωθερμικό πεδίο Σουσακίου βρίσκεται στο δυτικό άκρο του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Ν. Αιγαίου και αποτελεί ένα από τα καλύτερα ερευνημένα πεδία της χώρας μας. Στόχος της εργασίας είναι η αξιολόγηση των υπαρχόντων στοιχείων και η διερεύνηση πιθανών εφαρμογών των θερμών νερών της περιοχής. Εξέταση των υπαρχουσών γεωτρήσεων παραγωγής έδειξε ότι τρεις από αυτές βρίσκονται σε καλή κατάσταση, ενώ οι κεφαλές δύο άλλων παραγωγικών γεωτρήσεων είναι κατεστραμμένες λόγω διάβρωσης. Η ενεργειακή αξιοποίηση του πεδίου Σουσακίου είναι εφικτή, παρά τη σχετικά μεγάλη απόσταση του πεδίου από την περιοχή των εφαρμογών, με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας κοντά στο πεδίο και επανεισαγωγή των ρευστών υπό πίεση στον ταμειυτήρα. Προκαταρκτική τεχνικο-οικονομική μελέτη έχει δείξει ότι ο χρόνος απόσβεσης των εγκαταστάσεων και του δικτύου μεταφοράς του γλυκού νερού, παρά τη μεγάλη απόσταση (7 km), είναι μόνο τρία χρόνια περίπου.

UTILIZATION OF GEOTHERMAL FLUIDS IN THE SOUSSAKI FIELD, AG. THEODOROI, CORINTH AREA

Fytikas M.¹, and Andritsos N.²

¹ Department of Geology, 546 21 Thessaloniki, fytikas@auth.gr

² Department of Mechanical and Industrial Engineering, 38334, Volos, nandrits@uth.gr

ABSTRACT

The interesting geothermal field of Soussaki lies at the far western end of the active volcanic arc of South Aegean. The Soussaki area shows many signs of important hydrothermal activity, due to tectonic active faults. Several exploratory and productive wells have been drilled by IGME, while two deep exploratory wells were drilled in 1991. The aim of this work is to assess the existing geothermal data of the field and to investigate possible applications of geothermal waters. Several production wells are still in good condition and operable, while the heads of two other wells (which exhibited the highest water temperature in the region) were totally damaged by corrosion. Despite the relatively long distance between the production wells and the site of thermal applications (6-7 km), the energy utilization of the Soussaki waters is possible through the use of primary corrosion-resistant heat exchangers to the lower temperature freshwater supplying the heating system. A gross feasibility study shows a simple payback period of three years for the whole heating systems, including the drilling of two new wells and the heating circuit.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

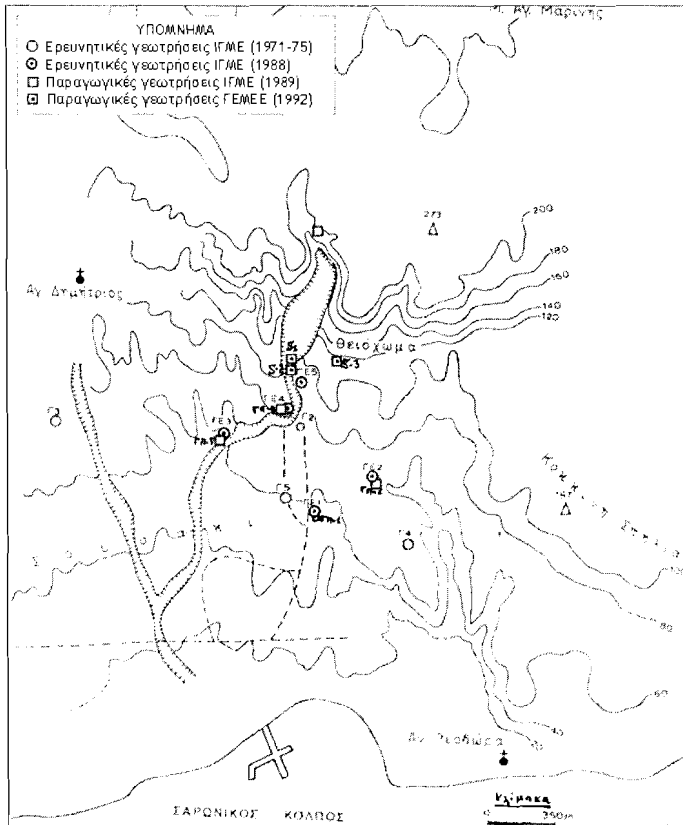
Η χώρα μας είναι ιδιαίτερα ευνοημένη όσον αφορά στην ύπαρξη γεωθερμικής ενέργειας και τα τελευταία τριάντα πέντε χρόνια έχει γίνει αξιόλογη βασική έρευνα (κυρίως από το ΙΓΜΕ) για τον εντοπισμό και χαρακτηρισμό των γεωθερμικών πεδίων σε όλη τη χώρα. Η Ελλάδα, μαζί με την Ιταλία και την Πορτογαλία, είναι οι μόνες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στις οποίες υπάρχουν πεδία υψηλής ενθαλπίας (με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 150°C). Επίσης, η χώρα μας διαθέτει πληθώρα περιοχών, κυρίως στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα και σε νησιά του Αιγαίου, με θερμοκρασίες ταμιευτήρων που προσεγγίζουν τους 100°C. Ένα από τα σχετικά καλά ερευνημένα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας της χώρα μας είναι και το πεδίο Σουσακίου, κοντά στους Αγ. Θεοδώρους Κορινθίας. Παρά το αξιόλογο γεωθερμικό πλούτο, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στη χώρα μας είναι μικρή, ιδιαίτερα αν συγκριθεί με τις εξελίξεις σε άλλες χώρες (Andritsos et al, 2007).

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η συγκέντρωση και αξιολόγηση των γεωθερμικών δεδομένων του πεδίου Σουσακίου Κορινθίας, η καταγραφή της κατάστασης των υπάρχουσών γεωθερμικών γεωτρήσεων στην περιοχή, καθώς και η διερεύνηση πιθανών εφαρμογών της γεωθερμικής ενέργειας με παράλληλη περιγραφή των απαραίτητων έργων υποδομής που απαιτούνται και των οικονομοτεχνικών συνθηκών που θα προκύψουν.

2 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΣΟΥΣΑΚΙΟΥ

Η περιοχή Σουσακίου βρίσκεται σε ένα ιδιαίτερα ενεργό γεωλογικά χώρο: στο ανατολικό όριο της ενεργής τεκτονικής τάφρου του Κορινθιακού κόλπου και στο δυτικό άκρο του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου. Για το λόγο αυτό η περιοχή, με πολλές επιφανειακές υδροθερμικές ενδείξεις, επιλέχθηκε από την αρχή της δεκαετίας του 1970 ως μία από τις γεωθερμικά ενδιαφέρουσες περιοχές του ελλαδικού χώρου, από τον εμπειρογνώμονα του ΟΟΣΑ καθ. G. Marinelli. Οι πρώτες έρευνες για τον εντοπισμό γεωθερμικού πεδίου στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν από το ΙΓΜΕ την περίοδο 1971-1975. Ακολούθησε το 1979 λεπτομερής γεωχημική έρευνα με δειγματοληψίες και χημικές αναλύσεις δειγμάτων νερών-αερίων. Εν συνεχεία, η ΔΕΗ ανέθεσε στο ΙΓΜΕ πολύπλευρη γεωθερμική έρευνα (γεωλογική, υδρογεωλογική, γεωχημική, γεωφυσική μελέτη της περιοχής), ενώ η ίδια εκτέλεσε οκτώ γεωτρήσεις θερμοβαθμίδας, μέσου βάθους 100 m. Αποτέλεσμα των ερευνών αυτής της φάσης, σε συνδυασμό με την αρχική του ΙΓΜΕ, ήταν ο εντοπισμός μίας περιοχής θερμικής ανωμαλίας με κυκλοφορία θερμών ρευστών σε μικρά βάθη: 63-73°C σε βάθη έως 180 m. Η περιοχή αυτή βρίσκεται κυρίως στο ΒΑ τμήμα της πεδιάδας του Σουσακίου και την περιοχή Θειόχωμα (Σχ. 1). Για τη μελέτη των θερμών υδροφόρων, το ΙΓΜΕ προχώρησε το 1988 στην εκτέλεση πέντε νέων ερευνητικών-δειγματοληπτικών γεωτρήσεων (ΓΕ-1, ΓΕ-2, ΓΕ-3, ΓΕ-4 και ΓΕ-5) σε επιλεγμένες θέσεις της περιοχής Σουσακίου. Στη συνέχεια, εκτελέστηκαν το 1989 τέσσερις γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής μεγάλης διαμέτρου (ΓΠ-1, ΓΠ-2, ΓΠ-3 και ΓΠ-4). Οι δοκιμαστικές αντλήσεις πραγματοποιήθηκαν από το ΙΓΜΕ το 1990, ενώ το 1991 διενεργήθηκε μία δοκιμή χρήσης υπόγειου εναλλάκτη θερμότητας με ενδιαφέροντα αποτελέσματα σε μία από τις γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής. Οι έρευνες αυτές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι στην περιοχή υπάρχει γεωθερμικός ταμιευτήρας με θερμοκρασίες ρευστού που κυμαίνονται από 50 έως 77°C, σε βάθη από 120 έως 200 m, με ελάχιστη απολήψιμη ποσότητα γεωθερμικού ρευστού 5,1 εκατομμυρίων m³. Τα θερμά ρευστά φιλοξενούνται στα νεογενή κλαστικά ιζήματα που καλύπτουν τους ασβεστόλιθους-δολομίτες και στο ανώτερο κατακερματισμένο τμήμα των οφιολίθων που υπόκεινται των νεογενών ιζημάτων. Το 1991, η περιοχή μισθώθηκε από το ΥΠΑΝ στην τότε ΓΕΜΕΕ Α.Ε. (θυγατρική της ΕΤΒΑ) για τη διερεύνηση και αξιοποίηση του πιθανού βαθέος γεωθερμικού ταμιευτήρα με κατάλληλες γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής. Το πρόγραμμα υλοποιήθηκε με τη συνεργασία ΓΕΜΕΕ, ΙΓΜΕ και BRGM Γαλλίας. Ύστερα από έρευνα και επανεκτίμηση των στοιχείων των προηγούμενων ερευνών καθορίστηκαν οι θέσεις τριών γεωτρήσεων, που εκτελέστηκαν το 1992. Η πρώτη (S-1) συνάντησε τον πρώτο-ρηχό γεωθερμικό ταμιευτήρα, που φιλοξενείται στους οφιολίθους και είχε εντοπιστεί από τις παλαιότερες έρευνες, στα βάθη των 250-290 m, με θερμοκρασίες 77-78,5°C και παροχή 60-90 m³/h.

Στη συνέχεια εντόπισε βαθύτερο ταμιευτήρα στα βάθη των 588-902 m, με θερμοκρασία 62-63°C και παροχή 120-160 m³/h, που φιλοξενείται σε δολομιτικά πετρώματα. Στη δεύτερη βαθιά γεώτρηση (S-3) μάλλον δεν προέκυψαν πολύ σαφή στοιχεία για τον ρηχό ταμιευτήρα, ενώ τα ρευστά του βαθύτερου ταμιευτήρα είχαν θερμοκρασία χαμηλότερη κατά 5-10°C από αυτή της S-1. Τέλος, η ρηχή γεώτρηση S-2 ανορύχθηκε για την επανεισαγωγή των ρευστών κατά την άντληση των προηγούμενων.



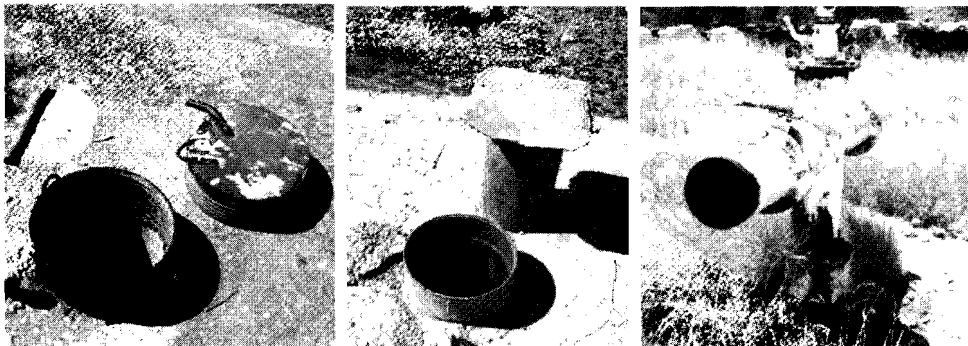
Σχήμα 1. Χάρτης θέσεων γεωτρήσεων στο πεδίο Σουσακίου.

Οι παλιές ερευνητικές γεωτρήσεις του 1971-80 έχουν εντελώς ή σχεδόν εντελώς καταστραφεί. Αντίθετα, οι τρεις από τις πέντε νεότερες ερευνητικές (μη παραγωγικές) γεωτρήσεις του 1988 διατηρούνται σε καλή σχετικά κατάσταση και μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως γεωτρήσεις παρατηρήσεως-πιεζομετρικές. Επίσης, αξιοποιήσιμες είναι οι παραγωγικές γεωτρήσεις ΓΠ-1, ΓΠ-2 (Σχ. 2) και ΓΠ-3, οι οποίες διατηρούν σε πολύ καλή κατάσταση τις παραγωγικές και τις πιεζομετρικές σωληνώσεις. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με ενδεχόμενες μικρο-επισκευές και αφού δοκιμαστούν υπό πραγματικές και μακράς διάρκειας συνθήκες λειτουργίας. Αντίθετα, η ΓΠ-4 με μεγαλύτερες θερμοκρασίες, έχει εντελώς κατεστραμμένες τις σωληνώσεις της από την εντονότατη διάβρωση (πιθανότατα από τις εκπομπές υδροθείου) και δε φαίνεται ότι θα μπορούσε να επισκευασθεί και να λειτουργήσει. Η σημερινή κατάσταση της κεφαλής της βαθιάς γεώτρησης S-1 φαίνεται στη φωτογραφία του Σχ. 2. Υπάρχει έντονη διάβρωση όλων των τμημάτων της κεφαλής και καμία βάνα δε φαίνεται να λειτουργεί.

Ανάλυση της υγρής φάσης σε πέντε γεωτρήσεις του πεδίου Σουσακίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Σύγκριση της σύστασης του υγρού με το θαλασσίνο νερό δείχνει σημαντική αύξηση της συγκέντρωσης του ασβεστίου, του καλίου και των όξινων ανθρακικών ιόντων και μείωση της συγκέντρωσης του μαγνησίου και των θειικών ιόντων. Αυτή η τροποποίηση της σύστασης αναμένεται όταν το γεωθερμικό νερό προέρχεται από θαλάσσια αρχική τροφοδοσία (Truesdell,

1975). Ο λόγος μοριακότητας των Cl/Na είναι αντίστοιχα 1,18 και 1,20 για τις γεωτρήσεις S-1 και ΓΠ-4.

Η σύσταση των μη-συμπυκνωσίμων αερίων από δύο γεωτρήσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Η αέρια φάση των γεωτρήσεων, μετά την αφαίρεση των υδρατμών, αποτελείται σχεδόν κατά 98-99% (κ.ό.) από CO₂, με το υπόλοιπο να είναι βασικά H₂S. Το O₂ και μέρος του N₂ που μετρήθηκαν προέρχονται μάλλον από ρύπανση των δειγμάτων με ατμοσφαιρικό αέρα. Μεθάνιο ανιχνεύθηκε μόνο στη γεώτρηση ΓΠ-4. Σημειώνεται ότι σχεδόν σε όλα τα γεωθερμικά αέρια του ενεργού ηφαιστειακού τόξου Αιγαίου περιέχουν σημαντικές ποσότητες υδροθείου (π.χ. στη Μήλο και Νίσυρο).



Σχήμα 2. Σημερινή κατάσταση των κεφαλών των γεωτρήσεων ΓΠ-1 (αριστερά) και ΓΠ-2 (κέντρο) και S-1 (δεξιά) στο Σουσακί (φωτογράφηση 21/8/2007).

Πίνακας 1. Επιλεγμένες αναλύσεις γεωθερμικών νερών από γεωτρήσεις του πεδίου Σουσακίου

	ΓΠ-4* (ΙΓΜΕ)	S-1* (ΓΕΜΕΕ)	ΓΠ-1** (ΙΓΜΕ)	ΓΠ-2** (ΙΓΜΕ)	ΓΠ-3** (ΙΓΜΕ)	Θάλασσα (Αιγαίο)
Χαρακτηριστικά γεώτρησης						
Βάθος γεώτρησης (m)	200	1036	-	-	-	-
Μέγιστη παροχή (m ³ /h)	>80	>60	δ.α.	δ.α.	δ.α.	-
Λόγος παρ. Αέρ./Υγρ. (Nm ³ /m ³)	1.4	3.6	δ.α.	δ.α.	δ.α.	-
Θερμοκρασία στην κεφαλή (°C)	76	62	63.3	59	60	(20)
pH (25°C)	6.80	6.78	6.6	6.55	6.9	(8.2)
Αγωγιμότητα (25°C, μS/cm)	62000	65200	δ.α.	δ.α.	δ.α.	-
Συνολικά Διαλυμένα Στερεά (g/L)	46.2	48.8	38.1	40.4	43.1	39.0
Χημική ανάλυση (mg/L)						
Na ⁺	13770	14440	1164 0	1174 8	1265 0	11800
K ⁺	1964	839	1603	1447	1603	580
Ca ²⁺	1120	1680	800	896	992	400
Mg ²⁺	720	1280	505	554	923	1480
Fe ²⁺	0.5	0.7	2.4	1.6	2.2	0.001
Mn ²⁺	0.6	0.6	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0.001
Sr ²⁺	19.2	15.2	20	20	21	10
Li ⁺	61.2	12.8	51	δ.α.	47	0.20

Cl ⁻	25480	26270	2113 0	2293 0	2400 0	21800
F ⁻	0.6	0.8	δ.α.	δ.α.	δ.α.	1.5
HCO ₃ ⁻	1531	2187	1600	1647	1830	165
HS ⁻	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-
SO ₄ ²⁻	1296	3120	1344	1776	1776	3030
SiO ₂	145	55	154	146	133	4
As	0.2	0.3	δ.α.	δ.α.	δ.α.	0.01
B	0.6	32.6	105	87	96	4.6
CO ₂ (διαλυμένο)	310	408	δ.α.	δ.α.	δ.α.	-
δ.α.: δεν αναφέρεται, * Andritsos et al. (1994), ** ΙΓΜΕ (1991)						

Πίνακας 2. Σύσταση των μη-συμπυκνώσιμων αερίων από γεωτρήσεις του πεδίου Σουσακίου

Αέριο	ΓΠ-4*	S-1*	ΓΠ-4**
CO ₂	97.9	97.3	98.8
N ₂	0.9	2.15	0.2
O ₂	0.2	0.15	-
CH ₄	0.0	0.08	-
H ₂ S	1.0	0.32	0.62
Ar+He	δ.α.	δ.α.	0.48
N ₂ /O ₂	4.5	14.3	-

δ.α.: δεν αναλύθηκε, * Andritsos et al. (1994), ** Arabatzoglou et al. (1994)

Τέλος, τα γεωθερμικά ρευστά από τις γεωτρήσεις ΓΠ-4 και S-1 του πεδίου Σουσακίου παρουσίασαν έντονη τάση για σχηματισμό επικαθίσεων κατά τη διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων και μέσα σε μερικές δεκάδες ώρες λειτουργίας των γεωτρήσεων είχαν σχηματιστεί στιβάδες επικαθίσεων πάχους μερικών χιλιοστούμετρων. Οι επικαθίσεις αποτελούνται κατά 95-97% κ.β. από CaCO₃, (με κυρίαρχη φάση τον αραγωνίτη) και όταν είναι ξηρές είναι σχετικά σκληρές και συνεκτικές. Είναι προφανές ότι η πολυμορφική φάση που σχηματίζεται εξαρτάται από την υψηλή συγκέντρωση Mg.

3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Εκτός από την απόληψη της θερμότητας των γεωθερμικών νερών του πεδίου Σουσακίου, δεν μπορεί να γίνει αξιοποίηση κάποιου παραπροϊόντος (π.χ. του CO₂, παρά τις σημαντικές ποσότητες του που μπορούν να διαχωριστούν), λόγω της σημαντικής παρουσίας και H₂S στην αέρια φάση, ως και την ανάγκη να μη γίνει διαχωρισμός των γεωθερμικών φάσεων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων σχηματισμού επικαθίσεων CaCO₃. Γενικά, για την αξιοποίηση ενός γεωθερμικού πεδίου λαμβάνονται υπόψη αρκετοί παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι (Φυτίκας & Ανδρίτσος 2004):

- Η θερμοκρασία και η παροχή του γεωθερμικού ρευστού. Είναι προφανές ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του γεωθερμικού νερού, τόσο ελκυστικότερη γίνεται η αξιοποίηση ενός πεδίου και διευρύνονται οι πιθανές χρήσεις του. Στο πεδίο Σουσακίου η θερμοκρασία των ρευστών στην κεφαλή των γεωτρήσεων (μετά από άντληση) κυμαίνεται από 59 μέχρι 76°C.
- Η χημική σύσταση των δύο φάσεων. Η υψηλή αλατότητα και οι εκπομπές H₂S περιορίζουν τον τρόπο αξιοποίησης των ρευστών και καθιστούν αναγκαία την απόληψη της θερμότητας με εναλλάκτη πλάκων και την επανεισαγωγή του γεωθερμικού νερού στον ταμιευτήρα.
- Η απόσταση των γεωτρήσεων από τις θέσεις των πιθανών χρήσεων. Το θερμικό περιεχόμενο των γεωθερμικών ρευστών είναι μικρό και είτε το ίδιο το γεωθερμικό νερό ή το νερό που θερμάνθηκε δεν μπορεί να μεταφερθεί με οικονομικό τρόπο σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.
- Ο οικονομικός χαρακτήρας της περιοχής. Εάν για παράδειγμα στην περιοχή υπάρχουν θερμοκηπιακές καλλιέργειες θα μπορούσε μέρος της θερμότητας να διοχετευθεί σε υπάρχοντα ή σε νέα θερμοκήπια, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες η θερμότητα να Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

χρησιμοποιείται για την ξήρανση αγροτικών προϊόντων. Εάν η περιοχή παρουσιάζει τουριστικό ενδιαφέρον και βρίσκεται σχετικά κοντά σε μεγάλα αστικά κέντρα, η θέρμανση πισίνας και η λουτροθεραπεία αποτελούν πιθανές εφαρμογές των γεωθερμικών νερών.

Με βάση τα παραπάνω, για την περιοχή Σουσακίου-Αγίων Θεοδώρων θα μπορούσαν να συζητηθούν τρεις πιθανές χρήσεις: αγροτικές, θέρμανση κτιρίων και λουτροθεραπεία.

4 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ

Οι γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου που έχουν γίνει στην περιοχή Σουσακίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν (τουλάχιστον οι περισσότερες) αφού πρώτα γίνουν μερικές κατάλληλες δοκιμές άντλησης ικανοποιητικής διάρκειας και παροχής. Έτσι, θα προκύψουν βάσιμα στοιχεία για τη μόνιμη λειτουργία των συνολικών εγκαταστάσεων για ένα διάστημα 25 τουλάχιστον ετών. Μόνο κατ' αυτό τον τρόπο θα μπορέσουν να συνταχθούν οι οριστικές μελέτες εφαρμογής όλων των έργων υποδομής που χρειάζονται. Επίσης, θα διαπιστωθεί αν είναι απαραίτητες κάποιες παρεμβάσεις σε ορισμένες γεωτρήσεις, οι οποίες ύστερα από 15-18 χρόνια που πέρασαν από την κατασκευή τους ίσως χρειάζονται μικρο-επισκευές. Τέλος, θα πρέπει να αποφασισθεί οριστικά η κατασκευή ή όχι μιας τέταρτης γεώτρησης παραγωγής που θα αντικαταστήσει την ΓΠ-4. Επίσης, θα πρέπει να γίνει μια νέα γεώτρηση μεγάλης διαμέτρου, που θα χρησιμοποιηθεί για την επανεισαγωγή των ρευστών των γεωτρήσεων ΓΠ-1, ΓΠ-2 και ΓΠ-3 ύστερα από την απόληψη της θερμότητάς τους. Η θέση της τοποθετείται σε απόσταση ~800 m δυτικά της γεώτρησης ΓΠ-1, όπου οι θερμοκρασίες του ταμιευτήρα ελαττώνονται, ενώ οι γεωλογικοί σχηματισμοί παραμένουν οι ίδιοι και πιστεύεται ότι θα έχουν πολύ καλή απορροφητικότητα. Χρησιμοποιώντας μεγαλύτερη διάμετρο και φίλτρα σε όλους τους υδροπερατούς οριζόντες που θα συναντηθούν, ελπίζεται βάσιμα ότι η γεώτρηση θα μπορέσει να δεχθεί το σύνολο των ρευστών των τριών γεωτρήσεων που αναφέρθηκαν (>300 m³/h).

Από την αξιολόγηση των γεωθερμικών ρευστών και την ανάγκη για αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων επικαθίσεων συνάγεται ότι το σχήμα αξιοποίησης του πεδίου θα είναι τύπου «διπλού». Το γεωθερμικό ρευστό κάθε γεώτρησης θα περνά μέσα από έναν ή δύο εναλλάκτες θερμότητας, όπου θα αποδίδει τη θερμότητά του, και θα επανεισάγεται στον ταμιευτήρα μέσω των γεωτρήσεων επανεισαγωγής.

Η απόσταση μεταφοράς της θερμικής ενέργειας από τους εναλλάκτες των τεσσάρων παραγωγικών γεωτρήσεων προς τους υποψήφιους καταναλωτές στο χώρο ΑΒΑ των Αγ. Θεοδώρων μέχρι την κεντρική δεξαμενή υποδοχής είναι περίπου 6-7 km. Το κόστος της επένδυσης είναι υψηλό, κυρίως λόγω της μεγάλης δαπάνης για το διπλό υπόγειο δίκτυο μεταφοράς του γλυκού νερού από τη δεξαμενή συλλογής στο Σουσάκι στις θέσεις εφαρμογής στους Αγ. Θεοδώρους (και επιστροφή). Το δίκτυο θα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορεί να καλύψει τυχόν μελλοντική αύξηση της ζήτησης του θερμού νερού, τουλάχιστον μέχρι τα 500 m³/h.

Παράλληλα ή και ανεξάρτητα από τα παραπάνω μπορεί να γίνει αξιοποίηση της βαθιάς παραγωγικής γεώτρησης S-3 με ένα ξεχωριστό δίκτυο. Το νερό από την S-3 θα μπορούσε να θερμάνει το αχρησιμοποίητο μέχρι στιγμής διπλανό θερμοκήπιο 5 στρεμμάτων, μαζί με ενδεχόμενη επέκτασή του κατά επί πλέον 15 στρέμματα, αφού το γεωθερμικό νερό της γεώτρησης στην κατάσταση που βρίσκεται (100 και πλέον m³/h στους 58°C) είναι ικανοποιητικό για τη θέρμανση μιας τέτοιας έκτασης. Οι σχετικές εγκαταστάσεις (αντλιοστάσιο, εναλλάκτης θερμότητας και δίκτυα μεταφοράς νερού) θα εξυπηρετήσουν στο διάστημα που δε χρειάζεται θέρμανση το θερμοκήπιο, ένα ξηραντήριο, που θα μπορούσε να εγκατασταθεί και αυτό κοντά στη βαθιά γεώτρηση S-3.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 5.1, που περιλαμβάνει τα κυριότερα στοιχεία των μέχρι τώρα διαθέσιμων αποτελεσμάτων όλων των γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου, θα προδιαγράψουμε τρία σενάρια εκμετάλλευσης με τη μεταφορά θερμού νερού στους Αγ. Θεοδώρους. Ένα τέταρτο σενάριο, η επιτόπια χρήση της γεώτρησης S-3, ουσιαστικά μπορεί να μπορεί να προστεθεί σε οποιαδήποτε από τα τρία πρώτα σενάρια.

Μπορούν να διατυπωθούν αρκετά σενάρια αξιοποίησης του πεδίου Σουσακίου. Ένα ρεαλιστικό σενάριο περιλαμβάνει τις λειτουργούσες γεωτρήσεις ΓΠ-1, ΓΠ-2 και ΓΠ-3, σε συνδυασμό με τη γεώτρηση ΓΠ-4 είτε ύστερα από επιδιόρθωσή της ή ύστερα από την κατασκευή νέας γεώτρησης σε διπλανό σημείο. Σε αυτή την περίπτωση, η συνολική παροχή αυξάνει στα:

$$Q = 80 + 80 + 50 + 90 = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

με μέση θερμοκρασία νερών:

$$T_{ave} = \frac{80 \times 63.2 + 80 \times 59.0 + 50 \times 60.0 + 90 \times 76.4}{300} = 65.5^\circ\text{C}$$

Για την αποτίμηση της θερμότητας που μπορεί να αποληφθεί, θα υπολογιστεί η (μέγιστη) θερμική ισχύς που αποδίδεται με τα προαναφερθέντα σενάρια θεωρώντας ότι η τελική θερμοκρασία απόρριψης-επανεισαγωγής των γεωθερμικών νερών είναι 37°C . Με τις παραπάνω θεωρήσεις, η θερμική ισχύς για το παραπάνω πραγματικό σενάριο εκτιμάται σε:

$$P = Q \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_i - T_o) = \frac{300(\text{m}^3/\text{h})}{3600(\text{s/h})} \cdot 1025 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \cdot (65,5 - 37)(\text{K}) = 10180 (\text{kW}_t) = 10,2 (\text{MW}_t)$$

όπου P είναι η ισχύς που παρέχει το γεωθερμικό ρευστό (σε MW_t), c_p η ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού ($4,18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ στους 50°C), Q η ογκομετρική παροχή του ρευστού (m^3/h), ρ η πυκνότητα του γεωθερμικού ρευστού (1025 kg/m^3 στους 50°C και συγκέντρωση 1 M σε NaCl), T_i η θερμοκρασία στη κεφαλή της γεώτρησης ή η θερμοκρασία του ρευστού που εισέρχεται στον εναλλάκτη θερμότητας (σε $^\circ\text{C}$) και T_o η θερμοκρασία του ρευστού που απορρίπτεται τελικά ή επανεισάγεται στον ταμιευτήρα (σε $^\circ\text{C}$).

Για το σενάριο της αξιοποίησης της S-3 έχουμε:

$$P_3 = Q_3 \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{i3} - T_o) = \frac{120(\text{m}^3/\text{h})}{3600(\text{s/h})} \cdot 1025 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \cdot (58 - 37)(\text{K}) = 3890 (\text{kW}_t) = 3,9 (\text{MW}_t)$$

Τα παραπάνω θερμικά δυναμικά, με την υπόθεση ότι θα έχουμε τη μέγιστη αξιοποίηση για 1800 ώρες το χρόνο (μικρός σχετικά ετήσιος συντελεστής λειτουργίας, 20%) και ότι στο δίκτυο μεταφοράς υπάρχουν 10% απώλειες, αντιστοιχούν στις παρακάτω ποσότητες θερμότητας που αξιοποιούνται σε ετήσια βάση (κατώτερη θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου θέρμανσης $42,6 \text{ MJ/kg}$):

$$(a) \quad q = 59,5 \times 10^{12} (\text{J}) = 1400 \text{ ΤΙΠ (τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου)}$$

$$(b) \quad q_3 = 22,8 \times 10^{12} (\text{J}) = 540 \text{ ΤΙΠ (τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου)}$$

Το ετήσιο κόστος πετρελαίου θέρμανσης που θα έπρεπε να καεί για να ληφθούν οι παραπάνω θερμικές ποσότητες μπορεί να υπολογιστεί με την υπόθεση ότι το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης ανέρχεται σήμερα στα 800 € το χιλιόλιτρο, η πυκνότητα του πετρελαίου είναι 850 kg/m^3 και η απόδοση του λέβητα 85%. Έτσι:

$$(a) \quad E = 1.550.000 \text{ €}$$

$$(b) \quad E_3 = 600.000 \text{ €}$$

Όπως αναφέρθηκε, ο μοναδικός τρόπος εκμετάλλευσης των γεωθερμικών ρευστών είναι το σύστημα «δίπολο», δηλ. μέσω εναλλακτών θερμότητας, όπου η θερμότητα από το πρωτεύον κύκλωμα (γεωθερμικό νερό από τις γεωτρήσεις) θα μεταφέρεται στο δευτερεύον κύκλωμα (κλειστό ουσιαστικά δισωλήνιο κύκλωμα με «γλυκό» νερό). Σε περίπτωση που υπάρχει ανάγκη για θερμό νερό χρήσης αυτό θα μπορεί να λαμβάνεται από το δευτερεύον κύκλωμα, στο οποίο βεβαίως θα διοχετεύεται αντίστοιχη ποσότητα ψυχρού γλυκού νερού.

Οι εναλλακτές θερμότητας (όπως και οι κατάλληλες αντλίες, βάνες κτλ.) θα εγκατασταθούν σε κατάλληλα κτίρια-μηχανοστάσια (θερμικοί σταθμοί). Επειδή οι γεωτρήσεις δεν απέχουν σημαντικά η μία από την άλλη, θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένας κεντρικός θερμικός σταθμός. Το γεωθερμικό ρευστό, αφού αποδώσει το θερμικό του περιεχόμενο μέσω εναλλάκτη θα οδηγείται στην γεώτρηση επανεισαγωγής. Σημειώνεται ότι στο πρωτεύον σύστημα η πίεση θα πρέπει να κρατείται σχετικά υψηλή (7-10 bar) για να μην υπάρξει εκτόνωση του CO_2 μέσα στη γεώτρηση. Από το θερμικό σταθμό το γλυκό θερμό νερό θα συγκεντρώνεται στη δεξαμενή-συλλέκτη του θερμού νερού και θα οδηγείται με αντλίες στους χρήστες.

Τα έργα υποδομής και προετοιμασίας των εγκαταστάσεων που θα χρειασθεί να γίνουν από τις υπάρχουσες και τις νέες γεωτρήσεις μέχρι τη δεξαμενή συγκέντρωσης της ενέργειας στους Αγ. Θεοδώρους για να διανεμηθεί στους χρήστες περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω, ενώ η εκτίμηση του κόστους παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

Πίνακας 3. Σύνοψη του κόστους των υποδομών για την αξιοποίηση των παραγωγικών γεωτρήσεων ΓΠ-1, ΓΠ-2, ΓΠ-3 και ΓΠ-4.

	Περιγραφή συστήματος ή συσκευής	Αριθμός μονάδων	Κόστος/ μονάδα, €	Σύνολο, 10 ³ €
	Κατασκευή νέας γεώτρησης παραγωγής ΓΠ-4α, βάθους 150 m	150 m	300	45
	Κατασκευή νέας γεώτρησης επανεισαγωγής ΓΕΠ-1, βάθους 250 m και μεγάλης διαμέτρου	250 m	300	75
	Αντλητικά συγκροτήματα κατακόρυφου άξονα, παροχής μέχρι 200 m ³ /h, με ρυθμιστή στροφών και αντοχής μέχρι 80°C	4	32.000	128
	Κτίρια θερμικών υποσταθμών κοντά στις γεωτρήσεις παραγωγής	4	60.000	240
	Εναλλάκτες θερμότητας νερού-νερού με πλάκες τιτανίου (δύο ανά γεώτρηση), παροχής περίπου 75 m ³ /h	8	30.000	240
	Βάνες, διακόπτες, ηλεκτρολογικοί πίνακες, αυτοματισμοί για κάθε θερμικό υποσταθμό	4	30.000	120
	Δίκτυο σωληνώσεων επανεισαγωγής από τις αντλίες γεωτρήσεις ΓΠ-1, ΓΠ-2, ΓΠ-3 στη γεώτρηση ΓΕΠ-1 και της γεώτρησης ΓΠ-4α στη S-1	2500 m	80	200
	Διπλός προμονωμένος αγωγός μεταφοράς γλυκού νερού θέρμανσης	7000 m	300	2100
	Μονωμένη θερμικά κεντρική δεξαμενή 500 m ³	2	50.000	100
0	Κόστος σύνδεσης της ΔΕΗ με τους 4 θερμικούς υποσταθμούς	-	50.000	50
1	Συστηματικές αντλήσεις 76 ωρών στην κάθε μια γεώτρηση παραγωγής και σχετικές μετρήσεις	4	35	140
2	Πλήρεις χημικές αναλύσεις (υγρών και αερίων) κόστους	10	400	4
3	Απρόβλεπτα			400
	ΣΥΝΟΛΟ			3842

Το λειτουργικό κόστος συνοψίζεται ως:

(1) Το ηλεκτρικό ρεύμα για τις αντλίες των γεωτρήσεων παραγωγής και τους κυκλοφορητές του γλυκού νερού. Η ηλεκτρική αυτή ενέργεια υπολογίζεται σε 1.200.000 kWh/έτος.

(2) Τέσσερις μόνιμοι εργαζόμενοι.

(3) Το κόστος του αναλογικού μισθώματος προς το ΥΠΑΝ το οποίο ανέρχεται στο 2% του κόστους χρήσης φυσικού αερίου για αντίστοιχη ποσότητα θερμότητας. (δ) Κόστος συντήρησης. Το ετήσιο λειτουργικό κόστος εκτιμάται σε 300.000 €.

Για να εκτιμηθεί ένας απλός χρόνος απόσβεσης της επένδυσης θα υποθεθεί ότι αξιοποιείται το 80% της αξιοποιήσιμης γεωθερμικής ενέργειας των δύο σεναρίων:

$$t(\text{έτη}) = \frac{\text{(Πάγιο Κόστος)}}{\text{(Κέρδος από τη μη χρήση πετρελαίου)} - \text{(Κόστος Συντήρησης)}} = \frac{4300}{1720 - 300} = 3 \text{ έτη}$$

Τέλος, οι δυνατές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας στην περιοχή των Αγ. Θεοδώρων συνοψίζονται ως εξής:

(1) Θέρμανση του κλειστού γυμναστηρίου με θερμαντικά σώματα και συστήματα ανεμιστήρα-στοιχείου (fan coils) και κάλυψη σε ανάγκες θερμού νερού (π.χ. νερό χρήσης 40°C ύστερα από τη διέλευσή του από τα θερμαντικά σώματα).

(2) Θέρμανση σχολικών κτιρίων με τους παραπάνω τρόπους.

(3) Θέρμανση ανοικτής πισίνας αναψυχής ολυμπιακών διαστάσεων στο πάρκο του Δήμου που μπορεί να λειτουργεί από τον Απρίλιο μέχρι τον Νοέμβριο.

(4) Θέρμανση κλειστής πισίνας.

(5) Θέρμανση υπαρχόντων θερμοκηπίων τα οποία βρίσκονται στη μέση περίπου της απόστασης μεταξύ του χώρου των γεωτρήσεων και των Αγ. Θεοδώρων.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ενεργειακή αξιοποίηση του πεδίου Σουσακίου είναι εφικτή, παρά τη σχετικά μεγάλη απόσταση του πεδίου από την περιοχή των εφαρμογών. Αξιοποίηση των θερμών νερών μπορεί να γίνει με

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

θέρμανση κτιρίων (π.χ. σχολικών συγκροτημάτων), του κολυμβητηρίου της πόλης και εγκαταστάσεων spas, τη δημιουργία θερμοκηπίων, ξηραντηρίων-αφυδατωτηρίων και εγκαταστάσεων εναλλακτικού γεωτουρισμού στην περιοχή Σουσακίου κλπ. Οι γεωθερμικές αυτές εφαρμογές όχι μόνο θα προσφέρουν σημαντική εξοικονόμηση καυσίμων αλλά μπορεί και να αποτελέσουν μοχλό περαιτέρω ανάπτυξης της περιοχής του Δήμου Αγ. Θεοδώρων Κορινθίας προς νέες κατευθύνσεις. Στα ενεργειακά οφέλη θα πρέπει να προσθέσουμε βέβαια και αρκετές νέες θέσεις εργασίας που θα δημιουργηθούν (μόνιμες και εποχιακές) μαζί με την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

Αναφορικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αυτές θα είναι ουσιαστικά μηδαμινές, αφού όλα τα γεωθερμικά ρευστά θα επανεισάγονται στο γεωλογικό ταμειυτήρα, και η κυκλοφορία αυτών και του θερμαινόμενου γλυκού νερού θα είναι σε υπόγειους, θερμικά μονωμένους αγωγούς και σε κλειστό κύκλωμα. Οι μόνες ορατές κατασκευές θα είναι τα μικρά μηχανοστάσια και οι δεξαμενές συλλογής του γλυκού νερού θέρμανσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν το Δήμο Αγίων Θεοδώρων για την ανάθεση μελέτης για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης του γεωθερμικού πεδίου Σουσακίου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Andritsos N., Karabelas A., Emmanouel Ch. & Karydakis G., 1994. Characterization of fluids from low-enthalpy geothermal fields in Greece. Proc. Int. Symposium Geothermics 94 in Europe, Orléans, Febr.8-9, 91-97.
- Andritsos N., Dalampakis P., Karydakis G., Kolios N. & Fytikas M., 2007 Update and characteristics of low-enthalpy geothermal applications in Greece. Proc., Eur. Geothermal Congress EGC 2007, May 30 - June 1, 2007, Unterhaching, Germany.
- Arabatzoglu D, Dovelos J., Demange, H & Gauthier, B., 1994. Conceptual model of the Soussaki geothermal field, Greece. Proc. Int. Symposium Geothermics 94 in Europe, Orléans, Febr.8-9, pp. 11-20.
- Fytikas M. & Kavouridis Th. 1985. Geothermal area of Sousaki-Loutraki. In Geothermics, Thermal-Mineral Waters and Hydrogeology, Theophrastus Publ. SA, Athens, p. 19.
- Owen L.B. & Michels, D.E., 1984. Geochemical Engineering Reference Manual, Report DOE/SF/ 11520-T1, Salt Lake City.
- Truesdell A.E., 1975. Summary of section III. Geochemical techniques in exploration. Proc. 2nd U.N. Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Fransisco, p. 27.
- ΙΓΜΕ, 1991. Τεχνική έκθεση.
- Φυτίκας Μ. & Ανδρίτσος Ν., 2004. Γεωθερμία. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.