

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΣΟΥΣΑΚΙΟΥ : ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Από τους

Α. ΓΕΩΡΓΑΛΑ , Α. ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟ και Ν. ΚΑΡΥΣΤΙΝΑΙΟ

ΣΥΝΟΨΗ

Η περιοχή του Σουσακίου γεωλογικά αποτελεί συνέχεια της τάφρου του Κορινθιακού κόλπου. Αποτελεί το ΒΔ άκρο του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου και παρουσιάζει, όπως και άλλες περιοχές του ίδιου τόξου, χαρακτηριστικές επιφανειακές εκδηλώσεις γεωθερμικής δραστηριότητας (ατμίδες, έκλυση H_2S κλπ).

Η έρευνα για τον εντοπισμό εκμεταλλεύσιμου Γεωθερμικού πεδίου στη περιοχή βασίστηκε σε σειρά γεωτρήσεων μικρού βάθους, 200 m, και σε δύο βαθύτερες γεωθερμικές γεωτρήσεις 900 και 1080 m. Γεωθερμικά ρευστά εντοπίστηκαν στους οφιόλιθους και στους ασβεστόλιθους. Οι καρστικοί υδροφόροι ασβεστόλιθοι του υποβάθρου διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην μείωση της θερμοκρασίας των γεωθερμικών ρευστών δεδομένου ότι εμφανίζουν υδροφορία θερμοκρασίας 60°C ενώ η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών στους υπερκείμενους οφιόλιθους είναι 77 °C. Έτσι παρ' ότι οι μελετηθέντες λοιποί υδρογεωλογικοί δείκτες υπονοούν γεωθερμικά ρευστά της τάξεως των 100°C, επιφανειακά λαμβάνονται ρευστά με θερμοκρασία 60°C. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού επιτρέπει τη ανάπτυξη συγκεκριμένων εφαρμογών αξιοποίησης του γεωθερμικού Πεδίου με επικρατέστερες τις: θέρμανση θερμοκηπίων, θέρμανση νερών ιχθυοτροφείου, και ενδεχόμενα μονάδα αφαλάτωσης.

Ο ποιοτικός έλεγχος των νερών του επιφανειακού υδροφορέα πραγματοποιήθηκε με τη συλλογή και ανάλυση δειγμάτων νερού από πηγάδια και γεωτρήσεις. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων, επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό των υδάτων της περιοχής σε : μαγνησιούχα-οξύ-ανθρακικά, χλωριομαγνησιούχα και χλωριονατριούχα. Εντοπίστηκε μια συγκεκριμένη περιοχή, στη οποία ο επιφανειακός υδροφορέας έχει δεχθεί τη επίδραση του γεωθερμικού πεδίου. Από ποιοτική άποψη τα νερά αυτά σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα άλλα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά θεωρούνται κατάλληλα, για αρδευτικούς μόνο σκοπούς υπό ορισμένους περιορισμούς (αποστράγγιση, προσθήκη γύψου κ.λ.π.). Για να αποφευχθεί περαιτέρω επιβάρυνση του περιβάλλοντος της περιοχής απο την σχεδιαζόμενη εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου, εξετάστηκαν διάφορες εναλλακτικές λύσεις για τον τρόπο διάθεσης του γεωθερμικού ρευστού. Η επικρατέστερη και προτεινόμενη λύση αφορά την χρησιμοποίηση κλειστών διατάξεων εναλλάκτων θερμότητας - δευτερεύοντος κυκλώματος και την επανεισαγωγή του γεωθερμικού ρευστού στον ταμιευτήρα.

* Geothermal field of Soussaki, development and environment.

** Georgalas L., G.E.M.E.E., A.E., 13 Amerikis str., 106 72 Athens Greece.

*** Liakopoulos A. and Karistineos N, I.G.M.E., Dept. of Environmental Geology, 70 Messogion Str. 115 27 Athens, Greece.

ABSTRACT

The Sousaki area is the continuation of the Corinthian Gulf. It is located at the NW end of the active volcanic arc of the South Aegean. Like other areas of the referred arc presents characteristic geothermal activities in the ground surface (fumaroles, H₂S release etc.). The research of the geothermal field has been based on some shallow bore holes and two deeper ones (900m and 1080m). Geothermal fluid has been found both in the ofiolites *

and in the underlying karstified limestones. The underlying karstified limestones play an important role towards the lowering of the geothermal fluid temperature. The observed geothermal marks, suggest for a surface temperature of 100°C. The measured temperature of the geothermal fluid in the near surface ofiolites is 77°C while the temperature in the underlying limestones is 60°C. The final temperature of the geothermal fluid in the ground surface permits the development of some specific applications such as the heating of green houses, heating of fish-farming water, and possibly seawater desalination unit.

The quality control of the existing in the area non-geothermal ground water, show that hydrogeologically they can be characterised as Mg⁺⁺- HCO₃⁻, Mg⁺⁺- Cl⁻, and Na⁺- Cl⁻ according to the Durov diagram. A specific area which has been affected naturally from the geothermal fluids appears of figure 3. The quality of the shallow ground waters is generally bad. Some of them can be used for irrigation purposes providing that there is an effective drainage in the irrigated fields. Gypsum additions may also be needed. In order to avoid further environmental deterioration of the surrounding area from the wastes of the projected geothermal plant, different solutions have been examined. The most appropriate and the proposed one provides the use of closed circulation in the heat exchangers and the re-injection of the geothermal fluids in the geothermal reservoir.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το γεωθερμικό πεδίο Σουσακίου βρίσκεται στο ΒΔ άκρο του ενεργού ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου και αποτελεί συνέχεια της τάφρου του Κορινθιακού κόλπου.

Οι κυριώτεροι γεωλογικοί σχηματισμοί από τους οποίους δομείται η ευρύτερη περιοχή συνίστανται, Μέττος κ.ά. 1982, από :

- Το υπόβαθρο αποτελούμενο από αλπικούς σχηματισμούς της υποελαγονικής ζώνης με ανθρακικά κυρίως πετρώματα, μέσω Τριηδικής - κάτω Κρητιδικής ηλικίας. Πρόκειται για παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους, συχνά δολομιτωμένους, παχυστρωματώδεις - στρωματώδεις, ωλιθικούς ασβεστόλιθους και ραδιολαρίτες. Στους σχηματισμούς αυτούς έχει επωθηθεί το ανω-Κρητιδικό κάλυμμα των οφιολίθων, αποτελούμενο από περιδοτίτες, σερπεντινίτες και γάββρους.

- Νεογενείς και Τεταρτογενείς, ποταμοχερσαίους, λιμναίους - υφάλμυρους και καμμία φορά θαλάσσιους σχηματισμούς αποτελούμενους από εναλλαγές μαργών, αργιλλούχων μαργών, ψαμμιτών και κροκαλοπαγών με ταχύτατες, μερικές φορές, πλευρικές μεταβάσεις μεταξύ τους.

- Ηφαιστειακά πετρώματα δακτινικής σύστασης που παρεμβάλλονται στα κατώτερα κυρίως μέλη των προηγούμενων σχηματισμών.

- Παλαιοί κώνοι κρημάτων και αλλουβιακές αποθέσεις του Ολοκαίνου.

Ερευνες για τον εντοπισμό της θερμικής ανωμαλίας, διεξήχθησαν στην περιοχή από το ΓΓΜΕ, την ΔΕΗ και την ΓΕΜΒΕ και συμπληρώθηκαν με σειρά γεωθερμικών γεωτρήσεων μικρού βάθους (<200 μέτρων) καθώς και με δύο βαθιές γεωθερμικές γεωτρήσεις Σ1 (900) και Σ2 (1080). Γεωθερμικά ρευστά εντοπίστηκαν τόσο στους οφιολίθους (77°C) όσο και στους υποκείμενους καρστικοποιημένους ασβεστόλιθους

(60 °C). Η χαμηλή θερμοκρασία, σε σχέση με αυτή των οφιολίθων, του γεωθερμικού ρευστού στον ταμειευτήρα των ανθρακικών πετρωμάτων, οφείλεται προφανώς σε μείξη του γεωθερμικού ρευστού με κρύο, επιφανειακό/θαλάσσιο, νερό. Η κυκλοφορία του κρύου αυτού ύδατος διευκολύνεται από την ύπαρξη καρστικών διαύλων επικοινωνίας μέσα στα ανθρακικά πετρώματα του υποβάθρου.

Στο σχήμα 1 δίνεται μιά απλοποιημένη λιθολογική στήλη καθώς και οι μετρηθείσες θερμοκρασίες για την γεώτρηση Σ1 (στοιχεία από : Καβουρίδης και Φυτίκας 1988 ; Αθανασούλης κ.ά., 1992 ; Βρέλλης κ.ά., 1992).

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

Από τους προαναφερθέντες γεωλογικούς σχηματισμούς, υδροφορία παρουσιάζουν οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις, οι οφιολίθοι και οι ασβεστόλιθοι (Μάστορης κ.ά, 1971 ; Κούνης 1976).

- Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις

Στη λοφώδη περιοχή, οι σχηματιζόμενοι υδροφόροι αναπτύσσονται κυρίως μέσα στα αδρομερή κοκκώδη πετρώματα και στις ηφαιστειακές λάβες Πλειο-Πλειστοκαινικής ηλικίας. Έχουν συνήθως ψηλές στάθμες και παρουσιάζουν ασυνεχή ανάπτυξη.

Στην πεδινή περιοχή, οι υδροφόροι ορίζοντες αναπτύσσονται κυρίως σε προσχωματικές αποθέσεις, το πάχος των οποίων φθάνει τις αρκετές δεκάδες μέτρα. Οι προσχωματικές αποθέσεις επικοινωνούν με την θάλασσα με ένα ευρύ μέτωπο. Η αποστράγγιση των υδροφόρων γίνεται προς την θάλασσα οι δε απαντούμενες στάθμες είναι χαμηλές.

Η παροχή των γεωτρήσεων που έγιναν για την εκμετάλλευση του υδροφόρου αυτού ορίζοντα, είναι της τάξεως των 50 με 90 m³/h, η δε υδροστατική στάθμη βρίσκεται 1,5 περίπου μέτρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

- Οφιολίθοι και σχιστοκερατόλιθοι : Εμφανίζονται στην περιοχή των Θειοχωμάτων, στην Αγία Μαρίνα και σε περιορισμένες εμφανίσεις στο ρέμα του Αγ. Δημητρίου. Είναι σερπεντινωμένοι, κατακρυστατισμένοι και υδροθερμικά εξαλλοιωμένοι, με μικρή γενικά περατότητα. Το ανώτερο αποσαθρωμένο τμήμα του σχηματισμού έχει αυξημένη περατότητα και η δυνατότητα κυκλοφορίας ύδατος είναι ευκολότερη με αποτέλεσμα να έχουμε τον σχηματισμό πηγών μικρής όμως παροχής. Οι παροχές των γεωτρήσεων είναι της τάξεως των 90 m³/h η δε υδροστατική στάθμη βρίσκεται περίπου 1,5 μέτρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

- Ασβεστόλιθοι : Αποτελούν το υπόστρωμα των οφιολίθων και σχιστοκερατολίθων, αναπτύσσονται συνεχώς και αναμένεται να βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με τις βορειότερες ασβεστολιθικές μάζες των Γερανείων. Έχουν πολύ καλή περατότητα λόγω κατατμήσεων και καρστικοποίησης. Στην περιοχή Σουσακίου, οι ασβεστόλιθοι αναπτύσσονται σε βάθος μεγαλύτερο των 500 μέτρων. Οι παροχές που εμφανίζονται στις δύο γεωτρήσεις της Γ.Ε.Μ.Ε.Ε. είναι της τάξεως των 150 m³/h.

Από τους σχηματισμούς αυτούς οι ασβεστόλιθοι βρίσκονται σε υδραυλική συνέχεια με τους ασβεστολίθους των Γερανείων και με την θάλασσα. Προσφέρουν έτσι συνθήκες εύκολης προσβολής των υδροφόρων οριζόντων από το θαλασσινό νερό.

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης συλλέχθηκαν, το διάστημα 14 & 15 Σεπτεμβρίου 1993, 8 δείγματα νερών από την ευρύτερη του Σουσακίου περιοχή. Οι θέσεις των δειγμάτων δίνονται στο σχήμα 4, στους δε πίνακες 1 & 2, δίνονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των 8 δειγμάτων, μαζί με χαρακτηριστικά αποτελέσματα αναλύσεων από τις γεωτρήσεις Σ1, Σ3, ΓΠ1, ΓΠ4 και την πηγή Π1. Τα τελευταία αυτά δείγματα έχουν συλλεχθεί σε παλαιότερη περίοδο. Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων είναι σε mg/l και η αγωγιμότητα (EC) σε μS/cm.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων τα δείγματα χαρακτηρίζονται με βάση την κατάταξη του διαγράμματος Durov (σχήμα 2) σε:

-Μαγνησιούχα - οξινοανθρακικά (1, 3, 5 και Π1),

-Χλωριομαγνησιούχα (4, 6, 7 και 8), και

-Χλωριοανατρίουχα (2, Σ1, Σ3, ΓΠ1 και ΓΠ4).

Με εξαίρεση τα τέσσερα δείγματα των γεωθερμικών γεωτρήσεων, το Mg επικρατεί του Ca.

Από τον λόγο Cl/HCO_3 (πίνακας 2, οι τιμές σε mg/l) φαίνεται ότι τα δείγματα 1, 3, 4 και 5 βρίσκονται στην περιοχή εμπλουτισμού του υδροφόρου, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα που βρίσκονται στην κατάντι περιοχή. Επίσης μόνο τα δείγματα 3 και Π1 έχουν συγκέντρωση Cl κάτω από το όριο ποσιμότητας.

Συνδυάζοντας την τιμή της αγωγιμότητας και του SAR τα δείγματα χαρακτηρίζονται ποιοτικά ως προς την δυνατότητα χρήσης τους για άρδευση (U.S.S.L., 1954 ; σχήμα 3). Τα δείγματα 3, 4, 5 και Π1 κατατάσσονται στην ομάδα C_2S_1 που χαρακτηρίζει νερά μέτριας έως πολύ μέτριας ποιότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν με προφύλαξη και το έδαφος πρέπει να αποστραγγίζεται ή να προστίθεται γύψος.

Το δείγμα 1 κατατάσσεται στην ομάδα C_2S_1 που χαρακτηρίζει νερά πολύ μέτριας μέχρι κακής ποιότητας. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για ευαίσθητα φυτά ή βαριά εδάφη. Μπορεί να χρησιμοποιείται με πολύ μεγάλη προφύλαξη σε ελαφρά εδάφη που αποστραγγίζονται καλά και εκπλύνονται ή προστίθεται σε αυτά γύψος.

Τα δείγματα 7 και 8 κατατάσσονται στην ομάδα C_2S_2 που χαρακτηρίζει νερά κακής ποιότητας. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται παρά με πολύ μεγάλη προφύλαξη σε εδάφη ελαφριά, καλά αποστραγγιζόμενα και για φυτά ανθεκτικά. Δημιουργεί κινδύνους και γι' αυτό είναι απαραίτητο τα εδάφη να εκπλύνονται και να προστίθεται γύψος.

Τα δείγματα 2 και 6 βρίσκονται σε απαγορευτικά όρια.

Τα δείγματα Σ1, Σ2, ΓΠ1 και ΓΠ4 δεν τοποθετήθηκαν στο διάγραμμα, αφού μόνο από την χημική τους σύσταση γίνεται φανερή η επικίνδυνη και επομένως απαγορευτική τους ιδιότητα.

Στον πίνακα 2, δίνονται οι τιμές του δείκτη σταθερότητας ή δείκτη Ryznar. Τον δείκτη αυτόν πρότεινε ο Ryznar (1944), για τον προσδιορισμό του ποσού του $CaCO_3$, που αποτίθεται από το νερό σε οποιαδήποτε θερμοκρασία μέχρι τους $93^\circ C$ και την πρόγνωση της διαβρωτικής ικανότητας των νερών που δεν αποθέτουν άλατα. Από τις τιμές φαίνεται ότι τα δείγματα :

-3 και 4 είναι διαβρωτικά νερά

-1 και 2 παρουσιάζουν διάβρωση πάνω από τους $65^\circ C$.

-5 και 7 παρουσιάζουν ελάχιστα προβλήματα απόθεσης αλάτων ειδικά δε όταν η θερμοκρασία είναι πάνω από $15^\circ C$.

-6 και 8 παρουσιάζουν ελάχιστα προβλήματα απόθεσης αλάτων

-Σ1, Σ3, ΓΠ1 και ΓΠ4 παρουσιάζουν πολύ μεγάλη τάση απόθεσης αλάτων.

Από τα ανωτέρω συμπεραίνεται ότι κατ'αρχήν η παραλιακή περιοχή έχει κακής ποιότητας νερά λόγω διείσδυσης της θάλασσας.

Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής που μελετήθηκε, επικρατούν τα γεωθερμικά ρευστά, τα οποία ανέρχονται μέσα από τους ασβεστόλιθους και τους οφιόλιθους και τροφοδοτούν τον ορίζοντα των Νεογενών - Τεταρτογενών και αποστραγγίζονται προς την θάλασσα. Ως εκ τούτου η ποιότητα των νερών στην περιοχή νότια των γεωτρήσεων του γεωθερμικού πεδίου, επηρεάζεται και από τα γεωθερμικά ρευστά.

Στο βόρειο τμήμα της περιοχής, επάνω από τις θέσεις που έγιναν οι γεωθερμικές γεωτρήσεις, η ποιότητα των νερών είναι πολύ καλή. Στα Νεογενή - Τεταρτογενή που υπάρχουν εκεί, αναπτύσσεται υδροφόρος ορίζοντας που, μέσω των ρεμάτων του Αγίου Δημητρίου, του Αγ. Χαράλαμπος και άλλων μικροτέρων, τροφοδοτεί το νότιο τμήμα, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται περιπτώσεις, όπως η γεώτρηση 3 και η πηγή Π1, που χαρακτηρίζονται από καλής ποιότητας νερά.

Όσον απομακρυνόμαστε από την περιοχή του γεωθερμικού πεδίου, ανατολικά και δυτικά, η ποιότητα καλυτερεύει, εφόσον η διεύθυνση της θάλασσας το επιτρέπει. Η περιοχή της οποίας ο υδροφόρος ορίζοντας των επιφανειακών σχηματισμών έχει δεχθεί την επίδραση του γεωθερμικού πεδίου, με τα στοιχεία που διαθέτουμε, δίνεται στο σχήμα 4.

ΠΙΘΑΝΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΟΥΣΑΚΙΟΥ

Σαν πιά εφικτές λύσεις, με βάση την θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού, προτάθηκαν οι παρακάτω εφαρμογές (CFG, 1992) :

- 1. Θέρμανση θερμοκηπίων για παραγωγή τριαντάφυλλων ή ζέρμπερας
- 2. Ιχθυοκαλλιέργειες
- 3. Αφαλάτωση

Άλλες πιθανές εφαρμογές δεν φαίνονται κατ' αρχήν εφικτές. Η απόσταση για παράδειγμα των βιομηχανιών, στις οποίες η χρήση του γεωθερμικού ρευστού θα ήταν οφέλιμη στην παραγωγική διαδικασία (ξηραντήρια), από την περιοχή των παραγωγικών γεωτρήσεων καθιστά αντιοικονομική μια τέτοια εφαρμογή. Ομοια η μη ύπαρξη μεγάλων κτιριακών εγκαταστάσεων στην εγγύτερη των παραγωγικών γεωτρήσεων περιοχή καθιστά δύσκολη την χρήση του γεωθερμικού ρευστού για θέρμανση χώρων. Το ίδιο ισχύει και για θέρμανση οικισμών όπου ο ένας καταναλωτής συνδέεται εν σειρά μετά τον πρώτο. Το κόστος σύνδεσης φαίνεται να είναι μεγάλο. Ασύμφορη οικονομικά φαίνεται να είναι και η χρήση του γεωθερμικού ρευστού είτε για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είτε για την παραγωγή πάγου, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που μετρήθηκαν στο γεωθερμικό ρευστό.

Η απαιτούμενη ροή γεωθερμικού ρευστού θα παράγεται με την βοήθεια μιας ηλεκτρικής αντλίας σε τρόπο ώστε να διατηρείται σταθερή η πίεση προς αποφυγή διαφυγής αερίων και ελαχιστοποίησης των κινδύνων διάβρωσης και καθίζησης (C.F.G., 1992).

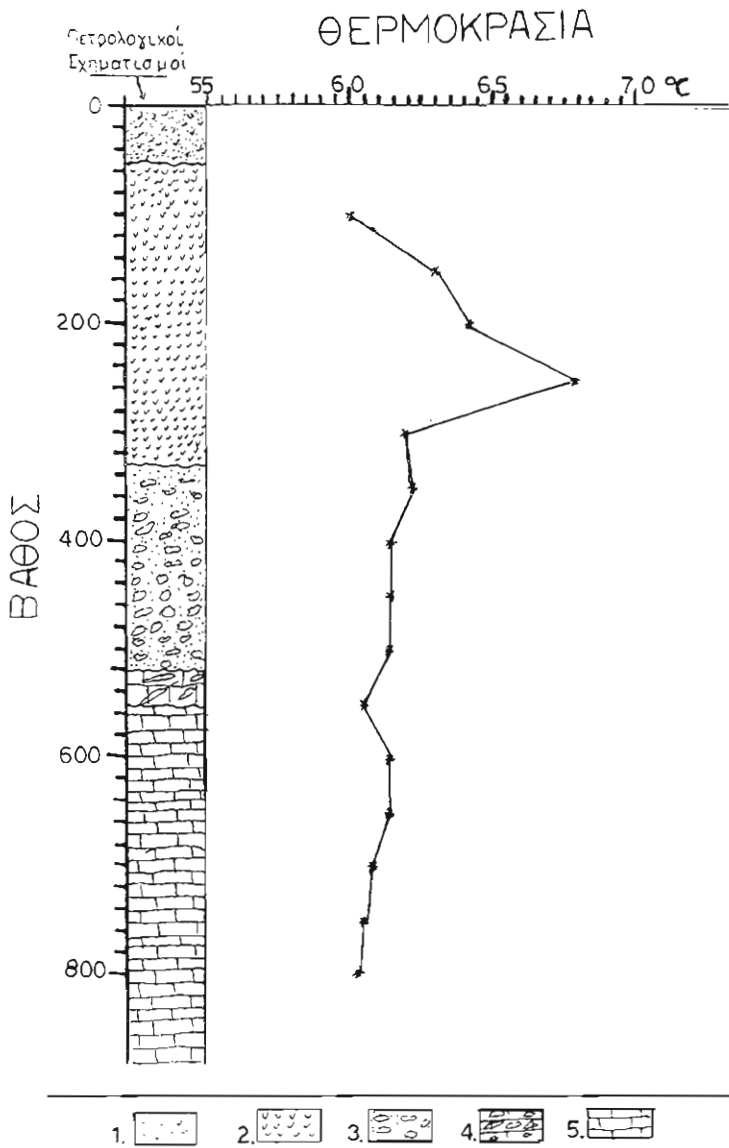
Οι φυσικοχημικές παράμετροι του γεωθερμικού ρευστού είναι τέτοιες που καθιστούν απαγορευτική την απ' ευθείας χρήση για την θέρμανση του θερμοκηπίου ή του νερού του ιχθυοτροφείου. Οι κυριώτεροι δύο αρνητικοί παράγοντες για την απ' ευθείας χρήση είναι ο αυξημένος κίνδυνος διάβρωσης των εγκαταστάσεων θέρμανσης και οι καθιζήσεις αλάτων λόγω αλλαγής της πίεσης και της θερμοκρασίας και ενδεχόμενης διαφυγής αερίων. Έχει προταθεί σαν λύση, να γίνεται η κυκλοφορία του γεωθερμικού ρευστού σε ένα ξεχωριστό κύκλωμα, πρωτεύον κύκλωμα, κατασκευασμένο με κατάλληλα υλικά στο οποίο να επικρατούν οι κατάλληλες συνθήκες για να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι διάβρωσης και καθίζησης και η χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας, από τον οποίο θα διέρχεται το γεωθερμικό ρευστό και θα αποδίδει την θερμική του ενέργεια στο γλυκό νερό το οποίο κυκλοφορώντας στο δευτερεύον κύκλωμα, θα θερμαίνει εν συνεχεία το θερμοκήπιο ή το νερό του ιχθυοτροφείου. Έχει προταθεί η χρήση εναλλάκτη από πλάκες τιτανίου ώστε να ελαχιστοποιηθεί η απώλεια θερμοκρασίας μεταξύ των δύο ρευστών ($3 - 5 \cdot C \max$) και για την αποφυγή προβλημάτων διάβρωσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων ύδατος περιοχής Σουσακίου

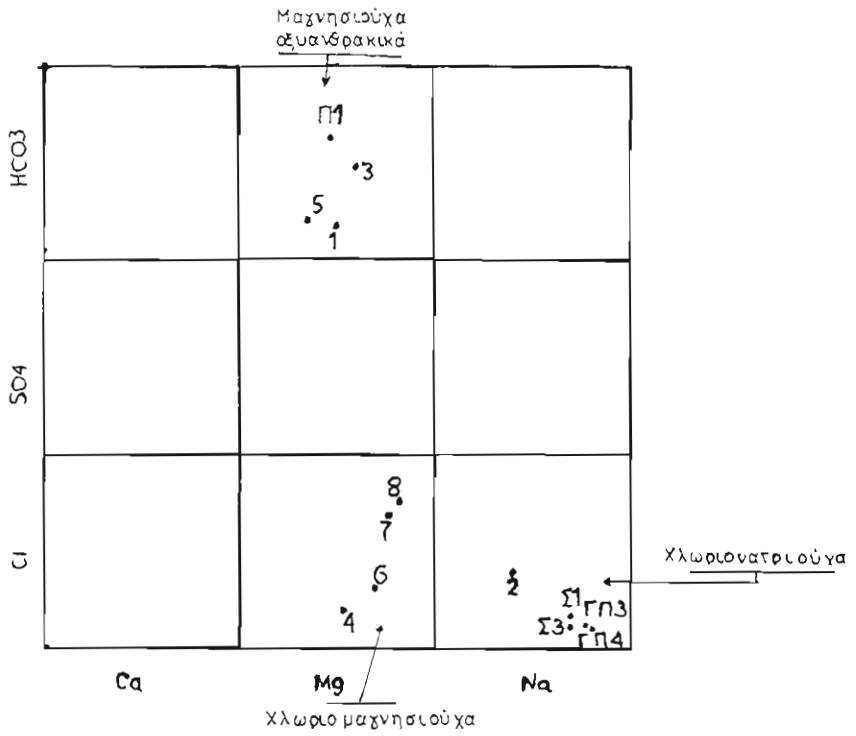
α/α	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	pH	EC
1	178	178	200	4,4	1074	124	425	6,22	2490
2	144	276	730	6,4	519	365	1596	7,1	5410
3	31	87	61	2,8	488	33	92	7,27	940
4	102	117	128	6,8	695	79	262	7,28	1822
5	11	124	69	4	659	43	240	7,7	1710
6	161	408	460	5,2	519	109	1772	7,3	5780
7	109	138	308	10,4	488	243	610	8,16	2640
8	138	168	432	52,6	903	88	851	6,89	3740
Σ1	1476	1175	14100	725	2290	3183	25400	6,58	
Σ3	1507	1200	14000	1200	1635	2523	26120	6,5	
Γ4	1040	690	15000	1800	1720	1325	25500	6,78	
Γ1	1050	975	14350	1450	1836	1820	24430	6,25	32200
Π1	35	178	29	2	770	170	53	7,13	1090
Θαλ.	769	1240	12960	560	244	3130	23000		

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : Δείκτες Rysnar, SAR και λόγος Cl/HCO₃ δειγμάτων ύδατος περιοχής Σουσακίου.

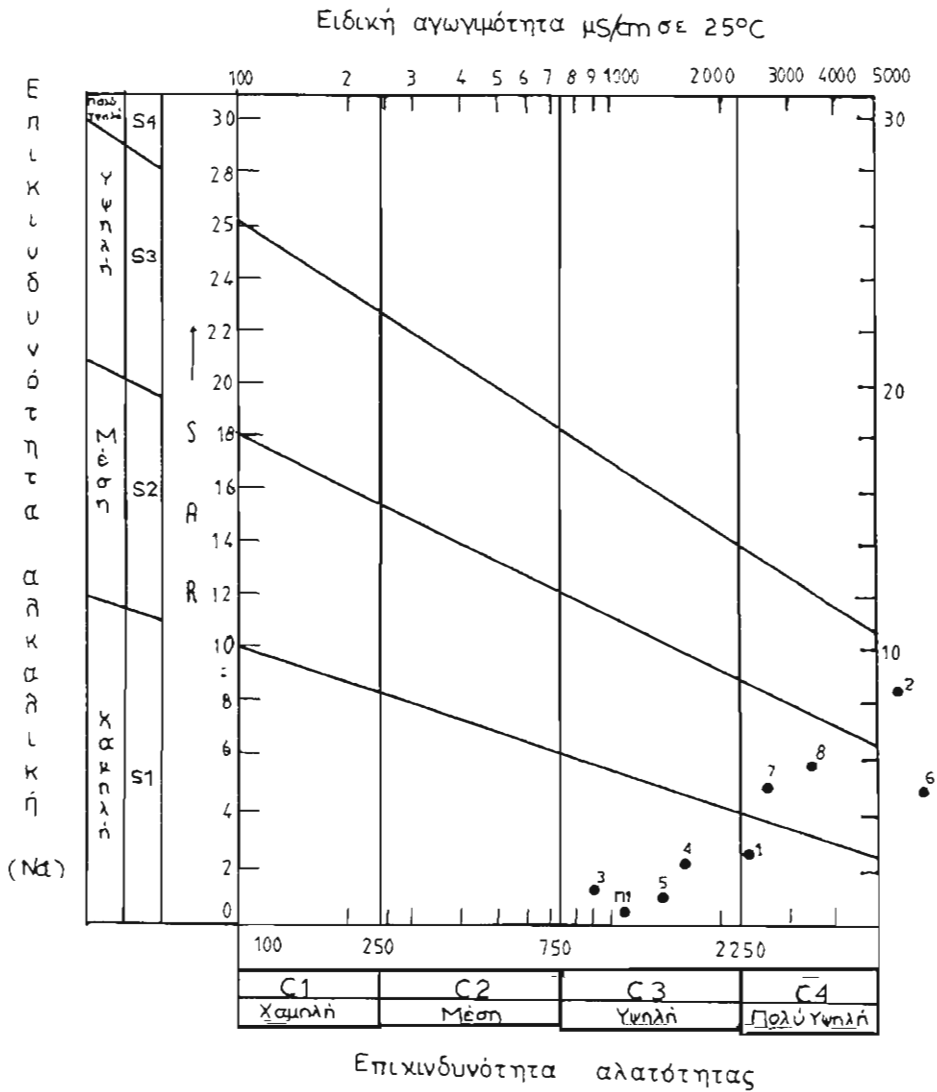
α/α	Rysnar	SAR	Cl/HCO ₃
1	7,56	2,54	0,681
2	7,64	8,21	5,2921
3	8,55	1,27	0,3244
4	11,24	2,05	0,6487
5	5,76	1,06	0,6267
6	6,4	4,39	5,8757
7	5,7	4,62	2,1511
8	6,21	5,84	1,6218
Σ1	2,78		19,088
Σ3	3,44		27,493
Γ4	3,08		25,514
Γ1	2,95		22,899
Π1		0,44	0,1184
Θαλ.			162,22



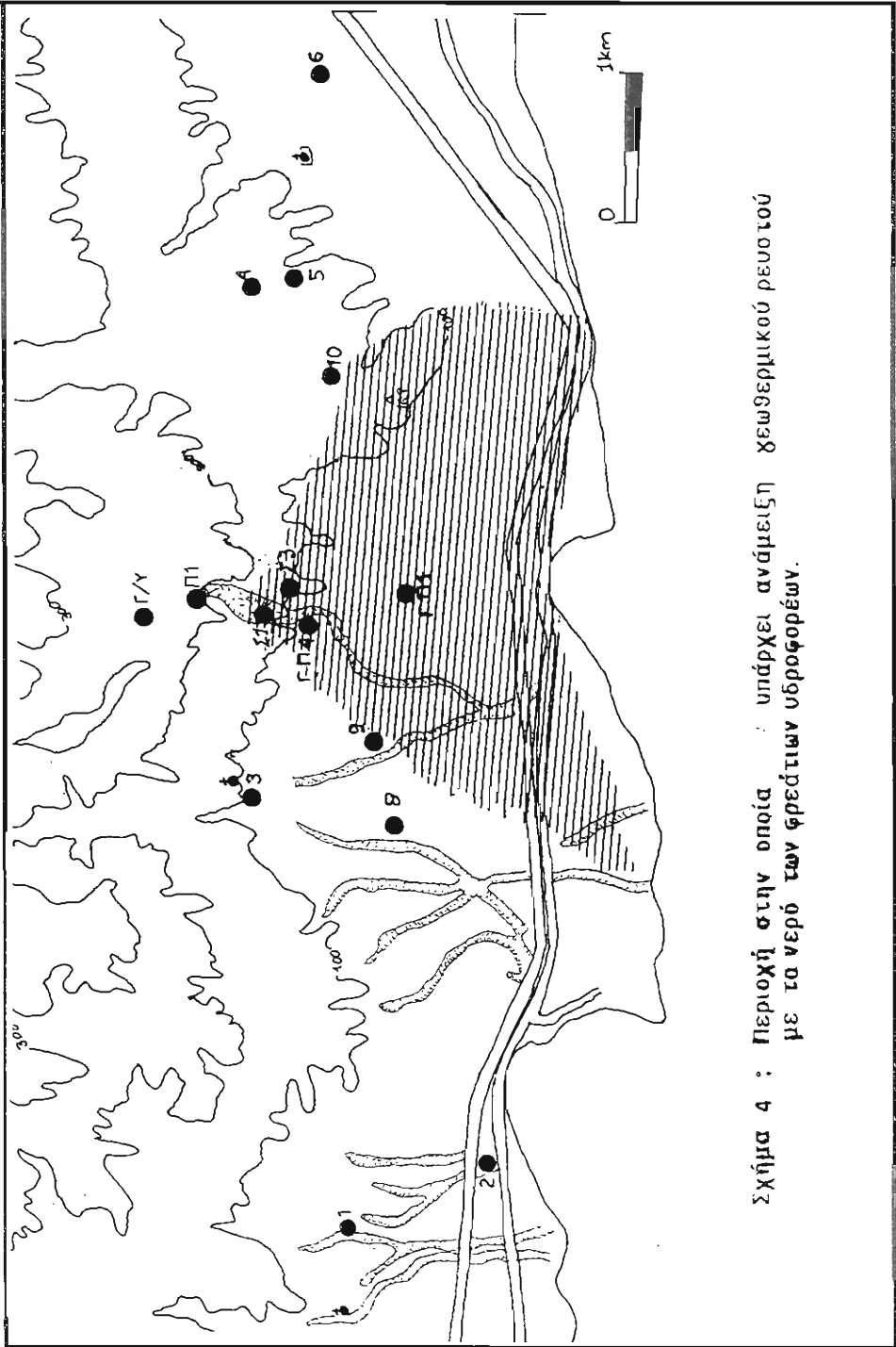
Σχήμα 1 : Απλοποιημένη στρωματογραφική στήλη και μεταβολή της θερμοκρασίας σε σχέση με το βάθος για την γεώτρηση Σ1.
 1. Πλειοτεταρτογενείς αποθέσεις ; 2. Οφιόλιθοι επωθημένοι ; 3. Κλαστικά ιζήματα από οφιολιθικό υλικό, κερατόλιθους, ασβεστόλιθους και φαμμίτες.
 4. Ανθρακικά ιζήματα από κατακερματισμένους ασβεστόλιθους.
 5. Ασβεστόλιθοι δολομιτωμένοι και δολομίτες.



Σχήμα 2 : Κατάταξη των δειγμάτων ύδατος της περιοχής Σουσακίου στο διάγραμμα Dygon.



Σχημα 3 : Ποιοτική κατάταξη των δειγμάτων νερού της περιοχής Σουσακίου.



Σχήμα 4 : Περιοχή στην οποία : υπάρχει ανάμιξη χεωθερμικού ρευστού με τα νερά των φρεστίων υδροφορέων.

Το γεωθερμικό ρευστό μετά την ανταλλαγή θερμότητας στον εναλλάκτη είναι δυνατόν :

- ή να επανεισαχθεί στον ταμιευτήρα δια μέσου μιας άλλης γεώτρησης η οποία θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο θερμοκήπιο,
- ή να εκχυθεί στο περιβάλλον.

ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

Τα υγρά απόβλητα αποτελούν την σημαντικότερη εκπομπή που προβλέπεται από το ενεργειακό συγκρότημα. Η εκχυσή τους στην επιφάνεια του εδάφους ή σε κάποιο χείμαρο με τελικό αποδέκτη την θάλασσα ή κάποια άλλη προεπιλεγμένη περιοχή, είναι δυνατόν να προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα. Η αλατότητα (salinity) του γεωθερμικού ρευστού καθώς και η αυξημένη περιεκτικότητά του σε διάφορα ιχνοστοιχεία είναι μιά δυνητική απειλή για τους υπάρχοντες υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, τα καλλιεργούμενα εδάφη, την πανίδα και χλωρίδα της περιοχής εν γένει. Επειδή τα γεωθερμικά ρευστά αναμένεται να αποτελέσουν τις σημαντικότερες εκπομπές από τις όποιες εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας, επιχειρήθηκε η διερεύνηση των δυνατοτήτων χρησιμοποίησής τους για άλλους σκοπούς, καθώς και η δυνατότητα διάθεσής τους σε προεπιλεγμένο χώρο, στην θάλασσα ή την επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα.

Τα αποτελέσματα της διερεύνησης συνηγορούν ότι θα πρέπει να αποκλεισθεί η πιθανότητα για οποιαδήποτε περαιτέρω χρήση (παραγωγή ποτίσιμου ύδατος, άρδευση, ανάμειξη με το νερό του ιχθυοτροφείου, βιομηχανική), του γεωθερμικού ρευστού. Η χημική του σύσταση το καθιστά εντελώς ακατάλληλο.

Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της διάθεσης των υγρών απόβλητων εξετάστηκαν τρεις εναλλακτικές - δυνατές λύσεις διάθεσης :

ι). Η διοχέτευση, μετά την έξοδό τους από τον εναλλάκτη, στο παρακείμενο ρέμα.

Η λύση αυτή συνδυάζει τα πλεονεκτήματα να είναι και εύκολη στην εφαρμογή της και χαμηλού κόστους. Παρουσιάζει όμως σοβαρά μειονεκτήματα γιατί στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να αναμένεται ότι θα προκύψουν τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα, γνωστά από τα αποτελέσματα των φυσικών διεργασιών που υφίστανται στην περιοχή. Αναφέρουμε ενδεικτικά επικαθίσεις αλάτων κατά μήκος της κοίτης του ρέματος με επακόλουθο την προοδευτική επικάλυψη του εδαφικού καλύμματος της περιοχής διάθεσης, και ενδεχόμενη επιβάρυνση του ήδη επιβεβαρωμένου φρεάτιου υδροφορέα.

ιι). Η διοχέτευσή τους στην θάλασσα.

Οι επιπτώσεις στην θαλάσσια ζωή από την εισροή στη θάλασσα ποσοτήτων γεωθερμικού ρευστού μπορεί να είναι ποικίλες.

Είναι πιθανό ορισμένα θαλάσσια φυτά (όπως για παράδειγμα φύκια κλπ) ή και φυτοπλαγκτονικοί οργανισμοί, να ευνοηθούν από την τοπική μικρή κλίμακα ενδεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας του θαλασσιού νερού αλλά και από την περιεκτικότητα του γεωθερμικού ρευστού σε ενώσεις του φωσφόρου, του αζώτου και θείου. Στην περίπτωση αυτή θα έχουμε έντονα τα φαινόμενα του ευτροφισμού με υπερανάπτυξη των φυκών.

Η παρουσία στο γεωθερμικό ρευστό ιχνοστοιχείων με τοξικές ιδιότητες μπορεί να οδηγήσει και στο θάνατο ορισμένων ευπαθών οργανισμών, το δε φαινόμενο της βιοσυσώρευσης, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των συγκεντρώσεων των ιχνοστοιχείων, όπως ο Cu, ο Pb, ο Hg κλπ, από το ένα είδος οργανισμού στο άλλο που μετέχουν στην τροφική αλυσίδα. Δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο μακροχρόνιες αθροιστικές επιπτώσεις. Η αμμωνία, συστατικό των αλμολοίπων, δημιουργεί πρόσθετους σημαντικούς κινδύνους τοξικότητας στα ψάρια.

Με δεδομένη την ήδη επιβεβαρωμένη ποιότητα του θαλασσιού νερού από την ύπαρξη στην περιοχή των διύλιστηρίων πετρελαίου, την συνεχή θαλάσσια μεταφορά των

πετρελαιοειδών με τάνκερς, και την ύπαρξη και άλλων χημικών βιομηχανιών, θά ήταν σκόπιμο να μην προστεθούν και άλλες πηγές μόλυνσης με την διοχέτευση στην θάλασσα μεγάλων ποσοτήτων γεωθερμικών ρευστών.

11). Η επανεισαγωγή των ρευστών στον ταμιευτήρα.

Η λύση αυτή είναι πιο δαπανηρή και πιο δύσκολη στην εφαρμογή της από τις δύο προηγούμενες. Παρουσιάζει όμως ένα σημαντικό πλεονέκτημα : ελαχιστοποιεί - μηδενίζει τις όποιες επιπτώσεις στο περιβάλλον από τα υγρά γεωθερμικά απόβλητα. Θα πρέπει και εδώ να ληφθεί μέριμνα ώστε να τηρηθούν οι σχετικοί προβλεπόμενοι κανόνες. Ιδιαίτερα θα πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα ώστε το βάθος επανεισαγωγής να επιλεγεί κατάλληλα, ώστε να μην επηρεασθούν οι υπάρχοντες υδροφόροι ορίζοντες.

Για τα αέρια απόβλητα προτείνεται να γίνει κατακράτηση H_2S . Σχετικά με το CO_2 η περιεκτικότητά του στην αέρια φάση κάθε γεώτρησης είναι τέτοια ώστε να καθίσταται ευνοϊκή η ανάκτηση και ίσως και η εμπορική χρήση του.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες των γεωθερμικών ρευστών που εντοπίστηκαν στο γεωθερμικό πεδίο του Σουσακίου, ευνοούν την ανάπτυξη συγκεκριμένων εφαρμογών εκμετάλλευσης όπως : θέρμανση θερμοκηπίου, θέρμανση ύδατος ιχθυοτροφείου και ενδεχόμενα μονάδα αφαλάτωσης.

Η παρουσία των ασβεστολίθων και των χαλαρών επιφανειακών σχηματισμών, στην ευρύτερη περιοχή, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στο θέμα της διαχείρισης - διάθεσης των υγρών γεωθερμικών "αποβλήτων" που θα προκύψουν κατά τη φάση εκμετάλλευσης του γεωθερμικού πεδίου. Ήδη από την πραγματοποιηθείσα έρευνα, εντοπίστηκε μια περιοχή στην οποία ο υδροφόρος ορίζοντας των επιφανειακών σχηματισμών, έχει δεχθεί, με φυσικές διεργασίες, την επίδραση του γεωθερμικού πεδίου.

Για την αποφυγή περαιτέρω επιβάρυνσης της ποιότητας του υδροφόρου ορίζοντα από τα γεωθερμικά ρευστά, προτείνεται σαν βέλτιστη λύση η επανεισαγωγή του παραγόμενου γεωθερμικού ρευστού στον ταμιευτήρα.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αθανασούλης Κ., Βουγιουκαλάκης Γ., Βρέλλης Γρ. και Δόβελος Ι., (1992) : Γεωλογική - Τεχνική Εκθεση γεώτρησης Σουσακί 1 (πρόγραμμα Valoren Σουσακίου). ΙΓΜΕ 1992.
- Βρέλλης Γρ., Καβουρίδης Θ. και Δόβελος Ι., (1991) : Γεωθερμική Έρευνα περιοχής Σουσακίου. ΙΓΜΕ 1991.
- Βρέλλης Γρ., Δόβελος Ι. και Σαραντέας Αρ., (1992) : Πρόγραμμα Valoren περιοχής Σουσακίου Ν. Κορινθίας. Συμπληρωματικές δοκιμαστικές αντλήσεις στις γεωτρήσεις ΓΠ4 - ΓΠ1. ΙΓΜΕ 1992.
- Γαϊτανάκης Π., Μέττος Α., και Φυτίκας Μ. (1985) : Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος 1:50.000, Φύλλο Σοφικό.
- Γεωργούλης Ι., (1983) : Υδρογεωλογική έρευνα για λογαριασμό της Γεωθερμίας των περιοχών Πόρου - Μεθάνων και Λουτρακίου - Σουσακίου. ΙΓΜΕ 1983.
- CFG (1992) : Soussaki Geothermal Project : possibles uses of the Geothermal of the Geothermal resources - Stage 5 Greece. 92CFG41, Final edition October 1992.
- Καβουρίδης Θ. και Φυτίκας Μ., (1988) : Γεωθερμική Έρευνα περιοχής Σουσακίου (Ν. Κορινθίας). ΙΓΜΕ 1988.

- Κούνης Γ.Δ., (1976) : Εκθεσις επί των υδρογεωλογικών συνθηκών και των δυνατοτήτων ύδρευσεως των διυλιστηρίων Κορίνθου της Motor Oil. Εκθεσις, ΙΓΜΕ 1976.
- Λιακόπουλος, Α., Καρυστιναίος Ν., Γεωργαλάς Α., Καλκούκος Ι., Αγιασμάτης Σ., Ζαφειρούδης Γ. και Μπέσκος Π. (1994) : Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εκμετάλλευση του γεωθερμικού πεδίου Σουσακίου. ΙΓΜΕ, έργο υπέρ ΓΕΜΕΕ, 210 σελ.
- Μάστορης Κ.Ι., Μονόπωλη Δ.Γ. και Σκαγιά Σ.Δ. (1971) : Υδρογεωλογική έρευνα περιοχής Κορίνθου - Λουτρακίου. ΙΓΜΕ Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Ερευνες Αρ. 3, 1971.
- Μέττος Α., Γαϊτανάκης Π., Ροντογιάννη Θ., Βαγιά Ρh., Μητσάκη Β., και Κουτσουβέλη Α., (1982) : Γεωλογική έρευνα περιοχής Λουτρακίου - Σουσακίου. ΙΓΜΕ, Γεωθερμική Ερευνα για την ΔΕΗ, 0065, 1982
- U.S.S.L. Staff (1954) : Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook 60, Washington D.C., pp 69-82.