

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ)**

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ
ΚΟΝΙΤΣΑΣ ΝΟΜΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**



ΜΑΡΙΑΝΘΗ ΦΑΣΟΥΛΗ

Εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη της Δρ. ΚΟΚΚΙΝΟΥ ΕΛΕΝΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

| | |
|---|----|
| 1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ; | 5 |
| 1.2 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 8 |
| 1.2.1. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 8 |
| 1.2.2. ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ | 10 |
| 1.2.3. ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ | 12 |
| 1.2.4. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ | 13 |
| 1.2.5. ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ – ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ | 14 |
| 1.2.6. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ | 15 |
| 1.2.7. ΞΗΡΑΝΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ | 17 |
| 1.2.8. ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΝΕΡΟΥ | 19 |
| 1.2.9. ΘΕΡΜΑ ΞΗΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ (ΣΧΕΔΙΟ PLOWSHARE) | 21 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

| | |
|---|----|
| A. ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ | 24 |
| B. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ | 31 |
| 2. ΓΕΝΙΚΑ | 31 |
| 2.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ | 32 |
| 2.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ | 33 |
| 2.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΑΤ/ΘΕΡΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ | 33 |
| 2.4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΘΕΡΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ | 34 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

| | |
|---|----|
| 3.1 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ (1985) | 35 |
| 3.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 35 |
| 3.1.2 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ | 36 |
| 3.1.3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ p_{α} ΥΠΑΙΘΡΟΥ | 39 |
| 3.1.4 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ T_1 | 40 |
| 3.1.5 ΤΟΜΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ $T_{1,6,8}$ | 46 |
| 3.1.6 ΧΑΡΤΕΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ | 49 |
| 3.1.7 ΧΑΡΤΕΣ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ | 50 |
| 3.2 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ (1986) | 52 |
| 3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 52 |
| 3.2.2 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ T_1 - T_5 | 53 |
| 3.2.3 ΒΑΡΥΤΙΚΗ ΤΟΜΗ T_1 | 56 |
| 3.2.4 ΤΟΜΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ | 56 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

| | |
|---|----|
| 4.1 ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΗΣ ΦΑΣΗΣ | 58 |
| 4.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ | 62 |
| 4.3 ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ «ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ – X» (XRD) | 63 |
| 4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΟΥ ΑΚΤΙΝΩΝ – X | 64 |
| 4.5 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΤΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ – X | 65 |
| 4.6 ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΕΡΙΑΣ ΦΑΣΗΣ | 66 |
| 4.7 ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΞΑΛΛΟΙΩΣΗ | 67 |
| 4.8 ΧΗΜΙΚΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΡΕΥΣΤΩΝ | 69 |
| 4.8.1 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΝΕΡΩΝ | 69 |
| 4.8.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΑΕΡΙΩΝ | 69 |

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ
ΠΗΓΕΣ**

| | |
|----------------------------|----|
| 5.1 ΚΑΒΑΣΙΛΑ | 73 |
| 5.1.1 ΓΕΝΙΚΑ | 73 |
| 5.1.2 ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | 73 |
| 5.2 ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ | 73 |
| 5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ | 73 |
| 5.2.2 ΣΗΜΕΡΙΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | 74 |
| 5.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ | 74 |

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ ΤΗΣ
ΠΕΡΙΟΧΗΣ**

| | |
|---|----|
| 6.1 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ | 76 |
| 6.2 ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΘΕΡΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ | 79 |
| 6.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΘΕΡΜΩΝ | 79 |
| 6.2.2 ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΑΤΜΟΘΕΡΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ | 79 |
| 6.3 ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ | 79 |
| 6.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΗΓΑΙΩΝ ΝΕΡΩΝ | 79 |
| 6.3.2 ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ | 80 |

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ
ΠΕΔΙΩΝ**

| | |
|---|----|
| 7.1 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ | 81 |
| 7.2 ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΜΟΝΑΔΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ | 81 |
| 7.2.1 ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΣΗ ΤΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ | 82 |
| 7.2.2 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ | 83 |
| 7.2.3 ΥΔΑΤΙΝΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ | 86 |
| 7.2.4 ΘΟΡΥΒΟΣ | 87 |
| 7.2.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΙΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ | 87 |
| 7.2.6 ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ | 87 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 88

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 89

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 95

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση του γεωθερμικού ενδιαφέροντος στην ευρύτερη περιοχή της Κόνιτσας Ιωαννίνων. Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκαν οι απαραίτητες γεωλογικές και γεωφυσικές πληροφορίες που αφορούν την υπό μελέτη περιοχή. Επιπρόσθετα, εκτελέστηκε επιτόπου αναγνώριση της περιοχής ενδιαφέροντος, έγινε δειγματοληψία εδαφικού υλικού και εργαστηριακός έλεγχος των δειγμάτων. Κατά την διάρκεια της επιτόπου έρευνας δεν επιτεύχθηκε η λήψη γεωθερμικών αερίων. Τέλος συλλέχθηκαν πληροφορίες από τους κατοίκους της ευρύτερης περιοχής μελέτης καθώς και πληροφορίες από ήδη αξιοποιημένα για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς γεωθερμικά πεδία.

Το έναυσμα για την υλοποίηση της συγκεκριμένης μελέτης δόθηκε από τις μαρτυρίες των κατοίκων της περιοχής, οι οποίες βεβαιώνουν την περιστασιακή ανάβλυση γεωθερμικών αερίων.

Η αξιολόγηση των συλλεχθέντων πληροφοριών οδηγεί σε ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Πράγματι οι γεωθερμικές εμφανίσεις στην ευρύτερη περιοχή της Κόνιτσας παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Πρόκειται για πεδίο χαμηλής ενθαλπίας που μπορεί να αξιοποιηθεί κυρίως για λουτρο - θεραπευτικούς σκοπούς. Δεν αναμένεται η αξιοποίηση των γεωθερμικών αερίων του γεωθερμικού πεδίου, αφού η εμφάνιση τους είναι περιστασιακή.

Συνοψίζοντας, επιβεβαιώνεται και από την παρούσα μελέτη ότι η ευρύτερη περιοχή της Κόνιτσας Ιωαννίνων αποτελεί περιοχή με γεωθερμική δραστηριότητα και συγκεντρώνει τα απαραίτητα στοιχεία, ώστε να γίνει πόλος έλξης προσοδοφόρων επενδύσεων.

ABSTRACT

Aim of the present study is the evaluation of the geothermal field in the area of Konitsa (Ioannina). Geological and geophysical information that concerns the under study region, was collected. Additionally, in situ visit, sampling of territorial material and analysis of samples has been done. During the visit in the study area, the collection of geothermal gases was not possible. Finally, information from the residents of the wider study region was collected, as well as information from already developed geothermal fields.

The evaluation of collected information leads to certain interesting conclusions. Indeed, the geothermal evidence in the wider region of Konitsa is of great interest. It is a low enthalpy field that can be mainly developed for bath - therapeutic aims. The exploitation of geothermal gases is not expected.

In concluding, the present study confirms the geothermal activity of the Konitsa area and it is believed that the study area could be an attraction pole for investments.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ;

Ο όρος Γεωθερμία αναφέρεται στον επιστημονικό κλάδο που μελετά τη ροή της γήινης θερμότητας, τις συνθήκες κατανομής της θερμοκρασίας στο υπέδαφος, το μηχανισμό κυκλοφορίας των υπόγειων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες καθώς και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους μέχρι τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με γεωτρήσεις (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).

Από τη θερμότητα που βρίσκεται σε τεράστιες ποσότητες στο εσωτερικό της Γης και που οι πιο φανερές εκδηλώσεις της είναι οι ηφαιστειακές εκρήξεις, που φέρνουν στο φως πυρωμένα υλικά με θερμοκρασία μέχρι και 1000° C, ελάχιστο μόνο μέρος προσφέρεται για άμεση και οικονομικά συμφέρουσα εκμετάλλευση.

Γεωθερμική ενέργεια καλείται η φυσική πηγή με γήινη προέλευση, η οποία με τη μορφή θερμών ρευστών ατμού, νερού και αερίων είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη. Επίσης, γεωθερμική ενέργεια θεωρείται και η ενέργεια των θερμών ξηρών πετρωμάτων ή λιωμένων μαγματικών υλικών.

Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολύ πιθανή σε εκείνες τις περιοχές της Γης, όπου θερμές μάζες ρευστών (νερό, ατμός και διάφορα άλλα αέρια) ανεβαίνουν προς την επιφάνεια μέσα από ρήγματα, προερχόμενα από βαθύτερα και θερμότερα σημεία του φλοιού της Γης.

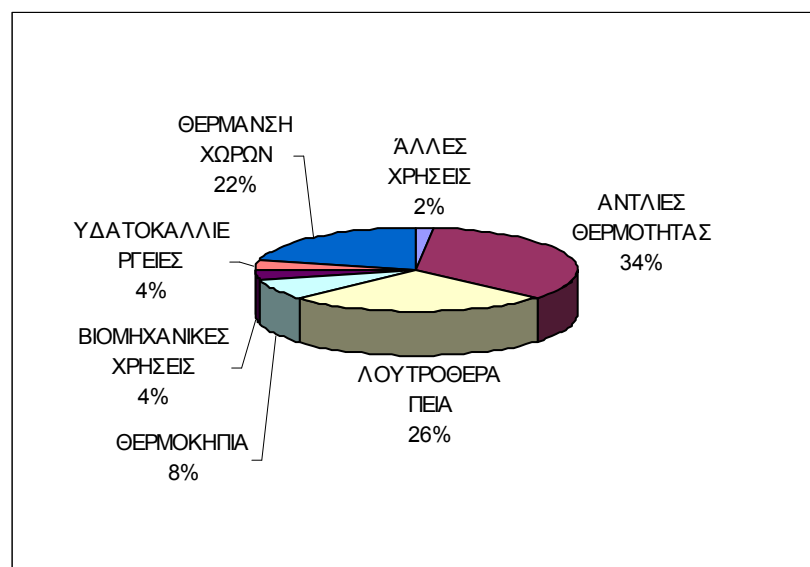
Η γεωθερμική ενέργεια ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται για:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Θέρμανση κτιρίων
- Θέρμανση θερμοκηπίων
- Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας
- Ιχθυοκαλλιέργειες και Υδατοκαλλιέργειες
- Καλλιέργεια σπιρουλίνας
- Αξιοποίηση χημικών συστατικών των ρευστών (Ανάκτηση διοξειδίου του άνθρακα)
- Ξήρανση αγροτικών προϊόντων
- Αφαλάτωση νερού
- Θερμά ξηρά πετρώματα (Σχέδιο plowshare)

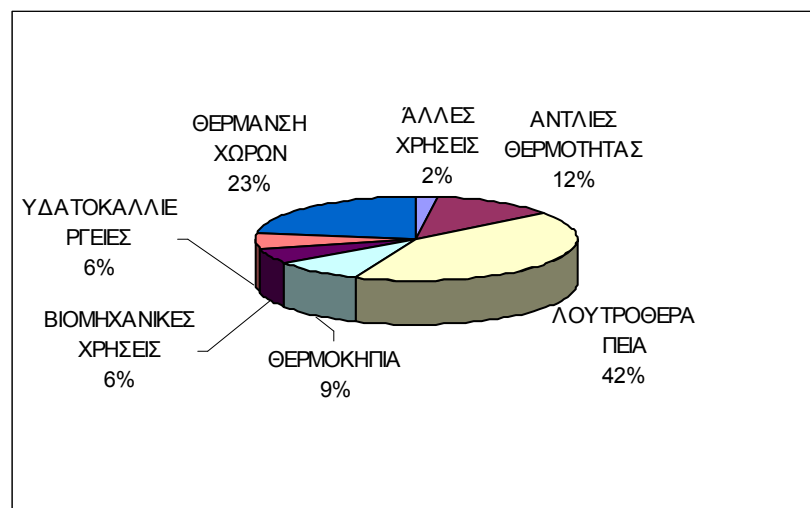
Οι κυριότερες άμεσες εφαρμογές της γεωθερμίας μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες: θέρμανση χώρων, αγροτικές χρήσεις, υδατοκαλλιέργειες, βιομηχανικές χρήσεις, λουτροθεραπεία (και πισίνες) και αντλίες θερμότητας. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς των γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας σε 58 χώρες στον κόσμο ανήλθε το έτος 2000 στα 15145 MWt, σημειώνοντας αύξηση κατά 75% σε σχέση με το 1995. Η ενεργειακή χρήση στην ίδια χρονιά ανήλθε σε 191 GJ/έτος σημειώνοντας αύξηση 69% σε σχέση με το 1995 ή 11% σε ετήσια βάση. Η τιμή αυτή της ενεργειακής παραγωγής αντιστοιχεί σε 4.3 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΠΠ) ανά έτος. Συγκριτικά σημειώνεται ότι εξοικονομούνται περίπου 20 εκατ. ΤΠΠ/έτος από την αξιοποίηση άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).

Σχεδόν σε όλες τις χώρες της Ευρώπης υπάρχουν άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας. Κυρίως έχουν αναπτυχθεί στην Ιταλία, τη Γαλλία, τη Γερμανία και τη Σουηδία. Το είδος των χρήσεων ποικίλει από χώρα σε χώρα, εξαιτίας των γεωλογικών και κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε κράτος, της ενεργειακής κατάστασης, του νομικού πλαισίου προώθησης των Α.Π.Ε. κτλ. Στη Γαλλία τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση χώρων, στην Ιταλία επικρατούν οι αγροτικές χρήσεις και η λουτροθεραπεία, ενώ στη Γερμανία και τη Σουηδία οι μόνες άμεσες χρήσεις είναι ουσιαστικά οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Στην υπόλοιπη Ευρώπη, η Ισλανδία, η Γεωργία, η Ρωσική Δημοκρατία και η Ουγγαρία κατέχουν τα πρωτεία στη θέρμανση χώρων. Στην Ουγγαρία η γεωθερμία χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση θερμοκηπίων, ενώ στην Ισλανδία για θέρμανση οικιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε ολόκληρη την πόλη του Reykjavik η θέρμανση των κτηρίων γίνεται με ζεστό νερό, το οποίο θερμαίνεται με γεωθερμική ενέργεια σε απόσταση 30 km μακριά από την πόλη. Τέλος σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της γεωθερμικής ενέργειας στην Ιαπωνία χρησιμοποιείται για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, ενώ στην Κίνα και τη Ν. Ζηλανδία η βασική χρήση είναι η θέρμανση χώρων και οι βιομηχανικές χρήσεις.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η κατανομή των διαφόρων χρήσεων (αναφορικά με την εγκατεστημένη ισχύ των γεωθερμικών μονάδων και την ενεργειακή χρήση) το έτος 2000 δίνεται στο σχήμα 1.1. Η θέρμανση χώρων περιλαμβάνει την παραγωγή θερμού νερού για θέρμανση χώρων (εκτός από θερμοκήπια) και την τηλεθέρμανση οικισμών. Η κατηγορία της λουτροθεραπείας περιλαμβάνει και τις πισίνες, οι οποίες θερμαίνονται με γεωθερμικό νερό, ενώ στις βιομηχανικές χρήσεις έχει προστεθεί η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και στις άλλες χρήσεις το λιώσιμο του χιονιού, πεζοδρόμια κτλ.



(α)



(β)

Σχήμα 1.1: Κατανομή των γεωθερμικών χρήσεων χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά το έτος 2000 αναφορικά (α) με την εγκατεστημένη ισχύ και (β) με την πραγματική ενεργειακή χρήση (Lund and Freeston, 2001).

Μεγάλη ποικιλία γεωθερμικών εγκαταστάσεων βρίσκονται σε λειτουργία, είτε λειτούργησαν για μικρό είτε για μεγάλο χρονικό διάστημα στο παρελθόν. Μερικές χαρακτηριστικές χρήσεις γεωθερμικών ρευστών χαμηλής – μέσης θερμοκρασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2: Μερικές τυπικές άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας

| ΧΩΡΑ | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ | ΣΧΟΛΙΑ |
|-----------------------|---|---|
| ΙΑΠΩΝΙΑ | ΞΗΡΑΝΣΗ ΡΥΖΙΟΥ | 1800 kg ΡΥΖΙΟΥ/ΗΜΕΡΑ |
| ΟΥΓΓΑΡΙΑ | ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ | ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ 25 ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΙΣΧΥ 8MW |
| ΙΣΛΑΝΔΙΑ | ΞΗΡΑΝΣΗ ΦΥΚΙΩΝ | ΝΕΡΟ 100 °C |
| Ν.ΖΗΛΑΝΔΙΑ | ΠΛΥΣΙΜΟ ΚΑΙ ΞΗΡΑΝΣΗ ΕΥΛΕΙΑΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΛΙΒΑΝΟΥ | ΚΑΙ ΣΕ ΆΛΛΕΣ ΧΩΡΕΣ (ΙΣΛΑΝΔΙΑ) |
| Ν.ΖΗΛΑΝΔΙΑ (WAIRAKEI) | ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ | ΝΕΡΟ 120 °C ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΑΥΛΩΝ ΚΑΙ ΚΕΛΥΦΟΥΣ |
| Η.Π.Α (ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑ). | ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΞΗΡΟΥ ΠΑΓΟΥ CO ₂ | ΠΕΡΙΟΧΗ SALTON SEA |
| ΦΙΛΙΠΠΙΝΕΣ | ΞΗΡΑΝΣΗ ΣΙΤΗΡΩΝ | ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΣ ΑΤΜΟΣ ΘΕΡΜΑΙΝΕΙ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ ΚΛΙΒΑΝΟΥ |
| ΦΙΛΙΠΠΙΝΕΣ | ΑΠΟΛΗΨΗ ΑΛΑΤΟΣ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ | ΑΛΑΤΙ ΤΡΙΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΩΝ |
| ΙΤΑΛΙΑ (LARDERELLO) | ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΒΟΡΙΚΟΥ ΟΞΕΩΣ | ΧΡΗΣΗ 30 ΤΟΝ/Η ΑΤΜΟΥ |
| ΜΕΞΙΚΟ Η.Π.Α. | ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΑΝΙΤΑΡΙΩΝ | ΧΡΗΣΗ 2 ton/h ΝΕΡΟΥ 130 °C, ΚΑΙ 56 ton/h ΝΕΡΟΥ |

| | | |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | 103 °C, ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ |
| ΣΛΟΒΑΚΙΑ | ΙΧΘΥΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΧΕΛΙΩΝ | ΝΕΡΟ 42 °C, ΧΡΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΗ |
| ΙΑΠΩΝΙΑ | ΑΠΟΣΤΑΞΗ ΚΑΙ ΖΥΘΟΠΟΙΑ | ΜΙΚΡΗ ΜΟΝΑΔΑ |
| ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ | ΠΛΥΣΙΜΟ ΚΑΙ ΞΗΡΑΝΣΗ ΜΑΛΛΙΟΥ | |

Ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας, ανεξάρτητα από το είδος της εφαρμογής, αποτελείται συνήθως από τέσσερα υποσυστήματα:

- (1) Το σύστημα παραγωγής, που περιλαμβάνει την παραγωγική γεώτρηση, την αντλία παραγωγής και τις συσκευές στην κεφαλή της γεώτρησης.
- (2) Το σύστημα μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών από την κεφαλή της γεώτρησης μέχρι το σύστημα εφαρμογής.
- (3) Το σύστημα εφαρμογής (σύστημα εναλλαγής της θερμότητας) μαζί με το σύστημα διανομής της γεωθερμικής ενέργειας (κυκλοφορητές, συστήματα ρύθμισης, σωληνώσεις κτλ.). Συχνά, σε σχετικά μεγάλες εφαρμογές τηλεθέρμανσης τα συστήματα εφαρμογής βρίσκονται συγκεντρωμένα σε μια κεντρική εγκατάσταση, στην οποία οδηγούνται τα γεωθερμικά ρευστά από διάφορες γεωτρήσεις της περιοχής.
- (4) Το σύστημα διάθεσης των ρευστών μετά τη χρήση.

Σπάνια, προστίθεται ένα πέμπτο σύστημα το οποίο αποτελεί το σύστημα αντιμετώπισης των αυξημένων αναγκών κατά τις ώρες αιχμής.

1.2. Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΩΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.2.1. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με τη χρησιμοποίηση γεωθερμικών ρευστών (κυρίως ατμού), που βρίσκονται σε μικρά σχετικά βάθη (300-2000m.) και σε περιοχές με ισχυρές ανωμαλίες θερμικής ροής. Ο θερμός ατμός φτάνει στην επιφάνεια με πίεση, με δυνατό θόρυβο και με ταχύτητα περίπου 1000km /h.

Αν ο ατμός είναι ξηρός, καθαρίζεται από τα άλλα αέρια και διοχετεύεται στους ηλεκτροπαραγωγούς στρόβιλους, που μετατρέπουν τη γεωθερμική ενέργεια σε μηχανική και μετά σε ηλεκτρική ενέργεια με μέγιστο βαθμό απόδοσης 12%. Για τη μεταφορά των ρευστών από τις γεωτρήσεις στους στρόβιλους χρησιμοποιούνται θερμο-μονωτικές σωληνώσεις, για να αποφεύγεται η απώλεια θερμοκρασίας. Μέσα σ' αυτές ελάχιστη είναι η περιλίθωση και η διάβρωση. Μια και μόνο γεώτρηση ξηρού ατμού είναι ικανή να τροφοδοτήσει ένα στρόβιλο μετατροπής ενέργειας ισχύος μέχρι 10000KW και να δώσει 80000 KWh το χρόνο περίπου.

Αν ο ατμός είναι υγρός, επιβάλλεται να ξηρανθεί από το νερό και να αντιμετωπιστούν σοβαρά προβλήματα περιλίθωσης και διάβρωσης. Τα προβλήματα αυτά δεν είναι βέβαια άλυτα, προκαλούν όμως αύξηση των εξόδων παραγωγής. Η πίεση για τη λειτουργία των γεωθερμικών γεννητριών κυμαίνεται από 3 μέχρι 7 Atm, είναι δηλ. πολύ χαμηλή, αν τη συγκρίνουμε με τις πιέσεις λειτουργίας των κλασικών θερμικών ή πυρηνικών γεννητριών. Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης είναι εδώ 4-6%. Η τιμή της κιλοβατώρας της γεωθερμικής ενέργειας είναι αρκετά έως πολύ χαμηλή, ανάλογα με την ποιότητα του ατμού. Η τιμή το 1970 ήταν κατώτερη κατά το 1/3 τουλάχιστο από την τιμή της κιλοβατώρας των θερμικών εργοστασίων και είναι φανερό ότι η διαφορά αυτή της τιμής μεγάλωσε ακόμα πιο πολύ μετά την άνοδο της τιμής του πετρελαίου.

Έχει διαπιστωθεί στατιστικά από τις μέχρι τώρα γεωτρήσεις παραγωγής στον κόσμο ότι η πιθανότητα ανεύρεσης ξηρού ατμού (πρώτη περίπτωση) σε σχέση με την ανεύρεση υγρού ατμού (δεύτερη περίπτωση) είναι μόνο 1:20.

Και στις δύο περιπτώσεις η εκμετάλλευση του νερού πριν το διαχωριστή και του ατμού μετά τον στρόβιλο μπορεί να συνεχιστεί σαν θερμική ενέργεια για τη θέρμανση χώρων, αγροικίες ή/ και βιομηχανικές χρήσεις κλπ..

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι δυνατό να έχουμε και αν μεταδώσουμε ένα μέρος της θερμότητας των ρευστών, που έχουν μικρή σχετικώς ενθαλπία, σε ειδικά υγρά με χαμηλό σημείο βρασμού, όπως είναι π.χ. το φρέον, το ισοβουτάνιο, το προπάνιο και το χλωριούχο αιθύλιο. Στην Ε.Σ.Σ.Δ. πειραματικός σταθμός 680 KW λειτουργεί με φρέον, το οποίο θερμαίνεται με νερό θερμοκρασίας 81.5 °C.

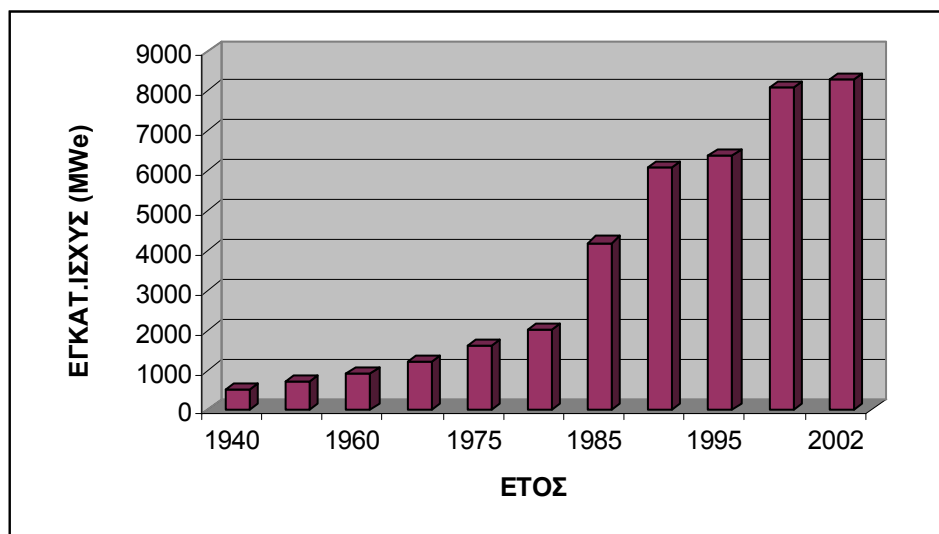
Οι δυνατότητες που προσφέρει η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας είναι τεράστιες και οι προοπτικές για το μέλλον θα είναι ακόμη μεγαλύτερες με την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας. Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τα νερά που διαχωρίζονται από τον υγρό ατμό και που η θερμική ενέργειά τους θα πήγαινε χαμένη. Η χρησιμοποίηση του κύκλου RANKINE με ρευστά χαμηλού σημείου ζέσεως για την εκμετάλλευση ζεστών νερών στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να είναι συμφέρουσα σε ειδικές περιπτώσεις, όπως π.χ. στα μικρά νησιά, όπου το κόστος παραγωγής με μηχανές Diesel είναι πολύ μεγάλο. Η ύπαρξη θερμού νερού σε μικρά βάθη στο υπέδαφος είναι συνηθισμένο φαινόμενο σε πολλές περιοχές της γης και μπορεί να αναπτυχθεί πολύ περισσότερο η εκμετάλλευσή του.

Στον πίνακα 1.3 παρουσιάζεται η ηλεκτρική ισχύς των γεωθερμικών μονάδων σ' όλο τον κόσμο, ενώ στο σχήμα 1.2 η ανάπτυξη της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τη γεωθερμική ενέργεια τα τελευταία 60 χρόνια.

Πίνακας 1.3: Εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύ στον κόσμο κατά το 1982 και 1989 (σε MW)

| ΧΩΡΑ | 1982 | 1989 |
|-------------------------|------|------|
| Η.Π.Α. | 936 | 2212 |
| Φιλιππίνες | 570 | 894 |
| Μεξικό | 180 | 700 |
| Ιταλία | 440 | 548 |
| Ιαπωνία | 215 | 215 |
| Ν. Ζηλανδία | 202 | 167 |
| Ινδονησία | 95 | 95 |
| Κένυα | 41 | 41 |
| Νικαράγουα | 35 | 35 |
| Τουρκία | 0,5 | 20,6 |
| Κίνα | 4 | 17,3 |
| ΕΣΣΔ | 11 | 11 |
| Γαλλία (Γουαδελούπη) | | 4 |
| Πορτογαλία (Αζόρες) | 3 | 3 |
| Ελλάδα | | 2 |
| Ρουμανία | | 1,5 |
| Αργεντινή | | 0,6 |
| Ταϊλάνδη | | 0,2 |
| Ζάμπια | | 0,2 |

| | | |
|--------|--------|--------|
| ΣΥΝΟΛΟ | 2792,5 | 5154,5 |
|--------|--------|--------|



Σχήμα 1.2: Η ανάπτυξη της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τη γεωθερμική ενέργεια τα τελευταία 60 χρόνια.

1.2.2. Θέρμανση κτιρίων

Σε γενικές γραμμές, οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης χώρων είναι ακριβώς ίδιες με τις συσκευές που χρησιμοποιούνται και σε άλλα συστήματα θέρμανσης (φυσικό αέριο και πετρέλαιο). Συχνά όμως, στα κτήρια που θερμαίνονται με γεωθερμικά νερά οι συσκευές λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, εξαιτίας της μικρότερης θερμοκρασίας των διαθέσιμων γεωθερμικών νερών (π.χ. μικρότερη από 60 °C) ή επειδή απαιτείται η χρήση εναλλάκτη θερμότητας.

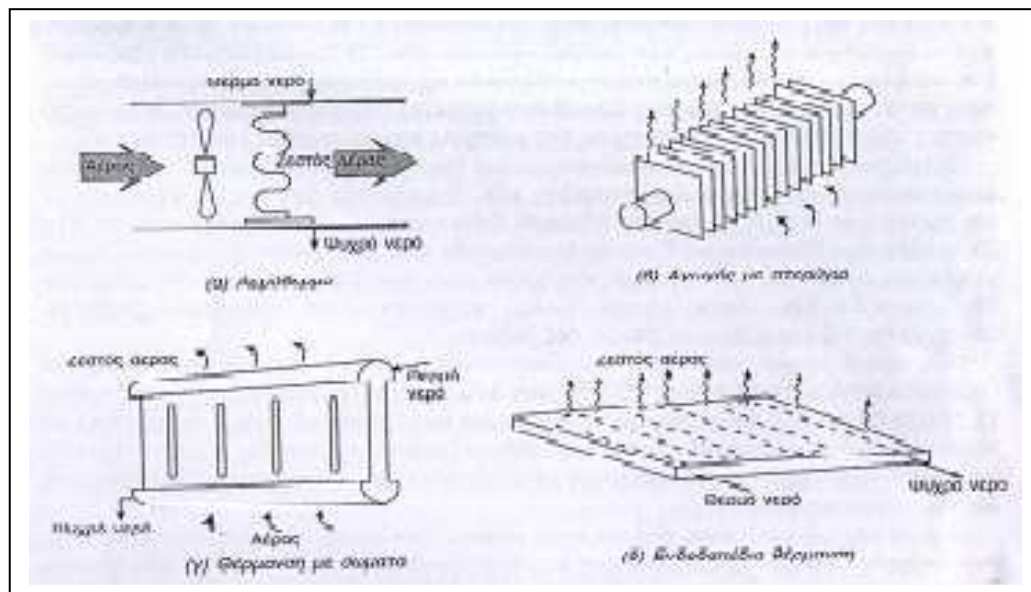
Η θέρμανση των χώρων στα κτήρια επιτελείται με τη διέλευση του γεωθερμικού νερού (ή του νερού λειτουργίας που θερμάνθηκε από γεωθερμικό ρευστό) μέσω των εναλλακτών θερμότητας αέρα – υγρού (converters), κάτι που γίνεται και με τα συμβατικά θερμαντικά σώματα. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι τέτοιων εναλλακτών, οι κυριότεροι των οποίων, όπως απεικονίζεται σχηματικά στο σχήμα 1.3 είναι: (α) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με ροή αέρα (εξαναγκασμένη συναγωγή), (β) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με φυσική συναγωγή, και (γ) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με ακτινοβολία (σωλήνες τοποθετημένοι στο πάτωμα, σε τοίχους ή στη οροφή).

Οι εναλλάκτες που λειτουργούν με εξαναγκασμένη ροή αέρα (κοινώς αερόθερμα – fan coils) αποτελούνται ουσιαστικά από σειρές χάλκινων αγωγών μικρής διαμέτρου, συνδεδεμένων μεταξύ τους με αγωγούς σχήματος U, μέσα από τους οποίους διέρχεται το γεωθερμικό νερό ή το νερό λειτουργίας. Στους χάλκινους αγωγούς βρίσκονται προσκολλημένα φύλλα (πτερύγια) αλουμινίου, σε απόσταση περίπου 3 mm το ένα από το άλλο. Ο αέρας που πρόκειται να θερμανθεί με τη διέλευσή του ανάμεσα από τα φύλλα αλουμινίου, μπορεί να προέλθει είτε από μία κεντρική μονάδα και σύστημα αγωγών διανομής του αέρα (στα μεγάλα κτήρια), είτε από μεμονωμένο ανεμιστήρα είτε από συμπιεστή. Μία μέση ταχύτητα του αέρα στο αερόθερμα είναι 2m/s. Τα αερόθερμα ενδείκνυνται για θερμοκρασίες των νερών από 35 °C μέχρι 60 °C και ως εκ τούτου, δεν προσφέρονται για γεωθερμική θέρμανση. Αντίθετα μπορεί να χρησιμοποιηθούν αγωγοί με πτερύγια, οι οποίοι καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο και απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες νερού

από ό,τι τα αερόθερμα. Έχουν όμως το πλεονέκτημα να μην απαιτούν κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.

Η ενδοδαπέδια θέρμανση με ακτινοβολία είναι κατάλληλη για αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα για βιομηχανικά πατώματα, τα οποία δεν έχουν ιδιαίτερη κάλυψη. Στην τελευταία περίπτωση και για όχι ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις θέρμανσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν νερά ακόμη και 35 °C.

Στις περισσότερες εφαρμογές θέρμανσης χώρων με γεωθερμία απαιτείται εγκατάσταση που θα ικανοποιεί τις αυξημένες ανάγκες αιχμής για κάποιο χρονικό διάστημα (π.χ. δεξαμενή αποθήκευσης θερμού νερού ή αύξηση της θερμοκρασίας του νερού λειτουργίας με χρήση συμβατικών καυσίμων) και σύστημα ελέγχου.



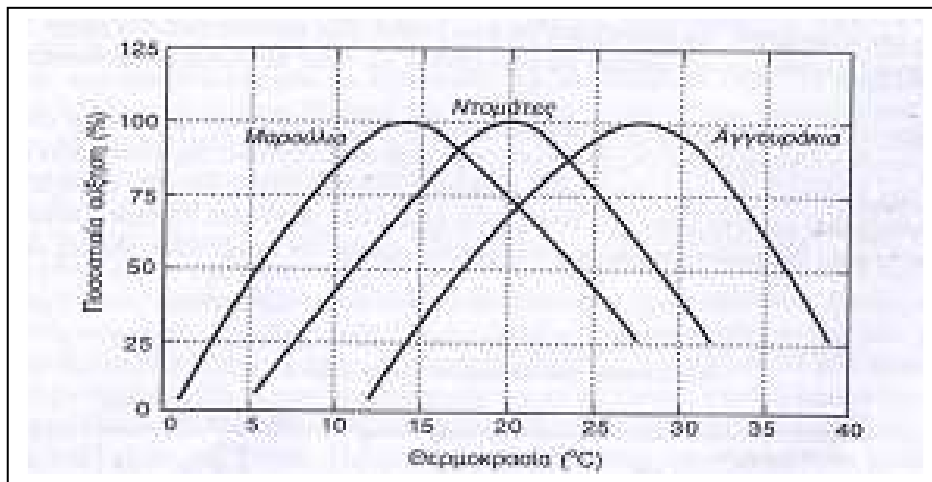
Σχήμα 1.3: Εναλλάκτες αέρα – υγρού: (α) με εξαναγκασμένη ροή, (β) και (γ) με φυσική συναγωγή και (δ) με ακτινοβολία

Στη θέρμανση χώρων με γεωθερμία περιλαμβάνεται και η θέρμανση θερμού νερού πισίνων ή κολυμβητηρίων, άμεσα ή έμμεσα με γεωθερμικό νερό. Η θέρμανση του θερμού νερού είναι προτιμότερο να γίνεται σε ένα δεύτερο εναλλάκτη, που θα εκμεταλλεύεται την έξοδο του γεωθερμικού νερού από τον εναλλάκτη θέρμανσης χώρων.

Σχετικά με τη θέρμανση των κτηρίων, έχει ολοκληρωθεί και λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης του κτιριακού συγκροτήματος των Λουτρών και του ξενοδοχείου στην Τραϊανούπολη Έβρου (περίπου 2000 m²). Η θέρμανση των χώρων επιτυγχάνεται με ενδοδαπέδιες σωληνώσεις και θερμαντικά σώματα, στα οποία κυκλοφορεί θερμό νερό που θερμαίνεται μέσω εναλλάκτη πλακών (από τιτάνιο) από γεωθερμικό νερό 52°C με παροχή 60 m³/h. Με τον ίδιο τρόπο, αλλά με απευθείας ροή γεωθερμικού νερού, θερμαίνονται 2 οικισμοί στην Ν. Απολλωνία και Ν Εράσμιο Ξάνθης (~200 m²). Ένα είδος υποβρύχιου εναλλάκτη χρησιμοποιείται για θέρμανση οικιών στη Μήλο και σχολείου στις Θέρμες Ξάνθης, ενώ η μέθοδος έχει δοκιμαστεί με επιτυχία σε γεωτρήσεις στο Σουσάκι και τον Πολιχνίτο. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς των παραπάνω εγκαταστάσεων δεν υπερβαίνει τα 2 MW. Σε εξέλιξη βρίσκονται επίσης τεχνοοικονομικές μελέτες για τη θέρμανση λουτρο – θεραπευτικών μονάδων, ξενοδοχείων, σχολείων, κέντρων υγείας κ.α. με γεωθερμικά νερά.

1.2.3. Θέρμανση θερμοκηπίων

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας στις καλλιέργειες συμβάλλει στην αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών, ενώ επιτρέπει την καλλιέργεια φυτών και την παραγωγή αγροτικών προϊόντων «εκτός εποχής», καθώς και τον ορθολογικό προγραμματισμό της παραγωγής. Επίσης, η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι απαραίτητη και για την προστασία των φυτών από τον παγετό. Στο σχήμα 1.4 που ακολουθεί παρουσιάζεται η επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη ορισμένων κηπευτικών, όπου φαίνεται ότι για κάθε φυτό υπάρχει μια μικρή σχετικά περιοχή θερμοκρασιών για τη βέλτιστη ανάπτυξή του. Για παράδειγμα, η βέλτιστη περιοχή θερμοκρασίας για την ντομάτα είναι από 18 – 23 °C. Βεβαίως η ρύθμιση της θερμοκρασίας δεν αποτελεί τον μοναδικό παράγοντα απόδοσης μιας καλλιέργειας, αφού απαιτείται ρύθμιση και άλλων παραγόντων, όπως είναι η φωτεινότητα, η ύπαρξη CO₂, η υγρασία κ.α.



Σχήμα 1.4: Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη ορισμένων κηπευτικών (Beall and Samuels, 1971).

Τα βασικά στοιχεία ενός θερμοκηπίου είναι ο σκελετός (μεταλλικός, επιψευδαργυρωμένος, αλουμινένιος ή ακόμη και ξύλινος), το υλικό κάλυψης (γυαλί, πλαστικό – PE, fiberglass, διπλό πλαστικό με χώρο αέρα ανάμεσα κτλ.), το σύστημα δροσισμού, η κουρτίνα σκίασης, το σύστημα άρδευσης και αυτό που ενδιαφέρει τη γεωθερμία, το σύστημα θέρμανσης.

Οι κυριότερες θερμικές απώλειες από ένα θερμοκήπιο οφείλονται στις απώλειες θερμότητας λόγω αγωγής στα τοιχώματα του θερμοκηπίου (πλαϊνά τοιχώματα και οροφή) και στις απώλειες από τη μετακίνηση του αέρα από και προς το θερμοκήπιο, είτε ηθελημένα (αλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου), είτε λόγω κατασκευαστικών ατελειών. Άλλες απώλειες συμβαίνουν λόγω της αγωγής θερμότητας στο έδαφος, λόγω της ενέργειας που χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση και λόγω της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος από το έδαφος και τα φυτά.

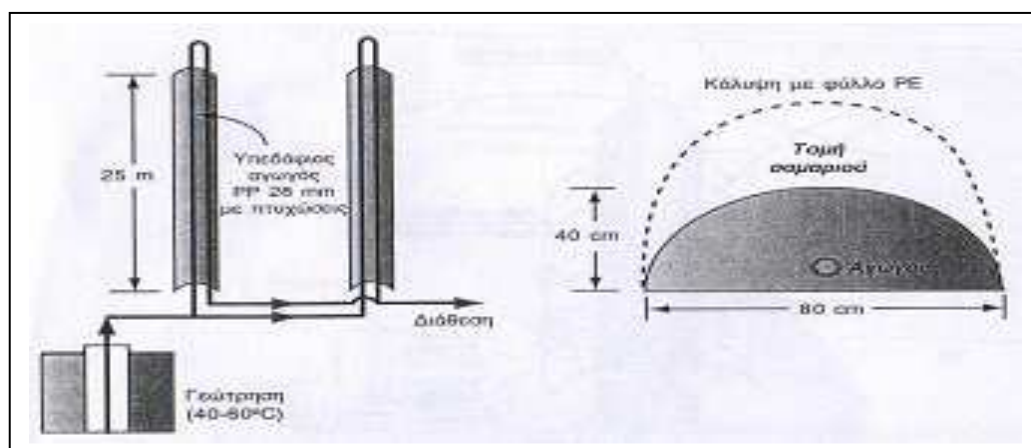
Οι ανάγκες θέρμανσης ενός θερμοκηπίου εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, οι οποίοι εκτός από τις κλιματικές συνθήκες και την επιθυμητή θερμοκρασία, είναι:

- η επιφάνεια και ο όγκος του θερμοκηπίου
- το υλικό κάλυψης (π.χ. γυαλί, πολυαιθυλένιο, πολυκαρβονικά φύλλα)
- εάν τα τοιχώματα είναι διπλά ή μονά
- η συχνότητα εναλλαγής του αέρα.

Η τελική επιλογή του συστήματος θέρμανσης, η ύπαρξη εφεδρικής μονάδας με συμβατικά καύσιμα ή /και δεξαμενής αποθήκευσης θερμού νερού για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών σε περιόδους αιχμής εξαρτώνται από το είδος των καλλιεργούμενων φυτών και τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής.

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για τη θέρμανση θερμοκηπίων μπορεί να μειώσει σημαντικά (περίπου κατά 30 – 35%) το λειτουργικό του κόστος.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει αποκτήσει για τη χώρα μας η υπεδάφια θέρμανση στην πρωίμιση σπαραγγιών. Η σχηματική παράσταση ενός συστήματος υπεδάφιας θέρμανσης σπαραγγιών παρουσιάζεται στο σχήμα 1.5. Για τη θέρμανση του χώματος χρησιμοποιούνται πλαστικοί πτυχωμένοι σωλήνες PP Φ28mm, σε διπλή διαδρομή.



Σχήμα 1.5: Σύστημα υπεδάφιας θέρμανσης εδάφους για καλλιέργεια – πρωίμισης σπαραγγιών.

Τα πρώτα γεωθερμικά θερμοκήπια στη χώρα κατασκευάστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (στη Ν. Απολλωνία και το Λαγκαδά Θεσσαλονίκης, Ν. Κεσσάνη Ξάνθης, Νιγρίτα, Πολιχνίτος Λέσβου κ.α.), ενώ από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 αναπτύχθηκε σε σημαντικό βαθμό η υπεδάφια θέρμανση χώματος για την πρωίμιση σπαραγγιών σε περισσότερα από 130 στρέμματα. Κατά το 2002 τα γεωθερμικά θερμοκήπια στη χώρα κάλυπταν επιφάνεια περίπου 340 στρεμμάτων. Τα θερμοκήπια αυτά βρίσκονται κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα, τη Λέσβο και τη Μήλο. Επίσης, ορισμένα θερμοκήπια, έκτασης περίπου 40 στρεμμάτων, βρίσκονταν το 2002 εκτός λειτουργίας ή υπολειπορούσαν.

1.2.4. Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

Η εφαρμογή γεωθερμικών αντλιών θερμότητας για θέρμανση κτιριακών χώρων περιορίζεται σήμερα σε σχετικά λίγα έργα στην Ελλάδα (κατοικία στο Κορωπί, κτήριο των Μεταλλειολόγων στο Ε.Μ.Π., κτήριο στο Καβούρι Αττικής, το Δημαρχείο Πυλαίας Θεσσαλονίκης, οικίες στην Κεντρική Μακεδονία κ.α.). Βεβαίως ενδιαφέρον έχει εκδηλωθεί και για πολλές άλλες εφαρμογές, μερικές από τις οποίες βρίσκονται υπό υλοποίηση ή υπό μελέτη. Ασφαλώς η τεχνολογία της αβαθούς γεωθερμίας έχει μεγάλες προοπτικές ανάπτυξης, κυρίως στην ορεινή και Βόρεια Ελλάδα, με την προϋπόθεση βεβαίως ότι θα υπάρξουν ορισμένα κίνητρα, αλλά και σχετική ενημέρωση.

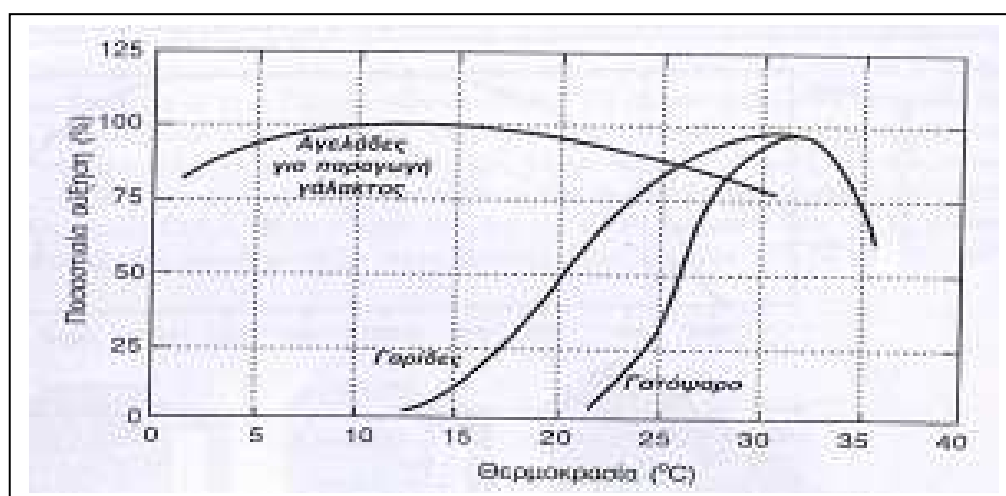
Το σύστημα αντλιών θερμότητας κλειστού κυκλώματος σε κτήριο του Ε.Μ.Π. συνίσταται από 1 κατακόρυφο εναλλάκτη θερμότητας (διπλοί αγωγοί από πολυαιθυλένιο σχήματος U), τοποθετημένο σε γεώτρηση βάθους 90 m (Karytsas et al., 2002a). Η συνολική ωφέλιμη θερμική ισχύς του συστήματος ανέρχεται σε 1 MWt. Στο Λαγκαδά βρίσκεται υπό κατασκευή σύστημα θέρμανσης με αντλίες θερμότητας

του ξενοδοχείου των Λουτρών Λαγκαδά, καθώς και σχολείων, δημοσίου κτηρίου στην πόλη, συνολικής ισχύος 1.6 MWt.

1.2.5. Ιχθυοκαλλιέργειες – Υδατοκαλλιέργειες

Το χειμώνα 2001 – 2002 λειτούργησαν για πρώτη φορά δύο μονάδες χρήσης γεωθερμικών νερών για αντιπαγετική προστασία και θέρμανση τεχνητών λιμνών ιχθυοκαλλιέργειας στο Πόρτο – Λάγος και στο Ν. Εράσμιο – Μάγγανα Ξάνθης. Στην πρώτη περίπτωση το νερό αντλείται από δύο γεωθερμικές γεωτρήσεις, ΝΑ του πεδίου της Ν. Κεσσάνης με θερμοκρασία 38°C. Η δεύτερη μονάδα χρησιμοποιεί νερό 60°C, το οποίο μεταφέρεται με σωλήνες PVC από απόσταση 4km. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς των μονάδων ανέρχεται στα 2MWt. Η επένδυση της χρήσης της γεωθερμίας στις δύο παραπάνω μονάδες σχεδόν αποσβέστηκε με την πρώτη χρονιά λειτουργίας, με την αποφυγή της επίπτωσης του παρατεταμένου παγετού το χειμώνα 2001 – 2002 και τη συμβολή στην ταχύτερη ανάπτυξη των ψαριών.

Η ανάπτυξη των περισσότερων ψαριών (χέλια, λαβράκια, τσιπούρες, γατόψαρα κ.α.), των θαλάσσιων μαλακόστρακων (π.χ. γαρίδες) και ερπετών με εμπορική αξία (π.χ. αλιγάτορες) είναι πολύ μεγαλύτερη σε θερμοκρασίες νερού 20 – 30°C, όπως παρουσιάζεται για δύο διαφορετικά είδη θαλασσινών στο σχήμα 1.6 Βεβαίως, υπάρχουν και ψάρια που η βέλτιστη ανάπτυξή τους συμβαίνει σε χαμηλότερη θερμοκρασία, όπως είναι οι σολομοί και οι πέστροφες, τα οποία αναπτύσσονται καλύτερα σε θερμοκρασία 15 – 17°C, αν και μπορούν να ανεχτούν θερμοκρασίες από 4°C μέχρι 32°C. Αντίθετα η ανάπτυξη των μεγάλων θηλαστικών και πτηνών (αγελάδες, αιγοπρόβατα, κοτόπουλα κ.α.) δεν επηρεάζεται σημαντικά από την εξωτερική θερμοκρασία.



Σχήμα 1.6: Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη ορισμένων ζωικών ειδών (Beall and Samuels, 1971).

Η γεωθερμία μπορεί να προσφέρει με οικονομικό τρόπο τη θέρμανση του νερού σε υδατοκαλλιέργειες συγκεκριμένων ειδών. Η θέρμανση πραγματοποιείται είτε άμεσα, με απευθείας εισαγωγή του γεωθερμικού νερού στις δεξαμενές ή λιμνούλες ανάπτυξης, είτε έμμεσα ύστερα από τη θέρμανση γλυκού ή θαλασσινού νερού. Για την άμεση χρήση του γεωθερμικού νερού απαιτείται να μην υπάρχουν τοξικά συστατικά στο νερό (π.χ. βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, αρσενικό κτλ.). Υπάρχουν δεκάδες επιτυχημένες εφαρμογές στο κόσμο: γαρίδες στη Ν. Ζηλανδία, αλιγάτορες στις Η.Π.Α. (Idaho), σολομοί στην Ισλανδία, τσιπούρες στην Ελλάδα κ.ά.

Οι απώλειες θερμότητας μιας δεξαμενής υδατοκαλλιέργειας (ή γενικά ενός σώματος νερού), που δεν είναι καλυμμένη και βρίσκεται εκτεθειμένη στο περιβάλλον

οφείλονται στους παρακάτω μηχανισμούς: (α) εξάτμιση από την ανοικτή επιφάνεια, (β) συναγωγή, (γ) ακτινοβολία και (δ) αγωγή. Η διεργασία της εξάτμισης αποτελεί την κύρια αιτία των θερμικών απωλειών και συμβαίνει ακόμη και όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του νερού. Ο ρυθμός απωλειών με τη διεργασία της εξάτμισης εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και από τη διαφορά της τάσης ατμών του νερού της δεξαμενής και της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Οι απώλειες λόγω συναγωγής, εκτός από την ταχύτητα του ανέμου, εξαρτάται και από τη διαφορά της θερμοκρασίας του αέρα από τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του νερού. Η θερμοκρασιακή διαφορά επηρεάζει και την τρίτη κατά σειρά σπουδαιότητας διεργασία θερμικών απωλειών, την ακτινοβολία. Τέλος, οι απώλειες λόγω αγωγής αφορούν στις απώλειες μέσω των τοιχωμάτων της δεξαμενής ή μέσω του εδάφους. Πρακτικά, η συνεισφορά της αγωγής στις συνολικές απώλειες είναι πολύ μικρή.

Οι μόνες λύσεις για τη μείωση των θερμικών απωλειών είναι ο εγκλεισμός της δεξαμενής με κατασκευή παρόμοια με την κατασκευή του θερμοκηπίου ή την κάλυψη της επιφάνειας με πλαστικό φύλλο. Βέβαια, στις περισσότερες των περιπτώσεων οι λύσεις αυτές δεν είναι πρακτικές.

Στην κατηγορία των υδατοκαλλιέργειών εμπίπτει και η ανάπτυξη ορισμένων φυκιών με εμπορική αξία, όπως της σπιρουλίνας. Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να αξιοποιηθεί και το διοξείδιο του άνθρακα, που συνήθως περιέχεται στα οξυανθρακούχα γεωθερμικά νερά.

Καλλιέργεια σπιρουλίνας. Σε μονάδα του πεδίου Νιγρίτας εφαρμόζεται εδώ και μερικά χρόνια η καλλιέργεια σπιρουλίνας, με ταυτόχρονη ανάκτηση και χρήση του CO₂ που διαχωρίζεται από το γεωθερμικό νερό και τροφοδοτεί τις δεξαμενές καλλιέργειας. Μέχρι τώρα έχουν παραχθεί περισσότερα από 3000 kg ξηρής σπιρουλίνας (Founadzieva et al., 2002).

Η σπιρουλίνα είναι ένα κυανό – πράσινο μικροφύκος περιέχει περίπου 60% πρωτεΐνη και είναι πλούσιο σε β – καροτένιο, σίδηρο, βιταμίνη B12 κ.α. Η καλλιέργεια της σπιρουλίνας βασίζεται στη φωτοσυνθετική διεργασία και γίνεται σε ρηχές δεξαμενές. Η παραγωγή της σπιρουλίνας εξαρτάται από το γένος του μικροφύκου, την ποσότητα του φωτός, το ρυθμό απομάκρυνσης του προϊόντος, το υδατικό μέσο, τη θρεπτική σύσταση και το pH του νερού, τη συγκέντρωση του CO₂ στο νερό κ.α. Η βέλτιστη θερμοκρασία του μέσου καλλιέργειας (γεωθερμικού ή θερμαινόμενου νερού) είναι 32 – 35 °C, ενώ το pH θα πρέπει να είναι ελαφρά αλκαλικό.

1.2.6. Αξιοποίηση χημικών συστατικών των ρευστών

Τα γεωθερμικά ρευστά δεν περιέχουν μόνο θερμότητα, αλλά μερικές φορές περιέχουν και αξιοποιήσιμες διαλυμένες ουσίες, στερεές ή αέριες. Στοιχεία που θεωρητικά θα μπορούσαν να ανακτηθούν είναι ο χρυσός, ο λευκόχρυσος, το μαγνήσιο, το αντιμόνιο, το βόριο, το στρόντιο κλπ. Στο Μεξικό ανακτάται κάλιο και μαγνήσιο από γεωθερμικά ρευστά, ενώ εδώ και 200 χρόνια λαμβάνουν βορικό οξύ στο Larderello της Ιταλίας με εξάτμιση των νερών. Στην Ισλανδία λειτουργεί επίσης μονάδα ανάκτησης διαφόρων αλάτων. Από τα αέρια που βρίσκονται στα γεωθερμικά ρευστά το μόνο που μπορεί να τύχει εκμετάλλευσης είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

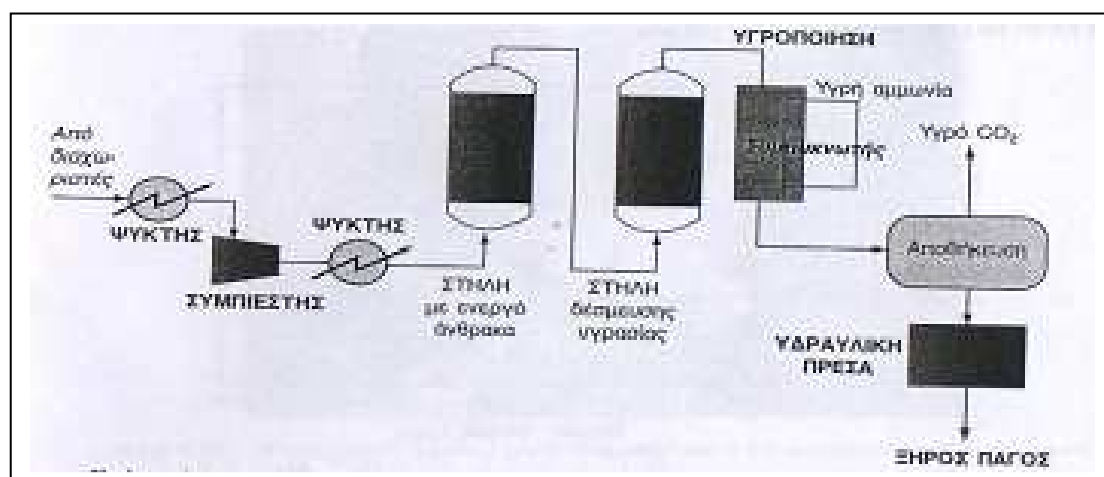
Ανάκτηση διοξειδίου του άνθρακα Το CO₂ που υπάρχει σε πολλά γεωθερμικά πεδία μπορεί κάλλιστα να δεσμευτεί και να αξιοποιηθεί ως εμπορικό παραπροϊόν. Για παράδειγμα στο Kizildere της Τουρκίας, παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανακτώνται και μεγάλες ποσότητες του αερίου αυτού για τις ανάγκες της βιομηχανίας αναψυκτικών, ενώ η Ισλανδία καλύπτει όλες τις ανάγκες της σε CO₂ από

γεωθερμικά ρευστά. Μικρές ή μεγαλύτερες μονάδες ανάκτησης του CO₂ υπάρχουν επίσης στην Κένυα, τις Η.Π.Α., τη Ν. Ζηλανδία και το Ταϊβάν.

Το CO₂ χρησιμοποιείται ως πυροσβεστικό μέσο, στη συντήρηση τροφών, ως πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία, ως μέσο για τη δευτερογενή εξόρυξη πετρελαίου και αλλού. Οι παραπάνω όμως χρήσεις προϋποθέτουν μεγάλες ποσότητες αερίου, οι οποίες μπορούν να ανακτηθούν ύστερα από συστηματική εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων και αξιοποίηση δικτύου γεωτρήσεων. Σε τοπική κλίμακα, η ανάκτηση μικρών ποσοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία εμφιάλωσης ανθρακούχων ποτών ή ως πρόσθετο της ατμόσφαιρας θερμοκηπίων.

Η απόφαση για ανάκτηση και χρήση του CO₂ εξαρτάται από τη δυναμικότητα της εγκατάστασης, τη ζήτηση του προϊόντος, αλλά και από τους περιορισμούς λόγω προβλημάτων αποθήκευσης για μεγάλο χρονικό διάστημα και μεταφοράς. Στο σχήμα 1.7 παρουσιάζεται σχηματικό διάγραμμα ροής για παραγωγή υγρού CO₂ ή ξηρού πάγου από τα γεωθερμικά αέρια, με την προϋπόθεση ότι περιέχουν τουλάχιστον 95% CO₂. Τα κυριότερα στάδια της παραγωγής είναι:

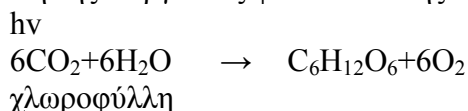
1. Μεταφορά των αερίων από τους διαχωριστές, μείωση της θερμοκρασίας τους, συμπίεση και αφαίρεση της υγρασίας και των προσμίξεων σε στήλες με αφυγραντικό υλικό και ενεργό άνθρακα αντίστοιχα.
2. Υγροποίηση του CO₂ με τη χρήση ψυκτικού μέσου (π.χ. αμμωνία, R-12).
3. Αποθήκευση του υγρού CO₂, παραγωγή ξηρού πάγου με υδραυλικές πρέσες και διανομή των προϊόντων.



Σχήμα 1.7: Διάγραμμα ροής μονάδας ανάκτησης CO₂ από γεωθερμικά ρευστά

Χρήση σε θερμοκήπια

Η χρήση CO₂ στα θερμοκήπια στοχεύει στην αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των διαφόρων φυτών (λαχανικών, λουλουδιών), όπως φαίνεται και από τη βασική αντίδραση της διεργασίας φωτοσύνθεσης:



Η βέλτιστη συγκέντρωση του CO₂ σε ένα θερμοκήπιο για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών είναι συνάρτηση και της έντασης του φωτός και, επομένως, είναι πολλές φορές επιβεβλημένη η εισαγωγή του στο θερμοκήπιο, κυρίως όταν δε γίνεται επαρκής ανανέωση του αέρα για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας. Η προσθήκη CO₂ μειώνει την καλλιεργητική περίοδο των φυτών (ιδίως των νεαρών), βελτιώνοντας έτσι την οικονομική τους απόδοση. Σημειώνεται ότι σε ατμόσφαιρα με συγκέντρωση CO₂ κάτω από 200 ppmv, η φωτοσυνθετική διεργασία διακόπτεται, ενώ

σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από περίπου 1800ppmv το CO₂ γίνεται τοξικό για τα φυτά.

1.2.7. Ξήρανση αγροτικών προϊόντων

Η ξήρανση σιτηρών (κυρίως καλαμποκιού και ρυζιού), λαχανικών, φρούτων ή άλλων αγροτικών προϊόντων (π.χ. μηδικής, καπνού, βαμβακιού) είναι από τις αγροτικές διεργασίες οι οποίες καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες ενέργειας. Τα περισσότερα ξηραντήρια λειτουργούν σήμερα με συμβατικά καύσιμα, αλλά εκεί όπου υπάρχει η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να υποκαταστήσει με επιτυχία τα καύσιμα αυτά. Πρέπει να προστεθεί, ότι λόγω των θερμοκρασιακών περιορισμών, τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προξήρανση ορισμένων προϊόντων ή για την προθέρμανση του αέρα, και την τελική του θέρμανση με πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

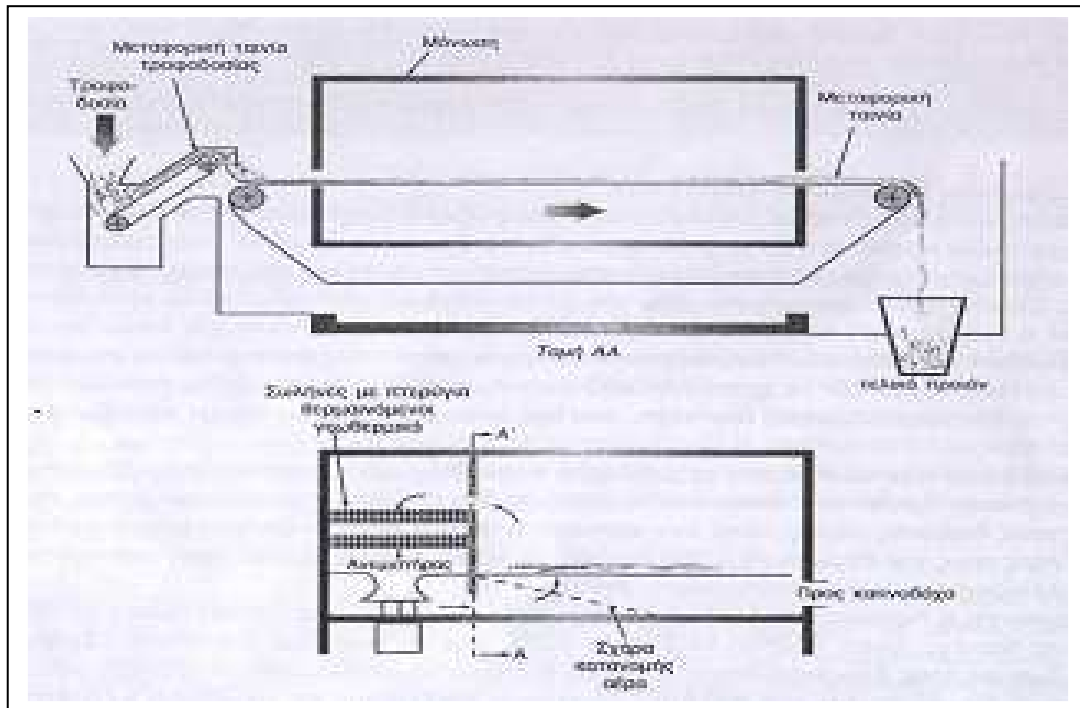
Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης των γεωθερμικών ρευστών στην ξήρανση των αγροτικών προϊόντων αποτελεί το γεγονός ότι τα ξηραντήρια λειτουργούν συνήθως τους θερμούς μήνες, όταν δεν απαιτείται θέρμανση των θερμοκηπίων ή όταν οι ανάγκες τους για θέρμανση είναι μικρές, με αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή λειτουργίας ενός γεωθερμικού συστήματος.

Η ξήρανση ή αφυδάτωση των προϊόντων επιτυγχάνεται είτε σε θαλάμους με κυλιόμενες ταινίες, όπως δείχνει το σχήμα 1.8α, είτε σε πύργους ξήρανσης (σχήμα 1.8β). Και με τους δύο αυτούς τρόπους η ξήρανση επιτελείται σε συνεχή βάση, ενώ έχουν λειτουργήσει και θάλαμοι ξήρανσης προϊόντων σε «παρτίδες». Ανεμιστήρες ή φυσητήρες οδηγούν τον αέρα (φρέσκο ή από το θερμοκήπιο) να διέλθει μέσα από εναλλάκτη και να θερμανθεί με γεωθερμικό νερό. Η θερμοκρασία του αέρα εξόδου εξαρτάται βασικά από τη θερμοκρασία του γεωθερμικού νερού και κυμαίνεται συνήθως από 40 μέχρι 100°C. Ο θερμός αέρας ρέει μέσα από τις ταινίες με τα λαχανικά –φρούτα ή συμπαρασύρει τα προϊόντα (σιτηρά και βαμβάκι) μέσα στους πύργους ξήρανσης, με αποτέλεσμα να εξατμίζεται σημαντικό ποσοστό της υγρασίας των προϊόντων. Πρέπει να σημειωθεί ότι επιβάλλεται αυστηρός έλεγχος της ροής του αέρα, της θερμοκρασίας και της πίεσης σε όλα τα τμήματα ενός ξηραντηρίου, για να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη ξήρανση του προϊόντος. Εκτός από τη θέρμανση του αέρα σε μία γεωθερμική μονάδα ξήρανσης απαιτείται και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τους ανεμιστήρες, τις αντλίες, τη μεταφορά των προϊόντων κτλ.

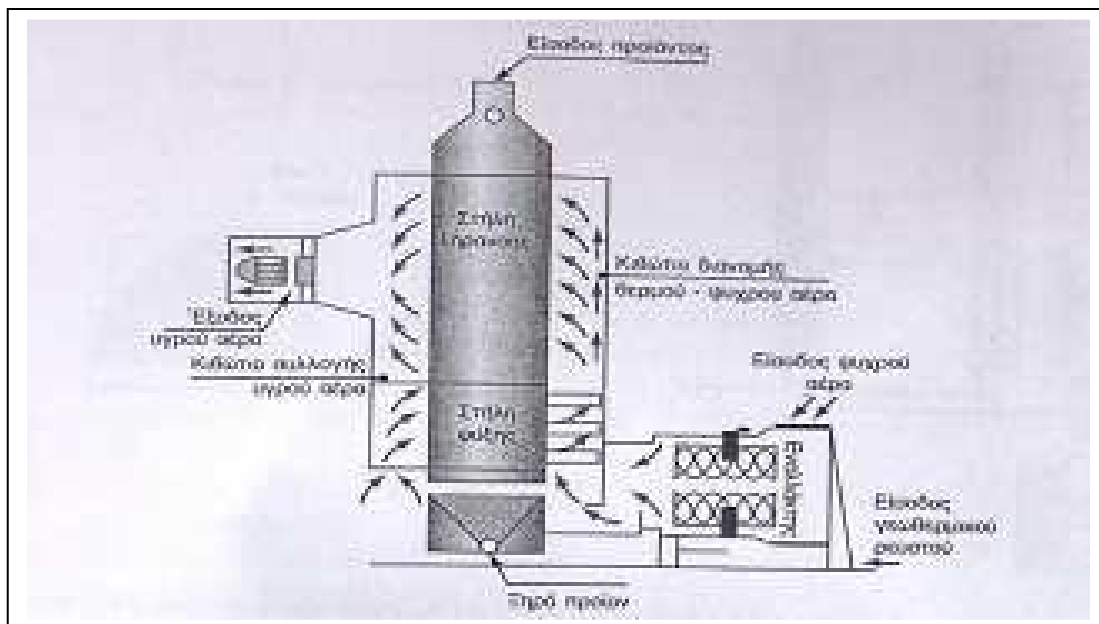
Αγροτικά προϊόντα που αφυδατώνονται με τη χρήση γεωθερμικών ρευστών είναι κρεμμύδια, σκόρδα, μήλα, αχλάδια, μπανάνες, μάγκο, ανανάς, μηδική, φύκια, ξυλεία κτλ. (Lienau, 1998). Οι μεγαλύτερες μονάδες ξήρανσης, που ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1960 και του 1970, αφορούν στην ξήρανση γης διατόμων στην Ισλανδία και μηδικής, ξυλείας και χαρτοπολτού στη Ν. Ζηλανδία (Lund and Freeston, 2001). Η ξήρανση αγροτικών προϊόντων συμμετέχει κατά 0,6% διεθνώς στις συνολικές άμεσες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας.

Από στοιχεία έρευνας της αγοράς, ένα σύγχρονο ξηραντήριο καλαμποκιού δυναμικότητας 30 τόνων /ώρα καταναλώνει θερμική ενέργεια που παράγεται από 400 λίτρα πετρελαίου. Η ποσότητα αυτή των καυσίμων κοστίζει περίπου 180000 € το χρόνο. Θα μπορούσαν να αντικατασταθούν όλα αυτά τα καύσιμα με χρήση γεωθερμικών ρευστών 70 – 100°C, με μικρή τροποποίηση των υπάρχοντων ξηραντηρίων ή με κατάλληλο σχεδιασμό νέων μονάδων.

Το 2001 ξεκίνησε η πρώτη ουσιαστικά εφαρμογή στη χώρα μας της γεωθερμικής ενέργειας για την αφυδάτωση – ξήρανση αγροτικών προϊόντων (Andritsos et al., 2003). Πρόκειται για μονάδα αφυδάτωσης ντομάτας στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης, η πρώτη τέτοια μονάδα στον κόσμο.



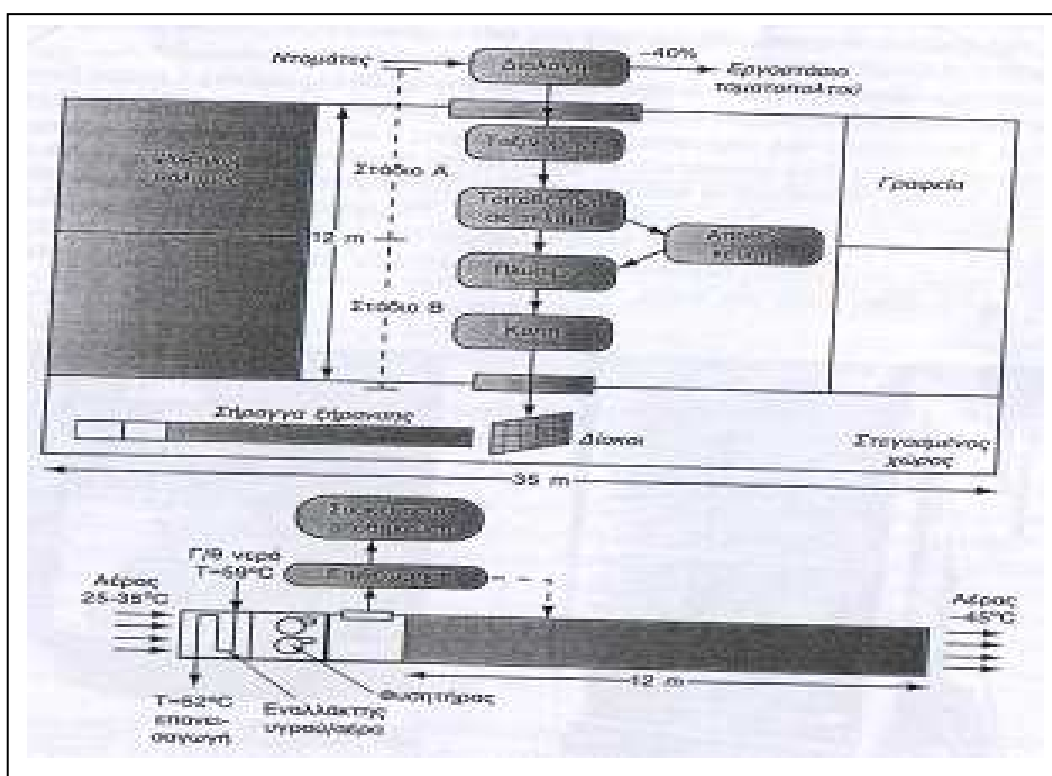
Σχήμα 1.8α: Σχηματικό διάγραμμα μονάδας συνεχούς ξήρανης με κυλιόμενη ταινία



Σχήμα 1.8β: Σχηματικό διάγραμμα πύργου ξήρανης

Η όλη διαδικασία ξήρανης της ντομάτας διαιρείται σε τρία στάδια, δύο στάδια προετοιμασίας του νωπού προϊόντος και το τελικό στάδιο ξήρανης, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.9. Στο αρχικό στάδιο προετοιμασίας γίνεται η εισαγωγή του προϊόντος, ο έλεγχος ποιότητας, η ταξινόμηση και η τοποθέτηση σε τελάρα για αποθήκευση ή για περαιτέρω προετοιμασία. Στο δεύτερο στάδιο γίνεται το πλύσιμο του προϊόντος, η κοπή του στα δύο και η τοποθέτηση σε χαλύβδινους δικτυωτούς δίσκους, οι οποίοι θα εισαχθούν στη σήραγγα ξήρανης. Στο τρίτο στάδιο επιτελείται

η ξήρανση του προϊόντος, το οποίο επιθεωρείται την έξοδο της σήραγγας ξήρανσης πριν οδηγηθεί στη συσκευασία.



Σχήμα1.9: Σχηματική απεικόνιση της γεωθερμικής μονάδας ξήρανσης ντομάτας.

1.2.8. Αφαλάτωση νερού

Το πρόβλημα της επάρκειας γλυκού νερού είναι αρκετά έντονο σε πολλές περιοχές του κόσμου, αλλά και της Ελλάδας (ιδιαίτερα σε ορισμένα νησιά) και γίνεται καθημερινά εντονότερο με την αλόγιστη χρήση του. Η παραγωγή αφαλατωμένου νερού με χρήση γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους:

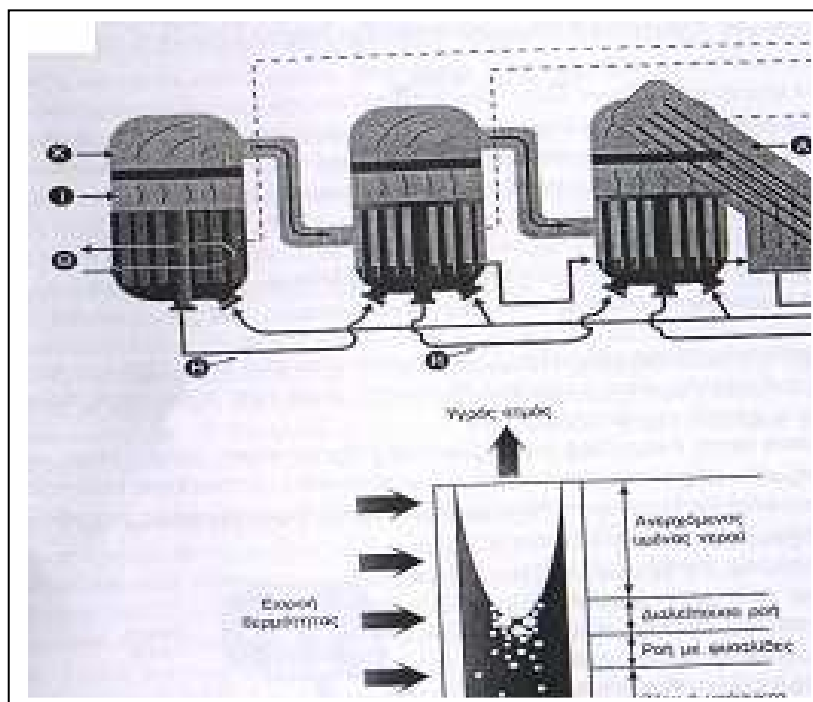
1. Με απευθείας συμπύκνωση γεωθερμικού ατμού. Μπορεί να εφαρμοστεί στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας της Μήλου και της Νισύρου.
2. Με εξάτμιση θαλασσινού νερού σε συνθήκες μερικού κενού.
3. Με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη γεωθερμία.

Η αφαλάτωση του θαλασσινού ή υφάλμυρου νερού έχει καταστεί απόλυτα αναγκαία σε πολλές νησιώτικες και παραθαλάσσιες περιοχές της χώρας μας, ιδίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Ήδη η αφαλάτωση εφαρμόζεται σε πολλά νησιά και ξενοδοχειακές μονάδες με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, της οποίας το κόστος παραγωγής στα νησιά είναι ιδιαίτερα υψηλό. Συγχρόνως, ορισμένες μεγάλες βιομηχανίες εφαρμόζουν τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το μισό αφαλατωμένο νερό παράγεται με τεχνολογίες μεμβρανών και το άλλο μισό σε θερμικές μεθόδους. Στη χώρα μας, με το πλούσιο γεωθερμικό δυναμικό πολλών νησιών, είναι δυνατή η θερμική αφαλάτωση με τη χρήση γεωθερμικών ρευστών.

Δυο είναι οι βασικές τεχνικές για τη θερμική αφαλάτωση του νερού. Η πρώτη και παλαιότερη μέθοδος είναι η πολυβάθμια εκτονωτική εξάτμιση (multistage flash distillation, MSF) και η δεύτερη μέθοδος είναι η απόσταξη πολλαπλού φαινομένου

(multiple effect distillation, MED). Για μεγαλύτερες μονάδες συνιστάται η χρήση της μεθόδου MSF, που είναι και αποδοτικότερη. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου MED είναι ότι απαιτούνται μικρότερες επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας και ότι η λειτουργία της μονάδας γίνεται σε μικρότερη θερμοκρασία (ακόμη και μικρότερη από 70°C), με αποτέλεσμα να μη δημιουργούνται ιδιαίτερα προβλήματα επικαθίσεων (CaSO₄ και CaCO₃). Μία μικρή μονάδα αφαλάτωσης θαλασσινού νερού (η πρώτη παρόμοια μονάδα στον κόσμο) αποπερατώθηκε πρόσφατα στην Κίμωλο, ενώ αντίστοιχο πρόγραμμα βρίσκεται σε στάδιο υλοποίησης στη Μήλο. Στο σχήμα 1.10 παρουσιάζεται πολύ συνοπτικά, η περιγραφή της μεθόδου MED, η οποία έχει εφαρμοστεί στη μικρή μονάδα αφαλάτωσης στην Κίμωλο. Η μονάδα που κατασκευάστηκε κατά την περίοδο 1998-99, χρησιμοποιεί γεωθερμικό νερό χαμηλής ενθαλπίας (61°C) για τη θέρμανση του νερού τροφοδοσίας. Κατά τη δοκιμαστική περίοδο λειτουργίας της μονάδας παράγονταν 3,2m³/h αφαλατωμένου νερού άριστης ποιότητας, με τη χρήση 50 m³/h γεωθερμικού νερού.

Το θαλασσινό νερό τροφοδοτείται στο πρώτο δοχείο εξάτμισης (effect) της μονάδας με τη μορφή λεπτής στιβάδας σε σειρά κατακόρυφων αγωγών, όπου και θερμαίνεται από τη ροή γεωθερμικού νερού στους αγωγούς μεταφοράς θερμότητας. Σε άλλα συστήματα, η εισαγωγή του θαλασσινού μπορεί να γίνει με καταιονισμό. Λόγω της χαμηλότερης πίεσης από την ατμοσφαιρική που επικρατεί μέσα στο δοχείο, και η οποία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια «τζιφαριού», μέρος του θαλασσινού νερού εξατμίζεται. Το υπόλοιπο νερό τροφοδοτείται μέσω ενός κεντρικού αγωγού στο δεύτερο δοχείο εξάτμισης, όπου επικρατεί ακόμη μικρότερη πίεση. Στο δοχείο προστίθεται επίσης και θαλασσινό νερό τροφοδοσίας. Εκεί, το «αλμυρό» αυτό νερό θερμαίνεται με τον ατμό από το πρώτο δοχείο, με σύγχρονη συμπύκνωση μέρους του ατμού. Ο ατμός από το δεύτερο δοχείο θερμαίνει το αλμυρό νερό στο τρίτο, ο ατμός από το τρίτο δοχείο το νερό στο τέταρτο κ.ο.κ. Το συμπύκνωμα από κάθε δοχείο οδηγείται στο συμπυκνωτή, στον οποίο συμπυκνώνεται με τη βοήθεια ψυχρού θαλασσινού νερού. Ο ατμός από το τελευταίο δοχείο, και όλο μαζί το συμπύκνωμα (αφαλατωμένο νερό) οδηγείται στη δεξαμενή αποθήκευσης.



Σχήμα 1.10: Σχηματική παράσταση της διεργασίας αφαλάτωσης με τη μέθοδο της απόσταξης πολλαπλού φαινομένου. Α: συμπυκνωτής. Β και Γ:

είσοδος και έξοδος το θαλασσινού νερού ψύξης. Δ: προϊόν απόσταξης. Ε: τροφοδοσία θαλασσινού νερού. Ζ: έξοδος αλμολοίπου. Η: ανάκτηση θερμότητας από το αλμολοίπο. Θ: είσοδος – έξοδος γεωθερμικού ρευστού. Ι: υγρός ατμός. Κ: κορεσμένος ατμός. Στο κάτω μέρος φαίνονται συνοπτικά τα καθεστώτα ροής τους κατακόρυφους αγωγούς εξάτμισης.

1.2.9. Θερμά ξηρά πετρώματα (Σχέδιο plowshare)

Για να έχουμε ατμό ή θερμό νερό πρέπει να υπάρχουν ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες. Η σπουδαιότερη είναι η κάθετη περατότητα, που είναι γενικά πολύ ελαττωμένη (σχεδόν μηδαμινή) σε μεγάλα σχετικά βάθη. Εκεί η θερμοκρασία των γεωλογικών σχηματισμών είναι αρκετά υψηλή (π.χ. 350°C). Τέτοια θερμοκρασία παρουσιάζεται σε πολλές περιοχές της γης και σε βάθος από 1500 μέχρι 8000 m. Η πρώτη είναι η περίπτωση π.χ. της Νισύρου και η δεύτερη το πιο μεγάλο βάθος των γεωτρήσεων. Όμως στις περιοχές αυτές, με γεωθερμική βαθμίδα κατά 1.4 μέχρι και 6 φορές μεγαλύτερη της μέσης γήινης, σπάνια βρίσκονται γεωθερμικά πεδία, ακριβώς επειδή απουσιάζει η κάθετη περατότητα.

Υπολογίστηκε ότι 1 Km³ από ξηρά πετρώματα με την προοδευτική ελάττωση της θερμοκρασίας του από 350° σε 177°C είναι ικανά να δώσουν θερμική ενέργεια που αντιστοιχεί σε ενέργεια 9 εκατομ. τόνων πετρελαίου.

Έγινε η σκέψη ότι αν το βάθος των πετρωμάτων με τέτοια αρχική θερμοκρασία δεν είναι πολύ μεγάλο, θα ήταν δυνατό να επιχειρηθεί τεχνητή αύξηση των διαρρήξεων και να γίνει έτσι δυνατή η εκμετάλλευση των γιγαντιαίων ποσοτήτων της ενέργειας που βρίσκεται σε λανθάνουσα κατάσταση.

Για την αύξηση της περατότητας των πετρωμάτων υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι, που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα των πετρελαίων, αλλά και άλλες που βρίσκονται στο στάδιο της μελέτης. Όλες όμως προϋποθέτουν την ύπαρξη σχετικής ρηγματώσεως των πετρωμάτων.

Το “σχέδιο plowshare” ερευνά τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ατομικές εκρήξεις μέσα σε θερμά πετρώματα, που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος. Όταν από τις εκρήξεις αυτές δημιουργηθεί πολύ μεγάλη περατότητα, τότε θα διοχετευθεί νερό στο κατώτερο τμήμα του τεχνητού συλλέκτη και θα παραχθεί ατμός στο ανώτερο τμήμα του. Το κύκλωμα πρέπει να είναι απαραίτητα κλειστό, για να μη μολυνθούν οι επιφανειακοί υδροφόροι ορίζοντες και το περιβάλλον από τα ραδιενεργά ισότοπα, που μοιραία δημιουργούνται από τις πυρηνικές εκρήξεις. Η μοναδική σοβαρή επιφύλαξη για την εφαρμογή του σχεδίου αυτού είναι μήπως προκληθούν σεισμοί σε ασταθείς περιοχές από τη διαταραχή της ισορροπίας των πετρωμάτων (απότομη έκλυση της λανθάνουσας σεισμικής ενέργειας).

Υπάρχει μια πληθώρα άλλων σημαντικών εφαρμογών της γεωθερμίας, λιγότερο ή περισσότερο γνωστών. Μερικές από τις χρήσεις αυτές είναι:

1. Λουτροθεραπεία και θέρμανση πισίνων και θεραπευτικών μονάδων.
2. Πλύσιμο και διαύγαση ινών. Έχει εφαρμοσθεί στη Ν. Ζηλανδία.
3. Παραγωγή αποσταγμένου νερού στη Ν. Ζηλανδία.
4. Ξήρανση γης διατόμων στην Ισλανδία με τη βοήθεια γεωθερμικού ατμού θερμοκρασίας 170°C.
5. Χώνευση λυμάτων. Με προσθήκη γεωθερμικών ρευστών και επανέγχυση των επεξεργασμένων λυμάτων σε γεωθερμικούς ταμειυτήρες (στις Η.Π.Α.).
6. Πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού σε διάφορες χώρες.
7. Χρήση γεωθερμικών ρευστών στην εξόρυξη ουρανίου στο Τέξας, στην επεξεργασία χαλκού στο Ν. Μεξικό, στο διαχωρισμό χρυσού στη Νεβάδα. Σε ορυχεία στη Σιβηρία και στη δευτερογενή ανάκτηση πετρελαίου στο Καζακστάν.
8. Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

9. Αντιπαγετική προστασία δρόμων, πλατειών, χώρων στάθμευσης κτλ. (Η.Π.Α., Ιαπωνία, Ρωσική Δημοκρατία, Ισλανδία).

10. Επεξεργασία πατάτας στις Η.Π.Α.

11. Άρδευση με απορριπτόμενο γεωθερμικό νερό.

12. Μαγείρεμα. Η εφαρμογή αυτή δε χρησιμοποιεί προφανώς μεγάλες ποσότητες γεωθερμικής ενέργειας και μνημονεύεται εδώ περισσότερο για να δείξει τη μεγάλη διασπορά των γεωθερμικών χρήσεων. Το μαγείρεμα γίνεται με την τοποθέτηση πήλινων δοχείων με κρέας και λαχανικά για ικανό χρονικό διάστημα (5 ώρες) σε βάθος περίπου 20 cm σε ένα πολύ θερμό τμήμα (επιφάνειας περίπου 2 m²) της αμμώδους ακτής στο Παλιοχώρι της Μήλου. Το τμήμα αυτό θερμαίνεται φυσικά κοντά τους 100°C από την ανάδυση ατμών.

Η γεωθερμική ενέργεια διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών:

- Χαμηλής ενθαλπίας (25-100° C)
- Μέσης ενθαλπίας (100-150° C)
- Υψηλής ενθαλπίας (>150° C)

Ύστερα από τις πρώτες ερευνητικές- παραγωγικές γεωτρήσεις και την κατασκευή του γεωθερμικού μοντέλου του πεδίου, ακολουθεί το στάδιο της περιχάραξής του, της κατασκευής πλήρους δικτύου παραγωγικών γεωτρήσεων και της σημαντικής εκμετάλλευσης των ρευστών με κατάλληλες κατά περίπτωση εγκαταστάσεις επιφάνειας.

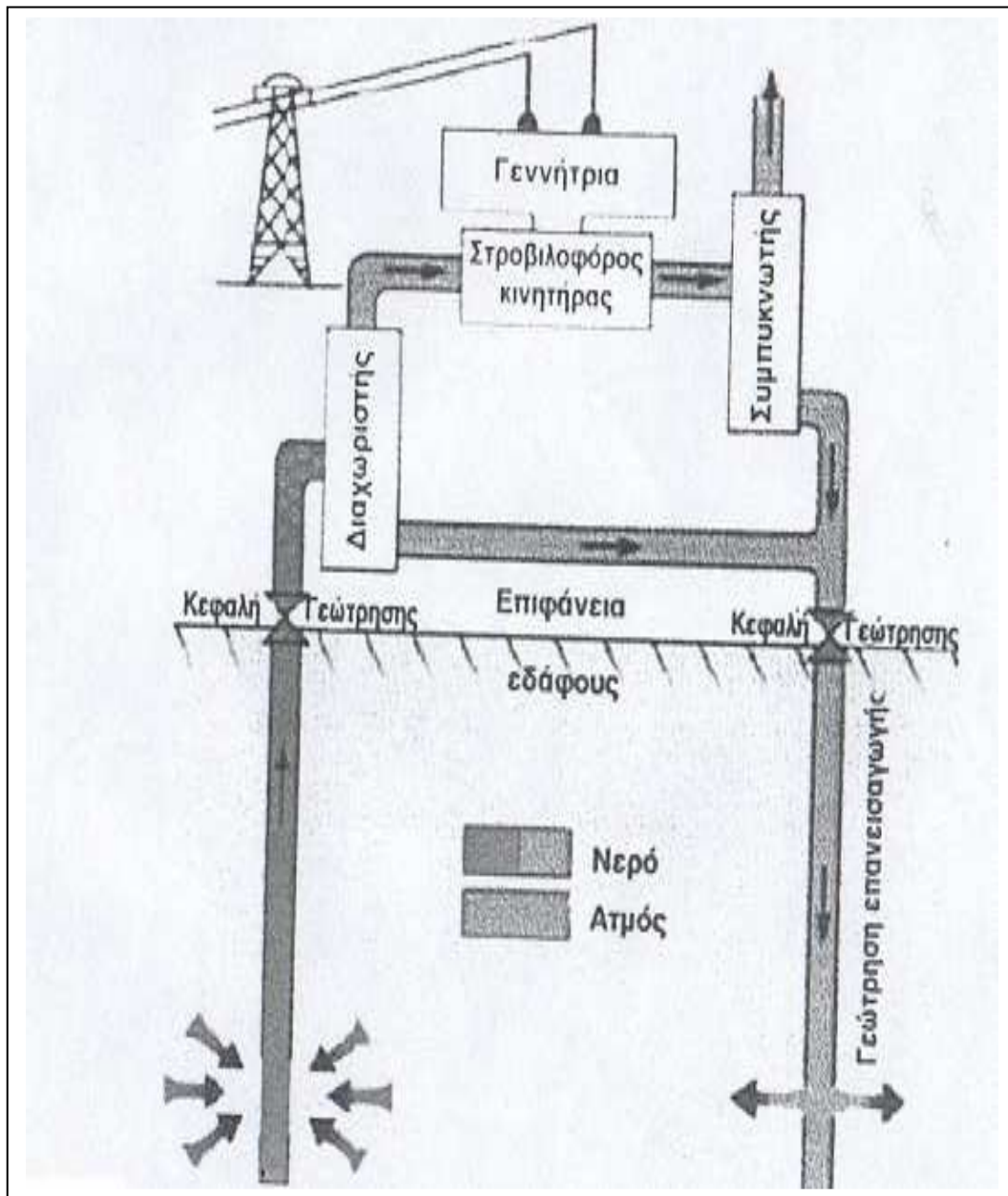
Οι βαθιές γεωτρήσεις στο στάδιο αυτό έχουν συνήθως λιγότερα προβλήματα αφού αποκτήθηκαν ήδη αρκετές γνώσεις του πεδίου.

Στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας τα ρευστά χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρισμού (σχήμα 1.11) με πολύ ευνοϊκές οικονομικές συνθήκες. Ο ατμός και το νερό μετά τη χρήση στη στροβιλογεννήτρια έχουν πάρα πολλές ακόμα θερμίδες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αλυσιδωτή χρήση για άλλες εκμεταλλεύσεις (π.χ. θερμάνσεις οικοδομών, θερμοκηπίων, πισίνων κ.λ.π.).

Τα πεδία που παράγουν ρευστά μέσης ενθαλπίας χρησιμοποιούνται είτε για παραγωγή ηλεκτρισμού, μέσω κλειστού κυκλώματος ειδικών ρευστών χαμηλού σημείου ζέσεως, είτε για ποικίλες άλλες χρήσεις (θερμάνσεις, βιομηχανικές εφαρμογές κ.λ.π.).

Τέλος, τα πεδία με ρευστά μέσης ενθαλπίας χρησιμοποιούνται επωφελώς και κατά περίπτωση σε διάφορες βιομηχανικές και γεωργικές εφαρμογές, θερμάνσεις χώρων, οικιών, θερμοκηπίων, ιχθυοδεξαμενών, πισίνων και πολλές άλλες.

Η χώρα μας παρουσιάζει ένα αρκετά αξιόλογο δυναμικό γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας.



Σχήμα 1.11: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση γεωθερμικού ρευστού (με εκτόνωση ρευστού)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Α. ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Ως γνωστό στην περιοχή της Κόνιτσας στα σύνορα μεταξύ της Ελλάδας και Αλβανίας και επί του Ελλαδικού εδάφους υπάρχουν οι θερμές πηγές Καβασίων-Πυξαριάς ($T=31^{\circ}\text{C}$) και τα Ατμόλουτρα Αμάραντου με θερμοκρασία ατμού ($T=32^{\circ}\text{C}$) που εξέρχονται από διαβρωμένες και ρηξιγενείς θέσεις από τον ασβεστόλιθο.

Στην Αλβανική πλευρά πλησίον των Ελληνικών πηγών είναι γνωστή η ύπαρξη θερμών λουτρών στην περιοχή Κούκιες, τα οποία τροφοδοτούνται από τις θερμές πηγές που βρίσκονται στη γέφυρα Σκορδίλι καθώς και θερμοί ατμοί του χωριού Ποστενάν. Στην περιοχή Κουκουτσέρια, στον ευρύτερο χώρο του Ποστενάν, από τα πολύ λίγα στοιχεία που έχουμε εμφανίζονται κατά τόπους δευτερευούσης σημασίας ενδείξεις θερμών ατμών. Γεωλογικά και γεωθερμικά οι παραπάνω ευρύτερες ελληνο-αλβανικές περιοχές παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον. Οι επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας είναι φανερό ότι συνδέονται άμεσα με την ύπαρξη ρηγμάτων επί του ασβεστολιθικού υποβάθρου εντός του ελληνικού και αλβανικού χώρου.

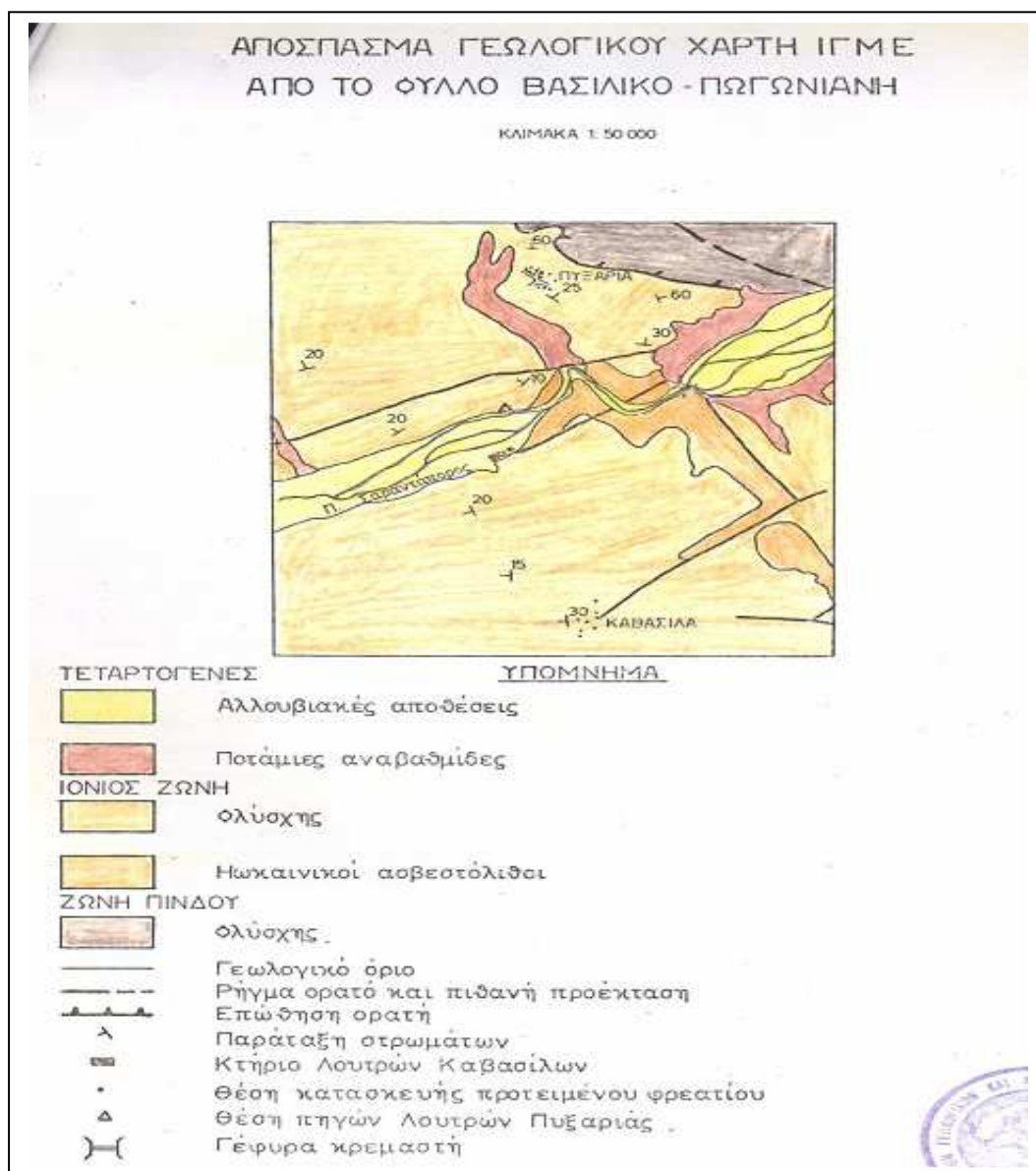
Στην παραπάνω περιοχή έγινε χαρτογράφηση όλης της νότιας πλευράς της κοιλάδας του Σαρανταπόρου όπου υπάρχουν και τα λουτρά. Αναζητήθηκε και βρέθηκε επαφή των Ηωκαινικών ασβεστόλιθων με το σχηματισμό του φλύσχη της Ιονίου Ζώνης. Στην επαφή αναπτύσσεται και ο σχηματισμός του κροκαλοπαγούς μέσα από τον οποίο πηγάζει το θερμό νερό. Άρα οι γεωλογικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή της Κόνιτσας ανήκουν στις ζώνες Ιονίου, Πίνδου και Υποπελαγονική. Οι θερμές πηγές Καβασίων-Πυξαριάς και οι θερμοί ατμοί Αμάραντου, αναβλύζουν αντίστοιχα από σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης και της ζώνης Πίνδου.

Οι Γεωλογικοί σχηματισμοί που εντοπίζονται στην περιοχή Καβασίων (σχήμα 2.1, 2.2 και 2.3) αναφέρονται παρακάτω :

1. Αλλουβιακές αποθέσεις : Καλύπτουν την κοιλάδα μέσα στην οποία ρέει ο ποταμός Σαραντάπορος. Αυτές αποτελούνται από τα φερτά υλικά που μεταφέρει ποταμός δηλαδή άμμους, χαλίκια, κροκάλες ποικίλου μεγέθους που προέρχονται από την αποσάθρωση των ανάντη του ποταμού γεωλογικών σχηματισμών.

2. Διλλούβια κροκαλοπαγή-λατυποπαγή: Αυτά βρίσκονται σε συνεκτική-ημισυνεκτική καθώς και σε ασύνδετη κατάσταση. Αποτελούνται κυρίως από υλικά ποτάμιας προέλευσης. Καλύπτουν το χώρο πάνω (μορφολογικά) από τις πηγές και έχουν σχετικά μικρό πάχος. Τα υλικά αυτά στη θέση των πηγών υπέστησαν κατολίσθηση κατά τις πρόσφατες εκσκαφές.

3. Ιόνιος Ζώνη : Οι σχηματισμοί που αποτελούν τη Ιόνιο Ζώνη και που εμφανίζονται στη ευρύτερη περιοχή είναι από τους παλαιότερους προς τους νεώτερους οι παρακάτω:



Σχήμα 2.1: Γεωλογικοί σχηματισμοί στην περιοχή Καβασιλών

I. Ηώκαινικοί ασβεστόλιθοι (Παλαιόκαινο – Ανωτ. Ηώκαινο)

Συνίστανται σε υπολιθογραφικούς ασβεστόλιθους με ενστρώσεις πυριτολίθων και σε ασβεστόλιθους μικρολατυποπαγείς. Βρίσκονται ΒΑ της θέσης των πηγών. Κάτω από αυτούς αναπτύσσεται ολόκληρη η ανθρακική σειρά της ζώνης, αποτελούμενη από ασβεστόλιθους του Ανωτ. Κρητιδικού, του Ιουρασικού – Κρητιδικού (ασβεστόλιθοι Βιγλών και δολομίτες), από σχιστόλιθους με Ποσειδωνίες του Ιουρασικού και ασβεστόλιθους του Ιουρασικού (Σινιών και Παντοκράτορος). Η ηλικία τους έχει προσδιοριστεί από τα απολιθώματα ως Παλαιοκαινική – Ανωτ. Ηώκαινο. Αποτελούνται από στρώσεις μεγάλου πάχους ή είναι άστρωτοι. Παρουσιάζονται αρκετά καρστικοποιημένοι.

II. Φλύσχης (Ανωτ. Ηώκαινο – Ακουϊτάνιο)

Είναι ο κύριος γεωλογικός σχηματισμός της περιοχής και υπόκειται των κροκαλοπαγών στη θέση των πηγών. Αποτελείται από εναλλαγές στρωμάτων μικρού σχετικά πάχους μαρμαρυγιούχων ψαμμιτών με πρασινωπές ιλυώδεις μάργες.

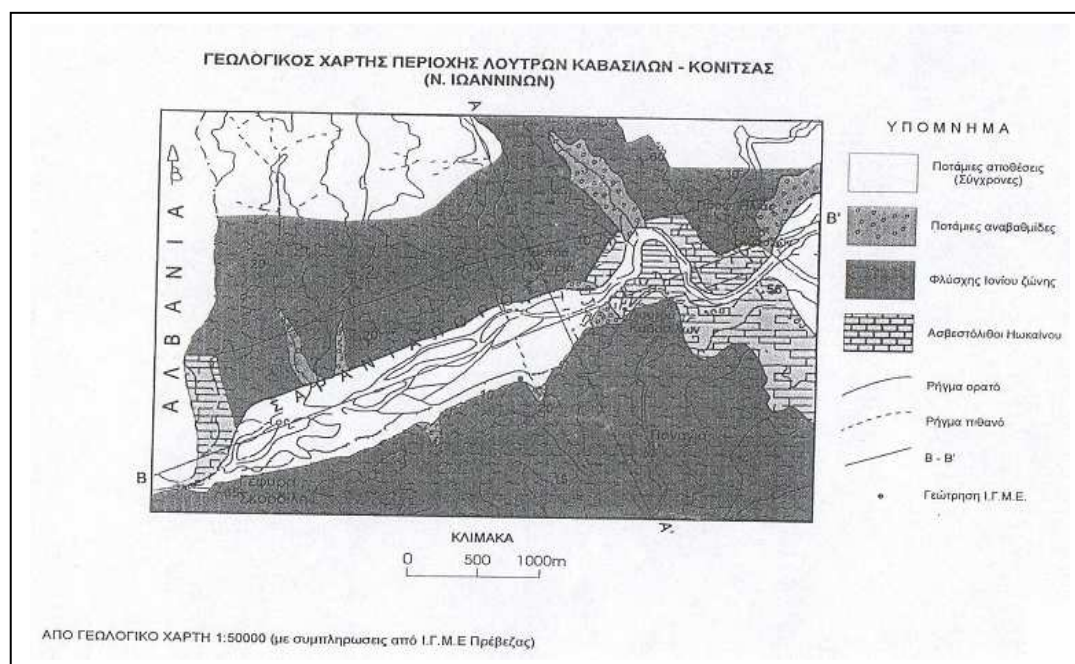
4. Ζώνη Πίνδου :

I. Ασβεστόλιθοι (Ανω Κρητιδικό) : υπολιθογραφικοί, πλακάδες.

II. Φλύσχη (Μαιστρίχτιο – Ανωτ. Ηώκαινο)

Συνίσταται από αμμώδεις μάργες και ψαμμίτες, όπου κατά θέσεις επικρατεί το ψαμμιτικό ή το μαργαϊκό στοιχείο.

Η περιοχή διασχίζεται από μεγάλα ρήγματα διεύθυνσης κυρίως Α – Δ. Το ρήγμα που φέρει σε τεκτονική επαφή το φλύσχη και τους ασβεστόλιθους στη θέση των πηγών μαζί με το μεγάλο ρήγμα που πιθανώς υπάρχει κατά μήκος του ποταμού (καλύπτεται από τις αποθέσεις), θεωρούνται οι φορείς που εξέρχονται τα θερμομεταλλικά νερά στην περιοχή.

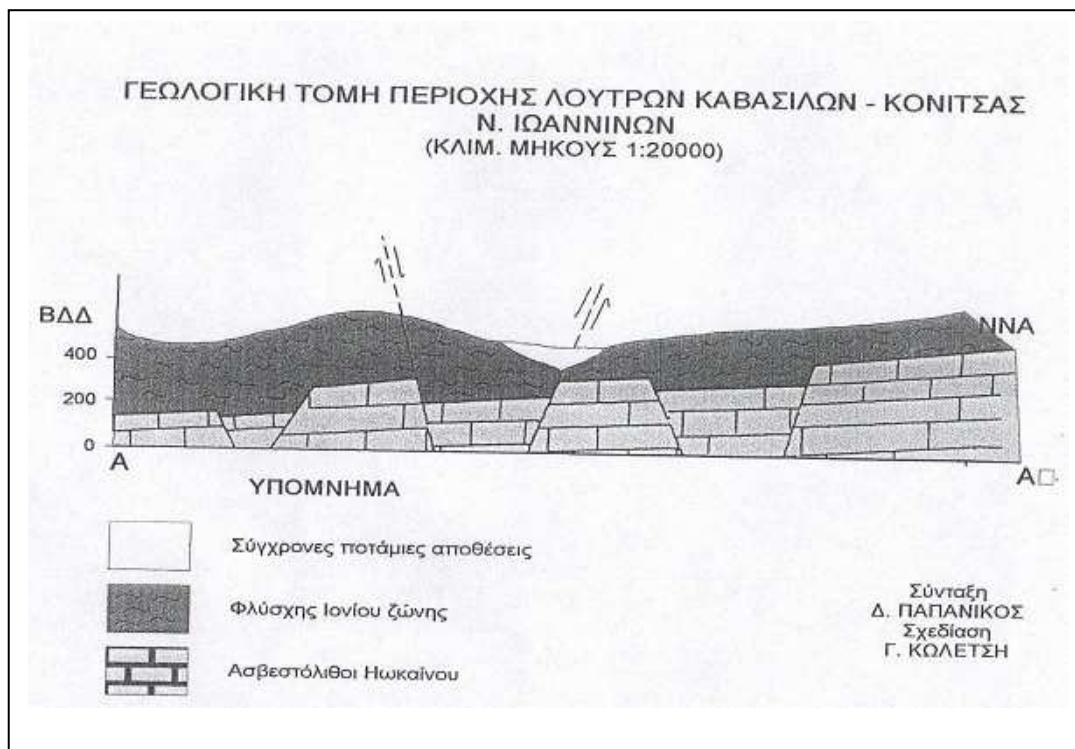


Σχήμα 2.2: Γεωλογικός χάρτης περιοχής των λουτρών Καβασίλων

Με την αποπεράτωση των υπαίθριων ερευνητικών εργασιών (γεωλογικών, τεκτονικών, γεωφυσικών, γεωχημικών), την επεξεργασία και συνθετική ερμηνεία αυτών προσδιορίστηκε θέση ερευνητικής – παραγωγικής γεώτρησης. Σκοπός της γεωτρητικής έρευνας είναι:

- Η μελέτη της στρωματογραφίας
- Η θερμομετρική έρευνα
- Η γεωχημική μελέτη της υδροφορίας
- Ο εντοπισμός των ρευστών και γενικά η επιβεβαίωση του γεωθερμικού ενδιαφέροντος και η δυνατότητα παροχής περισσότερων και ακριβέστερων στοιχείων από την αρχική φάση της έρευνας.

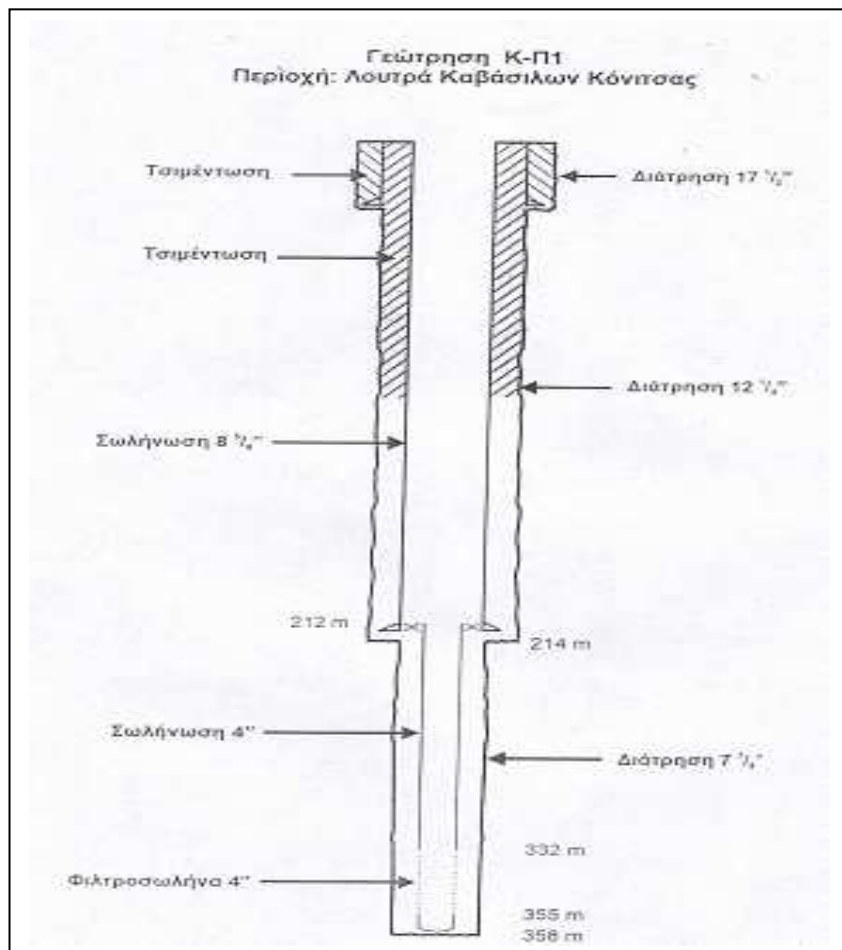
Στην παραπάνω περιοχή εκτελέστηκαν 2 γεωτρήσεις, η πρώτη ΓΚ-1 (78m) εγκαταλήφθηκε λόγω τεχνικών δυσκολιών και συνεχίστηκε μια δεύτερη γεώτρηση (ΓΚΠ-1) βάθους 358m (σχήμα 2.4). Συνολικά διατρήθηκαν στην περιοχή 436m. Η θέση αυτή βρίσκεται στην ανατολική πλευρά της κοίτης του Σαραντάπορου ποταμού και 1000 – 1300m περίπου ΝΝΑ των λουτρών Καβασίλων κατά μήκος της ζώνης αγωγιμότητας.



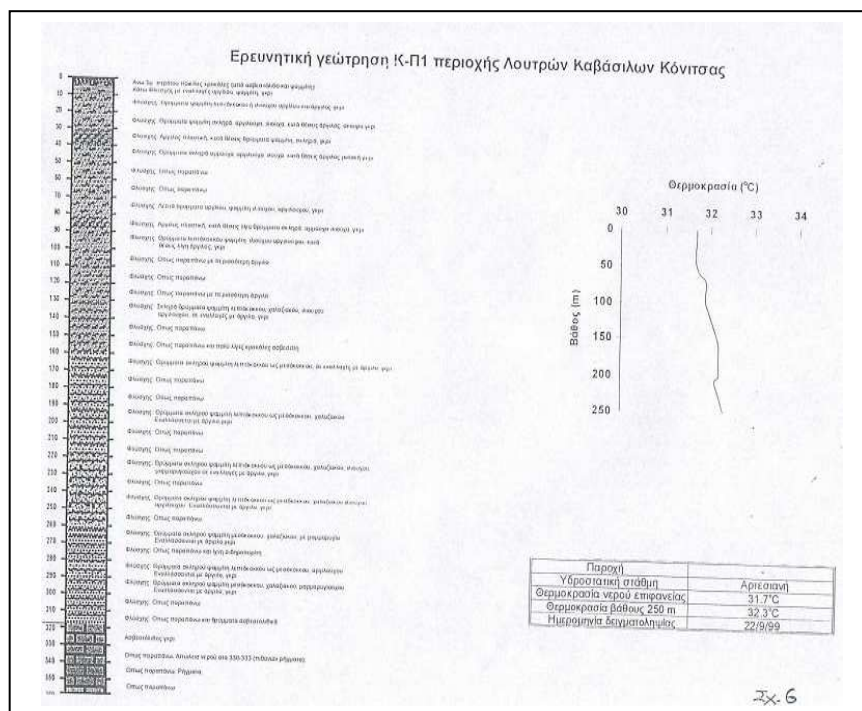
Σχήμα 2.3: Γεωλογική τομή της περιοχής των λουτρών Καβασίλων

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που διατρήθηκαν είναι από την επιφάνεια στα 5m ποικίλες κροκάλες από ασβεστόλιθο και ψαμμίτη και από τα 5 m περίπου μέχρι τα 318m φλύσχη. Από τα 318m μέχρι τα 358m ασβεστόλιθος.

Γεώτρηση ΚΠ1 (σχήματα 2.4 – 2.6) : περιοχή Καβάσιλα Κόνιτσας : Συνολικά διατρήθηκαν 350m. Το τεταρτογενές έχει πάχος 318m και αποτελείται από εναλλαγές φλύσχη και αργίλων. Ο ασβεστόλιθος, που αποτελεί και την οροφή του ταμιευτήρα του υπό έρευνα γεωθερμικού πεδίου, εμφανίζεται σε βάθος 318m. Από το βάθος αυτό παρατηρήθηκε μεγάλη απώλεια επιστρεφόμενων λόγω έντονων τεκτονικών διαταράξεων και ως εκ τούτου στάθηκε αδύνατη η θερμομέτρηση μέχρι το βάθος των 358m όπου εντοπίζεται ο ταμιευτήρας του υπό έρευνα γεωθερμικού πεδίου. Η θερμομέτρηση έγινε μέχρι τα 258m. Εντοπίστηκαν θερμοκρασίες της τάξης των 32°C με τάση ανόδου στο κρυσταλλικό υπόβαθρο που αποτελεί τον ταμιευτήρα του πεδίου. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν 100 mg As/lit βάσει της χημικής ανάλυσης (σχήμα 2.7) το οποίο πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη.

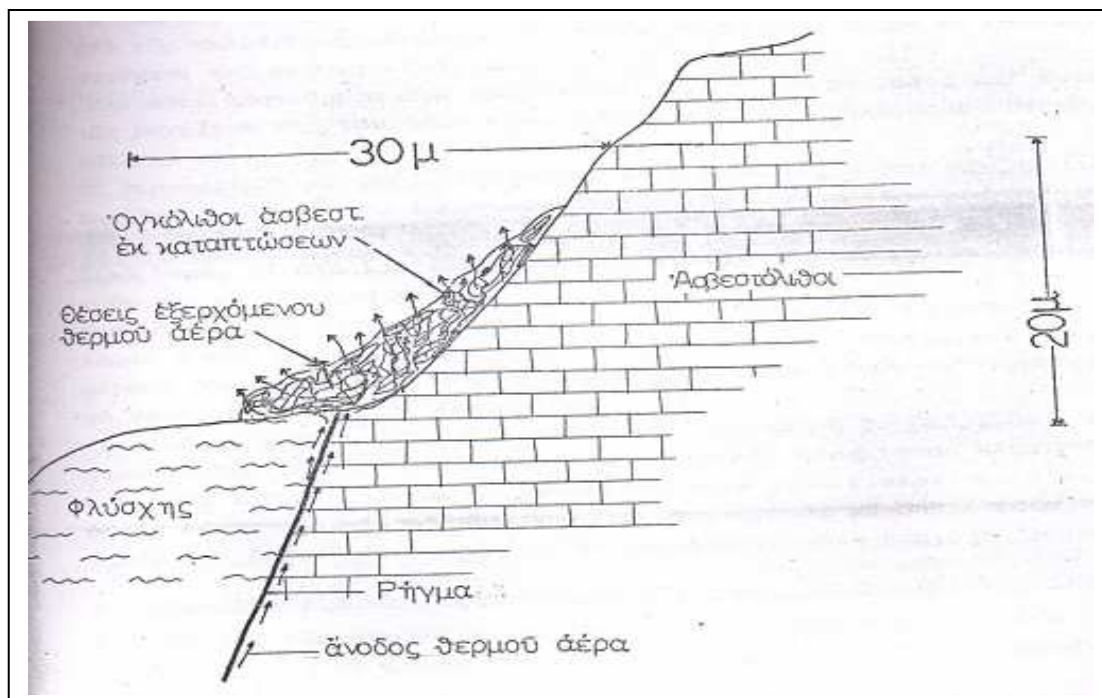


Σχήμα 2.4: Γεώτρηση Κ-Π1



Σχήμα 2.5: Ερευνητική γεώτρηση Κ-Π1 της περιοχής των λουτρών Καβάσιλων

αποσαθρωμένα υλικά των παρακειμένων πετρωμάτων. Νοτιότερα και προς το χωριό Αμάραντο έχουν σχηματισθεί κώνοι κορημάτων λόγω του απότομου ανάγλυφου. Λίγο δυτικά της θέσης των πηγών αναπτύσσονται οι ασβεστόλιθοι της υποπελαγονικής ζώνης, ηλικίας κατωτέρου Ιουρασικού. Βρίσκονται επωθημένοι στη θέση αυτή πάνω στο φλύσχη της Πίνδου. Είναι λατυποπαγείς, υπολιθογραφικοί, θρομβώδεις, λεπτοστρωματώδεις έως στρωματώδεις με σχιστοψαμμιτοκερατολιθικές ενστρώσεις και έντονα καρστικοποιημένοι. Βόρεια και σε απόσταση περίπου 1000 m έχει δημιουργηθεί μεγάλη κατολίπηση των ασβεστόλιθων της υποπελαγονικής ζώνης, η οποία έχει καταστρέψει το δίκτυο ύδρευσης (πόσιμου νερού) των λουτρών Αμάραντου. Επίσης αναπτύσσεται οφιολιθική σειρά που συνίσταται από σερπεντίνες, περιδοτίτες και δολερίτες.



Σχήμα 2.9: Κάθετη Γεωλογική Τομή σε σκαρίφημα στην περιοχή των ατμόθερων πηγών Αμάραντου

Επάνω στους σχηματισμούς και των τριών Ζωνών επικάθονται σχηματισμοί του Τεταρτογενούς, οι οποίοι συνίστανται σε αλλουβιακές αποθέσεις, κώνους κορημάτων, παλαιά και νέα πλευρικά κορήματα.

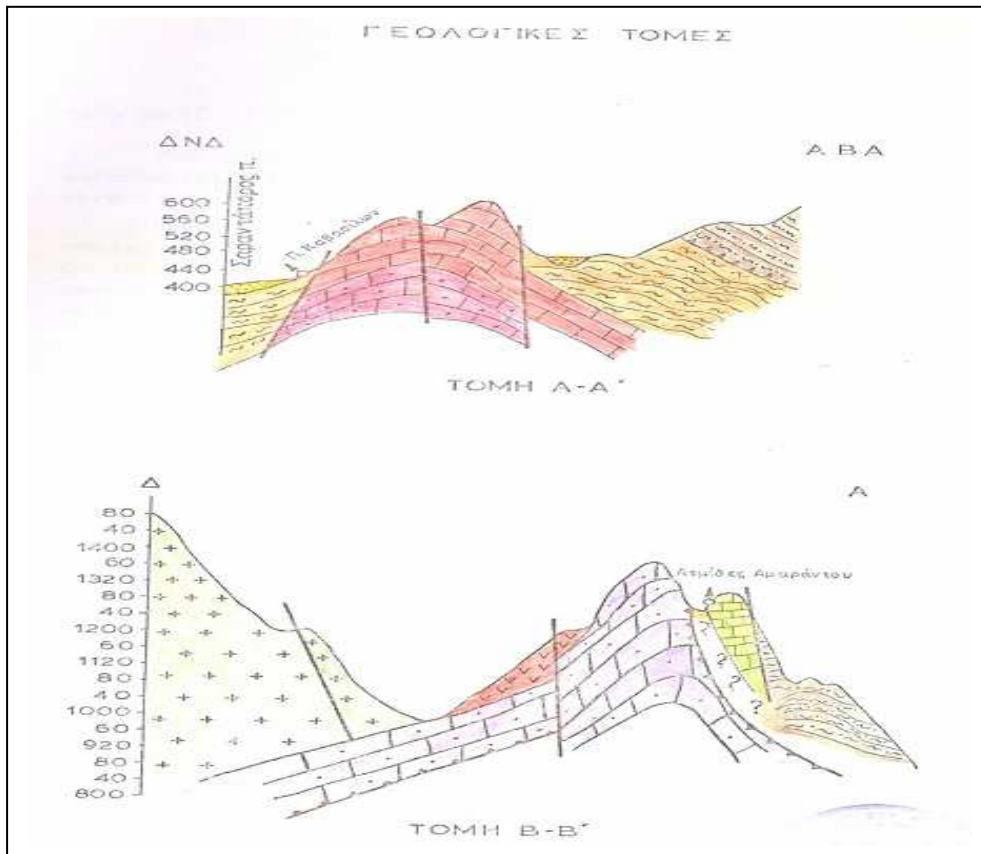
B. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Σαν αυτόχθονη ζώνη θεωρείται στην περιοχή η Ιόνιος, η οποία αποτελείται από σειρά ευρέων συγκλίμων και αντικλίμων.

Επάνω στην ζώνη αυτή και σε μεγάλη έκταση είναι επωθημένη η ζώνη της Πίνδου. Στο μέτωπο της επώθησης αυτής η διάβρωση έχει αποκόψει μεγάλα τεμάχια, τα οποία εμφανίζονται επάνω στην Ιόνιο ζώνη με την μορφή λεπιώσεων. Επάνω στην ζώνη της Πίνδου τέλος βρίσκεται επωθημένη αλλά ανατολικότερα και εκτός περιοχής ενδιαφέροντος η υποπελαγονική ζώνη, ένα τεκτονικό λέπος της οποίας εμφανίζεται στην περιοχή Αμάραντου (σχήμα 2.10).

Όλοι οι παραπάνω γεωλογικοί σχηματισμοί, έχουν υποστεί έντονη ρωγμάτωση με κύριους άξονες Β. ΒΔ – Ν. ΝΑ. Υπάρχουν όμως και αρκετά ρήγματα με διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ καθώς και Α – Δ. Από τα ρήγματα αυτά, τα ΒΑ – ΝΔ δ/σης έχουν σχηματίσει τα βυθίσματα των ποταμών Αώου και Σαρανταπόρου και είναι μεταγενέστερα των προηγούμενων.



Σχήμα 2.10: Γεωλογικές τομές Α-Α' και Β-Β'

Γ. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

2.1 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ

Ο φλύσχος εξαπλώνεται σε μεγάλη έκταση στην περιοχή των πηγών. Τα στρώματα των ιλυωδών μαργών του φλύσχη είναι αδιαπέραστα από το νερό. Τα στρώματα των μαρμαρυγιούχων ψαμμιτών παρουσιάζουν μικρή υδροπερατότητα. Στο σύνολό του ο φλύσχος θεωρείται αδιαπέραστος σχηματισμός. Οι ασβεστόλιθοι της περιοχής είναι διαπερατοί καθώς επίσης οι αποθέσεις των κροκαλοπαγών και γενικά των ποτάμιων αποθέσεων.

Οι θερμομεταλλικές πηγές των Καβασίων και της Πυξαρίας στην απέναντι όχθη του ποταμού οφείλονται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, στα ρήγματα της περιοχής.

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα κατεισδύουν δια μέσου των υδροπερατών γεωλογικών σχηματισμών σε μεγάλα βάθη. Εκεί λόγω της γηγενούς θερμότητας και πιθανώς της ύπαρξης μαγματικών εστιών, θερμαίνονται και ανέρχονται προς την επιφάνεια κυρίως μέσω των ρηγμάτων συμπαρασύροντας μαζί και τα μεταλλικά συστατικά που απόκτησαν κατά την διέλευσή τους από τα πετρώματα βάθους.

Στην περιοχή των πηγών έχουμε διασταύρωση δύο ρηγμάτων δια μέσου των οποίων τα θερμομεταλλικά νερά εξέρχονται και αναβλύζουν. Κατά την άνοδο τα θερμομεταλλικά νερά διαχέονται και αναμιγνύονται με τα επιφανειακά νερά του υπερκείμενου υδροφορέα των αποθέσεων του ποταμού κι έτσι μειώνεται η θερμοκρασία τους. Είναι πιθανόν οι αποθέσεις του ποταμού στη θέση διασταύρωσης των ρηγμάτων να είναι λεπτής αργιλικής σύστασης (αδιαπέρατα) και να εμποδίζεται η άμεση έξοδος του θερμού μεταλλικού νερού. Έτσι το θερμομεταλλικό νερό κινείται και εξέρχεται στην επαφή του φλύσχη και των αλλουβιακών αποθέσεων και στις δύο πλευρές του ποταμού. Πρέπει να αναφερθεί ότι σε απόσταση 3km περίπου από τις

πηγές Καβασίλων και δυτικά μέσα στο Αλβανικό έδαφος πάλι κατά μήκος της κοίτης του ποταμού Σαραντάπορου (500m περίπου) διαπιστώθηκαν μικρές εκροές θερμομεταλλικού νερού εντός του φλύσχη, πάλι σε διασταύρωση ρηγμάτων του ποταμού πιθανώς και ενός άλλου. Οι τρεις θέσεις που εξέρχονται τα θερμομεταλλικά νερά Καβασίλων – Πυξαρίας, Αλβανίας και Σμύξη Αγ. Βαρβάρας βρίσκονται σχεδόν σε ευθεία γραμμή και πιθανώς να είναι το ίδιο ρήγμα που ακολουθεί ο ποταμός Σαραντάπορος. Οι περιοχές αυτές συνδέονται με την ίδια τεκτονική δομή.

2.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ

Τα υπάρχοντα πηγαία γλυκά νερά της περιοχής είναι λιγιστά. Τα νερά αυτά προέρχονται κυρίως από το μικρό υδροφόρο ορίζοντα που σχηματίζεται στο εξωτερικό αποσαθρωμένο τμήμα του φλύσχη. Το τμήμα αυτό παρουσιάζει υδροπερατότητα.

Κοντά στην περιοχή των θερμομεταλλικών πηγών και σε απόσταση περίπου 1000 μέτρα προς το χωριό Καβάσιλα, υπάρχει μικρή πηγή με πόσιμο νερό μικρής παροχής. Επίσης αρκετό και καλής ποιότητας πόσιμο πηγαίο νερό έχει και το ίδιο το χωριό.

2.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΤΜΟΘΕΡΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ

Ο φλύσχος θεωρείται αδιαπέρατος σχηματισμός της περιοχής των πηγών, ενώ οι ασβεστόλιθοι είναι υδροπερατά στρώματα. Νότια της περιοχής των ατμόθερμων πηγών Αμάραντου εμφανίζονται θερμομεταλλικές πηγές που αναβλύζουν μεγάλες ποσότητες θερμομεταλλικού νερού. Οι πηγές αυτές βρίσκονται στην περιοχή Καβασίλων – Πυξαρίας. Επίσης νότια των ατμόθερμων πηγών και σε απόσταση περίπου 2 km στην περιοχή του χωριού Αγία Βαρβάρα διαπιστώθηκαν μικρές εκροές θερμομεταλλικού νερού.

Στην περιοχή αυτή και σε δύο θέσεις, που απέχουν μεταξύ τους περίπου 800 m, μέσα από τον φλύσχη αναβλύζει θερμομεταλλικό νερό. Ο φλύσχος (σύσταση κυρίως ψαμμιτική) στην περιοχή αυτή είναι πολύ καταπονημένος από τις τεκτονικές δυνάμεις (πιθανό ρήγμα).

Στις θέσεις αυτές παλαιότερα, κατά πληροφορίες των κατοίκων Αγίας Βαρβάρας, η ποσότητα του νερού που έβγαινε ήταν μεγαλύτερη από την σημερινή. Πολλοί από τους κατοίκους έκαναν τα λουτρά τους και είχαν ευεργετικά αποτελέσματα για πολλές παθήσεις. Οι θέσεις που εξέρχεται το λίγο θερμομεταλλικό νερό, την περιοχή Αγίας Βαρβάρας βρίσκονται στην προέκταση του ρήγματος που εξέρχονται οι θερμοί ατμοί της περιοχής Αμάραντου. Εξάλλου τα θερμομεταλλικά νερά στην περιοχή Καβασίλων – Πυξαρίας εξέρχονται δια μέσου ρηγμάτων.

Η περιοχή των ατμόθερμων πηγών βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο από τις περιοχές αναβλύσεως των θερμομεταλλικών νερών. Τα υποκείμενα στρώματα του φλύσχη είναι ασβεστόλιθοι. Από αυτά οδηγούμαστε στο συμπέρασμα, ότι σε μικρό βάθος και εντός των ρηγμάτων και των υποκειμένων ασβεστόλιθων κυκλοφορούν θερμομεταλλικά νερά.

Τα θερμομεταλλικά νερά εξέρχονται στις περιοχές Καβασίλων και Αγίας Βαρβάρας. Μέσω των καρστικών αγωγών των ασβεστόλιθων και του ρήγματος, ανέρχονται οι θερμοί ατμοί, που προέρχονται από τα θερμομεταλλικά νερά. Οι ατμοί εξέρχονται στην περιοχή Αμάραντου, όπου δημιουργούνται ατμόθερμες πηγές.

Για να δημιουργηθούν οι ατμόθερμες πηγές θα πρέπει να υπάρχουν κατάλληλοι καρστικοί αγωγοί (στους ασβεστόλιθους) οι οποίοι και μεταφέρουν τον θερμό αέρα από την υπόγεια θέση που ρέουν τα θερμομεταλλικά νερά στην περιοχή

Αμάραντου. Ασφαλώς για τη δημιουργία του φαινομένου αυτού θα υπάρχουν χαμηλότερα θέσεις με στόμια, εισόδου ατμοσφαιρικού αέρα. Κάπου πλησίον της περιοχής που βρίσκονται τα θερμομεταλλικά νερά, εισέρχεται ατμοσφαιρικός αέρας κι έτσι δημιουργείται συμφωνισμός, με αποτέλεσμα την έξοδο του θερμού αέρα στην ψηλότερη περιοχή Αμάραντου.

2.4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΤΜΟΘΕΡΜΩΝ ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ

Στην περιοχή των ατμόθερμων πηγών τα γλυκά νερά είναι λιγοστά. Υπάρχει μικρή πηγή σε απόσταση 750 m περίπου στη θέση Σαφάρι, εντός του φλύσχη.

Ο οικισμός των λουτρών υδροδοτείται μέσω πρόχειρου δικτύου ύδρευσης (με πρόχειρους πλαστικούς σωλήνες). Η θέση από την οποία λαμβάνεται το νερό απέχει από τα λουτρά περίπου 5 km βόρεια. Στη θέση αυτή υπάρχουν πηγές που αναβλύζουν σε μια έκταση δύο περίπου στρεμμάτων. Για την ύδρευση των λουτρών έχει γίνει μικρή υδρομάστευση και παίρνεται μέρος του νερού με υδρομαστευτικό τοίχο και φρεάτιο. Η συνολική παροχή των πηγών στη θέση αυτή υπολογίσθηκε σε 40 m³/h.

Οι πηγές εξέρχονται στην επαφή φλύσχη και ενός ασβεστολιθικού φακού με λεπτοπλακώδεις στρώσεις. Στην περιοχή αυτή ο φλύσχη συνίσταται κυρίως από ψαμμιτικές στρώσεις κατά πάγκους και σε πολλά σημεία συναντούμε εκρηξιγενή υλικά. Το νερό φτάνει στη θέση των λουτρών με φυσική ροή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

3.1 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ (1985)

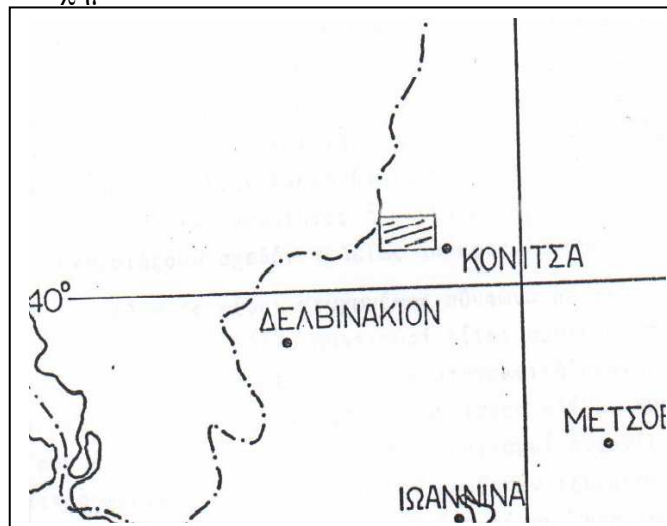
3.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ευρύτερη περιοχή της Κόνιτσας αλλά και στην Αλβανική πλευρά των συνόρων Ελλάδας- Αλβανίας, είναι γνωστή η ύπαρξη θερμών πηγών εδώ και πολλά έτη. Οι θερμές πηγές που είναι γνωστές μέχρι σήμερα και έχουν αξιοποιηθεί κατά κάποιο τρόπο στον πιο πάνω χώρο, είναι τα θερμά λουτρά των Καβασιλλων-Πυξαριάς με θερμοκρασία νερού $T=31^{\circ}\text{C}$, τα ατμόλουτρα του Αμαράντου με θερμοκρασία ατμού στις οπές εξόδου $T=32^{\circ}\text{C}$, ενώ από την Αλβανική πλευρά είναι γνωστή η ύπαρξη θερμών λουτρών στην περιοχή Ερ. Κούκιες, τα οποία τροφοδοτούνται από θερμές πηγές που βρίσκονται στη γέφυρα Σκορδίλι, καθώς και η ύπαρξη θερμών ατμών (όπως του Αμαράντου) στο Αλβανικό χωριό Ποστενάν.

Για τη μελέτη της σπουδαιότητας των αποθεμάτων θερμομεταλλικού νερού που υπάρχει στην περιοχή και μετά από σχετικό υπόμνημα του Δήμου Κόνιτσας και της Εταιρείας Αγροτικής Ανάπτυξης “ Ήπειρος ” Α.Ε. το Ι.Γ.Μ.Ε. ανέλαβε να εκτελέσει κατ’ αρχάς μια υδρογεωλογική αναγνώριση μέσα στα πλαίσια του προγράμματος Δημοσίων Επενδύσεων. Σαν συνέχεια της αναγνωριστικής αυτής υδρογεωλογικής μελέτης και σύμφωνα με τα στοιχεία τα οποία συγκεντρώθηκαν, αποφασίστηκε να μελετηθεί η περιοχή των θερμών πηγών των Καβασιλλων χρησιμοποιώντας γεωφυσικές μεθόδους (γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις βάθους, (VES) και μετρήσεις φυσικού δυναμικού (SP)).

Σκοπός της εφαρμογής των γεωφυσικών μεθόδων ήταν αφ’ ενός μεν να διερευνηθούν ορισμένα στρωματογραφικά /τεκτονικά προβλήματα της περιοχής, αφ’ ετέρου να προσδιοριστεί η ύπαρξη και κυκλοφορία του ζεστού νερού και να εντοπισθούν ζώνες ευνοϊκές που θα μπορούσαν να εκτελεσθούν αντίστοιχες ερευνητικές γεωτρήσεις.

Τα αποτελέσματα των γεωφυσικών αυτών εργασιών (Θανάσουλας, 1985, 1986) καθώς και τα αντίστοιχα συμπεράσματα και προτάσεις παρουσιάζονται παρακάτω. Η θέση της περιοχής που ερευνήθηκε μέσα στον ευρύτερο Ελληνικό χώρο παρουσιάζεται στο σχήμα 1 που ακολουθεί.



Σχήμα 1 Η θέση της περιοχής που ερευνήθηκε

3.1.2 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των εργασιών υπαίθρου έγιναν 60 γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις βάθους με τη μέθοδο Schlumberger. Το μέσο ανάπτυγμα της γραμμής ρεύματος ήταν 1600m ($AB/2=800m$) ενώ μικρός αριθμός διασκοπήσεων, κυρίως προς το κέντρο της λεκάνης της Κόνισας, έγινε με ανάπτυγμα γραμμής ρεύματος $AB=4000m$ ($AB/2=2000m$).

Οι γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις έγιναν κατά μήκος τομών (T_1 έως T_7) με μέση απόσταση μεταξύ των διασκοπήσεων περίπου 200m για τις τομές T_1 έως T_6 , 100m για την τομή T_8 και περίπου 1500m για την τομή T_7 .

Η γραμμή ρεύματος για τις τομές T_1 - T_6 και T_8 αναπτύσσονται κατά μήκος της κάθε τομής, ενώ για την τομή T_7 σχεδόν παράλληλα με τον άξονα της λεκάνης της Κόνισας.

Η θέση των γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων, η διεύθυνση των γραμμών ρεύματος AB , καθώς και η θέση των γεωηλεκτρικών τομών T_1 - T_8 παρουσιάζονται στο σχήμα 3.1.

Οι μετρήσεις υπαίθρου παρουσιάζονται κατ' αρχάς υπό την μορφή χαρτών $\rho_a=f(x,\psi)_{AB/2}$. Αφού έχει υπολογιστεί το ρ_a χαρτογραφείται για διάφορες τιμές του $AB/2$, σαν συνάρτηση του χώρου ($\rho_a=f(x,\psi)$), με σκοπό να παρουσιαστεί η κατανομή της ρ_a στο χώρο αλλά και σε διάφορα βάθη από την επιφάνεια το εδάφους.

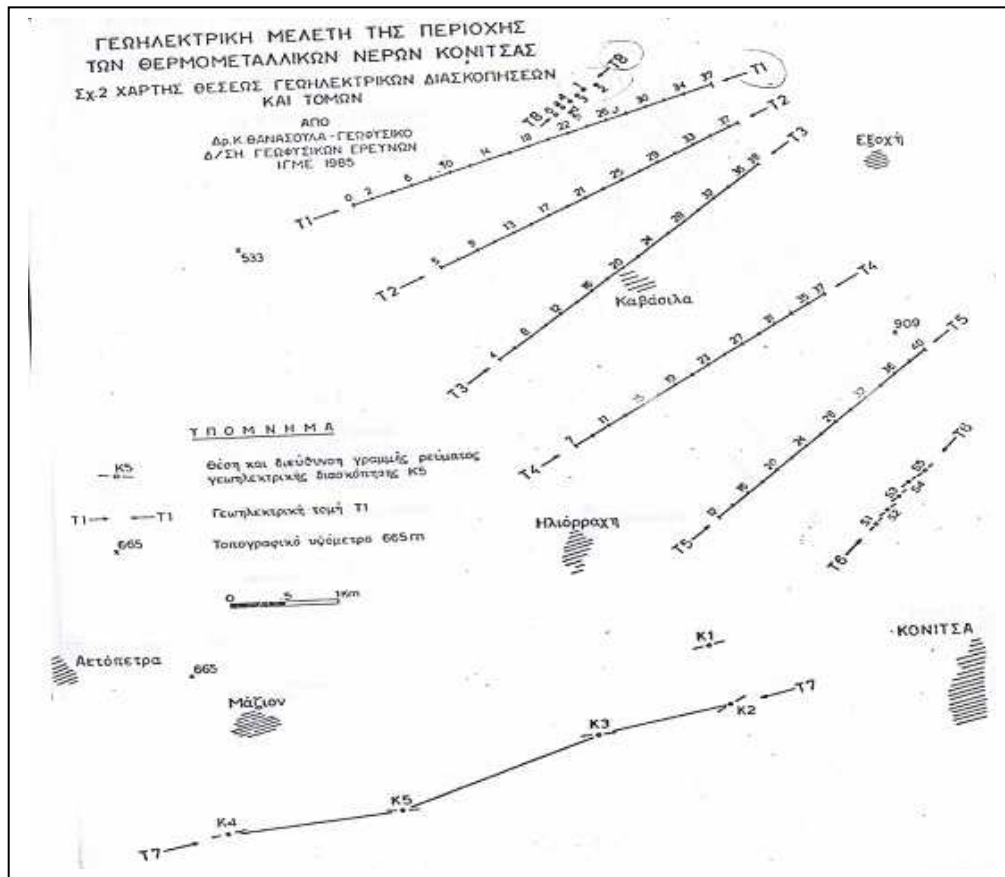
Οι χάρτες αυτοί μας δίνουν τις πρώτες πληροφορίες για την έκταση και την τεκτονική των διαφόρων γεωηλεκτρικών σχηματισμών που απαντώνται στην περιοχή και κατ' επέκταση των αντιστοιχών γεωλογικών σχηματισμών. Προϋπόθεση βέβαια γι' αυτό είναι να υπάρχει στενή συσχέτιση γεωηλεκτρικού και αντίστοιχου γεωλογικού σχηματισμού.

Για το λόγο αυτό κατασκευάστηκαν χάρτες κατανομής ρ_a με τιμές $AB/2=100, 250$ και $500m$ σε κλίμακα 1:20.000 οι οποίοι παρουσιάζονται σε σμίκρυνση στα σχήματα 3.2, 3.3, 3.4. Για την κατασκευή των χαρτών αυτών σαν επίπεδο αναφοράς ελήφθη το υψόμετρο της τομής T_1 (το οριζόντιο τμήμα της μέσα στον ποταμό Σαραντάπορο). Για την δειγματοληψία των τιμών ρ_a για κάθε τιμή ($AB/2=100, 250, 500m$) στις γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις (ΔH) από το θεωρούμενο επίπεδο αναφοράς έγινε διόρθωση ύψους ως εξής:

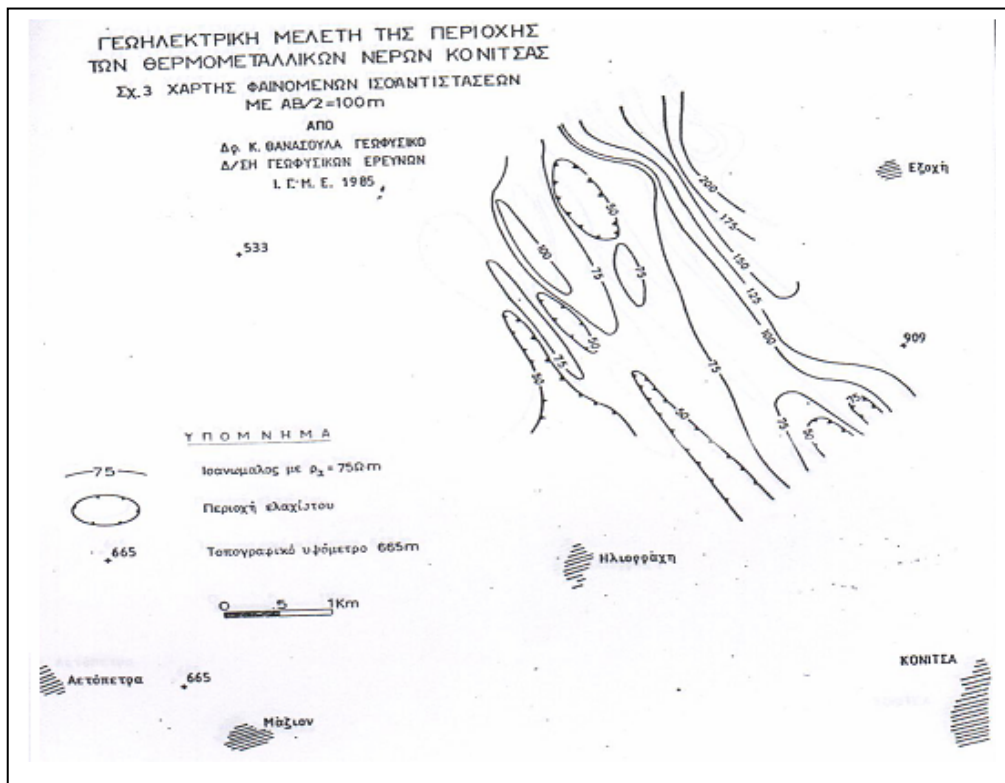
Για κάθε $AB/2$ κατασκευής χαρτών ρ_a χρησιμοποιήθηκε η σχέση (1)

$$AB/2_{\text{δείγματος}}=AB/2_{100,250,500}+\Delta H \quad (1)$$

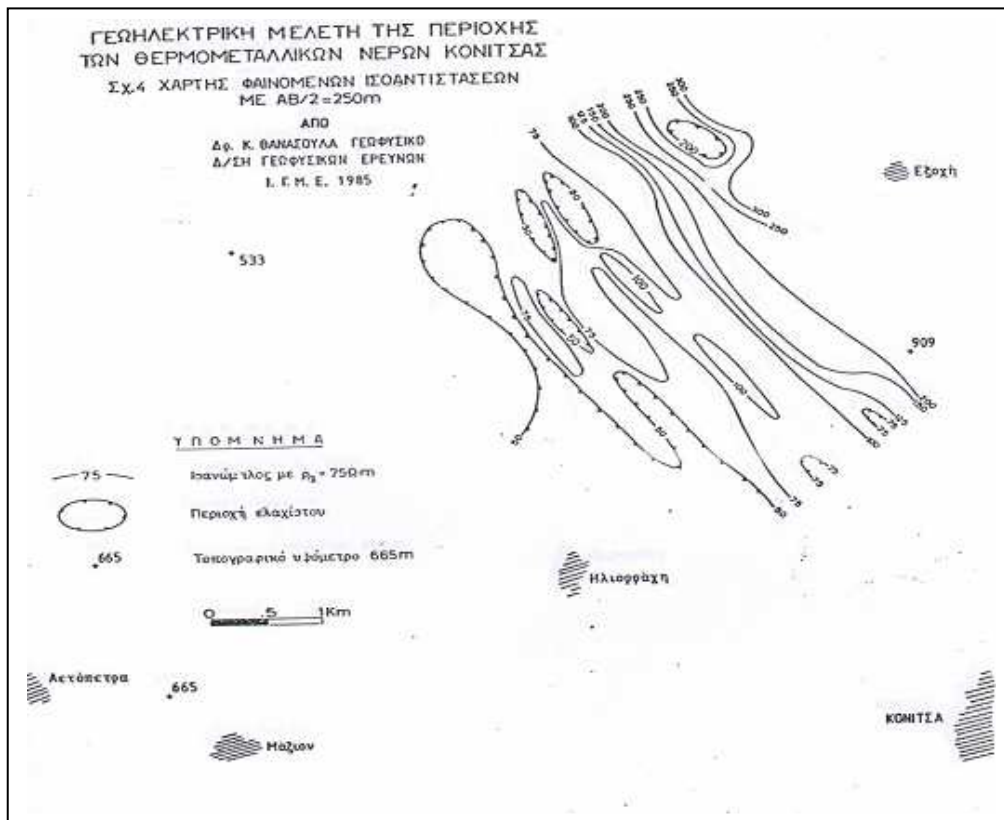
Δηλαδή η δειγματοληψία της τιμής ρ_a σε κάθε καμπύλη υπαίθρου για κάθε χάρτη έγινε για το $AB/2$ που υπολογίζεται από την σχέση (1) γνωρίζοντας κάθε φορά το ΔH και το $AB/2$. Με τον τρόπο αυτό οι διάφοροι χάρτες $\rho_a=f(x,\psi)_{AB/2}$ αναφέρονται στο ίδιο υψομετρικό επίπεδο σε όλη την έκταση της περιοχής που καλύπτεται από τις τομές T_1 - T_5 .



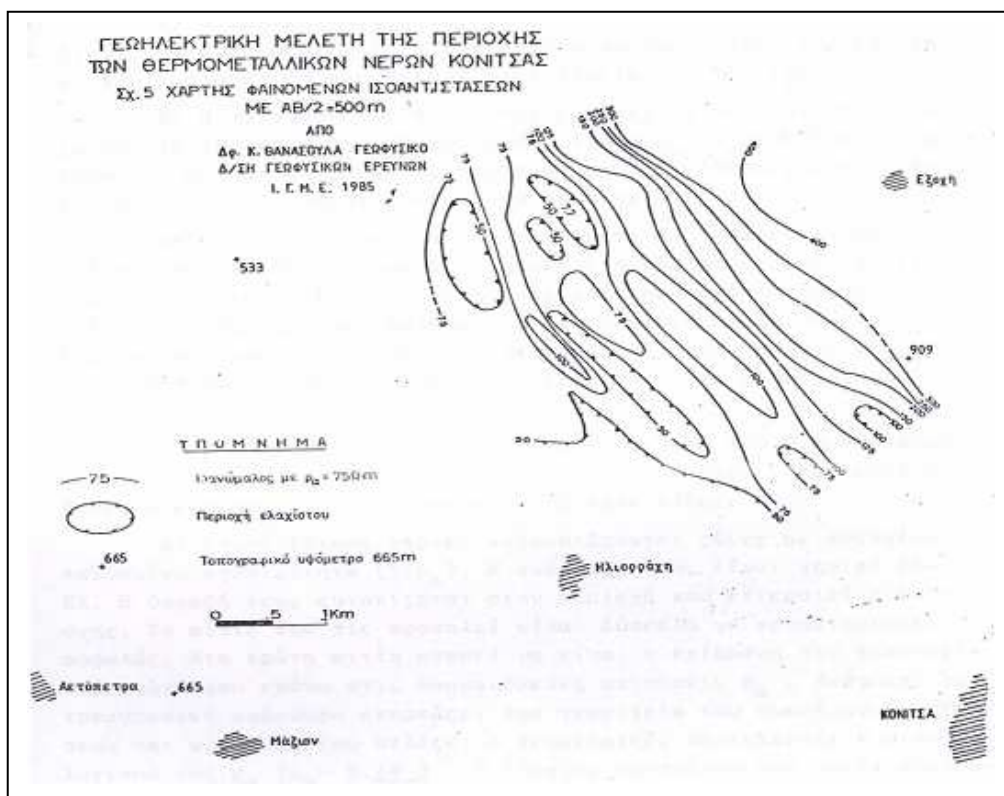
Σχήμα 3.1: Γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις και τομές



Σχήμα 3.2: Χάρτης κατανομής ρ_a με τιμές $AB/2=100m$



Σχήμα 3.3: Χάρτης κατανομής ρ_a με τιμές $AB/2=250m$



Σχήμα 3.4: Χάρτης κατανομής ρ_a με τιμές $AB/2=500m$

Η μελέτη των χαρτών αυτών δείχνει τα εξής:

i. Η γενική διεύθυνση των ισανωμάτων ρ_a είναι ΒΔ-ΝΑ. Η διεύθυνση αυτή συμφωνεί με τη διεύθυνση της επαφής του φλύσχη με το ασβεστόλιθο που εμφανίζεται βόρεια της Κόνιτσας.

ii. Η κατανομή των τιμών της ρ_a δείχνει ότι και στους τρεις χάρτες για $AB/2=100,250,500m$, υψηλές τιμές ρ_a ($\rho_a > 100 \Omega.m$) επικρατούν στο ΒΑ και Α τμήμα της περιοχής που ερευνήθηκε, εκεί δηλαδή που αναδύεται ο ασβεστόλιθος στην επιφάνεια. Δεδομένου ότι από τα δύο πετρώματα που υπάρχουν στην περιοχή ο ασβεστόλιθος παρουσιάζει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά μερικές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες από αυτήν που παρουσιάζει ο φλύσχος, συμπεραίνεται ότι η περιοχή υψηλών τιμών ρ_a , όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αντιπροσωπεύει την περιοχή όπου υπάρχει ασβεστόλιθος είτε επιφανειακά είτε κάτω από μικρό σχετικά κάλυμμα του φλύσχη.

iii. Η περιοχή με τιμές ρ_a μικρότερες από $100 \Omega.m$ αντιπροσωπεύει τον χώρο όπου ο φλύσχος έχει σημαντικό πάχος και κατά συνέπεια ο ασβεστόλιθος βρίσκεται σε μεγάλο βάθος.

iv. Στους ίδιους χάρτες παρουσιάζονται ζώνες με αυξημένη φαινόμενη αγωγιμότητα ($1/\rho_a$). Η ανάπτυξή τους είναι γενικά ΒΔ-ΝΑ. Το αίτιο που τις προκαλεί είναι δύσκολο να προσδιοριστεί ασφαλώς. Μια πρώτη αιτία μπορεί να είναι η επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου επάνω στις λαμβανόμενες μετρήσεις ρ_a . Πράγματι το τοπογραφικό ανάγλυφο επηρεάζει τη γεωμετρία του συστήματος μετρήσεων και ως εκ τούτου αλλάζει ο γεωμετρικός συντελεστής K στον υπολογισμό της ρ_a ($\rho_a = K \cdot \Delta V/I$). Ο έλεγχος ορισμένων από αυτές έδειξε ότι οφείλονται στο τοπογραφικό ανάγλυφο (σύγκριση τοπογραφικού χάρτου και χάρτου ρ_a). Μια δεύτερη αιτία μπορεί να είναι ο τοπικός διαφορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του φλύσχη για λόγους κυρίως τεκτονικούς (ρήγματα κλπ.). Και τέλος μια τρίτη αιτία που μπορεί να προκαλέσει ελάττωση της ρ_a και συνεπώς αύξηση της φαινόμενης αγωγιμότητας ($1/\rho_a$) είναι η κυκλοφορία νερού (ζεστού ή κρύου).

v. Από τεκτονικής πλευράς, οι κύριες διαρρήξεις που επικρατούν στο χώρο αυτό έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, ενώ μια κύρια διάρρηξη τέτοιας διεύθυνσης εντοπίζεται στον χώρο όπου επικρατεί ο ασβεστόλιθος. Αυτό γίνεται εμφανές στον χάρτη $\rho_a = f(x, \psi)_{AB/2=250m}$ όπου οι ισανώμαλες ρ_a πυκνώνουν έντονα. Δευτερεύουσες διαρρήξεις με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ εντοπίζονται εκεί όπου υπάρχουν σημεία καμπής ή και διακοπή της συνέχειας στις ισανώμαλες ρ_a .

Η γενική θέση των ρηγμάτων αυτών θα παρουσιαστεί σε αντίστοιχους χάρτες στο τέλος αυτής της εργασίας.

Όσον αφορά την ύπαρξη και κυκλοφορία ζεστού νερού ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ρήγματα που εντοπίζονται μέσα στον ασβεστόλιθο, ενώ εμμέσως ευνοϊκές θέσεις (μέσα στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο) υποδηλώνονται από τις ζώνες αυξημένης αγωγιμότητας μέσα στο φλύσχη. Οι ζώνες αυτές προφανώς δημιουργούνται από μια υποτυπώδη διείσδυση νερού (πιθανώς ζεστού) μέσα στο φλύσχη, εξαιτίας κάποιας μικρής υδροπεράτωσης που παρουσιάζει για διάφορους τεκτονικούς λόγους.

3.1.3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ρ_a ΥΠΑΙΘΡΟΥ

Η ερμηνεία των γεωηλεκτρικών καμπύλων υπαίθρου έγινε σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση με την βοήθεια των προτύπων γεωηλεκτρικών καμπύλων δύο και τριών στρωμάτων και με την μέθοδο του βοηθητικού σημείου υπολογίστηκε ένα πρώτο προσεγγιστικό μοντέλο για κάθε γεωηλεκτρική καμπύλη ρ_a υπαίθρου. Στη δεύτερη φάση το μοντέλο αυτό βελτιώθηκε με την βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή έτσι ώστε η θεωρητική καμπύλη ρ_a του κάθε γεωηλεκτρικού μοντέλου να έχει πολύ

μικρή απόκλιση ($RMS\ ERROR \leq 3\%$) από την αντίστοιχη καμπύλη ρ_a υπαίθρου. Τότε δεχόμαστε ότι το θεωρητικό αυτό γεωηλεκτρικό μοντέλο μπορεί να είναι μια αντιπροσωπευτική γεωηλεκτρική δομή του χώρου που έδωσε την αντίστοιχη καμπύλη ρ_a υπαίθρου.

3.1.4 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ T_i

Τα αποτελέσματα της ερμηνείας των γεωηλεκτρικών καμπύλων ρ_a υπαίθρου παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στις τομές T_1 - T_8 (σχήματα 3.5-3.13). Η σύνθεση της γεωηλεκτρικής στρωματογραφίας κάθε διασκόπησης κατά μήκος μιας τομής μας δίνει μια συνολική εικόνα της τεκτονικής και της ανάπτυξης των γεωηλεκτρικών σχηματισμών από τους οποίους αυτή αποτελείται.

Η ανάλυση της κάθε γεωηλεκτρικής καμπύλης υπαίθρου έγινε με την παραδοχή ότι στον “στενό” χώρο της διασκόπησης η γεωηλεκτρική στρωματογραφία μπορεί να εξομοιωθεί προσεγγιστικά με οριζόντια στρώματα. Η σύνθεση όμως των στρωμάτων αυτών μας δίνει τα ευρύτερα τεκτονικά /στρωματογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής τα οποία κάθε άλλο παρά οριζόντια μπορούν να θεωρηθούν όπως φαίνεται και από τις τομές T_1 - T_8 .

Οι πλευρικές ασυνέχειες βάθους στους διάφορους γεωηλεκτρικούς σχηματισμούς και κυρίως στο γεωηλεκτρικό υπόβαθρο αποδίδονται την ύπαρξη ρηγμάτων των οποίων η θέση ενδεικτικά σημειώνεται με ένα διπλό βέλος που δείχνει την σχετική φορά κινήσεως των δύο τεμαχών.

Όλες οι τομές παρουσιάζονται με δύο μορφές. Η πρώτη δείχνει την κατανομή της ρ_a ως προς το βάθος (κατά μήκος κάθε τομής – Apparent Resistivity Space) που είναι πάντα το άνω διάγραμμα σε κάθε τομή. Η δεύτερη μορφή είναι το γεωηλεκτρικό μοντέλο που προκύπτει από την ανάλυση των γεωηλεκτρικών καμπύλων υπαίθρου.

Για την γεωλογική αξιολόγηση των γεωηλεκτρικών μοντέλων της κάθε τομής θα πρέπει να ληφθεί υπ’ όψιν ότι στην περιοχή που ερευνάται υπάρχουν δύο μόνο γεωλογικοί σχηματισμοί. Ο πρώτος που αποτελεί και τον επιφανειακό σχηματισμό είναι ο φλύσσης, ενώ ο δεύτερος που αποτελεί το υπόβαθρο, είναι ασβεστόλιθος. Αν εξαιρεθούν οι ποτάμιες αποθέσεις του Σαρανταπόρου (μικρού πάχους και εκτάσεως) τότε δεν υπάρχει άλλος γεωλογικός σχηματισμός που να συμβάλει στην γεωηλεκτρική δομή της κάθε τομής.

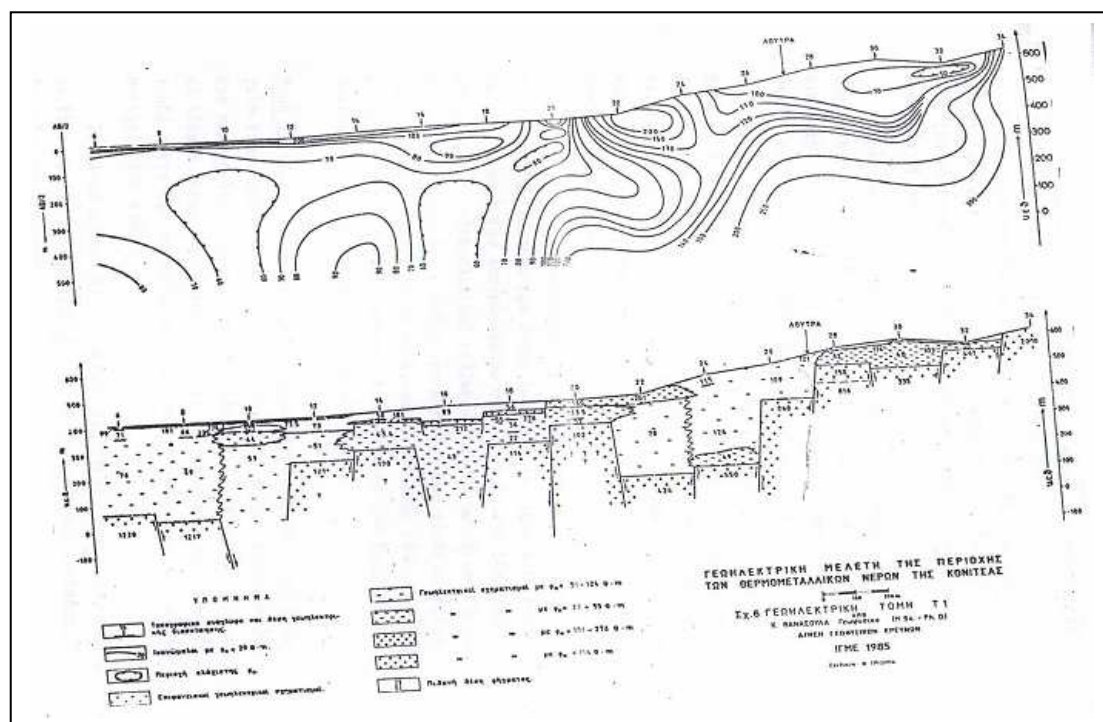
Η μελέτη των γεωηλεκτρικών τομών T_1 - T_8 δείχνει ότι υπάρχουν δύο κύριοι γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί. Ο πρώτος, αρχίζοντας από τον βαθύτερο γεωηλεκτρικό σχηματισμό παρουσιάζει τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μεγαλύτερες από 100-120 Ω .m έως και 2000 Ω .m που αντιστοιχούν σε επιφανειακή εμφάνιση ασβεστόλιθου (T_{1-34}) και συνεπώς ο σχηματισμός αυτός δείχνει την παρουσία και έκταση του ασβεστολιθικού πετρώματος. Ο δεύτερος, που υπέρκειται του πρώτου παρουσιάζει τιμές που κυμαίνονται από πολύ χαμηλές κατά τόπους (έως και 3 Ω .m, T_{2-19}) μέχρι και 120 Ω .m. Ο σχηματισμός αυτός αντιστοιχεί στο υπερκείμενο του ασβεστόλιθου στρώμα του φλύσση. Επίσης μέσα στο Σαραντάπορο (Τομή T_1) εμφανίζεται ένας εντελώς επιφανειακός μικρού μήκους πάχους γεωηλεκτρικός σχηματισμός που αντιστοιχεί σε άμμους κροκάλες κλπ. Ο γεωηλεκτρικός αυτός σχηματισμός παρουσιάζει υψηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (μεγαλύτερες από 100 Ω .m).

Ειδικότερα σε κάθε τομή παρατηρούμε τα εξής:

Τομή T_1 (σχήμα 3.5): Η μελέτη του διαγράμματος κατανομής ρ_a κατά μήκος και σε βάθος δείχνει ότι από την θέση 19 και προς τη 34 επικρατούν υψηλές τιμές ρ_a (>100 Ω .m). Η μορφή των ισανώμαλων ρ_a δείχνει την ύπαρξη ρηγμάτων. Από την θέση 19 και προς την θέση 6, η ρ_a παρουσιάζει ελάχιστα ($\rho_a < 60 \Omega$.m) στις θέσεις 10, 17 καθώς και μέγιστα ($\rho_a > 90 \Omega$.m) όπως στην θέση 14.

Η αντίστοιχη γεωηλεκτρική στρωματογραφία και τεκτονική της τομής T_1 παρουσιάζεται στο σχήμα 3.5. Το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο (ασβεστολιθικό) παρουσιάζεται έντονα διαρρηγμένο, με ρήγματα που το κάνουν να βυθίζεται κλιμακωτά από τα δεξιά προς τα αριστερά του διαγράμματος, ενώ στις θέσεις 12-14 καθώς και 18-20 φαίνεται να αναθωλούται δημιουργώντας μικρά τεκτονικά κέρατα (Horst).

Ο γεωηλεκτρικός σχηματισμός που αντιστοιχεί στο κάλυμμα του φλύσχη του ασβεστολιθικού υποβάθρου παρουσιάζει ποικίλες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Παρατηρούμε ότι η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ρ) αυξάνει από τα αριστερά προς τα δεξιά. Αρχίζοντας από τιμές ρ της τάξης των 60-70 $\Omega \cdot m$ που απαντώνται στις γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις 6,7, και 8, φθάνει μέχρι και $\rho=124 \Omega \cdot m$ στην θέση της γεωηλεκτρικής διασκόπησης 24. Ειδικότερα χαμηλές τιμές ρ παρουσιάζονται συγκεντρωμένες επάνω και πλευρικά κυρίως από την θέση των δύο τεκτονικών κεράτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Μπορούμε λοιπόν να δεχτούμε ότι η μεταβολή της ρ του φλύσχη στην περιοχή των θέσεων από 14 έως 20 (θέση τεκτονικών κεράτων) πρέπει να οφείλεται σε κάποια ιδιαίτερη μεταβολή της αγωγιμότητάς του που πιθανόν να έχει σαν αίτιο την αυξημένη θερμοκρασία λόγω κυκλοφορίας ζεστού νερού στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο ή και μόνο κυκλοφορία νερού.



Σχήμα 3.5: Γεωηλεκτρική τομή T_1

Χαρακτηριστικό της τεκτονικής στον ίδιο χώρο είναι η στρωματογραφία μεταξύ των διασκοπήσεων 14 έως και 20. Στις διασκοπήσεις 14-16-18 και 20 (πιθανώς και 22) παρατηρείται η ύπαρξη γεωηλεκτρικού στρώματος με $\rho=160-281 \Omega \cdot m$

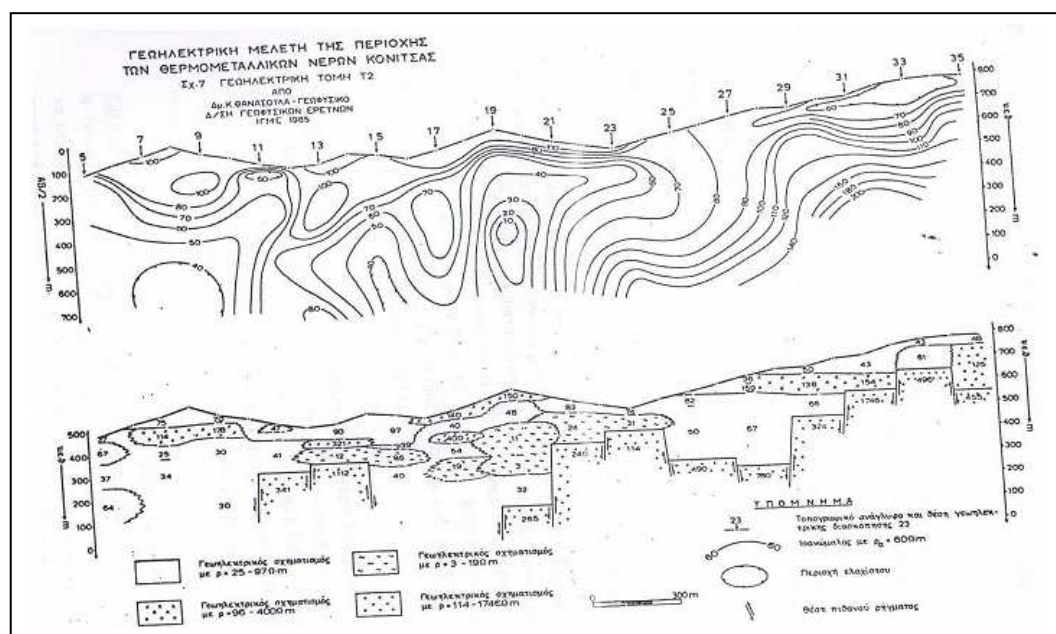
Στις διασκοπήσεις 14 και 18 βρίσκεται περίπου στο ίδιο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους ενώ στην διασκόπηση 16 έχει βυθιστεί πιο πολύ. Η ίδια ακριβώς εικόνα παρουσιάζεται και στο γεωηλεκτρικό υπόβαθρο. Τα διάφορα ρήγματα του υποβάθρου εμφανίζονται και στους σχεδόν οριζόντιους ρηχούς γεωηλεκτρικούς σχηματισμούς.

Στην ίδια τομή παρουσιάζεται σε προβολή επί της τομής T_1 η θέση των λουτρών Καβασιλών. Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι η πηγή των λουτρών αυτών

συμπίπτει με τη θέση του ρήγματος του ασβεστολιθικού υπόβαθρου μεταξύ των διασκοπήσεων 26-28. Δεδομένου ότι η κοίτη του Σαρανταπόρου είναι σε υψόμετρο περίπου 410m, τα θερμά νερά που κυκλοφορούν μέσα στον ασβεστόλιθο και στο ρήγμα, βρίσκουν διέξοδο προς τον Σαραντάπορο δημιουργώντας τις αντίστοιχες θερμές πηγές.

Τομή T₂ (σχήμα 3.6): Τα ίδια γεωηλεκτρικά στρωματογραφικά /τεκτονικά στοιχεία παρατηρούνται και σ' αυτή την τομή. Το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο παρουσιάζεται έντονα τεκτονισμένο, ενώ συγχρόνως τεκτονικά κέρατα (θέση 11-13) εντοπίζονται με χαρακτηριστικά χαμηλές τιμές ρ για τον υπερκείμενο γεωηλεκτρικό σχηματισμό που αντιστοιχεί στον φλύσχη.

Η τομή T₂ βρίσκεται ψηλότερα από την T₁, ενώ το ίδιο ψηλότερα εμφανίζεται και το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο. Συγκρίνοντας τα αντίστοιχα βάθη του υπόβαθρου θα πρέπει να δεχθούμε ότι αυτό βυθίζεται προς την πλευρά του Σαρανταπόρου ποταμού, πιθανώς λόγω της ύπαρξης κάποιου ρήγματος παράλληλου προς αυτόν. Ήδη στους χάρτες $\rho_{\alpha}=f(x,\psi)_{AB/2}=c$ μεταξύ των δύο τομών εντοπίζεται ένδειξη για την ύπαρξη ενός τέτοιου ρήγματος.



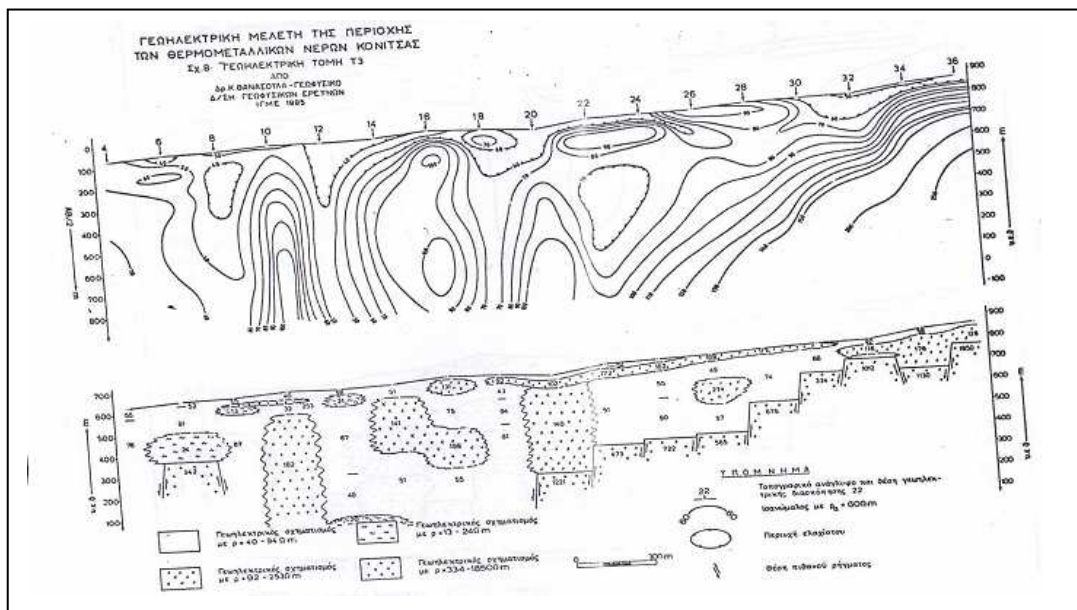
Σχήμα 3.6: Γεωηλεκτρική τομή T₂

Τομή T₃ (σχήμα 3.7): Στην τομή αυτή το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο εντοπίζεται μέχρι και την θέση 20, ενώ ένα πιθανό τεκτονικό κέρατο εμφανίζεται στη θέση 6 και πιθανώς στη θέση 10. Δεδομένου ότι η τομή αυτή βρίσκεται στο ψηλότερο τμήμα των υψωμάτων που παρεμβάλλονται μεταξύ Σαρανταπόρου και του κάμπου της Κόνιτσας (μέσο υψόμετρο περίπου 700m) είναι δύσκολο να εντοπισθούν λεπτομέρειες του υπόβαθρου κυρίως στο αριστερό τμήμα της γεωηλεκτρικής τομής, όπου αυτό βρίσκεται πιο βαθιά. Σε γενικές γραμμές ο φλύσχη παρουσιάζει κάποια ομοιογένεια τις τιμές ρ κατά μήκος της τομής.

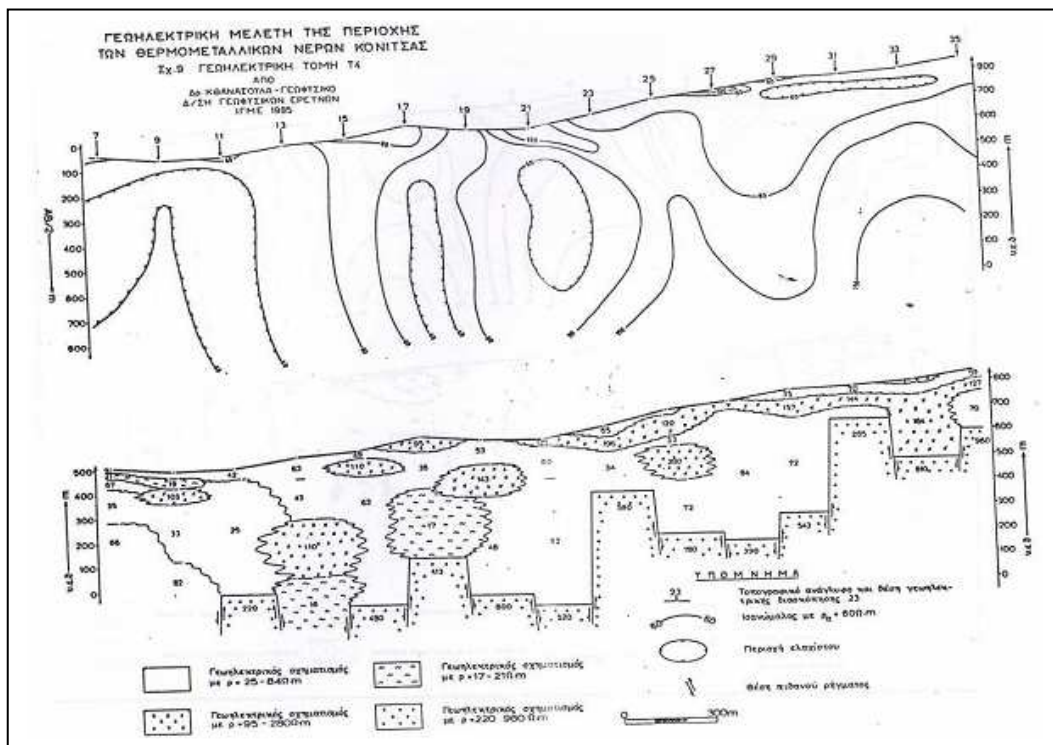
Τομή T₄ (σχήμα 3.8): Οι ίδιες γενικές παρατηρήσεις ισχύουν και για αυτή την γεωηλεκτρική τομή. Το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο εμφανίζεται εντονότερα τεκτονισμένο ενώ εξαφανίζεται τελείως μετά τη θέση 11. Χαμηλές τιμές ρ παρατηρούνται (για τον υπερκείμενο σχηματισμό του φλύσχη) επάνω από το τεκτονικό κέρατο στη θέση 23 ($\rho=34 \Omega.m$), καθώς και στη θέση 17 ($\rho=17 \Omega.m$). Επίσης μια ευρύτερη ζώνη με χαμηλές τιμές ρ αναπτύσσεται επάνω από τη θέση 11 του αντίστοιχου τεκτονικού κέρατος.

Τομή T₅ (σχήμα 3.9): Στην τομή αυτή το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο βυθίζεται μάλλον απότομα με διαδοχικά ρήγματα προς τα αριστερά του διαγράμματος και εμφανίζεται μετά στη θέση 28. Μια ένδειξη για την ύπαρξη κάποιου τεκτονικού κέρατος εμφανίζεται στις θέσεις 20-22. Το υπερκείμενο του υπόβαθρου γεωηλεκτρικό στρώμα δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλές τιμές ρ .

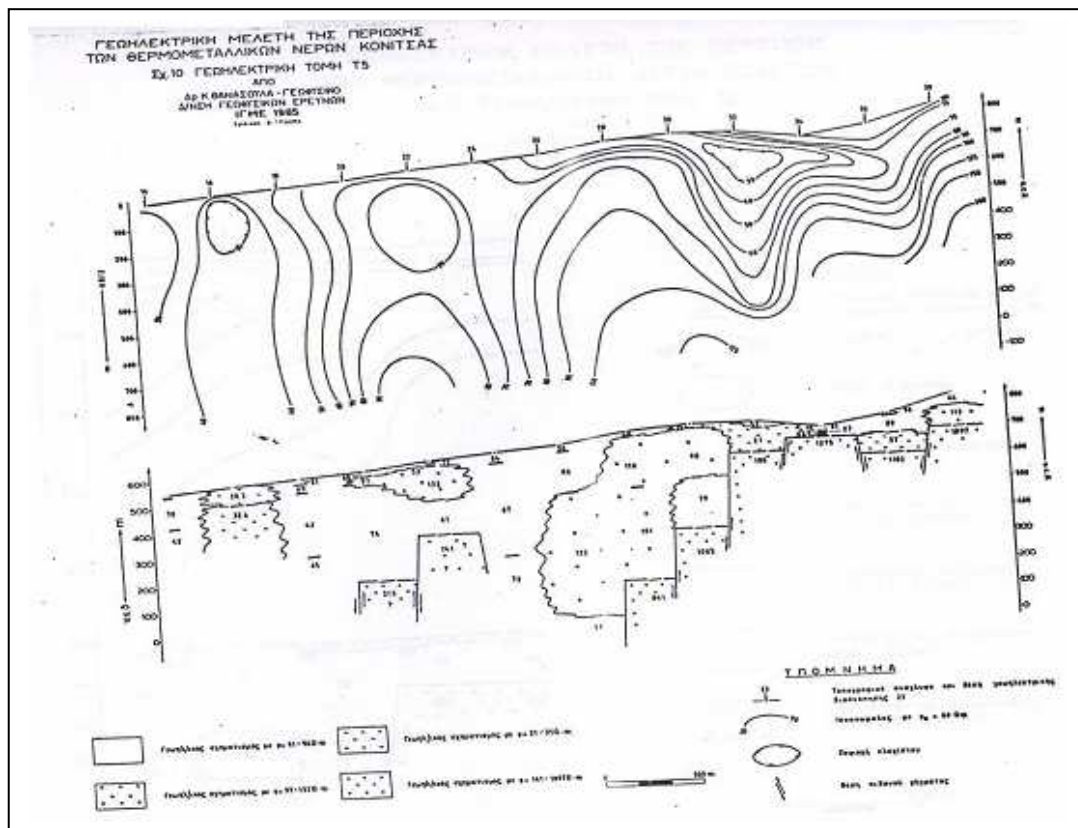
Τομή T₆ (σχήμα 3.10): Η τομή T₆ έγινε στην αντίστοιχη θέση για να μελετηθεί η τοπική στρωματογραφία και τεκτονική της περιοχής όπου σύμφωνα με γεωλογικές πληροφορίες και στοιχεία παρουσιάζεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Από τεκτονικής πλευράς το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο παρουσιάζει ένα έντονο ρήγμα μεταξύ των θέσεων 3 και 4, ενώ ο υπερκείμενος γεωηλεκτρικός σχηματισμός εμφανίζεται ομοιογενής κατά μήκος της τομής.



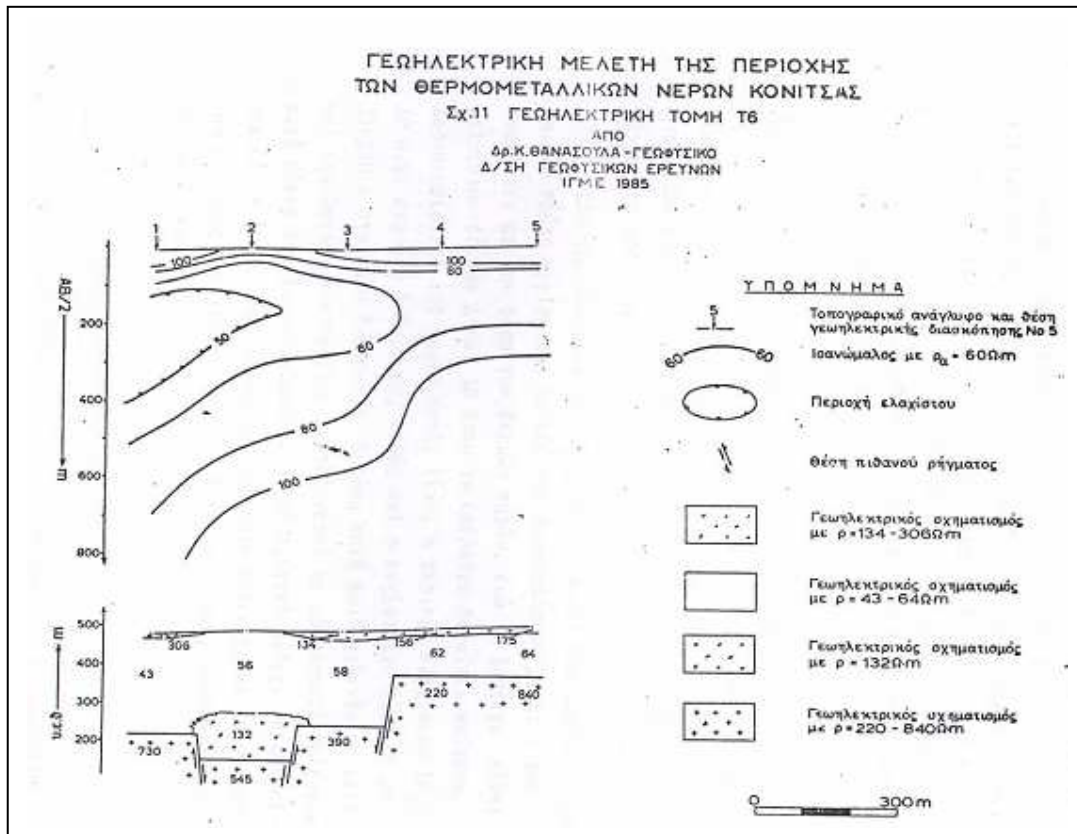
Σχήμα 3.7: Γεωηλεκτρική τομή T₃



Σχήμα 3.8: Γεωηλεκτρική τομή Τ4



Σχήμα 3.9: Γεωηλεκτρική τομή Τ5

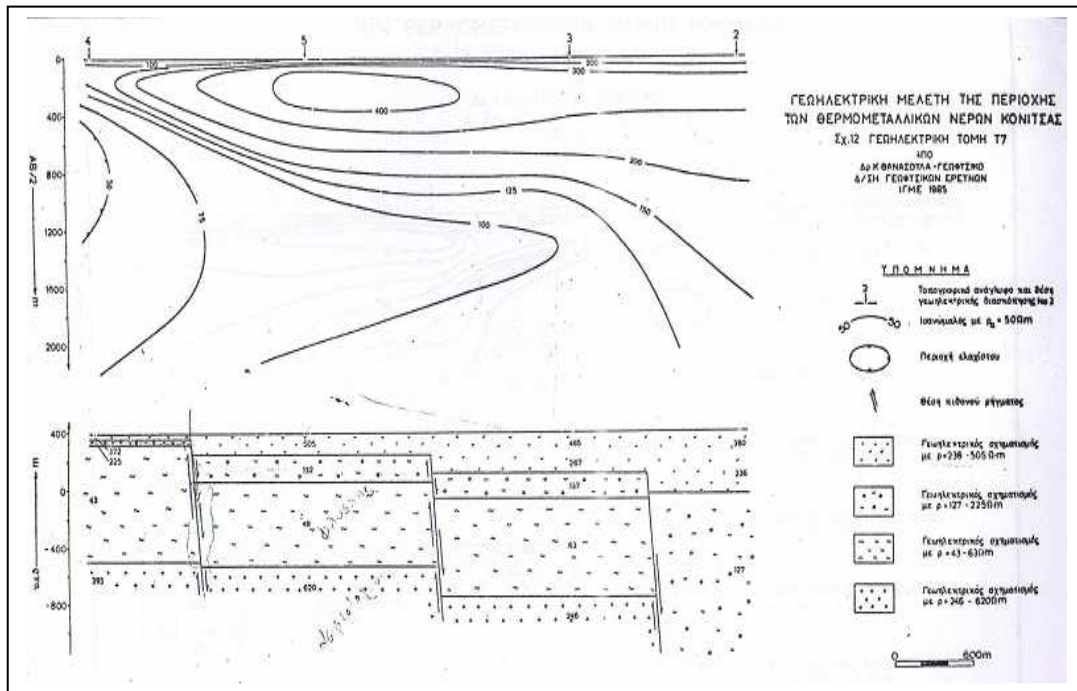


Σχήμα 3.10: Γεωηλεκτρική τομή Τ₆

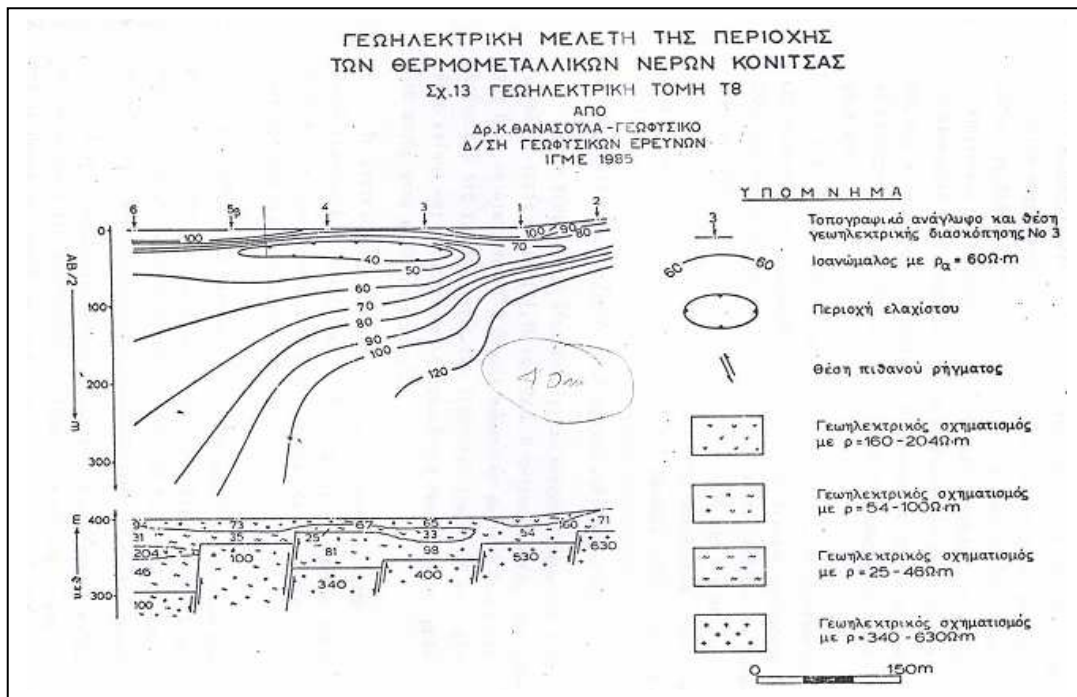
Τομή Τ₇ (σχήμα 3.11): Η τομή Τ₇ έγινε μέσα στον κάμπο της Κόνιτσας για εντελώς αναγνωριστικούς σκοπούς. Το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο εμφανίζεται να βυθίζεται κλιμακωτά από τα αριστερά προς τα δεξιά ενώ μετά την γεωηλεκτρική διακόπηση Νο 3 εξαφανίζεται τελείως (βάθος μεγαλύτερο των 2000m). Ο αμέσως υπερκείμενος σχηματισμός με τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης $\rho=43-63\Omega \cdot m$ πιθανώς αντιστοιχεί σε φλύσχη ενώ οι αμέσως ανώτεροι σχηματισμοί μάλλον αποτελούν αποθέσεις του ποταμού Αώου που έχουν γεμίσει την λεκάνη της Κόνιτσας.

Τομή Τ₈ (σχήμα 3.12): Μια ακόμη τομή, η Τ₈ έγινε με σκοπό την λεπτομερή μελέτη της τεκτονικής και στρωματογραφίας του χώρου των θερμών πηγών των Καβασιλών. Η μεταξύ των διασκοπήσεων απόσταση ήταν 100m έτσι ώστε να εντοπιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια το ρήγμα στο οποίο οι θερμές πηγές οφείλουν την ύπαρξή τους.

Στο γεωηλεκτρικό υπόβαθρο εντοπίζονται δύο κυρίως ρήγματα. Το πρώτο βρίσκεται μεταξύ των διασκοπήσεων 3 και 1 που συμπίπτει με την θέση των θερμών πηγών, ενώ το δεύτερο είναι μεταξύ των θέσεων 4 και 5β όπου το υπόβαθρο βαθαίνει απότομα. Χαρακτηριστικό της τομής αυτής είναι η περιοχή ελαχίστου ($\rho_a < 40 \Omega \cdot m$) στο άνω διάγραμμα, καθώς και η αντίστοιχη ζώνη με $\rho=31-35\Omega \cdot m$ στο κάτω διάγραμμα. Η ζώνη αυτή πολύ πιθανόν να δείχνει την ύπαρξη κυκλοφορίας ζεστού νερού σε υδροπερατό οριζοντα κατά μήκος του Σαρανταπόρου σε μικρό σχετικά βάθος. Αξιοσημείωτο είναι ότι η αρχή αυτού του οριζοντα εντοπίζεται στην θέση του ρήγματος των πηγών, ενώ δεξιά από το ρήγμα, αποσφηνώνονται σε μικρή απόσταση.



Σχήμα 3.11: Γεωηλεκτρική τομή T₇



Σχήμα 3.12: Γεωηλεκτρική τομή T₈

3.1.5 ΤΟΜΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ T_{1,6,8}:

Ο μηχανισμός με τον οποίο δημιουργούνται οι ανωμαλίες φυσικού δυναμικού μέχρι τώρα δεν είναι γνωστός απόλυτα. Υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι οι υψηλές θερμοκρασίες καθώς και η κυκλοφορία ζεστού νερού στο υπέδαφος είναι ικανές να δημιουργήσουν ανωμαλίες φυσικού δυναμικού μετρήσιμες, που είναι χαρακτηριστικές στις περιοχές των γεωθερμικών πεδίων.

Πιθανοί μηχανισμοί δημιουργίας των ανωμαλιών αυτών είναι η θερμοηλεκτρική σύζευξη, η ηλεκτροκινητική σύζευξη, η ροή υπογείων ψυχρών

υδάτων, η ύπαρξη αγωγίμων κοιτασμάτων μεταλλευμάτων, οι διαρροές ρευμάτων από τεχνικές δραστηριότητες και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι πλευρικές μεταβολές στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών καθώς και η ανώμαλη τοπογραφία σε συνδυασμό με την θερμοηλεκτρική / ηλεκτροκινητική σύζευξη, τα διάφορα ηλεκτροχημικά φαινόμενα κλπ.

Στην περιοχή της Κόνιτσας έγιναν μετρήσεις φυσικού δυναμικού σε τρεις τομές (T_1 , T_6 και T_8). Ο αντικειμενικός τους σκοπός ήταν να διαπιστωθεί η ύπαρξη ανωμαλιών φυσικού δυναμικού επάνω από τις γνωστές πηγές των Καβασίλων (τομές T_1 και T_8) όπως επίσης και να μελετηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της μεθόδου αυτής στην ευρύτερη περιοχή.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών παρουσιάζονται υπό μορφή διαγραμμάτων $SP=f(x)$ κατά μήκος των γεωηλεκτρικών τομών T_1 , T_6 , T_8 . Στα ίδια διαγράμματα παρουσιάζεται και το αντίστοιχο ανάγλυφο του γεωηλεκτρικού υπόβαθρου.

Στο σχήμα 3.13 παρουσιάζεται η μεταβολή του φυσικού δυναμικού κατά μήκος της τομής T_8 . Η τομή αυτή έγινε με σκοπό να συσχετισθούν οι τυχούσες ανωμαλίες φυσικού δυναμικού με την ύπαρξη των θερμών πηγών αλλά και την τεκτονική του ίδιου χώρου.

Έντονες ανωμαλίες φυσικού δυναμικού εντοπίζονται επάνω από τα ρήγματα του γεωηλεκτρικού υπόβαθρου καθώς και επάνω από το ρήγμα που συνδέεται με την ύπαρξη των θερμών πηγών. Μεταξύ των θέσεων 6 – 4 της γεωηλεκτρικής τομής και επάνω από το αντίστοιχο ρήγμα του υπόβαθρου εντοπίζεται ανωμαλία φυσικού δυναμικού πλάτους περίπου $-20mV$, ενώ στο ρήγμα που βρίσκεται μεταξύ των θέσεων 3 και 1 το πλάτος της ανωμαλίας φυσικού δυναμικού λαμβάνει την τιμή των $-30 mV$. Μια ακόμα ανωμαλία φυσικού δυναμικού εντοπίζεται στο δεξιό άκρο της τομής T_8 και πιθανόν να υποδηλώνει την θέση κάποιου ρήγματος του υπόβαθρου.

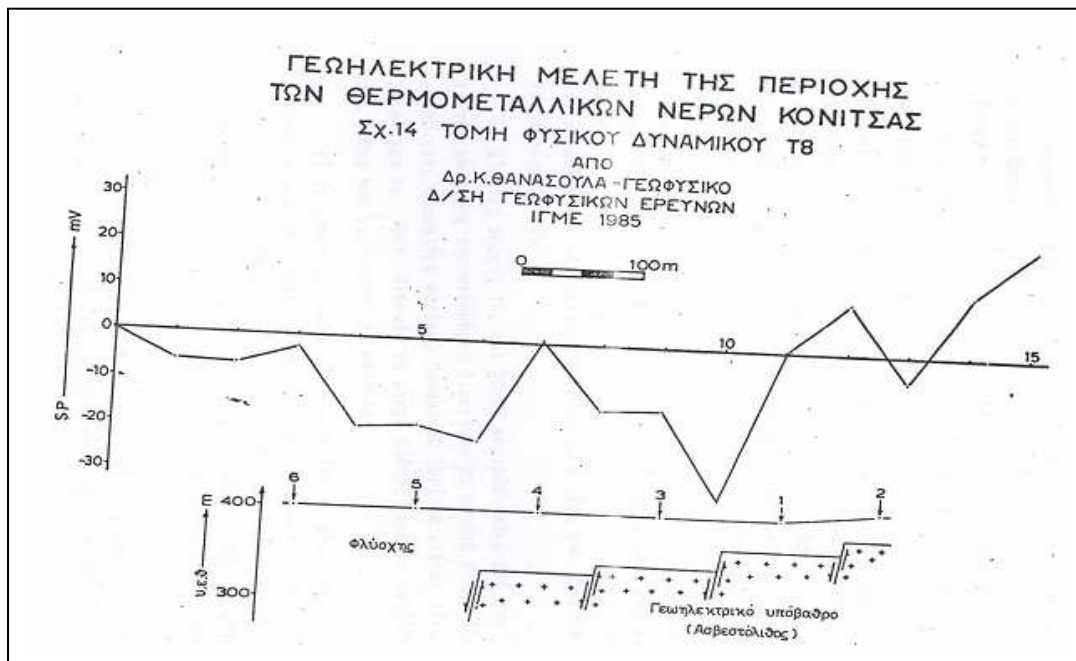
Στο σχήμα 3.14 παρουσιάζεται η μεταβολή του φυσικού δυναμικού κατά μήκος της τομής T_1 . Ανωμαλίες SP παρουσιάζονται:

α) Στις θέσεις 4 – 8 με πλάτος περίπου $-25mV$. Η ανωμαλία αυτή συμπίπτει με την ύπαρξη συστήματος ρηγμάτων στο βρισκόμενο κάπως βαθιά υπόβαθρο. Δεδομένου ότι στην θέση 0 της γεωηλεκτρικής τομής εμφανίζεται το ασβεστολιθικό υπόβαθρο στην επιφάνεια του εδάφους (Γέφυρα Σκορδίλη) και σε συνδυασμό με την πληροφορία ότι στον ίδιο χώρο της γέφυρας από την Αλβανική πλευρά υπάρχουν θερμές πηγές που ήδη υφίστανται εκμετάλλευση, τότε θα πρέπει να δεχτούμε ότι στον χώρο αυτό της ανωμαλίας SP μέσα στο γεωηλεκτρικό υπόβαθρο (ασβεστολιθικό) το πιο πιθανό είναι να κυκλοφορεί ζεστό νερό μέσα στα ρήγματα του ασβεστόλιθου.

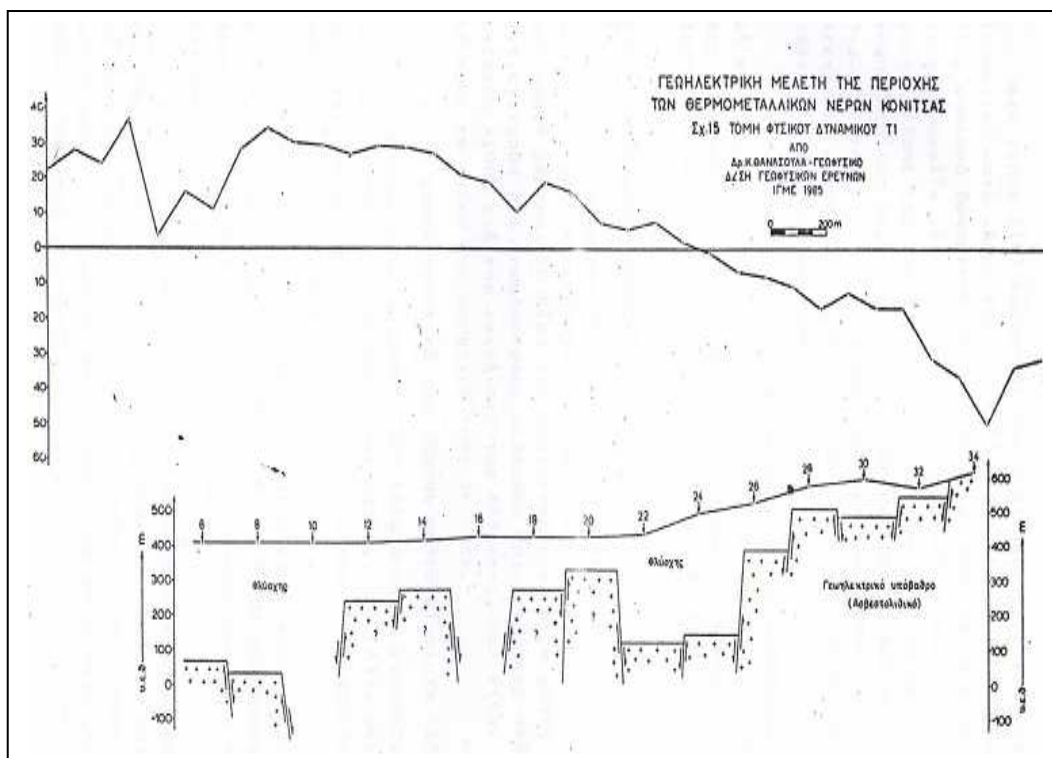
β) Στις θέσεις 18, και 20 – 22 ακριβώς επάνω από ένα τεκτονικό κέρατο του υπόβαθρου διακρίνονται αρκετά καλά δυο μικρότερες ανωμαλίες φυσικού δυναμικού (SP) με πλάτος λίγο μικρότερο των $10mV$. Πιθανόν το μικρό πλάτος τους να οφείλεται στο βάθος που βρίσκεται το υπόβαθρο.

γ) Στις θέσεις 27 – 29 μόλις διακρίνεται μια ανωμαλία φυσικού δυναμικού, πολύ μικρού πλάτους. Η ανωμαλία αυτή SP συνδέεται με την ύπαρξη των θερμών πηγών των Καβασίλων. Η μεγάλη όμως υψομετρική διαφορά μεταξύ πηγών και θέσης μετρήσεων φυσικού δυναμικού ίσως να είναι η αιτία του πολύ μικρού πλάτους της ανωμαλίας αυτής.

δ) Τέλος μια σημαντική ανωμαλία SP αναπτύσσεται μεταξύ των θέσεων 31 – 37 εξ ολοκλήρου επάνω στον ασβεστόλιθο. Πιθανή αιτία της ανωμαλίας αυτής είναι η ύπαρξη κάποιου ρήγματος με κυκλοφορία νερού (ίσως ψυχρού), πλην όμως δεν υπάρχουν στην περιοχή αυτή άλλες γεωφυσικές πληροφορίες.



Σχήμα 3.13: Τομή φυσικού δυναμικού T₈ κατά μήκος της T₁



Σχήμα 3.14: Τομή φυσικού δυναμικού T₁

Στο σχήμα 3.15 παρουσιάζεται η μεταβολή του φυσικού δυναμικού κατά μήκος της τομής T₆. Ιδιαίτερα έντονες ανωμαλίες φυσικού δυναμικού δεν εντοπίζονται πουθενά. Μια μόνο μικρή ανωμαλία μόλις διακρίνεται υπό μορφή μεταβολής της γενικής κλίσης της συνάρτησης $SP=f(x)$ επάνω από την θέση της γεωηλεκτρικής διασκόπησης N2, καθώς και μεταξύ των θέσεων 3 - 4. Και εδώ είναι πιθανό λόγω του μεγάλου βάθους του γεωηλεκτρικού υπόβαθρου, να μην αναπτύσσονται στην επιφάνεια του εδάφους ανωμαλίες μεγάλου πλάτους.

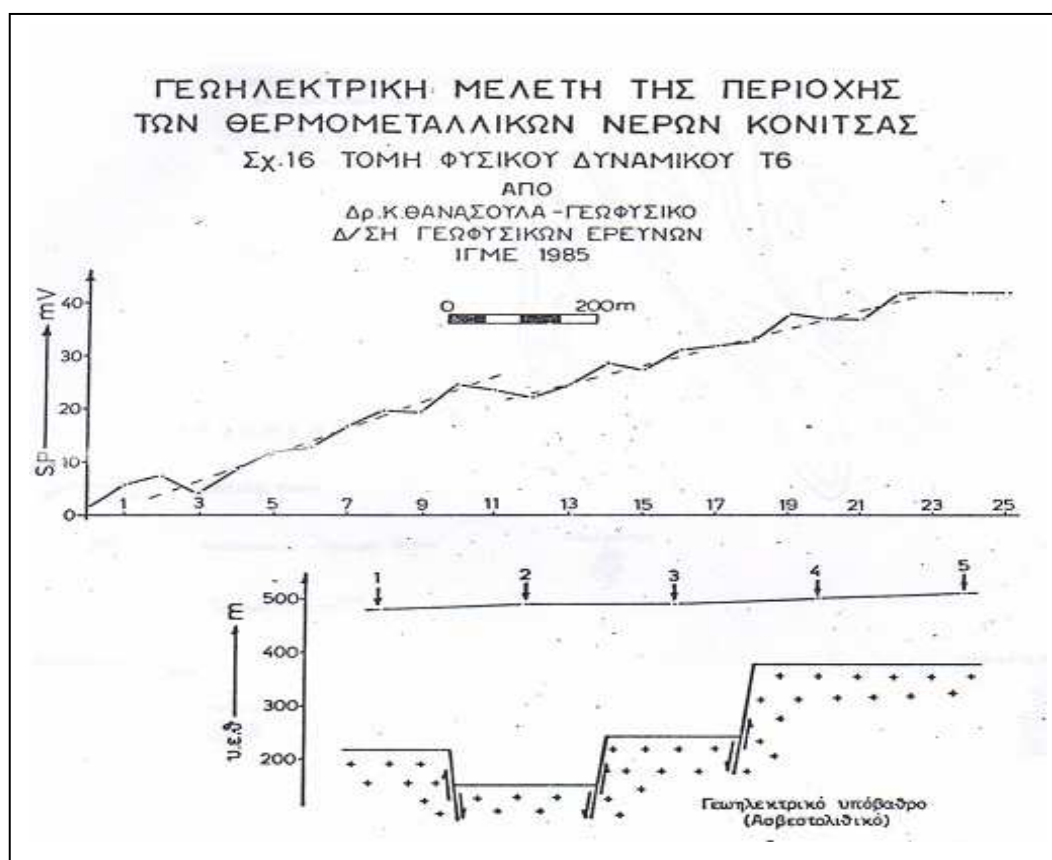
Όλες οι μετρήσεις του φυσικού δυναμικού ελήφθησαν με μη πολωμένα ηλεκτρόδια (Cu – CuSO₄) με την μέθοδο της βαθμίδος (Gradient). Η τελική κατανομή του φυσικού δυναμικού υπολογίστηκε ολοκληρώνοντας κατά μήκος της κάθε τομής.

3.1.6 ΧΑΡΤΕΣ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

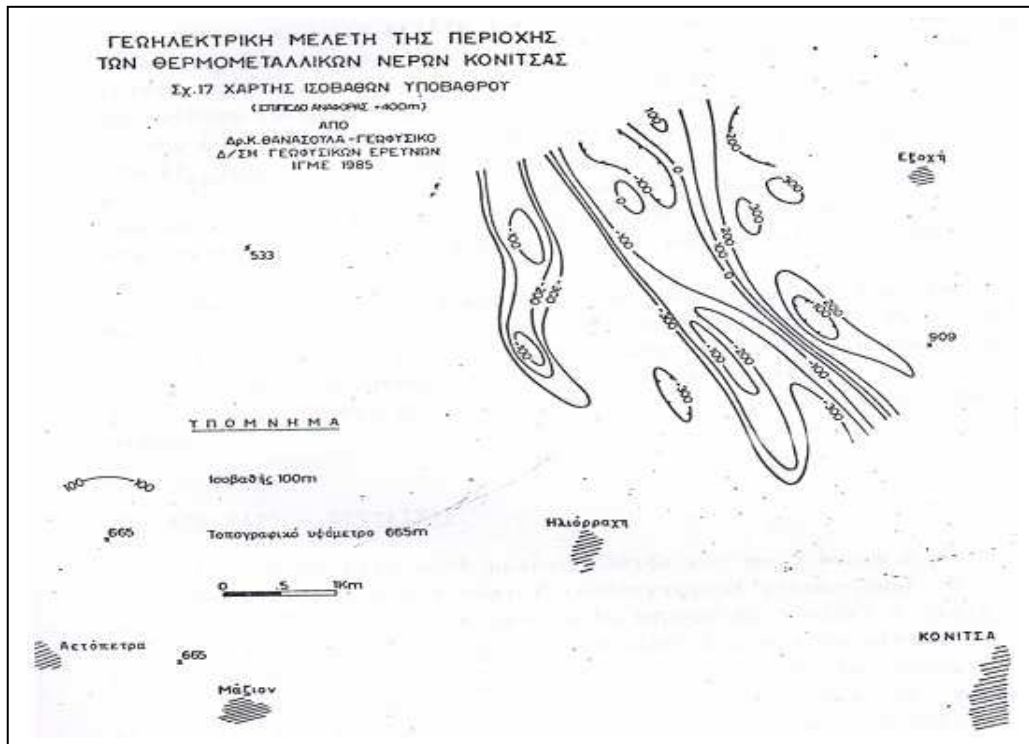
Τα αποτελέσματα της ερμηνείας των γεωηλεκτρικών καμπύλων ρ_a υπαίθρου παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο σχήμα 3.16 υπό μορφή χάρτη. Τα βάθη που παρουσιάζονται στον χάρτη αυτό αντιστοιχούν στο γεωηλεκτρικό υπόβαθρο και μετρούνται από το επίπεδο +400m από την επιφάνεια της θάλασσας και είναι θετικά προς τα επάνω και αρνητικά προς τα κάτω.

Κύρια χαρακτηριστικά του χάρτη αυτού είναι τα εξής:

- Ρήγματα ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης. Ένα τέτοιο ρήγμα εντοπίζεται στο χώρο μεταξύ των ισοβαθών 0 και +200m. Ένα άλλο ρήγμα φαίνεται μεταξύ των ισοβαθών - 100 και - 300m στο μέσο τα περιοχής που ερευνήθηκε .
- Ρήγματα ΒΔ – ΝΔ διεύθυνσης. Αυτά είναι μόλις ορατά από τις ασυνέχειες των ισοβαθών κατά την ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση, όπως επίσης και από την αντίστοιχη καμπύλωσή τους στις αντίστοιχες θέσεις (σημεία καμψής).
- Η ύπαρξη τεκτονικών κεράτων (horst) με ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση. Ένα τέτοιο horst εντοπίζεται χαρακτηριστικά στο αριστερό άκρο του χάρτη, ενώ ένα άλλο εντοπίζεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα της ερευνηθείσας περιοχής, με αντίστοιχο ελάχιστο βάθος - 100m από το επίπεδο αναφοράς.



Σχήμα 3.15: Τομή φυσικού δυναμικού κατά μήκος της T_6

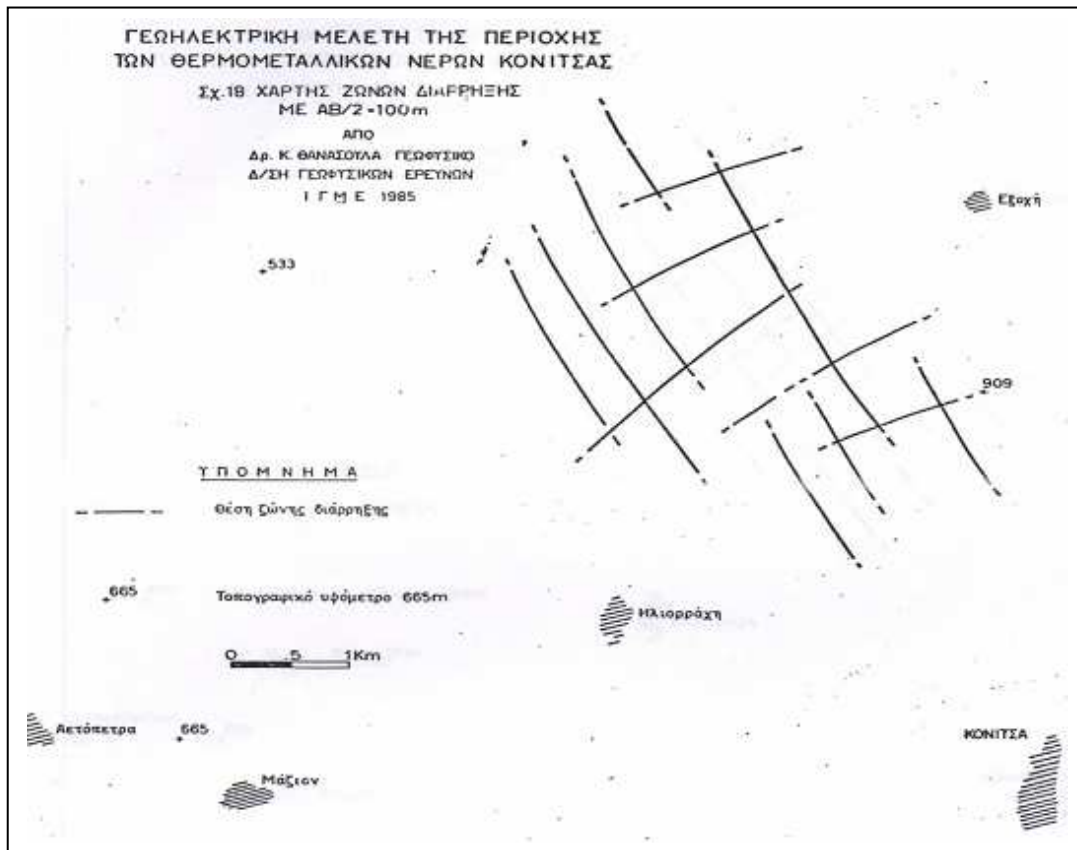


Σχήμα 3.16: Χάρτης ισοβαθών υποβάθρου

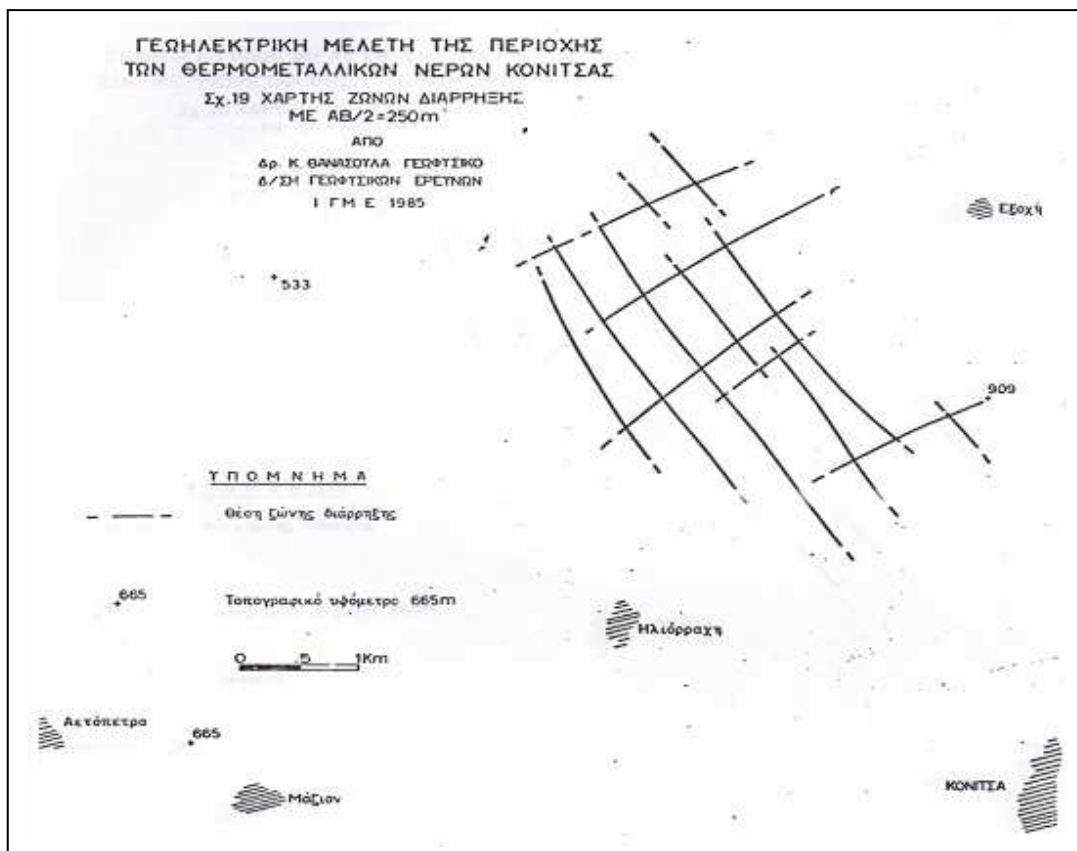
3.1.7 ΧΑΡΤΕΣ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ

Τέλος από την μελέτη των γεωηλεκτρικών τομών $T_1 - 8$, των χαρτών $\rho_a=f(x,\psi)_{AB/2}$ και του χάρτη των ισοβαθών του γεωηλεκτρικού υπόβαθρου προέκυψαν χάρτες που δείχνουν τις θέσεις των κυριότερων ζωνών διάρρηξης. Στο σχήμα 3.17 παρουσιάζονται οι κύριες ζώνες διάρρηξης όπως προκύπτουν από τον χάρτη $\rho_a=f(x,\psi)_{AB/2=100m}$. Στα επόμενα σχήματα 3.18 και 3.19 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες κύριες ζώνες διάρρηξης για $AB/2=250$ και $500m$ ενώ στο σχήμα 3.20 παρουσιάζονται οι κύριες ζώνες διάρρηξης όπως προκύπτουν από την μορφολογία του γεωηλεκτρικού υπόβαθρου.

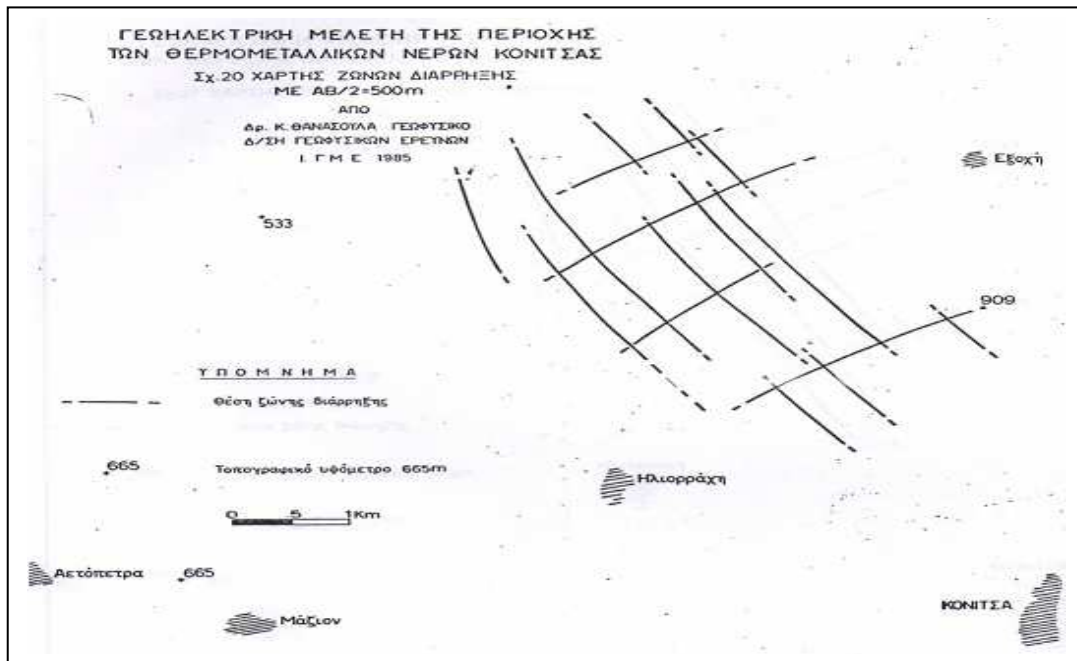
Τα κύρια συστήματα ρηγμάτων που διακρίνονται είναι δύο. Το πρώτο έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ, ενώ το δεύτερο ΒΔ – ΝΔ. Τα ρήγματα ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης είναι έντονα και καθορίζουν την μορφολογία του γεωηλεκτρικού υπόβαθρου, ενώ συγχρόνως εκτείνονται και μέχρι την τομή T_5 που βρίσκεται στις παρυφές της λεκάνης της Κόνιτσας.



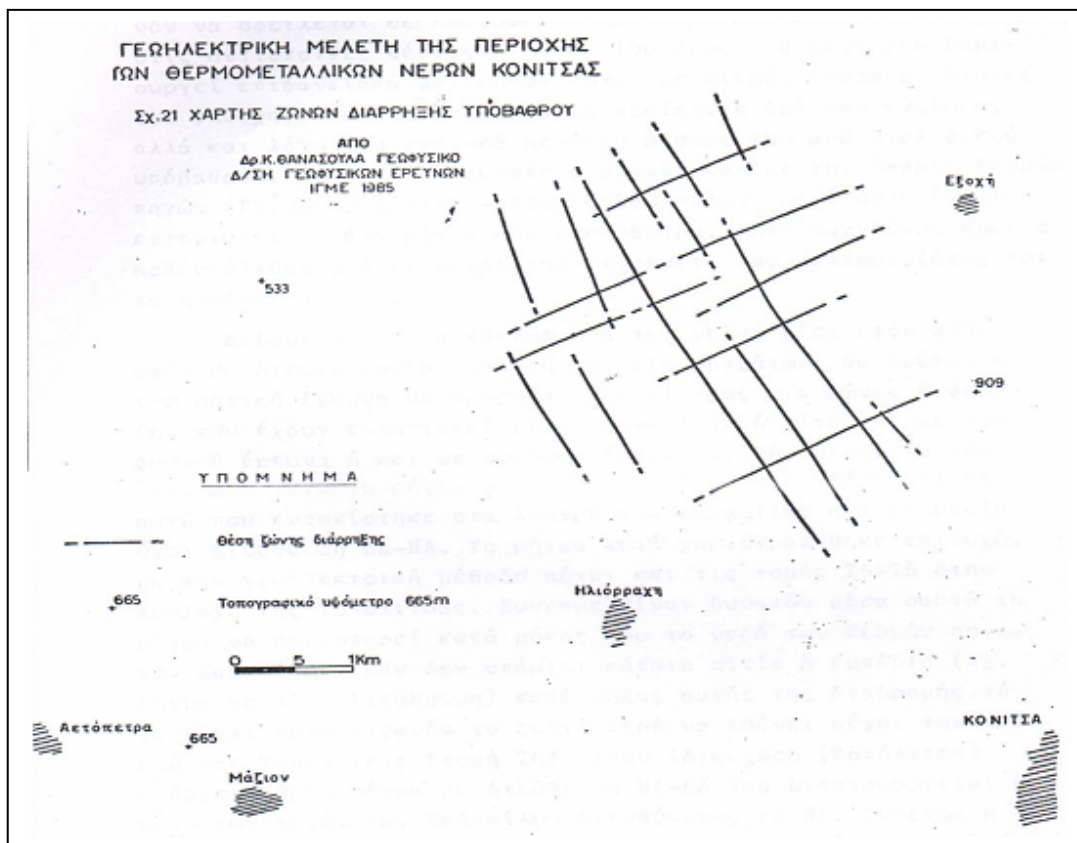
Σχήμα 3.17: Χάρτης ζωνών διάρρηξης με $AB/2=100m$



Σχήμα 3.18: Χάρτης ζωνών διάρρηξης με $AB/2=250m$



Σχήμα 3.19: Χάρτης ζωνών διάρρηξης με $AB/2=500$



Σχήμα 3.20: Χάρτης ζωνών διάρρηξης υποβάθρου

3.2 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ (1986)

3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά την εκτέλεση της πρώτης φάσης των γεωφυσικών εργασιών στην περιοχή της Κόνιτσας και στις πηγές των Καβασιλών, σαν συμπέρασμα φάνηκε ότι οι

πηγές αυτές συνδέονται άμεσα με την ύπαρξη ρηγμάτων στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Επειδή στην περιοχή της γέφυρας Σκορδίλη (δυτικά των Καβασιλών) υπάρχει ένα ρήγμα, στον επιφανειακό ασβεστόλιθο, με διεύθυνση Β-Ν (προς τον κάμπο της Κόνιτσας) και συγχρόνως υπάρχουν θερμές πηγές στο αντίστοιχο Αλβανικό κομμάτι εκρίθη σκόπιμο να επεκταθούν όλες οι τομές T₁-T₅ προς τα δυτικά, με σκοπό να μελετηθεί η προέκταση της εμφάνισης του ασβεστόλιθου αυτού, καθώς και του αντίστοιχου ρήγματος προς τα νότια.

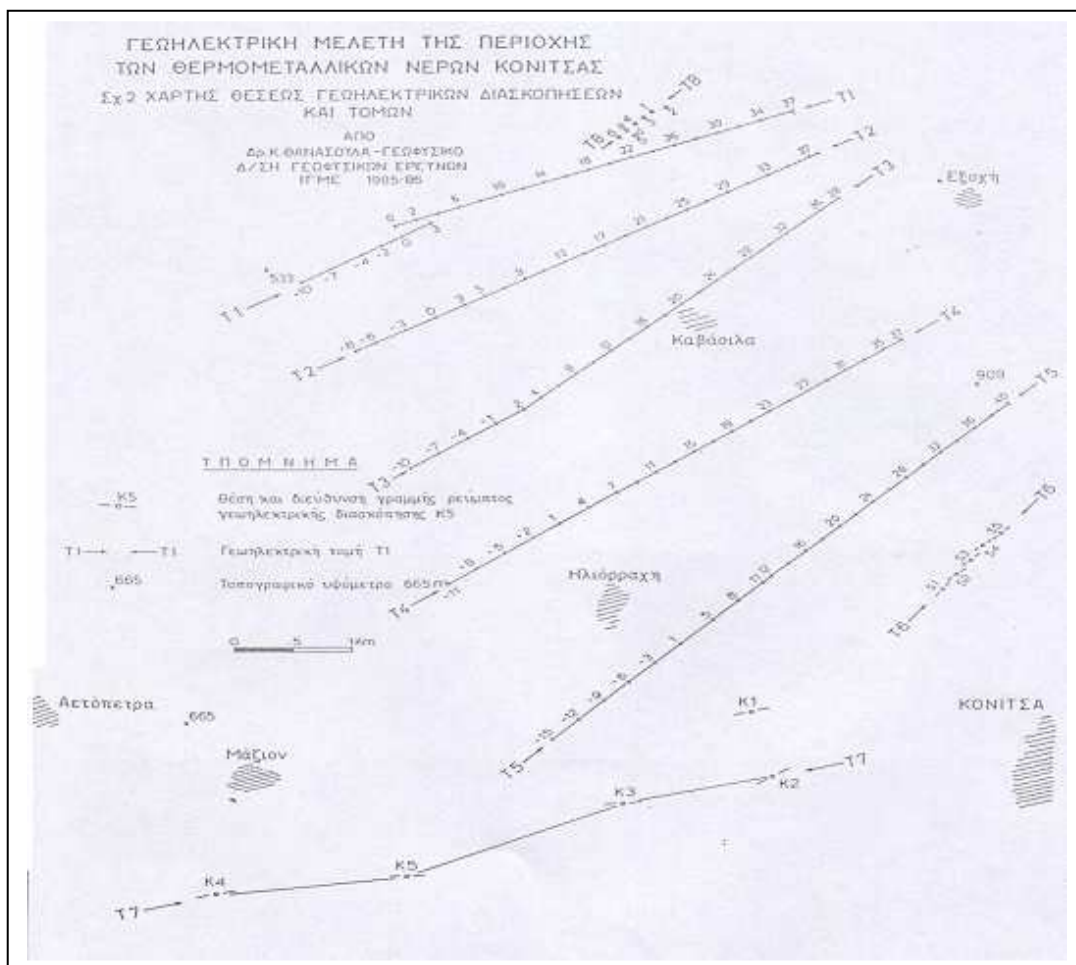
Κατά την εκτέλεση των γεωηλεκτρικών μετρήσεων δεν ήταν δυνατόν να εντοπιστεί το ασβεστολιθικό υπόβαθρο σε πολλές διασκοπήσεις, λόγω του μεγάλου βάθους του. Έτσι, με σκοπό να γίνει μια πρώτη εκτίμηση της μορφής και του βάθους της ασυνέχειας Φλύσχη-Ασβεστόλιθου στα βαθύτερα σημεία τους, έγιναν μετρήσεις βαρύτητας κατά μήκος της τομής T₁. Σε μια τομή (T₄) έγιναν μετρήσεις φυσικού-δυναμικού με σκοπό να ερευνηθεί ένα τεκτονικό στοιχείο (αναθόλωση του ασβεστολιθικού υπόβαθρου) όσον αφορά την κυκλοφορία ζεστού νερού.

Το μήκος των επεκτάσεων των γεωηλεκτρικών τομών ήταν συνολικά 9km, ενώ η βαρυντική τομή είχε μήκος 3km.

Οι γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις έγιναν με AB/2=800m. Η θέση των γεωφυσικών τομών (1985/1986) φαίνεται στο σχήμα 3.21.

3.2.2 ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ T₁-T₅

Τα αποτελέσματα των γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων παρουσιάζονται συγκεντρωτικά υπό μορφή γεωηλεκτρικών τομών στα σχήματα 3.22-3.25.



Σχήμα 3.21: Γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις και τομές

Στην Τομή T_1 (σχήμα 3.22) διακρίνονται 3 γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί που αντιστοιχούν ο μιν πρώτος ($\rho=91-1230 \Omega.m$) στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο, ο δεύτερος, με $\rho=36-153 \Omega.m$, στο φλύσχη που υπέρκειται του ασβεστολιθικού υπόβαθρου, ενώ ο τρίτος, με $\rho=14-51 \Omega.m$ εμφανίζεται μέσα στον ασβεστόλιθο (διασκοπήσεις 0 έως -10) και το πιο πιθανό είναι ότι αντιστοιχεί σε κάποια ρεζερβουάρ ζεστού νερού. Το τελευταίο επιβεβαιώνεται και με την ύπαρξη ζεστής πηγής στην Αλβανική πλευρά της γέφυρας Σκορδίλη. Ο έντονος τεκτονισμός του ασβεστολιθικού υπόβαθρου, δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την κυκλοφορία του ζεστού νερού μέσα στον ασβεστόλιθο.

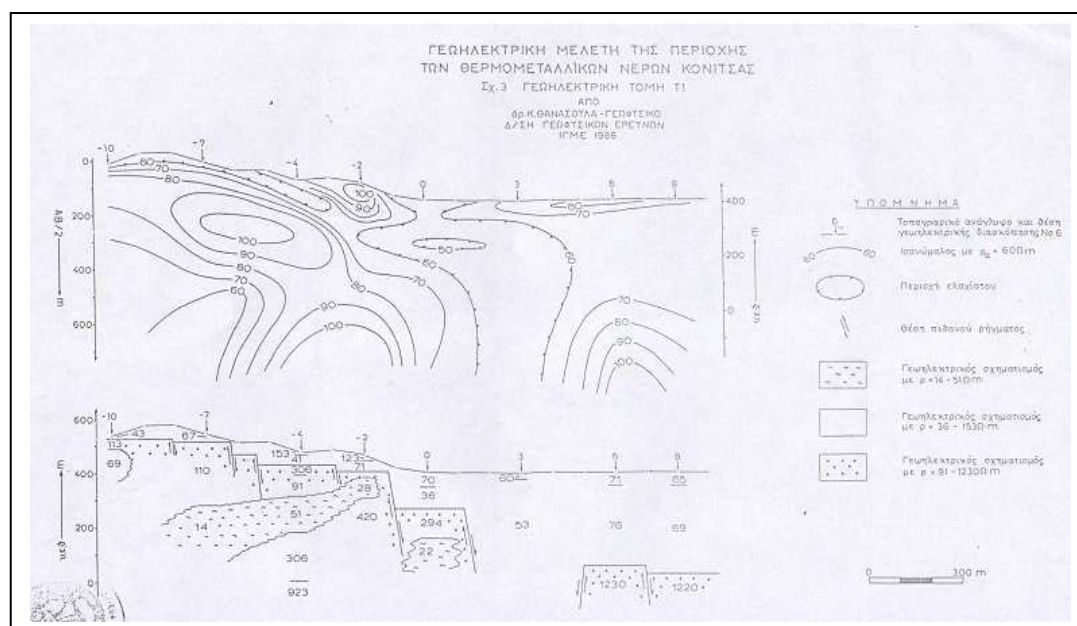
Στην Τομή T_2 (σχήμα 3.23) εκτός από το ασβεστολιθικό υπόβαθρο που εμφανίζεται υπό μορφή τεκτονικού κέρατος (με $\rho=403-434 \Omega.m$) και του υπερκείμενου φλύσχη (με $\rho=28-114 \Omega.m$), εμφανίζεται ένας ακόμη περιορισμένος γεωηλεκτρικός σχηματισμός με $\rho=25 \Omega.m$.

Αυτό που είναι ενδιαφέρον σ' αυτόν είναι ότι βρίσκεται επάνω από το τεκτονικό κέρατο και πιθανόν να δείχνει την ύπαρξη ζεστού νερού επάνω από το τεκτονικό κέρατο ή τουλάχιστον μέσα στο ανώτερό του τμήμα. Η τροφοδοσία του τότε πρέπει να οφείλεται στην ύπαρξη των πλευρικών ρηγμάτων που το έχουν δημιουργήσει.

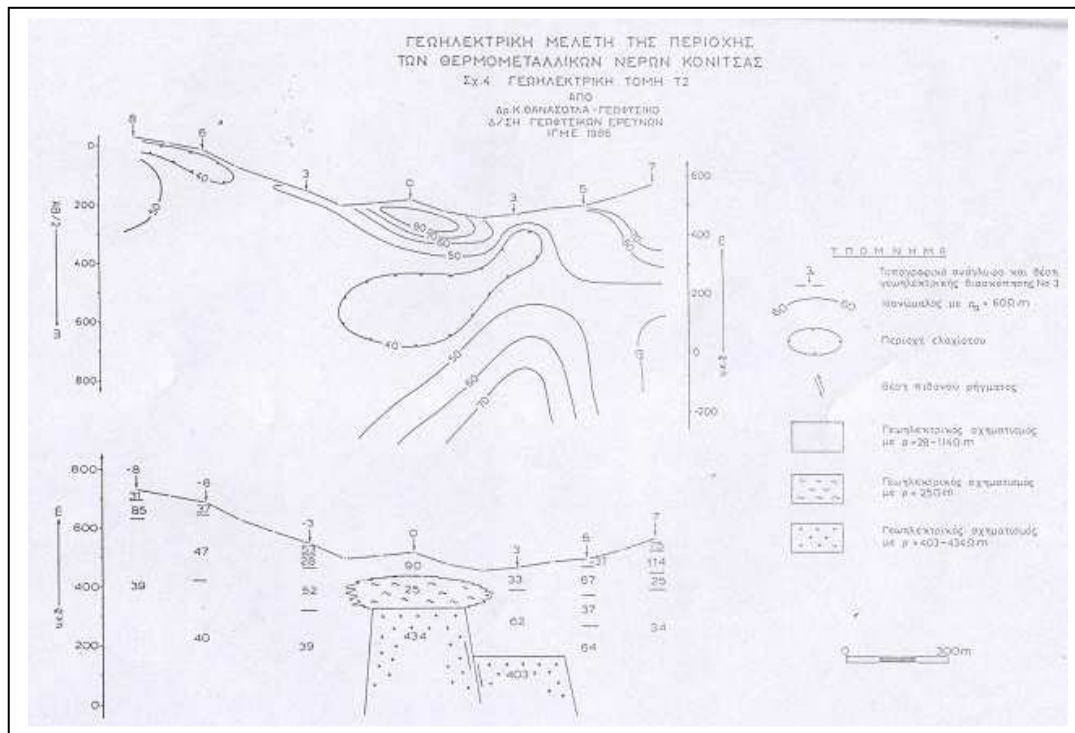
Στην Τομή T_3 (σχήμα 3.24) εμφανίζεται η ίδια εικόνα όπως και προηγουμένως. Το ενδιαφέρον εντοπίζεται την θέση -4 όπου εμφανίζεται ένας γεωηλεκτρικός σχηματισμός με $\rho=18 \Omega.m$ επάνω από μια αναθόλωση του υπόβαθρου, καθώς και στη θέση 6 όπου εμφανίζεται γεωηλεκτρικός σχηματισμός, με $\rho=24 \Omega.m$ υπερκείμενος του γεωηλεκτρικού υπόβαθρου με $\rho=342 \Omega.m$.

Στην Τομή T_4 (σχήμα 3.25) και T_5 (σχήμα 3.26) παρουσιάζεται περίπου η ίδια εικόνα όπως και στις τομές T_3 και T_2 .

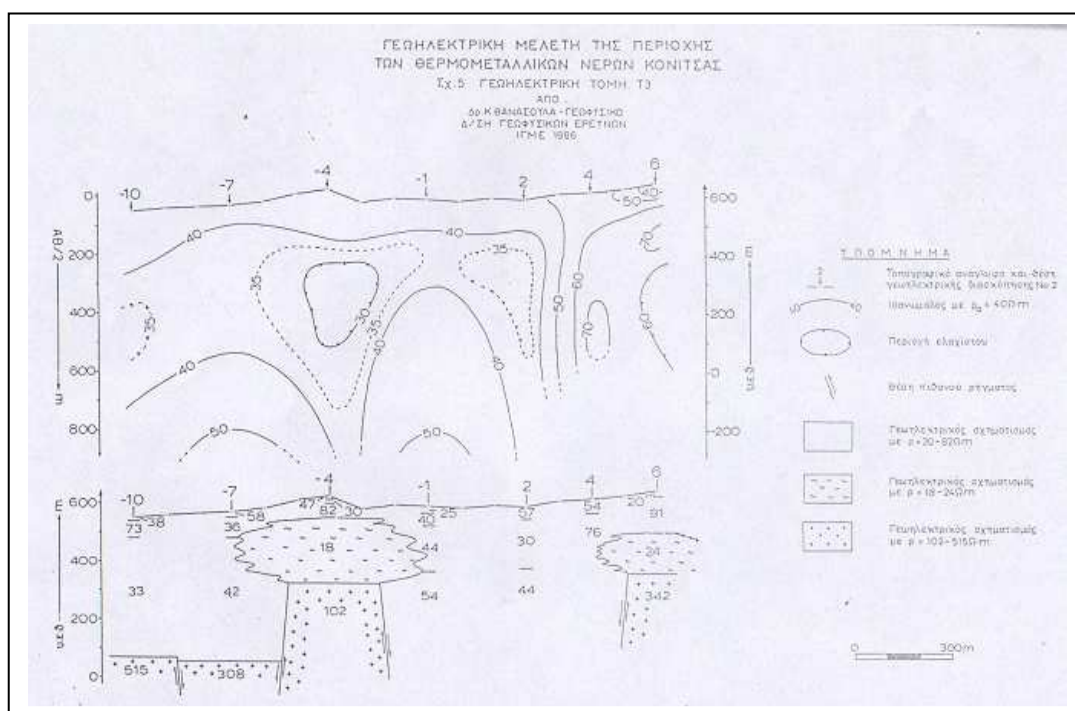
Σε γενικές γραμμές, στην επέκταση των γεωηλεκτρικών τομών προς τα δυτικά φάνηκε ότι το ασβεστολιθικό υπόβαθρο, προς την πλευρά του κάμπου της Κόνιτσας δημιουργεί ένα τεκτονικό κέρατο, στου οποίου τα πλευρικά ρήγματα υπάρχει ερευνητικό ενδιαφέρον για τον εντοπισμό ζεστών νερών.



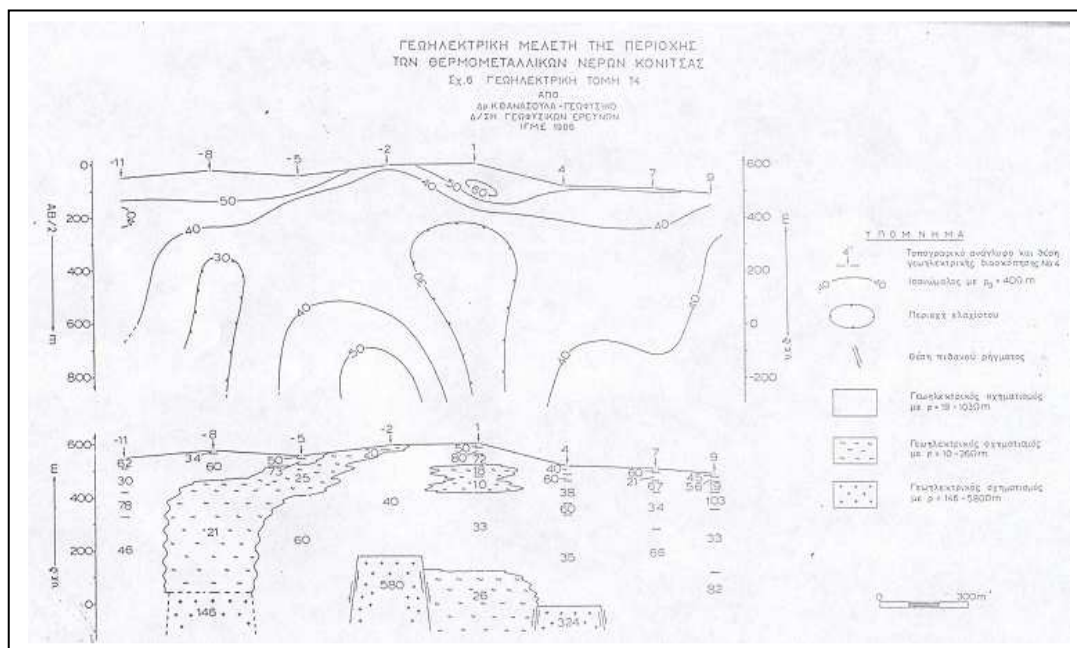
Σχήμα 3.22: Γεωηλεκτρική τομή T_1



Σχήμα 3.23: Γεωηλεκτρική τομή T₂



Σχήμα 3.24: Γεωηλεκτρική τομή T₃



Σχήμα 3.25: Γεωηλεκτρική τομή T₄

3.2.3 ΒΑΡΥΤΙΚΗ ΤΟΜΗ T₁

Με την γεωηλεκτρική μέθοδο που εφαρμόστηκε δεν έγινε δυνατό να εντοπισθεί το ασβεστολιθικό υπόβαθρο, προς τη δυτική πλευρά των τομών, λόγω του μεγάλου βάθους του.

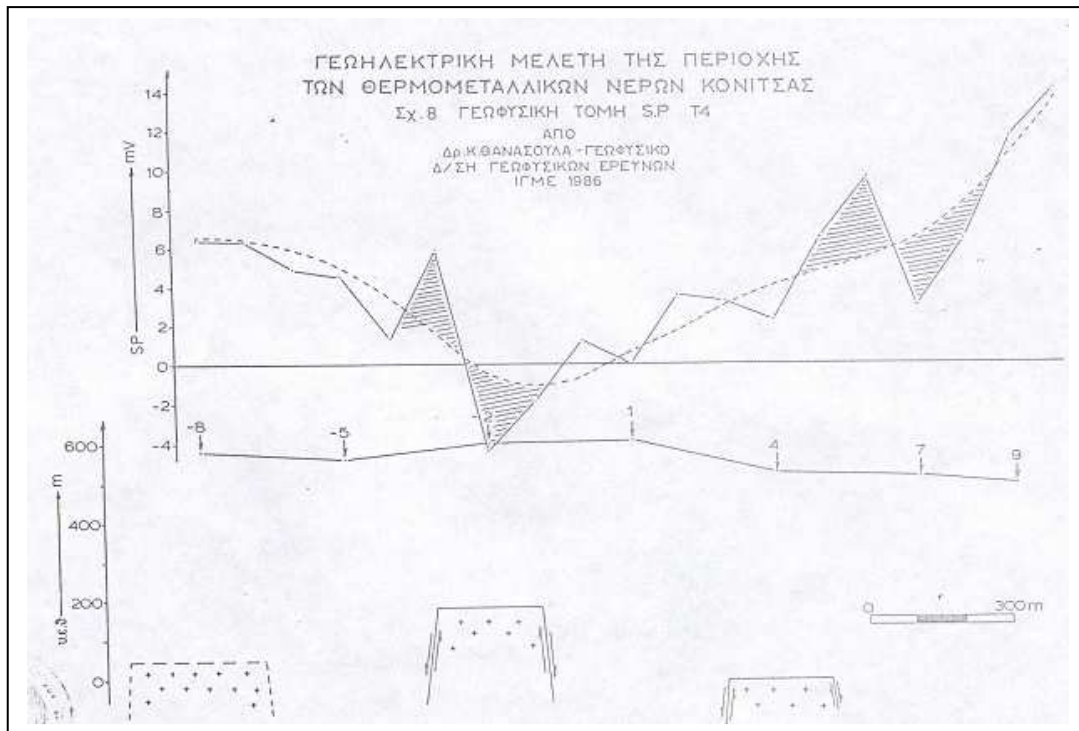
Για το σκοπό αυτό έγινε δοκιμαστικά μια βαρυτική τομή κατά μήκος της T₁. Στο σχήμα 3.27 παρουσιάζονται η μετρούμενη βαρυτική ανωμαλία (υπαίθρου), η υπολογιζόμενη (θεωρητική), καθώς και το μοντέλο από το οποίο υπολογίστηκε η τελευταία. Σαν διαφορά πυκνότητας ελήφθη η τιμή $\Delta\rho=0,1 \text{ gr/cm}^3$. Από το σχήμα 3.27 φαίνεται ότι το ασβεστολιθικό υπόβαθρο φτάνει μέχρι και τα 1000m βάθος στο βαθύτερο του σημείο. Η ανατολική πλευρά παρουσιάζει έντονη τεκτονική ενώ στη θέση (5) υπάρχει μια αναθόλωση του υπόβαθρου η οποία έχει εντοπιστεί και με την γεωηλεκτρική μέθοδο.

3.2.4 ΤΟΜΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ T₄

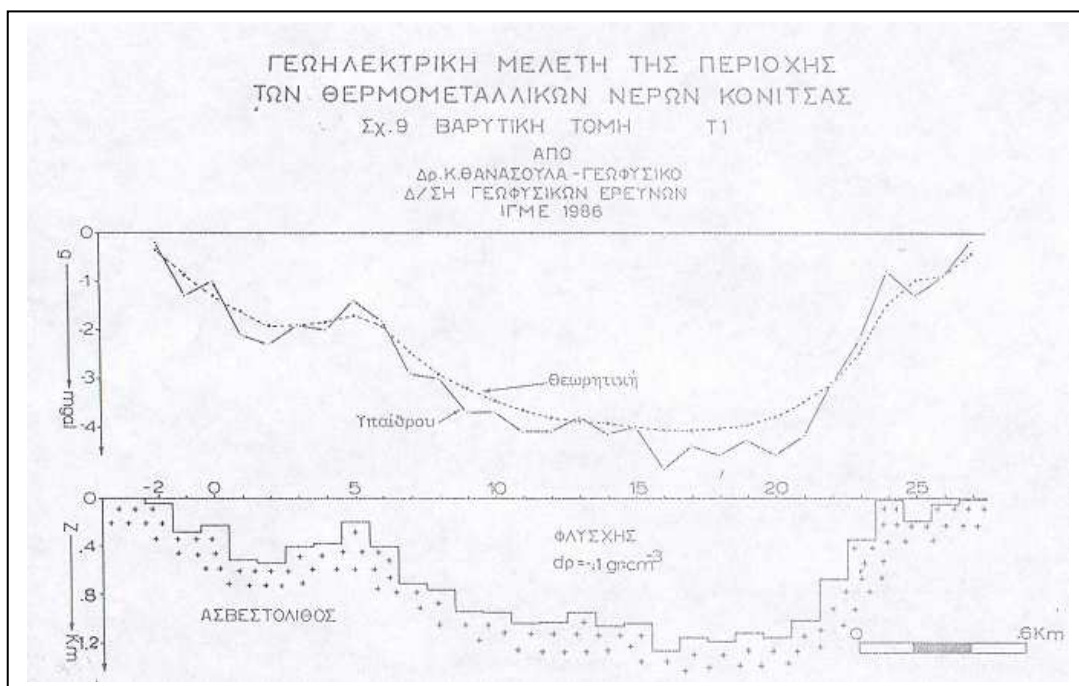
Στην πρώτη φάση της έρευνας των θερμομεταλλικών νερών της Κόνιτσας η εφαρμογή της μεθόδου του φυσικού δυναμικού έδειξε ότι είναι δυνατόν να εντοπισθούν ζώνες κυκλοφορίας ζεστού νερού. Έτσι η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε για μια τομή T₄ (σχήμα 3.26) και μάλιστα επάνω από το τεκτονικό κέρατο και εντοπίστηκε στη θέση - 2 .

Οι μετρήσεις φυσικού δυναμικού κάλυψαν το τμήμα της τομής T₄ που ορίζεται από τις θέσεις - 8 έως + 9, δηλαδή 1700 m. Η μορφή της τομής του φυσικού δυναμικού δείχνει δύο κατηγορίες ανωμαλιών. Η πρώτη κατηγορία αφορά ανωμαλίες μικρού μήκους κύματος (διαγραμμισμένες) πάνω από τις θέσεις - 2 και 7, ενώ η δεύτερη κατηγορία είναι μια ευρύτερη ανωμαλία η οποία παρουσιάζεται με εστιγμένη γραμμή. Η σύμπτωση της θέσης του τεκτονικού κέρατος, με την θέση της ευρύτερης αυτής ανωμαλίας, καθώς και με την αντίστοιχη διαγραμμισμένη είναι ενδεικτική ότι στην συγκεκριμένη περιοχή υπάρχουν ενοϊκές συνθήκες κυκλοφορίας ζεστού νερού, μέσα στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο. Συγκεκριμένα η θέση - 2 της τομής T₄

προτείνεται να ερευνηθεί με γεώτρηση βάθους ικανού να πλησιάσει τουλάχιστον το ασβεστολιθικό υπόβαθρο.



Σχήμα 3.26: Γεωηλεκτρική τομή SP T₄



Σχήμα 3.27: Βαρυτική τομή T₁

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

4.1. Σύσταση της υγρής φάσης

Σχεδόν πάντα τα γεωθερμικά νερά περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις διαλυμένων συστατικών, σε σχέση με τα κοινά υπόγεια νερά. Αν και το πρόβλημα της προέλευσης των διαλυμένων ουσιών στα γεωθερμικά νερά είναι ακόμη αμφιλεγόμενο, εντούτοις πιστεύεται ότι η σύσταση των γεωθερμικών νερών αποτελεί αντανάκλαση των αντιδράσεων του θερμού νερού με τα πετρώματα που το φιλοξενούν ή με τα πετρώματα από τα οποία διήλθε προτού φτάσει στον ταμιευτήρα. Οι διάφορες χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, την πίεση και την αλατότητα των νερών, καθώς και από τη σύσταση των πετρωμάτων. Τα ίδια τα νερά των γεωθερμικών συστημάτων είναι κυρίως μετεωρικής προέλευσης, ενώ σε περιοχές κοντά στη θάλασσα η υγρή φάση είτε προέρχεται στο σύνολό της από τη θάλασσα είτε αποτελεί μίγμα μετεωρικού και θαλασσινού νερού.

Γενικά, η σύσταση των γεωθερμικών νερών (όπως και των αερίων) ποικίλλει σημαντικά από πεδίο σε πεδίο. Επίσης, η σύσταση των νερών μπορεί να είναι διαφορετική από γεώτρηση σε γεώτρηση στο ίδιο πεδίο, ή μπορεί να αλλάζει με το χρόνο λόγω των διαφόρων φυσικών διεργασιών που συμβαίνουν στη διάρκεια της εκμετάλλευσης (μεταφορά θερμότητας μεταξύ ρευστών και πετρωμάτων, αραίωση με άλλα νερά, διείδυση θαλασσινού νερού, συμπύκνωση λόγω απώλειας ατμού κ.α.). Για παράδειγμα, η συγκέντρωση των χλωριόντων (όπως και άλλων συστατικών) σε γεώτρηση του πεδίου Kilauea στη Χαβάη αυξήθηκε περίπου 5 φορές σε διάστημα 1000 ημερών λειτουργίας της γεώτρησης, λόγω διείδυσης θαλασσινού νερού στον ταμιευτήρα.

Η διαφοροποίηση της σύστασης με το χρόνο είναι τις περισσότερες φορές ποσοτική και όχι ποιοτική. Το ίδιο συμβαίνει αν κανείς συγκρίνει τη σύσταση του νερού μιας γεώτρησης με τη σύσταση μιας θερμής πηγής του πεδίου.

Οι συγκεντρώσεις των διαφόρων συστατικών στα γεωθερμικά νερά κυμαίνονται σε ευρεία περιοχή και ελέγχονται από τη θερμοκρασία του συστήματος, το είδος του πετρώματος του ταμιευτήρα και τη διαλυτότητά του, την εστία θερμότητας, την ηλικία του υδροθερμικού συστήματος, την ύπαρξη ανάμιξης με ψυχρά νερά (μετεωρικά ή θαλασσινά), το pH κ.α. Τα κυριότερα συστατικά που βρίσκονται στα γεωθερμικά νερά είναι:

Κατιόντα: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Li^+ , Sr^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+}

Ανιόντα: Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , Br^-

Χωρίς φορτίο: SiO_2 , As, B, NH_3 , αέρια

Οι Πίνακες 4.1α,β που ακολουθούν παρουσιάζουν τυπικές συστάσεις νερών από ορισμένες γεωθερμικές περιοχές υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας, στον κόσμο και στη χώρα μας, αντίστοιχα. Σε γενικές γραμμές, τα νερά από συστήματα χαμηλής ενθαλπίας, ενώ υπάρχουν και σπάνιες περιπτώσεις όπου τα γεωθερμικά νερά περιέχουν λιγότερα άλατα από το νερό ύδρευσης. Παρατηρείται μια συσχέτιση μεταξύ θερμοκρασίας και συγκέντρωσης SiO_2 , ενώ οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων είναι προσεγγιστικά ανάλογες με την αλατότητα των νερών.

Πίνακας 4.1α: Σύσταση της υγρής φάσης από διάφορες γεωτρήσεις υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας στον κόσμο. Οι συγκεντρώσεις αναφέρονται σε mg/L και οι θερμοκρασίες στην κεφαλή της γεώτρησης (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).

| | Salton Sea, Καλιφόρνια | Broadlands N. Ζηλανδία | Hot Springs, Γιούτα | Kilauea, Χαβάη | Krafla, Ισλανδία | Kizilbere (W15), Τουρκία | Klamath Falls, Όρεγκον | Dogger, Γαλλία |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|----------------|------------------|--------------------------|------------------------|----------------|
| pH | 5,7 | 8,3 | - | 7,1 | 7,2 | 8 | 8,4 | 6,4 |
| Θερμ., °C | 214 | 270 | 260 | 190 | 220 | 138 | 80 | 58 |
| ΣΔΑ (g/L) | 182 | 3,8 | 7,4 | 15,8 | 1 | 2,4 | 0,7 | 10,2 |
| Na | 42700 | 1060 | 2320 | 4930 | 193 | 1192 | 205 | 7705 |
| K | 6500 | 150 | 461 | 756 | 20 | 135 | 4,3 | 110 |
| Ca | 18200 | 5 | 8 | 358 | 1,5 | 1,9 | 26 | 862 |
| Mg | 570 | 0 | 2 | 0,3 | 0,03 | 0,2 | 0,5 | 317 |
| Fe | 180 | 0,2 | 1 | 0 | 0,02 | 0 | 0,3 | 5 |
| Pb | 59 | - | - | 0 | 0 | - | - | - |
| Cl ⁻ | 112000 | 1700 | 3860 | 8970 | 26 | 46 | 51 | 380 |
| SO ₄ ²⁻ | 6 | 40 | 72 | 24 | 194 | 631 | 330 | 544 |
| HCO ₃ ⁻ | 220 | 300 | 232 | 18 | 328 | - | 35 | 535 |
| As | 22 | 5 | 4 | 0,1 | - | - | - | - |
| B | 480 | 7 | - | 4,3 | - | 24 | - | 14 |
| SiO ₂ | 1150 | 600 | 563 | 750 | 383 | 356 | 48 | 28 |

Πίνακας 4.1β: Σύσταση της υγρής φάσης από διάφορες γεωτρήσεις υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας στη χώρα μας. Οι συγκεντρώσεις αναφέρονται σε mg/L και οι θερμοκρασίες στην κεφαλή της γεώτρησης (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004).

| | Μήλος (M2) | Νίσυρος | Πολιχνίτος | Άγγιostro Σερρών | Σιδηρό καστρο | Νέα Κεσσάνη, Γ16 | Σουσακι, Σ-4 | Νιγρίτα, ΤΗ-1 |
|-------------------------------|------------|---------|------------|------------------|---------------|------------------|--------------|---------------|
| pH | 5,3 | 6,0 | 6,0 | 7,5 | 6,8 | 7,1 | 6,8 | 6,8 |
| Θερμ., °C | 230 | 250 | 90 | 40 | 54 | 80 | 76 | 59 |
| ΣΔΑ (g/L) | 112 | 82 | 12,3 | 0,26 | 1,0 | 4,6 | 46 | 2,5 |
| Na | 31500 | 22170 | 3310 | 36 | 234 | 1550 | 13760 | 529 |
| K | 9500 | 2200 | 198 | 3 | 43 | 132 | 1960 | 89 |
| Ca | 4380 | 7270 | 834 | 47 | 67 | 135 | 1120 | 160 |
| Mg | 4 | 67 | 24 | 5 | 23 | 19 | 720 | 105 |
| Fe | 19 | 15 | - | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,1 |
| Pb | 2 | - | - | - | - | 0 | 0 | 0,1 |
| Cl ⁻ | 65400 | 49400 | 6920 | 10 | 51 | 1630 | 25480 | 162 |
| F ⁻ | 4 | 1,0 | - | - | 3 | 2,5 | 0,6 | 1,7 |
| SO ₄ ²⁻ | 20 | 27 | 848 | 33 | 172 | 222 | 1300 | 130 |
| HCO ₃ ⁻ | 25 | - | 270 | 190 | 702 | 1746 | 1531 | 2220 |
| As | 13 | 0,3 | - | 0 | - | 0,6 | 0,2 | 0,9 |
| B | 125 | 47 | - | - | - | 5 | 32 | 4,6 |
| SiO ₂ | 1000 | 700 | 72 | 34 | 38 | 60 | 145 | 83 |

Αν και δεν υπάρχει κάποια γενικά αποδεκτή ταξινόμηση των γεωθερμικών νερών, συχνά τα γεωθερμικά νερά διαχωρίζονται σε σχέση με το κυρίαρχο ανιόν. Μερικές από τις κυριότερες κατηγορίες γεωθερμικών νερών συνοψίζονται ως εξής:

Νερά πλούσια σε χλωριόντα

Στα γεωθερμικά συστήματα νερού ο συνηθέστερος τύπος που συναντάται σε κάποιο βάθος είναι τα χλωριούχα νερά, με συγκεντρώσεις που φτάνουν τα 10000 mg/L. Σπανιότερα, η συγκέντρωση των χλωριόντων είναι υψηλότερη και μπορεί να υπερβεί και τα 120000 mg/L (π.χ. Salton Sea στην Καλιφόρνια). Οι υψηλότερες αυτές συγκεντρώσεις δεν μπορούν να δικαιολογηθούν μόνο από την απόπλυση των πετρωμάτων, γι' αυτό προτάθηκε και η συνεισφορά μικρών ποσοτήτων μαγματικού νερού υψηλής αλατότητας (Tuesdell, 1975). Άλλα συστατικά που βρίσκονται στα χλωριούχα νερά είναι το Na και το K (συνήα σε αναλογία 10:1), το ασβέστιο και το διοξείδιο του πυριτίου. Οι συγκεντρώσεις των θεικών και των ανθρακικών ποικίλουν αρκετά, αλλά είναι μία τάξη μεγέθους μικρότερες από τη συγκέντρωση των χλωριόντων. Στα χλωριούχα νερά το κυριότερο διαλυμένο αέριο είναι το CO₂. Τα χλωριούχα νερά είναι, γενικά, ελαφρά όξινα ή ουδέτερα σε συνθήκες μετά το διαχωρισμό του CO₂.

Τα νερά υψηλής ενθαλπίας και υψηλής αλατότητας περιέχουν πάντοτε αξιοσημείωτες ποσότητες βαρέων μετάλλων, όπως σιδήρου, μαγγανίου, μολύβδου, χαλκού, ψευδαργύρου και αντιμονίου. Η αιτία για την εντονότερη παρουσία των μετάλλων αυτών είναι η αυξημένη διαλυτότητα των ορυκτών τους σε συνθήκες χαμηλού σχετικά pH, η υψηλή θερμοκρασία, αλλά και η αύξηση της διαλυτότητάς του μέσω της δημιουργίας συμπλόκων, κυρίως με τα χλωριόντα. Σε μικρότερο βαθμό και άλλα διαλυτά στοιχεία (όπως αρσενικό, φθόριο, βρώμιο, βόριο, λίθιο) βρίσκονται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα γεωθερμικά ρευστά, σε σχέση με τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στη διαλυτότητα των ορυκτών που περιέχουν τα στοιχεία αυτά.

Νερά πλούσια σε θειικά ιόντα

Τα νερά αυτά σχηματίζονται συνήθως κοντά στην επιφάνεια, από τη συμπύκνωση γεωθερμικών αερίων σε υπόγεια νερά που περιέχουν οξυγόνο, με αποτέλεσμα την οξείδωση του H₂S σε θειικά ιόντα. Η μετατροπή σε θειικά ιόντα δημιουργεί όξινο περιβάλλον, με την τιμή του pH να φτάνει ακόμη και κάτω από το 2. Τα νερά αυτά, αν και συνήθως βρίσκονται σε μικρά βάθη, κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορούν να διεισδύσουν σε σημαντικό βάθος μέσω ρηγμάτων. Υψηλότερες συγκεντρώσεις θεικών σε ηφαιστειακά θερμά νερά είναι πιθανό να προέρχονται από την απόπλυση θεικών αλάτων που περιέχονται στα ηφαιστειακά πετρώματα.

Νερά πλούσια σε ανθρακικά ιόντα

Ονομάζονται νερά πλούσια σε CO₂, και ο σχηματισμός τους είναι συνήθως αποτέλεσμα της αντίδρασης του διαλυμένου στα μετεωρικά νερά CO₂ με τα πετρώματα. Νερά πλούσια σε όξινα ανθρακικά περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου. Η απομάκρυνση του CO₂ από τα νερά με βρασμό ή διαχωρισμό των φάσεων οδηγεί σε σημαντική αύξηση του pH του διαλύματος.

Νερά πλούσια σε θειικά ιόντα – χλωριόντα

Αυτά τα νερά μπορούν να σχηματιστούν με διάφορες διεργασίες, από τις οποίες η σπουδαιότερη είναι ανάμιξη χλωριούχων νερών με νερά πλούσια σε θειικά. Η χρήση γεωθερμομέτρων σε αυτά τα νερά απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.

Μία σύνοψη των διαφόρων τύπων νερών στα γεωθερμικά συστήματα δίνεται στον πίνακα 4.2 (Henley et al, 1984). Οποιοσδήποτε από αυτούς τους τύπους των

νερών μπορεί να αραιωθεί, ύστερα από ανάμιξη με υπόγειο νερό χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα, ή να τροποποιηθεί με άλλους τρόπους πριν φτάσει σε μια θερμή πηγή ή σε μια γεώτρηση. Από τη μελέτη του χημισμού των διαφόρων νερών από γεωτρήσεις και πηγές σε μια γεωθερμική περιοχή μπορεί, μερικές φορές, να προσδιοριστεί η φύση και ο χαρακτήρας των γεωθερμικών νερών στο βάθος.

Πίνακας 4.2: Σύνοψη των διαφόρων τύπων νερού στα γεωθερμικά συστήματα.

| | Περιοχή PH | Κύρια ιόντα |
|--------------------------------|------------|---------------------------------------|
| Υπόγεια | 6 - 7,5 | λίγα HCO_3^- |
| Πλούσια σε χλωριόντα | 4 - 9 | Cl^- , λίγα HCO_3^- |
| Πλούσια σε χλωριόντα-ανθρακικά | 7-8,5 | Cl^- , λίγα HCO_3^- |
| Πλούσια σε θειικά ιόντα | 1 - 3 | SO_4^{2-} λίγα Cl^- |
| Πλούσια σε θειικά-χλωριόντα | 1 - 5 | Cl^- , SO_4^{2-} |
| Πλούσια σε όξινα ανθρακικά | 5 - 7 | HCO_3^- |
| Αραιά χλωριούχα | 6,5 - 7,5 | Cl^- , λίγα HCO_3^- |

Άλλα κύρια συστατικά

Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά η χημική συμπεριφορά ορισμένων συστατικών που δεν έχουν συζητηθεί πιο πάνω.

Νάτριο και Κάλιο. Η συγκέντρωση των κατιόντων αυτών ρυθμίζεται από την ισορροπία πετρωμάτων - νερού, η οποία επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Το νάτριο είναι συχνά το κυριότερο κατιόν στα γεωθερμικά νερά και βρίσκεται σε συγκεντρώσεις από 100 μέχρι 2000 mg/L. Η συγκέντρωση του καλίου είναι περίπου 10 φορές μικρότερη από τη συγκέντρωση του νατρίου. Γενικά, το νάτριο ούτε εμπλουτίζεται ούτε απομακρύνεται από ένα γεωθερμικό νερό, σε αντίθεση με το κάλιο και το λίθιο που εμπλουτίζονται.

Ασβέστιο. Η συγκέντρωση του ασβεστίου στα γεωθερμικά νερά ελέγχεται κυρίως από τα ορυκτά του που έχουν ανάδρομη διαλυτότητα (π.χ. CaCO_3 , CaSO_4 και CaF_2), και, σε μικρότερο βαθμό, από τα ασβεστούχα αργιλοπυριτικά. Η συγκέντρωση του ασβεστίου αυξάνει συνήθως με την αύξηση της οξύτητας και της αλατότητας του νερού.

Μαγνήσιο. Τα επίπεδα του μαγνησίου είναι συνήθως πολύ χαμηλά, επειδή το στοιχείο αυτό ενσωματώνεται εύκολα σε δευτερογενώς εξαλλοιωμένα ορυκτά, όπως ο ιλλίτης και ο χλωρίτης. Υψηλές συγκεντρώσεις Mg υποδεικνύουν απόληψη Mg και τοπικά πετρώματα ή ανάμιξη υπόγειου με θαλασσινό νερό. Αν τα γεωθερμικά νερά έχουν θαλάσσια προέλευση, τότε η συγκέντρωση του μαγνησίου συνήθως μειώνεται, ενώ εμπλουτίζονται σε ασβέστιο.

Φθόριο. Η συγκέντρωση του φθορίου στα γεωθερμικά νερά είναι συνήθως μικρότερη από 10 mg/L, και περιορίζεται από τη διαλυτότητα του CaF_2 . Ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις συνδέονται με συμπύκνωση μαγματικών αερίων, και συγκεκριμένα HF, σε μετεωρικά νερά.

Διοξείδιο του πυριτίου. Οι συγκεντρώσεις του SiO_2 στα γεωθερμικά ρευστά ρυθμίζονται από τη διαλυτότητα των διαφόρων ορυκτών του (κυρίως του χαλαζία και του άμορφου SiO_2), με τυπικές τιμές από 100 μέχρι 300 mg/L και ανώτερες τιμές περίπου τα 1000 mg/kg.

Βόριο. Εκφράζεται συχνά ως βορικό οξύ (H_3BO_3 ή HBO_2^-) και απαντάται στα γεωθερμικά νερά σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 100 mg B/L.

4.2. Φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά των γεωθερμικών νερών

Γενικά οι φυσικοχημικές ιδιότητες των γεωθερμικών ρευστών φαίνονται στον πίνακα 4.3. Πιο συγκεκριμένα οι δύο κυριότερες φυσικοχημικές παράμετροι που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό ενός γεωθερμικού νερού είναι η περιεκτικότητά του σε άλατα και το pH.

Τα γεωθερμικά νερά περιέχουν συνήθως μεγάλη ποικιλία και σημαντικές ποσότητες διαλυμένων συστατικών, τα οποία μαζί αποτελούν το Σύνολο των Διαλυμένων Αλάτων (ΣΔΑ, Total dissolved solids -TDS).

Τα γεωθερμικά ρευστά, εξαιτίας της αυξημένης θερμοκρασίας τους, είναι λογικό να έχουν και αυξημένη ικανότητα διαλυτοποίησης των πετρωμάτων μέσα στα οποία κυκλοφορούν. Συνήθως, τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας έχουν μικρότερο ΣΔΑ από ό,τι τα ρευστά σε υψηλή θερμοκρασία, αν και υπάρχουν εξαιρέσεις αυτού του κανόνα. Το ΣΔΑ εκφράζεται σε μονάδες mg/kg, mg/L (ή ppm) ή g/L.

Οι τιμές του ΣΔΑ των γεωθερμικών ρευστών κυμαίνονται από λίγες δεκάδες μέχρι και εκατοντάδες χιλιάδες mg/L, όπως καταγράφεται στον Πίνακα 4.1α και 4.1β. Για παράδειγμα, τα γεωθερμικά νερά του Αγγίστρου Σερρών έχουν ΣΔΑ μόλις 260mg/L, του Λαγκαδά 800mg/L, της Ν. Κεσσάνης Ξάνθης 4600mg/L, του Σουσακίου Κορινθίας 46000mg/L, της Μήλου 112000mg/L, ενώ στο Salton Sea της Καλιφόρνιας, το ΣΔΑ των νερών μπορεί να προσεγγίσει τα 300000mg/L.

Το ΣΔΑ δίνει ένα μέτρο της ποσότητας των χημικών ουσιών που είναι διαλυμένα μέσα στα γεωθερμικά νερά, και συχνά αναφέρεται και ως αλατότητα. Βεβαίως, ο ακριβής ορισμός της αλατότητας στην ωκεανογραφία είναι κάπως διαφορετικός. Η μέθοδος υπολογισμού του ΣΔΑ περιλαμβάνει την εξάτμιση του δείγματος και τη ζύγιση του στερεού υπολείμματος.

Το μέγεθος της αλατότητας προσεγγίζεται στο υπόβαθρο με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού, η τιμή της οποίας μπορεί να θεωρηθεί κατά προσέγγιση ανάλογη με το ΣΔΑ. Προσεγγιστικά ισχύει

$$\text{ΣΔΑ (mg/L)} = (0.5-0.8) \times \text{Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (}\mu\text{S/cm)}$$

Η αγωγιμότητα δεν αποτελεί καλό τρόπο χαρακτηρισμού των νερών υψηλής αλατότητας. Για αυτά τα νερά (δηλ. για νερά με αγωγιμότητα π.χ. μεγαλύτερη από 30000 $\mu\text{S/cm}$), η μέτρηση της αγωγιμότητας θα πρέπει να γίνεται ύστερα από αραίωση με αποσταγμένο νερό.

Το pH ενός ρευστού, δηλαδή το μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητάς του, μετριέται επίσης στην ύπαιθρο και η μέτρηση επαναλαμβάνεται στο εργαστήριο. Μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για την αρχική κατάσταση του ρευστού, ενώ επηρεάζει τη συμπεριφορά ορισμένων διαλυτών συστατικών, όπως του πυριτίου και του σιδήρου. Το pH καθορίζεται βασικά από την απώλεια του διοξειδίου του άνθρακα, αποτέλεσμα του οποίου είναι το διάλυμα να γίνει περισσότερο αλκαλικό. Το pH επηρεάζεται από την αλατότητα και τη θερμοκρασία του νερού, καθώς και από τη ρυθμιστική ικανότητα των ορυκτών.

Το pH των γεωθερμικών νερών κυμαίνεται συνήθως από 5.5 μέχρι 8.5, αν και σε γεωθερμικές εκδηλώσεις στην Ελλάδα και αλλού, έχουν καταγραφεί τιμές pH πολύ χαμηλές (μέχρι 2.2 σε θερμή πηγή στη Μήλο) ή πολύ υψηλές (μέχρι 11.0 στην Κεντρική Ελλάδα).

Η αυξημένη αλατότητα των γεωθερμικών νερών επηρεάζει όλες τις φυσικές ιδιότητες των γεωθερμικών νερών, όπως την πυκνότητα, το ιξώδες, την ειδική θερμότητα, το σημείο ζέσεως κτλ. Γενικά, δεν είναι απαραίτητο να γίνουν πειραματικές μετρήσεις των φυσικών ιδιοτήτων ενός γεωθερμικού νερού, επειδή οι

περισσότερες ιδιότητες μπορούν να εκτιμηθούν από πίνακες για διάφορες θερμοκρασίες και αλατότητες.

Πίνακας 4.3: Φυσικοχημικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα γεωθερμικό νερό

| Φυσικές Ιδιότητες | Χημικές Ιδιότητες |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Πυκνότητα (density) <input type="checkbox"/> Θερμοκρασία (temperature) <input type="checkbox"/> Αιωρούμενα στερεά(S.S.) <input type="checkbox"/> Αγωγιμότητα (conductivity) <input type="checkbox"/> Θολότητα (turbidity) | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> pH <input type="checkbox"/> Οξύτητα / Αλκαλικότητα <input type="checkbox"/> Χλωρίοντα <input type="checkbox"/> Θειούχα / Θειικά <input type="checkbox"/> Αμμωνία <input type="checkbox"/> Διαλυμένο οξυγόνο <input type="checkbox"/> Ποιοτική ανάλυση κατιόντων και ανιόντων <input type="checkbox"/> Συνολικά Διαλυμένα Άλατα (TDS) |

4.3. Αρχή της μεθόδου «περιθλασιμετρίας ακτίνων – X (XRD)»

Η ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων – X (XRD). Το περιθλασίμετρο ακτίνων – X που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου D-500 Siemens. Το όργανο αυτό αποτελείται από τις εξής βασικές μονάδες:

- Τη μονάδα παραγωγής υψηλής τάσεως
- Τη λυχνία των ακτίνων – X
- Το γωνιόμετρο
- Τον απαριθμητή των ακτίνων – X
- Την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων
- Τη μονάδα του μικροϋπολογιστή, ο οποίος καθοδηγεί το σύστημα και αξιολογεί τα δεδομένα που προκύπτουν από την εξέταση των δειγμάτων.

Με τη μέθοδο του περιθλασίμετρου ακτίνων – X είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων – X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως καθώς και των γωνιών πρόσπτωσης.

Ο πρώτος που χρησιμοποίησε τις ακτίνες – X για κρυσταλλογραφική ανάλυση ήταν ο Bragg το 1913. Η περίθλαση των ακτίνων – X στους κρυστάλλους συμβαίνει όταν ακτίνες – X προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία σε πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου (σχήμα 4.1). Αν θεωρηθεί ότι το πλέγμα ενός κρυστάλλου αποτελείται από ομάδες πλεγματικών επιπέδων, τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διέρχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση, την απόσταση d , τότε σύμφωνα με την εξίσωση του Bragg ισχύει:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \eta \cdot \theta$$

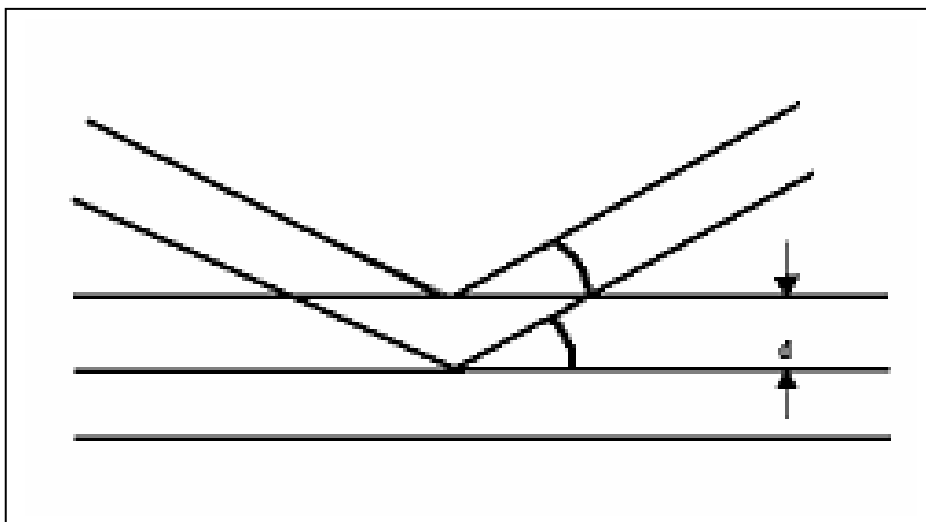
Όπου:

n : τάξη ανάκλασης

λ : μήκος κύματος

d : πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου

θ : γωνία πρόσπτωσης



Σχήμα 4.1: Ανάκλαση των ακτίνων – X σύμφωνα με την εξίσωση του Bragg

4.4. Μέθοδος περιθλασιμέτρου ακτίνων – X

Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων – X είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων – X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

Οι βασικές μονάδες που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων – X είναι η μονάδα παραγωγής της υψηλής τάσεως, η λυχνία των ακτίνων – X, το γωνιόμετρο, ο απαριθμητής των ακτίνων – X με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και τέλος η μονάδα του μικροϋπολογιστή μέσω του οποίου καθοδηγείται ολόκληρο το σύστημα και αξιολογούνται τα δεδομένα που προκύπτουν από την εξέταση του δείγματος.

Το προς ανάλυση δείγμα βρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στη κοιλότητα ενός μεταλλικού ή πλαστικού πλακιδίου. Η κοιλότητα αυτή έχει βάθος περίπου 1mm και έκταση μερικών cm^2 έτσι που να προσφέρει χώρο για μάζα του δείγματος της τάξης του 1g, την οποία καταθέτουμε έτσι στην κοιλότητα του πλακιδίου ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια. Το επίπεδο αυτό παρασκεύασμα τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων – X και μάλιστα έτσι ώστε το επίπεδο του παρασκευάσματος να είναι πάντα κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου.

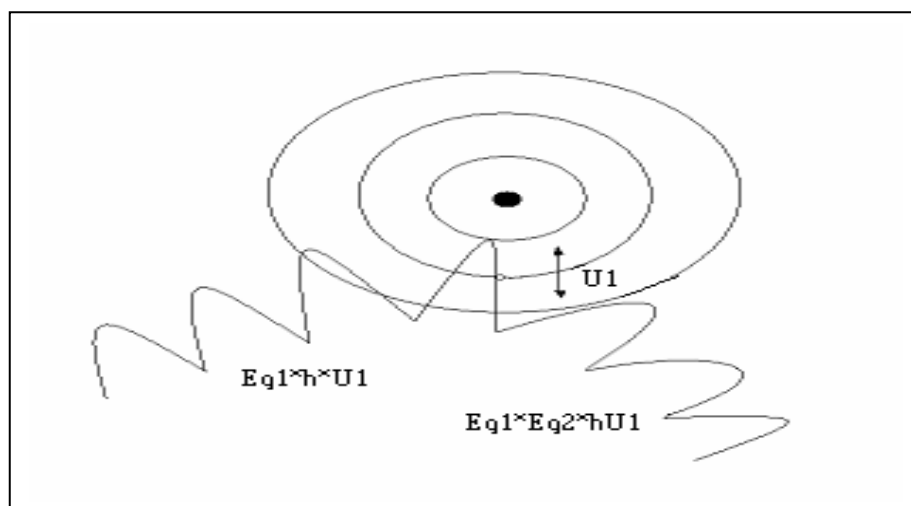
Ταυτόχρονα, ως προς τον ίδιον άξονα γύρω από τον οποίο διαγράφει το κύκλο, περιστρέφεται ο απαριθμητής με κάποια σταθερή γωνιακή ταχύτητα $2\theta/\text{min}$ και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα θ/min ίση προς τα ήμισυ εκείνης του απαριθμητή έτσι ώστε με τη σύγχρονη αυτή μετατόπιση του απαριθμητή και περιστροφή του δείγματος ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος όπως και το σημείο εξόδου των ακτίνων – X της λυχνίας. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων – X των προερχόμενων από τη λυχνία, ώστε να πληρούνται για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων hkl η εξίσωση του BRAGG.

Κατά την περιφορά του απαριθμητή των ακτίνων – X με σταθερή ταχύτητα κατά περίπου 170° είναι δυνατή έτσι η ακριβής καταγραφή των ανακλάσεων και των εντάσεων αυτών που προέρχονται από τα πλεγματικά επίπεδα διαφόρων d και προκύπτει μια συνολική εικόνα ανάλογη εκείνης που απεικονίζεται σε ένα φιλμ. Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων – X είναι δυνατή τόσο ταχύτερη και

ακριβέστερη μέτρηση των γωνιών 2θ όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων από ότι με τη μέθοδο DEBYE – SCHERRER.

4.5. Περίθλαση των ακτίνων – X

Το φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων – X πάνω στους κρυστάλλους οφείλεται στην αλληλεπίδρασή τους με τα ηλεκτρόνια των ατόμων των κρυστάλλων, που έχει σαν αποτέλεσμα την σκέδαση των ακτίνων – X. Η ικανότητα ενός ατόμου να σκεδάζει ακτίνες – X είναι, μεταξύ άλλων, ανάλογη προς τον αριθμό των ηλεκτρονίων του. Κατά τη σύγκρουση των ακτίνων – X με τα ηλεκτρόνια των ατόμων τα ηλεκτρόνια ωθούνται α) σε εξαναγκασμένες ταλαντώσεις και ταυτόχρονη εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της ίδιας συχνότητας όπως της πρωτογενούς ακτινοβολίας – X (κλασική σκέδαση, σχήμα 4.2) και β) σε ακτινοβολία μικρότερης συχνότητας από ότι της πρωτογενούς ακτινοβολίας, ως συνεπακόλουθο αλμάτων τους από διάφορες ενεργειακές στάθμες σε άλλες ή και εξωστρακισμό των εξωτερικών ηλεκτρονίων από τα άτομα (σκέδαση Compton).



Σχήμα 4.2: Κλασική σκέδαση των ακτίνων – X πάνω στο άτομο.

Τα άτομα γίνονται έτσι σημεία από τα οποία εκπέμπονται κύματα, τα οποία στη περίπτωση της κλασικής σκέδασης είναι σύμφωνα (koharent) και κατά συνέπεια είναι δυνατόν να συμβάλουν κατά την αρχή των Huygens-Frensel με αποτέλεσμα να προκύπτουν λόγω διαφορών φάσης, κατά τόπους, διαφορές έντασής των. Όταν η διάταξη των ατόμων είναι μια περιοδική κανονικά επαναλαμβανόμενη διάταξη, αποτέλεσμα της κλασικής σκέδασης των ακτίνων – X. Δεδομένου ότι οι ακτίνες – X έχουν την ιδιότητα να διεισδύουν σε σχετικά μεγάλο βάθος μέσα στους κρυστάλλους δεν σκεδάζονται μόνον επί των ατόμων της επιφάνειας του κρυστάλλου αλλά επί των ατόμων ενός πολύ μεγάλου αριθμού δικτυωτών επιπέδων. Έτσι κάθε ηλεκτρόνιο του κρυσταλλικού πλέγματος, έως ένα βαθμό στο εσωτερικό του κρυστάλλου, μπορεί να αποτελέσει την απαρχήν ενός σφαιρικού κύματος. Χάριν απλότητας όμως ας θεωρήσουμε ότι τα ηλεκτρόνια κάθε ατόμου βρίσκονται στο κέντρο του ατόμου και το άτομο σαν μοναδικό σημείο σκέδασης. Για να επακολουθήσει της σκέδασης των κυμάτων θετικής συμβολή πρέπει να πληρούνται συγκεκριμένες γεωμετρικές προϋποθέσεις που είναι δυνατόν να περιγραφούν με τις εξισώσεις του LAUE.

4.6. Σύσταση αέριας φάσης

Όλα τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας περιέχουν πάντοτε σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αερίων, τα οποία απελευθερώνονται μαζί με τον ατμό κατά τη διάρκεια της εκτόνωσης του ρευστού. Η ισορροπία μεταξύ αέριας και υγρής φάσης καθορίζει την κατανομή των αερίων στις δύο φάσεις, τα οποία κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους μεταφέρονται στην αέρια φάση. Τα αέρια από μια γεωθερμική γεώτρηση ή από μια φυσική εκδήλωση αναφέρονται ως μη συμπυκνώσιμα αέρια (non-condensable gases), επειδή δε συμπυκνώνονται στις συνθήκες που εκπέμπονται ή στις συνθήκες λειτουργίας μιας γεωθερμικής μονάδας. Τα μη συμπυκνώσιμα αέρια αποτελούνται συνήθως κατά 60 – 100% από δύο αέρια, τα οποία απορροφούνται από διάλυμα NaOH: το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το υδρόθειο (H_2S). Τα υπόλοιπα αέρια, τα οποία δε διαλύονται σε αλκαλικό διάλυμα, αποτελούνται από άζωτο (N_2), υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο, αλλά και αιθάνιο), υδρογόνο (H_2), ευγενή αέρια (He, Kr, Ar και Xe), οξυγόνο (O_2) και αμμωνία (NH_3). Η αμμωνία, μαζί με το CO_2 , το CH_4 , το N_2 , το H_2 και το H_2S , αποτελούν την ομάδα των λεγόμενων χημικά δραστικών αερίων (reactive gases), επειδή συμμετέχουν στη χημική ισορροπία του συστήματος. Τα αέρια αυτά μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τις συνθήκες στον ταμιευτήρα, όπως π.χ. για τη θερμοκρασία. Τα αδρανή αέρια (ευγενή αέρια και υδρογονάνθρακες, εκτός από το μεθάνιο) δε συμμετέχουν σε χημικές αντιδράσεις, και μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την προέλευση των αερίων.

Η συγκέντρωση των μη-συμπυκνώσιμων αερίων στην αέρια φάση έχει ιδιαίτερη σημασία στην εκτίμηση και αξιολόγηση διαφόρων γεωθερμικών παραμέτρων, αλλά και στο σχεδιασμό των μονάδων εκμετάλλευσης της γεωθερμίας. Μερικά παραδείγματα είναι τα εξής:

- Από την ισορροπία των αερίων στις δύο φάσεις ή από τη φάση μεταξύ διαφορετικών αερίων, μπορεί να εκτιμηθεί η θερμοκρασία του ταμιευτήρα και η προέλευση των ρευστών.
- Η σύσταση και η διαβρωτική δράση των αερίων αποτελούν σημαντικές παραμέτρους στην επιλογή των υλικών των σωληνώσεων και των στροβίλων, του τρόπου απόληψης της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών και των μεθόδων δέσμευσης των περιβαλλοντικά επιβλαβών ουσιών.
- Η μεταβολή της σύστασης των αερίων (όπως επίσης και η μεταβολή της σύστασης του νερού) μπορεί να βοηθήσει στην εκτίμηση της επίδρασης του τρόπου αξιοποίησης των ρευστών πάνω στο γεωθερμικό σύστημα.

Αν και η σύσταση των μη-συμπυκνώσιμων αερίων από γεωθερμικές γεωτρήσεις (αλλά και από θερμές πηγές και ατμίδες) ποικίλει σε μεγάλο βαθμό, το κυρίαρχο αέριο που συνδέεται με τη γεωθερμική δραστηριότητα είναι το διοξείδιο του άνθρακα. Το δεύτερο σε αφθονία αέριο είναι το υδρόθειο, ιδιαίτερα σε ηφαιστειακές περιοχές. Βέβαια υπάρχουν και εξαιρέσεις, όπου το κυρίαρχο αέριο μπορεί να είναι το H_2S , το N_2 ή ακόμη και αέριοι υδρογονάνθρακες. Οι ατμίδες επάνω σε μαγματικά συστήματα χαρακτηρίζονται από την παρουσία σημαντικών ποσοτήτων HCl , H_2S και SO_2 . Σημειώνεται επίσης ότι η αέρια σύσταση μπορεί να αλλάζει σημαντικά, ποσοτικά κυρίως, και μέσα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο.

Συνδυάζοντας τις αναλύσεις της αέριας και της υγρής φάσης μιας γεώτρησης, είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων αερίων στο ρευστό πριν από την εκτόνωση, με την προϋπόθεση φυσικά ότι δεν έχει γίνει ανάμιξη με άλλο ρευστό σε χαμηλό βάθος. Οι μερικές πιέσεις των αερίων που υπολογίζονται

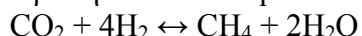
μπορούν τότε να συσχετιστούν με δεδομένα από την ισορροπία πετρώματος-ρευστού.

Το πρόβλημα της προέλευσης των διαλυμένων αερίων και γενικότερα των διαλυμένων συστατικών στα γεωθερμικά ρευστά έχει προκαλέσει αρκετές συζητήσεις τα τελευταία χρόνια, χωρίς να έχει δοθεί μέχρι τώρα ικανοποιητική και ολοκληρωμένη απάντηση. Αρχικά θεωρούνταν ότι η παρουσία CO₂ και H₂S (όπως και άλλων συστατικών) στα γεωθερμικά ρευστά ήταν αποτέλεσμα της μαγματικής προέλευσης των νερών.

Το CO₂ θεωρείται ότι παράγεται σε ορισμένες περιπτώσεις από διεγέρσεις θερμομεταμόρφωσης. Σε αρκετές άλλες περιπτώσεις, όμως, μπορεί να προέρχεται από βιολογικές αντιδράσεις (αποσύνθεση οργανικής ύλης σε ιζηματογενή πετρώματα), ενώ μεγάλες ποσότητες CO₂ μπορούν να παραχθούν μέσω αντιδράσεων υδρόλυσης ασβεστίτη και δολομίτη σε ιζηματογενείς περιοχές. Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, μέρος του CO₂ μπορεί να προέρχεται από την αντίδραση σύνθεσης μεταξύ ανθρακούχων πετρωμάτων και ιόντων υδρογόνου.

Το υδρόθειο μπορεί να παραχθεί από την εξαλλοίωση των πετρωμάτων του ταμιευτήρα ή να έχει μαγματική προέλευση. Είναι δυνατόν επίσης να απομακρυνθεί από τα γεωθερμικά ρευστά μέσω της αντίδρασής του με τα τοιχώματα των πετρωμάτων με το σχηματισμό αλάτων θειούχου σιδήρου.

Το μεθάνιο είναι ο πιο συνηθισμένος υδρογονάνθρακας που απαντάται στα γεωθερμικά ρευστά. Η παρουσία του μπορεί να εξηγηθεί σε αρκετές περιπτώσεις από την αντίδραση Fischer-Tropsch:



Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως γεωθερμόμετρο (προσδιορισμός της θερμοκρασίας στον ταμιευτήρα).

Η αμμωνία είναι το πλέον διαλυτό από τα γεωθερμικά αέρια. Η παρουσία της είναι μεγαλύτερη σε πεδία με ιζηματογενή πετρώματα από ότι σε συστήματα ηφαιστειακών πετρωμάτων.

Το περισσότερο άζωτο στα γεωθερμικά συστήματα είναι μετεωρικής προέλευσης, αν και ένα μέρος του είναι πιθανόν να έχει μαγματική προέλευση. Το άζωτο βρίσκεται σε μεγαλύτερα ποσοστά στα συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας, όπου μπορεί να είναι ακόμη και το κυρίαρχο αέριο.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα αδρανή αέρια (He, Ar, Kr και Xe) δεν προέρχονται βασικά από τα πετρώματα (με εξαίρεση κάποιες ποσότητες He και Ar) και είναι ατμοσφαιρικής προέλευσης. Το ⁴He και το ⁴⁰Ar προέρχονται από τη ραδιενεργό διάσπαση συστατικών των πετρωμάτων. Το πρώτο ισότοπο μπορεί να συνεισφέρει αρκετά στη συνολική συγκέντρωση του ήλιου, ενώ η συνεισφορά του δεύτερου ισότοπου είναι μικρή.

Τα αέρια που περιέχονται στον ταμιευτήρα του πεδίου χαμηλής ενθαλπίας της ιζηματογενούς περιοχής της λεκάνης των Παρισίων (όπου επικρατεί ο ασβεστόλιθος) πιστεύεται ότι προέρχεται από την επίδραση θερμών νερών στη διαγένεση των πετρωμάτων και από βιολογικές και θερμικές αντιδράσεις. Η παραγωγή μεθανίου από μικρο-οργανισμούς συμβαίνει μόνο σε θερμοκρασίες μικρότερες των 75°C. Σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες τα βακτηρίδια αποσυντίθενται και η παραγωγή CH₄ ελέγχεται από άλλες διεργασίες. Οι σημαντικές ποσότητες C₂H₆ μάλλον είναι αποτέλεσμα διάχυσής του από περιοχές που περιέχουν πετρέλαιο. Τέλος, το N₂ προέρχεται από τρεις πηγές: την ατμόσφαιρα, την αναγωγή νιτρικών ιόντων και τη βακτηριακή αποικοδόμηση.

4.7. Υδροθερμική εξαλλοίωση

Καθώς τα γεωθερμικά ρευστά προχωρούν και κινούνται μέσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς αντιδρούν χημικά με τα πετρώματα. Υδροθερμική

εξαλλοίωση είναι ο όρος που αναφέρεται στις ορυκτολογικές μεταβολές που προκαλούνται στα πετρώματα από την αλληλεπίδραση με τα γεωθερμικά ρευστά. Ορισμένα ορυκτά των πετρωμάτων που αποτελούν τον ταμιευτήρα μπορεί να διαλύονται επιλεκτικά από τα ρευστά, ενώ ορισμένα άλατα μπορεί να κατακρημνίζονται από το διάλυμα. Ακόμη, ορισμένα χημικά στοιχεία από τα ρευστά μπορεί να αντικαταστήσουν κάποια άλλα στοιχεία σε ένα ορυκτό. Αυτές οι ορυκτολογικές-χημικές αλλαγές στα πετρώματα του ταμιευτήρα μπορούν να προκαλέσουν μεταβολές του ελεύθερου χώρου στα πετρώματα, δηλαδή μπορούν να επηρεάσουν και να τροποποιήσουν την υδροπερατότητα και το πορώδες των πετρωμάτων. Προφανώς, αν το βάρος του πετρώματος, αυξάνει, αυτό θα γίνει εις βάρος των κενών του πετρώματος και κάτι τέτοιο θα προκαλέσει ελάττωση της υδροπερατότητας. Η μετατροπή ορισμένων ορυκτών λόγω του pH και της θερμοκρασίας σε άλλα του αργίλου δημιουργούν επίσης στεγανοποίηση του αρχικού πετρώματος, γεγονός που επιδρά σημαντικά στα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πεδίου.

Σε θέσεις όπου η πίεση, η θερμοκρασία ή ο χημισμός του πετρώματος μεταβάλλονται απότομα, τα ορυκτά μπορεί να κατακρημνίζονται και να αποτίθενται στα διάκενα του πετρώματος, με αποτέλεσμα αυτά να αποφράζουν τα διάκενα και να εμποδίζουν ή να αποκλείουν την κίνηση των ρευστών. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) είναι τα κύρια ορυκτά που αποτίθενται στα κενά των πετρωμάτων. Η διαλυτότητα του SiO_2 αυξάνει με τη θερμοκρασία, ενώ οι μεταβολές της πίεσης έχουν πολύ μικρή άμεση επίδραση. Το SiO_2 μπορεί να κατακρημνίζεται και να αποτίθενται σε διάκενα (πόρους, ρωγμές και ανοιχτά ρήγματα), σε περιοχές όπου λαμβάνει χώρα ελάττωση της θερμοκρασίας των ρευστών κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, αλλά και στην επιφάνεια, στα σημεία εκφόρτισης θερμών πηγών. Ο χαλαζίας, το πιο συνηθισμένο πυριτικό ορυκτό, βρίσκεται σε φλέβες σε σύγχρονα γεωθερμικά συστήματα, καθώς επίσης και σε κοιτάσματα, μερικά από τα οποία σχηματίζουν απολιθωμένα γεωθερμικά συστήματα.

Ο ασβεστίτης (όπως και ο αραγωνίτης) παρουσιάζει αντίστροφη (ή ανάδρομη) διαλυτότητα, δηλαδή η διαλυτότητά του μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Άλλα ανθρακικά ορυκτά (όπως ο δολομίτης, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), καθώς και θειικά ορυκτά (όπως ο ανυδρίτης, CaSO_4) δείχνουν παρόμοιες σχέσεις ανάδρομης διαλυτότητας με τη θερμοκρασία. Επιπλέον, η διαλυτότητα των ανθρακικών ορυκτών μειώνεται με την ελάττωση της μερικής πίεσης του CO_2 . Έτσι καθώς τα ρευστά που είναι κορεσμένα σε διαλυμένα ανθρακικά πλησιάζουν στην επιφάνεια, ανθρακικά ορυκτά, όπως ο ασβεστίτης, αποτίθενται ως αποτέλεσμα της απώλειας του CO_2 , το οποίο διαφεύγει από το διάλυμα με την ελάττωση της υδροστατικής πίεσης. Παράδειγμα τέτοιων αποθέσεων απαντώνται κατά μήκος ρηγμάτων στην περιοχή Νυμφόπετρας Θεσσαλονίκης, οι οποίες σχηματίστηκαν στον παλαιό πυθμένα της λίμνης.

Τα διάφορα υδροθερμικά συστήματα βρίσκονται πάντα σε μια δυναμική κατάσταση. Δηλαδή, για οποιονδήποτε δεδομένο όγκο στοιχείου του ταμιευτήρα, η χημική σύσταση του ρευστού σε εκείνον τον όγκο μεταβάλλεται αργά με το χρόνο, επιφέροντας μεταβολή στη σύσταση του πετρώματος, στο πορώδες και στην υδροπερατότητα. Εντούτοις, επειδή η ταχύτητα της κυκλοφορίας του ρευστού είναι ίσως μόνο λίγα εκατοστά ή λίγα μέτρα το χρόνο, στα περισσότερα υδροθερμικά συστήματα υπάρχει μια κατάσταση χημικής ισορροπίας ή σχεδόν ισορροπίας μεταξύ του ρευστού του ταμιευτήρα και των πετρωμάτων του ταμιευτήρα. Η έλλειψη ισορροπίας θα μπορούσε να εκληφθεί ως απόδειξη ταχείας κίνησης του ρευστού διαμέσου του ταμιευτήρα.

4.8. Χημική γεωθερμία ρευστών

Οι χημικές αναλύσεις των γεωθερμικών ρευστών μπορούν να χρησιμοποιηθούν μερικές φορές για να εκτιμηθεί η θερμοκρασία του υπόγειου ταμιευτήρα. Η πληροφορία αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον κατά τη διάρκεια της έρευνας, ειδικά όταν δεν είναι διαθέσιμες πληροφορίες από βαθιές γεωτρήσεις. Επιπλέον, η πληροφορία είναι σημαντική και κατά τη διάρκεια της ανόρυξης των γεωτρήσεων για τους παρακάτω λόγους. Πρώτον, ακριβείς μετρήσεις της θερμοκρασίας δεν μπορούν να γίνουν σε μια γεώτρηση, μέχρις ότου εξαλειφθούν εντελώς οι επιδράσεις στη θερμοκρασία κατά τη διαδικασία της ανόρυξης της γεώτρησης, δηλαδή μέχρις ότου επέλθει θερμική ισορροπία, και συνεπώς αφού περάσει ένα χρονικό διάστημα εβδομάδων μέχρι μηνών μετά το πέρας της ολοκλήρωσης της γεώτρησης. Δεύτερον, η χημική γεωθερμομετρία μπορεί να υποδείξει ότι θερμοκρασίες υψηλότερες από εκείνες που βρέθηκαν μέσα σε μια γεώτρηση μπορούν να βρεθούν κάπου αλλού στην ευρύτερη περιοχή.

4.8.1. Γεωθερμομετρία νερών

Πολυάριθμα εμπειρικά χημικά γεωθερμόμετρα, βασισμένα σε συγκεκριμένα συστατικών των νερών, έχουν χρησιμοποιηθεί με μικρότερη ή μεγαλύτερη επιτυχία για την εκτίμηση της θερμοκρασίας στους γεωθερμικούς ταμιευτήρες.

Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) είναι ένα ενδιαφέρον συστατικό των φυσικών νερών, του οποίου η διαλυτότητα μεταβάλλεται σε σχέση με τη θερμοκρασία και με γνωστό τρόπο. Η περιεκτικότητα σε SiO_2 των γεωθερμικών ρευστών φαίνεται να περιορίζεται πάνω από τους 160°C από τη διαλυτότητα του ορυκτού χαλαζία και κάτω από τους 164°C από τη διαλυτότητα του άμορφου SiO_2 . Επειδή ορισμένα γεωθερμόμετρα του πυριτίου βασίζονται στην ισορροπία με τα ορυκτά χαλκηδόνιος, α -χριστοβαλίτης ή β -χριστοβαλίτης, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ποια πυριτικά ορυκτά υπάρχουν στα πετρώματα του ταμιευτήρα. Αν δεν υπάρχουν σε αυτό το σημείο διαθέσιμες πληροφορίες από γεωτρήσεις, θα πρέπει να στηριχθούμε στη γεωλογική έρευνα.

Ένα άλλο σύστημα γεωθερμομέτρων βασίζεται στην ισορροπία που επέρχεται μεταξύ των διαφόρων αλκαλίων (Na, K, Mg, Li) με πετρώματα που περιέχουν χαλαζία και αστρίους. Έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Na, K, Mg μπορεί να μας οδηγήσουν στην εκτίμηση της θερμοκρασίας των ρευστών στον ταμιευτήρα, όταν πρόκειται για γεωθερμικά συστήματα 50 - 300°C . Χρησιμοποιείται ένα τρίγωνο σχήμα με ισόθερμες καμπύλες που κατασκεύασε ο Giggenbach (1988), και βελτίωσε αργότερα ο Fournier (1990). Στις κορυφές του τριγώνου απεικονίζονται οι συγκεντρώσεις των στοιχείων $\text{Na}/1000$, $\text{K}/100$ και $\text{Mg}^{1/2}$. Είναι μια πολύ καλή γεωθερμομετρική μέθοδος, η οποία επιτρέπει και την αναγνώριση νερών που έχουν επιτύχει ισορροπία με τα φιλοξενούνται πετρώματα.

4.8.2. Γεωθερμομετρία αερίων

Στην γεωθερμική έρευνα για την αναζήτηση ενεργών γεωθερμικών ρηγμάτων χρησιμοποιούνται και μερικά ευκίνητα αέρια, που ανιχνεύονται εύκολα και μετρούνται με αναλύσεις ακριβείας σε επιφανειακά στρώματα εδάφους (σε βάθος μέχρι 1 m). Τέτοια αέρια είναι το ραδόνιο (Rn), το CO_2 , το H_2S , ο υδράργυρος στην αέρια φάση και τα ευγενή αέρια (κυρίως το He), που διαπερνούν εύκολα τις γεωθερμικές υδροπερατές και μη ζώνες, μέχρι να φτάσουν στην ατμόσφαιρα ή στα πρώτα μέτρα της επιφάνειας.

Η αυξημένη συγκέντρωσή τους στο έδαφος συμπίπτει συνήθως με βαθιά και ενεργά γεωθερμικά ρήγματα ή υποκείμενους γεωθερμικούς υδροφόρους. Η δειγματοληψία γίνεται με ανοξείδωτες «κούφιες» βέργες, οι οποίες διατρυπών εύκολα το έδαφος σε βάθος ενός μέτρου. Τα αέρια αναρροφώνται με σύριγγα και

τοποθετούνται σε κατάλληλους δειγματολήπτες (μεταλλικούς ή πλαστικούς) στους οποίους έχει δημιουργηθεί κενό, μέχρι να φτάσουν στο εργαστήριο για ανάλυση.

Το Rn είναι ως γνωστό ένα φυσικό ραδιενεργό αέριο που εύκολα μετακομίζει προς την επιφάνεια, είτε διαλυμένο στο νερό είτε μέσα από κανονικά ανοικτά ρήγματα ή κενά του υπεδάφους. Το He από τα ευγενή αέρια είναι ιδιαίτερα «ευκίνητο» και ακολουθεί την ίδια πορεία με το ραδόνιο. Εξαιτίας της ιδιότητας του να διαπερνά ακόμα και υπερκείμενα του ταμιευτήρα στεγανά καλύμματα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον εντοπισμό κρυμμένων ταμιευτήρων.

Η χρήση των αερίων του εδάφους μπορεί να αποτελέσει συμπληρωματική μέθοδο έρευνας, π.χ. για την επιβεβαίωση κάποιου σημαντικού και μη ορατού-καλυμμένου ρήγματος που πιθανολογείται από κάποια γεωφυσική μέθοδο.

Στη γεωχημική έρευνα και για ποικίλους λόγους δίνεται μικρότερο βάρος στα αέρια σε σχέση με τα νερά. Πράγματι, η δειγματοληψία των αερίων είναι πολύ λεπτή εργασία, αφού η περιεκτικότητα των αερίων μεταβάλλεται μέσα στο ίδιο το πεδίο, ενώ η ευαισθησία της ισορροπίας των αερίων σε σχέση με την πίεση, οι διεργασίες διαχωρισμού ατμού-νερού και η μεταβολή της θερμοκρασίας αποτελούν τους αδύναμους κρίκους της γεωχημείας των αερίων σε όλες τις φάσεις της γεωθερμικής έρευνας και ανάπτυξης του πεδίου.

Αέρια μπορούν να συλλεχθούν από τα εξής σημεία:

- Ατμίδες, όπου κυριαρχεί ο ατμός, αλλά συνυπάρχουν σημαντικές ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων, με κυρίαρχο αέριο το CO₂,
- «kairohan», όπου κυριαρχεί το CO₂ και λίγο H₂S, σε συνθήκες πολύ χαμηλής θερμοκρασίας, σε περιβάλλον αργίλων και σήψης οργανικών ουσιών,
- θειωνιές, όπου στα αέρια κυριαρχεί το SO₂ με/ ή χωρίς H₂S,
- εδάφη με άφθονο ατμό από αναβράζον γεωθερμικό νερό, τα οποία συνυπάρχουν πολλές φορές με υδροθερμικούς κρατήρες, όξινες πηγές και λεκάνες ιλύος,
- θερμές αναβλύσεις νερού με αέρια, στις οποίες η δειγματοληψία είναι δύσκολη, γιατί εύκολα υπεισέρχεται ο ατμοσφαιρικός αέρας και
- γεωτρήσεις, με θερμό ατμό ή νερό που περιέχει και αέρια.

Η σύσταση του παραγόμενου ατμού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες: τη θερμοκρασία και την πίεση του ταμιευτήρα, τη διαλυτότητα των αερίων στην υγρή φάση, το συντελεστή κατανομής των αερίων, την πίεση και θερμοκρασία διαχωρισμού του ατμού, τις αντιδράσεις στον ατμό κατά την άνοδο, όπως π.χ. συμπύκνωση, οξειδωση, αντίδραση με τα πετρώματα, ρύπανση από τον ατμοσφαιρικό αέρα ή από προϊόντα οργανικής εξαλλοίωσης (NH₃, CO₂, CH₄).

Η πλειονότητα των γεωθερμομέτρων αερίων προϋποθέτει τη γνώση των λόγων αερίων/ατμού και ατμού/νερού στην περίπτωση των ταμιευτήρων με υπέρθερμο νερό. Παρόλο που ο ατμός και η αντίστοιχη υγρή φάση εξέρχονται σπάνια μαζί στην επιφάνεια, οι παραπάνω λόγοι δεν μπορούν να προσδιοριστούν για θερμές πηγές ή ατμίδες, γεγονός που περιορίζει την εφαρμογή των γεωθερμομέτρων αερίων μόνο για τις εκροές των γεωτρήσεων. Εξαιρεση αποτελούν το εμπειρικό γεωθερμόμετρο των D' Amore & Panichi (1987), που βασίζεται στο σύστημα CO₂-H₂S-H₂-CH₄, και τα γεωθερμόμετρα CO, CO₂ και H-Ar, τα οποία μπορούν να εφαρμοσθούν τόσο σε φυσικές εκροές, όσο και σε γεωτρήσεις.

4.8.3. Γεωχημική έρευνα πετρωμάτων και υδροθερμικών εξαλλοιώσεων και αποθέσεων – Γεωθερμομετρία ορυκτών

Τα πετρώματα μέσα στα οποία κυκλοφορούντα γεωθερμικά ρευστά στο υπέδαφος επηρεάζουν όπως είναι φυσικό τη σύστασή τους. Συμβαίνει όμως και το αντίθετο, δηλαδή τα ρευστά, αντιδρώντας με τα πετρώματα, αλλοιώνουν πολλά συστατικά τους (ορυκτά), μερικές φορές τα διαλύουν εντελώς. Τα συστατικά που προσλαμβάνονται από τα νερά είτε διατηρούνται στο διάλυμα είτε αποτίθενται σε άλλο σημείο, όταν αλλάξουν οι γεωχημικές και γεωθερμικές συνθήκες. Έτσι, έχουν δύο κύρια φαινόμενα (με άλλα ενδιάμεσα): α) εξαλλοίωση των πετρωμάτων στα οποία κυκλοφορούν τα γεωθερμικά ρευστά και το φαινόμενο καλείται υδροθερμική εξαλλοίωση, και β) απόθεση νέων ορυκτών ή ενώσεων από τα υδροθερμικά ρευστά, τα οποία καλούνται υδροθερμικά προϊόντα.

Η «κινητικότητα» των διαφόρων συστατικών μέσα στο γεωθερμικό νερό ποικίλει. Μερικά συστατικά μεταφέρονται και φτάνουν πράγματι σε μεγάλη απόσταση (π.χ. ο υδράργυρος, το αρσενικό, το μαγγάνιο και ο ψευδάργυρος), ακόμα και με ρευστά που έχουν μικρότερες θερμοκρασίες. Η ανίχνευσή τους χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό π.χ. ενεργών και «ανοικτών» ρηγμάτων, μέσα στα οποία κινούνται, ώσπου να φθάνουν πιο κοντά ή και επάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Ο υδράργυρος έχει και ένα άλλο χαρακτηριστικό: «αποφεύγει» τις μεγάλες θερμοκρασίες και γι' αυτό κινείται εύκολα προς τα πάνω, αλλά και έξω από τις θερμές περιοχές, και συγκεντρώνεται στην επιφάνειά του. Η συγκέντρωσή του λοιπόν μας δίνει τα εξωτερικά όρια ενός ενεργού ή απολιθωμένου ενεργού πεδίου.

Όταν τα πετρώματα αντιδρούν χημικά με θερμά ρευστά, έχουμε δύο κύρια αποτελέσματα: α) την ορυκτογένεση, με απόθεση ορυκτών στα ίχνη των ρευστών και σχηματισμό φλεβών και πληρώσεων πόρων-κενών και β) την υδροθερμική εξαλλοίωση. Το δεύτερο φαινόμενο επιτρέπει τη χαρτογράφηση των ορίων των γεωθερμικών συστημάτων, αλλά και τον προσδιορισμό των θερμοκρασιών στις οποίες σχηματίστηκαν, και βοηθά στον εντοπισμό των ζωνών ανόδου και τροφοδοσίας του γεωθερμικού συστήματος.

Η συγκέντρωση φλεβικών ορυκτών αλλά και η παρουσία συγκεκριμένων ορυκτών σε γεωθερμικά συστήματα δημιουργούν «ζωνώσεις», κυρίως με το βάθος, αν και ορισμένες αναπτύσσονται και πλευρικά, εξαιτίας τεκτονικών αιτιών. Αποτελούμενες από διαφορετικά ορυκτά, οι φλέβες σχηματίζονται σε θέσεις όπου παρουσιάζονται απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας, μεταβολή της ορυκτολογίας των πετρωμάτων και ορισμένοι ακόμη παράγοντες. Τα συνηθέστερα ορυκτά σε υδροθερμικές φλέβες είναι ο χαλαζίας (SiO_2) σε μεγαλύτερη θερμοκρασία και ο ασβεστίτης (CaCO_3) σε μικρότερη. Συνήθως έχουμε μικρότερες ποσότητες και άλλων ορυκτών, όπως καλιούχους αστρίους και επίδοτο. Οι φλέβες ή τα διάσπαρτα ορυκτά των γεωθερμικών συστημάτων μπορεί να περιέχουν και ενδιαφέρονται οικονομικά μεταλλοφόρα ορυκτά, όπως σιδηροπυρίτη, «άορατο» χρυσό, θειούχο μόλυβδο και θειούχο ψευδάργυρο. Ο χρυσός είναι επιθερμικός και μπορεί να αποτελέσει τμήμα ενεργών ή πρόσφατων γεωθερμικών συστημάτων, όπως συμβαίνει στο σύστημα της Μήλου.

Ο συνδυασμός των φλεβικών ορυκτών δίνει ενδείξεις της θερμοκρασίας των ρευστών και των πετρωμάτων κατά το χρόνο απόθεσής τους και τη χημική σύσταση των θερμών νερών που τους περιείχαν. Ορυκτά όπως το επίδοτο και ο βαϊρακίτης για παράδειγμα σχηματίζονται μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες ($>200^\circ\text{C}$) και αποτελούν πολύ χρήσιμους θερμομετρικούς δείκτες, γιατί η ανεύρεσή τους συνδυάζεται μόνο με γεωθερμικά συστήματα υψηλής θερμοκρασίας. Το ορυκτό ανυδρίτης (CaSO_4) μπορεί να σχηματισθεί μόνο όταν τα ρευστά περιέχουν οξυγόνο, επομένως σχηματίζεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους ή σε μία ζώνη τροφοδοσίας, όπου επιφανειακό οξυγονούχο νερό οδεύει προς το γεωθερμικό σύστημα.

Τα πετρώματα μπορούν να εξαλλοιωθούν υδροθερμικά και μερικά ορυκτά τους να εισέλθουν στο διάλυμα και άλλα να αποθεθούν αλλού. Άλλοτε ένα ορυκτό αλλάζει και αντικαθίστανται από ένα άλλο. Μερικά ορυκτά αντιδρούν χημικά περισσότερο έντονα από άλλα (π.χ. οι άστριοι εξαλλοιώνονται εύκολα σε αργιλικά ορυκτά, ενώ ο χαλαζίας μένει αναλλοίωτος). Τα πετρώματα των γεωθερμικών ταμιευτήρων δείχνουν σημάδια υδροθερμικής εξαλλοίωσης, ενώ συγχρόνως είναι γεμάτα από φλέβες ορυκτών που αποτέθηκαν από τα υδροθερμικά συστήματα.

Η δημιουργία και η κατανομή των φλεβικών αργιλικών και πυριτικών ορυκτών σε υδροθερμικά εξαλλοιωμένα πετρώματα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία. Σε χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από τους 150°C) η σταθερή συσσώρευση ορυκτών αποτελείται από δολομίτη, καολινίτη, σμεκτίτη και διαστρωνένο ιλλίτη/σμεκτίτη. Με αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τους 150-175°C η τυπική συσσώρευση ορυκτών αποτελείται από ιλλίτη, χλωρίτη, καλιούχο άστροιο και χαλαζία. Επίδοτος και βαίρακίτης εμφανίζονται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 200-230°C.

Ένα άλλο σημαντικό αποτέλεσμα των ορυκτών από υψηλότερες θερμοκρασίες είναι η δημιουργία εύθραυστων πετρωμάτων, κάτι που διευκολύνει την κυκλοφορία των ρευστών σε περιοχές με ενεργό τεκτονική (ρήγματα, διαρρήξεις κτλ.). Αντίθετα, πετρώματα με εξαλλοίωση σε χαμηλότερη θερμοκρασία είναι σχετικά μαλακά ή πλαστικά και παρουσιάζουν περιορισμένη περατότητα. Συνεπώς, προσφέρονται για να σχηματίσουν γεωθερμικό κάλυμμα.

Οι όξινες-θειούχες πηγές αποθέτουν κοντά στην επιφάνεια διάφορα ορυκτολογικά κατάλοιπα, που περιέχουν αυτόχθον θείο, κιννάβαρι, θειικά ορυκτά, οξειδία του σιδήρου και αργιλικά ορυκτά. Τέτοιες εξαλλοιωμένες περιοχές μπορούν να αναγνωριστούν στην υπαίθρια έρευνα, ως ένδειξη ενεργού ή πρόσφατης γεωθερμικής δραστηριότητας.

Μια χαρακτηριστική υδροθερμική εξαλλοίωση ενδιάμεσης θερμοκρασίας δημιουργεί την αργιλοποίηση (καολινιτίωση ή μπεντονιτίωση) των ηφαιστιαίων, μετατρέποντάς τους από περατούς σε εντελώς στεγανούς σχηματισμούς. Επιτυγχάνεται δηλαδή αυτοστεγανοποίηση (self sealing), καθιστώντας έτσι τους πρώην ηφαιστίτες σε ιδανικούς σχηματισμούς για το ρόλο του καλύμματος. Η μπεντονιτίωση χρειάζεται ρευστά 150-180°C και pH μάλλον αλκαλικό. Η καολινιτίωση ρευστά 120-150°C και pH όξινο, με τη συμμετοχή των πιο επιφανειακών ρευστών. Τέλος, η πυριτίωση απαιτεί ρευστά ακόμη μικρότερης θερμοκρασίας. Η παραπάνω στρωματοποίηση και ζώνωση των υδροθερμικών εξαλλοιώσεων στη γεωθερμομετρία. Κλασικό παράδειγμα βρίσκουμε στη Μήλο. Ο συνδυασμός των υδροθερμικών ορυκτών και η δημιουργία σχετικού πίνακα με χαρακτηριστικές ζώνες παρουσιάζεται στον πίνακα 4.4 που ακολουθεί και αποτελεί σημαντικό πρακτικό βοήθημα στη γεωθερμική έρευνα.

Πίνακας 4.4 Συνδυασμός των υδροθερμικών ορυκτών και η δημιουργία σχετικού πίνακα με χαρακτηριστικές ζώνες.

| Υδροθερμική ζώνη | Κυριότερα ενδεικτικά ορυκτά | Θερμοκρασία μετάβασης (°C) |
|---|--|----------------------------|
| α) Αργιλλική Ζώνη | Αργιλλικά ορυκτά (μοντοριλλονίτης, καολονίτης, ιλλίτης) | Μέχρι 150 |
| β) (1) Φυλλιτική Ζώνη (2) Φυλλιτική-ζεολιθική Ζώνη | Εξαφάνιση του μοντοριλλονίτη, σερικίτης-μουσκοβίτης, χλωρίτης Όπως παραπάνω, συν ζεδίθοι | 150-220 |
| γ) Προπυλιτική Ζώνη | Επίδοτο, αλβίτης, αδουλάριος, χαλαζίας | Μεγαλύτερη από 200 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

5.1. ΚΑΒΑΣΙΛΑ

5.1.1. Γενικά:

Στην Κοινότητα Καβασίων και σε απόσταση 14 km ΒΔ από την Κόνιτσα και 4 km από την Κοινότητα βρίσκονται οι θερμομεταλλικές πηγές Καβασίων. Αναβλύζουν στη βάση του πρηνούς στη νότια όχθη του ποταμού Σαραντάπορου και τα νερά τους χύνονται στον ποταμό.

Στη νότια αυτή πλευρά του ποταμού, προς το χωριό Καβάσιλα, βρίσκονται οι κύριες πηγές, που είναι τέσσερις και αναβλύζουν σε μικρή απόσταση η μια με την άλλη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κοντά στις κύριες αναβλύσεις υπάρχουν και άλλες μικρότερες που αναβλύζουν εποχιακά και βρίσκονται ΒΑ των κυρίων αναβλύσεων και επί της κοίτης του ποταμού. Επίσης από την απέναντι πλευρά (βόρεια) του ποταμού αναβλύζουν πηγές σε μια απόσταση 300 m επί της κοίτης του ποταμού (πηγές Πυξαριάς) και απέχουν από τις πηγές Καβασίων περίπου 500 m.

Στην ευρύτερη περιοχή, εντός του Αλβανικού εδάφους, σε απόσταση 3 km περίπου, υπάρχουν αξιοποιημένες πηγές της ίδιας ποιότητας. Επίσης ΒΑ σε απόσταση 5 km έχουμε μικρές αναβλύσεις θερμού μεταλλικού νερού στην περιοχή Αγίας Βαρβάρας.

5.1.2. Σημερινή κατάσταση:

Με την επίβλεψη των Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχίας Ιωαννίνων έχει κατασκευαστεί ένα μικρό λουτροθεραπευτήριο, που έχει αρχίσει την λειτουργία του από το Μάιο του 1986. Την εκμετάλλευση του λουτροθεραπευτηρίου αυτού έχει ο φορέας που δημιουργήθηκε υπό μορφή Δημοτικό-Κοινοτικής Επιχείρησης, σύμφωνα με το άρθρο 44 του Ν. 1416/1984, με την επωνυμία ΛΟΥΤΡΑ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ-ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑΣ ΚΟΝΙΤΣΑΣ Α.Ε.

Μέτοχοι της Εταιρείας είναι:

| | | |
|---|------------------------|-----|
| – | Δήμος Κόνιτσας | 27% |
| – | Κοινότητα Καβασίων | 27% |
| – | Κοινότητα Αγ. Βαρβάρας | 27% |
| – | Εταιρεία ΗΠΕΙΡΟΣ Α.Ε. | 19% |

Το λουτροθεαυτηριο αυτό είναι μικρής δυναμικότητας και υπολογίζεται ότι θα εξυπηρετεί 40 περίπου άτομα την ημέρα.

5.2. ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ

5.2.1. Γενικά:

Οι πηγές βρίσκονται κοντά στην εθνική οδό 20, απέχουν 70 km από τα Γιάννενα, 27 km από την Κόνιτσα και 5 από τον Αμάραντο, σε υψόμετρο 1260m απέναντι από τα Αλβανικά σύνορα.

Ο ζεστός ατμός βγαίνει από τις σχισμές των βράχων. Ειδικότερα στην περιοχή της κάθετης επαφής των γεωλογικών στρωμάτων εξέρχεται ζεστός υγρός

αέρας από τα ασβεστολιθικά πετρώματα ενός κατακόρυφου τοίχου διαμέσου 27 σχισμών. Ο εξερχόμενος ατμός σε μερικές πηγές είναι περισσότερος και σε άλλες λιγότερος.

Οι ατμούχες αυτές πηγές βρίσκονται σε 1260 m ύψος, δηλ. σε μεγαλύτερο ύψος από τις θερμές μεταλλικές πηγές της περιοχής. Τα γεωλογικά στρώματα της γύρω περιοχής είναι ασβεστολιθικά. Διαμέσου των καναλιών και των σχισμών των ασβεστολιθικών στρωμάτων εξέρχονται οι ατμοί, οι οποίοι σε αρκετό βάθος έρχονται σε επαφή με ζεστά μεταλλικά νερά. Έτσι έχουμε τον ζεστό ατμό σε μορφή φυσικών ανακυκλώσεων αέρος, ο οποίος παίρνει θερμότητα από θερμές μεταλλικές υπόγειες δεξαμενές που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος.

5.2.2. Σημερινή κατάσταση:

Σήμερα την εκμετάλλευση των πηγών την έχει ο φορέας που δημιουργήθηκε υπό μορφή Κοινοτικής Εταιρείας Λαϊκής Βάσης, σύμφωνα με το άρθρο 45 του Ν. 1416/84 με την επωνυμία ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ Α.Ε.

Μέτοχοι της Εταιρείας είναι:

- Κοινότητα Αμαράντου
55%
- Φυσικά πρόσωπα καταγόμενα από τον Αμάραντο
43%
- Εταιρεία ΗΠΕΙΡΟΣ Α.Ε.
2%

Για την σημερινή αξιοποίηση και εκμετάλλευση των πηγών υπάρχει ένα κτίριο κατασκευής του 1940 και στη συνέχεια έγιναν πρόχειρα καταλύματα από ιδιώτες καταγόμενους από τον Αμάραντο. Οι συνθήκες διαμονής των λουομένων πιστεύεται ότι είναι πρωτόγονες και προσβάλουν κάθε έννοια πολιτισμού.

Η αξιοποίηση των πηγών πέραν των συγκεκριμένων κοινωνικών και οικονομικών ωφελειών επιβάλλεται να πραγματοποιηθεί με σύγχρονες μεθόδους και για λόγους καθαρά ανθρωπιστικούς, γιατί πρόκειται για πηγές που διαθέτουν αξιόλογες θεραπευτικές ιδιότητες.

5.3. Προτάσεις – Προοπτικές

Στον καινούργιο Δήμο της Κόνιτσας ανήκουν οι Κοινότητες Καβασιλών και Αμαράντου ως δημοτικά διαμερίσματα. Γι' αυτό πρέπει να δημιουργηθεί μια εταιρεία για την αξιοποίησή τους. Κάθε χρόνο επισκέπτονται τις πηγές πλήθος ασθενών. Η θέση των πηγών συνδυάζεται και με το άριστο φυσικό περιβάλλον και οι υπάρχουσες προτάσεις για τις δύο πηγές ξεχωριστά είναι οι παρακάτω:

Καβάσιλα

1. Ολοκληρωμένη αξιοποίηση πηγών
2. Ιεράρχηση αναγκαίων έργων
 - Περιβάλλοντος χώρου
 - Προστασίας πηγών
 - Ατομικών λουτήρων (8 λουτήρων, ανά 4 ανδρών και γυναικών)
 - Μικρής ξενοδοχειακής μονάδας
 - Διαμόρφωση φυσικών λεκανών λουτροθεραπείας

- Βελτίωση λειτουργικών αναγκών υφισταμένου λουτροθεραπευτηρίου
- Βελτίωση θερμοκρασίας νερού από 30° C σε 37-39°C
- Αξιοποίηση της λάσπης για θεραπευτική χρησιμότητα
- Ιατρική
- Λοιπές χρήσεις θερμού νερού
- Εμφιάλωση (μελέτη σκοπιμότητας)
- Γεωργικές χρήσεις-θερμοκήπια υψηλής τεχνολογίας
- Θέρμανση κτιριακών εγκαταστάσεων

Αμάραντος

1. Ολοκληρωμένη αξιοποίηση των πηγών
2. Ιεράρχηση αναγκαίων έργων
 - Περιβάλλοντος χώρου
 - Προστασίας πηγών
 - Μελέτη λουτροθεραπευτηρίου
 - Διαμόρφωση ευρύτερου χώρου-τοποθέτηση λειτουργικών αναγκών-Ξενοδοχείο -λοιπές υπηρεσίες
 - Ιατρική
3. Λοιπές χρήσεις θερμού αέρα
 - θερμοκήπια λουλουδιών

Για όσα αναφέρθηκαν παραπάνω η Εταιρεία Αγροτικής Ανάπτυξης ΗΠΕΙΡΟΣ Α.Ε. με τις Κοινοτικές Εταιρείες λειτουργίας των πηγών, που αναφέρθηκαν ανωτέρω, και με απώτερο σκοπό την καλύτερη και ορθολογικότερη αξιοποίηση αυτών προς όφελος του τοπικού πληθυσμού και της περιφέρειας γενικότερα, συνεργάστηκαν και συνεργάζονται με την Τσεχοσλοβακική Εταιρεία HYDROCONSULT-BRATISLAVA, υπεύθυνη για θέματα θερμομεταλλικών και ατμούχων πηγών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

6.1 ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Ελήφθησαν δείγματα πετρωμάτων και εδάφους από περιοχές που βρίσκονται σχετικά κοντά στα δημοτικά διαμερίσματα Καβάσιλα και Αμάραντος (παράρτημα - φωτογραφίες). Λογικά είναι η ίδια φλέβα αλλά αυτά τα σημεία είναι καινούργια ανοίγματα που πολύ πιθανόν να δημιουργήθηκαν από τους σεισμούς που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια στην περιοχή της Κόνιτσας. Τα ανακάλυψαν βοσκοί και κυνηγοί των κοντινών χωριών και από στόμα σε στόμα έγινε γνωστή η ύπαρξή τους. Για την ακρίβεια δεν ασχολήθηκε ακόμα κάποια εταιρεία ούτε ο δήμος, δεν ήταν σίγουρο ότι αυτοί οι ατμοί είχαν σχέση με τις πηγές. Παρακάτω φαίνονται οι αναλύσεις των δειγμάτων αυτών.

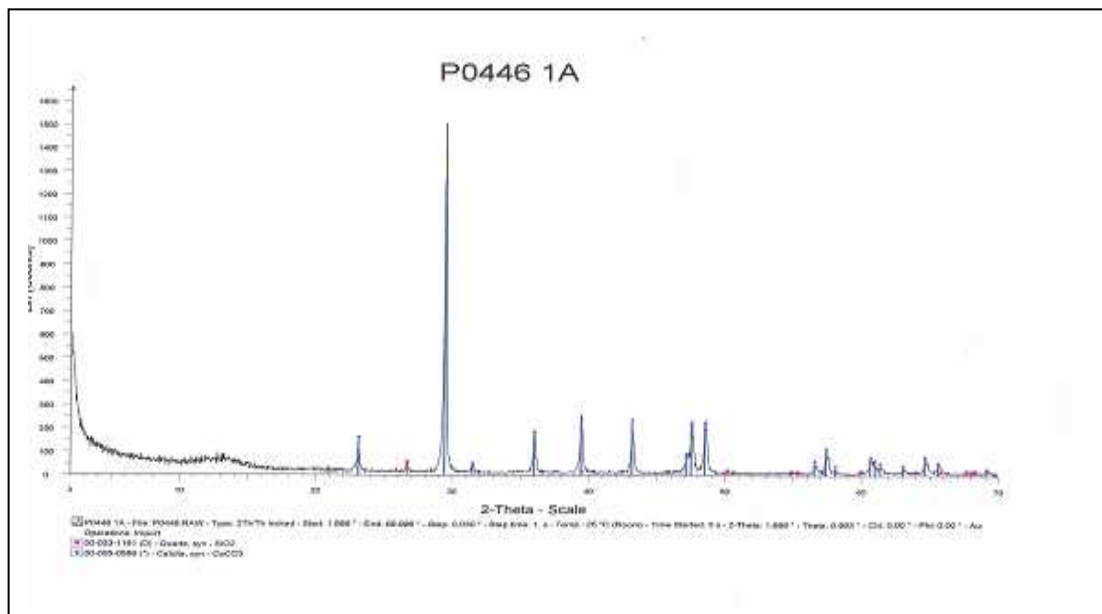
Δείγμα 1: χαλαρό ίζημα
TDS:17ppm
Αγωγιμότητα:36(μs/cm)
(ορυκτολογική σύσταση) XRD: 92.5% Ασβεστίτη, 7.5% Χαλαζίας
συνεκτικό ίζημα
TDS:23ppm
Αγωγιμότητα:47.9(μs/cm)
(ορυκτολογική σύσταση) XRD: 92.5% Ασβεστίτη, 7.5% Χαλαζίας

Δείγμα 2α: χαλαρό ίζημα
TDS:16ppm
Αγωγιμότητα:34.1(μs/cm)
(ορυκτολογική σύσταση) XRD: 94.7% Ασβεστίτη, 5.3% Χαλαζίας
συνεκτικό ίζημα
TDS:23ppm
Αγωγιμότητα:47.5(μs/cm)
(ορυκτολογική σύσταση) XRD: 91,1% Ασβεστίτη, 8.9% Χαλαζίας

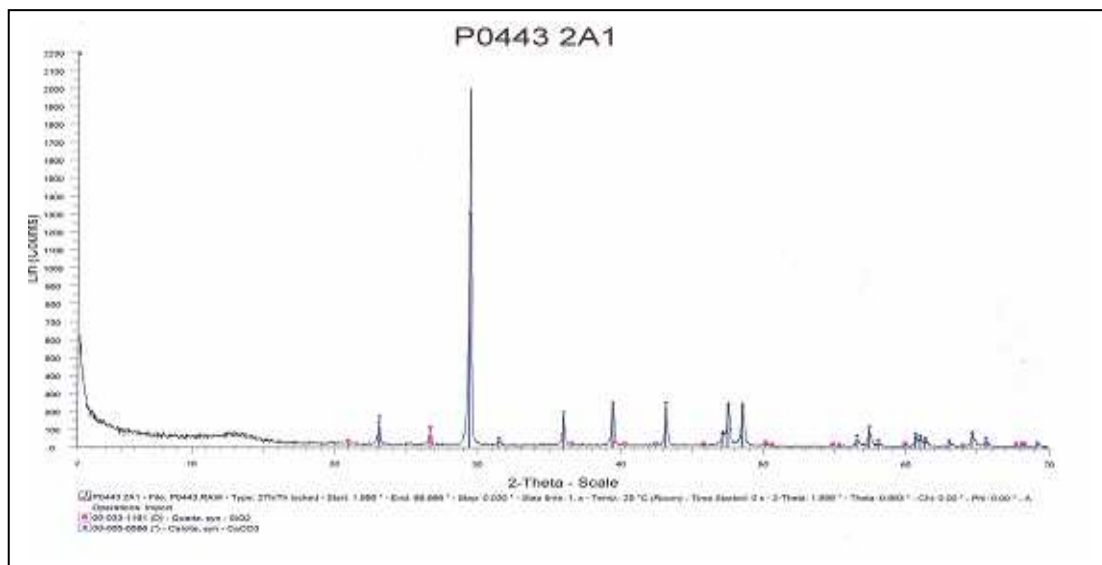
Δείγμα 2β: (έδαφος)
TDS:15ppm
Αγωγιμότητα:32.1(μs/cm)
(ορυκτολογική σύσταση) XRD: 51.5% Ασβεστίτη, 12.5% Χαλαζίας και 36% Αστριοι, Πλαγιόκλαστα

Σύμφωνα με τις αναλύσεις και το κεφάλαιο 4 (πίνακες 4.1α και 4.1β βλέπουμε ότι οι τιμές του TDS της περιοχής που ερευνούμε πλησιάζουν τις τιμές της περιοχής Kilauea στη Χαβάη.

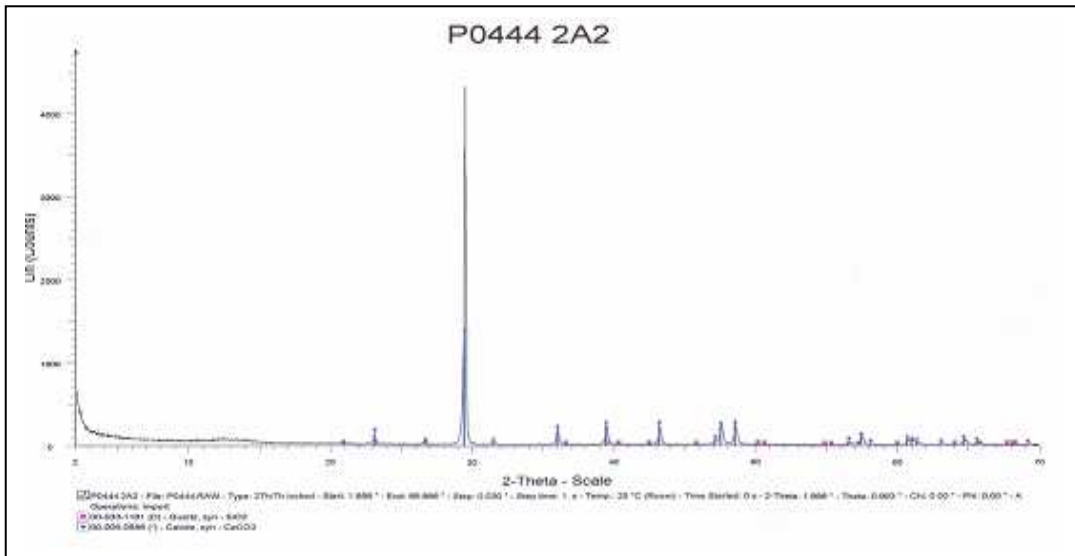
Ακολουθούν ακτινοδιαγράμματα που παρουσιάζουν τα ορυκτά του πετρώματος και την περιεκτικότητά τους.



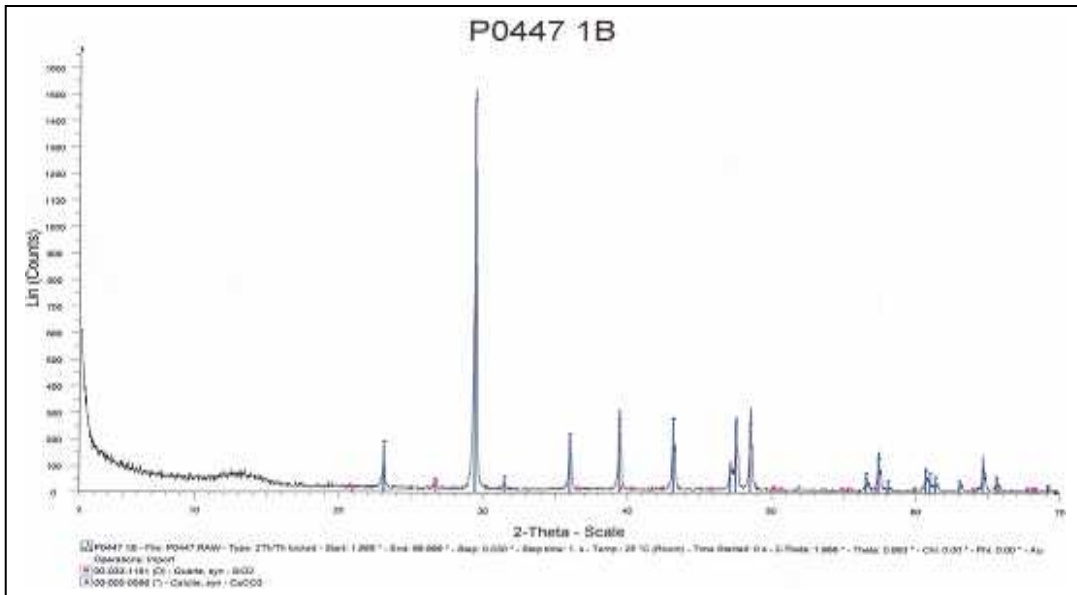
Ακτινοδιάγραμμα α



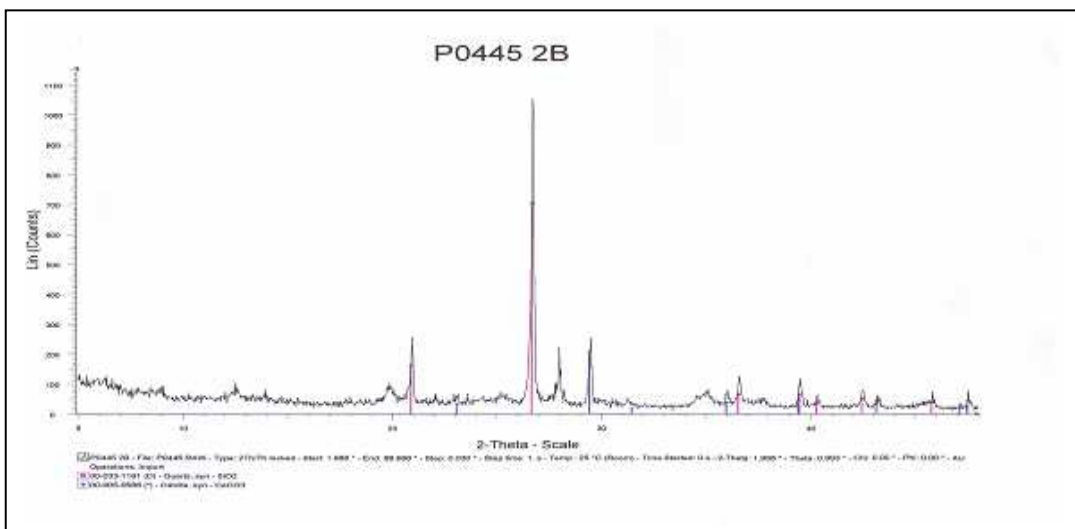
Ακτινοδιάγραμμα β



Ακτινοδιάγραμμα γ



Ακτινοδιάγραμμα δ



Ακτινοδιάγραμμα ε

Σχήμα 6.1: Παρουσία χαλαζία και ασβεστίτη στα πετρώματα

6.2 ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΑΤΜΟΘΕΡΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ

6.2.1. Γενικά για τις θεραπευτικές ιδιότητες των ατμοθέρμων

Οι θερμοί ατμοί προέρχονται κατά κύριο λόγο από τα υπογείως ρέοντα θερμομεταλλικά νερά (στην περίπτωση των ατμοθέρμων Αμαράντου). Περιέχουν επομένως πτητικά συστατικά των θερμομεταλλικών νερών. Τα συστατικά αυτά όπως π.χ. το ραδόνιο επιδρούν ιαματικά στο ανθρώπινο σώμα. Εξ άλλου η μεγάλη περιεκτικότητα των ατμοθέρμων σε υδρατμούς δημιουργεί μια φυσική σάουνα με ευεργετικά αποτελέσματα στον ανθρώπινο οργανισμό. Επιτυγχάνεται τόνωση και χαλάρωση του σώματος, φυσικό αδυνάτισμα, και ταυτόχρονα θεραπεία από πολλές παθήσεις. Η θερμότητα και τα συστατικά των θερμών ατμών απορροφούνται από το δέρμα και δρουν αποτελεσματικά στην θεραπεία διαφόρων παθήσεων. Εξ' άλλου με τις εισπνοές ενεργοποιούνται τα κύτταρα του οργανισμού με αποτέλεσμα τη διεύρυνση του αγγειακού δικτύου, την βελτίωση ανταλλαγής του οξυγόνου στους ιστούς και γενικά τη θεραπεία και αναζωογόνηση του ανθρώπινου οργανισμού.

6.2.2. Θεραπευτικές ενδείξεις των ατμοθέρμων Αμαράντου

Οι ατμόθερμες πηγές Αμαράντου είναι μοναδικές στην Ελλάδα και στην Ευρώπη. Κατόπιν μακροχρόνιων παρατηρήσεων διαπιστώθηκε η αξιολογή δράση τους.

Με βάση τις μέχρι τώρα έρευνες και μελέτες των ιατρών θεραπεύονται οι παρακάτω παθήσεις:

α) Παθήσεις αρθρώσεων και ρευματικές παθήσεις: Σπονδυλοαρθρίτιδες, οστεοαρθρίτιδες, αρθρίτιδες γενικά και παθήσεις των οστών. Μεσοπλεύριες νευραλγίες, οσφυαλγίες, ισχυαλγίες και διάφορες άλλες νευρίτιδες, νευρομυϊτιδες, τενοντίτιδες, μεταρευματικές παθήσεις, αγκυλώσεις, παραλύσεις κ.α.

β) Παθήσεις αναπνευστικού: Χρόνιες βρογχίτιδες, ασθματικές καταστάσεις, ρινίτιδες, φαρυγγίτιδες κ.α.

γ) Παθήσεις γυναικολογικές: Χρόνιες γυναικολογικές φλεγμονές (κολπίτιδες, σαλπινγίτιδες) στείρωση κ.α.

δ) Παθήσεις νεφρών, χολής, ήπατος.

ε) Δερματικές παθήσεις γενικά.

στ) Αναιμία και κυκλοφοριακά προβλήματα.

Επίσης κατόπιν συζητήσεως με Γερμανούς και Ελβετούς ειδικούς προέκυψε ότι μπορεί να γίνει θεραπευτήριο αδυνατίσματος με τον φυσικό θερμό ατμό. Το θεραπευτήριο αυτό θα είναι το μοναδικό στον ευρωπαϊκό χώρο. Κατά τον υγειονομολόγο μηχανικό υφηγητή JAN UHLIARIK το μπάνιο στις ατμόθερμες εξελίσσεται σε μπάνιο υδρατμού, λόγω της μεγάλης υγρασίας και θερμοκρασίας. Αποτέλεσμα αυτού είναι να τονώνεται το κυκλοφοριακό σύστημα, να θεραπεύονται ασθματικές καταστάσεις και παθήσεις αρθρώσεων. Επίσης με ευεργετικά αποτελέσματα για θεραπεία των δερματικών παθήσεων.

6.3 ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΒΑΣΙΑΩΝ

6.3.1. Γενικά για τις θεραπευτικές ιδιότητες θερμομεταλλικών πηγαίων νερών

Τα ευεργετικά αποτελέσματα των θερμομεταλλικών νερών για πολλές παθήσεις είναι γνωστά από τους αρχαιότερους χρόνους. Αυτό μαρτυρείται από πολλές ιστορικές πηγές και από ερείπια αρχαίων εγκαταστάσεων.

Πρέπει να διευκρινισθεί ότι δεν είναι με βεβαιότητα γνωστοί όλοι οι παράγοντες που συντελούν στην ιαματική ή ανακουφιστική δράση των νερών και κυρίως η θερμότητα που καταπραΰνει τους πόνους, η απορρόφηση από το δέρμα ανόργανων ή οργανικών ουσιών, αποτελούν υπολογίσιμα θεραπευτικά στοιχεία, δεν είναι όμως τα μόνα. Η ραδιενέργεια η προερχόμενη από το ραδόνιο έχει ιδιαίτερη θεραπευτική δράση. Το ραδόνιο απορροφάται από το δέρμα και τους βλεννογόνους του γαστρεντερικού συστήματος, αποβάλλεται δε γρήγορα και κατά κύριο λόγο από τους πνεύμονες. Η ραδιενέργεια του ραδονίου επιδρά αμέσως στα κύτταρα με αποτέλεσμα τη διεύρυνση του αγγειακού δικτύου, την ενεργοποίηση οξειδοαναγωγικών ενζυμικών συστημάτων και την εξ αυτού βελτίωση της αιματώσεως και της ανταλλαγής του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα στους ιστούς. Επιπλέον, με την ραδιενέργεια βελτιώνεται η λειτουργία των ενδοκρινών αδένων, το δε άλγος γίνεται λιγότερο έντονο.

Οι οργανικές ουσίες, που παλαιότερα θεωρούνταν επιβλαβείς εξηγούν σήμερα κατά μεγάλο μέρος τη χημική και βιοχημική δράση των λασπόλουτρων των θερμοπηγών. Η διαπίστωση, το 1933, ουσιών με οιστρογόνο ενέργεια σε ασφαλτώδη, πετρέλαιο, νάφθα, τύρφη κλπ. οδήγησε στην αναζήτηση των ουσιών αυτών στα θερμομεταλλικά νερά.

Η δράση του μεταλλικού νερού στο ανθρώπινο σώμα είναι πολύπλοκη και διαφέρει ανάλογα με τον τρόπο χρησιμοποιήσεώς του. Οι κυριότεροι τόποι είναι: α) με λούσεις, β) με πόση του μεταλλικού νερού, γ) με εισπνοές των περιεχομένων αερίων στα θερμομεταλλικά νερά.

6.3.2. Θεραπευτικές ενδείξεις των θερμομεταλλικών πηγών Καβασίων

Οι πηγές Καβασίων χαρακτηρίζονται ως υδρόθειο-χλωριονατριούχες και οι θεραπευτικές ενδείξεις τους οφείλονται κατά κύριο λόγο στο περιεχόμενο θείο, υδρόθειο και στο ραδιενεργό αέριο (Rn) ραδόνιο. Στους ίδιους λόγους οφείλονται και οι θεραπευτικές ιδιότητες της λάσπης που σχηματίζεται από τα θερμομεταλλικά νερά κοντά στις πηγές. (παράρτημα). Κατόπιν των αναλύσεων και εξετάσεων του νερού και της λάσπης οι θεραπευτικές ενδείξεις αυτών είναι οι παρακάτω: Τα θερμομεταλλικά νερά Καβασίων ενδείκνυται:

1. Λουτροθεραπεία και λασπόλουτρα
 - α) Παθήσεις δερματικές, όπως έκζεμα, δερματίτιδες κλπ
 - β) Παθήσεις ρευματικές, αρθρικές, όπως χρόνια ρευματισμοί, χρόνια παραμορφωτική αρθρίτιδα, σπονδυλαρθρίτιδα, ουρική αρθρίτιδα κ.α.
 - γ) Παθήσεις γυναικολογικές, όπως χρόνιες μεταφλεγμονώδεις καταστάσεις των σαλπίνγων και τα μήτρας, λευκόρροιες, ανεπάρκεια ωοθηκών.
 - δ) Επίσης βοηθά στο κυκλοφορικό σύστημα.
2. Εισπνευσιοθεραπεία
 - α) Παθήσεις αναπνευστικού συστήματος, όπως ασθματικές καταστάσεις, χρόνιες βρογχίτιδες, χρόνια πνευμονικό εμφύσημα, χρόνια ρινίτιδα, φαρυγγίτιδα, λαρυγγίτιδα.
3. Ποσιθεραπεία
 - α) Παθήσεις πεπτικού συστήματος, όπως υποσθενικές και υπερσθενικές δυσπεψίες, χρόνιες κολίτιδες, χρόνια δυσκοιλιότητα.
 - β) Παθήσεις ήπατος και χολής, όπως χρόνια χολοκυστίτιδα, λιθίαση της χολής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

7.1 Επιπτώσεις από μονάδες χαμηλής ενθαλπίας

Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι ηπιότερη σε σχέση με την επιβάρυνση από τα ρευστά υψηλής ενθαλπίας. Κατ' αρχάς, η θερμική επιβάρυνση είναι σαφώς μικρότερη, με την προϋπόθεση ότι τα νερά μετά τη χρήση τους έχουν θερμοκρασία μικρότερη από 30-35°C. Επίσης, η περιεκτικότητα των νερών χαμηλής ή μέσης θερμοκρασίας σε τοξικά και επιβλαβή συστατικά (As, H₂S, B, βαρέα μέταλλα κτλ.) είναι κατά κανόνα πολύ μικρή ή και αμελητέα, χωρίς να απουσιάζουν και κάποιες εξαιρέσεις. Γενικά, η περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα των νερών αυτών κυμαίνεται από 500-3000mg/L, αν και στη χώρα μας παρατηρούνται αρκετά υψηλότερες περιεκτικότητες στις νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές, εξαιτίας της συμμετοχής του θαλασσινού νερού στη τροφοδοσία των γεωθερμικών συστημάτων. Επίσης, η περιεκτικότητα σε μη συμπυκνώσιμα αέρια είναι γενικά περιορισμένη, εκτός από μερικές περιπτώσεις όπου υπάρχουν ορισμένες ποσότητες CO₂. Προβλήματα καθιζήσεων ή δημιουργίας μικροσεισμικότητας δεν έχουν ποτέ καταγραφεί σε πεδία χαμηλής ενθαλπίας.

Το κύριο περιβαλλοντικό πρόβλημα από τα ρευστά χαμηλής ενθαλπίας εντοπίζεται στη διάθεση των νερών μετά την απόληψη της θερμότητάς τους. Η επιφανειακή διάθεση (τεχνητές ή φυσικές λίμνες, χείμαρροι, ποταμοί, θάλασσα) αποτελεί τη φθηνότερη λύση και τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε από τις αρχές της αξιοποίησης της γεωθερμίας. Τρία προβλήματα σχετίζονται με τη λύση αυτή: αυξημένη θερμοκρασία των νερών (θερμική ρύπανση), σχετικά υψηλή περιεκτικότητα των νερών σε διάφορα συστατικά (μερικά από τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή) και «εξάντληση» του πεδίου με το χρόνο. Η διάθεση σε λίμνες, ποτάμια και χείμαρρους, λόγω της ευαισθησίας αυτών των οικοσυστημάτων, θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και ύστερα από εμπειριστατωμένη μελέτη, και με την προϋπόθεση φυσικά ότι πληρούνται οι όροι διάθεσης των νερών στους συγκεκριμένους φυσικούς αποδέκτες. Ορισμένα γεωθερμικά νερά, όχι μόνο πληρούν αυτά τα όρια και μπορούν να διατεθούν άφοβα σε όλους τους φυσικούς αποδέκτες, αλλά μπορούν ακόμη και να χρησιμοποιηθούν τόσο για άρδευση όσο και για ύδρευση. Οι τεχνητές λίμνες απαιτούν στεγανοποίηση (για να μην υπάρξει επιβάρυνση και ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων νερών) και διάθεση των στερεοποιημένων αλάτων. Η μέθοδος αυτή γενικά δεν εφαρμόζεται, παρά μόνον κατά τη φάση των γεωτρήσεων και των δοκιμών.

Η δεύτερη και καλύτερη μέθοδος διάθεσης των νερών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα. Πλεονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν η αποφυγή οποιασδήποτε θερμικής και χημικής ρύπανσης των αποδεκτών και η επαναφόρτιση του ταμιευτήρα, που διατηρείται έτσι πάντα υπό πίεση. Κύρια μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το κόστος κατασκευής της γεώτρησης επανεισαγωγής και το κόστος λειτουργίας (αντλία επανεισαγωγής), καθώς και η πιθανότητα απόφραξης των πετρωμάτων γύρω από τα φίλτρα της γεώτρησης με άλατα, οπότε πρέπει να γίνει επέμβαση με χημικά μέσα ή αντικατάσταση της γεώτρησης με άλλη.

7.2 Επιπτώσεις από μονάδες υψηλής ενθαλπίας

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αξιοποίηση των ρευστών υψηλής ενθαλπίας διαφέρουν από πεδίο σε πεδίο και περιλαμβάνουν τη χρήση της γης,

εκπομπές αερίων, υγρά απόβλητα, θόρυβο, δημιουργία μικροσεισμικότητας και καθιζήσεις.

7.2.1. Χρήση γης και απόθεση στερεών αποβλήτων

Το κύριο χαρακτηριστικό της γεωθερμικής ενέργειας αυτής της κατηγορίας είναι ότι απαντά σε ορισμένες μόνο περιοχές και η αξιοποίησή της γίνεται αναγκαστικά επιτόπου. Το θετικό σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι ο «συνολικός κύκλος παραγωγής της ενέργειας» περιορίζεται σε μια μόνον περιοχή, κάτι που εξαλείφει την ανάγκη μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών σε αποστάσεις μεγαλύτερες από μερικά χιλιόμετρα. Η έκταση που απαιτείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας (π.χ. για την εγκατάσταση της μονάδας, το χώρο των γεωτρήσεων, τις σωληνώσεις μεταφοράς και τους δρόμους πρόσβασης) είναι γενικά μικρότερη από την έκταση της γης που απαιτούν άλλες μορφές ενέργειας (ατμοηλεκτρικοί σταθμοί άνθρακα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί κτλ.), ιδιαίτερα αν συνυπολογίσει κανείς τις εκτάσεις που απαιτούνται για την εξόρυξη και την αποθήκευση των καυσίμων ή τη δημιουργία φραγμάτων και τεχνητών λιμνών. Το ίδιο ισχύει και για την αισθητική ρύπανση από τις γεωθερμικές μονάδες. Το κυριότερο ορατό τμήμα μιας γεωθερμικής μονάδας είναι ο πύργος ψύξης. Κατά μέσο όρο, μια γεωθερμική μονάδα καταλαμβάνει έκταση περίπου 400m² για την παραγωγή ενέργειας 1GWh για 30 χρόνια. Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται οι απαιτήσεις γης για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από διάφορες μορφές ενέργειας, τόσο συμβατικές όσο και ανανεώσιμες, και καταδεικνύεται το σχετικό πλεονέκτημα της γεωθερμίας. Η χρήση γης για την ανάπτυξη της γεωθερμίας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τον περιορισμό της περιοχής των γεωτρήσεων και την αύξηση της δυναμικότητας των μονάδων.

Πίνακας: Απαιτήσεις σε έκταση γης για διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σε m² ανά παραγόμενη GWh για 30 χρόνια)

| ΜΟΡΦΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ ΓΗΣ ΣΕ m ² |
|-----------------|--|
| Άνθρακας* | 3640 |
| Βιοαέριο | 3600 |
| Ηλιακά-θερμικά | 3560 |
| Φωτοβολταικά | 3237 |
| Αιολική | 1335 |
| Γεωθερμία | 404 |

*περιλαμβάνει και την εξόρυξη των καυσίμων

Ένα άλλο πρόβλημα που συνδέεται με τις περιοχές που γειτνιάζουν άμεσα (σε απόσταση μικρότερη από 1-2 km) με αξιοποιημένα πεδία, είναι η πιθανότητα επίδρασης της φυσικής ροής θερμών πηγών που χρησιμοποιούνται για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς και της εκδήλωσης φυσικών ατμίδων ή θερμοπιδάκων, οι οποίοι πάντοτε αποτελούν χώρους τουριστικού ενδιαφέροντος. Εάν από την έρευνα του πεδίου καταδειχτεί ότι μπορούν να υπάρξουν τέτοιες επιδράσεις, η ανάπτυξη του πεδίου θα πρέπει να ματαιωθεί ή να περιοριστεί στις πιο μακρινές περιοχές ή να ανασταλεί για πληρέστερη μελέτη.

Επιπτώσεις από τη γεωθερμία στο έδαφος ή στο υπέδαφος μπορεί να υπάρξουν και από την απόθεση στερεών αποβλήτων. Σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις, τα στερεά απόβλητα μπορεί να δημιουργηθούν από τις εξής πηγές: (α) λάσπες γεωτρήσεων και τρίμματα μόνο κατά τη διάρκεια της διάτρησης, (β) απόβλητα από τις τεχνολογίες δέσμευσης του υδροθείου (π.χ. στοιχειακό θείο) και (γ) στερεά άλατα

Από την απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων στο γεωθερμικό νερό (π.χ. πυριτικά άλατα στο Cerro Prieto του Μεξικού) ή από τον καθαρισμό σωληνώσεων από τις επικαθίσεις. Γενικά πάντως, οι ποσότητες στερεών αποβλήτων δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες, ειδικά όταν συγκρίνονται με απόβλητα από μονάδες που λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα. Επιπλέον, τα περισσότερα από τα στερεά αυτά απόβλητα δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως τοξικά.

7.2.2. Εκπομπές αερίων και αντιμετώπιση

Η αέρια ρύπανση παρουσιάζει ίσως το μεγαλύτερο ενδιαφέρον από όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που προέρχονται από την αξιοποίηση της γεωθερμίας, κυρίως κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας. Τα μη συμπυκνώσιμα αέρια αποτελούν ποσοστό μικρότερο του 5% κ.β. των γεωθερμικών ρευστών. Από τα μη συμπυκνώσιμα αέρια το κυριότερο αέριο που εκπέμπεται, σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90% κ.β., είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Άλλα αέρια είναι το υδρόθειο (H_2S), το ραδόνιο (Rn), η αμμωνία (NH_3), ενώ δεν εκπέμπονται καθόλου οξείδια του αζώτου.

Το ραδόνιο βρίσκεται σε χαμηλές ή μηδαμινές συγκεντρώσεις και δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα, αφού από φυσικές πηγές εκπέμπονται καθημερινά πολύ μεγαλύτερες ποσότητες.

Οι ποσότητες CO_2 που εκπέμπονται από γεωθερμικές μονάδες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του πεδίου, καθώς και από την τεχνολογία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Τυπικές τιμές εκπομπών από διάφορες γεωθερμικές μονάδες στον κόσμο παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 7.1. Πάντως, οι εκπομπές CO_2 από γεωθερμικές μονάδες είναι κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές ατμοηλεκτρικών μονάδων και συγκρίνονται ευνοϊκά και με τις εκπομπές (έμμεσες ή άμεσες) από άλλες ΑΠΕ (Πίνακας 7.2). Οι γεωθερμικές μονάδες νέας γενιάς εκπέμπουν λιγότερο από 0.5 kg CO_2 ανά MWh, συγκρινόμενες με τα 1000 kg περίπου CO_2 ανά MWh που εκπέμπονται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα. Για τον περαιτέρω περιορισμό των γεωθερμικών εκπομπών CO_2 μπορεί να εφαρμοστεί η υγρή λεγόμενη επανεισαγωγή των αερίων στον ταμιευτήρα. Με τη μέθοδο αυτή, το CO_2 διαλύεται στο θερμό αλμόλοιπο, το οποίο εν συνεχεία επανεισάγεται στον ταμιευτήρα με κατάλληλες γεωτρήσεις.

Το H_2S , λόγω της έντονης οσμής του (γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο ακόμη και σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 0.03 ppmv) και της σχετικής τοξικότητάς του (Πίνακας 7.3), είναι υπεύθυνο τις περισσότερες φορές για την προκατάληψη που εκδηλώνεται κατά της γεωθερμίας. Επιπλέον, το υδρόθειο επιταχύνει τη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και αποκλείει τη χρήση ορισμένων μεταλλικών υλικών. Το αποδεκτό όριο για μέση συνεχή έκθεση των εργαζομένων είναι 10 ppmv, με ανώτατο όριο τα 20 ppmv για 10 λεπτά της ώρας. Στις γεωθερμικές εγκαταστάσεις με εκπομπές H_2S θα πρέπει να χρησιμοποιούνται φορητές συσκευές για την ανίχνευσή του, ιδιαίτερα για το προσωπικό που εισέρχεται σε κλειστούς χώρους.

Πίνακας 7.1: Εκπομπές CO₂ από διάφορες γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ενέργειας (Anonymous, 2002).

| ΠΕΔΙΟ | ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂ (kg/MWh) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Coso, Η.Π.Α. (με επανεισαγωγή αερίων) | 0,5 |
| Wairakei, Ν. Ζηλανδία | 13 |
| The Geysers, Η.Π.Α. | 33 |
| PG&E Unit 20, Η.Π.Α. | 36 |
| Tongonan I, Φιλιππίνες | 65 |
| Palinrino I, Φιλιππίνες | 76 |
| Krafla, Ισλανδία | 96 |
| Leyte A, Φιλιππίνες | 129 |
| Cerro Prieto, Μεξικό | 175 |
| Tiwí, Φιλιππίνες | 272 |
| Larderello, Ιταλία | 380 |
| Laqoa do Foaο. Αζόρες. Πορτογαλία | 827 |

Πίνακας 7.2: Εκπομπές επιβλαβών αερίων από διάφορες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σε kg/MWh παραγόμενης ενέργειας).

| ΜΟΡΦΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | CO ₂ | NO _x | SO _x |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Άνθρακας | 1042 | 4.4 | 11.8 |
| Πετρέλαιο | 839 | 12.4 | 1.6 |
| Φυσικό αέριο | 453 | 1.4 | 0.0 |
| Γεωθερμία* | 95 | 0.3 | 0.1 |
| Φωτοβολταϊκά** | 135 | 0.3 | 0.4 |
| Βιομάζα | 20 | 1.8 | 0.5 |

* μέση τιμή – οι μονάδες δυαδικού κύκλου έχουν μηδενικές εκπομπές
 ** περιλαμβάνει τις εκπομπές από τον κύκλο ζωής της τεχνολογίας

Πίνακας 7.3: Χαρακτηριστικά της τοξικότητας του υδρόθειου.

| ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ (ppmv) | ΣΥΝΕΠΕΙΑ |
|--------------------|---|
| 0.007-0.03 | Κατώφλιο οσμής |
| 0.33 | Χαρακτηριστική οσμή. Μπορεί να προκαλέσει ναυτία ή πονοκέφαλο |
| 2-10 | Έντονη, ενοχλητική οσμή |
| 20-30 | Έντονη οσμή αλλά ανεκτή, ερεθισμός των ματιών ύστερα από έκθεση μιας ώρας |
| 50-100 | Ερεθισμός του αναπνευστικού συστήματος ύστερα από 2-15 λεπτά |
| 150 | Απώλεια της αίσθησης οσμής |
| 700 | Πρακτικά άοσμο. Ο θάνατος επέρχεται ταχύτητα λόγω αναπνευστικής παράλυσης |

Οι εκπομπές H₂S ποικίλουν από <0.1 kg/MWh μέχρι και 6.4 kg/MWh, όπως καταγράφεται στον πίνακα 7.4, ο οποίος παρουσιάζει τις εκπομπές H₂S από διάφορες γεωθερμικές μονάδες στον κόσμο. Οι εκπομπές H₂S μπορεί να ελεγχθούν σχετικά

εύκολα και να μειωθούν σε συγκεντρώσεις κάτω από 1 ppmv με πληθώρα μεθόδων, όπως με τη διεργασία Stretford, με τη μέθοδο της καύσης (θερμική οξείδωση) και της έκπλυσης (scrubbing) του παραγόμενου SO₂, με τη χρήση χηλικών ενώσεων του σιδήρου, με την καταλυτική οξείδωση με H₂O₂, με τη μέθοδο BIOX κτλ. (Sanopoulos and Karabelas, 1996). Οι δύο πρώτες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται στο γεωθερμικό πεδίο του Geysers της Καλιφόρνιας για την πρωτογενή απομάκρυνση του H₂S από το γεωθερμικό ατμό, ενώ η χημική οξείδωση και η χρήση χηλικών ενώσεων του σιδήρου χρησιμοποιούνται στο δευτερογενή έλεγχο (για παράδειγμα από το συμπύκνωμα) των εκπομπών του H₂S.

Πίνακας 7.4: Εκπομπές υδροθείου από διάφορες γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Anonymous, 2002).

| ΠΕΔΙΟ | ΕΚΠΟΜΠΕΣ H ₂ S (kg/MWh) |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Coso (με επανεισαγωγή), Η.Π.Α. | 0,03 |
| The Geysers, Η.Π.Α. (μέση τιμή) | 0,11 |
| Wairakei, Νέα Ζηλανδία | 0,5 |
| Larderello, Ιταλία | 3,5 |
| Cerro Prieto, Μεξικό | 4,2 |
| Krafla, Ισλανδία | 6,0 |
| Broadlands, Νέα Ζηλανδία | 6,4 |

Μερικά πεδία υπέρθερμου ατμού (όπως το Larderello) περιέχουν και μικρές ποσότητες υδροχλωρίου (HCl). Αν και οι ποσότητες αυτές είναι συνήθως μικρές, και πιθανόν να μη δημιουργούν σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα (οξίνιση εδαφών και νερών), εντούτοις τις περισσότερες φορές απαιτείται η απομάκρυνσή του για λόγους προστασίας των μεταλλικών επιφανειών από τη διάβρωση.

Εκεί που υπερέχει η γεωθερμική ενέργεια σε σχέση με τις συμβατικές μονάδες είναι οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου και θείου και στα αιωρούμενα σωματίδια. Οξείδια του θείου δεν εκπέμπονται άμεσα από τις γεωθερμικές χρήσεις. Το εκπεμπόμενο H₂S στην ατμόσφαιρα όμως οξειδώνεται σχετικά γρήγορα σε SO₂, σε απόσταση μικρότερη των 5 km από το σημείο εκπομπής. Παρόλα αυτά, οι εκπομπές SO₂ από τις γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν ένα μικρό ποσοστό των αντίστοιχων εκπομπών από μονάδες που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.2.

Η αμμωνία σε γεωθερμικές μονάδες βρίσκεται μόνο σε ορισμένα συστήματα, και σε μικρές ποσότητες. Στις μονάδες με εκτόνωση ατμού, η αμμωνία οξειδώνεται ταχύτατα σε άζωτο και νερό, καθώς οδηγείται στην ατμόσφαιρα.

Οι γεωθερμικές μονάδες δεν εκπέμπουν σχεδόν καθόλου οξείδια του αζώτου. Σημειώνεται ότι για κάθε MWh που παράγεται εκπέμπονται κατά μέσο όρο 4.4 kg οξειδίων του αζώτου σε μονάδες που χρησιμοποιούν άνθρακα, 12.4 kg σε μονάδες με πετρέλαιο και 1.43 kg σε μονάδες με φυσικό αέριο.

Τέλος τα γεωθερμικά αέρια περιέχουν ίχνη υδραργύρου (Hg), ατιμούς βορίου (B) και υδρογονάνθρακες (κυρίως μεθάνιο, CH₄). Το βόριο βρίσκεται σε μικρές γενικά συγκεντρώσεις (5-100 mg/L) στο γεωθερμικό νερό, από το οποίο μικρό μέρος μπορεί να παρασυρθεί στην αέρια φάση. Μόνο στο πεδίο του Larderello περιέχεται σε σημαντικές ποσότητες και παλαιότερα γινόταν ανάκτησή του. Συνήθως, δεσμεύεται από το νερό της βροχής και μπορεί να προκαλέσει ρύπανση στο έδαφος με κάποιες επιπτώσεις για τη βλάστηση. Οι εκπομπές υδραργύρου φτάνουν και τα 900 g/MWh. Η πρόσληψη του Hg από τα ανώτερα φυτά μέσω του ριζικού τους

συστήματος είναι πρακτικά μηδενική, αλλά διάφοροι μύκητες και λειχήνες βιοσυσσωρεύουν τον Hg περισσότερο αποδοτικά. Οι τιμές αυτές είναι συγκρίσιμες με τις τιμές που εκπέμπονται από ατμοηλεκτρικές μονάδες που χρησιμοποιούν άνθρακα. Το μεθάνιο, στα πεδία στα οποία βρίσκεται σε ικανές ποσότητες, μπορεί να διαχωριστεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο.

7.2.3. Υδάτινη και θερμική ρύπανση

Η κύρια ανησυχία από την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας υψηλής ενθαλπίας προέρχεται από τη διάθεση των γεωθερμικών νερών στους υδάτινους αποδέκτες. Η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων στο αλμόλοιπο μπορεί να φτάσει μέχρι και 30% κ.β. Η σύσταση ενός γεωθερμικού ρευστού εξαρτάται από το είδος και την προέλευση των πετρωμάτων ή του γεωλογικού σχηματισμού του ταμιευτήρα, τη θερμοκρασία και την πίεση. Ταμιευτήρες σε ιζηματογενή πετρώματα περιέχουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες διαλυμένων αλάτων από ό,τι π.χ. σε γρανιτικούς σχηματισμούς.

Η απόρριψη ενός αλμολοίπου, από το οποίο έχει εξαχθεί ή όχι η θερμότητα, δημιουργεί συνήθως περιβαλλοντικό πρόβλημα, τόσο από την περιεκτικότητά του σε διάφορα χημικά συστατικά (αρσενικό, βόριο, φθόριο κτλ.), όσο και από την αρκετά υψηλότερη θερμοκρασία του σε σχέση με τη θερμοκρασία των αποδεκτών. Έτσι, συνήθως απαιτείται επεξεργασία και ψύξη των νερών προτού διατεθούν σε υδάτινους αποδέκτες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη φυσική ψύξη των νερών κατά την παραμονή τους σε τεχνητές λίμνες. Ένας άλλος τρόπος μείωσης του θερμικού φορτίου που διατίθεται στο περιβάλλον αποτελεί η διαδοχική χρήση των γεωθερμικών ρευστών. Βέβαια αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό, ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Τέλος, τονίζεται ξανά ότι η περιβαλλοντικά περισσότερο αποδεκτή μέθοδος διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα. Ένα άλλο πρόβλημα που συνδέεται με την υδάτινη ρύπανση ή τη ρύπανση του εδάφους, είναι οι τυχόν διαρροές των ρευστών. Ιδιαίτερα προβλήματα διαρροών μπορεί να υπάρξουν κυρίως στα αρχικά στάδια αξιοποίησης του πεδίου (από τα ρευστά που εκρέουν κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων), σε περίπτωση ατυχήματος ή διάρρηξης των σωληνώσεων (παραγωγής και επανεισαγωγής) και από τις όχι καλά στεγανοποιημένες τεχνητές λίμνες του πολφού κυκλοφορίας ή των γεωθερμικών νερών.

Θερμική ρύπανση είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα ή του νερού από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, άμεσες ή έμμεσες. Στη γεωθερμία, η θερμική ρύπανση του αέρα σχετίζεται με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (που είναι σχετικά μικρές) και με την απόρριψη θερμότητας στην ατμόσφαιρα από διάφορες δραστηριότητες. Περισσότερο σοβαρή όμως μπορεί να είναι η θερμική ρύπανση των νερών, με την απελευθέρωση ποσοτήτων θερμότητας σε λίμνες, ποτάμια και θάλασσα, σε τέτοιο βαθμό που να επιδρούν στα υδάτινα οικοσυστήματα, έστω και τοπικά.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας των υδάτινων όγκων γίνεται βεβαίως σε κάποιο βαθμό φυσικά, με την αλλαγή των εποχών. Εκείνο που ανησυχεί, είναι οι αλλαγές της θερμοκρασίας από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η θερμική ρύπανση των νερών προκαλείται κυρίως από τη διάθεση θερμών νερών που χρησιμοποιήθηκαν στα συστήματα ψύξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος και από τη διάθεση θερμών γεωθερμικών απόνερων.

Η αυξημένη θερμοκρασία των νερών μειώνει τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου, επιδρά στην ανάπτυξη και την αναπαραγωγική διαδικασία πολλών υδάτινων ειδών, μπορεί να προκαλέσει ασθένειες, ακόμη και το θάνατο ψαριών λόγω του θερμικού αφνιδιασμού (thermal shock) και επιδρά στη χλωρίδα των οικοσυστημάτων. Βεβαίως, μερικοί υποστηρίζουν, και αυτό είναι σωστό σε

ορισμένες περιπτώσεις, ότι το θερμό νερό μπορεί να είναι ευεργετικό (thermal enrichment). Για παράδειγμα, καλλιέργειες που κινδυνεύουν να παγώσουν τη νύχτα μπορούν να ψεκαστούν με θερμό νερό, ενώ μπορεί να βοηθηθεί η ελεγχόμενη ανάπτυξη ιχθυοκαλλιεργειών.

7.2.4. Θόρυβος

Ο θόρυβος σε γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι μεγαλύτερος από το θόρυβο που προκαλείται σε συμβατικές μονάδες, ενώ σε εγκαταστάσεις χαμηλής ενθαλπίας ο θόρυβος είναι μηδαμινός. Κατά τη φάση της ανόρυξης των γεωτρήσεων και της κατασκευής της μονάδας μπορεί να παρουσιαστούν ορισμένα προβλήματα από αυξημένα επίπεδα θορύβου και για το λόγο αυτό συνιστάται οπωσδήποτε η χρήση ωτασπίδων από το προσωπικό του εργοταξίου. Ενδεικτικά επίπεδα θορύβου στη φάση αυτή είναι:

- Ανόρυξη γεωτρήσεων με αέρα (air drilling): 120 dBa (γίνεται πολύ σπάνια)
- Ανόρυξη γεωτρήσεων με κυκλοφορία πολφού (mud drilling): 80 dBa
- Άντληση τσιμέντου: 80 dBa
- Δοκιμή γεωτρήσεων: 70-120 dBa (ελεύθερη εκροή από γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας: μέγιστο 120 dBa, το οποίο μειώνεται στα 85 dBa με χρήση σιγαστήρα).
- Μηχανές ντίζελ (π.χ. συμπιεστές): 45-60 dBa
- Εκσκαφείς, φορτηγά, τρακτέρ κτλ.: 55-75 dBa

Κατά τη φάση της λειτουργίας της μονάδας, τα επίπεδα του θορύβου ελέγχονται από μόνιμες εγκαταστάσεις σιγαστήρων ή άλλων συσκευών μείωσης του θορύβου.

7.2.5. Δημιουργία μικροσεισμικότητας

Με την επανεισαγωγή των υγρών στον ταμιευτήρα υπάρχει πιθανότητα πρόκλησης μικροσεισμών στην περιοχή, επειδή τα υγρά κατά την επανεισαγωγή δρουν ως λιπαντικό για τα υπερκείμενα πετρώματα. Αντίστοιχα φαινόμενα παρατηρούνται κατά την εισαγωγή νερού σε ταμιευτήρες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Επειδή τα περισσότερα γεωθερμικά πεδία βρίσκονται σε σειсмоγενείς περιοχές, πιθανόν οι μικροί αυτοί σεισμοί να «ανακουφίζουν» τις τοπικές συνθήκες και έτσι να συνδράμουν στην αποφυγή μεγαλύτερου σεισμού.

7.2.6. Πρόκληση καθιζήσεων

Η αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων νερού ή ατμού από ένα γεωθερμικό πεδίο, όταν οι ταμιευτήρες του αποτελούνται από πορώδεις σχηματισμούς, μπορεί να προκαλέσει ορισμένες φορές καθίζηση του εδάφους, από λίγα εκατοστά μέχρι μερικά μέτρα. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και κατά την εξόρυξη πετρελαίου ή φυσικού αερίου, καθώς και από την άντληση νερού για άρδευση και ύδρευση. Οι καθιζήσεις μπορούν να αποφευχθούν ή να μειωθούν με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών νερών στον ταμιευτήρα. Οι Mosson and Segal (1997) εκτίμησαν ότι η μέγιστη ετήσια υποχώρηση του εδάφους στην περιοχή The Geysers της Βόρειας Καλιφόρνιας ήταν $0,047 \pm 0,002$ m/έτος, κατά τα έτη 1977-1996. Το φαινόμενο αυτό δεν μπορεί να εξηγηθεί μόνο από τη θερμοελαστική συστολή των πετρωμάτων. Η μεγαλύτερη καθίζηση μέχρι τώρα παρατηρήθηκε στο Wairakei της Νέας Ζηλανδίας και έφτασε τοπικά τα 13 m, εξαιτίας του είδους των γεωλογικών σχηματισμών του ταμιευτήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία συλλέχθηκαν και αξιολογήθηκαν πληροφορίες που αφορούν:

- την γεωλογία της υπό μελέτη περιοχής.
- γεωφυσικά δεδομένα από γεωηλεκτρικές και βαρυτικές διασκοπήσεις.
- εργαστηριακές αναλύσεις (ορυκτολογική ανάλυση XRD, TDS και αγωγιμότητα).
- πληροφορίες από ήδη αξιοποιημένα γεωθερμικά πεδία στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Με βάση τις παραπάνω πληροφορίες συνάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Το γεωθερμικό ενδιαφέρον της περιοχής εντοπίζεται στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο.
- Οι θέσεις επαφής του ασβεστολιθικού υποβάθρου με τον υπερκείμενο φλύσχη και με την απαραίτητη προϋπόθεση της παρουσίας του υπερκείμενου του φλύσχη κροκαλοπαγούς αποτελούν πιθανούς στόχους παρουσίας γεωθερμικών ρευστών.
- Ιδιαίτερα στις περιοχές, όπου ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται τεκτονισμένος, με διευθύνσεις ρηγμάτων ΒΔ – ΝΑ, πιθανολογείται η παρουσία γεωθερμικών ρευστών.
- Στο στρώμα του φλύσχη, το οποίο επικάθεται του ασβεστόλιθου, εντοπίζεται η παρουσία μη αξιοποιήσιμων μικροποσοτήτων γεωθερμικού ρευστού. Η παρουσία γεωθερμικών ρευστών στο φλύσχη συνδέεται κατά πάσα πιθανότητα αφενός με την δομή του συγκεκριμένου σχηματισμού και αφετέρου με την παρουσία συστημάτων διάρρηξης, τα οποία δεν είναι όμως σε θέση να τροφοδοτήσουν με ικανές ποσότητες γεωθερμικού ρευστού.
- Η επιτόπου έρευνα και οι μαρτυρίες των κατοίκων της περιοχής οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η παρουσία γεωθερμικών αερίων είναι περιστασιακή και επομένως δεν αναμένεται η αξιοποίησή τους.
- Τα αναμενόμενα γεωθερμικά ρευστά πιθανότατα εντάσσονται στην κατηγορία των χαμηλής ενθαλπίας ρευστών.

Με βάση τα παραπάνω προτείνεται η περαιτέρω έρευνα των συγκεκριμένων εμφανίσεων και με άλλες γεωφυσικές μεθόδους (σεισμικά διάθλασης και ηλεκτρομαγνητικά) καθώς και η εκτέλεση δοκιμαστικών γεωτρήσεων (πάνω από 350m).

Το γεγονός ότι αναμένονται χαμηλής ενθαλπίας ρευστά προσανατολίζει την αξιοποίηση των συγκεκριμένων εμφανίσεων για λουτρο - θεραπευτικούς σκοπούς.

Α.2. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ
ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΒΑΣΙΩΝ

ΕΞΩ



ΜΕΣΑ



ΠΡΙΝ



ΣΗΜΕΡΑ



ΑΚΡΙΒΩΣ ΑΠΕΝΑΝΤΙ ΣΤΟ ΑΛΒΑΝΙΚΟ ΕΔΑΦΟΣ



Α.3 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

ΔΕΙΓΜΑ 1 (Παναγία)





ΔΕΙΓΜΑ 2α ΚΑΙ 2β (Εξοχή)





ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ANDRITSOS, N., AND KARABELAS, A.J. SULFIDE SCALE FORMATION AND CONTROL IN GEOTHERMAL PLANTS. GEOTHERMICS, 20, 343 – 353, 1991.
2. BEALL, S.E., AND SAMUELS, G. THE USE OF WARM WATER FOR HEATING AND COOLING PLANT AND ANIMAL ENCLOSURES. OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, ORNL – TM -3381, 56, 1971.
3. D' AMORE, F. AND PANICHI, C. GEOCHEMISTRY IN GEOTHERMAL EXPLORATION. APPLIED GEOTHERMICS, (M. ECONIMIDES AND P. UNGEBACH, EDS.). J.WILEY& SONS, 1987.
4. FOURNADZIEVA, S., BOJADGIEVA, K., FYTIKAS, M., POPOVSKI, K.A.. A CONCEPTION OF A GEOTHERMAL APPLICATION IN COMMON MICROLALGAL DEVELOPMENT IN THE BALKAN COUNTRIES. PROC. OF INT. COURSE ON DISTRICT HEATING, AGRICULTURAL AND AGRO – INDUSTRIAL USES OF GEOTHERMAL ENERGY (ED. BY K. POPOVSKI AND M. FYTIKAS), THESSALONIKI, SEPTEMBER 2 -4, 2002, 152 – 159, 2002.
5. FOURNIER, R.O. THE INTEPRETATION OF NA – K – MG RELATIONS IN GEOTHERMAL WATERS. GEOTH. RES. COUNCIL. TRANS., 14, 1421 – 1425, 1990.
6. GIGGENBACH, W.F. GEOTHERMAL SOLUTE EQUILIBRIA. DERIVATION OF NA – K – MG – C GEOINDICATORS. GEOCHIM. COSMOCHIM. ACTA, 52, 2749 – 2765, 1998.
7. LIENAU, P., CHAPTER 16 – INDUSTRIAL APPLICATIONS. IN GEOTHERMAL DIRECT – USE ENGINEERING AND DESIGN GUIDEBOOK, 3RD EDITION, GEO – HEAT CENTER, OREGONI NSTITUTOF TECHNOLOGY, KLAMATH FALLS, OREGON, 1998.
8. LUND, J.W., AND FREESTON , D.H. WORLD WIDE DIRECT USES OF GEOTHERMAL ENERGY 2000. GEOTHERMICS, 30, 29 – 68, 2001.
9. MOSSOP, A., AND SEGALL, P. SUBSIDENCE AT THE GEYSERS GEOTHERMAL FIELD, N. CALIFORNIA FROM A COMPARISON OF GPS AND LEVELING SURVEYS. GEOPHYS. RES. LETTERS, 24, 1839 – 1842, 1997.
10. SANOPOULOS, D., AND KARABELAS, A.J. H₂S ABATEMENT IN GEOTHERMAL PLANTS: EVALUATION OF PROCESS ALTERNATIVES. ENERGY SOURCE, 19, 63 – 77, 1977.
11. ΓΚΑΡΑΓΚΟΥΝΗ-ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΙΑ, ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΟ ΓΡΑΦΕΙΟ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ Ο.Ε., ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ ΝΟΜΟΥ ΙΩΑΝΙΝΩΝ, ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ‘ΗΠΕΙΡΟΣ’ Α.Ε., 1981.
12. ΓΚΑΡΑΓΚΟΥΝΗ-ΔΗΜΗΤΡΟΥΛΙΑ, ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΟ ΓΡΑΦΕΙΟ ΕΦΗΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ Ο.Ε., ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΤΜΟΘΕΡΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΙΩΑΝΙΝΩΝ, ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ‘ΗΠΕΙΡΟΣ’ Α.Ε., 1981.
13. ΓΚΙΩΝΗ-ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ, Γ., ΓΕΩΛΟΓΟΣ, ΕΚΘΕΣΗ ΕΠΙ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΘΕΡΑΠΕΥΤΗΡΙΟΥ ΛΟΥΤΡΩΝ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙ ΤΩΝ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΩΝ ΛΟΥΤΡΩΝ, ΙΓΜΕ, 1985.
14. ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ‘ΗΠΕΙΡΟΣ’ Α.Ε. ΜΕΛΕΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΛΟΥΤΡΟΘΕΡΑΠΕΥΤΗΡΙΟΥ ΤΩ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ ΚΟΝΙΤΣΑΣ, 1985.
15. ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, Κ., ΔΡ. ΓΕΩΦΥΣΙΚΟΣ, ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΟΝΙΤΣΑΣ, ΙΓΜΕ, 1986.

16. ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ, Κ., ΔΡ. ΓΕΩΦΥΣΙΚΟΣ, ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΟΝΙΤΣΑΣ, ΙΓΜΕ, 1985.
17. ΚΟΥΦΟΣ Σ., ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΟΥΧΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΜΑΡΑΝΤΟΥ, ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ 'ΗΠΕΙΡΟΣ' Α.Ε.
18. ΠΑΠΑΝΙΚΟΣ Δ., ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ, ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΟΥΤΡΩΝ ΚΑΒΑΣΙΛΩΝ ΚΟΝΙΤΣΑΣ (Ν. ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ), ΙΓΜΕ ΠΑΡ/ΜΑ ΠΡΕΒΕΖΑΣ, 1997.
19. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΚΟΝΙΤΣΑΣ, 2004.
20. ΣΦΕΤΣΟΣ, Κ., ΚΑΙ, ΓΚΙΩΝΗ-ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ, Γ., ΓΕΩΛΟΓΟΙ, ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ – ΙΑΜΑΤΙΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΚΟΝΙΤΣΑΣ, ΙΓΜΕ, 1984.
21. ΦΥΤΙΚΑΣ, Μ., ΚΑΙ, ΑΝΔΡΙΤΣΟΣ, Ν., ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, 2004.