



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ  
ΑΡΙΣΤΗΝΟΥ-ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΩΝ

**ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ANNA**

**ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΦΡΕΙΔΕΡΙΚΗ**

**Επιβλέπων :** Δρ Βουδούρης Κωνσταντίνος  
Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2015

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ANNA  
ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΦΡΕΙΔΕΡΙΚΗ

**ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΘΑΛΠΙΑΣ  
ΑΡΙΣΤΗΝΟΥ–ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ**

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

**Επιβλέπων :** Δρ Βουδούρης Κωνσταντίνος  
Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

(Υπογραφή)

.....

**ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ANNA**

Πτυχιούχος Τμήματος Γεωλογίας , Α.Π.Θ.

© 2015 – All rights reserved.

(Υπογραφή)

.....

**ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΦΡΕΙΔΕΡΙΚΗ**

Πτυχιούχος Τμήματος Γεωλογίας , Α.Π.Θ.

© 2015 – All rights reserved.

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη στο εσωτερικό της γης και περιέχεται σε επιφανειακά ή υπόγεια ρευστά και σε θερμά-ξηρά πετρώματα. Πρόκειται για μία φυσική και, κατά βάση, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας με μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο, διότι χρησιμοποιείται για την κάλυψη πολλών ενεργειακών αναγκών του σε αρκετούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο γεωθερμικό δυναμικό, με αυξημένες δυνατότητες αξιοποίησής του. Όμως, η ανάπτυξη της γεωθερμίας παραμένει περιορισμένη στη χώρα με ελάχιστες εξαιρέσεις που αφορούν μεμονωμένες περιπτώσεις εκμετάλλευσης γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας και την αβαθή γεωθερμία.

Η παρούσα διπλωματική εργασία, που ανατέθηκε από τον Αναπληρωτή Καθηγητή Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ, κ. Κων/νο Στ. Βουδούρη, αφορά το γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης, στο οποίο γίνονται σημαντικές προσπάθειες αξιοποίησής του από το Δήμο Αλεξανδρούπολης, προς όφελος των κατοίκων και της ευρύτερης περιοχής.

Η περιοχή επιλέχθηκε διότι βρίσκεται σε εξέλιξη μελέτη αξιοποίησής του πεδίου, η οποία έχει ανατεθεί από το Δήμο Αλεξανδρούπολης στο ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. με επιβλέποντα γεωλόγο τον Δρ. Πασχάλη Δαλαμπάκη. Στα πλαίσια της μελέτης αυτής έγιναν υπαίθριες εργασίες για την εκτίμηση της κατάστασης μίας εκ των υπαρχουσών γεωτρήσεων. Ακόμη, πραγματοποιήθηκαν τεχνικές εργασίες για την ανάπτυξη και τον καθαρισμό της γεώτρησης με διάταξη εμφύσησης αέρα (air lift) και, τέλος, πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές αντλήσεις σταθερής παροχής και κατά βαθμίδες και για τον προσδιορισμό της εκμεταλλεύσιμης παροχής και των υδραυλικών χαρακτηριστικών του γεωθερμικού ταμιευτήρα.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση όλων των χαρακτηριστικών του γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης, καθώς και

η επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από τις παραπάνω εργασίες. Στα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν γίνεται συνοπτική αναφορά στις έννοιες της γεωθερμίας και των γεωθερμικών πεδίων και ρευστών. Στη συνέχεια δίνονται πληροφορίες για τη γεωλογία και την τεκτονική της περιοχής ενδιαφέροντος και παρουσιάζεται το μοντέλο του γεωθερμικού πεδίου του Αρίστηνου με τις φυσικοχημικές και υδρολογικές του παραμέτρους, όπως προέκυψαν από παλαιότερες αλλά και από την εν λόγω έρευνα. Τέλος, παρατίθενται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν, καθώς και κάποια γενικά σχόλια για τις δυνατότητες ανάπτυξης της γεωθερμίας στη συγκεκριμένη περιοχή.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον αναπληρωτή καθηγητή Δρ. Κων/νο Στ. Βουδούρη, ο οποίος ανέθεσε το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, ευχαριστούμε την Δρ. Μαρία Παπαχρήστου, που μας βοήθησε στην σύνταξη, επεξεργασία και παράθεση των στοιχείων της διπλωματικής, το ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε καθώς και τον επιβλέποντα γεωλόγο-γεωθερμικό Δρ. Πασχάλη Δαλαμπάκη, που μας παρείχε όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την διεκπεραίωση της διπλωματικής μας εργασίας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>                                                   | <b>10</b> |
| 1.1. Γενικά.....                                                         | 10        |
| 1.2. Ταξινόμηση Γεωθερμικών Πεδίων.....                                  | 12        |
| 1.2.1. Γεωθερμικά Πεδία Υψηλής Ενθαλπίας.....                            | 15        |
| 1.2.2. Γεωθερμικά Πεδία Χαμηλής - Μέσης Ενθαλπίας.....                   | 17        |
| 1.3. Γεωθερμικά Ρευστά.....                                              | 17        |
| 1.3.1. Σύσταση της Υγρής Φάσης.....                                      | 18        |
| 1.3.2. Ταξινόμηση των Γεωθερμικών Ρευστών.....                           | 19        |
| 1.3.3. Φυσικοχημικές Παράμετροι των Γεωθερμικών Νερών.....               | 21        |
| 1.4. Περιοχές Γεωθερμικού Ενδιαφέροντος.....                             | 23        |
| 1.5. Γεωθερμική Έρευνα.....                                              | 25        |
| 1.6. Χρήσεις των Γεωθερμικών Συστημάτων.....                             | 26        |
| <b>2.ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ</b>            |           |
| <b>ΕΛΛΑΔΑ.....</b>                                                       | <b>32</b> |
| 2.1. Γεωλογική και Τεκτονική κατάσταση της Βορειοανατολικής Ελλάδας..... | 32        |
| 2.2. Γεωθερμική κατάσταση στην Βορειοανατολική Ελλάδα.....               | 35        |
| <b>3.ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΑΡΙΣΤΗΝΟΥ – ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ.....</b>               | <b>48</b> |
| 3.1. Γενικά.....                                                         | 48        |
| 3.2. Γεωλογία Γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου – Αλεξανδρούπολης.....        | 51        |
| 3.3. Γεωθερμική έρευνα στην περιοχή Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης.....       | 55        |
| 3.4. Φυσικοχημικές και Υδροχημικές Παράμετροι του πεδίου.....            | 59        |
| <b>4.ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ.....</b>                           | <b>62</b> |
| <b>5.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ.....</b>                            | <b>73</b> |
| <b>6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>                                     | <b>82</b> |
| 6.1. Γενικά Συμπεράσματα.....                                            | 82        |

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.2. Μελλοντικές χρήσεις του Γεωθερμικού Πεδίου Αρίστηνου –<br>Αλεξανδρούπολης..... | 85        |
| <b>7.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>                                                             | <b>90</b> |
| <b>8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>                                                          | <b>96</b> |



# 1.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Γενικά

Με τον όρο γεωθερμική ενέργεια περιγράφεται η θερμική ενέργεια, που προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Συχνά ο παραπάνω όρος περιγράφει το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή θερμού νερού, ατμού ή θερμών πετρωμάτων σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, δηλαδή περιορίζεται στα πρώτα περίπου χιλιόμετρα από την επιφάνεια της Γης (Κατσαπρακάκης, 2003).

Οι επιφανειακές ενδείξεις της γεωθερμικής ενέργειας είναι ποικίλες, με την πλέον εντυπωσιακή την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Υπάρχουν και άλλες γεωθερμικές ενδείξεις όπως οι ατμοί, τα θερμά νερά και τα αέρια που δημιουργούν θερμοπίδακες (geyser), οι θερμές πηγές και οι ατμίδες.

Η θερμοκρασία στο εσωτερικό της γης είναι υψηλότερη της επιφανειακής και παραμένει σταθερή. Η θερμοκρασία αυτή προσδιορίζεται κυρίως με μετρήσεις στο εσωτερικό των γεωτρήσεων. Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το βάθος στο γήινο φλοιό καλείται *γεωθερμική βαθμίδα* και είναι 1°C ανά 30m ή 30°C ανά 1km. Η γεωθερμική βαθμίδα μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή και σε μικρά σχετικά βάθη, επειδή επηρεάζεται από πολλούς γεωλογικούς παράγοντες (π.χ. η τεκτονική). Κάτω από αυτήν τη ζώνη η θερμοκρασία αυξάνεται

ομοιόμορφα με το βάθος αν και ο ρυθμός αύξησης διαφοροποιείται ανάλογα με το τεκτονικό καθεστώς και τη γεωλογική δομή της εκάστοτε περιοχής. Στις περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι μεγαλύτερη από τη μέση γήινη υπάρχει *θετική γεωθερμική ανωμαλία* και παρουσιάζεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την αναζήτηση και την αξιοποίηση της γεωθερμίας (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).



**Σχήμα 1:** Ηφαίστειο Κρακατόα (Krakatau), Ινδονησία.



**Σχήμα 2:** «Η κοιλάδα με τους Θερμοπίδακες», Ρωσία.

## 1.2. Ταξινόμηση Γεωθερμικών Πεδίων

Ένα γεωθερμικό πεδίο είναι ο χώρος, η ζώνη ή η επιφάνεια με υψηλή θερμοκρασία που συνοδεύεται από μεγάλες γεωθερμικές βαθμίδες είτε κατακόρυφα είτε οριζόντια εκατέρωθεν της εμφάνισης γεωθερμικών ρευστών (πηγών, ατμίδων κ.λπ.) ( Σούλιος, 2004).



**Σχήμα 3:** Τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, στα οποία παρατηρούνται τα περισσότερα γεωθερμικά συστήματα.

Ένα συνηθισμένο γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τα εξής τρία κύρια μέρη (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004):

A) Μία πηγή θερμότητας, η οποία μπορεί να είναι είτε μία μαγματική διείσδυση (με θερμοκρασίες 600-1200°C) που έφτασε σε μικρά βάθη (3-10km), είτε η κανονική θερμική ροή της γης μέσω της οποίας δημιουργούνται θερμότεροι σχηματισμοί με την αύξηση του βάθους.

B) Ένα ταμιευτήρα που αποτελείται από ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων, τα οποία επιτρέπουν την εύκολη κυκλοφορία ή τον εγκλωβισμό των κυκλοφορούντων ρευστών και απάγουν θερμότητα.

Γ) Τα γεωθερμικά ρευστά που μπορεί να είναι νερά μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης και πιο σπάνια μαγματικής, σε υγρή ή αέρια φάση, και περιέχουν σημαντικές ποσότητες διαλυμένων στερεών ουσιών και αερίων. Η κατάσταση τους εξαρτάται από την πίεση και την θερμοκρασία.

Η ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση διάφορα κριτήρια, όπως:

1. Το είδος των γεωθερμικών πόρων (Πίνακας 1).
2. Ο τύπος των ρευστών .
3. Η θερμοκρασία των ρευστών.
4. Ο τύπος του περιβάλλοντος πετρώματος.
5. Το είδος της εστίας θερμότητας.
6. Αν κυκλοφορούν ρευστά στον ταμιευτήρα κ.α.

**Πίνακας 1:** Ταξινόμηση των γεωθερμικών συστημάτων ανάλογα με το είδος των γεωθερμικών πόρων (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

| <u>Τύπος Συστημάτων</u>               | <u>Χαρακτηριστικά</u>                                                                               | <u>Θερμοκρασία (° C)</u> |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <b><u>1. ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΑ</u></b>          |                                                                                                     |                          |
| <b>1α. Συστήματα συναγωγής</b>        | Περατοί σχηματισμοί με φυσική κυκλοφορία ρευστών                                                    |                          |
| α) Συστήματα που περιέχουν ατμό       | Κλειστά κυκλώματα συναγωγής, ατμοί παγιδευμένοι από στεγανά καλύμματα, T>200 °C, μέχρι 1,5 km       |                          |
| β) Συστήματα που περιέχουν θερμό νερό |                                                                                                     |                          |
| I) Υψηλής θερμοκρασίας                | Κλειστά ή ανοιχτά κυκλώματα συναγωγής, μέχρι τα 3 km                                                | >150                     |
| II) Μέσης θερμοκρασίας                | Σχεδόν οριζόντιοι υδροφόροι με τοπική αποστράγγιση ψυχρού νερού ή κυκλοφορία θερμού νερού υπό πίεση | 90-150                   |
| III) Χαμηλής θερμοκρασίας             | Όπως το προηγούμενο, με χαμηλότερη θερμοκρασία νερού, με μικρή ή καθόλου πίεση                      | <90                      |

|                                |                                                                                                                                   |         |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>1β. Συστήματα αγωγής</b>    | Μη περατοί σχηματισμοί, με μεγάλο πορώδες και περατότητα, σε βάθος 1-3 km με εγκλωβισμένα νερά                                    | 60-150  |
| <b>2. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ</b>     | Από 1-100 m βάθος, με ή χωρίς νερό                                                                                                | <40     |
| <b>3. ΘΕΡΜΑ-ΞΗΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ</b> | Μη περατοί σχηματισμοί πετρωμάτων χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών. Τεχνητή κυκλοφορία νερών με σύστημα δύο τουλάχιστον γεωτρήσεων |         |
| I) Υψηλής θερμοκρασίας         | T>250 °C μέχρι 3km                                                                                                                | >250    |
| II) Μέσης-Χαμηλής θερμοκρασίας | T<150 °C μέχρι 3km                                                                                                                | <150    |
| <b>4. ΓΕΩΠΕΠΙΕΣΜΕΝΑ</b>        | Έγκλειστα υδροφόρα στρώματα υπό μεγάλη πίεση, παρουσία υδρογονανθράκων (συστήματα αγωγής)                                         | 150-200 |
| <b>5. ΜΑΓΜΑΤΙΚΑ</b>            | Η θερμοκρασία >500 σε μερικά χιλιόμετρα βάθος λόγω μαγματικών διεισδύσεων                                                         | >500    |

Σύμφωνα με την ισχύουσα Εθνική νομοθεσία (Ν.3175/2003) ως γεωθερμικό δυναμικό ορίζεται το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπόγειων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25°C. Γεωθερμικό πεδίο είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό. Τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται, με βάση τη θερμοκρασία, σε υψηλής (θερμοκρασία μεγαλύτερη των 90°C) και χαμηλής (θερμοκρασία 25-90°C) θερμοκρασίας. Επιστημονικά διακρίνονται 3 κατηγορίες γεωθερμικών ρευστών: (α) υψηλής ενθαλπίας με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 150 °C, (β) μέσης ενθαλπίας με θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 90-150 °C και (γ) χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες 25-90°C.

Βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο καλείται το πεδίο με πιστοποιημένα χαρακτηριστικά υψηλού βαθμού αξιοπιστίας που προέκυψε από ερευνητικές εργασίες. Πιθανό γεωθερμικό πεδίο είναι αυτό, του οποίου τα χαρακτηριστικά εκτιμώνται από προκαταρκτικά ερευνητικά έργα. Ο χαρακτηρισμός κάθε γεωθερμικού πεδίου και η υπαγωγή του στις διάφορες κατηγορίες γίνεται με απόφαση του Υπουργείου Ανάπτυξης ύστερα και από τη γνώμη του ΙΓΜΕ.

Τα δικαιώματα για την έρευνα και διαχείριση των πεδίων ανήκουν στο Ελληνικό Δημόσιο και ύστερα από διαγωνιστική διαδικασία, που καθορίζεται λεπτομερώς από τον Κανονισμό Γεωθερμικών Εργασιών (ΦΕΚ Β' 635/12.05.2005) και άλλες Υπουργικές Αποφάσεις, εκμισθώνονται σε ιδιώτες.

## 1.1.

### 1.

## 1.1.

## 1.2.

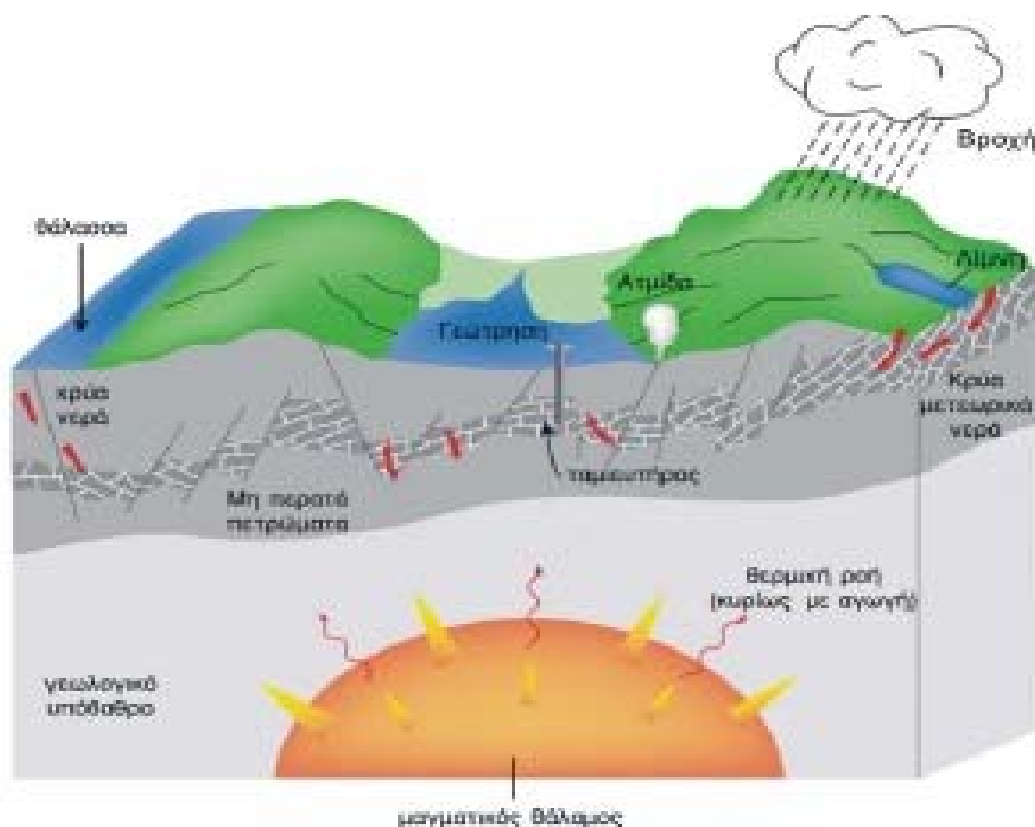
### 1.2.1. *Γεωθερμικά Πεδία Υψηλής Ενθαλπίας*

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας είναι περιοχές που παρουσιάζουν μεγάλη γεωθερμική ανωμαλία και η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι μεγαλύτερη από 150°C.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, μία θερμή εστία, που βρίσκεται σε μικρό βάθος μέσα στο φλοιό της γης και έχει πολύ υψηλή θερμοκρασία, αποτελεί την βάση για την ανάπτυξη ενός γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας. Συνήθως, μια τέτοια εστία αποτελείται από μαγματικές μάζες ποικίλων διαστάσεων που διείσδυσαν στο φλοιό από μεγαλύτερα βάθη και παραμένουν μέσα σε αυτόν ή μερικές φορές βγαίνουν στην επιφάνεια.

Κοντά στην επιφάνεια της γης η περατότητα των πετρωμάτων είναι μεγαλύτερη, γεγονός που επιτρέπει την κατείσδυση των ρευστών προς τα βαθύτερα

στρώματα με αποτέλεσμα να θερμαίνονται από την επαφή τους με τα θερμά πετρώματα. Αυτός ο μηχανισμός έχει σαν αποτέλεσμα τα ρευστά να γίνονται ελαφρύτερα και να ανέρχονται στην επιφάνεια και τη θέση τους να παίρνουν τα ψυχρότερα ρευστά. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζεται ένα σύστημα κυκλοφορίας, το οποίο προκαλεί τη συνεχή μεταφορά θερμότητας από το βάθος προς την επιφάνεια (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).



**Σχήμα 4:** Μοντέλο δημιουργίας ενός γεωθερμικού πεδίου και τα κύρια γνωρίσματά του (από πάνω προς τα κάτω) : η περιοχή επαναφόρτισης-ρήγματα, τα μη περατά πετρώματα-αδιαπέρατο κάλυμμα, ο ταμιευτήρας γεωθερμικών ρευστών και η πηγή ενέργειας-μαγματικός θάλαμος. Στο συγκεκριμένο σύστημα διαπιστώνεται η αναγνωσιμότητα του από το γεγονός ότι τροφοδοτείται συνεχώς από επιφανειακά νερά (Φυτίκας & Ανδρίτσος,

2004

### 1.2.2. Γεωθερμικά Πεδία Χαμηλής - Μέσης Ενθαλπίας

Στα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι 25-90°C ενώ στα μέσης ενθαλπίας είναι 90-150°C (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

Σε περίπτωση που λείπει η εστία θερμότητας με τη μορφή λιωμένου πετρώματος η θερμική ανωμαλία είναι πολύ μικρότερη ή και ανύπαρκτη. Αντίθετα, σε πρόσφατης ηλικίας λεκάνες και σε γεωτεκτονικά σταθερές περιοχές παρατηρείται μικρή θερμική ανωμαλία. Έτσι, σε περιοχές με εφελκυστικού τύπου τεκτονική δημιουργούνται λεκάνες, στις οποίες παρατηρείται μικρή θερμική ανωμαλία εξαιτίας των «ανοιχτών» ρηγμάτων που επιτρέπουν τη γρήγορη άνοδο θερμών ρευστών και την μεταφορά προς τα πάνω σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας.

Σε παλαιότερες λεκάνες ή άλλες γεωλογικές γεωτεκτονικά σταθερές περιοχές με γεωθερμική βαθμίδα κανονική ή και μικρότερη της μέσης γήινης υπάρχει, επίσης, η περίπτωση να εντοπιστούν γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας.

### **1.3. Γεωθερμικά Ρευστά**

Το μετεωρικό νερό, στις περισσότερες περιπτώσεις, μέσω της κατείσδυσης ή της διήθησής του αποτελεί την πηγή τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων. Όμως, η σύστασή του κατά τόπους και κατά περιπτώσεις διαφοροποιείται πριν φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους. Επομένως, η αρχική σύσταση του υπόγειου νερού είναι διαφορετική, έστω και σε μικρό ποσοστό, από την τελική. Η μεταβαλλόμενη σύσταση του νερού οφείλεται στην ικανότητά του να αντιδρά με τους σχηματισμούς-πετρώματα που έρχεται σε επαφή κατά την υπόγεια διαδρομή του, ανταλλάσσοντας με αυτούς ιόντα (Σούλιος, 2006).

Το σύνολο των μηχανισμών, μέσω των οποίων το υπόγειο νερό αντιδρά με τα περιβάλλοντα πετρώματα, περιγράφουν την «επιθετικότητά» του απέναντι στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Έτσι, εκφράζεται το ποσοστό της αλλοίωσης των ουσιών και ορυκτών του υπεδάφους.

Συνεπώς, η παραπάνω διαδικασία, όταν εκτελείται σε ορισμένες κατηγορίες γεωλογικών σχηματισμών, έχει ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό των γεωθερμικών

ρευστών σε ορισμένα ιόντα. Όμως για γίνει αυτό απαιτείται μεγάλος χρόνος παραμονής του νερού μέσα στον υδροφορέα. Πιο συγκεκριμένα όσο πιο μεγάλη είναι η διαδρομή που έχει διανύσει το γεωθερμικό ρευστό εντός του υδροφορέα τόσο περισσότερο είναι φορτισμένο σε ιόντα.

### 1.3.

#### 1.3.1. Σύσταση της Υγρής Φάσης

Ένας από τους στόχους της έρευνας σε μία περιοχή γεωθερμικού ενδιαφέροντος είναι η συλλογή δειγμάτων και η χημική ανάλυση των γεωθερμικών ρευστών που υπάρχουν στο σύστημα. Τα γεωχημικά δεδομένα που προκύπτουν χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του γεωθερμικού συστήματος (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

Τα γεωθερμικά νερά περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων συστατικών σε σχέση με τα κοινά υπόγεια νερά. Η σύσταση των γεωθερμικών νερών προκύπτει από τις αντιδράσεις του θερμού νερού με τα πετρώματα που το φιλοξενούν ή με τα πετρώματα από τα οποία διέρχεται πριν φτάσει στον ταμιευτήρα. Οι διάφορες χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, την πίεση και την αλατότητα των νερών, καθώς και από την σύσταση των πετρωμάτων. Τα νερά των γεωθερμικών συστημάτων είναι κυρίως μετεωρικής προέλευσης, ενώ σε παραθαλάσσιες περιοχές η υγρή φάση μπορεί να προέρχεται στο σύνολό της από τη θάλασσα ή να αποτελεί μίγμα μετεωρικού και θαλασσινού νερού.

Γενικά η σύσταση των γεωθερμικών νερών, όπως και των αερίων, παρουσιάζει μεταβολές τόσο τοπικά όσο και χρονικά γεγονός που οφείλεται στις διάφορες φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια της εκμετάλλευσης.

Τα κυριότερα συστατικά που βρίσκονται στα γεωθερμικά νερά είναι:

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

Ανιόντα:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Br}^-$

Χωρίς φορτίο:  $\text{SiO}_2$ , As, B,  $\text{NH}_3$ , αέρια

Στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας τα γεωθερμικά ρευστά συνοδεύονται πάντα από σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αερίων, τα οποία απελευθερώνονται μαζί με τον ατμό κατά την εκτόνωση των ρευστών. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και το υδρόθειο ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

### **1.3.2. Ταξινόμηση των Γεωθερμικών Ρευστών**

Ένας τρόπος ταξινόμησης των γεωθερμικών ρευστών είναι με βάση το κυρίαρχο ανιόν και συμπεριλαμβάνει τις ακόλουθες κατηγορίες (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004):

#### ❖ Νερά πλούσια σε χλωριόντα:

Τα χλωριούχα νερά αποτελούν το συνηθέστερο τύπο νερού που συναντάται στα γεωθερμικά συστήματα σε κάποιο βάθος. Οι συγκεντρώσεις τους προσεγγίζουν τα 10000 mg/L ενώ σπάνια μπορεί να υπερβούν τα 12000 mg/L, γεγονός που οφείλεται τόσο στην απόπλυση των πετρωμάτων όσο και στη συνεισφορά μικρών ποσοτήτων μαγματικού νερού υψηλής αλατότητας. Τα χλωριόντα νερά περιέχουν τα συστατικά Na και K με αναλογία συνήθως 10:1, Ca και  $\text{SO}_2$ , ενώ το κυριότερο διαλυμένο αέριο είναι το  $\text{CO}_2$  όπου σε συνθήκες μετά το διαχωρισμό του τα γεωθερμικά νερά καθίστανται ελαφρά όξινα ή ουδέτερα.

Τα νερά υψηλής ενθαλπίας και υψηλής αλατότητας περιέχουν σημαντικές ποσότητες βαρέων μετάλλων όπως σιδήρου, μαγγανίου, μολύβδου, χαλκού, ψευδαργύρου και αντιμονίου.

#### ❖ Νερά πλούσια σε θειικά ιόντα:

Τα νερά αυτά σχηματίζονται συνήθως κοντά στην επιφάνεια, από τη συμπύκνωση των γεωθερμικών αερίων σε υπόγεια νερά που περιέχουν οξυγόνο με αποτέλεσμα την οξείδωση του  $\text{H}_2\text{S}$  σε θειικά ιόντα, έτσι το περιβάλλον γίνεται πιο όξινο και η τιμή του pH μπορεί να φτάσει ακόμη και κάτω από 2. Κάτω από ορισμένες συνθήκες τα ρευστά αυτά μπορούν να διεισδύσουν σε σημαντικό βάθος μέσω ρηγμάτων. Σε ηφαιστειακά θερμά νερά οι υψηλές συγκεντρώσεις των θειικών

είναι πιθανό να οφείλονται στην απόπλυση των θεικών αλάτων που περιέχονται στα ηφαιστειακά πετρώματα.

#### 1. Νερά πλούσια σε ανθρακικά ιόντα:

Πρόκειται για νερά πλούσια σε διοξείδια του άνθρακα και σχηματίζονται συνήθως από την αντίδραση του διαλυμένου στα μετεωρικά νερά διοξειδίου του άνθρακα με τα πετρώματα. Νερά πλούσια σε όξινα ανθρακικά περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου. Με την αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα από τα νερά μέσω βρασμού ή διαχωρισμού των φάσεων προκαλείται αύξηση του pH του διαλύματος.

#### ❖ Νερά πλούσια σε θειικά ιόντα-χλωριόντα:

Υπάρχουν πολλές διεργασίες από τις οποίες μπορούν να προκύψουν τα νερά αυτού του τύπου. Η σπουδαιότερη αυτών είναι η ανάμειξη των χλωριούχων νερών με τα νερά πλούσια σε θειικά ιόντα.

#### ❖ Άλλα κύρια συστατικά:

**Νάτριο και Κάλιο:** Η συγκέντρωση των  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  μεταβάλλεται σύμφωνα με την ισορροπία πετρώματος-νερού, στην οποία σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοκρασία. Συχνά το κυρίαρχο κατιόν των γεωθερμικών νερών είναι το νάτριο, το οποίο συναντάται σε συγκεντρώσεις από 100-2000 mg/L. Η συγκέντρωση του καλίου είναι δέκα φορές μικρότερη από αυτή του νατρίου. Γενικά το νάτριο παραμένει σταθερό μέσα σε ένα γεωθερμικό ρευστό, δηλαδή ούτε απομακρύνεται αλλά ούτε εμπλουτίζεται. Αντίθετα το κάλιο και το λίθιο εμπλουτίζονται.

**Ασβέστιο:** Στα γεωθερμικά ρευστά η συγκέντρωση του ασβεστίου ρυθμίζεται κυρίως από ορυκτά ανάδρομης διαλυτότητας (όπως π.χ.  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  και  $\text{CaF}_2$ ) και δευτερευόντως από ασβεστιούχα αργιλοπυριτικά. Καθώς αυξάνεται η οξύτητα και η αλατότητα στο γεωθερμικό νερό παρουσιάζεται αύξηση στη συγκέντρωση του ασβεστίου.

**Μαγνήσιο:** Λόγω της ευκολίας που παρουσιάζει το μαγνήσιο να ενσωματώνεται σε δευτερογενώς εξαλλοιωμένα ορυκτά, όπως ο ιλλίτης και ο χλωρίτης, βρίσκεται σε μικρή συγκέντρωση μέσα στα ρευστά. Σε περιπτώσεις που εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις προέρχεται είναι από απόληψη Mg από τα

περιβάλλοντα πετρώματα είτε από την ανάμειξη υπόγειου και θαλασσινού νερού. Αν η προέλευση των γεωθερμικών νερών είναι θαλάσσια τότε η συγκέντρωση του μαγνησίου ελαττώνεται καθώς η συγκέντρωση του ασβεστίου αυξάνεται.

**Φθόριο:** Το φθόριο στα γεωθερμικά νερά παρουσιάζει μικρή συγκέντρωση, μικρότερη των 10 mg/L συνήθως, και περιορίζεται από τη διαλυτότητα του  $\text{CaF}_2$ . Όταν σε ένα διάλυμα υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις φθορίου, αυτές πιθανόν προκλήθηκαν από συμπύκνωση μαγματικών αερίων, και συγκεκριμένα του HF, σε μετεωρικά νερά.

**Διοξείδιο του πυριτίου:** Στα γεωθερμικά ρευστά η συγκέντρωση του  $\text{SiO}_2$  προσδιορίζεται από τη διαλυτότητα διαφόρων ορυκτών του πυριτίου, π.χ. του χαλαζία και του άμορφου  $\text{SiO}_2$ . Συνήθως οι συγκεντρώσεις του κυμαίνονται από 100 έως 300 mg/L και σπάνια φτάνουν τα 1000 mg/kg.

**Βόριο:** Εκφράζεται συνήθως ως βορικό οξύ ( $\text{H}_3\text{BO}_3$  ή  $\text{HBO}_2^-$ ) και οι συγκεντρώσεις του στα γεωθερμικά νερά είναι μικρότερες από 100 mg B/L.

### 1.3.3. Φυσικοχημικές Παράμετροι των Γεωθερμικών Νερών

Η περιεκτικότητα των γεωθερμικών ρευστών σε άλατα καθώς επίσης και το pH αποτελούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

Τα γεωθερμικά νερά περιέχουν ποσότητα διαλυμένων συστατικών, τα οποία στο σύνολό τους αποτελούν το *Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων (ΣΔΑ, Total Dissolved Solids-TDS)*. Η θερμοκρασία είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει το ΣΔΑ, διότι αυξάνει την διαλυτική ικανότητα των ρευστών. Έτσι, προκύπτει ότι τα ρευστά υψηλής ενθαλπίας έχουν μεγαλύτερο ΣΔΑ από αυτά της μέσης και χαμηλής ενθαλπίας, χωρίς όμως αυτό να είναι απόλυτο.

Επίσης το ΣΔΑ αποτελεί το μέτρο της ποσότητας των διαλυμένων χημικών ουσιών στα γεωθερμικά νερά, γι' αυτό συχνά αναφέρεται ως *αλατότητα*.

Από την υπαίθρια μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού προσεγγιστικά μπορεί να υπολογιστεί το μέγεθος της αλατότητας σύμφωνα με τον τύπο:

$$\Sigma\Delta A(\text{mg} / \text{L}) = (0,5 - 0,8) \times \text{Ηλεκτρική Αγωγιμότητα } (\mu\text{S} / \text{cm})$$

Τα ιόντα που περιέχονται στα γεωθερμικά ρευστά έχουν ιοντοανταλλακτική και γενικά ανταγωνιστική δράση με αποτέλεσμα η συγκέντρωση σε κάποια από αυτά να παραμένει σταθερή. Έτσι, το ΣΔΑ αυξάνεται μέχρι κάποια οριακή τιμή, η οποία αντιστοιχεί στον κορεσμό στις επικρατούσες συνθήκες (π.χ. πίεσης, θερμοκρασίας) (Σούλιος, 2006).

Το pH αποτελεί το μέτρο οξύτητας ή αλκαλικότητας του νερού. Όσον αφορά τα γεωθερμικά νερά, αυτό παρουσιάζει κατά μέσο όρο τιμές μεταξύ 5,5-8,5, ενώ σε κάποιες περιοχές της Ελλάδας μπορεί να εμφανίζεται μικρότερο ή μεγαλύτερο από το μέσο όρο (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

Κάποιες δευτερεύουσες φυσικοχημικές ιδιότητες των γεωθερμικών νερών είναι: η πυκνότητα, η θερμοκρασία, τα αιωρούμενα στερεά, η αγωγιμότητα, η θολότητα, η οξύτητα/ αλκαλικότητα, τα χλωριόντα, τα θειούχα/θειικά, η αμμωνία, το διαλυμένο οξυγόνο και τέλος, η ποιοτική ανάλυση κατιόντων και ανιόντων.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι τιμές του pH για τους διάφορους τύπους ρευστών που παρατηρούνται στα γεωθερμικά πεδία.

**Πίνακας 2:** Οι τύποι νερών στα διάφορα γεωθερμικά συστήματα, το pH και τα κύρια ιόντα κάθε τύπου (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

| Τύπος Νερών                    | Περιοχή pH | Κύρια ιόντα                             |
|--------------------------------|------------|-----------------------------------------|
| Υπόγεια                        | 6-7,5      | λίγα $\text{HCO}_3^-$                   |
| Πλούσια σε χλωριόντα           | 4-9        | $\text{Cl}^-$ , λίγα $\text{HCO}_3^-$   |
| Πλούσια σε χλωριόντα-ανθρακικά | 7-8,5      | $\text{Cl}^-$ , $\text{HCO}_3^-$        |
| Πλούσια σε θειικά ιόντα        | 1-3        | $\text{SO}_4^{2-}$ , λίγα $\text{Cl}^-$ |
| Πλούσια σε θειικά-χλωριόντα    | 1-5        | $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$      |
| Πλούσια σε όξινα ανθρακικά     | 5-7        | $\text{HCO}_3^-$                        |
| Αραιά χλωριούχα                | 6,5-7,5    | $\text{Cl}^-$ , λίγα $\text{HCO}_3^-$   |

## 1.4. Περιοχές Γεωθερμικού Ενδιαφέροντος

Τα περισσότερα γεωθερμικά συστήματα εντοπίζονται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, όπου παρατηρούνται πιο έντονα γεωδυναμικά και γεωλογικά-τεκτονικά φαινόμενα και μαγματισμός ευνοώντας έτσι την άνοδο και τη συσσώρευση γεωθερμικών ρευστών σε μικρότερα βάθη (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).

Στις περιοχές απομάκρυνσης των λιθοσφαιρικών πλακών ανέρχεται μανδουακό υλικό με αποτέλεσμα να δημιουργείται νέος ωκεάνιος φλοιός στην αξονική ζώνη, η οποία ονομάζεται ζώνη μεγέθυνσης ή επέκτασης ή μεσο-ωκεάνια ράχη. Οι ποσότητες γεωθερμικής ενέργειας που απελευθερώνονται μέσα στις ζώνες αυτές είναι τεράστιες και η θερμή ροή μπορεί να φτάσει τα 1000 nW/m<sup>2</sup>.

Αντίθετα, στις περιοχές σύγκλισης λιθοσφαιρικών πλακών, όπου μία ψυχρή λιθοσφαιρική πλάκα βυθίζεται μέσα στη ζεστή ασθενόσφαιρα, πραγματοποιείται τήξη του υλικού της κατερχόμενης πλάκας και δημιουργούνται θετικές θερμικές συνθήκες λόγω ύπαρξης λιωμένων πετρωμάτων σε μικρά σχετικά βάθη. Στις περιοχές καταβύθισης, όταν το λιωμένο πέτρωμα καταλήγει στην επιφάνεια της γης, σχηματίζει ηφαιστειακά νησιωτικά τόξα ή κορδιλιέρες, από τα οποία μεταφέρονται μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας προς την επιφάνεια και συνδέονται με γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας. Στην περίπτωση σύγκρουσης δύο ηπειρωτικών λιθοσφαιρικών πλακών η εφελκυστική τεκτονική που επικρατεί πίσω από τη ζώνη σύγκρουσης, η οποία συνοδεύεται από τήξη των περιβαλλόντων πετρωμάτων ή από άνοδο των βαθιών και θερμών ρευστών προς την επιφάνεια, οδηγεί στη δημιουργία θετικών θερμικών ανωμαλιών. Το ίδιο συμβαίνει και στη περίπτωση μεγάλων και βαθιών ρηγμάτων μετασχηματισμού.

Ευνοϊκές γεωθερμικές συνθήκες μπορεί να δημιουργηθούν ακόμη και από το μαγματισμό στο εσωτερικό των λιθοσφαιρικών πλακών, είτε ωκεάνιων είτε ηπειρωτικών, ο οποίος ονομάζεται μαγματισμός *θερμών κηλίδων* ή *θερμών διογκώσεων*.

Σε κάποιες περιοχές της επιφάνειας της γης παρατηρούνται θετικές θερμικές ανωμαλίες, οι οποίες συνδέονται με γεωδυναμικά αίτια που οδηγούν σε λέπτυνση του φλοιού και μεγάλες θερμοκρασίες σε μικρότερα βάθη. Τέτοιες περιοχές αποτελούν μεγάλης ή μικρής έκτασης τεκτονικά ηπειρωτικά βυθίσματα (π.χ. κοιλάδα Ρήνου, Παννονική πεδιάδα και τεκτονικά βυθίσματα Βόρειας Ελλάδας).

Οι ζώνες που υπάρχουν πίσω από τα ηφαιστειακά νησιωτικά τόξα ονομάζονται οπισθότοξες περιοχές, στις οποίες εντάσσεται και ο χώρος του γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας του Αρίστηνου. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από εφελκυστικού τύπου τεκτονική με μεγάλα και βαθιά ρήγματα, τα οποία συχνά μεταφέρουν τα θερμά ρευστά και, κατά συνέπεια, μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας προς την επιφάνεια. Επιπλέον, τα ρήγματα αυτά προκαλούν καταβυθίσεις με αποτέλεσμα το σχηματισμό τεκτονικών βυθισμάτων που πληρώνονται με περατά ιζήματα που πολλές φορές φιλοξενούν θερμά ρευστά. Η θετική γεωθερμική ανωμαλία στην περιοχή του κεντρικού και βορείου Αιγαίου καθώς και στις γύρω περιοχές, είναι περισσότερο έντονη κατά μήκος των μεγάλων ρηγμάτων και πιθανότατα συνδέεται με την εκλέπτυνση του φλοιού της γης.

Τα τριτογενή και τεταρτογενή τεκτονικά βυθίσματα εφελκυστικής τεκτονικής παρουσιάζουν αυξημένο γεωθερμικό ενδιαφέρον. Η ύπαρξη καλών υδροφόρων οριζόντων, κυρίως στη βάση των νεότερων ιζημάτων και στο επάνω τμήμα των μεταμορφωμένων σχηματισμών του υποβάθρου, καθώς και στεγανών σχηματισμών πάνω από τους υδροφορείς που δρουν ως το απαραίτητο γεωλογικό κάλυμμα των γεωθερμικών συστημάτων, έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία γεωθερμικών πεδίων χαμηλής και, αρκετές φορές, μέσης ενθαλπίας.

## 1.5. Γεωθερμική Έρευνα

Η γεωθερμική έρευνα σε μία περιοχή περιλαμβάνει τα εξής στάδια (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004):

- 1) Γενική επισκόπηση μεγάλης κλίμακας
- 2) Λεπτομερή και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών
- 3) Εντοπισμό – περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων και μελέτη των χαρακτηριστικών τους
- 4) Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων

Η οικονομική αξιολόγηση των εφαρμογών της γεωθερμίας και της ποιότητας του ενεργειακού προϊόντος εξαρτάται κυρίως το κόστος των γεωτρήσεων, καθώς και τη θερμοκρασία, την παροχή και την ποιότητα των ρευστών. Για οικονομικούς, αλλά και για τεχνολογικούς λόγους, καθίσταται λιγότερο συμφέρουσα η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας από βάθη μεγαλύτερα των 3000 m.

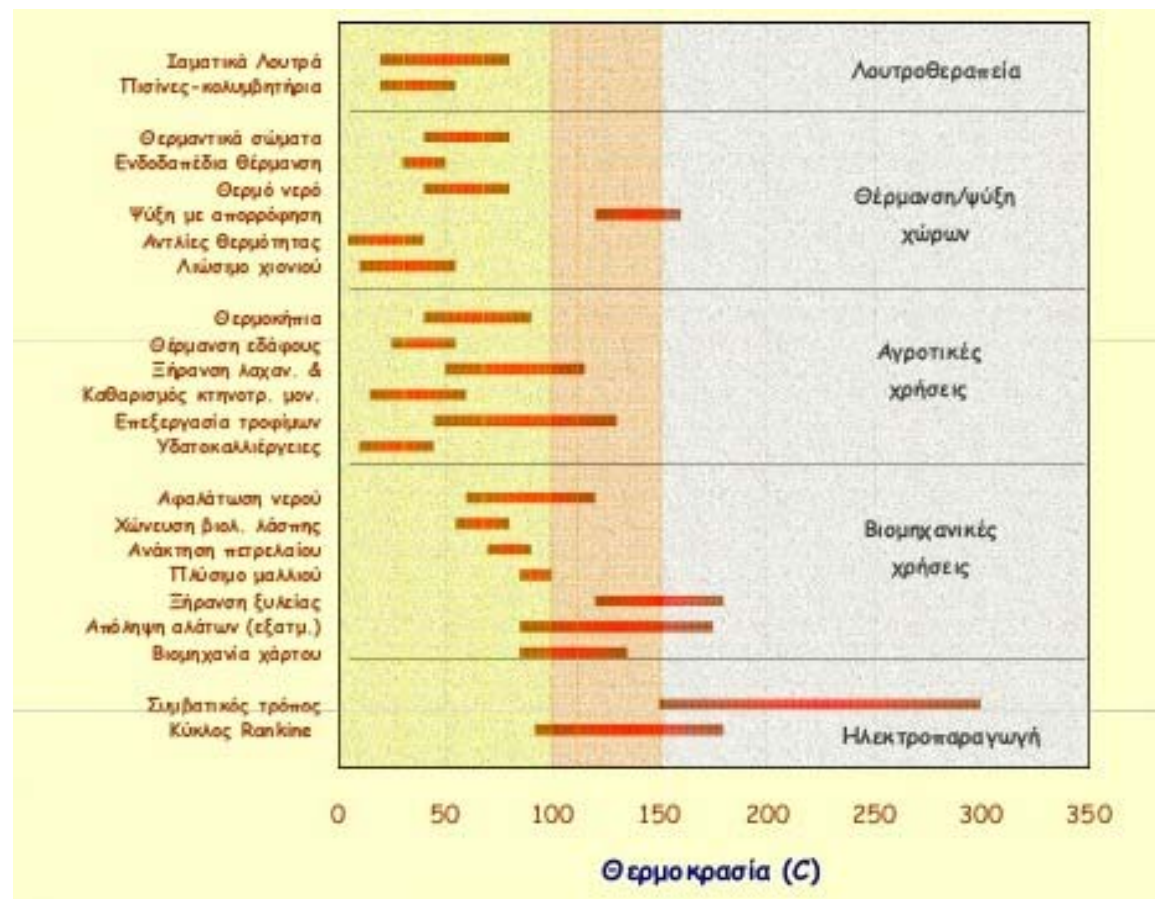
Η πλέον βέλτιστη περίπτωση οικονομικά συμφέρουσας εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας είναι όταν αυτή εντοπίζεται κοντά στην επιφάνεια και τα γεωθερμικά ρευστά βρίσκονται υπό πίεση μέσα σε καλούς υδατοπερατούς γεωλογικούς σχηματισμούς, οι οποίοι τροφοδοτούνται διαρκώς από την επιφάνεια και είναι καλυμμένοι με στεγανούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Σε πολλές περιπτώσεις, πάντως, η αναζήτηση, ο εντοπισμός και η έρευνα μιας πιθανής γεωθερμικής περιοχής είναι ιδιαίτερα δύσκολη και δαπανηρή.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η αναζήτηση των γεωθερμικών περιοχών γίνεται με την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων γεωθερμικής έρευνας. Οι γεωτρήσεις, οι οποίες γίνονται στο τελικό στάδιο της έρευνας, και ιδιαίτερα οι παραγωγικές, για να φτάσουν στο επιθυμητό βάθος και να διατηρήσουν τον ταμιευτήρα των γεωθερμικών ρευστών είναι δαπανηρές, όμως είναι αποτελεσματικές και αποτελούν το μοναδικό μέσο μεταφοράς της γεωθερμικής ενέργειας στην επιφάνεια. Πρέπει σε κάθε περίπτωση να προηγηθεί υπαίθρια και εργαστηριακή

έρευνα που θα οδηγήσει στην ασφαλή χωροθέτηση των ερευνητικών-παραγωγικών γεωτρήσεων.

## 1.6. Χρήσεις των Γεωθερμικών Συστημάτων

Η ενέργεια που παράγεται από τους διάφορους γεωθερμικούς πόρους έχει ποικίλες χρήσεις, οι οποίες χωρίζονται σε ηλεκτρικές (*electrical uses*) και άμεσες χρήσεις (*direct uses*). Οι άμεσες χρήσεις αναφέρονται στις χρήσεις από τις οποίες η θερμότητα του ρευστού δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004).



Σχήμα 5: Τροποποιημένο διάγραμμα Lindal (1973) (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004)

Οι σημαντικότερες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας παρουσιάζονται επιγραμματικά στο Σχήμα 5, που αποτελεί τροποποίηση του διαγράμματος Lindal (1973).

Τα παραδείγματα των χρήσεων που καταγράφονται στο διάγραμμα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του ρευστού. Η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων καθώς και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές της γεωθερμίας.

Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Αντίθετα, τα γεωθερμικά πεδία μέσης έως χαμηλής ενθαλπίας παρουσιάζουν μεγαλύτερη ποικιλία όσων αφορά τις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται π.χ. γεωργία, γεωργική βιομηχανία, κτηνοτροφία και ιχθυοκαλλιέργεια καθώς και θέρμανση χώρων (Ξυπόλυτου, 2011).

Η παλαιότερη και πιο συνηθισμένη αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι για τη θέρμανση. Άλλες χρήσεις της όπως η λουτροθεραπεία, η θέρμανση χώρων, η τηλεθέρμανση, οι αγροτικές εφαρμογές, οι υδατοκαλλιέργειες και οι βιομηχανικές χρήσεις είναι εξίσου γνωστές. Παρόλα αυτά η πιο διαδεδομένη είναι οι αντλίες θερμότητας, οι οποίες κατά το έτος 2000 κάλυπταν το 12,5% της συνολικής χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας.

Η ανάπτυξη του **γεωθερμικού κλιματισμού** (θέρμανση και δροσισμός) ξεκίνησε τη δεκαετία του 1980 και ακολούθησε την εμφάνιση και τη διάδοση των αντλιών θερμότητας. Η οικονομική αξιοποίηση του θερμικού φορτίου των σωμάτων χαμηλής ενθαλπίας πραγματοποιείται μέσω των διαφόρων τύπων αντλιών θερμότητας.

Η **τηλεθέρμανση** είναι η περιφερειακή θέρμανση οικισμών και πόλεων και βρίσκεται εφαρμογή σε πολλές χώρες. Η θερμική ενέργεια, που απαιτείται για την χρήση της τηλεθέρμανσης και τη διαμόρφωση ιδανικών συνθηκών εκμετάλλευσης, εξασφαλίζεται από εγκαταστάσεις χαμηλού κόστους κατασκευής, συντηρήσεως και γενικά λειτουργίας.

Οι ανοιχτές καλλιέργειες και η θέρμανση θερμοκηπίων είναι οι κυριότερες **αγροτικές εφαρμογές**. Το θερμό ρευστό χρησιμοποιείται στις ανοιχτές καλλιέργειες για την άρδυσή τους και/ή τη θέρμανση του εδάφους. Για να αποφευχθεί η καταστροφή των καλλιεργειών κατά την άρδευση πρέπει οι μεγάλες ποσότητες νερού, που απαιτούνται, να έχουν πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Ένα υπόγειο σύστημα σωλήνωσης ως μέσο θέρμανσης του εδάφους θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προβλήματος, διότι με τους υπεδάφειους σωλήνες χωρίς την ύπαρξη αρδευτικού συστήματος επιτυγχάνεται η ελάττωση της θερμικής αγωγιμότητας λόγω της μείωσης της υγρασίας περιμετρικά των σωλήνων και οδηγεί σε θερμική μόνωση.

Η **θέρμανση θερμοκηπίων** αποτελεί την διαδεδομένη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στον αγροτικό τομέα. Στην ουσία με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται είτε η εκτός εποχής καλλιέργεια γεωργικών προϊόντων είτε η ανάπτυξή τους σε περιοχές με μη ευνοϊκές συνθήκες μέσω της κατάλληλης τεχνολογίας.

Το κάθε είδος παρουσιάζει τη μέγιστη ανάπτυξή του βασιζόμενο σε διαφορετικές τιμές των παρακάτω παραμέτρων:

- ◆ Θερμοκρασία
- ◆ Ένταση φωτός
- ◆ Συγκέντρωση CO<sub>2</sub> μέσα στο θερμοκήπιο
- ◆ Υγρασία εδάφους, αέρα και τέλος
- ◆ Κίνηση αέρα

Σε ένα θερμοκήπιο η θέρμανση μέσω γεωθερμικών ρευστών προκαλεί μείωση των λειτουργικών του εξόδων σε σημαντικό επίπεδο που μπορεί να φτάσει το 35% του κόστους παραγωγής.



**Σχήμα 6:** Θερμοκηπιακή καλλιέργεια στο γεωθερμικό πεδίο Ερασμίου στο νομό Ξάνθης (<http://www.michanikos.gr/topic/38679-h-πρώτη-παραγωγή-από-τα-Θερμοκήπια-της-Γεωθερμίας/>).

Οι άριστες συνθήκες της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου ευνοούν την ανάπτυξη των **κτηνοτροφικών ειδών** καθώς και των υδρόβιων οργανισμών. Οι

κτηνοτροφικές μονάδες σε συνδυασμό με τα γεωθερμικά θερμοκήπια αποτελούν ένα αρκετά επικερδή τρόπο αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών, διότι η μονάδα εκτροφής χρειάζεται τη μισή ενέργεια από αυτήν που απαιτεί το θερμοκήπιο για να λειτουργήσει. Έτσι, τα ζώα της μονάδας ζουν σε ένα περιβάλλον ελεγχόμενης θερμοκρασίας που συμβάλει στη βελτίωση της υγείας τους, ενώ τα γεωθερμικά ρευστά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό και την εξυγίανση των χώρων της μονάδας καθώς και για την ξήρανση των αποβλήτων των ζώων.

Οι **υδατοκαλλιέργειες** είναι η ελεγχόμενη εκτροφή υδρόβιων οργανισμών και με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται η ζήτησή τους σε παγκόσμιο επίπεδο. Η θερμοκρασία εκτροφής των υδρόβιων οργανισμών είναι ιδιαίτερα σημαντική και πρέπει να ελέγχεται συστηματικά, ώστε να διατηρείται στο βέλτιστο επίπεδο για την παραγωγή ή και την αναπαραγωγή των διαφόρων ειδών, περίπου από 20 °C έως -30 °C. Τα συνηθέστερα είδη που εκτρέφονται σε υδατοκαλλιέργειες είναι: κυπρίνος, γατόψαρο, λαβράκια, κέφαλοι, χέλια, σολομοί, μουρούνες, γαρίδες, αστακοί, καραβίδες, κάβουρες, στρείδια, μύδια, χτένια κ.α.

Το μέγεθος της εγκατάστασης μιας υδατοκαλλιέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένο με την αρχική θερμοκρασία των ρευστών, τη θερμοκρασία που απαιτείται για τη λειτουργία των δεξαμενών εκτροφής και τις θερμικές απώλειες που συνοδεύονται καθεμία από αυτές.

Επιπλέον, μια μορφή υδατοκαλλιέργειας θεωρείται η καλλιέργεια της σπιρουλίνας, η οποία είναι ένα μονοκύτταρο, σπειροειδές και γαλαζο-πράσινο φίκος. Συχνά αποκαλείται ως «υπερ-τροφή» ενώ στο εμπόριο προωθείται ως «συμπλήρωμα διατροφής». Τέτοιες υδατοκαλλιέργειες υπάρχουν συνήθως σε τροπικές και υποτροπικές χώρες, σε λίμνες ή τεχνητές δεξαμενές, στα οποία επιτυγχάνεται ζεστό και αλκαλικό περιβάλλον πλούσιο σε διοξείδιο του άνθρακα που οδηγεί στη γρήγορη ανάπτυξή της. Σε πολλές χώρες το απαιτούμενο περιβάλλον διασφαλίζεται από τη γεωθερμική ενέργεια της περιοχής (π.χ. παραγωγή σπιρουλίνας στη Νιγρίτα Σερρών).



**Σχήμα 7:** Υδατοκαλλιέργεια σπιρουλίνας στη Νιγρίτα του νομού Σερρών. ([http://perivall-on.blogspot.gr/2012/08/blog-post\\_8223.html](http://perivall-on.blogspot.gr/2012/08/blog-post_8223.html)).

Τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε **βιομηχανικές εφαρμογές**, ανεξαρτήτως μορφής και θερμοκρασίας. Η χρήση της γεωθερμίας λοιπόν στη γεωθερμία περιλαμβάνει τη θέρμανση, παντός τύπου, και την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού. Η δεύτερη περίπτωση επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της πολυσταδιακής εξάτμισης σε κενό (MES). Η αφαλάτωση είναι οικονομική όταν η θερμοκρασία των ρευστών είναι τουλάχιστον 60 °C. Επιπλέον η θερμοκρασία απόρριψης πρέπει να είναι 40-50 °C. Σε περίπτωση που υπάρχουν γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 75 °C και παροχής 100 m<sup>3</sup>/h επιτυγχάνεται αφαλάτωση 600 m<sup>3</sup>/h την ημέρα. Το εκτιμώμενο κόστος σε αυτή την περίπτωση ανέρχεται στις 550.000,000 δρχ., ενώ το κόστος αφαλάτωσης του νερού είναι περίπου 350 δρχ./ m<sup>3</sup>. Η παραπάνω περίπτωση για να θεωρηθεί οικονομικά συμφέρουσα πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την αφαλάτωση του νερού να αντιστοιχεί το πολύ στο 60% του κόστους αφαλάτωσης του πετρελαίου.

Διάφορα προϊόντα υπόκεινται βιομηχανικής επεξεργασίας μέσω της γεωθερμικής ενέργειας σε 19 χώρες, οι οποίες διαθέτουν μεγάλες εγκαταστάσεις και μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Άλλα παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών είναι η εμφιάλωση νερού και ανθρακούχων ποτών, η παραγωγή χαρτιού, τμημάτων αυτοκινήτων, η ανάκτηση λαδιού, η παστερίωση γάλακτος, η χρήση στη βυρσοδεψία, η χημική ανάκτηση προϊόντων,

η παραγωγή διαχωρισμού του CO<sub>2</sub>, η χρήση σε πλυντήρια, η ξήρανση γης διατόμων, η επεξεργασία πολτού και χαρτιού και η παραγωγή βασικών αλάτων και βορικού οξέος.

Τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το λιώσιμο πάγου και **αντιπαγετική προστασία** πεζοδρομίων, δρόμων και πλατειών καθώς και για σχέδια για τη διάλυση της ομίχλης σε ορισμένα αεροδρόμια.

# 2.

## ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ

1.

2.

---

2.

### ***2.1. Γεωλογική και Τεκτονική κατάσταση της Βορειοανατολικής Ελλάδας***

Η περιοχή που οριοθετείται από τον ποταμό Στρυμόνα στα δυτικά και τον ποταμό Έβρου στα ανατολικά γεωτεκτονικά ανήκει στην κρυσταλλοσχιστώδη μάζα της Ροδόπης. Η περιοχή νότια και βορειοανατολικά του Έβρου ανήκει στην Περιοδοπική ζώνη ενώ το δυτικό τμήμα της λεκάνης του Στρυμόνα στην Σερβομακεδονική Μάζα (Μουντράκης, 2010; Kolios et.al 2007).

Γεωλογικά, η μάζα της Ροδόπης αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα με διεισδύσεις πλουτωνικών και ηφαιστειακών πετρωμάτων, όπως γρανίτες, γρανοδιορίτες, μονζονίτες και διορίτες μεγάλου

πάχους. Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματά της Ροδόπης χωρίζονται σε δύο ενότητες: τη σειρά σχιστολίθων που αποτελείται κυρίως από χλωρίτη και μερικώς από μαρμαρυγία, ενώ σπάνια παρεμβάλλονται φακοί αμφιβολιτών και μαρμάρων, και τη σειρά των φυλλιτών και μαρμάρων αποτελούμενη κυρίως από αργιλικούς φυλλίτες, σχιστόλιθους και χαλαζίτες, καθώς και δολομιτικά μάρμαρα.(Kolios et.al 2007).

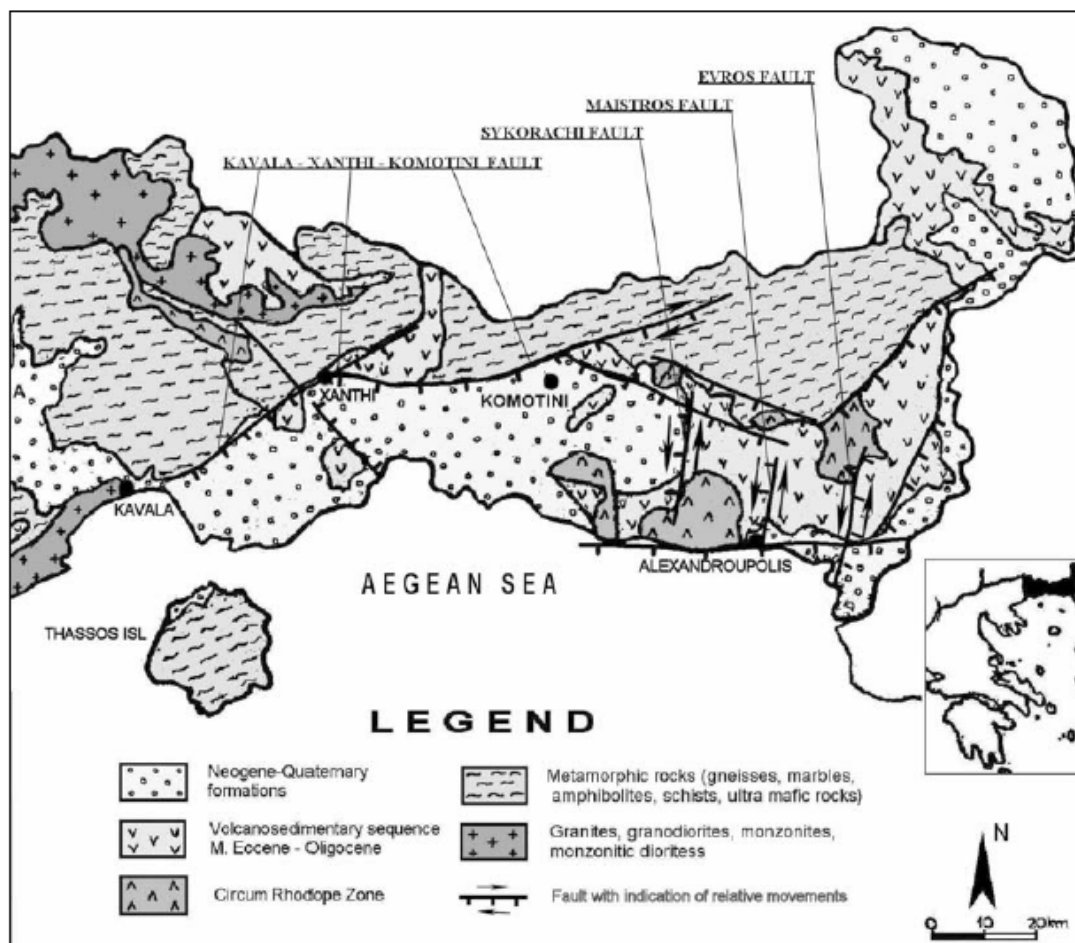
Η Περιοδοπική ζώνη, στην περιοχή της Θράκης, αποτελείται από διάφορες ακολουθίες πετρωμάτων, όπως φυλλίτες, πρασινοσχιστόλιθοι και μετα-ιζήματα ενός παλιού φλύσχη με παρεμβολές ηφαιστειογενών σωμάτων, οι οποίες τοποθετούνται πάνω στη μάζα της Ροδόπης και συνεχίζονται προς την επιφάνεια με ημι-μεταμορφωμένους σχηματισμούς.

Νότια και ανατολικά της Ροδοπικής μάζας αναπτύχθηκαν επικλυσιογενείς παλαιογενείς λεκάνες, στις οποίες αποτέθηκαν ιζήματα. Η ιζηματογένεση συνοδεύτηκε από ηφαιστειακή δραστηριότητα ασβεσταλκαλικού τύπου. Ουσιαστικά πρόκειται για Μειοκαινικά θαλάσσια ιζήματα που αποτελούνται από λευκούς πορώδεις ασβεστόλιθους, ψαμμίτες, μάργες και αργίλους, καθώς και λιμναίες αποθέσεις που αποτελούνται από εναλλαγές ψαμμιτών, άμμων και αμμωδών αργίλων. Επιπλέον, υπάρχουν Πλειοκαινικές αποθέσεις όπως αμμώδεις μάργες, άργιλοι και πηλοί με ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων. Παρατηρούνται ακόμη πλειστοκαινικές αποθέσεις, όπως κώνοι κορημάτων και προσχώσεις που αποτελούνται από κόκκινη άργιλο και άμμο με φακούς μη συνεκτικών υλικών, καθώς και αλλουβιακές αποθέσεις, όπως άργιλοι, αμμώδεις άργιλοι, αργιλώδεις άμμος και χαλίκια. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ολιγο-μειοκαινική ηφαιστειότητα με προϊόντα ασβεσταλκαλικού χαρακτήρα που υποδηλώνουν ότι η περιοχή αποτελούσε ενεργό ηπειρώτικο περιθώριο στο γεωλογικό παρελθόν.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 8, η περιοχή της ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης επηρεάζεται από ρήγματα με διευθύνσεις ABA-ΔΝΔ, ΔΝΔ-ABA. Η ρηξιγενής ζώνη KXKF (Kavala – Xanthi – Komotini - Fault) που καταλήγει στο ανατολικό τμήμα της κοιλάδας του Έβρου είναι αρκετά σημαντική διότι φέρνει σε επαφή τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς της Ροδόπης με τις νεογενείς-τεταρτογενείς

αποθέσεις της Περιοδοπικής μάζας και έχει διεύθυνση ολίσθησης Α-Δ με συνολικό μήκος 120 km.

Για το Βόρειο Αιγαίο η νεοτεκτονική δραστηριότητα χαρακτηρίζεται από εφελκυστικές τάσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση έγινε στο Άνω Μειόκαινο με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και η δεύτερη στο Πλειόκαινο-Κάτω Πλειστόκαινο με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Από το Μέσο Πλειστόκαινο μέχρι και σήμερα το πεδίο των τάσεων έχει διεύθυνση Β-Ν. Μεταξύ Πριαμπονίου-Μέσου Μειοκαίνου η περιοχή έχει διαμορφωθεί από τη δράση διατμητικής παραμόρφωσης ενώ μετά το Μέσο Μειόκαινο οι οριζόντιες κινήσεις στις επιφάνειες των ρηγμάτων σταδιακά μετατρέπονται σε κανονικές.



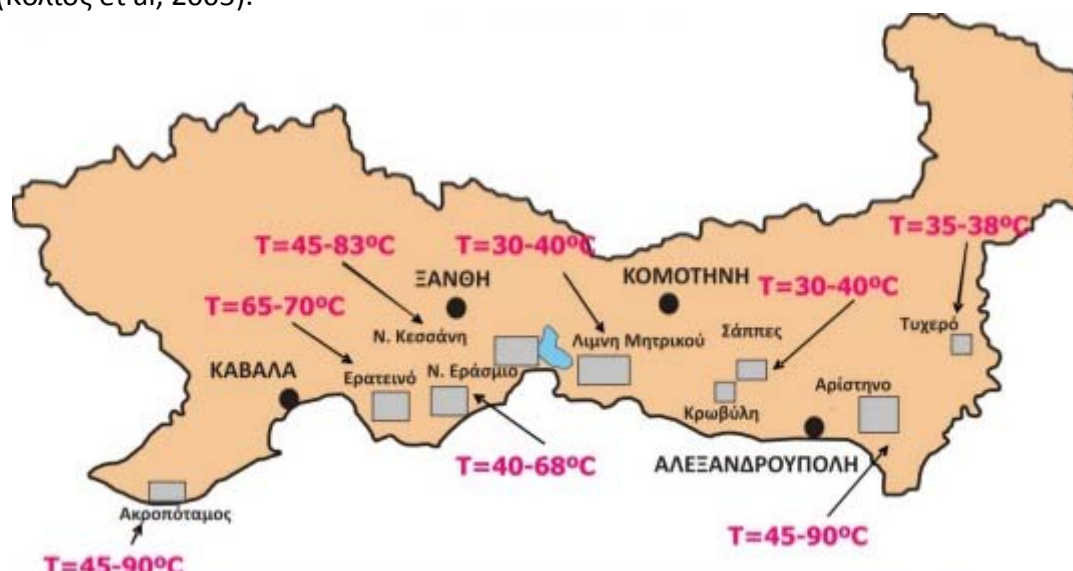
**Σχήμα 8:** Σχηματική απεικόνιση των γεωλογικών και τεκτονικών σχηματισμών που απαρτίζουν την Ανατολική Μακεδονία και Θράκη (Rondoyanni et al. 2004).

# 1.

## 1.1.

## 2.2. Γεωθερμική κατάσταση στην Βορειοανατολική Ελλάδα

Η υψηλή ροή θερμότητας στην Βορειοανατολική Ελλάδα, εξαιτίας του μαγματισμού, της ευνοϊκής στρωματογραφίας και της ενεργού τεκτονικής, συμβάλλει στο σχηματισμό των γεωθερμικών πεδίων χαμηλής ενθαλπίας, στα οποία η μέγιστη θερμοκρασία που έχει μετρηθεί 95°C. Το γεωθερμικό δυναμικό της περιοχής υπερβαίνει τα 100 MWt, γεγονός που την καθιστά άμεσα εκμεταλλεύσιμη (Κολιός et al, 2005).



Σχήμα 9: Τα γεωθερμικά πεδία της ΒΑ Ελλάδας (<http://www.slideshare.net/kpeporoion/ss-16400852>).

Σύμφωνα με το Σχήμα 9, τα βεβαιωμένα γεωθερμικά πεδία της ΒΑ Ελλάδας είναι τα ακόλουθα (ΙΓΜΕ 2007):

### Ι. Γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας Σαππών

Το γεωθερμικό πεδίο Σαππών βρίσκεται στην υπολεκάνη που εκτείνεται από το χωριό Σάππες μέχρι νότια της Συκοράχης και την Κρωβύλη (ΙΓΜΕ, 2007).

Τα γεωθερμικά ρευστά του πεδίου είναι καλής ποιότητας και δεν δημιουργούν προβλήματα διάβρωσης και καταλάτωσης, γεγονός που τα καθιστά άμεσα αξιοποιήσιμα για θέρμανση και κλιματισμό χώρων.

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζονται τα όρια των βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων Σαππών και Κροβύλης, με έκταση 3 km<sup>2</sup> και 6 km<sup>2</sup> αντίστοιχα. Επίσης απεικονίζεται το πιθανό πεδίο που καλύπτει έκταση 51 km<sup>2</sup>. Το πιθανό γεωθερμικό πεδίο καλύπτει έκταση. Οι συντεταγμένες των πολυγώνων ΚΛΜΞ, ΑΒΓΔΕ και ΑΒΓΔΕ που ορίζουν τα βεβαιωμένα γεωθερμικά πεδία Σαππών και Κροβύλης και το πιθανό γεωθερμικό πεδίο Σαππών αντίστοιχα, παρουσιάζονται στους Πίνακες 3, 4 και 5.

Η ελάχιστη θερμοκρασία του βεβαιωμένου πεδίου Σαππών είναι 30°C ενώ η μέγιστη φτάνει τους 40°C. Ο ταμιευτήρας εκτίνεται σε βάθος 50-380 m και η παροχή υπολογίζεται περίπου στα 100 m<sup>3</sup>/h. Τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν: Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al, B, Fe και F και το pH τους κυμαίνεται από 6,53 έως 7,82.

**Πίνακας 3:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) των κορυφών του πολυγώνου ΖΗΘΙ που ορίζει το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Σαππών (ΙΓΜΕ, 2007).

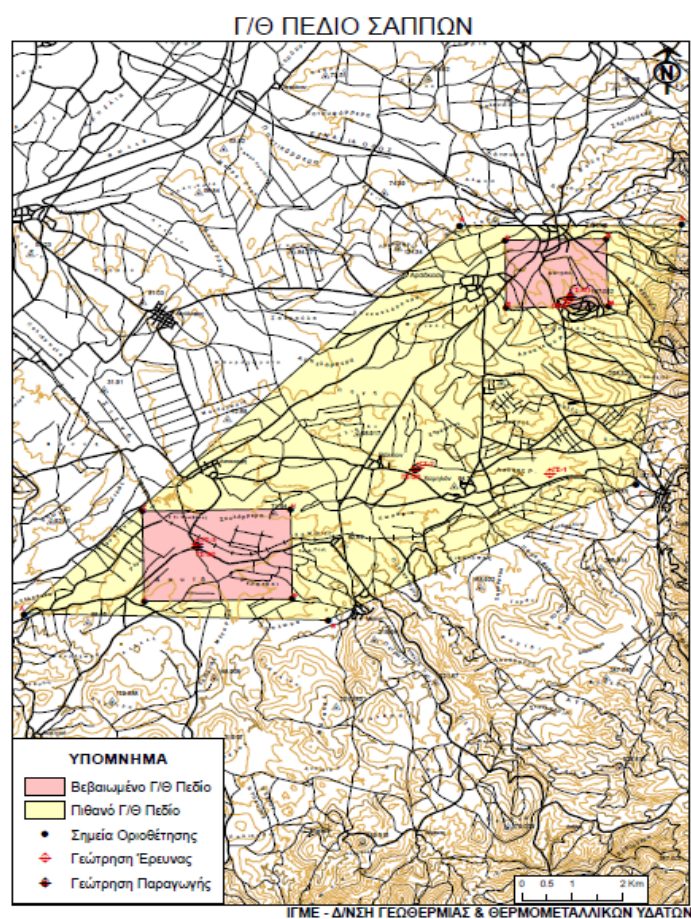
| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | Χ         | Υ          |
|------------------|-----------|------------|
| Ζ                | 641411,84 | 4542537,32 |
| Η                | 643410,14 | 4542563,11 |
| Θ                | 643448,82 | 4541119,17 |
| Ι                | 641437,62 | 4541080,49 |

**Πίνακας 4:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) των κορυφών του πολυγώνου ΚΛΜΞ που ορίζει το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Κροβύλης (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | Χ         | Υ          |
|------------------|-----------|------------|
| Κ                | 634243,71 | 4536710,00 |
| Λ                | 637170,27 | 4536761,00 |
| Μ                | 637208,94 | 4534827,72 |
| Ξ                | 634282,39 | 4534776,15 |

**Πίνακας 5:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) των κορυφών του πολυγώνου ΑΒΓΔΕ που ορίζει το πιθανό γεωθερμικό πεδίο Σαππών (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | Χ         | Υ          |
|------------------|-----------|------------|
| Α                | 631907,30 | 4534498,99 |
| Β                | 637918,02 | 4534350,71 |
| Γ                | 643990,30 | 4537290,15 |
| Δ                | 644892,76 | 4542859,63 |
| Ε                | 640518,68 | 4542847,23 |



**Σχήμα 10:** Τα βεβαιωμένα γεωθερμικά πεδία απεικονίζονται με τα κόκκινα πολύγωνα ΖΗΘΙ και ΚΛΜΞ ενώ το πιθανό με το κίτρινο πολύγωνο ΑΒΓΔΕ (ΙΓΜΕ, 2007).

## II. Γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας Λίμνης Μητρικού

Βόρεια της λίμνης Μητρικού βρίσκεται το ομώνυμο γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλή ροή θερμότητας λόγω ευνοϊκής τεκτονικής και στρωματογραφικής διάρθρωσης των σχηματισμών (ΙΓΜΕ, 2007).

Το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο καταλαμβάνει έκταση 7km<sup>2</sup> και ορίζεται από το πολύγωνο ΚΛΜΝ. Οι συντεταγμένες του πολυγώνου παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Το πιθανό πεδίο έχει έκταση 170 km<sup>2</sup> και ορίζεται από το πολύγωνο ΑΒΓΔΕΖΗΘΙ, οι συντεταγμένες του οποίου παρουσιάζονται στον Πίνακα 7. Οι θερμοκρασίες στον ταμιευτήρα είναι 30-40°C σε βάθη 350-500m. Τα γεωθερμικά ρευστά παρουσιάζουν βασικό pH (9,27) και περιέχουν τα εξής χημικά στοιχεία: Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, B, Fe.

Το Σχήμα 11 αποτελεί σχηματική απεικόνιση της έκτασης που καταλαμβάνει το βεβαιωμένο και το πιθανό γεωθερμικό πεδίο.

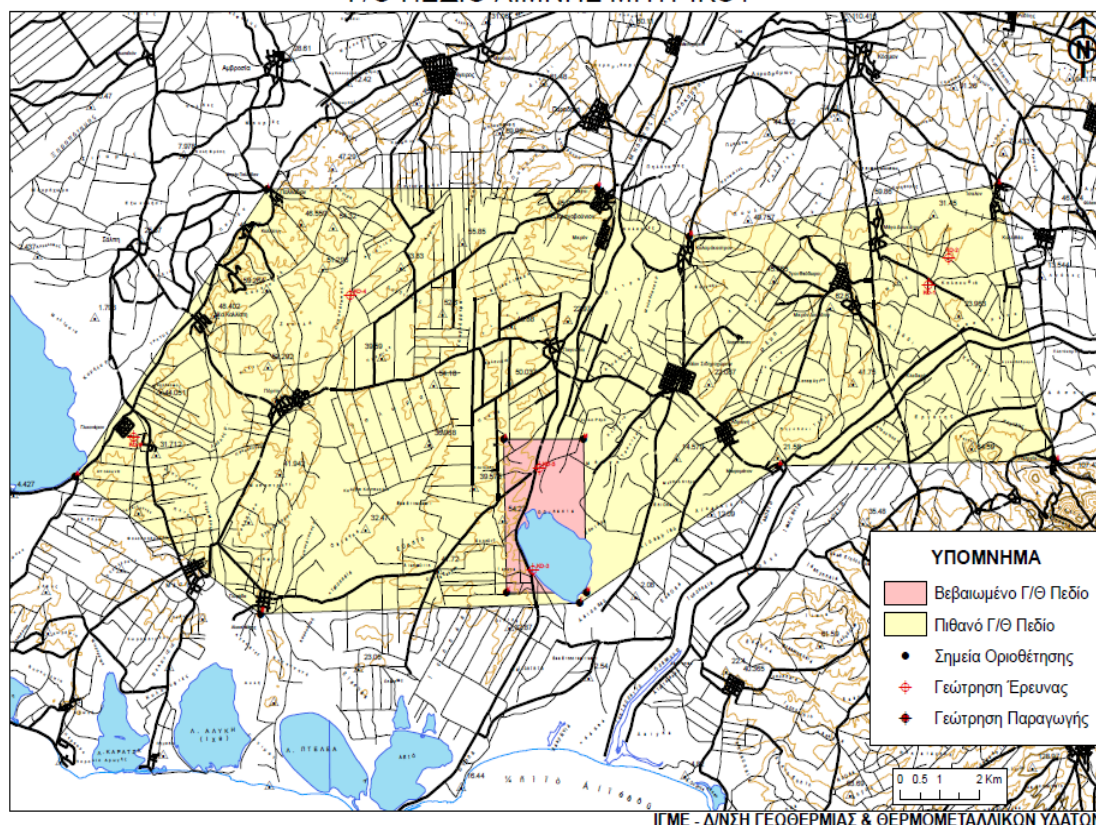
**Πίνακας 6:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) του πολυγώνου ΚΛΜΝ που ορίζει το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Λίμνης Μητρικού (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | X         | Y          |
|------------------|-----------|------------|
| Κ                | 609471,41 | 4536881,08 |
| Λ                | 609393,42 | 4540459,01 |
| Μ                | 611401,74 | 4540468,76 |
| Ν                | 611479,73 | 4536871,33 |

**Πίνακας 7:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) του πολυγώνου ΑΒΓΔΕΖΗΘΙ που ορίζει το πιθανό γεωθερμικό πεδίο Λίμνης Μητρικού (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | Χ         | Υ          |
|------------------|-----------|------------|
| Α                | 598611,82 | 4539607,82 |
| Β                | 603280,86 | 4536374,60 |
| Γ                | 611310,83 | 4536620,16 |
| Δ                | 616305,73 | 4539842,83 |
| Ε                | 623295,05 | 4539972,27 |
| Ζ                | 621829,00 | 4546432,50 |
| Η                | 614067,22 | 4545218,54 |
| Θ                | 611753,62 | 4546352,20 |
| Ι                | 603454,32 | 4546340,64 |

Γ/Θ ΠΕΔΙΟ ΛΙΜΝΗΣ ΜΗΤΡΙΚΟΥ



**Σχήμα 11:** Το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο απεικονίζεται με το κόκκινο πολύγωνο ΚΛΜΝ ενώ το πιθανό με το κίτρινο πολύγωνο ΑΒΓΔΕΖΗΘΙ (ΙΓΜΕ, 2007).

### III. Γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας Ν. Κεσσάνης Ξάνθης

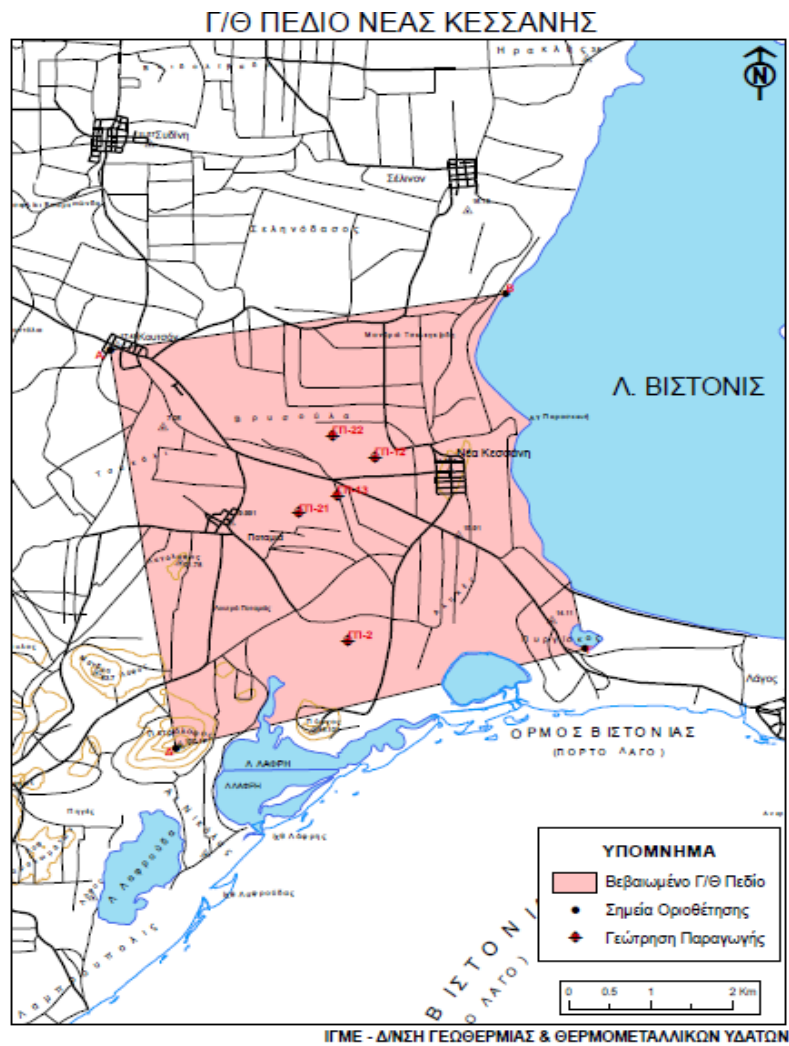
Στο νομό Ξάνθης, και συγκεκριμένα δυτικά της λίμνης Βιστωνίδας και βόρεια του όρμου Πόρτο Λάγος, αναπτύσσεται το γεωθερμικό πεδίο Ν. Κεσσάνης, το οποίο αποτελεί το πιο μελετημένο πεδίο της χώρας. Σε αυτό εντάσσονται και οι αναβλύσεις των θερμών πηγών «Λουτρών Γενισέας» (ΙΓΜΕ, 2007).

Στο Σχήμα 12 απεικονίζεται το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο της περιοχής και οι συντεταγμένες του πολυγώνου ΑΒΓΔ που το ορίζει στον Πίνακα 8. Καταλαμβάνει έκταση 25 km<sup>2</sup> και εξακριβώθηκε μέσω 25 ερευνητικών γεωτρήσεων και 5 γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου που έχουν κατασκευαστεί στην περιοχή έρευνας. Η θερμοκρασία και το βάθος του γεωθερμικού ταμιευτήρα προσδιορίστηκαν αντίστοιχα σε 30-83°C και 160-500m.

Τα γεωθερμικά ρευστά του πεδίου περιέχουν πολλά αέρια. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων στην υγρή φάση έδειξε ότι περιέχει Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, B και Fe ενώ η αέρια CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>S.

**Πίνακας 8:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) του πολυγώνου ΑΒΓΔ που ορίζει το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Ν. Κεσσάνης (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | X         | Y          |
|------------------|-----------|------------|
| A                | 585745,13 | 4544463,51 |
| B                | 590564,28 | 4545216,21 |
| Γ                | 591529,80 | 4540496,42 |
| Δ                | 586547,32 | 4539185,11 |



**Σχήμα 12:** Το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο απεικονίζεται με το κόκκινο πολύγωνο ΑΒΓΔ (ΙΓΜΕ, 2007).

#### IV. Γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας Ν. Ερασμίου-Μαγγάνων Ν. Ξάνθης

Το γεωθερμικό πεδίο Ν. Ερασμίου-Μαγγάνων βρίσκεται εντός της Τριτογενούς ταφρογενούς λεκάνης Ξάνθης-Κομοτηνής. Καταλαμβάνει την περιοχή ανατολικά του οικισμού Μάγγανα έως την παλαιά κοίτη του ποταμού Νέστου, νότια ως την παραλιακή ζώνη και βόρεια ως τον Εύλαλο (ΙΓΜΕ, 2007).

Στο συγκεκριμένο πεδίο εκτελέστηκαν γεωτρήσεις έρευνας και παραγωγής, γεγονός που βοήθησε στην περιχάραξη του πιθανού και του βεβαιωμένου γεωθερμικού πεδίου.

Το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο έχει έκταση 16 km<sup>2</sup> (Σχήμα 9). Η θερμοκρασία του ταμιευτήρα κυμαίνεται από 27°C έως 68°C. Το βάθος του ταμιευτήρα φτάνει τα 350-500 m και συνολική παροχή είναι 250 m<sup>3</sup>/h.

Στους Πίνακες 9 και 10 παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των πολυγώνων ΕΖΗΘ και ΑΒΓΔ του Σχήματος 13 που ορίζουν το βεβαιωμένο και το πιθανό γεωθερμικό πεδίο Ν. Ερασμίου-Μαγγάνων.

Τα ρευστά αποτελούνται από Ca, Mg, Na, K, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub> και SiO<sub>2</sub>. Το pH των ρευστών είναι αρκετά υψηλό (8,5), ενώ παρουσιάζει και υψηλό ποσοστό διαλυμένων αλάτων (T.D.S).

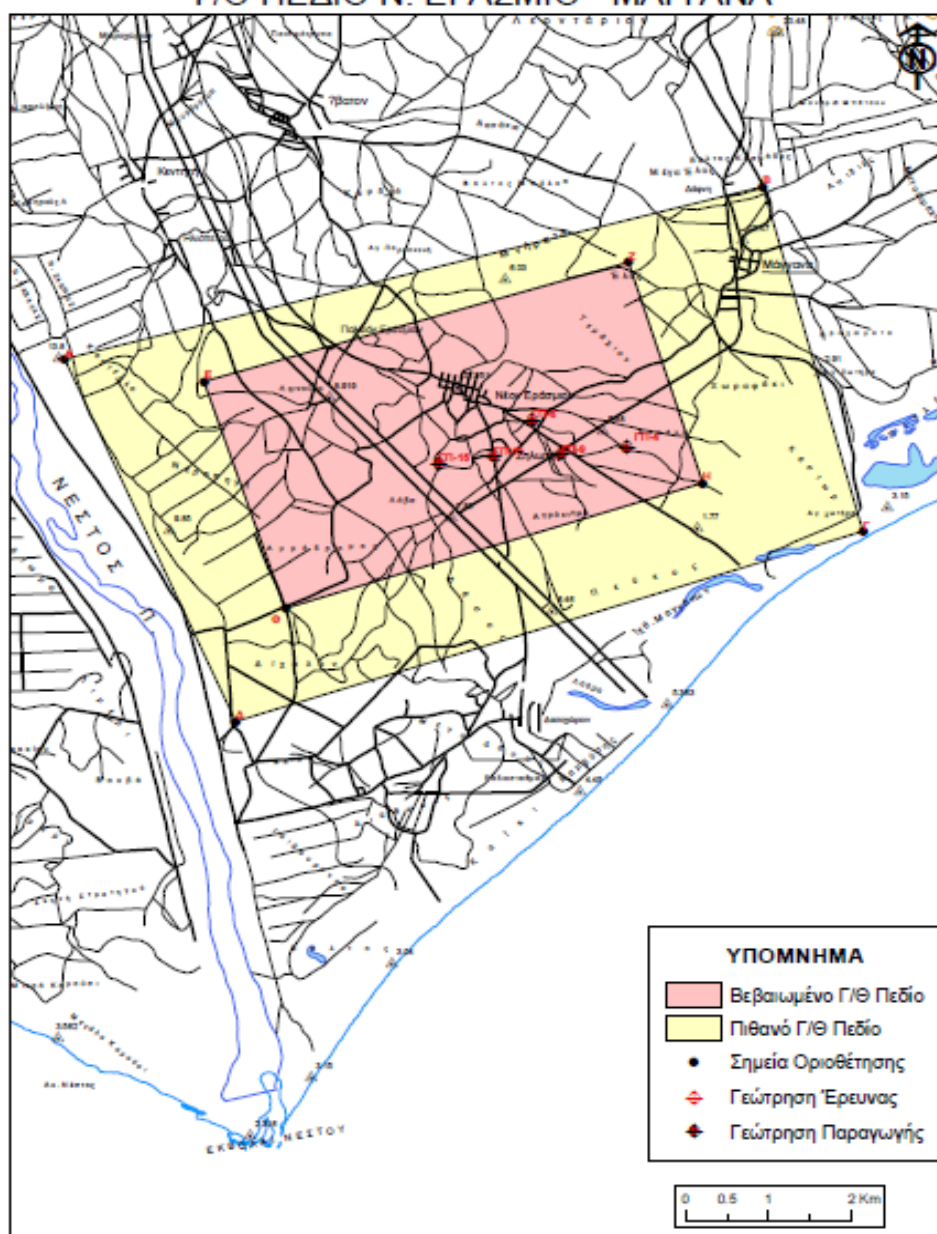
**Πίνακας 9:** Συντεταγμένες του πολυγώνου ΕΖΗΘ που ορίζει το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Ν. Ερασμίου-Μαγγάνων (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | Χ         | Υ          |
|------------------|-----------|------------|
| Ε                | 566717,22 | 4531227,4  |
| Ζ                | 571835,18 | 4532751,56 |
| Η                | 572733,63 | 4529927,85 |
| Θ                | 567695,89 | 4528323,48 |

**Πίνακας 10:** Συντεταγμένες του πολυγώνου ΑΒΓΔ που ορίζει το πιθανό γεωθερμικό πεδίο Ν. Ερασμίου-Μαγγάνων (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | Χ         | Υ          |
|------------------|-----------|------------|
| Α                | 565035,05 | 4531516,46 |
| Β                | 573457,76 | 4533722,23 |
| Γ                | 574666,22 | 4529306,82 |
| Δ                | 567098,80 | 4526870,32 |

### Γ/Θ ΠΕΔΙΟ Ν. ΕΡΑΣΜΙΟ - ΜΑΓΓΑΝΑ



ΙΓΜΕ - Δ/ΝΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ & ΘΕΡΜΟΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

**Σχήμα 13:** Το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο απεικονίζεται με το κόκκινο πολύγωνο ΕΖΗΘ ενώ το πιθανό με το κίτρινο πολύγωνο ΑΒΓΔ (ΙΓΜΕ, 2007).

#### V. Γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας Ερατεινού-Καβάλας

Το γεωθερμικό πεδίο Ερατεινού-Καβάλας βρίσκεται στο Νομό Καβάλας και συγκεκριμένα στο δέλτα του Νέστου. Γεωτεκτονικά ανήκει στη ζώνη της Ροδόπης. Η γεωθερμική έρευνα στην περιοχή περιελάμβανε κατασκευή ερευνητικών και παραγωγικών γεωτρήσεων μέσω των οποίων διαπιστώθηκαν υψηλές

θερμοκρασίες των ρευστών και υψηλή γεωθερμική βαθμίδα. Επιπλέον, καθορίστηκαν τα όρια του πιθανού (με έκταση περίπου 93 km<sup>2</sup>) και του βεβαιωμένου (με έκταση 14 km<sup>2</sup>) γεωθερμικού πεδίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 14 (ΙΓΜΕ, 2007) και στους Πίνακες 11 και 12.

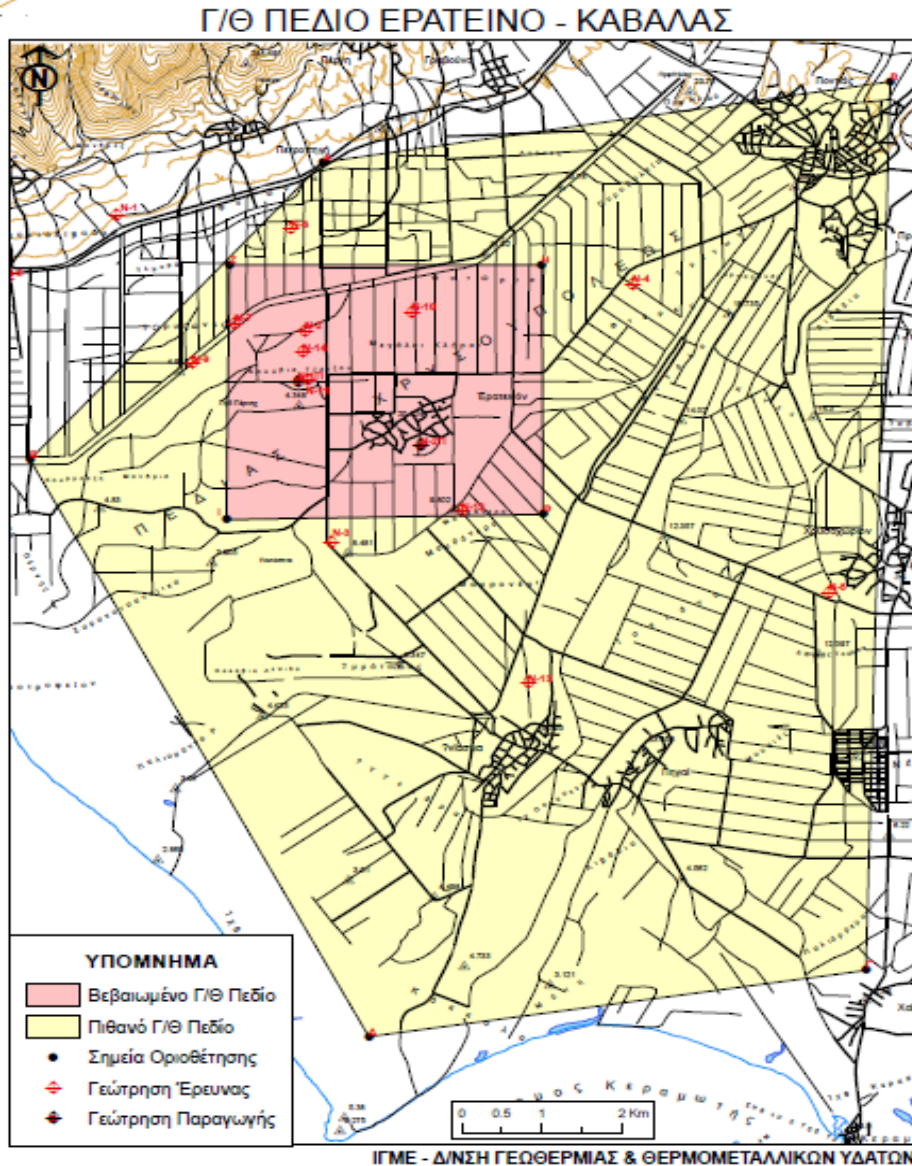
Στο γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας Ερατεινού-Καβάλας η θερμοκρασία του ταμιευτήρα είναι 65-70 °C ενώ το βάθος του φτάνει τα 650 m και η παροχή που μετρήθηκε είναι 300 m<sup>3</sup>/h. Όσον αφορά τη χημική σύσταση τα ρευστά περιέχουν: Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, B, Fe, F, ενώ μετρήθηκε ραδόνιο σε περιεκτικότητα 1540 (pCi/lit).

**Πίνακας 11:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) των κορυφών του πολυγώνου ΖΗΘΙ που ορίζει το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Ερατεινού – Καβάλας (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | Χ         | Υ          |
|------------------|-----------|------------|
| Ζ                | 551477,98 | 4535401,03 |
| Η                | 555373,41 | 4535401,03 |
| Θ                | 555392,14 | 4531861,44 |
| Ι                | 551440,53 | 4531786,52 |

**Πίνακας 12:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) των κορυφών του πολυγώνου ΑΒΓΔΕ που ορίζει το πιθανό γεωθερμικό πεδίο Ερατεινού – Καβάλας (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | Χ         | Υ          |
|------------------|-----------|------------|
| Α                | 552648,41 | 4536859,70 |
| Β                | 559720,88 | 4538001,18 |
| Γ                | 559415,97 | 4525383,73 |
| Δ                | 553220,40 | 4524447,84 |
| Ε                | 548988,61 | 4532635,05 |



**Σχήμα 14:** Το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο απεικονίζεται με το κόκκινο πολύγωνο ΖΗΘΙ ενώ το πιθανό με το κίτρινο πολύγωνο ΑΒΓΔΕ (ΙΓΜΕ, 2007).

#### VI. Γεωθερμικό πεδίο χαμηλής ενθαλπίας Ακροπόταμου Ν. Καβάλας

Στο Νομό Καβάλας 41km νοτιοδυτικά της Καβάλας και ανατολικά των εκβολών του ποταμού Στρυμόνα, εντοπίστηκε το γεωθερμικό πεδίο χαμηλής έως μέσης ενθαλπίας Ακροπόταμου Καβάλας (ΙΓΜΕ, 2007).

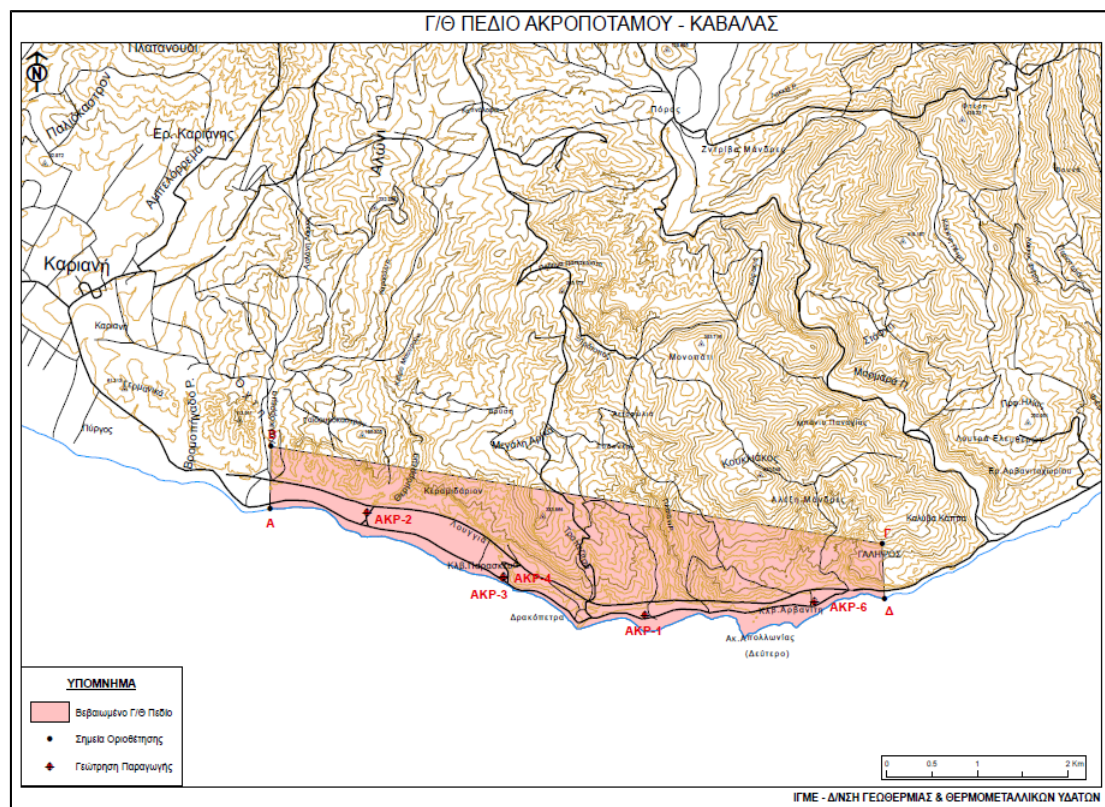
Στην περιοχή εκτελέστηκαν πέντε (5) γεωτρήσεις έρευνας – παραγωγής, μέσω των οποίων προσδιορίστηκαν τα ποσοτικά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του πεδίου.

Ο Πίνακας 13 παρουσιάζει της συντεταγμένες του πολυγώνου ΑΒΓΔ που ορίζει το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Ακροπόταμου Καβάλας

Το βεβαιωμένο πεδίο, που καλύπτει συνολική έκταση 6,9 km<sup>2</sup> (Σχήμα 15) έχει ένα ρηχό και ένα βαθύ ταμιευτήρα σε βάθη 100-185 m και 240-515 m αντίστοιχα. Η θερμοκρασία των ταμιευτήρων κυμαίνεται μεταξύ 45-90°C .Η συνολική παροχή των υπαρχουσών γεωτρήσεων είναι 451 m<sup>3</sup>/h. Οι χημικές αναλύσεις έδειξαν ότι τα ρευστά περιέχουν Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>2</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, κατά τόπους παρουσιάζονται περιεκτικότητες σε Al, B, Fe και F ενώ μετρήθηκε ουράνιο σε περιεκτικότητα <5 (μg/l). Το pH των ρευστών είναι ελαφρώς όξινο έως βασικό (6-8) και η ποσότητα των διαλυμένων αλάτων (T.D.S) κατά τόπους παρουσιάζεται υψηλή.

**Πίνακας 13:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) των κορυφών του πολυγώνου ΑΒΓΔ που ορίζει το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Ακροπόταμου Καβάλας (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | X          | Y          |
|------------------|------------|------------|
| A                | 500284,69  | 4508515,00 |
| B                | 500295,42  | 4509171,94 |
| Γ                | 5070040,10 | 4508150,01 |
| Δ                | 5070068,62 | 4507571,50 |



**Σχήμα 15:** Το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο απεικονίζεται με το κόκκινο πολύγωνο ΑΒΓΔ (ΙΓΜΕ, 2007).

# 3.

## ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΑΡΙΣΤΗΝΟΥ – ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗΣ

1.

2.

3.

2.

---

3.

### 3.1. Γενικά

Το πεδίο Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης ανήκει στην Περιφερειακή ενότητα του Έβρου και εκτείνεται σε μία περιοχή 14km ανατολικά της Αλεξανδρούπολης και 1km βορειοανατολικά του χωριού Αρίστηνο. Η περιοχή, στην οποία βρίσκεται το πεδίο, χαρακτηρίζεται από έντονη τεκτονική και Τριτογενή ηφαιστειότητα. Τα γεωθερμικά ρευστά έχουν θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 30°C έως 95°C.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 17, τα γεωγραφικά όρια του βεβαιωμένου πεδίου είναι δυτικά ο οικισμός Αγνάντιας, βόρεια οι οικισμοί Αετοχωρίου και Δωρικού, ανατολικά (στα 1700m) ο οικισμός Τραϊανούπολης και 2-3km νότια η Π.Ε.Ο

Αλεξανδρούπολης-Ορεστιάδας. Στο κέντρο του πεδίου βρίσκονται οι οικισμοί Αρίστηνου και Άνθειας (Δαλαμπάκης και ά., 2012).

Η γεωθερμική έρευνα έδειξε ότι το βεβαιωμένο πεδίο έχει έκταση 20 km<sup>2</sup> ενώ το πιθανό 50 km<sup>2</sup>, η θερμοκρασία του ταμειυτήρα είναι 30-90°C, σε βάθος 150-450 m και η εκτιμώμενη παροχή είναι 150 m<sup>3</sup>/h. Τα ρευστά είναι εμπλουτισμένα σε Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, B,F και το pH τους κυμαίνεται από 7,5-8,2 (ΙΓΜΕ, 2007).

Στο Σχήμα 16 παρουσιάζεται η χωροθέτηση του βεβαιωμένου καθώς και του πιθανού γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης.

Στους Πίνακες 14 και 15, που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των πολυγώνων ΕΖΗΘ και ΑΒΓΔ που ορίζουν το βεβαιωμένο και το πιθανό γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης αντίστοιχα, όπως καθορίστηκαν από παλαιότερες έρευνες του ΙΓΜΕ.

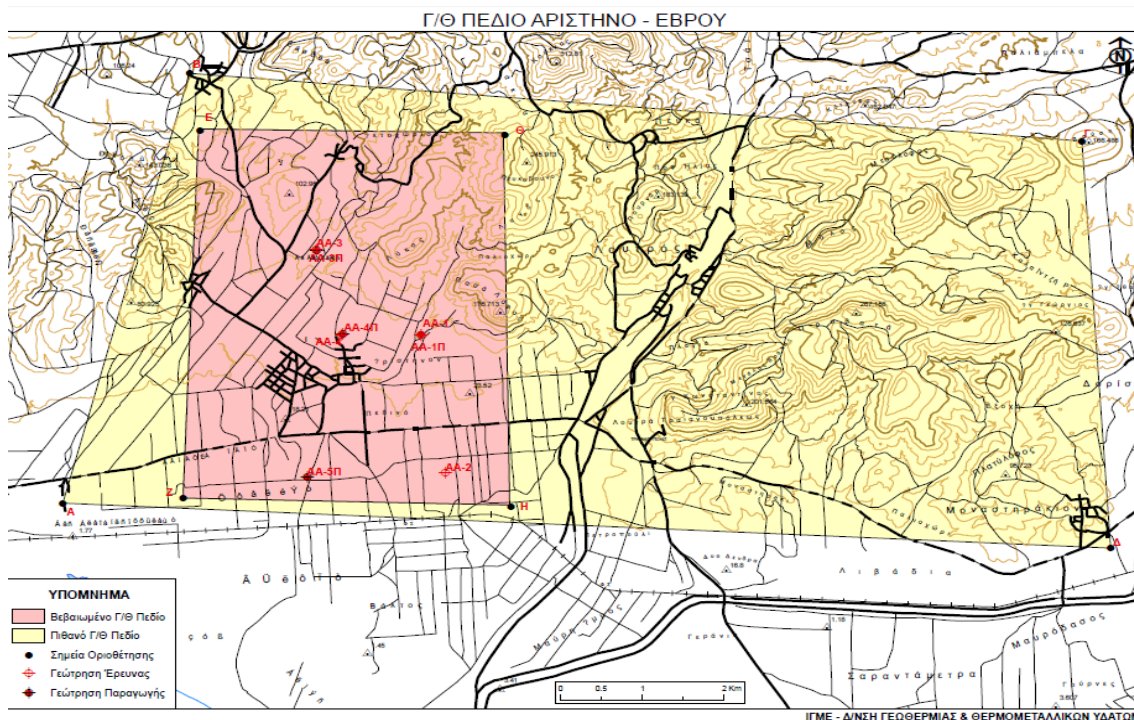
**Πίνακας 14:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) των κορυφών του πολυγώνου ΕΖΗΘ που ορίζει το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου (ΙΓΜΕ, 2007).

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | X         | Y          |
|------------------|-----------|------------|
| Ε                | 666426,37 | 4529482,00 |
| Ζ                | 666217,53 | 4524356,01 |
| Η                | 670223,39 | 4524242,10 |
| Θ                | 670147,45 | 4529425,04 |

**Πίνακας 15:** Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ 87) των κορυφών του πολυγώνου ΑΒΓΔ που ορίζει το πιθανό γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου.

| ΚΟΡΥΦΗ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ | X         | Y          |
|------------------|-----------|------------|
| Α                | 664749,11 | 4524286,94 |
| Β                | 666298,95 | 4530277,11 |
| Γ                | 677196,29 | 4529331,67 |

|   |           |            |
|---|-----------|------------|
| Δ | 677547,82 | 4523658,70 |
|---|-----------|------------|



**Σχήμα 16:** Το βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο απεικονίζεται με το κόκκινο πολύγωνο ΕΖΗΘ και το πιθανό με το κίτρινο πολύγωνο ΑΒΓΔ (ΙΓΜΕ, 2007).



**Σχήμα 17:** Χάρτης της περιοχής έρευνας (Δαλαμπάκης και ά., 2012)

1.

2.

3.

3.1.

### 3.2. Γεωλογία Γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου – Αλεξανδρούπολης

Η περιοχή των Λουτρών Τραϊανούπολης και του Αρίστηνου αποτελούν κομμάτι ενός ευρύτερου ιζηματογενούς χώρου που ονομάζεται λεκάνη του ποταμού Έβρου ή Δέλτα του Έβρου και μαζί με τη λεκάνη της Ορεστιάδας συνθέτουν τις ανατολικότερες Τριτογενείς λεκάνες των Εσωτερικών Ελληνίδων. Η συνολική έκταση αυτών των λεκανών ξεπερνάει τα 1700km<sup>2</sup> (Κολιός, 2001).

Η λεκάνη του Έβρου με έκταση 700km<sup>2</sup> καταλαμβάνει το νότιο τμήμα της Ροδοπικής Μάζας. Ο ευρύτερος χώρος αποτελείται από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Ροδοπικής Μάζας (γνεύσιοι, αμφιβολίτες) και περιβάλλεται από τα πετρώματα της Περιροδοπικής ζώνης. Δυτικά βρίσκεται το φυλλιτικό υπόβαθρο (Σειρά Μάκρης), που ουσιαστικά αποτελεί το άμεσο υπόβαθρο της Ηωκαινικής επίκλυσης, το οποίο αποτελείται από αργιλικούς σερικιτικούς σχιστόλιθους Ιουραικής – Κρητιδικής ηλικίας. Βόρεια επικρατούν οι ίδιες συνθήκες εξέλιξης με εμφανίσεις των πετρωμάτων της σειράς Μάκρης, αποτελούμενη κυρίως από αργιλικούς σχιστόλιθους Κρητιδικής ηλικίας, μάργες, χαλαζίτες και ανθρακικά πετρώματα. Ακόμη σημαντική εξάπλωση σημειώνουν και οι διαβάσεις (δολερίτες, σπηλίτες) αποτελώντας τα κράσπεδα της Τριτογενούς λεκάνης (Κολιός, 2001; Δαλαμπάκης και ά., 2012).

Η περιοχή επηρεάστηκε από τις τελευταίες παροξυσμικές φάσεις των Αλπικών πτυχώσεων οι οποίες συνοδεύτηκαν από έντονες διαρρήξεις, εφελκυστική

τεκτονική και μετακινήσεις μεγάλων τμημάτων της Ροδοπικής Μάζας που οδήγησαν στον σχηματισμό των ταφροειδών λεκανών.

Στο Μέσο Ηώκαινο (Λουτήσιο) έγινε επίκλυση της θάλασσας. Κατά τη διάρκεια της ιζηματογένεσης το υπόβαθρο της παλαιογενούς λεκάνης υποχώρησε σταδιακά και στην περιοχή επικράτησε αρχικά περιβάλλον αβαθούς θάλασσας που ευνόησε την δημιουργία νουμουλιτοφόρων ασβεστόλιθων. Στο Άνω Ηώκαινο, οπότε συνεχίστηκε η βύθιση, η θάλασσα κατέλαβε μεγάλη έκταση και αποτέθηκαν ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Στο Ολιγόκαινο η ιζηματογένεση συνεχίστηκε με απόθεση φλυσχοειδών ιζημάτων. Τα ιζήματα, το πάχος των οποίων φτάνει τα 3500-4000m, επικάθησαν ασύμφωνα πάνω στα πετρώματα του υποβάθρου. Από αυτά τα ιζήματα μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν αυτά του Παλαιογενούς (2000m) που αποτελούνται από ψαμμίτες, μάργες, ασβεστόλιθους, λατυποπαγή πολυγενή ηφαιστειακά, τόφφους και ιλυόλιθους. Τα ιζήματα του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς έχουν 1500m πάχος και αποτελούνται στα κατώτερα στρώματα από αργίλους, ιλυόλιθους, ψαμμίτες και λιγνιτικά στρώματα ενώ στα ανώτερα από άμμο, ψαμμίτες και αργίλους.

Στο Άνω Ηώκαινο έγινε η σύγκρουση της ευρασιατικής με την αφρικανική λιθοσφαιρική πλάκα. Λόγω αυτής της σύγκλισης των πλακών αναπτύχθηκε εφελκυστική τεκτονική δράση που οδήγησε στην λέπτυνση του φλοιού στην οπισθόταφρο περιοχή, αύξηση της ροής της θερμότητας και άνοδο των ισόθερμων σε μικρά βάθη. Έτσι αναπτύχθηκε ηφαιστειακή δραστηριότητα ασβεσταλκαλικού τύπου, ηλικίας 33-23 εκατομμυρίων χρόνων, με χημικούς χαρακτήρες ενεργών ηπειρωτικών περιθωρίων. Τα ηφαιστειακά προϊόντα είναι κυρίως πυροκλαστίτες, τόφφοι και τοφφίτες που εναλλάσσονται με τα ιζήματα του Πριαμπονίου και του Ολιγοκαίνου. Ακόμη, πολλά ιγνιμβριτικά επεισόδια συναντώνται κυρίως στην περιοχή της Δαδιάς. Εξωτερικά της λεκάνης τα πυροκλαστικά τείνουν να μειωθούν και αυξάνουν οι λάβες και οι ηφαιστειακοί δόμοι (Κολιός, 2001).

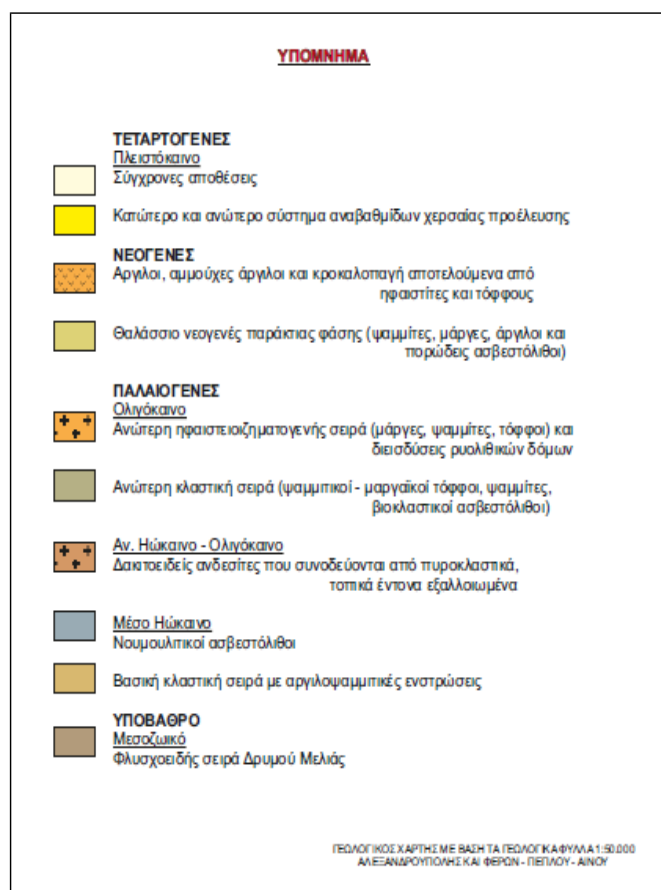
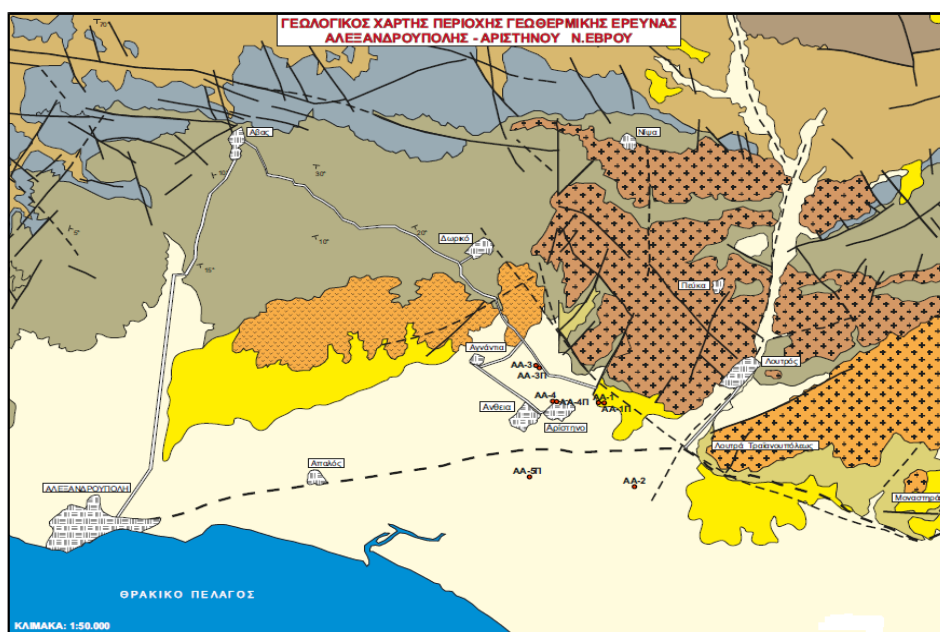
Στο τέλος του Άνω Μειοκαίνου εκδηλώθηκε το ρήγμα της Ανατολίας με δεξιόστροφη οριζόντια συνιστώσα ολίσθησης, το οποίο συνέβαλε στη διατήρηση της θερμικής ενέργειας του χώρου μέχρι σήμερα. Έτσι, λόγω της συνεχιζόμενης

εφελκυστικής τεκτονικής, σε περιοχές όπου η στρωματογραφία και η τεκτονική το επέτρεψαν, σχηματίστηκαν πολλά υδροθερμικά συστήματα.

Η στενή σχέση των ενεργών ηπειρωτικών περιθωρίων, της τεκτονικής, της ηφαιστειότητας και της ιζηματογένεσης είναι ιδιαίτερα σημαντική στη δημιουργία και εγκαθίδρυση θερμικών ανωμαλιών και υδροθερμικών συστημάτων υψηλής ή χαμηλής ενθαλπίας. Γενικότερα δημιουργούνται συνθήκες υψηλής ροής θερμότητας (Κολιός, 2001).

Η περιοχή έρευνας, η οποία επηρεάστηκε από τις παραπάνω διαδικασίες, βρίσκεται μεταξύ της Αλεξανδρούπολης και της Τραϊανούπολης και αποτελεί το δυτικό περιθώριο της ιζηματογενούς λεκάνης του Έβρου.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής έρευνας απεικονίζονται στο γεωλογικό χάρτη και το υπόμνημα του Σχήματος 18.



**Σχήμα 18:** Η γεωλογική δομή της περιοχής έρευνας (Κολιός, 2001)

## 3.2.

### 3.3. Γεωθερμική έρευνα στην περιοχή Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης

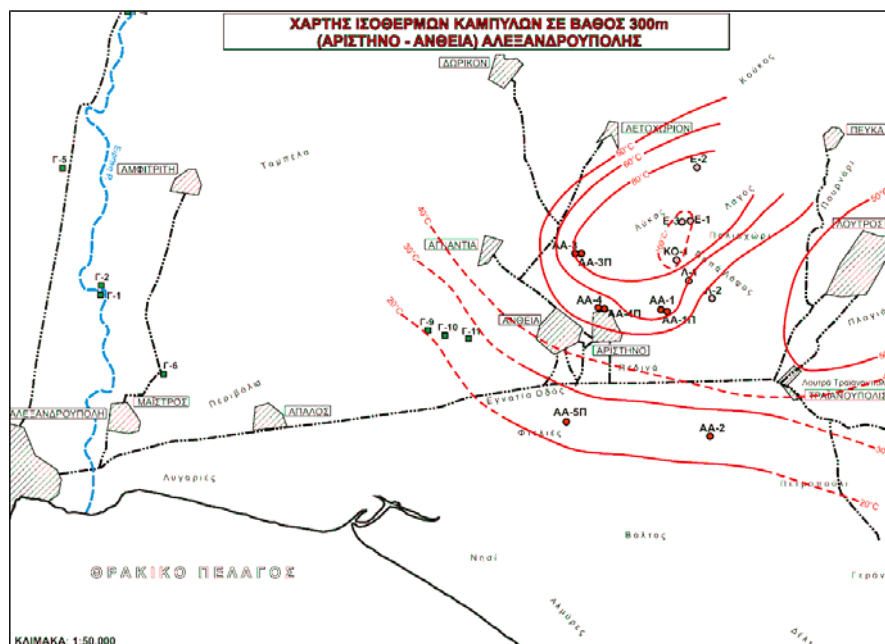
Η γεωθερμική έρευνα στην περιοχή Αρίστηνου – Αλεξανδρούπολης ξεκίνησε το 1988 από το γεωλόγο Δρ Ζήση Αλεξάκη, οποίος ήταν υπεύθυνος για τη σχεδίαση και την επίβλεψη της πρώτης γεωθερμικής γεώτρησης στο σημείο ΚΟ<sub>-1</sub>Π. Οι πιο πρόσφατες μελέτες διεξήχθησαν το 2005 και το 2013. Οι δοκιμαστικές αντλήσεις που έγιναν στα πλαίσια της πιο πρόσφατης ερευνητικής προσπάθειας αποτελούν το αντικείμενο της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

Κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1988-1994 πραγματοποιήθηκαν στην πεδινή περιοχή μεταξύ των ηφαιστειακών λόφων «Λύκος» και «Πασά Λόφος» οι πρώτες γεωλογικές και γεωθερμικές έρευνες, οι οποίες κατέληξαν στην κατασκευή 2 παραγωγικών και 4 ερευνητικών γεωτρήσεων. Οι παραπάνω γεωτρήσεις καλύπτουν βάθη από 110–210 m και βοήθησαν στον εντοπισμό του γεωθερμικού δυναμικού της περιοχής (Kolios et al., 2005; Δαλαμπάκης και ά., 2012).

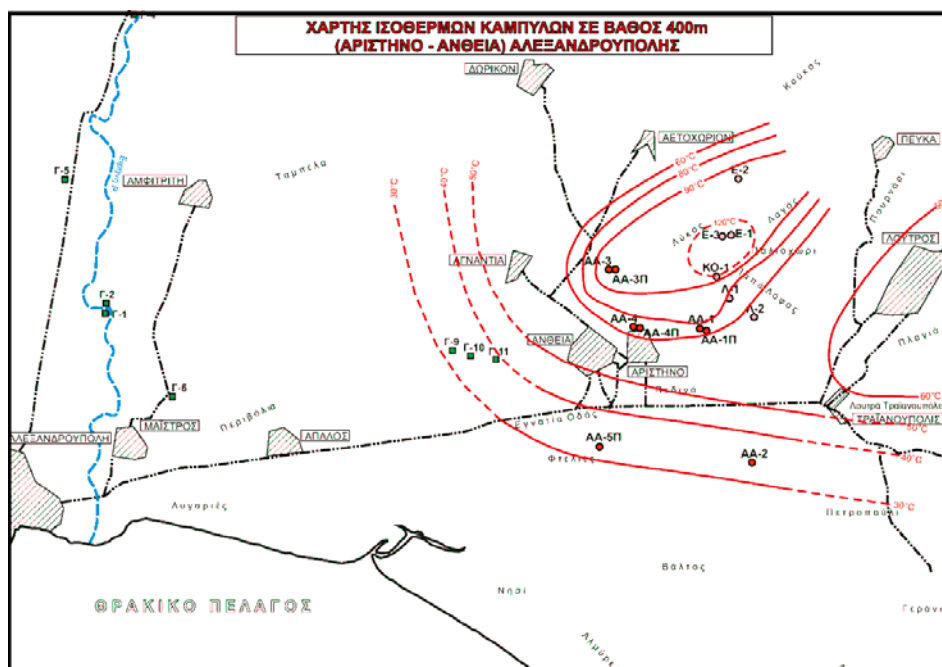
Η γεωθερμική έρευνα στο πεδίο συνεχίστηκε την περίοδο 1997-2000 από το ΙΓΜΕ. Το ερευνητικό πρόγραμμα είχε σαν στόχο την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας στην περιοχή. Στα πλαίσια του συγκεκριμένου ερευνητικού προγράμματος κατασκευάστηκαν εννιά (9) νέες γεωτρήσεις, εκ των οποίων οι τέσσερις (4) είναι ερευνητικές και οι υπόλοιπες πέντε (5) παραγωγικές. Τα βάθη των νέων γεωτρήσεων φτάνουν τα 216-465 m (Kolios et al., 2005; ΙΓΜΕ, 2007; Δαλαμπάκης και ά., 2012).

Η έρευνα αυτή οδήγησε στην οριοθέτηση του πεδίου και στον προσδιορισμό της κατανομής της θερμοκρασίας σε διάφορα βάθη. Στα Σχήματα 19, 20, 21 απεικονίζεται η μορφή και διάταξη των ισόθερμων καμπυλών στα βάθη των 200m, 300m και 400m αντίστοιχα.

56



Σχήμα 20: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης των ισόθερμων καμπύλων στην περιοχή έρευνας σε βάθος 300 m (Κολιός, 2001).



Σχήμα 21: Σχηματική απεικόνιση της διάταξης των ισόθερμων καμπύλων στην περιοχή έρευνας σε βάθος 400 m (Κολιός, 2001).

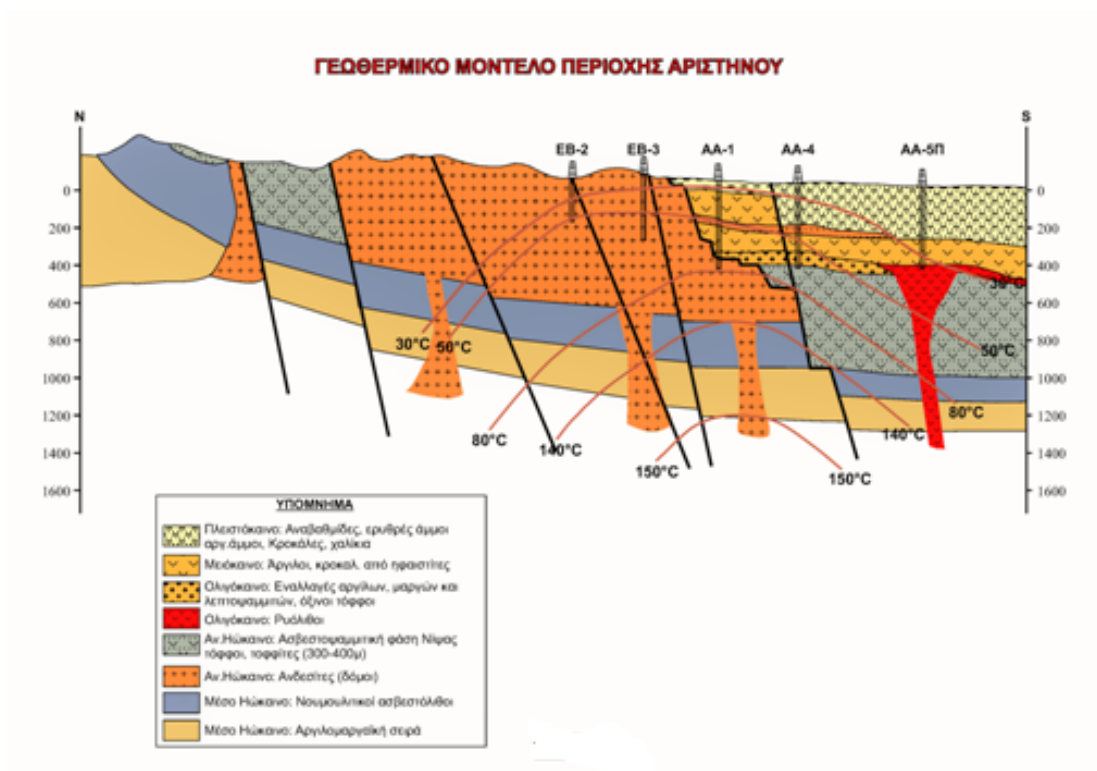
Οι θερμοί υδροφόροι ορίζοντες εντοπίστηκαν μέσα σε εξαλλοιωμένους ηφαιστειακούς σχηματισμούς και πυροκλαστίτες με μεγάλο δευτερογενές πορώδες. Στην περιοχή των οικισμών Άνθια, Αρίστηνο και Αετοχώρι, ο γεωθερμικός ταμιευτήρας, με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 86 °C, βρίσκεται μέσα σε πυροκλαστίτες στο βάθος των 360m. Η γεωθερμική βαθμίδα στην περιοχή αυτή είναι υψηλή και κυμαίνεται από 4,5 έως 21 °C/100 m (Kolios et al., 2005).

Στην περιοχή του κύριου γεωθερμικού ενδιαφέροντος και στο βάθος των 200 m αναπτύσσεται ένα άλλο υδραυλικό σύστημα με θερμοκρασίες γύρω στους 50 °C. Ο ταμιευτήρας αυτός εντοπίστηκε μόνο βόρεια και ανατολικά του χωριού Αρίστηνο. Πιθανότατα, αυτός ο υδροφόρος τροφοδοτείται μέσω των ρηγμάτων από τον υποκείμενο βαθύτερο ταμιευτήρα που περιέχει θερμότερα ρευστά.

Νοτιότερα, και στα βαθύτερα επίπεδα της λεκάνης, γεωθερμικοί ταμιευτήρες με θερμοκρασίες μέχρι 32 °C αναπτύχθηκαν στη βάση των Νεογενών ιζημάτων σε βάθη μεγαλύτερα των 350 m.

Ο ρηχός ταμιευτήρας στην περιοχή που έγιναν οι γεωτρήσεις EB-1, EB-2 και EB-3 αποτελεί μία περίπτωση επιφανειακού υδραυλικού συστήματος με τοπικό γεωθερμικό ενδιαφέρον και θερμοκρασίες που ανέρχονται μέχρι τους 50 °C. Ο συγκεκριμένος υδροφόρος ορίζοντας θερμαίνεται μέσω του μηχανισμού της αγωγής από τα βαθύτερα και θερμότερα στρώματα.

Στο Σχήμα 22 απεικονίζεται το υδροθερμικό μοντέλο του γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνο, όπως αυτό προέκυψε από τα δεδομένα της εκτεταμένης έρευνας στην περιοχή (Kolios et al., 2005).



**Σχήμα 22:** Σχηματική απεικόνιση του υδροθερμικού μοντέλου του πεδίου της περιοχής Αρίστηνου – Αλεξανδρούπολης. Συνοδεύεται από το αντίστοιχο υπόμνημα των σχηματισμών (Κολιός, 2001).

### 3.

#### 3.1.

#### 3.2.

#### 3.3.

##### 3.1.

##### 3.2.

##### 3.3.

### 3.4. *Φυσικοχημικές και Υδροχημικές Παράμετροι του πεδίου*

Οι χημικές αναλύσεις των ρευστών του γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου αποτέλεσαν σημαντικό εργαλείο για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την προέλευσή τους και τις φυσικοχημικές-υδροχημικές παραμέτρους του πεδίου (Πουτούκης & Ντότσικα, 1998).

Από τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν ανά καιρούς στο πεδίο προέκυψε η χημική ανάλυση των ρευστών του υδροφορέα. Στο Σχήμα 23 φαίνεται ότι απουσιάζει η αέρια φάση καθώς και τα ραδιενεργά στοιχεία από τα ρευστά του πεδίου. Επίσης περιγράφονται τα χημικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης AA-3Π (Φυτίκας & Ανδρίτσος, 2004; ΙΓΜΕ, 2007).

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΝΕΡΟΥ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΡΙΣΤΗΝΟΥ (mg/l) " |                     |      |          |        |       |      |     |     |        |        |       |       |    |     |    |      |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|------|----------|--------|-------|------|-----|-----|--------|--------|-------|-------|----|-----|----|------|
| Δείγμα                                                                     | Αγ/τητα<br>σε μS/cm | pH   | T.D.S    | Ca     | Mg    | Na   | K   | CO3 | HC03   | Cl     | SO4   | SiO2  | Al | B   | Fe | F    |
| Γεώτρηση ΑΑ 1Π                                                             | 12200               | 7,72 | 9582,06  | 340,7  | 24,3  | 2000 | 100 |     | 124,4  | 4255,5 | 235,5 | 64,2  |    | 7   |    | 4,4  |
| Γεώτρηση ΑΑ 3Π                                                             | 15170               | 7,58 | 10530,57 | 517,03 | 12,15 | 3400 | 104 |     | 84,18  | 5655,9 | 750   | 23,54 |    | 0,4 |    | 1,86 |
| Γεώτρηση ΑΑ 4Πεξ                                                           | 14440               | 7,91 | 9728,42  | 391,68 | 14,58 | 3300 | 30  |     | 69,54  | 5212,6 | 710   | 28,3  |    | 8,8 |    | 1,99 |
| Γεώτρηση ΑΑ 4Πεξ                                                           | 13530               | 8,11 | 10235,34 | 529,06 | 24,3  | 3200 | 152 |     | 219,6  | 5425,4 | 685   | 47,1  |    | 8,5 |    | 3    |
| Γεώτρηση ΑΑ 5Π                                                             | 11620               | 7,95 | 7618,21  | 334,27 | 10,21 | 2500 | 100 |     | 211,06 | 3836,8 | 625   | 27,6  |    | 9,4 |    |      |

| " ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΕΡΙΑΣ ΦΑΣΗΣ " |                |                 |                 |                  |                |                 |
|------------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|
| Δείγμα                             | ( % κ.ο. )     |                 |                 |                  |                |                 |
|                                    | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | N <sub>2</sub> | NH <sub>3</sub> |
|                                    |                |                 |                 |                  |                |                 |
|                                    |                |                 |                 |                  |                |                 |
|                                    |                |                 |                 |                  |                |                 |

| " ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΡΑΔΙΟΕΝΕΡΓΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ " |    |   |             |
|---------------------------------------------|----|---|-------------|
| Δείγμα                                      | Ra | U | Rn(pCi/lit) |
|                                             |    |   |             |
|                                             |    |   |             |

**Σχήμα 23:** Χημική ανάλυση γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης (IGME, 2007).

Σύμφωνα με την Davis & Wiest (1966) κατάταξη, τα γεωθερμικά ρευστά του βαθύτερου ταμιευτήρα του πεδίου ανήκουν στην κατηγορία των Na-Cl νερών. Οι τιμές T.D.S (Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων) κυμαίνονται από 4,3 έως 10,5 mg/lit και η περιεκτικότητά τους σε Ca<sup>2+</sup> και SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> είναι σχετικά υψηλή. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα θερμά νερά των πηγών Τραϊανούπολης. Τα ρευστά που προέρχονται από τον ταμιευτήρα που βρέθηκε στα 200m βάθος έχουν επίσης παρόμοια σύσταση (Πουτούκης & Ντότσικα, 1998).

Αντίθετα, τα νερά του ταμιευτήρα που βρέθηκε στις γεωτρήσεις EB-1, EB-2 και EB-3 είναι Na-SO<sub>4</sub> τύπου. Τα νερά αυτά είναι μετεωρικά και ο εμπλουτισμός τους σε μεταλλικά στοιχεία οφείλεται στην υδρόλυση αργιλοπυριτικών ορυκτών. Ο αβαθής αυτός ταμιευτήρας θερμαίνεται με συναγωγή από τον κατώτερο και θερμότερο και η θερμοκρασία του φτάνει έως τους 50 °C. Τα υψηλότερης θερμοκρασίας Na-Cl ρευστά θεωρούνται ως προϊόν ανάμιξης μετεωρικού και θαλασσινού νερού (Kolios et al., 2005; Κολιός, 2001).

Με βάση την περιεκτικότητα σε σταθερά ισότοπα (<sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H) των ρευστών αυτών, η συμμετοχή της θάλασσας είναι περίπου 23%, ενώ η μετεωρική "συνιστώσα" των μιγμάτων είναι "παλαιό νερό" (Πουτούκης & Ντότσικα, 1998).

Για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας των γεωθερμικών ρευστών του πεδίου χρησιμοποιήθηκαν τα χημικά γεωθερμόμετρα του  $\text{SiO}_2$  (Fournier, 1981), του Na/K (Arnorsson et al. 1983), του Na-K-Ca (Fournier and Truesdell, 1973), του K/Mg (Giggenbach et al. 1983), του Li/Mg (Kharaka and Mariner, 1989) και του Na/Li (Fouillac and Michard, 1981). Τα γεωθερμόμετρα αυτά έδειξαν θερμοκρασίες της τάξης των 90-130 °C για τα νερά των θερμών πηγών Τραϊανούπολης (γεωθερμόμετρο χαλαζία).

Σύμφωνα με τους Κολιός et al. 2005 η εφαρμογή του γεωθερμομέτρου Na/K στα νερά του βαθύτερου και θερμότερου ταμιευτήρα δίνει αρχική θερμοκρασία ρευστών γύρω στους 140 °C. Θεωρώντας ότι η γεωθερμική βαθμίδα συνεχίζει να αυξάνεται, τα ρευστά αυτά μπορούν να εντοπιστούν σε βάθη περίπου 600 m.

Τα συστατικά που προέκυψαν από τις χημικές αναλύσεις των ρευστών του βαθύτερου και θερμότερου ταμιευτήρα του πεδίου εκτιμάται ότι μπορούν να σχηματιστούν ιζήματα όπως:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Mg(OH)}$  και  $\text{Al(OH)}_3$ . Από την αξιολόγηση των δεικτών κορεσμού Langelier και σταθερότητας Ryznar διαπιστώθηκε η έντονη αποθετική τάση των ρευστών, κατά την οποία από τα παραπάνω ιζήματα κυριαρχεί το  $\text{CaCO}_3$  που αποτελεί και το πλέον επικίνδυνο τόσο για τη διακίνηση των ρευστών όσο και για την ασφάλεια των έργων υποδομής (Δαλαμπάκης και ά., 2012).

Έτσι, για τα γεωθερμικά ρευστά της περιοχής έρευνας ισχύει ότι λόγω της περίσσειας ανθρακικών αποθέσεων που περιέχουν δεν έχουν καλή ποιότητα. Ταυτόχρονα η υψηλή αλατοπεριεκτικότητά τους σε συνδυασμό με την πολύ χαμηλή αλκαλικότητά τους τα καθιστά έντονα διαβρωτικά.

# 4.

## ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ

Ένα από τα σημαντικότερα στάδια της υδρολογικής έρευνας αποτελεί η *δοκιμαστική άντληση ή δοκιμές άντλησης*, που πραγματοποιείται στο πεδίο. Στόχος μίας δοκιμαστικής άντλησης είναι η συλλογή πληροφοριών για το πεδίο έρευνας και συγκεκριμένα για την απόδοση της γεώτρησης, τις υδραυλικές ιδιότητες του ταμιευτήρα και την υπόγεια ροή. Η αντλητική δοκιμή πραγματοποιείται για την διευκρίνιση της ευκολίας ροής του νερού διαμέσου του εδάφους στη γεώτρηση (Βουδούρης, 2011).

Η περιοχή ενδιαφέροντος τοποθετείται γεωγραφικά ανατολικά της Αλεξανδρούπολης και δυτικά της τριτογενούς λεκάνης του Έβρου και εμφανίζει σε ενεργά περιθώρια έντονη τεκτονική και σημαντική ανάπτυξη τριτογενούς ηφαιστειότητας ασβεσταλκαλικού τύπου με σημαντικές εκχύσεις μαζών. Υπό αυτές τις τεκτονικές συνθήκες αναπτύσσεται ένα γεωθερμικό σύστημα, το οποίο φιλοξενεί γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασίες 30-95 °C (Κολιός, 2001).

Η τοπική σημασία της γεωθερμικής έρευνας στην περιοχή αφορά κυρίως το γεγονός ότι τα θερμά ρευστά που προέρχονται από το γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου–Αλεξανδρούπολης δεν μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις (5-10 km) από τον τόπο παραγωγής (Δαλαμπάκης και ά., 2012).

Στην πρώτη φάση αξιοποίησης του γεωθερμικού πεδίου εντάσσεται ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της γεώτρησης ΑΑ-3Π. Πριν από την έναρξη

οποιοδήποτε έργου αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών από μία ή περισσότερες γεωτρήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται αντλήσεις για αρκετά μακρό διάστημα, ώστε να γίνει εκτίμηση των υδραυλικών χαρακτηριστικών του αντλούμενου υδροφορέα, καθώς και των δυνατοτήτων της γεώτρησης.

Για το λόγο αυτό ο Δήμος Αλεξανδρούπολης ανέθεσε στο Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε) την υλοποίηση του έργου με τίτλο: “ Καθαρισμός, Ανάπτυξη και αποτελέσματα δοκιμαστικής άντλησης στην παραγωγική γεώτρηση ΑΑ-3Π στο μισθωμένο βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου Αλεξανδρούπολης”. Για τη μελέτη, επίβλεψη και παρακολούθηση του έργου υπεύθυνοι ήταν οι κάτωθι: Δρ. Πασχάλης Δαλαμπάκης (Γεωλόγος-Γεωθερμικός), Ανδρέας Ηλίας (Γεωπόνος, MSc), Σοφία Σταθάκη (Γεωλόγος), Ιωάννης Βρουχάκης (Γεωλόγος, MSc) και Σάββας Τσολακίδης (Τεχνικός Υποστήριξης) (Δαλαμπάκης και ά., 2012; Δαλαμπάκης, 2013).

Η γεώτρηση ΑΑ-3Π επιλέχθηκε για την εκπόνηση του συγκεκριμένου έργου, διότι αποτελεί τη μοναδική, μέχρι σήμερα, αξιοποιήσιμη παραγωγική γεώτρηση του πεδίου. Στο Σχήμα 24 απεικονίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που διατρήθηκαν, η μεταβολή της θερμοκρασίας με το βάθος και παρατίθεται πίνακας με τα χημικά χαρακτηριστικά των ρευστών της (Κολιός, 2001; Δαλαμπάκης και ά., 2012; Δαλαμπάκης, 2013).

Η παραγωγική γεώτρηση ΑΑ-3Π σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε την περίοδο 1999-2000 σε μία θέση όπου η προηγούμενη γεωθερμική έρευνα έδειξε ότι επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, υψηλή γεωθερμική βαθμίδα και υπάρχει υδροφορία εντός των ηφαιστειοκλαστικών σχηματισμών. Το βάθος της γεώτρησης είναι 360 m. Μέχρι το βάθος των 198 m τοποθετήθηκαν τυφλοί σωλήνες διαμέτρου 10 ¾” , ενώ στο διάστημα 192-360 m τοποθετήθηκαν σε εναλλαγές τυφλοί σωλήνες και φιλτροσωλήνες μεγέθους 6 5/8” . Μέχρι τα 108 m τοποθετήθηκε πιεζόμετρο διαμέτρου 1 ½” .

Πριν από την έναρξη των εργασιών καθαρισμού με διάταξη εμφύσησης αέρα (air lift) και της άντλησης της γεώτρησης η στάθμη ηρεμίας που μετρήθηκε είναι 19,1 m, ενώ με το ξεκίνημα της άντλησης ανέβηκε στα 17,5 m. Αυτή η διαφορά που υπάρχει στη στάθμη του υδροφορέα πριν την άντληση οφείλεται στο γεγονός ότι οι

γεωτρήσεις έχουν παραμείνει επί πολλά χρόνια αδρανείς με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του συστήματος να ελαττώνεται προοδευτικά με τέτοιο τρόπο ώστε η πυκνότητα του νερού να αυξάνεται. Κατά την έναρξη της άντλησης της γεώτρησης η στήλη του νερού υποβιβάζεται διότι, καθώς η θερμοκρασία του συστήματος αυξάνει γεγονός που δημιουργεί εξασθένηση των δεσμών στο μόριο του νερού που οδηγεί στη μείωση της πυκνότητάς του σε σχέση με την αντίστοιχη του νερού σε κατάσταση ηρεμίας.



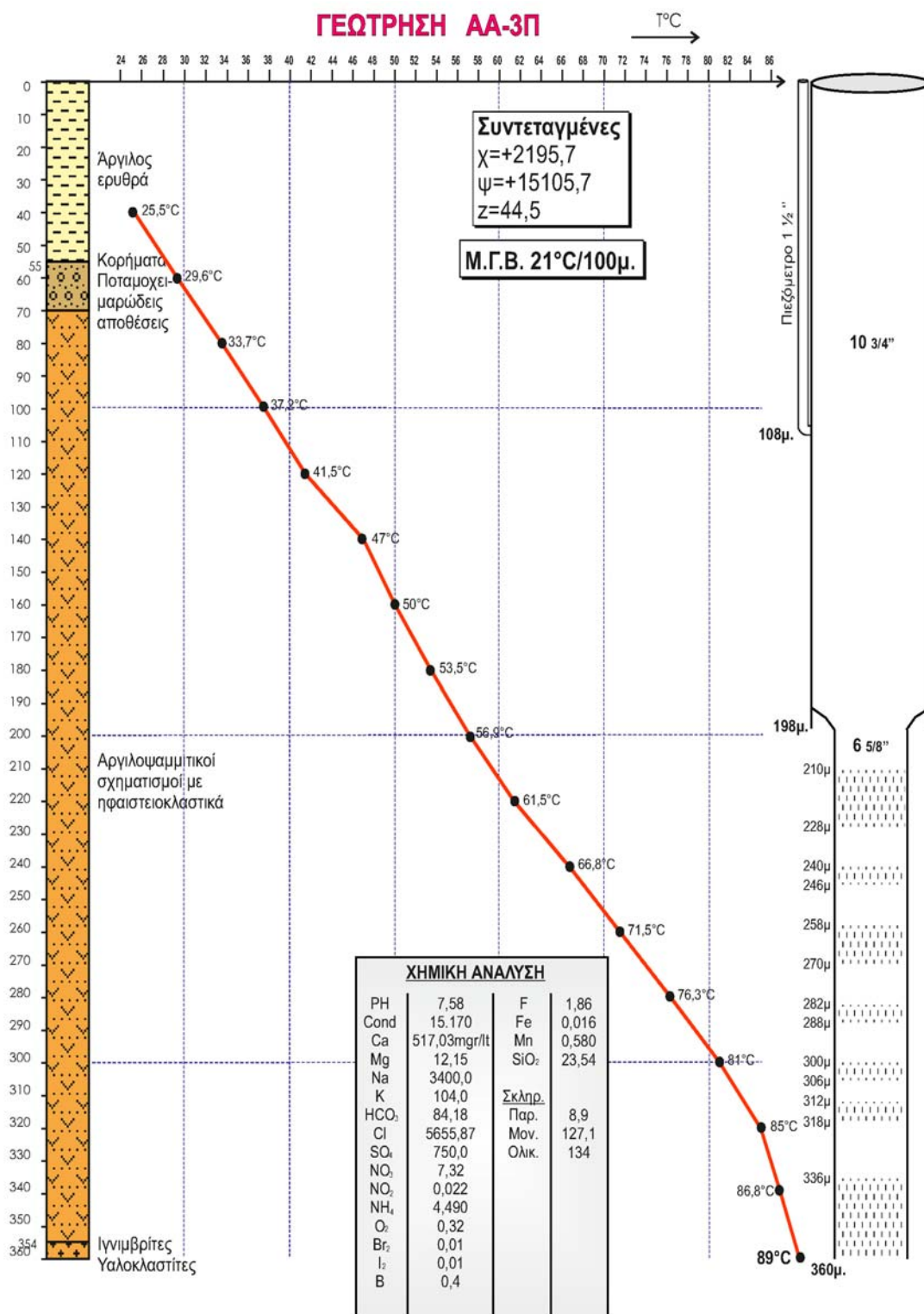
**Εικόνα 1:** Διαδικασία καθαρισμού της γεώτρησης AA-3Π με διάταξη air lift σε πλήρη εξέλιξη.

Το πρώτο στάδιο του έργου πραγματοποιήθηκε στις 04/09/2013 και αφορούσε τον καθαρισμό και την ανάπτυξη της γεώτρησης με διάταξη εμφύσησης αέρα (air lift) (Εικόνα 1). Η διαδικασία του καθαρισμού διήρκεσε περίπου έξι (6) ώρες και χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικά στελέχη διαμέτρου 4'', τα οποία τοποθετήθηκαν μέχρι τον πυθμένα της γεώτρησης AA-3Π. Η παροχέτευση του αέρα έγινε με αεροσυμπιεστή μέσω στήλης σωλήνων 1'' σε μέγιστο βάθος 200 m. Η ποσότητα του νερού που εξέρχονταν από τη στήλη του air lift προσέγγισε τα 50-60

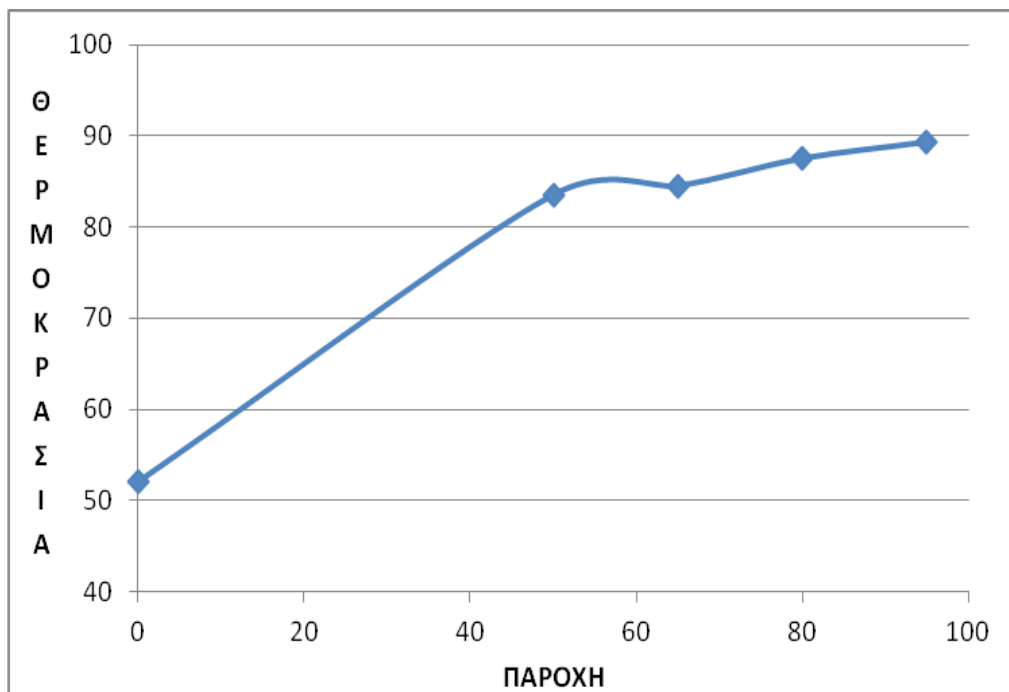
m<sup>3</sup>/h και η θερμοκρασία τους 89 °C, γεγονός που προδιέγραψε τα άριστα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης γεώτρησης ενόψει της δοκιμαστικής άντλησης.

Η δοκιμαστική άντληση ξεκίνησε στις 11/9/2013 και ολοκληρώθηκε στις 14/9/2013. Μέσα στη γεώτρηση τοποθετήθηκε αντλητικό συγκρότημα κατακόρυφου άξονα τύπου «πομόνας» σε βάθος 48 m, διότι υπήρξαν ενδείξεις για πολύ υψηλές παροχές στο συγκεκριμένο βάθος και συνεπώς δεν αναμενόταν σημαντική πτώση στάθμης. Έπρεπε ακόμη να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος από τις μεγάλες διαστολές του άξονα της αντλίας λόγω των αναμενόμενων πολύ υψηλών θερμοκρασιών του γεωθερμικού ρευστού κοντά στους 90 °C.

Για να προσδιοριστεί η παροχή με την οποία θα γινόταν η δοκιμή σταθερής παροχής έπρεπε να προηγηθεί άντληση κατά βαθμίδες. Πραγματοποιήθηκε άντληση σε τέσσερις βαθμίδες διάρκειας 2-2,5 ωρών η κάθε μία. Σύμφωνα με το Σχήμα 25, οι παροχές που επιλέχθηκαν για κάθε βαθμίδα αντίστοιχα ήταν 55, 65, 75 και 95 m<sup>3</sup>/h (Πίνακας 16). Η πτώση στάθμης μετρήθηκε συστηματικά και για τις τέσσερις (4) βαθμίδες και δεν ήταν απότομη, αλλά υπήρξε προοδευτική μεταβολή της με την αύξηση της παροχής. Φάνηκε λοιπόν ότι οι δυνατότητες της γεώτρησης είναι μεγαλύτερες από 95 m<sup>3</sup>/h. Η προοδευτική αύξηση της θερμοκρασίας του γεωθερμικού ρευστού, που παρατηρήθηκε από βαθμίδα σε βαθμίδα, αποτυπώνει τη σταδιακή ενεργοποίηση και μεγαλύτερη συμμετοχή του βαθύτερου και θερμότερου υδροφορέα. Η μέγιστη θερμοκρασία μετρήθηκε στην τρίτη και τέταρτη βαθμίδα και έφτασε τους 89,3°C.

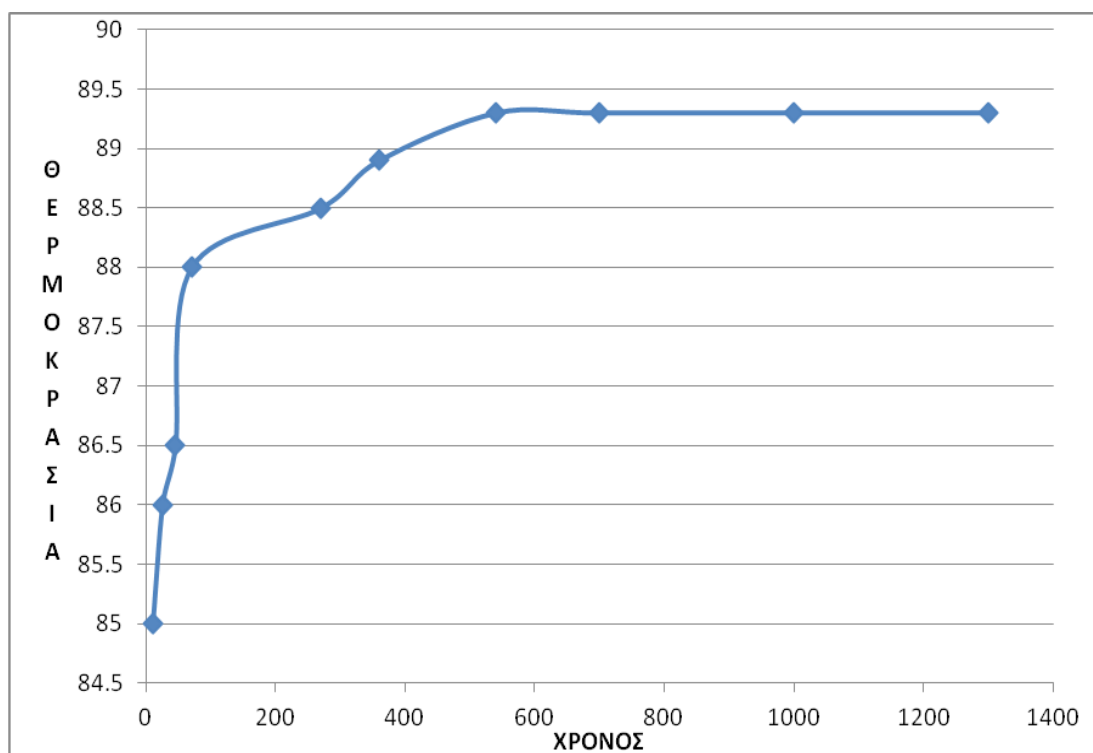


**Σχήμα 24:** Σχηματική αναπαράσταση της γεώτρησης ΑΑ-3Π και των σχηματισμών που περιλαμβάνει (Κολιός, 2001).



**Σχήμα 25:** Η μεταβολή της θερμοκρασίας του αντλούμενου ρευστού σε σχέση με την παροχή (Δαλαμπάκης, 2013).

Το Σχήμα 26 απεικονίζει την αύξηση της θερμοκρασίας στο πεδίο σε συνάρτηση με το χρόνο άντλησης. Αρχικά η θερμοκρασία αυξάνει απότομα μέχρι τα 630 min ενώ στη συνέχεια οι μεταβολές της είναι πολύ μικρές μέχρι να σταθεροποιηθεί στους 89,3 °C. Η θερμοκρασία παρουσιάζει απότομη μεταβολή με την αύξηση της παροχής (Σχήμα 25). Κάθε γραμμή μεταξύ δύο κουκίδων αντιπροσωπεύει μία εκ των βαθμίδων, κατά την διάρκεια της άντλησης κατά βαθμίδες. Στην πρώτη βαθμίδα η θερμοκρασία αυξάνει πολύ απότομα ενώ στις υπόλοιπες βαθμίδες πολύ πιο ομαλά.



**Σχήμα 26:** Η θερμοκρασία των ρευστών του πεδίου (°C) σε συνάρτηση με το χρόνο άντλησης (min)  
(Δαλαμπάκης, 2013).

**Πίνακας 16:** Σχέδιο αντλήσεων κατά τη δοκιμαστική άντληση με βαθμιδωτή αύξηση παροχής και κατά πόσο αυτή επηρεάζει τη στάθμη και τη θερμοκρασία (Δαλαμπάκης, 2013).

| Χρόνος από την έναρξη της άντλησης (min) | Ρυθμός άντλησης (m <sup>3</sup> /min) | Πτώση στάθμης (m) | Θερμοκρασία (°C) |
|------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|------------------|
| 0 – 150                                  | 55                                    | 9,27              | 88,5             |
| 151 – 325                                | 65 - 70                               | 2,8               | 88,9             |
| 326 – 480                                | 75 – 80                               | 5,23              | 89,3             |
| 481 – 630                                | 90 - 100                              | 3,59              | 89,3             |



**Εικόνες 2, 3:** Αντλητικό συγκρότημα κατακόρυφου άξονα τύπου «πομόνας» σε πλήρη διαδικασία άντλησης.  
Κινητήρας 160 HP με βάθος τοποθέτησης 48 m.

Η παροχή που επιλέχθηκε για την συστηματική και πολύωρη δοκιμή άντλησης (Εικόνα 4), η οποία ξεκίνησε στις 12/09/2013 και ολοκληρώθηκε στις 14/09/2013, ήταν της τάξης των 90-100 m<sup>3</sup>/h. Σύμφωνα με το διάγραμμα του Σχήματος 22, η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού σταθεροποιήθηκε μετά από 6 ώρες άντλησης στους 89,3 °C έως το τέλος της άντλησης, η οποία συνολικά διήρκεσε 22 ώρες. Η ίδια θερμοκρασία μετρήθηκε από το ΙΓΜΕ στον πυθμένα της γεώτρησης (362 m) μετά την κατασκευή της.



**Εικόνα 4:** Δοκιμαστική άντληση διαρκείας σε πλήρη εξέλιξη. Παροχή 90-100 m<sup>3</sup>/h και T=89,3°C.



# 5.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

4.

5.

6.

Ο υδροφορέας του γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας Αρίστηνου–Αλεξανδρούπολης είναι υπό πίεση, δηλαδή τα υδροφόρα στρώματα του συστήματος περιβάλλονται από αδιαπέρατους σχηματισμούς, και παρουσιάζει μη μόνιμη-ασταθή ροή, γεγονός που προέκυψε από τη δοκιμαστική άντληση, η οποία πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις. Κατά τις δοκιμές αυτές, στη γεώτρηση ΑΑ-3Π του πεδίου, ο κώνος πτώσης στάθμης συνέχιζε να επεκτείνεται με το χρόνο, με αποτέλεσμα το σύστημα να μην επέλθει σε κατάσταση ισορροπίας. (Βουδούρης, 2006; Βουδούρης, 2011; Δαλαμπάκης, 2013).

Η γεωθερμική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πεδίο αποσκοπούσε στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα,

κυρίως τη μεταβιβαστικότητα και την αποθηκευτικότητα. Με τον όρο *Μεταβιβαστικότητα (Transmissivity)* εκφράζεται ο όγκος του νερού που περνά από ένα υδροφόρο στρώμα μοναδιαίας διατομής και υδραυλικής κλίσης ίσης με την μονάδα και με επικράτηση του κινηματικού ιξώδους. *Αποθηκευτικότητα (Storativity)* ή *συντελεστής εναποθήκευσης* ονομάζεται ο όγκος του νερού που είναι δυνατό να αποθηκευτεί σε ένα κατακόρυφο πρίσμα υδροφόρου στρώματος με μοναδιαία επιφάνεια ανά μονάδα μεταβολής του φορτίου (Βουδούρης, 2009).

Για τον υπολογισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών (T–Μεταβιβαστικότητα και S–Αποθηκευτικότητα) έγινε προσπάθεια να εφαρμοστούν τρεις μέθοδοι, με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν από την άντληση της γεώτρησης AA-3Π:

✚ **Μη μόνιμη ακτινική ροή σε υπό πίεση υδροφορέα - Μέθοδος Theis**

✚ **Μη μόνιμη ροή σε υπό πίεση υδροφορέα - Μέθοδος Cooper–Jacob**

✚ **Μέθοδος επαναφοράς της στάθμης**

Οι παραπάνω μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν είναι γραφικές. Έτσι, υπάρχει περίπτωση σφαλμάτων που σχετίζεται με την ακρίβεια κατασκευής των διαγραμμάτων καθώς και με τη σύμπτωση καμπυλών.

Η εύρεση των υδραυλικών χαρακτηριστικών με την μέθοδο Theis βασίζεται

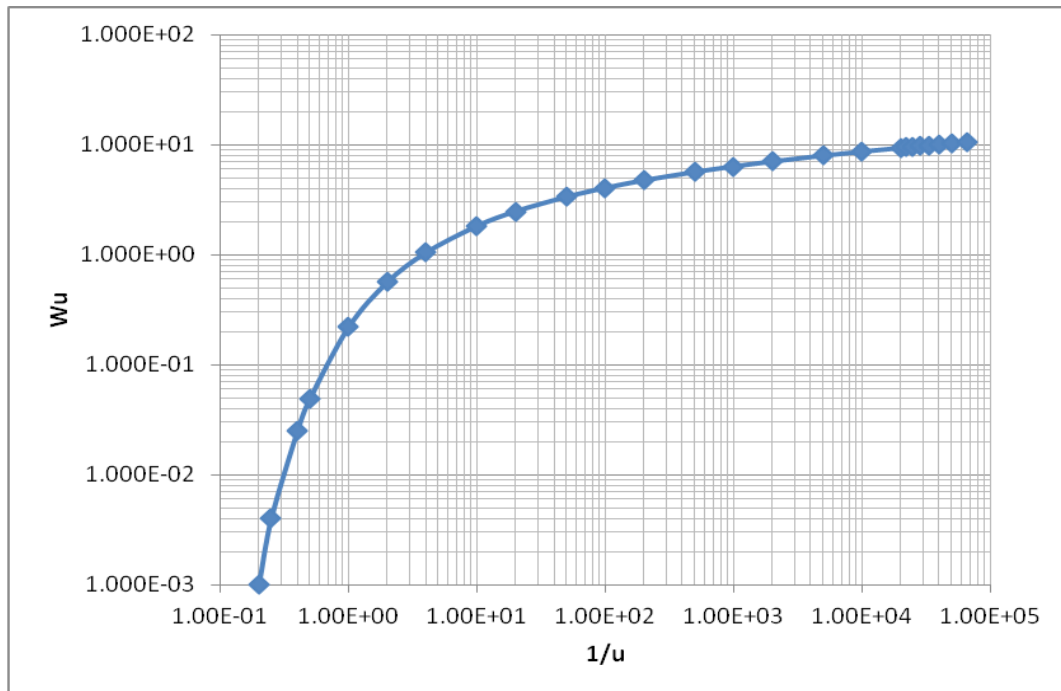
στις εξισώσεις:  $T = \frac{Q}{4\pi s} W(u)$  (m<sup>2</sup>/min) και  $S = \frac{4uTt}{x^2}$

Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε η παραδοχή ότι η γεώτρηση παρατήρησης απέχει από την αντλούμενη γεώτρηση 0,1 m. Η μέθοδος Theis, εξ ορισμού, εφαρμόζεται όταν έχουμε σταθερή παροχή. Συνεπώς η χρήση της στηρίχθηκε στην παραδοχή ότι η παροχή ήταν σταθερή και ίση με 100 m<sup>3</sup>/h. Η μέθοδος εφαρμόστηκε τόσο μέσω του λογισμικού Aquifer Test, όσο και γραφικά.

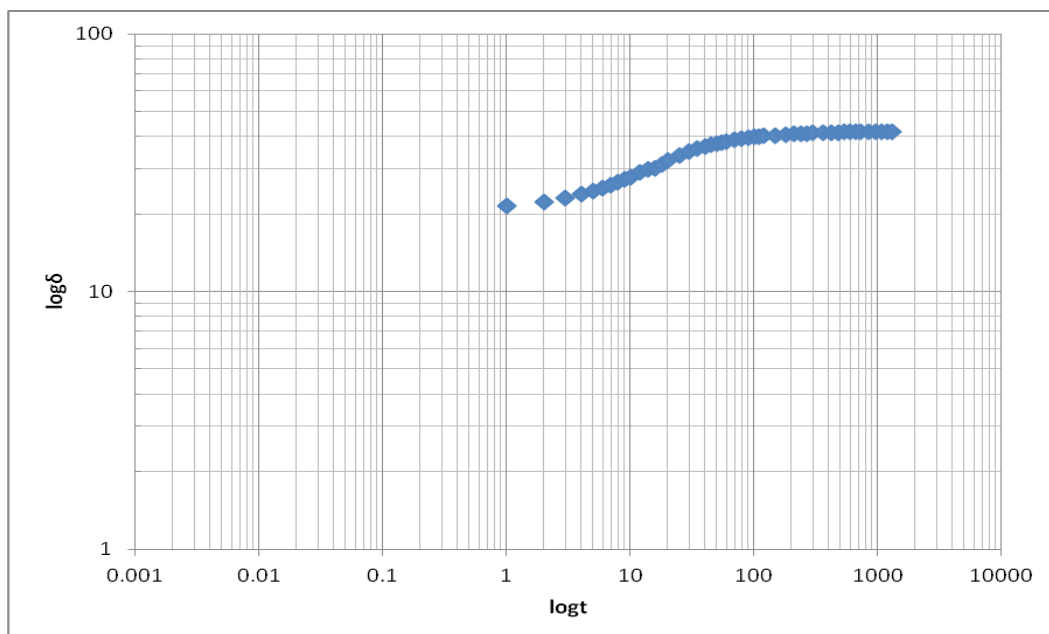
Το Σχήμα 27 απεικονίζει την πρότυπη ανεστραμμένη καμπύλη  $W(u) = f(1/u)$ , με βάση τις τιμές ειδικών Πινάκων. Επιπλέον, η καμπύλη αυτή ονομάζεται *καμπύλη Theis* ή *καμπύλη μη ισορροπίας* και έχει το σχήμα κώνου πτώσης στάθμης κοντά στην αντλούμενη γεώτρηση AA-3Π (Βουδούρης, 2011).

Η πειραματική καμπύλη  $\log s = f(\log t)$  (Σχήμα 28) κατασκευάστηκε με βάση τις μετρήσεις στη γεώτρηση AA-3Π του πεδίου. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν

για αυτή την καμπύλη είναι η πτώση της στάθμης ( $\delta$ ) σε συνάρτηση με το χρόνο ( $t$ ). Οι μονάδες μέτρησης είναι μέτρα (m) και λεπτά της ώρας (min) αντίστοιχα.



**Σχήμα 27:** Η πρότυπη ανεστραμμένη καμπύλη  $W(u)=f(1/u)$ , για το εύρος τιμών που θεωρήθηκε απαραίτητο για τους υπολογισμούς, σύμφωνα με τη μέθοδο Theis.



**Σχήμα 28:** Η πειραματική καμπύλη  $\log \delta=f(\log t)$ , που προέκυψε από την χρήση των μετρήσεων πτώσης στάθμης σε συνάρτηση με το χρόνο.

Από τη σύγκριση της πειραματικής με την πρότυπη ανεστραμμένη καμπύλη

προέκυψε:  $W(u) = 4,5 \cdot 10^0$ ,  $\frac{1}{u} = 2 \cdot 10^2 \Rightarrow u = 5 \cdot 10^{-3}$ ,  $\delta = 21,5m$  και  $t = 3 \cdot 10^1 \text{ min}$ .

Επειδή η μονάδα μέτρησης του χρόνου είναι τα λεπτά (min) γίνεται μετατροπή της μονάδας μέτρησης της παροχής σε  $m^3/\text{min}$ . Έτσι, για την τιμή της παροχής ισχύει :  
 $Q = 100m^3 / h = 1,66m^3 / \text{min}$ .

Από την αντικατάσταση των παραπάνω δεδομένων στις εξισώσεις:

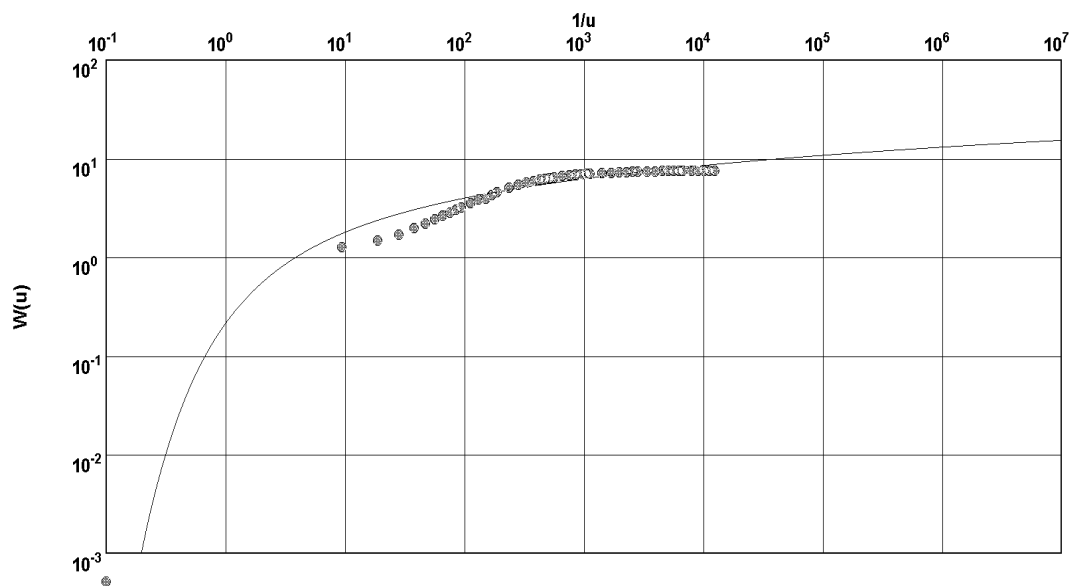
$$T = \frac{Q}{4\pi\delta} W(u) \text{ (m}^2/\text{min)} \text{ και } S = \frac{4uTt}{x^2}$$

προέκυψε ότι:

$$T = \frac{Q}{4\pi\delta} W(u) = \frac{1,66}{4 \cdot 3,14 \cdot 21,5} \cdot 4,5 \cdot 10^0 = 0,0275m^2 / \text{min}$$

$$S = \frac{4uTt}{x^2} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0275 \cdot 3 \cdot 10^1}{0,1^2} = 1,65$$

Με τη χρήση του λογισμικού Aquifer Test (Σχήμα 29) προέκυψε  
 $T = 3,94 \cdot 10^{-2} m^2 / \text{min}$  και  $S = 0,745$ .

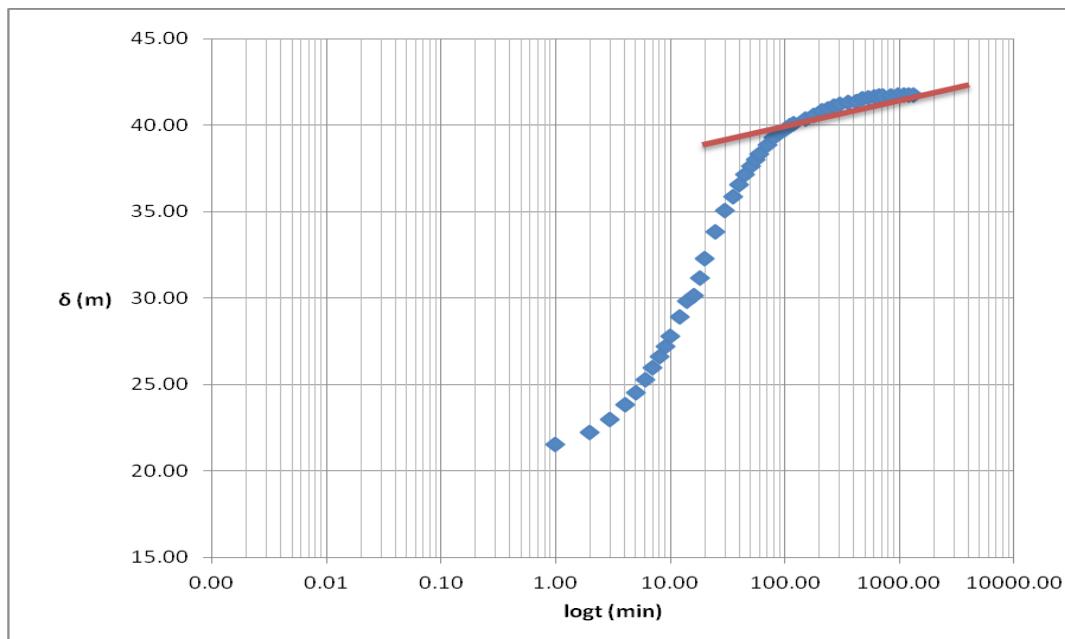


**Σχήμα 29:** Σύγκριση πρότυπης και πειραματικής καμπύλης με τη χρήση του λογισμικού Aquifer Test.

Λόγω της ετερογένειας των υλικών και της διαφορετικής συμπεριφοράς των δύο ανόμοιων, ως προς τη χημική σύσταση, υδροφορέων παρατηρείται μία διαφοροποίηση στη κλίση διακύμανσης της πτώσης στάθμης μεταξύ των χρονικών διαστημάτων  $t_1=0-100$  min και  $t_2=100-1320$  min. Για το χρονικό διάστημα  $t_2=100-1320$  min η αντλούμενη γεώτρηση τροφοδοτείται αποκλειστικά από τον κατώτερο υδροφορέα που βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο των 350 m (Δαλαμπάκης, 2013).

Για την εφαρμογή της μεθόδου Cooper–Jacob κατασκευάστηκε το διάγραμμα πτώσης στάθμης ( $\delta$ ) σε συνάρτηση με το χρόνο ( $t$ ). Στο διάγραμμα  $\delta-\log t$  (Σχήμα 30) η τομή της καμπύλης με τον άξονα  $x\chi'$  ( $\delta=0$ ) αποτελεί το  $t_0$  (χρόνος κατά τον οποίο θεωρούμε ότι παρατηρείται πτώση στάθμης).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η καμπύλη έχει δύο διακριτά τμήματα, το πρώτο για  $t=0-100$  min και το δεύτερο για  $t=100-1320$  min. Η 1<sup>η</sup> μέθοδος θα μπορούσε να εφαρμοστεί από  $t=0-100$  min και  $t=100-1320$  min. Όμως το πρώτο τμήμα φαίνεται ότι αφορά τον ρηχότερο και λιγότερο θερμό υδροφόρο, και δεν αποτέλεσε το κύριο αντικείμενο ενδιαφέροντος. Από το δεύτερο τμήμα της καμπύλης, δυστυχώς δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή και αξιόπιστα αποτελέσματα, λόγω μη επαρκούς χρόνου άντλησης με τη συγκεκριμένη παροχή.



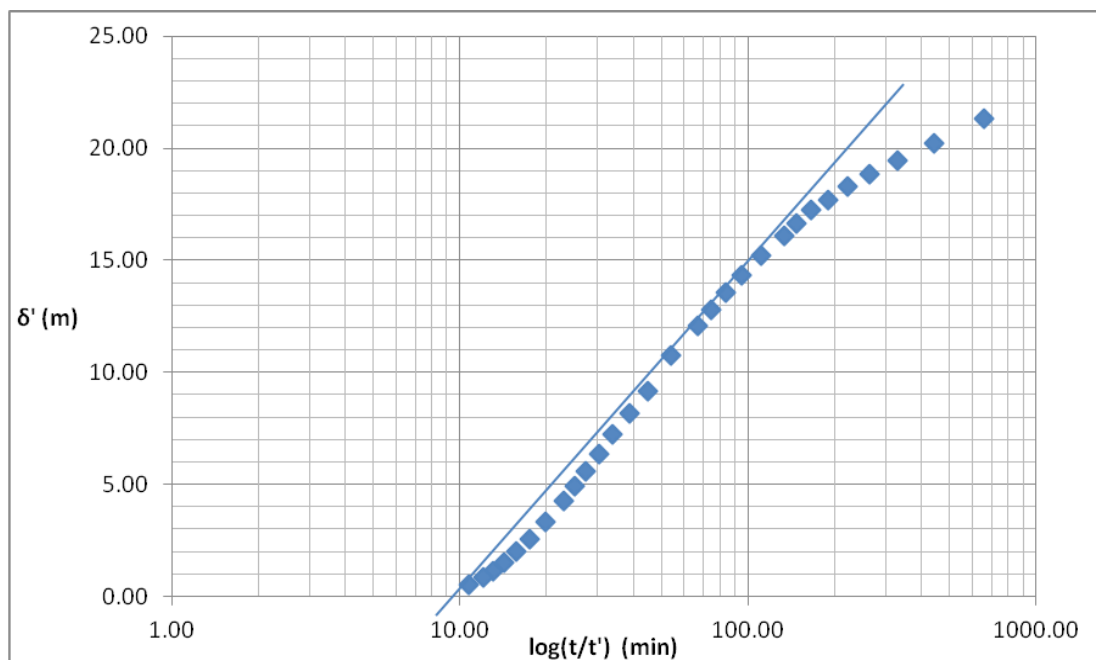
**Σχήμα 30:** Διάγραμμα Cooper–Jacob πτώσης στάθμης ( $\delta$ ) σε συνάρτηση με το δεκαδικό λογάριθμο του χρόνου ( $\log t$ ).

Σύμφωνα με την ανάλυση του υδρογραφήματος επαναφοράς ή επανόδου στάθμης, μετά της διακοπή της άντλησης, η στάθμη της γεώτρησης AA-3Π μεταβάλλεται με τέτοιο ρυθμό, υποθέτοντας ότι η γεώτρηση αντλείται ακόμη, ενώ από τη στιγμή διακοπής της άντλησης ξεκινά η λειτουργία μιας υποθετικής γεώτρησης εμπλουτισμού, μέσω της οποίας εισάγεται νερό στη γεώτρηση με την ίδια παροχή.

Η μέθοδος στηρίζεται στην αρχή της επαλληλίας ή αλληλεπίδρασης των ροών, δηλαδή ισχύει ότι το τελικό αποτέλεσμα δύο διαφορετικών ροών αποτελεί η συνισταμένη αυτών. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η φανταστική γεώτρηση εμπλουτισμού τοποθετείται ακριβώς στην ίδια θέση με τη γεώτρηση άντλησης.

Στο Σχήμα 31 απεικονίζεται το διάγραμμα επαναφοράς στάθμης, στο οποίο στον άξονα  $x$  τοποθετείται η υπολειπόμενη πτώση στάθμης ( $\delta'$ ) δηλαδή η διαφορά της αρχικής και της μετρούμενης στάθμης σε μία χρονική στιγμή μετά τη διακοπή της άντλησης ενώ στον άξονα  $y$  τοποθετείται ο δεκαδικός λογάριθμος του λόγου

του χρόνου από την έναρξη της άντλησης προς το χρόνο από τη διακοπή της άντλησης  $\log(t/t')$ . Με βάση το παραπάνω διάγραμμα πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της υπολειπόμενης πτώσης στάθμης ( $\Delta\delta'$ ) σε ένα λογαριθμικό κύκλο, που αντιστοιχεί στην κλίση της ευθείας. Οπότε προκύπτει ότι:  $\Delta\delta' = 11\text{ m}$ .



**Σχήμα 31:** Το διάγραμμα επαναφοράς ή επανόδου στάθμης, όπως αυτό προέκυψε από τη χρήση των δεδομένων της γεώτρησης ΑΑ-3Π του βεβαιωμένου πεδίου έρευνας.

Από την αντικατάσταση της υπολειπόμενης στάθμης και της σταθερής παροχής στον τύπο του συντελεστή μεταβιβαστικότητας  $T$  προκύπτει το παρακάτω αποτέλεσμα:

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{\Delta\delta'} = \frac{0,183 \cdot 1,66}{11} = 0,028\text{ m}^2 / \text{min}$$

Η μέθοδος επαναφοράς ή επανόδου της στάθμης αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι των δοκιμαστικών αντλήσεων και είναι οικονομικότερη, διότι δεν πραγματοποιείται άντληση, και πολλές φορές αρκετά χρήσιμη ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μεγάλων διακυμάνσεων της παροχής κατά την άντληση.

Η μέγιστη θερμοκρασία που μετρήθηκε στο πεδίο, μέσω της γεώτρησης ΑΑ-3Π, είναι 89,3 °C. Αν θεωρηθεί ότι σε κατάσταση μέγιστης ζήτησης θερμικής ενέργειας από τους χρήστες-πολίτες της περιοχής αρχικά θα τροφοδοτηθούν χρήσεις που απαιτούν υψηλή θερμοκρασία και στη συνέχεια αυτές με χαμηλότερη. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί στο ρευστό θερμοκρασιακή διαφορά της τάξης των  $\Delta\theta = 52,1K$ . Τότε η θερμική ισχύς (θερμοενεργειακό φορτίο) του πεδίου μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τα παρακάτω (Δαλαμπάκης, 2013):

$$P = m \cdot C_p \cdot \Delta\theta \Leftrightarrow P = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta\theta$$

$$\Rightarrow P = \frac{150m^3}{3600s} \cdot 988,04 \frac{kg}{m^3} \cdot 4,18 \frac{kJ}{kgK} \cdot 52,1K \Rightarrow P = 8.965,55kW$$

όπου:  $P$  = η ισχύς που παρέχει το γεωθερμικό ρευστό, (kW)

$m = V \cdot \rho$  = η παροχή μάζας του γεωθερμικού ρευστού, (kg / s)

$V$  = η παροχή όγκου του γεωθερμικού ρευστού, ( $150m^3 / 3600s$ )

$\rho$  = η πυκνότητα του γεωθερμικού ρευστού, ( $988,04kg / m^3$  σε  $t = 50^\circ C$ )

$C_p$  = η ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού, ( $4,18kJ / kgK$  σε  $t = 50^\circ C$ )

$\Delta\theta$  = η θερμοκρασιακή διαφορά που υφίσταται το ρευστό, (52,1K)

# 6.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.

5.

6.

### 6.1. *Γενικά Συμπεράσματα*

Από τα αποτελέσματα της έρευνας για το γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης προέκυψαν τα εξής:

- Η περιοχή έρευνας γεωλογικά εντάσσεται στην ευρύτερη ιζηματογενή λεκάνη του Έβρου. Η εφελκιστική τεκτονική, η ασβεσταλκαλική ηφαιστειότητα και η ιζηματογένεση αποτελούν τις αιτίες δημιουργίας της θερμικής ανωμαλίας του πεδίου. Ο υδροφορέας του πεδίου είναι υπό πίεση και παρουσιάζει μη μόνιμη ροή.
- Τα ρευστά του πεδίου βρίσκονται σε δύο διαφορετικής σύστασης ταμιευτήρες, έναν επιφανειακό τύπου- $\text{NaSO}_4$  και ένα βαθύτερο τύπου- $\text{NaCl}$ , γεγονός που κατατάσσει τα ρευστά του πεδίου στον τύπο  $(\text{Ca})\text{Na}-\text{Cl}(\text{SO}_4)$ . Μετρήθηκαν σχετικά μικρές ποσότητες ιόντων  $\text{K}$ , τα οποία μαζί με τα ιόντα  $\text{SO}_4$  παρουσιάζουν μείωση σε δείγματα πέρα από τη ζώνη των εξαλλοιωμένων ηφαιστειακών σχηματισμών.
- Σύμφωνα με τους δείκτες Langelier και Ryznar διαπιστώθηκε ότι τα ρευστά του πεδίου παρουσιάζουν έντονη τάση απόθεσης της περίσσειας διαλυμένων αλάτων (κυρίως  $\text{CaCO}_3$ ) που περιέχουν. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στην αύξηση της διαβρωτικής δράσης και ταυτόχρονα στην ελάττωση της ποιότητας του γεωθερμικού ρευστού.
- Στη γεώτρηση AA-3Π το pH των ρευστών είναι 7,58 και το Σύνολο Διαλυμένων Αλάτων (T.D.S) είναι 10530,57 p.p.m..
- Η θερμοκρασία παρουσιάζει αύξηση με το βάθος.
- Η μέγιστη θερμοκρασία που μετρήθηκε, έπειτα από 22 ώρες άντλησης, είναι 89,3 °C, η οποία αντιστοιχεί στην θερμοκρασία του βαθύτερου και θερμότερου γεωθερμικού ταμιευτήρα.
- Η γεωθερμική βαθμίδα που μετρήθηκε στη γεώτρηση AA 3Π είναι πολύ υψηλότερη της μέσης γήινης και η μέγιστη τιμή της υπερβαίνει τους 20°C/100m. Θεωρώντας ότι η θερμοκρασία θα συνεχίζει να αυξάνει γραμμικά με το βάθος, σε μεγαλύτερα βάθη αναμένονται σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες, κατάλληλες για πιο ενεργοβόρες εφαρμογές και για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.
- Η άντληση της γεώτρησης έγινε αρχικά κατά βαθμίδες (55, 65, 75 και 95 m<sup>3</sup>/h) και στη συνέχεια με σταθερή παροχή 95-100 m<sup>3</sup> για 22 ώρες. Η μέγιστη πτώση στάθμης που παρατηρήθηκε στο τέλος της περιόδου άντλησης ήταν περίπου 24 m.

- Από την εφαρμογή των μεθόδων Theis, Επαναφοράς της στάθμης καθώς και του λογισμικού Aquifer Test για τον συντελεστή της μεταβιβαστικότητας (T) και αποθηκευτικότητας (S) υπολογίστηκαν οι τιμές του παρακάτω πίνακα:

**Πίνακας 17:** Οι τιμές της μεταβιβαστικότητας, όπως αυτές προέκυψαν από την εφαρμογή των μεθόδων.

| <i>Μέθοδος</i>               | <i>Μεταβιβαστικότητα (T)</i>              | <i>Αποθηκευτικότητα (S)</i>         |
|------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Theis</b>                 | $T = 0,0275m^2 / \text{min}$              | $S = 1,65$                          |
| <b>Επαναφορά της στάθμης</b> | $T = 0,028m^2 / \text{min}$               | Με αυτή τη μέθοδο δεν υπολογίζεται. |
| <b>Aquifer Test</b>          | $T = 3,94 \cdot 10^{-2} m^2 / \text{min}$ | $S = 0,745$                         |

- Όπως φαίνεται στον Πίνακα 17 οι τιμές τόσο της μεταβιβαστικότητας όσο και της αποθηκευτικότητας παρουσιάζουν πολύ μικρές διακυμάνσεις από τη μία μέθοδο στην άλλη. Συγκεκριμένα οι μέθοδοι Theis και επαναφοράς της στάθμης έχουν σχεδόν ίδιες τιμές μεταβιβαστικότητας ενώ αυτή που προέκυψε από το λογισμικό Aquifer Test διαφοροποιείται ελάχιστα από τις άλλες δύο μεθόδους. Η αποθηκευτικότητα δεν μπορεί να υπολογιστεί με τη μέθοδο επαναφοράς της στάθμης. Το λογισμικό και η μέθοδος Theis, και στην περίπτωση της αποθηκευτικότητας, παρουσίασαν παραπλήσιες τιμές αποτελεσμάτων.
- Η μέθοδος Theis επηρεάζεται από της υδραυλικές ιδιότητες γύρω από την αντλούμενη γεώτρηση. Αντίθετα η μέθοδος Cooper-Jacob επικεντρώνεται στις υδραυλικές ιδιότητες κοντά στην άκρη του κώνου πτώσης στάθμης, ο οποίος βρίσκεται μακριά από την αντλούμενη γεώτρηση. Συνεπώς η διαφορά των αποτελεσμάτων ανάμεσα σε αυτές τις μεθόδους αποτελεί συνδυασμό της ανομοιομορφίας του υδροφορέα και της απόστασης του πιεζομέτρου από τη γεώτρηση.

- Στο πεδίο Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης η παροχή παρουσιάζει αύξηση με την πάροδο του χρόνου. Όμως, για την εξαγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων η παροχή κατά τη διάρκεια της άντλησης πρέπει να είναι σταθερή. Έτσι, σε όλες τις μεθόδους η παροχή θεωρήθηκε σταθερή και ίση με  $Q=100 \text{ m}^3/\text{h}$ .
  - Η μέθοδος επαναφοράς της στάθμης αποτελεί την πιο αξιόπιστη διότι η μέτρηση της στάθμης πραγματοποιείται απευθείας από την αντλούμενη γεώτρηση. Επιπλέον δίνει ακριβή αποτελέσματα στους υπό πίεση υδροφορείς και υψηλότερες τιμές του συντελεστή της μεταβιβαστικότητας (T) στους ελεύθερους υδροφορείς. Παρόλα αυτά με αυτή τη μέθοδο δεν υπολογίζεται η αποθηκευτικότητα (S) του υδροφόρου συστήματος. Το γεωθερμικό πεδίο της περιοχής έρευνας παρουσιάζει μη μόνιμη ροή. Σε αυτό τον τύπο ροής η ακτίνα επίδρασης μεταβάλλεται με το χρόνο και συγκεκριμένα αυξάνεται με μειούμενο ρυθμό αύξησης και επεκτείνεται πιο γρήγορα. Αντίθετα, σε συνθήκες μόνιμης ροής η ακτίνα επίδρασης παραμένει σταθερή.
  - Το θερμοενεργειακό φορτίο του πεδίου, που υπολογίστηκε από τους Δαλαμπάκη και ά., 2012, είναι ίσο με  $P = 8.965,55 \text{ kW}$
  - Η χαμηλότερη θερμοκρασία που πρέπει να έχει το γεωθερμικό ρευστό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι  $85 \text{ }^\circ\text{C}$ . Συνεπώς το γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η εκμεταλλεύσιμη-παραγώμενη ισχύς από το πεδίο, είναι  $P_{GEN} = 191,28 \text{ kW}$ . Σε αυτό το αποτέλεσμα συμβάλει τόσο η ικανοποιητική παροχή της ( $100 \text{ m}^3/\text{h}$ ), όσο και η επιλογή του κατάλληλου δευτερεύοντος υγρού, το οποίο με την απορρόφηση μικρής ποσότητας θερμότητας αποκτά ικανοποιητική θερμική ενέργεια. Από την διαδικασία υπολογισμού της παραγόμενης ισχύος από τη γεωθερμική μονάδα του Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης παρατηρείται ότι, η ισχύς που προκύπτει είναι μικρή. Στο μέλλον, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, μπορεί να προκύψουν περισσότερες εκμεταλλεύσιμες πηγές, αλλά και αποδοτικότερες μέθοδοι παραγωγής ενέργειας από τη γεωθερμία. (Βουζάβαλης & Μπέλλας, 2014).

- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά είναι εφικτή και οικονομικά συμφέρουσα, όταν το θερμικό φορτίο του εκάστοτε πεδίου είναι μεγάλο και εύκολα προσβάσιμο. Όμως και από ένα μικρότερου μεγέθους θερμικό φορτίο, όπως αυτό του πεδίου Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης, είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και οι προοπτικές για το μέλλον, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, θα είναι ακόμα μεγαλύτερες.

1.

2.

3.

4.

5.

6.

6.1.

## 6.2. Μελλοντικές χρήσεις του Γεωθερμικού Πεδίου Αρίστηνου – Αλεξανδρούπολης

Η γεωθερμική ενέργεια ανάλογα με τη θερμοκρασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας όπως:

- 1) Την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ( $\theta > 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- 2) Τη θέρμανση χώρων (με καλοριφέρ για  $\theta > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , με αερόθερμα για  $\theta > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , με ενδοδαπέδια συστήματα  $\theta > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- 3) Τη ψύξη και τον κλιματισμό (με αντλίες θερμότητας απορρόφησης για  $\theta > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ή με υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας για  $\theta < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- 4) Τη θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών, λόγω της ταχύτερης ανάπτυξης των φυτών μέσω της θερμότητας ( $\theta > 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

- 5) Τις ιχθυοκαλλιέργειες ( $\theta > 15^{\circ}\text{C}$ ), στις οποίες απαιτείται συγκεκριμένη θερμοκρασία για την ανάπτυξη των ψαριών.
- 6) Τις βιομηχανικές εφαρμογές (π.χ. αφαλάτωση θαλασσινού νερού με  $\theta > 60^{\circ}\text{C}$  και ξήρανση αγροτικών προϊόντων).
- 7) Τα θερμά λουτρά ( $\theta = 25-40^{\circ}\text{C}$ )

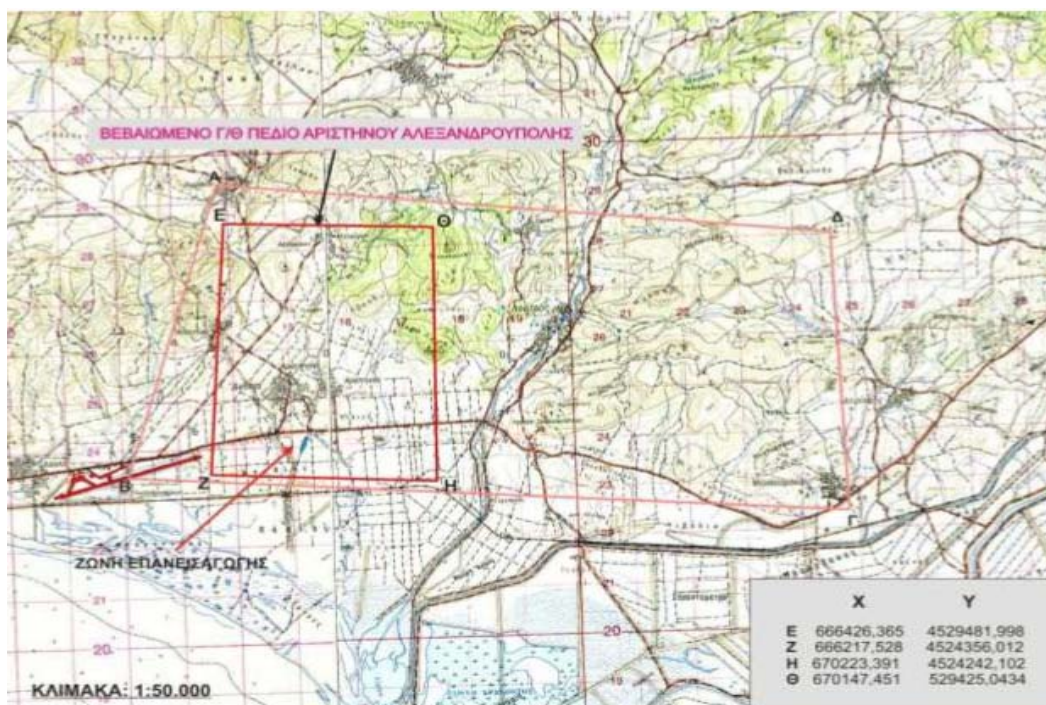
Οι παράμετροι που καθορίζουν τις δυνατότητες αξιοποίησης του γεωθερμικού πεδίου της περιοχής είναι η θερμοκρασία του ρευστού, η παροχή και το κόστος επεξεργασίας του (Δαλαμπάκης και ά., 2012).

Η εκμετάλλευσή του, λοιπόν, καθίσταται δυνατή γνωρίζοντας τα εξής χαρακτηριστικά:

- Τη θέση της παραγωγικής γεώτρησης ΑΑ-3Π.
- Την παροχή της υφιστάμενης γεώτρησης, η οποία παρουσιάζει εκτιμώμενη παροχή που ανέρχεται στα  $150 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- Τη θερμοκρασία του ρευστού. Η μέγιστη θερμοκρασία που μετρήθηκε κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής άντλησης είναι  $89,3^{\circ}\text{C}$ .
- Τη χημική ανάλυση του γεωθερμικού ρευστού, η οποία ανέδειξε το διαβρωτικό χαρακτήρα του για τις μεταλλικές σωληνώσεις και την τάση του να αποθέτει την περίσσεια ανθρακικών ιόντων.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η παροχή του ρευστού κυμαίνεται σε ικανοποιητικά επίπεδα, η θερμοκρασία του είναι επαρκής για μια ποικιλία εφαρμογών και η χημική ανάλυση υποδεικνύει ότι η εκμετάλλευση του πεδίου συνοδεύεται και από κάποια, αντιμετωπίσιμα, τεχνικά προβλήματα.

Στο Σχήμα 32 αποτυπώνεται το βεβαιωμένο (πολύγωνο ΕΖΗΘ) γεωθερμικό πεδίο της περιοχής Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης σε τοπογραφικό διάγραμμα Γ.Υ.Σ. με κλίμακα 1:50.000 και συντεταγμένες Χ, Ψ σύμφωνα με το Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς του 1987. Περιμετρικά του βεβαιωμένου βρίσκεται το πιθανό πεδίο (πολύγωνο ΑΒΓΔ), το οποίο μελλοντικά θα απασχολήσει την ανάπτυξη της γεωθερμίας στην περιοχή.



**Σχήμα 32:** Οριοθέτηση του βεβαιωμένου γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου – Αλεξανδρούπολης (πολύγωνο ΕΖΗΘ).

Σύμφωνα λοιπόν με το ποσό της θερμικής ενέργειας που προσφέρεται από το πεδίο στην περιοχή Αρίστηνου-Αλεξανδρούπολης, αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί με τους εξής τρόπους (Δαλαμπάκης και ά., 2012):

1. Για τη θέρμανση των Δημοτικών κτηρίων του Δήμου Αλεξ/πόλης, όπως π.χ. το αεροδρόμιο Αλεξανδρούπολης, και των κοινοτήτων Άνθειας και Αρίστηνου.
2. Για την τηλεθέρμανση κατοικιών, όπως στις κοινότητες του Δωρικού και του Αετοχωρίου. , οι οποίες απέχουν σχετικά μικρή απόσταση από την παραγωγική γεώτρηση ΑΑ-3Π. Μελλοντικά θα γίνει έρευνα για χρήση της σε μεγαλύτερες αποστάσεις.
3. Για θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις ή θερμοκήπια υδροπονίας.
4. Για τη θέρμανση εδάφους.
5. Για την προθέρμανση ή θέρμανση αέρα με ξηραντήρια.
6. Για την εγκατάσταση ξήρανσης υπολειμμάτων βιομάζας και τη δημιουργία Δημοτικής Επιχείρησης παραγωγής καυσίμων προϊόντων (pellets).



# 7.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο Παράρτημα, που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα δεδομένα που προέκυψαν από τη γεωθερμική έρευνα στην περιοχή.

**Πίνακας 18:** Η μεταβολή της στάθμης της γεώτρησης ΑΑ-3Π σε συνάρτηση με το χρόνο κατά τη διάρκεια της άντλησης (Δαλαμπάκης, 2013).

|                                                                                  |     | ΧΡΟΝΟΣ<br>(min) | ΣΤΑΘΜΗ (m) | ΣΤΑΘΜΗ (m)        | ΣΤΑΘΜΗ (m)                      |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------|------------|-------------------|---------------------------------|
|                                                                                  |     |                 | ΑΑ-3Π      | ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗ      | ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΗ                    |
| Στάθμες ηρεμίας πριν την έναρξη των εργασιών καθαρισμού με air-lift και άντλησης | T°C |                 | 19.10      | 19,6 (REPAIR: 1M) | 19,6 (REPAIR: 1M)<br>ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΗ |
| <b>ΕΝΑΡΞΗ<br/>ΑΝΤΛΗΣΗΣ:<br/>00:30</b>                                            | 52  | 0               | 17.5       |                   |                                 |
|                                                                                  |     | 1               | 21.55      |                   |                                 |
|                                                                                  |     | 2               | 22.24      |                   |                                 |
|                                                                                  |     | 3               | 22.99      |                   |                                 |
|                                                                                  |     | 4               | 23.84      |                   |                                 |

|  |      |     |       |       |       |
|--|------|-----|-------|-------|-------|
|  |      | 5   | 24.55 |       |       |
|  |      | 6   | 25.27 |       |       |
|  |      | 7   | 25.96 |       |       |
|  |      | 8   | 26.61 |       |       |
|  |      | 9   | 27.19 |       |       |
|  | 85   | 10  | 27.78 |       |       |
|  |      | 12  | 28.92 |       |       |
|  |      | 14  | 29.84 |       |       |
|  |      | 16  | 30.15 |       |       |
|  |      | 18  | 31.18 |       |       |
|  |      | 20  | 32.3  |       |       |
|  | 86   | 25  | 33.83 |       |       |
|  |      | 30  | 35.06 |       |       |
|  |      | 35  | 35.87 |       |       |
|  |      | 40  | 36.56 |       |       |
|  | 86.5 | 45  | 37.13 |       |       |
|  |      | 50  | 37.63 |       |       |
|  |      | 55  | 38.01 |       |       |
|  |      | 60  | 38.34 |       |       |
|  | 88   | 70  | 38.87 |       |       |
|  |      | 80  | 39.27 |       |       |
|  |      | 90  | 39.56 |       |       |
|  |      | 100 | 39.79 |       |       |
|  |      | 110 | 39.97 |       |       |
|  |      | 120 | 40.11 |       |       |
|  |      | 150 | 40.37 | 41.2  | 40.2  |
|  |      | 180 | 40.58 | 42.2  | 41.2  |
|  |      | 210 | 40.83 | 42.9  | 41.9  |
|  |      | 240 | 40.95 | 43.48 | 42.48 |
|  | 88.5 | 270 | 41.08 | 43.8  | 42.8  |
|  |      | 300 | 41.2  | 43.99 | 42.99 |
|  |      | 360 | 41.32 | 44.18 | 43.18 |
|  |      | 420 | 41.39 | 44.32 | 43.32 |
|  |      | 480 | 41.51 | 44.41 | 43.41 |
|  | 89.3 | 540 | 41.57 | 44.49 | 43.49 |
|  |      | 600 | 41.62 | 44.56 | 43.56 |
|  |      | 660 | 41.67 | 44.59 | 43.59 |
|  |      | 720 | 41.7  | 44.64 | 43.64 |
|  |      | 840 | 41.71 | 44.65 | 43.65 |
|  |      | 960 | 41.72 | 44.68 | 43.68 |

|  |      |      |       |      |      |
|--|------|------|-------|------|------|
|  |      | 1080 | 41.73 | 44.7 | 43.7 |
|  |      | 1200 | 41.74 |      |      |
|  | 89.3 | 1320 | 41.76 |      |      |

Μετά την έναρξη της επαναφοράς στάθμης οι μετρήσεις ήταν οι ακόλουθες:

**Πίνακας 19:** Η μεταβολή της Στάθμης της γεώτρησης ΑΑ-3Π σε συνάρτηση με το χρόνο μετά την έναρξη της επαναφοράς της (Δαλαμπάκης, 2013)

| ΕΝΑΡΞΗ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ |  | ΧΡΟΝΟΣ(min) | ΣΤΑΘΜΗ ΑΑ-3Π(m) |
|-------------------|--|-------------|-----------------|
|                   |  | 1322        | 38.82           |
|                   |  | 1323        | 37.75           |
|                   |  | 1324        | 36.95           |
|                   |  | 1325        | 36.34           |
|                   |  | 1326        | 35.78           |
|                   |  | 1327        | 35.22           |
|                   |  | 1328        | 34.75           |
|                   |  | 1329        | 34.15           |
|                   |  | 1330        | 33.62           |
|                   |  | 1332        | 32.7            |
|                   |  | 1334        | 31.84           |
|                   |  | 1336        | 31.07           |
|                   |  | 1338        | 30.27           |
|                   |  | 1340        | 29.56           |
|                   |  | 1345        | 28.27           |
|                   |  | 1350        | 26.68           |
|                   |  | 1355        | 25.67           |
|                   |  | 1360        | 24.71           |
|                   |  | 1365        | 23.83           |
|                   |  | 1370        | 23.06           |
|                   |  | 1375        | 22.4            |
|                   |  | 1380        | 21.77           |
|                   |  | 1390        | 20.81           |
|                   |  | 1400        | 20.06           |
|                   |  | 1410        | 19.5            |
|                   |  | 1420        | 19              |
|                   |  | 1430        | 18.65           |
|                   |  | 1440        | 18.33           |
|                   |  | 1455        | 18.03           |



# 8.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βουδούρης, Κ. (2009): *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος*. Εκδόσεις Τιόλλα, Θεσσαλονίκη.
2. Βουδούρης, Κ. (2011): *ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ*. Εργαστήριο: ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ.
3. Βουζάβαλης, Γ. και Μπέλλας Γ. (2014): Πολυκριτηριακή κατανομή των μονάδων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς. Διπλωματική Εργασία, Θεσσαλονίκη
4. Δαλαμπάκης, Π. (2013): *Καθαρισμός, Ανάπτυξη και αποτελέσματα δοκιμαστικής άντλησης στην παραγωγική γεώτρηση ΑΑ-3Π στο μισθωμένο βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο Αρίστηνου Αλεξανδρούπολης*. Τεχνική έκθεση παραγωγικής γεώτρησης ΑΑ-3Π Γ/Θ πεδίου Αρίστηνου. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ «ΔΗΜΗΤΡΑ» ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΓΓΕΙΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ, Θεσσαλονίκη.
5. Δαλαμπάκης, Π., Ηλίας, Α., Παναγόπουλος, Α., Ξανθόπουλος, Σ. και Χριστοφορίδης, Α. (2012): *Μελέτη για την εκμίσθωση του δικαιώματος διαχείρισης του βεβαιωμένου χαμηλής θερμοκρασίας γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου. Όροι και διαδικασία εκμίσθωσης του δικαιώματος του Δημοσίου για έρευνα και διαχείριση του γεωθερμικού δυναμικού βεβαιωμένων ή πιθανών Γεωθερμικών Πεδίων χαμηλής θερμοκρασίας της Χώρας*. ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ «ΔΗΜΗΤΡΑ» ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΓΓΕΙΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ, Θεσσαλονίκη.

6. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών ερευνών (ΙΓΜΕ) (2007): *Τα Γεωθερμικά πεδία της χώρας* (χαρακτηρισμός σύμφωνα με ν. 3175/2003). Τομέας υδατικών πόρων και περιβάλλοντος, Διεύθυνση γεωθερμίας και θερμομεταλλικών υδάτων, Αθήνα.
7. Κατσαπρακάκης, Δ.: *Γεωθερμία. Σημειώσεις Μαθήματος*, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας, Τ.Ε.Ι Κρήτης.
8. Κολιός, Ν. (2001): *Γεωθερμική έρευνα περιοχής Αρίστηνου-Άνθειας Ν. Έβρου, Έργο: 9531519*, Έρευνα και ανάπτυξη γεωθερμικής ενέργειας στην Α.ΜΑ.Θ. Ι.Γ.Μ.Ε., ΔΕΠΥ, Τμήμα Γεωθερμικής Έρευνας, Θεσσαλονίκη.
9. Μουντράκης, Δ. (2010): *Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας*. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
10. Ξυπόλυτου, Ε. (2011): *Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Γεωθερμικά Ρευστά Μέσης Ενθαλπίας. Η περίπτωση του Ακροπόταμου Καβάλας*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Αθήνα.
11. Πουτούκης, Δ. και Ντότσικα, Ε. (1998): *Συμβολή της ισοτοπικής υδρολογίας και της υδρογεωλογίας στη μελέτη του γεωθερμικού πεδίου Αρίστηνου Ν. Έβρου*. Δελτίο της Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXII/4, 69-79, 1998.
12. Σούλιος, Γ. (2004): *Γενική Υδρογεωλογία*, ΤΡΙΤΟΣ ΤΟΜΟΣ. Εκδόσεις Κυριακίδη Αφοί, Θεσσαλονίκη.
13. Σούλιος, Γ. (2006): *Γενική Υδρογεωλογία*, ΤΕΤΑΡΤΟΣ ΤΟΜΟΣ. Εκδόσεις UNIVERSITY STYDIO PRESS, Θεσσαλονίκη.
14. Σούλιος, Γ. (2010): *Γενική Υδρογεωλογία*, ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ. Εκδόσεις UNIVERSITY STYDIO PRESS, Θεσσαλονίκη.
15. ΦΕΚ 3923: ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘΜΟΝ 3175/2003. *Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις*. ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α', Γεωθερμία – Διανομή Θερμικής Ενέργειας.
16. Φυτίκας, Μ. και Ανδρίτσος, Ν. (2004): *Γεωθερμία*. Εκδόσεις Α. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
17. Andritsos, N., Dalabakis, P., Karydakakis, G., Kolios, N. and Fytikas, M. (2007): *Update and Characteristics of Low-Enthalpy Geothermal Applications in Greece*.

Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May-1 June 2007.

18. Arnorsson, S., Gunnlaussón, F. and Svavarsson, H. (1983): *The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geochemistry in geothermal investigations*. Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 547-566.
19. Fouillac, C. and Michard, G. (1981): *Sodium lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs*. Geothermics, 10, 55-70.
20. Fournier, R.O. and Truesdell, A.H. (1973): *An empirical Na-K-Ca chemical geothermometer for natural waters*. Geochim. Acta, 37, 515-525.
21. Fournier, R.O. (1981): *Application of water geochemistry to geothermal exploration and reservoir engineering*. In: Ryback L. and Muffler L.J.P. (Eds), Geothermal Systems: Principles and Case Histories, J. Wiley, New York, 109-143.
22. Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R. and Panich, C. (1983): *Geothermal systems*. In: *Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology*. IAEA, Technical Reports, No. 91, 359-376, Vienna.
23. Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B. and Truesdell, A.H. (1983): *Isotopic and chemical composition of Pardatti valley geothermal discharges*. North-West Himalaya, India. Geothermics, 12, 2/3, 199-122.
24. [http://perivall-on.blogspot.gr/2012/08/blog-post\\_8223.html](http://perivall-on.blogspot.gr/2012/08/blog-post_8223.html)
25. [http://users.sch.gr/imarinakis/geothermal\\_energy.htm](http://users.sch.gr/imarinakis/geothermal_energy.htm)
26. <http://www.michanikos.gr/topic/38679-h-πρώτη-παραγωγή-από-τα-Θερμοκήπια-της-Γεωθερμίας>
27. <http://www.slideshare.net/kpeporoion/ss-16400852>
28. Kharaka, Y.K. and Mariner, R.H. (1989): *Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins*. In: Naeser N.D. and McCollon T.H. (eds). Thermal History of sedimentary Basins. Springer-Verlag, New York, 99-117.
29. Kolios, N., Fytikas, M., Arvanitis, A., Andritsos, N. and Koutsinos S. (2007): *Prospective Medium Enthalpy Geothermal Resources in Sedimentary Basins of Northern Greece*. <sup>(1)</sup> Institute of Geology & Mineral Exploration (I.G.M.E.) - Reg. Dept.

*of Central Macedonia*. Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May-1 June 2007.

30. Kolios, N., Koutsinos, S., Arvanitis, A. and Karydakis, G. (2005): *Geothermal Situation in Northeastern Greece*. Proceeding World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.

31. Rondoyanni, Th., Georgiou, Ch., Galanakis, D. and Kourouzidis M. (2004): *Evidences of active faulting in Thrace region (North-Eastern Greece)*. Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI, 2004. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Congress, Thessaloniki, April, 2004.